



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Teemu Alaluusua

# Miehittämättömän ilma-alueksen käyttö rakennushankkeessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

10.11.2020

Tekijä Otsikko	Teemu Alaluusua Miehittämättömän ilma-aluksen käyttö rakennushankkeessa
Sivumäärä Aika	53 sivua + 1 liite 10.11.2020
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennusalan työnjohto
Ammatillinen pääaine	Talonrakennustekniikka
Ohjaajat	Lehtori Tapani Järvenpää, Metropolia AMK Kehitysjohtaja Antti Aaltonen, SRV Rakennus Oy Kehitysinsinööri Ella Malka, SRV Rakennus Oy
<p>Tämän työn tarkoituksena oli luoda käyttöönotto-ohjeistus miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käytöstä tilaajayritykselle. Työssä perehdyttiin miehittämättömien ilma-alusten toimintaan, lainsäädäntöön ja käyttöön rakennusalan työtehtävissä. Miehittämättömän ilma-aluksen koskevaan lainsäädäntöön on tulossa lähitulevaisuudessa muutoksia, joita on käsitelty tässä työssä. Opinnäytetyön lisäksi luotiin tilaajayrityksen käyttämille miehittämättömille ilma-alusjärjestelmille käyttöönotto-ohje, joka on suunnattu sekä uusien käyttäjien perehdytykseen, että aiemman tietotaidon yhtenäistämiseen.</p> <p>Työnaikana saatiin tarkempaa tietoa miehittämättömien ilma-alusten käytöstä ja soveltuvuudesta erilaisiin työtehtäviin rakennushankkeissa. Omakohtaista kokemuseräistä tietoa kerättiin viikoittain dokumentaatio ja tarkastustehtävissä, joissa käytettiin miehittämättömiä ilma-aluksia. Kerättyä tietoa hyödynnettiin erilaisissa suunnittelu- ja tarkastustehtävissä sekä viikoittaisen toteuman raportoinnissa rakennushankkeen tilaajaorganisaatiolle.</p> <p>Alan kirjallisuutta on niukasti saatavilla, minkä vuoksi työssä on käytetty pääosin verkkoaineistoja, haastatteluja ja omakohtaista kokemusta alan työstä. Työssä haastateltiin Traficom:n miehittämättömän ilma-aluksen asiantuntijoita ja SRV:n miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttäjiä. Haastatteluiden myötä saatiin tietoa lainsäädännön tulevista muutoksista ja miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käytöstä kohdeyrityksessä.</p>	
Avainsanat	Miehittämätön ilma-alus, rakennushanke, lainsäädäntö, ilmakuvaus,

Author Title	Teemu Alaluusua Use of unmanned aircraft in a construction project
Number of Pages Date	53 pages + 1 appendice 10 November 2020
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Management
Professional Major	Building Construction
Instructors	Tapani Järvenpää, Senior Lecturer Antti Aaltonen, Development Director Ella Malka, Development engineer
<p>The aim of this thesis was to create deployment guidelines for the use of unmanned aircraft systems for the commissioning company. The focus was on the operation, legislation and use of unmanned aerial vehicles in construction work. The imminent changes in the legislation on unmanned aviation were also studied. Furthermore, an introduction guide was created for the unmanned aircraft systems used by the commissioning company, with the aim of both introducing the topic to new users and compiling existing knowledge.</p> <p>During the study, more detailed information was obtained on the use of unmanned aircraft and their suitability for various work tasks in construction projects. Personal hands-on experience was collected on a weekly basis from documentation and inspection missions where unmanned aircrafts were used. The information gathered was utilized in various planning and inspection tasks.</p> <p>Literature regarding unmanned aircrafts is scarce, and therefore mainly online articles were used as source literature, together with interviews and personal experience of working in the field. The experts of unmanned aerial vehicles at the Finnish transport and communications agency Traficom and SRV's users of unmanned aircraft systems were interviewed. The interviews provided information on future changes in the legislation and the use of unmanned aircraft systems in the target company.</p>	
Keywords	Unmanned aircraft, construction project, regulations, aerial photography,

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Miehittämätön ilmailu	2
2.1	Käytettävät kirjainlyhenteet ja termit	2
2.2	Miehittämättömät ilma-alukset	4
2.2.1	Pyöriväsiipiset ilma-alukset	7
2.2.2	Kiinteäsiipinen ilma-alus	8
2.3	Miehittämätön ilma-alusjärjestelmä	8
3	Miehittämättömän ilmailun lainsäädäntö	10
3.1	Miehittämätöntä lentotoimintaa koskeva lainsäädäntö	10
3.1.1	Lentotyötoiminta	11
3.1.2	Yksityisyyden suoja ja tietosuoja	14
3.1.3	Lentokielto- ja rajoitusalueet	15
3.2	Muuttuva miehittämätöntä lentotoimintaa koskeva lainsäädäntö	17
3.2.1	Avoin toimintakategoria	20
3.2.2	Eriyinen toimintakategoria	25
3.2.3	Ilma-alusten ominaisuuksia koskeva lainsäädäntö	26
3.2.4	Rekisteröinti	29
3.2.5	Koulutus	29
3.2.6	Käyttäjän ja kauko-ohjaajan vastuut lentotoiminnassa	30
4	Miehittämättömien ilma-alusten käyttö rakennusalalla	33
4.1	Dokumentaatio ja tarkastus	34
4.2	Lämpökuvaukset	35
4.3	Maanmittaus ja ilmakartoitus	35
4.3.1	Fotogrammetria	36
4.3.2	Ilmalaserkeilaus	38
4.4	Työmaa-alueella tapahtuva lentotoiminta	39
5	Miehittämätön ilmailu kohdeyrityksessä	40

5.1	Miehittämättömien ilma-alusten käyttö kohdeyrityksessä	41
5.1.1	Työmaavierailut kohdeyrityksen rakennushankkeissa	41
5.1.2	Esimerkkikohde	43
5.2	Yrityksen käyttämät miehittämättömät ilma-alukset	46
6	Tulokset	49
7	Yhteenveto	52
	Lähteet	53
	Liitteet	
	Liite 1. Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttöönotto-ohjeistus	

## Lyhenteet

BVLOS	(Beyond Visual Line- of- Sight): suoran näköyhteyden ulkopuolella harjoitettava lentotoiminta, jossa kauko-ohjaaja pitää apuvälineiden avulla yhteyttä miehittämättömään ilma-alukseen.
Drone	Kansanomainen ilmaisu, jolla tarkoitetaan kaikkia miehittämättömiä laitteita maalla, merellä ja ilmassa.
EVLOS	(Extended Visual Line- of- Sight): avustettuun näköyhteyteen perustuva lentotoiminta, jossa kauko-ohjaaja pitää näköyhteyttä miehittämättömään ilma-alukseen miehittämättömän ilma-aluksen tähystäjän avulla. Kauko-ohjaajalla ja miehittämättömän ilma-aluksen tähystäjällä on oltava luotettava viestintäväline yhteydenpitoon, mikäli suora puheyhteys ei ole mahdollinen.
ICAO	(International Civil Aviation Organisation): Kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö.
MTOM	(Maximum Take-off Mass): Miehittämättömän ilma-aluksen suurin sallittu lentoonlähtömassa.
NOTAM	(Notice to Airmen): Ilmailutiedotussähke.
RPA	(Remotely Piloted Aircraft): miehittämätön ilma-alus, jota ohjataan kauko-ohjauspaikasta ja käytetään lentotyöhön.
RPAS	(Remotely Piloted Aircraft System): kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä, johon sisältyy: kauko-ohjattu ilma-alus, sen kauko-ohjauspaikat, tarvittavat ohjaus- ja seurantayhteydet ja muut erikseen määrätyt käytön edellyttämät järjestelmän osat.
UA	(Unmanned Aircraft): miehittämätön ilma-alus; ilma-alus, joka on tarkoitettu lentämään ilman ilma-aluksessa mukana olevaa ohjaajaa.

- UAS (Unmanned Aircraft System): miehittämättömän ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä; miehittämätön ilma-alus ja sen käytön edellyttämät järjestelmän osat.
- VLOS (Visual Line- of- Sight): suoraan näköyhteyteen perustuva lentotoiminta, jossa kauko-ohjaaja pitää ilman apuvälineitä suoraa näköyhteyttä miehittämättömään ilma-alukseen.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttöönotto ja käyttö rakennushankkeessa. Opinnäytetyö tehdään SRV Rakennus Oy:lle, joka on SRV Yhtiöt Oy:n tytäryhtiö. SRV on vuonna 1987 perustettu rakennusalan yritys, joka kehittää ja rakentaa toimitiloja, asuntoja sekä infrarakentamis- ja logistiikkakohteita. SRV Yhtiöt Oy on ollut pörssinoteerattu yhtiö Helsingin pörssissä vuodesta 2007 ja on markkina-arvoon perustuvassa kokoluokituksessa pieni yhtiö. SRV Rakennus Oy:n liikevaihto vuonna 2019 oli 1060,9 miljoonaa euroa. Nykyisin SRV on Suomen suurimpia rakennusalan yrityksiä sekä johtavin projektinjohtourakoitsija. Tytäryhtiö SRV Rakennus Oy vastaa kotimaan toiminnasta toimitila- ja asuntorakentamisessa. [SRV yhtiönä; Erkkilä 2019.]

SRV Rakennus Oy:n rakennushankkeissa on esiintynyt kysyntää ilmakuvaamisen hyödyntämisestä erilaisiin tuotannon tarpeisiin sekä valo- ja videokuvadokumentaatioon. Tämä opinnäytetyö syntyi SRV Rakennus Oy:n tarpeesta kehittää miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttöönotto-ohjeistus yrityksen työmaaorganisaatiolle. Tarkoituksena on saada miehittämättömien ilma-aluksien käyttö työmaalla suoritettua turvallisesti ja vallitsevan lainsäädännön mukaisesti. Käyttöönotto-ohjeistuksen tarkoituksena on madaltaa laitteiden käyttöönoton kynnystä yrityksen rakennushankkeissa, sekä esittää miehittämättömien ilma-alusten ilmakuvaamisen hyötyjä yrityksen rakennushankkeissa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on luoda riittävän kattava miehittämättömien ilma-aluslaitejärjestelmien käyttöönotto-ohjeistus. Tarkoituksena on, että miehittämättömiä ilma-alusjärjestelmiä käyttävä työmaan toimihenkilö ymmärtää miehittämättömän lento-toiminnan kannalta merkityksellisimmät lainsäädännöt sekä lentotoiminnan edellyttämät vaatimukset. Työn tutkimusaineistona käytetään aiheen kirjallisuutta, asiantuntijoiden haastatteluja ja yrityksen rakennushankkeista kerättyä tietoa. Opinnäytetyössä käsitellään vallitsevaa ja muuttuvaa lainsäädäntöä, lennättämisen rajoituksia, yrityksen käyttämiä miehittämättömiä ilma-alusjärjestelmiä sekä rakennushankkeiden ilmakuvaustoimintaa ja käyttötarkoituksia. Miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttöä sekä vallitsevaa lainsäädäntöä tarkastellaan ainoastaan työmaiden näkökulmasta.

## 2 Miehistämätön ilmailu

Miehistämättömät ilma-alukset ovat nimensä mukaisesti ilma-aluksia, joita ei ohjata ilma-aluksesta käsin. Miehistämätöntä ilma-alusta ohjataan tyypillisesti kauko-ohjaimen välityksellä, mutta miehistämätön ilma-alusjärjestelmä voi toimia myös täysin autonomisesti. Miehistämättömät ilma-alukset on usein myös varustettu jotain tiettyä tehtävää, kuten esim. valokuvaamista tai mittaamista varten.

Miehistämättömistä ilma-aluksista käytetään kirjallisuudessa ja puhekielessä erilaisia termejä kuten Drone, kuvauskooperi tai erilaisia kirjainlyhenteitä. Luvussa 2.1 käsitellään miehistämättömän ilmailun keskeistä terminologiaa sekä sanastoa.

Miehistämättömiä ilma-aluksia on monennäköisiä ja kokoisia. Luvussa 2.2 on esitetty rakennusalan toiminnassa käytettyjä miehistämättömiä ilma-alus tyyppejä. Luvussa 2.3 on perehdytty miehistämättömien ilma-alusten käytön kokonaisjärjestelmään.

### 2.1 Käytettävät kirjainlyhenteet ja termit

Miehistämättömälle ilmailulle on käytössä useita kirjainlyhenteitä ja termejä, joista useat on lainattu englannin kielestä. Sekä miehistämättömistä ilma-aluksista että ilma-alusjärjestelmistä on käytössä monta nimeä, eikä näiden kirjainlyhenteiden käytössä ole aina selkeää logiikkaa. Näiden kirjallisuudessa ja säädöksissä käytettyjen kirjainlyhenteiden välillä on kuitenkin merkityksellistä eroa. [Usein kysyttyä 2018; Frequently Asked Questions; Drone, UAV, UAS, RPA or RPAS.]

Suomen kansallisessa miehistämätöntä ilmailua koskevassa lainsäädännössä miehistämättömistä ilma-aluksista käytetään termiä RPA (Remotely Piloted Aircraft) ja RPAS (Remotely Piloted Aircraft System). RPA-laitteella tarkoitetaan kauko-ohjattua ilma-alusta, joka edellyttää kauko-ohjaajan lennättämään ilma-alusta kauko-ohjauspaikasta. RPAS lyhenteellä tarkoitetaan kauko-ohjatun ilma-aluksen kokonaisjärjestelmää, johon sisältyvät kauko-ohjatun ilma-aluksen lisäksi kauko-ohjauspaikka, käytön edellyttämät järjestelmän osat sekä ohjaus- ja seurantayhteydet. Suomen kansallisen miehistämä-

töntä ilmailua koskevan lainsäädännön lisäksi kyseisiä kirjainlyhenteitä käyttää kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö ICAO. [Frequently Asked Questions; OPS M1-32 2018, luku 2; Drone, UAV, UAS, RPA or RPAS.]

Euroopan lentoturvallisuusvirasto (EASA) käyttää miehittämättömistä ilma-aluksista kirjainlyhenteitä UA (Unmanned Aircraft) ja UAS (Unmanned Aircraft System). UA-laitteella tarkoitetaan kaikkia miehittämättömiä ilma-aluksia, jotka on tarkoitettu lentämään ilman ilma-aluksen kyydissä mukana olevaa ohjaajaa. UA-laitteet voivat olla kauko-ohjattuja tai autonomisia. Autonomisissa UA-laitteissa kauko-ohjaaja ei voi puuttua miehittämättömän ilma-aluksen toimintaan. UAS-kirjainlyhenne tarkoittaa miehittämättömän ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmää. UAS on määritelmänä hieman laajempi kuin RPAS. RPAS edellyttää, että miehittämättömä ilma-alusta ohjaa kauko-ohjaaja, kun taas UAS ei tätä edellytä. UAS-kirjainlyhenne ei määritä mitä käytön edellyttämät järjestelmän osat sisältävät. Yleisesti järjestelmän osilla tarkoitetaan ilma-aluksen hyötykuormaa (lisävarusteet esim. kamerat ja tunnistimet) sekä maa-asemaa (lennon ohjauksen järjestelmät esim. kauko-ohjain ja mobiililaitte). Suomessa Euroopan lentoturvallisuusvirasto EASA:n käyttämät termit miehittämättömistä ilma-aluksista ja ilma-alusjärjestelmistä tulevat käyttöön muuttuvan lainsäädännön myötä lähitulevaisuudessa. Tämän ja lukijalähtöisen tekstin takia tässä työssä on käytetty miehittämätön ilma-alus käsitettä. [Usein kysyttyä 2018; Niemelä 2020; Selvitys RPAS-menetelmistä 2018, 2.]

Kirjallisuudessa ja säädöksissä esitettyjen kirjainlyhenteiden lisäksi miehittämättömistä ilma-aluksista käytetään puhekielessä yleisesti termiä Drone. Drone on terminä kansanomainen ilmaisu, jolla tarkoitetaan kaikkia miehittämättömiä laitteita maalla, merellä ja ilmassa. Aiemmin miehittämättömistä ilma-aluksista käytettiin termiä UAV (Unmanned Aerial Vehicle), joka on nykyisin korvattu UA termillä. [Usein kysyttyä 2018.]

Miehittämättömien ilma-alusten yhteydessä puhutaan usein termeillä kauko-ohjatun ilma-aluksen lennätystavasta. Kauko-ohjattavien ilma-alusten lennot jaotellaan kolmeen osaan sen perusteella, minkälainen näköyhteys lennättäjällä on kauko-ohjattavaan ilma-alusjärjestelmään. VLOS (Visual Line- of Sight) tarkoittaa lennättämistä suoralla näköyhteydellä, jossa kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättäjä ohjaa laitetta pitäen suoraa näköyhteyttä ilma-alukseen ilman apuvälineitä. EVLOS (Extended Visual Line- of- Sight) tarkoittaa lennättämistä, jossa kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättäjä ohjaa laitetta ilman

suoraa näköyhteyttä. Tässä näköyhteydessä käytetään avustavaa henkilöä (kauko-ohjaustähystäjää), jolla on suora viestintäyhteys laitteen kauko-ohjaajaan. Kauko-ohjaustähystäjän avulla kauko-ohjaaja saa tietoa miehittämättömän ilma-aluksen liikkeistä sekä muusta ilmaliikenteestä, jotka tulisi huomioida lentotoiminnassa. Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva lentotoiminta (Beyond Visual Line-of-Sight: BVLOS) tarkoittaa lennättämistä, jossa kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättäjä ohjaa laitetta ilman suoraa näköyhteyttä pitäen yhteyttä laitteeseen apuvälineiden kautta. Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva lentotoiminta BVLOS on luvanvaraista. Tulevan EU-lainsäädännön myötä BVLOS lennättäminen edellyttää erityisen toimintakategorian toimintalupaa. [Usein kysyttyä 2018; Niemelä 2020; Honkavaara, Hakala & Nevalainen 2018.]

Tyypillisesti EVLOS ja BVLOS lennättämisessä kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättäjä käyttää lennättäessä ohjauksen apuvälineenä FPV-laseja (First Person View) tai livekuvaa tuottavaa monitoria, joka on tyypillisesti yhdistetty kauko-ohjaimen. Videolinkin avulla lennättämistä ei katsota näköyhteyteen (VLOS) perustuvaksi lennättämiseksi. [Usein kysyttyä 2018.]

## 2.2 Miehittämättömät ilma-alukset

Miehittämättömät ilma-alukset ovat nimensä mukaisesti ilma-aluksia, joita ei ohjata ilma-aluksesta käsin. Miehittämättömä ilma-alusta ohjataan tyypillisesti kauko-ohjaimen välityksellä, mutta miehittämättömän ilma-alusjärjestelmä voi toimia myös täysin autonomisesti. Miehittämättömän ilma-alus koostuu useista erilaisista komponenteista joita ovat mm:

- Ilma-aluksen runko
- Roottorit ja potkurit
- Paikannusjärjestelmä (GNSS)
- Inertiajärjestelmä (IMU)
- Radiolähtimet kommunikointiin maa-aseman kanssa
- Tehonlähde (akku tai polttomoottori)
- Hyötykuorma.

[Selvitys RPAS-menetelmistä 2018, 2-3.]

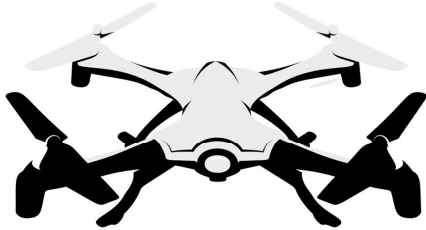
Miehittämättömiä ilma-aluksia on monennäköisiä ja kokoisia. Toimintaperiaatteeltaan miehittämättömät ilma-alukset voivat olla kiinteäsiipisiä, pyöriväsiipisiä, palloja tai ilma-laivoja. Näistä miehittämättömistä ilma-alustyypeistä käytetyimpiä ovat pyöriväsiipiset ja kiinteäsiipiset ilma-alukset. [Selvitys RPAS-menetelmistä 2018, 4.]

Miehittämättömien ilma-alusten koko vaihtelee grammoja painavista ilma-aluksista tuhansia kilogrammoja painaviin ilma-aluksiin. Lisäksi miehittämättömien ilma-alusten toimintaetäisyydet ja lennätyskorkeudet voivat vaihdella metreistä kilometreihin [Honkavaara ym. 2018]. Pienen kokoluokan miehittämättömiä ilma-aluksia käytetään pääsääntöisesti yksityiskäytössä. Viranomaiset sekä muut ammattilaiset eri teollisuuden aloilla suosivat kehittyneempiä laitteita. Suurimmat miehittämättömät ilma-alusjärjestelmät on suunnattu erityisesti maanpuolustuksen, rajaturvallisuuden ja merialueiden valvonnan tarpeisiin, joiden toimintaetäisyydet ja lentoajat vastaavat miehitettyjen ilma-alusten toimintaa [Miehittämättömät ilma-alukset]. Tyypillisesti siviililentotoiminnassa käytettävät miehittämättömät ilma-alukset ovat 1 – 25 kg painavia ja lentotoiminta tapahtuu suorassa näköyhteydessä [Honkavaara ym. 2018].

Käytettävä miehittämätön ilma-alusjärjestelmä tulisi valita kohteen ja käyttötarkoituksen mukaan, sillä erilaiset ilma-alusmallit soveltuvat paremmin tietynlaisiin käyttötarkoituksiin kuin toiset [Honkavaara ym. 2018]. Kuvassa 1. on esitetty käytetyimpiä miehittämättömiä ilma-alustyyppisiä sekä lentotoiminnan ohjauksessa käytettävä kauko-ohjain.

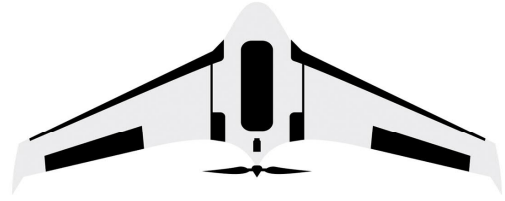
## Quadcopter

*UA with 4 extensions, each with a propeller*

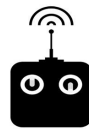


## Fixed-Wing

*UA with aeroplane like wings*



## RC - Controller



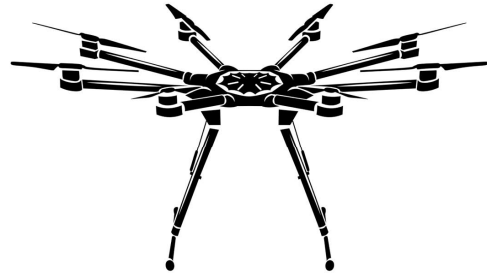
## Single-Rotor

*UA like traditional helicopters*



## Multi-Rotor

*UA with more than two lift-generating rotors*



Kuva 1. Miehitämättömät ilma-alukset. Teemu Alaluusua

Miehitämättömillä ilma-aluksilla on selkeitä eroavaisuuksia ominaisuuksissa ja niiden myötä käyttötarkoituksissa, jotka on esitetty tarkemmin seuraavissa alaluvuissa 2.2.1 sekä 2.2.2.

### 2.2.1 Pyöriväsiipiset ilma-alukset

Pyöriväsiipiset ilma-alukset jaotellaan roottoreiden lukumäärän perusteella yksiroottoriin- ja multiroottoriin ilma-aluksiin [Types of Drones 2020]. Pyöriväsiipiset ilma-alukset ovat optimaalisia matalanopeuksisissa kuvaustarkoituksissa, joissa halutaan tarkastella tiettyä kohdetta tai aluetta. Pyöriväsiipisellä ilma-aluksella on mahdollista myös leijua halutussa paikassa ja tarkastella pidemmän aikaa haluttua kohdetta, jolloin laitteeseen kiinnitetyillä sensoreilla saadaan tarkempaa tietoa kuvattavasta kohteesta. Lisäksi pyöriväsiipisen ilma-aluksen etuna on pystysuora nousu ja laskeutuminen, joka mahdollistaa ilma-aluksen lentoonlähden ja laskeutumisen ahtaissakin paikoissa. [Honkavaara ym. 2018; Selvitys RPAS menetelmistä 2018, 4.]

Yksiroottoriset miehittämättömät ilma-alukset engl. Single Rotor (kuva 1.) ovat rakenteellisesti samankaltaisia kuin miehittetyt helikopterit. Yksiroottorisen miehittämättömän ilma-aluksen toiminta perustuu yhteen nostetta tuottavaan roottoriin sekä pienempään ilma-aluksen pyrstöpuomin päässä olevaan roottoriin, jolla ohjataan ilma-aluksen suuntaa. Yksiroottorisen miehittämättömän ilma-aluksen etuna multiroottoriin miehittämättömiin ilma-aluksiin on vakaampi lennätys sekä pidemmät lennätysajat. Pienempi roottoreiden lukumäärä edesauttaa ilma-aluksen lennätysten aikaista vakautta sallien pidempien roottorin lapojen hitaamman pyörimisen, ja mahdollistaen pienemmän energian kulutuksen. [Types of Drones 2020; Multi-rotor vs. Single-rotor 2017.]

Miehittämättömistä ilma-aluksista pyöriväsiipiset multikopterit engl. Multi Rotor (kuva 1.) ovat tyypillisimpiä kauko-ohjattavia ilma-aluksia. Multikopterit voidaan jaotella edelleen roottoreiden lukumäärän perusteella. Multikopterimalleja ovat mm. kolmeroottoriset trikopterit, neliroottoriset nelikopterit, kuusiroottoriset heksakopterit ja kahdeksan roottoriset oktokoopterit. Nelikopteri, engl. Quadcopter (kuva 1.), on markkinoiden yleisin ja käytetyin miehittämätön ilma-alusmalli. [Types of Drones 2020.]

Multikopterin toiminta perustuu laitteen pyörivien roottoreiden nosteeseen. Multikoptereiden roottoreista osa pyörii myötäpäivään ja osa vastapäivään kumotakseen roottorin synnyttämän vääntövoiman. Multikopterin roottoreiden pyörimisnopeuksia ja -suuntia muuttamalla ilma-alus saadaan kääntymään ja kallistumaan haluttuun suuntaan. Tavanomaisesti multikopterin runko on valmistettu kevyistä komposiittimateriaaleista laitteen

kokonaispainon keventämiseksi ja ohjattavuuden helpottamiseksi. [Corrigan 2019; Multi-rotor vs. Single-rotor 2017.]

### 2.2.2 Kiinteäsiipinen ilma-alus

Kiinteäsiipinen ilma-alus, engl. Fixed Wing (kuva 1.), muistuttaa ulkomuodoltaan miehitettyä lentokonetta. Kiinteäsiipisen ilma-aluksen toiminta perustuu ilma-aluksen siipien nosteeseen sekä roottorin työntävään tai vetävään voimaan. Toisin kuin pyöriväsiipiset ilma-alukset, kiinteäsiipiset ilma-alukset eivät kuluta juurikaan energiaa. Tämän vuoksi kiinteäsiipiset ilma-alukset pysyvät ilmassa pidemmän lentoajan. Lentoonlähtöä varten kiinteäsiipinen ilma-alus tarvitsee kiitoradan tai katapultin. Ilma-aluksen laskeutumiseen tarvitaan kiitorata ja myös laskuvarjon tai verkon käyttö on mahdollista. Kiinteäsiipisellä ilma-aluksella ei ole mahdollista leijua halutussa paikassa pyöriväsiipisten ilma-alusten tavoin. Kiinteäsiipinen ilma-alus on suurten pinta-alojen kartoitukseen sopiva työkalu nopeutensa ansiosta. [Selvitys RPAS-menetelmistä, 5; Honkavaara ym. 2018; Types of Drones 2020.]

### 2.3 Miehittämätön ilma-alusjärjestelmä

Miehittämätön ilma-alusjärjestelmä koostuu kahdesta osasta, miehittämättömästä ilma-aluksesta ja ohjausjärjestelmästä. Miehittämättömän ilma-aluksen ohjausjärjestelmään kuuluvat ilma-aluksen hyötykuorma, kauko-ohjaaja sekä maa-asema. [Honkavaara ym. 2018.]

Hyötykuormalla tarkoitetaan ilma-alukseen kiinnitettyä tai asennettua välinettä, mekanismia, laitetta, osaa, kojetta, lisälaitetta tai tarviketta, jota ei ole tarkoitettu käytettäväksi ilma-aluksen toimintaan tai ilma-aluksen ohjaukseen lennon aikana. Hyötykuormalla ei tarkoiteta rungon, moottorin tai potkurin osaa [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, 2 artikla osa 12]. Hyötykuomaa ovat mm. erilaiset kohdetta mittaavat havainnointilaitteet eli sensorit, jotka tekevät ilma-aluksesta työkalun. Miehittämättömien ilma-alusten tärkeimpänä sensorina on kamera, jonka avulla on mahdollista ottaa ilmakuvia ja videotallenteita [Honkavaara ym. 2018].

