



# UA-ilmakuvauksen hyödyntäminen infra-työmaan kommunikoinnissa ja viestinnässä

Islam Tseloev

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2019

Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Infrarakentaminen

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Infrarakentaminen

TSELOEV ISLAM

UA-ilmakuvauksen hyödyntäminen infratyömaan kommunikoinnissa ja viestinnässä

Opinnäytetyö 34 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Toukokuu 2019

---

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan UA-ilmakuvauksella tehtyjen ilmapanoraamakuvien ja fotogrammetrisin menetelmin tuotetun pistepilven hyödyntämistä infratyömaan kommunikoinnissa ja viestinnässä. Opinnäytetyössä on perehdytty keinoihin, miten kommunikoinnissa voidaan UA-kuvausdataa hyödyntää yksinkertaisilla verkkoselaimessa toimivilla pilvipalveluilla. Käytännön esimerkki tästä opinnäytetyöstä tulee Keilaniemen Kehä I:n projektista, jossa työmaa-alueesta suoritetaan kuukausittain UA-ilmakuvausta.

Työssä kerrotaan fotogrammetrian perusteita ja historiaa sekä perehdytään miehittämättömiä ilma-aluksia koskevaan lainsäädäntöön. Tutkitaan verkkoselaimessa toimivia dronekeilausaineistojen hallinnan pilvipalveluita niiden ominaisuuksia ja hyödyntämiskeinoja infrarakennushankkeessa.

Opinnäytetyön tuloksena selvitettiin pilvipalveluiden tarjoamia työkaluja kuva- ja keilausaineistojen tarkasteluun. Tämän työn perusteella havaittiin, että UA-ilmakuvausaineistosta saatavat tiedot parantavat huomattavasti infrahankkeessa mukana olevien henkilöiden keskinäistä viestintää ja ymmärrystä. Ilmapanoraamakuvien käyttö on laajasti käytössä väylähankkeessa toimihenkilöiden kesken, sillä niiden käyttö on yksinkertaista ja helppoa. Ohjeistuksen puute estää toistaiseksi haastavamman ja hivenen monimutkaisemman pistepilven hyödyntämistä tiettyjen toimihenkilöiden kohdalla.

Ilmakuvauksesta saatava tieto ottaen huomioon kustannukset on niin merkittävä, että sitä tullaan tulevaisuudessa hyödyntämään monipuolisesti infrarakentamisen työkaluna. Tulevaisuudessa automatisoimalla ilma-aluksen lentotyötä voitaisiin kustannustehokkaasti tuottaa useammin ajankohtaisempaa ilmakuvausaineistoa työmaahenkilöstön hyödynnettäväksi.

## **ABSTRACT**

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

**TSELOEV ISLAM**

Utilization of UA Aerial Photography in Communication at the Infrastructure Worksite.

Bachelor's thesis 34 pages, appendices 2 pages  
May 2019

---

The aim of this thesis was to explore the utilization of UA aerial panoramic images and point clouds, produced by photogrammetric methods, in infrastructure worksite communications. This work shows methods by which UA photo data can be used in communication with simple cloud services on the web browser. The Ring I construction project in Keilaniemi, Espoo, was photographed monthly by UA photography, and it was chosen as a showcase example in this thesis.

This thesis examines the history and the basics of photogrammetry and familiarizes the reader with the legislation of unmanned aircraft activity. Moreover, browser-based cloud services for managing drone scanning material, and their features and benefits in infrastructure construction projects are explored.

As a result of this thesis, a selection of cloud-based tools which can be used for observation of picture and scanning material was provided. This work supports the theory that UA photography could significantly increase communication and understanding between different professionals working on construction worksites. Aerial panorama pictures are widely used among the associates in the Ring I project because of their simplicity and ease of use. Lack of instructions has so far prevented more advanced usage of point clouds for certain associates.

The knowledge gained from aerial photography has been significant in terms of cost-efficiency, which means versatile usage of this technology as professional tool in infrastructure worksites in the coming years. In the future, by automatizing aircraft flight work, more current aerial picture material could be produced more frequently and cost-effectively for the construction worksite associates.

---

Key words: UA-aerial photo, photogrammetry, cloud services.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	FOTOGRAMMETRIA JA UAV-ILMAKUVAUS .....	8
2.1	Fotogrammetrian historia.....	8
2.2	Fotogrammetrian perusajatus.....	9
2.2.1	Ortokuva.....	11
2.2.2	Pistepilvi.....	11
2.2.3	Maastomallit.....	11
2.2.4	Panoraamakuva .....	12
2.3	Kauko-ohjatut ilma-alukset.....	12
2.4	Miehittämättömien ilma-alusten lainsäädäntö .....	13
3	VERKKOSELAIMESSA TOIMIVAT PILVIPALVELUT .....	16
3.1	Pointscene Next -palvelu .....	16
3.1.1	Ortokuvanäkymä.....	17
3.1.2	Pistepilvinäkymä.....	19
3.2	Dronedeploy.....	20
3.3	Pix4Dmapper .....	21
4	UA-KUVAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN INFRARAKENTAMISESSA ...	24
4.1	Keilaniemen Kehä I-projekti .....	24
4.2	Panoraamakuvien viestinnälliset hyödyt .....	25
4.3	Pistepilvi ja ortokuva työmaa-alueesta .....	27
5	POHDINTA.....	30
	LÄHTEET.....	31
	LIITTEET .....	33
	Liite 1. Betonitilaus .....	33

**ERITYISSANASTO**

RPA	Lentotyöhön käytetty kauko-ohjattu – tai miehittämätön ilma-alus, jota ohjataan kauko-ohjauspaikasta (Remotely Piloted Aircraft)
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System eli kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä, johon sisältyy kauko-ohjattu ilma-alus, kauko-ohjauspaikka, ohjaus- ja seurantayhteydet sekä muut järjestelmän osat.
UA	Unmanned Aircraft eli miehittämätön ilma-alus
UAS	Unmanned Aircraft System eli miehittämättömän ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle, vanhentunut termi, vastaava nykyinen on UA
Drone	Yleisnimitys kauko-ohjattavalle lennokille
Georeferointi	Kuvan tiedon sitomista koordinaatteihin tai karttaan
DEM	Digital Elevation Model eli korkeusmalli
DTM	Digital Terrain Model eli maastomalli
DSM	Digital Surface Model eli pintamalli

## 1 JOHDANTO

Miehittämättömien ilma-alusten eli UAV-alusten (Unmanned Aerial Vehicle) käyttö viime vuosikymmenen aikana on lisääntynyt ja monipuolistunut huomattavasti. Maastokartoitukseen ja sotilaskäyttöön tarkoitettujen ilmailu-alusten potentiaali on havaittu myös muilla teknologian ja teollisuuden toimialoilla. Teknologian kehityksen myötä pystytään kustannustehokkaasti ja turvallisesti suorittamaan monenlaisia lentotöitä haastavissakin olosuhteissa. Nykyaikaiset pienikokoisella digitaalikameralla varustetut UAV-multikopterit ovat jo hyväksi todettu menetelmä ilmakuvaukseen.

Rakennusalalla erityisesti infrarakentamisessa miehittämättömällä ilma-aluksella tuotetulla kuvausdatalla on merkittävä hyödyntämispotentiaali, joka on pitkälti vielä kartoittamatta. Ilma-aluksien avulla suoritetuilla kuvauksilla on monia hyödyntämistapoja rakennushankkeen eri vaiheissa. Hyödyntämisen esteenä on yleensä aineistojen saatavuuden ja käytettävyyden ongelmat. Ongelmat koskien saatavuutta johtuvat tyypillisesti kooltaan suurista tiedostoista. Käytettävyyttä vähentää tyypillisesti vaatimukset erityisohjelmistoille ja -osaamiselle sekä tehokkaille työasemille. Tänä päivänä on tarjolla internet-selaimessa toimivia pilvipalveluita, joissa fotogrammetrian avulla tuotettuja malleja voidaan tarkastella verkkoselaimessa.

Opinnäytetyö on tehty SRV Infra Oy:lle, jonka toiminta-alueeseen kuuluvat maanalaiset kalliotilat, pohjarakennustyöt ja monipuoliset väylähankkeet. Työn tilaaja suorittaa Keilaniemen väylähankkeessa säännöllisesti UAV-ilmakuvauksia, joita hyödynnetään muun muassa verkkoselaimessa toimivassa Pointscene Next palvelussa. Kustannuksiin ei tässä työssä oteta kantaa, sillä laitteiston ja aineiston prosessointiin käytettyjen palvelujen tai mittaushenkilön lentotyöhön käyttämän työajan kustannusarviot ovat haasteellisia ennustaa.

Opinnäytetyössä tarkastellaan UAV-aluksella tuotetun kuvausdatan hyödyntämismahdollisuuksia infrahankkeen kommunikoinnissa ja viestinnässä. Tarkoituksena on käydä läpi fotogrammetrisen ilmakuvausdatan tarkasteluun tarkoitettuja yksinkertaisia verkkoselaimessa toimivia palveluita. Työssä tarkastellaan palveluiden toimintoja ja niiden potentiaalisia hyödyntämismahdollisuuksia infrarakentamisessa. Lopuksi haastatteluiden

sekä oman kesätyön aikana saatujen tietojen avulla kerrotaan miten Keilaniemen väylähankkeeseen osallistuvat toimihenkilöt hyödyntävät palvelujen tarjoamaa kuvausdataa viestintään ja kommunikointiin. Lisäksi haetaan myös syitä siihen, minkä takia jotkut eivät hyödynnä tiettyjä tai kenties kaikkia palvelujen tarjoamia mahdollisuuksia.

## 2 FOTOGRAMMETRIA JA UAV-ILMAKUVAUS

Tässä luvussa esitetään kirjallisuuskatsaus aihepiiristä, joka toimii pohjana ja tukena työn myöhemmässä vaiheessa olevalle empiiriselle osuudelle. Teoriaosuudessa käsitellään fotogrammetrian ja kaukokartoituksen historian kannalta merkittävimpiä ajanjaksoja (luku 2.1). Seuraavaksi (luku 2.2) on kerrottu mitä fotogrammetria tarkoittaa ja sen muodostamisen keskeisimmät menetelmät. Samassa luvussa käsitellään myös fotogrammetrian avulla tuotettuja malleja, joita luvuissa 3 ja 4 esitetyt palvelut tarjoavat. Luvussa 2.3 käsitellään työaiheen termistöä ja lopuksi perehdytään Suomessa Liikenne- ja viestintävirasto Traficomien määräyksiin koskien kauko-ohjattuja ilma-aluksia (luku 2.4).

