



# **Droonitekniikan hyödyntäminen tiedustelussa**

Tommi Hyötyläinen

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2023

Rakennustekniikka  
Infrastruktuuri

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka  
Infrarakentaminen

HYÖTYLÄINEN, TOMMI:  
Droonitekniikan hyödyntäminen tiesuunnittelussa

Opinnäytetyö 39 sivua  
Huhtikuu 2023

---

Tiesuunnittelussa laadukkaat lähtötietoaineistot ovat suunnittelun pohja. Viimeisen vuosikymmenen aikana infra-alan normiksi muodostuneet mallipohjaiset hankkeet korostavat laadukkaiden lähtötietojen tarvetta. Lähtötietoja voidaan hankkia monella tapaa, ja niistä yksinä uusimpina yleistyneinä työkaluina on droonit. Droonien nopea kehitys ja helppokäyttöisyys ovat luoneet paikallisen lentotyön kilpailukykyiseksi tavaksi kerätä suunniteltavan alueen tiedot. Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli A-Insinöörit Civil Oy, heidän haluttuaan selvittää, kuinka drooneja voitaisiin tiesuunnittelussa hyödyntää.

Opinnäytetyössä on perehdytty droonien lennätykseen ja niillä materiaalin tuottoon sekä näiden materiaalien hyödyntämiseen. Tutkintamenetelminä on käytetty kirjallisuusselvityksiä, asiantuntijahaastatteluita sekä drooneilla tuotettuihin materiaaleihin perehtymistä. Asiantuntijahaastatteluissa on kysytty suunnittelijoilta heidän kokemuksiaan materiaaleista sekä millaisissa kohteissa he näkisivät droonien käytön hyödylliseksi.

Selvityksen perusteella voidaan todeta, että drooneilla saadaan tuotettua erilaisia tiesuunnittelua hyödyntäviä materiaaleja, joissa tiedon määrä on valtava. Lähtötiedon hankinnassa drooneilla on kuitenkin vahvuuksiensa lisäksi heikkoutensa, ja ne eivät ainakaan toistaiseksi syrjäytä muita keinoja.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction engineering  
Civil Engineering

HYÖTYLÄINEN, TOMMI:  
Utilizing Drone Technology in Road Planning

Bachelor's thesis 39 pages  
April 2023

---

As model-based road design projects have become the norm in the infrastructure sector, the need for high quality source data has become even more important. There are many ways to obtain source data, and recently drones have gained popularity for gathering this information.

The purpose of this thesis was to study how drones can be used in different ways in road design, and for which types of projects they should be used. This study was made as a development project for A-Insinöörit Civil Oy.

This work involved examining drone flight rules, studying different sources and interviewing professionals. The information from these studies and research has been combined to give the reader a basic overview of the possibilities that drones can offer.

The results of the study indicate that drones can be used to obtain different forms of source data, providing massive amounts of information. They have their strengths, but they are not a replacement for more conventional methods, at least not yet.

---

Key words: drone, road planning, source data

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	Droonit .....	8
2.1	Laitteisto .....	8
2.1.1	DJI-Mavic 3 .....	9
2.1.2	DJI-Matrice 300 RTK .....	10
3	Lennätys .....	11
3.1	Lainsäädäntö .....	11
3.1.1	Avoin kategoria .....	13
3.1.2	Eriytynen kategoria .....	13
3.1.3	Ammattikäyttö .....	14
3.2	Turvallisuus .....	14
3.3	Ennen lennätystä .....	15
3.4	Lennätys .....	16
4	Materiaali .....	17
4.1	Fotogrammetria .....	17
4.2	Maastomalli .....	18
4.3	Kuorimalli .....	19
4.4	Videot ja valokuvat .....	20
4.5	Ortomosaiikki .....	20
5	Haastattelut .....	22
5.1	Droonimateriaaleja hyödyntäneet suunnittelijat .....	22
5.2	Suunnittelijat, jotka eivät ole vielä hyödyntänyt droonimateriaaleja .....	25
6	Materiaalin hyödyntäminen .....	26
6.1	Lisäarvo suunnittelutyöhön .....	26
6.1.1	Maastomallit .....	26
6.1.2	Ortokuvat .....	27
6.1.3	Työturvallisuus .....	29
6.1.4	Esittelymallit .....	29
6.1.5	Kustannuslaskenta .....	29
6.1.6	Kohteiden tunnistus konenäöllä .....	30
6.1.7	St-hankkeet .....	30
6.2	Ongelmakohdat .....	31
6.2.1	Suuret tiedostokoot .....	31
6.2.2	Materiaalin laatu .....	31
6.2.3	Lennätyksen esteet .....	32

7	Kustannukset .....	34
7.1	Laitteiston hintataso .....	34
8	Pohdinta.....	36
	LÄHTEET .....	38

**LYHENTEET JA TERMIT**

GCP	Ground control point, maatahys
RTK	Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus
GNSS	Global navigation satellite system, satelliittipaikannus
UAV	Unmanned Aerial Vehicle, miehittämätön ilma-alus
UAS	Unmanned Aircraft System, miehittämätön ilma-alusjärjestelmä
NOTAM	Notice to Airmen, tiedoituksia ilmailijoille
St-hanke	Suunnittele ja toteuta- hankemalli. Rakentaminen tapahtuu suunnittelun kanssa samanaikaisesti.

## 1 JOHDANTO

Droonit ovat viime vuosina kasvattaneet suosiotaan monilla eri aloilla, erityisesti kuva- ja 3D-materiaalien tuotannossa. Tiesuunnittelussa käytetään suunnittelun pohjana maastosta kerättyjä lähtötietoaineistoja ja yleistyneiden 3D-mallipohjaisten hankkeiden myötä laadukkaiden lähtötietojen tarve korostuu. Drooneilla ilma-kuvaus on yleistynyt tapa tuottaa ajantasaista materiaalia suunnittelualueesta ja tämän johdosta A-Insinöörit Civil Oy toimeksiantoi selvityksen droonien tuomista mahdollisuuksista tiesuunnittelussa.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena perehtyä siihen, millaisia drooneilla hankittuja aineistoja voidaan hyödyntää tiesuunnittelussa, millaista lisäarvoa ne tuovat suunnitteluun ja missä kohteissa niiden käyttöä kannattaa hyödyntää. Työn teoriaosuudessa käsitellään lyhyesti droonilaitteistoja, lainsäädäntöä, lennätyksen edellytyksiä, lennätyksen toteutusta sekä millaisia materiaaleja on ilmasta käsin mahdollista tuottaa. Tutkimusosuudessa on haastateltu suunnittelijoita drooneilla tuotettujen materiaalien käytöstä ja mahdollisuuksista. Haastatteluihin osallistui suunnittelijoita, joille aihe on jo tuttu, sekä suunnittelijoita, joilla ei ole vielä kokemusta kyseisistä materiaaleista ja niiden käytöstä. Tämän jälkeen käsitellään hyödynnettäviä kohteita, suunnitteluun saatavaa arvoa sekä droonitekniikan ongelmakohtia. Opinnäytetyön lukija saa peruspiirteisen käsityksen, kuinka materiaalia tuotetaan drooneilla ja miten sitä voidaan hyödyntää tiesuunnittelussa.

## 2 Droonit

Droonit ovat kauko-ohjattavia miehittämättömiä ilma-alusjärjestelmiä (eng. UAS, Unmanned Aircraft system). Puhekielessä käytetään myös paljon sanaa drone, mutta tässä opinnäytetyössä käytetään sen oikeaa suomalaista nimitystä drooni. Drooneihin voidaan asentaa erilaisia lisävarusteita, jotka tuovat ammattikäytöllisiä mahdollisuuksia monille eri aloille. Tiesuunnittelun lähtötietoja hankittaessa kartoitetaan suunnittelualueen maastoa, jolloin tärkeimpinä varusteina toimivat kamera sekä laserkeilain.

Droonien käyttö suunnitteluaineiston hankkimiseen on yleistynyt tekniikan ja tietotaidon kehittyttyä. Laitteiden kamerat ja laserkeilaimet ovat tarkkoja ja tiesuunnittelussa suunnitteluaineistoa ovat pääasiassa lähtötietoaineistot kuvien ja maastomallien muodossa, ja droonit tuovat mahdollisuuden tuottaa tehokkaasti näitä aineistoja. Ilmakuvausta on harjoitettu jo kauan, mutta drooneilla voi tehdä paikalliseen kartoituksen kustannustehokkaammin.

Lennätettävien aluksien etuina on niiden ulottuvuus, sillä niillä mahdollistetaan kuvaus paikoissa, joissa se olisi joko vaarallista tai muuten hankalaa. Kuvamalla ilmasta käsin saa laajan ja ajantasaisen näkymän alueesta.

### 2.1 Laitteisto

Droonilaitteiston kirjo on kattava ja laitteita löytyy eri kokoluokista aina kymmenistä grammoista satoihin kiloihin. Tyypilliset ammattikäytön laitteistot ovat avoimen kategorian A1-A3-luokan vaatimusten mukaisia. Suosituimmaksi laitevalmistajaksi on noussut Kiinalainen DJI, ja tässä työssä esitellään tämän valmistajan kaksi eri käyttötarkoitukseen soveltuvaa laitetta.



