

Markus Valo

# Kauko-ohjattujen ilma-alusten hyödyntäminen infrahankkeissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

9.4.2018

Tekijä Otsikko	Markus Valo Kauko-ohjattujen ilma-alusten hyödyntäminen infrahankkeissa
Sivumäärä Aika	60 sivua + 10 liitettä 9.4.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaajat	Työpäällikkö Petri Mälkiä Lehtori Tapani Järvenpää
<p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kauko-ohjatuilla ilma-aluksilla saadun kuvamateriaalin käyttökohteita infrahankkeissa sekä lennättämiseen liittyvää lainsäädäntöä ja riskejä. Työn tilaajana toimi Skanska Infra Oy.</p> <p>Työn tulokset perustuvat lähinnä omakohtaisiin kokemuksiin kauko-ohjatun ilma-aluksen käytöstä rakennustyömaalla. Sen lisäksi tehtiin haastattelututkimus, jossa haastateltiin skanskalaisia, jotka ovat lennättäneet laitteita pidempään. Muilta osin työ perustuu lähinnä internet-lähteistä selvitettyyn tietoon.</p> <p>Tuloksina saatiin tietoa kauko-ohjattujen ilma-alusten soveltuvuudesta rakennustyömaalle ja laitteiden huomioon otettavista ominaisuuksista. Tärkeimpinä tuloksina saatiin erilaisia käyttökohteita kauko-ohjatuilla ilma-aluksilla kuvattavalle materiaalille sekä mahdollisten riskien minimoimisen keinoja. Lisäksi saatiin kattavasti tietoa lennättämiseen liittyvästä lainsäädännöstä, rajoitteista, lentotoiminnasta erikoistilanteissa, lento-olosuhteista ja turvallisuudesta lennättämisestä.</p> <p>Insinöörityön aihe on ajankohtainen, sillä kauko-ohjatut ilma-alukset yleistyvät koko ajan. Työn tulosten avulla käyttäjät saavat tietoa mihin kaikkeen laitteita voi käyttää rakennushankkeissa. Lisäksi uudet käyttäjät saavat helposti tietoa lennättämiseen liittyvistä perusasioista. Varsinkin lainsäädännön tunteminen on tärkeää heti alusta asti.</p>	
Avainsanat	drone, kauko-ohjattu ilma-alus, infra

Author Title	Markus Valo Utilizing Remotely Piloted Aircrafts in Infrastructural Projects
Number of Pages Date	60 pages + 10 appendices 9 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Infrastructural Engineering
Instructors	Petri Mälkiä, Project Manager Tapani Järvenpää, Senior Lecturer
<p>The aim of this thesis was to find out how to use the footage captured by remotely piloted aircrafts on infrastructural projects. The aim was also to find out about the law, regulations and risks related to flying a remotely piloted aircraft. The thesis was ordered by Skanska Infra Oy.</p> <p>The results of this thesis are mainly based on personal experiences when using a remotely piloted aircraft at a construction site. In addition, an interview study was conducted in which Skanska employees who have used the equipment for a longer period were interviewed. Otherwise the thesis is mainly based on information from internet sources.</p> <p>As an outcome information about how remotely piloted aircrafts suit to constructions sites and what different features of the equipment are important was acquired. The most important results were the different purposes for the footage filmed with remotely piloted aircrafts as well as risk management for flying. In addition, comprehensive information about legislation, restrictions, flight conditions and how to fly remotely piloted aircrafts safely was acquired.</p> <p>The topic of the study is topical, because remotely piloted aircrafts are becoming increasingly popular. With the results, users are provided with information about how remotely piloted aircrafts can be used efficiently on infrastructural projects. New users can also easily get information about the basics of flying remotely piloted aircrafts. Being familiar with the legislation is important right from the start.</p>	
Keywords	drone, remotely piloted aircraft, infrastructure

# Sisällys

## Lyhenteet ja sanasto

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoitteet	1
1.2	Työn rajaukset	2
1.3	Yrityksen esittely	2
2	Miehittämätön ilmailu ja ilma-alukset	3
2.1	Miehittämättömän ilmailun ja ilmakuvauksen historiaa	6
2.2	Miehittämättömien ilma-alusten päätyypit	7
2.3	Skanskalla käytössä olevat kauko-ohjatut ilma-alukset	10
2.4	Laitevalmistajia	11
3	Lainsäädäntö ja lennättämisen rajoitukset	14
3.1	Lainsäädäntö	14
3.2	Lainsäädännön muuttuminen	15
3.3	Lentotoiminta erikoistilanteessa	16
3.4	Vaara-, rajoitus- ja kieltoalueet	17
4	Lennättäminen	18
4.1	Lento-olosuhteet	18
4.2	Turvallinen lennättäminen	19
4.3	Kustannukset	23
4.4	Lentoonlähdön tarkistuslista	26
5	Kauko-ohjattujen ilma-alusten soveltuvuus ja käyttö infrahankkeissa	27
5.1	Infratyömaille soveltuvien kauko-ohjattujen ilma-alusten edellytyksiä	28
5.2	Kauko-ohjattujen ilma-alusten hyödyntäminen infrahankkeissa	40
5.3	Ongelmat	46

6	Ohjelmat ja niiden hyödyntäminen	47
6.1	Lennätyssovelluksia	47
6.1.1	DJI GO 4	47
6.1.2	Pix4Dcapture	48
6.2	Tietokoneohjelmia	49
6.2.1	Agisoft PhotoScan	49
6.2.2	Pix4Dmapper	50
6.2.3	Microsoft Image Composite Editor	51
7	Riskit	52
7.1	Potentiaalisia riskejä	52
7.2	Riskeihin varautuminen	54
7.3	Riskin toteutuessa	54
8	Tulokset	55
9	Yhteenveto	56
	Lähteet	58
	Liitteet	
	Liite 1. VAC EFHK (Helsinki-Vantaan lentoasema)	
	Liite 2. VAC EFHK (Helsinki-Vantaan lentoasema) selkeytetty	
	Liite 3. Miehitämättömien ilma-alusten evoluutio	
	Liite 4. Miehitämättömien ilma-alusten ominaisuusvertailu	
	Liite 5. DJI Phantom 4 Pro tekniset tiedot	
	Liite 6. Toimiston pöydälle tulostettu kuva Hannuksenpellon työmaasta	
	Liite 7. Mosaiikkikuva Blominmäen työmaasta 150 metrin korkeudesta	
	Liite 8. Aluesuunnitelma osasta Hannuksenpellon työmaata: piirustus ja valokuva	
	Liite 9. Martinsillantien liikenteenohjaussuunnitelma: piirustus ja valokuva	
	Liite 10. Pistepilvi ja ortokuva osasta Hannuksenpellon työmaata	

## **Lyhenteet ja sanasto**

### **BVLOS (Beyond Visual Line-of-Sight) eli suoran näköyhteyden ulkopuolella**

Lentotoimintaa, jossa kauko-ohjaaja tai lennättäjä pitää apuvälineiden avulla yhteyttä kauko-ohjattuun ilma-alukseen tai lennokkiin ilman suoraa näköyhteyttä [1].

### **CTR (Control Zone, Controlled Traffic Region) eli lentoaseman lähialue**

Valvottu aktiivisen lentokentän, jossa on lennonjohto paikalla, lähialue joka ulottuu 12-20 kilometrin etäisyydelle kiitoteistä. Alueella saa lennättää miehittämätöntä ilma-alusta maksimissaan 50 metrin korkeudessa ja lähempänä kuin 5 kilometriä kiitotiestä lennättämiseen tarvitaan kyseisen lentoaseman lennonjohdolta lupa. [7, s. 1.]

Alue on merkitty ilmailukarttaan esimerkiksi paksulla katkoviivalla (musta katkoviiva liitteen 1 ja 2 kartassa), jolloin sen löytäminen on helppoa. Lähialue on lennonjohdon valvomaa ilmatilaa, joka ulottuu maahan saakka ja alueella lentävät miehittetyt ilma-alukset suorittavat laskukierroksen tai loppulähestymisen, joskus hyvinkin matalalla. [7, s. 1.]

### **D-alue (Danger) eli vaara-alue**

Etukäteen määritelty pysyvä (D-alue) tai tilapäinen (tempo-D) alue, joka on laskuvarjo-  
hyppääjien, purjelentäjien sekä miehittämättömien ilma-alusten käytössä ja niillä voi lennättää omalla vastuulla myös niiden ollessa varattuja. [4, s. 16-18.]

### **Drone eli drooni**

Arkikielen termi, jolla tarkoitetaan kaikkia miehittämättömiä laitteita maalla, merellä ja ilmassa [1].

### **EVLOS (Extended Visual Line-of-Sight) eli suora näköyhteys käyttäen tähtystäjää**

Suora näköyhteys ilma-alukseen käyttäen kauko-ohjaustähtystäjää. Kauko-ohjaajalla ja kauko-ohjaustähtystäjällä on oltava luotettava viestintäväline yhteydenpitoon, mikäli suora puheyhteys ei ole mahdollinen. [1.]

### **FIZ (Flight Information Zone) eli lentopaikan lentotiedotusvyöhyke**

Valvottua aluetta lentokentän ympärillä, jossa ei ole lennonjohtoa. Samat säännöt lentokorkeuksien ja lentolupien osalta kuin CTR-alueella. [4, s. 16.]

## **FPV-lennätys (First Person View, First Person Video)**

Lennättäminen reaaliaikaisen videokuvan avulla ilman suoraa näköyhteyttä koneeseen. Mukana pitää kuitenkin olla toinen henkilö jolla on suora näköyhteys koneeseen ja samalla pitää silmällä ilmatilaa. [4, s. 4.]

## **Lennokki**

Harrastus- tai urheilukäytössä oleva lentämiseen tarkoitettu miehittämätön ilma-alus, joka voi olla kauko-ohjattu, autopilotilla varustettu tai vapaasti lentävä lentokone tai kop-teri [1; 2]. Pois luetaan kuitenkin leluilma-alukset, jotka on tarkoitettu käytettäväksi joko pelkästään tai osaksi alle 14-vuotiaiden lasten leikeissä [17].

## **NOTAM (Notices to Airmen) eli tiedotukset ilmailijoille**

Sisältää kiireelliset ja tärkeät ilmailutiedotukset, jotka julkaistaan sivulla:

<https://ais.fi/ais/bulletins/envfra.htm>

## **Ortokuva eli karttaprojektioon oikaistu ilmakuvamosaiikki**

Ortokuva on maastoa tarkoin vastaava koordinaatistoon sidottu ilmakuva. Koska se on sidottu koordinaatistoon, siitä voi mittaila ja sitä voi käyttää nykyaikaisissa paikkatieto-ohjelmistoissa ja -järjestelmissä yhdessä muunlaisen paikkatiedon kanssa. Liitteessä 10 on esimerkiksi ortokuva osasta Hannuksenpellon työmaata. [38.]

Ortokuvamosaiikeissa voidaan kuvaustavasta riippuen käyttää monenlaisiin eri tarkoituksiin: matalammalta, tiheällä kuvapeitolla kerätystä materiaalista saadaan mitattua esimerkiksi murskekasojen tilavuuksia (esimerkiksi kuva 17, sivulla 43) tai täytettävien kuoppien täyttötalavuuksista. Korkeammalta kerätystä materiaalista saadaan laajempia-kin karttakuvia esimerkiksi kaavoitusalueesta, pelto- tai metsäalueista tai teollisuusalueen tontista. Kerätystä materiaalista voidaan muodostaa 3D-mallinnuksia, joita voi käyttää monenlaiseen tutkimustyöhön. [38.]

## **P-alue (Prohibited) eli kieltoalue**

Lentokieltoalue, jossa lentäminen on kielletty ilman erityislupaa, kielto koskee myös miehittämättömiä ilma-aluksia. Pysyvät kieltoalueet esimerkiksi ydinvoimaloiden ja presidentinlinnan läheisyydessä näkyvät ilmailukartassa. Alueet on merkattu karttoihin P-kirjaimilla, joiden perässä on alueen numerotunnus. [4, s. 16-18.]

### **R-alue (Restricted) eli rajoitusalue**

Puolustusvoimien toimintaa varten tehty lentokieltoalue jossa lentäminen on kielletty ilman erityislupaa, kielto koskee myös miehittämättömiä ilma-aluksia. Pysyvät rajoitusalueet esimerkiksi sotilasalueiden läheisyydessä näkyvät ilmailukartassa. Alueet on merkattu karttoihin R-kirjaimilla, joiden perässä on alueen numerotunnus. [4, s. 16-18.]

### **RMZ (Radio Mandatory Zone) eli radiovyöhyke**

Valvottua aluetta lentokentän ympärillä silloin kun lennonjohto on kiinni. CTR- ja FIZ-alueilla on lentäjien käytettävä radiota. [4, s. 16.]

### **RPA (Remotely Piloted Aircraft) eli kauko-ohjattu ilma-alus**

Miehittämättömien ilma-alusten alakategoria. Miehittämätön ilma-alus, jota ohjataan ohjaimella kauko-ohjauspaikasta tai joiden toimintaan pystytään tarvittaessa puuttumaan ja käytetään lentotyöhön eikä harraste- tai urheilutarkoitukseen. [1; 2.]

### **RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) eli kauko-ohjattu ilma-alusjärjestelmä**

Kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä, johon sisältyy: kauko-ohjattu ilma-alus, kauko-ohjauspaikat, tarvittavat ohjaus- ja seurantayhteydet sekä muut erikseen määrätyt käytön edellyttämät järjestelmän osat. Järjestelmää käytetään lentotyöhön, eikä harraste- tai urheilutarkoitukseen. [1.]

### **TSA (Temporary Segregated Area) eli tilapäinen erillisvarausalue**

Sotilasilmailu voi varata määrätyksi ajaksi tiettyjä rajoitettuja tilapäisiä erillisvarausalueita, jotka on merkattu ilmailukarttaan TSA-tunnuksilla. Yleensä varauksen alaraja on 1000 metrin paikkeilla (FL30 eli 3000 ft), jonka alapuolella saa lentää vapaasti. Joskus varaus voi alkaa jo maanpinnasta, jolloin alueella ei saa lentää ollenkaan. Lähimmästä lennonjohdosta voi kysyä lisätietoja, mikäli ei ole varmuutta saako alueella lentää vai ei. [4, s. 19.]

### **UA (Unmanned Aircraft) eli miehittämätön ilma-alus**

Ilman ilma-aluksessa mukana olevaa ohjaajaa lentämään tarkoitettu miehittämätön ilma-alus [1].

### **UAS (Unmanned Aircraft System) eli miehittämätön ilma-alusjärjestelmä**

Miehittämättömän ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä, johon kuuluu miehittämätön ilma-alus ja sen käytön edellyttämät järjestelmän osat [1].



**UAV (Unmanned Aerial Vehicle) eli miehittämätön ilma-alus**

Vanhentunut lyhenne, jonka tilalla nykyään käytetään lyhennettä UA [1].

**VAC (Visual Approach Chart) eli visuaalinen lähestymistapakaavio**

Kartta lentokenttien lähialueesta, mistä selviää muun muassa lentokielto- ja rajoitusalueet. Liitteessä 1 on Helsinki-Vantaan lentoaseman visuaalinen lähestymistapakaavio ja liitteessä 2 kaavion alueet ovat värikoodatut selkeyden vuoksi.

**VLOS (Visual Line-of-Sight) eli suora näköyhteys**

Kauko-ohjatun ilma-aluksen tai lennokin lennättäminen siten, että kauko-ohjaaja tai lennättäjä pitää ilman apuvälineitä suoran näköyhteyden ilma-alukseen [1].

## 1 Johdanto

Miehittämättömät ilma-alukset ovat koko ajan yleistymässä ja niiden saatavuus on jo nyt erittäin hyvä. Tilaajatkin alkavat varmasti lähitulevaisuudessa vaatia ainakin suuremmissa ja vaativammissa rakennuskohteissa jonkinasteista ilmakuvaa, joko koko työmaasta tai tietyistä rakenteista. Miljoonahankkeissa työmaalle ei parin tuhannen euron kauko-ohjatun ilma-aluksen ostaminen ole taakka eikä mikään. Lain tunteminen ja kuvien ottamiseen ja muokkaamiseen vaadittava tietämys voi olla aluksi isompi ongelma.

Kauko-ohjattujen ilma-alusten käytöstä on jo nyt paljon erilaisia käyttötarkoituksia ja ideoita eri tehtävissä. Myös opinnäytetöitä kauko-ohjatuista ilma-aluksista alkaa olla jo jonkun verran. Töitä niiden hyödyntämisestä rakennushankkeissa, varsinkaan infratyömailla ei kuitenkaan ole vielä tehty.

Skanskalla oli Suomessa yhteensä kuusi kauko-ohjattua ilma-alusta vuoden 2017 loppuun mennessä, mutta ne lisääntyvät koko ajan. Tämä työ antaa hyvää tietoa siitä, miten laitteita voi hyödyntää infratyömailla turvallisesti, tehokkaasti ja monipuolisesti.

### 1.1 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön tilaajana toimii Skanska Infra Oy ja työn päätarkoituksena on selvittää kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttökohteita ja tarpeita infrahankkeissa ennen työmaan aloitusta laskentavaiheessa, työmaan aikana sekä hankkeen valmistuttua. Painottuen kuitenkin rakennusvaiheen käyttötarkoituksiin. Tavoitteena on selvittää miten kuvamateriaalia voi hyödyntää sellaisenaan tai tietokoneella tiettyjen ohjelmien avulla muokattuina.

Työssä tutustutaan eri laitevalmistajiin ja kuvauskoptereihin ja selvitetään niiden soveltuvuuksia työmaalla tapahtuvaan kuvaukseen. Lisäksi esitellään muutamia lennätyssovelluksia, eli puhelimeen asennettuja ohjelmia, joiden avulla pystyy kuvauskopterille antamaan erilaisia automatisoituja käskyjä.

Tavoitteena on selvittää aiheeseen liittyvää lainsäädäntöä ja sen rajoituksia sekä missä ylipäänsä saa kauko-ohjattua ilma-alusta lennättää ja missä ei. Lisäksi selvitetään lennättämiseen liittyviä riskejä ja niiden toteutumisen minimoimiseen liittyviä toimenpiteitä. Lopuksi pohditaan mahdollisia lennättämiseen liittyviä ongelmia ja niihin ratkaisuja.

## 1.2 Työn rajaukset

Tärkeimpänä rajauksena on, että työ käsittelee vain valokuvia ja videota ottavia ilma-aluksia. Työ ei käsittele laserkeilaavia tai muulla tavalla skannaavia ilma-aluksia. Miehitämätön ilma-aluskäsite pitää sisällään sekä kiinteäsiipiset alukset että moniroottoriset multikopterit, mutta tässä työssä keskitytään multiroottorisiin miehittämättömiin ilma-aluksiin. Lainsäädäntö on kuitenkin molemmille sama. Lisäksi signalointi eli signaalien käyttäminen tuki- ja kiintopisteinä sekä materiaalin tarkempi käsittely koordinaatistossa jätetään käsittelemättä.

## 1.3 Yrityksen esittely

Skanska on Ruotsissa vuonna 1887 perustettu maailman viidenneksi suurin rakennusliike. Vuonna 2016 Skanska AB-konsernin liikevaihto oli noin 15 miljardia euroa ja työntekijöitä oli noin 41 000. Skanska-konserni toimii tietyillä kotimarkkina-alueilla Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Suomessa konsernin tytäryhtiönä toimii vuonna 1994 perustettu Skanska Oy, jonka alaisuudessa ovat rakentamispalvelut, kalustopalvelut ja asuntoprojektikehitys. Rakentamispalveluihin sisältyy talonrakentaminen, talotekniikkapalvelut sekä infrarakentamispalvelut. Vuonna 2016 Skanska Oy:n liikevaihto oli noin 945 miljoonaa euroa ja työntekijöitä oli 2012. [3.]

Skanska Infra Oy on osa Skanska Oy:tä ja sen toimialoja ovat väylärakentaminen, silta-rakentaminen, alueellinen infrarakentaminen, laitosrakentaminen, maanalainen rakentaminen ja pohjarakentaminen. Vuonna 2016 Skanska Infran liikevaihto oli noin 152 miljoonaa ja työntekijöitä 284. [3.]

## 2 Miehitämätön ilmailu ja ilma-alukset

Miehitämättömälle ilma-alukselle on monta nimeä ympäri maailmaa, sillä kansainvälinen nimitys puuttuu. ICAO (International Civil Aviation Organization eli kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö) käyttää nimeä UAS tai RPAS. EASA (European Aviation Safety Agency eli Euroopan lentoturvallisuusvirasto) käyttää drone-nimitystä. FAA (Federal Aviation Administration eli Yhdysvaltain ilmailuhallinto) käyttää UAS nimitystä. Kuvassa 1 on edellä mainittujen organisaatioiden logot. [8, s. 4.]

Suomessa ilmailusäännöt erottelevat harrastuskäyttöön tarkoitetun lennokin ja ammattikäyttöön tarkoitetun kauko-ohjatun ilma-aluksen toisistaan. Lennokki on harrastus- tai urheilukäytössä oleva lentämiseen tarkoitettu miehitämätön ilma-alus. Se voi olla kauko-ohjattu, autopilotilla varustettu tai vapaasti lentävä lentokone tai kopteri. Lisäksi lennokissa voi olla mukana kamera, jolla otetaan ilmakuvia tai videoita. Jos laitteella tehdään ammattimaista lentotyötä esimerkiksi alueiden tai rakennusten ilmakehuvausta käytetään nimityksiä kauko-ohjattu ilma-alus tai RPAS [8, s. 4.]. Sama laite voi siis olla lennokka tai kauko-ohjattu ilma-alus riippuen siitä mihin sitä käytetään kyseisellä lennolla. Näiden lisäksi on vielä alle 250 grammaa painavat lentävät laitteet, joita ilmailusäännöt eivät koske. [4, s. 4.]

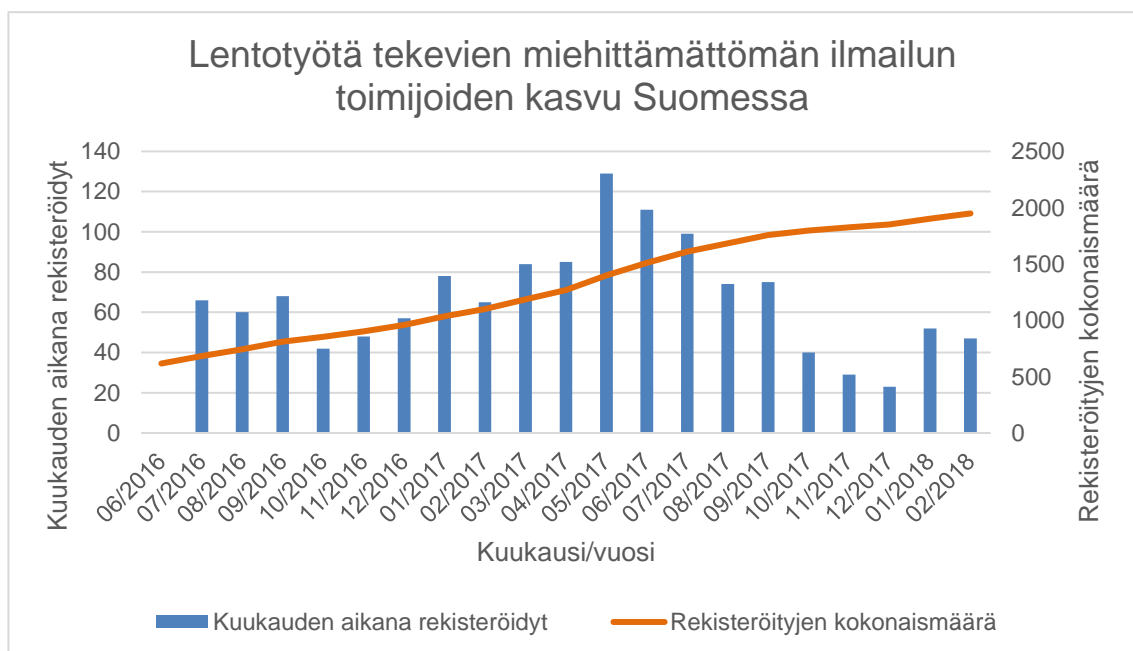
Armeijalla on ollut käytössä miehitämättömiä lentolaitteita jo pitkään, mutta viime vuosina ne ovat yleistyneet vauhdilla muuallakin. Niitä käyttävät pelastusorganisaatiot, poliisi, maanviljelijät, tutkijat, maanmittaajat, rakennusten ja voimalinjojen tarkastajat, elokuvantekijät sekä yksityiset ihmiset omissa harrastuksissaan. Eniten kauko-ohjatuille ilma-aluksille on käyttöä aloilla, joissa pitää hallita isoja pinta-aloja ja laajoja tietomääriä, esimerkiksi maataloudessa ja infrastruktuuripalveluissa. [11.]



Kuva 1. Organisaatioiden logot [32].