Maa-asema koostuu vähimmillään kauko-ohjaimesta, jonka avulla miehittämätöntä ilma-alusta voidaan ohjata ja lähettää komentoja. Maa-asemaan sisältyy tietokone, johon ilma-aluksen ja kauko-ohjaimen välinen tieto lähetetään ajantasaisesti. Tietokoneelle lähetetään lentotoiminnan aikana reaaliaikaista tietoa ilma-aluksen toiminnasta ja liikkeistä eli telemetriatietoa. Telemetriatiedoista selviävät mm. ilma-aluksen nopeus, sijainti ja suunta. Miehittämätöntä ilma-alusta ohjataan radiotaajuudella ohjainlaitteen radiolähettimien ja -vastaanottimien avulla. [Honkavaara ym. 2018; Corrigan 2019.]

### 3 Miehintämättömän ilmailun lainsäädäntö

Ilmailu on kansainvälisesti tarkoin säännelty liikenteen ala, jonka sääntely perustuu keskeisesti kansainvälisiin sopimuksiin. Suomessa keskeisin ilmailua koskeva säädös on ilmailulaki (864/2014). Suomessa miehintämättömien ilma-alusten käyttöä valvoo ja sääntelee liikenne- ja viestintävirasto Traficom, joka on palveleva liikenteen ja viestinnän lupa-, rekisteri- ja valvontaviranomainen [Liikenne- ja viestintävirasto Traficom]. Tämän lisäksi Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on antanut määräyksen (OPS M1-32 kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun), jota sovelletaan kauko-ohjattujen ilma-alusten ja lennokkien lennättämiseen Suomessa. [Hallituksen esitys HE 223/2018 vp, luku 2.1.2.]

Miehintämättömän ilmailun lainsäädäntö on muuttumassa, kun uusi miehintämättömästä ilmailua koskeva EU-lainsäädäntö otetaan käytäntöön. Uusi EU-jäsenmaita velvoittava miehintämättömästä ilmailua koskeva lainsäädäntö astuu vaiheittain voimaan kaikissa EU:n jäsenvaltioissa tammikuusta 2021 alkaen. Uuden lainsäädännön myötä EU:n jäsenmaissa on mahdollista toteuttaa lento-operaatioita Euroopan unionin lentoturvallisuusviraston (EASA) laatimien yhteisten pelisääntöjen mukaan.

Rakennusallalla miehintämättömien ilma-alusjärjestelmien käytössä menetellään vallitsevan lainsäädännön mukaan. Tässä luvussa tarkastellaan nykyistä ja muuttuvaa lainsäädäntöä rakennusalan toimihenkilöiden ja työmaalla tapahtuvan lentotoiminnan näkökulmasta.

#### 3.1 Miehintämättömästä lentotoimintaa koskeva lainsäädäntö

Liikenteen turvallisuusvirasto Traficom antama määräys (OPS M1-32 kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun) tuli voimaan 7.12.2018. Tätä määräystä sovelletaan kauko-ohjattujen ilma-alusten lennättämiseen Suomessa [OPS M1-32, luku 1]. Lentotoiminnassa on Traficomian antaman määräyksen (OPS M1-32) lisäksi otettava huomioon myös muu lainsäädäntö mm. säädökset yksityisyyden suojasta, kotirauhasta ja tietosuojasta.

Lentotoiminnassa, jossa käytetään miehittämättömiä ilma-aluksia, tulee noudattaa kansallisia turvallisuus- ja toimintasääntöjä. Lentotoiminnan aikana ei saa aiheuttaa vaaraa ihmisille tai omaisuudelle eikä toiminta ei saa aiheuttaa häiriötä lentoturvallisuudelle. Lisäksi lentotoiminnassa on otettava huomioon yksityisyyden suoja ja tietosuojat sekä kunnioitettava muiden yksityisyyttä. Lentotyötoiminnassa on oltava vakuutus, joka kattaa onnettomuustapauksissa kolmannelle osapuolelle aiheutuneet vahingot. [Ammattikäyttäjien turvallisuus 2020; Ammattikäyttäjien vakuutus ja korvausvastuu 2020; Yksityisyyden suoja/tietosuojat ammattilaisille 2018.]

Nykyisin voimassa oleva määräys OPS M1-32 on tarkoitus muuttaa määräaikaiseksi 30.6.2021 asti. Tämän jälkeen määräyksen soveltamisalaa tarkennetaan vastaamaan (EU) 2019/947 asetuksen siirtymäaikojen soveltamisalaa. Asetuksen (EU) 2019/947 14 artiklan mukainen rekisteröitymisvelvollisuus tulee kuitenkin koskemaan kaikkia siinä tarkoitettuja miehittämättömän ilma-aluksen käyttäjiä 1.1.2021 alkaen. Uusi EU asetus 2019/947 säännöistä ja menetelmistä miehittämättömän ilma-aluksen käytössä tulee edellyttämään jäsenvaltioilta toimenpiteitä miehittämättömän ilmailun kielto- ja rajoitusalueiden sekä vapaammin mahdollistavien ilmatilavyöhykkeiden perustamisessa. Tulevaisuudessa säädökset tarkentuvat uuden kansallisen ilmailuviranomaisen, Traficomin tekemän määräyksen myötä. [OPS M1-32, Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun (siirtymäkauden edellyttämät muutokset) 2020.]

### 3.1.1 Lentotyötoiminta

Miehittämättömien ilma-alusten käyttö rakennusalan työtehtävissä on pääosin lentotyötoimintaa, jolla tarkoitetaan kaikkea muuta toimintaa kuin harraste- ja urheilutoimintaa. Lentotyötoiminnalle on asetettu seuraavia vaatimuksia, jotka lentotoimintaa harjoittavan tulee täyttää. [RPAS Lentotyö 2020.]

Ennen lentotoiminnan aloittamista miehittämättömän ilma-aluksen käyttäjän tulee tehdä toimijailmoitus Traficomille [RPAS lentotyö 2020]. Käyttäjän on ilmoitettava toimijailoituksessa tiedot käyttäjästä, käytettävän ilma-aluksen perustiedot, lentotoiminnan laatu ja laajuus. Lisäksi on ilmoitettava tieto siitä, aiotaanko lentotoimintaa harjoittaa tiheästi asutulla alueella tai väkijoukon yläpuolella [OPS M1-32, luku 3.1.2]. Miehittämättömän ilma-aluksen käyttäjän tulee hakea vastuuvakuutus, joka kattaa kolmansien osapuolien

vahinkoja onnettomuuden sattuessa. Käytettävä ilma-alus tulee merkitä tarralla, josta käy ilmi vastuullisen henkilön yhteystiedot. [RPAS lentotyö 2020.]

Lentotoiminnan aikana on noudatettava OPS M1-32 asetettuja määräyksiä lentotoiminnalle, pois lukien poikkeusluvalla saadut lievennykset. Miehitettömän ilma-aluksen kauko-ohjaajan on kyettävä käyttämään ilma-alusta turvallisesti [OPS M1 32, luku 3.1.6]. Lentotoiminta on suoritettava siten, ettei siitä aiheutu vaaraa ulkopuolisille ihmisille tai heidän omaisuudelle [OPS M1-32, luku 3.1.4]. Lentotoiminta ei saa vaarantaa muuta lentotoimintaa eikä estää hätä-, onnettomuus-, pelastus- tai vastaavan poikkeustilanteen toimintaa [OPS M1-32, luku 3.1.5]. Lentotoiminnasta vastaavalta henkilöltä edellytetään 18 vuoden ikää [OPS M1 32, luku 3.1.6].

Miehitettömään ilma-alukseen tulee olla joko suora näköyhteys (VLOS) tai avustettu näköyhteys (EVLOS) koko lentotoiminnan ajan [OPS M1 32, luku 3.1.11 b]. Maksimi lennätyshöheus lentotoiminnassa on 150 metriä maan tai vedenpinnasta. Korkeusrajoitus ei koske kiinteän esteen läheisyydessä tapahtuvaa lentotoimintaa, mikäli toiminnalle on esteen omistajan lupa. Tämä mahdollistaa lennättämisen 15 m estettä korkeammalla [OPS M1-32, luku 3.1.12 e]. Miehitettömän ilma-aluksen suurin sallittu lentoonlähtömassa (MTOM) on 25 kg alueella, jota ei ole kielletty muulta ilmailulta [M1-32, luku 3.1.12 a]. Kaupunkialueella suurin sallittu lentoonlähtömassa (MTOM) on 3 kg. Kaupunkialueella tapahtuva lentotoiminta tulee tapahtua suorassa näköyhteydessä (VTOL) ja ilma-aluksen kauko-ohjaajan tulee olla tutustunut lennätyalueeseen sekä varmistunut käytettävän laitteen toimintakunnosta ja lennätyksen turvallisuudesta ennen lentotoiminnan aloittamista. [OPS M1-32, luku 3.1.17.]

Lentotoiminnan jälkeen miehitettömän ilma-aluksen käyttäjän tulee kirjata lennosta vaaditut tiedot lentopäiväkirjaan. Lentopäiväkirjan tiedot tulee säilyttää kahden vuoden ajan. Lentopäiväkirjaan tulee kirjata seuraavat tiedot:

- lennon päivämäärä sekä alkamis- ja päättymisaika
- lähtö- ja laskeutumisaika
- kauko-ohjaaja
- ilma-aluksen tiedot
- käytetty näköyhteys (VLOS tai BVLOS).

[OPS M1-32, luvut 3.1.9 ja 3.1.10; RPAS lentotyö 2020.]

Mikäli lentotoiminnassa tapahtuu vahinko tai läheltä piti -tilanne, tulee asiasta laatia raportti Traficomille. [OPS M1-32, luku 3.1.18.]

Mikäli lentotoiminta tapahtuu näköyhteyden ulkopuolella (BVLOS), alle 50 m vaakasuoralla etäisyydellä väkijoukosta tai sen yläpuolella tulee lentotoiminnasta laatia kirjallinen toimintakuvaus, turvallisuusarviointi ja toimintaohjeistus. Nämä kirjallisesti laaditut dokumentit tulee toimittaa Traficomille ennen toiminnan aloitusta. Samaa toimintamenettelyä käytetään myös tapauksissa, joissa miehittämättömän ilma-aluksen massa- tai korkeusraja ylittyy. [RPAS lentotyö 2020.]

Kirjallisesti laadittavan toimintakuvauksen tulee sisältää tiedot toiminta-alueesta, toiminnan kestosta, käytettävistä lentokorkeuksista ja ilma-aluksista sekä lennätystavasta. Toimintakuvauksen pohjalta tulee laatia turvallisuusarvio lentotoiminnasta. Turvallisuusarviossa tulee arvioida lentotoiminnan mahdolliset riskit sekä kuvata toimintamenettelyt riskien vähentämiseksi. Lentotoiminnan mahdollisten riskien arvioinnissa tulee arvioida tapahtumien todennäköisyyttä ja perustella arviot. Lentotoiminnan vaaratilanteet tulee miettiä maa- ja ilmariskille. Huomioitavia käynnistäviä tekijöitä vaaratilanteille ovat:

- miehittämättömän ilma-aluksen tekniset ongelmat
- ulkoisten järjestelmien häiriöt
- käyttäjälähtöiset virheet
- muut ilma-alukset
- epävakaat sääolosuhteet.

[Turvallisuusarviointi ohje.]

Arvioitu riski koostuu onnettomuuden todennäköisyydestä ja seuraamusten vakavuudesta. Käynnistävien tekijöiden, vaaratilanteiden ja seuraamusten listauksesta sekä arvioista kootaan riskiarvio, jossa on listattuna merkittäviksi arvioidut riskit. Liian suuriksi arvioituihin riskeihin täytyy löytää suojaavat menettelyt, joilla turvallisuus säilytetään hyväksyttävänä. Riskiä voidaan vähentää, joko pienentämällä onnettomuuden todennäköisyyttä tai seuraamusten vakavuutta. Ehkäisevillä suojauksilla tarkoitetaan vaaratilanteita vähentäviä menettelyjä ja palauttavilla suojauksilla tarkoitetaan vaaratilanteen jälkeisiä suojauksia, jotka vähentävät seuraamuksia. Yleisiä ehkäiseviä suojauksia ovat toiminta-alueen tai toiminta-ajan rajoittaminen niin että lähistöllä on vähemmän ihmisiä tai muuta ilmailua. Palauttavia suojauksia ovat esimerkiksi laskuvarjo tai ihmisten suojaaminen rakennelmalla. Riskiarvion lopputuloksen tulisi olla perustellusti hyväksyttävä ennen kuin toiminta voidaan aloittaa, jos näin ei ole tuleen toimijan muuttaa tehtävän menettelyjä, riskinvähennystoimia tai todeta toiminnan olevan liian riskialtista. [Turvallisuusarviointi ohje.]

Toimintakuvauksen ja turvallisuusarvion jälkeen laaditaan toimintaohjeistus. Toimintaohjeistuksessa laaditaan lyhyt tarkastuslista tehtävistä toimenpiteistä kauko-ohjaajalle tai muulle henkilöstölle normaalitoiminnassa ja häiriötilanteessa. Toimintaohjeistuksessa on otettava huomioon riskiarvioinnissa arvioidut riskit ja niiden välttämiseksi tehtävät toimenpiteet toimintaan osallistuvien osalta. [Turvallisuusarviointi ohje.]

Näiden kirjallisten dokumenttien tarkoituksena on, että miehittämättömän ilma-aluksen käyttäjä tunnistaa toiminta-alueensa vaarat, arvioi toiminnan riskit ja määrittää toimintaohjeistuksen, jossa toiminnan riskit ja niiden vähentämiskeinot on huomioitu. Kirjallinen dokumentti voidaan laatia toimintatyyppikohtaisesti, jolloin toimintakuvauksen mukaisessa lentotoiminnassa voi käyttää samaa turvallisuusarviota sekä toimintaohjeistusta. Dokumentit tulee säilyttää vähintään kolmen kuukauden ajan. [Turvallisuusarviointi ohje.]

Miehittämättömän ilma-aluksen lennättäminen ilman suoraa näköyhteyttä (BVLOS) vaatii aina erikseen varatun alueen ennen toiminnan aloittamista. Hakemus ilmatilan varauksesta tulee toimittaa Traficomille vähintään 8 viikkoa ennen toiminta-ajankohtaa. ”Ilmatilan varauksella luodaan tilapäinen vaara-alue, josta julkaistaan lentäjiä varoittava kartta ja ilmailutiedote NOTAM”. [RPAS lentotyötoiminta 2020.]

Mikäli lentotoiminta tapahtuu alle 50 metrin vaakasuoralla etäisyydellä väkijoukosta tai sen yläpuolella tulee lentotoiminnassa huomioida ilma-aluksen suurin lentoonlähtömassa (alle 7 kg), käytön vaatima näköyhteys (VTOL) sekä toiminta hätätilanteessa ennen toiminnan aloitusta. Hätätilanteessa laskeutuminen tulee suorittaa siten, että se ei aiheuta merkittävää vaaraa ulkopuolisille ihmisille tai heidän omaisuudelle. [OPS M1-32, luku 3.1.17; RPAS lentotyö 2020.]

### 3.1.2 Yksityisyyden suoja ja tietosuoja

Yksityisyyden suoja ja tietosuoja ovat tunnustettuja perusoikeuksia Euroopassa. ”Eurooppalaiset ja kansalliset lainsäädännöt suojelevat meitä ulkopuoliselta häirinnältä, kuten myös miehittämättömien ilma-alusten aiheuttamalta häirinnältä” [Yksityisyyden suoja/tietosuoja ammattilaisille 2018].

Miehittämättömän ilma-aluksen lennätystoiminnassa on kunnioitettava muiden ihmisten yksityisyyttä ja kotirauhaa. Kuvia, videoita tai äänitallenteita ihmisistä heidän kotonaan, pihassaan tai autossaan ilman asianomaisten lupaa on kiellettyä. [Kunnioita yksityisyyttä 2019; Yksityisyyden suoja/tietosuoja ammattilaisille 2018.]

Julkisilla paikoilla kuvaaminen on sallittua. Julkisia paikkoja ovat mm. metsät, yleiset paikat sekä yleisölle avoimet julkiset tilat [Kunnioita yksityisyyttä 2019]. Rakennustyömaa luokitellaan yleisöltä suljettuihin paikkoihin. Yleisöltä suljetuissa paikoissa kuten rakennuksessa, huoneistossa tai aidatulla piha-alueella oleskelevaa henkilöä ei saa kuvata teknisellä laitteella ilman lupaa [RL 19.12.1889/39 2020, 24 luku, 6 §]. Pääsääntöisesti rakennustyömaata ja rakenteita voi kuvata ilman lupaa, mutta jossain tapauksissa voidaan vaatia erillistä kuvauslupaa työmaa-alueella kuvaamiseen.

Miehittämättömän ilma-aluksen ammattikäyttäjien tai sen palveluja käyttävien asiakkaiden on tiedostettava tietosuojavaatimukset, vaikka toiminnassa ei tarkoituksellisesti kerättäisikään henkilötietoja. Kaikessa kuvaustoiminnassa, johon kuuluu henkilötietojen kerääminen, on noudatettava lakisääteisiä velvoitteita ja rajoitteita. [Yksityisyyden suoja/tietosuoja ammattilaiselle 2018.]

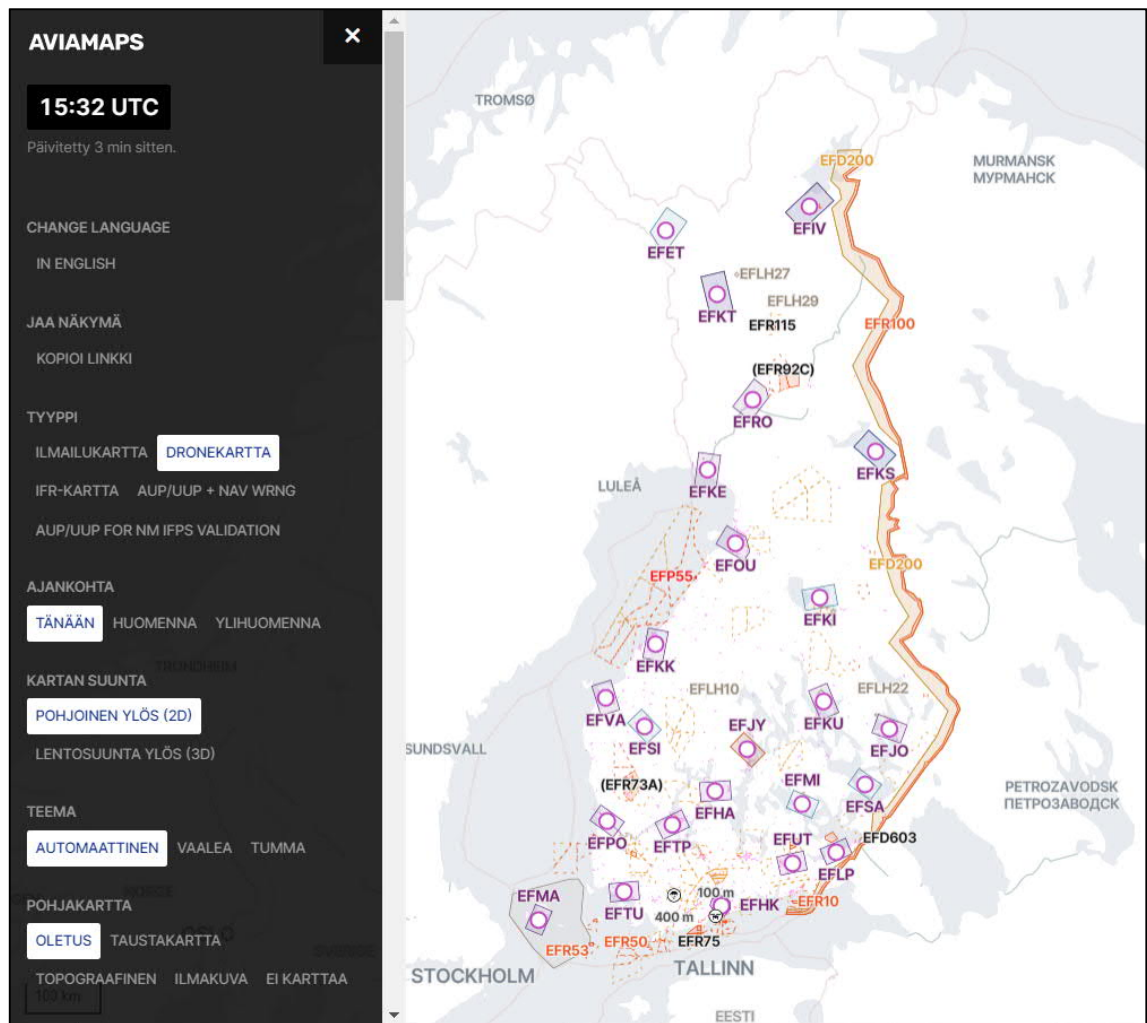
### 3.1.3 Lentokielto- ja rajoitusalueet

Suomessa on useita ilmailulta kiellettyjä ja rajoitettuja alueita. Tällaisia alueita ovat mm. lentoasemat, rajavyöhykkeet sekä valtionhallinnolle tärkeät alueet [Älä lennä täällä 2020]. Suomen ilmatilan kielto- ja rajoitusalueita hallinnoi Air Navigation Services Finland Oy (ANS Finland). ANS Finland on Suomen valtion omistama erityistehtäväyhtiö, jonka vastuulla on ylläpitää ja kehittää Suomen kattavaa lennonvarmistusjärjestelmää. [Traffic Management Finland.]

Päivitetyt tiedot Suomen ilmatilan kielto- ja rajoitusalueista on nähtävissä ilmatilan käytöstä kertovassa virallisessa Aviamaps -palvelussa. Aviamaps on digitaalinen ilmailukartta- ja lennonsuunnittelupalvelu, joka on kohdennettu myös miehittämättömään ilmailuun. Ilmatila-alueiden havainnoinnin lisäksi Aviamaps-palvelun kautta on mahdollista tehdä lennätysilmoitus. Aviamaps-palvelu on käytettävissä internetsivuston

(www.aviamaps.com) lisäksi myös mobiilisovelluksena Google Play- tai App Store -sovelluskaupasta. [Aviamaps; Älä lennä täällä 2020.]

Aviamaps Ilmailukartassa (kuva 2.) Suomen itäraja on merkitty ADIZ-rajavyöhykkeeksi. ADIZ-rajavyöhykkeellä (Air Defence Identification Zone: ADIZ) lennättäminen edellyttää toimintailmoituksen tekemistä lennonjohdolle. ADIZ-rajavyöhykkeen rajoitusalueella (EFR100) lennättäminen vaatii aina poikkeusluvan Puolustusvoimilta. [Älä lennä täällä 2020.]



Kuva 2. Aviamaps Ilmailukartta

Miehittämättömillä ilma-aluksilla tehtävässä lennätystoiminnassa lentoasemien ilmatilat ja lähialueet kuuluvat rajoitettuihin ilmatila-alueisiin. Lennätystetäisyyden ollessa lentoasemasta pienempi kuin 1 km lentotoiminta tarvitsee luvan lentoaseman lennonjohdolta. Lentoasemilla on erikseen määritellyt lähialueet, jotka on esitetty ilmailukartoissa (esim. Aviamaps). Lentokentän lähialueilla lentämiselle on olemassa rajoitteita ilma-aluksen lennätyskorkeudelle, jonka ylittämiseksi voidaan hakea lupaa lentoaseman lennonjohdolta. [Älä lennä täällä 2020.]

### 3.2 Muuttuva miehittämätöntä lentotoimintaa koskeva lainsäädäntö

Miehittämätöntä ilmailua koskevat EU-asetukset julkaistiin vuonna 2019 ja ne tullaan ottamaan käytäntöön vaiheittain 1. tammikuuta 2021 alkaen. Nämä EU-asetukset tuovat näkyvimpana muutoksena voimaan rajoitetummat säännöt lentotoiminnalle Euroopan unionissa. Tämän tarkoituksena on yhdenmukaistaa Euroopan Unionin jäsenmaiden miehittämätöntä ilmailua koskeva lainsäädäntö. EU:n yhteisten sääntöjen myötä miehittämätön ilmailu tulee selkeytymään sekä mahdollistamaan vapaampaa miehittämätöntä ilmailua EU:n alueella, kun lainsäädäntö ja toimintaohjeet pysyvät muuttumattomina maasta riippumatta. [EU dronesäännöt 2020; Lahdenperä 2019.]

Suomessa kauko-ohjattua lentotoimintaa tullaan säätämään Euroopan unionin asettamalla miehittämättömiä ilma-aluksia koskevilla EU-asetuksilla:

- Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 947/2019, säännöistä ja menetelmistä miehittämättömien ilma-alusten käytössä.
- Komission delegoitu asetus (EU) 945/2019, miehittämättömistä ilma-alusjärjestelmistä ja kolmansien maiden miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttäjistä.

Suomen toimivaltaisen viranomaisen Traficomien velvollisuutena on huolehtia EU:n miehittämättömien ilma-aluksia koskevien asetusten täytäntöönpanon valvonnasta. Suomen ilmailuliikenteestä vastaava viranomaisen Traficom huolehtii miehittämättömien ilma-alusten kauko-ohjaajien rekisteröinnistä, verkkoteoriakoulutuksesta, kauko-ohjaajien kelpoisuustodistusten myöntämisestä sekä muuttamisesta. Traficomien vastuulla on

myös tiedottaa ja ohjeistaa miehittämättömillä ilma-alusjärjestelmillä harjoitettavan toiminnan turvallisuutta sekä UAS-ilmatilavyöhykkeitä koskevia tietoja. [komission täytäntöönpanoasetus artikla 18.]

### **Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 947**

EU:n asetukset miehittämättömien ilma-alusten lentotoiminnasta, säännöistä ja menetelmistä on esitetty komission täytäntöönpanoasetuksessa (EU) 947/2019, säännöistä ja menetelmistä miehittämättömien ilma-alusten käytössä. Täytäntöönpanoasetus koostuu kahdesta asiakirjasta, komission täytäntöönpanoasetuksista sekä asetusten liitteestä. Täytäntöönpanoasetuksissa on esitetty:

- Lentotoiminnan erilaiset toimintakategoriat.
- Miehittämättömien ilma-alusten käytön säännöt ja menetelmät.
- Kauko-ohjaajan pätevyyttä koskevat säännöt ja menettelyt.
- Miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien lentokelpoisuusvaatimukset.
- Lentotoiminnan riskien arviointi.
- Lentotoiminta rajavyöhykkeillä ja rekisteröintivaltion ulkopuolella.
- Miehittämättömien ilma-alusjärjestelmän käyttäjien rekisteröinti.
- Toimivaltaisen viranomaisen tehtävät.

[Franken 2019; Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947.]

Suurimpana muutoksena aiempaan lainsäädäntöön, tämä miehittämättömiä ilma-aluksia koskeva EU-asetus velvoittaa jokaisen lennättäjän rekisteröitymään oman EU -kotimaansa valvovalle ilmailuviranomaiselle. Rekisteröitymisen lisäksi jokaisen miehittämättömän ilma-aluksen pilotin tulee täyttää lennättämänsä ilma-aluksen toimintakategorian koulutusvaatimukset. [EU dronesäännöt 2020; Lahdenperä 2019.]

Euroopan unionin miehittämättömiä ilma-aluksia koskevissa asetuksissa lentotoiminta jaetaan kolmeen eri toimintakategoriaan lennätystoiminnan riskien sekä ilma-aluksen ominaisuuksien perusteella. Toimintakategoriat ovat **avoin**, **erityinen** ja **sertifioitu**. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, artikla 3.]

Matalariskisessä (avoin) toimintakategoriassa miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien lennätystoiminta suoritetaan ennalta määriteltyjen ohjeiden mukaisesti, eikä niihin sovelleta muita toimilupavaatimuksia viranomaisilta ennen lentoja. Avoin toimintakategoriassa toimivien lennättäjien tulee kuitenkin rekisteröityä Suomen valvovalle ilmailuviranomaiselle sekä täyttää vaadittavat koulutusvaatimukset. [Drone-infotilaisuus 2020; Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, artikla 3, 4.]

Keskisuuren riskin (erityinen) toimintakategoriassa lentotoiminta perustuu riskinarvioinnille, jonka pohjalta tulee tehdä joko ilmoitus tai hakea toimintalupa valvovalta viranomaiselta. Erityisessä toimintakategoriassa lentotoiminta on joustavampaa kuin avoin toimintakategoriassa. [Drone-infotilaisuus 2020; Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, artikla 3, 5.]