### 2.1.1 DJI-Mavic 3

Mavic 3 on DJI:n kevyt drooni (kuva 1), joka soveltuu avoimen kategorian A1-luokan lennätykseen, joka käytännössä tarkoittaa lennätyksessä sallittavan pienempiä turvaetäisyyksiä ja yksittäisten ihmisten ylilennon. Kompaktikokoinen laite on myös helppo ottaa mukaan maastoon. Laitteen varusteina on mm. kamera, ohjattava gimbal, GPS ja optiset sensorit. Optiset sensorit tunnistavat läheisiä kohteita ja estää droonia törmäämästä esteisiin. Laitteen ominaisuuksina myös

- hinta noin 2000 €
- paino 895 g
- akulla lentoaika jopa 46 minuuttia
- 20mp 5.1k resoluution kamera
- operointilämpötila -10° – 40° C (DJI, 2023b)



Kuva 1. DJI-Mavic 3 drooni (DJI 2023a).

### 2.1.2 DJI-Matrice 300 RTK

Matrice-300 RTK on DJI:n raskaampi A3-luokan lennätukseen soveltuva drooni (kuva 2), johon saa kiinnitettyä erilaisia lisävarusteita. Lisävarusteiksi saa esimerkiksi kameran, lämpökameran tai laserkeilaimen. Laitteessa on optiset sensorit sekä GPS:n lisäksi sisäänrakennettu RTK-moduuli, jonka avulla droonin sijaintitiedot voidaan paikantaa senttimetrien tarkkuudella. Laite on IP45 luokiteltu, eli se on sateenkestävä. Laitteen ominaisuuksina myös

- hinta noin 14 000 € ilman lisävarusteita
- paino kahdella akulla 6,3 kg
- enimmäis- hyötykuorma 2,7 kg
- akulla lentoaika noin 30–55 minuuttia, riippuen hyötykuormasta
- opeointilämpötila -20° – 50° C (DJI, 2023b)



Kuva 2. DJI-Matrice 300 RTK -drooni kameralla varustettuna (DJI, 2023b).

### 3 Lennätys

#### 3.1 Lainsäädäntö

Suomessa lennokkitoiminta (ml. droonit) on ollut kansallisen lennokkimääräyksen alaisena, mutta 1.1.2023 alkaen se noudattaa EU:n asetuksia ja vaatimuksia. Asetus vaatii kaikkia yli 250 g painoisia tai kamerallisia drooneja käyttäviä rekisteröitymään drone-operaattoriksi, perehtymään lennätykseen sekä suorittamaan teoriakokeen. Teoriakokeen suorittamisesta saa henkilökohtaisen pätevyystodistuksen (Kuva 3). Drooneja itsessään ei tarvitse rekisteröidä, mutta lennättäjän tulee olla rekisteröitynä lennätettävän laitteen luokalle ja drone-operaattorin rekisteritunnus tulee olla merkittynä käytettävään drooniin (Droneinfo, 2023).



Kuva 3. A1/A3 luokan pätevyystodistus.

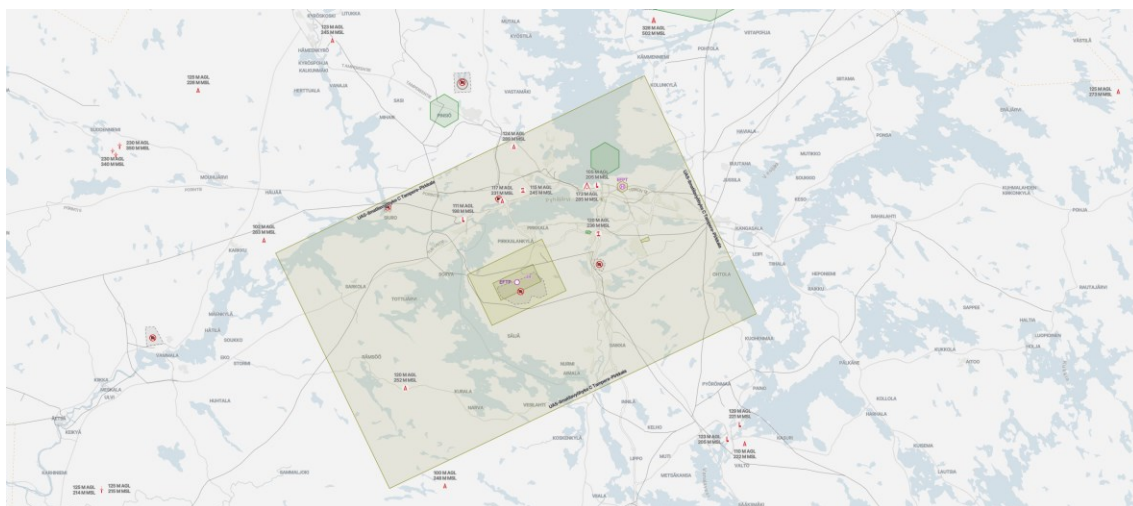
Drooneja ei saa lennättää missä tahansa turvallisuuden parantamiseksi ja väärinkäytön estämiseksi. Lennättämiseen on määräysten lisäksi rajoittavia ja kielteviä ilmatilavyöhykkeitä;

- R-alue (eng. restricted area), rajoitusalueet, jotka suojaavat puolustusvoimien toimintaa.
- P-alueet (eng. prohibited area), ilmailulta kielletyt alueet, jotka suojaavat valtion tai teollisuuden tärkeitä alueita.

- aluevalvontalain mukaiset ilmakehuvauskieltoalueet
- rajoittavat UAS-ilmatilavyöhykkeet, jotka suojaavat lentokenttiä tai esimerkiksi satamia ja vankiloita (Droneinfo, 2023)

Aviamaps on digitaalinen ilmailukartta, josta löytyy droonien lennättämiseen aluekohtaista tietoa. Kartalta löytyy esimerkiksi kieltävät ja rajoittavat ilmatilavyöhykkeet, laitteiden lennätysilmoitukset sekä mahdolliset ilmatilan esteet kuten tuulivoimalat ja radiomastot. Kieltävillä alueilla on lentokielto ilman erillistä toimintalupaa. Rajoitus UAS-ilmatilavyöhykkeellä voi tarkoittaa tavallista matalampaa lentokorkeutta, tai kokonaan lentokieltoa ilman erillistä lupaa. Luvan lennättämiselle rajoitetuilla tai kielletyillä alueilla myöntää lähtökohtaisesti alueen haltija (Tammi, 2022).

Kuvassa (Kuva 4) Pirkkalan lentoaseman ympärillä oleva UAS-ilmatilavyöhyke. Suurin kenttää ympäröivä suorakulmio on UAS-ilmatilavyöhyke C, jonka alueella lennättämiseen yli 50 m korkeudessa tarvitaan ilmaliikennepalvelujen tarjoajan lupa (Aviamaps, 2023).



Kuva 4. Kuvakaappaus Aviamapsista.

Droonien lainsäädäntö on opinnäytetyön tekohetkellä EU-droneasetuksen siirtymäkaudella. Työssä on käytetty 1.1.2023 voimaan tulleita asetuksia, jotka osittain muuttuvat 1.1.2024. Suurimpina muutoksina on avoimen kategorian A2-luokan painorajan muuttuminen 2 kg:sta 4 kg:aan, sekä kaikkiin avoimen kategorian laitteisiin tulee vaatimus CE-merkinnästä ja laitteet kategorisoidaan luokkiin C0-C6 (Droneinfo, 2023).

### 3.1.1 Avoin kategoria

Avoin kategoria on yleisin droonien ja lennokkien lennätyksen toimintaluokka. Droonin lennätykseen ei tarvita erillistä toimintalupaa avoimen kategorian vaatimuksien täyttyessä. Kaikki lennätykset pyritään soveltamaan avoimen kategorian vaatimukseen aina sen ollessa mahdollista.

Avoimen kategorian toiminnassa tulee täyttyä seuraavat yleiset vaatimukset:

- suurin sallittu lennätyskorkeus 120 metriä maan tai veden pinnasta
- toiminnan on perustuttava suoraan näköyhteyteen (VLOS)
- suurin sallittu lentoonlähtömassa on 25 kg
- vaarallisten aineiden kuljettaminen ja esineiden pudottaminen kielletty
- miehittämätön ilma-alus on pidettävä turvallisen välimatkan päässä ihmisistä eikä sitä lennätetä ihmisjoukkojen yläpuolella
- toiminnassa on huomioitava ilmailun kielto-, rajoitus- ja vaara-alueet sekä UAS-ilmatilavyöhykkeet (Droneinfo, 2023)

Avoin kategoria jakaantuu vielä kolmeen alakategoriaan, A1-A3. Alakategorioilla on omat säännöt, reunaehdot sekä rajoitukset. Kategorioiden pääpiirteet ovat

- A1 alakategoriassa droonin maksimipaino 900g
- A2 alakategoriassa droonin maksimipaino 2 kg (1.1.2024 alkaen 4 kg) ja kauko-ohjaajalla täytyy olla A2-lisäteoriakoe suoritettuna, sekä omatoimista käytännön koulutusta
- A3 alakategoriassa droonin maksimipaino 25 kg, mutta lennätykset on suoritettava vähintään 150m vaakasuoralla etäisyydellä asuin-, liike-, teollisuus- tai virkistysalueilta (Droneinfo, 2023)

### 3.1.2 Erityinen kategoria

Erityiseen kategoriaan kuuluu kaikki lennätys, joka ei täytä avoimen kategorian ehtoja. Erityisen kategorian toiminta on aina luvanvaraista, oli se sitten yritys- tai harrastetoimintaa. Lennätyksestä täytyy tehdä riskiarvio, jonka perusteella voi erityisen kategorian lentolupaa hakea. Toimintalupahakemus täytyy jättää riskiarviotyypin mukaan vähintään 3 tai 5 kuukautta ennen suunnitellun toiminnan aloittamista. (Droneinfo, 2023).