### 2.1 Fotogrammetrian historia

”Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen historia voidaan jakaa kuvien kartoituskäytön perusteella neljään peräkkäiseen aikakauteen; mittapöytäfotogrammetriaan, analogiseen, analyyttiseen ja digitaaliseen fotogrammetriaan.” (Haggren 2011). Mittapöytäfotogrammetrian katsotaan saaneen alkunsa 1850-luvulla, jolloin Laussedat suoritti maastonmittauksia valokuvien avulla. Ensimmäiset kuvat otettiin maanpinnalta korkeilta paikoilta, ja vuonna 1858 otettiin ensimmäiset ilmakuvat ilmapallosta. Stereofotogrammetria, jossa käsitellään kahta kuvaa kerralla, sai alkunsa vuonna 1901. Pulfrich valmisti ensimmäisen stereokompraattorin, joka mahdollisti kolmiulotteisten mittausten tekemisen. Ensimmäisen analogiastereokojeen rakensi Von Orel, jolla voitiin piirtää muun muassa kuvioita ja korkeuskäyriä virheettömässä projektiossa. (Lønum, 1980, 12.)

Tietokoneiden läpimurto numeerisessa laskennassa 1960-luvulla johti siihen, että analogiakojeiden analogialaskimet korvattiin tietokoneen suorittamalla analyyttisen geometrian mukaisella laskennalla. Samalla kehittyi analyyttinen fotogrammetria, jossa kuvamittaukset muunnettiin kohdekoordinaatistoon laskennallisesti. Analyyttisessä fotogrammetriassa voidaan käsitellä useampia kuvia kerralla toisin kuin stereofotogrammetriassa. (Salmenperä, 2004, 6.)

Viimeisin vaihe kuvamittauksen kehityshistoriassa on digitaalinen fotogrammetria, joka kehittyi digitaalikameran kehittymisen myötä 1990-luvulla. Kehityksestä huolimatta di-



gitaalikuvista 3D-mallien tuottaminen tietokoneella vei runsaasti aikaa monien työvaiheiden johdosta. Structure from Motion -menetelmän syntyminen 2000-luvun alussa oli jälleen yksi askel fotogrammetrian kehityksessä. Sfm-menetelmään pohjautuvien ohjelmien avulla pystyttiin laskemaan kameran tarkka sijainti ja näin tuottamaan automaattisesti 3D-malli pelkästään valokuvien avulla. Aikaisemmin käytettyyn menetelmään oli olennaisesti kuulunut tarkka tieto valokuvien ottopaikasta. Näin pystytään ottamaan kuvasarja vapaasti liikkuvalla kameralla, joka nopeuttaa mallinnusprosessia huomattavasti. (Lahelman, 2014, 3.)

## 2.2 Fotogrammetrian perusajatus

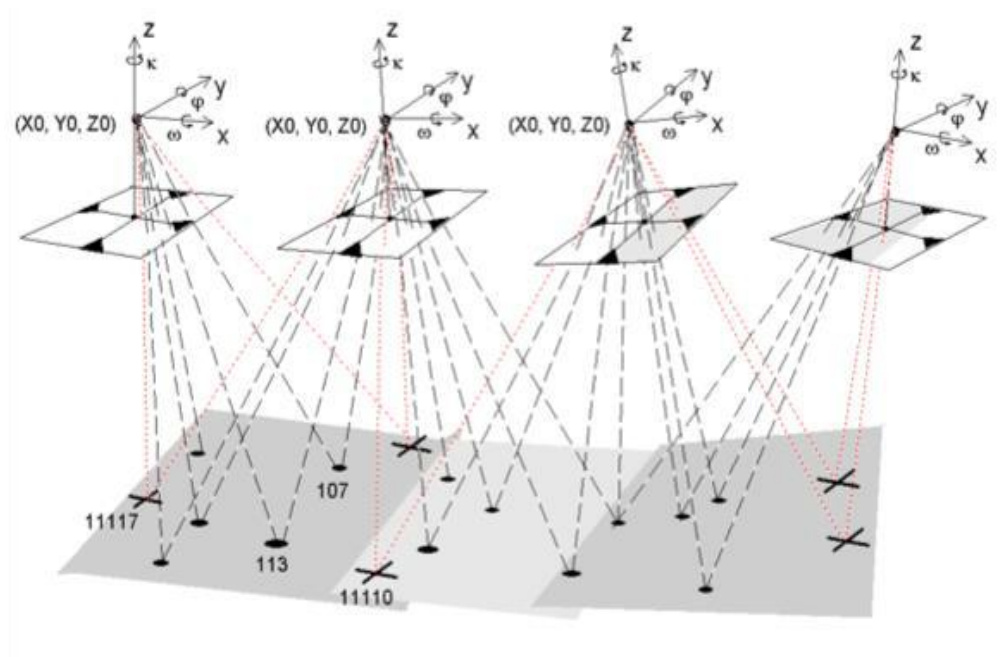
Fotogrammetrialla tarkoitetaan menetelmiä, joiden avulla voidaan kuvilta mittaamalla määrittää kohteen sijainti, muoto ja koko (Salmenperä, 2004, 5). Etuna muihin mittausmenetelmiin, fotogrammetrialla voidaan selvittää kohteen tiedot ilman fyysistä kosketusta (Vinni, 2003). Fotogrammetria käsittää sekä ilmakuvamittauksen, että maasta käsin otettujen kuvien mittaamisen eli maakuvamittauksen (Haggren, 2011). Tärkein tehtävä fotogrammetrialla on määrittää kuvan ja kohteen välinen geometrinen suhde sellaisena kuin se oli kuvanottohetkellä, jolloin kuvalta voidaan saada tietoja kohteesta. (Vinni 2003).

Fotogrammetrian mittauksen perustana on vastinpisteiden löytäminen eri kuvakulmista otetuilta valokuvilta. Tällöin kuvat sisältävät osittain samaa informaatiota eli ovat osittain päällekkäin. Yleisesti kartoitusfotogrammetriassa täytyy olla päällekkäisyyttä vähintään 60 % pituuspeittoa ja 30 % sivupeittoa. Suuremmalla päällekkäisyydellä saavutetaan tarkempaa ja parempaa laatua, mutta samalla käsiteltävän datan määrä kasvaa. (Teittinen 2017, 16.)

Fotogrammetrian toimenpiteelle ja laskennalle on oleellista selvittää sisäinen – ja ulkoinen orientointi. Sisäinen orientointi selvitetään kameran kalibrointiparametrien avulla, joita ovat kameravakio, pääpisteen paikan ja optiikan aiheuttamien virheiden määrittäminen. (Hirvonen 2015, 9.) Kalibrointi suoritetaan juuri ennen kuvaustehtävää tai heti sen jälkeen, sillä olosuhteiden on oltava samanlaisia. Kalibrointi on myös mahdollista suorittaa suoraan kuvista itsekalibrointimenetelmällä hyödyntämällä kuvien vastaavuuksia. Molemmat menetelmät perustuvat automaattiseen tunnistukseen, jossa vastinpisteiden

sädekimpot kiinnittävät kuvajoukon geometrian ja kohdepisteiden sijainnit. (Teittinen 2017, 16.)

Kameran ulkoinen orientointi eli kamerasijainnin koordinaatit ja orientaatio selvitetään laskennallisesti kuuden muuttujan avulla. Muuttujat muodostuvat kamerasijainnin kolmesta koordinaatista sekä kolmesta kiertokulmasta kamera- ja kohdekoordinaatiston välillä. Kun kamerasijainnin on selvitetty, voidaan määrittää uusien pisteiden XYZ-koordinaatit eteenpäinleikkaamalla (kuva 1). Eteenpäinleikkaus lasketaan fotogrammetrian kollineaarisuusyhtälöiden avulla. (Teittinen 2017, 16.) Toistamalla operaatiota useita kertoja pystytään laskemaan uusia pisteitä kolmiulotteiseen koordinaatistoon ja tuottamaan kolmiulotteisen tietokonemallin eli pistepilven. (Mäki 2018, 17). Tietokonemalli voidaan sitoa paikalliskoordinaatistoon, eli georeferoida, sijoittamalla koordinaatistoon tunnettujen vastinpuisteiden koordinaatit. (Teittinen 2017, 16-18).



KUVA 1. Ulkoisten orientointien määrittäminen vastinpuisteistä muodostuvien sädekimpujen avulla. Projektiokeskusten sijainti  $(X_0, Y_0, Z_0)$  ja kamerasijainnin kallistukset  $(\omega, \varphi, \kappa)$ . (Hirvonen 2015, 10).

### 2.2.1 Ortokuva

Ortokuva on nadiirikuvauksena ilma- tai satelliittikuvien avulla karttaprojektioon oikaistu ilmakuvamosaiikki. Ortokuvan muodostamiseen tarvitaan kuvien lisäksi orientointitiedot ja alueen korkeusmalli. Digitaalisena valmistettu ortokuva jaotellaan maanpintaortokuvaan ja tosiortokuvaan. (Haggren 2002, 1-2.) Yleisesti käytössä olevalla kameralla saadaan UA -ilmakuvauksen avulla ainoastaan DSM-pintamalli, jonka avulla muodostetaan kohteen tosiortokuva. Maanpintaortokuva muodostetaan käyttäen maanpintaa kuvaavaa DTM-korkeusmallia. Peitteisen maaston DTM-korkeusmallin muodostamisessa voidaan käyttää hyväkseen yhdistelmäkameroita ja laserkeilaimia. (Illikainen 2018, 5-6.)

### 2.2.2 Pistepilvi

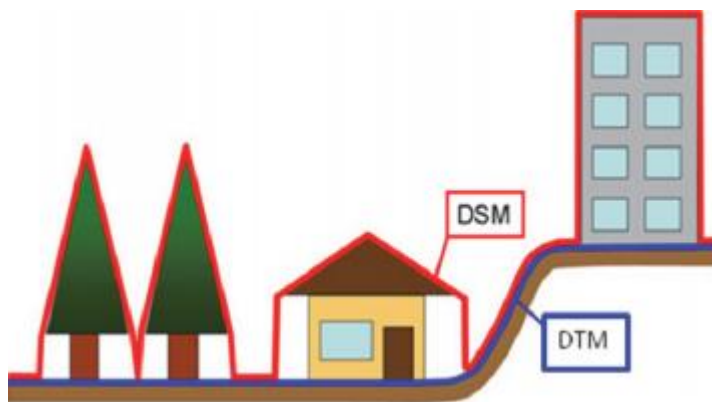
Pistepilvi on pisteiden avulla koordinaatistoon tai avaruuteen muodostettu kolmiulotteinen tietokonemalli (kuva 6 ja 9). Pistepilvi pyrkii useiden pisteiden avulla osoittamaan kohteen kolmiulotteisen mallin ja muodon. Yleisimmät menetelmät, joilla pistepilveä muodostetaan ovat fotogrammetria ja laserkeilaus. Laserkeilauksessa pistepilvi muodostetaan hyödyntämällä lasersäteitä laskemalla niiden heijastuminen ajan suhteen heijastuskohdasta. Fotogrammetriset menetelmät perustuvat kohdassa 2.2 esitettyyn ajatukseen, jossa vastinpisteiden avulla luodaan kolmiulotteinen tietokonemalli. Työssä tarkastellaan ainoastaan fotogrammetrisin menetelmin muodostettua pistepilveä. (Teittinen 2017, 20-21.)