Miehittämättömät ilma-alukset ovat nopeasti muuttumassa leluista kameroilla ja sensoreilla varustetuiksi tärkeiksi työvälineiksi ja tuotannontekijöiksi, jotka ovat ujuttautumassa mukaan eri alojen yritysten bisnesstrategioihin. Miehittämättömät ilma-alukset ja niihin liittyvät ohjelmat iskevät eri aloilla maailmanlaajuisesti yli 106 miljardin euron liikearvoon, joka siis menee lähitulevaisuudessa uuteen jakoon. Menossa on muutos, joka on uhka monille perinteisille toimijoille, mutta samaan aikaan se tarjoaa hyviä mahdollisuuksia nopeille pelaajille. Miehittämättömien ilma-alusten odotetaan muuttavan perinteisiä bisneskäytäntöjä ja ansaintamalleja monella eri tapaa. [11.]

Trafilla on Suomessa rekisteröidyistä lentotyötä tekevien miehittämättömän ilmailun toimijoista tilasto (kuvio 1), mutta harrastajien tai myytyjen laitteiden määristä ei ole tietoa. Tilasto katkeaa toukokuuhun 2016, jolloin rekisteröintijärjestelmä muuttui ja lokakuusta 2015 asti tulleista rekisteröinneistä katosi ilmoitusten päivämäärät. Toimijoiden määrä nousee koko ajan, keskimäärin vajaa 70 toimijaa kuukaudessa. Ennen toukokuuta 2016 toimijoita rekisteröityi keskimäärin 69 kuukaudessa ja toukokuun 2016 jälkeen 67. Kesällä 2017 oli korkea piikki uusien toimijoiden määrässä, mutta loppuvuodesta määrä laski huomattavasti alle keskiarvon ja se nousi vasta 2018 vuoden puolella. Taulukosta ei selviä montako laitetta rekisteröidään, vaan uusien työkseen lennättävien toimijoiden määrä. Toimijoita oli vuoden 2017 loppuun mennessä yhteensä 1850 kpl ja kauko-ohjattuja ilma-aluksia 2372 kpl. Eli keskimäärin joka toimijalla on käytössä noin 1,3 ilma-alusta. [16.]



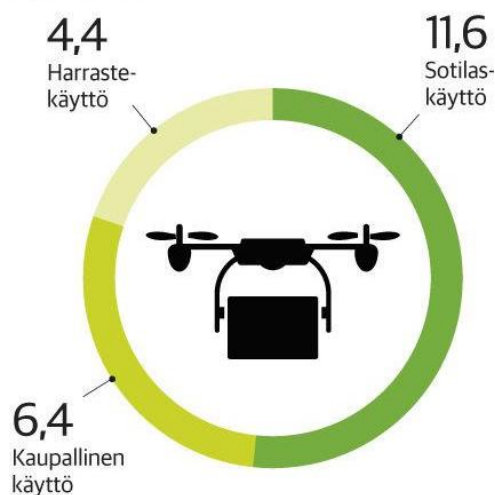
Kuvio 1. Tilasto lentotyötä kauko-ohjatuilla ilma-aluksilla tekevien toimijoiden rekisteristä Suomessa [16].

Käyttötarkoituksia miehittämättömille ilma-aluksille on paljon ja niitä keksitään koko ajan lisää. Niitä voi käyttää esimerkiksi siltojen, mastojen, rakennusten, sähkölinjojen, öljynporaustauttojen ja lentokoneiden tarkastuksiin, valokuvaukseen, laivojen rikkimittauksiin, rajavalvontaan, logistiikkaan, metsävarantojen tai muihin kartoituksiin, matkapuhelinverkkojen mittauksiin, tuhoeläinten torjuntaan, tilannekuvan ottamiseen pelastuspalvelulle, mediassa, poliisin valvontatehtäviin, säteily- tai muiden onnettomuuksien valvontaan sekä harrastustoimintaan. [8, s. 2.]

Kuviossa 2 esitetään miehittämättömien ilma-alusten markkinaosuusennuste vuodelle 2020 sekä markkina-arvot eri toimialoilla. Selvästi suurimpana osa-alueena on infrastruktuuri, jossa kauko-ohjattuja ilma-aluksia käytetään muun muassa rakennusaikaiseen seurantaan, huoltotoimenpiteisiin sekä tarkastuksiin ja inventaarioiden tekemiseen. Toiseksi suurimpana on maatalous, jossa kauko-ohjattuja ilma-aluksia käytetään maiden analysoimiseen ja sadon terveydentilan arvioimiseen. Huomattavasti pienempiä osuuksia ovat kuljetus, turvapalvelut, media ja viihde, vakuutus, televiestintä sekä kaivostointi. [12, s. 5.]

### Ennuste miehittämättömien ilma-alusten markkinasegmenteistä v. 2020

**Maailmanlaajuisesti**  
Miljardia dollaria



LÄHDE: STATISTA, FORTUNE, FROST & SULLIVAN

### Näin dronet vaikuttavat eri toimialoilla

**Liiketoimintapalvelujen ja työn arvo, jonka pienoiskoptereit ja -lennokit todennäköisesti korvaavat lähitulevaisuudessa**  
Miljardia dollaria



LÄHDE: PWC

Kuvio 2. Miehittämättömien ilma-alusten markkinaosuudet ja markkina-arvot eri toimialoilla [11].

## 2.1 Miehitämättömän ilmailun ja ilmakuvauksen historiaa

Miehitämättömiä ilma-aluksia on ollut käytössä jo vuosisatojen ajan ja niitä on käytetty lähes pelkästään sotilaallisiin tarkoituksiin. Niiden ensimmäinen dokumentoitu käyttö oli vuonna 1849, jolloin itävaltalaiset hyökkäsivät Venetsian italialaiseen kaupunkiin käyttäen miehitämättömiä ilmapalloja, jotka olivat täynnä räjähteitä. [19.]

Yhdysvallat alkoivat kehittää miehitämättömien ilma-alusten teknologiaa ensimmäisen maailmansodan aikana vuonna 1916 ja tekivät ensimmäisen moottoroidun miehitämättömän ilma-aluksen. Pari vuotta sen jälkeen Yhdysvaltain armeija rakensi miehitämättömän ilmatorpedon Kettering Bugin. Teknologia jatkoi kehittymistään ja vuonna 1930 Yhdysvaltain laivasto alkoi kokeilla radio-ohjattavia ilma-aluksia, jotka johtivat Curtiss N2C-2:n rakentamiseen vuonna 1937. Toisen maailmansodan aikana Reginald Denny loi ensimmäisen kauko-ohjatun ilma-aluksen Radioplane OQ-2, joka oli ensimmäinen massatuotettu miehitämättömän ilma-alus Yhdysvalloissa. Se oli läpimurto miehitämättömien ilma-alusten valmistuksessa sotilaskäyttöön. Liitteessä 3 on kuva miehitämättömien ilma-alusten evoluutiosta. [19.]

Miehitämättömät ilma-alukset olivat aikaisemmin tunnettuja epäluotettavina ja kalliina leluina, mutta 1980-luvulla asenne alkoi muuttua, kun Israelin ilmavoimat voittivat Syyrian ilmavoimat vuonna 1982. Israel käytti sekä miehitämättömiä, että miehitettyjä ilma-aluksia tuhotessaan tusinan verran syyrialaisia lentokoneita vähäisillä tappiolla. [19.]

Vuonna 2000 Yhdysvallat laukaisi miehitämättömän ilma-aluksen nimeltä Predator Afganistanissa etsiessään Osama Bin Ladenia [19]. Vaikka suurimmaksi osaksi miehitämättömiä ilma-aluksia on käytetty sotilaallisiin tarkoituksiin, nykyään niiden käyttö on yleistynyt paljon muihinkin tarkoituksiin.

Eversti Aimé Laussedat Ranskan armeijasta oli ensimmäinen kenen tiedetään yrittäneen ottaa ilmakuvia vuonna 1849. Hän kokeili kuvausta leijojen ja ilmapallojen avulla, mutta ei onnistunut. Ensimmäinen dokumentoitu ilmakuva otettiin vuonna 1858 ilmapallosta Gaspard Félix Tournachonin toimesta. Hän nousi ilmapallolla useiden satojen metrien korkeuteen ja kuvasi Petit Bicêtren kylää Ranskassa, mutta sitä kuvaa ei enää ole olemassa. Vanhin edelleen olemassa oleva ilmakuva on S.A. Kingin ja J.W. Blackin ilmapallosta ottama valokuva vuodelta 1860 Bostonista. [20, s. 3.]

## 2.2 Miehitämättömien ilma-alusten päätyypit

Miehitämättömiä ilma-aluksia on paljon erityyppisiä ja -näköisiä, mutta helpoiten ne voidaan jakaa neljään eri päätyyppiin koneen alustan mukaan: multiroottoriset, kiinteäsiipiset, yksiroottoriset ja kiinteäsiipiset hybridi VTOL:it (Vertical Take-Off and Landing eli yksiroottorisen ja kiinteäsiipisen ilma-aluksen hybridimalli). [18.]

### *Yksiroottoriset miehitämättömät ilma-alukset*

Yksiroottoriset miehitämättömät ilma-alukset (kuva 2) ovat todella samankaltaisia malliltaan ja rakenteeltaan varsinaisiin helikoptereihin verrattuna. Siinä on vain yksi iso roottori sekä pienempi roottori pyrstöpuomin päässä, millä ohjataan ilma-aluksen suuntaa. Yksiroottoriset ilma-alukset ovat paljon kustannustehokkaampia kuin multiroottoriset. Niillä on pidemmät lentoajat ja ne voivat toimia myös polttomootorilla. Aerodynaamisesti mitä vähemmän on roottoreita, sitä vähemmän on objektin pyörimistä, joten yksiroottoriset ovat myös paljon vakaampia, kuin multiroottoriset. [18.]



Kuva 2. Yksiroottorinen miehitämätön ilma-alus [18].



### *Multiroottoriset miehittämättömät ilma-alukset*

Yleisin ja tunnetuin miehittämätön ilma-alustyyppi on multiroottoriset ilma-alukset, joita ammattilaiset ja harrastajat käyttävätkin laajasti [18]. Markkinoilla on paljon erilaisia multiroottorisia malleja, joista halvimpia saa muutamilla kympeillä ja kalliimmista joutuu maksamaan kymmeniä tuhansia. Halvimmat on tarkoitettu täysin harrastuskäyttöön tai leikkikaluiksi. Ammattikäyttöön soveltuvan multiroottorisen miehittämättömän ilma-aluksen saa muutamalla tuhannella ja mitä enemmän haluaa panostaa kuvan laatuun, lentoaikaan, vakauteen, ilma-aluksen erilaisiin sensoreihin ja niin edelleen niin hinta nousee kymmeneen tuhansiin.

Multiroottoriset ilma-alukset voidaan jakaa edelleen roottoreiden lukumäärän mukaan. Niitä ovat kolmeroottoriset trikoopterit, neliroottoriset quadkoopterit (kuva 3), kuusiroottoriset heksakoopterit ja kahdeksan roottoriset oktokoopterit. Neliroottoriset ilma-alukset ovat näistä suosituimmat ja laajimmin käytetyt. [18.]

Vaikka multiroottoriset ilma-alukset ovat helppoja ja suhteellisen halpoja valmistaa, niillä on monia haittapuolia. Suurimmat haittapuolet ovat lyhyt lentoaika, huono kestävyys onnettomuustilanteissa ja hidas nopeus. Ne eivät sovellu laajamittaisiin hankkeisiin, kuten pitkän matkan ilmapäiköitykseen tai valvontaan. Multiroottoristen ilma-alusten pääongelmana on, että niiden on käytettävä suurin osa energiasta pelkästään pitääkseen koopterin ilmassa, eli taistelemaan painovoimaa vastaan sekä pitääkseen koopterin vakaana. Tällä hetkellä useimpien multiroottoristen ilma-alusten lentoajat ovat vain noin 20-30 minuuttia ja sekin usein pienellä hyötykuormalla, kuten kameralla. [18.]



Kuva 3. Neliroottorinen miehittämätön ilma-alus [18].

### *Kiinteäsiipiset miehittämättömät ilma-alukset*

Kiinteäsiipiset miehittämättömät ilma-alukset (kuva 4) ovat täysin erilaisia malliltaan ja rakenteeltaan verrattuna multiroottoriin. Niissä on siivet kuten lentokoneissa, joten ne eivät voi olla paikallaan ilmassa vaan lentävät koko ajan eteenpäin ennalta määrättyä reittiä tai ohjaajan käskyjen mukaisesti. [18.]

Suurimmaksi osaksi kiinteäsiipisillä ilma-aluksilla on muutaman tunnin lentoaika, mutta polttoainekäyttöiset ilma-alukset voivat lentää jopa yli 16 tuntia. Pitkän lentoajan takia kiinteäsiipiset ilma-alukset ovat hyviä pitkän matkan operaatioihin, kuten kartoitukseen tai tarkkailuun. Toisaalta niitä ei voi käyttää ilmakuvauksiin, joissa ilma-aluksen pitää pysyä paikoillaan. [18.]

Kiinteäsiipisten ilma-alusten muita haittapuolia ovat kalliimpi hinta ja lentämiseen tarvittavan harjoittelun määrä. Ei ole helppoa saada kiinteäsiipistä ilma-alusta ilmaan, sillä siihen tarvitaan joko kiitorata tai katapultti ja turvalliseen laskeutumiseen tarvitaan joko kiitorata, laskuvarjo tai verkko. [18.]



Kuva 4. Kiinteäsiipinen miehittämätön ilma-alus [18].

### 2.3 Skanskalla käytössä olevat kauko-ohjatut ilma-alukset

Skanska Infra Oy hankki ensimmäisen kauko-ohjatun ilma-aluksen vuonna 2014 Vt19 Seinäjoen itäinen ohikulkutie -työmaalle. Toinen laite hankittiin Vt3 ja Vt18 parantaminen Laihian kohdalla -hankkeelle vuonna 2015. Molemmat ovat DJI Phantom 3 Pro multi-roottorisia ilma-aluksia. Myöhemmin Seinäjoelle hankittiin DJI Phantom 4 Pro. Nykyään molemmat Seinäjoelle hankitut ilma-alukset ovat Tampereen toimistolla työmaiden päätyttyä. [37.]

Vuoden 2016 joulukuussa Vt6 Taala hankki Phantom 4 Pro ilma-aluksen. Työmaalla kauko-ohjattua ilma-alusta käytti työnjohdon lisäksi mittamiehet mallintamisen apuvälineenä. Lisäksi Taalaan hankittiin erillinen pöytäkone Agisoft PhotoScan -ohjelmalla mallinnusta varten. [37.]

Vuoden 2017 toukokuussa Hannuksenpelto 2 -hankkeelle Espooseen hankittiin DJI Phantom 4 Pro+. Aluksi käyttötarkoitus oli liikennejärjestelyjen dokumentointi sekä siisteyden ja järjestyksen havainnoiminen, mutta käyttökohteita tuli lisää sitä mukaan, kun laitetta käytettiin.

Olympiastadionin perusparannus ja uudistaminen -hankkeelle oli asetettu tavoitteeksi kokeilla uusia työkaluja, joista kauko-ohjattu ilma-alus oli yhtenä ideana, joten vuoden 2017 syyskuussa Skanska Talonrakennus Oy hankki DJI Phantom 4 Pro laitteen. Olympiastadionilla laitetta on käytetty työmaan tilanteen raportoimiseen. Materiaalia on myös hyödynnetty suunnittelun ohjauksessa sekä hankkeen esitysaineistoissa. Laitteella on määritetty lentoreitti, jota pyritään lentämään kerran viikossa, mikäli sääolosuhteet sen sallivat. [37.]

Skanskalla on Suomessa käytössä siis kuusi kauko-ohjattua ilma-alusta, joista jokainen on DJI:n Phantom -sarjaa. Laitteita on ollut käytössä lähes alusta asti, kun niitä on ollut yleisesti saatavilla ja niiden määrä ja käyttötarkoitukset lisääntyvät koko ajan.

## 2.4 Laitevalmistajia

Markkinoilla on hyvin paljon erilaisia miehittämättömiä ilma-aluksia ja laitevalmistajiaakin löytyy satoja. Kuvassa 5 on pieni otanta miehittämättömiä ilma-aluksia, joita on paljon erinäköisiä ja -kokoisia, erilaisilla ominaisuuksilla ja eri käyttötarkoituksiin.



Kuva 5. Erilaisia miehittämättömiä ilma-aluksia [32].

Yhdysvaltain kuluttajatekniikan yhdistys CTA arvioi, että USA:ssa myytiin vuonna 2016 noin miljoona miehittämättömää ilma-alusta. Lukumääräisesti suurin osa miehittämättömien ilma-alusten tekniikkaa ja ohjelmistoja tarjoavista yrityksistä ovat pieniä startup-yrityksiä, mutta joukossa on muutama isompi yritys kuten DJI ja Parrot. Valmistajat, jotka tarjoavat miehittämättömiä ilma-aluksia ilman sisältöä ja älyä tippuvat nopeasti pois. Myös isot ilmailujätit, kuten Boeing, Lockheed Martin ja Northrop Grumman ovat kehittäneet miehittämättömiä lentolaitteita jo pitkään. Ne ovat kuitenkin keskittyneet toistaiseksi muun muassa sotilaskäyttöön tarkoitettuihin raskaisiin laitteisiin. [11.]

Miehittämättömät ilma-alukset ovat todella nopeasti kasvava bisnes ja monet yritykset ovat lähteneet siihen mukaan, jonka seurauksena tarjontaa on todella paljon. Kiinassa miehittämättömiä ilma-aluksia tehdään hyvin paljon ja ostajan kannattaakin olla tarkkana laadun kanssa. [11.]

Koska valmistajia on paljon, niin kaikkia ei voi tässä luvussa luetella tai esitellä, joten tässä käsitellään vain muutamia suurimpia ja tunnetuimpia laitevalmistajia. Monien lähteiden, myydyimpien miehittämättömien ilma-alusten listoihin, Suomen kauppojen tarjontaan ja eri arvosteluiden lukemisen jälkeen tutustumisen arvoiseksi valmistajiksi valikoitui 3D Robotics, DJI, Parrot ja Yuneec. Näistä suurin ja varmasti tunnetuin on DJI.

### *3D Robotics (myös 3DR)*

3D Robotics on amerikkalainen yhtiö, jonka pääkonttori sijaitsee Berkeleyssä, Kaliforniassa. Yhtiö keskittyy pääasiassa autonomisiin miehittämättömiin ilma-aluksiin ja tuotteisiin, joita käytetään jokapäiväisiin tutkimuksiin, liiketoimintakäyttöön ja ilmakuvauksiin. [15.]

3D Robotics väittää olevansa älykkäin ja teknologisesti edistyneisin miehittämättömiä ilma-aluksia valmistava yhtiö maailmassa. He sanovatkin "laittavansa tietokoneita taivaalle". 3DR kehitti myös ensimmäisenä todellisen "seuraa minua" -toiminnon, jossa miehittämätön ilma-alus seuraa objektia automaattisesti ja pitää kameran suunnattuna siihen. [15.]

### *DJI*

DJI:n pääkonttori sijaitsee Shenzhenissä, Kiinassa ja sillä on toimistoja Yhdysvalloissa, Saksassa, Hollannissa, Japanissa, Etelä-Koreassa, Pekingissä, Shanghaissa ja Hongkongissa. DJI on nykyisin johtava yritys miehittämättömien ilma-alusten valmistuksessa siviileille 70 % markkinaosuudella. Niiden Phantom-sarja on maailmanlaajuisesti suosittu ammattilaisten ja harrastajien keskuudessa johtuen sen langattomasta tekniikasta ja palveluista kuten FPV-lennätyksestä. [15.]

### *Parrot*

Parrot, jonka pääkonttori sijaitsee Pariisissa, on uusi tulokas miehittämättömien ilma-alusten markkinoille. Sen pääerikoisalaa on matkapuhelinten ja autojen langattomien laitteiden valmistus. [15.]

Parrot on saavuttanut lyhyessä ajassa suuren osan ammattilaisille ja harrastajille suunnattujen miehittämättömien ilma-alusten markkinoista AR.Dronen ja sen seuraavan version AR.Drone 2.0:n avulla. Ne ovat keskiluokan harrastajille suunnattuja malleja FPV-lennätysjärjestelmällä, jota ohjataan älypuhelinsovelluksella. [15.]

Parrot on helposti DJI:n välitön kilpailija ilmakuvauksen markkinoilla. Yhtiön Bebop-sarja on nykyään yksi suosituimmista kameralla varustetuista miehittämättömistä ilma-aluksista johtuen sen kohtuuhintaisuudesta. [15.]

### *Yuneec*

Yuneecin pääkonttori sijaitsee Kunshan Jiangsussa, Kiinassa ja se on maailman johtava yritys sähköisessä ilmailussa. Sillä on lisäksi toimistot Pohjois-Amerikassa, Euroopassa ja Aasiassa. DJI ja Yuneec tunnetaan miehittämättömien ilma-alusten maailmassa Applena ja Samsungina. Yritykset ovat olleetkin keskenään muutamissa julkisissa kiistoissa ja oikeudenkäynneissä. [15.]

Vuonna 2014 Yuneec esitteli maailman ensimmäisen suoraan pakkauksesta lentovalmiin Typhoon Q500 multiroottorisen miehittämättömän ilma-aluksen. Se teki yrityksestä ja sen tuotteista erittäin suosittuja ammattilaisten ja harrastajien keskuudessa. [15.]

### 3 Lainsäädäntö ja lennättämisen rajoitukset

Suomessa miehittämättömien ilma-alusten käyttöä sääntelee Liikenteen turvallisuusvirasto (Trafi). Ilmailulaissa mainitaan myös miehittämättömät ilma-alukset, mutta laki on päivitetty viimeksi 7.11.2014 ja samat kohdat löytyvät Trafin säädöksestä OPS M1-32, jota on päivitetty viimeksi 23.12.2016.

#### 3.1 Lainsäädäntö

Kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttäjän on ilmoitettava Liikenteen turvallisuusvirastolle ennen ensimmäistä käyttökertaa käyttäjän tiedot, ilma-aluksen tekniset perustiedot, toiminnan laatu ja laajuus ja jos toimintaa harjoitetaan asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella tai ulkosalle kokoontuneen väkijoukon yläpuolella. Tiheästi asuttu alue tarkoittaa tässä kohtaa asutuskeskittymää, jossa asuu vähintään 200 asukasta ja asuinrakennusten etäisyys toisistaan on enintään 200 metriä. Trafille on myös ilmoitettava, mikäli annettuihin tietoihin tulee muutoksia. Lisäksi kauko-ohjattuun ilma-alukseen on merkattava sen käyttäjän nimi ja yhteystiedot. [17.]

Lennättämisestä vastaavan on oltava vähintään 18-vuotias ja ilma-aluksesta on käytävä ilmi sen käyttäjän nimi ja yhteystiedot. Laitetta lennätettäessä on huolehdittava, ettei siitä aiheudu vaaraa ulkopuolisille ihmisille eikä heidän omaisuudelleen ja meluhaitta on pidettävä mahdollisimman pienenä. On myös huolehdittava, ettei lennätyksestä ole haittaa pelastus- tai muille viranomaisille. [17.]

Jokaisesta lennätyskerrasta on pidettävä kirjaa ja tietoja on säilytettävä kolme vuotta. Tallennettavia tietoja ovat lennätyksen päivämäärä, alkamis- ja päättymisaika ja paikka, ilma-aluksen päällikkö, valmistaja ja malli, lennätystehtävän luonne sekä maininta mahdollisesta kauko-ohjaustähystäjän käytöstä sekä onko kyseessä suoraan näköyhteyteen perustuva toiminta (VLOS) vai suoran näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta (BVLOS). [17.]

Seuraavia ehtoja on noudatettava lennätettäessä kauko-ohjattua ilma-alusta alueella, jota ei ole kielletty muulta ilmailulta tai miehittämättömien ilma-alusten lennättämistä varten erotettu:

- Kauko-ohjatun ilma-aluksen lentoonlähtömassa saa olla enintään 25 kg.
- Lennätyksen on oltava näköyhteyteen (VLOS tai EVLOS) perustuvaa toimintaa.
- Käytettäessä kauko-ohjaustähystäjää on kauko-ohjaajalla ja kauko-ohjaustähystäjällä oltava yhteydenpitoa varten luotettava viestintäväline, mikäli suora puhe-yhteys ei ole mahdollinen.
- Lennätyskorkeus ei saa olla yli 150 metriä maan tai veden pinnasta. Korkeusrajoitus ei kuitenkaan koske kiinteän esteen esimerkiksi radiomaston läheisyydessä tapahtuvaa lennättämistä kohteen omistajan toimeksiannosta. Korkeusrajoitus ei koske myöskään lennättämistä lennokkien lennätyspaikoilla. [17.]

Kauko-ohjatuille ilma-aluksille tapahtuneista poikkeamista, kuten onnettomuuksista ja vakavista vaaratilanteista on ilmoitettava Trafille poikkeama-asetuksen ja ilmailuohjeen GEN T1-4 mukaisesti. [17.]

Huomioitavaa on, että kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättäjä voi syyllistyä ilmaliikennejuopumukseen, jos lennättäjä on vähintään 0,5 promillen humalassa tai suorituskyky on muuten huonontunut alkoholin tai muun huumaavan aineen takia. [29.]