### 3.1.3 Ammattikäyttö

Droonien ammatti- ja harrastelennätys noudattaa molemmat lähes samoja lakeja ja sääntöjä. Ammatillisessa käytössä poikkeuksena on päiväkirja ja vastuuvakuutus. Lennoista täytyy pitää päiväkirjaa, jota tulee säilyttää vähintään 2 vuotta. Vastuuvakuutus kolmannen osapuolen vahinkoja kohtaan vaaditaan yli 20 kg painoisilla laitteilla lennettäessä, mutta sitä suositellaan myös muille sitä kevyemmille avoimen kategorian laitteille (Droneinfo, 2023).

### 3.2 Turvallisuus

Droonit ovat korkealla ilmassa lennätettäviä aluksia, joiden putoamis- ja törmäysriskin vuoksi niiden käytössä on noudatettava erityistä turvallisuutta. Tärkeimpänä turvallisuuteen liittyy turvallisen lentopaikan ja -reitin valinta, sekä ohjaajan tilannetietoisuus lennon aikana. Ohjaajan on ymmärrettävä mitä ympäristössä tapahtuu lennon aikana ja mitkä asiat voivat lentoon vaikuttaa. Esimerkiksi muuttuvat sääolosuhteet tai toiset ilma-alukset voivat aiheuttaa droonin putoamis- tai törmäysriskin. Kauko-ohjaajan tulee olla keskittynyt lentoon ja hyvin levännyt, sekä hänen täytyy pystyä pitämään näköyhteys lennätettävään alukseen koko lennon ajan. Droonilla ei saa kuljettaa mitään lennon aikana tiputettavaa kuormaa (Tammi, 2022).

Droonin aiheuttamista vahingoista on vastuussa aina sen ohjaaja sekä ammatti-toiminnassa myös lennättävä yritys. Ilmailu on ankaran vastuun alaista toimintaa, joka tarkoittaa, että aiheutetuilla vahingoilla on rajaton vahingonkorvausvastuu. Suomessa avoimen luokan lennätyksillä sovelletaan yleistä vahingonkorvauslakia. Vastuuvakuutus vaaditaan vain yli 20 kg painoisilla laitteilla, mutta suositellaan myös avoimen luokan laitteilla (Tammi, 2022).

Vahinko- sekä läheltä piti tilanteissa olisi suotavaa tehdä lentoturvallisuusilmoitus Traficomille. Se ei ole pakollista, eikä se aiheuta sanktioita lennättäjälle (Droneinfo, 2023).

### 3.3 Ennen lennätystä

Ennen lennätystä tulee varmistaa alueen NOTAM lentotiedotteet (Fintraffic, 2023). NOTAM on sähköinen julkaisu, jossa tiedotetaan ilmatilassa ja lentopaikoilla tapahtuvista tilanteista ja ilmaliikennepalveluiden (ATS, air traffic service) toiminta-ajoista. Tiedotteessa varoitetaan myös riskeistä, jotka voi vaikuttaa ilmailijoiden lentoreitteihin. (Droneinfo, 2023)

Droonin ohjaus tapahtuu ammattikäytössä pääsääntöisesti lentosovelluksen automaatiolla. Automaatiolla suoritettu lennonohjaus poistaa virheiden mahdollisuuksia ja nopeuttaa alueella tehtävää lentotyötä.

Lentoalueelle tulee tehdä turvallisuusarviointi. Alue tarkastetaan varottavista tai häiriötä aiheuttavista kohteista. Häiriötä signaaliin voi aiheuttaa sähkölinjat, antennit, metalliset rakennelmat tai kiiltävät pinnat. Sääolosuhteet tulee ottaa huomioon ja liian sateisella, tuulisella, pimeällä tai kylmällä säällä lennätyksen ajan-kohtaa täytyy muuttaa. Huonolla säällä lennätyksessä vaarojen lisäksi myös tuotettavan materiaalin laatu heikkenee. Varmistetaan ettei lentoalueella ole ulkopuolisia ihmisiä.

Kaluston tarkistuslista;

- propellien ja muiden osien kunto
- radio-ohjain
- älypuhelin tai tabletti, jolla lentosovellusta käytetään
- lentosovelluksen toiminta
- akun varaus
- satelliittipaikannuksen ja kompassin toimivuus
- kamera

Varotoimet käydään läpi ennen lentoa lähtöä;

- asetetaan dronelle RTH (Return to home)-toiminto
- varmistetaan tarvittaessa aputähystäjän rooli
- pidetään puhelin lähettyvillä hätätilanteita varten

Ennen ilmaannousua tehdään lennätyksestä aina ilmoitus Aviamapsiin.  
(Droneinfo, 2023)

Kartoitustyötä tehdessä maahan asetetaan ja mitataan kontrollipisteitä (eng. GCP, ground control point). Kontrollipisteet ovat muusta maastosta erottuvia maahan asetettavia pisteitä, joiden sijainnit mitataan x-, y-, ja z-koordinaatistolla. Kartoitus georeferoidaan, eli kytketään koordinaatistoon näiden sijaintimittauksien avulla. Pisteitä tulee olla kartoitettavalla alueella alueen luonteeseen tarpeeksi, eli esimerkiksi epätasaiseen maastoon tarvitsee enemmän pisteitä kuin tasaiselle. Pisteet mitataan tyypillisesti rtk-mittauslaitteella, jonka tarkkuus on riittävä georeferointiin. Rtk-mittauksella pisteiden tarkkuus on pystysuunnassa noin  $\pm 2\text{cm}$  ja vaakasuunnassa noin  $\pm 1\text{cm}$ . (Tammi, 2022)

### 3.4 Lennätys

Drooniin on pidettävä näköyhteys koko lennätyksen ajan. Vaikka laitteen ohjaaminen tapahtuisi automaatiolla, on ohjaaja silti vastuussa droonista ja turvallisuudesta. Autot ja muut kulkuvälineet rinnastetaan ulkopuolisiksi ihmisiksi, joten liikenteen kohdalla noudatetaan samaa turvaväliä kuin jalankulkijoiden. Tien yli voi tulkinnan varaisesti droonia lennättää liikenteen ollessa vähäistä, mutta kaikki lennätys tulee kuitenkin suorittaa häiritsemättä muuta liikennettä. (Tammi, 2022)

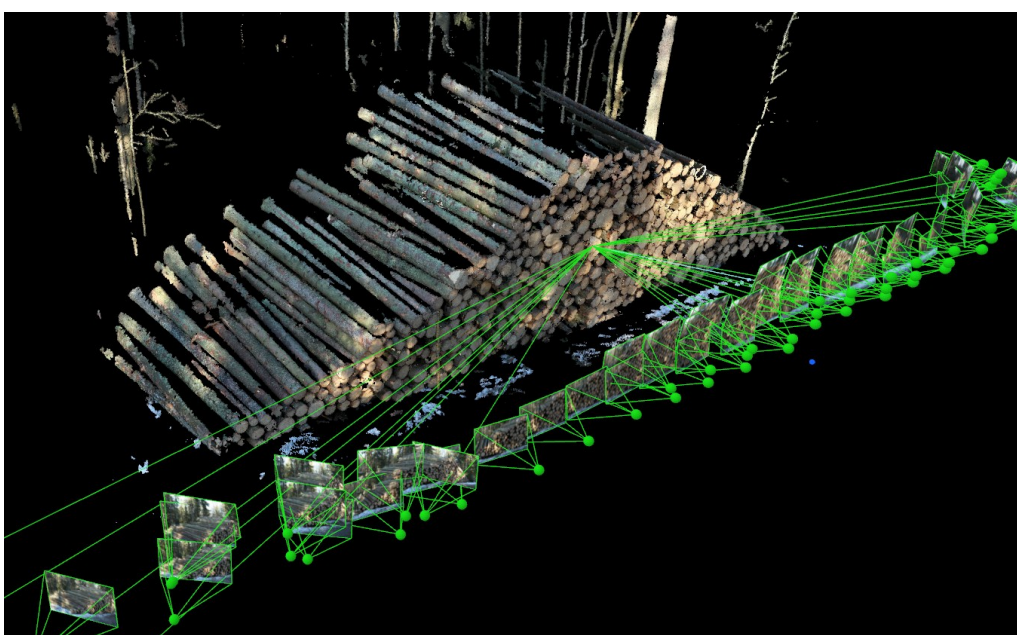
Ohjaajan täytyy olla tietoinen, jos lentoalueelle tulee ulkopuolisia henkilöitä. Ulkopuolisten ei koskaan tarvitse kantaa vastuuta droonin alla olemisesta. Jos ihmisiä tulee lennätyksen aikana droonin alle, ohjaajan tehtävä on siirtää drooni kauemmaksi tai keskeyttää lento. Ihmisiin pidettävät turvaetäisyydet riippuu droonin painosta ja lennätyksen kategoriasta. (Droneinfo, 2023)



## 4 Materiaali

### 4.1 Fotogrammetria

Fotogrammetria on tapa tuottaa valokuvista 3D-aineistoa ilman laserkeilainta. Valokuvia otetaan eri suunnista kartoitettavaa kohdetta, joista ohjelmisto laskee eri kuvien päällekkäisyyksien yhtenäisyyksistä pisteitä. Pisteille tulee x-, y- ja z-sijainnit ja tuhansista pisteistä syntyy pistepilveksi kutsuttu 3D-aineisto (Varho, 2021). Kuvassa 5 on havainnollistettu fotogrammetrisen pistepilven syntymistä Pix4Dmapper ohjelmistossa.