### 2.2.3 Maastomallit

Digitaalinen korkeusmalli (DEM) on numeerinen esitys maanpinnasta ja se sisältää pinnanmuotoja kuvaavan korkeuspisteiden joukon. Korkeusmallilla pyritään mallintamaan numeerisesti maaston korkeuden vaihteluita ja näin korvaamaan korkeuskäyrien mittaus. Korkeusmallin pisteet yhdistetään toisiinsa joko tasavälisenä hilana tai epäsäännöllisenä kolmioverkkona. (Maanmittauslaitos.)

Digitaalinen maastomalli (DTM) on maanpintaa kuvaava malli, joka voi korkeustiedon lisäksi sisältää muuta tietoa, kuten esimerkiksi maan peitteestä (kuva 2). Maastomallin tärkein osa on korkeusmalli. (Maanmittauslaitos.)

Digitaalinen pintamalli (DSM) kuvaa alueen ylimmän kerroksen pintaa. Tällöin malli kuvaa maanpintaa ainoastaan avomaalla, mutta muilla alueilla esittää rakennusten kattojen ja puiden latvuston korkeutta (kuva 2). Ilma-aluksella tehtyjen kuvien avulla saadaan muodostettua ainoastaan digitaalinen pintamalli, lukuun ottamatta avomaalla tapahtuvaa kuvausta, jolloin voidaan muodostaa myös digitaalinen korkeusmalli DEM. (Maanmittauslaitos)



KUVA 2. DTM ja DSM pintamallien erot (Verhulp 2015, 1)

#### 2.2.4 Panoraamakuva

Kuvausdatasta voidaan saada digitaalinen panoraamakuva yhdistämällä useampi kuva yhteen ja näin voidaan muodostaa jopa täysi 360° asteinen kuva. Vierekkäisten kuvien pitää olla osittain päällekkäin, jotta seuraava kuva saadaan sovitettua. Monet kamerat pystyvät suoraan muodostamaan kuvista panoraamakuvan, mutta kuvat voidaan myös koota yhteen tietokoneella siihen tarkoitetuilla ohjelmilla. (Rinne 2010.)

#### 2.3 Kauko-ohjatut ilma-alukset

Sanat lennokka ja kauko-ohjattu ilma-alus kuulostavat synonyymeiltä, kuitenkin lainsäädännöllisesti sanoilla on merkittävä ero. Lennokit ovat kauko-ohjattuja tai autonomisia, harrastus- tai urheilutarkoitukseen käytettäviä ilmassa liikkuvia laitteita. Kauko-ohjatuilla ilma-aluksilla viitataan taas kaikkiin muihin ilmassa liikkuviin laitteisiin, eli ne ovat lentotyöhön käytettäviä laitteita. Kauko-ohjattujen ilma-aluksien ohjausta valvoo kauko-ohjaaja, joka tarvittaessa pystyy puuttumaan aluksen toimintaan. (Miehittämätön ilmailu, 2019.)

UAV josta käytetään myös nykyisin lyhennettä UA (Unmanned Aircraft), on ilmailun laji, jossa ilmailualusta ohjataan ilman kyydissä olevaa pilottia. Laitteen ohjaus tapahtuu joko kauko-ohjauksella tai autopilotin avulla ennalta määritettyä reittiä pitkin. Autopilotin toiminnon voi tarvittaessa kytkeä pois ja siirtää ohjaus manuaaliseen kauko-ohjaukseen. Ilma-alukset varustetaan lentotehtävän tarkoituksen mukaisella lisälaitteella esimerkiksi digitaalikameralla. Kaikista miehittämättömistä ilma-aluksista käytetään ilmaisua drone. (Miehittämätön ilmailu, 2019.)

Maailmassa on monia lyhenteitä, jotka kuvaavat miehittämättömiä lentoaluksia ja lentotyön kokonaisuutta. Suomessa tavallisimpia lyhenteitä ovat edellä mainitun UAV:n ja UA:n lisäksi RPAS (Remotely Piloted Aerial System), RPA (Remotely Piloted Aircraft) ja UAS (Unmanned Aircraft System). (Keränen 2017, 2.)

Viime vuosina on kasvanut merkittävästi miehittämättömien lentoalusten määrä ja tänä päivänä niitä myy lähes kaikki elektroniikkamyymälät. Kehityksen taustalla on UA-etujen hyödyntäminen nopeammin ja kustannustehokkaammin kehittyneempien lentoalusten avulla. Lentoaluksia voidaan luokitella niiden lentoonlähden ja laskeutumisen mukaan. Vertikaalisesti suoraan nousuun ja laskuun kykenevät kopterimalliset alukset ovat käytetympiä kuin kiinteäsiipiset perinteisen lentokoneen tapaiset alukset, jotka vaativat kiitoradan. Ilmakuvauksissa käytettävät radio-ohjatut multikopterit koostuvat 3-8 roottorista, joiden avulla kopterin ohjaus tapahtuu (Teittinen 2017, 20-21.) Kopterit käyttävät energialähteenä energiatiheitä litium-polymeeriakkuja (LiPo-akut), jotka ovat käytännössä syrjäyttäneet lentomaailman muut akut. (Hassinen 2016, 38).

#### **2.4 Miehittämättömien ilma-alusten lainsäädäntö**

Suomessa Liikenne viestintävirasto Traficom säätelee miehittämättömien ilma-alusten toimintaa. Viimeisin ilmailulakiin perustuva määräys OPS M1-32 koskien kauko-ohjattuja ilma-aluksia ja lennokkeja astui voimaan 7.12.2018. Suomessa ilmailulakia sovelletaan kauko-ohjattuihin ilma-aluksiin ja yli 250 g painaviin lennokkeihin, lukuun ottamatta sisätiloissa ja sotilaallisessa tarkoituksessa tapahtuvaa ilmailua. (TRAFI 2018.)

Ennen ensimmäistä kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttöönottoa on ilmoitettava Traficomille tiedot käyttäjästä, ilma-aluksesta, toiminta-alueesta ja toiminnan laajuudesta. Kauko-ohjatusta lennosta vastaa vähintään 18-vuotias henkilö, jonka tiedot on merkittävä

ilma-alukseen. Lentotoiminta on suoritettava niin, ettei se aiheuta vaaraa tai meluhaittaa ulkopuolisille eikä haittaa viranomaisen toimintaa. Kauko-ohjatussa ilma-aluksessa on oltava järjestelmä, joka varmistaa hätätilanteessa, että ulkopuolisille aiheutuva vaara on mahdollisimman pieni. (TRAFI 2018.)

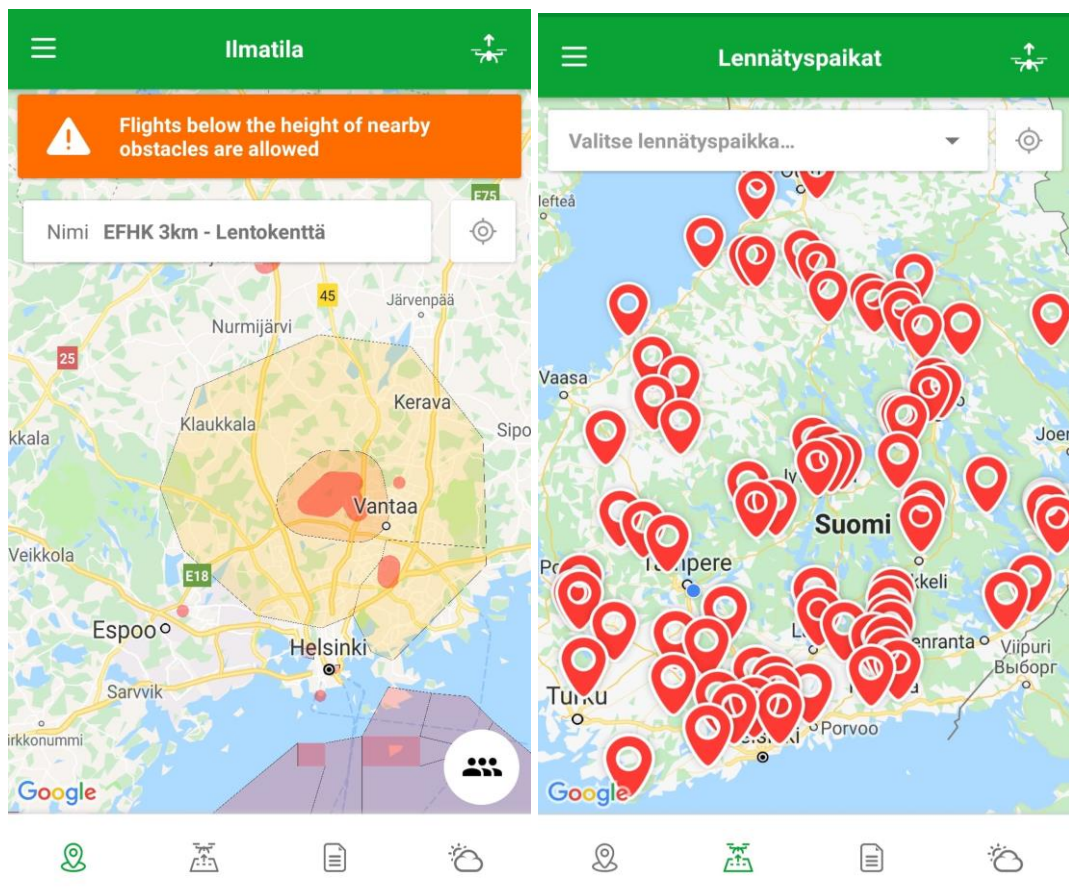
Kauko-ohjatuista lennoista on säilytettävä seuraavat tiedot kahden vuoden ajan

- lennon päivämäärä
- lähtö- ja laskupaikka
- ilma-aluksen päällikkö
- lennon alkamis- ja päättymisaika
- onko lentotoiminta suoritettu säilyttämällä näköyhteys (VLOS visual line of sight) vai toiminta on tapahtunut näköyhteyden ulkopuolella (BVLOS beyond visual line of sight)
- tiedot lentotehtävän luonteesta ja se, onko käytetty kauko-ohjaustähystäjää.

