



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Antto Koivula

Miehittämättömän ilma-aluksen hyödyntäminen FTTH-valokuituverkon suunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinööriyö

6.4.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Antto Koivula Miehittämättömän ilma-aluksen hyödyntäminen FTTH-valokuituverkon suunnittelussa 32 sivua 6.4.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	projektipäällikkö Heikki Nylander lehtori Jussi Laari
<p>Insinööriyössä selvitettiin, miten miehittämätöntä ilma-alusta voitaisiin hyödyntää valokuituverkon suunnittelussa. Lisäksi tutkittiin minkä, tyyppinen miehittämätön ilma-alus soveltuisi parhaiten FTTH-valokuituverkon pohjatietojen keräämiseen. Työssä käydään läpi myös miehittämättömät ilma-alustyyppit sekä niiden lennättämistä koskevaa lainsäädäntöä. Työssä vertailtiin kolmea miehittämätöntä ilma-alusta keskenään. Vertailuun valikoituivat luokkansa parhaat ilma-alukset, jotka ovat suomalaisen Nordic Dronesin multikopteri Geodrone6 ja Quantum-Systems:in VTOL-tyyppinen Trinity F90+. Lisäksi vertailuun otettiin halvemman hintaluokan multikopteri DJI Phantom 4 RTK.</p> <p>Vertailussa oli kolme eri osa-aluetta. Ensimmäisessä osassa vertailtiin ilma-alusten tuottaman ortokuvausaineiston laatua. Vertailu suoritettiin laskemalla kunkin ilma-aluksen GSD:n suuruus 60 m:n ja 300 m:n välillä. Toisessa vaiheessa vertailtiin, kuinka nopeasti ilma-alukset suoriutuisivat 1 km²:n ortokuvaustehtävästä, jossa käytettäisiin 60 %:n sivupeittoa ja 80 %:n pituuspeittoa. Tulokset laskettiin lentokorkeuksille 100:n ja 260 metrin välillä. Kolmannessa vaiheessa vertailtiin datamäärää, joka 1 km²:n alueen ortokuvaamisesta syntyisi, sekä sitä, kuinka lentokorkeus vaikuttaisi datan määrään 100:n ja 260 metrin välillä.</p> <p>Voidaan todeta, että miehittämätöntä ilma-alusta olisi mahdollista hyödyntää pohjatiedonkeruussa ortokuvauksen avulla. Ilma-aluksia vertaillen tuloksena havaittiin, että tarkempaa sensoria käytettäessä lentokorkeus on valittava huolellisemmin lentosuunnitelmaa tehdessä, jotta vältytään liialliselta datan määrältä ja pitkältä lentoajalta. VTOL-tyyppisen ilma-aluksen havaittiin suoriutuvan 1 km²:n ortokuvaustehtävästä nopeiten kaikissa lentokorkeuksissa. Trinity F90+:n voidaan todeta olevan kustannustehokkuudeltaan paras vaihtoehto tämän vertailun perusteella FTTH-valokuituverkon suunnittelualueen pohjatiedonkeruutehtävään.</p>	
Avainsanat	FTTH, suunnittelu, miehittämätön ilma-alus

Author Title Number of Pages Date	Antto Koivula Utilization of unmanned Aircraft in Design of FTTH Fibre Optic Network 32 pages 6 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Heikki Nylander, Project Manager Jussi Laari, Senior Lecturer
<p>The purpose of the final year project was to establish how an unmanned aircraft could be utilized in the design of a fibre optic network. The project also investigated what kind of an unmanned aircraft would be the best to support FTTH network design. Furthermore, unmanned aircraft types and the legislation governing flying them was reviewed.</p> <p>The project compared various datasets. First the quality of the orthographic material of the different aircrafts was compared by calculating the size of the ground sample distance at different flight heights, Second, the length of time needed by each aircraft for an orthographic photography mission over an area of about 1 square kilometre was compared. Finally, the amount of data the unmanned aircraft produced during the 1 square kilometre photography mission was compared. The flight heights used were between 60 to 300 meters.</p> <p>The project established that the most cost-effective unmanned aircraft to support FTTH network design was the VTOL style aircraft. The thesis offers basic information about what kind of unmanned aircraft is the most profitable and why.</p>	
Keywords	FTTH, desing, UAV

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	FTTH-valokuituverkon suunnittelu	2
2.1	Strateginen suunnittelu	2
2.2	Esisuunnittelu	3
2.3	Yksityiskohtainen suunnittelu	4
2.4	Mikrokanavat	4
2.5	Pohja-aineiston laadun aiheuttamat haasteet suunnittelussa	5
3	Miehittämättömät ilma-alukset	9
3.1	Miehittämättömät ilma-alustyypit	9
3.2	Multikopterit	10
3.3	Kiinteäsiipiset ilma-alukset	10
4	Miehittämätöntä ilmailua koskeva lainsäädäntö	11
4.1	Lainsäädäntö siirtymäkaudella avoimessa kategoriassa	11
4.2	Lainsäädäntö siirtymäkauden jälkeen avoimessa kategoriassa	13
4.3	Eriyisen ja sertifioidun kategorian lainsäädäntö	15
5	FTTH-valokuituverkon suunnittelun pohjatiedot ja niiden prosessointi	17
5.1	Mobiilikartoitus	17
5.2	Miehittämättömän ilma-aluksen hyödyntäminen pohjatiedon keruussa	17
5.3	Aineiston georeferointi	19
6	Miehittämättömien ilma-alusten vertailu	21
6.1	Geodrone6	21
6.2	Trinity F90+	22
6.3	DJI Phantom 4 RTK	23
6.4	Kuvaustarkkuus	24
6.5	Lentoaikojen vertailu	26
6.6	Datan määrä	27
6.7	Miehittämättömän ilma-aluksen ylläpitokustannukset	28

7 Yhteenveto

29

Lähteet

30

Lyhenteet

BVLOS	Beyond Visual Line of Sight. Miehitämättömän ilma-aluksen lennätys ilman näköyhteyttä.
Drone	Miehitämätön ilma-alus. Suomen kielessä käytetään myös nimitystä drooni.
EVLOS	Extended Visual Line of Sight. Miehitämättömän ilma-aluksen lennätys, joka tapahtuu tähtystäjän avustuksella.
FTTH	Fiber To The Home. Kuitu kotiin -verkko. Valokuitu yltää asukkaan kotiin asti.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Maailmanlaajuisen satelliittipaikannusjärjestelmän yhteisnimitys.
GSD	Ground Sample Distance. Pikselien keskikohtien välinen etäisyys mitattuna maassa.
JARUS	The Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems. Kansainvälistä ilmailualan asiantuntijoista koostuva ryhmä, joka pyrkii luomaan yhteisen ja turvallisen lainsäädännön miehitämättömään ilmailuun.
LiDAR	Light Detection and Ranging. Kaukokartoituslaite, joka mittaa laservalon pulssin kulku-aikaa.
POP	Point Of Presence. Laitetila, jonka kautta jakeluverkon käyttäjät voivat muodostaa yhteyden internetiin palveluntarjoajansa välityksellä.
PPK	Post Processing Kinematic. Satelliittimittausmenetelmä, jossa tukiasema ja vastaanotin tallentavat vaihehavaintoja ja niiden erotuksesta jälkikaske-taan tarkka sijainti.

RPAS	Remotely Piloted. Aircraft System. Kauko-ohjattu miehittämätön ilma-alus-järjestelmä.
SAIL	Specific Assurance and Integration Level. Arvo, joka kuvaa miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän luottamustasoa siihen, että toiminta pysyy hallinnassa koko operaation ajan.
SORA	Specific Operations Risk Assessment. Riskiarviointi menetelmä, jota käytetään miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän toiminnan turvallisuuden arvioimiseen.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle. Miehittämätön ilma-alus, jossa ei ole ihmislentäjää.
VLOS	Visual Line Of Sight. Miehittämättömän ilma-aluksen lennätys, joka tapahtuu näköyhteyden välityksellä.
VTOL	Vertical Take Off and Landing. Kiinteäsiipinen lentokone, joka pystyy laskeutumaan ja nousemaan pystysuoraan.

1 Johdanto

Valokuituverkon rakentamisessa suunnittelu on tärkeässä roolissa kustannusten optimoinnissa. Laadukkaiden ja tarkkojen pohjatietojen avulla suunnittelu voidaan tehdä yksityiskohtaisemmin, ja muutosten tarve projektin myöhemmässä vaiheessa vähenee. Suunnitteluvaiheen onnistumista edesauttavat esimerkiksi tarkat ilmakuvat ja vanhan infran sijainnit. Kustannustehokkuus kasvaa, kun muutosten määrä suunnitteluvaiheen jälkeen jää mahdollisimman vähäiseksi.

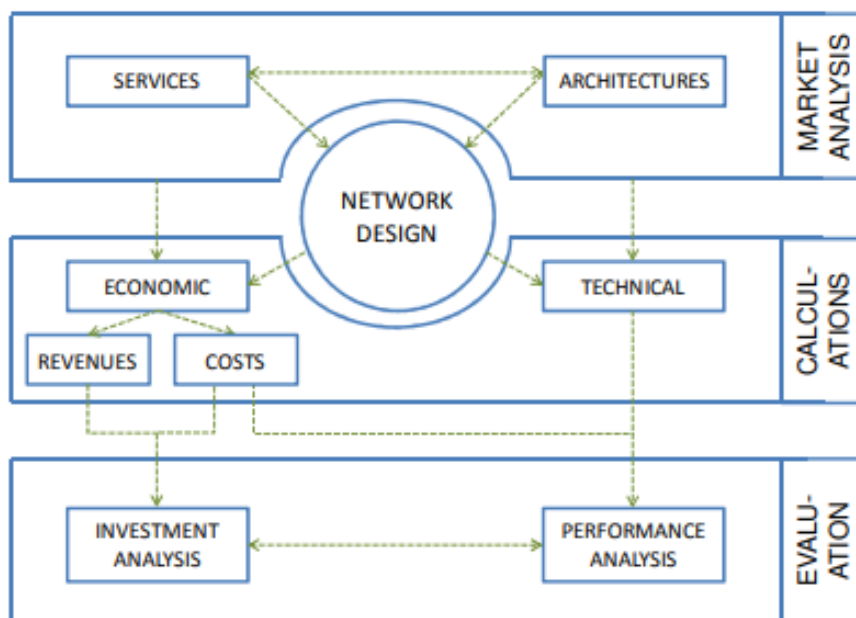
Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää miten, ja millaista miehittämätöntä ilma-alusta olisi mahdollista hyödyntää FTTH-valokuituverkkojen suunnittelussa. Työssä tutkitaan muun muassa, millaiset ovat ilma-aluksen käyttö- ja hankintakustannukset sekä minkä tyyppinen miehittämätön ilma-alus sopisi parhaiten suunnittelualueen tiedonkeruuseen. Työssä käydään läpi myös miehittämätöntä ilmailua koskevaa lainsäädäntöä, sekä vertaillaan ilma-alusten tuottaman aineiston laatua ja kartoitusnopeutta eri lentokorkeuksilla. Vertailuissa käytettyjen aineistojen lähdetietoina ovat valmistajien datalehdet sekä niiden pohjalta tehdyt laskelmat. Miehittämättömistä ilma-aluksista vertailuun valikoituivat ammattikäyttöön Suomessa suunniteltu multikopteri Geodrone6 ja halvemmän hintaluokan multikopteri Phantom 4 RTK sekä VTOL-tyyppinen Trinity F90+. Tutkimus tehdään hyödyntäen haastatteluja, kirjallisia- ja internetlähteitä. Työn toimeksiantajana toimii Telsita Oy, jonka päätoimialana on valokuituverkkojen suunnittelu, rakentaminen ja ylläpito. Yhtiö aloitti toimintansa Suomessa vuonna 2019. Valokuituverkon rakentamisessa Telsita Oy hyödyntää mikrokanavatekniikkaa.