Kuva 5. Fotogrammetrisesti tuotettu pistepilvi, kuvakaappaus Pix4Dmapper -ohjelmasta.

Mallin tarkkuuden kannalta on tärkeää, että GCP pisteitä on riittävästi ja niiden sijainnit on mitattu tarkasti. Jokaisen kontrollipisteen tulee näkyä useammassa kuvassa sekä erottua selkeästi maastosta. Pisteiden avulla ohjelmisto laskee kuvien koon, muodon ja sijainnin. (Hölttä, 2019)

Fotogrammetrisesti tuotetut pistepilvet ovat pistetiheitä sekä raskaita tiedostoja, joilla ei sellaisenaan ole juuri käytännön arvoa. Tiedostoja harvennetaan poistamalla esimerkiksi turhia pisteitä tasaisilta alueilta, sekä laskentavirheen aiheuttamia hajapisteitä. Pistepilviaineistoa voidaan jalostaa eri tarkoituksiin, joista

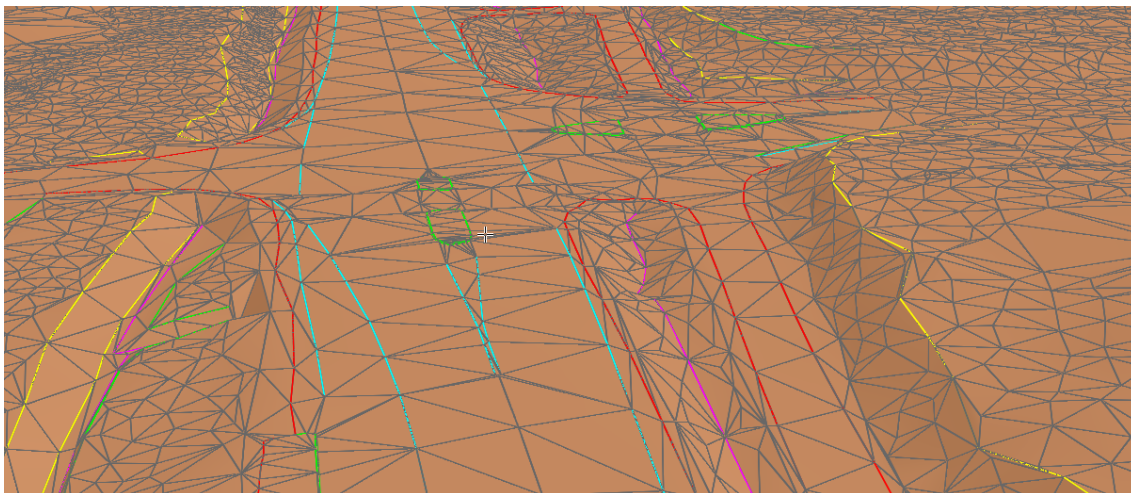
suunnittelun kannalta tärkeimpänä on maanpinnan kolmioverkkomalli. Pisteiden määrän ja mallin tarkkuuden tulisi olla käyttötarkoitukselle sopiva. Turhat ylimönnit tarkkuudella tekevät tiedostosta raskaamman ja käyttämisestä hitaampaa.

## 4.2 Maastomalli

Maastomalli on taiteviivoista ja pisteistä muodostettu maanpintaa ja rakenteita kuvaava aineisto, jota käytetään tiesuunnittelussa lähtötietona (kuva 6). Maastomalli luodaan maanpinnasta mitatuista pisteistä, pääsääntöisesti laserkeilattusta pistepilviaineistosta ja takymetrillä maastomitatuista taiteviivoista. Pistepilviaineistosta poistetaan hajapisteet ja maanpinnan yläpuoliset kasvillisuudet, sekä aineistoa harvennetaan Väyläviraston ohjeiden mukaisesti. Takymetrillä täydennetään epävarmoja sekä tarkkuutta vaativia kohtia. Käsitelty aineisto kolmioidaan ja siitä saadaan yhtenäinen maanpinnan kolmioverkko. Pintamallia ei tule sekoittaa maastomalliksi, pintamallilla kuvataan alueen korkeinta pintaa, jossa esimerkiksi puut, kasvillisuus ja rakennelmat ovat mukana, mitkä maastomallista leikataan pois (Kopposela, 2012).

Maastomallin tulee täyttää Väyläviraston ja Ely-keskuksen alaisissa hankkeissa Väyläviraston ohjeiden mukaiset vaatimukset. Väyläviraston (ent. Liikennevirasto) ohjeessa 18/2017 sanotaan, että;

- 1- ja 2-pinnalla ei ole toisiaan leikkaavia taiteviivoja
- koodi-pintatunnus yhdistelmät vastaavat toisiaan
- käytetyt koodit ovat koodilistauksen mukaisia
- aineistossa ei ole karkeita virheitä (esim. 0-korkeudet ja negatiiviset korkeudet)
- taiteviivoissa ei ole yli 10 m:n pistevälejä yli sallitun määrän aineiston kolmiointi onnistuu, eikä kolmiointiin jää reikiä käytettäessä max. 20 metrin kolmionsivua (Liikennevirasto, 2017b)



Kuva 6. Maantien liittymän tulkittu maastomalli Tekla Civil:n 3d-näkymässä.

### 4.3 Kuorimalli

Kuorimalli on kolmiulotteinen mallinnus pistepilvestä, jossa pinnoista on muodostettu yhtenäinen ”kuori”. Kuorimallit ovat visuaaliseen ilmaisuun käteviä, mutta lähtötietona niitä ei voida tiesuunnittelussa hyödyntää. Kuorimallien avulla voidaan esimerkiksi tilaajalle esittää visualisoiva esittelymalli, jossa suunniteltu rakenne on sovitettu suunnittelualueesta tehtyyn kuorimalliin. Kaupunkimallit ovat yksi kuorimallien käyttökohde (Kuva 7).



Kuva 7. Kuvakaappaus Tampereen 3d kaupunkimallista (Tampere, 2023).

#### 4.4 Videot ja valokuvat

Suunnittelualueiden valokuvaaminen ja videointi maastokäyntien yhteydessä on tiehankkeiden suunnittelussa tavanomaista. Droonilla valokuvatessa saadaan kuvia eri perspektiiveistä kuin maasta, joka mahdollistaa laajempiin ja informatiivisempiin kuviin. Droonilla pääsee lähes rajattomasti eri paikkoihin kuvaamaan, johon jalkaisin pääsy olisi haastavaa, ellei mahdotonta.

Videomateriaalia voidaan käyttää myös liikennelaskennassa tai liikenteen muussa analysoinnissa. Videoilta voidaan tulkita liikenteen käyttäytymistä ja laskea liikennettä joko manuaalisesti, tai ohjelmistolla, jossa tekoäly tunnistaa ajoneuvot.

#### 4.5 Ortomosaiikki

Ortomosaiikki on useista ortokuvista tarkasti sovitettu kartta, jossa alue on esitetty mittakaavoitettuna ilmakuvana (Kuva 8). Ortokuvat tehdään kohtisuoraan alaspäin otetuista ilmakuvista, jolloin yksittäisestä ilmakuvasta saa tehtyä vain pienen alueen kattavan ortokuvan. Tämän vuoksi on tyypillistä yhdistää ortokuvia yhtenäiseksi mosaiikiksi (Kumpula, 2013). Ortokuvat oikaistaan karttaprojektioon, jolloin niistä saadaan korjattua korkeuseroista syntyvät sijaintivirheet sekä mittakaavaerot. Oikaisu tapahtuu maanpinnan korkeustietojen, eli yleisimmin maastomallin avulla. Korjatuilla kuvilla on sijaintitiedot sekä niiltä mittaaminen on mahdollista.

Väyläviraston ohjeen mukaan ortokuvien tulee olla värillisiä, suunnitteluvaiheessa resoluutioltaan vähintään 0,05 m ja sijaintitarkkuudeltaan 0,15 m. Ortomosaiikilla ei saa esiintyä pilviä tai häiritsevästi niiden varjoja. Ortokuvamosaiikin kuvien saumat häivytetään sekä värien voimakkaat sävyerot tasataan, eikä saumoissa saa esiintyä tarkkuusvaatimuksista poikkeavia epäjatkuvuuksia (Liikennevirasto, 2017a).



Kuva 8. Useista ilmakuvista muodostettu ortomosaiikki.

## **5 Haastattelut**

Haastatteluja tehtiin suunnittelijoille, jotka ovat hyödyntäneet drooneilla tuotettuja materiaaleja jollain tavalla tiesuunnittelussa, sekä suunnittelijoille, joilla ei ole kokemusta kyseisistä materiaaleista. Haastattelujen tarkoitus on saada tietoa materiaalin hyödyntämisestä, ajatusta kuinka sitä voitaisiin hyödyntää sekä millaisiin hankkeisiin materiaalit koetaan tarpeellisiksi. Haastattelut suoritettiin sähköpostiviestein sekä videopuheluilla.