Ilmatiedotejärjestelmässä julkaistujen lennätyspaikkojen ulkopuolella kauko-ohjatun ilma-aluksen suurin sallittu lentoonlähdomassa ilman pelastuslaitetta on 25 kg ja lentokorkeus enintään 150 metriä. Kiinteän esteen välittömässä läheisyydessä on omistajan luvalla oikeus poiketa korkeusrajoituksesta. Lennon aikana on säilytettävä näköyhteys ilma-alukseen tai käytettävä kauko-ohjaustähystäjää, jolla on oltava luotettava yhteys kauko-ohjaajaan. (TRAFI 2018)

Kauko-ohjatun ilma-alusten on aina väistettävä muita ilma-aluksia, minkä takia lentäminen on rajoitettua kiitotien ja helikopterilentopaikkojen läheisyydessä. Alle yhden kilometrin etäisyydellä kiitotiestä lentäminen ei ole sallittua. Lennättäminen kiinteän esteen läheisyydessä on sallittua, kun kiitotien reunoista on yli yksi kilometri mutta alle 3 kilometriä. Yli kolmen kilometrin etäisyydellä kiitotiestä lentokorkeus saa olla enintään 50 metriä. Lennättäminen on myös kielletty, kun helikopteripaikka on alle 600 metrin etäisyydellä, jollei ole sovittu erikseen helikopteripaikan pitäjän kanssa. (TRAFI 2018)

Liikennevirasto Trafín julkaiseman Droneinfo-mobiiliapplikaation avulla käyttäjä voi tarkastella alueen lentokieltoja ja rajoituksia. Kuvassa 3 on esitettynä kuvakaappaus sovelluksesta, jossa on merkitty rajoitetut alueet ja lennätyspaikat. Lentokieltoalueet on kuvattu kartalla punaisella ja rajoitetut alueet keltaisella värillä. (Keränen 2017, 9.)



KUVA 3. Droneinfo- aplikaation lennätyspaikka- ja ilmatilanäkymä.

### 3 VERKKOSELAIMESSA TOIMIVAT PILVIPALVELUT

Tässä osiossa käsitellään fotogrammetrian avulla tuotettujen mallien tarkasteluun tarkoitettuja yksinkertaisia verkkoselaimessa toimivia palveluita sekä niiden tarjoamia toimintoja ja mahdollisia hyötyjä infrarakentamisessa. Osiossa keskitytään esittelemään markkinoilla olevista palveluista opinnäytetyön tilaajan käyttämää Pointscene Next ja Tietoa Finland Oy palveluja Kehä I:n Keilaniemen väylähankkeessa. Lopuksi käsitellään maailmanlaajuisesti käytettyjä Dronedeploy ja Pix4D pilvipalveluja. Dronedeploy ja Pix4D tarjoavat palveluistaan kokeilujaksoja, joita hyödyntämällä palveluja on vertailtu keskenään.

#### 3.1 Pointscene Next -palvelu

Pointscene Next on suomalaisen 3point Oy:n kehittämä rakennushankkeen UA- ja laserkeilausaineistojen karttapohjaisen hallinnan selainpohjainen pilvipalvelu. Verkkoselaimessa toimivan palvelun avulla voidaan tehostaa rakennushankkeen materiaalien, massojen, turvajärjestelyjen ja työmaalogistiikan suunnittelua ja hallintaa sekä helpottaa hankkeen eri osapuolten välistä kommunikointia. Pointscene mahdollistaa rakennushankkeen säännöllisen ja hallitun 3D-dokumentoinnin hyödyntämällä nykyaikaisia mittausmenetelmiä kuten UA-kartoitusta ja laserkeilausta. Hankkeen datat ovat aikaan, paikkaan ja projektiin sidottuja sekä lajiteltuja datatyypeittäin, joita hankkeen osapuolet voivat hyödyntää hankkeen aikana ja sen jälkeen. Pointscene palvelussa muodostetun ortokuvan merkittävimpiä hyötyjä on, että sitä pystyy rajapinnan kautta hyödyntämään monissa palveluissa. Pointscene Next mahdollistaa aineistojen ja käyttösovelluksen integroimisen muihin järjestelmiin ja eri järjestelmien välillä TMS-rajapinnan kautta esimerkiksi InfraKit –pilvipalveluun. Lähitulevaisuudessa integraatiot ovat tulossa myös muihin työmaan ohjelmistoihin, kuten 3D-Win, Novatron ja Trimble Connect. (Pointscene 2019, 1-4.)

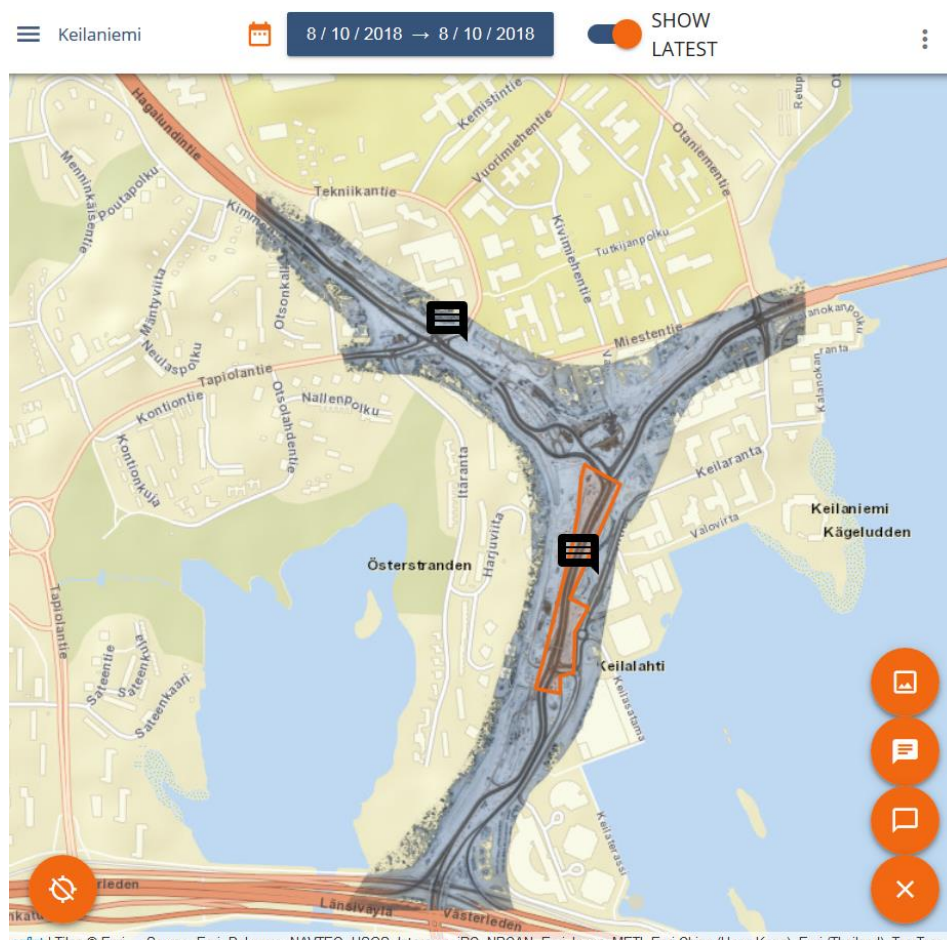
Palvelu muodostuu kahdesta näkymäalueesta, pistepilven avulla tuotetusta ortokuvanäkymästä ja kolmiulotteisesta pistepilvinäkymästä. Pistepilvet ja muut palvelun paikatietoaaineistot ovat palvelun kautta ladattavissa tiedostoina. Palvelu toimii kaikissa moderneissa nettiselaimissa (Chrome, Firefox, Safari, Microsoft Edge) sekä työpöytä- että



mobiilikäytössä. Aineistot tallennetaan ja palvelu ylläpidetään Google Cloud -ympäristössä, joka on asiakkaan käytössä ympäri vuorokauden viikon jokaisena päivänä. (Pointscene 2019, 1-4.)

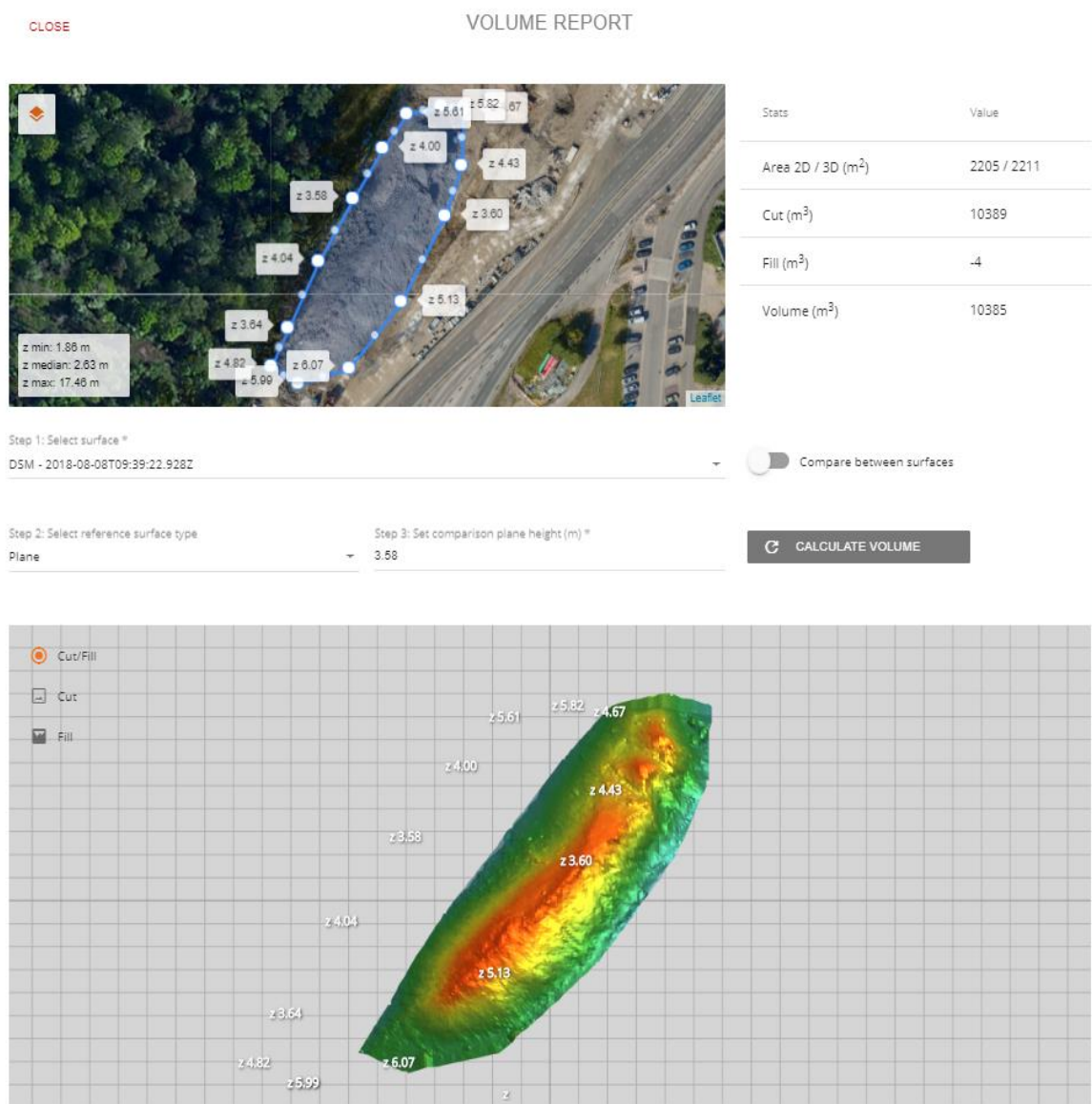
### 3.1.1 Ortokuvanäkymä

Ortokuvanäkymässä on pistepilvestä muodostettu ortokuva, joka on georeferoitu tunnettujen koordinaattien avulla karttalaayeriin. Näkymässä on kolme eri työkalua: tilavuus työkalu (create volume report) ja kommenttityökalu alueen (create area note) tai pisteen (create note) muodossa. Kommenttityökalujen avulla voidaan alueen tai pisteen muodossa kommentoida ortokuvaan ja tarvittaessa lähettää kommentti tietylle toimihenkilölle sähköpostiin. Viestiin voidaan myös liittää asiakirjoja, valokuvia tai videoita. Kuvassa 4 on esitetty palvelun ortokuvanäkymä, johon on kommentoitu sekä alue- että pistetyökalulla. Näkymässä voidaan myös muuttaa ortokuvan ajankohtaa ja paikantaa laite karttaan.



