

Veli-Pekka Hentilä

DROONIEN KÄYTTÖ LOGISTIIKASSA JA KAUPUNKIYMPÄRISTÖSSÄ

DROONIEN KÄYTTÖ LOGISTIIKASSA JA KAUPUNKIYMPÄRISTÖSSÄ

Veli-Pekka Hentilä
Opinnäytetyö
Syksy 2019
Tietotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Veli-Pekka Hentilä

Opinnäytetyön nimi: Droonien käyttö logistiikassa ja kaupunkiympäristössä

Työn ohjaaja: Timo Vainio

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2019

Sivumäärä: 28 + 1liite

Tämä opinnäytetyö tehtiin Oulun ammattikorkeakoulun hyperspektrikameroiden ja kauko-ohjattavien ilma-alusten käytön edistämisen (HYPE-TKI)- ja Vähähiilisyttä edistävät drooniratkaisut (VED) -hankkeiden pohjalta. Työssä käytettiin HYPE-TKI-hankkeessa kerättyjä tietoja sekä VED-hankkeelle tilattuja drooneja. HYPE-TKI-hankkeessa listattiin markkinoilla olevia kaupallisia drooneja ja koostettiin löydetyistä drooneista Excel-taulukko. Tämän listan perusteella vertailtiin koulun VED-hankkeelle sopivia drooniratkaisuja, joiden avulla opinnäytetyössä voitaisiin suorittaa testilentoja. Koululle hankittuja Dji Spark -drooneja käytettiin tämän työn testilentojen suorittamiseen. Nämä dronit ovat hyvin opetuskäyttöön ja kevyeen tutkimuskäyttöön soveltuvia drooneja.

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin droonien käyttöön logistiikassa ja toimintaan kaupunkiympäristössä. Työn alussa käsitellään lakiasioita, jotka vaikuttavat droonitoimintaan erityisesti kaupungin ilmatilassa lennettäessä. Työssä selvitettiin myös droonien aiheuttamia melu-, vaara- ja muita ulkopuolisille haittaavia tekijöitä. Erityisesti maariski täytyy ottaa huomioon ihmisten yläpuolella lennettäessä. Teoria-aineistoa kerättiin drooniaiheisilta sivuilta ja drooneja liiketoiminnassa käytävien yritysten sivuilta. Lakiasiat haettiin Finlexin ja Traficomien sivuilta.

Käytännön lentosuoritteet tehtiin koulun sisällä droonitoimintaan varatussa tilassa. Ulkolennot, joista kerättiin säätiedot ylös, tehtiin koulun lähistöllä sijaitsevalla Ylimaan urheilukentällä ja Oulunsalon Riutunkarin sataman läheisyydessä sijaitsevalla asfaltoidulla alueella. Lentojen aikana havainnoitiin sään vaikutusta droonin käyttäytymiseen ja hallintaan. Säätiedot haettiin Ilmatieteenlaitoksen sivuilta. Lentotoimintaa suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun droonikurssin kesäharjoittelijoiden kanssa. Työssä käytettiin tukena Oulun ammattikorkeakoulun droonitoiminnan käsikirjaa. Lentotyöskentelyssä havainnoitiin droonin lentokäyttäytymistä ja ohjattavuutta ja seurattiin akun varaustason hiipumista ajan funktiona eri hyötykuormilla. Lennoista kerättiin lentodatat ja säätiedot Excel-taulukoihin. Lentodatan ja havainnoinnin perusteella tulokset olivat hyvin odotuksien mukaiset.

Tätä opinnäytetyötä ja työssä käytettyä materiaalia voidaan käyttää koulun droonihankkeiden apuna ja työssä on koostettu miehittämättömiä ilma-aluksia koskevia lakiasioita, joten se helpottaa lakiasioiden koostamisessa koulun droonitoiminnan käsikirjaa tehdessä.

Asiasanat: dronit hyötykuorma logistiikka miehittämättömät ilma-alukset

SISÄLLYS

LYHENTEET	2
1 JOHDANTO.....	3
2 LENTOTURVALLISUUS, MÄÄRÄYKSET JA ILMAILULAKI.....	4
2.1 Miehitettömien ilma-alusten lainsäädäntö	4
2.2 Määräykset.....	5
2.3 Ilmailulaki.....	6
3 DROONIT LOGISTIIKASSA	7
3.1 Pakettien kuljetukset.....	7
3.2 Varastonhallinta.....	7
4 DROONIT KAUPUNKIYMPÄRISTÖSSÄ	9
4.1 Eurooppalainen lentoverkosto	9
4.2 Turvallinen lennättäminen.....	10
4.3 Maariski.....	10
4.4 Lentomelu.....	11
4.5 Valvonta ja turvallisuus	11
4.6 Lentämisessä ja kuvaamisessa huomioitavaa	12
5 LENTOTYÖSKENTELEY	14
5.1 OAMK - Miehitettömän ilmailun toimintakäsikirja.....	14
5.2 Opinnäytetyössä käytetty lentokalusto ja ohjelmisto	14
5.3 Lennot sisällä	15
5.4 Lennot ulkona.....	16
5.5 Säävaihtelut ja havainnot.....	17
5.5.1 Lennot ilman hyötykuormaa.....	18
5.5.2 Lennot hyötykuorman kanssa.....	18
6 LENTODATAN TAULUKOINTI	20
6.1 Lennot sisällä	20
6.2 Lennot ulkona.....	22
6.3 Lentotietojen analysointi	24
7 YHTEENVETO	26
LÄHTEET	27

LYHENTEET

CARG	Compound Annual Growth Rate, yhdistetty vuotuinen kasvuvauhti
Drooni	Puhekielinen ilmaisu, jolla tarkoitetaan miehittämättömiä laitteita maalla, merellä ja ilmassa
EASA	European Union Aviation Safety Agency, Euroopan lentoturvallisuusvirasto
EU	Euroopan Unioni
FPV	First Person View, ohjaajan näkökulma
HYPE TKI	Hyperspektrikameroiden ja kauko-ohjattavien ilma-alusten käytön edistäminen -hanke, Oulun ammattikorkeakoulun Oy yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen kanssa.
MTOW	Maximum Take Off Weight, suurin lentoonlähtöpaino
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System, kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä
RPA	Remotely Piloted Aircraft, kauko-ohjattu ilma-alus. Miehittämätön ilma-alus, jota ohjataan kauko-ohjauksella lentotyössä
UA	Unmanned Aircraft, miehittämätön ilma-alus. Ilma-alus, jota lennetään ilman ilma-aluksessa olevaa ohjaajaa.
UAS	Unmanned Aircraft System, miehittämättömän ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä. Miehittämätön ilma-alus ja lentotyöhön tarvittavat järjestelmän osat
VED	Vähähiilisyyttä edistävät droniratkaisut -hanke

1 JOHDANTO

Miehittämättömät ilma-alukset eli dronit yleistyvät erilaisissa tehtävissä kuten logistiikassa, teollisuudessa ja muualla kaupunkiympäristössä. Tämä hyvin uusi teknologia valtaa alaa eri toimialoilta ja nykyään usein puheenaiheeksi nouseva ilmastonmuutos haastaa yritykset uusiin ratkaisuihin päästöjen vähentämisessä. Näiden haasteiden parissa on kehitelty erilaisia vähähiilisyttä edistäviä ratkaisuja ongelman ratkaisemiseksi. Dronit, kuten moni muukin itseohjautuva robotiikka, helpottaa ja nopeuttaa esimerkiksi logistiikan ja varastohallinnan toimivuutta.

Työn tilaajana toimi Oulun ammattikorkeakoulun informaatioteknologian osasto. Opinnäytetyö pohjautui vähähiilisyttä edistäviin droniratkaisuihin eli VED-hankkeen ”Dronisovellukset kaupunkiympäristössä” Pilotti 5:een. Tarkoituksena oli testata, miten dronit käyttäytyvät hyötykuorman rasituksessa ja selviytyvät Suomen vaativissa sekä vaihtelevissa sääolosuhteissa. Tiukasta aikataulusta johtuen lentoja tehtiin vähemmän, eikä sään vaikutusta lentosuunnitelmiin saatu kattavasti esiin.

Akkutekniikka on tärkeä osa dronin toimintaperiaatetta. Tässä työssä havainnoitiin dronin lentokäyttäytymistä ja ohjattavuutta ja seurattiin akun varaustason hiipumista ajan funktiona hyötykuorman mukaan. Testattiin, miten akku kestää eri hyötykuorman rasituksessa, ja havainnoitiin sään vaikutusta lentotoimintaan. Testilennoissa nojaututtiin Oulun ammattikorkeakoulun dronitoiminnan käsikirjaan. Lentotyöskentely suoritettiin koulun sisällä opetustilassa, ulkona urheilukentällä ja Oulunsalon Riutunkarin läheisellä pysäköintialueella. Työssä käytettiin käsikirjassa kuvattua ”virtuaalisella lentokentällä” käytettävissä olevaa kalustoa lentotyöskentelyn tavoitteiden saavuttamiseksi. Lentotyöskentelyssä olivat mukana minun lisäksi Oulun ammattikorkeakoulun dronikurssin oppilaat, jotka tekivät kesäharjoittelun yhteydessä testilentoja tähän opinnäytetyöhön.

Tämän työn teoriaosuudessa perehdyttiin miehittämättömien ilma-alusten laki- ja turvallisuusasioihin sekä dronien käyttöön teollisuudessa. Tällä hetkellä laki- ja turvallisuusasiat kehittyvät ja muuttuvat nopeasti, koska nyt eletään vasta droniteollisuuden murrosta. Yritykset haluavat oman toiminnan pysyvän kehityksessä mukana, joten dronit on otettava vakavasti tulevaisuuden työkaluna pysyäkseen kilpailukykyisenä toimijana.