2 FTTH-valokuituverkon suunnittelu

Valokuituverkon suunnittelu on yksi tärkeimmistä vaiheista toimivan verkon rakentamisessa. Bisnesmalli pitkälti määrittää sen millaisia valintoja suunnitteluvaiheessa tehdään. Suunnittelu vaikuttaa esimerkiksi verkon kokonaiskustannuksiin ja sen elinkaareen. Tässä työssä tutustutaan vain mikrokanavatekniikalla toteutettavaan valokuituverkon rakentamiseen, jossa valokuitukaapelit asennetaan mikrokanaviin vasta maahan asentamisen jälkeen.

2.1 Strateginen suunnittelu

Strategisen suunnittelun vaiheessa tehdään ratkaisuja siitä mihin on kannattavaa alkaa rakentamaan valokuituverkkoa. Tässä vaiheessa tehdään päätökset muun muassa siitä, mitä tekniikkaa ja millaista verkkotopologiaa valokuituverkon rakentamisessa käytetään. Ne vaikuttavat oleellisesti verkon rakennus- ja ylläpitokustannuksiin. Edellä kerrottuihin valintoihin vaikuttaa suuresti se, mikä bisnesmalli on kyseessä. Kuvassa 1 on havainnollistettu verkon suunnitteluprosessia. Strategisen suunnittelun vaihe sijoittuu kuvassa 1 markkina-analyyysiosioon. [1, s. 114.]



Kuva 1. Verkon suunnitteluprosessi [1, s. 115].

2.2 Esisuunnittelu

Strategisen suunnittelun valmistuttua edetään esisuunnitteluvaiheeseen. Lähtökohtina esisuunnitteluvaiheessa käytetään strategisesta suunnittelusta saatavia tietoja kuten rakennettavan verkon sijaintia ja verkon topologiaa. Pääkohtia esisuunnitteluvaiheessa ovat

- POP:ien sijaintien päättäminen
- jakokaappien sijoittuminen suunnittelualueella
- alustavan massaluettelon tekeminen.

Esisuunnittelussa suunnitellaan jakokaappien sijainnit suunnittelualueella ja niihin liittyvien asiakkaiden kaapeli- tai mikrokanavareitit riippuen rakennustavasta. Esisuunnitteluvaiheen suunnitelmia on mahdollista tehdä nykyään myös robottisuunnittelun avulla. Kaapeli/mikroputkireittien tarkat sijainnit määritellään yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheessa [2, s. 22–24.] Kuvassa 2 on esimerkki jakokaappien suunnitelluista syöttöalueista.



Kuva 2. Suunnittelualue jaettuna lohkoihin. Jakokaapin syöttöalueet on värikoodattu eri väreillä. [2, s. 24]

2.3 Yksityiskohtainen suunnittelu

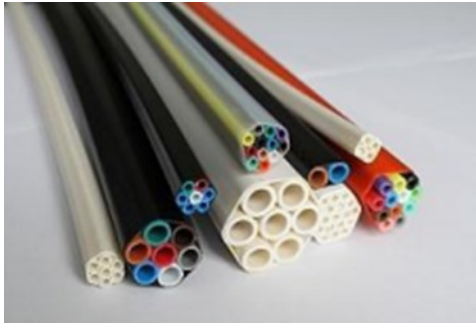
Suunnittelu etenee seuraavaksi yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheeseen. Siinä tärkeintä on, että verkkosuunnitelma on riittävän tarkka, jotta sillä voidaan hakea kaikki viralliset luvat ja siitä voidaan tehdä työhöjeet urakoitsijoille rakentamista varten. Yksityiskohtaisen suunnittelun pohjana käytetään aiempien suunnittelutasojen lähtöaineistoja muun muassa:

- verkon rakenteesta
- jakokaappien sijainneista
- jakokaappien määristä
- asuntojen lukumääristä
- esisuunnitteluvaiheessa suunnitelluista alustavista reiteistä.

Suunnittelussa apuna käytetään esimerkiksi Google street view -näkyymiä tai suunnittelualueelta kerättyä dataa kuten kuvia, ortokuvia, videoita tai laserkeilausaineistoa. Google street viewin käytössä ongelmana on, että aineisto on usein vanhaa, eikä ole varmuutta siitä, onko suunnittelualueella mahdollisesti tapahtunut muutoksia kuvauksen jälkeen. [2, s. 26.] Ennen rakennusvaihetta suunnitteluprosessi etenee maastokäyntiin, jossa selvitetään, onko suunnitelmiin tarpeellista tehdä muutoksia. Tässä vaiheessa suunnitteluprosessi on siinä vaiheessa, että piha-alueiden suunnittelu aloitetaan. Se tehdään yhdessä kiinteistön omistajien kanssa.

2.4 Mikrokanavat

Mikrokanavat ovat muovisia putkia, joiden sisähalkaisija vaihtelee 3 millimetrin ja 12 millimetrin välillä ja ulkohalkaisija 4 millimetrin ja 16 millimetrin välillä [2, s. 100, 104]. Mikrokanavat voidaan asentaa maahan joko yksittäisinä kanavina tai nipuissa. Nippuja on olemassa useita kokoja ja malleja. Kuvassa 3 on esimerkki mikrokanavanipuista. Mikrokanavat asennetaan maahan, minkä jälkeen valokuitukaapelit asennetaan mikrokanaviin puhaltamalla, vetämällä tai kelluttamalla [2, s. 104].



Kuva 3. Mikrokanavanippuja [2, s. 100].

Mikrokanavat antavat mekaanista suojaa valokuitukaapeleille, sekä mahdollistavat asiakkaiden liittämisen verkkoon melko helposti myöhemminkin. Asiakkaiden liittyessä vasta myöhemmin valokuituverkkoon tämä tapahtuu vain lisäämällä valokuitukaapeli mikroputkeen kyseiselle asiakkaalle eikä suuria kaivuutöitä tarvita. Kun valokuituverkkoa rakennetaan mikrokanavatekniikalla, on yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheessa huomioitava mikrokanavien minimi taivutussäteet sekä puhallusetäisyydet. Taivutussäteen minimi vaihtelee kanavatyypeittäin. Liian jyrkät mutkat verkossa lyhentävät kaapelien puhallusmatkoja ja pahimmassa tapauksessa jopa estävät kaapelin kulun putkessa. Puhallusmatkat eivät saisi nousta yli 500 metriin, ja niiden olisi hyvä pysyä alle 300 metrissä. Puhallusmatkaa lyhentävät mahdolliset ylämäet ja mikrokanavien tiukat mutkat. [2, s. 24–25; 3, s. 89.]

2.5 Pohja-aineiston laadun aiheuttamat haasteet suunnittelussa

Suunnitteluohjelmiston pohja-aineistona on maanmittauslaitoksen tuottama ortokuva. Sen avulla pitäisi pystyä tekemään päätöksiä yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheessa muun muassa siitä, mikä olisi edullisin rakennusreitti. Asfaltti-, kivetys- ja sorapinnoille rakentaminen on erihintaista, ja tämä tulisi huomioida, kun reittivalintoja tehdään. Seuraavaksi on esitetty yksi esimerkkikohta, jossa pitäisi päättää, kulkeeko rakennusreitti punaisen vai keltaisen nuolen osoittamaa reittiä (kuvat 4 ja 5).



Kuva 4. Maanmittauslaitoksen ortokuva. Reittivaihtoehdot merkitty punaisella ja keltaisella nuolella.

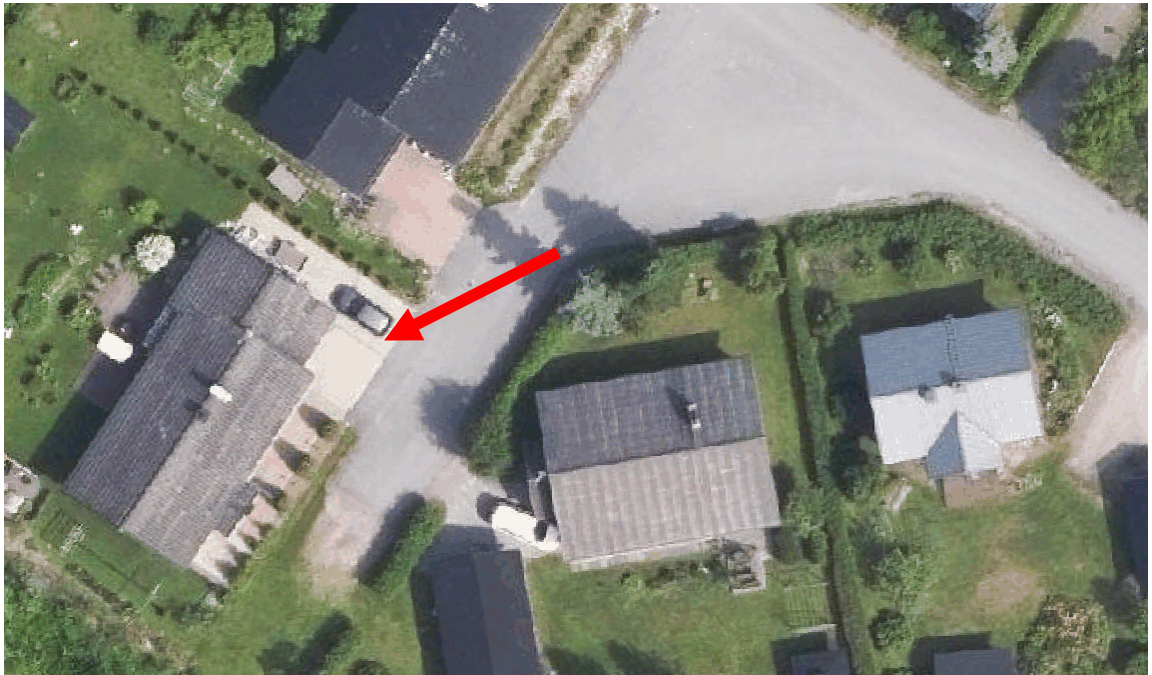
Kuvassa 4 on esimerkki Maanmittauslaitoksen ortokuva-aineistosta. Kuvasta on vaikea erottaa teiden ja pihojen materiaaleja, ja ne jäävät vain arvailujen varaan.