Korkean riskin (sertifioitu) toimintakategoriassa miehittämättömien ilma-aluksien lentotoiminta vastaa lentoyhtiöiden toimintaa. Sertifioidun toimintakategorian ilma-aluksilla, piloteilla sekä toimijoilla tulee olla viranomaisen sertifiointi. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, artikla 3, 6 ja 14; Drone-infotilaisuus 2020.]

Uusi EU-lainsäädäntö tulee vaiheittain voimaan ja se tulee kattamaan toistaiseksi vain avoimen ja erityisen toimintakategorian. Sertifioitu toimintakategorian lainsäädäntö on vielä kehitteillä ja astuu voimaan myöhempänä ajankohtana. Rakennusalalla miehittämättömien lentotoiminta tapahtuu tyypillisesti avoimen ja erityisen toimintakategorian puitteissa. [Drone-infotilaisuus 2020.]

### **Komission delegoitu asetus (EU) 945**

Komission delegoitu asetus (EU) 945/2019, miehittämättömistä ilma-alusjärjestelmistä ja kolmansien maiden miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttäjistä koostuu komission täytäntöönpanoasetuksen (EU) 2019/947 tavoin kahdesta asiakirjasta, komission delegoiduista asetuksista sekä asetusten liitteestä. Komission delegoidussa asetuksessa on esitetty seuraavat asiat:

- tuotteiden vaatimukset
- talouden toimijoiden velvollisuudet

- tuotteiden vaatimuksenmukaisuus
- EU:n ulkopuolisten maiden miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttäjiä koskevat vaatimukset
- etätunnistus.

[Franken 2019; Komission delegoitu asetus (EU) 2019/945.]

Komission delegoidun asetuksen näkyvimpänä muutoksena miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttäjille tulee avoin toimintakategoriassa käytettävien miehittämättömiä ilma-alusjärjestelmiä koskevat vaatimukset. Miehittämättömää ilma-alusjärjestelmää koskevat vaatimukset tulevat voimaan siirtymäajan kuluttua. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, 22 artikla.]

### 3.2.1 Avoin toimintakategoria

Avoin toimintakategoriassa miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien lennätystoiminta suoritetaan ennalta määrättyjen ohjeiden mukaisesti. Avoin toimintakategoriassa harjoitettavassa toiminnassa ei edellytetä ilmailuviranomaiselta ennakkoon haettavaa toimintalupaa eikä toimintailmoitusta ennen lentotoiminnan aloittamista. Avoin toimintakategoriassa toimivien kauko-ohjaajien tulee kuitenkin täyttää vaadittavat koulutusvaatimukset sekä rekisteröityä Suomen valvovalle ilmailuviranomaiselle Traficomille. [Drone-infotilaisuus 2020; Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947. artikla 3, 4.]

Yleisenä säännöksenä avoin toimintakategoriassa on asetettu lentotoiminnan tapahtuvan suoralla näköyhteydellä (VLOS), jossa kauko-ohjaajalla tulee olla suora näköyhteys miehittämättömään ilma-alukseen. VLOS-näköyhteyden lisäksi toimintakategoriassa voidaan lennättää myös EVLOS-näköyhteydellä, jossa kauko-ohjaaja käyttää avustavaa tähtystäjää havainnoimaan lennätettävän ilma-aluksen lennätystä. Poikkeuksena VLOS ja EVLOS -vaatimukseen on lennätettäessä kauko-ohjattava ilma-alusta seuraa minua -tilassa, jossa kauko-ohjattava ilma-alus seuraa jatkuvasti kauko-ohjaajaa määrättyllä alueella.

Toimintakategorian maksimi lennätyskorkeudeksi on asetettu 120 metriä lähimmästä maanpinnan tasosta. Määrätystä maksimi lentokorkeudesta huolimatta, keinotekoisen yli 120 metriä korkean esteen voi avoimessa toimintakategoriassa ylittää 15 metriä korkeammalta pitäen 50 metrin vaakasuoran etäisyyden esteeseen. Keinotekoisen esteen

ylitys vaatii kuitenkin luvan esteen omistajalta. Suurin sallittu lentoonlähtömassa eli MTOM (Maximum Takeoff Mass) on tässä toimintakategoriassa alle 25 kg. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, Liite A osa UAS.OPEN.010 Yleiset säännökset & 4 artikla.]

Avoin-toimintakategoriassa vaarallisten aineiden kuljettaminen, esineiden pudottaminen sekä (autonomiset) ilman kauko-ohjaajaa tapahtuvat lennot ovat kielletty. Vaarallisilla aineilla tarkoitetaan ilma-aluksen hyötykuormassa kuljetettavia esineitä tai aineita, jotka voivat aiheuttaa vahinko- tai onnettomuustapauksessa vaaraa terveydelle, turvallisuudelle, omaisuudelle tai ympäristölle. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, 4 & 2 artikla.]

Toiminta miehittämättömillä ilma-alusjärjestelmillä kategoriassa "avoin" jaetaan kolmeen alakategoriaan A1, A2 ja A3 toimintarajoitusten, kauko-ohjaajaa koskevien vaatimusten ja miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän teknisten vaatimusten perusteella. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947. Liite (toiminta miehittämättömillä ilma-alusjärjestelmillä kategoriassa "avoin" A osa.)]

Avoin-toimintakategorian yleisien säännösten lisäksi alakategorioilla on ennalta määrättyjä toimintarajoituksia, jotka koskevat pääasiassa suurinta sallittua lentoon lähtömassaa (MTOM) sekä kauko-ohjattavan ilma-aluksen etäisyyksiä lennätystoiminnan ulkopuolisiin ihmisiin lennätystilanteissa. Taulukossa 1 on havainnollistettu siirtymäkauden lainsäädännön rajoitukset ja vaatimukset avoimen toimintakategorian alakategorioissa A1, A2 ja A3.

Taulukko 1. Avoin toimintakategorian rajoitukset siirtymäkaudella 1.1.2021 – 1.1.2023. Avoin toimintakategorian alakategorioiden A1, A2 ja A3 rajoitukset ja vaatimukset.

Avoin toimintakategorian rajoitukset siirtymäkaudella 1.1.2021 - 31.12.2022				
Alakategoria	A1		A2	A3
Sallittu toiminta-alue	Lentäminen sallittu tiheästi asutuilla alueilla satunnaisten ihmisten, mutta ei ihmisjoukkojen päällä		Lennot sallittu tiheästi asutuilla alueilla turvallisella etäisyydellä ihmisistä.	Lennot sallittu harvaan asutuilla alueilla
MTOM	< 250 g	250g -500g	500 g - 2 kg	500 g - 25 kg
Laitteiden CE merkinnät	Ei vaadita ennen 30. kesäkuuta 2022			
Operaattorin rekisteröinti velvoite	Kyllä (ei koske leluksi määriteltyjä laitteita)	Kyllä		
Lennättäjän koulutus vaatimukset	Laitteen käyttöohjeisiin tutustuminen -Ei koulutusvaatimusta	Laitteen käyttöohjeisiin tutustuminen +Verkkoteoriakoe	Laitteen käyttöohjeisiin tutustuminen + Verkkoteoriakoe + Lisäteoriakoe	Laitteen käyttöohjeisiin tutustuminen +Verkkoteoriakoe
Lennättäjän ikärajoitukset (itsenäinen toiminta)	Suomi - 12 vuotta EU - 16 vuotta			

Lentotoiminta miehittämättömillä ilma-alusjärjestelmillä alakategoriassa A1 tulee suorittaa siten, ettei ilma-aluksen kauko-ohjaaja lennätä kauko-ohjattavaa ilma-alusta lentotoimintaan kuulumattomien ihmisten yli. Toimintakategoriassa toimivan kauko-ohjaajan tulee rekisteröityä ilmailuviranomaiselle, jos lennätettävää laitetta ei ole erikseen määritetty leluksi. Rekisteröinnin lisäksi kauko-ohjaajan tulee perehtyä käytettävän RPA-laittejärjestelmän käyttöohjeisiin sekä suorittaa verkkoteoriakoe. Alakategorian A1 lentoonlähtömassaksi (MTOM) on määrätty alle 500 g. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, UAS.OPEN.020 kohta 4.]

Lentotoiminta miehittämättömillä ilma-aluksilla A2 alakategoriassa suoritetaan siten, ettei kauko-ohjattavaa ilma-alusta lennätetä muiden kuin lentotoimintaan osallistuvien henkilöiden yli. Ilma-alusjärjestelmällä harjoitettava toiminta tulee tapahtua turvallisella

vaakasuuntaisella etäisyydellä, joka on vähintään 30 metriä toimintaan kuulumattomista henkilöistä. Alakategoriassa on mahdollista pienentää vaakasuuntaista etäisyyttä 5 metriin lennätettäessä hidaslentotoimintoa silloin, kun lentotilanteessa on huomioitu vallitsevat sääolosuhteet, käytettävän laitteen suorituskyky sekä tarkastettu ylilennettävä alue. Toimintakategoriassa toimivan kauko-ohjaajan tulee rekisteröinnin lisäksi perehtyä käytettävän UAS-laitejärjestelmän käyttöohjeisiin sekä suorittaa verkkoteoriakokeen lisäksi lisäteoriakoe hyväksytysti. Alakategorian A2 lentoonlähtömassa (MTOM) on asetettu 0,5–2 kg välille. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, UAS.OPEN.030 kohta 1 ja 2.]

Lentotoiminta miehittämättömillä ilma-aluksilla alakategoriassa A3 suoritetaan alueella, jossa voidaan olettaa, ettei toimintaan osallistumattomille henkilöille aiheudu vaaraa miehittämättömän ilma-aluksen lennätysalueella. Lentotoiminnassa on pidettävä vähintään 150 metrin vaakasuora etäisyys asuin-, liike-, teollisuus- tai virkistysalueille. Toimintakategoriassa operoivan kauko-ohjaajan tulee olla perehtynyt käytettävän RPA-laitejärjestelmän käyttöohjeeseen ja hänen tulee olla suorittanut verkossa teoriakoe hyväksytysti. Alakategorian A3 lentoonlähtömassaksi (MTOM) on määritelty 2 kg – 25 kg asti. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, UAS.OPEN.040 kohta 1, 2 ja 3.]

Siirtymäkauden päätyttyä 30.6.2022 avoimen toimintakategorian miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien tulee täyttää käytettävän alakategorian miehittämättömä ilma-alusjärjestelmää koskevat vaatimukset. Edellä mainittu muutos tulee aiheuttamaan pieniä muutoksia miehittämättömien ilma-aluksien lentoonlähtömassoissa sekä laitteiden varustelussa. Seuraava taulukko 2 selventää tulevia muutoksia alakategorioiden toimintaluokituksiin. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947 22 artikla.]

Taulukko 2. Avoin toimintakategorian rajoitukset siirtymäkauden jälkeen 1.1.2023. Avoin toimintakategorian alakategorioiden A1, A2 ja A3 rajoitukset ja vaatimukset.

Avoin toimintakategorian rajoitukset siirtymäkauden jälkeen 1.1.2023 -				
Alakategoria	A1		A2	A3
Sallittu toiminta-alue	Lentäminen sallittu tiheästi asutuilla alueilla satunnaisten ihmisten, mutta ei ihmisjoukkojen päällä		Lennot sallittu tiheästi asutuilla alueilla turvallisella etäisyydellä ihmisistä.	Lennot sallittu harvaan asutuilla alueilla
MTOM	< 250 g	250 g -900 g	900 g - 4 kg	4 kg - 25 kg
Laitteiden CE merkinnät	C0	C1	C2	C3, C4
Operaattorin rekisteröinti velvoite	Kyllä (ei koske leluksi määriteltyjä laitteita)	Kyllä		
Lennättäjän koulutus vaatimukset	Laitteen käyttöohjeisiin tutustuminen -Ei koulutusvaatimusta	Laitteen käyttöohjeisiin tutustuminen +Verkkoteoriakoe	Laitteen käyttöohjeisiin tutustuminen + Verkkoteoriakoe + Lisäteoriakoe	Laitteen käyttöohjeisiin tutustuminen +Verkkoteoriakoe
Lennättäjän ikärajoitukset (itsenäinen toiminta)	Suomi - 12 vuotta EU - 16 vuotta			

Lento-operaatiot, joita ei voida toteuttaa matalariskisessä, ennalta määrätyissä, avoin toimintakategorian puitteissa, tulee näissä lento-operaatioissa toimia erityisen toimintakategorian toimintaohjeiden ja asetusten mukaan.

### 3.2.2 Erityinen toimintakategoria

Erityisen toimintakategorian miehittämättömät ilma-alusjärjestelmät aiheuttavat kolmansille osapuolille suuremman riskin kuin avoin toimintakategoria. Erityinen toimintakategoria on tarkoitettu kaikille toimille, jotka eivät ole avoimen toimintakategorian rajojen mukaisia. Kun lentotoiminta ylittää jonkun ennalta määrätystä avoimen toimintakategorian rajoista, siirrytään erityiseen toimintakategoriaan. Avoin toimintakategorian rajoja ylittäviä toimintoja ovat mm:

- BVLOS-toiminta
- MTOM yli 25 kg
- lentäminen yli 4 kg painoisella ilma-aluksella kaupunkialueella
- lennättäminen lentorajoitusalueilla
- lennätyskorkeuden noustessa yli 120 m
- esineiden pudottaminen
- Ilma-aluksen lennättäminen toimintaan kuulumattomien henkilöiden yläpuolella.

[Drone-infotilaisuus 2020.]

Erityisessä toimintakategoriassa harjoitettavaan lentotoimintaan vaaditaan toimivaltaisen viranomaisen (Traficom) myöntämä toimintalupa ennen lentotoiminnan aloittamista. Toimintalupaa ei edellytetä, mikäli harjoitettava lentotoiminta vastaa vakioskenaarioiden mukaista toimintaa. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, 3, 5 artikla.]

Toimintailmoitus menettelyä sovelletaan EASA:n hyväksymään vakioskenaarion mukaiseen lentotoimintaan. Vakioskenaarioissa lentotoiminnan riskien lieventämistoimenpiteet on täsmennetty ennalta, ja toiminnan harjoittajan on osoitettava toteutettava lentotoiminta vastaamaan vakioskenaarion toimintaa. Toiminnasta tulee kuitenkin tehdä ilmoitus toimivaltaiselle viranomaiselle (Traficomille). Vakioskenaariot on luotu erityisen toimintakategorian lupabyrokratian yksinkertaistamiseksi. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, UAS.SPEC.020.]

Mikäli vakioskenaariossa esitetty toiminta ei vastaa aiottua toimintaa, tulee miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttäjän hakea lentotoiminnalleen toimintaluvan Liikenne-

ja viestintävirasto Traficomilta. Toimintalupa menettelyssä ilma-alusjärjestelmän käyttäjän tulee esitellä suunnitellun toiminnan luonne, toiminnan riskiarvio ja riskienvähentämiskeinot, jotta mahdolliset riskit saadaan minimoitua hyväksyttävälle tasolle. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, UAS.SPEC.030.]

Näiden tapojen lisäksi toimintalupaa voidaan hakea kevyen miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttäjän hyväksyntätodistuksella (LUC; Light UAS Operator Certificate), jolla lentotoimintaa harjoittava voi suorittaa lentotyötä ilman erillistä ilmoitusta vakioskenaarion mukaiseen toimintaan tai toimilupahakemusta. Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttäjän hyväksyntätodistus on suunnattu organisaatioille. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, UAS.LUC.010.]

Erityisessä toimintakategoriassa ei kuitenkaan voida toteuttaa kaikkia korkean riskin operaatioita. Erityinen toimintakategoria muuttuu sertifioituun toimintakategoriaan, mikäli miehittämättömällä ilma-aluksella kuljetetaan ihmisiä, vaarallisia aineita tai SORA riskiarvioinnin tulos ylittää menetelmän sallimat rajat. Sertifioidun toimintakategorian lentotoimintaan liittyviä standardeja ei ole vielä julkaistu, minkä johdosta sertifioidun toimintakategorian lupia ei ole mahdollista saatavilla. [EU dronesäännöt 2020; drone-infotilaisuus 2020.]

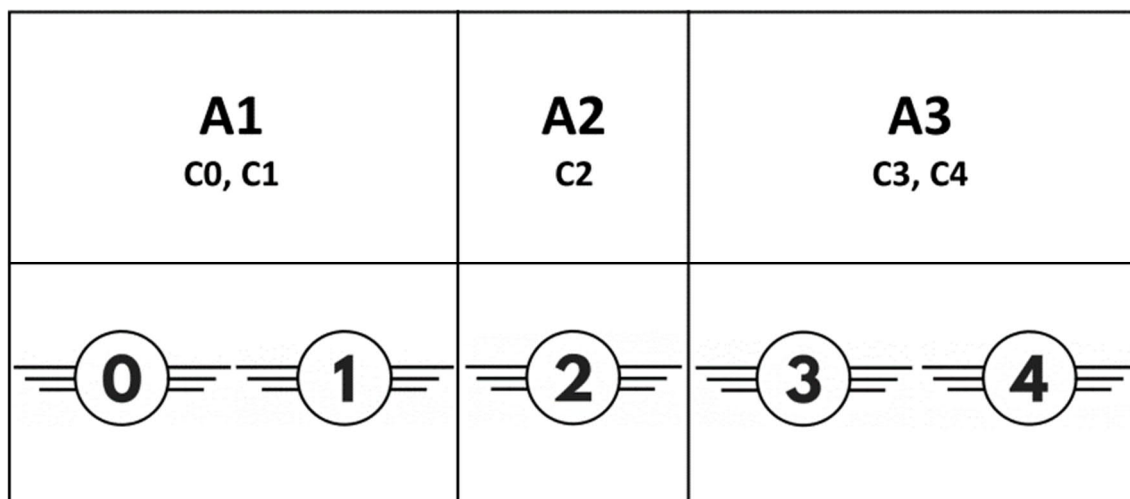
### 3.2.3 Ilma-alusten ominaisuuksia koskeva lainsäädäntö

Miehittämättömiä ilma-aluksia koskeva toinen EU-asetus (Komission delegoitu asetus 2019/945, miehittämättömistä ilma-alusjärjestelmistä ja kolmansien maiden miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttäjistä) tulee tarkentamaan miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien laitevaatimuksia.

Määräajan jälkeen näkyvimpänä muutoksena tulee avoin toimintakategorioiden ilma-aluksilta vaatia vaatimuksen mukaisuuden takaava CE-merkintä, joka tulee näkyä käytettävässä ilma-aluksessa. Miehittämättömien ilma-alusten CE-merkintävelvoitteen myötä ilma-alusten tulee täyttää toimintakategorian vaatimukset miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien teknisten vaatimusten osalta.

CE-merkintä on tuotteen valmistajan tuotteeseen merkitsemä osoitus siitä, että tuote täyttää EU:n direktiivien ja asetusten asettamat vaatimukset. CE-merkinnän myötä tuote saa liikkua vapaasti EU:n alueella. Jos tuotteesta ei löydy EU:n vaatimukset täyttävää CE-merkintää, voidaan kyseinen tuote määrätä poistettavaksi EU:n markkinoilta. Tuotteen CE-merkintä ei kuitenkaan takaa sitä, että tuote olisi erityisen laadukas tai turvallinen. [CE-merkintä.]

EU:n direktiivien vaatimukset täyttävää CE-merkintää tullaan vaatimaan miehittämättömiltä ilma-aluksilta, jotka toimivat avoimessa toimintakategoriassa sekä erityisen toimintakategorian vakioskenaarioiden mukaisessa toiminnassa. Kuvassa 3. on esitetty avoimen toimintakategorian CE-merkintöjä.



Kuva 3. Avoin toimintakategorian ilma-alusjärjestelmiltä vaaditut CE –merkinnät alakategoriassa A1, A2 ja A3.

CE-merkinnät tulevat jakautumaan seitsemään luokkaan; C0, C1, C2, C3, C4, C5 ja C6. Kauko-ohjattavan ilma-aluksen kauko-ohjaajan tulee ottaa huomioon laitejärjestelmän ominaisuuksista kertova merkintä ennen lentotoiminnan aloitusta, sillä avoimessa toimintakategoriassa on ennalta määrättyjä vaatimuksia miehittämättömille ilma-aluksille. Miehittämättömien ilma-alusten CE-merkinnät tulevat osoittamaan missä avoimen toimintakategorian alakategoriassa tai erityisen toimintakategorian vakioskenaarioiden mukaisessa toiminnassa kyseistä laitetta on mahdollista käyttää. CE-merkinnät tulevat koskemaan mm. ilma-aluksen:

- massaa
- nopeutta
- sarjanumeromerkintöjä
- elektroniikan jänniterajoituksia
- laitteen käyttöohjeita
- etätunnistusjärjestelmää
- geo-awareness -järjestelmää
- valaistusta
- ohjaimia.

[Drone-infotilaisuus 2020.]

Oheinen taulukko 3. havainnollistaa näkyvimmit avoimen toimintakategorian alakategorioiden vaatimat ominaisuudet kauko-ohjattavilta ilma-aluksilta eri luokissa.

Taulukko 3. Tiivistelmä markkinalainsäädännön (Komission delegoitu asetus (EU) 2019/945) laitevaatimuksista

CE -merkintä	C0	C1	C2	C3	C4
MTOM	< 250 g	< 900 g	< 4 kg	< 25 kg	< 25 kg
Nopeusrajoitteet	< 9 m/s	< 19 m/s	-	-	-
Etätunnistus	-	kyllä	kyllä	kyllä	-
Ilmatilavaroitukset	-	kyllä	kyllä	kyllä	-
Kotiinpaluu toiminto	-	kyllä	kyllä	kyllä	-
Lentokorkeuden rajoitin	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	-
Autopilotti	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kielletty

Lupa vapaassa, avoimen toimintakategorian lentotoiminnassa sallitaan 1.1.2023 jälkeen käytettäväksi vain CE-merkittyjä miehittämättömiä ilma-aluksia. [EU dronesäännöt 2020]. Miehittämättömiä ilma-aluksia, jotka eivät ole delegoidun asetuksen (EU) 2019/945 mukaisia tai itse rakennettuja, voidaan käyttää kuitenkin seuraavin edellytyksin avoimessa toimintakategoriassa:

- Miehittämätöntä ilma-alusta voidaan lennättää alakategoriassa A1, jos ilma-aluksen suurin sallittu lentoonlähtömassa hyötykuorman kanssa on alle 250 g.

- Miehintämätöntä ilma-alusta voidaan lennättää alakategoriassa A3, kun miehintämättömän ilma-aluksen suurin sallittu lentoonlähtömassa hyötykuorman kanssa on alle 25 kg.

[Huoviala 2020; Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, 20 artikla.]

Mikäli lentotoimintaa halutaan harjoittaa laajemmin ilma-aluksella, joka ei täytä delegoidun asetuksen voimaantulon jälkeen avoimen toimintakategorian ilma-aluksien vaatimuksia, on mahdollista harjoittaa lentotoimintaa erityisessä toimintakategoriassa operaatiotyypikohtaisen riskiarvion perusteella. [Huoviala 2020.]

### 3.2.4 Rekisteröinti

Avoin toimintakategorian A1 luokan leluiksi merkityistä ilma-aluksista poiketen, jokaisen miehintämätöntä ilma-alusta käyttävän tulee rekisteröityä valvovalle ilmailuviranomaiselle siinä Euroopan Unionin jäsenvaltiossa, jossa kyseisiä laitejärjestelmiä käyttävä asuu. Miehintämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttäjä voi rekisteröityä vain yhdessä EU:n jäsenvaltiossa kerrallaan. Rekisteröinnin yhteydessä miehintämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttäjälle annetaan yksilöllinen digitaalinen rekisteröintinumero. Miehintämättömän ilma-aluksen käyttäjän tulee merkitä oma rekisteröintinumero jokaiseen käyttämäänsä ilma-alukseen. Rekisteröintinumeron avulla käyttäjä ja käytettävä ilma-alus voidaan tunnistaa yksilöllisesti. Rekisteröitymisvelvollisuus tulee koskemaan kaikkia siinä tarkoitettuja miehintämättömän ilma-aluksen käyttäjiä 1.1.2021 alkaen. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947 14 artikla.]

### 3.2.5 Koulutus

Tuleva EU lainsäädäntö vaatii lentotoimintaa harjoittavan osoittamaan pätevyytensä, jotta miehintämättömän ilma-aluksen käyttö olisi turvallista lentotoimintaa harjoittaville sekä toiminnan ulkopuolisille ihmisille. Jokaisen miehintämättömän ilma-alusjärjestelmän ohjaajan tulee perehtyä käytettävän ilma-aluksen valmistajan laatimaan käyttöohjeeseen sekä täyttää toimintakategorian edellyttämät koulutusvaatimukset. Kauko-ohjaajien koulutusten järjestäjänä toimii toimivaltainen viranomainen tai sen valtuuttama taho. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947 14 artikla; Komission delegoitu asetus (EU) 2019/945, 8 artikla.]

Eri toimintakategorioilla on erilaisia vaatimuksia kauko-ohjaajan koulutuksen suhteen. Avoin toimintakategorian alakategorioissa A1 ja A3 kauko-ohjaajan koulutusvaatimuksena on käytettävän ilma-aluksen valmistajan käyttöohjeisiin perehtymisen lisäksi verkossa suoritettava verkkokoulutus sekä verkkoteoriakoe. Verkkoteoriakoe sisältää 40 monivalintakysymystä, jotka käsittelevät seuraavia aiheita:

- lentoturvallisuus
- ilmatilarajoitukset
- ilmailun säädökset
- ihmisen suorituskyvyn rajoitukset
- lentotoimintamenetelmät
- miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien yleistuntemus
- yksityisyys ja tietosuoja
- vakuutukset
- turva-asiat.

[Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, Liite, A osa.]

Avoin toimintakategorian alakategoriassa A2 tulee alakategorioiden A1 ja A3 koulutusvaatimusten lisäksi läpäistä toimivaltaisen viranomaisen järjestämä lisäteoriakoe. Lisäteoriakoe sisältää vähintään 30 monivalintakysymystä, joiden tarkoituksena on arvioida kauko-ohjaajan tietämystä riskien teknisestä ja operatiivisesta lieventämisestä. Lisäteoriakoe suoritetaan valvotussa luokahuoneessa. Kauko-ohjaajan koulutuksen suorittanut henkilö saa hyväksytyin kokeen myötä toimintapätevyyden viideksi vuodeksi, jonka jälkeen kauko-ohjaajalta vaaditut kokeet tulee uusua. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, Liite, A osa.]

### 3.2.6 Käyttäjän ja kauko-ohjaajan vastuut lentotoiminnassa

Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 947/2019, säännöistä ja menetelmistä miehittämättömien ilma-alusten käytössä määrittelee kauko-ohjattavan ilma-aluksen hallinnoivan henkilön käyttäjäksi (operaattori) ja ilma-aluksen lennättäjän kauko-ohjaajaksi. Näiden nimikkeiden välillä on kuitenkin eroa. Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttäjällä tarkoitetaan kauko-ohjattavasta ilma-aluksesta vastuussa olevaa henkilöä tai oikeushenkilöä, joka käyttää tai aikoo käyttää yhtä tai useampaa miehittämätöntä ilma-

alusjärjestelmää [Komission delegoitu asetus (EU) 2019/945, 3 artikla, kohta 4]. ”Oikeushenkilö muodostuu joko julkisyhteisöstä taikka kauppaoikeudellisesta tai siviilioikeudellisesta yhteisöstä. Esimerkkejä oikeushenkilöistä ovat valtio, kunnat, yhdistykset ja osakeyhtiöt.” [Minilex.]

Kauko-ohjaajalla tarkoitetaan henkilöä, joka vastaa miehittämättömän ilma-aluksen lennätyksen turvallisuudesta manuaalisissa ja automaattisissa lentotoimissa. Kauko-ohjaajan tulee seurata lentotoimintaa sekä pystyä puuttumaan lentotoimintaan ja muuttamaan sitä tarvittaessa. Miehittämättömän ilma-aluksen käyttäjä voi toimia hallinnoimansa miehittämättömän ilma-aluksen kauko-ohjaajana. [Komission delegoitu asetus (EU) 2019/945, 3 artikla, kohta 27.]

Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttäjän vastuulla on ottaa käyttöön aiotun lentotoiminnan tyyppiin ja riskeihin mukautetut toimintamenetelmät ja rajoitukset. Käyttäjän vastuulla on, että lentotoimintaa suorittavalla kauko-ohjaajalla ja muuta lentotoiminnan tukitehtäviä hoitavalla henkilöstöllä on riittävä pätevyys tehtäviensä hoitamiseen siinä alakategoriassa, jossa toimintaa harjoitetaan. Käyttäjän vastuulla on pitää käytettävä ilma-alus asianmukaisessa kunnossa, jotta laitteen käyttö olisi turvallista. Lisäksi käyttäjän tulee varmistaa, että lentotoiminnassa käytettävä ilma-alus täyttää käytettävässä toimintakategoriassa vaaditut vaatimukset. Jos käyttäjä operoi useampaa miehittämättömää ilma-alusjärjestelmää eikä itse toimi kauko-ohjaajana, on käyttäjän vastuulla laatia toimintatyyppiin ja siihen liittyviin riskeihin toimintamenetelmät, jotta lennättäminen toteutetaan turvallisesti. Käyttäjän on varmistettava, että lennätystoimintaan osallistuville henkilöille on ilmoitettu mahdollisista riskeistä ja he ovat ilmaisseet suostumuksensa osallistumiseen, kun lentotoimintaa harjoitetaan alakategoriassa A2 tai A3. Käyttäjän vastuulla on myös päivittää tiedot paikkatietoisuusjärjestelmään silloin, kun toimintapaikassa edellytetään sitä. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, UAS.OPEN.050, UAS.SPEC.050.]

Kauko-ohjaajalla tulee olla asianmukainen pätevyys siinä toimintakategoriassa, jossa lentotoimintaa aiotaan harjoittaa. Kauko-ohjaajan tulee perehtyä käytettävään laitteeseen sekä noudattaa käyttäjän toimintamenetelmiä, jos sellaisia on. Ennen lentotoiminnan aloittamista kauko-ohjaajan vastuulla on hankkia lennätystoimintaan tarvittavat päivitettyt tiedot mahdollisista ilmatilavyöhykkeistä, jotka ilmailuviranomainen on julkaissut.

Ennen lentotoiminnan aloittamista kauko-ohjaajan tulee tarkastaa lentotoiminnassa käytettävän miehittämättömän ilma-aluksen toiminta ja varmistaa, että lento voidaan suorittaa hallitusti ja turvallisesti toimintakategorian vaatimusten mukaisesti. Lisäksi kauko-ohjaajan vastuulla on varmistaa, että lentotoiminnasta on annettu tiedot asianosaisille, mikäli lentotoiminta edellyttää sitä. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, UAS.OPEN.060, UAS.OPEN.060.]

Lennon aikana kauko-ohjaajan tulee noudattaa toimintakategorian, toimintaluvan tai ilmoituksen mukaisia rajoituksia ja toimintaehtoja. Kauko-ohjaajan on kyettävä pitämään miehittämätön ilma-alus hallinnassa, eikä kauko-ohjaaja saa olla altistunut psykoaktiivisille päihteille, toimia alkoholin vaikutuksen alaisena tai toimia toimintakykyä alentavassa tilassa esimerkiksi väsyneenä, loukkaantuneena tai sairaana. Kauko-ohjaajan on pidettävä miehittämätön ilma-alus lentotoiminnan ajan suorassa näköyhteydessä ja tarkkailtava jatkuvasti miehittämätöntä ilma-alusta ympäröivää ilmatilaa. Kauko-ohjaaja voi käyttää lentotoiminnassa apuna tähystäjää, jonka tulee tarkkailla miehittämättömän ilma-aluksen liikkeitä ilman apuvälineitä, ja ilmoittaa kauko-ohjaajalle poikkeavista havainnoista. Kauko-ohjaajan on keskeytettävä lento, jos lennätystoiminta aiheuttaa riskin muille ilma-aluksille, ihmisille, eläimille, ympäristölle tai omaisuudelle. [Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, UAS.Open.060, UAS. SPEC.060.]

## 4 Miehitämättömien ilma-alusten käyttö rakennusalalla

Miehitämättömät ilma-alusjärjestelmät ovat nopeasti muuttuneet välttämättömiksi apuvälineiksi monilla toimialoilla [Ward 2019]. Miehitämättömien ilma-alusten käytön lisääntyminen sekä tekniikan kehitys on tehnyt miehitämättömästä ilma-aluksesta tärkeän apuvälineen myös rakennusalalle [Using Drones in Construction 2019]. Miehitämättömien ilma-alusjärjestelmien monipuoliset käyttömahdollisuudet, helppokäyttöisyys sekä edullinen hinta ovat kasvattaneet miehitämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttöä rakennusalalla [Dukowitz 2019].

Miehitämättömän ilma-aluksen etuna on nopean ja tarkan visuaalisen tiedon kerääminen, jota voidaan hyödyntää useilla eri tavoilla. [Honkavaara ym. 2018]. Pääsääntöisesti miehitämättömiä ilma-aluksia käytetään ilmakuvaukseen. Ilmakuvauksella voidaan tarkoittaa mitä tahansa ilma-aluksesta suoritettavaa kuvausta, joka suoritetaan manuaalisesti kauko-ohjaajan ohjaamana tai autonomisesti. Tyypillisesti autonomisella lennolla tarkoitetaan miehitämättömän ilma-aluksen automaatiota sisältävää lentotoimintaa, jossa ilma-alus lentää itsenäisesti ennalta ohjelmoidun GPS/GNSS-reittitiedon ja parametrien mukaisesti. [Mäki 2018, 7, 12.]

Muita rakennusalalla käytettyjä sensoreita miehitämättömissä ilma-aluksissa kameran lisäksi ovat lämpökamerat sekä laserkeilaimet. Miehitämättömien ilma-alukseen kiinnitettävien sensoreiden myötä miehitämättömän ilma-aluksen käyttötarkoitukset laajenevat ja mahdollistavat monipuolisemman käytön [Honkavaara ym. 2018]. Rakennusalalla harjoitettavaa ilmakuvausta on dokumentaatio ja tarkastustoiminta, lämpökuvaus, mitaus sekä ilmakartoitus.

Miehitämättömän ilma-aluksen käytön on todettu pienentävän suunnittelu- ja tutkimuskustannuksia, lisäävän työn tehokkuutta, tarkkuutta ja turvallisuutta sekä mahdollistavan kokonaisvaltaisen kuvan työmaan tai kohteen tilanteesta [Drones in construction and infrastructure].

#### 4.1 Dokumentaatio ja tarkastus

Miehittämättömiä ilma-aluksia käytetään hyödyksi rakenneosien ja kohteiden tarkastuksissa sekä dokumentoinnissa. Miehittämättömät ilma-alukset tarjoavat nopean, kattavan ja turvallisen tavan työtehtävien suorittamiseksi lintuperspektiivistä otettujen valokuvien ja videotallenteiden sekä videolinkin monitorille tuottaman reaaliaikaisen kuvan ansiosta.

Tarkastuskäytössä miehittämättömällä ilma-alusjärjestelmällä päästään helposti tarkastelemaan ja dokumentoimaan kohteita, joiden saavuttaminen vaatisi normaalisti henkilönostinten käyttöä. Ilma-alusta hyödyntämällä vaikeakulkuisiin paikkoihin ei tarvitse itse mennä, jolloin työturvallisuus paranee sekä havainnointi on tehokasta ja nopeaa. Tällaisia vaikeasti saavutettavia kohteita ovat esim. vesistön ylittävien siltojen alapuoliset rakenteet sekä henkilönostimia vaativat korkeat paikat. Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän ansiosta tarkastusten ja katselmusten suorittaminen hoituu turvallisemmin, joutuisammin sekä edullisemmin. [Rodriguez 2018; Vänskä 2020.]

Miehittämättömän ilma-aluksen kameralla taltioituja valo- ja videokuvatiedostoja sekä reaaliaikaista videolinkin kuvaa pystytään välittämään myös kolmansille osapuolille, minkä ansiosta henkilöresurssit eivät ole paikkaan tai aikaan sidottuja. Ilmakuvamateriaali toimii myös visuaalisena apuna viestinnässä eri osapuolten kesken.

Rakennushankkeista otetut ilmakuvatiedostot havainnollistavat asiakkaille sekä kolmansille osapuolille kattavasti projektin edistymistä, etenkin jos he eivät pysty fyysisesti seuraamaan työn edistymistä työmaalla. Asiakasviestinnän lisäksi ilmakuvatiedostojen avulla voidaan suunnitella tulevia työvaiheita, seurata työvaiheiden toteutumista aikataulussa sekä puuttua mahdollisiin virheisiin ja työturvallisuutta vaarantaviin riskeihin. [Standard 2018.]

Dokumentaatio ja tarkastuslentojen lopputuotteita ovat erilaiset nadiiri- ja viistokuvat, sekä videot. Nadiirikuvauksella tarkoitetaan pystykuvausta, jossa kohdetta kuvataan ylhäältä päin kameran tai muun sensorin ollessa kohtisuoraan alaspäin lentosuuntaan nähden. Viistokuvaksessa haluttua kohdetta kuvataan viistosta. Viistokuvausta käytetään, kun halutaan tarkemmin tarkastella vaakasuorassa olevaa kohdetta kuten esimerkiksi seinärakennetta. [Selvitys RPAS-menetelmistä 2018, 10.]

## 4.2 Lämpökuvaus

Miehittämättömiin ilma-aluksiin on lisävarusteena saatavilla lämpökamerasensoreita. Lämpökameraa käytetään ensisijaisesti pintalämpötilajakaumien havainnollistamiseen. Lämpökameran toiminta perustuu lämpösäteilyn vastaanottimeen, joka mittaa kuvattavan kohteen pinnasta lähtevää lämpösäteilyä. Lämpökameran ilmaisimien muuttama kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta muodostetaan reaaliaikainen lämpökuva [Lämpösäteily & infrapuna].

Lämpökameraa käytetään rakennusalalla rakenteiden lämpökuvantamiseen. Lämpökameran avulla pystytään havaitsemaan mm. rakennusten ja rakenteiden mahdolliset lämpövuodot sekä löytämään erilaisia rakennusvikoja, jotka eivät ole muuten nähtävissä [Thermographic Building Diagnostics; Keränen 2017, 16]. Tällaista lämpökameralla havaittavia rakennusvikoja ovat mm. lämpösillat, vesivuodot ja viallinen eristys [Thermographic Building Diagnostics]. Rakennusalalla lämpökuvantamista hyödynnetään pääasiassa huoltokorjauksissa sekä korjausrakentamisessa.

## 4.3 Maanmittaus ja ilmakartoitus

Miehittämättömien ilma-alusten hyödyntäminen maanmittauksessa ja ilmakartoituksessa on yleistynyt nopeasti rakennusalalla. Miehitettävällä ilma-aluksella tuotettua tarkkaa mittaus- ja kartoitustietoa käytetään hyödyksi mm. erilaisten rakennushankkeiden lähtötiedoissa, työvaiheiden suunnittelussa, toteuman seurannassa sekä raporttien liitteinä. [Luotettavat lähtötiedot päätöksenteon tukena; Inventointimallinnus ja 3D-mallien analysointi.]

Miehittämättömillä ilma-alusjärjestelmillä mittaustietoa kerätään miehittämättömään ilma-alukseen kiinnitetyillä sensoreilla. Yleisimmät menetelmät mittaustiedon keräämiseen ovat fotogrammetrinen menetelmä (luku 4.3.1) sekä laserkeilaus (luku 4.3.2). [Teittinen 2017, 21.]

Ilmakartoituksella tarkoitetaan ilma-aluksella tehtävää kuvauslentoa, jossa on tarkoitus saada kohdealueesta kattava ja mittatarkka kuva [Mäki 2018, s.8]. Ilmakartoitustoiminnassa käytetään tyypillisesti kameran valokuviiin perustuvaa fotogrammetria menetelmää. Miehitämättömällä ilma-alusjärjestelmällä toteutettavan työmaa-alueen kartoituksen myötä rakennushankkeesta saadaan enemmän sellaista tietoa, jota voidaan hyödyntää työn suunnittelussa ja toteutuksessa [The Rise of Drones in Construction 2018].

Miehitämättömällä ilma-aluksella tehtävään mittaus- ja kartoitustoimintaan kuuluu ilma-alusjärjestelmän lisäksi myös tietokoneohjelmistot, joita käytetään lentotoiminnan monitorointiin ja suunnitteluun, sekä tuotetun aineiston prosessointiin. Lentotoiminnan suunnittelussa käytettävillä ohjelmistoilla voidaan määrittää ilma-aluksen reitti, lentoaika, nopeus sekä käytettävän sensorin toiminta. Lentotoiminnan jälkeen kerätty aineisto prosessoidaan tietokoneohjelmistossa lopputuotteeksi, jota voidaan hyödyntää ja tarkastella erilaisissa tietokoneavusteisissa ohjelmissa. [Selvitys RPAS menetelmistä 2018, 3.]

#### 4.3.1 Fotogrammetria

Fotogrammetria tarkoittaa kuvista tehtävää mittauksia, jossa kuvattavan kohteen muotojen ja geometrinen ominaisuuksien tutkiminen tapahtuu kohteesta otettujen valokuvien avulla. Fotogrammetrian tarkoituksena on määrittää kuvan ja kuvattavan kohteen välinen geometrinen vastaavuus, jolloin kuvasta on mahdollista saada tarkkaa tietoa kuvattavasta kohteesta. [Islam 2019, 9; Illikainen 2018, 3; Mäki 2018, 16.]

Fotogrammetrisessä kartoitustoiminnassa ilma-alukselle ohjelmoidaan haluttu lentokuvareitti eli ilmakuvareitti tietokoneohjelmiston avulla. Ilmakuvareitti voi mm. sisältää poikittaisia lentolinjoja tai kiertää haluttua kohdetta. Ilmakuvareitti voi kuvattavasta kohteesta riippuen olla erilainen, mutta kuvareitin tarkoituksena on saada kartoitettavasta alueesta ilmakuvia jotka sisältävät pysty- ja sivupeittoa (päällekkäisyyttä). Kuvareitien ansiosta kohteet nähdään usealta eri kavalta ja kuvaussuunnasta. Kartoitustoiminnan jälkeen kerätty aineisto prosessoidaan fotogrammetrisellä prosessointiohjelmistolla, jossa tietokone tunnistaa lentokuvareitiltä otettujen valokuvien vastinpisteet ja määrittää niiden 2D- ja 3D-sijainnin fotogrammetrisin keinoin. [Selvitys RPAS-menetelmistä 2018, 3, 9, 10.]

Ilmakartoituksessa saatavia lopputuotteita ovat nadiiri- ja viistokuvat, ortokuvamosaiikit ja pistepilvet, sekä näistä johdetut digitaaliset 3D maasto- ja pintamallit [UAS-Kartoitus].

Ortokuvalla (engl. Orthophotograph) tarkoitetaan nadiirikuvauksen avulla tuotettua ilmakuvaa, joka on geometrisesti korjattu siten, että kaikilla elementeillä on sama mittakaava ilman perspektiivisiä vaikutuksia [Teittinen 2017, 19; Tseloiev 2019, 11]. Ortokuvamosaiikki (engl. Orthophoto mosaic) on useista ortoilmakuvista muodostettu alue, jota voidaan käyttää kartan tavoin todellisten etäisyyksien mittaamiseen [Dukowitz 2017]. Fotogrammetrian lopputuotteena saatavat ortokuvamosaiikit ovat korvaamaton apuväline ympäristön suunnittelussa ja edistymisen seurannassa [An aerial view of your jobsite 2017].

Pistepilvellä tarkoitetaan pisteiden avulla koordinaatistoon tai avaruuteen muodostettua kolmiulotteista tietokonemallia. Pistepilvi pyrkii pisteiden avulla muodostamaan kohteen kolmiulotteisen mallin ja muodon. Pistepilviä muodostetaan fotogrammetrisen menetelmän lisäksi laserkeilaamalla. Pistepilviaineistosta voidaan jalostaa erilaisia 3D-malleja. [Islam 2019, 11; Teittinen 2017, 20-21.]

Georeferointi on oleellinen osa miehittämättömällä ilma-aluksella tehtävää kartoitusprosessia, mikäli taltioitavaa aineistoa on tarkoitus käyttää tarkoissa maanmittaus- tai paikkatietosovelluksissa [UAS-Kartoitus]. Georeferoinnilla tarkoitetaan sijaintitiedon liittämistä tuotettuun kuva aineistoon [UAS-Kartoitus; Teittinen 2017, 19]. Aineiston sijainti ja asento esimerkiksi kansallisessa koordinaatistossa ja korkeusmallissa voidaan tuottaa erilaisin georeferointimenetelmin. Käytännössä georeferointiin vaaditaan tunnettuja pisteitä mitattavalla alueella ja/tai ilma-alukseen integroitua tarkkaa paikannusmenetelmää. Perinteinen signaointi menetelmä (GCP, Ground Control Points) on yksi georeferointimenetelmistä, jossa kartoitettavan alueen maastoon sijoitetaan tukipisteitä eli signaaleja [UAS-Kartoitus; Teittinen 2017, 20]. Tukipisteet voivat olla levyjä tai maalimerkintöjä, joiden sijainti määritetään tarkasti geodeettisilla menetelmillä, kuten takymetrillä tai GNSS-paikannuksen avulla. [Selvitys RPAS-menetelmistä 2018, s.3; UAS-Kartoitus.]

#### 4.3.2 Ilmalaserkeilaus

Miehittämättömissä ilma-aluksissa voidaan hyödyntää laserkeilaimia tarkan mittaustiedon (3D-mallien ja pistepilvien) tuottamisessa/keräämisessä halutusta kohteesta. Rakennusalalla laserkeilausta käytetään, kun mitattavasta kohteesta tarvitaan tarkkaa kolmiulotteista tietoa suunnittelun lähtötiedoiksi. Tyypillisimpiä laserkeilaimella kuvattavia kohteita ovat mm. erilaiset rakennukset, infrarakenteet, vaikeasti tavoitettavat kohteet (mm. kallioseinämät) ja maanmittaus [Joala 2006.]

Laserkeilaus (Light Detection and Ranging; LiDAR) on yksityiskohtainen mittausmenetelmä, jossa mittaustietoa kerätään laserkeilaimen avulla. Laserkeilain on mittalaitte, jonka avulla mitataan kolmiulotteinen pistepilvi mitattavasta kohteesta [Joala 2006, 1]. Laserkeilain mittaa tarkasti maanpintaa paljastaen maan pinnanmuodot sekä erilaiset rakenteet tiheänkin kasvillisuuden alta [Hiltunen 2018]. Laserkeilaimen toiminta perustuu valon kulkuaikaan. Valon kulkuaikaan perustuvissa laserkeilaimissa etäisyys mitataan aikana, jonka valosignaali kulkee mittalaitteesta kohteeseen ja heijastuu takaisin mittalaitteeseen tallentuen pisteeksi [Joala 2006, 1; Laserkeilausteknologia]. Valosignaalin lähtökulmien ja etäisyyden avulla voidaan laskea jokaiselle mitatulle pisteelle koordinaatit. Koordinaattien lisäksi laserkeilain tallentaa jokaiselle pisteelle intensiteettiarvon (kuvan tai alueen kirkkaus) paluusignaalin voimakkuuden pohjalta [Joala 2006, 1]. Mitä vaaleampi pinta, sen paremmin valosignaali heijastuu takaisin mittalaitteelle. Laserkeilain tallentaa pistepilven digitaaliseen muotoon. [Laserkeilausteknologia.]

Digitaalista tallennetta kutsutaan pistepilvimalliksi. Pistepilvimalli sisältää X-, Y- ja Z-koordinaattitiedon sekä intensiteettiarvon. Intensiteettiarvo mahdollistaa eriväristen pintojen yksityiskohtaisen ja havainnollisen erottelun pistepilvestä [Laserkeilausteknologia]. Laserkeilaimella luodusta pistepilvimallista pystytään luomaan erilaisia 3D-malleja tietokoneavusteisilla mallinnusohjelmilla. Näitä mallinnusohjelmilla luotuja 3D-malleja hyödynnetään erilaisilla tietokoneavusteisilla suunnittelujärjestelmillä, kuten CAD-ohjelmistoilla [Joala 2006, 6; Pekkala 2015, 11].

#### 4.4 Työmaa-alueella tapahtuva lentotoiminta

Työmaa-alueella tapahtuvaan lentotoimintaan liittyy riskejä, jotka olisi hyvä tiedostaa ennen lentotoiminnan aloittamista. Työmaalla tapahtuvassa lennätystoiminnassa on huomioitava alueella tapahtuva toiminta, joka voi poiketa suuresti normaaleista lennätysolosuhteista. Työmaa-alueella lennätystoiminta tapahtuu tyypillisesti muun työskentelyn yläpuolella, jonka takia on syytä tarkkailla myös lennätystoiminnan ulkopuolista toimintaa. Tällaista toimintaa on muun muassa nostureiden ja nostinten liikkeet, työmaa-alueen logistiikka sekä alapuolella työskentelevät työntekijät.

Työmaa-alueella tapahtuvaan lennätystoimintaan liittyviä riskejä kuitenkin madaltaa rajattu työmaa-alue. Työmaa-alueella ei liiku ulkopuolisia henkilöitä ja läsnä olevilla työntekijöillä on yllään rakennustyössä vaadittavat suojaimet ja heijastava varoitusvaatetus mikä madaltaa riskejä ja helpottaa havainnointia.

Kokemattomien kauko-ohjaajien olisi syytä tutustua käytettävän miehittämättömän ilma-aluksen ominaisuuksiin ja toimintaan turvallisessa ympäristössä ennen työmaalla lennättämistä. Työmaa-alueella tapahtuvassa lennätystoiminnassa voi olla myös järkevää käyttää ilmatilatarkkailijaa, jonka tehtävänä on havainnoida ja avustaa kauko-ohjaajaa tähystämällä silmämääräisesti ilmatilaa ja ympäröivää aluetta, jossa miehittämättömällä ilma-aluksella harjoitetaan toimintaa. Lennätystoimintaa on järkevää suorittaa työmaa-alueella ajankohtana, jolloin muu ympäröivä toiminta olisi mahdollisimman vähäistä.

## 5 Miehitämätön ilmailu kohdeyityksessä

Yksittäisissä SRV:n infra- ja rakennushankkeissa on useamman vuoden ajan käytetty miehitämättömiä ilma-alusjärjestelmiä työmaa-alueen ja rakenteiden ilmakuvaukseen. Rakennushankkeissa ilmakuva-aineistoa on tuotettu yrityksen oman työmaahenkilöstön voimin työmaille hankituilla miehitämättömillä ilma-alusjärjestelmillä. Lisäksi yrityksen rakennushankkeissa on käytetty ilmakuvaukspalveluita tarjoavia konsulttiyrityksiä työmaan ilmakuvaukseen. Konsulttiyrityksiltä hankitut ilmakuvaukspalvelut ovat pääsääntöisesti olleet rakennushankkeiden mittaus- ja kartoituspalveluita. Kohdeyityksessä on tehty alustavaa kartoitusta miehitämättömien ilma-alusten käyttökohteista erilaisissa rakennushankkeissa ja rakennusvaiheissa. Kohdeyityksessä miehitämättömiä ilma-aluksia on hyödynnetty mm. lähtötietojen kartoittamiseen, työmaa-alueiden kartoitukseen sekä työmaaturvallisuuden havainnointiin. Toistaiseksi miehitämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttöä ei ole lanseerattu yritystasolla, minkä vuoksi miehitämättömien ilma-aluksien käyttö yrityksen rakennushankkeissa ei ole laajaa tai yhteneväistä.

Rakennushankkeille hankitut miehitämättömät ilma-alusjärjestelmät toimivat työmaahenkilöstön apuvälineenä. Miehitämättömien ilma-alusjärjestelmien tuottamaa ilmakuva-aineistoa on hyödynnetty rakennushankkeiden aikana mm. työnsuunnittelussa, työnaikaisessa valvonnassa, työvaiheiden tarkastuksissa sekä hankkeiden markkinoinnissa [Vitikainen 2020]. Mittauspalvelun (laserkeilaus ja fotogrammetria) lopputuotteina syntyviä pistepilviaineistoa, ortoilmakuvia sekä 3D-malleja on hyödynnetty rakennushankkeiden lähtötietona suunnittelussa sekä rakennushankkeen aikana sijaintitietojen selvittämisessä, aluesuunnittelussa sekä määrä- ja massalaskennassa [Lamberg 2020].

## 5.1 Miehitettömien ilma-alusten käyttö kohdeyrityksessä

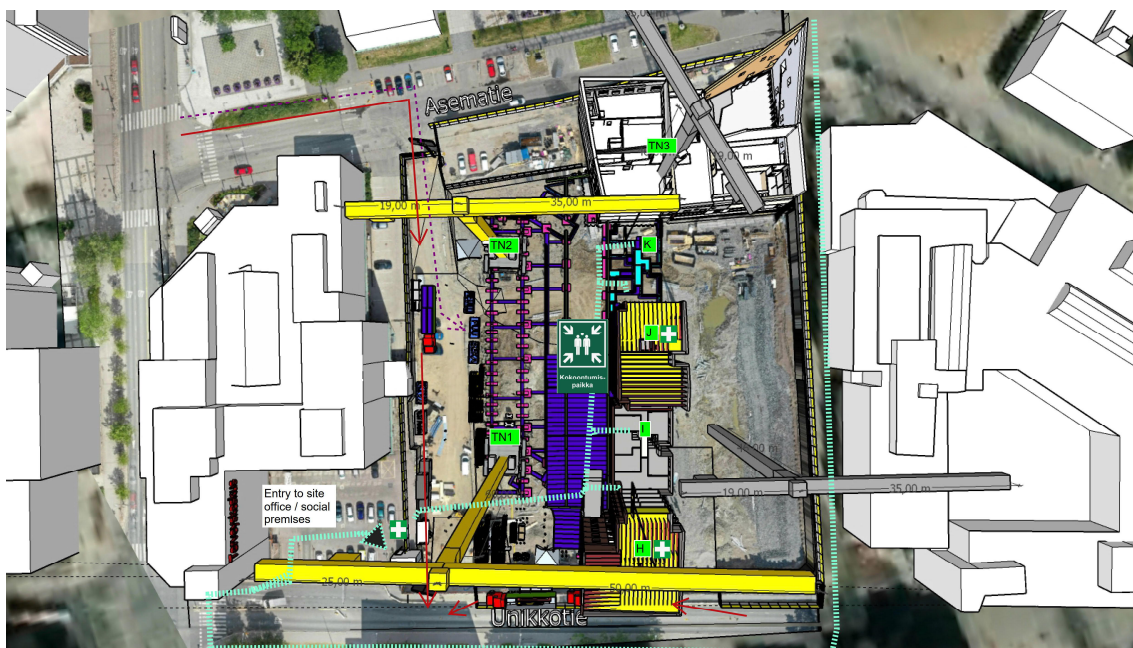
Opinnäytetyön aikana tutustuttiin kahteen kohdeyrityksen rakennushankkeeseen, joissa työmaahenkilöstöllä oli käytössä miehitettömien ilma-alusjärjestelmä. Nämä olivat pääkaupunkiseudulla sijaitsevat asunto- sekä toimitilahanke. Näiden vierailukäyntien lisäksi työskentelin opinnäytetyön ajan kohdeyrityksen toimitilahankkeessa, jossa ryhdyttiin käyttämään miehitettömää ilma-alusjärjestelmää viikoittain työmaa-alueen dokumentaatioon.

Kaikissa kolmessa rakennushankkeessa käytettiin saman miehitettömän ilma-alusjärjestelmävalmistajan laitteita, joiden toiminta oli yhteneväistä. Näissä rakennushankkeissa miehitettömien ilma-alusjärjestelmien käyttötarkoitukset eivät kuitenkaan olleet samanlaisia.

### 5.1.1 Työmaavierailut kohdeyrityksen rakennushankkeissa

Opinnäytetyön aikana kävin tutustumassa kohdeyrityksen pääkaupunkiseudulla sijaitsevaan asuntohankkeeseen, johon oli hankittu DJI Mavic 2 Zoom -miehitettömien ilma-alusjärjestelmä. Asuntohankkeen miehitettömien ilma-alusjärjestelmä oli hankittu lähinnä työturvallisuuden ja työmaajärjestyksen ylläpidon havainnointiin. Työmaalle hankitulla kauko-ohjattavalla ilma-aluksella lennettiin opinnäytetyön aikana kuitenkin vain yhden kerran kokeilumielessä, eikä konkreettisia tuloksia saatu.

Ennen työmaan oman miehitettömän ilma-aluksen hankintaa työmaasta oli luotu ortoilmakuva ulkopuolisen konsultin toimesta. Tätä ortokuvamosaiikkia hyödynnettiin työmaan 3D-aluesuunnitelman pohjana. Työmaan 3D-aluesuunnitelma luotiin SketchUp-tietomalliohjelmalla, jossa työmaa-alueesta otettu ortoilmakuva liitettiin osaksi aluesuunnitelmaa (kuva 4).



Kuva 4. Työmaan aluesuunnitelma. SRV Rakennus Oy.

Työmaa-alueesta otetun ortoilmakuvan liittäminen osaksi SketchUp-sovelluksella luotua aluesuunnitelmaa tuo aluesuunnitelmaa katsovalle visuaalisemmin esille vallitsevan työvaiheen ja ympäröivät alueet kuin tavallinen aluesuunnitelma, joka on luotu rakennushankkeen asemakuvan päälle.

