

Drooniopas kaupungeille

Skaalautuvan drooniliiketoiminnan mahdollistamiseksi kaupungeissa

Sisällysluettelo

1	Alkusanat.....	4
2	Yleistä drooneista.....	5
2.1	Droonityypit ja käyttökohteet nyt ja tulevaisuudessa.....	6
2.1.1	Urban Air Mobility.....	7
2.1.2	Droonilogistiikka.....	8
2.1.3	Turvallisuuspalvelut.....	10
2.1.4	Infrastruktuuri, rakentaminen ja maa-alueet.....	11
2.1.5	Muut käyttötapaukset.....	11
2.2	Droonien tulevaisuus.....	12
3	Lainsäädäntö Suomessa ja Euroopassa.....	13
3.1	Droonien käyttökategoriat uudessa EU:n lainsäädännössä.....	14
3.2	SORA – Riskianalyysi.....	14
3.3	Maariski.....	15
3.4	Ilmariski.....	16
4	Droonien tulevat tarpeet ja haasteet kaupungeissa.....	16
4.1	Melu.....	17
4.2	Hätälaskeutumispaiikat.....	18
4.3	Laskeutumispaiikat.....	18
4.3.1	Valvontaan käytettävät droonit.....	19
4.3.2	Pienlogistiikkadroonit (B2C).....	19
4.3.3	Pienlogistiikkadroonit (B2B).....	20
4.3.4	Suurlogistiikkadroonit.....	20
4.3.5	Droonitaksit.....	21
4.3.6	Yhteiskäyttölaskeutumispaiikat.....	22
4.4	Latausverkot.....	22
4.5	Huoltotoiminta.....	23
4.6	Droonien radioyhteydet.....	23
4.6.1	Mobiiliverkot.....	24
4.6.2	5G.....	25
4.7	Droonit ja sää.....	25
5	Droonien käytäväsuunnittelut.....	27
5.1	Maariski käytävien suunnittelussa.....	28
5.1.1	M1- Strategic mitigations for ground risk.....	28
5.1.2	M2 - Effects of UA impact dynamics are reduced.....	35
5.2	Ilmariski käytävien suunnittelussa.....	35

5.3	Droonikäytävien laskeutumipaikkojen määrittäminen	35
5.4	Melusuunnittelu.....	36
5.5	Riskien arviointi.....	36
5.5.1	Bowtie-menetelmä	37
5.6	Käytäväsuunnittelun menetelmä.....	38
6	Jälkipohdintaa ja seuraavat askeleet	41
7	Referenssit	42

1 Alkusanat

Alkuun kiitokset Vantaan kaupungille, Uudenmaan liitolle ja Smart & Clean -säätiölle mahdollisuudesta tuottaa tämä opas.

Droonit tulevat olemaan vahvasti mukana kaupunkikuvassa muutamien vuosien päästä. Siksi on tärkeää, että myös kaupungin päättäjillä ja työntekijöillä olisi selkeä kuva drooneista ja siitä mitä edellytyksiä skaalautuvat droonipalvelut tarvitsevat kaupunkiympäristössä. Tässä oppaassa pyritään tuomaan mahdollisimman selkeästi drooniin liittyviä haasteita ja luoda laajempi ymmärrys droonipalveluiden tulevaisuuden tarpeista.

Tässä oppaassa katsotaan tulevaisuuteen ja selvitetään mitä edellytyksiä droonit vaativat laskeutumislustoilta, latauspisteiltä, lentokäytäviltä, sekä mitä keinoja kaupungeissa voitaisiin käyttää pienentämään maahan kohdistuvia riskejä. Maariski on erityisesti kaupungeissa erittäin tärkeä elementti droonipalveluiden mahdollistajana, sillä se voi rajoittaa palveluiden kaupallista potentiaalia suuresti. Maariski nykypäivänä käsitellään staattisena hyvin karkeana resoluutiona ja paineet kehittää maariskiiä dynaamisiin, nykyistä tarkempiin menetelmiin kasvaa.

Droonit ovat vielä hyvin uusi teknologia siviilikäytössä ja kaupunkiolosuhteissa droonit ovat vasta tulossa. Markkinatutkimukset kuitenkin osoittavat, että etenkin urbaanissa ympäristössä droonit tulevat yleistymään räjähdysmäisesti ja ne tuottavat kansantaloudelle merkittäviä etuja. Kuitenkin, kuten tästä oppaasta käy ilmi, tarvitsee skaalautuva drooniliiketoiminta kaupunkiympäristössä vielä paljon tutkimusta ja kehitystyötä. Koska droonien potentiaali kaupunkiympäristössä on erittäin merkittävä niin kansantaloudelle kuin ympäristölle, kaupunkien tulisi jo nyt ymmärtää drooneihin liittyvää viitekehystä ja mahdollisuuksien mukaan olla mahdollistamassa droonipalveluiden syntyä omassa kaupungissa. Paras keino on mahdollistaa drooneihin liittyvää tutkimusta ja tarjoamalla kaupunkiympäristöä erilaisiin kokeiluihin ja pilotteihin. Maariskin osalta tarvitaan vielä yhteistyötä Euroopan ja kansallisen ilmailuviranomaisten kanssa, kehittämään maariskiarvioita ja menetelmiä niin että se palvelee nykyistä paremmin urbaanissa ympäristössä tapahtuvaa droonitoimintaa. Jo nyt kaupunkien tulisi varautua nykyistä tarkempiin digitaalisiin malleihin kaupungeista. Lisäksi kaupunkien tulisi aloittaa mallintamaan kaupunkia digitaalisen kaksosen avulla, jotta maariskimalleja voitaisiin määrittää jatkossa tarkemmin ja varmistaa, että muutokset kaupunkiympäristössä voidaan päivittää maariskimalleihin.

Huomioitavaa: Koska SORA (Specific Operations Risk Assessment) -viitekehys (käsitelty kappaleissa 3. Lainsäädäntö Suomessa ja Euroopassa ja 7. Droonien käytäväsuunnittelu) on uusi menetelmä myös kansalliselle viranomaiselle ja koko EU:lle, saattaa kansallisen viranomaisen tulkinta olla eriävä siitä mitä tässä dokumentissa on esitetty. Viitekehys ja tämä dokumentti antavat kuitenkin hyvät perusteet jatkaa keskusteluja kaupunkien, droonioperaattorien ja kansallisten viranomaisten kanssa yhteisen näkökannan saavuttamiseksi.

2 Yleistä drooneista

Drooni, tai drone, tarkoittaa miehittämätöntä ilma-alusta (UA, Unmanned Aircraft), joka on tarkoitettu lentämään ilman ilma-aluksessa mukana olevaa ohjaajaa: tässä yhteydessä droonilla ei tarkoiteta harrastekäyttöön tarkoitettua lennokkia.

Termiä UAS (Unmanned Aircraft system) tarkoitetaan miehittämättömän ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmää; miehittämätön ilma-alus ja sen käytön edellyttämät järjestelmän osat.

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) on vanhentunut lyhenne/termi, vastaava nykyinen on UA (ks. edellä). Euroopassa suositellaan 'drone' eli 'UA'.

RPA (Remotely Piloted Aircraft): kauko-ohjattu ilma-alus; miehittämätön ilma-alus, jota ohjataan kauko-ohjauspaikasta ja käytetään lentotyöhön. Automaattisesti lentävä drooni ei ole RPA.

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.

U-SPACE: tavaramerkki eurooppalaiselle miehittämättömälle liikenteenhallinnalle. Sen puitteissa määritellään, miten ja missä dronet voivat Euroopassa toimia, ja kuinka U-space konseptina voi auttaa dronejen käyttäjiä ja teollisuutta luomaan ilmailusta uutta liiketoimintaa. Se on myös joukko uusia palveluja ja menettelytapoja, jotka on suunniteltu tukemaan suurta määrää droneja sekä tarjoamaan niille turvallisen, tehokkaan ja varman pääsyn ilmatilaan.

Drone: ilmaisu, jolla tarkoitetaan kaikkia miehittämättömiä laitteita maalla, merellä ja ilmassa.

Lennokki: lentämään tarkoitettu laite, jonka mukana ei ole ohjaajaa ja jota käytetään harraste- tai urheilutarkoitukseen (Traficom).

Lennokki-sanaa käytetään myös julkisuudessa tarkoittamaan kiinteäsiipistä droonia. Lennokki-sanan käyttöä tulee välttää sekaantumisriskin takia.

(lähde: (Drone info 2018))

Modernien miehittämättömien lentolaitteiden historia on lähes yhtä pitkä kuin moottorilentämisen historia. Lentävistä torpedoista on 100 vuoden aikana edetty aseistettuihin tiedustelulennokkeihin ja Global Hawkeihin. Tulevaisuudessa näemme ehkä kokonaisia lentävien robottien parvia. Sivutuotteena ovat syntyneet siviilikäyttöisten droonien markkinat ja jokamiehen multikopterit (lähde: (Siivet 2019))

Siviilikäytössä droonit yleistyivät räjähdysmäisesti 2010-luvun alussa, kun kiinalainen DJI toi markkinoille erityisesti kuvauskäyttöön suunniteltuja drooneja, jotka ovat käyttäjäystävällisiä ja helppoja lentättää. Tälläkin hetkellä drooneja käytetään ylivoimaisesti eniten kuvauskäytössä niin ammattilaisten kuin harrastelijoiden toimesta. Vaikka kuvaus droonilla on toistaiseksi ylivoimainen ykkönen, maailmalla on kehitetty drooneille lukuisia muita käyttötapauksia, joita käydään tarkemmin läpi kappaleessa 1.2 Drooni-tyypit ja käyttökohteet nyt ja tulevaisuudessa. Uusia käyttötapauksia syntyy sitä mukaan, kun droonien teknologia kehittyy. Nykyisin drooneja käytetään ammattikäytössä kuvausten lisäksi metsien ja peltoalojen kaukokartoitukseen sekä mm. rakennustyömaiden kuvauksiin. Suomessa ammattimaisia droonitoimijoita on 15.1.2019 tilaston mukaan 2416 ja rekisteröityjä miehittämättömiä ilma-aluksia 3073. (lähde: (Drone Info 2019)) Suomen poliisi on Suomen suurin droonioperaattori. Poliisilla on käytössä yli 120 droonia ja drooniohjaajan kurssin on käynyt satoja poliiseja.

Droonien markkinoiden arviot vaihtelevat suuresti. Tämä kertoo markkinoiden olevan vasta kehityksen alkuvaiheessa. Eräät ennusteet arvioivat markkinoiden ylittävän 43 miljardia USD vuoteen 2024 CAGR:n ollessa 20,5% (Lähde: (Drone Industry Insight 2019)) Toiset arvioivat markkinan koon ylittävän 17,04 miljardia vuoteen 2026 mennessä CAGR:n ollessa 20%. (Lähde: (Stock News Magazine 2019)). Yhden arvioidun perusteella markkinan arvioitiin ylittävän 179 miljardia Yhdysvaltain dollaria vuoteen 2025 mennessä. Yhdistetty vuotuinen kasvuvauhti (CAGR) arvioidaan olevan 83,3% vuosina 2018–2025. (Lähde: [_ \(Reuters 2018\)](#)).

Vaikka markkinoiden arviot vaihtelevat suuresti, droonimarkkinat tulevat kasvamaan nopeasti vuosi vuodelta.

2.1 Droonityypit ja käyttökohteet nyt ja tulevaisuudessa

Nykyisin ylivoimaisesti isoin droonien käyttökohde on kuvaukset ilmasta, mutta yhä enemmän drooneja käytetään mm. metsien ja peltojen kaukokartoituksissa. PWC:n 2016 tekemässä markkinatutkimuksessa (PWC 2016) arvioitiin osoitettavissa olevan markkina-arvo oleva yli 127 miljardia dollaria. Tämä on nykyisten yrityspalvelujen ja työvoiman arvo, jonka drooniratkaisut todennäköisesti korvaa lähitulevaisuudessa. Suurin markkinapotentiaali on infran rakentamisessa, jonka arvo tutkimuksessa arvioitiin olevan 45,2 miljardia dollaria. Alla olevasta taulukosta on listattu eri teollisuuden alueet, joita tutkimuksessa käytettiin. Huomioitavaa, että tässä tutkimuksessa kuljetuksessa ei olla huomioitu ihmisten kuljettamista drooneilla.

TEOLLISUUDEN ALA	ARVO (Miljardia Dollaria)
<i>Infrastruktuurin rakentaminen</i>	45.2
<i>Maanviljelys</i>	32.4
<i>Kuljetus ja logistiikka</i>	13
<i>Turvallisuus</i>	10
<i>Media ja viihde</i>	8.8
<i>Vakuutusala</i>	6.8
<i>Telecom</i>	6.3
<i>kaivostoiminta</i>	4.4
Yhteensä	127.3

Taulukko 1: PWC:n tutkimuksen mukaan kaupallinen arvo eri teollisuuden aloilla

Metsistä tyypillisesti analysoidaan metsätyyppejä ja tehdään yksipuoin analyseja. Pelloista kerätään kasvukautena kasvien terveyteen, lannoitukseen ja kasteluun liittyvää tietoa täsmäviljelyn tueksi. Drooneja käytetään myös rakennusten, rakennustyömaiden ja olemassa olevan infrastruktuurin kartoitukseen, pinta-ala- ja tilavuuslaskentoihin, sekä BIM-järjestelmien datan keräämiseen. Rakennustyömailla droonien käyttö arvellaan lisääntyvän tulevina vuosina voimakkaasti, etenkin arvioimaan rakennustyömaan etenemistä ja optimoimaan maankäyttöä rakennusvaiheen aikana.

Uraanisessa ympäristössä droonien käyttö tulee voimakkaasti lisääntymään lähivuosien aikana. Tätä nykyä eniten drooneja käytetään kaupungeissa kuntotarkastuksiin ja poliisin toimesta valvontaan. Helsingissä Googlen tytäryhtiö Wing kokeilee parhaillaan droonilogistiikkaa. Lisäksi monet yritykset ovat kiinnostuneita tarjoamaan kuluttajille tällaista uutta palvelua. Lähitulevaisuudessa drooneja tullaan käyttämään kaupunkisuunnittelun apuna sekä keräämään tietoa esimerkiksi ruuhkista. Hieman kauempana tulevaisuudessa on Urban Air Mobility ja erityisesti ilmataksit, jotka tulevat kaupunkikuvaan ensiksi mega-kaupungeissa ja myöhemmin myös suomalaisissa kaupungeissa.

Euroopan tasolla suuresti vaihtelevat kansalliset lainsäädännöt ovat hidastaneet uusien palveluiden syntyä urbaanisessa ympäristössä. 2020 uusi EASA-lainsäädäntö harmonisoi EU-maissa drooneihin liittyviä säädöksiä, mikä mahdollistaa uusien kansainvälisten droonipalveluiden synnyn ja rantautumisen myös Suomeen.

2.1.1 Urban Air Mobility

Urban Air Mobility, eli urbaani ilmaliikenne, on vuoden 2019 aikana noussut trendiksi. Kaikilla isoilla liikennealan yrityksillä, kuten Airbus, Toyota, Uber, Honeywell, on omat strategiansa urbaanille ilmaliikenteelle. Esimerkkinä Uber suunnittelee alkavansa kaupalliset droonitaksipalvelut Dallas-Fort Worth:ssa ja Los Angelesissa vuoteen 2023 mennessä. Lähteen mukaan Uber on myös etsimässä kolmatta kaupunkia Australiasta, Brasiliasta, Ranskasta, Intiasta tai Japanista aloittamaan kaupallisen toiminnan. (Uber Elevate 2018)

Euroopan komissio on myös ahkerasti edistänyt UAM:ää Euroopassa. European Innovation Partnershipin (EIP) Smart Cities and Communities (SCC) ohjelmassa on kuusi toimintaklusteria (action cluster), joista yksi on kestävä urbaani liikenne (Sustainable Urban Mobility). Yhtenä aloitteena tässä klusterissa on Urban air Mobility. (lähde: (EIP Sustainable Urban Mobility 2018)ja (EIP UAM 2018)). EU:n kiinnostusta urbaaniin ilmaliikenteeseen kuvastaa myös se, että Euroopan ilmailun turvallisuusvirasto EASA (European Aviation Safety Agency) sisällytti urbaanin ilmaliikenteen osaksi vuoden 2018 julkilausumaa, joka allekirjoitettiin marraskuussa 2018 Amsterdamissa.

Urban Air Mobility uutisoidaan yleensä droonitaksien yhteydessä, mutta sen käsite on paljon laajempi. Ihmisten liikuttaminen ilmaitse voi helpottaa suurkaupunkien ruuhkia ja sähkökäyttöiset ilmataksit voivat vähentää CO₂-päästöjä, mutta Urban Air Mobility käsittää olennaisesti myös muita droonikäyttötapauksia kuten droonien hyödyntämisen tavaralogistiikassa ja ensivasteessa. Urban Air Mobility on paljon muuta kuin varsinaisia droneja. Se käsittää myös mm. kansalaisten hyväksymisen ja uusien droonipalveluiden omaksumisen, laskeutumisalustat, droonien liikenteenohjausjärjestelmät, latausverkostot, täsmäsään, radioverkot, jne. Lyhyesti sanottuna Urban Air Mobility on kokonaisuus, joka mahdollistaa droonien skaalautuvan liiketoiminnan kaupungeissa.

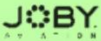
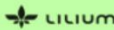

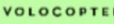




Uusia palveluita Urban Air Moblityn ympärille syntyy sitä mukaan kuin teknologia kehittyy, siksi on hyvin vaikeaa arvioida mitä Urban Air Mobility tulevaisuudessa on. Tästä syystä Urban Air Mobility tulisi osittain käsittää kyvykkyydeksi integroida droonipalvelut osaksi älykaupunkeja ja älykästä liikennettä.

2.1.1.1 Droonitaksit

Droonitaksit on ylivoimaisesti suosituin aihe Urban Air Mobilitystä puhuttaessa. Ne tulevat olemaan mielenkiintoinen ratkaisu suurkaupunkien ruuhkien lievittämisessä ja CO₂-päästöjen hillitsemisessä. Droonitakseja kehittää usea yritys aina pienistä startupeista isoihin multikansallisiin yrityksiin kuten Airbus. Useat startupit ovat myös keränneet miljoonia dollareita investoijilta.



Leading eVTOL / air taxi startups based on Venture Capital received

Ranking	Name	Country	City	Total Funding Received
1	 Joby Aviation	United States	Santa Cruz	\$115.50M
2	 Lilium Aviation	Germany	Gilching	\$101.40M
3	 Ehang	China	Guangzou	\$52.05M
4	 Volocopter	Germany	Bruchsal	\$36.84M
5	 Terrafugia	United States	Woburn	\$6.80M
6	 Kitty Hawk	United States	Mountain View	\$6.50M
7	 Aeromobil	Slovakia	Bratislava	\$3.51M
8	 Hoversurf	United States	San Francisco	\$2.40M

Source: Lufthansa Innovation Hub, Pitchbook, Crunchbase

Taulukko 2: Droonitakseja kehittävät start-up yritykset ja niiden rahoitus

Hype droonitaksien ympärillä on suurta ja monet Euroopan kaupungit ovat kiinnostuneet droonitakseista. Esimerkiksi Ranska suunnittelee käynnistävänsä laajan droonitaksiverkoston vuoden 2024 kesäolympialaisiin. Myös Uber suunnittelee käynnistävänsä kaupalliset droonitaksilennot vuoteen 2023 mennessä.