### 3.2 Lainsäädännön muuttuminen

Suomessa on todennäköisesti EU-maiden kevyin ja vapaamielisin miehittämättömiä ilma-aluksia koskeva lainsäädäntö tällä hetkellä. EU-valmistelee miehittämättömille ilma-aluksille uusia rajoituksia, koska niiden varmaton lennättäminen on aiheuttanut läheltä piti -vaaratilanteita muun muassa lentoasemien läheisyydessä ja yleisötapahtumien päällä. Suomen sääntely on noin kahdeksan sivua ja EU:n valmisteleva lakipaketti on nykyluonnoksessaan noin 130 sivua, joten miehittämättömiä ilma-aluksia koskeva sääntely tulee melko varmasti tiukkenemaan Suomessa. Yksi muutos tulisi olemaan lennättämisen ylärajan laskemien 120 metriin. EU antaisi myös paikallisesti mahdollisuuden määrätä alueista, joilla lennättämistä kielletään tai sallitaan enemmän. EU kaavailee myös koulutusvaatimuksia lennättäjille ja uusia vaatimuksia on tulossa myös laitteiden valmistajille. Uudet vaatimukset tulevat todennäköisesti voimaan vuoden 2018 alussa, mutta 2-3 vuoden siirtymäjaksolla. [30.]



### 3.3 Lentotoiminta erikoistilanteessa

Lentoaseman läheisyydessä eli lähialueella (CTR), lentopaikan lentotiedotusvyöhykkeellä (FIZ) tai radiovyöhykkeellä (RMZ) lennättäminen on sallittua enintään 50 metrin korkeudella maan tai veden pinnasta ja vähintään viiden kilometrin päässä kiitotiestä. Edellä mainitut alueet ulottuvat 12-20 kilometrin etäisyydelle kiitotiestä. Liitteessä 1 ja 2 on visuaalinen lähestymistapakaavio (VAC) Helsinki-Vantaan lentokentän alueesta, jossa lähialue näkyy mustalla katkoviivalla. Mikäli on tarve lennättää lähempänä kiitotietä tai korkeammalla kuin 50 metriä edellä mainituilla alueilla, on lennätyksistä sovittava erikseen lentoaseman lennonjohdon kanssa. Jyväskylän (EFJY) ja Utin (EFUT) lentoasemien lähialueella lennättämisestä on kuitenkin kaikissa tapauksissa sovittava erikseen lennonjohdon kanssa. Lisäksi EFHK CTR SOUTH (liitteessä 1 ja 2) alueella lennättämisestä on sovittava kaikissa tapauksissa Helsinki-Vantaan lennonjohdon kanssa. [17.]

Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva miehittämättömän ilma-aluksen lennätys on suoritettava tarkoitusta varten erikseen varatulla alueella ja ilma-aluksen käyttäjän pitää tehdä toiminnasta kirjallinen turvallisuus- ja riskiarviointi sekä toimintaohjeistus normaali- ja häiriötilanteissa. Edellä mainittuja asiakirjoja on säilytettävä vähintään kolmen kuukauden ajan kyseisestä toiminnasta ja esitettävä pyynnöstä valvontaviranomaiselle. [17.]

Miehittämättömän ilma-aluksen lennättäminen ulkosalle kokoontuneen väkijoukon (vähintään 12 ihmistä [5]) tai asutuskeskuksen tiheästi asutun alueen yläpuolella on sallittua vain kun:

- Ilma-aluksen suurin lentoonlähtömassa on enintään 7 kilogrammaa, johon ei laskea ilma-alukseen kiinnitettävää pelastuslaitetta.
- Lennätys tapahtuu suorassa näköyhteydessä.
- Lennätetään sellaisella lentokorkeudella, että hätätilanteessa voidaan laskeutua siten, että siitä aiheutuva vaara on ulkopuolisille ihmisille tai heidän omaisuudelleen mahdollisimman pieni.
- Ilma-aluksen käyttäjä on laatinut toimeksiantokohtaisen kirjallisen turvallisuusarvioinnin, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja toimenpiteet riskien vähentämiseksi.
- Ilma-aluksen käyttäjä on laatinut kirjallisen toimintaohjeistuksen, joka sisältää kuvauksen normaalitoiminnasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa.
- Edellä mainitut asiakirjat säilytetään vähintään kolmen kuukauden ajan toiminnan päättymisestä ja esitetään pyynnöstä valvontaviranomaiselle. [17.]

### 3.4 Vaara-, rajoitus- ja kieltoalueet

P-alue eli lentokieltoalueella lentäminen on kielletty ilman erityislupaa ja kielto koskee myös miehittämättömiä ilma-aluksia. Pysyviä kieltoalueita ovat esimerkiksi ydinvoimaloiden ja presidentinlinnan läheisyydessä ja ne näkyvät ilmailukartassa. Helsingissä on kolme jo vuonna 2015 perustettua lentokieltoaluetta, jotka sijaitsevat Kruununhaassa, Meilahdessa ja Munkkiniemessä. Alueilla sijaitsee valtion kannalta keskeisiä kohteita, kuten presidentinlinna, ministeriöitä, pääministerin virka-asunto ja valtion vierasmaja. [4, s. 16-18.]

R-alue eli rajoitusalue on Puolustusvoimien toimintaa varten tehty lentokieltoalue, jossa lentäminen on kielletty ilman erityislupaa. Kielto koskee myös miehittämättömiä ilma-aluksia. Pysyvät rajoitusalueet esimerkiksi sotilasalueiden läheisyydessä näkyvät ilmailukartassa ja niitä käytetään puolustusvoimien ammunta-alueina. Poikkeuksen tähän tekevät kansainvälisille merialueille ulottuvat ammunta-alueet, jotka ovat D-alueita. Rajoitusalueiden aktiivisuudesta ilmoitetaan erikseen NOTAM-tiedotteella. Rajoitusalueilla lennättäminen on sallittu ainoastaan erillisluvalla, jonka käsittelee Puolustusvoimat. [6; 4, s. 16-18.]

Vaara eli D-alueet ovat pehmeäseinäisiä, joille voi ilma-aluksen päällikön harkinnalla lentää myös niiden ollessa aktiivisia. Alueiden ollessa varattuina pitää miehittämättömää ilma-alusta lennättää varoen sillä siellä on todennäköisesti silloin myös muuta ilmailua. D-alueet ovat purjelentäjien, laskuvarjohyppääjien sekä miehittämättömien ilma-alusten käytössä. [6.]

Muita ilmatilankäyttöä rajoittavia alueita ovat tilapäiset erillisvarausalueet (TSA), joita varataan sotilasilmailun käyttöön. Ne ovat ns. kovaseinäisiä eli sulkevat ilmatilan tarvittaessa maanpinnasta lähtien. Yleensä varauksen alaraja on 1000 metrin paikkeilla, jonka alapuolella saa lentää vapaasti. Varaukset julkaistaan vuorokautta aiemmin ilmatilankäyttösuunnitelmassa ja lähimmästä lennonjohdosta voi kysyä lisätietoja, mikäli ei ole varmuutta saako alueella lennättää ilma-alusta vai ei. [6; 4, s. 19.]

## 4 Lennättäminen

Kauko-ohjattua multiroottorista ilma-alusta on suhteellisen helppo lennättää ja ohjaaminen on yksinkertaista. Laitteet osaavat pysyä paikoillaan tuulessa ja ohjaamattomana ne pyrkivät leijumaan paikoillaan. Lentoonlähdöt ja laskeutumiset eivät myöskään ole hankalia ja parhaimmillaan molemmat toimenpiteet onnistuvat automaattisesti kauko-ohjattulta ilma-alukselta itseltään.

### 4.1 Lento-olosuhteet

Miehittämättömiä ilma-aluksia ei voi lennättää vesi- tai lumisateessa, muutamia vesisaateeseen tarkoitettuja laitteita lukuun ottamatta. Laitteet ovat kuitenkin suurimmaksi osaksi sähkökäyttöisiä ja moottorit ovat alttiina kosteudelle. Laitteen tuulenkestävyys pitää ottaa huomioon ja sitä pitää vahtia lennätettäessä. Vaikka maanpinnalla ei tuulisi, niin korkealla yli sadan metrin korkeudella maanpinnasta voi tuulen nopeus olla enemmän kuin mitä miehittämätön ilma-alus kestää. Tuulenpuuskat voivat helposti kaataa laitteen aiheuttaen laitteen tippumisen.

Miehittämätöntä ilma-alusta saa lennättää mihin kellonaikaan tahansa vallitsevan sään ja valoisuuden huomioon ottaen. Lennätyksen tulee tapahtua suoran näköyhteyden perusteella niin, että vaikuttava ilmaliikenne ja esteet voidaan havaita ja kyetään arvioimaan väistämistarve. [1.]

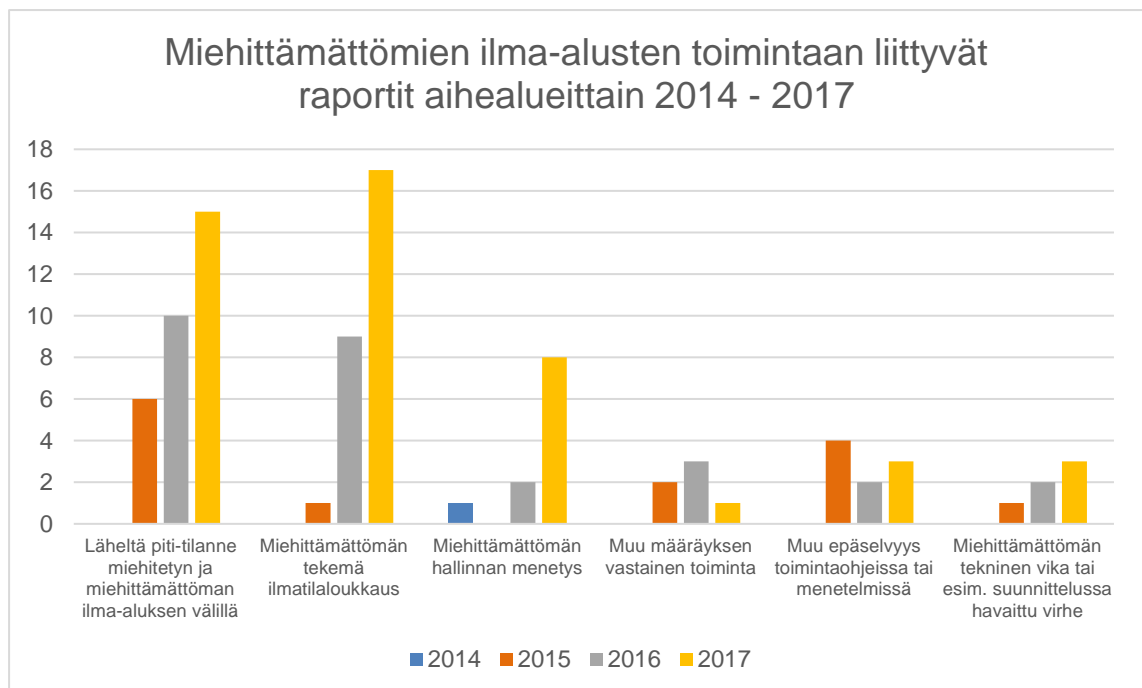
Pakkasenkestävyys on otettava huomioon, mikäli aikoo käyttää miehittämätöntä ilma-alusta myös talvisin. Matalat lämpötilat voivat vaikuttaa lentosuoritukseen. Vaikka laite olisi suunniteltu käytettäväksi pakkasella, pitää kuitenkin muistaa, että akut eivät kestä kylmissä olosuhteissa yhtä kauan kuin lämpimässä. Seuraavilla ohjeilla voi parantaa laitteen lentokykyä pakkasella:

- Käytä vain täyteen ladattuja akkuja.
- Lämmitä akku vähintään 20 °C ennen lentoa.
- Leiju lentoonlähdön jälkeen minuutin verran, jotta akku lämpenee.
- Ohjaa miehittämätöntä ilma-alusta kevyillä ohjausliikkeillä, jolloin ehkäistään akun jännitteen äkillinen tippuminen.
- Akut tyhjentyvät nopeammin kylmissä olosuhteissa. Tarkista akun tila usein lennon aikana. [34.]

## 4.2 Turvallinen lennättäminen

Miehittämättömät ilma-alukset lisääntyvät koko ajan. Se selviää valitettavasti myös raportoitujen vaaratilanteiden tilastoista. Esimerkiksi Isossa-Britanniassa ilmoitettiin vaaratilanteita 0 kpl vuonna 2013, 9 kpl vuonna 2014, 40 kpl vuonna 2015 ja 90 kpl vuonna 2016 [10]. Suomessa tai ulkomailla suomalaisten lennättämille miehittämättömille ilma-aluksille raportoituja tapauksia on kuviossa 3. Diagrammia voi katsoa suuntaa antavana, sillä tuskin kaikkia vaaratilanteita raportoidaan, vaikka miehittämättömille ilma-aluksille tapahtuneista poikkeamista, kuten onnettomuuksista ja vakavista vaaratilanteista on ilmoitettava Liikenteen turvallisuusvirastolle.

Taulukosta nähdään, että vuonna 2014 oli vain yksi Trafille raportoitu tapaus miehittämättömien ilma-alusten vähäisestä määrästä johtuen. Vuonna 2015 raportoitiin yhteensä 14 tapausta, mikä on suuri nousu edellisvuoteen verrattuna, mutta silloin laitteetkin alkoivat yleistyä enemmän. Vuonna 2016 luku tuplaantui, eli yhteensä raportoitiin 28 tapausta ja vuonna 2017 raporttien määrä nousi 47 tapaukseen. Selvästikin miehittämättömien ilma-alusten suosio kasvoi, eivätkä ohjeistukset olleet kaikille selviä. Laitteiden saatavuus alkoi myös olla erittäin hyvä ja laitteita sai edullisesti, mikä selittää lennätyksen suosion kasvun.



Kuvio 3. Miehittämättömien ilma-alusten toimintaan liittyvät raportit 2014-2017 [9; 16].

Huomioitavaa turvallisen lennättämisen kannalta:

- Miehitettävään ilma-alukseen on oltava suora näköyhteys koko ajan.
- Miehitettömän ilma-aluksen pitää olla koko ajan ohjattavissa. Esimerkiksi sen on oltava ohjaajan hallittavissa myös kesken autonomisen lennon.
- Hyvä lentosää eli ei saa sataa eikä tuulla liikaa ja valoa pitää olla riittävästi [22, s. 1].
- Ilma-alus tai radioyhteys voivat ottaa häiriötä radiolähettimeistä, puhelintorneista, voimavirtajohdoista tai muista sellaisista, jolloin toimintasäde voi lyhentyä tai ilma-aluksen ohjattavuus voi huonontua [22, s. 6]. Pahimmassa tapauksessa laite voi jopa tippua taivaalta, kuten kuvassa 6 on käynyt.
- Puiden, rakennusten, mäkien ja muiden esteiden huomioiminen, joihin ilma-alus voi osua tai mitkä voivat haitata näköyhteyttä ilma-alukseen [22, s. 1].
- Alle 5 kilometrin etäisyydellä lentoasemasta lennättäminen on kielletty ilman lennonjohdon lupaa.
- Lentoaseman lähialueella (yli 5 kilometrin päässä kiitotiestä) lennätyskorkeus ei saa olla yli 50 metriä ilman lennonjohdon lupaa.
- Lennätyskorkeus ei saa olla yli 150 metriä maan tai veden pinnasta pois lukien erikseen määritellyt lennokkien lennätyspaikat.
- Ulkosalle kokoontuneen väkijoukon yläpuolella ei saa lennättää ilman tiettyjä huomioita ja toimenpiteitä.
- Lennättäminen ei saa vaarantaa, haitata eikä estää pelastushelikopterin toimintaa.
- On oltava erityisen varovainen lennätettäessä pienten lentokenttien ja helikopteripaikkojen läheisyydessä.
- Lennättäminen asutuskeskuksen yläpuolella ei ole sallittu lentoonlähtömassaltaan yli 7 kilogramman miehitettömällä ilma-aluksilla [17].
- Miehitettömän ilma-alus ei saa aiheuttaa vaaraa eikä meluhaittaa ulkopuolisille ihmisille eikä heidän omaisuudelleen.
- Miehitettömän ilma-aluksen on aina väistettävä kaikkia ilma-aluksia.
- Miehitettömästä ilma-aluksesta on käytävä ilmi käyttäjän nimi ja yhteystiedot.
- Vastuuvakuutuksen ottaminen on suositeltavaa, sillä kotivakuutukset kattavat yleensä vain laitteen vauriot, jos niitäkään. [21.]

Suurimmaksi osaksi Suomen ilmatila on valvomatonta eli siellä voi lennättää miehittämättömiä ilma-aluksia ilman erityisiä lupia tai ilmoituksia, mutta muun muassa lentokenttien lähellä on alueita, joissa lennättäminen vaatii lennonjohdon luvan. Jotta pystyy lennättämään miehittämätöntä ilma-alusta oikein ja turvallisesti, niin lennättäjällä pitää olla ajantasainen ilmailukartta. [4, s. 15.]



Kuva 6. Phantom 4 Pro putosi lentäessä liian lähelle voimavirtajohtoja. Ilmeisesti ilma-aluksen GPS meni sekaisin, vaikka matkaa linjoihin oli vielä reippaasti. Sen seurauksena se putosi maahan ja hajosi käyttökelttomaksi. [23.]

Kaikki miehittämättömät ilma-alukset ovat erilaisia. Lennätettäessä ensimmäistä kertaa uutta ilma-alusta pitää tietää juuri sen mallin ominaisuudet, joten ohjekirjan tai pika-aloitusoppaan lukeminen on ensisijaisen tärkeää. Sieltä selviää muun muassa:

- **Maksimi lentoonlähtöpaino**

Ilma-alus pystyy nostamaan vain tietyn verran painoa turvallisesti ilman, että lento-ominaisuudet vaarantuvat.
- **Maksimi lentokorkeus**

Ilma-aluksen lento-ominaisuudet voivat vaihdella riippuen millä korkeudella sitä lennätetään. Esimerkiksi ilma-alus voi toimia eri lailla vuoren huipulla kuin merenpinnalla, johtuen ohuemmasta ilmasta, vaikuttaen käyttövoiman tehokkuuteen sekä lämpötilasta, joka vaikuttaa akun suorituskykyyn.
- **Maksimi toimintasäde**

Ilma-alus ei toimi tehokkaasti tietyn välimatkan yli, sillä radioyhteys muuttuu liian heikoksi ilma-aluksen ohjaamiseksi. On huolehdittava, että radioyhteys säilyy koko ajan, varsinkin jos ilma-alus ei ole vikaturvallinen tai siinä ei ole kotiinpaluutoimintoa.
- **Maksimi lentoaika**

Ilma-alus ei pysy ilmassa loputtomiin ja sääolosuhteet voivat vaikuttaa lentoaikaan huomattavasti, joten lennon lopetus ja laskeutuminen pitää suunnitella ajoissa, ennen kuin akkujen kapasiteetti tai polttoaine loppuu.
- **Käyttölämpötila**

Ilma-alus ei välttämättä toimi oikein liian kuumassa tai kylmässä, saateissa tai tuulessa. Varsinkin akun kestävyys pakkasessa heikkenee. [22, s. 6.]

Miehittämättömän ilma-aluksen lennättäminen on turvallista, mikäli noudattaa annettuja ohjeita ja määräyksiä. Multiroottorisilla ilma-aluksilla lennätettäessä vahinkojen riski on pienempi, sillä niitä pystyy ohjaamaan helpommin ja tarvittaessa vaikka pysäyttämään kesken lennon. Kiinteäsiipisillä varsinkin laskeutumiset voivat olla hankalia, sillä siihen tarvitaan pitkä kiitorata tai laskeutuminen laskuvarjon avulla, jolloin ilma-alukselle voi satua jotain. Mikäli lennättää miehittämätöntä ilma-alusta ohjeiden ja määräysten mukaisesti, niin mahdollisen onnettomuuden sattuessa ulkopuolisille aiheutuvat vahingot on minimoitu. Tärkeintä on tietää omat ja ilma-aluksen rajat sekä muut ominaisuudet ja lennättää laitetta varovaisesti ottamatta turhia riskejä.

### 4.3 Kustannukset

Akkukäyttöisen miehittämättömän ilma-aluksen lennättäminen on itsessään lähestulkoon ilmaista. Ainoastaan akkujen lataamiseen tarvittava sähkö maksaa ja sekin on vain muutamia euroja vuodessa. Akut kestävät satoja latauskertoja, mutta kuluvat pikkuhiljaa, kunnes niillä ei enää pysty lennättämään laitetta tarpeeksi pitkään. Uusi akku DJI Phantom 4:seen (kuva 7) maksaa parisataa euroa. Jos laitetta lennättää erittäin ahkerasti uuden akun osto voi olla viisasta noin kerran vuodessa.

Pienenkin onnettomuuden sattuessa ainakin ilma-aluksen roottorit (kuva 7) voivat rikkoutua. Esimerkiksi, jos ilma-alus kaatuu nousun tai laskeutumisen yhteydessä johtuen liian kovasta tuulesta tai epätasaisesta alustasta. Onneksi siitä ei kuitenkaan tule suuria korjauskustannuksia, sillä uudet roottorit maksavat noin 5 euroa kappale. Phantom 4:sen paketissa on myös valmiiksi vararootorit (4 kpl).



Kuva 7. DJI Phantom 4:sen "Intelligent Flight Battery" -tehoakku ja roottorit [32].



Lentotyötä kauko-ohjatuilla ilma-aluksilla tekevien pitää rekisteröityä Trafille ja rekisterisäpitomaksu on 20 euroa vuodessa. Suurin kustannus tulee kuitenkin vakuutuksista, sillä kauko-ohjatulla ilma-aluksella on oltava ilmailun vakuutusasetuksen mukainen vakuutus. Laitteiden vastuuvakuutus maksaa muutamia sataasia vuodessa per kauko-ohjattu ilma-alus, mutta hintaan vaikuttaa monet eri tekijät kuten yrityksen toimiala, laitteiden laatu ja määrä. Vakuutus korvaa ulkopuolisille aiheutuneet vahingot, mutta lennättäjän omaisuudelle tai laitteelle aiheutuneita vahinkoja vakuutus ei korvaa. Vakuutus kattaa vain suoraan näköyhteyteen perustuvan toiminnan aikana sattuneet vahingot. [1; 37.]

Määräysten mukaisesti lennättäminen on siis ainakin toistaiseksi Suomessa hyvin halpaa, mutta jos on tarvetta poiketa annetuista määräyksistä, pitää hakea lennättämiseen maksullisia lupia tai varauksia:

- Poikkeusluvalla voi poiketa määräyksen (Trafi OPS M1-32) vaatimuksista, kuten massa- tai korkeusrajan ylityksestä. Lupa maksaa 150 euroa ja se myönnetään yleensä 6 kuukaudeksi kerrallaan, jonka jälkeen luvan voi uusida.
- Jos on tarvetta lennättää ilman suoraa näköyhteyttä ilma-alukseen, pitää tehdä erillinen ilmatilavaraus [1]. Rajoitusalueita voidaan myös perustaa kieltämään ilmailu tietyllä alueella esimerkiksi jonkun tapahtuman takia. Tilapäisen rajoitusalueen ja vaara-alueen perustaminen tai muun tilapäisen ilmatilan käyttörajoitus maksaa 320 euroa ja varaus voidaan tehdä enintään vuodeksi kerrallaan.
- Suomessa on useita ilmailulta kiellettyjä (P-alue) tai rajoitettuja alueita (R-alue), joilla miehittämättömän ilma-aluksen lennättäminen on luvanvaraista. Lupa lennättämiseen kieltoalueella on kertaluontoinen rajatulle ajalle, maksaa 180 euroa ja se haetaan Trafilta. Lupa lennättämiseen rajoitusalueella haetaan Puolustusvoimilta. [24.]

Lennättämisen kustannukset riippuvat tietenkin myös käytetystä laitteistosta. Jos Phantom 4:sen vuotuiset kustannukset ovat joitain satoja euroja niin ranskalaisen miehittämättömän Infotron-helikopterin (kuva 8) käyttökustannukset nousevat jopa noin 15 000 euroon. Infotron maksaa noin 60 000 euroa, painaa 14 kilogrammaa ja voi nostaa jopa 5 kilogramman kuorman. Laitteessa on mopon moottori, jonka sytytystulppa pitää vaihtaa 4 tunnin välein ja 25 tunnin välein laite pitää lähettää Ranskaan huoltoon. Laitteen moottori pitää vaihtaa 100 tunnin välein. [4, s. 24.]



Kuva 8. Infotron-helikopteri [4, s. 24].