Opinnäytetyön aikana vierailtiin myös pääkaupunkiseudulla sijaitsevassa kohdeyrityksen toimitilahankkeessa, jossa mittaustöiden johtaja esitteli käyttötarkoituksiaan miehittämättömille ilma-alusjärjestelmille rakennushankkeiden aikana. Toimitilahankkeen työmaalla miehittämättömällä ilma-alusjärjestelmällä tuotettiin mittaustietoa työmaasta. Työmaalla käytettiin DJI Mavic 2 pro -miehittämätöntä ilma-alusjärjestelmää sekä Pix4D-ohjelmaa fotogrammetriatyökaluna työmaa-alueen kartoituksessa. Työmaa-alue kartoitettiin viikoittain miehittämättömällä ilma-alusjärjestelmällä yhdessä Pix4D-ohjelmalla, jonka lopputuotteena syntyi ortoilmakuva- ja pistepilvi -tiedosto. Kartoituksen lopputuotteena saatua ortoilmakuva- ja pistepilvi -tiedostoa hyödynnettiin työsuunnittelussa ja toteuman tarkastelussa. Toimitilahankkeessa miehittämättömällä ilma-alusjärjestelmällä tuotetusta ortoilmakuvasta tarkasteltiin Pix4D-sovelluksen avulla mm. etäisyyksiä, pintaaloja ja massatietoja, joita verrattiin toteumatietoon. Kuvassa 5 on esitetty työmaa-alueen kartoituksen lopputuotoksena syntynyt ortoilmakuva.



Kuva 5. Ortoilmakuva. Seppo Lamberg.

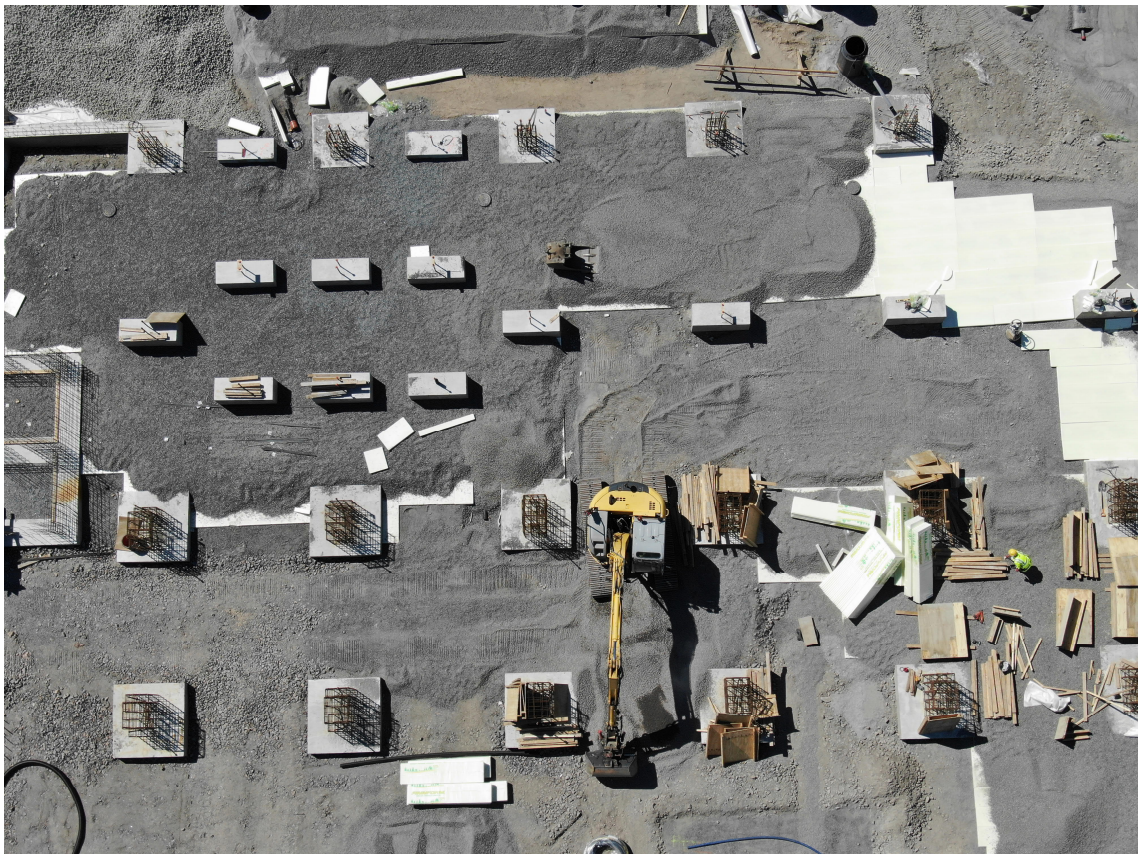
#### 5.1.2 Esimerkkikohde

Opinnäytetyön aikana työskentelin kohdeyrityksen Vantaan Jokiniemessä sijaitsevassa toimitilahankkeessa, jonne hankittiin DJI Mavic 2 Enterprise -miehittämätön ilma-alusjärjestelmä. Toimitilahankkeen miehittämätön ilma-alusjärjestelmä hankittiin rakennushankkeen rakennuttajan vaatimuksesta saada viikoittaista ilmakuvamateriaalia rakennushankkeen edistymisestä.

Opinnäytetyön aikana vastasin työmaan miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän hankinnasta sekä käytöstä. Ennen miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän hankintaa selvitettiin kuvauspalvelun kustannuksia ulkoistettuna palveluna. Kustannusvertailussa järkevimmäksi vaihtoehdoksi muodostui miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän hankinta rakennushankkeelle. Työmaalle hankitulla miehittämättömällä ilma-alusjärjestelmällä säästettiin merkittävästi kustannuksissa, sillä 21 kuukauden ajan viikoittainen ulkoistettu palvelu olisi tullut maksamaan kymmeniä tuhansia euroja. Työmaalle hankittiin DJI Mavic 2 Enterprise Zoom -miehittämätön ilma-alus, joka soveltui käyttötarkoituksiimme loistavasti. Kyseinen laitejärjestelmä valittiin monipuolisten ominaisuuksien vuoksi, jotka mah-

dollistavat kyseisen ilma-aluksen käytön ympärivuotisesti. Lisäksi laitteen kameran varustelu sopi käyttötarkoitukseen, kun haluttiin saada tarkkaa kuvaa myös pienemmistä rakennedetaljeista. Miehittämättömän ilma-aluksen hankinnan yhteydessä laitetoimittajalta tilattiin etäkäyttökoulutus, mikä sisälsi hankitun laitejärjestelmän toimintojen ja lennätysohjelman käyttöä.

Työmaa-alueesta otettiin viikoittain nadiiri- ja viistokuvia sekä videotallenteita vallitsevista työvaiheista, rakenneosista sekä työmaa-alueen kehittymisestä. Viikoittain työmaasta taltioitu ilmakuvamateriaali tallennettiin digitaalisesti rakennushankkeen projektipankkiin rakennushankkeen muiden osapuolten nähtäväksi. Rakennushankkeesta välitettyjen tilannekuvien ansiosta hankkeen osapuolet pystyivät seuraamaan rakennushankkeen edistymistä ilman fyysistä läsnäoloa. Kuvassa 6 on esitetty projektipankkiin viety nadiirikuva työmaasta.



Kuva 6. Viikko 24/2020. Teemu Alaluusua.

Ilmakuvadokumentaatio aloitettiin maaliskuussa 2020, ja se tulee jatkumaan viikoittain hankkeen valmistumiseen saakka. Toimitilahankkeen työvaiheiden dokumentaatio vei viikoittain yhdeltä henkilöltä noin 40-60 minuuttia työajasta. Tästä ajasta 20-30 minuuttia kului kaluston lentovalmiiksi asettamiseen ja lentotoimintaan. Lisäksi 20-30 minuuttia kului ilmakuvamateriaalin käsittelyyn ja tallentamiseen rakennushankkeen projektipankkiin sekä käytetyn ilmakuvauskaluston huoltoon.

Rakennushankkeen aikana vallinneen koronavirustilanteen myötä miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttötarkoitukset lisääntyivät työmaan viikkotilanteen ilmakuvadokumentaation lisäksi työvaiheiden laadunhallinnan tarkastuksien ilmakuvadokumentaatioon. Rakennushankkeen aikana rakennusvalvonnalle järjestettiin perustusten raudoitustarkastus reaaliaikaisena suoratoistotarkastuksena, jossa reaaliaikaista videokuva tuotettiin kauko-ohjattavalla ilma-alusjärjestelmällä. Suoratoistotarkastuksessa reaaliaikainen livekuva lähetettiin verkossa suorana lähetyksenä katsojalle suoratoistopalvelun kautta. Rakennusvalvonnalle tehdyn suoratoistotarkastuksen lisäksi miehittämättömällä ilma-aluksella kartoitettiin työmaa-alue DroneDeploy-kartoitusohjelman ilmaisella kokeilujaksolla, jonka lopputuotteena syntynyttä 2D- ja 3D-karttakuvaa hyödynnettiin työmaan aluesuunnittelussa sekä kokeiltiin määrien laskennassa sekä etäisyyksien mittaamisessa. Kartoitustoimintaa ei kuitenkaan tehty säännöllisesti, sillä se olisi vaatinut erikseen ostettavan kartoitusohjelman ilmakuvien analysointiin ja laskentaan.

Vantaalla, Jokiniemen kaupunginosassa sijaitsevan toimitilahankkeen ilmakuvausta vaikeutti työmaan lähellä sijaitsevien lentokenttien Helsinki-Vantaan lentoaseman sekä Helsinki-Malmin lentoaseman lennättämisen korkeutta rajoittava ilmatila-alue (CTR; Control Zone). Alueella lupavapaassa toiminnassa maksimilennätyskorkeudeksi on rajoitettu 50 metriä maan pinnasta. Kohde alueen lentotoiminnassa ei kuitenkaan ollut tarvetta nousta yli 50 metrin korkeudelle. Mikäli lentotoimintaa olisi haluttu harjoittaa korkeammalla kuin 50 metriä maan pinnasta, olisi lentotoiminta vaatinut ilmoitus ja toimilupamenettelyä lennonvarmistusyksiköltä.

## 5.2 Yrityksen käyttämät miehittämättömät ilma-alukset

SRV:n rakennushankkeille on pääsääntöisesti hankittu kiinalaisen teknologiayritys DJI:n kehittämiä kauko-ohjattavia ilma-alusjärjestelmiä. DJI on yksi tunnetuimmista miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien valmistajista, joka valmistaa erilaisia ilmakehuuslaitteita sekä ohjelmistoja.

Opinnäytetyön aikana seuratuissa SRV Rakennus Oy:n rakennushankkeissa käytettiin DJI:n valmistamaa Mavic 2 -sarjan nelikoptereita, mitkä ovat laitevalmistajan suosituimmat harrastus- ja ammattikäyttöön suunnatut ilma-alustyyppit. DJI Mavic 2 -ilma-alusjärjestelmät ovat siis tyypillisiä keskitason nelikoptereita, joiden lennättämisen oppiminen ilman aiempaa kokemusta on suhteellisen ongelmaton. DJI Mavic 2 -sarjan ilma-alusjärjestelmät ovat pienikokoisia ja kevyitä kauko-ohjattavia ilma-aluksia. Pienestä koosta huolimatta laitejärjestelmä on erityisen tehokas ja nopea laite, jolla kyetään tuottamaan monipuolista tietoa erilaisiin käyttötarkoituksiin. Kuvassa 7 on esitetty DJI Mavic 2 -nelikopteri.



Kuva 7. DJI Mavic 2. Teemu Alaluusua.

DJI Mavic 2 -ilma-alusjärjestelmät on varustettu infrapuna- ja esteiden tunnistusanturein, joiden avulla laite pystyy tunnistamaan lähestyvät esteet ja välittämään havaitun tiedon kauko-ohjaimen välityksellä laitteen kauko-ohjaajalle. Kyseisen sarjan ilma-aluksissa kamera on kytkettynä kameran vakaajaan, joka luo ilmakuvaukseen vakaan ja tasaisen kuvan. Ilma-alusjärjestelmät sisältävät erilaisia älykkäitä lentotoimintoja, joiden avulla ilma-alusjärjestelmää voi ohjata, seurata sekä ilmakuvaata.

Kohdeyrityksen hankkeissa käytetyt kauko-ohjattavat ilma-alukset kuitenkin erosivat toisistaan ilma-alusjärjestelmän ominaisuuksissa. Lisäksi ilma-aluksen ohjauksessa käytetyt mobiilisovellukset olivat täysin erilaiset. Pääkaupunkiseudulla sijaitsevassa asuntohankeessa käytetty nelikopteri DJI Mavic 2 Zoom ja pääkaupunkiseudulla sijaitsevassa toimitilahankkeessa käytetty DJI Mavic 2 Pro, ovat kuluttajille suunnattuja yleiskäyttöisiä kauko-ohjattavia ilma-alusjärjestelmiä. DJI Mavic 2 Pro ja Zoom -nelikoptereita ohjataan kauko-ohjaimen kytketyllä älylaitteella ja DJI:n ilma-alusmalliin soveltuvalla DJI Go 4 -mobiilisovelluksella. Kyseisen laitejärjestelmän käyttö on helppoa sen käyttöjärjestelmän helppokäyttöisyyden ja internetistä löytyvien ohjeiden vuoksi.

Esimerkkikohteena toimineessa kohdeyrityksen toimitilahankkeessa käytettiin ammattilaisille suunnattua DJI Mavic 2 Enterprise -mallia, mikä erosi kuluttajille suunnatusta DJI Mavic 2 Pro ja Zoom -nelikoptereista lisäominaisuuksilla ja lentotoiminnassa käytettävällä mobiilisovelluksella. Enterprise mallissa suurimmat eroavaisuudet Pro ja Zoom -malleihin ovat:

- Lentotoiminnan mahdollistaminen kylmemmissä olosuhteissa (- 20 °C) it-selämmittyvien akkujen vuoksi.
- Ilma-alusjärjestelmän salasanasuojattu data.
- ADS-B AirSense -toiminto, joka ilmoittaa lähellä lentävistä miehitetyistä ilma-aluksista.
- Ilma-alusjärjestelmä sisältää kolme lisävarustemoduulia, jotka on mahdollista kiinnittää kyseiseen laitteeseen; kaiutin, etsintä- ja hälytysvalo.

Enterprise-mallin mobiilisovellus (DJI Pilot) on ammattilaiskäyttöön tarkoitettu pelkistetympi versio kaupallisen laitejärjestelmän mobiilisovelluksesta (DJI Go 4). Laitejärjestelmän sovelluksen yksinkertaisuudesta huolimatta viranomaiskäyttöön tarkoitettua Enterprise-mallin mobiilisovelluksen käyttöohjeita on vain niukasti saatavilla internetissä. Lisäksi Enterprise-mallin asiakastuki ei palvele yhtä kattavasti kuin kaupallisen version.

Opinnäytetyössä kohdeyrityksessä käytetyille miehittämättömille ilma-alusjärjestelmille laadittiin yksinkertainen ja selkeä käyttöönotto-ohjeistus (Liite 1). Käyttöönotto-ohjeistuksen tarkoituksena on helpottaa uusien miehittämättömien ilma-alusten käyttäjien ja kauko-ohjaajien ensikosketusta yrityksessä käytettyihin miehittämättömiin ilma-aluksiin. Käyttöönotto-ohjeistus ei kuitenkaan korvaa laitejärjestelmän valmistajan laatimaa käyttöohjetta vaan toimii tämän oheismateriaalina. Luodun käyttöönotto-ohjeistuksen myötä ulkoistetulle asennuspalvelulle ja laitejärjestelmän käyttökoulutukselle ei välttämättä ole tarvetta, sillä nämä asiat on esitetty työn liitteenä olevassa käyttöönotto-ohjeistuksessa.

## 6 Tulokset

Rakennusalalla miehittämättömät ilma-alukset ovat tulleet jäädäkseen rakennushankkeiden eri osapuolten kiinnostuksesta ilmakuvamateriaalia kohtaan. Kohdeyrityksen rakennushankkeissa miehittämättömiä ilma-alusjärjestelmiä käytetään ilmakuvamateriaalin ja mittaustiedon tuottamisessa. Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän hankinta rakennushankkeelle voi parhaimmassa tapauksessa säästää aikaa ja rahaa sekä parantaa työturvallisuutta, kun ilmakuvamateriaali saadaan tuotannon käyttöön nopeasti. Esimerkiksi miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttö korkealla sijaitsevien rakenneosien tarkastuksessa edesauttaa ajallisessa ja rahallisessa säästössä, kun tarkastukseen ei tarvita henkilönostimia. Lisäksi taltioitu materiaali voidaan lähettää digitaalisesti muiden osapuolten nähtäväksi ilman paikkaan ja aikaan sitomista. Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän avulla tarvittava tieto on nopeammin ja turvallisemmin saatavilla. Vaikeasti tavoitettavien rakenneosien tutkimus henkilönostimesta käsin yhden kerran voi maksaa enemmän kuin yhden miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän hankinta. Kysyntää ilmakuvamateriaalille rakennushankkeiden dokumentaatioon on ilmentynyt myös tilaajan puolelta toteuman seurantaan varten.

Opinnäytetyön aikana miehittämättömien ilma-alusten käyttötarkoitukset esimerkkikohteena toimineessa toimitilahankkeessa suuntautuivat pääsääntöisesti työvaiheiden dokumentaatioon ja toteuman seurantaan. Viikoittain taltioitu ilmakuva- ja videomateriaali tallennettiin projektipankkiin rakennushankkeen muiden osapuolten nähtäväksi. Lisäksi taltioitua ilmakuva- ja videomateriaalia hyödynnettiin visuaalisena apuna viestinnässä eri rakennushankkeen osapuolten kesken. Rakennushankkeesta välitettyjen tilannekuvien ansiosta hankkeen osapuolet pystyivät seuraamaan rakennushankkeen kehittymistä ilman fyysistä läsnäoloa ja haluamaan ajankohtana. Opinnäytetyön aikana vallinneen koronaviruspandemian aikana digitaalisesti muille projektiorganisaation osapuolille välitettyjen tilannekuvien merkitys korostui entisestään, kun fyysisiä kontakteja tuli välttää. Viikoittaista dokumentaatiota ja toteumanseurantaan olisi voitu kehittää viikoittain tapahtuvan kartoituslennon avulla, mikäli kartoitustoiminnasta saatavat hyödyt olisi huomioitu projektiorganisaation keskuudessa.

Tilanteessa, jossa työmaaorganisaatio harkitsee kauko-ohjattavan ilma-alusjärjestelmän hankintaa rakennushankkeelle, on syytä miettiä käyttötarkoituksia etukäteen, jotta laitehankinta vastaa työmaan tarpeita. Tulevien EU-asetusten myötä kauko-ohjaajilta tullaan vaatimaan rekisteröitymistä sekä täyttämään käytettävän ilma-alusjärjestelmän vaatimat koulutusvaatimukset. Nämä yhdessä voivat tuoda tietynlaisen kynnyksen toiminnan aloittamiseksi. Uuden taidon oppiminen ja lainsäädäntöön tutustuminen vie kauko-ohjaajalta oman aikansa, eikä kauko-ohjattavan ilma-alusjärjestelmän käyttöä opi hetkessä. On siis syytä varmistaa, että kauko-ohjaajalla on riittävästi aikaa perehtyä lennättämiseen ja lennätystehtävien hoitamiseen muiden työtehtäviensä ohella.

Ilma-alusjärjestelmän hankinnassa on syytä seurata markkinoilla olevien ilma-aluksien CE-merkintöjen ilmaantumista ja huomioitava 30.12.2023 jälkeen voimaan tulevat CE-merkintävaatimukset, jotka tulevat rajoittamaan vanhempien ilma-alusjärjestelmien käyttöä avoimessa toimintakategoriassa. Jos vanhempien kauko-ohjattavien ilma-alusten ominaisuudet eivät täytä avoimen toimintakategorioiden vaatimia ominaisuuksia, täytyy toiminnalle hakea erityisen toimintakategorian mukaisia poikkeuslupia valvovalta ilmailuviranomaiselta.

Miehittämättömien ilma-alusten ominaisuuksissa on kuitenkin suuria eroja. Kohdeyrityksen käyttämät miehittämättömät ilma-alusjärjestelmät soveltuvat mm. rakenteiden ilma-kuva- ja videodokumentaatioon sekä työmaa-alueen havainnointiin loistavasti. Tarkkojen mittaustietojen tuottaminen yleistason miehittämättömillä ilma-alusjärjestelmillä ei ole mahdollista, ja tarkkaa mittaustietoa tuottavat laitejärjestelmät ovat turhan kalliita yhden rakennushankkeen käytössä. Tarkempaa mittaustietoa vaativissa tapauksissa voi olla järkevää ulkoistaa palvelu konsulteille, joilta löytyy tietotaito sekä tarvittava kalusto tämän kaltaisten tietojen tuottamiseen.

Kirjallisen työn liitteenä oleva kohdeyritykselle laadittu Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttöönotto-ohjeistus (Liite 1) toteutettiin perehtymällä jo olemassa olevaan laitteen valmistajan käyttöohjeeseen, internet-lähteisiin sekä omaan käyttökokemukseen perustuen. Lisäksi käyttöönotto-ohjeistuksen teossa hyödynnettiin laitteen jälleenmyyjän pitämää käyttökoulutusta ja ohjeistuksen testaajana toimineen henkilön kommentteja.

Jotta miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttö yleistyisi kohdeyrityksen työmaaorganisaation keskuudessa, tulisi miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käytölle luoda yritysکوhtaiset toimintamallit. Opinnäytetyön kirjallinen osio sekä liitteenä tilaajayritykselle luotu käyttöönotto-ohjeistus antaa hyvän alun miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttöönotolle yrityksen rakennushankkeissa ja muissa käyttökohteissa.

## 7 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia ohjeistus miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttöönotosta työmaaorganisaatiolle. Opinnäytetyöprosessin aikana perehdyttiin miehittämättömän ilmailun käsitteisiin, yleisimpiin ilma-alustyypeihin sekä näiden käyttötarkoituksiin rakennusalailla. Työssä selvitettiin ajankohtaisin tieto miehittämättömien ilma-alusten lainsäädännöstä sekä tulevasta lainsäädännön muutoksesta ja sen vaikutuksesta lentotoimintaan rakennushankkeissa. Opinnäytetyön materiaalia kerättiin kohdeyrityksen lentotoimintaa harjoittavien henkilöiden haastatteluiden ja viikoittaisten lennätystoimien avulla. Työn kirjallisen osion lisäksi työn tilaajayritykselle luotiin hyvin selkeä käyttöönotto-ohjeistus yrityksen käyttämille miehittämättömille ilma-alustyypeille. Tavoitteena oli, että ohjeistuksen avulla miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttö tulisi tutummaksi työmaaorganisaatiolle, ja että miehittämättömän ilma-aluksen hankintakynnys madaltuisi tarpeen ilmentyessä.

Tässä opinnäytetyössä miehittämättömien ilma-alusten käyttö keskittyy esimerkkikohteena olleen toimitilahankkeen myötä dokumentaatio ja tarkastustoimintaan. Kirjallinen työ selkeyttää lukijalle lainsäädännön vaikutuksia lentotoiminnalle rakennusalan näkökulmasta.

Opinnäytetyö koostuu teoriaosuudesta ja empiirisestä tutkimuksesta. Tämän lisäksi kohdeyritykselle laadittiin työn liitteenä oleva ohjeistus. Teoriaosuudessa on käsitelty miehittämättömän ilma-aluksen toimintaa, käyttökohteita sekä lainsäädäntöä. Empiirisessä tutkimuksessa on käsitelty tilaajayrityksen miehittämättömien ilma-alusten toimintaa ja käyttökohteita. Työn perimmäisenä tarkoituksena oli tuoda olennaisin tieto työmaaorganisaation saataville, jotta lentotoiminta tapahtuisi asetettujen lainsäädäntöjen asettamissa puitteissa. Työn liitteenä oleva käyttöönotto-ohjeistus on laadittu kohdeyrityksen käyttämien miehittämättömien ilma-alusten käyttöön. Ohjeistuksessa on pyritty selkeästi kertomaan lukijalle miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käytöstä ja lentotoiminnassa huomioitavista asioista.

Miehittämättömän ilma-aluksen lennättämisen hallitsemisessa, alan kirjallisuutta lukeamalla tiedostaa lennättämisen vaatimukset, lennätystä näkemällä ymmärtää toiminnallisen näkökulman ja itse tekemällä oppii hallitsemaan kokonaisuutta.

## Lähteet

Ammattikäyttäjien turvallisuus. 2020. Verkkoaineisto. Dronerules ammattikäyttäjille. <<https://dronerules.eu/fi/professional/obligations/summary-of-safety-rules-in-eu>>. Luettu 6.10.2020.

Ammattikäyttäjien vakuutus ja korvausvastuu. Verkkoaineisto. Dronerules ammattikäyttäjille. <<https://dronerules.eu/fi/professional/obligations/summary-of-insurance-rules-in-eu>>. Luettu 6.10.2020.

An aerial view of your jobsite. 2017. Verkkoaineisto. DroneDeploy. <[https://dronedeploy-www.cdn.prismic.io/dronedeploy-www%2Ff8d3f1dc-5105-44c5-ad71-84749d33e108\\_an-aerial-view-of-your-jobsite-v1.0.pdf](https://dronedeploy-www.cdn.prismic.io/dronedeploy-www%2Ff8d3f1dc-5105-44c5-ad71-84749d33e108_an-aerial-view-of-your-jobsite-v1.0.pdf)>. Luettu 21.8.2020.

ANS Finland – Luotettavaa lennonvarmistusta. Verkkoaineisto. Traffic Management Finland. <<https://www.tmf.fi/fi/ans>>. Luettu 1.9.2020.

Aviamaps. Verkkoaineisto. <<https://aviamaps.com/fi>>. Viitattu 1.9.2020.

CE-merkintä. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta>>. Luettu 5.5.2020.

Corrigan, Fintan. 2019. How a quadcopter works with propellers and motors explained. Verkkoaineisto. Dronezon. <<https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/how-a-quadcopter-works-with-propellers-and-motors-direction-design-explained/>>. 4.10.2019. Luettu 12.3.2020.

Drones in construction and infrastructure. Verkkoaineisto. Wingtra. <<https://wingtra.com/drone-mapping-applications/drones-in-construction-and-infrastructure/>>. Luettu 13.10.2020.

Drone-infotilaisuus. 2020. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://traficom.videosync.fi/drone-info?seek=398>>. 30.1.2020. Luettu 21.3.2020.

Drone, UAV, UAS, RPA or RPAS. Verkkoaineisto. Altigator. <<https://altigator.com/drone-uav-uas-rpa-or-rpas/>>. Luettu 26.2.2020.

Dukowitz, Zacc. 2019. Verkkoaineisto. <<https://uavcoach.com/drones-in-construction/>>. Luettu 13.7.2020

Dukowitz, Zacc. 2017. What Is an Orthomosaic Map? How These Maps Are Helping Catch Bad Guys, Grow Crops, and Keep People Safe. Verkkoaineisto. <<https://uavcoach.com/drones-orthomosaic-map/>>. Luettu 30.8.2020.

Erkkilä, Jorma. 2019. Neljä Helsingin pörssin yhtiötä siirtyy isompaan kokoluokkaan. Verkkoaineisto. Salkunrakentaja. <[www.salkunrakentaja.fi/2019/12/porssi-kokoluokka/](http://www.salkunrakentaja.fi/2019/12/porssi-kokoluokka/)>. 18.12.2019. Luettu 20.2.2020.

EU dronesäännöt. Verkkoaineisto. Droneinfo. <[https://www.droneinfo.fi/fi/eu\\_drone-saannot/](https://www.droneinfo.fi/fi/eu_drone-saannot/)>. Luettu 5.3.2020.

Franken, Pieter. 2019. EU Drone regulations for dummies. Verkkoaineisto. Terra Drone. <<https://terra-drone.eu/en/articles-en/eu-drone-regulations-explained-for-dummies/>>. Luettu 4.10.2020.

Frequently Asked Questions. Verkkoaineisto. ICAO. <<https://www.icao.int/safety/UA/UASToolkit/Pages/FAQ.aspx>>. Luettu 12.3.2020.

Honkavaara, Eija; Hakala, Teemu & Nevalainen, Olli. 2018. Ilma-alus kohteen mukaan. Positio-lehti 1/2018. <[https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2018/03/Ilma-alus\\_kohteen\\_mukaan.pdf](https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2018/03/Ilma-alus_kohteen_mukaan.pdf)>. Luettu 11.7.2020.