### **5.1 Droonimateriaaleja hyödyntäneet suunnittelijat**

Suunnittelijoille, jotka ovat jo materiaaleja hyödyntäneet, esitettiin seuraavat kysymykset:

#### **1. Minkälaisissa kohteissa drooneilla tuotettuja materiaaleja olette hyödyntäneet?**

Droonilla tuotettuja materiaaleja olivat haastateltavat hyödyntäneet erilaisissa tiekohteissa, liittymän parantamishankkeissa, pihan kuivatussuunnittelussa sekä kevyenliikenteenväylän suunnittelussa. Droonilla tuotettiin kohteisiin maastomallit ja ortokuvat. Kaikissa kohteissa suunniteltiin uusia rakenteita kytkeytymään nykyiseen tiehen.

#### **2. Toiko drooneilla tuotetut materiaalit lisäarvoa suunnittelutyöhön?**

Kaikki haastateltavat olivat yksimielisiä ajantasaisten ja tarkkojen ilmakuvien hyödystä. Tarkat ilmakuvat mahdollistaa yksityiskohtien tarkastelun, esimerkiksi kaivon kansien sijainnit, koot ja tyypit pystyy ortokuvasta katsomaan. Tarkkuus on huomattavasti parempaa kuin esimerkiksi maanmittauslaitoksen.

#### **3. Mitkä olivat materiaalin vahvuudet?**

Vahvuuksiksi koettiin maastomallin ja yksityiskohtien tarkkuus ja ortokuvien selkeys. Droonikeilausta verrattiin myös ajoneuvokeilaukseen, jossa

vahvuutena oli droonin ulottuvuus. Sillä päästiin ajoradan ulkopuolelle keilaamaan maanpintaa, eikä ilmasta käsin keilaukseen tule katveita yhtä herkästi. Liikenneturvallisuuden parantaminen on huomattu vahvuudeksi, ja pelkästään jo sen perusteella on droonilla keilattu kohteista maastomalleja.

#### **4. Mitkä olivat materiaalin heikkoudet?**

Materiaalin heikkoudet olivat haastateltavien kesken paljon vaihtelevamat, kun vahvuuksista oltiin melko yksimielisiä. Ongelmiksi oli koettu mallin tulkinnan puutetta, materiaalin vääränlaista käsittelyä ja aukot mallissa. Raskaiden tiedostojen oli koettu hidastavan suunnitteluohjelmia. Rumpujen ja muiden yksityiskohtien erillisen mittauksen tarve oli myös tiedostettu. Yhden kokemuksen mukaan dronelaitteistolla ei voisi tuottaa tarpeeksi laadukasta materiaalia rakennussuunnitelman maastomalliksi.

#### **5. Koitteko materiaalin kustannustehokkaaksi hankkeessa?**

Kevyenliikenteenväylän suunnittelukohteessa oli droonimateriaalin tilaaminen kuvailtu kohtuullisen hintaiseksi verrattuna perinteiseen takymetri-mittaukseen. Kaikissa hankkeissa ei suunnittelijoilla ollut tietoa hinnoittelusta, kun maastomallit tulivat valmiina tilaajalta hankkeen mukana.

#### **6. Oliko materiaalien tarkkuus riittävä ja oliko tarkkuudessa virheitä?**

Tarkkuus oli koettu riittäväksi, eikä rakennusvaiheessa tullut tilaajalta kommenttia mallien mittavirheistä. Yhden haastateltavan kokemuksen mukaan metsämaastossa maanpinta tulisi poikkeuksetta 10-20cm todellisuutta korkeammalle. Yksi haastateltava mainitsi, että fotogrammetrisesti tuotettuja maastomalleja ei mielellään käyttäisi tiekohteissa, vaan puoltaa laserkeilattua aineistoa sen ollessa mittatarkempaa. Laserkeilaamalla oli saatu Väyläviraston ohjeen 18/2017 mukaisia maastomalleja.



**7. Tuletteko jatkossa käyttämään drooneilla tuotettuja aineistoja hankkeissa, ja jos tulette, niin millaisissa hankkeissa koette niiden käytön tarpeelliseksi?**

Drooneilla tuotetuista materiaaleista oli pääasiassa positiivista kokemusta ja haastateltavat pitivät vastaavanlaisten aineistojen käytön mahdollisena myös tulevaisuudessa. Toisaalta heitä ei kiinnosta miten materiaali on tuotettu, kunhan aineisto on laadukasta ja kilpailukykyisen hintaisia. Heidän kokemuksensa kuitenkin ollessa vähäistä, eivät osanneet tarkemmin sanoa millaisissa hankkeissa kannattaisi kyseisiä materiaaleja hyödyntää. Lähtötietoaineiston tilaaminen ei kaikissa tapauksissa ole suunnittelijan vastuulla, eikä suunnittelija välttämättä pysty vaikuttamaan millaisia lähtötietoaineistoja kohteesta toimitetaan.

**8. Vapaa kommentti**

Yhdessä tapauksessa oli myös droonia hyödynnetty liikenneanalyysissä. Ongelmakohtana oli valtatie ramppi, joka tiedettiin huonosti liikennevirtaa vetäväksi ja tämän syytä lähdettiin selvittämään. Droonilla kuvattiin ruuhka-aikaan ilmasta käsin ramppia, ja videomateriaalista pystyttiin tekemään johtopäätökset rampin ruuhkautumisesta. Ongelmaksi todettiin rampin geometriasta johtuva liikenteen hidastuminen. Korjaustoimepiteenä ramppia suoritettiin, joka paransi liikennevirtaa ja jonon aiheutuminen loppui.

Drooneilla on myös rakentamisen edetessä tehty kuvauksia kohteista ja toimitettu niitä suunnittelijoille.



## **5.2 Suunnittelijat, ketkä eivät ole vielä hyödyntänyt droonimateriaaleja**

Suunnittelijoille, joilla ei ollut kokemusta drooneilla tuotetuista materiaaleista, esitettiin pistepilveä ja ortokuvaa liikenneympyräkohteesta. Heiltä kysyttiin millaisia ajatuksia materiaalit herättävät, ja kuinka he ajattelevat kyseisten materiaalien olevan hyödynnettävissä.

### **Haastattelun yhteenveto;**

Droonien tuomaksi lisäarvoksi havainnoitiin, voiko materiaaleista tunnistaa, mitata ja laskea asioita, joka ei perinteisemmistä materiaaleista olisi välttämättä mahdollista. Liikennemerkkien tunnistamista voitaisiin ilmakuvista toteuttaa, jos kuvaus on suoritettu viistokuvauksena sopivalta korkeudelta. Kustannuslaskentaan voitaisiin pistepilvimateriaaleja sekä ortokuvia hyödyntää massojen laskeamiseen, sekä poistettavan puuston ja rakenteiden arviointiin.

Hyödynnettävyyttä löydettiin st-hankkeissa, kun suunniteltavia kohteita rakennetaan suunnittelun ollessa vielä käynnissä. Alueella saattaa tapahtua muutosta, joka vaikuttaa toimistolla tehtäviin suunnitteluratkaisuihin. Droonit voisi olla tehokas tapa tuoda tieto muuttuneesta maastosta suunnittelijalle.

Tarkemmin ei osattu sanoa millaisiin kohteisiin kannattaisi hyödyntää, mutta ajantasaisten ortokuvien ajateltiin olevan hyödyllisiä missä tahansa kohteessa. Pistepilviaineistolla maastomallin täydentämistä pidettiin hyödyllisenä mahdollisuutena paikoissa, joissa maastotieto olisi puutteellista, tai vanhentunutta.

## 6 Materiaalin hyödyntäminen

Drooneilla tuotettuja materiaaleja hyödynnetään monilla tavoin tiesuunnittelussa ja uusia käyttökohteita tulee jatkuvasti (Mäcklin, 2023). Täytyy kuitenkin muistaa, että suurin osa tiesuunnitteluhankkeista on Väyläviraston tai ELY-keskuksen alaisia ja niiden hankkeissa tulee noudattaa Väyläviraston suunnitteluohjeita. Näissä kohteissa drooneilla tuotettuja lähtötietoaineistoja voidaan hyödyntää, mutta aineistojen täytyy olla laadultaan ohjeiden mukaisia (Väylävirasto, 2017).

### 6.1 Lisäarvo suunnittelutyöhön

Kolmiulotteisten pistepilvitiedostojen informaation määrä on valtava, eikä kaikkea niiden tuomaa lisäinformaatiota olisi muuten saatavilla (Pekkala, 2015). Laadukkaasti tehty paikallinen ilmakuvauus kattaa kaiken alueen maanpinnalla olevan yhdellä kuvauskerralla, ja sillä estetään tarvetta palata kuvaamaan unohtuneita kohteita. Suunnittelun edetessä saatetaan myös materiaalista löytää hyödyllistä informaatiota, jota ei olisi maastokäynnillä tullut mieleen taltioida.