KUVA 4. Ortokuvanäkymä Pointscene –palvelussa Keilaniemen työmaasta

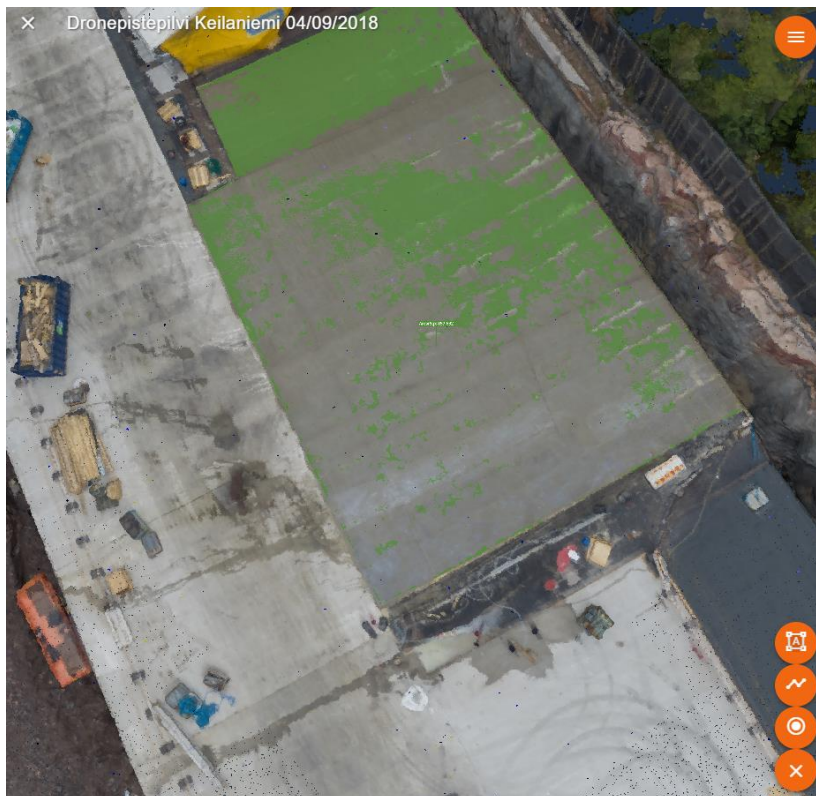
Tilavuustyökalulla valitaan vapaamuotoisesti tarkasteltava alue ortokuvasta ja tällöin päästään tilavuuden tarkasteluikkunaan (volume report). Ikkunassa on mahdollista tarkastella alueen tilavuuksia eri ajankohtina ja tarvittaessa vertailla niitä keskenään. Alueesta saadaan tarkasteltua pinta-ala, leikattu ja täytetty massamäärä sekä niiden kokonaismuutos (kuva 5). Palvelu kertoo myös alueen korkeuskoordinaattien (z-koordinaatit) minimin, maksimin ja keskiarvon, joita voidaan hyödyntää tilavuustarkastelussa. Valitusta alueesta palvelu muodostaa myös kolmiulotteisen DSM-mallin, jossa värien avulla on havainnollistettu alueen korkeustiedot (kuva 5).



KUVA 5. Tilavuustyökalu, jonka avulla on mitattu maakan tilavuus alimman reunapisteen mukaan.

### 3.1.2 Pistepilvinäkymä

Fotogrammetrian tai laserkeilauksen avulla rakennustyömaasta tuotettua pistepilviaineis-  
toa tarkastellaan kolmiulotteisessa pistepilvinäkymässä. Näkymässä on piste- (measure  
points), viiva- (measure distanes) ja aluemittaustyökalu (measure areas), joiden avulla  
voidaan pistepilvestä tarkastella alueen mittatietoja. Pistemittaustyökalun avulla voidaan  
tarkastella haluttuja pisteitä, jolloin palvelu näyttää pisteiden xyz-koordinaatit. Viivamit-  
taustyökalulla pistepilveen voi piirtää viivan, joka voi muodostua taiteviivana monista  
pisteistä, haluttuun kohtaan. Piirretystä viivasta saadaan selville alku- ja loppupisteen vä-  
linen pituus, kallistuskulma, projektion pituus (dXY) ja korkeusero. Palvelu näyttää myös  
taiteviivan pisteiden xyz- koordinaatit. Aluemittaustyökalun avulla voidaan määrittää va-  
paavalintaisen alueen pinta-ala ja ympärysmitta. Kuvassa 6 on esitetty pistepilvinäkymä,  
jossa on aluemittaistyökalulla tarkasteltu teräskuitubetonilla valetun suojabetonilaatan  
mittatietoja.



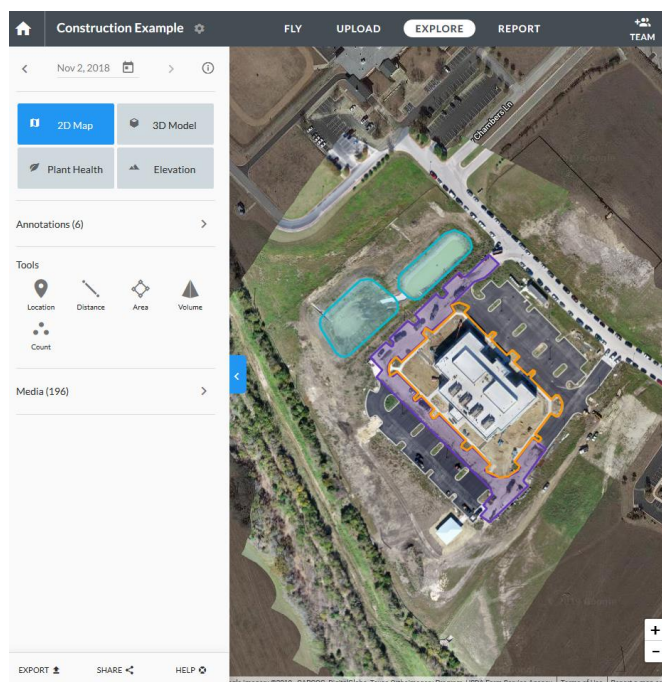
KUVA 6. Juuri valetun suojabetonilaatan pinta-alan määrittäminen pistepilvinäkymässä.

## 3.2 Dronedeploy

Dronedeploy on verkkoselaimessa toimiva yhdysvaltalainen pilvipalvelu, joka omistaa maailman suurimman ilma-aluksilla kerätyn kuva-aineiston. Tässä osiossa pyritään tarkastelemaan palvelun tarjoamia työkaluja prosessoidun kuvausdatan hyödyntämiseen rakennushankkeessa. (Chowdhry 2017.)

Merkittävä osa DronedeployN tarjoamasta palvelusta liittyy kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättämiseen, jonka ominaisuuksia ei tarkastella työssä. Tarkastelun kohteena on palvelun tutki (Explore) -välilehti, jossa on tarjolla neljä erilaista näkymävaihtoehtoa. Vaihtoehtoista käsitellään 3D-malli (3D-model), jossa löytyy myös pistepilvi, ortokuvanäkymä (2D map) ja korkeusmalli (elevation). Maataloudessa käytettävää kasvillisuus-tilannetta arvioivaa Plant Health työkalua ei tarkastella työssä.

Dronedeploy palvelun tutki välilehdessä on pääosin samanlaisia työkaluja kuin tilaajan käyttämässä Pointscene Next palvelussa. Palvelun datat ovat aikaan, paikkaan ja projektiin sidottuja ja datatietojen ajankohtaa pystyy muuttamaan kalenterista. Kuvassa 7 on esitetty palvelun kokeiluversiosta tieto välilehden ortokuvanäkymä, jossa on suoritettu mittatyökaluilla viiva- alue- ja tilavuusmittauksia.



KUVA 7. Palvelun ortokuvassa suoritettu tilavuus- (sininen) alue- (violetti) ja viivamittaus (oranssi).



Ortokuvanäkymässä on viisi erilaista työkalua: piste- (location), viiva- (distance), alue- (area), tilavuus- (volume) ja yhdistää työkalu (count) (Kuva 7). Pistetyökalun avulla voidaan määrittää halutun kohteen koordinaatit ja aluetyökalulla määrittää halutun kohteen pinta-ala. Viivatyökalulla voidaan haluttuun kohtaan piirtää viiva, josta voidaan selvittää sen pituus ja korkeus valitussa kohdassa. Tilavuustyökalulla voidaan mitata alueen tilavuutta, jonka laskemiseen palvelu käyttää hyväkseen valitun alueen reunapisteitä. Kuvassa 7 sinisellä värjättyllä alueella on mitattu tilavuutta, violetilla pinta-alaa ja oranssilla viivalla alueen piiriä. Mittatietoja pääsee tarkastelemaan ja kommentoimaan valitsemalla tarkasteltava mitta. Eri ajankohtien välistä tilavuustarkastelua ei palvelulla pysty suorittamaan, mutta tarvittaessa tarkastelua varten voi ladata erillisen ”GCP Volume Analys” ohjelman. Kaikkia edellä mainittuja työkaluja voidaan käyttää paitsi mittaamiseen, mutta myös tiedon välittämiseen. Jokaisen tallennettuun mittaukseen voi sisällyttää tiedotteen, jonka kaikki projektiin kirjautuneet toimihenkilöt pääsevät näkemään ja tarvittaessa kommentoimaan.