Hiltunen, Juha. 2018. LiDAR-skannaus mullistaa käsitykset muinaisesta Amerikasta. Verkkoaineisto. Antroblogi. <<https://antroblogi.fi/2018/04/lidar-skannaus-mullistaa-kasitykset-muinaisesta-amerikasta/>>. Luettu 20.8.2020.

Huoviala, Kimmo. 2020. Kysymyksiä miehittämättömistä ilma-aluksista. Sähköpostiviesti: 6.3.2020.

Inventointimallinnus ja 3D-mallien analysointi. Verkkoaineisto. Ramboll. <[https://fi.ramboll.com/palvelut/kiinteistot\\_ja\\_rakentaminen/suunnittelu-ja-projektipalvelut/inventointimallinnus](https://fi.ramboll.com/palvelut/kiinteistot_ja_rakentaminen/suunnittelu-ja-projektipalvelut/inventointimallinnus)>. Luettu 22.9.2020.

Joala, Vahur. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Verkkoaineisto. Leica. <<https://docplayer.fi/7209674-Laserkeilauksen-perusteita-ja-mittauksen-suunnittelu.html>>. Luettu 20.8.2020.

Keränen, Henri. 2017. Miehittämättömien ilma-alusten käyttö lämpökuvauksessa. Insinööriyö. Metropolian Ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikka. Luettavissa osoitteessa <[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/138301/Keränen\\_Henri.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/138301/Keränen_Henri.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>.

Komission delegoitu asetus (EU) 2019/945. Miehittämättömistä ilma-alusjärjestelmistä ja kolmansien maiden miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttäjistä. Annettu 12 päivänä maaliskuuta 2019. EUR-Lex. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1584724390461&uri=CELEX:32019R0945>>. Luettu 20.3.2020.

Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947. Säännöistä ja menetelmistä miehittämättömien ilma-alusten käytössä. Annettu 24 päivänä toukokuuta 2019. EUR-Lex.

<<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1560241430970&uri=CELEX%3A32019R0947>>. Luettu 14.3.2020.

Kunnioita yksityisyyttä. 2019. Verkkoaineisto. Droneinfo. <[https://www.droneinfo.fi/fi/kunnioita\\_yksityisyytta](https://www.droneinfo.fi/fi/kunnioita_yksityisyytta)>. Luettu 4.10.2020.

Lahdenperä, Sini. 2019. Hallituksen esitys EU:n EASA-asetusta täydentäväksi lainsäädännöksi. Verkkoaineisto. Traficom. <[https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Ilmailulain\\_uudistus\\_Lahdenper%C3%A4.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Ilmailulain_uudistus_Lahdenper%C3%A4.pdf)>. Luettu 15.3.2020.

Lamberg, Seppo. 2020. SRV Rakennus Oy. Keskustelu 25.6.2020.

Laserkeilausteknologia. Verkkoaineisto. Neopoint Oy. <<https://www.neopoint.fi/fi/laserkeilaus>>. Luettu 20.8.2020.

Lämpösäteily & Infrapuna. Verkkoaineisto. Infradex. <<https://www.infradex.com/lamposateily-ja-lampokamera/>>. Luettu 20.8.2020.

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://www.traficom.fi/fi/traficom>>. Luettu 20.2.2020.

Luotettavat lähtötiedot päätöksenteon tukena. Verkkoaineisto. Tietoa. <[https://tietoa.fi/palvelut/luotettavat-lahtotiedot/?utm\\_source=Google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=visualisointi&utm\\_content=laserkeilaus&gclid=EAlaIQob-ChMIs8O56Jr96wIVhdKyCh2Jggz4EAAYASAAEgKLxfD\\_BwE](https://tietoa.fi/palvelut/luotettavat-lahtotiedot/?utm_source=Google&utm_medium=cpc&utm_campaign=visualisointi&utm_content=laserkeilaus&gclid=EAlaIQob-ChMIs8O56Jr96wIVhdKyCh2Jggz4EAAYASAAEgKLxfD_BwE)>. Luettu 22.9.2020.

Miehittämättömät ilma-alukset. Verkkoaineisto. Airbus. <<https://www.airbusfinland.com/tulevaisuuden-ratkaisut/miehittamattomat-ilma-alukset>>. Luettu 30.9.2020.

Minilex. Mikä on oikeushenkilö. Verkkoaineisto. <<https://www.minilex.fi/a/mik%C3%A4-on-oikeushenkil%C3%B6>>. Luettu 10.9.2020.

Multi-rotor vs. Single-rotor. 2017. Verkkoaineisto. KDEDirect. <<https://www.kdedirect.com/blogs/news/multi-rotor-vs-single-rotor>>. Luettu 27.9.2020.

Niemelä, Timo. 2020. Kysymyksiä miehittämättömistä ilma-aluksista. Sähköpostiviesti: 6.3.2020.

OPS M1-32. 2018. Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. <[https://arkisto.trafi.fi/file-bank/a/1543326521/514c2766eb6f8413b2b0d71032cb4337/32598-OPS\\_M1-32\\_2018\\_fi.pdf](https://arkisto.trafi.fi/file-bank/a/1543326521/514c2766eb6f8413b2b0d71032cb4337/32598-OPS_M1-32_2018_fi.pdf)>.

OPS M1-32, Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun (siirtymäkauden edellyttämät muutokset). 2020. Traficom. <<https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/M%C3%A4%C3%A4r%C3%A4yshanke%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%20OPS%20M1-32%20final.pdf>>. Luettu 30.8.2020.

Pekkala, Janne. 2015. 3D-laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmentaminen. Verkkoaineisto. <<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/23368/Pekkala.pdf?sequence=3&isAllowed=y>>. Luettu 11.9.2020.

Rodriguez, Juan. 2018. How UAVs Are Being Used in Construction Projects. Verkkoaineisto. <<https://www.thebalancesmb.com/how-drones-could-change-the-construction-industry-845041>>. Luettu 12.7.2020

RL 19.12.1889/39. 2020. Rikoslaki. Julkaisu Oikeusministeriön Finlex-palvelussa, osiossa Ajantasainen lainsäädäntö. Viitattu 4.10.2020. <<https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1889/18890039001?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=rikoslaki%2024#L24>>.

RPAS lentotyö. 2020. Verkkoaineisto. Droneinfo. <[https://www.droneinfo.fi/fi/lentotyto/rpas\\_lentotyto](https://www.droneinfo.fi/fi/lentotyto/rpas_lentotyto)>. Luettu 1.9.2020.

RPAS lentotyötoiminta. 2020. Verkkoaineisto. Droneinfo. <[https://www.droneinfo.fi/fi/lentotyto/rpas\\_lentotyto](https://www.droneinfo.fi/fi/lentotyto/rpas_lentotyto)>. Luettu 4.10.2020

Stannard, Liam. 2018. 6 Profitable Ways Drones in Construction Are Changing Projects. Verkkoaineisto. <<https://www.bigrentz.com/blog/drones-construction>>. Luettu 12.7.2020.

SRV yhtiönä. Verkkoaineisto. SRV. <[www.srv.fi/srv-yhtiona/](http://www.srv.fi/srv-yhtiona/)>. Luettu 20.2.2020.

Selvitys RPAS-menetelmistä. 2018. Kansallinen maastotietokanta. <[https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2020/02/KMTK\\_kuntapro\\_Selvitys\\_RPAS\\_menetelmista\\_v2.pdf](https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2020/02/KMTK_kuntapro_Selvitys_RPAS_menetelmista_v2.pdf)>. Luettu 21.8.2020.

The Rise of Drones in Construction. 2018. Verkkoaineisto. DroneDeploy. <<https://www.dronedeploy.com/blog/rise-drones-construction/>>. Luettu 6.9.2020.

Thermographic Building Diagnostics. Verkkoaineisto. Workswell thermal imaging systems. <<https://www.drone-thermal-camera.com/thermographic-diagnostics-buildings/>>. Luettu 20.8.2020.

Types of Drones. 2020. Verkkoaineisto. <<http://www.circuitstoday.com/types-of-drones>>. Luettu 11.07.2020.

Turvallisuusarviointi ohje. Verkkoaineisto. Trafi. <[https://arkisto.trafi.fi/file-bank/a/1538551246/6100743a1635be538a0c4144d268d1f9/31948-Turvallisuusarviointi\\_ohje\\_v2.pdf](https://arkisto.trafi.fi/file-bank/a/1538551246/6100743a1635be538a0c4144d268d1f9/31948-Turvallisuusarviointi_ohje_v2.pdf)>. Luettu 1.9.2020.

UAS-Kartoitus. Verkkoaineisto. Geotrim. <<https://geotrim.fi/tuotteet/uas/>>. Luettu 27.8.2020.

Usein kysyttyä. 2018. Verkkoaineisto. Droneinfo. <[www.droneinfo.fi/fi/usein\\_kysyttya/ilmailu\\_-\\_miehittamattomat\\_ilma-alukset\\_ja\\_lennokit](http://www.droneinfo.fi/fi/usein_kysyttya/ilmailu_-_miehittamattomat_ilma-alukset_ja_lennokit)>. Luettu 24.2.2020.

Using Drones in Construction. 2019. Verkkoaineisto. Propeller Aero. <<https://www.propelleraero.com/blog/using-drones-in-construction-the-beginners-guide/>>. Luettu 12.7.2020.

Vitikainen, Mikko. 2020. SRV Rakennus Oy. Keskustelu 10.6.2020.

Vänskä, Eeva. 2020. Droonit lisäävät turvallisuutta ja helpottavat korjausrakentamista. Verkkoaineisto. Rakentaja-lehti. <<https://rakennusliitto.fi/2020/01/31/droonit-lisaavat-turvallisuutta-ja-helpottavat-korjausrakentamista/>>. Luettu 21.8.2020.

Ward, Susan. 2019. The Best Drone Business Ideas. Verkkoaineisto. <<https://www.thebalancesmb.com/best-drone-business-ideas-4125154>>. Luettu 12.7.2020.

Yksityisyyden suoja/tietosuoja ammattilaisille. 2018. Verkkoaineisto. Dronerules ammattikäyttäjille. <<https://dronerules.eu/fi/professional/obligations/summary-of-privacy-rules-in-eu>>. Luettu 4.9.2020.

Älä lennäätä täällä. 2020. Verkkoaineisto. Droneinfo. <[https://www.droneinfo.fi/fi/ala\\_lennata\\_taalla](https://www.droneinfo.fi/fi/ala_lennata_taalla)>. Luettu 1.9.2020.

Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttöönotto-ohjeistus

# **Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttöönotto-ohjeistus**

Teemu Alaluusua | SRV Rakennus Oy

## Alkusanat

Tämän ohjeellisen käsikirjamallin tarkoituksena on auttaa miehittämättömien ilma-alusten käyttäjiä lennätystoiminnan aloittamisessa DJI Mavic 2 miehittämättömällä ilma-alusjärjestelmällä. Käsikirja sisältää ne perusasiat, jotka tulee huomioida miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttöönotossa sekä lentotoiminnassa. Tähän käyttöohjeeseen on koottu miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käytön eri vaiheet ilma-alusjärjestelmän käyttöönotosta lentotoiminnan aloittamiseen. Lentotoimintaan sovellettavat vaatimukset tulee selvittää suomen ilmailuviranomaiselta.

## Sisällysluettelo

<b>1 Johdanto .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Ilma-alusjärjestelmän sisältö .....</b>	<b>4</b>
2.1 Ilma-alus.....	5
2.2 Kauko-ohjain .....	6
2.3 Ilma-aluksen akut ja latausjärjestelmä .....	8
<b>3 Ilma-alusjärjestelmän kokoaminen .....</b>	<b>8</b>
3.1 Akkujen lataus ja varaustilan tarkistus .....	8
3.2 Laitejärjestelmän käyttövalmiiksi saattaminen .....	10
<b>4 Lennätyssovellusten käyttö .....</b>	<b>12</b>
4.1 Aloitus .....	13
4.2 Lentotilanäkymä .....	15
4.3 Ilma-alusjärjestelmän tila .....	18
4.4 Ilma-alusjärjestelmän yleiset asetukset.....	20
<b>5 Miehitämättömän ilma-aluksen lentoonlähtö.....</b>	<b>28</b>
5.1 Kauko-ohjaimen käyttö lentotoiminnassa.....	28
5.2 Tarkastuslista .....	30
<b>Lähteet.....</b>	<b>32</b>

## 1 Johdanto

Tämä käyttöohjeistus käsittelee DJI Mavic 2 -miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttöä. Käyttöohjeistuksessa on esitetty ilma-alusjärjestelmien sovelluksien tärkeimmät ominaisuudet sekä toiminnot lentotoiminnan aloittamiseksi. Ohjeistuksen tarkoituksena on selittää lukijalle ilma-alusjärjestelmän käyttöä, jotta kyseisen ilma-alusjärjestelmän käyttöönotto olisi mahdollisimman mutkatonta ja helppoa.

DJI Mavic 2 on kiinalaisen teknologia yritys DJI:n luoma miehittämätön ilma-alusjärjestelmä. DJI Mavic 2 on pienehkö kokoon taitettava nelikopteri (neljällä roottorilla toimiva ilma-alus). Ilma-aluksen kokoon taitettavien jalkojensa ansiosta laitejärjestelmä kulkee vaivattomasti kauko-ohjaajan mukana. Mavic 2 ilma-alusmalleja ovat kuluttajatason mallit Pro ja Zoom, sekä viranomaisille ammatillaiskäyttöön suunnatut Enterprise mallit. DJI Mavic 2 mallit ovat rungoltaan samanlaisia, mutta ilma-alus mallien välillä on pieniä eroja teknisissä ominaisuuksissa.

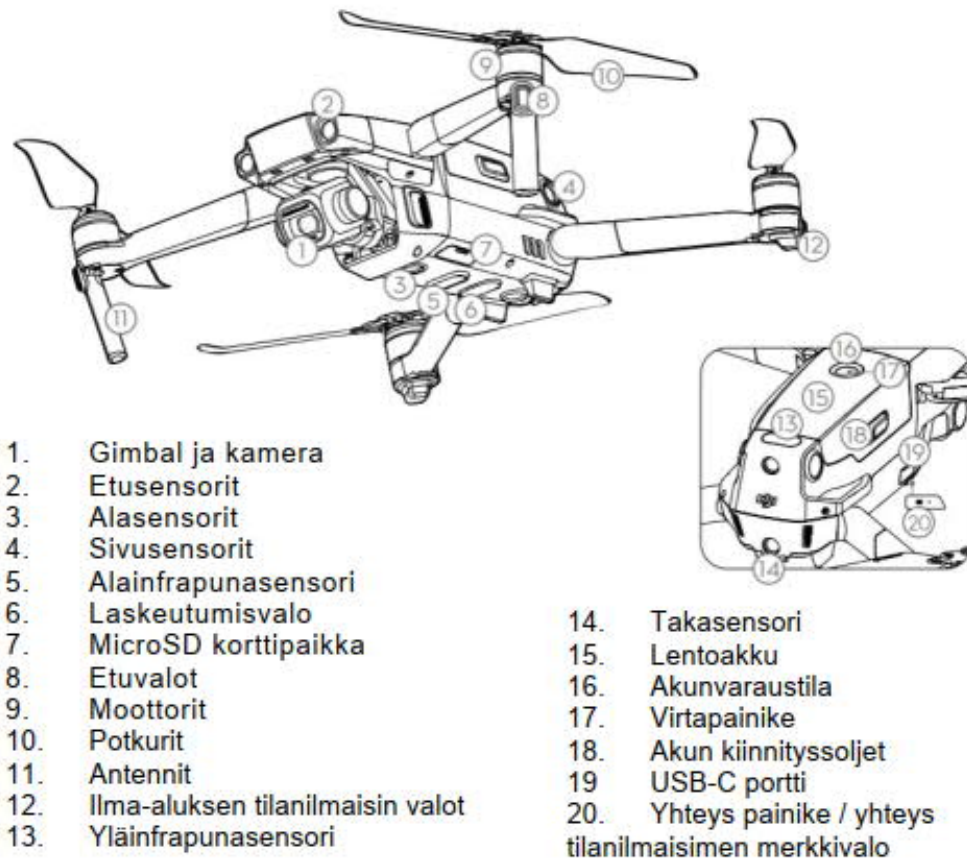
## 2 Ilma-alusjärjestelmän sisältö

DJI Mavic 2 ilma-alusjärjestelmät sisältävät itse ilma-aluksen, kauko-ohjaimen sekä näiden järjestelmä osien lataus laitteiston (laturin ja ilma-aluksen akut). Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän osien lisäksi tarvitaan ilma-aluksen lentotoiminnan mahdollistava sovellus. Käytettävä sovellus riippuu käytettävästä ilma-alusjärjestelmän mallista.

DJI Mavic 2 ilma-alusjärjestelmän eri mallit eivät suuresti poikkea keskenään. DJI Mavic 2 Pro ja Zoom laitejärjestelmien eroavaisuus löytyy ilma-aluksen kameran varustelusta. DJI Mavic 2 Enterprise mallin suurimmat erot Pro ja Zoom malleihin löytyy järjestelmän kiinteistä ja kiinnitettävistä lisävarusteista.

## 2.1 Ilma-alus

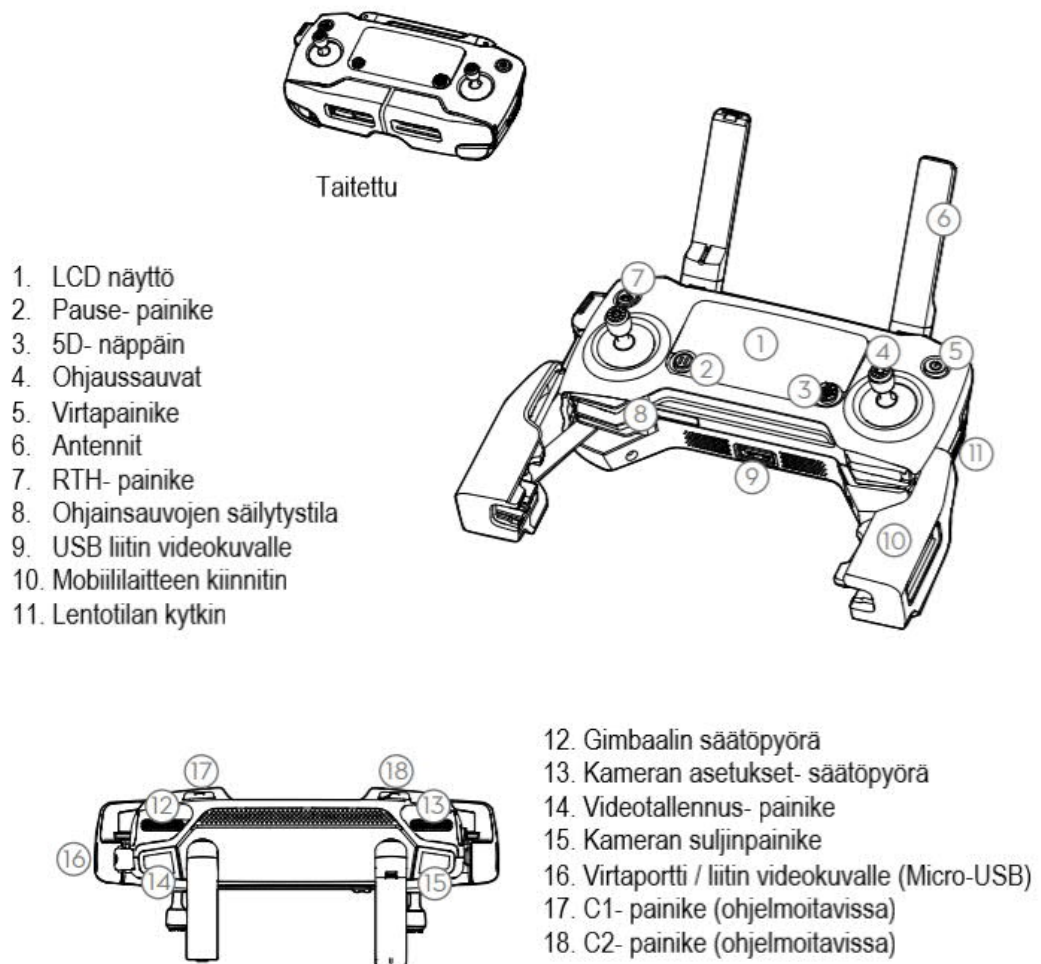
DJI Mavic 2 ilma-alus sisältää paljon elektronisia järjestelmän osia. Ilma-aluksen keu-  
lassa sijaitsee ilma-aluksen kamera, joka on kytketty kuvanvakaajaan eli gimbaaliin.  
Ilma-aluksen sivuilta löytyy sensorit, jotka aistivat läheiset objektit. Sensorit ilmaisevat  
lentotoiminnan aikana lähestyvistä objekteista. Ilma-aluksen pohjassa on alainfrapu-  
nasensorit, jotka varmistavat lentotoiminnan laskeutumisen tasaiselle alustalle. DJI Ma-  
vic nelikopterin moottorit sijaitsevat taitettavien jalkojen päissä. Kuvassa 1. on esitetty  
tarkemmin ilma-aluksen osat.



Kuva 1. DJI Mavic 2 ilma-aluksen elektroniset järjestelmän osat. (1.)

## 2.2 Kauko-ohjain

Ilma-aluksen ohjain on osa DJI Mavic 2 ilma-alusjärjestelmää. Kauko-ohjaimen avulla kauko-ohjaaja hallitsee ilma-alusta lennätystoiminnassa. DJI Mavic 2 kauko-ohjaimesta löytyy kaksi erilaista versiota, mutta tässä ohjeistuksessa on keskitytty standardi kauko-ohjaimeen. Standardi kauko-ohjain on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä mobiililaitteen kanssa. Mobiili-laite yhdistetään kauko-ohjaimen videolinkkiin ja asetetaan ohjaimen mobiililaitteen pidikkeiden väliin tukevasti. Kuvassa 2. on esitetty tarkemmin kauko-ohjaimen osat.



Kuva 2. DJI Mavic 2 ilma-aluksen kauko-ohjaimen osat. (1.)

Pause-painike (engl. Flight Pause Button) sijaitsee kauko-ohjaimen vasemmassa yläreunassa (nro. 2). Pause-painike mahdollistaa ilma-aluksen pysähtymisen ja leijumisen paikallaan.

5D-näppäin sijaitsee oikean ohjainsauvan vasemmalla puolella (nro 3.). 5D-näppäimelle voidaan asettaa erilaisia toimintoja lennätyssovelluksen valikosta.

RTH-painiketta (Return to Home) painettaessa ilma-alus palaa viimeksi tallennetulle kotipisteelle. Toiminto peruutetaan painamalla uudestaan painikkeesta (nro 7.).

Miehittämättömän ilma-aluksen lentotila-asetuksia voidaan helposti mukauttaa harjoitettavan lentotoiminnan mukaan kauko-ohjaimen oikealla sivustalla sijaitsevasta lentotilakytkimestä (nro 11.). Lentotilakytkimestä voidaan asettaa ilma-alukselle kolme erilaista tilaa: T-tila, P-tila ja S-tila.

T-tila (engl. Tripod Mode) tarkoittaa lentotilaa, jossa mm. lentonopeus on rajoitettu 1 m/s. T-lentotila on hyvä aloittelevalle kauko-ohjaajalle sekä erilaisiin matalanopeuksiin kuvaustilanteisiin.

P-tila (engl. Position Mode) tarkoittaa lentotilaa, jossa ilma-alus käyttää aktiivisesti GPS-paikannusta ja liiketunnistin sensoreita ilma-aluksen paikantamiseen, vakauttamiseen ja esteiden välillä liikkumiseen. Tätä tilaa hyödynnetään erilaisissa autonomisissa lentotilanteissa, jossa lennätyssovelluksen avulla on ennalta määrätty lentoreitti ja parametrit tietynlaista kuvausta varten.

S-tila (engl. Sport Mode) tarkoittaa lentotilaa, jossa ilma-alus voi lentää maksiminopeudella. S-tilan kauko-ohjaimen liikkeet ovat herkempiä kuin P-tilassa. S-tilassa liiketunnistinsensorit eivät ole toiminnassa.

Kameran kuvanvakaajan eli gimbaalin asentoa voidaan säätää kauko-ohjaimen takana vasemmassa reunassa sijaitsevasta säätöpyörästä (nro 12.). Kameran zoomia voidaan säätää kauko-ohjaimen takaa oikealla sijaitsevasta säätöpyörästä (nro 13.). Kameran suljinpainikkeella (nro 14.) on mahdollista ottaa lentotoiminnan aikana valokuvia. Videotallennus-painikkeella (nro 15.) voidaan ottaa videotallenteita lentotoiminnan aikana.

Kauko-ohjaimen virtaportti sijaitsee kauko-ohjaimen vasemmalla puolella (nro. 16). Tätä samaa porttia hyödynnetään myös videolinkin välittämisessä mobiililaitteelle.

## 2.3 Ilma-aluksen akut ja latausjärjestelmä

Ilma-alusjärjestelmän mukana tulee tyypillisesti vain yksi ilma-aluksen akku sekä latausjärjestelmä, jolla ladataan ilma-aluksen akut ja kauko-ohjain. ilma-aluksen akun varaus kestää käytössä noin 20–25 minuuttia. Lyhyt käyttöaika selittyy nelikopterin neljän moottorin sähkövirran kulutuksella. Laitteen kauko-ohjaimen akun varaus kestää valmistajan tietojen mukaan 2 tuntia ja 15 minuuttia suotuisissa olosuhteissa.

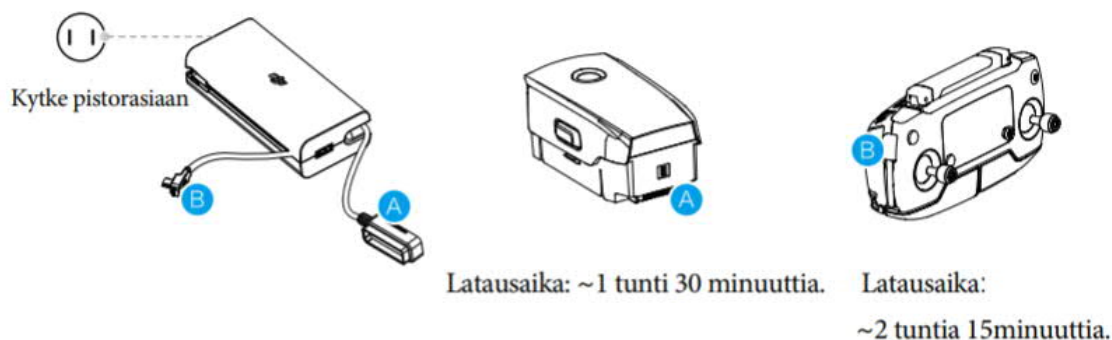
## 3 Ilma-alusjärjestelmän kokoaminen

DJI Mavic 2, miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttöönotto alkaa ilma-alusjärjestelmän valmistajan tuotepakkauksen avauksella ja pakkauksen sisältöön tutustumisella. Seuraavana työvaiheena on pakkauksen suojamuovien poistaminen ilma-alusjärjestelmästä. Suojamuovien poiston yhteydessä voit halutessasi poistaa ilma-aluksen varoitustarrat roottorien läheisyydestä ja ilma-aluksen akuista. Laittejärjestelmän mukana tulevaan miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän valmistajan laatimaan toimintakäsikirjaan on syytä perehtyä.

### 3.1 Akkujen lataus ja varaustilan tarkistus

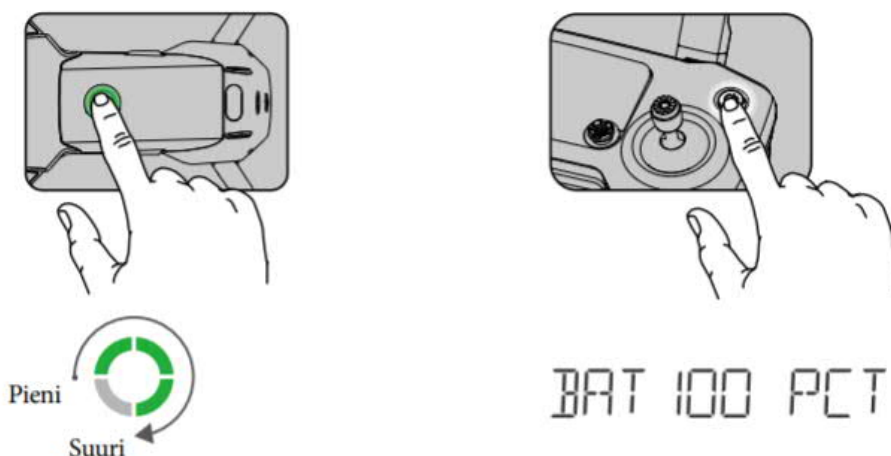
Tuotepakkauksen avauksen ja suojamuovien poiston jälkeen on syytä ladata ilma-alusjärjestelmän akut ja todeta akkujen toimivuus ennen seuraavia käyttöönoton vaiheita.