2 LENTOTURVALLISUUS, MÄÄRÄYKSET JA ILMAILULAKI

2.1 Miehittämättömien ilma-alusten lainsäädäntö

Droonit eli miehittämättömät ilma-alukset edustavat nopeasti kehittyvää ilmailun alaa ja luovat tulevaisuudessa uusia työpaikkoja ja mahdollistavat talouskasvua Euroopan unionissa. Tämän johdosta EU-parlamentti hyväksyi 12.6 asetuksen, jolla droonit saadaan integroitua turvallisesti Euroopan ilmatilaan. (Eurooppa-neuvosto 2018, viitattu 4.7.2019.)

Asetuksessa annettiin 11.9.2018 uusi toimivalta Euroopan lentoturvallisuusvirastolle (EASA) säädellessä myös alle 150 kg:n painoluokassa olevia ilma-aluksia, mukaan lukien droonit. Asetuksessa vahvistetaan yhteiset siviili-ilmailun turvallisuussäännöt. Tällä uudella EASA-asetuksella korvataan vanhempi vuodelta 2008 oleva lainsäädäntökehys. (Robots Expert Finland Oy 2019, viitattu 1.7.2019.)

Eurooppa-neuvosto hyväksyi uudet oikeasuhteiset ja riskiperusteiset säännöt 26. kesäkuuta 2018, jotta EU:n ilmailuala jatkaisi kasvua ja olisi tulevaisuudessa kilpailukykyisempi. Näissä säännöissä vahvistetaan muun muassa rekisteröintikynnys droonien käyttäjille: rekisteröinti on tehtävä käyttäjille, jos he käyttävät drooneja, joiden kineettinen energia ihmiseen törmätessään on vähintään 80 joulea. (Eurooppa-neuvosto 2018, viitattu 4.7.2019.)

Jotkin droonit painavat ja ovat yhtä nopeita kuin lentokoneet, mutta kuluttajille saatavilla olevat droonit voivat olla muodoltaan myös pieniä sähköisiä ”leluja”. Näiden pienten droonien takia EU:n sääntelyssä oli ongelmia vuoden 2008 jälkeen, koska EU:n toimivalta oli rajattu yli 150 kg painaviin miehittämättömiin ilma-aluksiin. Oli ainoastaan joitakin erilaisia ja hajanaisia kansallisia turvallisuussääntöjä, jotka koskivat näitä pienempiä drooneja EU:ssa. Tämän lisäksi keskeisiä suoja-toimia ei sovellettu yhdenmukaisella tavalla. Lisäksi EU:n lentoliikenteen on arvioitu kasvavan 50 % seuraavan 20 vuoden aikana, joten ilmailusäännöt oli uudistettava. (Eurooppa-neuvosto 2018, viitattu 4.7.2019.)

Euroopan komission mukaan Euroopan droonialan ennustetaan työllistävän vuoteen 2035 mennessä suoraan yli 100 000 ihmistä ja alan taloudellisen vaikutuksen olevan vuodessa yli 10 mil-

jardia euroa, jotka koostuvat pääasiassa palveluista. Dronien käytön levitessä lisääntyy myös niiden etujen ja haasteiden tasapainottamisen tarve. Miehitämättömille ilma-aluksille voidaan saada myös lisäarvoa, kun niitä käytetään esimerkiksi tietojen keruuseen ja tulkintaan eri talouden aloilla. Myös mahdollisia velvollisuuksia voi ilmetä hiilidioksidipäästöjen, melun, yksityisyyden ja tietosuojan suhteen. (Eurooppa-neuvosto 2018, viitattu 4.7.2019.)

Uusien sääntöjen tarkoituksena on vahvistaa peruseriaatteita turvallisuuden ja turvatoimien sekä henkilötietojen ja yksityisyyden suojaamiseksi. Byrokratian vähentäminen ja innovointiin kannustaminen on myös niiden tavoitteena. Oikeusvarmuuden säilyttämiseksi poistetaan tällä asetuksella eräitä sääntöjä, jotka voisivat tukahduttaa yrittäjyyttä. Tällä teollisuudenalalla on suuria määriä pieniä ja keskisuuria yrityksiä ja startup-yrityksiä. (Eurooppa-neuvosto 2018, viitattu 4.7.2019.)

Dronit jaetaan kolmeen eri luokkaan riskien mukaan uudessa EU:n dronilainsäädännössä. Open-kategoria -luokassa riskit eivät edellytä Traficomien eli liikenne- ja viestintäministeriön etukäteen antamaa lupaa, eikä operaattorin ilmoitusta tarvita ennen toiminnan aloittamista. Specific-kategoria on dronitoiminnan luokka, jonka toimintaan liittyvät riskit edellyttävät Traficomien luvan ennen operaation toteuttamista, huomioiden operatiivisessa riskinarvioinnissa yksilöidyt lieventämistoimenpiteet. Sitä sovelletaan myös tapauksissa, joissa lentotoiminnan harjoittajan ilmoitus on riittävä tai kun lentotoiminnan harjoittajalla on kevyt UAS-operaattorilisenssi (LUC). Certified-kategoria -luokan toimintaan liittyvät riskit vaativat lisensoidun operaattorin ja dronin sertifiointin. Tarvittavan turvallisuustason edellytyksenä operaattorilla täytyy olla ulkopuolisen tahon hyväksyntä. Toiminta on hyvin samanlaista tässä kategoriassa kuin yrityksellä, joka harjoittaa miehitettyä lentotoimintaa. Aluksi uudella lainsäädännöllä katetaan Open- ja Specific-kategoriat. (Euroopan lentoturvallisuusvirasto 2019, viitattu 11.7.2019.)

2.2 Määräykset

Vastuulliset määräykset ovat avainasemassa, kun drooneja sulautetaan kaupunkiympäristöön. Monissa maissa kaupallisia drooneja koskevat määräykset ovat todella monimutkaisia. Näitä ovat muun muassa yöllä ja visuaalisen näkökentän ulkopuolella lentäminen (BVLOS) sekä ihmisten ja rakennusten yläpuolella lentäminen. (Radovic 2019, viitattu 11.7.2019.)

2.3 Ilmailulaki

Eduskunnan päätöksen mukaisesti säädetään yleiset säännökset seuraavasti. Ilmailulakia noudatetaan Suomen alueella ilmailussa, jollei Euroopan unionin asetuksesta tai Suomea sitovasta kansainvälisestä veloitteesta muuta johdu. Tässä laissa tarkoitetaan miehittämätöntä ilma-alusta, jota lennetään ilman ilma-aluksessa olevaa ohjaajaa ja kauko-ohjattua miehittämätöntä ilma-alusta, jota ohjataan kauko-ohjauspaikasta. Eräitä muita ilma-aluksia ja laitteita koskevat poikkeukset: Muulta ilmailulta kielletyllä alueella saadaan poiketa lentosäännöistä miehittämättömällä lento-aluksella tai sen lennättämistä varten erotetulla alueella, jos poikkeava menettely on suunniteltu ja toteutetaan siten, ettei lentoturvallisuus vaarannu. (Ilmailulaki 864/2014.)

Suomen alueella ilmailuun käytettävän ulkomaisen ilma-aluksen ja ilma-aluksen, jota ei ole rekisteröity Suomeen, on oltava mukana ilma-aluksen tyypistä ja lennon luonteesta riippuvat asiakirjat, jotka ovat lentoon kohdistuvaa viranomaisvalvontaa ja lennon turvallista toteuttamista varten. Tarvittaessa tarkemmat määräykset miehittämättömältä ilma-alukselta edellytettävistä asiakirjoista antaa Liikenteen turvallisuusvirasto ottaen huomioon kansainvälisen ja Euroopan unionin lainsäädännön kehityksen. Edellytettäviä asiakirjoja miehittämättömältä ilma-alukselta on säilytettävä kauko-ohjauspaikassa, jollei Liikenteen turvallisuusvirasto toisin määrää. (Ilmailulaki 864/2014.)

Kaupallinen ilmakuljetus ja lupa ilmailutoimintaan eräissä tapauksissa. Tällä tarkoitetaan unionilainsäädännön mukaisesti kauko-ohjauspaikasta ohjatun miehittämättömän ilma-aluksen käyttämiseen tarvittavaa lupaa kauko-ohjatun lentotoiminnan luvalla. Lentotyölupa vaaditaan Liikenteen turvallisuusviraston myöntämänä lentotyöhön, lukuun ottamatta miehittämätöntä ilma-alusta, jonka lentoonlähtöpaino on alle 150 kilogrammaa. (Ilmailulaki 864/2014.)

3 DROONIT LOGISTIIKASSA

Drooniala on jakautunut logistiikassa kahteen ryhmään maailmalla. Toiset näkevät droonit keskuksen ja noutopisteen välillä logistiikkaketjussa ja toinen puoli tulevaisuuden kotiinkuljetuksen mahdollistajana. Suomessa ja muualla pohjoismaissa paketit noudetaan yleensä kioskeista ja kaupoista. Muuten Euroopassa pakettien toimitustapana on yleisemmin kotiinkuljetus. Droonin käyttö paketin kuljettamisessa logistiikkakeskuksen ja noutopisteen välillä poistaa tarpeen kuljettaa pakettia autolla. Tämä myös nopeuttaa toimituksia merkittävästi. Pakettien kotiinkuljetuksiin suhtaudutaan varauksella, koska matalan ilmatilan valvonta monimutkaistuu entisestään. Erilaisia tarpeita tämänkaltaisille logistiikkamuodoille on kuitenkin lähitulevaisuudessa odotettavissa. (Keränen 2019, viitattu 14.8.2019.)

3.1 Pakettien kuljetukset

Turvallisuus, nopeus, kustannus ja kestävyys ovat kaikki hyviä syitä, miksi droonitoimitus on kannattava vaihtoehto kuljetuksille tulevaisuudessa. Pakettien kuljetus- ja jakelumäärät ovat huomattavasti kasvaneet verkko-ostosten suosion myötä. Tämä puolestaan aiheuttaa tarpeen löytää kuluttaja- ja ympäristöystävällisempiä, mutta samalla taloudellisempia ja tehokkaampia logistisia ratkaisuja. On moninaisia ratkaistavia asioita, jotka liittyvät droonien kaupalliseen hyödyntämiseen logistiikassa. Näitä asioita selvitetään konkreettisten pilotoitien kautta Citylogistiikan uudet ratkaisut -hankkeessa. (Tammi 2019, viitattu 30.8.2019.)