Kuva 5. Googlen katunäkymä samasta kohdasta kuin kuva 3. Reittivaihtoehdot merkitty punaisella ja keltaisella nuolella.

Kuvassa 5 on Googlen katunäkymä samasta paikasta kuin kuvan 4 ortokuva. Googlen katunäkymä on päivitetty vuonna 2009, joten sen tiedot voivat olla vanhentuneita.

Samasta paikasta on olemassa Sitowisen ortokuva-aineisto vuodelta 2016, joka on hie-
man tarkempi kuin Maanmittauslaitoksen aineisto. Kuvasta 6 näkyy, että alueen kadut
on asfaltoitu vuonna 2009 otetun Googlen katunäkymä kuvauksen jälkeen. Kuvasta 6 ei
kuitenkaan erota, onko punaisen nuolen osoittama piha laatoitettu asfaltoinnin yhtey-
dessä. Pihan materiaali jää avoimeksi, ja tämän kohdan osalta tarkan suunnitelman te-
keminen ei onnistu, joten maastokäynnin jälkeen kyseisen kohdan suunnitelmaan on
odotettavissa muutoksia.



Kuva 6. Sitowisen ortokuva-aineisto vuodelta 2016.

Kuvassa 7 on esimerkki multikopteri Geodrone6:lla kuvatusta ortokuvasta. Kuvasta erot-
tuu selvästi muun muassa kivetys ja maanpinnan materiaali muutenkin. Sen perusteella
suunnitellessa ei jäisi epäselviä kohtia, ja yllätykset ja suunnitelmien muutostarve maas-
tokäyntien jälkeen vähenisivät.



Kuva 7. Ortokuva Lepaalta Geodrone6:lla kuvattuna. Maanpinta erottuu kuvasta selvästi.

3 Miehitämättömät ilma-alukset

Miehitämätön ilma-alus eli an Unmanned Aerial Vehicle lyhennettynä UAV on lentolaite, jolla tehdään ammattimaista lentotyötä. Samasta lentolaitteesta voidaan käyttää myös lyhenteitä ja käsitteitä UAS (Unmanned Aerial System), drone (drooni) tai RPAS (Remotely Piloted Aircraft System). Unmanned Aerial System viittaa lentolaitteen lisäksi maasemaan ja hyötykuormaan, kuten kameraan. Remotely Piloted Aircraft System täsmentää, että miehitämätöntä ilma-alusta ohjaa pilotti kauko-ohjatusti.

Miehitämättömän ilma-aluksen käyttökohteita voivat olla esimerkiksi ilmakuvaus, kartoitukset, mittaukset, etsintä- ja valvontatyö sekä elokuva- ja mainostuotanto. Miehitämätöntä ilma-alusta voi ohjata kauko-ohjatusti ihmisen toimesta tai autopilotilla ohjelmoidusti. Liikenne- ja viestintäviraston määritelmän mukaan samaa lentolaitetta voidaan kutsua joko miehitämättömäksi ilma-alukseksi tai lennokiksi riippuen sen käyttötarkoituksesta. Lennokki-termiä käytetään, jos laite on harrastekäytössä. [4, s. 4,10–12: 6.]

3.1 Miehitämättömät ilma-alustyypit

Miehitämättömiä ilma-alustyyppisiä on useita erilaisia. Ne eroavat toisistaan kokonsa ja toimintaperiaatteensa puolesta. Toimintaperiaatteensa perusteella ilma-alukset voidaan jakaa muun muassa helikoptereihin, kiinteäsiipisiin, multikoptereihin, palloihin tai ilmalaivoihin. [5, s. 2–4.] Jokaisella ilma-alustyyppillä on huonot ja hyvät puolensa, joten ilma-alusvalinta tehdään sovelluskohteen mukaan. Ilma-alusten koko vaihtelee grammoja painavista nanodrooneista jopa tuhansia kiloja painaviin sotilaslaitteisiin. Siviilikäytössä käytetään tyyppillisesti noin 1–25 kilogrammaa painavia laitteita. Toimintaetäisyydet vaihtelevat sisätilojen lähietäisyyksistä mannerten välisiin, ja toimintakorkeudet vaihtelevat metreistä kymmeneen kilometriin. Yleisimpiä ilma-alustyyppisiä ovat multikopterit ja kiinteäsiipiset lentolaitteet. Seuraavaksi esitellään näiden kahden kategorian lentolaitteita hieman tarkemmin. [10, s. 9.]

3.2 Multikopterit

Multikopterit ovat helpoimpia valmistaa, ja lisäksi ne ovat edullisimpia markkinoilla olevista lentolaite vaihtoehdoista. Niitä käytetään laajasti ammattilais- ja harrastustoiminnassa sekä droonikilpailuissa. Multikoptereita on olemassa ainakin 3-, 4-, 6- ja 8-roottorisina. Neljäroottoriset ovat suosituimpia ja yleisimmin käytössä olevia. Huonoja puolia multikoptereissa on muun muassa niiden hidas lentonopeus ja huono akunkesto. Näiden ominaisuuksien takia ne eivät sovellu laajoihin kartoitus- tai mittaustöihin. [6.] Akunkesto vaihtelee mallin mukaan 20 ja 74 minuutin välillä [6; 22]. Hyötykuormalla ja tuulennopeudella on suuri vaikutus akunkestoön [22].

3.3 Kiinteäsiipiset ilma-alukset

Kiinteäsiipisten lentolaitteiden toimintaperiaate on sama kuin isommillakin miehityillä lentokoneilla. Noste saadaan aikaiseksi siipien avulla ja vetävän tai työntävän voiman aiheuttaa roottori. Kiinteäsiipisten ilma-alusten lentonopeus on huomattavasti suurempi kuin multikoptereilla. Tämän takia niillä voidaan yhdellä lennolla kartoittaa laajojakin alueita. BVLOS-toiminta, jota kiinteäsiipisillä ilma-aluksilla usein harjoitetaan, vaatii hieman enemmän työtä lupaprosessin suhteen. Lähtöä varten kiinteäsiipiset alukset tarvitsevat usein joko kiitoradan tai katapultin. Tämä rajoittaa niiden lentoonlähtöpaikkoja ja sitä kautta käytettävyyttä eri sovelluskohteissa. [5, s. 5.]

Multikopterin ja kiinteäsiipisen ilma-aluksen yhdistelmänä voidaan pitää VTOL-tyyppistä ilma-alusta. Sillä lentoon lähtö ja laskeutuminen tapahtuvat pystysuoraan ja matkalennossa se käyttäytyy kuin kiinteäsiipinen ilma-alus. Nousun ja laskun ajaksi roottorit lukittuvat vaakatasoon, joka mahdollistaa ilma-alukselle kyvyn leijua ilmassa kuin multikopteri. Käytettävyys monissa kohteissa on huomattavasti parempi kuin perinteisillä kiinteäsiipisillä laitteilla, koska lentoon lähtö ja laskeutuminen tapahtuvat pystysuoraan. [25, s. 6.] Esimerkki VTOL-tyyppisestä koneesta on Trinity F90+, jonka lentoaika on vähintään jopa 90 minuuttia. Pitkä lentoaika perustuu liito-ominaisuuteen, jota hyödynnetään matkalennon aikana [25, s. 7]. Nousun ja laskun aikana kaikki kolme roottoria ovat toiminnassa, mutta matkalennossa vain takarottori on käytössä, jolloin virran kulutus laskee minimiin [25, s. 7, 11].

4 Miehittämätöntä ilmailua koskeva lainsäädäntö

Suomessa miehittämättömiä ilma-aluksia koskevista määräyksistä ja asetuksista vastaa Liikenne- ja viestintävirasto (Traficom). Liikenne- ja viestintävirasto on antanut 18.12.2020 päivitetyn dronemääräyksen OPS M1-32 -asetuksen, joka tuli voimaan vuoden 2021 alusta. Päivitetty dronemääräys sisältää EU:n drooniasetuksen 2019/947 siirtymäajan asetukset.

Ilma-aluksen lennättämistä koskeva lainsäädäntö uudistui 31.12.2020. Asetus tulee voimaan koko EU:n alueella ja sen tarkoituksena on yhtenäistää koko EU:n alueella tapahtuvaa lennätystä. Ilma-aluksen käyttäjille uudistus tuo velvollisuuden rekisteröityä droonikäyttäjärekisteriin, johon aiemmin vain ammattilaisilla on ollut ilmoitusvelvollisuus. Rekisteröityminen ei koske alle 1 kilogramman painoisia siimalennokkeja, leluiksi määritellyjä miehittämättömiä ilma-aluksia eikä alle 250 grammaa painavia drooneja, joissa ei ole kameraa tai muuta anturia henkilötietojen tallennukseen.

Asetuksessa on laitteita, erilaisia operaattoreita ja kauko-ohjaajia koskevat siirtymäajat [8.] Termistön mukaan operaattori on droonin käyttäjä, joka omistaa dronen. Operaattori voi olla yksityishenkilö tai organisaatio, jossa on nimettävä vastuuhenkilö. EU:n droneasetuksen myötä jatkossa droonitoiminta jaetaan erilaisiin kategorioihin, joita ovat avoin luokka (open), erityinen luokka (specific) ja sertifioitu luokka (certified). Suurin osa harrastajista kuuluu avoimeen luokkaan, mutta jos toimintaa ei voi suorittaa avoimen luokan määräyksillä, on se toteutettava erityisen tai sertifioitun luokan säännöillä [9.]

4.1 Lainsäädäntö siirtymäkaudella avoimessa kategoriassa

Ilma-alusten operointi tapahtuu pääasiassa VLOS tekniikalla eli näköyhteyden välityksellä. Tämä johtuu lainsäädännöstä, joka vaatii, että ilma-alukseen on oltava näköyhteys koko sen lennon ajan. Avoimen luokan toiminnan on tapahduttava aina näköyhteyden välityksellä. BVLOS eli näköyhteydetönkin lennättäminen on mahdollista, mutta toiminta on luvanvaraista. Näköyhteyden säilyttämiseen voidaan käyttää myös tähystäjää, jolla on suora puheyhteys ilma-aluksen ohjaajan kanssa [10, s. 9.]

Kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttämisestä ilmoituksen tehneet saavat jatkaa lentotyötä kansallisen ilmailumääräyksen OPS M1-32 luvun 3 mukaisesti vielä 1.1.2022 asti. Lennokkerhoissa lennokin lennättämistä harrastavat voivat jatkaa vanhan ilmailumääräyksen ohjeistuksella lennättämistä vielä 1.1.2023 asti. Ehtona kuitenkin on, että toiminta noudattaa kerhojen ohjeita ja sääntöjä, jolloin toiminnan katsotaan tapahtuvan kerhossa. Itsekseen harrastavat alkavat noudattaa EU:n uutta asetusta heti 31.12.2020, joten heillä siirtymäaikaa ei ole. [8.]

Ilma-aluksilla on omat siirtymäaikansa uudessa EU:n drooniasetuksessa. Vuoden 2023 alusta lähtien kaikkien uusien myynnissä olevien kauko-ohjattujen ilma-alusten tulee olla CE-merkittyjä. Kuvassa 8 on esitetty eripainoisten droonien käyttörajoituksia uuden EU-droneasetuksen siirtymäkaudella. Alle 500 gramman painoisille lentolaitteille ei ole koulutusvaatimuksia. Yli 500 grammaa painavilla lentolaitteilla lennettäessä lentäjän on suoritettava verkkoteoriakoe ja 500–2 kg välisessä painoluokassa on suoritettava vielä lisäteoriakoe. [8.] Lentokorkeusrajoitus laskee entisestä 150 metristä 120 metriin. Rekisteröityminen droonilennättäjäksi tapahtuu traficomin internetsivujen kautta, ja se maksaa 30 euroa/vuosi, 75 euroa / 3 vuotta tai 100 euroa / 5 vuotta [18].

A1	A2	A3
Dronen maksimipaino 500 g	Dronen paino 500 g - 2 kg	Dronen paino 500g - 25 kg
Lentäminen sallittu myös tiheästi asutuilla alueilla satunnaisten ihmisten, mutta ei ihmisjoukkojen päällä.	Lennot sallittu tiheästi asutuilla alueilla turvallisella etäisyydellä ihmisistä.	Lennot harvaan asutuilla alueilla kaukana ihmisistä ja asutuksesta.
UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida
Ei koulutusvaatimusta	Verkkoteoriakoe + lisäteoriakoe	Verkkoteoriakoe

Kuva 8. Avoimen kategorian rajoitukset tulevan EU-droneasetuksen siirtymäkaudella 1.1.2021–1.1.2023 [8].

4.2 Lainsäädäntö siirtymäkauden jälkeen avoimessa kategoriassa

Siirtymäkauden jälkeen luvasta vapaassa toiminnassa sallitaan 1.1.2023 jälkeen vain kuvan 9 mukaisia CE-merkittyjä lentolaitteita. Kevyempiin alle 900 gramman lentolaitteisiin tulee nopeusrajoitus 19 m/s. CE-merkinnöillä C1–C3 merkityillä lentolaitteilla on jatkossa oltava muun muassa etätunnistus, ilmatila-varoitukset, ”palaa kotiin” -toiminto, autopilotti sekä lentokorkeuden rajoitin. Jokaiseen luokkaan sisältyy enemmän teknisiä vaatimuksia, ja niihin voi tutustua tarkemmin (EU) asetuksessa 2019/945. Tässä on esitetty vain luokkien väliset erot. [8.]

CE-merkintä	C0	C1	C2	C3	C4
Paino	alle 250 g	alle 900 g	alle 4 kg	alle 25kg	alle 25 kg
Nopeus	alle 19 m/s	alle 19 m/s	-	-	-
Etätunnistus	-	kyllä	kyllä	kyllä	-
Ilmatila-varoitukset	-	kyllä	kyllä	kyllä	-
”Palaa kotiin” toiminto	-	kyllä	kyllä	kyllä	-
Lentokorkeuden rajoitin	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	-
Autopilotti	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kielletty

Kuva 9. Tiivistelmä markkinalainsäädännön (EU) 945/2019 laitevaatimuksista [8].

Kuvassa 10 on esitetty 1.1.2023 jälkeen voimassa olevat avoimen kategorian rajoitukset. Painoluokat droneille ovat siirtymäkauden jälkeen alle 900 grammaa, alle 4 kilogrammaa ja alle 25 kilogrammaa. Siirtymäkauden jälkeen alle 250 grammaisilla droneilla

lennettäessä ei ole lisäkoulutusvaatimuksia. Luokassa A2 eli 250–900 grammaa painavilla droneilla lennettäessä on suoritettava verkkoteoriakoe ja lisäteoriakoe. Tämän painoisilla droneilla saa lentää tiheästi asutuilla alueilla turvallisella etäisyydellä ihmisistä. A3-luokassa dronien merkinnät ovat C2, C3 ja C4. Tässä luokassa riittää pelkkä verkkoteoriakokeen suorittaminen, ja lentäminen on sallittua vain harvaan asutuilla alueilla kaukana asutuksesta ja ihmisistä.

A1	A2	A3
Dronen maksimipaino 900 g	Dronen maksimipaino 4 kg	Dronen maksimipaino 25 kg
CE merkinnät: C0 ja C1	CE merkinnät: C2	CE merkinnät: C2, C3, C4
Lentäminen sallittu myös tiheästi asutuilla alueilla satunnaisten ihmisten, mutta ei ihmisjoukkojen päällä. UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	Lennot sallittu tiheästi asutuilla alueilla turvallisella etäisyydellä ihmisistä. UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	Lennot harvaan asutuilla alueilla kaukana ihmisistä ja asutuksesta. UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida
Dronen paino alle 250g: ei lisäkoulutusvaatimusta. Dronen paino 250 - 900 g: verkkoteoriakoe.	Verkkoteoriakoe + lisäteoriakoe	Verkkoteoriakoe

Kuva 10. Avoimen kategorian rajoitukset droneille tulevan EU-drooniasetuksen siirtymäkauden jälkeen 1.1.2023–. [8.]

4.3 Erityisen ja sertifioidun kategorian lainsäädäntö

Toiminta tapahtuu erityisessä kategoriassa, jos se ylittää jollakin alueella avoimen kategorian rajoitukset. Esimerkkejä tällaisista ylityksistä ovat muun muassa BVLOS-lennot, droonin paino yli 25 kilogrammaa, lennot kaupunkialueella yli 4 kilogrammaisella droonilla, lennot lähellä lentoasemaa tai rajoitusaluetta, esineiden pudottaminen droonista tai lennot yli 120 metrin korkeudessa. Lentotoiminta tapahtuu sertifioidussa kategoriassa, jos kuljetetaan ihmisiä, vaarallisia aineita tai SORA-riskiarvioinnin lopputulos ylittää menetelmän sallimat rajat. Tässä kategoriassa riskit ovat niin suuret, että drooni vaatii sertifiointin ja operaattori lisenssin sekä ulkopuolisen tahon hyväksynnän, jotta turvallisuustaso voidaan taata. Toiminta sertifioidussa kategoriassa on hyvin samantapaista kuin yrityksellä, joka harjoittaa miehitettyä ilmailutoimintaa. Uusi lainsäädäntö ei aluksi kata sertifioitua luokkaa.

Riskiarviointi on tehtävä, jos lentotoimintaa ei pystytä tekemään avoimessa kategoriassa. JARUS on laatinut riskiarvioinnin viitekehyksen SORAn, jossa on määriteltävä huonoimman mahdollisen tilanteen seuraukset. SORA-riskiarviointiprosessi sisältää seuraavat vaiheet:

- toimintakuvaus
- maariskin luokka
- maariskin vähennykset
- ilmariskin luokka
- strategiset ilmariskin vähennykset
- taktiset ilmariskin vähennykset
- luotettavuusvaatimukset
- ympäröivien alueiden huomioiminen.

Maariski on toinen riskiluokka SORA-arviointimenetelmän riskiluokista. Maariskillä tarkoitetaan mahdollista uhkaa, joka toteutuessaan aiheuttaa vaaraa tai onnettomuuden maassa ihmisille tai infrastruktuurille. Arviointimenetelmällä pyritään arvioimaan mitkä ovat kyseisen operaation riskit ja miten niitä voidaan vähentää. Operatiivisen toiminnan riskit ja niiden suuruus jaetaan muun muassa sen mukaan, tapahtuuko lento VLOS- vai BVLOS-toimintana, onko alue tiheästi asuttu vai asumaton ja lennetäänkö

ihmisjoukkojen päällä. Pääsääntöisesti maariskiluokka on sitä suurempi mitä enemmän operaatioalueella on ihmisiä.

Maariskiluokkia on 1:stä 10:een ja siihen vaikuttaa droonin tuottaman kineettisen energian määrä ja fyysiset mitat. Riskiluokkaa voidaan pienentää erilaisilla toimilla, joita kutsutaan M1-, M2- ja M3-menetelmiksi. M1 (Strategic mitigations for ground risk) -menetelmillä pyritään vähentämään riskialttiiden ihmisten määrää lentoalueella ottamalla huomioon riittävän suuret riskipuskurit ja vaikutusalue sekä arvioimaan mahdollisesti vaarassa olevat ihmiset. M2 (Effects of ground impact are reduced) -menetelmillä pyritään vähentämään maahan kohdistuvaa riskivaikutusta muun muassa asentamalla drooniin laskuvarjo hätätilanteiden varalle. M3 (An emergency response plan) -menetelmässä määritellään toiminta hätätilanteessa, jossa drooni on palautumattomassa vikatilassa ja on olemassa välitön ja vakava kuolemanvaara tai tilanteeseen ei voida vaikuttaa valmiusmenettelyllä. [14.]

SORA-riskiarviointiprosessin toinen riskiluokka on ilmariski. Siinä määritellään ilmatilassa tapahtuvan törmäyksen sisäistä riskiä. Ilmariskiä voidaan alentaa käyttämällä strategisia ja taktisia lievennysvälineitä. Strategisia lievennysvälineitä ovat esimerkiksi lentotoiminnan suorittaminen tiettyinä aikoina tai tietyissä rajoissa. Taktisia lievennystoimia käytetään strategisten lievennystoimien jälkeen vähentämään mahdollisia törmäyksen riskejä.

Lentotoiminnan maa- ja ilmariskin määrittelyn jälkeen niiden yhteisarvosta määritellään SAIL-arvo. SAIL-arvo voi vaihdella 1:n ja 6:n välillä, ja se määrittelee mitä, operaation turvallisuudessa tulee huomioida. SAIL-arvon suuruuden mukaan operaation on täytettävä erilaisia vaatimuksia, jotka vaihtelevat kohdittain olemattomasta erittäin vaativaan. Erilaisia menetelmäkohtia on tällä hetkellä 24, jotka pitää dokumentoida ja hyväksyttää viranomaisilla ennen kuin droonilla voi alkaa operoimaan. [14.]