DJI Mavic 2 Ilma-alusjärjestelmän kauko-ohjaimen sekä ilma-aluksen akkujen lataus suoritetaan ilma-alusjärjestelmän paketin mukana toimitetulla latauslaitteella. Latauslaitteen pistoke kytketään pistorasiaan. Ilma-aluksen akku kytketään latauslaitteen akulle suunnatulle latausjalustalle pystyasennossa. Ilma-aluksen kauko-ohjain kytketään latauslaitteen Micro-USB adapteriin. Kuvassa 3. on esitetty latausjärjestelmän käyttöä.



Kuva 3. Latausjärjestelmä. (1.)

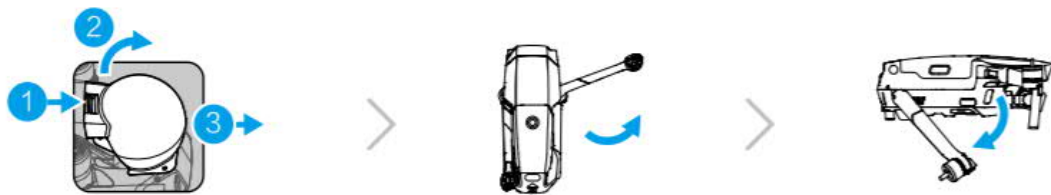
Ilma-aluksen akun varaustaso tarkastetaan painamalla akun päällä olevaa pyöreää painiketta. Painikkeen reunalla tulisi syttyä vihreä varaustason valo, joka ilmoittaa neljällä valo kvartaalillaan akun varaustason (neljä kvartaalia = 100 %, 3 kvartaalia 75 %, 2 kvartaalia = 50 %, 1 kvartaali = 25 %). Ilma-aluksen kauko-ohjaimen akun varaustilanne tarkastetaan painamalla kauko-ohjaimen virtapainiketta. Virtapainikkeen painalluksen jälkeen kauko-ohjaimen akun varaustaso tulee näkyviin kauko-ohjaimen LCD näytölle. Kuvasssa 4. on havainnollistettu akun varausten tarkastaminen.



Kuva 4. Akun varauksen tarkistaminen. (1.)

### 3.2 Laitejärjestelmän käyttövalmiiksi saattaminen

Ilma-alusjärjestelmän käyttöohjeisiin tutustumisen sekä akkujen latauksen jälkeen voidaan aloittaa itse laitejärjestelmän käyttövalmiiksi saattaminen. Ilma-aluksen lentokuntoon valmisteleminen alkaa kameransuojan irrotuksella ja ilma-aluksen taitettavien jalkojen avaamisella (Kuva 5.).



Kuva 5. Ilma-aluksen valmistelu. (1.)

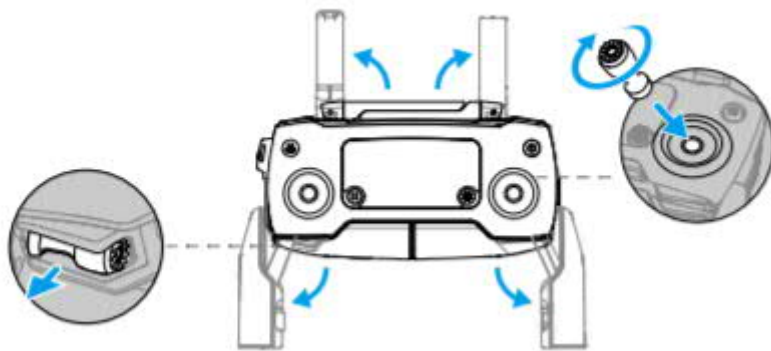
Edellisen työvaiheen jälkeen miehittämättömään ilma-alusjärjestelmään tulee asentaa roottorin propellit. Nelikoptereiden roottoreiden propellit asennetaan samansuuntaisesti vastakkaisissa kulmissa, kumotakseen roottorin synnyttämän vääntövoiman. Laitejärjestelmän roottorit ja potkurit on merkitty värikoodein (valkoinen rinkula), jotta roottorin potkureiden asennus helpottuisi. Potkurit asennetaan roottoreihin painamalla potkuria yhteensopivan roottorinpesään ja kääntämällä potkuria lukittuvaan suuntaan (kuva 6.).



Kuva 6. Potkureiden asennus. (1.)

Miehittämättömän ilma-aluksen jalkojen toimintavalmiiksi laittamisen jälkeen tulee asettaa ilma-aluksen sähkövoimanlähde eli akku ilma-aluksen runkoon. Ennen kytkentää on hyvä varmistaa akun varaustaso. Akun varaustaso tarkastetaan painamalla akun päällä olevaa pyöreää painiketta.

Ilma-aluksen käyttövalmiiksi saattamisen jälkeen tulee valmistella ilma-aluksen kauko-ohjain toimintavalmiiksi. Kauko-ohjaimen ohjainsauvat tulee kiinnittää kauko-ohjaimen runkoon myötäpäivään pyörittämällä (kuva 7.). Lisäksi kauko-ohjaimen antennit tulee levittää auki sekä mobiililaitteen kiinnittimet avata. Kauko-ohjain kytketään mobiililaitteeseen adapterin välityksellä. Mobiililaitteen johto tulee siis kytkeä ohjaimen ja mobiililaitteen välille. Kauko-ohjaimen mobiililaitteen johto tulee valita käytettävän mobiililaitteen latauskaapelin sovitteen mukaan (mikro-USB, USB-C tai Applen Lightning adapteri). Kauko-ohjaimen ja mobiililaitteen välisen adapterin kytkennän jälkeen kiinnitä mobiililaitte kauko-ohjaimen kiinnittimiin tukevasti, jotta mobiililaitte ei pääse vahingossa tippumaan.



Kuva 7. Kauko-ohjaimen valmistelu. (1.)

Kauko-ohjaimen akun varaustaso on hyvä tarkastaa painamalla kauko-ohjaimen virtapainiketta kerran. Kauko-ohjaimen akun varaustaso tulee näkyviin kauko-ohjaimen LCD näytölle.

## 4 Lennätyssovellusten käyttö

Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttövalmiiksi asettamisen jälkeen tulee käynnistää käyttöä tukeva lennätyssovellus. Laittejärjestelmän käyttöä tukeva lennätyssovellus ladataan mobiililaitteen omasta sovelluskaupasta (Google Play tai App Store). DJI Mavic 2 mallista riippuen lennätyssovelluksena käytetään joko DJI Go 4 –sovellusta tai DJI Pilot –sovellusta.

- DJI Mavic 2 Pro / Zoom ilma-alusjärjestelmässä käytettävä lennätyssovellus on **DJI GO 4**.
- DJI Mavic 2 Enterprise ilma-alusjärjestelmälle tarkoitettu lennätyssovellus on **DJI Pilot**.

Näiden lennätyssovellusten käyttö lentotila näkyessä, pieniä eroavaisuuksia huomioimatta on lähes samanlaista. Mobiililaitteen sovellusten käyttöjärjestelmissä (Android tai iOS) voi olla pieniä eroavaisuuksia lennätyssovellusten valikoiden nimissä ja järjestyksissä. Kuvassa 8. on esitetty DJI GO 4 ja DJI Pilot sovelluskuvat.



DJI GO 4



DJI Pilot

Kuva 8. Mavic 2 laitejärjestelmien kanssa yhteensopivat sovellukset. (Google Play.)

## 4.1 Aloitus

Kun käynnistät DJI GO 4- tai DJI Pilot-sovelluksen ensimmäistä kertaa, sovellus pyytää käyttäjää antamaan sovellukselle tietyt käyttöoikeudet. Käyttöehtojen hyväksymisen jälkeen tulee luoda henkilökohtainen DJI-tili tai kirjautua jo voimassa olevaan tiliisi. Käyttäjätunnusten luomisen ja sovelluksen käyttöehtojen hyväksymisen jälkeen avautuu itse sovelluksen päävalikko, jossa uusimmat sovelluksen päivitykset saadaan asennettua, ja itse lentotoiminta aloitettua.

### DJI GO 4

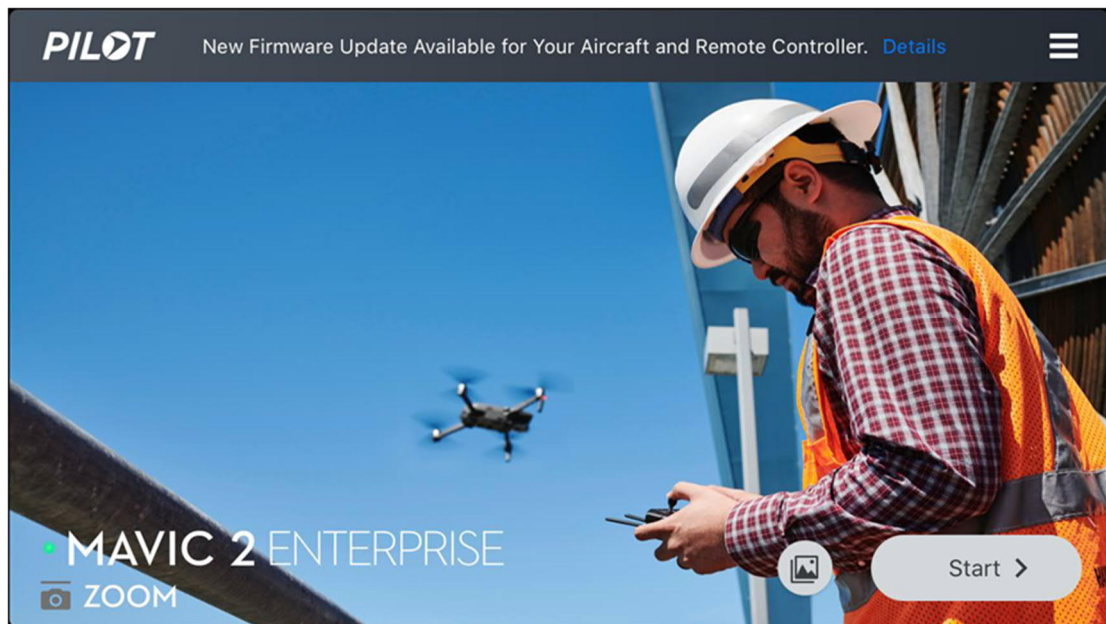
Lentotoiminta päästään aloittamaan valitsemalla sovelluksen päävalikon vasemmasta yläkulman valikosta käytettävä ilma-alus. Sovelluksen päävalikon vasemmassa alakulmassa näkyy käytettävän ilma-alusjärjestelmän yhteyden tila. Päävalikon oikeassa reunassa sijaitsevasta valikosta (Enter Device) päästään yhdistämään käytettävä ilma-alusjärjestelmä DJI Go 4 sovellukseen. Yhteyden luomisessa näytölle ilmaantuu toimenpiteiden eri vaiheet ilma-aluksen ja kauko-ohjaimen käyttövalmiiksi asettamiseen. Tämän jälkeen avautuu ilma-alusjärjestelmän lennätystila näkymä.



Kuva 10. Aloitusnäkyvä. (DJI GO 4-sovellus.)

### DJI Pilot

Jotta lentotoiminta saadaan aloitettua, tulee miehittämätön ilma- alusjärjestelmä (kauko-ohjain ja ilma-alus) asettaa käyttövalmiiksi sekä kytkeä päälle. Sovelluksen päävalikon vasemmassa alareunassa näkyy käytettävän ilma-alusjärjestelmän yhteyden tila. Päävalikon oikean reunan Start-painikkeesta päästään ilma-alusjärjestelmän lennätystilaan.



Kuva 11. Aloitusnäky. (DJI Pilot-sovellus.)

## 4.2 Lentotilanäkymä

Lentotilanäkymän keskiosalle pitäisi avautua käytettävän ilma-alusjärjestelmän kameran kuvaama alue. Jos lentotilanäkymän keskiosalla ei näy ilma-aluksen kameran tuottamaa videonäkymää tulee tarkastaa ilma-alusjärjestelmän yhteys sekä kauko-ohjaimen ja mobiililaitteen välisen videolinkin kytkentä.

Lentotilanäkymästä nähdään käytettävän ilma-aluksen tila. Keskelle lentotilanäkymää aukeaa kameran tuottama näkymä. Näkymän keskellä olevat puolikaarteet väreineen (vihreä, oranssi ja punainen) kertovat esteiden tunnistusantureiden havaitsemat läheiset esteet.

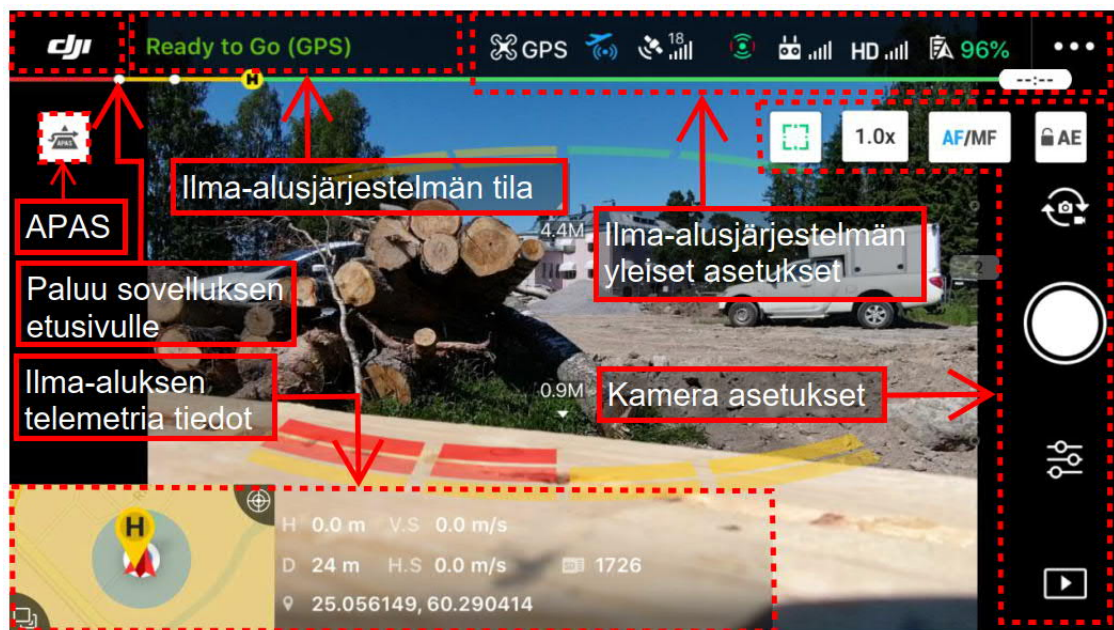
Vasemmassa ylälaudassa sijaitsee DJI-painike, josta voidaan palata sovelluksen etusivulle. Ilma-alusjärjestelmän tilasta kertoo DJI-painikkeen oikealla puolella sijaitseva valikko, josta päästään tarkastelemaan ilma-alusjärjestelmän tilaa. Oikeassa ylälaudassa sijaitsee ilma-alusjärjestelmän yleisten asetusten valikko, josta päästään tarkastelemaan järjestelmän asetuksia. Ylälaudan valikoiden alapuolella näkyvä värikäs viiva ilmaisee ilma-aluksen akun varauksen.

Sovelluksen vasemmassa reunassa sijaitsee erilaisia kuvakkeita, joista saadaan erilaisia toimintoja aktivoitua. Käytettävät toiminnot eroavat käytettävästä lennätyssovelluksesta riippuen. Näitä toimintoja ovat.

- Automaattinen lentoonlähtö/lasku toiminto (Auto Takeoff ja Auto Landing)
- Return-To-Home (RTH) toiminto, jossa lennätettävä ilma-alus palaa lähtösijaintiinsa.
- Älykäs lentotila, jossa voidaan valita erilaisia ilmakuvaukseen soveltuvia toimintoja.
- APAS-painike (Advanced Pilot Assistance System), josta voidaan kytkeä päälle tai pois automaattiset esteidentunnistusanturit.

Oikeassa reunassa sijaitsee ilma-alusjärjestelmän kameran toiminnot ja asetukset. Kamera asetuksista voidaan mm. valita erilaisia kuvanottotapoja, mukauttaa kamera asetuksia sekä esikatsella valokuvia ja videoita heti tallentamisen jälkeen.

Alareunasta löytyy ilma-aluksen telemetria- ja sijainti tiedot. Telemetria tiedoissa näkyvät mm. ilma-aluksen korkeus lähtöpisteeltä, etäisyys lähtöpisteeseen sekä horisontaalinen ja vertikaalinen lennätysnopeus. Telemetria tietojen viereistä kartasta painamalla saadaan laajempi sijainti näkymä. Kuvassa 12. on esitetty DJI Pilot sovelluksen lentotilanäkymä sekä kuvassa 13. on esitetty DJI GO 4 sovelluksen lentotilanäkymä.



Kuva 12. Lentotilanäkymä. (DJI Pilot-sovellus.)



Kuva 13. Lentotilanäkymä. (DJI GO 4-sovellus.)

### 4.3 Ilma-alusjärjestelmän tila

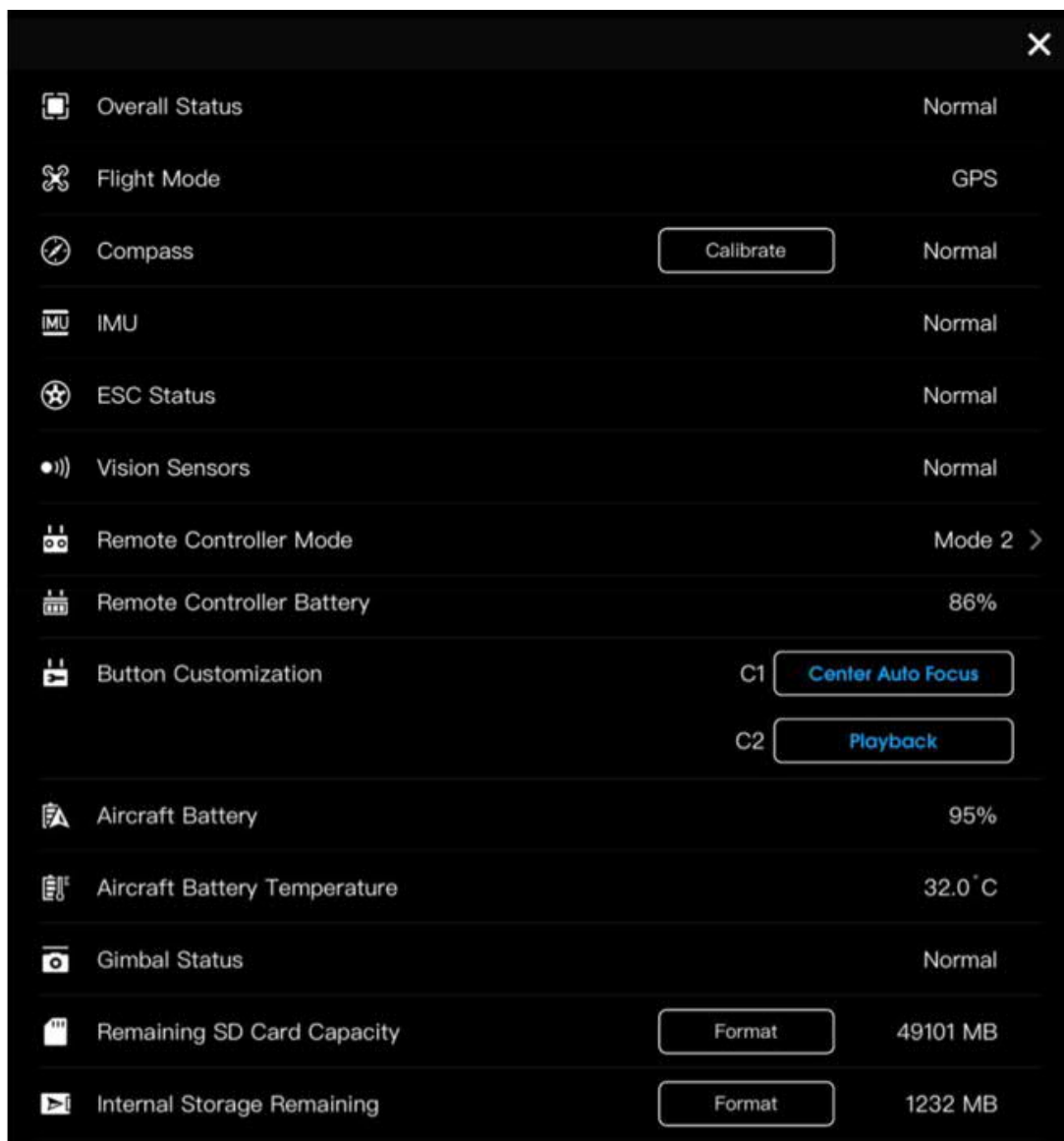
Lentotilanäkymän yläreunassa näkyvä ilma-alusjärjestelmän tila valikossa näet ilma-alusjärjestelmän tilan. Tämä tila voi olla väriltään vihreä, keltainen tai vihreä. Vihreä väri ilmaisee vahvasta GPS yhteydestä järjestelmänosien välillä ja ilma-alusjärjestelmän tilan olevan kunnossa lentoa varten. Keltainen väri ilma-alusjärjestelmän tila valikossa ilmaisee varoituksesta, joka johtuu järjestelmänosien heikosta GPS yhteydestä. Punainen väri tila valikossa ilmaisee, että ilma-alusjärjestelmä ei voi lentää ja pyytää käyttäjää korjaamaan tilanteen.

Lentotilanäkymän ilma-alusjärjestelmän tila- valikko ilmaisee ilma-aluksen tilan yhdessä värikoodien kanssa. Mahdollisia tiloja ovat:

- Ready to Go (GPS)
- Ready to Go (Vision)
- Cannot Take Off
- Disconnected

Järjestelmän tila-alueella näkyvät myös muut tärkeät tilailmoitukset, kuten voimakkaan tuulen varoitukset (High wind), kotiinpaluu ilmoitus (Returning to home), laskeutuminen (Landing) ja lentokieltoalue ilmoitus (No fly zone).

Ilma-alusjärjestelmän tila- valikkoa klikkaamalla avautuu järjestelmän tarkastuslista. Tarkastuslista havainnollistaa käyttäjälle ilma-aluksen yleistilan (Overall Status), sekä yksittäisten järjestelmänosien käyttötilan. Jos yleistila ei ole normaali-tilassa on syytä tarkastaa tarkastuslistan järjestelmäosien kalibrointi tarpeet. Tarkastuslista on hyvä käydä tarkistamassa ennen lento-operaatiota, jotta varmistutaan ilma-alusjärjestelmän tilan olevan kunnossa kaikilta osin.



Kuva 14. Ilma-alusjärjestelmän tila. (DJI Pilot-sovellus.)

Ilma-alusjärjestelmän lentotoiminnan kannalta tärkeimpiä järjestelmän osia ovat mm. kompassi, IMU, ESC, esteentunnistus anturit sekä kameran vakaaja (gimbal).

Ilma-alusjärjestelmän kompassi (Compass) antaa ilma-alusjärjestelmän sijaintitiedon. Kompassi voidaan joutua kalibroimaan uudelleen, kun ilma-alusjärjestelmää lennätetään uudessa sijainnissa.

Ilma-alusjärjestelmän inertiaalimittaus järjestelmä IMU (Inertia Measurement Unit) on osa ilma-alusjärjestelmää. IMU:n tehtävänä on havaita ilma-aluksen asento ja kulma lennon aikana. IMU voidaan joutua kalibroimaan uudelleen. Kalibrointia tehtäessä ohjeet toiminnon suorittamiselle tulevat näkyviin näytölle.

ESC (Electronic Speed Control) on ilma-alusjärjestelmän moottoreita seuraava järjestelmän osa, joka ilmoittaa mahdollisista moottorivioista.

Esteentunnistus anturit (Vision Sensors) ovat ilma-aluksen sivuilla sijaitsevia tunnistimia, jotka havainnoivat lähestyviä objekteja. Esteentunnistus anturit välittävät kauko-ohjajalle tiedon lähestyvistä objekteista.

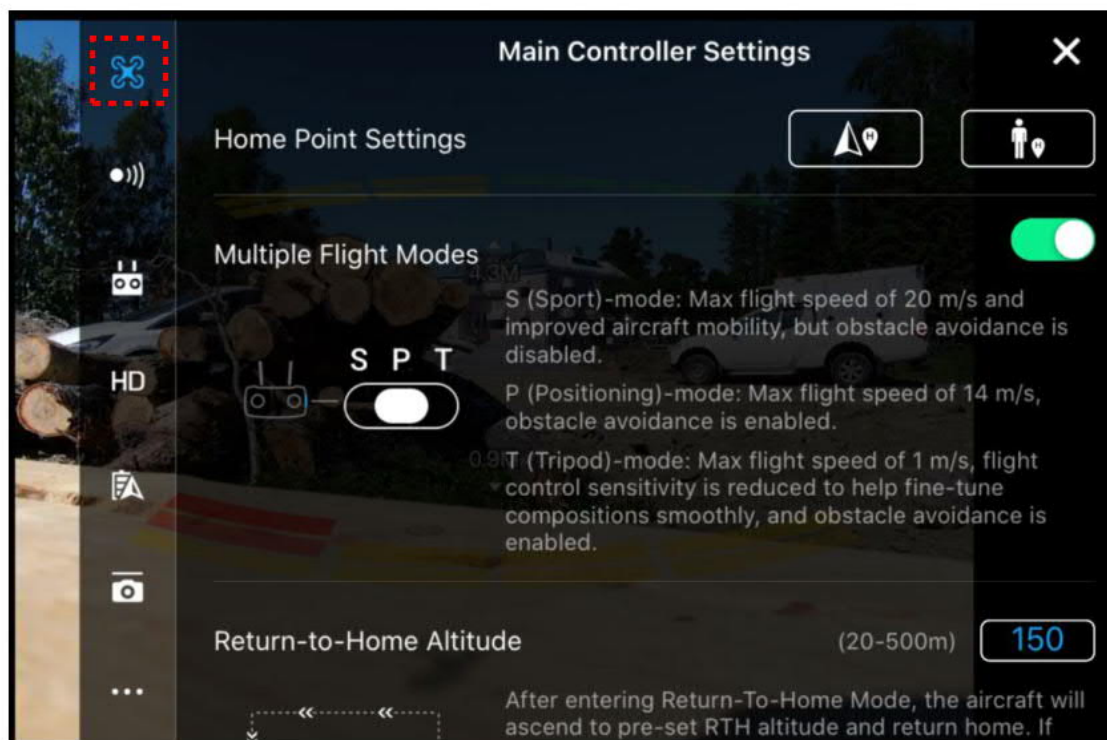
#### **4.4 Ilma-alusjärjestelmän yleiset asetukset**

Ilma-alusjärjestelmän yleiset asetukset valikko sijaitsee lentotilanäkymän oikeassa ylä-laidassa. Valikko avautuu painamalla oikean reunan erilaisista kuvakkeista, joista päästään näkemään valitun kuvakkeen asetuksia. Yleiset asetukset valikosta päästään tarkastelemaan seuraavia tietoja.

- ilma-alusjärjestelmän pääohjaimen asetuksia.
- havainnointiasetuksia.
- ilma-aluksen navigoinnin asetuksia.
- kauko-ohjaimen asetuksia.
- kuvansiirto asetuksia.
- ilma-aluksen akun tietoja.
- kameran vakaajan asetuksia.
- yleisiä asetuksia.

### Pääohjaimen asetukset

Avattaessa yleiset asetukset –valikon, pääohjaimen asetukset (iOS: Main Controller Settings. Android: Flight Controller Settings) tulevat esille valikon ylimmästä ilma-alusta muistuttavasta kuvakkeesta (kuva. 15.)