Droonitaksien lainsäädännöstä kerrotaan tarkemmin kappaleessa 2 Lainsäädäntöä Suomessa ja Euroopassa, mutta tässä yhteydessä mainittakoon, että droonitaksit tulevat kuulumaan EU:n droonilainsäädännössä vaativimpaan kategoriaan, ns. certified-luokkaan. Certified-luokassa droonit tarvitsevat saman tyyppisen tyyppi hyväksynnän kuin mitä nykyisin miehitetyssä ilmailussa vaaditaan. Droonisertifiointin lisäksi Certified-luokassa piloteilla tulee olla soveltuva lentolupakirja ja operaattoriyrityksen toiminta tulee olla ulkopuolisen auditointitoimijan toimesta hyväksytty.

2.1.2 Droonilogistiikka

Drooneilla tapahtuvat pakettikuljetukset voidaan jakaa useampaan erilaiseen palvelutyyppiin. Nykyään eniten palveluita tarjoavia yrityksiä on ns. "Last Mile" -sovelluksissa, joissa tyyppisesti paketti lasketaan kuluttajan pihamaalle ohutta köyttä pitkin, esimerkkeinä Wing ja Flytrex. Muutamat yritykset kehittävät ja testaavat käytännössä kahden laskeutumispisteen välistä droonilogistiikkaa. Esimerkkinä Matternet, joka on tehnyt tuhansia lentoja kahden sairaalan välillä Sveitsissä toimittaen näytteitä ja lääkkeitä kahden ennalta määritellyn laskeutumispisteen välillä. Muutama yritys kehittää myös Last Mile -ratkaisua, jossa lähellä olevasta pakettiautosta jaetaan paketit droonilla pihoihin. Tätä on jo kokeillut mm. UPS. Droonit voivat nopeuttaa pakettien jakelua merkittävästi, sillä paketti voidaan toimittaa tarveperusteisesti suoraan asiakkaalle tai asiakkaan lähimpään noutopisteeseen, sen sijaan että jakeluauto toimittaa paketit ajamalla ennalta määrätyn jakelureitin ja toimittaa paketin vasta kun on asiakkaan vuoro jakelureitillä. Droonit voivat myös alentaa toimituskustannuksia tulevaisuudessa: Amazon pyrkii alentamaan toimituskulut asiakkaalle alle yhteen Yhdysvaltain dollariin.

Vaikka pääsääntöisesti palvelut keskittyvät ”Last Mile” -palveluihin, on näköpiirissä pitkän kantaman droonilogistiikka palvelut kaupunkien välillä tai jakelupisteestä kauemmaksi haja-asutusalueille. Tällainen droonilogistiikka voisi tuoda Suomen haja-asutusseudulle mielenkiintoisia ratkaisuja palvelutason lisäämiseksi. Vaikka nykyisissä ”Last Mile”-palveluissa pakettien koko rajoittuu lähes kaikilla palveluntuottajilla alle 2 kg:n paketteihin, on näköpiirissä, että myös pakettien koot tulevat kasvamaan. Pitkän kantaman droonilogistiikkapalveluissa ensimmäinen askel on n. 5kg paketit, mutta tulevaisuudessa pakettien koot saattavat olla huomattavasti isompia, yli 100kg.



Kuva 1. Erilaiset droonilogistiikan palvelutyypit

2.1.2.1 Droonien rooli kaupungin hiilijalanjäljessä

Vähäpäästöisyys ja hiilineutraalisuus on kaikkien kaupunkien tavoitteissa lähitulevaisuudessa. Drooneilla voi olla iso merkitys hiilijalanjäljen pienentämisessä. Esimerkiksi droonilogistiikassa Naturessa julkaistussa tutkimuksessa, 2kg:n pakettia kuljettava sähkökäyttöinen drooni oli hiilineutraalisempi kuin sähkökäyttöinen pakettiauto (Lähde: (Joshuah K. Stolaroff 2018)). Suomessa voitaisiin säästää n. 70 tonnia hiilidioksidia vuodessa, jos yksi promille paketeista toimitettaisiin drooneilla. Tämä tarkoittaisi noin 3000 pakettitoimitusta päivässä. Drooneilla voidaan pienentää logistiikan liikennesuoritteita, kun esimerkiksi drooneilla voidaan lentää suoraan järven yli, sen sijaan että autolla kierrettäisiin järvi. Vastaavasti droonilla voitaisiin toimittaa paketit myös paikoissa, joissa jonkin muun liikenne esteen takia autolla jouduttaisiin kiertämään. Esimerkkinä Kehä III, jossa autolla kulkeminen Kehä III:n pohjoispuolelta eteläpuolelle vaatii enemmän ajamista kuin jos paketti toimitettaisiin suorinta tietä droonilla.

Droonilogistiikka on hyvin selkeä tapaus vähentää hiilidioksidipäästöjä, mutta droonit voivat myös vähentää vartiointiliikkeiden autoilua ja samalla kuitenkin vielä parantaa vartiointiliikkeiden palvelua. Vartiointiliikkeet voisivat käyttää droonia varmistamaan alueelta tulleen hälytyksen ja näin poistaa turhia ajoja hälytyksen sattuessa.

Droonien merkitys liikennesuoritteissa voi olla vielä tätäkin huomattavampi, jos drooneilla saadaan vähennettyä autoilun tarvetta ja näin myös autoilun joutokäyntiä esimerkiksi liikennenuuhkissa.

2.1.2.2 Kevyet pakettitoimitukset

Kevyillä pakettitoimituksilla tarkoitetaan tässä oppaassa 5 kg ja sen alle painoisia paketteja. Pakettien koko voi vaihdella ja maksimi pakettikoko määräytyy droonien fyysisistä mitoista. Matkahuollon laskemien mukaan alle 2 kg:n paketeissa 15cm x 20cm x 25cm kokoluokka käsittää n. 80% kaikista alle 2 kg:n verkkokauppapaketeista, joten kokoraja ei olekaan niin merkittävä.

Kevyissä pakettitoimituksissa yleisin tapa toimittaa droonilla on laskea paketti vinssillä köyden varassa alas. Mm. Googlen tytäryhtiö Wing ja Flytrex toimittavat alle 2 kg paketit vinssillä. Matternet taas on erikoistunut kahden laskeutumispaikan väliseen toimitukseen niin ikään alle 2kg paketeille. Nykyisissä palveluissa toimintasäde drooneilla on muutama kymmenen kilometri. Kuitenkin maailmalla kehitetään uusia palveluita 2–5 kg:n paketeille, joissa käytetään drooneja, joiden

toimintasäde on yli 100km. Nämä soveltuvat hyvin kaupunkien väliseen pakettikuljetukseen ja palvelemaan haja-asutusseutuja.

Kevyet alle 2 kg paketit tulevat yleistymään ensimmäisenä kaupunkiympäristössä. Teknisesti alle 2kg pakettien kuljettaminen on nykypäivän teknologialla helppoa ja toiminta varmaa. Lisäksi lainsäädännön ja riskien näkökulmasta alle 2 kg:n pakettien toimittaminen kaupungissa on huomattavasti helpompaa kuin isompien pakettien toimittaminen. 2 kg:n pakettien toimitukseen tarvitaan droni, jonka kokonaismassa on n. 7 kg, kun taas 5 kg:n paketin toimittamiseen vaaditaan jo huomattavasti raskaampi droni. Droonien kokonaismassa vaikuttaa suuresti maahan kohdistuviin riskiarvioihin; mitä raskaampi droni, sen isompi todennäköisyys vakaviin onnettomuuksiin tapauksissa, joissa droni teknisen ongelman takia laskeutuu hallitsettomasti. Tästä syystä nykyisten kansallisten lakien puitteissa raskaan logistiikan droonit kaupunkiympäristössä eivät toistaiseksi ole mahdollisia.

2.1.2.3 Raskaat logistiikkatoimitukset

Raskaiden pakettien tai usean paketin kuljetus yhdellä lennolla on lähitulevaisuudessa palveluiden näkökulmasta mielenkiintoinen. Tulevaisuuden teknologiakehitys määrittää, tuleeko tällaisten droonien hankinta- ja käyttökustannukset mahdollistamaan liiketoimintaa raskaissa logistisissa tehtävissä. Jo nyt kehitetään raskaaseen logistiikkaan drooneja, joiden kantokyky on useita satoja kiloja, mutta toistaiseksi niitä ei ole kokeiltu kaupunkiympäristössä. Ilmataksivalmistajat näkevätkin rahtikuljetukset toisena tukijalkana teknologialleen ihmisten kuljettamisen rinnalla. Raskaiden ilma-alusten kuljettaminen kaupunkiolosuhteissa tulee jatkossakin edellyttämään samankaltaisen tyyppihyväksynnän kuin helikoptereille, ja markkinoille tulo on sen takia vuosien prosessi.

Niin kuin edellisessä kappaleessa jo mainittiin, nykyiset lainsäädännöt luovat toimintaan isoja rajoitteita erityisesti urbaanissa ympäristössä. Uusi EU:n harmonisoitu lainsäädäntö jakaa droonit kolmeen kategoriaan; Open, Specific ja Certified. Suurin osa harrastajadrooneista putoavat Open luokkaan, kun taas kaikki yli metrin kärkivälin ja yli noin kilogramman painavat droonit, joilla aiotaan lentää ihmisjoukkojen päällä edellyttävät tyyppihyväksyntää Certified-luokassa. Specific-luokka sisältää laajan kirjon operaatioita, joiden vaatimukset vaihtelevat hyvin paljon. Tyyppillisesti raskaat logistiikkadroonit kuuluvat joko Specific tai Certified-luokkaan. Lentäminen kaupungeissa raskaammilla drooneilla tulee edellyttämään tiettyjen osajärjestelmien, kuten turvavarusteiden sertifiointia, sekä operaattorilta merkittävää testaus- ja todistustaakkaa. Lisäksi operaattorilta vaaditaan muodollista koulutusta ja sisäisiä turvallisuus- ja laatuprosesseja. Näiden lisäksi raskaiden droonien lentoreitit täytyy suunnitella siten, etteivät ne aiheuta vaaraa ihmisille. Tätä aihetta on avattu tarkemmin kappaleessa 5. Droonien käytävuunnittelut. Vaadittavista testeistä ja todistustaakasta johtuen kestää vielä useampi vuosi ennen kuin raskaan logistiikan droonit näkyvät kaupunkikuvassa. On mahdollista, että ensimmäiset raskaat logistiikkadroonit ovat nimenomaan tyyppihyväksytyjä ilmatakseja rahtikäytössä.

Raskaan logistiikan droonit vaativat laskeutumisalustoilta enemmän kuin kevyet pakettidroonit. On arvioitu, että raskaat logistiikkadroonit operoisivat samoilta laskeutumisalustoista kuin ihmisiä kuljettavat droonit. Raskaat logistiikkadroonit vaativat hyvin samantapaista tekniikkaa myös latausverkostolta ja akkujen hallinnalta mitä niin kutsutut droonitaksit vaativat. Lataus verkostoista lisää kappaleessa 4.4. Latausverkostot.

2.1.3 Turvallisuuspalvelut

Poliisi on Suomen isoin droonioperaattori, ja sen käytössä on yli 120 droonia. Poliisi käyttää drooneja valvontatehtäviin, kadonneiden etsimiseen ja onnettomuuspaikkojen tutkimiseen. Maailmalla

kehitetään useita sovelluksia erityisesti turvallisuuspalveluiden käyttöön valvomaan tehdasalueita, laajoja parkkipaikkoja ja -alueita, sekä valvomaan kaupungeissa kansalaisten turvallisuutta.

Valvontadrooneissa käytetään useasti monta eri kameraa RGB-kamerasta lämpökameraan. Tyypillisesti valvontadroonijärjestelmät on myös varustettu kuvantunnistuksella, jolla voidaan automaattisesti tunnistaa mm. autojen rekisterikilvet ja jopa ihmisiä. Valvontadroonien yhteydessä käytetään myös ilmanlaatua mittaavia sensoreita. Ilmanlaatusensoreiden lisäksi valvontadroonit kannattaisi varustaa myös lämpötilaa mittaavilla sensoreilla, koska lämpötilan pystyrakenteen perusteella voitaisiin arvioida myös kaupungin ilmanlaadun kehitystä eli ns. pöly- tai saaste-episodien esiintymistä. Tämä tieto mahdollistaisi tarkempien päästörajoitusten asettamisen. Lämpötilan pystyrakenteella alailmakehässä (ilman tiheyden pystyjakauma) on myös suuri vaikutus melun leviämiseen, joten se olisi hyödyllinen tieto myös droonien itsensä aiheuttaman melun etenemisen arvioimiseen.

Viime aikoina markkinoille on tullut useita valvontadroonivalmistajia, joiden laitteet kykenevät toimimaan tietyllä niille määritellyllä alueella itsenäisesti. Näissä järjestelmissä droni sijaitsee sille suunnitellussa laskeutumisalustassa, jossa droonin akut automaattisesti vaihdetaan täyteen ladattuihin akkuihin ja/tai tyhjät akut ladataan automaattisesti. Myös kamerat/sensorit voidaan vaihtaa robotisoidusti. Näiden kokonaisjärjestelmien käyttö turvallisuuspalveluissa tulee yleistymään etenkin tehdasalueilla, mutta myöhemmin myös kaupungeissa. Kaupunkien valvonnassa yksi tällainen droni tulee valvomaan pienempää aluetta tai kaupunginosaa. Kaupunkitilan valvonnassa ei yhdellä droonilla voida kattaa kovin suuria alueita, sillä mitä isompi valvottava alue on sitä isompaa ja painavampaa droonia jouduttaisiin käyttämään. Se taas lisäisi maahan kohdistuvaa riskiä ja rajoittaisi valvontadroonin pääsyä valvottaville alueille. Lisäksi valvontadroonin pitäisi päästä nopeasti tilannepaikalle, joten palvelun luotettavuuden kannalta suuria alueita ei voida tästä syystä kattaa.

2.1.4 Infrastrukturi, rakentaminen ja maa-alueet

Drooneja käytetään yhä enemmän rakennustyöissä kartoittamaan rakennustyömaata suunnittelun ja työnjohdon tueksi. Markkinatutkimuksissa tämä sovellusalue on arvioitu isoimmaksi käyttökohteeksi vuoteen 2025 mennessä. Tyypillisesti jo arkkitehtuurivaiheessa droonilla kerätään dataa muodostamaan orthokuva ja 3D-kartta alueesta mihin uutta rakennusta suunnitellaan. Tämä auttaa arkkitehtejä ja asiakkaita ymmärtämään miltä uusi rakennus näyttää ympäristössään. Rakennuksen suunnitteluvaiheessa drooneja käytetään keräämään alueesta mm. pinnan korkeustietoja kameralla tai LIDAR-sensorilla (Laser Imaging, Detection and Ranging). Dronilla voidaan suhteellisen huokeilla kustannuksilla luoda digitaalinen kaksonen infrastruktuurista, rakennelmista ja maa-alueista suunnittelun tueksi. Itse rakennusvaiheessa drooneilla kerättyä dataa käytetään työn suunnittelun, rakennustyömaan optimoinnin ja rakennusvaiheen aikana rakennesuunnittelun tueksi.

Työnsuunnittelussa ja rakennustyömaan optimoinnissa drooneilla kerätään photometrisella kameralla dataa, joka voidaan analysoida mm. 3D-pistepilveksi/-malliksi. Tällä tiedolla voidaan määrittää esimerkiksi isojen rekkojen esteetön kulku purkupaikoille tai maansiirron tarve ja siirrettävä maa-aineksen määrä. Lisäksi droonilla kerätään tietoa rakennusprojektin etenemistä ja analysoidaan rakennettujen rakenteiden sijainteja suhteessa suunnitelmiin. Dronit pystyvät keräämään tällaista tietoa sekä nopeammin että tarkemmin kuin perinteiset maanmittausmenetelmät.

2.1.5 Muut käyttötapaukset

Usea mobiiliverkkoja tarjoava yritys on kokeillut droonien käyttöä tilapäisenä mobiilitukiasemana maailmalla. Käyttämällä droonia väliaikaisena mobiilitukiasemana voidaan lisätä mobiiliverkon

kaistaa esimerkiksi isoissa tapahtumissa, joissa kiinteän mobiiliverkon kapasiteetti ei enää riitä. Toinen käyttötapaus on luoda väliaikainen mobiiliverkko droonilla esimerkiksi katastrofialueelle tai laajalle metsäpaloalueelle. Tällaisilla alueilla voidaan drooneilla luoda nopeasti mobiiliverkko pelastushenkilöstön käyttöön, mutta myös tarjota puhelin yhteyttä uhreille, jotta nämä voisivat ottaa yhteyttä pelastushenkilöstöön. Myös esimerkiksi Facebook on kokeillut droonin käyttöä mobiiliverkkotukiasemana tavoitteenaan luoda paremmat verkkoyhteydet haja-asutus seuduille.

2.2 Droonien tulevaisuus

Drooniteknologia on kehittynyt valtavasti harppauksin viime vuosien aikana. Uusia käyttötapauksia syntyy sitä mukaan, kun drooniteknologia kehittyy. Vuosi sitten arvioitiin, että droonilogistiikka tulee kaupalliseksi 5–10 vuoden kuluttua, ja nyt Googlen tytäryhtiö Wing aloittaa kaupalliset testit Helsingissä toukokuussa 2019. Ylipäätään droonilogistiikka on lyhyessä ajassa herättänyt paljon kiinnostusta logistiikka- ja kaupan alan yrityksissä.

Droonien tulevaisuuden määrittää erityisesti se, miten yritykset ja yhteiskunta ottavat tämän uuden teknologian vastaan ja oppivat hyödyntämään droonipalveluita. Uusi, jäsenmaita velvoittava EU-tason droonilainsäädäntö astuu näillä näkymin vaiheittain voimaan kaikissa jäsenvaltioissa heinäkuusta 2020 alkaen. Tämä tulee harmonisoimaan sisämarkkinoita niin, että yhdessä EU-maassa kehitettyjä palvelumalleja voidaan tarjota entistä helpommin muissakin EU-maissa. Tämä kiihdyttää uusien droonipalveluiden syntyä Euroopassa.

Teknologian näkökulmasta droonit ovat juuri saapumassa hypetyksestä lupauksen lunastusvaiheeseen. Vaikka jotkin droonien käyttötapaukset eivät ota kaupallisesti tuulta alleen, tullaan drooneja ylipäätään näkemään yhteiskunnassa räjähdysmäisesti enemmän.

Droonien ohjaus vaatii kehityksen alussa pilotilta hyvää näppituntumaa. Autopilottien myötä, droonit lentävät automaattisesti ennalta määritellyjä tehtäviä kuten kuvauslentoja. Yksi ehkä tärkeimmistä tulevaisuuden kuvista on droonien kyvykyys toimia ilmatilassa erittäin korkealla automaatiotasolla. Korkean automaatiotason drooni pitää olla kytkettynä osittain tai kokonaan automaattiseen ohjausjärjestelmään, joka välittää droonille lennon aikana tarvittavat tiedot muusta ilmailiikenteestä, säästä ja muista lentoon vaikuttavista asioista. Osittain droonit voivat itse hankkia tarvittavan tilannekuvan esimerkiksi estesensoreilla, mutta tämä teknologia on vasta kehityskaarensa alussa. Euroopassa kehitetään askelmerkit ja regulaatiota ns. U-space-järjestelmästä, jonka tarkoitus on tarjota drooneille ja muulle ilmailiikenteelle juuri tarvittavia liikenteenohjauspalveluita. Kaupungit tulevat olemaan tälle suurin käyttöalue.