5 FTTH-valokuituverkon suunnittelun pohjatiedot ja niiden prosessointi

FTTH-valokuituverkon suunnittelua varten suunnittelualueelta on oltava tarpeeksi tietoa, jotta suunnitelmat voidaan tehdä riittävän tarkasti. Mitä enemmän tietoa on käytössä suunnittelun alkuvaiheessa, sitä kustannustehokkaampaa suunnittelu on ja mahdollisten muutosten teko suunnitelmiin myöhemmässä vaiheessa on vähäisempää. Tiedonkeruu voidaan suorittaa tietokoneella tai maastossa. Tietokone tiedonkeruusta hyvä esimerkki on Google street viewin kuvien käyttö. Työkalu on ilmainen, ja sen avulla voi helposti tarkistaa muun muassa tien pinnoitteiden laadun ja kunnon, puiden sijainteja tai tien luokan [1, s. 25–26.] Suomessa ongelmaksi muodostuu Google street viewin käytössä se, että monesta paikasta ei ole olemassa materiaalia tai että kuvat ovat jopa 10 vuotta vanhoja, jolloin ei ole varmuutta siitä, onko suunnittelualue muuttunut. Suunnittelun apuna käytetään myös ilmakuvia, mutta ongelmaksi niiden käytössä muodostuu usein niiden huono laatu.

5.1 Mobiilikartoitus

Mobiilikartoitus on vaihtoehto tiedonkeruuseen suunnittelualueelta, jos alueen Google-kartat ovat vanhentuneita. Mobiilikartoituksessa auton katolle voidaan asentaa kamera, videokamera, laserkeilain tai valotutka. Tämän lisäksi järjestelmä sisältää GNSS-antennin, jolla data saadaan paikallistettua oikeaan paikkaan. Laitteiston asennuksen jälkeen kaikki suunnittelualueen tied ajetaan läpi. Kerättyä dataa käytetään suunnittelun lähtöaineistona. [1, s. 30.]

5.2 Miehittämättömän ilma-aluksen hyödyntäminen pohjatiedon keruussa

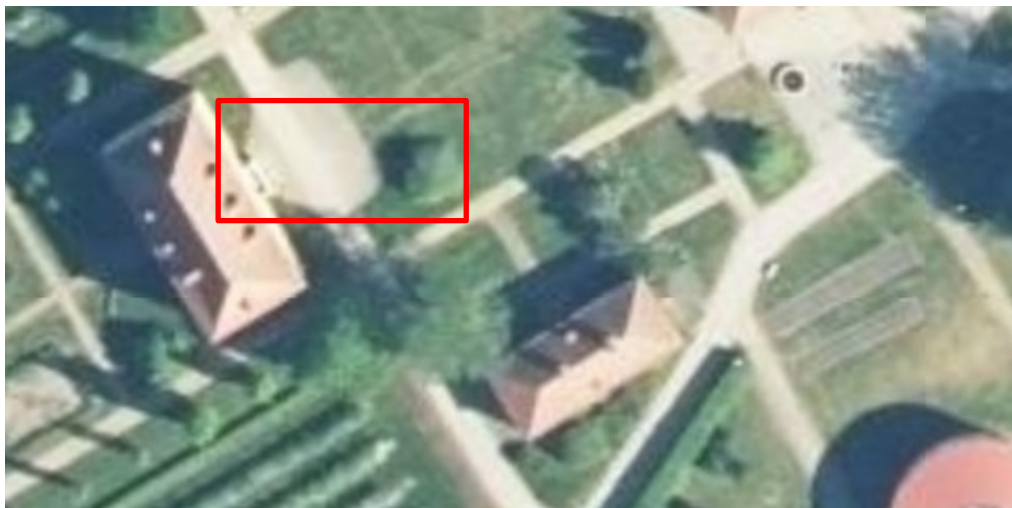
Miehittämättömän ilma-aluksen käyttö valokuituverkon suunnittelun pohjatiedon keruussa on vielä vähäistä, tai en ainakaan onnistunut löytämään aiheeseen liittyvää kirjallista materiaalia. Miehittämättömään ilma-alukseen on mahdollista kiinnittää erilaisia sensoreita kuten LIDAR, laserkeilain tai kamera. Käyttökelpoisin näistä kolmesta pohjatiedon keruutehtävää ajatellen olisi kamera, jolla voisi ottaa ortokuvia. Ortokuva-aineisto olisi mahdollista kiinnittää georeferoinnin jälkeen suunnitteluohjelmiston ”pohjakartaksi”.

Kuvassa 11 on esimerkki Nordic Dronesin Geodrone6:lla kuvatusta aineistosta Lepaalta, jossa maapikselin koko on 1 cm.



Kuva 11. Ortokuva Lepaalta. Maapikselin koko on 1 cm ja lentokorkeus 150 m [13].

Kuvasta erottuvat selvästi esimerkiksi kaivon kannen ritilät, ja jopa auton rekisterikilvet ovat luettavissa. Kuvassa 12 on Maanmittauslaitoksen ortokuva Lepaalta. Kuvassa on punainen viivarajaus, joka esittää kuvassa 11 näkyvää aluetta. Kuvasta on vaikea erottaa muun muassa teiden pinnoitteiden laatua, puiden sijainteja eikä se ole ajantasainen, joten suunnitelmien tekeminen tämän pohjalta ei ole kovinkaan tarkkaa.



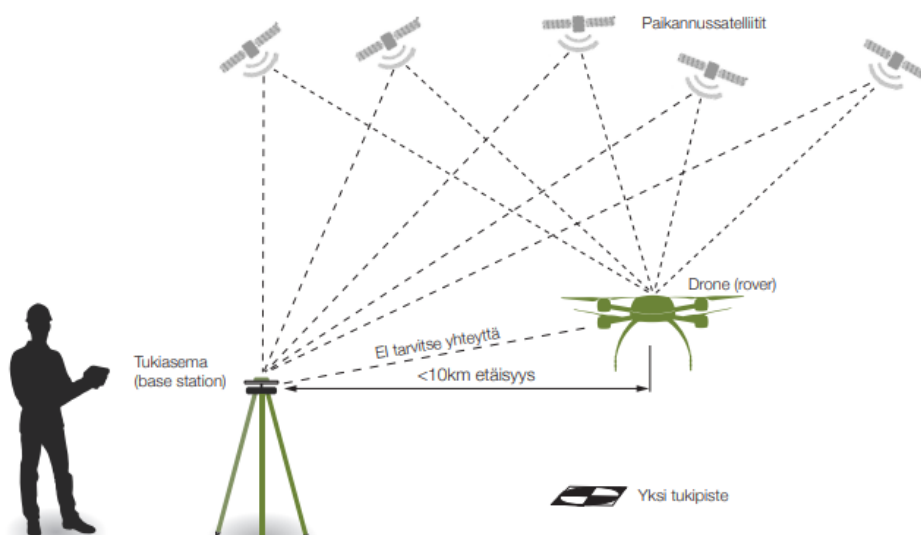
Kuva 12. Maanmittauslaitoksen ortokuva Lepaalta. Punainen viivarajaus kuvaa näkymää, joka on kuvassa 11.

Seuraavassa luvussa vertaillaan erilaisia miehittämättömiä ilma-aluksia ja selvitetään, mikä niistä soveltuisi parhaiten pohjatiedon keruuseen.

5.3 Aineiston georeferointi

Georeferoinnilla tarkoitetaan sijaintitiedon liittämistä aineistoon. Aineiston sijainti ja asento kansallisessa koordinaatistossa voidaan tuottaa erilaisilla georeferointimenetelmillä, joita on kuvattu alempana. Georeferointia varten vaaditaan, että kuvattavalla alueella on tunnettuja pisteitä tai että miehittämättömään ilma-alukseen on vähintään integroitu tarkka paikannusmenetelmä. Georeferointi on oleellinen osa kartoitusprosessia, jos aineistoa käytetään tarkoissa paikkatietosovelluksissa. Aineiston georeferointi takaa, että esimerkiksi aineiston pohjalta tehdyt suunnitelmat ovat tarkkoja. Georeferointimenetelmiä ovat perinteinen signalointi, PPK, Propeller aeropoints tai LIDAR-jälkilaskenta. Perinteisessä signaloinnissa kuvattavalle alueelle rakennetaan näkyvöitetyjä tukipisteitä. Tukipisteet voivat olla maalimerkkejä, pressuja tai levyjä. Signaalimerkit mitataan tarkasti esimerkiksi takymetrillä tai GNSS-paikannuksella. [12.] Signalointimerkkien tekeminen ja niiden mittaaminen vie aikaa ja hidastaa ilmakehän kuvausprosessia.

Kuvassa 13 on esitetty PPK-menetelmää varten maastossa tarvittavat komponentit. Menetelmä perustuu PPK-moduuliin, joka on kiinni ilma-aluksessa. Se tallentaa laitteiston sisäiseen muistiin GNSS-datan ja kuvanottohetken mikrosekuntien tarkkuudella. Maassa oleva tukiasema kerää GNSS-dataa samaan aikaan, mutta toisin kuin RTK-menetelmässä, tukiaseman ja droonin välillä ei tarvita yhteyttä. Nordic Dronesin esitteen mukaan riittävä tarkkuus saavutetaan jopa ilman tukipisteitä. Droonin PPK-moduulin datan ja tukiaseman lokitietojen perusteella PPK-ohjelma jälkilaskee kuvien tarkan sijainnin tasossa tarkkuudella $<3\text{cm}\pm 1\text{ppm}$ ja korkeudessa $<5\text{cm}\pm 2\text{ppm}$. PPK-menetelmän etuina verrattuna RTK-menetelmään on toimintavarmuus, koska droonin ja tukiaseman välillä ei tarvita yhteyttä ja lisäksi tukiasema voi olla jopa 10 kilometrin päässä. Menetelmän käyttö lisää kustannustehokkuutta, koska kohteessa tehtävä lentoonlähdön valmistelu-aika lyhenee. [15.]



Kuva 13. PPK:n toimintaperiaate [15].

Propeller Aeropoints on australialaisen yrityksen kehittämä digitähys, jota maahantuo Suomessa Geotrim Oy. Digitähyksessä on integroitu GNSS-vastaanotin, joka alkaa kerätä dataa napin painalluksella. Virtansa Propellerin digitähys saa integroidusta aurinkopaneelista, joka näkyy kuvassa 14. Järjestelmä on riippumaton käytettävästä koordinaattijärjestelmästä ja prosessointiohjelmistosta. Lennon jälkeen digitähykset lähettävät datansa Propeller-pilvipalveluun. Signaalien sijaintitiedot jälkilasketaan pilvipalvelussa ja lopputuloksena saadaan senttitarkkuudessa olevaa dataa, joka on tämän jälkeen käyttövalmista. [17.]



Kuva 14. Propeller-Aeropoints, digitähys [17].