Sääolosuhteet vaikuttavat kuljetuksiin ja asettavat rajoituksia esimerkiksi kovan tuulen takia. Kovassa tuulessa lentäminen vaikeutuu ja tuulen puuskat asettavat haasteita drooneille erityisesti pakettien kuljetuksessa. Drooneille on annettu ohjeet tuulen nopeudesta ja puuskittaisesta tuulesta. Nämä täytyy huomioida, kun lennetään kuorman kanssa. (Keränen 2019, viitattu 14.8.2019.)

3.2 Varastonhallinta

Yhdistettynä hyvään logistiikkaohjelmistoon droonit voivat parantaa tehokkuutta huomattavasti. Muun muassa Wal-Mart Stores Inc. on kokeillut drooneja varastoissaan ja yritys on vakuuttunut

siitä, että tekniikka on varastohallinnan tulevaisuus. Aluksi tämä saattaa kuulostaa pelottavalta, koska kyseessä on aivan uusi tekniikka ja varastohallinnan ohjaaminen täytyy organisoida uudelleen. On kuitenkin hyvä olla ajan hermoilla ja seurata kehitystä, koska muuten voi menettää markkina-aseman kilpailijoihin. Jakelukeskukset ja varastot ovat erinomainen paikka droonikokeiluille. Dronit ovat tehokas vaihtoehto kuljetinjärjestelmille esineiden kuljettamiseen, laatikoiden siirtelyyn ja kuormalavojen käsittelyyn. Tässä on kuitenkin huomioitavat, että dronit eivät voi kantaa tai siirrellä kovin painavia esineitä. Drooneja voi käyttää esimerkiksi varastosaldon laskeamisessa optisten skannaustoimintojen avulla. Yksi droni voi parhaimmassa tapauksessa tehdä kymmenien työntekijöiden työn samassa ajassa. (Taylor 2018, viitattu 26.8.2019.)

Pienelläkin droonilla voidaan tehdä nopeasti varastosaldon laskentaa, mutta akun kapasiteetti on yleensä rajallinen pienen kokonsa takia. Tästä syystä pienten droonien toiminta-ajat jäävät lyhyeksi ja niihin joudutaan jatkuvasti vaihtamaan akkuja. Nykyään on drooneissa mahdollisuus automaattiseen etälataukseen ja näin saadaan vähennettyä turhia akun vaihtoja. Adaptiivisen langallisen latauksen ja älykkään virranhallinnan avulla Skysense tarjoaa avaimet käteen -ratkaisun kaupallisten droonien automaattiseen etälataukseen (Skysense 2019, viitattu 27.8.2019).

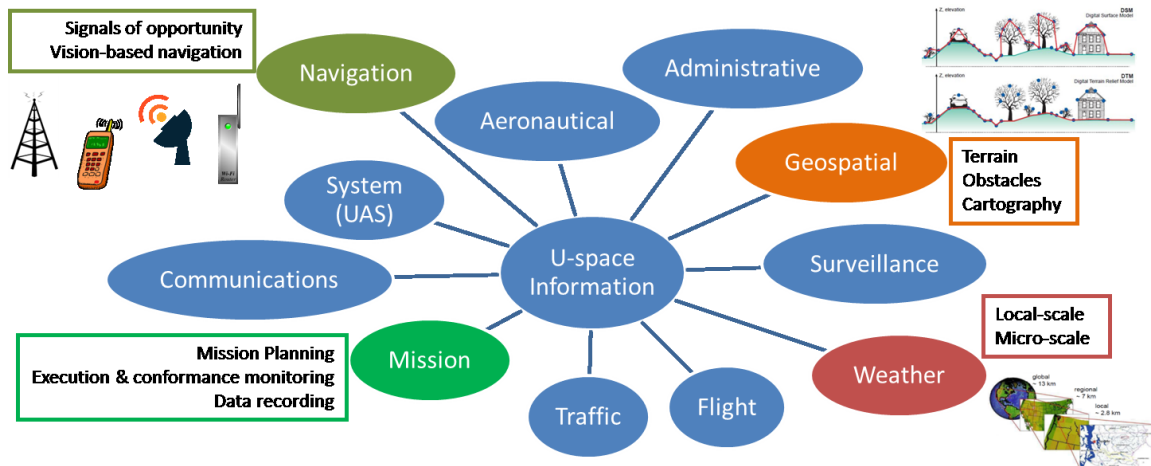
4 DROONIT KAUPUNKIYMPÄRISTÖSSÄ

Droonit tulevat kehittämään tulevaisuudessa yhteiskunnalle uusia palveluita. Drooneja tullaan käyttämään kaupunkien logistiikassa ja niillä tullaan tehostamaan kaupunkisuunnittelua. Lisäksi droonit voivat lisätä kansalaisten turvallisuutta. Droonimarkkinoiden arvioidaan olevan miljardeja tulevaisuudessa ja markkinoiden arvioidaan kasvavan kymmeniä prosentteja vuodessa. Kaupunkikuvaan droonit yleistyvät mitä todennäköisimmin lähivuosina. Toiminta ei tule olemaan helppoa kaupungissa. Muun muassa turvallinen operointi kaupungeissa on haastavaa johtuen etenkin mahdollisuuksista vähentää maariskiä. Maariski on oleellinen asia lentoturvallisuuden kannalta. Lentomelu ja yksityisyys tulee huomioida lentoreittejä ja suunniteltaessa. Kaupungin näkökulmasta kannattaa pohtia, miten uusia droonipalveluja syntyisi kaupunkeihin. (Robots Expert Finland Oy 2019, viitattu 1.7.2019.)

4.1 Eurooppalainen lentoverkosto

Euroopan komissio on käynnistänyt miehittämättömille ilma-aluksille oman lentoverkoston, jonka tarkoituksena on varmistaa, että droonien operointi on turvallista ja ympäristömyönteistä. Tämä selkeä yhteinen toimintaympäristö vauhdittaa markkinoiden kasvua. Verkosto perustuu niin kutsuttuun U-space-järjestelmään (kuva 1), joka yhdistää kaikki ilmassa olevat miehittämättömät ilma-alukset ja tekee ne näkyviksi viranomaisille ja kansalaisille. Droonit saavat lentää korkeintaan 150 metrin korkeudessa, joten ilmatila täytyy jakaa ja droonit on pystyttävä tunnistamaan, jotta välttyttäisiin vaaratilanteilta ja yhteentörmäyksiltä. Näitä varten droonit varustetaan sirulla tai jollain muulla tunnisteella. Esteen tunnistukseen drooneissa on oltava myös teknologiaa, joka varoittaa edessä olevasta esteestä, kuten mastosta tai toisesta ilma-aluksesta. (Satuli 2018, viitattu 30.8.2019.)

EU-maiden yhteisen lentoverkoston tarkoituksena on pitää droonien käyttö puhtaana ja turvallisenä, joten kaikki toimijat voivat oppia ja vaihtaa käytännön asiantuntemusta keskenään. Nyt U-space- ja drooniprojektit tarjoavat konkreettisia vastauksia siihen, miten kehittää U-space-järjestelmää luotettavammaksi ja miten lennättää drooneja turvallisesti. (Satuli 2018, viitattu 30.8.2019.)



KUVA 1. Kaavio U-space-järjestelmästä, johon Dronijärjestelmät (UAS) linkittyy (Satuli 2018, viitattu 30.8.2019).

4.2 Turvallinen lennättäminen

Ennen lentotyöskentelyn aloittamista on hyvä tarkistaa lentokaluston kunto. Drooneissa on erilaisia potkureiden kiinnitystapoja ja tärkeää on kiinnittää kierteillä olevat potkurit kunnolla. Myös mahdollisen kamerakaluston ja muun hyötykuorman täytyy olla kunnolla kiinnitettynä ennen lento- toiminnan aloittamista. Nelikopterissa jo yhden potkurin irtoaminen aiheuttaa hallitsemattoman putoamisen.

Tiheään asutuksen päällä lennättäminen alle 3 kilogramman dronilla on sallittua harrastuskäytössä, kun lennättäjä on tutustunut alueeseen, varmistanut dronin kunnon ja arvioinut, että lennättäminen on turvallista. Yli 3 kg lentomassaltaan painavan ilma-aluksen lennättäminen asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella ei ole sallittua. Lentäjällä on oltava näköyhteys droniin. Len nättämisellä ei saa aiheuttaa vaaraa sivullisille ihmisille tai toisen omaisuudelle. (Suomen poliisi 2017, viitattu 5.8.2019.)

4.3 Maariski

Turvalliset lentoreitit ja turvalliset lentoajankohdat huomioiden voidaan minimoida maariskiä ihmisille, eläimille ja omaisuudelle. Lisäksi estämällä sivullisten pääsy näille alueille, huomioiden sivullisten työajat ja operoinnin luonne, vähenee maariski olennaisesti. Maariskin mahdollisuutta lisäävät mm. laitteen tekniset ongelmat, ulkoisten järjestelmien häiriöt (GPS tai ohjausyhteyden häi-

riö), inhimilliset virheet, ilmaliikenteen törmäykset ja huonot sääolosuhteet. (Traficom 2019, viitattu 8.8.2019.)

4.4 Lentomelu

Drooneista aiheutuvaa melua ja sen vaikutuksia ihmisiin on tutkittu vielä erittäin vähän. Dronit aiheuttavat sellaista melua, johon ihmiskorva ei ole vielä tottunut. Kyseinen ”näkömelu” on tyyppilistä lentokenttien läheisyydessä ja havaittu ilmiö, jossa asukkaat valittavat lentomelusta, vaikka moottoritien on mitattu aiheuttavan enemmän melua. Dronien melua on pidetty myös haitallisena, koska ne liikkuvat hitaasti verrattuna ohi ajavaan autoon. (Robots Expert Finland Oy 2019, viitattu 7.7.2019.)