#### 6.1.1 Maastomallit

Laadukkaat maastomallit ovat suunnittelun perusta, ja drooneilla pystyy niitä tuottamaan laserkeilaamalla tai fotogrammetrisesti. Droonilla tuotettuja pistepilviä ja kolmioverkkomalleja voidaan tien suunnittelussa hyödyntää maastomittauksen ja muun lähtömateriaalin tukena, esimerkiksi tien- ja kadun parannushankkeissa, kun lähtötiedot eivät kata kaikkia yksityiskohtia. Maanmittauslaitoksen avoimen aineiston maastomallien pistetiheys on huomattavasti harvempaa mitä droonilla tuotettu aineisto. Avoimen aineiston maastomallit päivitetään 6 vuoden välein, joten tieto ei välttämättä kuvaa nykytilannetta ja suunnittelualueen luonne on voinut muuttua. Malleja yhdistelemällä voidaan korjata aineistojen puutteita ja päivittää vanhentunutta tietoa. Maastomalliin voidaan tulkita rakenteiden erilaisia tai-teviivoja pistepilviaineistosta. Drooneilla tuotettuja maastomalleja voidaan lähtötietona hyödyntää, mutta ne vaativat lisäksi tarkentavia täydennysmittauksia. Väyläviraston ohjeessa 18/2017 sanotaan, että

Seuraavat kohteet mitataan aina maastomittauksena:

- ilma-aluksesta tehdyn keilauksen ja fotogrammetrisen mittauksen maastotäydennys:
  - rummut; mitataan vesijuoksun korkeus ja sisähalkaisija cm-tarkkuudella
  - kaivot ja venttiilit
  - johtopylväät, mittaus maanpinnan korkeudelta
  - reunakiven ala- ja yläreunat
    - liikenteenjakajissa ja saarekkeissa voidaan yläreuna muodostaa laskennallisesti alareunan avulla, jos reunakiven korkeus pysyy vakiona 1 cm toleranssilla.
  - tukimuurien ylä- ja alareunat
  - avokalliot, tasosijainti takymetrillä tai reaaliaikaisella GNSS -menetelmällä, jolloin korkeus otetaan maastomallista. Rajaus mitataan alle 10 cm paksun turpeen/sammaleen/pehmeän maan läpi, jos prisman/antennin sauva saadaan painettua kallion pintaan.
  - siltojen ja siltojen alla olevat rakenteet
  - harukset (Liikennevirasto, 2017b, 25)

Ohjeessa sanotaan myös, että muiden täydennysmittausten lisäksi epävarmat tulokset kohteissa ja pinnoissa tarkennusmitataan takymetrillä. Yllä lueteltujen vaatimusten lisäksi joutuu esimerkiksi ojanpohjat lähes väistämättä mittaamaan maastossa, varsinkin jos lennätysajankohtana ojissa on vettä. Laserkeilaamalla tai fotogrammetrisesti ei pysty veden pinnan läpi mittamaan.

### 6.1.2 Ortokuvat

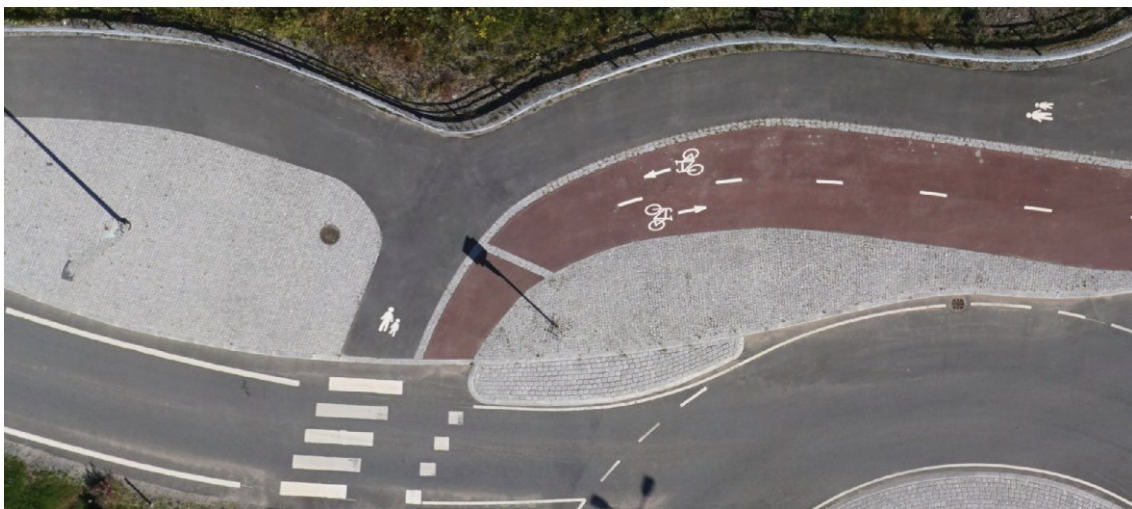
Ortokuvia käytetään tiesuunnitelukohteissa aina, ja drooneilla tuotetut ilmakuvat ovat huomattavasti tarkempia kuin avoimen aineiston materiaalit kuten maanmittauslaitoksen (Kuva 9) tai google maps:n (Kuva 10) ilmakuvat. Maanmittauslaitoksen ortokuvat ovat pikselikooltaan 50 cm (Maanmittauslaitos, 2023a), kun droonilla tuotettu (Kuva 11) on tyypillisesti 2 cm/pikseli. Tarkoista ilmakuvista pystyy tunnistamaan erilaisia kohteita ja rakenteita, kuten tiemerkeitä, reunakiviä, kaivokansistojen tyyppejä sekä kokoja.



Kuva 9. Kuvakaappaus Maanmittauslaitoksen ilmakuvasta (Maanmittauslaitos, 2023b).



Kuva 10. Kuvakaappaus Google Maps ilmakuvasta (Google Maps, 2023).



Kuva 11. Kuvakaappaus droonilla tehdystä ortokuvasta.

### **6.1.3 Työturvallisuus**

Drooneilla voidaan parantaa myös työturvallisuutta lähtötietoaineistojen hankinnassa. Esimerkiksi ruuhkaisen tien kuvauksessa tai maastomallinnuksessa mitamiehen ei välttämättä tarvitse edes jalkautua itse tielle. Droonia ei kuitenkaan saa liikenteen yläpuolella lennättää ilman erityisen kategorian toimintalupaa, mutta tienpinnan saa kuvattua ja mallinnettua myös ajoradan ulkopuolelta. Haastattelussa Mäkinen (2023) kertoikin, että ”Joskus pelkkä liikenneturvallisuus onkin peruste tehdä maastomalli laserkeilaukseen perustuen”.

### **6.1.4 Esittelymallit**

Ilmakuvista ja 3D-malleista voidaan muodostaa selkeitä esittelymalleja, joista on helpompi hahmottaa suunnittelun lopputulosta. Suunniteltavia rakenteita voidaan sovittaa maaston pintamalliin, kaupunkimalliin tai ilmakuviin, josta saa visuaalisen kuvan valmiista kohteesta, ennen kuin sen rakentamista on edes välttämättä aloitettu. Esittelymallista pystyy kuka tahansa ymmärtämään mitä on suunnitteilla ja esimerkiksi yleisötilaisuuksissa se on hyvä tapa esittää kohdetta synnyttämättä väärinymmärryksiä.

### **6.1.5 Kustannuslaskenta**

Kustannuslaskennassa materiaaleja voidaan käyttää erilaisten määrien laskennassa. Suunnitellut mallit voidaan yhdistää nykytilasta tehtyyn malliin, josta voidaan laskea poistettavien tai lisättävien rakenteiden ja massojen määriä. Tarkkoja ortokuvia voidaan myös hyödyntää esimerkiksi poistettavan puuston tai päällysteen arvioinnissa.

### 6.1.6 Kohteiden tunnistus konenäöllä

Konenäkö tarkoittaa tekoälyllä toimivaa tunnistusjärjestelmää, jossa tietokone ymmärtää kuvien tai laserkeilausten näkymän sisällön ja voi niistä tunnistaa haluttuja kohteita (Räsänen, 2020). Drooneilla kuvatessa tai keilatessa saadaan suunnittelualueelta käytännössä kaikki näkyvä informaatio tallennettua ja materiaalin laatu on tyypillisesti riittävän tarkkaa erilaisten kohteiden tunnistamiseen. Erilaisten asioiden tunnistamista materiaaalilta voidaan tehdä manuaalisesti, tai automatisoidusti tekonäöllä toimivilla tunnistusohjelmistoilla.

Liikennelaskennassa drooneja hyödynnetään manuaalisen työmäärän vähentämiseksi ja laskentatuloksien varmistamiseksi. Droonit soveltuvat liikennelaskennassa lähes kaikkiin kohteisiin ja niitä on ympäri Suomea erilaisissa hankkeissa hyödynnetty. Tehokkaaksi tavaksi liikennelaskenta ilmakehuvaamalla on todettu varsinkin liikenneympyröissä. Liikennelaskentaohjelmilla saadaan tutkittua liikennevirran lisäksi myös liittymien odotusajat (Salonen, 2021). Videomateriaalilta voidaan myös manuaalisesti analysoida liikenteen käyttäytymistä.

Liikennemerkkien inventointia konenäöllä on tutkittu ja kehitetty, mutta ohjelmistot eivät vielä tunnista merkkejä tarpeeksi hyvällä varmuudella täysin automatisoituun inventointiin (Naranjo ym. 2023). Droonit ovat mahdollisuus tuottaa kuvamateriaalia inventointia varten, mutta ajoneuvolla tehty kuvaus on yleisempää helpomman toteutettavuuden takia. Ajoneuvosta tehtyä liikennemerkkien kuvausta ja tekoälyllä merkkien tunnistamista on Suomessa tutkittu, mutta ilmakehusta tunnistamisesta ei selvityksiä löytynyt. Ajoneuvosta käsin liikennemerkkeistä saatu materiaali on myös laadukkaampaa liikennemerkkien ollessa sijoiteltu ajoradalta katsottaviksi. Ilmakehuvauksesta tulee liikennemerkkiin huonompi perspektiivi ja tekoäly ei tunnista merkkejä yhtä varmasti.