6 Miehitämättömien ilma-alusten vertailu

FTTH-valokuituverkkojen suunnittelualueet painottuvat tiheästi asutuille alueille, joten parhaiten tässä tapauksessa pohjatiedonkeruutehtävään eli tässä tapauksessa ortokuvaukseen soveltuisi multikopteri tai VTOL-tyyppinen lentolaite. Miehitämättömältä ilma-alukselta vaadittavia ominaisuuksia tehtävää ajatellen olisivat hyvä kuvan laatu, käytettävyys, sään kestävyys, hyvä akun kesto, huoltovapaus sekä hyvät tuki- ja huoltopalvelut. Vertailuun valikoituivat ammattikäyttöön tarkoitetut multikopteri Geodrone6 ja VTOL-tyyppinen Trinity F90+ sekä hieman halvemman kategorian multikopteri Phantom 4 RTK.

6.1 Geodrone6

Geodrone6 on Suomalaisen Nordic Dronesin valmistama multikopteri. Sen runko on kestävä titaania ja hiilikuitua, operointilämpötila $-10...+40$ °C, maksimi tuuliraja 15 m/s, maapikselin koko noin 1,5 cm (120 m:n lentokorkeudessa) ja lentoaika 74 minuuttia ilman hyötykuormaa. Geodrone6:een on saatavana lisävarusteena PPK-moduuli, joka lisää sen kustannustehokkuutta huomattavasti [22]. Kuvassa 15 on Geodrone6 ja kauko-ohjain.



Kuva 15. Geodrone6 gimbaalin ja kameran kanssa [22].

Geodrone6:een on saatavana erityisesti ortokuvaukseen suunniteltu kiinteä kamera. Kiinteästä kamerasta puuttuu GIMBAL-vakain, joka pitää kameran suorassa, vaikka esimerkiksi tuuli vähän heilauttaisikin droonia. GIMBAL-vakaimen käyttö mahdollistaa

tarvittaessa myös viistokuvauksen, jota perinteisellä kiinteällä ortokuvaukseen tarkoitettulla kameralla ei voi toteuttaa.

Geodrone6:n runko maksaa 22 000 euroa. Kameravaihtoehtoina ortokuvaukseen ovat Sony RX1 II täysikokoisella kennolla sekä Sony a6000. Sony RX 1 II tuottaa 42,3 megapikselin kuvia ja sen myyntihinta on 6 500 euroa. Sony a6000 tuottaa 24,3 megapikselin kuvia, ja hinta tälle vaihtoehdolle on 3 500 euroa. Molemmat kameravaihtoehdot sisältävät GIMBAL-vakaimen. PPK-moduuli ei kuulu Geodrone6:n peruspakettiin, vaan se on hankittava erillisenä moduulina. Hinta PPK-moduulille on 6 500 e. Lisäksi päälle tulevat trimnetin käyttökustannukset, jos ei käytetä omaa maatukiasemaa. Lentoaika Geodrone6:lla on noin 35–40 minuuttia, kun hyötykuormana ovat Sonyn RX 1 II -kamera ja PPK-moduuli [20; 22.]

Geotrim Oy vastaa Geodrone6:n myynnistä mittaus- ja kartoituskäyttöön sekä huollosta yhteistyössä laitevalmistajan kanssa. Tämä takaa sen, että huoltotoimenpiteet ovat tarvittaessa helposti ja nopeasti saavutettavissa. Geotrim Oy:n myynti-insinööri Vihavainen korostaa, että Geodrone6 on suunniteltu pitkäikäiseksi ja käyttöikä voi hyvinkin olla noin 10 vuotta kunhan laitteesta pidetään hyvää huolta. [20.]

6.2 Trinity F90+

Trinity F90+ on Saksalaisen Quantum-Systemsin kehittämä VTOL-tyyppinen lentokone. Sen ominaisuuksiin kuuluvat pystysuoran nousun ja laskun mahdollistavat kääntyvät roottorit, jotka näkyvät kuvassa 16. Matkalennossa se kääntää roottorinsa vaakatasoon, jolloin se pystyy hyödyntämään liito-ominaisuuksiaan ja näin lentoaika on vähintään jopa 90 minuuttia. Lentolaitteessa on integroitu PPK-moduuli.

Trinity F90+:n pakettihinta on 15 900 euroa, joka sisältää UAV-laitteen, integroidun PPK-moduulin, iBase-aseman ja lentosuunnitteluohjelmiston. Sony UMC-R10C -kameran kanssa Trinity F90+:lla voi kuvata 700 hehtaaria yhdellä lennolla, kun kuvaus tapahtuu 120 metrin korkeudesta. GSD on tässä korkeudessa 3,2 cm. Tarkempaa dataa saadaan Sony RX1R II -kameralla, jolla GSD on vain 1,55 cm lennettäessä 120 metrin korkeudessa. Tällöin yhdellä lennolla kuvattava alue jää 550 hehtaariin. Trinity F 90+:n tuulen

sietokyky ilmassa on 12 m/s, ja maassa tuulenopeus saa olla enintään 9 m/s. Matalimmaksi operointilämpötilaksi valmistaja ilmoittaa -12 °C. [25, s. 12.; 26.]



Kuva 16. Trinity F90+ -lentolaite [11].

6.3 DJI Phantom 4 RTK

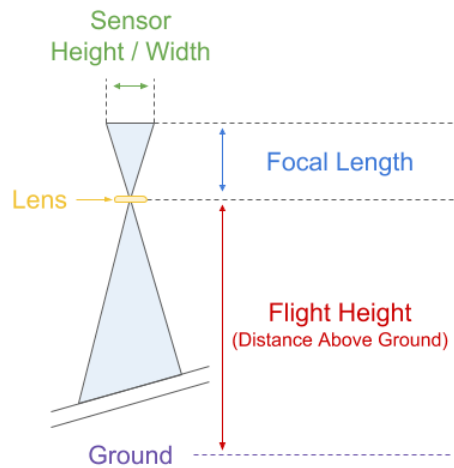
Phantom 4 RTK on kiinalaisen DJI:n valmistama kuvauskopteri. 4-roottorinen multikopteri sisältää integroidun gimbaalin ja kameran. Lentoaika on noin 30 minuuttia, ja operointilämpötila on 0–40°C. DJI Phantom 4 RTK -kuvauskopteripaketin hinta on 7 800 euroa. Paketti sisältää kuvauskopterin, RTK-maatukiaseman, 2 akkua kopteriin, gimbaalin ja kameran. Kamera on varustettu 1" CMOS-kennolla, ja se tuottaa 20 megapikselin kuvia. Paikannustarkkuuksien RTK:lla luvataan olevan vaakatasossa 1,5cm+1ppm ja pystysuunnassa 1cm+1ppm. [23.] Kuvassa 17 on esitetty DJI Phantom 4 RTK -multikopteri ja sen kauko-ohjain.



Kuva 17. DJI Phantom 4 RTK [7].

6.4 Kuvaustarkkuus

GSD:n suuruus on yksi tekijä, joka vaikuttaa siihen kuinka laadukasta ortokuva-aineistoa miehittämättömällä ilma-aluksella voidaan tuottaa. Kuvassa 18 on esitetty tekijät, jotka vaikuttavat GSD:n suuruuteen. Lentokorkeuden valinta kannattaa tehdä niin, että vältytään liialliselta datan määrältä. Liian matalalla ja liian suurella kuvapeitolla lennettäessä lentoaika pitenee, mikä heikentää kuvauksen kustannustehokkuutta [21].



Kuva 18. GSD:n suuruuteen vaikuttavat tekijät. [24.]

Kuvassa 19 on esitetty GSD:n laskentakaavat. Tiedossa on oltava lentokorkeus, kameran sensorin korkeus ja leveys sekä linssin polttoväli. Pysty- ja vaakasuuntainen GSD-arvo lasketaan erikseen ja tuloksena ilmoitetaan arvo, joka on huonompi.

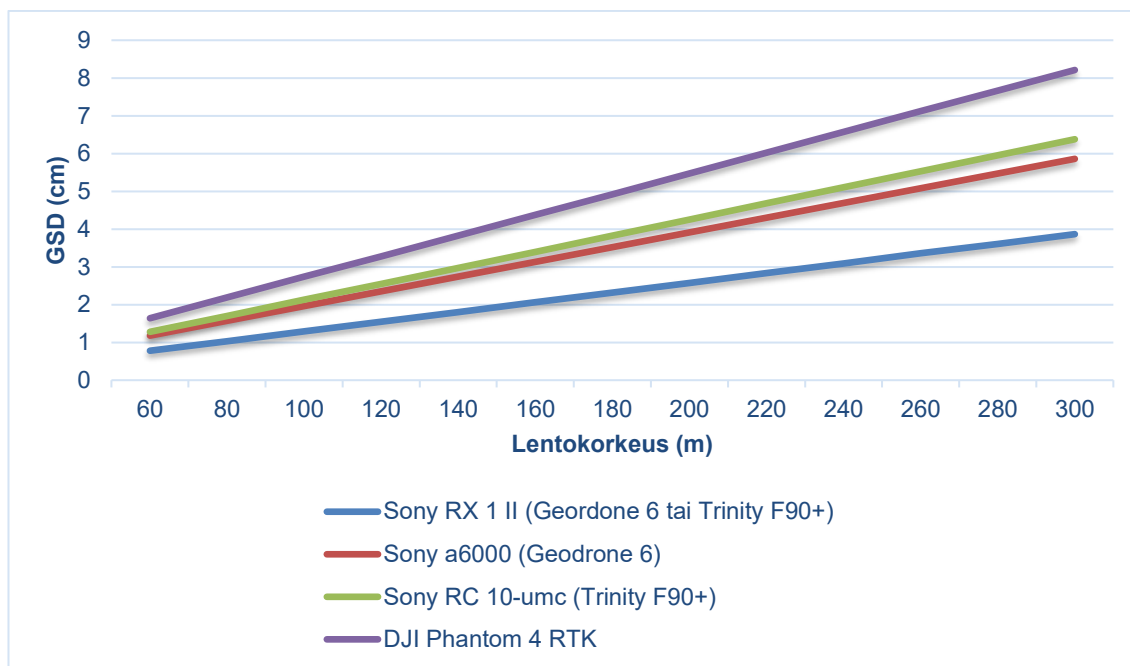
$$GSD_h = \frac{Flight\ Height * Sensor\ Height}{Focal\ Length * Image\ Height}$$

$$GSD_w = \frac{Flight\ Height * Sensor\ Width}{Focal\ Length * Image\ Width}$$

Kuva 19. GSD:n laskentakaavat.