Melu huomioidaan nykyisessä kaupunkisuunnittelussa erittäin tarkasti, joten dronien lisääntyessä meluhaitat täytyy ottaa huomioon myös näiden osalta. Kaupunkien kannattaisi liittää dronit osaksi kaupunkikohtaista meluntorjunta-toimintasuunnitelmaa. (Robots Expert Finland Oy 2019, viitattu 7.7.2019.)

Drooneista syntyvä melu tulee niiden potkureista ja moottoreista. Sähkökäyttöisten dronien melunlähde on pääasiassa potkureissa: mitä isommat potkurit, sitä isompi melu. Polttomoottorikäyttöisissä drooneissa suurin melunlähde on moottorit. Potkureiden ja moottoreiden melun vähentämiseksi on jatkuvasti kehitteillä uutta potkuri- ja moottoriteknologiaa. Kun teknologiasta otetaan kaikki mahdollinen hyöty irti, meluhaittoja tuskin saadaan kokonaan poistettua. Dronit ja hyötykuormat kasvavat, joten dronit tulevat olemaan edelleen melun lähde, vaikka teknologia kehittyy. (Robots Expert Finland Oy 2019, viitattu 7.7.2019.)

4.5 Valvonta ja turvallisuus

Teollisuusaloilla on ollut jo vuosia testikäytössä erilaisia valvonta- ja turvallisuusasioihin liittyviä droniratkaisuja. Teollisuuden alalla on paljon erilaisia valvottavia kohteita, jotka vaativat jatkuvaa valvontaa turvallisuuden takaamiseksi. Kemiantehtaات, jalostamot ja tuotantolaitokset ovat jatkuvaa seurantaa ja ylläpitoa vaativia järjestelmiä, jotka ovat alttiita operatiivisille uhille, kuten laitevioloille, tietoturvaloukkauksille ja katastrofeille. Tehokas ratkaisu tähän ongelmaan ovat automati-

soidut dronit, joilla voidaan varmistaa infrastruktuurin jatkuva tuottavuus, turvallisuus ja tehokkuus. (Airobotics 2019, viitattu 11.9.2019.)

Airobotics on kehittänyt kokonaisratkaisun, joka vastaa teollisuuslaitosten erilaisiin tarpeisiin valvonnan, turvallisuuden ja hätätilanteiden varalle. Valvonnan alueella dronit voivat ottaa lähikuvaa teollisuuslaitoksen kriittisistä toiminnoista esimerkiksi havaitsemalla kaasuvuodot tai seuraamalla kriittisiä prosesseja. Turvallisuuden osa-alueella droneilla voidaan valvoa laajaa aluetta, hälyttää mahdollisista tunkeilijoista ja niillä voidaan nähdä myös aidatun alueen taakse. Hätätilanteissa droneilla voidaan saada nopea alueen tapahtumien tulkinta ilmasta käsin, voidaan seurata evakuoiteja sekä havaita vaaratilanteet etäältä. (Airobotics 2019, viitattu 4.10.2019.)

Teollisuuden rutiininomaiset tai muut tarkastukset liittyvät enimmäkseen köysien ja tikkaiden käyttöön, suurten koneiden ja tornien mitoittamiseen, prosessin valvontaan ja pullonkaulojen löytämiseen. Nämä ovat manuaalisesti tehtäessä vaarallisia tehtäviä tarkastajille. Tarkastuksen aikana koneet joudutaan usein sammuttamaan, mistä voi aiheutua taloudellisia menetyksiä yrityksille. Droneilla voidaan tarkastukset tehdä turvallisemmin ja kustannustehokkaammin, koska tarkastukset voidaan tehdä kauempaa ja koneita ei tarvitse sammuttaa tarkastusten ajaksi. Täysin automaattisen alustan luonnilla dronit otetaan käyttöön ja lasketaan itsenäisesti ennalta määriteltujen tehtävien ja sovellusten avulla järjestelmän analysoimien lentotietojen keräämiseksi, jolloin saadaan selkeä kuva vaikeasti saatavilla olevista koneista. Airobotics-ratkaisu eliminoi dronitoimintoihin liittyvän logistiikan tarjoamaan luotettavia, on-demand-lentokantatietoja, analytiikka- ja premium-prosessiominaisuuksia, yksinkertaistaen samalla tarkastusprosesseja ja mahdollistamalla työn suorittamisen tarvittaessa. Automaattinen kaasuvuodon tarkastus voi olla merkittävä lisä turvallisuuteen teollisuuslaitoksille, kuten kemiantehtaat ja jalostamot. (Airobotics 2019, viitattu 11.9.2019.)

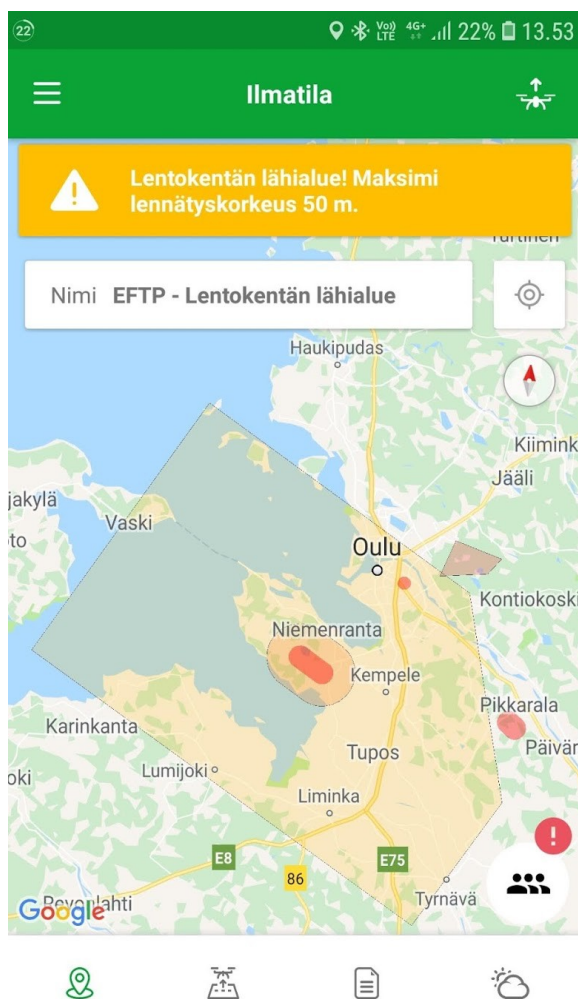
4.6 Lentämisessä ja kuvaamisessa huomioitavaa

Droneilla lennettäessä täytyy kunnioittaa ihmisten yksityisyyttä ja kotirauhaa. Lennättäminen toisten ihmisten kotien läheisyydessä ja yläpuolella häiritsevästi ja julkaisemalla kuvia ihmisistä ilman heidän suostumustaan on kielletty. Ihmisen kuvaaminen tai salakatselu teknisellä laitteella laissa määritellyllä alueella on suojattu rikoslain salakatselusäännöksen nojalla. Yleisillä paikoilla tämä laki ei päde, mutta muualla lupa täytyy yleensä olla. Luvatta kuvaaminen määritellään laissa

salakatseluksi. Salakatselulain mukaan rikos on jo tapahtunut, vaikka kuvia ei julkaistaisi tai tallennettaisi kameralle. (Droneinfo 2019, viitattu 9.7.2019.)

Julkisilla paikoilla ja tiloissa kuvaaminen on sallittua. Tällaisia paikkoja ovat mm. kadut, tiet, torit, metsät, yleisölle avoimet julkiset tilat, kuten esim. virastot, laitokset, myymälät ja ostoskeskusten yleisötilat sekä rautatieasemien ja metroasemien yleisölle avoimet tilat. (Droneinfo 2019, viitattu 9.7.2019.)

Lentäminen lentoaseman läheisyydessä on tarkoin määritelty. Droneinfo (www.droneinfo.fi) on julkaissut droniharrastajille ja miehittämättömän ilmailun ammattilaisille mobiilisovelluksen (kuva 2), josta näkee lentokieltoalueet ja rajoitukset. Sovelluksesta löytyy tiedot rajoitusalueista, lentokieltoalueista ja korkeusrajoista Suomessa. (Droneinfo 2019, viitattu 4.10.2019).



KUVA 2. Kuvakaappaus Droneinfo-mobiilisovelluksesta.

5 LENTOTYÖSKENTELEY

5.1 OAMK - Miehistämättömän ilmailun toimintakäsikirja

Työssä suoritettuna lentotoiminnan viitteenä lainsäädännössä miehistämättömän ilmailua koskevien vaatimusten täyttämistä varten käytettiin tukena Oulun ammattikorkeakoulun dronitoiminnan käsikirjaa. Pohjana tässä käsikirjassa on sovellettu Traficom (www.traficom.fi) eli Liikenne- ja viestintäviraston julkaisemaa miehistämättömän ilmailun käsikirjaa. Oamkin dronilentotoiminnassa pyritään hyödyntämään ilmailun vakiintuneisiin käytäntöihin nojaavia ja mahdollisimman pitkäle vakiintuneita sekä valmiita viranomaisvaatimusten täyttämiä periaatteita, Oamkin toimintaan käytännönläheisesti räätälöitynä. (Hannula 2019, 2–3.)

Jokaisella Oamkin droneihin liittyvässä toiminnassa mukana olevalla on velvollisuus perehtyä tähän käsikirjaan käytännöllisesti omaan tehtävään liittyvässä laajuudessaan. Kaikkiin Oamkin droneihin liittyvässä toiminnassa suositellaan käytettäväksi käsikirjassa mainittuja määritelmiä. Tässä työssä käytettyjen Dji Spark -dronien (Liite 1) lennättämiseen vaadittiin 2 tunnin lentokokemus, jotta saavutettiin kapteenin taso. (Hannula 2019, 2–3.)