Keinoälyn hyödyntäminen lisääntyy sekä droonien ohjaamisessa että droonilla kerätyn datan analysoinnissa. Usean droonin samanaikainen ohjaus ja valvonta tulee vaatimaan entistä älykkäämpiä järjestelmiä, joissa koneoppimisella ja keinoälyllä on keskeinen rooli. Sen lisäksi droonit jo nyt tuottaa suuren määrän dataa esimerkiksi kaukokartoituksessa, jonka analysointiin keinoäly soveltuu erinomaisesti.

Drooniteknologiaan satsataan myös ilmailualan isoimpien yritysten toimesta. Pääasiassa isot ilmailualan yritykset, kuten Boeing, Airbus ja Lockheed Martin kehittävät omia droonejaan myös kaupalliseen käyttöön, vaikkakin kaikilla näillä on vahva droonikehityksen painopiste armeijan drooneissa. Asevoimien rooli droonien kehitykselle on kautta aikojen ollut erittäin merkittävä, ja drooniteknologia kaupallisessa ja kuluttajakäytössä onkin peräisin asevoimille kehitetyistä drooneista. Sama trendi tulee jatkumaan, sillä asevoimille kehitetään uusia drooniteknologioita ja ne ajan saatossa siirtyvät kaupalliseen käyttöön. Isojen ilmailualan yritysten nykypäivänä tekemä kehitystyö asevoimille antaa hyvän kuvan droonien tulevaisuudesta siviili-ilmailussa. Asevoimille

kehitettyjen droonien kirjo on valtava, mutta ehkä kaksi suuntaa ovat mielenkiintoisia tulevaisuuden näkökulmasta. Asevoimille kehitetään yhtäällä äärimmäisen pieniä, kooltaan muutaman millimetrin kokoisia drooneja, ja toisaalla samaan aikaan entistä isompia miehittämättömiä ilma-aluksia. Esimerkkinä Boeing MQ-25, joka on ensimmäinen miehittämätön tankkeri, jolla voidaan tankata asevoimien hävittäjiä ilman miehistöä. Luonnollinen jatkumo miehittämättömässä ilmailussa on entistä isompien koneiden toiminta ilman miehitystä. On hyvin todennäköistä, että pitkällä aikavälillä nykyiset miehityt lennot muuttuvat vuosikymmenien saatossa miehittämättömäksi. Jo nyt isojen rahti- ja matkustajakoneiden automaatiotaso on korkea. Aikoinaan pitkän matkan lentokone vaati kolmen tai neljän lentäjän miehistön, kun nykyisin päivitetty versio samasta koneesta vaatii vain kahden ihmisen miehistön. Sääntelyviranomaiset ovat jo ryhtyneet toimiin ihmisen roolin vähentämiseksi ohjaamossa. USA:n liittovaltion lentoturvallisuusviraston (FAA) tarkoituksena on rahoittaa tutkimusta rahtilentokoneiden yhden ohjaajan operaatioista, jota ilmaliikenteen lentäjien yhdistys vastustaa. Myös kaupallisesta näkökulmasta tarve miehittämättömyydelle on suuri. UBS Group AG kirjoitti heinäkuussa 2018, että heidän arvionsa mukaan voittopotentiali olisi 15 miljardia USD, jos pitkän matkan lentokonetta ohjaisi vain yksi pilotti, ja 35 miljardia USD, jos lentokoneet lentäisivät automaattisesti. (Bloomberg 2018)

3 Lainsäädäntö Suomessa ja Euroopassa

Miehittämättömät ilma-alukset eli droonit edustavat nopeasti kehittyvää ilmailun alaa, jolla on suuret mahdollisuudet luoda uusia työpaikkoja ja talouskasvua Euroopan unionissa. Siksi Euroopan parlamentti hyväksyi asetuksen, jolla kauko-ohjattavat droonit integroidaan turvallisesti Euroopan ilmatilaan.

Asetuksessa vahvistetaan yhteiset siviili-ilmailun turvallisuuksäännöt ja 11.9.2018 annettiin uusi toimivalta Euroopan lentoturvallisuusvirastolle (EASA) säädellä ilma-aluksia myös alle 150kg painoluokassa, mukaan lukien droonit. Uusi EASA-asetus korvaa vuodelta 2008 olevan lainsäädäntökehiksen.

Euroopan unionin neuvosto hyväksyi 26. kesäkuuta 2018 uudet oikeasuhteiset ja riskiperusteiset säännöt, jotta EU:n ilmailuala voisi kasvaa ja tulla kilpailukykyisemmäksi.

Uusissa säännöissä vahvistetaan muun muassa rekisteröintikynnys droonien käyttäjille: käyttäjien on rekisteröidyttävä, jos he käyttävät drooneja, jotka voivat siirtää yli 80 joulea kineettistä energiaa törmätessään ihmiseen.

Vaikka jotkin droonit ovat yhtä painavia ja nopeita kuin lentokoneet, toiset voivat olla muodoltaan myös pieniä sähköisiä "leluja", jotka ovat laajalti kuluttajien saatavilla.

Nämä pienemmät droonit aiheuttivat vuoden 2008 jälkeen sääntelyongelmia EU:lle, jonka toimivalta oli rajattu yli 150 kg painaviin miehittämättömiin ilma-aluksiin.

Kevyempiä drooneja koskivat vain erilaiset ja hajanaiset kansalliset turvallisuuksäännöt EU:ssa. Lisäksi keskeisiä suojatoimia ei sovellettu yhdenmukaisella tavalla.

Lisäksi ilmailusäännöt oli uudistettava, koska EU:n lentoliikenteen on arvioitu kasvavan 50% yhteensä seuraavien 20 vuoden aikana (CAGR ~2%).

Euroopan komissio ennustaa, että vuoteen 2035 mennessä Euroopan drooniala

- työllistää suoraan yli 100 000 ihmistä
- alalla on taloudellinen vaikutus, joka on yli 10 mrd. € vuodessa, pääasiassa palveluissa

Kun dronien käyttö leviää, niiden etujen ja haasteiden tasapainottamisen tarve myös lisääntyy. Miehittämättömällä ilma-aluksilla voi esimerkiksi olla lisäarvoa, kun niitä käytetään tietojen keruuseen ja tulkintaan eri talouden aloilla. Mutta drooneista voi aiheutua myös velvollisuuksia tietosuojan, yksityisyyden suojan, melun ja hiilidioksidipäästöjen suhteen.

Uusilla säännöillä vahvistetaan peruseriaatteet turvatoimien ja turvallisuuden sekä yksityisyyden ja henkilötietojen suojan varmistamiseksi. Niiden tavoitteena on myös vähentää byrokratiaa ja kannustaa innovointiin. Komissio tarkentaa sääntöjä EASAn avulla asetuksessa esitettyjen periaatteiden pohjalta.

Asetus poistaa eräitä sääntöjä, jotka voisivat tukahduttaa yrittäjyyttä. Tämän odotetaan tuovan oikeusvarmuutta teollisuudenalalle, johon kuuluu suuri määrä pieniä ja keskisuuria yrityksiä sekä startup-yrityksiä. Asetuksen avulla otetaan myös käyttöön riskeihin ja suorituskykyyn perustuva turvallisuussääntely. Näin tunnustetaan erilaiset riskit, joita on siviili-ilmailun eri aloilla. Esimerkiksi helikoptereihin ja kevyisiin urheiluilma-aluksiin sovelletaan yksinkertaisempia ja edullisempia hyväksyntämenettelyjä kuin kaupalliseen lentotoimintaan.

(Lähde: (Eurooppa-neuvosto 2018))

Droonioperaatioiden näkökulmasta tärkein kategoria johon operaatiot jakautuvat ovat VLOS-, eVLOS- ja BVLOS-toiminta. VLOS, eli Visual Line Of Sight -lennoissa pilotti näkee koko ajan dronin ja mahdollinen tähystäjä voi varoittaa mahdollisista muista ilmatilankäyttäjistä pilotille. eVLOS, eli Extended Visual Line Of Sight, on hyvin samantapainen operaatio kuin VLOS, mutta tässä dronin kantamaa pilottiin on lisätty sijoittamalla useampi tähystäjä lentoreitille. Pilotti ei silloin välttämättä suoraan näe dronia, mutta puheyhteyden päässä oleva tähystäjä pystyy kertomaan pilotille dronin liikkeistä sekä muusta ilmaliikenteestä, jotka tulisi huomioida. BVLOS, eli Beyond Visual Line Of Sight, tarkoittaa että droni lentää pilotin (ja tähystäjän) näköyhteyden ulkopuolella.

3.1 Dronien käyttökategoriat uudessa EU:n lainsäädännössä

Uudessa EU:n droonilainsäädännössä dronit jaetaan kolmeen luokkaan riskien mukaan jaoteltuna.

Open kategoria: luokka, jonka riskit eivät edellytä toimivaltaisen viranomaisen (Traficom) etukäteen antamaa lupaa, eikä operaattorin ilmoitusta tarvita ennen toiminnan aloittamista.

Specific kategoria: luokka, jonka toimintaan liittyvät riskit edellyttävät toimivaltaisen viranomaisen (Traficom) lupaa ennen operaation toteuttamista, ottaen huomioon operatiivisen riskinarvioinnissa yksilöidyt lieventämistoimenpiteet, lukuun ottamatta kuitenkin tiettyjä vakioskenaarioita, joissa lentotoiminnan harjoittajan ilmoitus on riittävä tai kun lentotoiminnan harjoittajalla on kevyt UAS-operaattorilisenssi (LUC)

Certified kategoria: luokka, jonka toimintaan liittyvät riskit vaativat dronin sertifiointin ja lisensoidun operaattorin. Operaattorilla täytyy olla ulkopuolisen tahon hyväksyntä, jotta tarvittava turvallisuustaso voidaan taata. Tässä kategoriassa toiminta on hyvin samantapaista kuin yrityksellä, joka harjoittaa miehitettyä lentotoimintaa.

Uusi lainsäädäntö kattaa alkuun Open- ja Specific-kategoriat.

3.2 SORA – Riskianalyysi

SORA-riskiarviointimenetelmä (Specific Operations Risk Assessment) on lähestymistapa miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän (Unmanned Aerial System) toiminnan turvallisuuden luomiseen, arviointiin ja johtamiseen. Siinä keskitytään määrittämään kaksi riskiluokkaa dronien käytölle, maariskiluokka (GRC, eli Ground Risks Class) ja Ilmariskiluokka (ARC, eli Air Risk Class).

Maariskiluokka ja ilmariskiluokka muodostavat perustan niin kutsutun SAIL-luokan (Specific Assurance and Integrity Levels) määrittämiseksi. SAIL-luokka ilmaisee luottamustason, jossa droonitoiminta oletetaan pysyvän hallinnassa suunnitellun operaation rajoissa. SAIL-luokitus määrittää vaadittavat turvallisuustavoitteet (Operation Safety Objectives (OSO)), jotka operaation tulee täyttää. SORA antaa operaattoreille mahdollisuuden käyttää tiettyjä uhkaa rajoittavia toimenpiteitä ja / tai lieventäviä toimenpiteitä molempien riskiluokkien vähentämiseksi ja siten SAIL-arvon vähentämiseksi. Riskiarvion viimeinen vaihe on operaation turvallisuustavoitteet (OSO, eli Operational Safety Objectives), jotka tulee täyttää eri SAIL-tasoissa. SORA-prosessin helpottamiseksi viranomainen voi tietyille toimintatyypeille kehittää myös ns. vakio-skenaarioita (STS, eli Standard Scenarios), joilla on tunnettuja vaaratekijöitä ja hyväksyttäviä riskinhallintatoimenpiteitä. Operaattorit ja sääntelyviranomaiset voivat käyttää STS: ää mallina vähentämään UAS-toimintojen hyväksymiseen liittyvää työtä.

SORA:ssa viimeinen tärkeä viitekehys on aiotun operaatioalueen turvamarginaalit. SORA jakaa operointialueen ennalta määritettyyn alueeseen, ennakoimattomaan alueeseen ja riskipuskuriin niin ilmassa kuin maassa. Jos drooni jostain syystä ylittää ennalta määritetyn alueen, tulee operaattorin käynnistää ennalta määritetyt toimenpiteet, joilla droonin palautetaan suunnitellulle alueelle tai se saadaan laskeutumaan turvalliseen paikkaan. Jos näistä toimenpiteistä huolimatta drooni kulkeutuu ennakoimattoman suoja-alueen ulkopuolelle, on operaattorin käynnistettävä hätätoimenpiteet. Jos hätätoimenpiteistä huolimatta drooni ajautuu riskipuskurin ulkopuolelle, operaattorin tulee tehdä hätäilmoitus lennonjohtoon.

Kaupungeissa SORA koskee erityisesti käytäväsuunnittelua. Käytäväsuunnittelussa on tärkeää varmistaa, että kaupunki mahdollistaa droonien liikkumisen palveluntarjoajan liiketoiminnan kannalta tärkeiden kaupunginosien välillä ja kaupunginosassa tärkeiden pisteiden välillä, kuitenkin vaarantamatta turvallisuutta.

Koska SORA-arviointimenetelmä on tärkeässä roolissa käytäväsuunnittelussa, seuraavassa kappaleessa kerrotaan maariskiluokan ja ilmariskiluokan perusteet.

3.3 Maariski

Maariski on yksi kahdesta SORA-arviointimenetelmän riskiluokista. Maariskillä tarkoitetaan mahdollista uhkaa, joka toteutuessaan aiheuttaa maassa vaaraa tai onnettomuuden ihmisille tai infrastruktuurille.

Tulevassa lainsäädännössä käytetään JARUS:n (Joint Authorities for Rulemaking of Unmanned Systems) laatimaa SORA (Specific Operations Risks Assessment) viitekehitystä arvioimaan mitkä ovat kyseisen operaation maahan kohdistuvat riskit ja miten niitä voidaan vähentää. Tässä viitekehityksessä operatiivinen toiminta jakautuu sen mukaan, lennetäänkö droonilla niin että näköyhteys operaattorin ja droonin välillä säilyy (VLOS) tai lennetäänkö droonilla näköyhteyden ulkopuolella (BVLOS). Lisäksi toiminta jaetaan VLOS- sekä BVLOS-toimintana asumattomien alueiden, haja-asutusalueiden, tiheään asuttujen alueiden tai väkijoukkojen läheisyydessä. Nyrkkisääntö on, että mitä enemmän ihmisiä alueella on, sitä korkeampi maariskiluokka on kyseessä.

Maariski jakautuu 1:stä 10:een maariskiluokkaan. Luokka määräytyy droonin tuottaman kineettisestä energian ja droonin fyysisien mittojen mukaan. Tätä riskiluokkaa voidaan pienentää erilaisilla menetelmillä, jotka ovat:

- M1 - Strategic mitigations for ground risk
- M2 - Effects of ground impact are reduced
- M3 - An Emergency Response Plan (ERP) is in place, operator validated and effective

M1 – 'Strategic mitigations for ground risk' -menetelmien tarkoituksena on vähentää riskialttiiden ihmisten määrää alueella. M1:n toimenpiteiden arvioimiseksi on otettava huomioon seuraavat seikat: 1) riittävän riskipuskurin ja vaikutusalueen huomioiminen sekä 2) arviointi mahdollisesti vaarassa olevista ihmisistä.

M2 – 'Effects of ground impact are reduced' -menetelmillä pyritään pienentämään maahan kohdistuvaa riskivaikutusta vähentämällä kineettistä iskuvaikutusta, esimerkiksi laskuvarjolla.

M3 – 'An Emergency Response Plan (ERP) is in place, operator validated and effective' menetelmässä määritellään hätätilanteita koskevat menettelyt ja toimintatavat. Nämä ovat hätätilanteita, joissa droonin toiminta on palautumattomassa tilassa ja jossa tilanteen tulos riippuu suuresti varovaisuudesta; tai tilanteeseen ei voida vaikuttaa valmiusmenettelyllä; tai kun on olemassa vakava ja välittömästi uhkaava kuolemanvaara.

3.4 Ilmariski

SORA käyttää ConOps-dokumentissa (Concept of operations) määriteltyä operatiivista ilmatilaa lähtökohtana arvioitaessa ilmatilassa tapahtuvan törmäyksen sisäistä riskiä ja määrittämällä ilmariskiluokan (ARC, Air Risk Class).

ConOps on käyttäjälähtöinen asiakirja, joka kuvaa järjestelmän ominaisuuksia ehdotetulle järjestelmälle käyttäjän näkökulmasta. CONOPS kuvaa myös käyttäjäorganisaatiota, tehtävää ja tavoitteita integroitujen järjestelmien näkökulmasta ja sitä käytetään yleisten määrällisten ja laadullisten järjestelmän ominaisuuksien välittämiseen sidosryhmille.

ARC:tä voidaan muuttaa / alentaa käyttämällä strategisia ja taktisia lieventämisvälineitä. Strategisten lievennysten soveltaminen voi vähentää ARC-tasoa. Esimerkki strategisista lievennyksistä törmäysriskin vähentämiseksi voi olla toiminta tiettyinä aikoina tai tietyissä rajoissa. Strategisten lieventämismenettelyjen soveltamisen jälkeen mahdolliset törmäyksen riskit käsitellään taktisten lievennysten avulla.

Kun lentotoiminnan maa- ja ilmariski on määritetty, voidaan niiden perusteella määrittää SAIL-arvo (Specific Assurance and Integration Level). SAIL-arvo voi olla I–VI ja se määrittää, mitä operaation turvallisuuteen (OSO, eli Operational Safety Objectives) tulee ottaa huomioon.

OSO sisältää tällä hetkellä 24 kohtaa menetelmiä, jotka pitää olla dokumentoituna ja viranomaisen hyväksymiä ennen droonin operointia. Riippuen SAIL-arvosta, täytettävät vaatimukset per kohta vaihtelee olemattomasta erittäin vaativaan.

4 Droonien tulevat tarpeet ja haasteet kaupungeissa

Drooneilla on selkeä rooli kehittää yhteiskunnalle uusia palveluita. Droonit tulevat toimimaan yhtenä tärkeänä osana kaupunkien logistiikkaketjuja, droonit voivat lisätä kansalaisten turvallisuutta ja tehostaa kaupunkisuunnittelua. Markkinatutkimukset indikoivat droonimarkkinoiden olevan miljardeja ja markkinat arvioidaan kasvavan kymmeniä prosentteja vuodessa. On siis hyvin todennäköistä, että droonit yleistyvät nopeasti myös kaupunkikuvassa.

Toiminta kaupunkiolosuhteissa ei ole yksinkertainen asia. Muun muassa turvallinen operointi kaupungeissa on haastavaa johtuen mahdollisuuksista vähentää maariskiä. Maariski on erittäin oleellinen asia, joten sitä käsitellään tarkemmin omassa kappaleessaan 3.5. Maariski käytävien suunnittelussa.

Jotta uusia droonipalveluja syntyisi kaupunkeihin, olisi tärkeää myös kaupungin näkökulmasta pohtia, miten kaupunki voisi toimia mahdollistajana skaalautuvalle drooniliiketoiminnalle.

Seuraavissa kappaleissa on esitelty tarkemmin olennaisia tekijöitä, jotka tulisi ottaa huomioon kaupunkiolosuhteissa skaalautuvan drooniliiketoiminnan kannalta.

4.1 Melu

Droonien tuottama ääni on puhuttanut paljon drooniteollisuuden yhteisöissä. Droonien melua ja sen vaikutuksia asukkaisiin on tutkittu vielä erittäin vähän. Droonit tuottavat uudenlaista melua, johon ihmisen korva ei ole vielä tottunut. Tällainen ”näkömelu” on tyypillinen mm. lentokenttien läheisyydessä havaittu ilmiö, jossa asukkaat valittavat lentomelusta, vaikka mittaukset kertovat läheisen moottoritien melun olevan määräävä tekijä. Toinen vaikuttava tekijä droonimeluhaitoista on, että droonit liikkuvat tyypillisesti hyvin hitaasti verrattuna ohi ajavaan autoon. Toisin sanoen drooni viipyy kauemmin henkilön kuulohavaintokentässä kuin auto ja siksi drooni saattaa häiritä enemmän kuin ohi kulkeva auto.