Kuvassa 20 on esitetty lentokorkeuden vaikutus GSD:n suuruuteen neljällä eri kameralla. Phantom 4 RTK:ssa on kiinteäkamera, jota ei voi vaihtaa. Geodrone6:een on valittavissa Sonyn RX 1 II- tai Sony a6000 -kamerat, jotka valmistajan mukaan takaavat

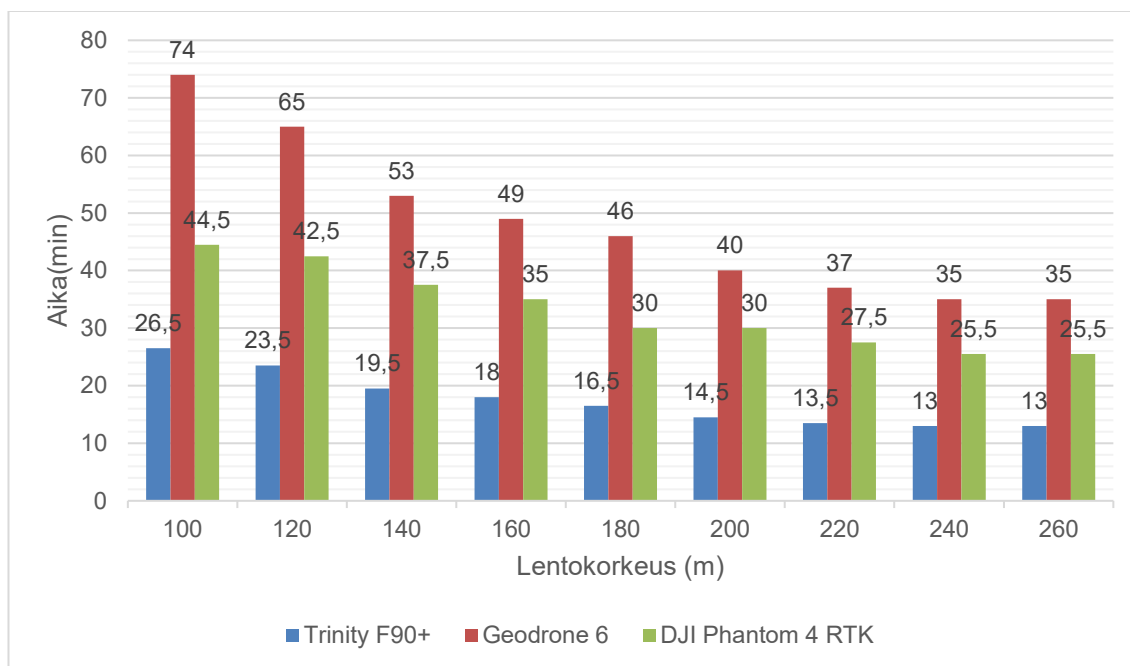
parhaan tuloksen ortokuvauksessa. Trinity F90+:aan valmistaja suosittelee ortokuvauksessa käytettäväksi joko Sony RX 1 II- tai Sony UMC R10C -kameroita.



Kuva 20. Lentokorkeuden vaikutus GSD:n suuruuteen neljällä eri kameralla.

Kuvasta 20 näkyy, että ero parhaan ja huonoimman sensorin GSD:n koossa 60 metrissä on vain noin 0,8 cm. Erot kasvavat lentokorkeuden noustessa ja 200 metrissä lennettäessä ero on noin 3 cm.

6.5 Lentoaikojen vertailu



Kuva 21. 1 km²:n kuvaamiseen teoreettisesti kuluva aika eri lentokorkeuksissa 60 %:n sivupeitolla ja 80 %:n pituuspeitolla.

Kuvassa 21 on esitetty Trinity F90+lla, Geodrone6:lla ja DJI Phantom 4 RTK:lla 1 km²:n ortokuvaukseen kuluva aika 60 %:n sivupeitolla ja 80 %:n pituuspeitolla. Lentoaikojen laskennassa ei ole otettu huomioon nousuihin ja laskuihin kuluva aikaa eikä palaamista kuvauslennon jälkeen lähtöpaikalle. Tässä vertailussa Trinity F90+:ssa ja Geodrone6:ssa kamerana on Sony RX 1 II, jossa on täysikokoinen kenno, joka tuottaa 42MP:n kuvia. DJI Phantom 4 RTK:ssa on vakiokamera, jossa on 1" CMOS-kenno, joka tuottaa 20MP:n kuvia.

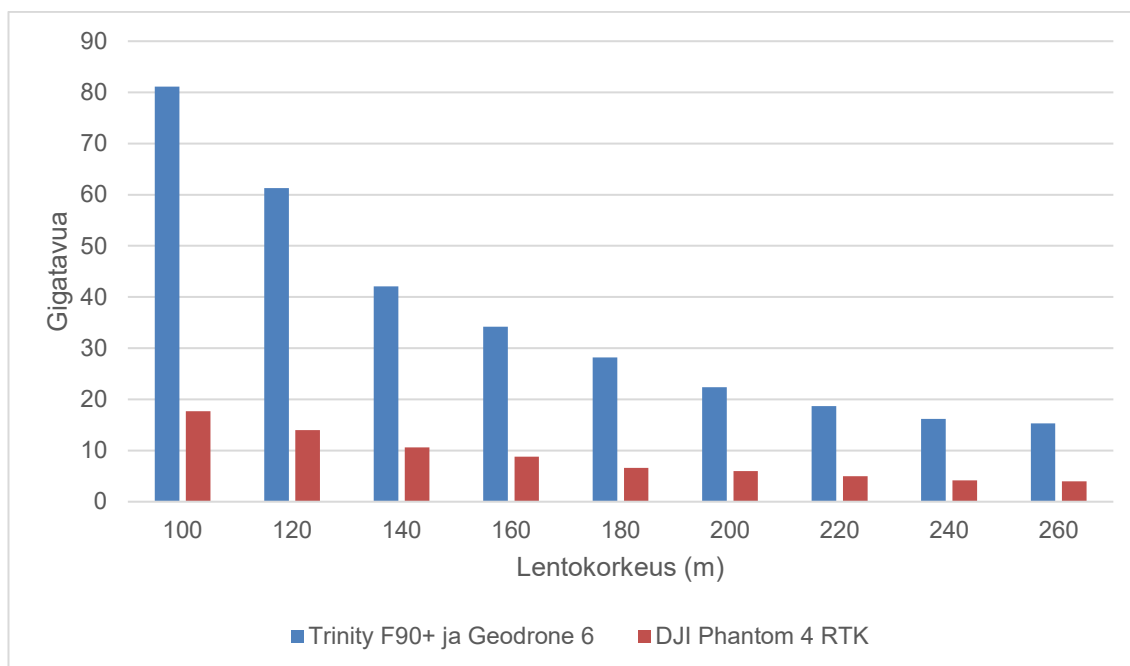
Käytännössä DJI Phantom 4 RTK ei suoriudu näin isosta ortokuvausalueesta yhdellä lennolla, sillä valmistaja ilmoittaa akunkestoksi noin 30 minuuttia. Nousu, lasku ja paluu lähtöpaikalle kestäisi yhteensä 3,5 minuuttia. 240 metrissä lentoaika olisi 25,5 minuuttia + 3,5 minuuttia eli yhteensä 29 minuuttia. Teoreettisesti laskettuna Phantom 4 selviytyisi kuvausalueesta juuri ja juuri, mutta sillä ei käytännössä olisi mahdollista suorittaa turvallisesti näin isoa kuvausta yhden lennon aikana. Akunkestoon vaikuttaa huomattavasti tuuli ja lämpötilaolosuhteet, joten akun varausta ei voi laskea näin tiukasti.

Geodrone6:n tuloksista kuvassa 21 on havaittavissa, kuinka alle 140 metrin korkeudesta suoritettu ortokuvaus kasvattaa lentoaikaa huomattavasti. Kuvasta 20 nähdään, että vaikka lentokorkeus nousisi 100 metristä 140 metriin, se ei ole GSD:n suuruudessa kuin alle 1 cm. Kuvassa 21 nähdään kuitenkin, että tämä lentokorkeuden nosto vähentää lentoaikaa jopa 20 minuutilla. Tämän takia on mietittävä tarkkaan, mihin tarkoitukseen kuvausaineistoa käytetään, jotta vältetään turhalta lentämiseltä ja lentotoiminta on mahdollisimman kustannustehokasta. Geodrone6:n akunkestoksi PPK-moduulilla ja kameralla ilmoitetaan noin 35–40 minuuttia, joten alueen kuvaus olisi mahdollista toteuttaa käytännössä 240 metrin korkeudesta, jolloin akunkesto riittäisi juuri ja juuri. GSD:n suuruus olisi 240 metrin korkeudesta kuvattaessa noin 3 cm.

Trinity F90+ on omaa luokkaansa lentonopeudessa, joten sille 1 km²:n kokoisen alueen ortokuvaus ei tuottaisi ongelmia ja se suoriutuisi tehtävästä noin 15 minuutissa, kun kuvaus tapahtuisi 200 metrin korkeudesta. Myös Trinity F90+:n kohdalla aineiston käyttökohdetta on mietittävä lentoa suunnitellessa, sillä lentokorkeuden nosto 100 metristä 200 metriin pudottaa lentoajan melkein puoleen, mutta GSD huononee vain noin 1,2 cm.

6.6 Datan määrä

Ortokuvausta suunnitellessa on mietittävä, kuinka suurta-alueita ollaan kuvaamassa ja kuinka tarkkaa aineistoa alueelta halutaan tuottaa. Kuvassa 22 on datamäärä 1 km²:n kuvausalueelta 60 %:n sivupeitolla ja 80 %:n pituuspeitolla kuvattuna Trinity F90+:lla, Geodrone6:lla ja DJI Phantom 4-kuvauskopterilla. Kuvasta 22 näkyy, että pudotus datan määrässä on valtava 100:n ja 140 metrin välillä Trinityn ja Geodronen tapauksessa. Datan määrä lähes puolittuu tällä välillä, mutta kuten kuvasta 20 nähdään, ei sillä ole suurta merkitystä GSD:n suuruuteen. GSD:n suuruus nousee vain noin 0,6 cm lentokorkeuden noustessa 100 metristä 140 metriin. Kuvauslentoja suunnitellessa on mietittävä, mihin tarkoitukseen aineistoa käytetään. Onko esimerkiksi tarpeellista kuvata 100 metristä 140 metrin sijaan? Prosessoitavan datan määrä tuplaantuu tällä välillä Geodrone6:lla ja Trinity F90+:lla, joten työmäärä kasvaa ja lentoaika pitenee, eli kustannustehokkuus heikenee.



Kuva 22. Ortokuva-aineiston kokonaiskoko 1 km²:n kuvausalueelta. Trinity F90+:ssa ja Geodrone6:ssa on tähän vertailuun valittu sama kamera Sony RX 1 II, joten niiden datamäärä on sama.