### 6.1.7 St-hankkeet

St-hankkeissa tapahtuu samanaikaisesti suunnittelua ja toteutusta, joka tarkoittaa, että rakennuttajien ja suunnittelijoiden välillä on aktiivisesti vuorovaikutusta hankkeen aikana. Droonit on tehokas työkalu kuvata työmaan tilannetietoa suunnittelun

nittelijoille. Kuvamateriaalin lisäksi voidaan myös maastomalleja päivittää kuvaamaan nykytilannetta, sillä työmaalla saattaa tapahtua suunnitteluratkaisuihin vaikuttavia muutoksia maanpinnassa.

## **6.2 Ongelmakohdat**

Suomessa droonien käyttö lähtötietoaineistojen hankkimiseen on korkeamman kynnyksen takana muihin maihin verrattuna, johtuen ilmaisesta ja avoimesta laserkeila- sekä ilmakuva-aineistosta. Kohteet pystytään suunnittelemaan hyvin avoimien aineistojen tarjoamien lähtötietojen pohjalta. Käyttökohteet vaihtelevat myös henkilö- ja yrityskohtaisten toimintatapojen takia. Toisilla saattaa olla jokaisessa hankkeessa lähtötietona joko auto- tai ilmalaserkeilausta ja osa suunnittelijoista ei näe droonien käytölle tarvetta, kun muilla menetelmillä on tähänkin asti pärjätty. Maanmittauslaitoksen materiaalit ovat myös aina saatavilla, kun taas droonilla hankittaessa esimerkiksi sääolosuhteet, työntekijän aikataulu ja mahdollinen työmatka vaikuttavat materiaalin hankintaan. Raaka-aineen hankkiminen droonilla on todella nopeaa, mutta sen jälkeen hankittu aineisto täytyy vielä käsitellä.

### **6.2.1 Suuret tiedostokoot**

Korkealaatuisten ilmakuvien ja pistepilvimateriaalien sisältäessä paljon tietoa, ne ovat myös raaka-aineena paljon tallennustilaa vieviä tiedostoja. Tiesuunnittelussa suunnittelualueiden pinta-alat ovat tyypillisesti suuria, ja lähtötietoaineistot yhteen hankkeeseen voivat olla jopa useita kymmeniä gigatavuja ja niille täytyy varata tarpeeksi tallennustilaa. Suunnitteluohjelmat saattavat rasittaa suurista tiedostoista liikaa, joten materiaalia on käsiteltävä kevyemmäksi. Väärin käsitelty tai käsittelemätön materiaali ei ole sopivaa suunnitteluaineistoksi, ja tästä oli tässä työssä haastatelluilla suunnittelijoillakin kokemusta.

### **6.2.2 Materiaalin laatu**

Drooneilla tuotetut maastomallit ovat mittatarkkuudeltaan heikompaa mitä takymetrilla maastomitatut. Laserkeilaamalla päästään tarkempiin tuloksiin mitä fotogrammetrisesti, mutta tarkkuus on silloinkin parhaimmillaan senttejä. Takymetrilla

mitatessa päästään millien tarkkuuteen, ja siksi tarkkuutta vaativissa sekä epävarmoissa kohteissa käytetään takymetria. Peitteettömillä ja valoisilla alueilla saadaan fotogrammetrisesti tuotettua Väyläviraston ohjeiden mukainen tarkkuus maastomalliin, mutta varjoiset ja peitteiset alueet aiheuttavat pisteille laskentavirhettä (Kuva 12) ja niihin kohtiin on tehtävä tarkennusmittauksia. Esimerkiksi ojan pohjia ei saada tarpeeksi tarkasti fotogrammetrisesti mallinnettua. (Varho, 2021)

Sääolosuhteet vaikuttavat materiaalin laatuun huomattavasti. Tuulisella säällä drooni saattaa heilua ja kuvista tulla tärähtäneitä. Märkä tai luminen maanpinta on heijastava, ja voi aiheuttaa laskuvirheitä. Aurinkoisella säällä syntyy varjokohdita, joissa fotogrammetrinen laskenta tekee laskuvirheitä. Liian pimeällä taas fotogrammetrinen laskenta ei onnistu, eikä ortokuvista tule laadukkaita. Suomen ilmasto on siis heikkoutena droonien hyödyntämiselle, sillä vuodessa on vain lyhyt aika laadukkaan materiaalin tuottamiselle. Paras aika tuottaa materiaalia on kirkas mutta pilvinen sää keväällä, kun lumet ovat sulaneet, eikä kasvillisuus ole vielä rehevöitynyt.



Kuva 12. Varjon aiheuttamaa laskuvirhettä. Kuvakaappaus fotogrammetrisesti tuotetusta pintamallista.

### 6.2.3 Lennätyksen esteet

Droonilla kartoittaessa täytyy ottaa huomioon, että kohteessa voi olla lennättämistä estäviä tai rajoittavia esteitä. Esteinä voi olla esimerkiksi ihmiset, liikenne, UAS-ilmatilavyöhykkeet tai voimalinjat. Droonilla lentäminen ihmisten yläpuolella on kielletty. UAS-ilmatilavyöhykkeillä lennätys voi olla rajatumpaa tai kokonaan luvanvaraista. Esimerkiksi lentokenttiä ympäröivät rajoitusalueet ovat suuria ja



saattavat aiheuttaa lentokorkeuden ja lentoajan rajoittamista, vaikka oltaisiin kaukana kentästä. Voimalinjan läheisyydessä lentäminen voi aiheuttaa häiriötä aluksen ja kauko-ohjaimen väliselle yhteydelle, sekä laitteen GPS yhteyksille. Alus saattaa yhteyshäiriöiden takia tehdä odottamattomia ja äkkipikaisia liikkeitä.

Sääolosuhteet vaikuttavat materiaalin laadun lisäksi droonilaitteiston toimivuuteen. Pääosin vain korkeamman hintatason droonilaitteistot ovat vesitiiviitä, joten suurinta osaa drooneista ei sateisella säällä voi lennättää. Pakkanen saattaa aiheuttaa droonin roottoreiden jäätämistä sekä akkukapasiteetin heikkenemistä. Voimakas tuuli voi aiheuttaa aluksen putoamisriskin sekä tuulinen sää vaatii myös droonin roottoreilta enemmän työtä, joka syö akkua.

## 7 Kustannukset

Tulkittujen maastomallien tuottaminen drooniaineistosta on huomattavasti nopeampaa kuin jalkaisin takymetrillä mitattua. Tien ollessa melko tasaista ja suoraviivaista, saadaan droonilla tuotettua laadukasta materiaalia, jonka tulkitseminen on pistepilviaineistosta sujuvaa.

Varhon tekemässä selvityksessä tehtiin droonilla n. 15 ha kokoiselta eritasoliittymäalueelta maastomalli. Itse lentotyöhön meni alle puoli työpäivää, ja ortokuvien sekä maastomallin käsittelyyn n. 4,5 työpäivää. Tämän lisäksi alueelle tehtiin vielä maastomittauksia takymetrillä. Selvityksen mukaan vastaavalla alueella mittaisi takymetrillä noin puoli hehtaaria työvuorossa, eli 15 hehtaarin alueessa menisi maastomittauksena noin 30 työvuoroa. Dronilla tuotettuun maastomalliin ja sen lisämittauksiin meni huomattavasti lyhyempi aika. Lähtötietoineitoja hankittaessa droonilla voidaan siis tehdä ajallisia sekä rahallisia säästöjä. (Varho, 2021)

Sopivissa kohteissa voidaan maastomallia tuottaa nopeammin droonin ja maastomittauksen vahvuudet yhdistämällä. Peitteiset ja varjoiset paikat mitattaisiin maastossa takymetrillä, ja selkeät aukeat alueet kartoitetaan droonilla. Maastossa vietetty aika lyhenee huomattavasti, mutta toimistolla vietetty aika lisääntyy. Kokonaisaika jäisi kuitenkin lyhyemmäksi kuin pelkällä maastomittauksella toteutettuna. (Hölttä, 2019)

Pienemmillä hankkeilla laserkeilatun maastomallin hintataso saattaa olla maastomitattua kalliimpaa, mutta suhteellisen pieniäkin hankkeita kannattaa droonilla keilata. Maastomittauksella saadaan kuitenkin kohteessa vähennettyä (Mäkinen, 2023). Keilatusta aineistosta saa kuitenkin enemmän informaatiota mitä maastomitatusta, ja kalliimpi hinta saattaa maksaa itsensä takaisin.

### 7.1 Laitteiston hintataso

Yritykselle oman laitteiston hankkimista laserkeila-aineiston tuottamiseen kannattaa harkita, jos laitteelle sekä ohjelmistolle saadaan korkea käyttöaste. Suunnittelumateriaalien tarkkuus- ja laatuvaatimukset ovat korkeita, ja nämä

vaatimukset täyttävää materiaalia tehdessä tulee käytettävän laitteiston olla myös korkeatasoista (Tikkanen, 2020). Drooneihin asennettavien laadukkaiden laserkeilaimien hinnat ovat korkeita. Esimerkkinä DJI Zenmuse L1 noin 11 000 euroa (DJI, 2023c). Myös itse droonin täytyy olla keilaimelle ja sen tuomalle kuormalle yhteensopiva. Esimerkiksi DJI Matrice 300 RTK laitteiston hinta on noin 14 000 euroa (DJI 2023b). Laitteistojen lisäksi tiedon käsittelyyn tarkoitettujen ohjelmien lisenssien kuukausihinnat voivat olla satoja euroja. Kaikki maksullisilla ohjelmistoilla tehtävät tiedon käsittelyt voitaisiin ajoittaa samalle kuukaudelle säästääkseen lisenssimaksuissa, mutta tekniikan nopean kehityksen myötä kalliiden laitteiden seisottaminen käyttämättömänä ei ole kannattavaa.