Melu on nykyisessä kaupunkisuunnittelussa erittäin tärkeä asia, joten myöskään droonien osalta melua ei voi ohittaa. Kaupungit tulisi harkita droonien liittämistä osaksi kaupunkikohtaista meluntorjunta-toimintasuunnitelmaa.

Droonien melu syntyy sekä droonien potkureista että moottoreista. Sähkökäyttöisten droonien isoin melunlähde ovat potkurit ja mitä isompi drooni, sen isommat potkurit ja siksi kovempi melu. Polttomoottorikäyttöisissä drooneissa määräävämpi melu on itse moottori.

Drooniteollisuus kehittää jatkuvasti uutta potkuriteknologiaa ja moottoreita vähentääkseen drooneista syntyvää melua, mutta melua tuskin koskaan saadaan täysin poistettua. Toinen seikka teknologian kehittymiselle on, että sitä mukaan, kun potkuri- ja moottoriteknologia edistyy, lisääntyy myös vaatimustaso ottaa uudesta teknologiasta kaikki mahdollinen hyöty irti. Esimerkiksi droonien koko kasvaa sitä mukaa kun liiketoiminnan kannalta pyritään isompiin hyötykuormiin. Tämä tarkoittaa sitä, että jatkossakin droonit tulevat olemaan edelleen melun lähde, vaikka uusia teknologioita tulisi markkinoille.

Droonien meluntorjunnan toimintasuunnitelmassa yleiset pääperiaatteet pätevät. Ennaltaehkäisy tulisi olla ensisijainen keino. Droonien kannalta samaan tapaan kuin liikennemelun ehkäisyssä maankäyttö ja liikenteen suunnittelu ovat avainasemassa. Liikenteen suunnittelussa tärkeintä on suunnitella droonien käytävät siten että drooniliikenne aiheuttaa mahdollisimman vähän melua tai melusaaste vaikuttaa mahdollisimman vähän ihmisiin. Esimerkiksi droonikäytävä voi kulkea tietyllä alueella vain päivisin, ja iltaisin reitti suljetaan tai sen käyttöä rajoitetaan. Droonikäytävät voidaan myös suunnitella kulkemaan alueilta, joissa melutasoa voidaan pienentää, esimerkiksi käytävä voi kulkea alueilla, joissa on puustoa. Tiheä puusto vaientaa droonimelua tehokkaasti.

Melutasoja voidaan alentaa myös kiinteistökohtaisilla ratkaisuilla. Varta vasten drooneille suunnitellut melusteet saattavat tulla kyseeseen alueilla, jossa on erityisen paljon drooniliikennettä, esimerkiksi laskeutumipaikkojen välittömässä läheisyydessä. Kiinteistökohtaisissa ratkaisuissa voidaan esimerkiksi ottaa huomioon sellaisten materiaalien käyttö, jotka vaimentavat drooneille tyypillisiä taajuuksia ja näin parantavat alueen akustiikkaa.

Käytäväsuunnittelussa akustiikka tulisi ottaa huomioon myös laajemmin. Drooniliikennettä tulisi rajoittaa alueilla, joissa akustiikka on erityisen huono.

4.2 Hätälaskeutumispaikat

Vaikka ammattikäyttöön suunnitellut dronit ovat toimintavarmuudeltaan luotettavia, ne voivat kuitenkin viottua. EU-asetus asettaa korkeammat toimintavarmuusstandardit kaupungeissa lentäviin droneihin kuin vaikka maanviljelydroneihin. Vaikka dronien luotettavuus olisi samalla tasolla mitä nykyisessä miehitetystä ilmailusta, dronien hätälaskeutumispaikoille kaupungeissa on tarvetta, siitä yksinkertaisesta syystä, että droonioperaatioiden määrä tulee olemaan iso. Tällöin myös todennäköisyys dronin tarpeesta laskeutua lentoreitiltä poikkeavaan pisteeseen kasvaa.

Hätälaskeutumispisteet ovat yksi merkittävimmistä keinoista vähentää droneihin liittyviä riskejä. Hätälaskeutumispisteille on tarvetta, sillä vaikka riskiä hallitsemattomaan laskeutumiseen voidaan pienentää mm. toisiojärjestelmällä (esimerkiksi kahdella erillisellä autopilottijärjestelmällä), on vikatilanteessa dronin kyettävä laskeutumaan heti kuin se turvallisuuden kannalta on mahdollista. Riskien hallinnan kannalta riski kasvaa, mitä kauemmaksi droni joutuu lentämään viallisena, joten tiuha hätälaskeutumispisteverkosto vähentää riskejä.

Hätälaskeutumispisteet tulisi sijoittaa sinne missä on eniten drooniliikennettä. Etenkin jos kaupunkiin suunnitellaan droneille omia kulkukäytäviä, käytävissä tulisi olla useita hätälaskeutumispikkoja, jotka muodostavat hätälaskeutumiskokon. Laskupaikkaverkosto tulee merkitä erilliseen karttapohjaan, sekä varmistaa että pelastuslaitoksella on esteetön ja nopea pääsy hätälaskeutumispikkoihin.

Hätälaskeutumispikka tulisi valita mielellään niin, ettei siihen laskeutuva droni aiheuta ihmisille vaaraa. Olisi myös hyvä varmistaa, ettei viottunut droni laskeutuessaan aiheuta rakenteille vaaraa ja hajonnut rakenne puolestaan aiheuta ihmiselle vaaraa. Hätälaskeutumispikkoksi käytännössä soveltuu mikä tahansa riittävän suuri tasainen pinta-ala. Pinta-alan tarve taasen määräytyy dronin koosta. Kaupunkiolosuhteissa mikä tahansa tasainen katto voisi toimia hätälaskeutumispisteenä, kunhan alusta ei ole erityisen paloherkkä.

4.3 Laskeutumispikat

Dronit tarvitsevat operointiin laskeutumispikkoja. Laskeutumispikkojen tärkein kriteeri on riittävä tila laskeutumispikan ympärillä. Esimerkiksi tiheä puusto ja läheiset seinämät vaikuttavat GPS-signaaliin ja signaalin heikko laatu vaikuttaa vastaavasti dronin tarkkuuteen laskeutuessa. Lisäksi liian lähellä olevat puut ja seinät aiheuttavat törmäysvaaran puuskaisissa tuuliolosuhteissa.

Nykyisin kehitetään älykkäitä ratkaisuja laskeutumiseen, jotka vähentävät GPS:n tarvetta ja tulevaisuudessa voidaan poistaa kokonaan tarve käyttää GPS-signaalia laskeutumiskokon aikana. Tällaisia järjestelmiä on laser- tai ultraääni sensoreilla varustetut dronit, laser- tai ultraäänisensoreilla varustetut laskeutumispikat, sekä visuaaliseen havainnointiin tai ohjauksohjelmiin perustuvat laskeutumiskokot droneissa.

Laskeutumispikat tulisi sijoittaa niin, että ne olisivat mahdollisimman paljon tuulelta suojassa, sekä niin että kiinteistöjen synnyttämien tuuliefektien vaikutus olisi mahdollisimman pieni. Vallitsevat tuulensuunnat on hyvä ottaa huomioon sijaintia valittaessa. Kiinteistöjen tuuliefektit ovat kaupungissa monimutkainen mekanismi, mutta yksi tärkein kriteeri on huomioida pitkän kadun muodostama tuulitunneli, jossa tuulen nopeus on vallitsevaa tuulennopeutta huomattavasti korkeampi. Tämän lisäksi kiinteistöt tuottavat turbulenssia rakenteen tuulettomalle puolelle, joka vaikuttaa erityisesti dronin energiantarpeeseen laskeutumisessa ja nousussa.

Laskeutumispikkaa ympäröivien rakenteiden, rakennusten ja puuston vaikutus tuulen pyörteisiin ja puuskaisuuteen tulisi selvittää virtaussimulaatiomallinnuksella (LES, eli large-eddy simulation) (Mona Kurppa 2016), jotta paikan soveltuvuus droonitoimintaan erilaisissa tuuliolosuhteissa tulisi

huomioonotetuksi. Samoin jos olemassa olevan laskeutumipaikan rakennettu ympäristö muuttuu merkittävästi, tulisi virtaussimulaatiotarkastelu suorittaa, jotta voidaan arvioida ovatko ympäristömuutokset droonitoiminnan kannalta merkityksellisiä.

Droonien laskeutumipaikat tulisi varustaa myös sopivilla säätilaa mittaavilla laitteilla ja tiedonvälitysjärjestelmillä, jotta vallitsevan säätilanteen vaikutus droonitoimintaan voidaan ottaa huomioon reaaliajassa.

Riippuen droonin käyttötarpeista myös laskeutumipaikkojen tarpeet eroavat toisistaan. Valvontaan tarkoitettun, korkean automaatiotason omaavan droonijärjestelmän laskeutumisympäristö on täysin erilainen verrattuna droonitaksin laskeutumipaikkaan. Seuraavissa kappaleissa syvennyttään tarkemmin tyyppisimpiin droonikäyttötapauksiin kaupungeissa ja niiden laskeutumipaikkatarpeisiin.

4.3.1 Valvontaan käytettävät droonit

Drooneja käytetään valvontaan erityisesti parkkipaikoilla ja tehdasalueilla. Kuitenkin on nähtävissä, että valvonta drooneilla lisääntyy tulevaisuudessa myös kaupungeissa. Valvontadrooneja voidaan myös käyttää videokuvan välittämisessä onnettomuuspaikalta tai tulipaloista ensivasteelle. Tulevaisuuden valvontadrooni on kokonaisjärjestelmä, joka kykenee valvomaan automaattisesti alueita. Tällaisessa järjestelmässä laskeutumipaikka on tyyppisesti suljettavan kontin tyyppinen rakenne, jonka sisään drooni laskeutuu tehtävän jälkeen. Kontissa olevalla mekanismilla drooniin vaihdetaan akut ja tarvittaessa sensorit uutta tehtävää varten. Akut voidaan ladata kontissa. Tänä päivänä tällaiset kontit ovat kooltaan n. peräkärryn kokoisia. Näissä konttiratkaisuissa pätee samat vaatimukset sijoittelun suhteen kuin muissakin laskeutumipaikoissa, eli etenkin vallitsevat tuuliolosuhteet tulisi ottaa huomioon sijoittelussa. Tällaiset järjestelmät vaativat sähköä, kulkureitin huoltotoiminnalle sekä turva-alueen.

4.3.2 Pienlogistiikkadroonit (B2C)

B2C-pienlogistiikkadroonitoiminta jakautuu kolmeen erilaiseen käyttötapaukseen.

1. Ensimmäisessä käyttötapauksessa droonit toimittavat paketin suoraan kuluttajalle pyyntöperusteisesti, jolloin drooni tyyppisesti laskee paketin ennalta määritettyyn pisteeseen kuluttajan pyynnöstä köyden avulla.
2. Toisessa käyttötapauksessa droonit kuljettavat paketin säilytyslokerikkojärjestelmään, jolloin kuluttaja voi hakea paketinsä, kun hänelle sopii.
3. Kolmannessa käyttötapauksessa drooni kuljettaa paketin ”viimeisen kilometrin” jakeluautosta kuluttajalle.

Kaupunkiympäristössä käyttötapaukset yksi ja kaksi tulevat olemaan todennäköisesti yleisemmät tavat toimittaa kuluttajapaketteja. Kaikissa käyttötapauksissa kuitenkin yhteistä on laskeutumipaikkojen korkea automaatioaste, eli akut vaihdetaan ja ladataan automaattisesti latauspaikoille, samaan tapaan kuin valvontadroonien osalta. Isoin ero valvontadrooneihin on pakettien käsittelyn robotisaatio, eli paketit kiinnitetään esimerkiksi logistiikkakeskuksissa käsin tai roboteilla drooniin. Käyttötapauksessa kaksi, jossa droonit kuljettavat paketteja säilytysjärjestelmiin, tullaan käyttämään korkeaa automaatioastetta. Säilytysjärjestelmät irrottavat paketin droonista ja siirtävät sen sisäiseen säilytykseen. Alkuun tällaiset säilytysjärjestelmät vain irrottavat paketin droonista, ja myöhemmin tulevaisuudessa säilytysjärjestelmät lataavat ja vaihtavat akut drooneihin. Robotisaatio säilytysjärjestelmissä on kuitenkin vielä kallista, joten akkujen vaihtoon saattaa kulua vielä jopa kymmenen vuotta.

Akkujen hallinta, eli lataus ja akkujen vaihto, on iso haaste. Näitä haasteita avataan tarkemmin omassa kappaleessa 4.4. Latausverkostot. Tässä yhteydessä tärkeintä on mainita, että akkujen lataus vaikuttaa laskeutumisaikojen valitsemiseen sähkön tarpeen takia sekä turvallisen pääsyn mahdollistamiseksi akkujen latauspaikkaan. Sähköön liittyviin vaatimuksiin vaikuttaa akkujen lataustarpeet. Peukalosääntönä voidaan pitää, että mitä isompi droni, sen isommat akut, jotka tarvitsevat enemmän syöttövirtaa. Koska on mahdoton määrittää minkä kokoisia droneja pienlogistiikassa tulevaisuudessa käytetään, suositellaan että laskeutumisaikojen sähköt on mielellään ylimitoitettu tai suunnittelussa on huomioitu muutostöiden helppous. Pienlogistiikan tarpeisiin kolmivaiheinen 25-32 A-sähkön syöttö tulee todennäköisesti riittämään pitkälle tulevaisuuteen.

4.3.3 Pienlogistiikkadroonit (B2B)

B2B-pienlogistiikkadroonitoiminnassa suurin käyttötapaus on keskitetystä pisteestä pakettien kuljetus toiseen keskitettyyn pisteeseen, samaan tapaan kuin B2C-pienlogistiikkadroonitoiminnassa pakettien kuljetus säilytyslokerikkojärjestelmään. B2B-logistiikassa droonit voivat kuljettaa paketteja yrityskeskittymissä oleviin säilytysjärjestelmiin tai paketit voidaan kuljettaa yhden yrityksen käyttöön tarkoitettuun säilytysjärjestelmään. Myös B2B-pienlogistiikkadroonitoiminnassa paketit voidaan toimittaa yrityksen pihaan samaan tapaan narulla laskien kuin kuluttajille.

Isoin ero B2B:n ja B2C:n välillä on pakettivolyyymien huomattavasti isompi määrä yhteen yritykseen tai yrityskeskittymään kuin yhdelle kuluttajalle tai asuinalueelle. Isompi volyyymi asettaa haasteita droonin kantokyvyille suhteutettuna toimituskustannuksiin. Toisin sanoen yritykseen toimituskustannukset pakettiautolla on pakettia kohden halvempi kuin saman määrän toimittaminen droonilla. Tällaisissa tapauksissa droonin tulisi kyetä kantamaan isompia tavaramääriä ollakseen kustannuksiltaan kilpailukykyinen (katso kappale 4.3.4. Suurlogistiikkadroonit). Droneilla kustannussäästöjä saadaan kuitenkin aikaan tapauksissa, joissa pakettiautolla joudutaan kiertämään jokin maantieteellinen este, kuten järvi. Tällaisissa tapauksissa autolla kuljettamiseen joudutaan käyttämään enemmän aikaa ja näin ollen kustannukset pakettia kohden ovat isommat kuin droonilogistiikkakustannukset.

4.3.4 Suurlogistiikkadroonit

Seuraava luonnollinen askel logistiikassa on kasvattaa hyötykuorman painoa ja kokoa. Liiketoiminnan kannalta olisi suotavaa kyetä toimittamaan useampi paketti yhdellä lennolla, joka luonnollisesti vaatii droonilta kyvykkyyttä kantaa painavampaa ja isompaa hyötykuormaa. Tulevaisuudessa on todennäköistä, että tällaiset suurlogistiikkadroonit toimittavat logistiikkaterminaalien välillä kaupunkien laitamilla ja logistiikkaterminaalista kaupunkien pienvarastoihin, joista paketit toimitetaan edelleen joko droneilla, pyörillä, maaroboteilla tai jakeluautoilla.

Painavampi hyötykuorma kuitenkin asettaa laskeutumisaikoille enemmän vaatimuksia kuin pienlogistiikassa. Tällainen suurlogistiikkadrooni voi tulevaisuudessa painaa jopa satoja kilogrammoja, joka asettaa laskeutumisaikan rakenteisiin aivan uusia vaatimuksia. Lisäksi isot droonit tulevat tarvitsemaan erityistä huomiota sähkösyötölle ja akkujen huollolle. Sähköstä löytyy enemmän tietoa kappaleesta 4.4. latausverkostot.

On mahdollista, että suurlogistiikkadroonit kuormataan käsityönä henkilöstön toimesta vielä pitkälle tulevaisuudessa ja samalla henkilöstö vaihtaa akut, jotka voivat painaa useita kymmeniä kiloja. Terminaalitoimintojen automaatiotasoa tulee varmuudella kasvamaan. Lentotaksivalmistajat näkevät logistiikan tukijalkana ihmiskuljetusten rinnalla, joten on mahdollista, että sitä myötä syntyy

vakioituja raskaamman kuorman käsittelyratkaisuja. Nykyisen käsityksen mukaan suurlogistiikkadroonien kehitys on pienlogistiikkadrooneja hitaampaa.

4.3.5 Droonitaksit

Ihmisiä kuljettavat autonomiset ilma-alukset, eli droonitaksit ovat isoja, satojen tai tuhansien kilogrammojen lentolaitteita, jotka on suunniteltu kuljettamaan ihmisiä. Droonitakseilla uskotaan olevan tärkeä rooli yhtenä osaratkaisuna suurkaupunkien ruuhkissa. Droonitaksien laskeutumisaikat tulisivat suunnitella niin, että ne sijaitsevat lähellä muita liikennemuotoja ja näin droonitaksit voisivat toimia saumattomana osana koko matkaketjua.

Droonitaksien laskeutumisaikat voidaan jakaa karkeasti kahteen erityyppiseen laskeutumisaikkaan perustuen laskeutumisaikan suorituskykyyn. Tulevaisuudessa on todennäköistä, että kaupungeissa on laskeutumisaikoja, jotka palvelevat yhtä droonitaksia kerrallaan, esimerkiksi kaupungin laitamilla, sekä laskeutumisaikoja, jotka mahdollistavat suuren määrän droonitakseja laskeutua ja nousta. Tällaisia laskeutumisaikoja kutsutaan vertiporteiksi. Vertiporteissa toimintaprosessi on seuraava: droonitaksit laskeutuvat, ihmiset nousevat kyydistä, akut vaihdetaan, ihmiset nousevat kyytiin, drooni nousee ja akut ladataan. On todennäköistä kuitenkin, että alkuun suurkaupungeissa syntyy reittejä kahden pisteen välillä, esimerkiksi lentokentän ja vilkkaan kauppakeskuksen välillä, joissa kummassakin on yhtä droonitaksia kerrallaan palveleva laskeutumisaikka. Tästä seuraava kehitysskaskel on, että näitä yksittäisiä droonitakseja palvelevia laskeutumisaikoja syntyy useampia ja droonitaksit alkavat operoimaan verkostomaisesti näiden laskeutumispisteiden välillä. Vasta kun droonitaksit ovat yleistyneet suurkaupungeissa, alkavat myös vertiportit yleistymään. Vaikka vertiportit ovat vielä suhteellisen kaukana tulevaisuudessa (n. 10–15 vuoden päässä), maailmalla on useita yrityksiä, jotka suunnittelevat vertiportteja jo nyt.