#### 4.4 Lento-ohjaimen tarkistuslista

Ennen lento-ohjaimen lähtöä tulisi suorittaa tarkastus, jolla selvitetään miehittämättömän ilma-aluksen kunto. Tarkistuslista tulee käydä läpi kohta kohdalta ja mikäli kaikki on kunnossa, voidaan lento-ohjaimen lähtö aloittaa. Ilma-aluksen käyttöoppaasta pitäisi löytyä kyseisen laitteen lento-ohjaimen tarkistuslista, jota kannattaa ensisijaisesti noudattaa. Näin toimimalla varmistetaan ainakin siitä, että itse ilma-alus on hyvässä kunnossa lentoa varten. Laitteen lisäksi pitää varmistua lento-ohjaimen soveltuvuudesta. Tärkeää olisi tarkistaa seuraavat asiat:

- Ilma-aluksen, kauko-ohjaimen ja mahdollisen matkapuhelimen (toimii näyttönä) akut ovat täyteen ladattuja.
- Muistikortti on paikoillaan.
- Kamera on ehjä ja toimii.
- Gimbal toimii oikein.
- Ympäristön lentoesteet.
- Laitteessa ei ole ulkoisia kolhuja.
- Roottorit ovat ehjät ja asennettu oikein.
- Mahdolliset lisävarusteet on kiinnitetty hyvin.
- Moottorit pystyvät käynnistymään ja toimivat normaalisti.
- Jos laitteessa on GPS, varmistu ennen nousua, että laite on yhdistynyt tarpeeksi moneen (yleensä 8) satelliittiin.

Ilma-aluksen lisäksi on yhtä tärkeää varmistua siitä, että lentäjä on kunnossa ja perehtynyt kyseiseen ilma-alukseen. Lentäjän tulee huolehtia, että on fyysisesti ja henkisesti valmis lentämään. On huolehdittava, ettei ole lentäystä haittaavaa sairautta tai lääkitystä, stressiä tai väsymystä. Ei saa myöskään unohtaa, että huono kuulo tai näkö asettaa lentäjän, ilma-aluksen tai muut vaaraan. On tärkeää lentää laitetta omien rajojen ja kokemuksen mukaan. [22, s. 5.]

## 5 Kauko-ohjattujen ilma-alusten soveltuvuus ja käyttö infrahankkeissa

Infrarakentaminen on paljon muutakin kuin ensimmäisenä mieleen tulevat tietyömaat. Se on nykyaikaisen yhteiskunnan toiminnassa tarvittavien teknisten perusrakenteiden eli infrastruktuurin rakentamista. Se sisältää erittäin monipuolisesti kaikenlaista rakentamista maalla ja vedessä, kuten:

- sillat
- padot
- tunnelit
- satamat
- meluesteet
- tietoliikenneyhteydet
- lentoasemat ja lentopaikat
- liikenneväylät, esimerkiksi tiet, kadut ja rautatiet (kuva 9)
- energia-ala, esimerkiksi voimalat, jakeluverkot ja öljynjalostamot
- vesihuolto, eli talousvesi- ja jätevesijärjestelmät sekä vedenpuhdistamot
- ympäristö-, teollisuus- ja kalliotilojen rakentaminen, esimerkiksi väestönsuojat
- muita ympäristö- ja maarakenteita, kuten kaatopaikat, talonrakennuksen pohja- ja pihatyöt.

Suomen rakentamisen kokonaismäärästä yli neljäsosa on infran rakentamista ja kunnossapitoa. Vuonna 2016 infraa rakennettiin, korjattiin ja hoidettiin 8,5 miljardilla eurolla. Siitä investointien osuus oli 6,2 miljardia ja kunnossapidon osuus 2,3 miljardia euroa. Infra-ala työllistää suoraan 45 000 suomalaista. [25.]

Infratyömailla ei siis ole mitään erikoisrajoitteita kauko-ohjatuille ilma-alukselle. Työmaat ovat perustyömaita ulkoilmassa, mihin kaikki ammattikäyttöön tarkoitetut ilma-alukset on alun alkaenkin suunniteltu. Multiroottoriset ilma-alukset soveltuvat kuitenkin kiinteäsiipisiä paremmin infratyömaille niiden joustavuuden takia. Niitä voi käyttää sekä pienillä että isoilla hankkeilla ja niillä saa kätevämmän otettua yksittäisiä kuvia tietystä kohteesta. Jos on tarkoitus kuvata usein monien kilometrien pituisia tiehankkeita, niin kiinteäsiipinen kauko-ohjattu ilma-alus on siinä tapauksessa kannattavampi vaihtoehto.

## 5.1 Infratyömaille soveltuvien kauko-ohjattujen ilma-alusten edellytyksiä

Miehittämätöntä ilma-alusta hankkiessa on tärkeää miettiä mihin käyttötarkoitukseen se tulee. Suurin raja on varmasti laitteen käyttötarkoitus eli tuleeko se harrastus- vai ammattikäyttöön. Harrastustoimintaan riittänee muutamasta sadasta eurosta tonnin hintaluokkaan kuuluva laite. Ammattikäytössä lentoajalla, toimintaetäisyydellä, kuvan laadulla ja lento-ominaisuuksilla on suurempi rooli, jolloin myös hinta nousee. Lisäksi yhtenä tärkeänä kriteerinä on varaosien saanti. Jossain vaiheessa laite kuitenkin osuu johonkin tai kaatuu epätasaisella alustalla, jolloin varsinkin roottorit menevät helposti rikki.

Erilaisia ominaisuuksia on siis paljon ja vertailemiseen kannattaa käyttää aikaa, jotta löytää parhaan laitteen juuri omaan käyttötarkoitukseen. Tässä luvussa vertaillaan tarkemmin yhdeksää miehittämätöntä multiroottorista ilma-alusta ja niiden soveltuvuutta infratyömaalle liitteen 4 vertailutaulukosta. Vertailussa on mukana DJI:n Mavic Pro, Phantom 4 Pro, Inspire 1 Pro sekä Inspire 2 ja Yuneecin Q500 4K, Typhoon H sekä H920 Plus ja 3D Roboticsin SOLO ja Parrotin Bebop 2 Power multiroottoriset ilma-alukset. Vertailuun on valittu näiltä valmistajilta muun muassa parhaat mallit. Taulukossa ei kuitenkaan ole Parrotin kiinteäsiipistä DISCO-mallia, koska sen lento-ominaisuudet ovat niin erilaisia multiroottorisiin kauko-ohjattuihin ilma-aluksiin verrattuna.

Taulukossa on listattu laitteiden hinta ja paino, maksimi lentonopeus, lentoaika ja laitteen maksimi tuulenkestävyys, laitteen ja kameran käyttölämpötilat, radiolähettimen toiminta- etäisyys ja toimintataajuudet, kameran pikselit, videon maksimi resoluutio ja löytyykö laitteesta esteentunnistussensoreita tai kotiinpaluutoimintoa.



Kuva 9. Hannuksenpellon työmaa 4.7.2017 yhtä päivää ennen uuden Länsiväylän patkän avaamista.

### *Toimintaetäisyys ja -taajuudet*

Kauko-ohjattujen ilma-alusten toimintaetäisyyksiin kannattaa tutustua, sillä työmaat voivat olla hyvinkin laajoja. Ne voivat olla esimerkiksi monien kilometrien pituisia teiden rakennus- tai korjausurakoita tai muuten laajalle alueelle ulottuvia yksittäisiä työmaita, kuten kuvassa 10 oleva Blominmäen jätevedenpuhdistamon alue Espoossa. Kuvassa näkyy kuvattava alue, joka oli noin 1 300 metriä pitkä ja 800 metriä leveä. Laajoja alueita kuvatessa on käytännöllistä, että laitteella pystyy kuvaamaan koko alueen samasta paikasta. Huomioitavaa kuitenkin on, että radioyhteyden kantama voi olla eri kuin videolinkin, eli kuinka kauas pystyy laitetta ohjaamaan ja kuinka kauas videolinkki kantaa.

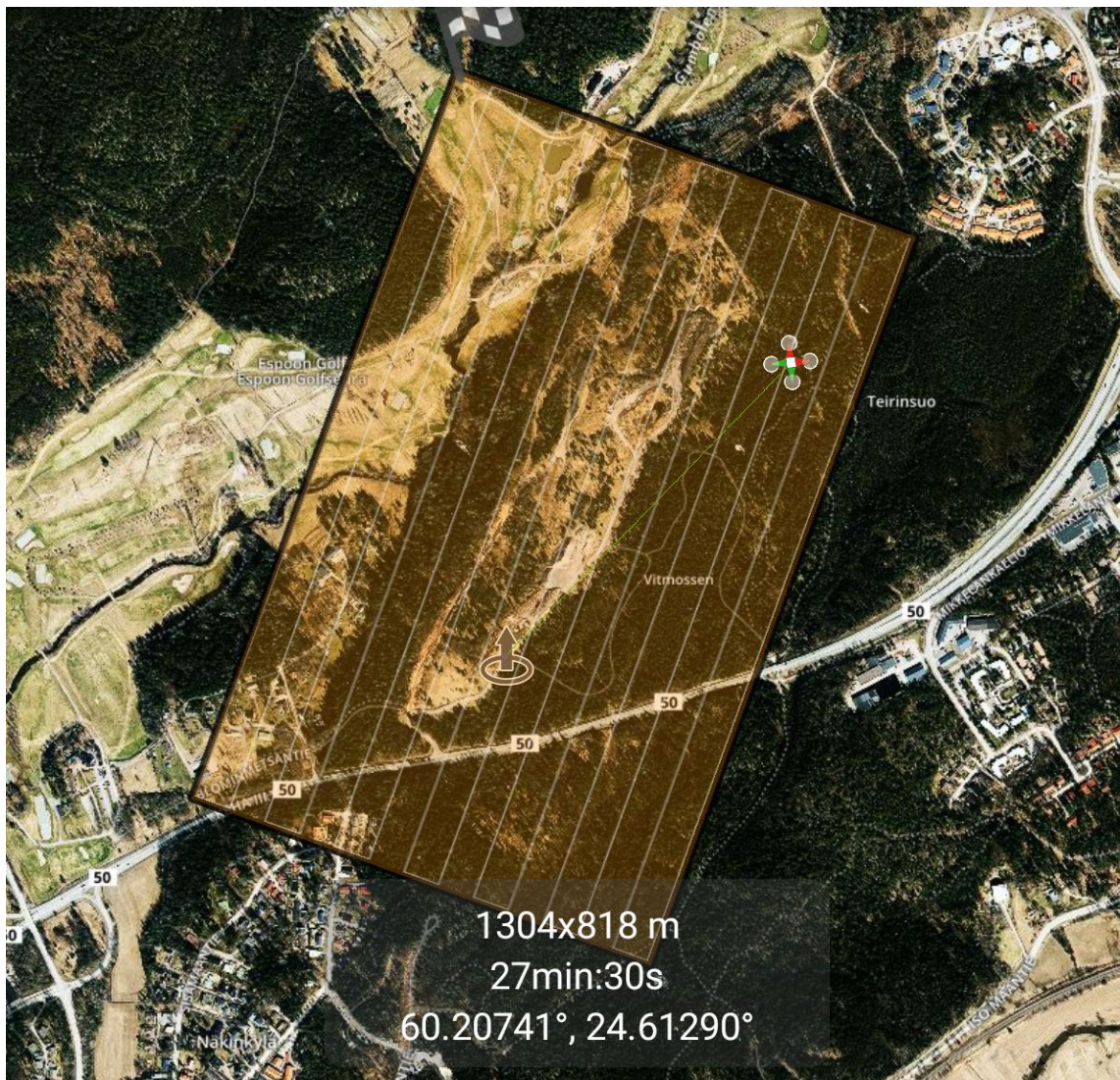
Pitkä toimintaetäisyys on siis välttämättömyys, jolloin pelkällä puhelimen Wi-Fin avulla ohjattavat laitteet, joilla pääsee noin sadan metrin etäisyydelle, eivät infratyömaille sovellu. Tosin kuvan 10 tapauksessa lentosuunnitelma oli ladattu kauko-ohjattuun ilma-alukseen eli vaikka yhteys olisikin katkennut, lento olisi silti jatkunut normaalisti.

Vertailluista laitteista kaikissa DJI:n malleissa on riittävästi toimintaetäisyyttä ja Yuneecin Typhoon H sekä H920 Plus -mallien 1,6 kilometrin ja Parrot Bebop 2 Powerin 2 kilometrin toimintaetäisyys riittää juuri ja juuri. Laitteiden markkinoidut toimintaetäisyydet ovat kuitenkin saavuttamattomissa, sillä ne on saatu ideaaliolosuhteissa ilman mitään häiriötekijöitä, kuten puita, muita esteitä tai radioyhteyden häiriöitä.

Radioyhteyden häiriöt ovat lennätettäessä mahdollisia. Esimerkiksi Hannuksenpellon työmaalla Espoossa Phantom 4 Pro:lla ei päässyt kuin 200-400 metrin päähän, kunnes videolinkki alkoi katkeilla ja pahimmillaan yhteys kauko-ohjattuun ilma-alukseen katosi kokonaan, jolloin kotiinpaluutoiminto tuli tarpeeseen. Vaikka Phantom 4 Pro:n markkinoitu toimintaetäisyys on 3,5 kilometriä, ei työmaalla päästy kuin noin 10 prosenttiin siitä.

Mahdollinen syy huonoon kantamaan oli 100 metrin päässä työmaasta oleva matkapuhelintorni. Se lähettää ja vastaanottaa signaalia muun muassa 1,7-2,2 GHz:n taajuudella [26]. Koska Phantom 4 Pro toimii 2,4 GHz:n taajuudella luultavasti juuri matkapuhelintorni häiritsi lennättämistä. Laitteesta löytyy kuitenkin myös 5,8 GHz:n taajuus, jolla lennätys sujui paremmin. Tosin korkeammalla taajuudella ilmoitettu toimintaetäisyys on ”vain” 2 kilometriä. 5,8 GHz:n taajuus onkin suositeltu kaupunkiolosuhteisiin juurikin häiriöiden takia ja 2,4 GHz:n taajuus on parempi pitkille etäisyyksille avoimilla alueilla.

Vertailuista laitteista DJI:n laitteissa Mavic Pro:ta lukuun ottamatta on useita toimintataajuuksia. Typhoon H ja H920 Plus toimivat vain 5,8 GHz:llä, jolloin niitä pystyy lennättämään hyvin mutta vain rajoitetun matkan. Parrot Bebop 2 Powerilla on myös useita toimintataajuuksia, mutta sen toimintaetäisyys on muuten hieman lyhyt.



Kuva 10. Blominmäen jätevedenpuhdistamon alue Espoossa. Kuvankaappaus Pix4Dcapture-ohjelmasta. Kuvassa näkyy kauko-ohjatulle ilma-alukselle annettu lentosuunnitelma, jonka laite lentää automaattisesti ottaen kuvia tietyn välimatkan välein. Liitteessä 7 on valmis kuva kyseiseltä lennolta.

### *Kotiinpaluutoiminto*

Ehkäpä kauko-ohjatun ilma-aluksen tärkein turvallisuusominaisuus on kotiinpaluutoiminto (RTH, Return To Home), joka on demonstroitu kuvassa 11. Toiminnon aktivoitua laite palaa takaisin siihen, mistä lennätys on aloitettu ja laskeutuu lähtöpisteeseen.

Kauko-ohjattu ilma-alus tallentaa lähtöpaikan nousun yhteydessä satelliiteista sekä mahdollisesti ottaa kuvan sensoreilla. Näiden tietojen avulla se osaa palata jopa muutamien senttimetrin tarkkuudella samaan paikkaan laskeutuessaan, kuten kuvassa 12 Phantom 4 Pro on laskeutunut noin viiden senttimetrin päähän alkuperäisestä lähtöpisteestä.

Toiminto aktivoituu automaattisesti, mikäli yhteys kauko-ohjattuun ilma-alukseen katoaa tai lennättäjän komennolla, kun laite pitää saada kätevästi ja nopeasti alas taivaalta jostain muusta syystä, kuten tuulen tai sateen yllättäessä. Toiminnon on hyvä myös aktivoida automaattisesti akun varauksen laskiessa tarpeeksi alas, jolloin laite palaa turvallisesti takaisin ilman akkujen loppumista kesken lennon.



Kuva 11. Kotiinpaluutoiminnon havainnekuva. Sininen viiva kuvaa lennätettyä reittiä ja vihreä viiva kotiinpaluutoiminnon aktivoiduttua laitteen lentämää reittiä takaisin. [27.]



Vaikka tilanne ei olisi mikään edellä mainituista, helpottaa kyseinen toiminto lennätystä muutenkin. Lennätyksen päätteeksi voi vain painaa nappia kauko-ohjaimesta ja ilma-alus palaa turvallisesti kotiin. Laskeutuessa automaattisesti myös laitteen kaatumisriski on pienempi, koska silloin ei tule viime hetken ohjausvirheitä ennen maakosketusta tietokoneen hoitaessa laskeutumisen. Vertailluista laitteista kaikissa on kotiinpaluutoiminto.

### Ennen lentoa



### Lennon jälkeen



Kuva 12. Kotiinpaluutoiminto on hyvissä olosuhteissa yllättävän tarkka. Tässä tapauksessa Phantom 4 Pro osasi palata muutamien senttimetrien päähän lähtöpisteestä. Eli punaisen pisteen osoittama kohta oli noustessa kameran kohdalla, keskellä ilma-alusta ja laitteen laskeutuessa laskeutumistelineen kohdalla.

### *Esteentunnistussensorit*

Yhtenä tärkeänä turvallisuusominaisuutena kauko-ohjatusta ilma-aluksesta tulisi löytyä jonkinlaisia sensoreita laitteen eri puolilta. Esteentunnistussensorit toimivat auton peruutustutkan lailla tarkkaillen lähellä olevaa ympäristöä ja ehkäisten laitteen törmäämistä tunnistamalla esteet ja jarruttamalla tai väistämällä automaattisesti. Sensorit auttavat laitetta myös pysymään paikoillaan, jos GPS-signaalia ei ole saatavilla.

DJI:n laitteet ovat ainoat, joista löytyy sensoreita vähintään yhteen suuntaan. Phantom 4 Pro:ssa sensoreita on eniten, se havaitsee esteitä edestä, takaa ja alhaalta sekä tietyissä lentotiloissa oikealta ja vasemmalta. Vaikka Inspire 2:sen hinta on moninkertainen, siinä ei ole tunnistimia kuin eteen, ylös ja alaspäin (kuva 13).

Typhoon H:sta myydään myös Pro versiota, jossa on Intelin RealSense -teknologia, jolla laite havaitsee edessä olevia esteitä. Pro version hinta on 1 500 euroa eli 600 euroa enemmän kuin perusmalli, eikä muita suuria eroja ole yhtä lisäakkua lukuun ottamatta. Phantom 4 Pro on siis selkeästi paras vaihtoehto törmäämisen välttämisen kannalta.



Kuva 13. Eteen- ja alaspäin suunnattujen sensoreiden avulla Inspire 2 havaitsee esteitä jopa 30 metrin päähän mahdollistaen turvallisen lennättämisen jopa 54 km/h nopeudessa. Ylöspäin suunnatut infrapunatunnistimet skannaavat esteitä 5 metrin päähän lisäämällä suojaa lennätettäessä suljetuissa tiloissa. [32.]

### *Lentoaika*

Nykyään akkukäyttöiset multiroottoriset ilma-alukset lentävät maksimissaan 25-30 minuuttia. Sekään ei välttämättä riitä ison alueen kuvaamiseen, joten kannattaa valita laite jossa on vaihdettavat akut, jos on tarvetta lennättää kauko-ohjattua ilma-alusta pitkään kerrallaan. Silloin voi lennättää laitetta pitkään myös ilman akkujen latausmahdollisuutta.

Laajamittaisia kuvausprojekteja tehtäessä kauko-ohjatun ilma-aluksen lentoajalla on merkitystä. Työtä nopeuttaa se, että yhdellä akulla pystyy lennättämään laitetta mahdollisimman pitkään. Aikaa menee turhaan hukkaan, jos välillä tarvitsee laskeutua vaihtamaan akkuja tai jos käytössä ei ole kuin yksi akku, niin lataamaan sitä. Esimerkiksi kuvassa 10 olevan alueen kuvaamiseen tarvittiin kaksi akkua, eikä akun lataaminen välillä olisi onnistunut.

Lataaminen voi kestää yli tunnin, jos akun kapasiteetti on iso tai käytössä ei ole pikalaturia. Esimerkiksi Phantom 4:sen ”Intelligent Flight Battery” -tehoakun lataaminen 15 prosentista täyteen kestää reilun tunnin. Laitteen lentoaika yhdellä latauksella on 20-25 minuuttia, jolloin akkua jää vielä noin 15 % jäljelle laskeutumista tai muita mahdollisia hätätilanteita varten. Ilmoitettu lentoaika kyseiselle laitteelle on noin 30 minuuttia, mutta koska varausta jää hieman käyttämättä lentoaika lyhenee hieman.

Akun kapasiteetti myös pienenee vanhetessaan, jolloin lentoaika samalla lyhenee. Vertailun kauko-ohjatuista ilma-aluksista kaikilla muilla on tarpeeksi pitkä lentoaika, paitsi Inspire 1 Pro:lla, jonka maksimi lentoaika on vain 15 minuuttia. Ylipäänsä multiroottoristen ilma-alusten maksimi lentoaika on tällä hetkellä noin 30 minuuttia, eli vertailun kaikilla muilla laitteilla on vakuuttavat lentoajat.

## Sääolosuhteet

Rakennusprojektit kestävät läpi vuoden, jolloin kauko-ohjatulle ilma-alukselle on käyttöä jokaisena vuodenaikana. Huomioon otettavia asioita on siis kestävyys eri sääolosuhteissa. Vesi- tai lumisateessa lennättäminen ei yleisimmillä laitteilla onnistu, mutta niihinkin olosuhteisiin löytyy laitteita kuten kuvassa 14 oleva vedenkestävä miehittämätön ilma-alus. Jos tämän tyyppiset laitteet jättää huomioimatta niin eroavaisuuksia tulee käytölämpötiloista ja minkälaisessa tuulessa laitetta pystyy lennättämään.

Pakkasenkestävyys on otettava huomioon, mikäli aikoo käyttää kauko-ohjattua ilma-alusta talvisin. Vaikka suurimmaksi osaksi laitteiden käyttölämpötilan alarajaksi on määritetty nolla astetta, pystyy niitä lennättämään pakkasellakin, mutta laitevalmistajat eivät silloin vastaa muun muassa akun kestosta. Esimerkiksi akun varaustila voi yllättäen vähentyä, jolloin laite voi tippua kesken lennon.

Kaikkia vertailun kauko-ohjattuja ilma-aluksia pystyy lennättämään hyvin Suomen keksässä, sillä kaikki laitteet kestävät jopa 40 °C lämpötilaa. Pakkasta kestävät Inspire 1 Pro, Inspire 2 ja Typhoon H, joista DJI:n Inspire 2 hämmästyttävät -20 °C. Lyhyitä lentoja voi tehdä, vaikka onkin muutama aste pakkasta, joten kaikki paitsi Bebop 2 Power ovat hyviä vaihtoehtoja ympärivuotiseen kuvaamiseen, varsinkin kun Suomen talvet ovat nykyään lyhyitä eivätkä kovin kylmiä.



Kuva 14. SwellPro Splash Drone 3 Auto on miehittämätön ilma-alus, joka kestää jopa hetkeksen upotuksen veteen (IP67). Se maksaa noin 1 750 euroa. [28.]

Erikoista kuitenkin on, että joidenkin kauko-ohjattujen ilma-alusten ja niiden kameroiden käyttölämpötiloissa on eroavaisuuksia. Yleisimmin kamera ei valmistajan mukaan kestä yhtä hyvin kylmää kuin itse laite, mutta Yuneec ilmoittaa H920 Plussan kamerasen kestävän 5 astetta kylmemmässä lämpötilassa kuin ilma-alus. Inspire 1 Pro:n ja Inspire 2:sen kohdalla kamerat kestävätkin valmistajan mukaan 10 astetta vähemmän pakkasta kuin laite.

Pakkanen on harvinaista vain talvisin, mutta ympärivuotisen säähaitan varsinkin aukeilla alueilla ja meren äärellä aiheuttaa tuuli. Laitteiden tuulenkestävyys kannattaa siis selvittää, sillä laitteissa voi olla suuria eroja. Vaikka maanpinnalla tuntuu, että on tarpeeksi työntä lennättää kauko-ohjattua ilma-alusta voi 100 tai 150 metrin korkeudessa olla jo aivan eri tuulen nopeus, sillä korkealla puut, mäet, rakennukset tai muut esteet eivät hidasta tuulen nopeutta. Kauko-ohjattua ilma-aluksella pitäisi siis olla hyvä tuulenkestävyys, jotta pienet puuskat eivät aiheuttasi ongelmia työn tekemiselle.

Lähestulkoon kaikilla vertailuilla laitteilla on maksimissaan 10 m/s tuulenkestävyys ja Bebop 2 Powerille (kuva 15) luvataan jopa 16 m/s tuulenkestävyys. Typhoon Q500 4K jää kuitenkin kauas muista sillä se kestävätkin vain 5 m/s tuulen nopeutta.



Kuva 15. Parrot Bebop 2 Power [32].