Video- ja valokuvauskäyttöön saa droonilaitteiston hankittua kohtuullisempaan hintaan. 1000 € – 2000 € hintaluokassa on jo laadukkaita vaihtoehtoja, jotka ovat kokoluokassakin kevyempiä. Kevyemmän laitteiston etuna on niiden lennätuksen vähäisempi rajoittaminen ja turvaetäisyyksien pienentyminen. Niitä voi lennättää paikoissa, joissa raskaammilla laitteilla se ei turvallisuussyistä olisi välttämättä mahdollista.

Laitteistolla tehtäessä kartoitustyötä, tarvitaan myös droonin lisäksi mittauslaitteita pisteiden georeferointiin. Droonissa itsessään on yleensä GPS-paikannin, mutta sen tarkkuus ei riitä ohjeiden mukaisen suunnitteluaineiston tekemiseen. Lisävarusteena droonissa voi olla myös sijaintitarkkuudeltaan huomattavasti GPS-paikanninta tarkempi RTK-moduuli, mutta toimiakseen se tarvitsee lisäksi myös RTK-tukiaseman. Mittalaitteet ovat yleisesti kohtalaisen kalliita, esimerkiksi DJI:n RTK-tukiasema on noin 3000 euron hintainen (DJI, 2023d). Ilman droonissa olevaa RTK-järjestelmää, voidaan referointipisteitä mitata maastoon myös RTK-laitteistolla, tai takymetrilla.

## 8 Pohdinta

Droonit ovat tehokas tapa tuottaa ajantasaista ja informaatorikasta materiaalia kohdennetuista alueista, ja niiden käyttöä tiesuunnittelun lähtötietojen hankinnassa kannattaa ainakin harkita. Lähtötietoaineistot ovat jokaisen suunnittelukohteen pohja, ja yksityiskohtaisemmat materiaalit helpottavat suunnittelutyötä. Materiaaleissa on tietoa, jota ei välttämättä muuten olisi suunnittelijan saatavilla. Droonimateriaaleissa on kuitenkin omat heikkoutensa, eikä ne poista perinteisempien menetelmien tarvetta. Erilaisilla materiaaleilla on omat vahvuutensa ja ne täydentävät toisiaan.

Itse suunnittelijat ovat harvemmin vastuussa lähtötietoaineiston hankinnasta, eikä heillä aina ole mahdollisuutta edes vaikuttaa kuinka lähtötietoaineistot ovat tuotettu. Materiaalin tuottamiseen käytetty tapa ei ole merkityksellinen, kunhan materiaalit ovat laadukkaita ja suunnitteluun sopivia. Lähtötietoaineistoihin voidaan droneilla tuottaa suunnittelutyötä parantavia ominaisuuksia, kuten korkeampaa tarkkuutta, ajantasaisempaa materiaalia tai erilaista perspektiiviä. Tarkat ja ajantasaiset ilmakuvat tulivat suunnittelijoiden haastatteluissa esille heille positiivisimpana lisänä, eikä niistä löytynyt mitään negatiivista sanottavaa.

Lähtötietoaineiston tuotossa droonit nopeuttavat mittaustyötä varsinkin suuremmissa kohteissa, jolla saadaan ajallista säästöä niiden toteutuksessa. Tarkempi hintatieto jäi puuttumaan sen ollessa hyvin kohdekohtaista, eikä tämänkaltaista tietoa ole kovin avoimesti saatavilla.

Yhtenä työn toimeksiannon tavoitteena oli myös tieto siitä, kannattaako omaa laitteistoa yritykseen hankkia, vai tilata aineistoa ulkopuolisilta toimijoilta. Laserkeilaavan droonilaitteiston hinnan ollessa korkea ei hankkiminen ole kannattavaa ilman laitteiston korkeaa käyttöastetta. Kuvaamiseen tarkoitetun droonin saisi kohtuullisella sijoituksella ja sitä voisi maastokäynneillä käyttää lähtötietojen hankkimiseen.

Tässä työssä on montaa eri asiaa käsitelty pintapuolisemmin. Tavoitteena olikin eri mahdollisuuksien löytäminen ja niiden kokoaminen yhdeksi teokseksi. Tämä

kuitenkin jättää auki kysymyksiä, sekä mahdollisuuksia monille syventäville jatkotutkimuksille. Osasta tässä työssä käydyistä aiheista on tehty jo tutkimusta, mutta tiesuunnittelun näkökulmasta oli kirjallisuuden määrä vähäistä. Droonitekniiikka myös kehittyy vauhdilla, ja tutkimukset saattavat ikääntyä nopeasti. Tässäkin työssä esiintyneet ongelmakohdat saattavat kehityksen myötä korjaantua.

## LÄHTEET

A-Insinöörit Civil Oy, tie- ja katusuunnitteluuyksikön väyläryhmä. 2023. Haastattelu 12.4.2023. Microsoft Teams puhelu.

Aviamaps. 2023. Dronekartta. Haettu 31.3.2023  
<https://aviamaps.com/fi>

DJI. 2023a. DJI Mavic 3. Viitattu 16.4.2023  
<https://store.dji.com/fi/product/dji-mavic-3?from=store-nav&vid=109821>

DJI. 2023b. DJI Matrice 300 RTK. Viitattu 16.4.2023  
<https://store.dji.com/fi/product/matrice-300-rtk-and-dji-care-plus?from=store-nav&vid=111261>

DJI. 2023c. DJI Zenmuse L1. Viitattu 16.4.2023  
<https://store.dji.com/fi/product/zenmuse-l1-and-dji-care?vid=109702>

DJI. 2023d. DJI D-RTK 2. Viitattu 17.4.2023  
<https://store.dji.com/fi/product/d-rtk-2-high-precision-gnss-mobile-station>

Droneinfo 2023. Viitattu 31.3.2023.  
<https://droneinfo.fi>

Fintraffic. 2023. Pre-flight Information Bulletins. Viitattu 31.3.2023  
<https://www.ais.fi/ais/bulletins/>

Google Maps. 2023. Satelliittikuva. Viitattu 31.3.2023  
<https://www.google.com/maps>

Hölttä, P. 2019. Opinnäytetyö UAS maanmittausalan konsulttiyrityksen käyttöön

Kopposela, L. 2012. Opinnäytetyö. Maastomalli

Kuha, J. Projektipäällikkö. 2023. Opinnäytetyö droonitekniikasta. Sähköpostiviesti 30.3.2023.

Kumpula, M. 2013. Opinnäytetyö. UAV-Lennokin Hyödynnettävyys ilmakuvakartan teossa

Kämäräinen, T. Projektipäällikkö. 2023. Opinnäytetyö droonitekniikasta. Sähköpostiviesti 15.3.2023.

Liikennevirasto, 2017a. Maastotietojen hankinta. Viitattu 5.4.2023.  
[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2017-19\\_maastotietojen\\_hankinta\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-19_maastotietojen_hankinta_web.pdf)

Liikennevirasto, 2017b. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot. Viitattu 31.3.2023  
[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2017-18\\_maastotiedot\\_mittausohje\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf)

Maanmittauslaitoksen karttapaikka 2023a. Viitattu 31.3.2023.  
<https://www.maanmittauslaitos.fi/asiois-verkossa/karttapaikka>

Maanmittauslaitoksen karttapaikka 2023b. Viitattu 17.4.2023.  
<https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/tiedostopalvelu/ortoilmakuva>

Mäcklin, K. Mitta Oy. 2023. Opinnäytetyö droonitekniikasta. Sähköpostiviesti 28.3.2023.

Mäkinen, H. Konsultti. 2023. Opinnäytetyö droonitekniikasta. Sähköpostiviesti 6.4.2023.

Naranjo, M. Fuentes, D Muelas, E. Diez, E. Ciruelo, L. Alonso, C. Abenza, E. Gómez-Espinosa, R. Luengo, I. 2023. MDPI:n artikkeli. Object Detection-Based System for Traffic Signs on Drone-Captured Images. Viitattu 11.4.2023.  
<https://www.mdpi.com/2504-446X/7/2/112>

Pekkala, J. 2015. Diplomityö. 3D-laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmentaminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 58/2015.

Räsänen, T. 2020. Opinnäytetyö. Liikennemerkkien automaattinen inventointi

Salonen, J. 2021. Opinnäytetyö. Dronen hyödyntäminen liikennetutkimuksissa.

Tammi, K. Luentoaineisto. Laserkeilaus ja pistepilvitiedon hyödyntäminen rakennussuunnittelussa. TAMK 2022

Tampere. 2023. 3D-kaupunkimalli. Haettu 17.4.2023 osoitteesta  
<https://tampere.kunta3d.fi/Map.html#>

Tanskanen, M. Projektipäällikkö.2023. Haastattelu 15.3.2023. Microsoft Teams puhelu.

Varho, L. 2021. Opinnäytetyö. UAV-mallin hyödyntäminen maastokartoituksissa

Virtanen, R. Johtava konsultti. 2023. Opinnäytetyö droonitekniikasta. Sähköpostiviesti. 17.3.2023