Droonitaksien laskeutumisaikkojen kriteerit ovat hyvin samanlaiset kuin minkä tahansa muun droonin. Etenkin puuskittainen tuuli on riskien hallinnan kannalta haasteellinen. Tärkein kriteeri laskeutumisaikan sijoittamiselle on kuitenkin, että laskeutumisaikat palvelevat matkustajia olemalla saumaton osa koko matkaketjua. Laskeutumisaikat voitaisiin sijoittaa esimerkiksi parkkihallien kattokerrokseen, rautatieaseman katolle, olemassa oleviin helikopterin laskeutumispisteisiin tai esimerkiksi autoväylillä ramppien viheralueille. Kaikissa näissä kuitenkin on omat haasteensa ja useasti tällainen mahdollinen laskeutumisaikka ei sijaitse muun liikenteen solmukohdassa. Tästä syystä kaupunkisuunnittelussa olisi hyvä harkita miten tulevaisuuden droonilaskeutumisaikat voitaisiin ottaa huomioon uusien rakennusten ja kaupunginosien suunnittelussa jo nyt.

Toinen erittäin tärkeä kriteeri on melu. Isot droonit, kuten droonitaksit aiheuttavat suhteellisesti enemmän melua kuin pienet droonit ja siksi melunhallinta on erityisen tärkeää droonitakseissa. Melun hallinnassa oleellista on pienentää melua erityisesti laskeutumispisteiden läheisyydessä. Laskeutumispisteiden sijoittelussa ja kaupungin kaavoituksessa melu tulisi ottaa alusta alkaen huomioon samaan tapaan kuin lentokenttien melunhallinnassa. Kaavoituksessa tulisi suosia puustoa, sekä välttää rakennettuja alueita, joissa akustiikasta johtuen droonin melu voimistuisi.

Droonitaksien laskeutumisaikkojen kolmantena tärkeänä kriteerinä on riittävä sähkön saanti. Droonitaksien akut vaativat suurta virransyöttöä latauksessa, etenkin pikalatauksen aikana. Nykyinen käsitys drooniteollisuudessa on, että vertiporteissa akkuja tulisi kyetä lataamaan sekä normaalilla nopeudella että pikalatauksella. Näistä lisää kappaleessa 4.4 Latausverkostot.

4.3.6 Yhteiskäyttölaskeutumispaidat

Yhteiskäyttöön soveltuvat laskeutumispaidat olisivat kustannusten ja erityisesti sijoittelun kannalta järkeviä. Yhteiskäyttöön kuitenkin sisältyy haasteita erityisesti droonien standardien puuttumisen takia. On selvää, että tulevaisuudessa drooneille syntyy standardeja aivan kuten jo nyt on syntynyt sähköautoille, mutta drooneissa haasteena on alan monimuotoisuus ja standardointiperinteen puuttuminen. Sähköautoissa autoteollisuus on vuosia standardoinut yhteistyössä autovalmistajien kanssa, kun taas droonivalmistajien keskuudessa tällainen perinne puuttuu täysin. Lisäksi droonivalmistajia on huomattavasti enemmän kuin esimerkiksi sähköautojen valmistajia, mikä hankaloittaa standardoimista.

Droonitaksien osalta vertiportteja kehittävät yritykset ovat ilmaisseet, että vertiporttien tulisi tukea useampaa eri droonitaksivalmistajaa. Droonitaksien yhteiskäyttölliset vertiportit ovat järkeviä myös siksi, että kaupunkiympäristössä saattaa olla vaikeaa löytää niille kaikkia kriteereitä täyttäviä kohteita. Lisäksi vertiportteja kehittävien yritysten halu yhteiskäyttöistä vertiportteja ajaa markkinoita, sillä tällainen yritys ei luonnollisesti halua tarjota palveluja vain yhdelle droonitaksivalmistajalle.

Raskaan logistiikan droonien ja droonitaksien kriteerit laskeutumispisteille on hyvin samanlaisia. Esimerkkinä sähkön tarpeet, akkujen lataustarpeet ja sijoittelu lähelle liikennekeskittymiä puolesta puhuisi laskeutumisalustan yhteiskäyttöä. Nähtäväksi jää syntyykö tulevaisuudessa laskeutumispaidkoja, jotka tukisivat sekä raskasta droonilogistiikkaa että ihmisten kuljettamista. Tällaisten yhteiskäyttölaskeutumisalustojen synnyn voisi mahdollistaa, jos droonitaksivalmistajat ryhtyisivät valmistamaan myös raskaan logistiikan ratkaisuja. Tällainen skenaario voi olla tulevaisuudessa hyvinkin mahdollinen, sillä monet tuotekehitysratkaisut ihmisten kuljettamisessa ilmaitse voidaan hyödyntää suoraan raskaan logistiikan kuljetuksissa.

Laskeutumisalustojen yhteiskäyttö pienlogistiikassa ja droonilla tapahtuvassa valvonnassa taasen nähdään epätodennäköisenä. Droonivalvonnan sovellukset ovat hyvin ratkaisukeskeisiä ja tulevaisuudessa nähdään droonivalvontayritysten kehittävän omia ratkaisujaan laskeutumisalustoissa. Älykkäät valvontaratkaisut ovat tällä sektorilla kilpailutekijä ja siksi nähdään, että yritykset eivät kilpailun vuoksi halua yhteiskäyttöä laskeutumisalustoissa. Sama logiikka voisi päteä myös pienlogistiikassa. Kilpailutekijän lisäksi valvontadroonien, kuten ehkä myös pienlogistiikkadroonien laskeutumisalustat ovat huomattavasti halvempia kehittää kuin droonitaksien ja suurlogistiikkadroonien laskeutumisalustat, joten senkin takia yritysten on mahdollista luoda omat ratkaisut laskeutumisalustoihin.

4.4 Latausverkostot

Droonien käyttövoima voi olla sähkö, bensiini tai vety. Vety on näistä käyttövoimista harvinaisin ja kaupallisesti vedyllä toimivia drooneja on vielä hyvin vähän. Bensiiniä käytetään erityisesti raskaammissa drooneissa, joiden operointiajat ovat pitkiä, tyypillisesti 2–10 tuntia. Polttomoottorikäyttöisten droonien isoin ongelma on melu. Sähkö käyttövoimana on erittäin suosittu ja valtaosa pienistä, alle ~10kg drooneista toimiikin sähköllä. On myös kehitetty hybrididrooneja, joissa pääkäyttövoima on sähkö, mutta akkuja ladataan lennon aikana polttomoottori- tai polttokennokäyttöisellä generaattorilla. Sähkökäyttöisten droonien haasteena on huomattavasti lyhyempi käyttöaika kuin polttoaineella toimivien. Akkujen energianvarastointikyky per painoyksikkö on polttoaineisiin verrattuna rajallinen. Sähkökäyttöiset droonit nähdään olevan kuitenkin lähitulevaisuuden ratkaisu, mutta akkujen varsin heikko kyvykyys varastoida energiaa vaatii investointeja latausverkostoihin ja latauspisteisiin.

Nykyisin kehitetään latauspisteitä, johon droni voi laskeutua ja ladata akkuja. Kehitteillä on myös ratkaisuja, joissa dronin ei tarvitse laskeutua vaan akkuja voidaan ladata induktiivisesti dronin ollessa ilmassa. Etuina tällaisissa latauspisteissä on, että akkuja ei tarvitse vaihtaa droniin, joka yksinkertaistaa huomattavasti latauspisteen teknisiä vaatimuksia. Haasteena on akkujen vaatima latausaika. Akku- ja latausteknologia on toki kehittynyt ja akkuja voidaan ladata nopeasti, mutta ongelmana nopeassa latauksessa on, että se lyhentää huomattavasti akkujen elinikää. Normaalinopeudella lataus täyteen varaukseen kestää noin tunnin, joka laskisi mm. dronilogistiikassa dronien käyttöastetta ja sitä myötä kannattavuutta.

Ratkaisuna latausajan lyhentämiseen on tyhjien akkujen vaihto täysinäiseen akkuun. Tyhjät akut ladataan silloin dronien ulkopuolella erillisessä latauspisteessä. Akkujen vaihdossa haasteena on akun vaihtoon tarvittava automaatiikka. Toinen vaihtoehto on ladata akut, kun droni on telakoituna omaan laskeutumislustaansa. Yhteinen akunvaihto- tai latausverkosto tulisi sijoittaa liikenteen solmukohdissa ja palveluiden läheisyydessä, joka käytännössä rajoittaa laskeutumispisteiden määrää.

Yhteiskäyttöisen latausverkoston luominen on haasteellista, sillä nykyisillä dronivalmistajilla on valtava kirjo erilaisia akkuratkaisuja ja akkujen kiinnitysratkaisuja. Tästä syystä standardointi on yhteiskäyttöisten latausverkostojen synnyn edellytys. Opeja lastausverkostosta tulisi ottaa muun muassa sähköautojen latausverkostosta.

4.5 Huoltotoiminta

Dronit tarvitsevat huoltoa samaan tapaan kuin ilmailussa muutenkin. Huoltotoiminta on yksi keskeisiä turvallisuustekijöitä ilmailussa. Huoltotoiminta on osa uuden EU-lainsäädännön turvallisuudenhallintajärjestelmää, ja tuleva EU-sääntely tulee myös vaatimaan kaikilta droneilta ohjeistuksen huollolle. On kuitenkin mahdollista, että mm. vakuutusyhtiöt tulevat vaatimaan dronien huollolle lainsäädäntöä tiukemmat ehdot samaan tapaan kuin vakuutusyhtiöt ovat tehneet helikoptereille.

Tämän hetkinen näkökanta droniteollisuudessa on, että huoltotoiminta tapahtuu aina sille varatussa huoltopisteessä, olkoon kyseessä kevyt valvontadrooni tai dronitaksi. Dronin huolto vaatii hyvät työolosuhteet, mittalaitteet ja varaosat. Raskaan logistiikan dronit, kuin myös dronitaksit lennätetään huoltopisteeseen, jonka yhteydessä saattaa olla logistiikkaterminaali. Pienemmät dronit kuljetetaan erikseen huoltopisteisiin, ja tämän takia muun muassa valvontadrooneissa yhtenä kriteerinä laskeutumislustan sijoittelulle on turvallinen pääsy laskeutumispisteeseen. Huoltohenkilökunnan täytyy päästä huoltamaan myös laskeutumispisteet, joissa akut ladataan ja vaihdetaan.

4.6 Dronien radioyhteydet

Vaikka dronit kykenevät usein suorittamaan sille ennalta määritetyn lentoreitin automaattisesti, radioyhteys droniin on välttämätön. Uudessa EU-lainsäädännössä mainitaan, että pilotilla tulee olla kyky ylläpitää ohjaus miehittämättömään alukseen. Dronien radioyhteydet voidaan lukea karkeasti kolmeen erityyppiseen radioyhteyteen.

- Command & Control radioyhteydellä dronin ja pilotin välillä ylläpidetään yhteys, jolla dronia voidaan ohjata. Command & Control radioyhteys kattaa myös yhteydet U-space liikenteenohjausjärjestelmiin, kun sellainen on käytössä.
- Toinen turvallisuuteen liittyvä tärkeä yhteys pilotin ja dronin välillä on telemetriatieto. Telemetrialla dronista välitetään sen toiminnan kannalta elintärkeitä tietoja, esimerkiksi

akun tilasta tai lentokorkeudesta ja suunnasta. Ilman telemetriatietoa voidaan lentää, mutta käytännössä se tarkoittaa sokkona lentämistä.

- Kolmas radioyhteys on ns. hyötykuormadatan siirto. Esimerkiksi valvontadroonit välittävät valo- tai videokuvaa droonista valvomoon.

Nykyisin ylivoimaisesti eniten käytetään suoraa radioyhteyttä, joka toimii kahden pisteen, eli droonin ja pilotin käyttämän maa-aseman välillä. Tällaiset yhteydet toimivat usein radiolisenssivaatimuksesta vapautetulla taajuudella ja vain verraten lyhyillä etäisyyksillä. Esimerkkinä yleisesti ammattikäytössä VLOS-toiminnassa käytetään DJI:n Phantom droonia, jonka maksimiohjausetäisyys on noin 5 km. BVLOS-toiminnassa niin ikään käytetään yleisesti kahden pisteen välistä radioyhteyttä. Pitkän kantaman BVLOS-lennoissa voidaan päästä tällaisella tekniikalla jopa yli 100km kantamiin, mutta niissä tapauksissa droonin lentokorkeus on oltava useita satoja metrejä ja monesti yli kilometri. Suoralla radiolinkillä suoritettavissa pitkissä BVLOS-lennoissa määräävä tekijä radioyhteyden kantamassa on radiohorisontti. Radiohorisontti on teoreettinen etäisyys, jolla pisteestä A tietyltä korkeudelta lähtevä radioaalto etenee esteettä pisteeseen B, joka on tietyllä korkeudella kaarevan maapallon pinnasta. Kun drooni lentää riittävän kauaksi maa-asemasta, droonin ja maa-aseman yhteys katoaa johtuen maan kaarevuudesta.

Radioyhteyttä voidaan kasvattaa rakentamalla usean radiolähettimen muodostama radioverkko. Tällaisessa radioverkossa drooni keskustelelee sen radiolähettimen kanssa, jolla on paras signaali-kohinasuhde drooniin. Teoriassa tällaisella verkolla voitaisiin kattaa koko maa, mutta käytännössä verkon rakentaminen vain drooneille vaatisi ison pääoman sekä sille erikseen varatun radiotaajuusalueen. Investointi radioverkolle, joka olisi vain drooneille tarkoitettu, ei nykyisillä radioteknologiahinnoilla ole ehkä järkevää, etenkin kun mm. Suomessa on erittäin kattava mobiiliverkko, joka on nimenomaan usean radiolähettimen muodostama laaja verkosto.

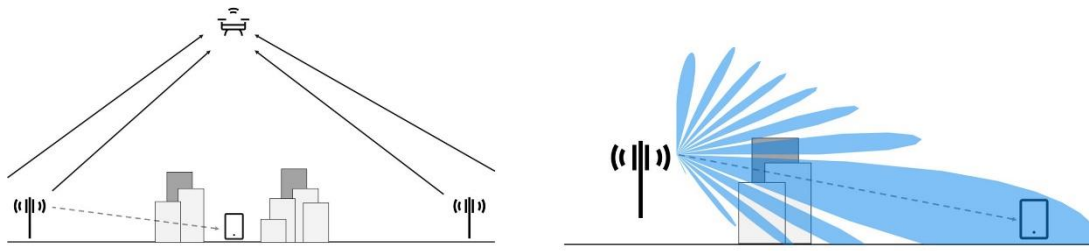
Nykyteknologialla kantamaa voidaan lisätä erityisillä antennilla, jotka osaavat suunata radioaallot tarkasti ennalta laskettuun suuntaan. Näiden antennien hinnat ovat kuitenkin toistaiseksi korkeat ja näin ollen lähitulevaisuudessa vain hyvin erikoistuneiden droonikäyttötapauksien ratkaisu.

Avaruussään vaihteluiden vaikutukset radioyhteyksien laatuun ja satelliittinavigointijärjestelmien tarkkuuteen tulee myös ottaa huomioon droonitoiminnassa. (PECASUS 2019)

4.6.1 Mobiiliverkot

Suomessa on erittäin kattava mobiiliverkko, joka mahdollistaa nopean datansiirron liikkuvasta laitteesta. Kaupunkiolosuhteissa mobiiliverkon peitto on erittäin hyvä ja voisi siksi soveltua erinomaisesti skaalautuvaan drooniliiketoimintaan, koska investointia yksinomaan drooneille suunnitellulle radioverkolle ei tarvitse tehdä. Käytännössä kuitenkin mobiiliverkot soveltuvat vain osittain droonien käyttöön. Haasteena on mobiiliverkkojen optimointi maanpäälliseen datansiirtoon. Mobiiliverkkojen optimoinnissa mobiiliverkkojen antennit on suunnattu hieman alaspäin maahan, jonka takia antennien suuntakuviot kohdistuu maahan. Tämän takia ilmassa, esimerkiksi 120m korkeudessa, jossa droonit lentävät, ei antennikuviosta kohdistu suoraan peittoa vaan droonit käyttävät antennien toisiokuviota. Tästä antennin toisiokuviota johtuen mobiiliverkkojen eri solut näkyvät ilmassa hajanaisesti, mikä aiheuttaa verkon heikon laadun.

Mobiiliverkkojen käyttö drooneissa tulee kuitenkin yleistymään etenkin mobiilioperaattoreiden IoT-verkoissa, joissa verkon optimoinnin peruste on erilainen.



Lähde: (Ericsson 2019) Kuva 2, Droonien näköyhteys tukiasemiin ja antennikuviot maassa ja ilmassa.

Tällä hetkellä mobiiliverkkojen käyttö ilmasta ilman erikoislupaa on kiellettyä vain Suomessa ja Japanissa, mutta tämä tulee varmasti muuttumaan lähitulevaisuudessa, ainakin Suomessa. Nykyisin lupa mobiiliverkkojen käyttöön drooneille tulee hakea sekä Traficomilta että teleoperaattorilta.

4.6.2 5G

5G on myös droonien, niin kuin monen muunkin kannalta, erittäin mielenkiintoinen teknologia. 5G mahdollistaa erittäin nopean ja luotettavan yhteyden, jota drooneissa tarvitaan droonien ohjaamisen ja telemetrian suhteen. 5G mahdollistaa myös isojen datamäärien siirron, josta drooneissa hyödyttäisiin hyötykuormadatan siirrossa, esimerkiksi välittämään korkearesoluutiovideokuvaa valvontadroonista valvomoon tai vaikkapa reaaliaikaisia sää- ja ympäristöolosuhdetietoja. 5G mahdollistaa myös verkkokapasiteetin siivuttamisen, jota drooneissa voidaan hyödyntää varmistamalla droonille yksi siivu pienviiveiselle ja luotettavalle yhteydelle droonin ohjausta varten ja toinen siivu huippunopealle datansiirtoyhteydelle esimerkiksi edellä mainittua korkearesoluutiovideokuvaa varten. 5G mahdollistaa myös beamforming:n käytön nykyisiä teknologioita tehokkaammin. Beamforming kohdistaa tukiaseman radiokeilan juuri tiettyyn vastaanottimeen (tässä yhteydessä drooniin) parantaen merkittävästi vastaanotetun signaalin laatua. Se mahdollistaa liikkuvan vastaanottimen seuraamisen radiokeilalla.

4.7 Droonit ja sää

Vaikka ammattikäyttöön tarkoitetut droonit voivat toimia sateessa, ne ovat kuitenkin herkkiä sääolosuhteille. Myös kova rankkasade heikentää droonin hyötysuhdetta ja lentoajat jäävät normaalia lyhyemmäksi. Sade vaikuttaa heikentävästi myös erilaisten hyötykuormien, kuten kameroiden, toimintaan. Esimerkiksi sade heikentää videokuvan laatua ensivasteelle. Toinen keskeinen säätekijä on tuuli. Käytännössä kaikilla drooneilla on jokin maksimituulennopeus missä droonia voidaan turvallisesti operoida. Tyypillisesti mitä pienempi drooni, sitä pienempi on maksimi tuulen nopeus. Vaikka droonilla voitaisiin operoida kovassakin tuulessa, heikentää tuuli oleellisesti maksimi lentoaikaa. Kovaa tuulta vieläkin haasteellisempi on tuulenpuuskat. Ne vaikeuttavat erityisesti nousu- ja laskuvaiheessa drooni operointia ja niin kuin kappaleessa 4.3. laskeutumispaiikat mainittiin, isoilla drooneilla, kuten droonitakseilla ja raskaan logistiikan drooneilla, puuskat lisäävät merkittävästi nousuun ja laskeutumiseen liittyviä riskejä. Kolmas merkittävä säähän liittyvä haaste on jäätävät olosuhteet. Drooneja ei yleensä ole suunniteltu jäätäviin olosuhteisiin, mikä rajoittaa jokseenkin Suomessa ympäri vuoden tapahtuvaa droonioperointia. Viimeisenä mainittakoon avaruussää, joka voi vaikuttaa heikentävästi GNSS-paikkasignaaleihin tai se voi esiintyä radiohäiriönä radiolinkeissä.