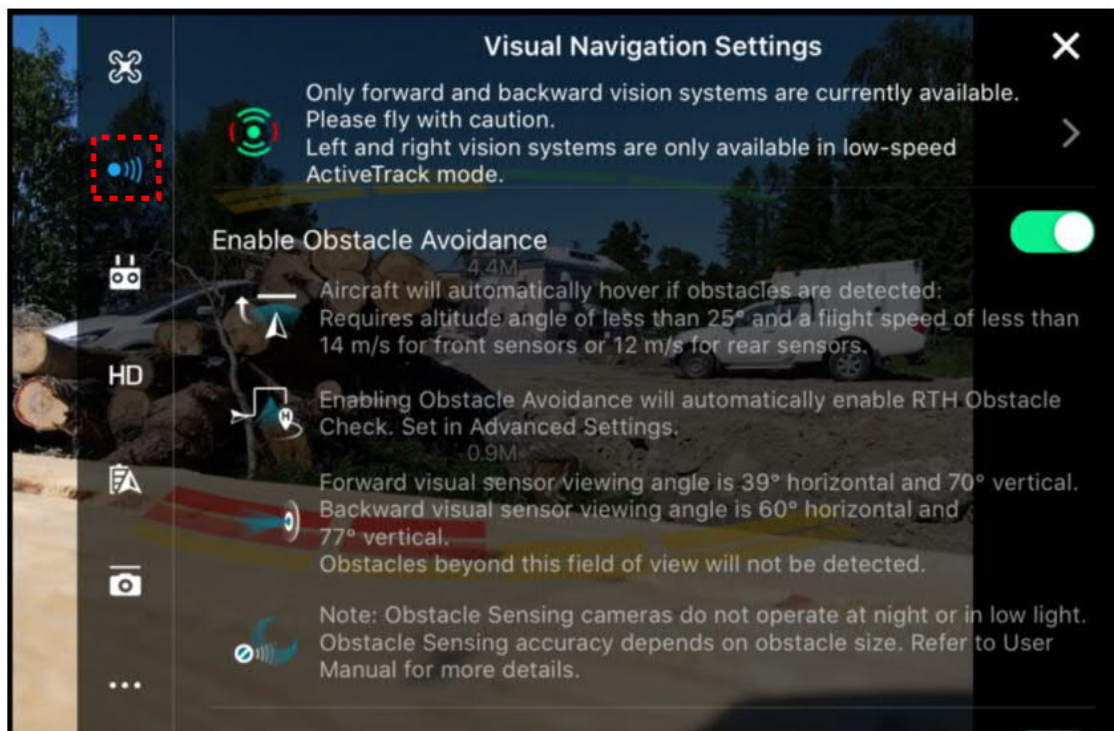


Kuva 15. Main Controller Settings. (DJI Pilot-sovellus.)

Pääohjaimen asetuksista voidaan asettaa ilma-alukselle lennon aikaisia rajoituksia sekä toimintoja. Pääohjaimen asetuksissa ilma-alukselle voidaan asettaa etäisyysrajoitteita (maksimi korkeus ja etäisyys kauko-ohjauspaikasta), joita ei voi ylittää. Pääohjaimen asetuksissa ilma-alukselle voidaan asettaa lennonaikaisia toimintoja sekä tarkastella ilma-aluksen sensoreiden (IMU ja Compass) toimintaa.

### Havainnointiasetukset

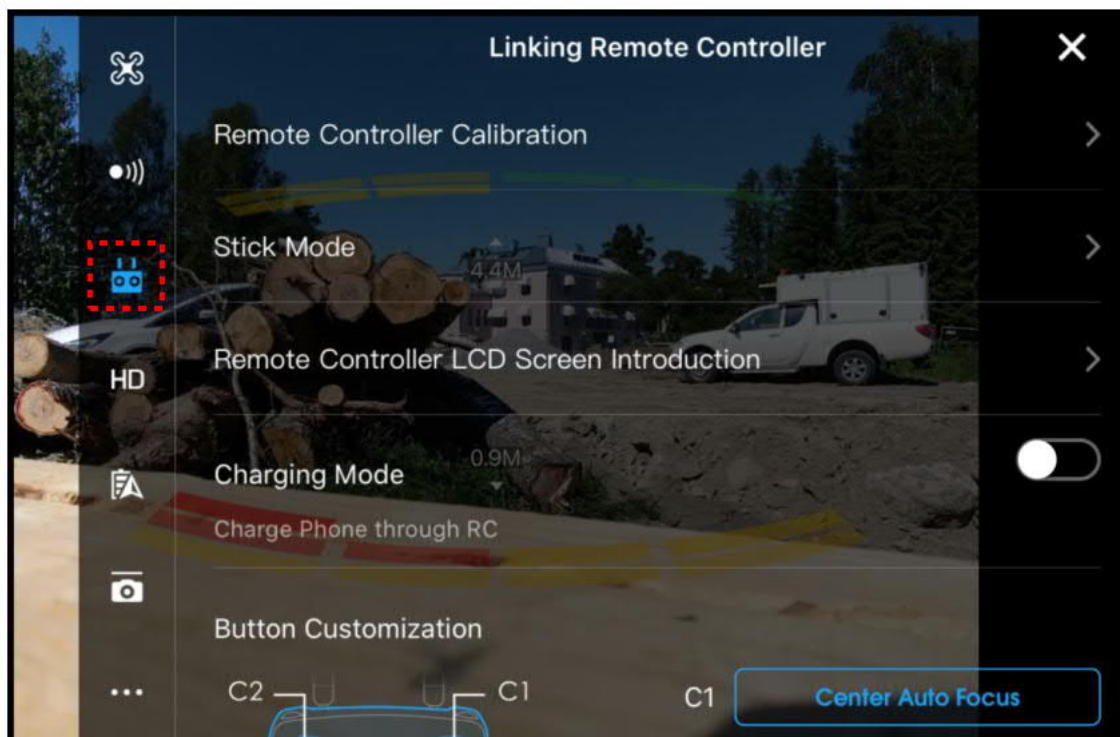
Valikon seuraava sarake on havainnointi asetukset (iOS: Visual Navigation Settings. Android: Preception Settings), jonka kuvake muistuttaa signaalia (Kuva 16.). Havainnointiasetuksista voidaan hallinnoida ilma-aluksen sensoreita. Suotavaa on pitää kaikki sensorit päällä lentotoiminnassa.



Kuva 16. Visual Navigation Settings. (DJI Pilot-sovellus.)

### Kauko-ohjaimen asetukset

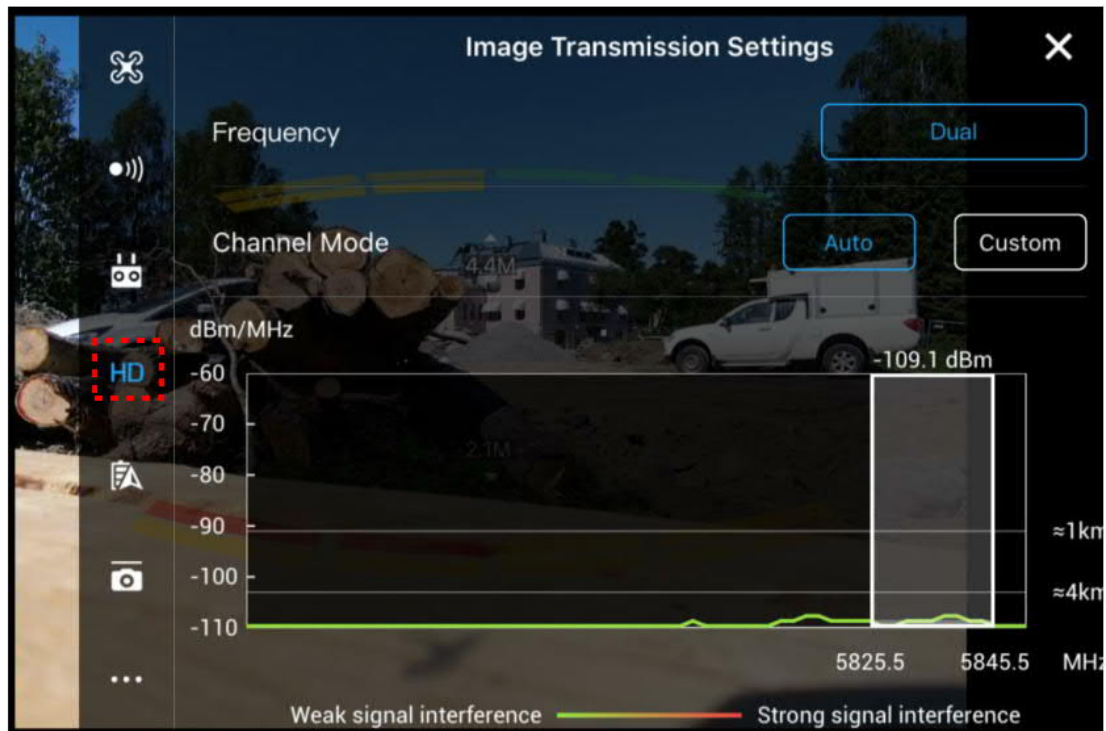
Kauko-ohjaimen asetuksiin (iOS: Linking Remote Controller. Android: Remote Controller Settings) päästään käsiksi valikon kauko-ohjainta muistuttavasta kuvakkeesta (Kuva 17.). Kauko-ohjaimen asetuksista voidaan tarkastella nykyisiä toimintoja sekä määrittää kauko-ohjaimelle uusia toimintoja.



Kuva 17. Linking Remote Controller. (DJI Pilot-sovellus.)

### Kuvansiirto asetukset

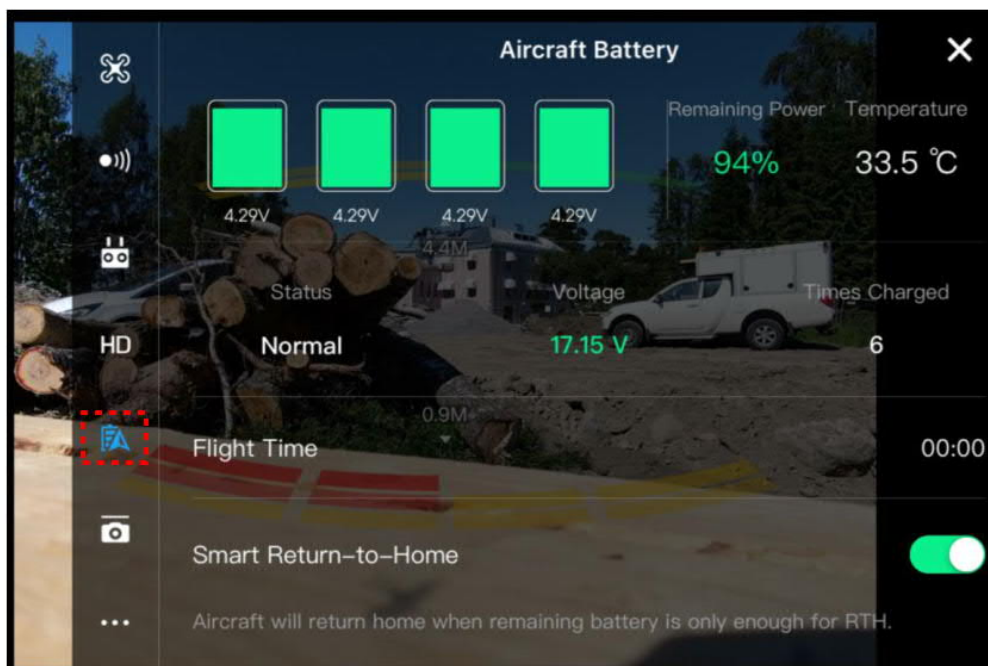
Valikon HD kuvakkeesta päästään tarkastelemaan ilma-aluksen radiotaajuutta, joka voidaan asettaa manuaalisesti tai automaattisesti (Kuva 18.).



Kuva 18. Image Transmission Settings. (DJI Pilot-sovellus.)

### Ilma-aluksen akun tiedot

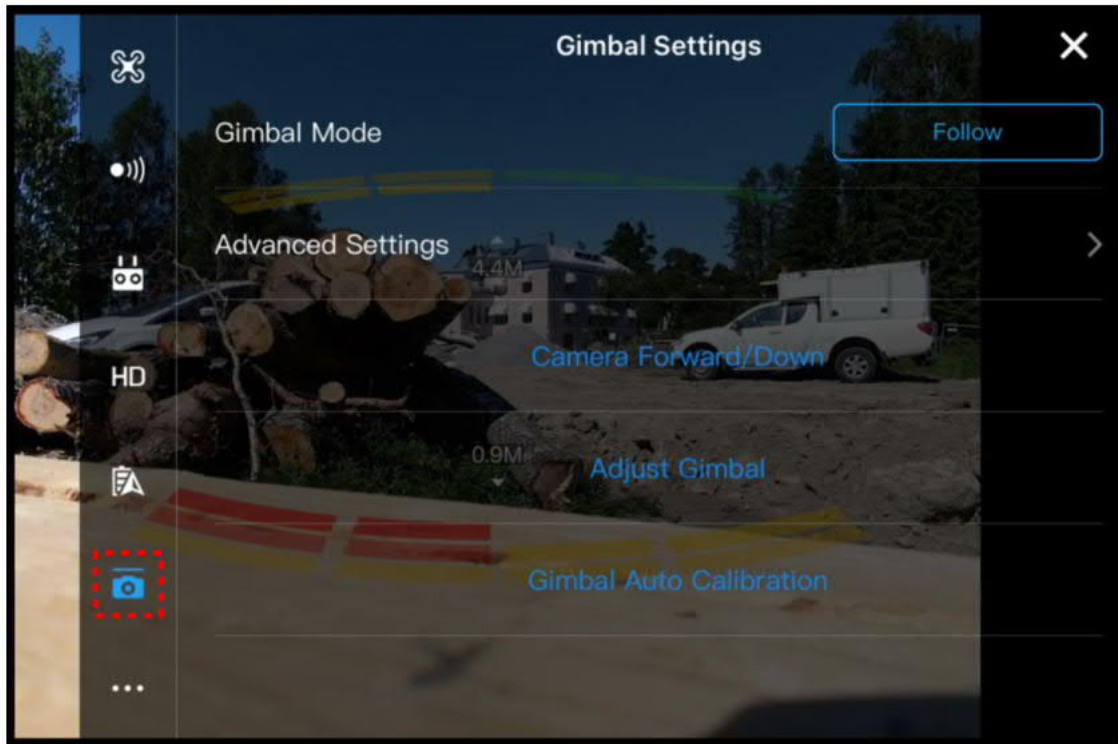
Kuvansiirto asetusten alapuolella sijaitsevasta ilma-aluksen akunvarauskuvakkeesta päästään tarkastelemaan ilma-aluksen akun varaustietoja sekä määrittelemään lennon aikaisia toimintoja (Kuva 19.). Akun varaustietojen lisäksi asetuksissa voidaan määrittellä akun varaustasolle lentotoimintaan vaikuttavia toimintoja varaustason laskeutuessa määrätylle tasolle. Tällaisia toimintoja ovat mm. vähäisen akunvarauksen varoitus, sekä kriittisen tilan akunvarauksen varoitus.



Kuva 19. Aircraft Battery. (DJI Pilot-sovellus).

### Kameran vakaajan asetukset

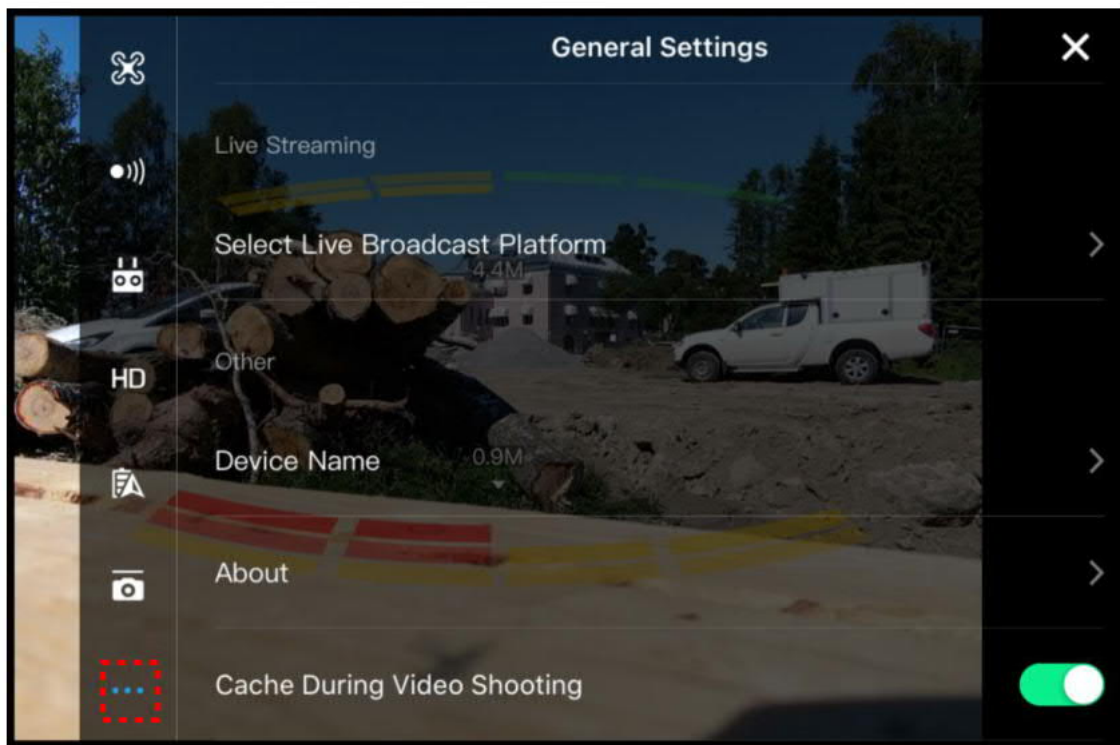
Yleisten asetusten –valikon alareunassa sijaitsevasta kameran näköisestä kuvakkeesta päästään tarkastelemaan kameran vakaajan asetuksia (Kuva 21.).



Kuva 20. Gimbal Settings. (DJI Pilot-sovellus.)

### Yleiset asetukset

Valikon alareunassa sijaitsee kuvake, jossa on kolme pistettä. Tästä valikosta päästään tarkastelemaan ja asettamaan yleisiä asetuksia. Asetuksista päästään määrittämään mm. käytettävät mittausyksiköt. Lisäksi yleisistä asetuksista voidaan ottaa käyttöön suoratoisto (Live Stream) tallennus sosiaalisen median alustoihin.



Kuva 21. General Settings. (DJI Pilot-sovellus.)

## 5. Miehitämättömän ilma-aluksen lentoonlähtö

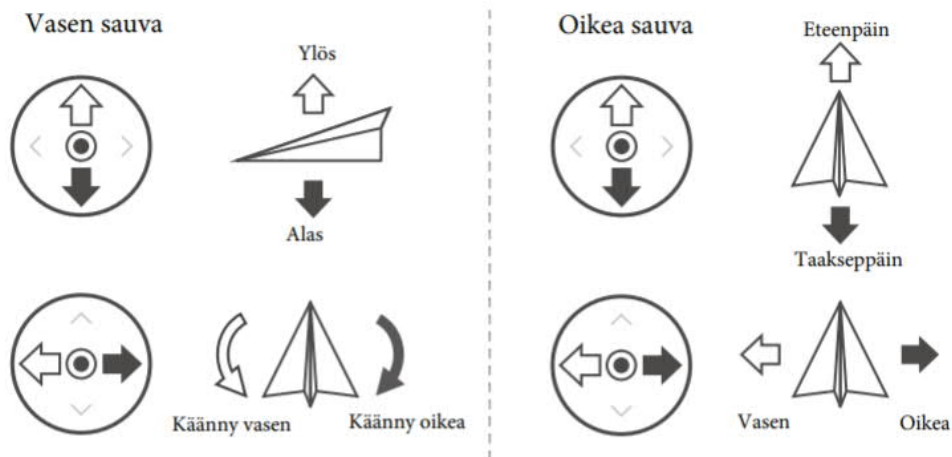
Miehitämättömän ilma-alusjärjestelmän lentoonlähdön valmisteleminen alkaa toiminta-valmiin ilma-aluksen asettamisella sopivalle alustalle, joka toimii ilma-aluksen lentoonlähtöpaikkana. Ilma-aluksen lentoonlähtöpaikan valinnassa on huomioitava ympäristö ja varattava riittävästi tilaa ilma-aluksen lentoonlähdölle ja laskeutumiselle. Ilma-alus sekä kauko-ohjain tulee käynnistää virtapainikkeista. Ilma-aluksen ja kauko-ohjaimen virta kytketään päälle painamalla virtapainiketta kerran, tämän painalluksen jälkeen painetaan uudelleen virtapainiketta pitämällä virtapainike pohjassa, kunnes laite käynnistyy.

Ilma-aluksen ja kauko-ohjaimen käynnistyessä avataan kauko-ohjaimen kytketyllä mobiililaitteella laitevalmistajan lennätystoimintaa tukeva mobiilisovellus. DJI Mavic 2 Pro / Zoom laitteita käytettäessä mobiilisovellus DJI GO 4. DJI Mavic 2 Enterprise laitteiden mobiilisovellus on DJI Pilot. Kauko-ohjaimen ja ilma-aluksen yhteyden luomisen jälkeen avataan sovelluksen lentotila. Lentotilan asetusten ja kalibrointi tarpeiden tarkastuksen jälkeen ilma-alus on valmis lentotoimintaan.

### 5.1 Kauko-ohjaimen käyttö lentotoiminnassa

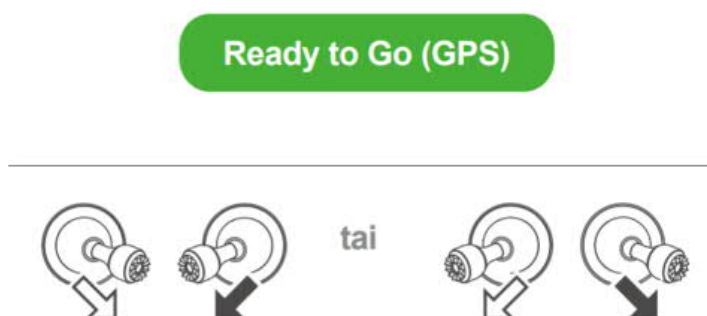
Miehitämätöntä ilma-alusta ohjataan kauko-ohjaimen välityksellä. Ilma-aluksen liikkeitä ohjataan kauko-ohjaimen ohjainsauvoja liikuttamalla. Seuraava ohjeistus on tarkoitettu kauko-ohjaimen vakioasetusta (Mode 2) myötäillen. Kauko-ohjaimen toiminta asetukset voidaan tarvittaessa asettaa uudelleen itselle toimivammaksi lennätyssovelluksen yleisistä asetuksista.

Ilma-aluksen kauko-ohjaimen vasemmanpuoleisella ohjaussauvalla ohjataan ilma-aluksen korkeutta ja kääntymistä. Oikeanpuoleisella ohjaussauvalla ohjataan ilma-aluksen liikettä eteenpäin, taaksepäin, vasemmalle ja oikealle. Kauko-ohjaimen ohjaussauvojen toimintojen lisäksi kameran kuvanvakaajan asentoa säädetään kauko-ohjaimen vasemmasta säätörullasta, joka sijaitsee kauko-ohjaimen takaosassa. Kuvassa 22. on esitetty kauko-ohjaimen vakioasetuksen (Mode 2) ohjaustoiminnot ohjainsauvoille.



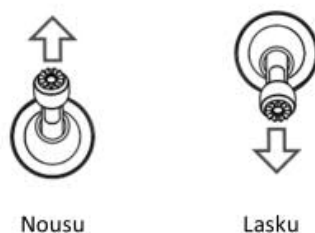
Kuva 22. Kauko-ohjaimen ohjainsauvojen liikkeet. (1.)

Käytettävän ilma-aluksen ollessa "Ready to Go" tilassa on aika käynnistää ilma-aluksen moottorit. Ilma-aluksen moottoreiden käynnistys/sammutus onnistuu manuaalisesti kauko-ohjaimen ohjainsauvojen asettuessa alaviistoon. DJI Go 4 -sovelluksessa on manuaalisen lentoonlähtö toiminnon lisäksi automaattinen lentoonlähtö/lasku toiminto (Auto Takeoff ja Auto Landing). Kuvassa 23. on havainnollistettu "Ready to Go" tila, joka löytyy sovelluksen lentotilan yläreunasta. Lisäksi kuvassa 23. on myös esitetty kauko-ohjaimen ohjainsauvojen asennot ilma-aluksen moottoreiden käynnistykseen ja sammuttamiseen. Moottoreiden sammuttaminen lentotoiminnan aikana on mahdollista, mikäli lentotoiminnan aikana ilmenee vakava häiriö. Moottoreiden sammuttaminen lentotoiminnan aikana aiheuttaa miehittämättömän ilma-aluksen välittömän putoamisen.



Kuva 23. Kauko-ohjaimen ohjainsauvojen liikkeet. (1.)

Ilma-aluksen moottoreiden käynnistämisen jälkeen ilma-alus saadaan nousemaan ylöspäin työntämällä kauko-ohjaimen vasenta ohjainsauvaa hitaasti eteenpäin. Ilma-alus laskeutuu ja sammuttaa moottorit vetämällä kauko-ohjaimen vasenta ohjainsauvaa hitaasti taaksepäin. Kuvassa 24. on esitetty kauko-ohjaimen vasemman ohjainsauvan nousu ja lasku toiminnot.



Kuva 24. Kauko-ohjaimen ohjainsauvojen liikkeet. (1.)

Jotta kauko-ohjaimen liikkeet tulisivat tutuksi aloittelevalle kauko-ohjaajalle, on lentotoiminta syytä aloittaa turvallisella alueella, jossa ei olisi ylimääräistä liikehdintää. Kauko-ohjaimen lentotilakytkimestä voidaan valita aloittelevalle kauko-ohjaajalle sopiva lentotila (T-tila), jossa ilma-aluksen kaikki sensorit ovat toiminnassa ja lennätysnopeus rajoitettu.

## 5.2 Tarkastuslista

Ennen lentotoiminnan aloittamista on syytä huomioida lentotoimintaan vaikuttavat asiat sekä tarkastaa lentotoiminnassa käytettävän kaluston tila, jotta lentotoiminnan aikana ei ilmenisi yllätyksiä. Ennakoivien toimenpiteiden avulla voidaan vähentää virheitä, parantaa lennätyskokemusta sekä toiminnan turvallisuutta.

Säätilalla on suuri merkitys miehittämättömän ilma-aluksen lennätystoiminnalle. Pilvet, sumu ja muut ympäristökijät voivat merkittävästi häiritä lennätystoiminnan näkyvyyttä. Sateella lennättäminen voi vahingoittaa ilma-alusjärjestelmää, mikäli kosteutta päätyy laitteen elektroniikkaan. Voimakas tuuli voi vaikeuttaa ilma-aluksen ohjattavuutta ja hallintaa. Säätilan lisäksi lennätysalueen ilmatilan käytettävyys ja ilmatilarajoitteet on tarkastettava, jotta lennätystoiminta tapahtuisi määrättyjen ohjeiden mukaan.

Ilma-alusjärjestelmän toimintakunto on tarkastettava ennen lentotoimintaa. Tarkastuksessa on syytä huomioida järjestelmän akkujen varaustila, ohjelmistopäivitysten ja kalibrointien tarpeet sekä käytettävissä oleva tallennustila, jotta toiminta ei keskeytyisi ennen aloitusta.

Ennen lentotoimintaa on syytä käydä läpi seuraava tarkastuslista, jossa on listattu tärkeimmät asiat, jotka tulisi huomioida ennen lentotoiminnan aloittamista.

1. Säätila ok lentotoiminnalle, ei sadetta, sumua tai voimakasta tuulta.
2. Varmistetaan lennätysalueen ilmatilan käytettävyys ja mahdolliset rajoitteet digitaalisesta ilmailukartasta (Aviamaps).
3. Käytettävä ilma-alus on toimintakuntoinen, mm. potkurit kunnossa.
4. Käytettävässä ilma-aluksessa on kauko-ohjaajan yhteystiedot.
5. Ilma-aluksen lentoakku sekä kauko-ohjain on ladattu toimintaa varten.
6. Ilma-alusjärjestelmän toiminnan varmistus lentotoiminnan onnistumiselle: ilma-alus, kauko-ohjain sekä lentosovellus.
7. Mahdolliset ohjelmistopäivitykset.
8. Varmistetaan ilma-aluksen muistikortin tallennustilan riittävyys.

## Lähteet

1. Mavic 2 Pro/Zoom, User Manual. 2018. Verkkoaineisto. DJI. <[https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic\\_2/Mavic+2+Pro+Zoom+User+Manual+V1.4.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/Mavic+2+Pro+Zoom+User+Manual+V1.4.pdf)>. Luettu 6.10.2020.
2. Mavic 2 Zoom, Quick Start Guide. Verkkoaineisto. DJI. <[https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic\\_2/20181229/Mavic\\_2\\_Zoom\\_Quick\\_Start\\_Guide\\_EN.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/20181229/Mavic_2_Zoom_Quick_Start_Guide_EN.pdf)>. Luettu 6.10.2020.
3. DJI Go 4 Manual: The Pilot's Handbook. 2017. Verkkoaineisto. DJI. <<https://store.dji.com/guides/dji-go-4-manual/>>. Luettu 6.10.2020.
4. Mavic Pro, Pika-aloitusopas. Verkkoaineisto. DJI. <[https://cdn-c.verkko-kauppa.com/29/16\\_38946.pdf](https://cdn-c.verkko-kauppa.com/29/16_38946.pdf)>. Luettu 6.10.2020.