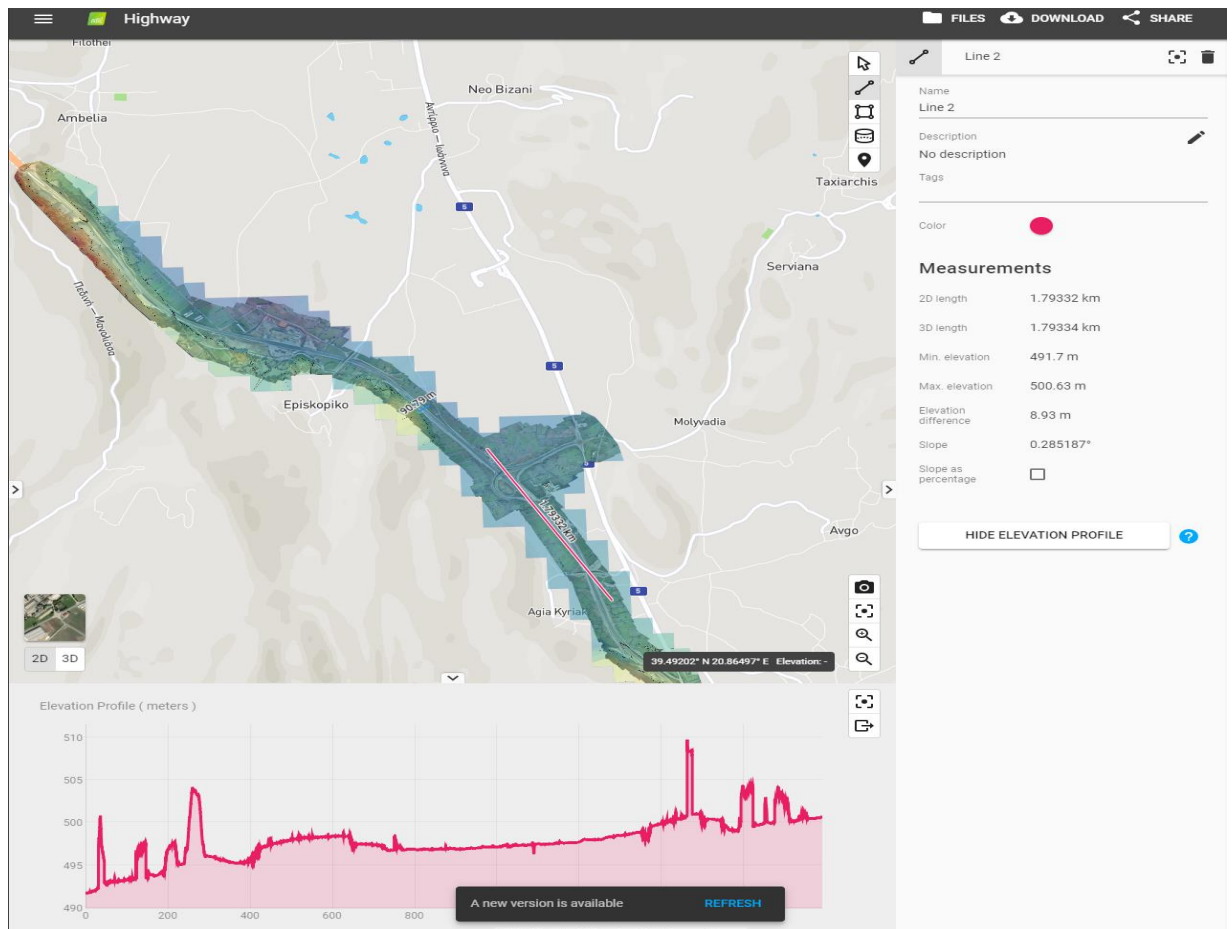
Palvelun 3D-mallissa pystyy tarkastelemaan kuvattua kohdetta kolmiulotteisesti tai pistepilvinäkymässä. Pistepilvessä ei ole palvelun testiversiossa mitään mittaustyökaluja, jolloin sen hyödyntämismahdollisuudet jäävät rajallisiksi. Pistepilvitiedosto on ladattavissa palvelun kautta, jolloin sitä voidaan hyödyntää siihen tarkoitettujen ohjelmien avulla.

### **3.3 Pix4Dmapper**

Sveitsissä vuonna 2011 perustettu Pix4D on maailman johtavia verkkoselaimessa toimivia fotogrammetriapalveluja. Se muuttaa ilma-aluksella tai käsin otetut kuvat tarkoiksi georeferoiduiksi 2D - ja 3D-malleiksi. (Pix4D)

Palvelu muodostaa kuva-aineistosta pistepilven, ortokuvan, DSM-pintamallin sekä työn rajauksen ulkopuolella jäävän kasvillisuusindeksikartan. (Pix4D Pix4Dmapper). Pix4D:llä on tarjolla neljä erilaista versiota palvelustaan, joiden käyttötarkoitukset ja hyödyntämismahdollisuudet eroavat toisistaan. Tässä luvussa tarkastellaan Pix4Dmapper palvelua, joka ominaisuuksiltaan vastaa Dronedeploy ja Pointscene-Next palveluja.

Palvelulla Pix4Dmapper on neljä eri näkymävaihtoehtoa, jotka ovat DSM-pintamalli, ortokuva, pistepilvi ja kolmioverkko. Ortokuvassa on neljä erilaista mittaustyökalua: viiva- (measure distance), alue- (measure an area), tilavuus- (measure a volume) ja pistemittaustyökalu (add a marker). Ortokuvassa voi myös kytkeä DSM-pintamallin päälle, jolloin värien avulla saadaan selville alueen suhteelliset korkeustiedot (kuva 8). Kuvassa 8 on piirretty viivatyökalulla mielivaltainen viiva, josta saadaan selville sen pituus, projektio, pienin ja suurin korkeusluku, korkeusero ja kallistuskulma. Viivasta muodostetaan myös viivadiagrammi, josta voidaan tarkastella halutun kohdan korkeuslukemaa.

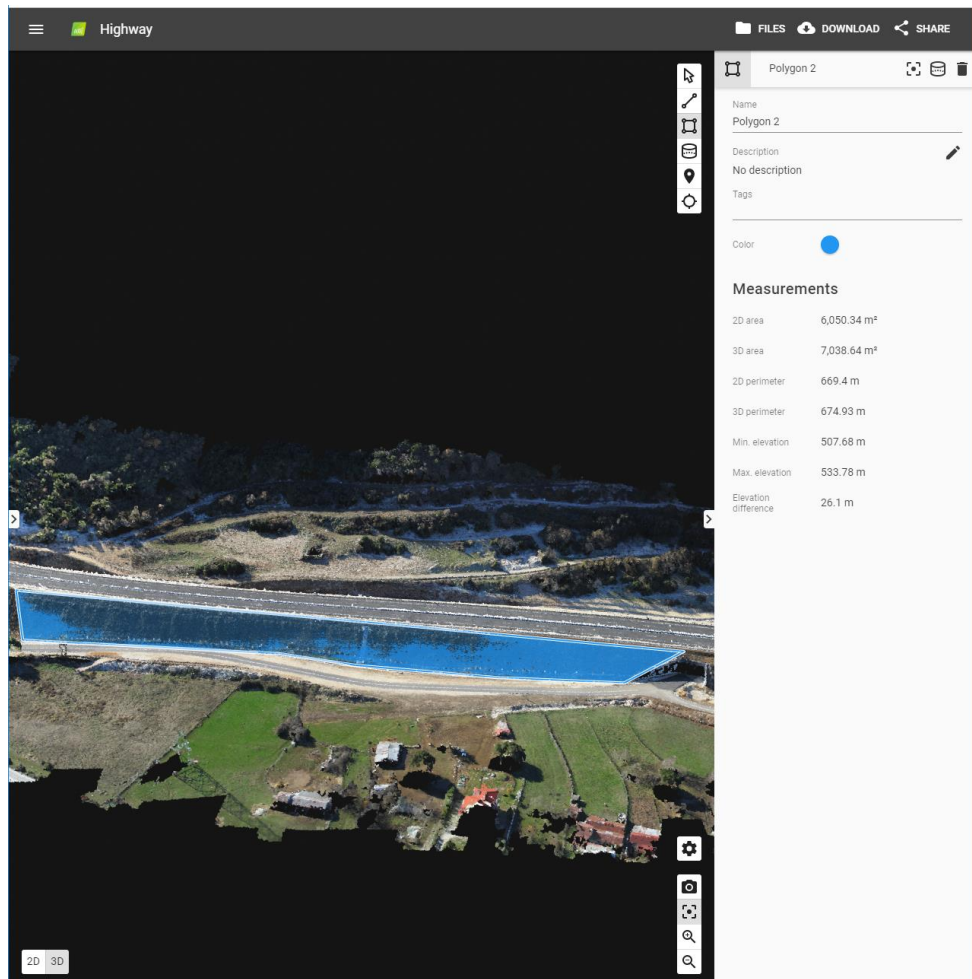


KUVA 8. Viivatyökalulla piirretyn viivan mitta- ja korkeustiedot

Aluetyökalulla voidaan mitata alueen pinta-ala, ympärysmitta ja alueen korkeuslukemat. Tilavuustyökalulla voidaan selvittää valitun alueen tilavuus tietyn korkeuskoordinaatin suhteen tai hyödyntämällä alueen reunapisteitä. Alueesta saadaan selville leikattavan ja täytettävän massamäärän suuruudet, niiden virhemarginaalit sekä yhteenlaskettu tilavuusmuutos. Pistetyökalulla voidaan selvittää yksittäisen pisteen xyz-koordinaatit.

Jokaiseen tallennettuun mittaukseen voi sisällyttää tiedotteen, jonka muut hankkeeseen osallistuvat henkilöt pääsevät näkemään ja kommentoimaan (kuva 8).

Palvelun pistepilvinäkymässä voidaan kolmiulotteisessa näkymässä tarkastella kuvattua kohdetta. Pistepilvessä on käytössä samanlaiset mittaustyökalut kuin ortokuvanäkymässä, joihin on myös mahdollista sisällyttää tiedote. Pistepilvessä erityisesti pystysuorien rakenteiden mittaaminen onnistuu helpommin verrattuna ortokuvassa suoritettuun mittaukseen. Esimerkiksi kuvassa 9 on mitattu tien luiskan pinta-alaa pistepilvessä. Tarvittaessa palvelusta on myös mahdollista ladata pistepilvi ja käyttää sitä siihen tarkoitettujen ohjelmien avulla.



KUVA 9. Pistepilvinäkymässä tien luiskan pinta-alan mittatiedot.