Drooneissa ja muissa ilma-aluksissa yleisesti käytetty korkeusmittaus perustuu ilmanpaineen mittaamiseen. Tulevaisuuden droonitoiminnassa korkeuden mittaamisen tarkkuusvaatimukset ovat nykyistä vielä suurempia. Turvallinen lentotoiminta drooneilla edellyttää, että ne kykenevät

säilyttämään korkeusporrastuksen maahan, rakenteisiin, puustoon, toisiin lentäviin drooneihin ja lisäksi tietysti perinteisiin ilma-aluksiin. Tällä hetkellä droonijärjestelmiltä puuttuu yhteinen korkeusmittauksen referenssijärjestelmä (Eurocontrol 2018)

Tulisikin selvittää voisiko ilmanpaineen mittaamiseen perustuvista järjestelmistä rakentaa tällaisen referenssimittausjärjestelmän. Selvityksen tarkoitus olisi todentaa, että pystytäänkö riittävän laadukkailla ilmanpainehavainnoilla, sääennusteilla, muulla säätiedolla ja nopean tiedonvälityksen avulla ottamaan sääilmiöiden aiheuttamat ilmanpaineen muutokset niin tarkasti huomioon, että korkeusmittauksen laatu täyttää asetetut vaatimukset.

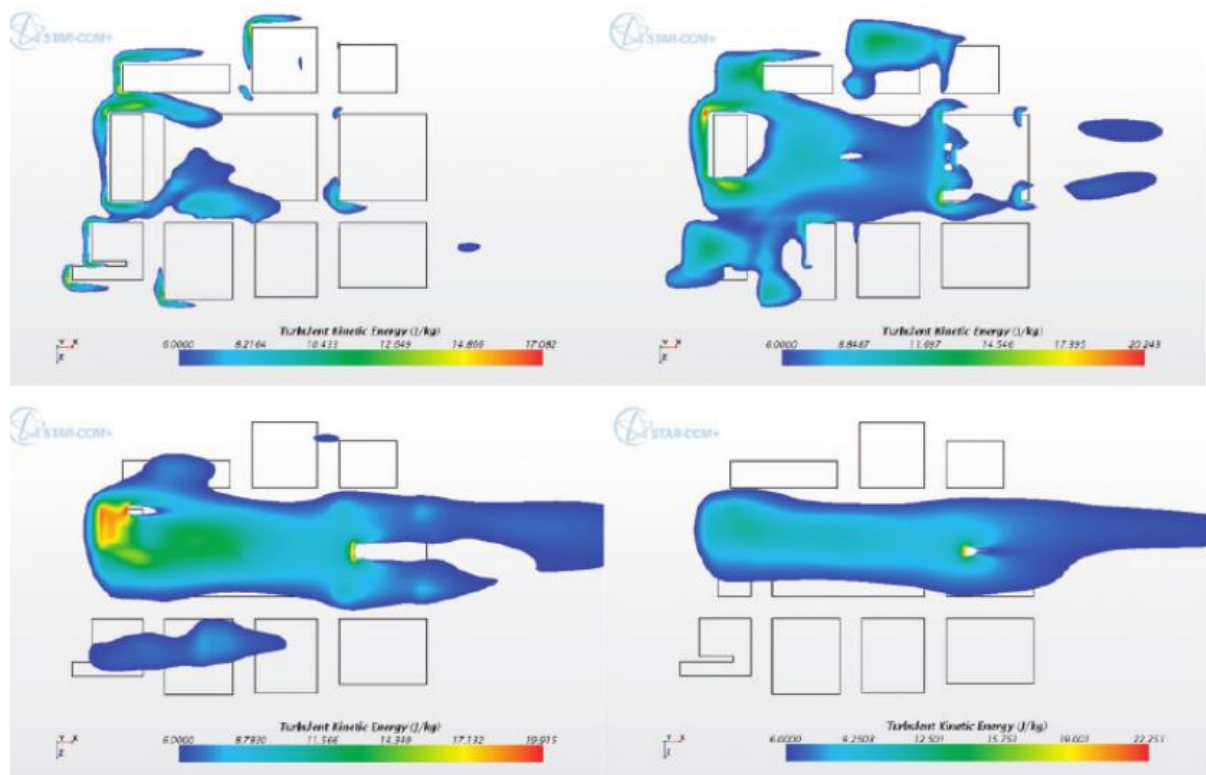
Muun muassa Ilmatieteenlaitos kehittää drooneille tarkkoja ns. droonisääennusteita. Tällaisesta droonisääpalvelusta operaattori voi varmistua tuulen nopeudesta, sen suunnasta ja tuulenpuuskista. Lisäksi tällaisessa sääpalvelussa nähdään, mihin aikaan vuorokaudesta ja millä korkeudella lennettäessä on riski jäätäviin olosuhteisiin. Droonisääpalvelusta nähdään myös avaruussää.

Kaupungeissa tarkkojen droonisääennusteiden tekeminen on haastavaa, etenkin tuulen suhteen, sillä tuulen mallinnus vaatisi myös kaupungin tarkkaa virtaussimulaatiomallinnusta. Nykyisin on mahdollisuus käyttää uuteen LIDAR-tekniikkaan pohjautuvia tuulitutkia tarkempaan tuulen pieniskaalaisten muutosten havaitsemiseen ja mallintamiseen kaupungeissa.

Kuten aiemmin mainittiin, tuulen mikroskaalan vaihteluiden vaikutusta droonitoimintaan voidaan arvioida virtaussimulaatiomallinnuksella. Samalla laskentatekniikalla on Suomen oloihin sovellettuna jo aiemmin tutkittu ilman epäpuhtauksien kulkeutumista kaupunkiympäristössä. (Mona Kurppa 2016)

Tuulen muodostumisen kompleksisuutta kuvaa hyvin myös tutkimus, joka julkaistiin 2017 International Journal of Micro Air Vehiclessä (Anderson 2017). Tässä tutkimuksessa Glasgow'n kaupungin George-aukiosta tehtiin digitaalinen malli ja sen avulla mallinnettiin tuulen aiheuttaman turbulenssin kineettinen energia George-aukiolla. Turbulenssin kineettinen energia vaikuttaa suoraan droonin suorituskykyyn ja lisää drooni riskiä törmätä rakenteisiin erityisesti noustessa tai

laskiessa.



Kuva 3 Turbulenssin kineettinen energia eri korkeuksissa George-aukiolla

Kuvassa mallinnettiin turbulenssin kineettinen energia 10m, 20m, 30m ja 40m korkeudessa. Tutkimuksessa havainnollistettiin, että drooniin kohdistuva energia on sitä pienempi mitä matalammalla drooni lentää. Käytännössä operointi esimerkiksi 30m korkeudessa voi olla haasteellista korkeiden rakennusten läheisyydessä, sillä operointi tällaisessa ympäristössä vaatii tarkkaa kaupunkimallinnusta sekä kehittyneitä järjestelmiä ohjata drooneja rakennusten välissä. Kaupungin tuuliprofiili olisi siis hyvä ymmärtää myös droonikäytävien suunnittelussa. Droonien käytön yleistyessä kaupunkitilassa niiden ympärillä vallitsevan mikrosään ennustaminen etenkin tuulen nopeuden ja turbulenssin kineettisen energian kannalta kannattaisi keskittää erityisesti drooneille suunniteltuihin lentokäytäviin ja alueisiin, joissa ne tekevät suuria määriä laskeutumisia ja nousunlähtöjä.

5 Droonien käytäväsuunnittelut

Useissa yhteyksissä, joissa tulevaisuuden kuvaa droonien laajamittaisesta toiminnasta kaupungeissa hahmotellaan, ideana on, että droonit voisivat operoida täysin vapaasti riippumatta siitä, minkälaisia riskejä mahdolliset ongelmatilanteet voisivat luoda ihmisille ja infrastruktuurille. Kaikkien droonien luotettavuutta ei todennäköisesti haluta kustannussyistä rakentaa samalle, korkealle luotettavuustasolle kuin miehityssä ilmailussa. Näin ollen maariski tulee säilymään keskeisenä rajoittavana tekijänä operoida kaupunkialueilla. On hyvin todennäköistä, että sitä mukaan, kun droonien teknologia kehittyi luotettavammaksi, kasvaa myös drooneilla tehtävien operaatioiden vaatimustasot. Lisäksi kun droonien paino kasvaa isompien pakettien myötä droonilogistiikassa, maariskin vaikuttavuus kasvaa, riippumatta droonien kasvavasta luotettavuustasosta. Vaikka droonin luotettavuus olisi samalla tasolla kuin nykypäivänä miehityssä ilmailussa (10^{-6}),

tulevaisuudessa maahan kohdistuva summariski olisi merkittävä johtuen dronien huomattavasti isommasta lukumäärästä kaupunkialueilla.

Dronien käytävät tulisi suunnitella tarveperusteisesti siten, että vapaiden lentoreittien lisäksi dronit voivat käyttää ennalta määriteltyjä ilmakäytäviä kaupunginosista toisiin ja kaupunginosassa dronitoiminnan kannalta merkittävien pisteiden välillä. Tarveperusteiseen suunnitteluun vaikuttaa kuitenkin merkittävästi maariski, eli riskit, jotka saattaisivat aiheuttaa ihmisille loukkaantumisia tai infrastruktuurille vaurioita dronien laskeuduttua hallitsemattomasti. Lisää maariskistä ja siitä miten se vaikuttaa käytäväsuunnitteluun löytyy kappaleessa 5.1. Maariski käytävien suunnittelussa.

Dronikäytävät ovat vielä hyvin uusi konsepti. Tätä kirjoittaessa tiedossa ei ollut yhtään tutkimusta, joka keskittyisi nimenomaan dronikäytäviin. Tällä hetkellä dronikäytäviä on perustettu muutamia testikäyttöön, mutta käytävien tarkoituksena on ollut eristää dronien käyttämä ilmatila miehitetystä ilmailusta ja ne ovat perustettu kauas kaupungeista. (Dronelife 2018) (The Drone Girl 2018) (The Economic Times 2019) (Unicef 2018)

5.1 Maariski käytävien suunnittelussa

Kaupungeissa dronikäytävien suunnittelussa tulisi lähteä liikkeelle siitä, että kyseessä on aina BVLOS-toimintaa tiheästi asutun alueen päällä. SORA-viitekehysten (Katso kappale 3.2. SORA-Riskianalyysi) mukaan riskiluokka tällöin on 5–10 riippuen kineettisestä maahan kohdistuvasta energiasta ja dronin koosta. Tätä riskiluokkaa voidaan vähentää SORA:ssa mainituilla kolmella tavalla, joista käytäväsuunnittelussa tärkeimpiä ovat mahdollisesti vaarassa olevien ihmisten määrää vähentäminen lentoalueella (M1 - Strategic mitigations for ground risk) ja dynaamisen iskuvoiman pienentäminen (M2 - Effects of UA impact dynamics are reduced). Riippuen kuinka järeitä kyseiset tavat ovat, voidaan maariskiluokkaa vähentää näillä menetelmillä -1stä -6:een, kuitenkin maksimissaan riskiluokkaan 1–4, riippuen mikä on kyseisen dronin kineettinen energia ja dronin mitat (alle 1 – yli 8m). Eli jos dronin siipien väli tai roottoreiden väli on yli 3m mutta alle 8 metriä ja kineettinen maahan kohdistuva energia on alle 34KJ, riskiä voidaan pienentää maksimissaan riskiluokkaan 2. (JARUS 2019)

Koska SORA viitekehys on uusi ja vielä kehittyvä menetelmä kansalliselle viranomaiselle kuten EU-viranomaisille, saattaa kansallisen viranomaisen tulkinta olla eriävä mitä tässä dokumentissa on esitetty. Viitekehys ja tämä dokumentti antaa kuitenkin hyvät perusteet jatkaa keskusteluja kaupunkien, dronioperaattorien ja kansallisten viranomaisten kanssa yhteisen näkökannan saavuttamiseksi.

5.1.1 M1- Strategic mitigations for ground risk

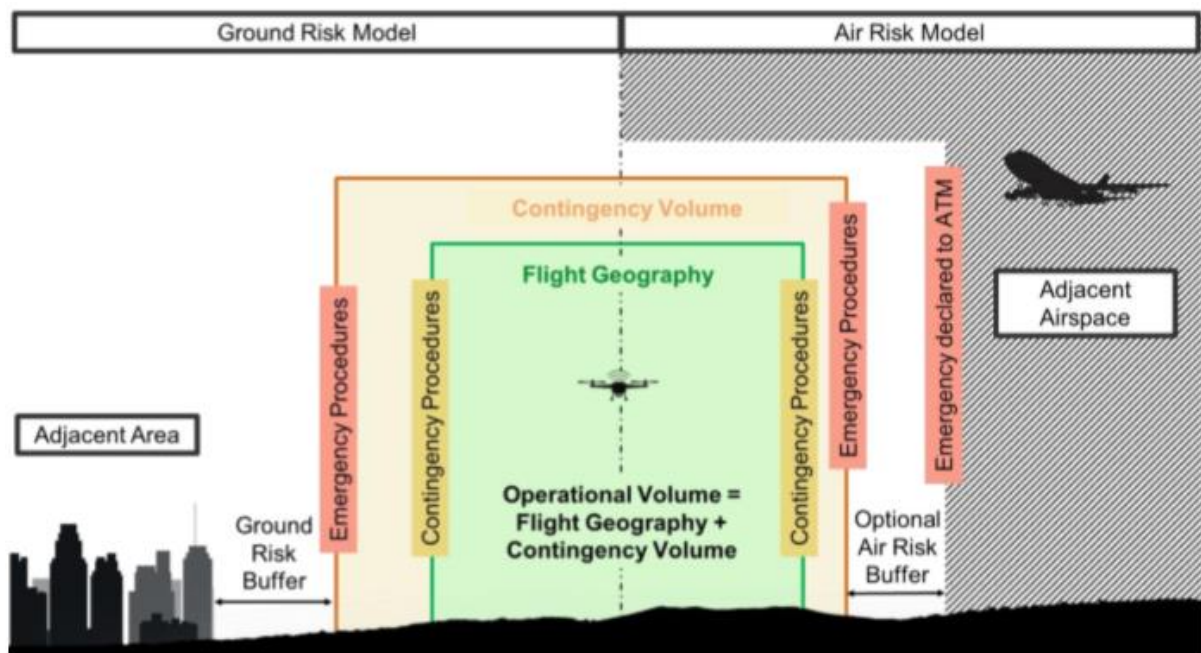
Mitigaatioluokka M1 sisältää SORA:ssa kaksi kriteeriä, joista toisessa määritetään maariskin maantieteellisen puskurin koko (Criterion #1 Definition of the ground risk buffer), ja toisessa arvioidaan riskialttiiksi joutuvien ihmisten määrään (Criterion #2 Evaluation of people at risk). Käytäväsuunnittelussa kummallakin näistä on keskeinen rooli.

Nykyinen SORA arvio ei ota suoranaisesti kantaa lentokäytäviin ja erilaisten lentokäytävissä mahdollisten menetelmien vaikuttavuuteen maariskin luokituksessa. Koska SORA viitekehysten tarkoitus on toimia yleisenä ohjeistuksena droni toiminnalle, se ei ota suoraan kantaa esimerkiksi lentokäytäviin. Tämä käytännössä tarkoittaa sitä, että lentokäytävien suunnittelussa tulisi ottaa Suomen siviili-ilmailusta vastaava viranomainen (Traficom) läheisesti yhteistyöhön mukaan.

5.1.1.1 Kriteeri #1: Käytävän leveys

Kriteeri #1: Käytävän leveydellä määritetään SORA-arviossa mainittu maantieteellisen puskurin koko. Käytävän leveys SORA:n mukaan tulisi määräytyä dronin lentokorkeuden mukaan. Eli jos droni

lentää 50m korkeudessa, tulisi käytävän leveyden olla 50m. Matalampi lentokorkeus vaatisi siis pienemmän leveyden lentokäytävissä. Kaupunkisuunnittelun osalta esimerkiksi 50m leveä turvapuskurin voi olla monesti mahdoton toteuttaa, ja tämän takia lentokäytävissä dronien lentokorkeudet voisivat olla huomattavasti matalampia. Lentoalueen kokoon vaikuttaa myös lentoalue ja turva-alue, eli alue, joka on varsinaista aiottua lentoaluetta isompi. Näiden alueiden lisäksi maariskiin voidaan tarvita puskurietäisyys. Tähän kokonaisalueen kokoon (lentoalue + turva-alue + puskurialue) vaikuttaa dronin ominaisuudet, kuten liikkumis-, reagointi- ja navigointitarkkuus, sekä haluttu lentonopeus ja sallitut sääolosuhteet.



Kuva 4: SORA viitekehysten semanttisen mallin kuva lentoalueista (JARUS 2019)

Tämä määritelmä kuitenkin vähentää maariskiä vain yhdellä pisteellä, joten isompien dronien osalta vaaditaan muita riskien pienentämiskeinoja. Maantieteellisen turvapuskurin kokovaatimukset muuttuvat todennäköisesti vielä SORA-kehitystyön edetessä.

Jotta käytävien maariskiluokkaa voitaisiin vähentää enemmän, tulisi maariskipuskurissa eli käytävän leveydessä ottaa huomioon:

- todennäköiset toimintahäiriöt tai muut häiriöt (mukaan lukien suurenergisten osien, kuten roottoreiden ja potkurien projisointi),
- meteorologiset olosuhteet (esim. tuuli),
- dronin ohjauksen latenssi, joka vaikuttaa dronin ohjattavuuteen,
- dronin käyttäytyminen, kun tekninen suojausmenetelmä (kuten hätälaskuvarjo) aktivoidaan,
- sekä dronin operationaalinen suorituskyky.

Tällaista tarkempaa analyysia on jonkin verran tutkittu (S. Primatesta 2018), (Stefano Primatesta 2019). Näissä tutkimuksissa käy ilmi, että maariskiin vaikuttaa suuresti droniin liittyvät parametrit, kuten dronin tyyppi (kiinteäsiipinen tai multikopteri), dronin massa, liitokulma, jne, sekä tuulen suunta, tuulen nopeus, jne. Lisäksi maariskin muodostumiseen vaikuttaa suuresti kaupungin maantieteelliset olosuhteet, rakenteet ja puustot.

Alla olevassa taulukossa on listattu ne parametrit, joita on käytetty tutkimuksessa (S. Primatestaa 2018).