## *Kamera*

Kaikkein tärkein ominaisuus on kauko-ohjatun ilma-aluksen kamera, jonka takia alun alkaen laite työmaalle hankitaan. Kannattaa siis kiinnittää huomiota kameran ominaisuuksiin ja vakaimen. Kolmeakselinen gimbal-vakaaja on välttämätön sillä se pitää kameran vakaana, vaikka kauko-ohjattu ilma-alus kallistuu tai heiluu tuulessa. Jos haluaa asentaa kauko-ohjattuun ilma-alukseen oman kameran, tarvitsee tehokkaan laitteen. On jopa mahdollista rakentaa laite rakennussarjasta vaatimuksien mukaiseksi. Helppomalla kuitenkin pääsee, jos ostaa kauko-ohjatun ilma-aluksen, jossa on kamera valmiiksi integroituna. Pitää kuitenkin muistaa, että kameran korkea resoluutio ei välttämättä takaa hyvälaatuista kuvaa. [11.]

Nykypäivänä kamerat ovat niin kehittyneitä, että lähestulkoon kaikissa kauko-ohjatuissa ilma-aluksissa, jotka eivät ole aivan hinnat alkaen malleja, löytyy hyvä kamera. Kameran paremmuudesta ei pelkkä pikselimäärä kerro paljoakaan, mutta mitä korkeammalta kuvaa, sitä enemmän on vaikutusta kuvan resoluutiolla yksityiskohtien tarkkuudessa. Myös kuvien suurentaminen jälkikäteen onnistuu paremmin, mikäli pikseleitä on enemmän.

Kaikilla muilla paitsi Bebop 2 Powerilla saa 4K-videokuvaa. Tosin 4K:lla kuvaaminen on vielä tällä hetkellä turhaa, sillä työmaiden kannettavat tietokoneet eivät ilman videon pakkaamista kuvattua videota toista, joten 1080p on tarpeeksi työmaan videotarpeisiin. Näin ollen kaikki vertailtavat kauko-ohjatut ilma-alukset soveltuvat hyvin työmaalle kameran puolesta. 3D Roboticsin SOLO:ssa ei kameraa ole ollenkaan, vaan siihen pitää ostaa erikseen GoPro ja se on yhteensopiva Hero 3, 3+ ja 4 -mallien kanssa.

## *Hinta*

Ostopäätökseen vaikuttaa kuitenkin suuressa määrin myös laitteen hinta. Hyvä multiroottorinen kauko-ohjattu ilma-alus maksaa nykyään noin 1 000-1 700 euroa. Halvemmissa laitteissa on tehty paljon kompromisseja esimerkiksi toimintaetäisyyden tai akun keston kohdalla. Toisaalta halvemmasta päästä oleva Bebop 2 Power vaikuttaa aika hyvältä vaihtoehdolta pelkästään taulukoitujen ominaisuuksien perusteella. Työmaalla ei myöskään ole käyttöä kalliimpien laitteiden lisäominaisuuksista, kuten erittäin hyvistä kameroista. Esimerkiksi Inspire 2:sen hinta on erittäin korkea ja se onkin tarkoitettu enemmän ammattikuvaukseen, eikä sen huippukamera ole tarpeellinen työmaalla. Kameran osuus sen hinnasta onkin 3 700 euroa ja pelkän ilma-aluksen saa 3 300 eurolla.

*Yhteenveto vertailluista laitteista ja edellytyksistä infratyömaille*

Mavic Pro on halpa ja kaikki muut ominaisuudet ovat kohdallaan, mutta 2,4 GHz:n toimintataajuudella voi joissain tapauksissa tulla ongelmia. Phantom 4 Pro maksaa hieman enemmän, mutta rahoilla saa myös enemmän vastinetta, kuten paremman kameran ja 5,8 GHz:n taajuuden. Pitää myös muistaa, että ominaisuuksien suhteen vertailu on suppea. Laitteissa on paljon ominaisuuksia, joita vertailussa ei ole otettu huomioon.

Inspire 1 Pro maksaa hyvin paljon ja lentää kuitenkin erittäin lyhyen aikaa. Inspire 1:sestä on myös olemassa halvempi versio Inspire 1 v2.0, jossa on hieman huonompi kamera ja 2 kilometrin toimintaetäisyys, mutta 3 minuuttia pidempi lentoaika. Inspire 1 v2.0 maksaa noin 2 100 euroa. Inspire 2 on ominaisuuksien suhteen unelma kauko-ohjattu ilma-alus, mutta hinta on myös sen mukainen.

Typhoon Q500 4K on halpa, mutta ei sillä paljoa teekään. Lentoaika on hyvä mutta ohjekirjan suosittelema maksimi tuulen nopeus lennätettäessä on olemattoman vähän, eikä 400 metrin kantama riitä oikein mihinkään. Typhoon H on hieman edellistä parempi ja se soveltuu lennättämiseen pienessä pakkasessakin, mutta kantaman kanssa voi tulla joissain tapauksissa ongelmia, varsinkin kun luvatut lukemat tosielämässä eivät useinkaan toteudu. H920 Plus ei hintaansa nähden tarjoa näiden tietojen osalta paljon mitään muihin verrattuna.

SOLO on tarkoitettu enemmän harraste- kuin ammattikäyttöön ainakin hinnan perusteella ja kameran ostaminen laitteeseen lisää hintaa vähintään noin 300 euroa. Muuten laite vaikuttaisi näiden tietojen perusteella ihan hyvältä, mutta 800 metrin toimintaetäisyys jää lyhyeksi.

Bebop 2 Power:lla on aika hyvät ominaisuudet ja vaikuttava 16 m/s tuulenkestävyys. Se voisikin hyvin olla pienemmille työmaille loistava laite 30 minuutin lentoajalla, 2 kilometrin toimintaetäisyydellä ja 700 euron hinnalla.

Vertailluista laitteista kuitenkin parhaaksi osoittautuu Phantom 4 Pro (kuva 16), jonka tarkemmat tekniset tiedot ovat liitteessä 5. Sen hinta on kohtuullinen ja siinä on kaikki tärkeimmät ominaisuudet. Ainut, missä voisi olla parantamisen varaa, on pakkasenkestävyys. Laitteesta saa myös halvempia versioita, joissa on esimerkiksi vähemmän sensoreita tarkkailemaan ympäristöä ja vain 2,4 GHz toimintataajuus (Phantom 4 Advanced, 1 100 €) tai perusmalli, jossa on vielä hieman huonompi kamera (Phantom 4, 900 €).

Infratyömaille soveltuvien kauko-ohjattujen ilma-alusten edellytyksiä siis ovat:

- Pitkä toimintaetäisyys. Mielellään useita kilometrejä, sillä markkinoidut etäisyydet eivät tosielämässä toteudu.
- Erilaisia kauko-ohjaimen toimintataajuuksia mahdollisten häiriötekijöiden osuessa työmaan kohdalle.
- Kotiinpaluutoiminto on hyvä olla lennätettäessä missä vain.
- Sensorit laitteen ympärillä parantamaan turvallisuutta ja lennättämistä.
- Riittävän pitkä lentoaika, mielellään yli 25 minuuttia.
- Mielellään vaihdettava akku ja lisäakkuja, jos aikoo kuvata laajoja alueita.
- Erilaisia sääolosuhteita kestävä, eli mahdollisimman hyvät pakkasenkestävyys ja tuulenkestävyys.
- Hyvä kamera, mikä tosin löytyy lähestulkoon kaikista laitteista.
- Laitteen ei tarvitse maksaa yli 1 700 euroa.



Kuva 16. DJI Phantom 4 Pro ja sen ohjain [32].



## 5.2 Kauko-ohjattujen ilma-alusten hyödyntäminen infrahankkeissa

Reaaliaikainen tietoisuus ja tarkkuus ovat aina olleet haasteita rakennustyömailla. Vaikka ollaan vasta ymmärtämässä mitä kaikkea voidaan automatisoida, niin näyttää siltä, että kauko-ohjatut ilma-alukset pystyvät hankkimaan tarvittavaa dataa rakennusprosessin jokaisessa vaiheessa. Kauko-ohjatut ilma-alukset voivat tehdä vaarallista työtä ja helpottavat myös erilaisen datan hankkimisessa taivaalta käsin. Taulukossa 1 on esimerkkejä, mihin dataa voidaan käyttää rakennusprojektin eri vaiheissa. [13.]

Kauko-ohjatulle ilma-alukselle on käyttöä jo ennen työmaan aloittamista. Tarjousvaiheessa työalueeseen tutustuttaessa ylhäältä päin saatu aineisto helpottaa alueen hahmottamista ja mahdollisten riskien tunnistamista. Maasto voi olla vaikeakulkuista eikä jalkaisin välttämättä pääse edes tutustumaan koko alueeseen. Jälkikäteen toimistolla on myös helppo palauttaa mieleen työalueen olosuhteita 3D-mallin tai liitteen 7 mukaisen ilmakuvan avulla.

Maan päältä kuvatuista yksittäisistä valokuvista on hankala jälkikäteen hahmottaa mistä suunnasta kuvat on otettu. Yksittäiset kuvat eivät myöskään auta kokonaisuuden hahmottamisessa, jonka mukaan esimerkiksi aluesuunnitelma tai liikennejärjestelyt pitää miettiä. Nykyään on hyvin saatavilla satelliittikuvia koko maailmasta, mutta karttapalveluiden ilmakuvat eivät aina ole tarpeeksi tarkkoja varsinkaan maaseudulla ja kuvat voivat olla vuosia vanhoja, joten niiden käyttö ei ole optimaalista.

Taulukko 1. Kauko-ohjattujen ilma-alusten hyöty rakennusprojektin jokaisessa vaiheessa [13].

 Tarjousvaihe	 Suunnittelu	 Rakentaminen	 Rakentamisen jälkeen
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maasto-olosuhteiden ja investoinnin riskien tunnistaminen.</li> <li>- Paikan olosuhteiden ennakkotarkastaminen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Korkealaatuisen visuaalisen datan tarjoaminen, mistä voidaan tehdä tarkkoja kuvamittauksen tuotteita kuten ortokuvia tai 3D-malleja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Säännölliset raportit työn etenemisestä.</li> <li>- Potentiaalisten riskien ja työturvallisuusongelmien seuranta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yhteenveto suoritetuista tarkastuksista.</li> <li>- Turvallisuusraportteja</li> <li>- Tarkkaa kokonaisvaltaista tietoa mahdollisissa riitatilanteissa.</li> </ul>

Viimeistään ennen työmaan perustamista on hyödyllistä kuvata alue tarkasti ja tehdä mielellään jopa 3D-malli alueesta. Materiaali voi olla hyödyksi riitatilanteissa, joita rakennusaikana voi tulla. Ulkopuoliset voivat syyttää työmaata jonkun asian rikkomisesta, hävittämisestä, siirtämisestä tai muusta sellaisesta. Valvoja tai joku muu kolmas osapuoli voi myös pyytää urakoitsijaa ennallistamaan miljööön rakentamisen loppuksi, mikä voi olla hankala tehdä, jos ei ole tietoa minkälainen alkutilanne on ollut. Tehdystä materiaalista tilanne on helppo tarkastaa ja mitä tarkempi kuvattu materiaali on, sen helpommin pystyy todistamaan tai näkemään, miten asia on oikeasti ollut. Varsinkin ennen räjäytystöiden aloittamista olisi hyvä dokumentoida läheiset rakennukset, jotta jo ennen työvaiheen aloittamista rikkoutuneista asioista ei syytetä työmaata. Materiaalin eteen kannattaa siis nähdä vaivaa, sillä se voi olla jossain kohtaa rahanarvoista.

Työmaan aluesuunnitelma eli työmaa-alueen käytön suunnitelma tehdään yleensä asemapiirustuksen päälle. Se antaa tietoa työmaalla toimiville siitä, miten työmaan järjestelyt, turvallisuusasiat ja logistiikka on suunniteltu. Asemapiirustuksen päälle tehtynä aluesuunnitelma on hankalampi tehdä, epätarkempi ja vaikeammin luettavissa, sillä pohjalla on valmiin alueen piirustus. Valokuvaan tehtynä suunnitelmasta saa tarkemman ja helpompilukuisen. Työmaakoppien, ensiapupisteiden, roskalavojen ja niin edelleen paikat hahmottaa paremmin, kun pohjalla on valokuva työmaan sen hetkisestä tilasta. Myös harvemmin työmaalla käyvät saavat heti paremman käsityksen mitä on missäkin. Aluesuunnitelman päivittäminenkin onnistuu helposti vaihtamalla alla olevan ilmakuvasen sekä muokkaamalla suunnitelman merkintöjä tarpeen mukaan. Liitteessä 8 on Hannuksenpellon aluesuunnitelma sekä asemapiirustuksen, että ilmakuvasen päälle tehtynä.

Varsinkin korjaustyömailla pitää tehdä erilaisia liikenteenohjaussuunnitelmia, joilla saadaan yleinen liikenne sujumaan hyvin työmaan ohi. Yleensä liikenteenohjaussuunnitelma tehdään asemapiirustuksen päälle, jolloin kohdataan samat ongelmat kuin aluesuunnitelman tekemisessä piirroksen päälle. Valokuvan päälle tehtynä liikenteenohjaussuunnitelmassa voidaan helpommin huomioida liikenteen ja sen hetkisen työvaiheen tilantarve. Suunnitelmasta saadaan siten myös tarkempi ja mahdolliset ongelmakohdat huomaa heti, jos käytössä on päivitetty ilmakekuva. Liitteessä 9 on Hannuksenpellon työmaan aikainen Martinsillantien liikenteenohjaussuunnitelma sekä asemapiirustuksen, että ilmakuvasen päälle tehtynä. Muuttuneista liikennejärjestelyistä voi myös ilmakuvasen avulla tiedottaa opastetauluissa tai mediassa tien käyttäjille, miten työmaa-alueella kuuuluu kulkea. Liikennejärjestelyiden toteuttamisen jälkeen kauko-ohjatulla ilma-aluksella voi dokumentoida miten järjestelyt on toteutettu ja tarkkailla liikenteen sujuvuutta.

Työmaalla pitää perehdyttää kaikki työntekijät. Perehdytyksen tarkoituksena on antaa uudelle työntekijälle tietoa työmaasta, sen pelisäännöistä ja erityispiirteistä, kuten vaarallisista paikoista. Perehdyttämisen yhteydessä voi käyttää apuna joko videota työmaasta tai ilmakuvaa, jolloin perehdytettävä ymmärtää helpommin mitä missäkin on. Myös oma työpiste ja kulkureitit selviävät helposti kuvasta tai videosta. Aineistoa on myös helppo päivittää, jolloin muuttuvat asiat, esimerkiksi roskalavat löytyvät helpommin. Työmaan ilmakuvan voi myös tulostaa työmaan seinälle tai pöydälle (liite 6), josta muun muassa perehdytys voidaan suorittaa.

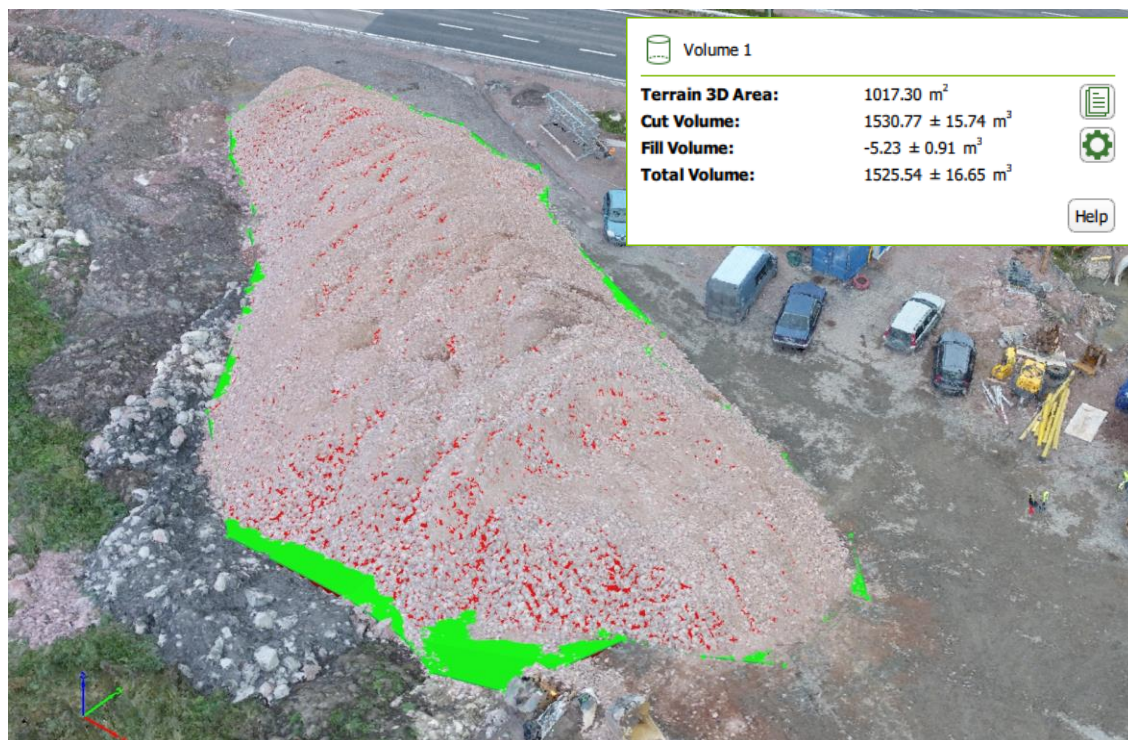
Rakennusvaiheessa kauko-ohjatut ilma-alukset ovat täydellisiä rakennustyömaan nopeaan tarkastamiseen ja tiedon keräämiseen. Niillä pystyy muun muassa tarkkailemaan työmaan yleistilannetta, mahdollisten riskien sekä onnettomuuksien lähteitä, onko työmaan rajoja ylitetty sekä tekemään työvaiheseurantaa. Työmaan edistymistä pystyy helposti seuraamaan ja tunnistamaan poikkeamia asettamalla päällekkäin suunnitelmat ja rakennusvaiheen todellisen tilan valokuvat.

Ylhäältä päin saa paljon paremman kuvan työmaan siisteydestä sekä ovatko kulkureitit turvallisia kulkea. Työmaalla kävellessä yksittäiset virheet sivuuttaa helposti jolloin yleisilme voi vaikuttaa hyvältä, mutta ylhäältä päin kokonaiskuvan nähdessään tajuaa, että työmaa ei olekaan niin siisti kuin se voisi olla. Yleisen siisteyden tarkastamisen lisäksi työturvallisuusvirheitä, kuten kaivantojen tuentoja ja aitaamisia pystyy helposti koko työmaa-alueelta tarkastamaan ilmakuvasta tai 3D-mallista. Jos virheitä löytyy ne voi merkata valokuvaan ja antaa työmiehille, jolloin varmasti oikeat kohdat tulee korjattua.

Siisteyden yksi tärkeimmistä edellytyksistä on tavaran varastoinnin pitäminen kunnossa. Työmaalla menee myös paljon työaika hukkaan tarvittavien osien etsimiseen, joten hyvällä varastoinnilla työturvallisuuden parantamisen lisäksi säästyy myös aikaa. Tavaran tullessa työmaalle voi kuljettajalle näyttää kuvasta minne kuorma pitää jättää. Samalla voi merkata työmaan ilmakuvaan, mihin muun muassa putki- tai kaivokuorma on jätetty ja mitä osia tuli. Jälkikäteen kun esimerkiksi tiettyä kaivoa tarvitaan, voi kuvasta katsoa minne kyseinen kaivo on jätetty. Myös mahdollisista siirroista pitää työntekijöiden ilmoittaa työnjohdolle, jotta varastointitiedot saadaan päivitettyä. Lisäksi rakennustyömaiden valvonta kauko-ohjatulla ilma-aluksella auttaa vahvistamaan, että materiaalit varastoidaan ja käsitellään oikein.

Kauko-ohjatulla ilma-aluksella kuvatulla materiaalilla pystyy laskemaan työmaan maa-aineskasojen, maanottoaikkojen tai valmiiden rakenteiden kuten meluvallien tilavuuksia ja sitä kautta massoja tiettyjen ohjelmien avulla. Kauko-ohjatussa ilma-aluksessa ei tarvitse olla laser-keilainta vaan tiedot saadaan suoraan valokuvien avulla. Kuvassa 17 on laskettu Hannuksenpellossa murskatun kiviainekasan tilavuus Pix4Dmapper-ohjelman avulla. Tiedon avulla pystyy arvioimaan maa-ainesten riittävyden kohteeseen, jolloin tiedetään kuinka paljon pitää esimerkiksi tuoda muualta tai louhia lisää.

Ortokuvista tai 3D-malleista pystyy mittaamaan tilavuuksien lisäksi etäisyyksiä ja pinta-aloja. Mittaukset ovat myös yllättävän tarkkoja, korkealtakin otetuista kuvista pystyy mittaamaan noin kymmenen senttimetrin tarkkuudella. Mittauksista voi olla hyötyä esimerkiksi, jos työmaalle pitää tilata aitaa tietyn alueen ympärille. Voidaan myös mitata, kuinka isolle alueelle tullaan tekemään töitä, esimerkiksi kuinka monta metriä ponttia tullaan lyömään maahan. Kyseisille määrille riittää muutaman metrin tarkkuus, joten nopeakin mittaus kuvasta on tarpeeksi tarkka.



Kuva 17. Kuvankaappaus Pix4Dmapper-ohjelmasta, jossa voi muun muassa mitata tilavuuksia. Kuvan murskekasa on noin 1 525 m<sup>3</sup>.

Työmaakokouksissa työmaan sen hetkinen tilanne välittyy parhaiten ilmakuviin tai videon kautta tilaajalle ja muille osallistujille ennen työmaalle jalkautumista ja tarkempaa tarkastelua. Kokouksissa voi verrata työmaan tilannetta edellisen kokouksen aikaiseen tilanteeseen ja siten aikataulussa pysymistä valokuvien avulla. Mahdollisia ongelmia tai viivästyksiä ja niiden syitä on helppo osoittaa kuvista.

Koko työmaan kattavasta ilmakuvausta on hyötyä varsinkin talvisin ensilumen satamisen jälkeen. Lumi peittää kaikki materiaalit ja oikeiden tarvikkeiden etsiminen muuttuu entistä vaikeammaksi. Juuri ennen lumen satamista onkin hyvä kuvata koko työmaa, jolloin jää jonkinlainen tieto mitä mistäkin löytyy.

Kaapelinäytöt kannattaa kuvata, koska maahan piirretyt viivat häviävät erittäin nopeasti, jolloin tieto kaapeleista unohtuu. Jos työmaalla sattuu kaapelirikko, pystyy jälkikäteen valokuvista myös toteamaan, oliko kaapeli merkattu vai ei. Mikäli rikkoutunutta kaapelia ei ollut merkattu kaapelinäytön yhteydessä, urakoitsija ei joudu maksamaan korjauskustannuksia.

Työmaalla dokumentoidaan paljon työvaiheita ja piiloon jääviä rakenteita tai tehdään ylipäänsä laadun tarkkailua. Varsinkin hankalien paikkojen kuvaaminen onnistuu vaivattomasti kauko-ohjatulla ilma-aluksella. Sillä voi kuvata muun muassa korkeita betonivaluja, jolloin valun jälki näkyy helposti tai tarkastaa siltoja ja rakennuksia sekä ylipäänsä paikkoja, joista ei muuten saisi valokuvia otettua.

Ilmakuville on myös yksinkertaisia tarkoituksia. Niitä voi käyttää sellaisenaan erilaisissa medioissa, urakoitsijan sisäisissä jakeluissa tai tilaajaa varten työmaan mainostamiseen ja tiedon jakamiseen. Niillä saa kätevästi esiteltyä koko työmaan yhdessä kuvassa vaikka lehtijuttua varten.

Vaikka kauko-ohjatulla ilma-aluksella pystyy hoitamaan suuren osan tarkastuksista ja työmaan kokonaistilannekin näkyy parhaiten ylhäältä päin otetusta valokuvasta tai videosta, silti ei saa unohtaa henkilökohtaisia käyntejä työmaalla.

Uuden rakentamisen lisäksi huolto on olennainen osa infrastruktuuria. Nykyään suurin osa huoltotöistä suoritetaan manuaalisesti henkilökohtaisina tarkastuksina. Se on hidasta ja kallista sekä tuottaa epätäydellisiä ja huonolaatuisia tuloksia. Joissakin tapauksissa köysien käyttö, rakennustelineet ja korotetut alustat ovat välttämättömiä, yhdistettynä tarpeeseen sammuttaa tarkastettava laitteisto huollon ajaksi. Tämä lähestymistapa ei ole ainoastaan aikaa vievää vaan myös erittäin kallista. [13.]

Tietyissä tarkastuksissa laki voi edellyttää tarkastajan olevan sertifioitu henkilö, mutta monissa tapauksissa tarkastukset voidaan suorittaa kauko-ohjatulla ilma-aluksella. Esimerkiksi tuulimyllyn turbiinin tarkastus maksaa yli tuhat euroa per torni ja saman tarkastuksen tekeminen kauko-ohjatulla ilma-aluksella puolet vähemmän. Samanlaisia säästöjä voidaan saavuttaa siltojen ja tunneleiden tarkastuksissa, joissa tarkastusten kustannukset ovat vieläkin suuremmat. Nykyään kauko-ohjatut ilma-alukset eivät pelkästään löydä vikoja nopeammin ja tarkemmin, vaan myös halvemmalla ja turvallisemmin. Kuvankäsittelyn edistymisen ansiosta yritykset voivat analysoida tietoja paljon nopeammin ja tarkemmin. Tällä hetkellä kuvankäsittelyssä käytetyt ohjelmistot mahdollistavat paljon arvokkaampien tietojen hankkimisen kuin koskaan aikaisemmin. [13.]