## 4 UA-KUVAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN INFRARAKENTAMISESSA

Keilaniemen Kehä I projektissa ulkoinen palvelun tarjoaja suorittaa kuukausittain UA-ilmakuvauksen, josta muodostetaan panoraamakuvat, pistepilvi, ortokuva ja DSM-pintamalli. Tässä kappaleessa kerrotaan yleisesti hankkeesta ja käsitellään miten UA-ilmakuvausaineistoa hyödynnetään työmaalla. Työssä pyritään kehittämään työmaan toimintamalleja hyödyntämällä uutta teknologiaa ja sen eri palveluita. Työn tarkoituksena on selvittää miten ja missä työmaatoimihenkilöt hyödyntävät tai voisivat hyödyntää palvelujen tarjoamia mahdollisuuksia.

### 4.1 Keilaniemen Kehä I-projekti

Kehä I on Helsingin niemen ympärillä oleva kehätie, joka alkaa Itäväylältä Itäkeskuksesta ja päättyy Länsiväylälle Espoon Keilaniemeen. (Wikipedia 2019). Kehä ykkönen on Suomen vilkkain tieväylä, jossa vilkkaimmalla kohdalla kulkee reilu 100 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. (Repo 2012). Kehä I:n yksi parannushankkeita on Keilaniemen Kehä I –projekti, jonka yksi päämäärinä on sujuvoittaa kehätien liikennettä ja parantaa turvallisuutta. Hankkeeseen sisältyvien eritasoliittymien ja betonitunnelin avulla kehätieltä poistuu kolme vilkasta valoliittymää, jolloin liikennevirta tällä alueella tulee kulkemaan tasaisemmin. Hankkeen muut tavoitteet ovat kehittää alueen maankäyttöä yhdistämällä Tapiola, Keilaniemi ja Otaniemi yhtenäiseksi kaupunkialueeksi, mahdollistamalla tornitalojen rakentamisen nykyisen Kehä I:n paikalle ja vähentämällä alueen melu- ja päästöhaittoja. Kehä I:n projektin tilaajana toimii Espoon kaupunki ja pääurakoitsijana on SRV Infra Oy (Sweco n.d.) Projektin tärkeimmät määrätiedot ovat:

- 440 metriä pitkä ja 36 metriä leveä Keilaniemen betonitunneli
- 3 eritasokiertoliittymä
- 310 000 m<sup>3</sup> kallion louhintaa
- 300 000 m<sup>3</sup> maankaivua
- kilometri melusuojausrakenteita
- Keilaniemenkadun muutostyöt
- kuusi uutta ja kaksi korjattavaa siltaa
- 15 uutta tukimuuria



## 4.2 Panoraamakuvien viestinnälliset hyödyt

Kuukaudessa kerran suoritettavan työmaa-alueen UA-ilmakuvauksen aikana drone pysähtyy ottamaan työmaasta yhdeksässä paikassa kuvia. Kuvien ottopaikat ovat ennalta määrättyjä ja kuvista muodostetaan 360° ilmapanoraamakuvat, joita hyödynnetään Tietoa-palvelussa. (kuva10).

Panoraamakuvien hyödyt tulevat esiin erityisesti viestinnällisessä tarkoituksessa. Niiden avulla pystytään yleispiirteisesti määrittämään ja tarkastelemaan työmaan tilannetta säännöllisin väliajoin. Panoraamakuvia voidaan hyödyntää muun muassa kokouksissa, työmaan perehdytyksessä, suunnittelussa ja tiedotuksissa.

Työmailla hankkeen aikana järjestetään säännöllisesti kokouksia muun muassa tilaajan, urakoitsijoiden, suunnittelijoiden, työntekijöiden, toimihenkilöiden sekä muiden hankkeen osapuolien kanssa. Kokouksissa ilmapanoraamakuvien hyödyntämispotentiaali perustuu niiden helposti hahmotettavaan visualisuuteen. Varsinkin isoilla työmailla on paljon vakiintuneita nimiä eri rakenteille ja alueille, joita käytetään kokouksissa. Tällöin vaarana on, että tietyt toimihenkilöt tai vierailijat eivät ymmärrä mistä alueesta tai rakenteesta on kulloinkin kyse. Panoraamakuvien avulla on helppo palavereissa esittää ja hahmottaa mistä kohteesta on kyse, mikä työvaihetilanne kohteessa on menossa ja tarkastella suunnitelmien toteutuskelpoisuutta ajantasaisilla tiedoilla.

Kehä I:n projektissa liikennejärjestelyjen tärkeys on tiedostettu hankkeen alusta alkaen. Kehä I kulkee työmaa-alueen läpi, joka muodostaa suuren riskin autoilijoille ja työmaan työntekijöille. Hankkeessa on useampaan kertaan jouduttu tekemään uusia liikennejärjestelyjä, jotta päästään tekemään kaikki urakkaan kuuluvat rakenteet. (Rautiainen 2018.) Uusien liikennejärjestelyjen suunnitteluun on hyödynnetty laajasti ilmakuvia, joiden avulla on hahmoteltu väliaikaisen ajoväylän tulevaa sijaintia. Ilmakuvaan hahmotellut liikennejärjestelyt helpottavat havainnollistamaan.

Työmaalla tapahtuu jatkuvasti uusia työmaajärjestelyjä, joiden tiedottaminen ilmakuvien avulla on vartenotettava vaihtoehto. Panoraamakuvien päälle on helppo ja yksinkertaista tehdä työmaatiedotteita. Näin laaditut tiedotteet on helppo tehdä, ymmärtää ja muokata tarvittaessa. Aikaan sidotut kuvat muodostavat kuvapankin työmaasta, josta tarvittaessa

pääsee tarkistamaan mitä milloinkin on tapahtunut. Erityisesti kuvapankin hyödyllisyys tulee esiin kiistatilanteissa tilaajan tai urakoitsijan kanssa, jolloin kuvien avulla helppo esittää millainen on ollut työmaatilanne kyseisinä ajankohtina.

Infrahankkeissa urakkarajat ovat tavallisesti laajoja, jolloin tavarantoimittajien ohjeistaminen oikeisiin paikkoihin tuottaa vaikeuksia. Selkeiden ajo-ohjeiden laatiminen on hankalaa ja vie aikaa, eikä niitä välttämättä ymmärretä oikein. Vaikka työmaa kuljettajalle olisikin tuttu, liikennejärjestelyt työmaalla voivat vaihdella usein. Kehä I:n projektissa on yleisesti ollut tapana piirtää ajo-ohjeet kohteeseen hyödyntämällä ilmakuvia. (Liite1). Näin laadituista ajo-ohjeista on saatu positiivista palautetta muun muassa betoniauton kuljettajilta.

Timo Huopana kertoi haastattelussaan, että hän käyttää säännöllisesti ilmakuvia aikataulutuksen apuvälineenä. Muiden työnjohtajien kanssa hän käy läpi tulevia työvaiheita hyödyntämällä kuvia. Näin suunniteltu työvaiheaikataulu on hänen mielestään helppo hahmottaa ja ymmärtää sekä myös omien mielipiteiden ilmaiseminen on helpompaa.

Hän kertoi, että hän on käyttänyt ilmakuvia usein myös työntekijöiden ohjeistamisessa. Näin annettuja ohjeita työntekijät ovat pitäneet selkeinä ja ymmärrettävinä, eikä ainuttakaan negatiivista palautetta ole tullut. Huopanan mukaan ilmakuvausta kannattaa suorittaa mahdollisuuksien mukaan aina infratyömaalla. Varsinkin säännöllisestä ilmakuvauksesta saadaan merkittävä hyöty silloin, kun hankkeen urakkaraja on laaja tai työmaatilanne muuttuu usein. Työmaa-alueen UA-ilmakuvauksen aikavälien suunnittelussa on hänen mukaan otettava huomioon vuodenaika. Kesällä kuvausta voitaisiin esimerkiksi suorittaa kahdesti kuukaudessa ja talvella määrää voisi vähentää yhteen kertaan kahdessa kuukaudessa. Hänen mukaan maassa oleva lumi peittää merkittäviä tietoja alueesta, eikä talvella yleisesti tapahdu niin paljon muutoksia työmaa-alueella verrattuna kesäaikaan. (Huopana 2019.)

Yleisesti hankkeessa ilmapanoraamakuvat ovat olleet laajasti käytössä organisaation sisällä. Kuvien tarkastelu ei vaadi mitään erityisohjelmistoa tai -osaamista sekä niiden omaksuminen on erittäin helppoa.



KUVA 10. Tieto Finland palvelun päävalikko työmaan panoraamakuvista, jossa oransseilla pisteillä on esitetty kuvanottoaikat.

### 4.3 Pistepilvi ja ortokuva työmaa-alueesta

Keilaniemen Kehä I- projektissa UA-ilmakuvauksen aikana otetaan keskimäärin 2000 valokuvaa 30–100 metrin korkeudessa. Valokuvista fotogrammetrisin menetelmin muodostetun pistepilven tarkkuus on noin 10 senttimetriä. Pistepilvessä olevien pisteiden määrä vaihtelee 300–400 miljoonaan. Pistepilveä hyödynnetään pilvipalveluissa sekä siihen tarkoitetuilla tietokoneohjelmilla. (Sihvola 2018)

Karttapalveluissa löytyvät ortokuvat päivitetään alueesta riippuen 3–10 vuoden välein (Maanmittauslaitos). Tässä ajassa alue varsinkin rakennettu ympäristö on muuttunut huomattavasti, eikä kyseisiä ortokuvia voida hyödyntää tehokkaasti työssä. UA-ilmakuvauksen aikana otetuista kuvista muodostettu pistepilvi ja ortokuva helpottavat muun muassa erilaisten pinta-ala, tilavuus ja mitta- ja korkotietojen saamista työmaaolosuhteissa työn-

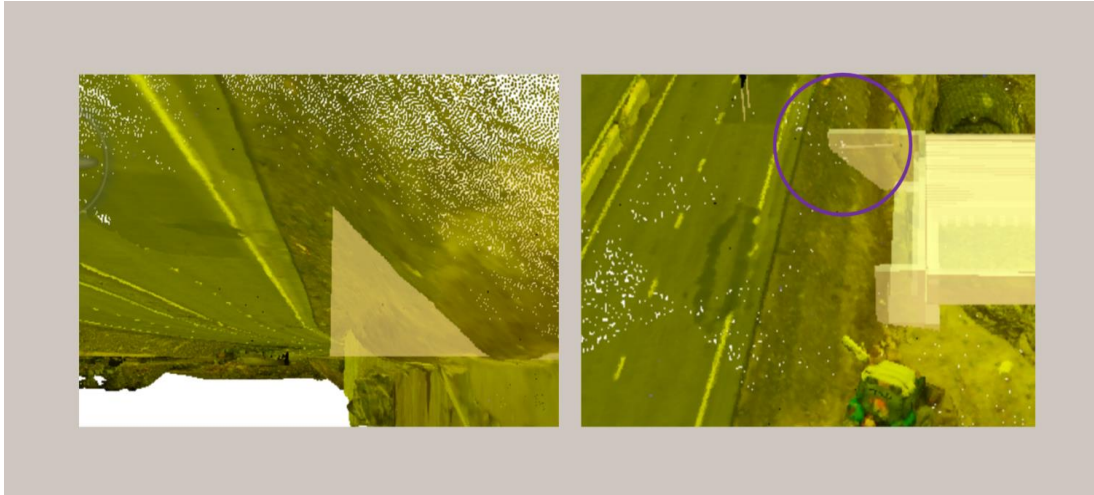
aikaisesti. Lauri Hartikainen kertoi haastattelussaan, että säännöllisen pistepilven ja ortokuvan muodostaminen työmaa-alueesta on tärkeää, koska niitä on hyvä käyttää eri rakenteiden suunnitelmavaiheiden lähtökohtana (Hartikainen 2019).