Drooni tyyppi (Kiinteä, pyörivä, multikopteri)
Massa (kg)
Etuosan pinta-ala (m²)
Halkaisija (m)
Maksimi lentoaika (h)
Ilmanvastus (N)
Horisontaalinen nopeus (m/s)
Vertikaalinen nopeus (m/s)
Liitonopeus (m/s)
Liitosuhde
Ilmanvastus laskuvarjolla
Laskuvarjon pinta-ala
Laskuvarjon laukaisunopeus

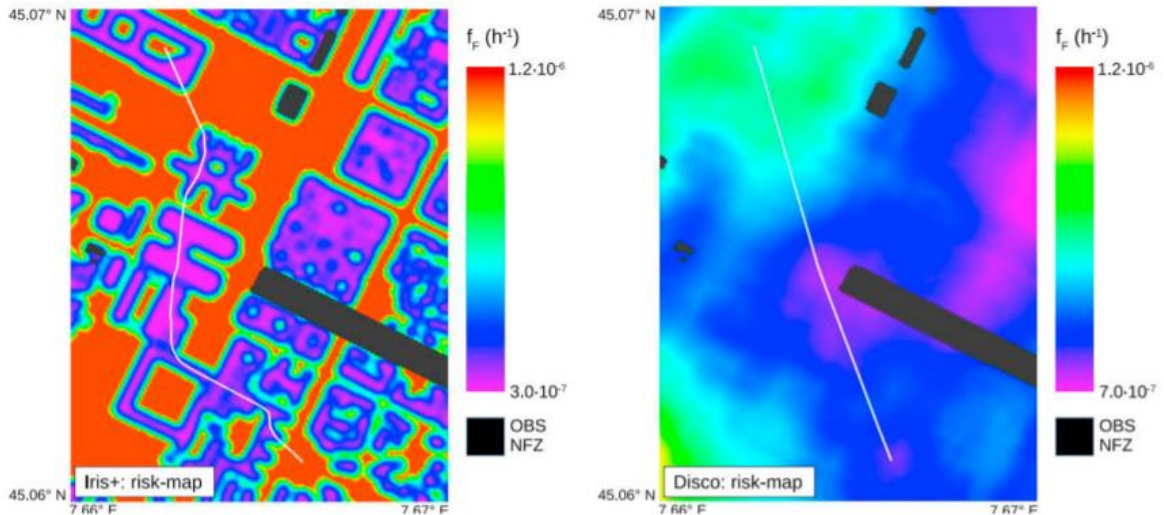
Taulukko 3: Tutkimuksessa *Ground risk map for Unmanned Aircraft in Urban Environments* käytetyt parametrit, joilla tutkimuksen maariskikartta on laadittu (S. Primatestaa 2018)

Tutkimuksissa mallinnettiin maariskiä pienellä alalla italialaisessa Torinon kaupungissa. Mallissa otettiin huomioon kaupungissa olevat esteet (kuten rakennukset), väestötiheys alueella, katokset tai muut suojat ja lentokieltoalueet. Tutkimuksissa mallinnettiin droonin mahdollinen vaikutus ihmiseen laskemalla ihmisen keskimääräinen pinta-ala ja miten drooni voi vaikuttaa ihmiseen erilaisilla liitokulmilla ja nopeuksilla. Suojat (kuten katokset), määriteltiin eri suoja-alueisiin;

Suojausluokitus	Suojaustyyppi
0	Ei suojaa / esteitä, eli droonin ja maan välissä ei ole esteitä
2,5	Osittain puustoa
5	Puustoa tai matalia rakennuksia
7,5	Kokeita rakennuksia
10	Tehdasalue

Taulukko 4: Tutkimuksessa *Ground Risk Map for Unmanned Aircraft in Urban Environments* käytetyt suojausluokitukset

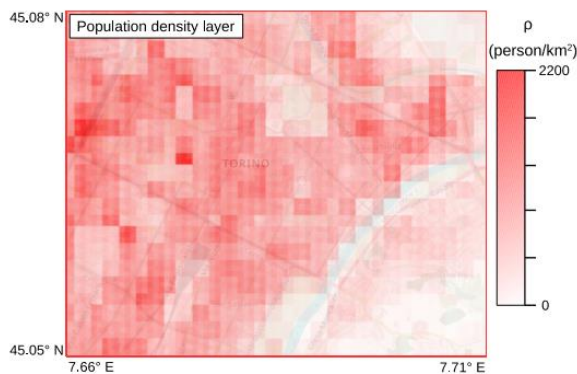
Tutkimuksessa (Stefano Primatestaa 2019) määritettiin algoritmeilla kahden pisteen välillä optimoitu reitti, joka sisälsi mahdollisimman pienen maariskin. Malli ajettiin erikseen multikopterille ja kiinteäsiipiselle. Tulokset olivat hyvin erilaiset.



Kuva 5. Maariskikartta samasta alueesta mallinnettuna Iris+ multikopterille ja Disco kiinteäsiipiselle droonille

Vasemmassa kuvassa on multikopterin reitti, joka sisälsi mahdollisimman pienen maariskin. Oikeassa kuvassa on taas kiinteäsiipisen reitti ja maahan kohdistuva maariski. Huomioitavaa on, että multikopterin maariski ja optimoitu reitti on hyvin erilainen kuin kiinteäsiipisen. Tämä johtuu erityisesti kiinteäsiipisen liito-ominaisuuksista, jotka muuttavat olennaisesti myös maahan kohdistuvaa riskiä kyseisellä alueella.

Saman tutkimusryhmän toisessa tutkimuksessa määritettiin tarkemmin riskikarttaa samaisessa kaupungissa droonien maariskin arvioimiseksi. Maariskikartta luotiin kaksiuotteisena sijaintipohjaisena karttana, joka määritteli väestölle aiheutuvan riskin lentotoiminnan perusteella tietyllä alueella. Riskikartta luotiin todennäköisyyslaskennalla yhdistämällä useita tasoja; väestön tiheys, suojien luokitukset, lentokieltoalueet ja esteet (kuten rakennukset ja puut). Tutkimuksessa käytettiin väestöntiheydessä 50m x 50m resoluutiokarttaa.

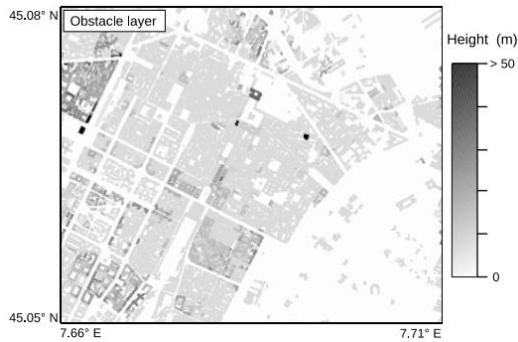


Kuva 6. Väestöntiheydkartta



Kuva 7. Open Street Map kartta alueesta

Mallinnuksessa luotiin kaupungista estekartta käyttämällä Open Street Map -palvelua, josta mallinnettiin suojaluokituskartta 10m x 10m resoluutiolla



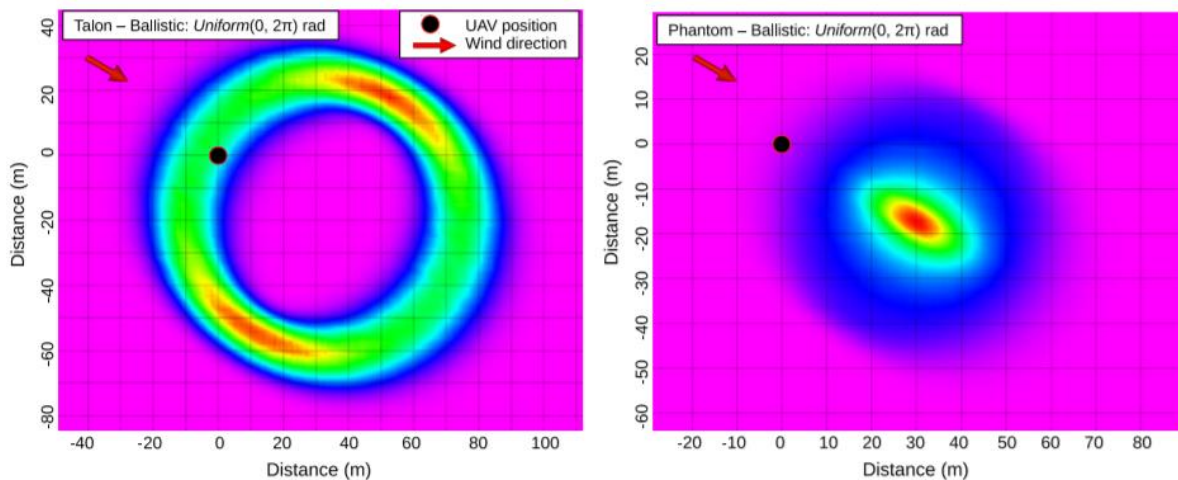
Kuva 8. 2D estekartta korkeuksineen, johdettuna Open Street Map kartasta



Kuva 9. 2D suojakerroin kartta

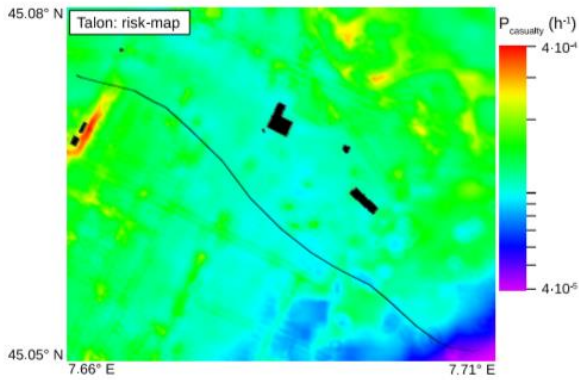
Kuvassa oikealla on esteet yhdestä Torinon kaupungin alueesta, joka on haettu 3D kartasta Open Street Map -palvelusta. Vasemmalla kartta suojakertoimista.

Näiden tietojen perusteella mallinnettiin neljä erilaista laskeutumistapahtumalajia: ballistinen laskeutuminen, hallitsematon liito, laskuvarjolla laskeutuminen ja droonin karkaaminen. Kullekin laskentatypille käytettiin matemaattista mallia, jolla määritettiin todennäköinen vaikutusalue ottaen huomioon drooni-spesifikaatiot ja alkutilanteet. Maanpinta-alaa kuvataan georeferoidulla kaksiulotteisella todennäköisyystiheysfunktioilla (2D PDF), jolla voitiin arvioida todennäköisyys vaikutusalueesta ilma-aluksen sijainnin suhteen.

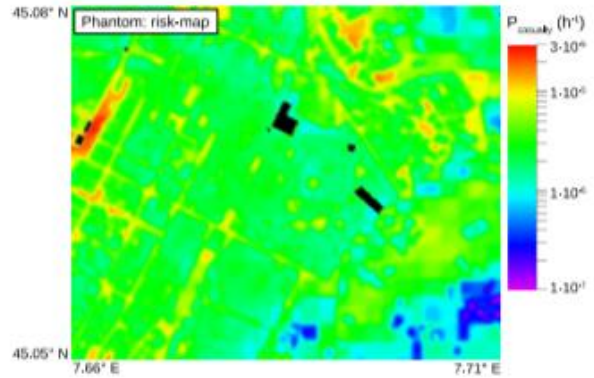


Kuva 10. Todennäköisyyskartta Talon kiinteäsiipisen droonin ja Phantom-multikopterin törmäämisestä maahan. Vihreä kuvaa pientä todennäköisyyttä, punainen suurta todennäköisyyttä

Ballistisessa laskeutumisessa todennäköisyys sijainnista vaikuttaa suuresti sen perusteella oliko kyseessä kiinteäsiipinen vai multikopteri. Kiinteäsiipisen todennäköinen sijainti oli huomattavasti erilainen kaikissa muissakin laskeutumistilanteissa verrattuna multikopteriin.



Kuva 11. Talon merkkisen kiinteäsiipisen riskikartta



Kuva 12 Phantom multikopterin riskikartta

Yhdistetty riskikartta, joka sisältää kaikki tutkimuksessa olleet laskeutumisskenaariot, on jokseenkin samanlainen vaikkakin kiinteäsiipisen ja multikopterin riskeissä on erojakin. Tämän tutkimuksen tuloksia tarkkailtaessa on tärkeä huomioida, että se käsitti vain hyvin kevyitä, noin 1kg:n painoisia drooneja, joilla liiketoimintanäkökulmasta on rajallinen kaupallinen potentiaali.

Tutkimus kuitenkin osoitti, että kaupunkiympäristössä voidaan määrittää drooneille riskikartta, jota voidaan käyttää käytäväsuunnittelussa. On tärkeää huomioida, että droonien ominaisuudet määräävät suuresti riskien muodostumisen. Tämän takia käytäväsuunnittelussa riskikartta-analyyseissä tulisi analysoida useampaa droonityyppiä, jotka ovat eripainoisia, omaavat erilaisia aerodynaamisia ominaisuuksia ja joita ohjataan eri tekniikoilla. Olisi tärkeää löytää riskiarviointimalli, joka soveltuu mahdollisimman monelle drooni- ja operaatiotyyppille, ilman erillisanalyysejä.

Tarkempi analyysi maariskeille vaatii vielä lisää tutkimusta, jotta käytävien leveyttä ja käytävien riskejä voitaisiin arvioida tarkemmin.

5.1.1.2 Kriteeri #2: Riskille altistuvien ihmisten määrän vähentäminen

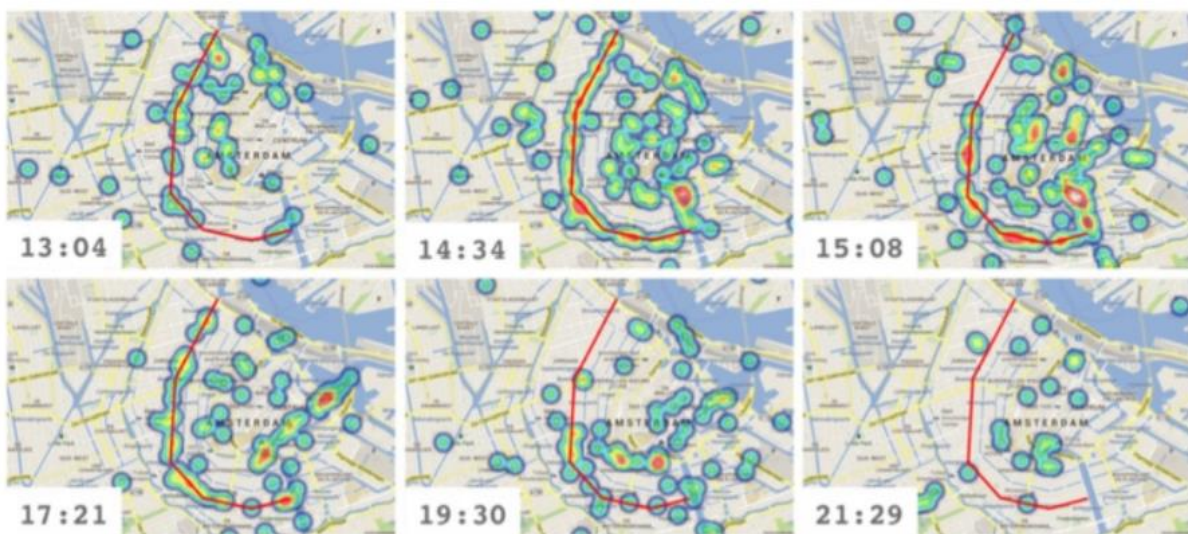
Kriteeri "2: Riskille altistuvien ihmisten lukumäärään voidaan vaikuttaa erityisesti arkkitehtuurillisilla ratkaisuilla. Esimerkiksi suunnitteleamalla lentokäytävät siten, että ne käyttävät mahdollisimman paljon vesistöjä ja metsiä, joissa ihmisten läsnäolon todennäköisyys on pieni. Ydinkeskustoissa lentokäytävät voinee suunnitella rakennusten kattojen päältä ja uusissa kaupunginosissa, joissa arkkitehtoniin ratkaisuihin voidaan vielä suuresti vaikuttaa, tulisi suunnitella mm. vesialtaita ja metsäpuistoja tai urbaaneja viljelysmaita talojen katoille, missä ihmisiä oleskelisi vähemmän tai ei lainkaan.



Kuva 13. 2D Havainnekuva DB Word:n Cargospeed konseptista

Kuvassa 13 on havainnekuva DB World:n Cargospeed konseptista, jossa ajatuksena on kuljettaa suuria määriä tavaraa Virgin Hyperloop Onella ja viimeinen maili logistiikkadroonilla kaupungin keskusta. Tässä havainnekuvasa droonit voisivat käyttää Hyperloopin rakennetta droonikäytävänä.

Kriteerin #2 perusteella ihmisten määrää lentokäytävillä tulisi myös pystyä mittaamaan esimerkiksi mobiiliteknologian avulla. Useilla teleoperaattoreilla on jo nyt tarjota ratkaisuja määrittää halutusta alueesta ihmisten määrää ja liikkumista miltei reaaliajassa (Telia, Finland 2018). Tällaisia palveluita voitaisiin käyttää arvioidessa lentokäytävän kelpoisuutta erilaisille drooneille annetulla ajanhetkellä. Tutkimukset osoittavat, että väestö liikkuu kaupungissa merkittävästi saman päivän aikana (Katso kuva 14, Väestön liikkuminen kaupunkialueella klo 13–22 välillä). Samaten väestön liikkuvuus eri viikonpäivinä ja kuukausina eroaa suuresti toisistaan. Tämän takia käytäväsuunnittelussa tulisi ottaa huomioon väestön liikkuminen päivän aikana, mutta myös pidemmän aikavälin otantana. Lähde: (Tobias Franke* 2015). Vaikka lentokäytäviä ei jollain alueella suunniteltaisi, on tällainen dynaaminen ihmisjoukon seuranta hyödyllinen välttämään hankalasti ennakoitavat väkijoukot.



Kuva 14. Väestön liikkuminen kaupunkialueella klo 13–22 välillä. Lähde: (Tobias Franke* 2015)

5.1.2 M2 - Effects of UA impact dynamics are reduced

Riskimitigaatioluokka M2 sisältää SORA:ssa kolme kriteeriä, joista ensimmäinen (Criterion #1 Technical design) pyrkii pienentämään riskiä teknisin keinoin, kuten esimerkkinä on hätälaskuvarjon avulla. Toinen kriteeri (Criterion #2 Procedures) pyrkii pienentämään riskiä muilla toimenpiteillä. Tällainen voisi olla esimerkiksi katos, joka suojaa ihmisjoukkoa droonilta. Kolmas kriteeri (Criterion #3 Training) keskittyy suojakeinojen käyttökoulutukseen.

Tässä mitigaatioluokassa keskeisintä käytäväsuunnittelun suhteen on suojaavat rakenteet. Suojaavia rakenteita tulisi harkita tapauksissa, joissa käytävää ei voida muuten suunnitella kulkevan sellaisten alueiden läpi, joissa ihmisten määrä dronen kulkureitillä olisi vähäinen. Tällaisia kohtia on esimerkiksi torit ja aukiot joihin droonilla logistisista syistä tulisi päästä. Dronilogistiikassa, kuten aikaisemmin mainittiin, tulisi niiden laskeutumispisteet suunnitella kaupungeissa keskeisiin paikkoihin, joissa logistisesti saavutetaan suuri hyöty. Keskustojen aukiot ovat suurella todennäköisyydellä juuri sellaisia pisteitä, joissa dronilogistiikan laskeutumispiste tuottaisi suuren hyödyn. Maariskin näkökulmasta suojaava kattorakenne osittain tällaisen aukion päälle olisi hyvä keino mahdollistaa dronin lentäminen aukiolle.