6.7 Miehitämättömän ilma-aluksen ylläpitokustannukset

Droonikaluston käyttöikä on 5–10 vuotta ja kaluston vuosikulut ovat 5–10 % henkilöstökuista. Droonin kalliimpi hankintahinta on kuitattavissa laatua, tuottavuutta tai käytettävyyttä lisäävällä ominaisuudella [16.] Nordic Drones Oy:n droonispecialisti Kullamin mukaan esimerkiksi multikopteri Geodrone6:n perushuoltoon sisältyy moottoreiden vaihto 100 lentotunnin välein ja se maksaa valmistajan suorittamana noin 1 000 euroa [13]. Huolto-ohjelmat ja huoltohinnat vaihtelevat dronevalmistajan mukaan. EU:n uuden drooniasetuksen mukaan avoimessa kategoriassa on noudatettava huolto-ohjelmaa, jos sellainen on käyttöohjeissa kerrottu. Erityisen ja sertifioidun kategorian toiminnassa huollon vaatimuksiin ja sen dokumentointiin vaikuttaa toiminnan riskiluokitus, mutta perusteena on vahvasti näissäkin kategorioissa dronevalmistajan ohjeet ja huolto-ohjelma [19, s. 81]. Kokonaisuudessaan huoltoa koskevan asetuksen tiedot löytyvät JARUS SORA-liitteestä E.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin FTTH-valokuituverkon suunnittelun pohjatiedon keruuseen parhaiten soveltuvaa ilma-alustyyppiä ja sen hyödyntämistä suunnittelun tukena. Miehitettömän ilma-aluksen ortokuvauksominaisuuden havaittiin olleen hyödyllisin ajatellen suunnitteluvaihetta. Työssä vertailtiin kolmea erilaista miehittämätöntä ilma-alusta, jotka olivat ammattikäyttöön suunniteltu multikopteri Geodrone6, VTOL-tyyppinen Trinity F90+ sekä halvemmän hintaluokan multikopteri Phantom 4 RTK. Vertailun osa-alueina olivat lentoaika 1 km²:n ortokuvauksessa, aineiston laatu sekä datan määrä. Ilma-aluksen sensorien tietojen ja lentonopeuksien perusteella tehtiin tarvittavat laskelmat ja luotiin kuvaajat helpottamaan tulosten vertailua. Hyvän akunkeston ja lentonopeutensa ansiosta Trinity F90+ suoriutuisi ortokuvauksesta muita vertailussa olleita ilma-aluksia tehokkaammin. Vertailun tuloksena voidaan todeta, että VTOL-tyyppinen Trinity F90+-ilma-alus on kustannustehokkain vaihtoehto ortokuvaukseen valokuituverkon suunnittelua varten, koska sillä saadaan kuvattua suurin alue lyhimmissä ajassa. Huolto ja tukipalveluja vertaillessa Geodrone6 vie voiton, koska sen huolto ja tukipalvelut ovat Suomessa ja ne ovat näin ollen nopeasti saavutettavissa. Kokonaishintaa vertaillessa Geodrone6 on kallein noin 35 000 euron hinnalla sisältäen PPK-moduulin ja Sonyn RX 1 II-kameran. Trinity F90+:n pakettihinta on 21 350 euroa Sonyn RX 1 II-kameralla. Vertailun halvin oli Phantom 4 RTK, jonka hinta on noin 7 800 euroa. Trinity F90+ on pitkän lentoajan, hinnan, nousu- ja laskeutumisominaisuuksien sekä tarkkojen kuviensa ansiosta kokonaisuutena kahta muuta vertailussa ollutta ilma-alusta kilpailukykyisempi ja kustannustehokkaampi pohjakartan ortokuvaukseen. Työssä jäivät selvittämättä sääolosuhteiden vaikutukset ilma-alusten lentoaikoihin. Jatkotutkimusta voisi tehdä siitä, miten sääolosuhteet vaikuttavat lentoaikoihin erityyppisillä ilma-aluksilla sekä onko niillä vaikutusta aineiston laatuun.

Työn tuloksia hyödynnetään mahdollisesti pohjatietona toimeksiantajan hankkiessa omaa miehittämätöntä ilma-alusta ortokuvaukseen. Työssä kerrotaan myös miehittämättömän ilmailun tämänhetkisestä lainsäädännöstä, joka on murrosvaiheessa, koska uusi EU:n yhtenäinen drooniasetus on tulossa voimaan koko EU:n alueella vuonna 2023. Uuden EU:n drooniasetuksen myötä lentotoimintaa koskevat vaatimukset miehittämättömässä ilmailussa tiukentuvat. Tällä tulee luultavasti olemaan vaikutusta toimijoiden määrään, sillä uudessa asetuksessa on vaatimuksena muun muassa rekisteröityminen ja teoriakokeen suorittaminen.

Lähteet

- 1 Attila, Mitcsenkov; Mirosław, Kantor; Koen, Casier; Bart, Lannoo; Krzysztof, Wajda; Jiajia, Chen & Lena, Wosinska. 2013. Geometric versus Geographic Models for the Estimation of an FTTH Deployment. E-aineisto. <Geometric versus geographic models for the estimation of an FTTH deployment - ProQuest> Luettu 14.12.2020
- 2 Rong, Zhao; Curt, Badstieber; Maia, Bernaerts; Fridtjof, Erbs; Vincent, Garnier; Vitor, Goncalves; Mike, Harrop; Mike, Knott; Jerome, Laferriere; Thomas, Martin; Raf, Meersman; José, Salgado; Dieter, Verdegem; Jonas, Verstuyft; Jiri, Vysloulzil & Jasper, van 't Westende. 2018. FTTH Handbook edition 8. Verkkoaineisto. FTTH Council Europe. <https://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/FTTH%20Handbook_2017_V8_FINAL.pdf> Luettu 20.11.2020.
- 3 Kosamo, Teemu. 2018. Mikrokanava tekniikan hyödyntäminen optisen verkon rakentamisessa. Opinnäytetyö. Lapin Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 4 Hassinen, Alpo. 2016. UAV-lennokit ja -kopterit: Kokemuksia UAV- ja RPAS-Laitteista. E-kirja. Joensuu. Itä-Suomen Yliopisto.
- 5 KMTK – Kuntien tuotantoprosessit: Selvitys RPAS-menetelmistä. 10.1.2018. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2020/02/KMTK_kuntapro_Selvitys_RPAS_menetelmista_v2.pdf> Luettu 26.1.2021
- 6 Types of Drones – Explore the Different Models of UAV's. Verkkoaineisto. <<https://www.circuitstoday.com/types-of-drones>>. Luettu 26.1.2021
- 7 DJI-Phantom-4. Verkkoaineisto. Digitarvike. < <https://www.digitarvike.fi/product/111073/dji-phantom-4-rtk>>. Luettu 8.4.2021.
- 8 Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun. 2020.TRAFICOM/42450/03.04.00.00/2020.
- 9 Eu:n dronesäännöt. 2021. Verkkoaineisto. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. <<https://www.droneinfo.fi/fi/eun-dronesaannot?toggle=Erilaisia%20laitteita%20koskevat%20siirtym%C3%A4ajat&toggle=Erilaisia%20operaattoreita%20ja%20kauko-ohjaajia%20koskevat%20siirtym%C3%A4ajat>> Luettu 18.1.2021
- 10 Honkavaara, Eila; Hakala, Teemu & Nevalainen, Olli. 2018. Ilma-alus kohteen mukaan. Positio-lehti. 1/2018, s. 9.

- 11 Geotrimin 3D-uutuuksia. 2020. Verkkoaineisto. Konepörssi. <<https://koneporssi.com/tyokoneet-2/geotrimin-3d-uutuuksia/>> 14.9.2020. Luettu 9.3.2021.
- 12 UAS-kartoitus. 2021. Verkkoaineisto. Geotrim Oy. < <https://geotrim.fi/tuotteet/uas/> > Luettu 12.2.2021
- 13 Kullam, Kaido. 2021. Dronespesialisti, Nordic Drones Oy, Muurame. Puhelinkeskustelu 15.2.2021.
- 14 Drooniopas kaupungeille. 2019. Verkkoaineisto. Robots expert Finland Oy. <<https://www.ril.fi/media/2020/jasenyys/tietoiskut/200323-drooniopas-kaupungeille-v2.pdf>>. Luettu 19.2.2021.
- 15 PPK. 2018. Verkkoaineisto. VideoDrone Finland Oy. <<https://geotrim.sharepoint.com/:b:/s/markkinointiaineistot/EQfqSGi2IZRIly5y-l-S8q8BP7ekGWxHcjUHbmadYcFtAg?e=gOz3r4>>. 2.2.2018. Luettu 21.2.2021.
- 16 Mäenpää, Sakari. 2018. Laitetekniset vaatimukset ammattimaiselle dronetoiminnalle. Verkkoaineisto. Geotrim Oy. <<https://docplayer.fi/109846710-Laitetekniset-vaatimukset-ammattimaiselle-dronetoiminnalle-sakari-maenpaa.html>>. Luettu 20.2.2021
- 17 Propeller Aeropoints. 2021. Verkkoaineisto. Geotrim Oy. <<https://geotrim.fi/tuotteet/uas/propeller/>>. Luettu 22.2.2021.
- 18 Rekisteröityminen ja teoriakoe. 2021. 16.3.2021. Verkkoaineisto. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. <<https://www.droneinfo.fi/fi/rekisteroityminen-ja-teoriakoe>> Luettu 16.3.2021.
- 19 Regulation (EU) 2019/947. 2019. Verkkoaineisto. EASA. <<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/AMC%20%26%20GM%20to%20Commission%20Implementing%20Regulation%20%28EU%29%202019-947%20%E2%80%94%20Issue%201.pdf>> 9.10.2019. Luettu 24.2.2021.
- 20 Vihavainen, Eero. 2021. Myynti-insinööri, Geotrim Oy. Puhelinkeskustelu 23.2.2021.
- 21 How ground sample distance (GSD) relates to accuracy and drone ROI. 2019. Verkkoaineisto. Wingtra. <<https://wingtra.com/how-ground-sample-distance-gsd-relates-to-accuracy-and-drone-roi/>>. 4.9.2019. Luettu 24.2.2021.
- 22 Tuotetiedot. 2021. Verkkoaineisto. Nordic Drones Oy. <<https://nordicdrones.fi/tuotteet/tuotetiedot/>> Luettu 8.3.2021

- 23 Phantom 4 RTK Specs. 2021. Verkkoaineisto. DJI. <<https://www.dji.com/fi/phantom-4-rtk/info>> Luettu 9.3.2021.
- 24 What is Ground Sample Distance (GSD) and How Does it Affect Your Drone Data? 2018. Verkkoaineisto. Medium. <https://medium.com/@propeller_aero/what-is-ground-sample-distance-gsd-and-how-does-it-affect-your-drone-data-656f511ef8c1> 28.2.2018. Luettu 9.3.2021
- 25 Discover. 2020. Verkkoaineisto. Quantum-Systems. <<https://www.quantum-systems.com/download/31671/>> Luettu 9.3.2021.
- 26 Trinity F90+. 2021. Verkkoaineisto. Quantum-Systems. <<https://www.quantum-systems.com/download/220494/>> Luettu 9.3.2021