Testilentoja tehneet oppilaat olivat perehtyneet dronitoiminnan käsikirjaan ja saaneet koulutuksen alle 800 gramman painoisille miehistämättömille ilma-aluksille. Lentokokemuksen karttuessa he saivat lentää isompia droneja. Kuitenkin jokaisen dronityypin lennättämiseen vaaditaan yhden tunnin perehdytys. Tarkoitus oli käyttää myös Dji Mavic Pro -mallin dronia, mutta emme löytäneet sopivaa patenttiratkaisua hyötykuormien kiinnittämiseen tähän droniin.

5.2 Opinnäytetyössä käytetty lentokalusto ja ohjelmisto

Työssä käytettiin koululle tutkimus- ja koulutustarkoitukseen hankittuja droneja. Koululta oli saatavilla 2 kpl Dji Sparkeja sekä Dji Mavic- ja Hubsan-dronit. Testilentoja tehtiin Dji Sparkilla. Sparkeihin sai hyötykuormat helpommin kiinni kuin Maviciin. Nämä dronit on kevyitä ja hyviä opetustarkoitukseen käytettäväksi. Varaosia ja lisäakkuja oli markkinoilla kattavasti ja edullisesti saatavilla. Dji Sparkista löytyy myös hyvät kuvausominaisuudet, joten tällä dronilla otettuja kuviakin

voidaan käyttää jälkeinpäin lentoreittien tutkimiseen ja analysoimiseen. Lentodatan ja mittaustulosten analysointiin ja dokumentointiin käytettiin Microsoft Officen Exceliä ja Wordia.

5.3 Lennot sisällä

Ensimmäiset testilennot suoritettiin koulun opetustiloissa. Koulun kesäharjoittelijat tekivät hyötykuormamittauksia sisällä Summer of Drones -projektin lentämistä varten varatussa tilassa Kotkantien kampuksella. Opetustilan oveen laitettiin varoituskyltti "Caution! Drone zone", jotta vältettiin ulkopuolisille aiheuttamasta vaaratilanteita. Sisällä suoritetuissa lennoissa seurattiin, miten akun varaustaso hiipuu ajan funktiona ja havainnoitiin droonin lentokäyttäytymistä käytetyn hyötykuorman mukaan. Kaikki painot punnittiin kirjevaa'alla gramman tarkkuudella. Kaikkia lentoja ei aloitettu täydellä akun varaustasolla, joten jouduttiin tekemään uusia testilentoja, joissa akun varaustaso oli lähtötilanteessa 100 prosenttia.

Oulun ammattikorkeakoulun kesäharjoittelijoille tehtiin aikataulutetut suoritettavista testilennoista. Testilentoja varten mietittiin, miten saataisiin helppo ratkaisu kuorman irrottamiseen lennon jälkeen. Ensimmäisenä tuli mieleen kertakäyttömuki, johon lisätään tarvittava määrä kolikoita, että saavutetaan haluttu hyötykuorma. Toisena vaihtoehtona oli magneetti, jolla nostetaan metallilevyjä paikasta A paikkaan B. Testilennot suoritettiin kuitenkin käyttämällä hyötykuorman kiinnitykseen ns. rautalankapatenttia, jossa hyötykuorma roikkuu kahden "jekkulangasta" tehdyn kantonarun varassa (kuva 4).



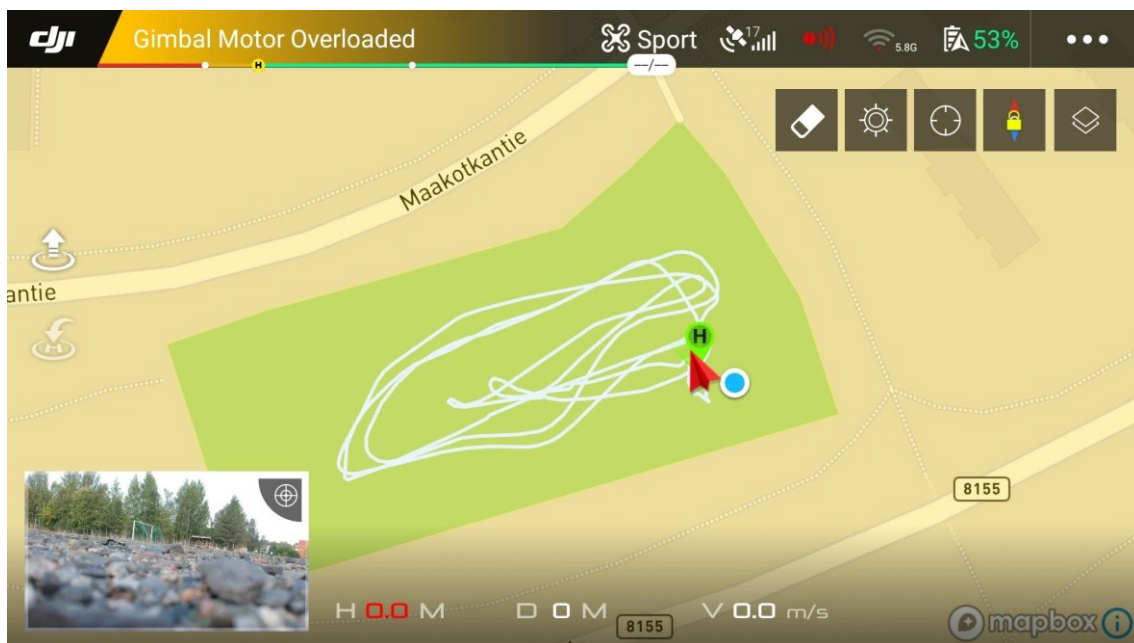
KUVA 3. Testilennoissa käytetty hyötykuorman sidontapatentti.

Ensimmäiset testilennot suoritettiin koulun sisätiloissa droonikurssin oppilaiden käyttöön tarkoitetussa opetustilassa. Käytetyt hyötykuormat punnittiin koulun kirjevaa'alla gramman tarkkuudella.

5.4 Lennot ulkona

Ulkona tehtiin kahtena päivänä testilentoja. Ensimmäisenä päivänä testattiin, miten tuuli vaikuttaa lentämiseen eri lentokorkeuksilla. Huomattiin, että puiden tai lähimmäisten esteiden yläpuolelle mentäessä tuuli heiluttaa droonia huomattavasti enemmän kuin alempana. Erityisesti puuskittainen tuuli toi haasteita droonin hallittavuuteen. Ensimmäiset lennot tehtiin koulun läheisellä urheilukentällä ja myöhemmin samana päivänä Oulunsalon Riutunkarin sataman läheisyydessä, missä tuuli oli navakampaa. Kirjattiin jokaisen lennon aikana säähavainnot ja säätiedot ylös. Säätiedot haettiin Ilmatieteenlaitoksen (www.ilmatieteenlaitos.fi) sivuilta.

Lentotyöskentelyssä käytettiin apuna Dji Go 4 -sovellusta, joka ladattiin puhelimeen. Ohjelma toimii FPV-seurannassa lentotoiminnan apuna. Ohjelmassa näkyy kuva droonin kamerasta suoraan lentäjälle ja ohjelma piirtää lentoreitin muistiin. Tässä sovelluksessa on paljon hyödyllisiä ominaisuuksia lentotoiminnan helpottamiseksi ja turvallisen lentotoiminnan takaamiseksi. Dji Go 4 -sovelluksen kautta saatiin määritettyä maksimilentokorkeudet, ettei drooni lennä vahingossa liian korkealle lentoturvallisuusmääräysten sallimien rajojen yläpuolelle. Ohjelmasta otetusta kuvakaappauksesta (kuva 3) näkyy akun kapasiteetti, joka kirjattiin ylös jokaisen lennon alussa ja lopussa.



KUVA 4. Kuvakaappaus Dji Go 4 -sovelluksesta.

Jokaisen Oulun ammattikorkeakoulun droonitoimintaa itsenäisesti harjoittavan täytyy käydä perehdytys koulun lentokapteenin ohjauksessa. Omatoimista lentämistä saa tehdä Dji Sparkilla ja Dji Mavicilla, kun lentoja on suoritettuna kaksi tuntia lentokapteenin alaisuudessa. Henkilökohtaisen lentoperehdytyksen sain kesäharjoittelijan perämiehenä lentotoimintaan varatussa koulun tilassa. Tämän jälkeen testilentoja tehtiin koulun läheisyydessä sijaitsevalla Ylimaan kentällä ja Oulunsalon Riutunkarin lähellä sijaitsevalla asfaltoidulla alueella.

5.5 Säevaihtelut ja havainnot

Ulkona tehtävään lentotyöskentelyyn vaikuttaa vallitseva säätila. Säätietojen havainnointi ennen lentosuoritusta ja lennon aikana kuuluvat perusrutiineihin. Kaikissa droneissa ei ole sääsuojau-

ta ja joissakin on vain osittainen sääsuojaus, joten lentoja ei voi sadekelillä suorittaa välttämättä ollenkaan.

Tässä työssä ulkona suoritettaviin lentoihin tehtiin havaintoja seuraavista säätiedoista: sade, tuuli, puuskainen tuuli ja lämpötila. Sadekelillä testilentoja ei voitu suorittaa, koska lentokalusto ei ollut sadesuojattu. Lentotyöskentelyn aikana havainnoitiin sään vaikutusta dronin käyttäytymiseen ilmassa. Ajantasaiset sää tiedot haettiin Ilmatieteenlaitoksen kotisivuilta ja merkattiin Excel- taulukkoon. Lentotyöskentelyn aikana tehdyt säähavainnot kirjattiin myös samaan taulukkoon muiden sää tietojen kanssa.