Kauko-ohjatut ilma-alukset ovat jo muuttamassa tapaa, jolla ajatellaan kunnossapidon ja valvonnan palveluja. Tulevaisuudessa ne voivat paitsi diagnosoida ongelman, kuten halkeamat asfaltissa, silloissa ja rakennuksen julkisivuissa, mutta myös korjata virheet. Lisäksi 3D-tulostusteknologia yhdistetään kauko-ohjattuihin ilma-aluksiin infrastruktuurin ylläpitämiseksi ja korjaamiseksi. Rakennusyrietykset voivat liittää 3D-tulostimia kauko-ohjattuihin ilma-aluksiin ja tuottaa paikan päällä varaosia vaurioituneisiin elementteihin infrarakenteissa. [13.]

Valvonta ja kunnossapito eivät ole ainoita infrastruktuurialalla kehitettäviä kauko-ohjattujen ilma-alusten käyttökohteita. Suomalainen Rumble Tools on tehnyt ensimmäisenä maailmassa lentäviä työ- ja korjausrobotteja, jotka pystyvät työskentelemään itsenäisesti muun muassa maalaus- tai rappaustöissä. Ihmistä ne eivät kuitenkaan korvaa, mutta ne helpottavat korkeissa tai muuten vaarallisissa paikoissa työskentelyä. Viime kädessä kauko-ohjatut ilma-alukset pystyisivät tekemään suurimman osan korkealla tehtävistä töistä, jolloin ihmisen kuoleman ja vamman riskit vähenisivät ja työn tehokkuus kasvaisi. [13; 31.]

### 5.3 Ongelmat

Luvussa 5.1 listattiin infratyömaille soveltuvien kauko-ohjattujen ilma-alusten edellytyksiä. Valitsemalla oikean laitteen pystyy välttämään suurimman osan lennättämiseen ja laitteiden toimintaan liittyvistä ongelmista, kuten riittävän toimintaetäisyyden ja sääolosuhteiden aiheuttamat haitat.

Jotta materiaali pysyy ajan tasalla työmaa pitää kuvata mielellään 1-2 kertaa kuukaudessa. Kaikkia materiaaleja ei tietenkään tarvitse niin usein päivittää, esimerkiksi perehdytysaineiston ja aluesuunnitelman voi päivittää muutamien kuukausien välein. Siisteyden, työturvallisuuden, varastoinnin sekä työmaan seurannan kannalta kannattaa kuvausmateriaalia päivittää useammin. Yleensä työmaalla on muutenkin kiire ja tehtäviä on paljon, joten ongelmaksi voi muodostua kuvamateriaalin päivittämiseen menevä aika. Toisaalta työmaakokouksia pidetään kerran kuukaudessa ja jos kokoukseen kuvaa työmaan sen hetkisen tilanteen, samalla saa muutkin materiaalit päivitettyä. Jos kauko-ohjattu ilma-alus on työmaalle hankittu, sen käyttöön kannattaa myös panostaa. Se on kuitenkin työkalu, jolla saadaan säästöjä muilla osa-alueilla.

Suurin ongelma on varmasti henkilöiden tietoisuus lennättämisen säännöistä. Vielä tällä hetkellä ei kauko-ohjatulla ilma-aluksella lennättämiseen vaadita minkäänlaista kurssia vaan kuka tahansa voi hankkia laitteen. Tämän takia voi sattua onnettomuuksia tai muuten lain vastaista lennättämistä. Lähivuosina on varmasti tulossa jonkinlaisia pakollisia kursseja laitteiden yleistyessä enemmän, mutta vielä tällä hetkellä niitä ei ole.

Yksi iso ongelma koskee DJI Phantom 4 PRO+:an mukana tulevaa kauko-ohjainta, jossa on oma näyttö. Sisäänrakennetun näytön takia ohjain maksaa noin 300 euroa enemmän, mutta siihen ei voi asentaa muita lennätyssovelluksia valmiiksi asennetun DJI GO 4 -ohjelman lisäksi. Varsinkin työmaalla kyseisen ohjelman ominaisuuksista ei ole hirveästi hyötyä vaan tarvetta olisi asentaa kolmannen osapuolen lennätyssovelluksia. Sisäänrakennettu näyttö on muuten erittäin toimiva ja koko paketti kulkee kätevästi mukana, mutta laite maksaa enemmän ja hyöty on pienempi.

## 6 Ohjelmat ja niiden hyödyntäminen

Tässä luvussa käsitellään sekä miehittämättömän ilma-aluksen lennättämiseen, että saadun materiaalin muokkaamiseen tietokoneella käytettäviä ohjelmia.

### 6.1 Lennätyssovelluksia

Miehittämättömien ilma-alusten kauko-ohjaimiin kiinnitetään yleensä puhelin tai tabletti, josta nähdään ilma-aluksen lähettämä kuva lennätyksen aikana. Puhelimeen tai tablettiin on saatavilla useita ohjelmia, joilla lennätyksen voi suorittaa. Ohjelmilla on erilaisia ominaisuuksia, joilla lennätyksen saa esimerkiksi autonomisoitua.

#### 6.1.1 DJI GO 4

DJI GO 4 on DJI:n oma lennätyssovellus, joka toimii vain yhtiön omien miehittämättömien ilma-alusten kanssa. Ohjelmassa on monipuolisesti erilaisia kuvaus- ja lentotapoja, joilla ilma-alus esimerkiksi lentää automaattisesti seuraten objektia tietyn matkan päästä tai lentää siihen suuntaan mihin näytöstä painaa. Näistä ei kuitenkaan ole hyötyä työmaalla vaan ne on tarkoitettu enemmänkin käyttöön vapaa-ajalla ja harrastuksissa. Ohjelma on kuitenkin mukavin käyttää, jos kuvaa manuaalisesti videoita tai valokuvia ilman tarvetta autonomisoituihin lentoihin.

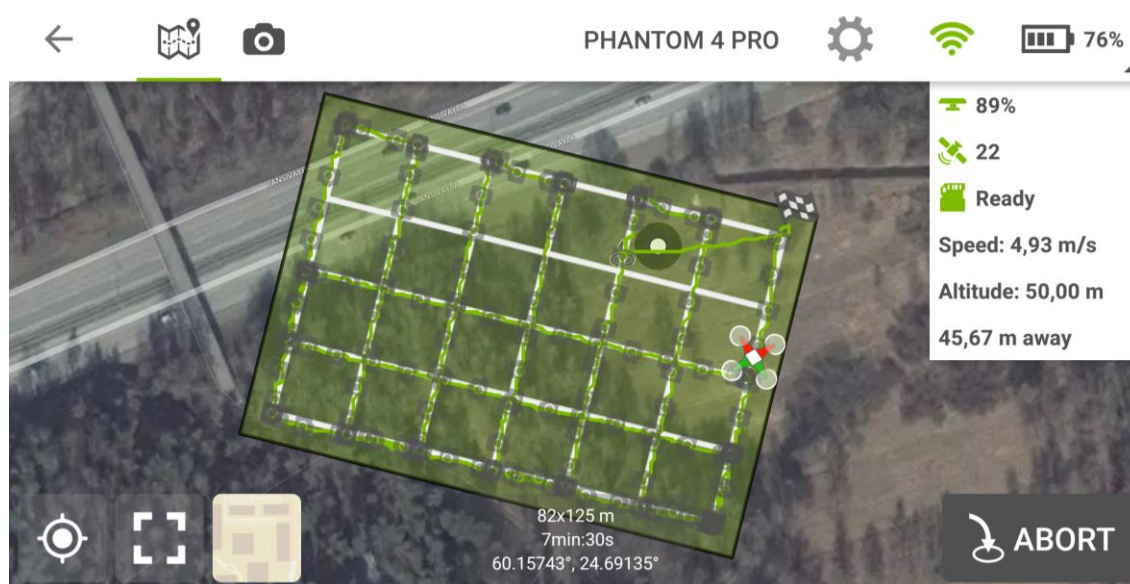
Ohjelma tallentaa automaattisesti tiedot lennätyksistä, joten erillistä kirjaa ei tarvitse Trafiä varten enää pitää. Tietenkään ilma-aluksen päällikköä, mahdollista kauko-ohjaustähystäjää sekä onko kyseessä VLOS- vai BVLOS-lennättäminen ohjelma ei voi tietää. Ohjelma tallentaa myös lentokertojen määrän, yhteensä lennätetyn ajan ja matkan, joita on mielenkiintoista seurata. Lokiin ei kuitenkaan tallennu muilla ohjelmilla lennätetyt kerat, jolloin ohjelman jäädessä vähemmälle käytölle tallennetuista tiedoista ei kuitenkaan hyödy mitään.



### 6.1.2 Pix4Dcapture

Pix4Dcapture on ilmainen ja se on saatavilla Android ja iOS -laitteille. Se soveltuu tällä hetkellä parhaiten työmaan kuvauksiin, varsinkin ortokuvien tai 3D-mallien tekemiseen vaadittavaan ruudukkomaiseen lennättämiseen. Esimerkiksi kuvassa 18 on kauko-ohjattulle ilma-alukselle annettu ”tuplaruudukkotehtävä”, jossa laite lentää kuvan ruudukon automaattisesti kuvaten viistosti alaspäin. Tuloksina kyseisestä lennosta saatiin liitteen 10 pistepilvi ja ortokuva, sekä kuvan 17 3D-malli, josta esimerkiksi pystyy laskemaan tilavuuden.

Kuvaaminen on ohjelman avulla erittäin helppoa ja se on yhteensopiva lähes kaikkien DJI:n ilma-alusten sekä Parrotin Bebop 2, Disco-Pro AG ja Bluegrass laitteiden kanssa. Aluksi valitaan kartalta alue, joka pitää kuvata. Sen jälkeen valitaan miltä korkeudelta kuvataan, kuvien päällekkäisyys, lentonopeus ja mihin suuntaan kamera osoittaa. Kun lentoreitti on suunniteltu, painetaan aloita ja kauko-ohjattu ilma-alus lähtee automaattisesti lentoon ja alueen kuvattua palaa takaisin lähtöpisteelle. Jos akku ei riitä koko alueen kuvaamiseen, laite palaa kesken lennon lähtöpisteelle ja akun vaihdon jälkeen jatkaa siitä mihin se jäi.



Kuva 18. Kuvankaappaus Pix4Dcapture-ohjelmasta. Kuvassa on kauko-ohjatun ilma-aluksen automaattisesti lentämä lentoreitti.

## 6.2 Tietokoneohjelmia

Kuvattua materiaalia pitää käsitellä tietokoneohjelmilla, jotta niistä olisi enemmän hyötyä rakennushankkeissa. Kuvia tai videoita voi käyttää sellaisenaan, mutta materiaalista on enemmän hyötyä varsinkin työmaalla, kun siitä on tehty 3D-malli tai ortokuva. Tässä luvussa käsitellään kahta mallinnusohjelmaa ja yhtä yksinkertaista panoraamaohjelmaa.

### 6.2.1 Agisoft PhotoScan

Agisoft PhotoScan-ohjelman on kehittänyt vuonna 2006 perustettu venäläinen Agisoft LLC. Sen saa kertamaksulla loppuelämäksi ilman erillisiä kuukausimaksuja. Ohjelmasta on saatavilla kaksi eri versiota, mutta halvemmalla 150 euron standard-versiolla ei työmaalla tee mitään, vaan pitää hankkia 2 900 euron pro-versio. Pro-version ominaisuudet ovatkin lähinnä tarkoitettut ortografisiin tarkoituksiin ja 3D-mallintamiseen miehittämättömillä ilma-aluksilla.

Ohjelma on tarkoitettu valokuvien ja ilmakuvien prosessointiin. Kuvamateriaalin prosessointi tehdään omalla koneella eikä pilvipalveluita ole, joten työ vaatii tehokkaan pöytäkoneen. Sillä pystyy prosessoimaan kuvat, viemään kuvatun alueen koordinaatistoon signaalipisteiden avulla sekä tekemään valokuvatusta aineistosta muun muassa piste-pilviaineistoa ja ortomosaiikkeja. Ohjelmasta löytyy lisäksi toiminnot massalaskennan ja 3D-mallien tekemistä varten.

Ohjelman käyttö on varsinkin aloittelijoille hankalampaa kuin Pix4Dmapperin ja opettelu vie enemmän aikaa. Lisäksi ohjelma vaatii tehokkaan tietokoneen, eikä tuloksia voi tarkastella puhelimella. Toisaalta ohjelma on huomattavasti halvempi kuin Pix4Dmapper.

## 6.2.2 Pix4Dmapper

Pix4Dmapper on sveitsiläisen Pix4D-yrityksen vuonna 2014 tekemä fotogrammetrinen laskentaohjelma, joka on suunnattu ammattilaisille kauko-ohjatuilla ilma-aluksilla kartoittamiseen. Ohjelma maksaa kertamaksulla 6 500 euroa, jolla saa käyttöoikeuden loppuelämäksi, mutta sitä ei voi päivittää eikä pilvipalveluita voi käyttää kuin ensimmäisen vuoden ajan. Ohjelman saa myös kuukausimaksuperusteisesti (260 €/kk) tai vuodeksi kerrallaan (2 600 €/vuosi), joihin sisältyy pilvipalvelut ja päivitykset. [32.]

Pix4Dmapper toimii selkeästi ja johdonmukaisesti, ja sillä pystyy tekemään 3D-, pinta- ja maastomalleja, ortokuvia, korkeuskäyräkuvia sekä laskemaan pituuksia, pinta-aloja ja tilavuuksia. Ohjelma toimii joko omalla koneella tai pilvipalveluna, jolloin kuvat ladataan pilveen ja kaikki prosessointi tapahtuu Pix4D:n servereillä. Mallit valmistuvat servereillä nopeasti ja tuloksia voi tarkastella tietokoneen lisäksi puhelimella, kuten kuvassa 19. Malleja on myös helppo jakaa muille lähettämällä linkin servereillä prosessoituun materiaaliin, jolloin muut voivat tarkastella mallia. Puhelimella voi ortokuvasta laskea pituuksia ja pinta-aloja sekä tietokoneella niiden lisäksi tilavuuksia.



Kuva 19. Kuvankaappaus puhelimesta Pix4D Cloud selainpohjaisesta ohjelmasta. Kuvassa on valmis ortokuva karttapohjan päällä kuvassa 10 olevasta lentosuunnitelmasta. Liitteessä 7 on valmis kuva kyseisestä alueesta.

### 6.2.3 Microsoft Image Composite Editor

Saatavilla on useita ilmaisia kuvien nidontaohjelmia, kuten PTGui, PhotoStitcher, AutoStitch, Panoweaver ja AutoPano. Mutta mikään edellä mainituista ei ole yhtä hyvä kuin Microsoft ICE, joka on helppokäyttöinen, selkeä ja hyvillä ominaisuuksilla oleva ilmainen ohjelma.

Microsoft Image Composite Editor eli Microsoft ICE on automaattinen kuvien yhteen nidontaohjelma, jolla saa esimerkiksi miehittämättömän ilma-aluksen ottamat ilmakuvat yhdistettyä yhdeksi isoksi kuvaksi. Ohjelmalla ei siis pysty tekemään 3D-malleja eikä mitään mittauksia vaan se ainoastaan yhdistää useat ilmakuvat yhdeksi kuvaksi. Mikäli on tarvetta vain ilmakuvalla työmaasta, ohjelmalla saa tehtävän suoritettua nopeasti ja erittäin helposti.

Microsoft ICE ei kuitenkaan ole täydellinen. Esimerkiksi erittäin laajalta tai paljon samantyyppistä, kuten metsää tai peltoa sisältävältä alueelta otettujen kuvien yhteen nidonta ei ohjelmalla onnistu. Liitteen 7 Blominmäen jätevedenpuhdistamon alueen kuvia ohjelmalla ei saanut nidottua, sillä alue on erittäin suuri ja sisältää paljon metsää. Hannuksenpellon ilmakuvan (liite 6) ohjelma sai tehtyä, mutta pohjoispuolen metsän reunan kuvia ohjelma ei saanut yhdistettyä oikein.

Jos käytössä on jokin maksullinen 3D-mallinnusohjelma, kuten Agisoft PhotoScan tai Pix4Dmapper, kannattaa ehdottomasti käyttää niiden ominaisuuksia ja tehdä alueesta ortokuva, sillä niiden avulla tulos on tarkempi ja varmasti oikein.

## 7 Riskit

Tässä luvussa käsitellään kauko-ohjatulla ilma-aluksella lennättämiseen liittyviä riskejä ja niihin varautumista sekä vahinkotilanteessa toimimista.

### 7.1 Potentiaalisia riskejä

Kauko-ohjatulla ilma-aluksella lennättämiseen liittyy riskejä, niin kuin mihin tahansa työhön. Niillä pystyy aiheuttamaan isoa vahinkoa ja haittaa väärin käytettynä, joten riskien tiedostaminen ja välttäminen on erittäin tärkeää.

Ajantasainen lainsäädäntö pitää tuntea lennätettäessä kauko-ohjattua ilma-alusta, sillä ne rajoittavat lennättämistä muun muassa turvallisuuden takia. Jos ei ole tietoinen, miten ilma-alusta kuuluu lennättää voi sattua suuriakin vahinkoja. Esimerkiksi kielletyillä alueilla kuten lentokenttien läheisyydessä lennätettäessä voi häiritä muuta lentoliikennettä, jolloin asettaa vaaraan miehitettyjen ilma-alusten miehistöt ja matkustajat. [33.]

Lennättäminen varsinkin tiheästi asutulla alueella voi rikkoa yksityisyyden suojaa. Vaikka ei alueella kuvaisikaan, niin asukkaat eivät voi sitä tietää, jolloin he voivat kokea tulleensa häirityksi. Kotirauhan rikkomista pitää lennätettäessä välttää, eikä yksityisomaisuutta saa kuvata ilman lupaa. [33.]

Lennättäjän kokemattomuus voi aiheuttaa vaaratilanteita, jos poikkeavaa toimintaa ilmenee ja lennättäjä hätääntyy kauko-ohjattua ilma-alusta ohjatesaan. Luotettava käyttö vaatii harjoittelua, jolla oppii oman ilma-aluksen ominaisuudet ja rajat. Laitteet ovat myös pienikokoisia ja lennätettäessä niitä voi olla vaikea havaita taivasta vasten, jolloin ilma-aluksen voi kadottaa. Myöskään näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva lennättäminen ei ole sallittua, mikäli aluetta ei ole erikseen varattu. [33.]

Erilaiset sääolosuhteet, kuten tuuli, vesi- ja lumisade tai liian kylmä ja kuuma voivat vaikuttaa ilma-aluksen käytettävyyteen. Varsinkin sään äkilliset muutokset kuten tuulenpuuskat voivat olla vaarallisia jolloin ilma-alus voi pudota. Lisäksi rannalla lennätettäessä hiekka voi helposti vahingoittaa moottorien laakereita ja suolainen ilma voi ruostuttaa metalliosia [22, s. 6.]. Sään suhteen pitää olla tarkkana ja valmistajan raja-arvoja pitää noudattaa, jotta turhilta onnettomuuksilta vältytään. [33.]

Kauko-ohjattujen ilma-alusten maksimi nopeudet ovat suuria, joka on riski lennätettäessä, sillä silloin ilma-alusta on hankalampi havaita ja laitteen pysähtymismatka on pitempi. Törmäystilanteessa suuri nopeus aiheuttaa myös enemmän vahinkoa. Esimerkiksi Inspire 2 pystyy lentämään 94 km/h ja laitteen painaessa melkein 4 kilogrammaa se voi törmätessään jopa tappaa ihmisen. Multiroottoristen ilma-alusten nopeasti pyörivät roottorit voivat myös osuessaan aiheuttaa vakavaa vahinkoa ihmiselle. Kauko-ohjattua ilma-alusta lennätettäessä tulee siis olla varovainen, ottaa huomioon lähistöllä olevat ihmiset, ja tarkistaa lähettyvillä olevat lentoesteet, kuten korkeat mastot. [33.]

Lennätettäessä kauko-ohjattua ilma-alusta laajalla alueella tai alueella, jossa on muita signaaleja, kuten teletorneja häiritsemässä lennättämistä, yhteyden menetys laitteeseen on mahdollinen. Yhteyden katketessa kotiinpaluutoiminto on erittäin hyödyllinen, mutta mikäli kyseistä ominaisuutta ei ole niin laite voi hävitä ja loppujen lopuksi pudota. Pitää siis varmistua, että yhteys säilyy koko lennätyksen ajan, tai että laitteessa on turvaominaisuuksia näitä tilanteita varten.

Käytettäessä mitä tahansa laitetta ne voivat mennä rikki tai niihin voi tulla teknisiä vikoja. Lentävillä laitteilla teknisen vian sattuessa seuraukset voivat olla katastrofaaliset. Kauko-ohjattujen ilma-alusten GPS voi mennä sekaisin jolloin ilma-alus voi lähteä lentämään suoraviivaisesti johonkin suuntaan, kunnes törmää johonkin. Laite voi myös pudota odottamattomasti teknisen vian vuoksi. [33.]

Muitakin ennalta-arvaamattomia onnettomuuksia voi sattua, kuten seuraava esimerkki Trafín sivuilta multiroottorisen ilma-aluksen hallinnan menetyksestä maaliskuussa 2017: Ilmoittaja oli suorittamassa lentotyötä sillan luona, jossa multiroottorista ilma-alusta lennätettiin veden päällä muutaman metrin korkeudessa. Sen jälkeen laite alkoi liikkua pilotin käskyistä riippumattomasti, minkä seurauksena laite törmäsi sillan pilariin ja upposi veteen. Todennäköinen syy hallinnan menetykseen oli, että laitteen Visual Positioning System -järjestelmä antoi harhaanjohtavaa tietoa ohjausjärjestelmälle. VPS-järjestelmän tarkoituksena on pitää multiroottorinen ilma-alus paikoillaan maanpinnan tekstuuria seuraten, mutta tapahtumapaikalla vesi oli liikkeessä, jonka vuoksi laitteen alas suunnattu stereokamera (VPS) tulkitsi, että multikopteri liikkui, vaikka se todellisuudessa oli paikoillaan ja näin ollen ohjausjärjestelmä yritti kompensoida liikettä, minkä seurauksena laite törmäsi sillan pilariin hallitsemattomasti. [9.]

## 7.2 Riskeihin varautuminen

Osaan riskeistä pystyy varautumaan, jolloin niiden toteutumisen mahdollisuus saadaan minimoitua tai kokonaan eliminoitua. Lainsäädännön tunteminen, kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättämisen harjoittelu ja turvallisesti luvussa 4.2 mainittujen asioiden mukaisesti toimiminen minimoivat tiedostettujen riskien toteutumisen.

Fyysisiin riskeihin, kuten lentokaluston rikkoontumiseen varaudutaan laitteen kunnosta huolehtimalla. Mahdolliset rikkinäiset osat, kuten roottorit vaihdetaan heti uusiin. Ennen jokaista lentoa tarkastetaan akkujen kapasiteetti, roottoreiden kiinnitys ja laitteen kunto. Muiden teknisten vikojen varalta on hankala varautua ennakoon, sillä niiden toteutumisista ei voi ennakoita.

Tärkeä riskien minimoimisen keino on työn turvallisuussuunnitelman (TTS) tekeminen ennen lennätystä. Siinä tulee kartoitettua alueen erityispiirteet ja erilaisten riskien mahdollisuudet. Varsinkin ulkopuolisille tapahtuvat vahingot tulee minimoida.

## 7.3 Riskin toteutuessa

Jos kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättämisen aikana sattuu vahinko tai läheltä piti tilanne, tulee asiasta laatia raportti Trafille. Raportin tekeminen ei johda rangaistuksiin vaan tilanteita katsotaan ilmailun käytäntöjen mukaan oppimistarkoituksessa. [33.]

## 8 Tulokset

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kauko-ohjattujen ilma-alusten hyödyntämistä infra-hankkeissa, lennätukseen liittyvää lainsäädäntöä, työhön soveltuvia laitteita sekä kuvaukseen liittyviä ongelmia ja riskejä. Lisäksi tavoitteena oli perehtyä erilaisiin lennätys-sovelluksiin sekä tietokoneohjelmiin, joilla saatua dataa voi muokata.

Työn tuloksena saatiin yleiskuva erilaisista kauko-ohjatuista ilma-aluksista, niiden valmistajista ja Skanskalla käytössä olevista laitteista. Työssä saatiin kattava tietopaketti lainsäädännöstä, turvallisesta lennättämisestä, kauko-ohjattujen ilma-alusten ominaisuusvaatimuksista ja niiden käyttökohteista infrahankkeissa sekä lennätukseen liittyvistä riskeistä ja niiden minimoimisesta. Tärkeimpänä tuloksena saatiin kattava lista laitteella kuvattavan materiaalin hyödyntämisestä infrahankkeissa, jonka takia opinnäytetyötä alun perin alettiin tehdä. Työssä todettiin, että DJI:n laitteista varsinkin Phantom-sarja soveltuu parhaiten työmaakäyttöön, sekä on myös suosituin Skanskalla käytössä olevista laitteista.