Työmaalla mittatietojen selvittäminen tapahtuu yleensä suunnitelmapiiirustuksista tai erillisten mittaushenkilöiden toimesta. Näin selvitettyjen mittatietoihin kuuluu työtunteja ja kustannuksia. Merkittäviä työkustannussäästöjä saavutettaisiin hyödyntämällä pistepilven ja ortokuvan tarjoamia mittaustyökaluja.

Pistepilven avulla voidaan esimerkiksi muodostaa pintamalli ajoväylästä tai kalliopinasta, joka on todennäköisesti tarkempi kuin mittamiehen kartoittama pintamalli, koska pisteväli on huomattavasti tiheämpi. Ajoväylän pintamallista voidaan määrittää esimerkiksi tien rakennekerroksissa oleva massamäärä haluttuun korkoon asti.

Pistepilveä tai ortokuvaa voitaisiin hyödyntää myös palaverien aikana viestinnällisessä tarkoituksessa. Pistepilvessä toisin kuin panoraamakuvissa voidaan hahmottaa kohde kolmiulotteisesti ja tarkastella sitä halutusta kohdasta. Urakka-alueeltaan laajoissa rakennushankkeissa työmaahenkilöstön työpisteet voivat sijaita eri paikassa, jolloin niiden keskinäinen viestintä on puutteellinen. Pilvipalvelut tarjoavat vaihtoehdon työmaahenkilöstölle kommunikoida keskenään muun muassa eri työvaiheiden aikataulusuunnittelussa. Palveluissa piste- tai aluemittaustyökalulla voidaan välittää tietoa muiden toimihenkilöiden kanssa liittyen esimerkiksi aluevarauksiin tai korjattaviin toimenpiteisiin työmaa-alueella.

Pointscenen muodostamaa ortokuvaa ja pistepilveä voidaan rajapinnan kautta hyödyntää myös muilla palveluilla ja ohjelmistoilla. Yhdistämällä ajankohtainen pistepilvi ja tietomalli voidaan tarkastella, mitä toimenpiteitä vaaditaan uuden rakennettavan kohteen toteuttamiseksi. Kuvassa 11 on esimerkiksi tarkasteltu rakennettavan sillan tietomallia pistepilvessä. Yhdistämällä pistepilvi ja tietomalli pystytään helposti hahmottamaan suoritettavia työvaiheita tulevan rakenteen toteuttamiseksi.



KUVA 11. Pistepilven ja tietomallin yhdistäminen (Sihvola 2018).

## 5 POHDINTA

Opinnäytetyötä tutkiessa voidaan todeta, että UA-ilmakuvaus tulee olemaan merkittävä osa infrarakentamista. Kuvauksista saatava hyöty voidaan käyttää suunnittelussa, rakentamisessa, luovutus- sekä takuuvaiheessa. Ilmakuvaus on kehityksen näkökulmasta vielä varhaisessa vaiheessa eikä vielä ole tiedossa, missä kaikessa sitä voitaisiin hyödyntää infrarakentamisen näkökulmasta. Tässä opinnäytetyössä on keskitetty esittämään mahdollisia hyötyjä ilmakuvista infratyömaan henkilöstön keskinäisen viestinnän ja kommunikoinnin näkökulmasta.

Opinnäytetyö antaa käsityksen työmaan toimihenkilöille, mihin ja miten UA-ilmakuvausta voidaan hyödyntää hankkeessa. Tämän työn perusteella UA-ilmakuvausta hyödynnetään työmaa-alueen panoraamakuvien, pistepilven ja ortokuvan muodostamisessa. Panoraamakuvien hyödyntäminen on esimerkkikohteessa ollut laajasti käytössä, puutteellinen perehdytys pilvipalvelujen toimintaan vaikuttaa negatiivisesti ortokuvan ja pistepilven hyödyntämiseen. Muodostettuja aineistoja voidaan hyödyntää palaverissa, suunnittelun kaikissa vaiheissa tai mittatietojen määrittämisessä. Ilma-aluksilla voidaan kustannustehokkaasti ja nopeasti kartoittaa laajojakin alueita. UA-ilmakuvista syntyneitä kuvapankkia voidaan hyödyntää paitsi rakentamisen aikana, mutta myös tarvittaessa takuuvaiheessa.

Jatkotutkimusta tulisi suorittaa ilmakuvausautomaatioon, jotta ajankohtaisempien ilmakuvausaineiston tuottaminen olisi kustannustehokkaampaa. Lisäksi työnjohtajille pitäisi laatia yksinkertaiset käyttöohjeet pilvipalveluille.

## LÄHTEET

Aalto yliopisto. 2005. Fotogrammetrian kartoitus. Luento 7. Päivitetty 25.09.2005. Luettu 22.1.2019. [https://foto.aalto.fi/opetus/220/luennot/7/L7\\_2005.pdf](https://foto.aalto.fi/opetus/220/luennot/7/L7_2005.pdf)

Chowdhry, A. 2017. The story behind DroneDeploy and how it built the largest drone mapping repository. Forbes. Luettu 1.3.2019. <https://www.forbes.com/sites/amitchowdhry/2017/10/16/dronedeploy/#6ab8b063592d>

Haggren, H. 2011. 200 vuotta fotogrammetrian ja kaukokartoituksen historiaa. Luettu 15.1.2019. [https://foto.aalto.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf\\_e/2011/PJF2011\\_3\\_Haggren.pdf](https://foto.aalto.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Haggren.pdf)

Hartikainen, L. Diplomi-insinööri. Haastattelu. 5.2.2019. Haastattelija Tseloev, I. Helsinki

Hassinen, A. 2016. UAV-lennokit ja –kopterit. Kokemuksia UAV- ja RPAS-laitteista. Ilomantsi. Itä-Suomen yliopisto.

Hirvonen, J. 2015. Rakennuksen vesikaton mittaus multikopterikuvausta käyttäen. Metropolia ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan tutkinto-ohjelma. Insinööriyö.

Huopana, T. Insinööri. Haastattelu. 25.3.2019. Haastattelija Tseloev, I. Espoo.

Illikainen, M. 2018. Fotogrammetrian hyödyntäminen infrahankkeen laadunvarmistuksessa ja tuotannonohjauksessa. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Insinööriyö.

Keränen, H. 2017. Miehittämättömien ilma-alusten käyttö lämpökuvauksessa. Kone- ja tuotantotekniikka. Metropolia ammattikorkeakoulu. Insinööriyö.

Lahelman, A. lehtori. 2014. Digitaalinen fotogrammetria - uusi menetelmä suomalaisen arkeologian kentälle? Luento. Proseminaari 18.3.2014. Helsingin yliopisto. Helsinki.

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. 2019. Päivitetty 28.01.2019. Luettu 25.2.2019. <https://www.droneinfo.fi/fi/lentotyö>

Lönnum, S. E. 1986. Fotogrammetria 1. Suom. Kuparinen, A. & Hakala, J. Helsinki: Valtion painatuskeskus. Alkuperäinen teos 1980.

Maanmittauslaitos. Korkeusmallit. Luettu 31.1.2019 <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematieto/korkeusmallit>

Mäki, H. 2018. Drone-kuvadatan tuottaminen, analysointi ja fotogrammetria. Tieto- ja viestintättekniikka. Opinnäytetyö.

OPS M1-32. 2018. Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Luettu 27.1.2019. [https://arkisto.trafi.fi/file-bank/a/1544017881/36449b3e46367e0de0a247f2f68fefa1/32674-OPS\\_M1-32\\_2018\\_fi\\_korjattu.pdf](https://arkisto.trafi.fi/file-bank/a/1544017881/36449b3e46367e0de0a247f2f68fefa1/32674-OPS_M1-32_2018_fi_korjattu.pdf)

Pointscene. 2019. Pointscene Next –palvelukuvaus. Luettu 20.2.2019 Salmenperä, H. 2004. Fotogrammetria. Tampereen teknillinen yliopisto.

Repo, H. 2012. Tämä on Suomen vilkkain maantie. Tekniikka&Talous 2012. Luettu 21.3.2019. [https://www.tekniikkatalous.fi/talous\\_uutiset/liikenne/2012-12-12/T%C3%A4m%C3%A4-on-Suomen-vilkkain-maantie-3311970.html](https://www.tekniikkatalous.fi/talous_uutiset/liikenne/2012-12-12/T%C3%A4m%C3%A4-on-Suomen-vilkkain-maantie-3311970.html)

Rinne, O. 2010. Mikä on panoraamakuva? Päivitetty 22.06.2010. Luettu 28.02.2019. [http://digifaq.info/digifaq/3\\_panor.html](http://digifaq.info/digifaq/3_panor.html)

Sihvola, O. 2018. UAV:n avulla tuotetun fotogrammetrisen pistepilven hyödyntäminen infrahankkeen suunnittelussa ja rakentamisessa. Luettu 12.12.2018

Sweco. Uudistuva Keilaniemi ja Kehä I tunnelihanke - ihmisläheistä kaupunkisuunnittelua. Luettu 11.2.2019 <https://www.sweco.fi/palvelumme/infrastruktuuri/palvelut/tie-ja-katusuunnittelu/uudistuva-keilaniemi-ja-keha-i-tunnelihanke/>

Teittinen, H. 2017. Georeferoidun pistepilven tuottaminen miehittämättömällä lentoaluksella kerätystä kuva-aineistosta. Aalto-yliopisto. Diplomityö

Verhulp, J. 2015. Geomatics Indaba Proceedings 2015 – Stream 1. Luettu 22.2.2019. <http://www.ee.co.za/wp-content/uploads/2015/08/Julie-Verhulp.pdf>

Vinni, P. 2003. Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa – Mitä on fotogrammetria? Luettu 15.1.2019. <http://www.kotikone.fi/faryan/Teksteja/JatkokurssiB.htm>

Wikipedia. 2018. Luettu 23.10.2018 <https://fi.wikipedia.org/wiki/Fotogrammetria>



## **LIITTEET**

Liite 1. Betonitilaus

Liitteen sivut 1-2 ovat luottamuksellisia