5.5.1 Lennot ilman hyötykuormaa

Ennen lentosuoritteiden toteuttamista havainnoitiin lentosäätä. Sää oli aluksi pilvinen tai puolipilvinen ja tuulen nopeus muutama metri sekunnissa, mutta puuskittain hieman kovempaa. Päätettiin, että lentosää on sopiva Dji Sparkin lennättämiseen. Ensimmäisen lennon aikana ei lennety sorakenttää reunustavien puiden yläpuolelle. Aluksi lennettiin ”standard modessa”. Toisella lennolla laitettiin ”sport mode” päälle ja lennettiin puiden yläpuolella. Lennon aikana huomattiin, miten tuuli vaikuttaa dronin ohjattavuuteen ja videokuvan vakauteen. Droni oli kuitenkin täysin hallittavissa lennon aikana, eikä haavereita sattunut. Tehtiin yhteensä neljä lentosuoritetta, joista kirjattiin lentodata ja lentosää Excel-taulukkoon.

5.5.2 Lennot hyötykuorman kanssa

Toisena testilentopäivänä tehtiin lentosuoritteita hyötykuorman kanssa Oulunsalon Riutunkarissa. Tuuli oli huomattavasti navakampi kuin edellisenä päivänä, mutta lähellä maarajaa tuuli ei haitannut lentämistä ollenkaan. Lentokeli oli aurinkoinen ja tuulinen. Hyötykuormana käytettiin metalliprikkoja, jotka punnittiin kirjevaa’alla. Kiinnitettiin hyötykuormat rautalangalla ja metallikoukulla droniin. Koukkuun oli helppo asentaa lisäpainoja lennon aikana (kuva 5).



KUVA 5. Ulkona käytetty ratkaisu hyötykuorman kuljettamiseen.

6 LENTODATAN TAULUKOINTI

Oamkin kesäharjoittelijat saivat Excel-taulukon, johon he kirjasiivat testilentojen lentodatan mui-
tiin. Taulukkoon merkittiin tiedot lentopäivästä, lentoajasta, akun varaustasosta ja käytetystä hyö-
tykuorman massasta. Taulukoissa ilmoitettiin akun varaustaso lähtöhetkellä "S" – start ja lennon
lopussa "F" – finish.

6.1 Lennot sisällä

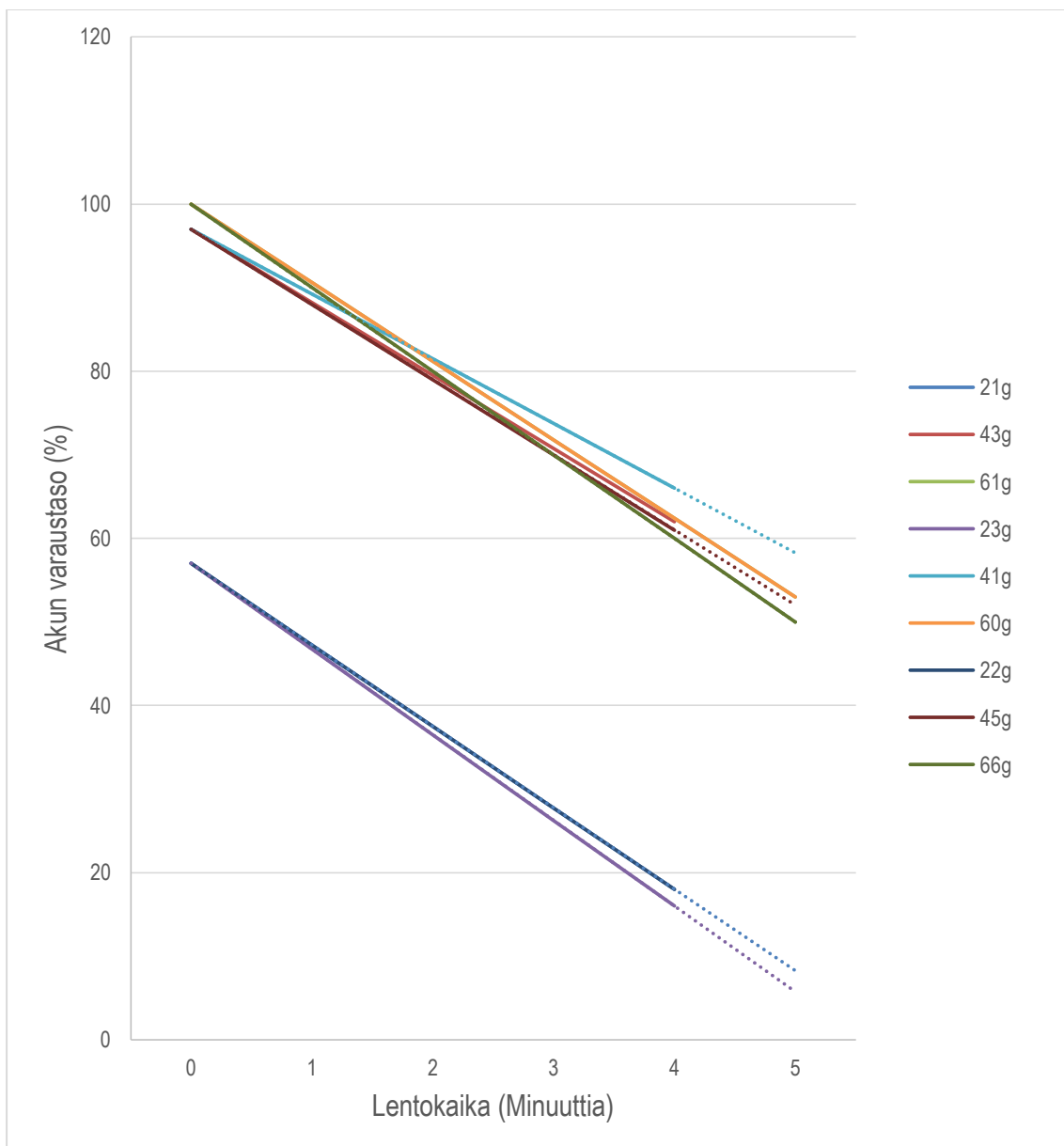
Testilennoista kirjattiin taulukkoon (taulukko 1) akun alku- ja loppuvaraustasot. Akun varaustaso
ilmoitettiin prosentteina (%) ja akun alkuvaraus ennen lentoa (S) – start ja lennon lopussa (F) –
finish. Hyötykuorma ilmoitettiin grammoina (g).

TAULUKKO 1. Lentodatat sisätiloissa suoritetuista lennoista.

Pvm:	Klo:	Lentoaika (min)	Akun varaustaso %	Hyötykuorma (g)
29.7.2019	11.00	4	S: 57%, F: 18%	21,00
	11.35	4	S: 97%, F: 62 %	43,00
	11.50	5	S: 100% F: 53 %	61,00
	12.10	EPÄONNISTUI	S: 51%, F:	80,00
30.7.2019	10.00	4	S: 57%, F: 16%	23,00
	10.15	4	S: 97%, F: 66 %	41,00
	10.45	5	S: 100% F: 53 %	60,00
	11.00	EPÄONNISTUI	S: 51%, F:	83,00
31.7.2019	11.15	4	S: 57%, F: 18%	22,00
	11.45	4	S: 97%, F: 61 %	45,00
	12.10	5	S: 100% F: 50 %	66,00
	12.30	EPÄONNISTUI	S: 51%, F:	78,00
	13.00	Ei lentoja		
	14.00	Ei lentoja		
2.8.2019	10.00	Ei lentoja		
	12.00	Ei lentoja		
	14.00	Ei Lentoja		

Sisälentoja tehtiin viiden minuutin välein kolmena päivänä eri kellonaikoina. Ideaalilanteessa täydellä latauksella voidaan Dji Sparkilla lentää 16 minuuttia ilman hyötykuorma, mutta tässä testissä hyötykuorma vaikutti merkittävästi akun varaukseen.

Kuvasta 6 käy ilmi, miten akun varaustaso hiipuu lineaarisesti ajan funktiona käytetyn hyötykuorman mukaan. Mitä isompi hyötykuorma, sitä nopeammin akun varaustaso laskee. Kaavioon lisättiin lyhyempien 4 minuutin lentojen kuvaajiin jatkeeksi lineaarista trendiviivaa havainnollistamaan akun varaustason putoamista samassa suhteessa muiden lentojen kanssa.



KUVA 6. Sisälennot. Akun varaustason hiipuminen ajan funktiona hyötykuorman mukaan.

6.2 Lennot ulkona

Ulkona suoritettujen testilentojen lentotiedot kerättiin taulukkoon (taulukko 2). Ilmatieteenlaitoksen sivuilta haettiin lentohetkellä vallitsevan säätilan tiedot. Sää tietoja kerättiin tuulesta, sateesta ja lämpötilasta taulukkoon (taulukko 3). Ulkolennot suoritettiin samalla lentokalustolla kuin sisälentojakin.