Lisäksi työn tuloksena tehtiin Skanskalle lennätystoimintaan räätälöity työn turvallisuus-suunnitelmapohja, johon on listattu lentotyön tyypillisimmät riskit. Lennättäjän pitää täyttää dokumentti ennen lennätystä ja pohtia mitkä riskit koskevat kyseistä lennätyskertaa, sekä miten riskit voidaan välttää tai vaikutus minimoida. Lisäksi tehtiin lentopäiväkirja-pohja, sillä lennätöksistä pitää täyttää päiväkirjaa. Päiväkirja on taulukko, johon lennättäjä listaa tarvittavat tiedot jokaisesta lennätyskerrasta.

Tulosten avulla kauko-ohjattujen ilma-alusten lennättäminen on turvallisempaa ja materiaalin kuvaaminen tehokkaampaa esiteltyillä sovelluksilla. Saatua materiaalia voi hyödyntää helposti ja monipuolisesti esiteltyjen tietokoneohjelmien avulla. Näitä ohjelmia käyttäen saadaan hyödyllistä materiaalia, joilla työn johtaminen on tehokkaampaa, tarvittavien suunnitelmien tekeminen helpompaa ja dokumentointi nopeampaa infratyömailla.



## 9 Yhteenveto

Miehittämättömät ilma-alukset ovat tulleet jäädäkseen ja aihe on tällä hetkellä ajankohdainen, sillä laitteet ovat vielä suhteellisen uusia ja ihmisiä kiinnostaa mitä kaikkea niillä voi tehdä. Lähivuosina aihe vielä puhuttaa, mutta jossain vaiheessa tekniikan kehittyessä eteenpäin ja uusien innovaatioiden tullessa markkinoille miehittämättömät ilma-alukset ovat vain osa normaalia, jokapäiväistä elämäämme.

Opinnäytetyön aihe keksittiin viime kesänä, kun työmaalle hankittiin kauko-ohjattu ilma-alus. Vaikka laite ei ollutkaan ensimmäinen, joka on Skanskalle hankittu, niin aihetta ei oltu sen enempää varsinkaan opinnäytetöinä tutkittu. Jokainen lennättäjä Skanskalla on siis itse selvittänyt, miten lennätys tapahtuu turvallisesti ja säädösten mukaisesti. Tämä opinnäytetyö antaa hyvän ja kattavan pohjan jokaiselle, joka on ajatellut aloittavansa kauko-ohjattujen ilma-alusten lennättämisen.

Työssä saavutettiin annetut tavoitteet, joita oli kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttökohteet ja miten kuvamateriaalia voi hyödyntää infrahankkeissa, sekä lainsäädännön, rajoitusten, lennättämiseen liittyviä riskien ja ongelmien selvittäminen. Työssä vertailtiin laajasti eri valmistajien ilma-aluksia ja niistä valikoitiin parhaiten infrahankkeille soveltuva laite. Lisäksi tutustuttiin erilaisiin lennätyssovelluksiin, joilla ilma-alusta pystyy lennättämään jopa autonomisesti, sekä tietokoneohjelmiin, joilla kuvattua materiaalia pystyy jatkokäsittämään helposti ja monipuolisesti.

Tutkimuksen tulokset kauko-ohjattujen ilma-alusten käyttökohteista infrahankkeissa ovat lähes kokonaan omakohtaisia kokemuksia yhden kesän käytön osalta. Vaikka tutkimusajanjakso oli lyhyt, sen aikana saatiin kattava paketti käyttökohteista kauko-ohjatuille ilma-aluksille infratyömailla. Erityisiä ongelmia ei kesän aikana havaittu laitteen käytössä, joten pidemmällä ajanjaksolla käyttökohteiden lisäksi myös ongelmia ja riskejä havaittaisiin varmasti enemmän.

Tutkimuksessa käsiteltiin lainsäädäntö ja lennättämisen rajoitukset perusteellisesti, mutta lähivuosina Suomen suhteellisen kevyt ja vapaamielinen lainsäädäntö muuttuu tiukemmaksi EU:n uuden lakipaketin myötä. Myös laitteet ovat vasta nyt yleistyneet muun muassa rakennusalalla, joten kaikkia käyttökohteita ei kukaan osaa vielä ajatella. Nykyään tekniikkakin kehittyä hurjaa vauhtia myös miehittämättömien ilma-alusten osalta, joten muutaman vuoden päästä tämän hetken laitteet ovat varmasti jo vanhaa

teknologiaa. Lähivuosina tutkimuksen voi tehdä uudestaan, jolloin päivitetty lainsäädäntö, uusien laitteiden tuomat ominaisuudet ja käytön aikana tulleet uudet käyttökohteet voi sisällyttää työhön.

Tutkimusta voitaisiin jatkaa tutustumalla signalointiin sekä materiaalin tarkempaan käsittelyyn koordinaatistossa. Lisäksi tutkimusta voisi syventää tutustumalla enemmän tietokoneelle saataviin ohjelmistoihin kuten Propeller Aero -ohjelmaan. Se jätettiin kokonaan pois tästä insinööriyöstä, sillä siihen ei ole saatavilla kokeiluversiota. Myös muihin ohjelmistoihin tutustuminen jätettiin hieman pintapuoliseksi, sillä työ alkoi muutenkin olla jo aika laaja.

Tulevaisuudessa miehittämättömät ilma-alukset yleistyvät varmasti niin rakennusalalla kuin muuallakin. Silloin laitteet eivät luultavasti tarvitse erikseen ohjaajaa, vaan niin rakennustyömaan kuvaaminen kuin pakettien jakaminenkin tapahtuu automaattisesti tietokoneen hoitaessa lennätyksen. Tällöin myös inhimillisten virheiden aiheuttamat onnettomuudet ja sääntörikkomukset loppuvat. Lisäksi aineiston päivittäminen ja pitäminen ajan tasalla helpottuu laitteen lentäessä reitin, siirtäen kuvat tietokoneelle ja tekemällä tarvittavat materiaalit automaattisesti.

## Lähteet

- 1 Trafi: Usein kysyttyä. Ilmailu – Miehitettämättömät ilma-alukset ja lennokit.  
[https://www.trafi.fi/tietopalvelut/usein\\_kysyttya/ilmailu\\_-\\_miehitettamattomat\\_ilma-alukset\\_ja\\_lennokit](https://www.trafi.fi/tietopalvelut/usein_kysyttya/ilmailu_-_miehitettamattomat_ilma-alukset_ja_lennokit)  
Viitattu 8.12.2017
- 2 Trafi: Miehitettämätön ilmailu. 31.10.2017  
[https://www.trafi.fi/ilmailu/miehitettamaton\\_ilmailu](https://www.trafi.fi/ilmailu/miehitettamaton_ilmailu)  
Viitattu 11.12.2017
- 3 Skanska lyhyesti  
<https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/skanska-suomessa>  
Viitattu 11.12.2017
- 4 Hassinen Alpo. UAV-lennokit ja -kopterit: Kokemuksia UAV- ja RPAS-laitteista. 2016
- 5 Hannola Jukka. Ilmailu / RPAS Sääntelyn sidosryhmäinfo. 19.11.2015  
[https://www.trafi.fi/file-bank/a/1448611602/4a510f48b490e07f0f250066e2ef5222/19116-RPAS\\_Hannola.pdf](https://www.trafi.fi/file-bank/a/1448611602/4a510f48b490e07f0f250066e2ef5222/19116-RPAS_Hannola.pdf)
- 6 Ilmarissa on iso P ja pehmeä D - Suomen ilmatila uudistuu. 13.11.2014  
[http://www.lentoposti.fi/artikkelit/ilmarissa\\_on\\_iso\\_p\\_ja\\_pehmea\\_d\\_suomen\\_ilmatila\\_uudistuu\\_13112014](http://www.lentoposti.fi/artikkelit/ilmarissa_on_iso_p_ja_pehmea_d_suomen_ilmatila_uudistuu_13112014)  
Viitattu 12.12.2017
- 7 Trafin RPAS-seminaari: Tilaisuuden viestiseinän kysymyksiä ja Trafin vastauksia/kommentteja. 29.4.2016  
[https://www.trafi.fi/file-bank/a/1462342485/5f05993d7c520fd0751f19798d10c201/20539-Rpas\\_Finlandiatlossa\\_29\\_4\\_2016\\_VASTAUKSET.pdf](https://www.trafi.fi/file-bank/a/1462342485/5f05993d7c520fd0751f19798d10c201/20539-Rpas_Finlandiatlossa_29_4_2016_VASTAUKSET.pdf)
- 8 Hannola Jukka. Trafi: Miehitettämätön ilmailu - Lainsäädännön suuntaviivoja Suomesta ja maailmalta. 27.8.2015  
[https://tapahumat.tekes.fi/uploads/dc6a7676/RPAS\\_Jukka\\_Hannola\\_Trafi-2702.pdf](https://tapahumat.tekes.fi/uploads/dc6a7676/RPAS_Jukka_Hannola_Trafi-2702.pdf)
- 9 Trafi: Multikopteritoiminta Suomessa. 9.6.2017  
<http://trafi.mailpv.net/a/s/95652244-396b1d523c9b1098d96005063f4ba4d4/1901592>  
Viitattu 14.12.2017
- 10 Trafi: Miehitettämätön ilmailu – Viranomaisnäkökulma. 26.4.2017  
<http://drone-osaaja.fi/files/2017/05/Jukka-Hannola-004.pdf>
- 11 Pienistä koptereista miljardibisnes - "dronet ilman sisältöä ja älyä putoavat pelistä". 16.8.2016  
<https://www.kauppalehti.fi/uutiset/pienista-koptereista-syntyy-iso-bisnes/Nu4Bk8Gf>  
Viitattu 15.12.2017

- 12 PwC: Clarity from above - PwC global report on the commercial applications of drone technology. 5/2016  
<https://www.pwc.pl/pl/pdf/clarity-from-above-pwc.pdf>
- 13 PwC: Clarity from above - transport infrastructure. 1/2017  
<https://www.pwc.pl/pl/pdf/clarity-from-above-transport-infrastructure-pwc-report.pdf>
- 14 Ilmailulaki 7.11.2014/864  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140864>  
Viitattu 17.1.2018
- 15 Here are the world's largest drone companies and manufacturers to watch and invest in. 18.7.2017  
<http://www.businessinsider.com/top-drone-manufacturers-companies-invest-stocks-2017-07?r=US&IR=T&IR=T>  
Viitattu 12.1.2018
- 16 Sähköpostikeskustelu: Markus Valo - Henri Hohtari, Tarkastaja, Trafi. 5.3.2018
- 17 Trafi: Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen. 23.12.2016  
[https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS\\_M1-32\\_VALMIS\\_maarays\\_RPAS\\_fi.pdf](https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf)
- 18 Types of Drones – Explore the Different Models of UAV’s. 3.2.2017  
<http://www.circuitstoday.com/types-of-drones>  
Viitattu 20.12.2017
- 19 Shea O'Donnell. A Short History of Unmanned Aerial Vehicles. 16.6.2017  
<https://consortiq.com/en-gb/media-centre/blog/short-history-unmanned-aerial-vehicles-uavs>  
Viitattu 4.1.2018
- 20 Aber James - Marizolff Irene - Ries Johannes. 2010. Small-Format Aerial Photography. Amsterdam: Elsevier.
- 21 Ohjeita turvalliseen lennättämiseen. 3.7.2017  
[https://www.droneinfo.fi/fi/nain\\_lennatat\\_turvallisesti](https://www.droneinfo.fi/fi/nain_lennatat_turvallisesti)  
Viitattu 5.1.2018
- 22 DroneRules - Resources - Privacy Handbook.  
[http://dronerules.eu/en/recreational/resources/quick-start-safety-guide\\_pdf](http://dronerules.eu/en/recreational/resources/quick-start-safety-guide_pdf)
- 23 Kuva: Vesa Savio. 15.8.2017
- 24 Trafi: Poikkeusluvut ja ilmatilavaraukset. 29.5.2017  
[https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton\\_ilmailu/poikkeusluvut\\_ja\\_ilmatilavaraukset](https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu/poikkeusluvut_ja_ilmatilavaraukset)  
Viitattu 8.1.2018
- 25 Infra: Tietoa ja tilastoja  
<https://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/Tietoa-infra-alasta/>  
Viitattu 14.1.2018

- 26 Cellmapper: Matkapuhelinverkkojen tiedot ja taajuudet  
[www.cellmapper.net](http://www.cellmapper.net)  
Viitattu 14.1.2018
- 27 Kuva: How to use DJI's Return to Home (RTH) Safely  
<https://store.dji.com/guides/how-to-use-the-djis-return-to-home/>  
Viitattu 15.1.2018
- 28 SwellPro Splash Drone 3 Auto  
<https://www.swellpro.com/waterproof-splash-drone-3-auto.html>  
Viitattu 18.1.2018
- 29 Savon Sanomat. Kauko-ohjattavan kuvauskopterin ohjaaja voi syyllistyä ilmalii-  
kennejuopumukseen. 08.04.2017  
[https://www.savonsanomat.fi/kotimaa/Kauko-ohjattavan-kuvauskopterin-ohjaaja-  
voi-syyllisty%C3%A4-ilmaliikennejuopumukseen/963034](https://www.savonsanomat.fi/kotimaa/Kauko-ohjattavan-kuvauskopterin-ohjaaja-<br/>voi-syyllisty%C3%A4-ilmaliikennejuopumukseen/963034)  
Viitattu 19.1.2018
- 30 Tekniikka&Talous. Lennokkien määräykset tiukentuvat Suomessakin – EU val-  
mistelee droneille uusia rajoituksia. 19.7.2017  
[https://www.tekniikkatalous.fi/talous\\_uutiset/lennokkien-maaraykset-tiukentuvat-  
suomessakin-eu-valmistelee-droneille-uusia-rajoituksia-6663835](https://www.tekniikkatalous.fi/talous_uutiset/lennokkien-maaraykset-tiukentuvat-<br/>suomessakin-eu-valmistelee-droneille-uusia-rajoituksia-6663835)  
Viitattu 19.1.2018
- 31 Rakennuslehti. Lentävät robottiraparit ja –maalarit tulevat. 11.11.2016  
<https://www.rakennuslehti.fi/2016/11/lentavat-robottiraparit-ja-maalarit-tulevat/>  
Viitattu 4.2.2017
- 32 Valmistajan tai yhtiön omilta nettisivuilta logo, tuotokuva tai -tiedot.  
Viitattu 4.2.2018
- 33 Kilpeläinen Onni - Laitinen Petri. Skanska Oy:n miehittämättömän ilmailun toimin-  
takäsikirja. 1.6.2017
- 34 Flying a Drone in Winter: 5 Things You Must Know  
<https://store.dji.com/guides/winter-drone-flying-tips/>  
Viitattu 5.1.2018
- 35 Visual Approach Chart  
[https://www.ais.fi/ais/aip/ad/efhk/EF\\_AD\\_2\\_EFHK\\_VAC.pdf](https://www.ais.fi/ais/aip/ad/efhk/EF_AD_2_EFHK_VAC.pdf)  
Viitattu 14.2.2018
- 36 The Emergence of Commercial Drones. 14.12.2016  
<http://www.visualcapitalist.com/emergence-commercial-drones/>  
Viitattu 14.2.2018
- 37 Sähköpostihaastattelu helmikuussa 2018 Skanskan kauko-ohjattujen ilma-alus-  
ten käyttäjien sekä Skanskan vakuutusten hoitajan kanssa.
- 38 Ortoilmakuvaus, 3D-mallinnus, tilavuusmittaukset  
<http://www.dronecraft.fi/432734376>  
Viitattu 18.2.2018

# VAC EFHK (Helsinki-Vantaan lentoasema) [35.]

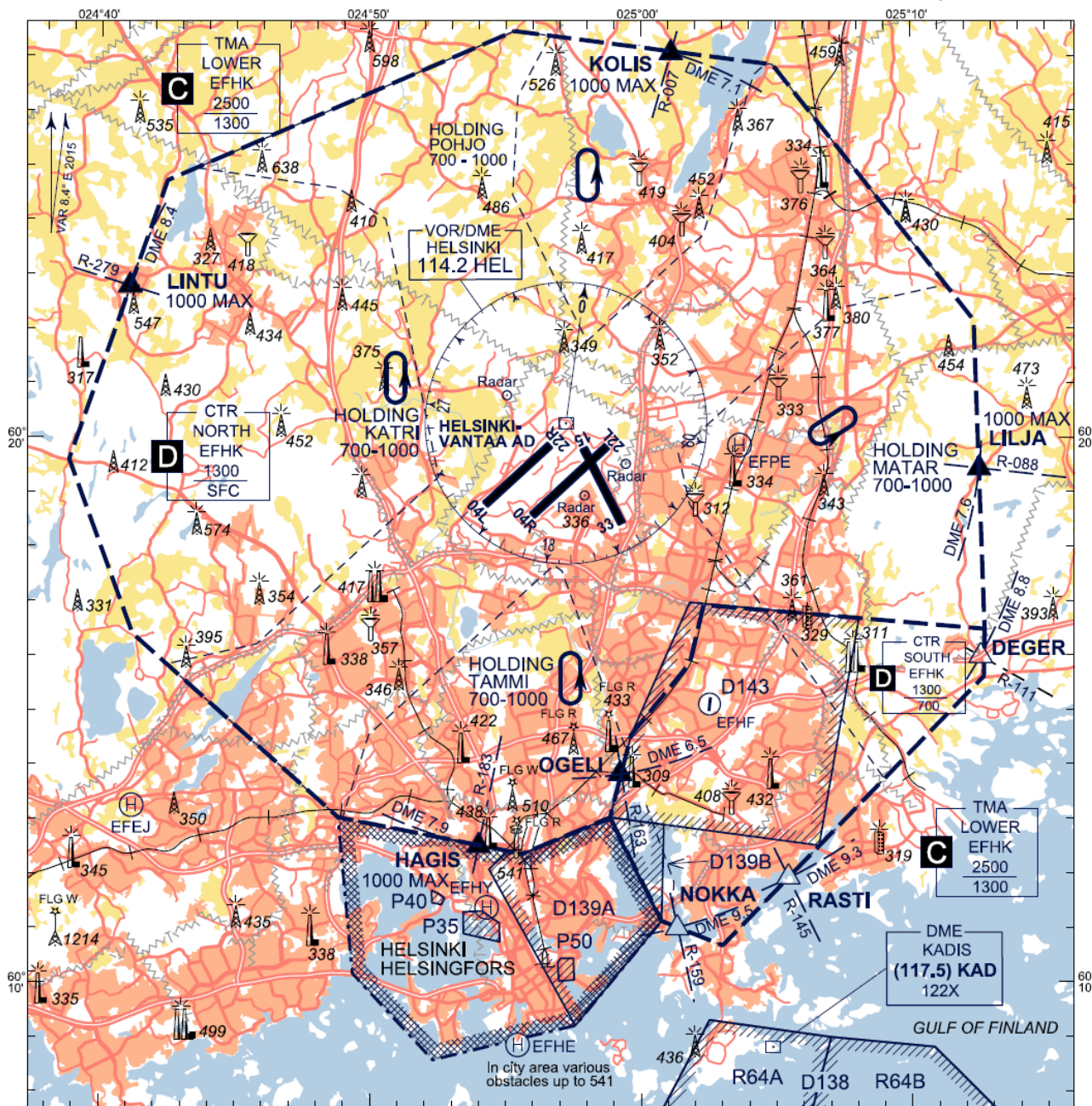
HELSINKI - VANTAA AERODROME

VISUAL

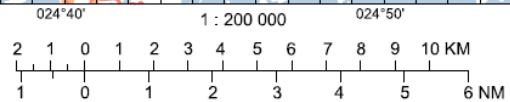
APPROACH CHART - ICAO

ELEV 180 FT

HELSINKI, FINLAND



CHG: AD EFHK status. VFR REP



**RADIO DATA**

APP	119.100
	129.850
	119.700
	119.900
	124.325
TWR	118.600
	118.850
	119.700
GND	121.800
ATIS ARR (EN)	135.075
EMERG	121.500

All RDL and DME FM VOR/DME HEL  
BRG are MAG  
DIST in NM  
ALT and ELEV In FT

Heliport	EFHY Helsingin yliopistollinen sairaala / Meilahti
	EFHE Hernesaari
	EFEJ Jorvin sairaala
	EFPE Peijaksen sairaala

Airspace	Hours of applicability	Airspace class	RMK
EFHK CTR SOUTH	H24	D	TMZ H24
EFHK CTR NORTH	H24	D	TMZ H24
EFHK TMA LOWER	H24	C	TMZ H24

VFR traffic in EFHK CTR NORTH MAX 1000 FT MSL unless otherwise instructed by ATC.

Inbound clearance Includes instructions how to enter traffic circuit and flight altitudes (MNM 700 FT MSL).

TGL exercises not permitted without special reason.

Noise Abatement Area  
Avoid flying below 2000 FT MSL

# VAC EFHK (Helsinki-Vantaan lentoasema) selkeytetty [35.]

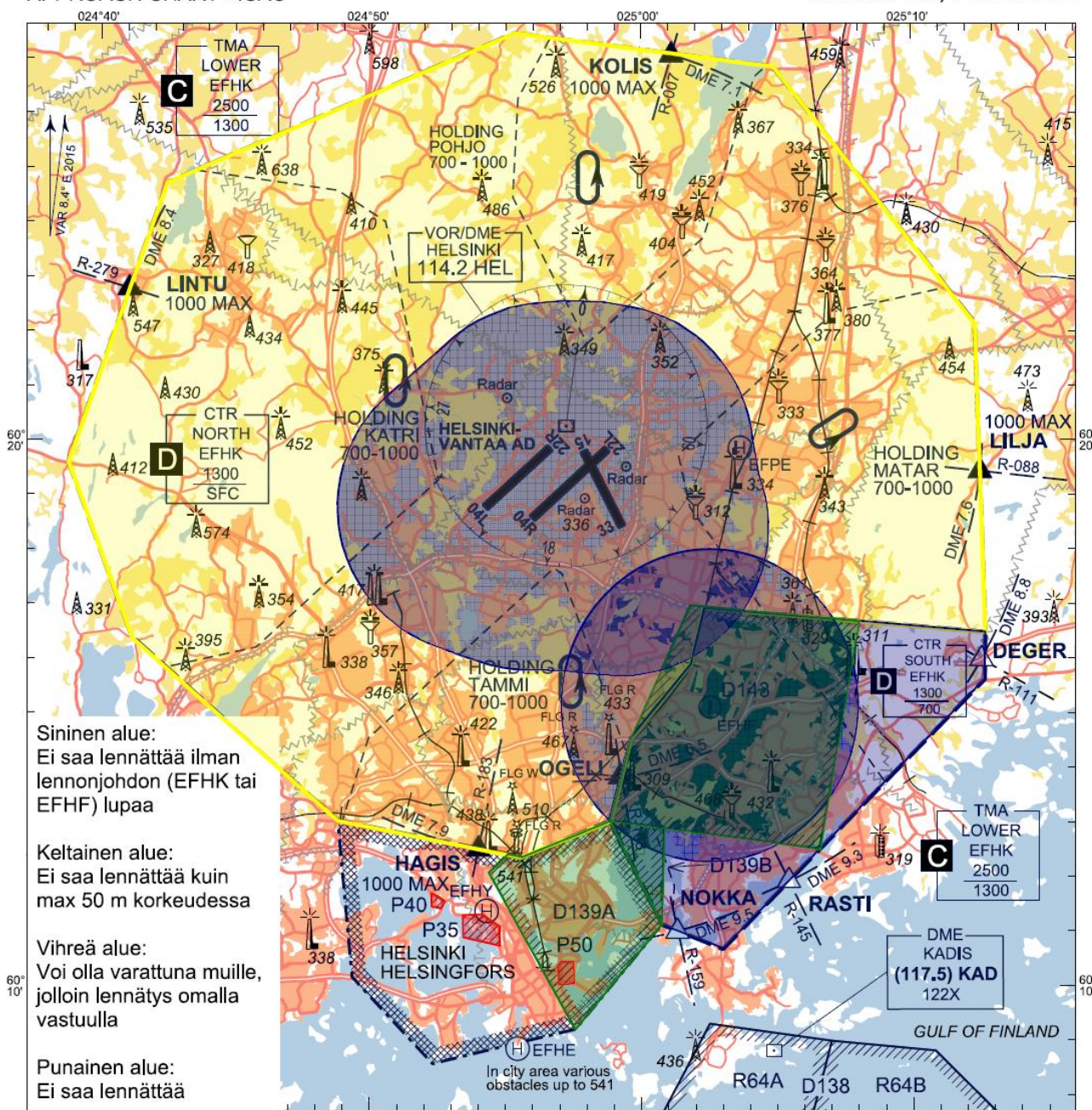
HELSINKI - VANTAA AERODROME

VISUAL

APPROACH CHART - ICAO

ELEV 180 FT

HELSINKI, FINLAND

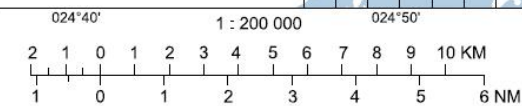


**Sininen alue:**  
Ei saa lennättää ilman lennonjohdon (EFHK tai EFHF) lupaa

**Keltainen alue:**  
Ei saa lennättää kuin max 50 m korkeudessa

**Vihreä alue:**  
Voi olla varattuna muille, jolloin lennätys omalla vastuulla

**Punainen alue:**  
Ei saa lennättää



**RADIO DATA**

APP	119.100
	129.850
	119.700
	119.900
	124.325
TWR	118.600
	118.850
	119.700
GND	121.800
ATIS ARR (EN)	135.075
EMERG	121.500

All RDL and DME FM VOR/DME HEL  
BRG are MAG  
DIST in NM  
ALT and ELEV in FT

Heliport	EFHY Helsingin ylipistöllinen sairaala / Mellahti
	EFHE Hernesaari
	EFEJ Jorvin sairaala
	EFPE Peijaksen sairaala

Airspace	Hours of applicability	Airspace class	RMK
EFHK CTR SOUTH	H24	D	TMZ H24
EFHK CTR NORTH	H24	D	TMZ H24
EFHK TMA LOWER	H24	C	TMZ H24

VFR traffic in EFHK CTR NORTH MAX 1000 FT MSL unless otherwise instructed by ATC.

Inbound clearance includes instructions how to enter traffic circuit and flight altitudes (MNM 700 FT MSL).

TGL exercises not permitted without special reason.

Noise Abatement Area  
Avoid flying below 2000 FT MSL

CHG.: AD EFHF status. VFR REP

## Miehittämättömien ilma-alusten evoluutio [36.]

# 1 THE EVOLUTION OF DRONES

Unmanned aerial vehicles, commonly known as drones, have been around for many years.

**NIKOLA TESLA'S** invention of a radio-controlled boat in 1898 paved the way for drone technology. Today, he is hailed as the **father of unmanned vehicle technology**.

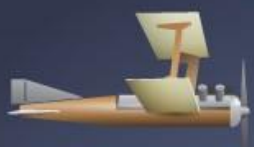
For the last 100 years drones have evolved throughout the military arena, broadly covering four types of usage:



In 1849, Austrian forces launched pilotless balloons 4,500 feet into the air, carrying 30lb bombs over Venice – the first known use of unmanned aerial warfare.



## THE FLYING BOMB: KETTERING BUG



Length	Wingspan	Height	Unit Cost*
12'6"	14'9"	7'7"	\$5,748

Produced

Range

Speed



## SURVEILLANCE: LIGHTNING BUG 147SC

Length	Wingspan	Height	Unit Cost*
28'10"	13'1"	6'7"	\$160,000

Produced

Range

Speed

\*Estimation based on initial Model 147 series



## TARGET PRACTICE: DH-82B QUEEN BEE



The term 'drone' is said to have originated from this wartime aircraft.

Length	Wingspan	Height	Unit Cost*
23'11"	29'2"	8'10"	\$53,700

Produced

Range

Speed

Based on De Havilland DH.82 Tiger Moth



## HUNTER-PREDATOR: MQ-9 REAPER



Length	Wingspan	Height	Unit Cost*
36'1"	65'7"	12'6"	\$64.2 million

Produced

Range

Speed

\*Unit costs based on US dollar 2016 equivalent

Source: Understanding Empire, US Air Force, hubpages.com, Greg Goebel, pilotfriend



## Miehittämättömien ilma-alusten ominaisuusvertailu [32.]

	DJI	DJI	DJI	DJI	Yuneec	Yuneec	Yuneec	3D Robotics	Parrot
	Mavic Pro	Phantom 4 Pro	Inspire 1 Pro	Inspire 2	Typhoon Q500 4K	Typhoon H	H920 Plus	SOLO <sup>4</sup>	Bebop 2 Power

Hinta <sup>1</sup>	1 000 €	1 400 €	3 500 €	7 100 €	800 €	900 €	4 700 € <sup>2</sup>	500 € <sup>3</sup>	700 €
--------------------	---------	---------	---------	---------	-------	-------	----------------------	--------------------	-------

### Laitte

Paino	743 g	1 388 g	3 400 g	3 750 g	1 700 g	1 980 g	4 990 g	1 500 g	525 g
Lentonopeus	65 km/h	72 km/h	65 km/h	94 km/h	36 km/h	49 km/h	40 km/h	88 km/h	65 km/h
Tuulenkestävyys	10 m/s	10 m/s	10 m/s	10 m/s	5 m/s	10 m/s	10 m/s	11 m/s	16 m/s
Lentoaika	27 min	~30 min	~15 min	~25 min	~25 min	~25 min	24 min	~25 min	~30 min
Toimintaetäisyys	4,0 km	3,5 km	3,5 km	3,5 km	0,4 km	1,6 km	1,6 km	0,8 km	2 km
Käyttölämpötila	0-40 °C	0-40 °C	-10-40 °C	-20-40 °C	0-40 °C	-10-40 °C	0-50 °C	0-45 °C	10-40 °C
Toimintataajuuudet	2,4 GHz	2,4 ja 5,8 GHz	2,4 ja 5,8 GHz	2,4 ja 5,8 GHz	2,4 GHz	5,8 GHz	5,8 GHz	2,4 GHz	2,4 ja 5,0 GHz
Kotilinnalauttoiminto	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Esteentunnistussensorit <sup>5</sup>	E/A	E/T/A/O <sup>6</sup> /V <sup>6</sup>	A	E/Y/A	-	-	-	-	-

### Kamera

Pikselit	12,4 MP	20 MP	16 MP	20,8 MP	12,4 MP	12,4 MP	16 MP		14 MP
Videon resoluutio	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K		1080p
Käyttölämpötila	0-40 °C	0-40 °C	0-40 °C	-10-40 °C	0-40 °C	-10-40 °C	-5-45 °C		10-40 °C

<sup>1</sup> pyöristetty lähimpään sataseen, hintatiedot [www.verkkokauppa.com](http://www.verkkokauppa.com) 12.1.2018

<sup>2</sup> hinta [www.hobbyinna.fi](http://www.hobbyinna.fi) 12.1.2018

<sup>3</sup> hinta [www.power.fi](http://www.power.fi) 12.1.2018

<sup>4</sup> Myydään ilman kameraa, yhteensopiva GoPro Hero 3, 3+ ja 4 -kamerolle

<sup>5</sup> E=eteen, T=taakse, Y=ylös, A=alas, O=olkealle, V=vasemmalle

<sup>6</sup> Vain tietyissä lentotiloissa

## DJI Phantom 4 Pro tekniset tiedot [32.]

Specifications	
<b>Aircraft</b>	
Weight (Battery & Propellers Included)	1388 g
Diagonal Size (Excluding Propellers)	350 mm
Max Ascent Speed	Sport mode: 19.7ft/s(6 m/s); GPS mode: 16.4ft/s(5 m/s)
Max Descent Speed	Sport mode: 13.1ft/s(4 m/s); GPS mode: 9.8ft/s (3 m/s)
Max Speed	45 mph (72 kph) (S-mode); 36mph (58 kph) (A-mode); 31 mph (50 kph) (P-mode)
Max Tilt Angle	42° (Sport mode); 35° (Attitude mode); 25° (GPS mode)
Max Angular Speed	250°/s (Sport mode); 150°/s (Attitude mode)
Max Service Ceiling Above Sea Level	19685 ft (6000 m)
Max Wind Speed Resistance	10 m/s
Max Flight Time	Approx. 30 minutes
Operating Temperature Range	32° to 104° F (0° to 40° C)
Satellite Positioning Systems	GPS/GLONASS
Hover Accuracy Range	Vertical: ±0.1 m (With Vision Positioning); ±0.5 m (With GPS Positioning)
	Horizontal: ±0.3 m (With Vision Positioning); ±1.5 m (With GPS Positioning)
<b>Gimbal</b>	
Stabilization	3-axis (pitch, roll, yaw)
Controllable Range	Pitch: - 90° to + 30°
Max Controllable Angular Speed	Pitch: 90°/s
Angular Control Accuracy	±0.02°
<b>Vision System</b>	
Velocity Range	≤31 mph (50 kph) at 6.6 ft (2 m) above ground
Altitude Range	0 - 33 feet ( 0 - 10 m )
Operating Range	0 - 33 feet ( 0 - 10 m )
Obstacle Sensory Range	2 - 98 ft (0.7 - 30 m)
FOV	Forward/Rear: 60° (horizontal), ±27° (vertical)
	Downward: 70° (front and rear), 50° (left and right)
Measuring Frequency	Forward/Rear: 10 Hz
	Downward: 20 Hz
Operating Environment	Surface with clear pattern and adequate lighting ( lux > 15 )
<b>Infrared Sensing System</b>	
Obstacle Sensory Range	0.6 - 23 ft (0.2 - 7 m)
FOV	70°(Horizontal), ±10°(Vertical)
Measuring Frequency	10 Hz
Operating Environment	Surface with diffuse reflection material, and reflectivity > 8% (such as wall, trees, humans, etc.)

<b>Camera</b>	
Sensor	1" CMOS; Effective pixels: 20 M
Lens	FOV (Field of View) 84°, 8.8 mm (35 mm format equivalent: 24 mm), f/2.8 - f/11, auto focus at 1 m - ∞
ISO Range	Video: 100 – 3200 (Auto); 100 - 6400 (Manual) Photo: 100 - 3200 (Auto); 100 - 12800 (Manual)
Mechanical Shutter	8 - 1/2000 s
Electronic Shutter	8 - 1/8000 s
Image Size	3:2 Aspect Ratio: 5472×3648 4:3 Aspect Ratio: 4864×3648 16:9 Aspect Ratio: 5472×3078
PIV Image Size	4096×2160 (4096×2160 24/25/30/48/50p) 3840×2160 (3840×2160 24/25/30/48/50/60p) 2720×1530 (2720×1530 24/25/30/48/50/60p) 1920×1080 (1920×1080 24/25/30/48/50/60/120p) 1280×720 (1280×720 24/25/30/48/50/60/120p)
Still Photography Modes	Single shot Burst shooting: 3/5/7/10/14 frames Auto Exposure Bracketing (AEB): 3/5 Bracketed frames at 0.7EV Bias Interval: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
Video Recording Modes	H.265 <ul style="list-style-type: none"> <li>• C4K: 4096×2160 24/25/30p @100Mbps</li> <li>• 4K: 3840×2160 24/25/30p @100Mbps</li> <li>• 2.7K: 2720×1530 24/25/30p @65Mbps 2720×1530 48/50/60p @80Mbps</li> <li>• FHD: 1920×1080 24/25/30p @50Mbps 1920×1080 48/50/60p @65Mbps 1920×1080 120p @100Mbps</li> <li>• HD: 1280×720 24/25/30p @25Mbps 1280×720 48/50/60p @35Mbps 1280×720 120p @60Mbps</li> </ul> H.264 <ul style="list-style-type: none"> <li>• C4K: 4096×2160 24/25/30/48/50/60p @100Mbps</li> <li>• 4K: 3840×2160 24/25/30/48/50/60p @100Mbps</li> <li>• 2.7K: 2720×1530 24/25/30p @80Mbps 2720×1530 48/50/60p @100Mbps</li> <li>• FHD: 1920×1080 24/25/30p @60Mbps 1920×1080 48/50/60p @80Mbps 1920×1080 120p @100Mbps</li> <li>• HD: 1280×720 24/25/30p @30Mbps 1280×720 48/50/60p @45Mbps 1280×720 120p @80Mbps</li> </ul>
Max. Bitrate Of Video	100 Mbps
Supported File Systems	FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB)
Photo	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Video	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)
Supported SD Cards	Micro SD, Max Capacity: 128GB. Write speed ≥15MB/s, class 10 or UHS-1 rating required
Operating Temperature Range	32° to 104° F (0° to 40° C)

<b>Remote Controller</b>	
Operating Frequency	2.400 - 2.483 GHz and 5.725 - 5.825 GHz
Max Transmission Distance	2.400 - 2.483 GHz (Unobstructed, free of interference) FCC: 4.3 mi (7 km); CE: 2.2 mi (3.5 km); SRRC: 2.5 mi (4 km) 5.725 - 5.825 GHz (Unobstructed, free of interference) FCC: 4.3 mi (7 km); CE: 1.2 mi (2 km); SRRC: 3.1 mi (5 km)
Operating Temperature	32° to 104° F (0° to 40° C)
Battery	6000 mAh LiPo 2S
Transmitter Power ( EIRP )	2.400 - 2.483 GHz FCC: 26 dBm; CE: 17 dBm; SRRC: 20 dBm 5.725 - 5.825 GHz FCC: 28 dBm; CE: 14 dBm; SRRC: 20 dBm
Operating Current/Voltage	1.2 A @7.4 V
Video Output Port	GL300E: HDMI GL300F: USB
Mobile Device Holder	GL300E: Built-in Display device (5.5 inch screen, 1920×1080, 1000 cd/m <sup>2</sup> , Android system, 4G RAM+16G ROM) GL300F: Tablets and smartphones
<b>Charger*</b>	
Voltage	17.5 V
Rated Power	100 W
<b>Intelligent Flight Battery* (PH4-5870mAh-15.2V)</b>	
Capacity	5870 mAh
Voltage	15.2 V
Battery Type	LiPo 4S
Energy	89.2 Wh
Net Weight	468 g
Charging Temperature Range	41° to 104° F (5° to 40° C)
Max. Charging Power	100 W

\* Intelligent Flight Batteries and Chargers for Phantom 4 series can be used interchangeably.

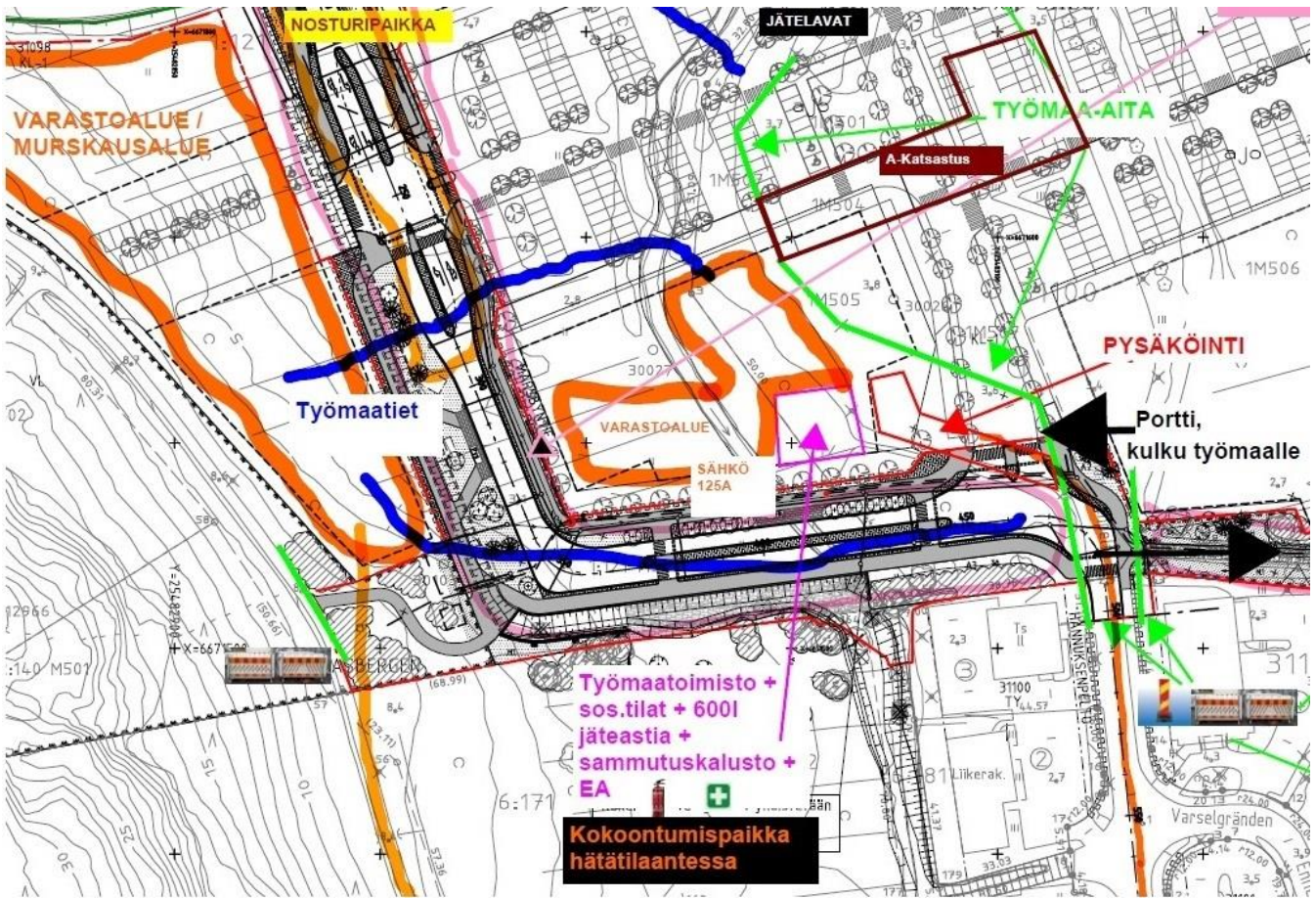
Toimiston pöydälle tulostettu kuva Hannuksenpellon työmaasta



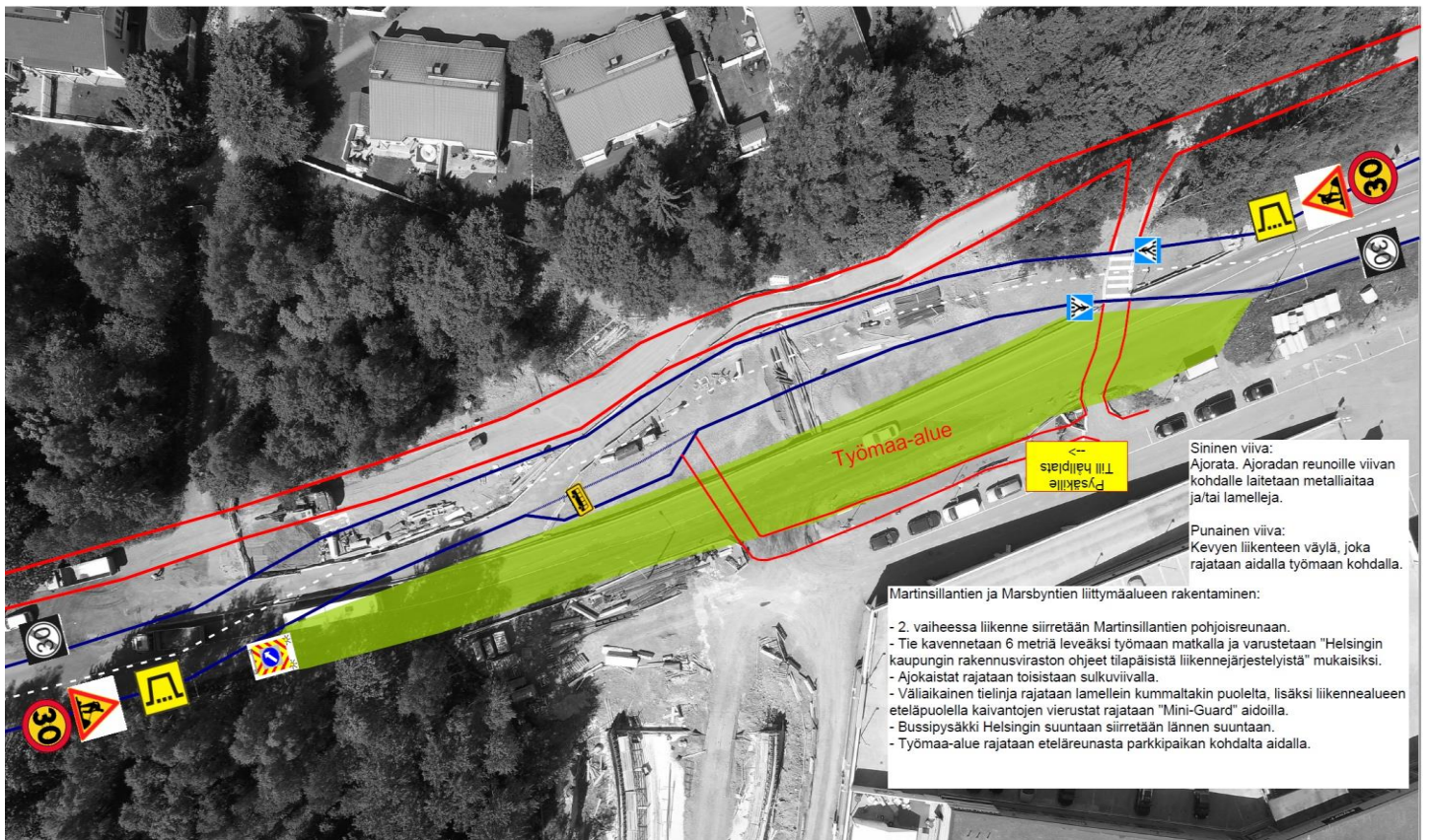
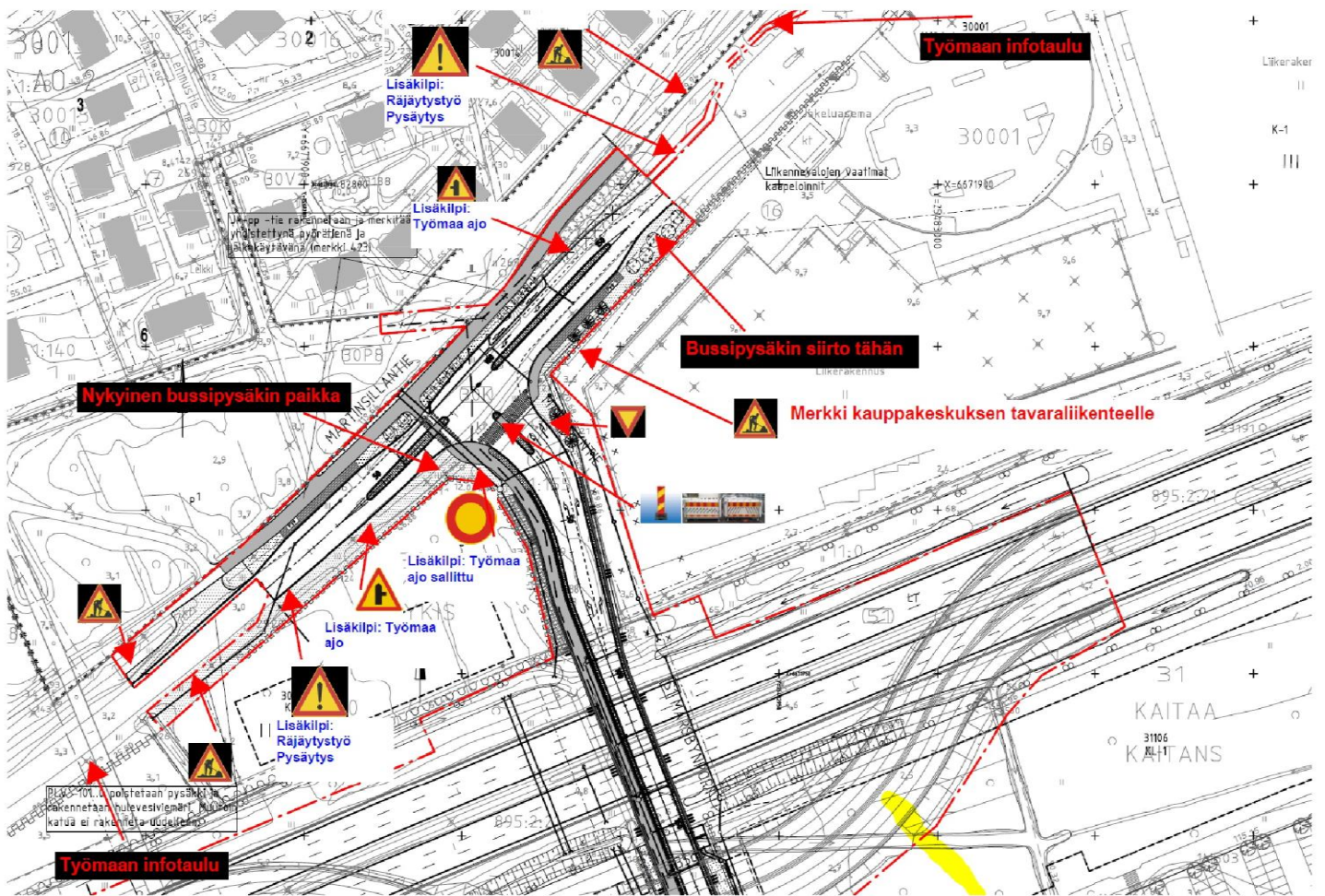
**Mosaiikkikuva Blominmäen työmaasta 150 metrin korkeudesta**



Aluesuunnitelma osasta Hannuksenpellon työmaata: piirustus ja valokuva



## Martinsillantien liikenteenohjaussuunnitelma: piirustus ja valokuva





**Pistepilvi ja ortokuva osasta Hannuksenpellon työmaata**