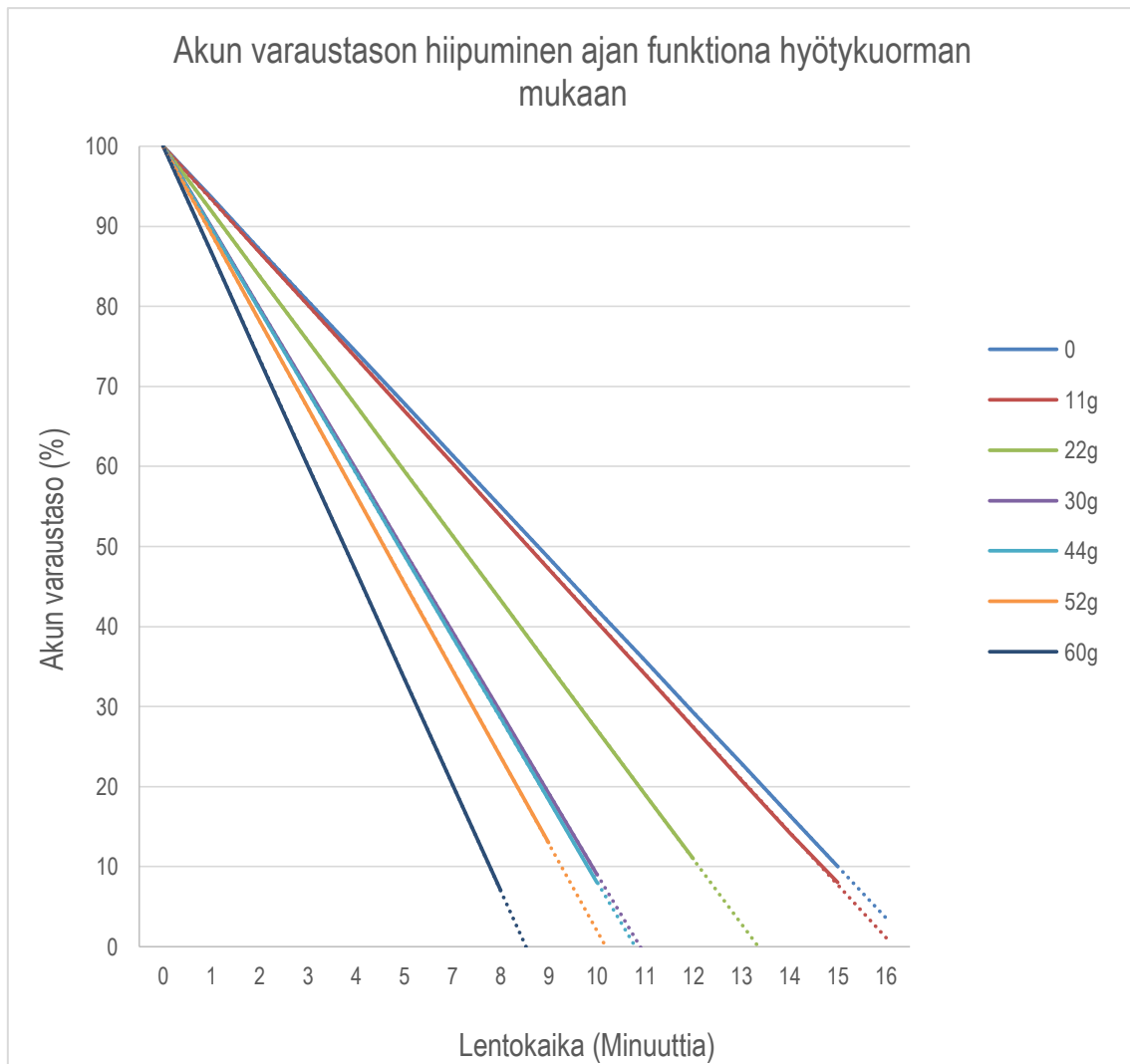
TAULUKKO 2. Lentodatat ulkona suoritetuista lennoista.

Lennot ulkona:				
Pvm:	Klo:	Lentoaika (min)	Akun varaustaso	Hyötykuorma (g)
11.9.2019	11:00	15	S: 100%, F: 10%	0,00
	11:17	14	S: 100%, F: 16%	0,00
	11:30	12	S: 100%, F: 28%	0,00
	11:45	10	S: 100%, F: 38%	0,00
11.9.2019	15:00	15	S: 100%, F: 8%	11,00
	15:10	12	S: 100%, F: 11%	22,00
	15:20	10	S: 100%, F: 9%	30,00
	15:30	10	S: 100%, F: 8%	44,00
	15:40	9	S: 100%, F: 13%	52,00
	15:50	8	S: 100%, F: 7%	60,00
12.9.2019	11:00	0	-	-
	11:15	0	-	-
	11:30	0	-	-

TAULUKKO 3. Lentosää tiedot Ilmatieteenlaitoksen sivuilta.

Lentosää: (tiedot haetaan ilmatieteenlaitoksen sivuilta)					
Pvm:	Klo:	Sade	Tuuli (m/s)	Lämpötila (°C)	Ei lentoja
11.9.2019	11:00	Ei	6, puuska 9	16,5	
	11:15	Ei	5, puuska 8	17,0	
	11:30	Ei	6, puuska 8	17,4	
	11:45	Ei	5, puuska 8	18,2	
11.9.2019	15:00	Ei	8, puuska 10	20,8	
	15:10	Ei	9, puuska 12	20,3	
	15:20	Ei	7, puuska 10	21,0	
	15:30	Ei	8, puuska 11	20,1	
	15:40	Ei	8, puuska 11	19,8	
	15:50	Ei	8, puuska 10	19,9	
12.9.2019	11:00	Tihkusade	8, puuska 10	14,3	x
	11:15	Tihkusade	9, puuska 11	14,3	x
	11:30	Tihkusade	10, puuska 13	14,1	x

Ulkolentojen kuvaajista (kuva 7) nähtiin, miten hyötykuorma vaikuttaa lentoaikaan. Pienimmillä hyötykuormilla merkittäviä eroja ei syntynyt. Lentoaikojen erot olivat hyvin pieniä kun droonin maksimihyötykuormasta oli käytössä noin puolet. Heti kun hyötykuorma läheni maksimia, putosi lentoaika merkittävästi.



KUVA 7. Ulkolennot. Akun varaustason hiipuminen ajan funktiona hyötykuorman mukaan

6.3 Lentotietojen analysointi

Oamkin dronikurssin oppilaat suorittivat testilentoja koulun sisätiloissa. Sisällä tehdyt testilennot suoritettiin koulun opetustilassa, joka oli järjestelty dronien testilentoja varten.

Hyötykuorman kytkeminen Dji Sparkiin toteutettiin teipillä kytketyillä hyppylangoilla, pahvisella mukilla ja eri painoisilla magneeteilla. Kesäharjoittelijat suorittivat kahdenlaista testaamista: Staattisia ja liikerasituksen mittauksia. Staattisen rasituksen mittauksissa akut ladattiin täyteen ja ennakkoon määritetyillä hyötykuormilla testattiin, kuinka kauan akut kestävät. Liikerasitusmittauksissa lennettiin ensin kolme kierrosta luokan ympäri hyötykuorman kanssa ja tämän jälkeen kolme kierrosta ilman hyötykuormaa ja katsottiin, kuinka paljon akun kapasiteetti muuttui testin aikana eripainoisilla hyötykuormilla.

Yhteisiä piirteitä huomattiin molemmissa testeissä Dji Sparkin käyttäytymisessä. Mitä isompi hyötykuorma oli, sitä vähemmän akku kesti ja sitä vaikeampaa sekä hitaampaa liikkuminen ja liikkeelle lähteminen oli. Dji Sparkin kriittiseksi massaksi huomattiin noin 80 grammaa. Kun hyötykuorma ylitti 80 gramman rajan, dronista alkoi katoamaan ohjauskontrolli. Sivuttaissuuntainen kääntyminen muuttui täysin mahdottomaksi. Lisäksi droni alkoi pyörimään paikallaan, vaikka liikkumiskomentoja ei antanut mihinkään suuntaan. Laskeutuminen onnistui vielä ilman ongelmia, mutta kääntyminen ja liikkuminen muuttui vaikeaksi. Oletettiin tämän johtuvan siitä, että moottorit käyvät täysillä ja dronin liikkuminen kolmiulotteisessa tilassa perustuu neljän moottorin eri pyörimisnopeuksien suhteeseen. Moottorien käydessä täysillä dronin ohjaus sakkaa, koska moottorien pyörimisnopeutta ei voida säätää kuin pienemmälle ohjauksen hallinnan saavuttamiseksi.

Käytimme dronissa propellien suojuksia, jotka painavat 9,5 grammaa kappaleelta ja joita on tässä dronimallissa neljä kappaletta. Dji Sparkin kokonaismassasta (300 grammaa) nämä ovat noin 13 prosenttia. Tässä työssä ei otettu huomioon suojusten vaikutusta lentoaikoihin, koska ulkolentotietojen tulokset eivät olisi olleet vertailukelpoisia sisällä tehtyihin lentoihin. Sisällä lennettäessä on kuitenkin tärkeää käyttää näitä propellin suojuksia, että lentotyöskentely olisi turvallista.

Dji Spark pystyi nostamaan noin 30 prosenttia lentoonlähtöpainon verran hyötykuormaa. Tämän maksimihyötykuorman siirtäminen ei ollut kuitenkaan käytännössä mahdollista, koska dronin ohjaus ei enää toiminut. Maksimihyötykuorma, jonka tehtävässä käytetty droni pystyi vielä siirtämään, oli noin 60 grammaa.

Yleensä näissä pienemmissä drooneissa ei ilmoiteta suurinta lentoonlähtöpainoa (MTOW), joten se jouduttiin itse testaamaan. Mitattujen lentotietojen perusteella voitiin todeta, että 30–50 gramman hyötykuormalla ei ollut isoja eroja lentoaikoihin. Alle 20 gramman hyötykuorma ei vaikuttanut lentoaikaan merkittävästi.

7 YHTEENVETO

Miehittämättömät ilma-alukset ovat yleistyneet viime vuosina eri käyttötarkoituksissa huomattavasti. Erityisesti suoraan ylöspäin nousevat dronit ovat nostaneet suosiotaan. Nykyään suoritetaan paljon automatisoitua varastonhallintaa ja erilaista logistiikkaa pienillä ja keskisuurilla droneilla.

Tässä työssä perehdyttiin, miten droni käyttäytyi hyötykuorman kasvaessa ja miten vallitseva sää vaikutti lentoihin. Sateisella säällä lentäminen ei onnistunut ollenkaan, koska käytetty dronimalli ei ole sääsuojattu. Myös tuulen voimakkuus vaikutti lentosuoritteiden tekemiseen. Sisälentoissa havainnoitiin dronin käyttäytymistä hyötykuorman kasvaessa ja haettiin kriittistä hyötykuorman maksimia, jolloin droni ei enää ohjaudu. Kaikista lennoista kirjattiin akun varaustaso ennen lentoa ja lennon jälkeen Excel-taulukoon.

Sisälentoja tekivät Oamkin dronikurssin kesäharjoittelijat, jotka raportoivat lentojen suorituksista. He lähettivät excel-taulukkona tiedot lentosuoritteista, kirjoittivat lyhyen kuvauksen ja analyysin tehdyistä lennoista.

Ensimmäisenä testilentopäivänä lentosuoritteita tehtiin ilman hyötykuormaa koulun läheisellä Ylimaalla sorakentällä. Tehtiin havaintoja miten tuuli ja lentokorkeus vaikuttaa dronin käyttäytymiseen ja akun varaustasoon. Huomattiin, että pieniä eroja syntyi kun dronilla lensi puiden yläpuolella. Toisena lentopäivänä tehtiin lentoja Oulunsalon Riutunkarin sataman läheisyydessä, jossa tuuli on voimakkaampaa meren läheisyyden takia. Puiden latvuston alapuolella lentäminen onnistui hyvin, mutta puiden yläpuolella lentäminen oli haastavaa ja dronin ohjaus vaikeampaa puuskittaisen tuulen vuoksi. Testilennot suoritettiin lähellä maarajaa, jotta tuuli ei vaikuttanut lopputuloksiin. Lopputuloksista huomattiin, että hyötykuorman lisääminen vaikuttaa lentoaikaan lineaarisesti laskevasti. Mitä isompi hyötykuorma, sitä lyhyempi lentoaika.

Esimerkiksi logistiikassa pakettien toimittaminen vastaanottajalle ei onnistu, jos sää ei ole suosiolinen lentää dronilla. Kova tuuli ja sade vaikeuttavat lentotoimintaa tai estävät sen kokonaan. Kova tuuli vaikeuttaa lentämistä erityisesti silloin, kun hyötykuormana on pinta-alaltaan suurikokoinen paketti. Paketin paino taas vaikuttaa dronin ohjattavuuteen, eikä droni välttämättä tottele ohjausta, kun paino ylittää dronin nostokyvyn rajan.

LÄHTEET

Airobotics 2019. Automated drones for industrial facilities. Viitattu 11.9.2019, <https://www.airoboticsdrones.com/industrial-facilities/>.

Droneinfo.fi 2018. Usein kysyttyä. Viitattu 29.5.2019, https://www.droneinfo.fi/fi/usein_kysyttya/ilmailu_-_miehittamattomat_ilma-alukset_ja_lennokit.

Droneinfo.fi 2019. Yksityisyys ja kotirauha. Viitattu 9.7.2019, https://www.droneinfo.fi/fi/kunnioita_yksityisyytta.

Eurooppa-neuvosto 2019. Droonit: EU:n lentoturvallisuusuudistus. Viitattu 4.7.2019, <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/drones/>.

European Union Aviation Safety Agency EASA 2019. Drones regulatory framework background. Viitattu 11.7.2019, <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas/drones-regulatory-framework-background>.

Hannula, M. 2019. OAMK- Miehittämättömän ilmailun toimintäkäsikirja. Versio 0.3. Sisäinen lähde. Oulun ammattikorkeakoulu, informaatioteknologian osasto, uudet teknologiat -ryhmä.

Ilmailulaki 7.11.2014/864. Viitattu 2.7.2019, <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140864>.

Keränen, Matti 2019. Logistiikan mullistus tositettiin. Tekniikka & Talous. Viitattu 14.8.2019, <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/logistiikan-mullistus-tositettiin-vantaalla-tehdaan-kolmessa-paivassa-lahes-100-pakettitoimitusta-drooneilla-pienoisokopteri-nousee-ilmaan-varttitunnin-valein/3408c838-bdd8-3def-98f0-7b8ab3704c00>.

Radovic, Millie 2019. Unmanned aircrafts regulations 2019. Droneii. Viitattu 11.7.2019, <https://www.droneii.com/urban-air-mobility-101>.

Robots Expert Finland Oy 2019. Drooniopas kaupungeille. Viitattu 1.7.2019, <https://oamk.sharepoint.com/sites/Drone-tunnistustekniikanperusteet/Jaetut%20asiakirjat/General/Drooniopas%20kaupungeille%20-%20Robots%20Expert%202019.pdf>.

Satuli, Heli 2018. Droonien eurooppalainen testausverkosto. Osto & logistiikka. Viitattu 30.8.2019. <https://www.ostologistiikka.fi/kategoriat/teknologia/drone-lennokkien-eurooppalainen-verkostokayntiin>.

Skysense 2019. High Power Drone Charging Pad And Infrastructure. Viitattu 27.8.2019, <https://www.skysense.co/>.

Suomen poliisi 2017. Dronen lennättäjät huomio! Facebook-päivitys 4.7.2017. Viitattu 5.8.2019, <https://www.facebook.com/Suomenpoliisi/posts/10154509694126513/>.

Tammi, Kalle 2019. Droonikuljetusten kokeilut käynnistyvät. Citylogistiikan uudet ratkaisut -hanke. Viitattu 30.8.2019, <https://citylogistiikka.fi/droonikuljetusten-kokeilut-kaynnistyvat/>.

Taylor 2019. Drones in logistics. Viitattu 26.8.2019, <https://blog.capterra.com/drones-in-logistics-how-to-guide/>.

Traficom 2019. Maariski ilmailussa. Viitattu 8.8.2019, https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/OPS_M1-32_2018_perustelumuistio.pdf.

Appendix

Specifications	
Aircraft	
Weight	300 g
Dimensions	143×143×55 mm
Diagonal Length (propellers excluded)	170 mm
Max Ascent Speed	9.8 ft/s (3 m/s) in Sport Mode
Max Descent Speed	9.8 ft/s (3 m/s) when using auto landing
Max Speed	31 mph (50 kph) in Sport Mode without wind
Max Service Ceiling Above Sea Level	13123 feet (4000 m)
Max Flight Time	16 minutes (0 wind at a consistent 12.4 mph (20 kph))
Max Hovering Time	15 minutes (0 wind)
Operating Temperature	32° to 104° F (0° to 40° C)
GNSS	GPS/GLONASS
GPS Hover Accuracy Range	Vertical: ±0.1 m (With Vision Positioning); ±0.5 m (With GPS Positioning)
	Horizontal: ±0.3 m (With Vision Positioning); ±1.5 m (With GPS Positioning)
Transmitter Power (EIRP)	2.4 G FCC: 25 dBm; CE: 18 dBm; SRRC: 18 dBm
	5.8 G FCC: 27 dBm; CE: 14 dBm; SRRC: 27 dBm
Operation Frequency	2.400-2.4835 GHz; 5.725-5.825 GHz
Gimbal	
Controllable Range	Pitch: -85°to 0°
Stabilization	2-axis (pitch, roll)
3D Sensing System	
Sensing Range	0.6 - 16 ft (0.2 - 5 m)
Operating Environment	Surface with diffuse reflection material, size > 20×20 mm and reflectivity > 20% (such as wall, trees, humans, etc.)
Vision System	
Velocity Range	≤ 22.4 mph (36 kph) at 6.6 ft (2 m) above ground
Altitude Range	0 - 26 feet (0 - 8 m)
Operating Range	0 - 98 feet (0 - 30 m)
Operating Environment	Surfaces with a clear patterns and diffuse reflection material, reflectivity > 20%, adequate lighting (lux > 15)
Camera	
Sensor	1/2.3" CMOS; Effective pixels: 12 Megapixels
Lens	81.9° FOV, 25 mm (35 mm format equivalent), f/2.6 Shooting Range: 2 m to ∞

Spark User Manual

ISO Range	100-3200 (video), 100-1600 (photo)
Electronic Shutter Speed	2 - 1/8000 s
Max Image Size	3968 × 2976
Still Photography Modes	Single shot Burst shooting: 3 frames Auto Exposure Bracketing (AEB): 3 bracketed frames at 0.7EV Bias Interval (2/3/5/7/10/15/20/30/60 s)
Video Recording Modes	FHD: 1920×1080 30p
Video Storage Bitrate	24 Mbps
Supported File System	FAT32
Photo	JPEG
Video	MP4 (MPEG-4 AVC/H.264)
Supported SD Cards	Recommended Model: Sandisk 16/32 GB UHS-1 Micro SDHC Kingston 16/32 GB UHS-1 Micro SDHC Samsung 16/32 GB UHS-I Micro SDHC Sandisk 64 GB UHS-1 Micro SDXC Kingston 64 GB UHS-1 Micro SDXC Samsung 64 GB UHS-I Micro SDXC
Wi-Fi	
Operating Frequency	2.4G / 5.8G
Max Transmission Distance (Unobstructed, free of interference)	100 m (Distance), 50 m (Height)
Remote Controller	
Operating Frequencies	2.412-2.462 GHz, 5.745-5.825 GHz
Max Transmission Distance (Unobstructed, free of interference)	2.4 GHz FCC: 1.2 mi (2 km), CE: 0.31 mi (0.5 km), SRRC: 0.31 mi (0.5 km) 5.8 GHz FCC: 1.2 mi (2 km), CE: 0.19 mi (0.3 km), SRRC: 0.75 mi (1.2 km)
Operating Temperature Range	32° - 104° F (0° - 40° C)
Built-in Battery	2970 mAh
Transmitter Power (EIRP)	2.4 GHz FCC: ≤26 dbm, CE: ≤18 dBm, SRRC: ≤18 dBm 5.8 GHz FCC: ≤28 dbm , CE:≤14 dBm, SRRC: ≤26 dBm
Operating Voltage	950 mA @3.7 V
Supported Mobile Device Size	Thickness supported: 6.5 mm - 8.5 mm Max length: 160 mm
Charger	
Input	100-240 V, 50/60 Hz, 0.5 A
Output	5 V / 3 A, 9 V / 2 A, 12 V / 1.5 A

Spark User Manual

Intelligent Flight Battery	
Capacity	1480 mAh
Voltage	11.4V
Max Charging Voltage	13.05 V
Battery Type	LiPo 3S
Energy	16.87 Wh
Net Weight	Approx. 95 g
Operating Temperature	41° to 104° F (5° to 40° C)

After-Sales Information

Visit the following pages to learn more about After-sales policy and warranty information:

1. After-sales Policy: <http://www.dji.com/service>
2. Refund Policy: <http://www.dji.com/service/refund-return>
3. Paid Repair Service: <http://www.dji.com/service/repair-service>
4. Warranty Service: <http://www.dji.com/service/warranty-service>