Vaikka käytäväsuunnittelulla voitaisiin vähentää maariskiluokkaa, on tässä yhteydessä mainittava, että SORA-arviota tehtäessä tulisi käyttää myös muita keinoja vähentää maariskiä. Nämä keinot eivät suoranaisesti liity käytävien suunnitteluun. Tällaisia keinoja ovat esimerkiksi operaattorin selkeät toimenpiteet tilanteissa, joissa droni ei ole enää ohjattavissa. Operaattorilla tulisi olla selkeät toimintaohjeet myös hätätilanteiden varalle. Näiden lisäksi maariskiä tulisi kyetä pienentämään teknisillä varusteilla, kuten hätälaskeutumisvarjolla.

5.2 Ilmariski käytävien suunnittelussa

Ilmariski on toinen SORA arvioinnissa käytettävä arviointiperuste. Kaupunki olosuhteissa isoimman ilmariskin muodostavat käytännössä muut dronit sekä matalalla lentävät helikopterit.

EU:ssa on tulossa pakolliseksi U-space-järjestelmä, jonka tehtävänä on luoda yhteinen ilmatilannekuva, jotta miehitetyn ja miehittämättömän ilmaliikenteen yhteentörmäyksiltä vältyttäisiin. Suomessa on käynnissä EU:n laajin U-space demonstraatio, jossa kehitetään yhteinen lennontiedotusjärjestelmä, minkä kautta eri dronien liikenteenohjausjärjestelmät (UTM eli Unmanned Traffic Management) saavat reaaliaikaista kuvaa ilmatilasta. U-space tulee olemaan erittäin keskeinen järjestelmä ilmariskien pienentämiseksi.

5.3 Dronikäytävien laskeutumispaikkojen määrittäminen

Optimaalisten laskeutumispaikkojen määrittäminen on käytäväsuunnittelussa tärkeää. Dronien, erityisesti logistiikkadronien ja dronitaksien, pitäisi kyetä liikkumaan kaupunginosista toiseen ilman suurta maariskiä eli niin, että eri pisteiden väliltä löytyisi käytävä, jossa maariski on riittävän pieni. Laskeutumisverkostot, mukaan lukien hätälaskeutumispisteet, ovat myös oleellinen keino pienentää maariskiä. Drooneilla tulisi olla riittävän tiheästi paikkoja, minne ne voivat turvallisesti laskeutua hätätilanteissa, kuten tapauksissa missä moottori rikkoutuu. Erityisesti dronitakseissa tiheä laskeutumisverkosto on erittäin tärkeä keino pienentää ihmiseen kohdistuvaa riskiä hätätilanteissa, sillä maahan hallitsemattomasti laskeutunut dronitaksi aiheuttaisi aina matkustajalle vakavan loukkaantumisen tai kuolemavaaran.

Laskeutumisverkosto tulisi suunnitella myös siten, että dronit kykenevät liikkumaan kaupallisesti merkittävien pisteiden välillä. Nyrkkisääntönä voisi pitää, että siellä missä on paljon ihmisiä on myös

tarve droonipalveluille. Tämä asettaa erityisvaatimuksia käytäväsuunnittelulle, niin kuin kappaleessa 5.1 Maariski käytävien suunnittelussa kävi ilmi.

Droonilogistiikassa pisteet mihin droonien tulisi kaupunkiolosuhteissa lentää ovat logistiikan solmukohdat (kuten kaupungissa sijaitsevat logistiset pien-/välivarastot), sekä pisteet, joihin kohdistuu nykyisin suurta tavaraliikennettä, esimerkiksi yrityskeskittymät ja toimistohotellit.

Näiden lisäksi droonilogistiikka jo nykyisellään keskittyy suurilta osin kuluttajiin, joten käytäväsuunnittelussa tulisi ottaa huomioon myös asuinalueet, joissa tiedetään jo nyt olevan runsaasti pakettien kuljetuksia (lukuun ottaen myös ruokakuljetukset).

5.4 Melusuunnittelu

Droonit tuottavat meluhaittaa. Melusta on kerrottu tarkemmin kappaleessa 4.1. Melu.

Käytäväsuunnittelussa melu tulisi ottaa huomioon samaan tapaan kuin muussa liikennesuunnittelussa. Droonien melua voidaan vähentää esimerkiksi istutuksilla tai akustisilla ratkaisuilla. Melulle voidaan myös asettaa vaatimuksia. EU-sääntely tuokin melurajoja Open-luokan drooneille (kts. kohta 3.1. Droonien käyttökategoriat uudessa EUn lainsäädännössä.)

5.5 Riskien arviointi

Samaan tapaan kuin droonioperaatioiden suunnittelussa, myös käytäväsuunnittelussa keskeinen työkalu on riskien arviointi ja tunnistettujen riskien pienentäminen. Käytäväsuunnittelussa tulisi ottaa huomioon erilaiset riskiskenaariot, jotka voisivat aiheuttaa vaaraa ihmisille käytävillä tai käytävien välittömässä läheisyydessä. Lisäksi riskiarvioinnissa tulisi arvioida mahdolliset uhat, jotka kohdistuvat infrastruktuuriin, erityisesti jos infrastruktuuriuhka kohdistuu toisiouhkana ihmisiin.

Riskejä tulisi tunnistaa sekä yleisesti käytäviin liittyvien riskien näkökulmasta että eri droonien näkökulmasta. Yleisiä käytäviin liittyviä riskejä ovat sellaiset riskit, jotka ovat droonin massasta, tyyppistä tai muista droonikohtaisista parametreista riippumattomia. Tällainen drooneista riippumaton riski voisi olla esimerkiksi sivullisen joutuminen huomaamatta droonikäytävään ajankohtana jolloin käytävässä on poikkeuksellisen paljon liikennettä.

Riskejä tulee tunnistaa myös droonien lähtökohdista. Riskit määräytyvät suuresti sen perusteella minkälainen drooni on käytössä ja mikä on sen aiottu käyttötarkoitus. Esimerkkinä riskit ovat hyvin erilaiset 7 kg multikopterille kuin 25kg kiinteäsiipiselle. Näiden lisäksi olennaista on selvittää droonin lentokelpoisuus, jotta voidaan määrittää droonin luotettavuus pysyä määritetyllä käytävällä. SORA-viitekehityksessä drooni ei saa ajautua ulos määritetystä lentoalueesta kuin kerran jokaista 10 000 lentotuntia kohden. (JARUS 2019)

Näistä syistä riskit tulisi aina arvioida droonikohtaisesti hakemalla riskianalyysin kannalta keskeiset parametrit operaattorin tuottamasta riskianalyysistä ja arvioida kyseisen droonin soveltuvuus suunniteltuun käytävään (Achim Washingtona 2017) (Ewen Denney* 2018). Riskianalyysissä tulisi ottaa huomioon mm. droonin kokonaismassa, turvallinen operointiaika ja -matka, liitokyykykyys, turvamekanismit, yms. Lisäksi riskiarviota tehdessä tulisi ottaa huomioon lentokelpoisuuteen liittyvät tekijät dronen suunnittelussa, valmistuksessa ja huollossa. Nämä tekijät auttavat määrittämään, onko käytävää varten suunnitellut riskin vähennysmenetelmät riittävät kyseisen droonin kannalta. Riskianalyysin arvioinnista ja hyväksynnästä vastaa Suomessa liikenteen turvallisuusvirasto Traficom.

Kun käytäviä vasta määritetään, voidaan suunnittelussa käyttää alustavia riskianalyysijä varten yleistettyjä parametrejä eri droonityypeistä. On kuitenkin huomioitava, että lopullinen riskiarvio

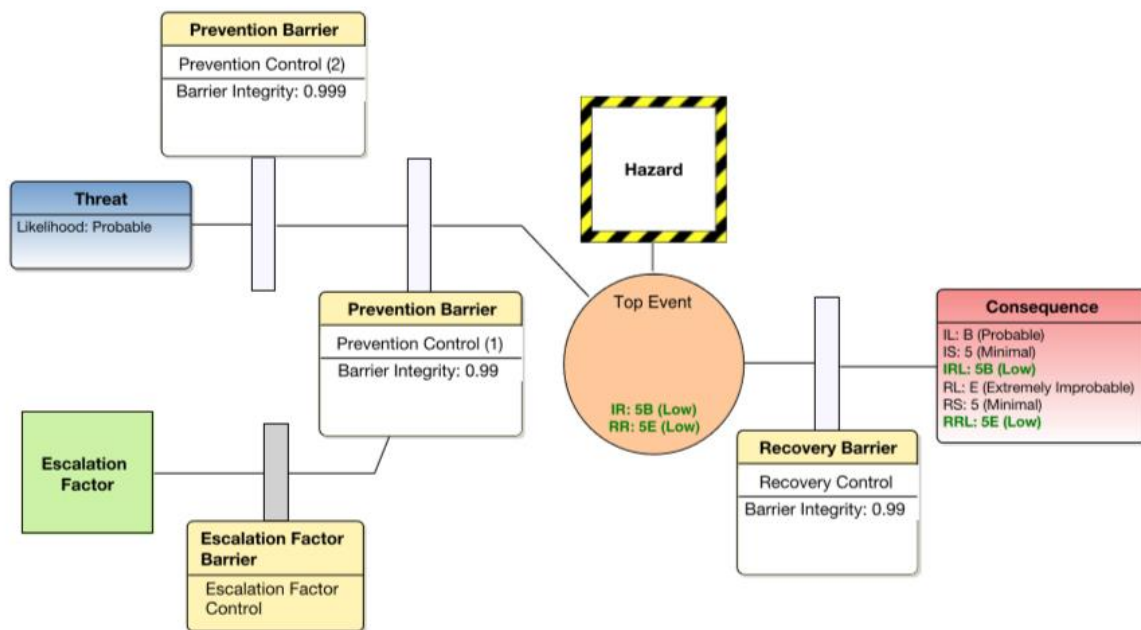
tulisi aina tehdä jokaisesta droonin omasta riskianalysistä saatavilla tiedoilla ja näin hyväksyä lopullisesti droonit käytäville riskiperusteisesti.

Koska jokaisen droonin soveltuvuus käytävään tulisi arvioida erikseen, on tärkeää luoda käytäville lupakäsittelymekanismi, jolla varmistetaan, että aiottu drooni suunniteltuun käyttötapaukseen ei lisää hallitsemattomasti droonikäytävään kohdistuvia riskejä. Menettely voisi perustua operaattorin tuottamaan riskianalysiin, joka arvioidaan droonikäytäväkohtaisesti viranomaisen toimesta. On huomioitavaa, että droonikäytäviä ei ole toistaiseksi olemassa, joten koko menettely täytyy luoda alusta. Menettely voi kuitenkin noudattaa samoja menetelmiä kuin nykyinen droonioperaatioiden lupamenettely Traficomilla.

5.5.1 Bowtie-menetelmä

Yksi yleisesti ilmailussa käytetty riskienhallintamenetelmä riskien tunnistamiseksi on Bowtie. Bowtie on menetelmä, jossa yhdessä kuvassa esitetään mahdollinen vaara (Hazard), josta johdetaan merkittävien tapahtuma (Top Event), joka voisi johtaa negatiiviseen lopputulemaan.

Käytäväsuunnitelmassa mahdollinen vaara (Hazard) voisi olla kontrolloimaton drooni ilmassa ja merkittävin tapahtuma voisi olla ennakkoimaton laskeutuminen alueelle, jossa on paljon ihmisiä. Tämä merkittävin tapahtuma jaetaan uhkiin (Threats) ja seurauksiin (Consequences), joita pyritään pienentämään ennaltaehkäisevillä toimenpiteillä (Prevention Barriers) ja korjaavilla toimenpiteillä (Recovery Barriers). Esimerkissä uhka (Threats) voisi olla tekninen vika akussa ja seuraus (Consequences) voisi olla vakava kolmannen osapuolen loukkaantuminen käytävän ulkopuolella. Ennaltaehkäisevä toimenpide voisi olla kahdennetun akun käyttö ja korjaava toimenpide voisi olla suojakatoksen alueella. (JARUS.ORG 2016) (BowTie Methodology Basics ei pvm) (CGE risk ei pvm)



Kuva 15. Bowtie-riskianalysikaavio

Bowtie-menetelmä on tehokas työkalu käytävien maarisien arviointiin, joka mahdollistaa myös riskin absoluuttisen riskiarvon laskemisen. Absoluuttisen riskiarvon ansiosta on mahdollista verrata matemaattisesti eri riskejä alentavien toimenpiteiden vaikuttavuutta alkuperäisiin riskeihin. (Ewen Denney* 2018)

5.6 Käytäväsuunnittelun menetelmä

Droonien käytävät ovat konseptina erittäin uusi ja tätä konseptia on tutkittu hyvin vähän. Käytäväsuunnittelua tulisi siksi kehittää yhdessä alan toimijoiden, kaupunkien ja kansallisten viranomaisten kanssa. Tässä kappaleessa avataan hieman niitä perusmenetelmiä, joihin tulisi kiinnittää huomiota käytäviä suunniteltaessa.

Koska turvallisuus on myös droonikäytävissä kaiken perusta, tulee riskien arviointiin kiinnittää erityistä huolellisuutta. Tämän takia käytäväsuunnittelussa tulisi käyttää useampaa riskianalyysiä eri vaiheissa suunnittelua.

Vaihe 1: Kaupungin riskikartan määrittäminen

Käytäväsuunnittelun perusta tulisi olla riittävän kattava riskikartta, jotta käytävien reitit voitaisiin suunnitella siten, että niihin kohdistuisi mahdollisimman pieni maariski. Samaa karttaa voitaisiin käyttää myös VLOS-toiminnan tarkempaa maariskiä arvioitaessa. Koska maariski muodostuu useasta drooniin liittyvästä parametrasta, tulisi maariskille analysoida useita drooniskenaarioita riittävän erilaisilla parametreilla. Parametrit voidaan valita alkuun eri toimijoilta, jotka voisivat olla potentiaalisia käytävien käyttäjiä.

Jatkossa riskikartta voitaisiin määrittää siten, että yksi riskikartta edustaisi useamman droonin parametrejä. Tällöin käytävän riskikartta edustaisi useampaa erilaista droonia. Tämä kuitenkin tarvitsee vielä lisätutkimusta.

Tulevaisuudessa riskikartta voisi olla myös dynaaminen, joka ottaisi mukaan mm. väestön liikkumisen paikasta toiseen eri kellonaikoina. Näin riskikartta voisi ohjata tietäntyyppiset droonit toista reittiä pisteiden välillä tai kieltää lennot kokonaan, mikäli maariski kasvaisi ihmisten siirtymisestä liian lähelle käytävää.

Vaihe 2: Kohdealueiden, laskeutumispisteiden ja hätälaskeutumispisteiden määrittäminen

Toinen tärkeä elementti käytäväsuunnittelussa on kohdealueiden, laskeutumispisteiden ja hätälaskeutumispisteiden määrittäminen. Kohdealueilla tarkoitetaan kaupungin alueita, joissa varmuudella kohdistuu tarve operoida droneilla. Alue voi olla asuinalue johon jatkossa droonitoimija voisi toimittaa pieniä paketteja, kuten Wing jo tekee (Wing 2019). Kohde voi myös olla esimerkiksi alue, jossa on paljon toimistoja tai se on muuten logistisesti tai ihmisten kuljetuksen kannalta keskeinen alue. Laskeutumispisteellä tarkoitetaan tarkempaa pistettä kohdealueella, johon droonin tulisi laskeutua. Laskeutumispisteen valinnalle on omat kriteerit, jota esitettiin kappaleessa 4.3 Laskeutumispaikat. Hätälaskeutumispisteet tulisi sijoittaa siten, että ne muodostavat aiotulla reitillä verkoston, jota droonit voivat käyttää vikatilanteissa. Reittisuunnittelun osalta vaiheessa 2 tulisi tunnistaa ne potentiaaliset pisteet (rakennukset, vesistöt, jne.), joita voidaan käyttää tarvittaessa hätälaskeutumispisteinä. Hätälaskeutumispaikeista on kerrottu enemmän kappaleessa 4.2. Hätälaskeutumispaikeet.

Kohdealueet tulisi määrittää drooniliiketoimintakategorioittain: pienlogistiikka, suurlogistiikka, droonitaksit ja muut. Kunkin kategorian liiketoimintatarpeet alueittain ja laskeutumispisteittäin on hieman erilaiset. Esimerkiksi pienlogistiikassa tarve voisi olla enemmän kauppakeskuksesta yrityskeskittymään, kun taas suurlogistiikassa tarve on logistiikkakeskuksesta pienempään jakelukeskukseen. Apuna kohdealueiden ja laskeutumispisteiden määrittämisessä apuna voi käyttää kaupungista kerättyä dataa, esimerkiksi kaupungin rakennustietoa, määrittämään alueet, joissa on paljon yritystoimintaa. Pääkaupungin alueella tällainen palvelu on pääkaupunkiseudun avoimen datan palvelu (Helsinki Region Infoshare 2019).

Jos riskikartta ei ole mahdollista laskea koko kaupungin alueelta, voidaan ensiksi määrittää kohdealueet minkä välillä dronien tulisi voida kulkea ja määrittää riskikartta kohdealueiden perusteella.

On myös huomioitava, että etenkin laskeutumispisteiden sijainti voi muuttua seuraavissa vaiheissa, kun reittejä suunnitellaan, tehdään tarkemmat riskianalysit ja luodaan toimenpiteet tunnistettujen riskien lieventämiseksi

Vaihe 3: Käytävien reittisuunnittelu

Kun kohdealueet, laskeutumispisteet ja hätälaskeutumispisteet on määritetty, tehdään seuraavaksi karkea reittisuunnittelu. Karkeassa reittisuunnittelussa määritetään reitit kaupunkialueiden välillä, siten että eri kohdealueiden välillä reitti kulkee vaiheessa 1 määritetyn riskikartan matalimpien riskiruudukkojen kautta. Ruudukot, jotka sisältävät korkeimmat riskit arvioidaan tarkemmin seuraavassa vaiheessa: Vaihe 4: riskianalyysi ja toimenpiteet riskien lieventämiseksi.

Yksi määräävä tekijä reittisuunnittelulle on hätälaskeutusverkostot. Vaiheessa 2 on tunnistettu ne potentiaaliset paikat, joita voidaan käyttää hätälaskeutumispisteinä. käytävien reitit tulisi suunnitella niin että reitillä on mahdollisimman tiheä hätälaskeutumispisteiden muodostama verkosto.

Reittisuunnittelussa tulisi ottaa huomioon myös meluprofiili. Melun lisäksi tuuliprofiili ja radioyhteyksien laatu on hyvä ottaa huomioon. Tuuliprofiilissa tärkeintä on määrittää mahdolliset alueet, joissa todennäköisyys tuulen kanavoitumiselle tai pyörteille ovat suuret. Tällaisia kohtia ovat mm. pitkät kadut, jotka ovat vallitsevien tuulensuuntien suuntaisia. Radioyhteydet taas ovat dronin operoinnin kannalta välttämättömiä. Kaupunkiolosuhteissa BVLOS-lennoissa eniten käytetty radioyhteys on mobiiliverkot ja siksi reittisuunnittelussa tulisi olla myös eri mobiilioperaattorien kuuluvuuskartta eri lentokorkeuksilla.

Reittisuunnitelmaa tehdessä tulisi suosia mahdollisimman lyhyttä reittiä kohdealueiden ja laskeutumispisteiden välillä. Energiankulutuksen kannalta lyhyin reitti olisi tietenkin suora linja, mutta tämä ei useasti kuitenkaan tule kysymykseen johtuen maariskistä, melusta, mobiiliverkkojen kuuluvuudesta, tuuliprofiilista, jne. Reittien suunnittelu on parhaimmillaan iteratiivinen prosessi, jossa reittiä suunnitellaan, sille tehdään riskianalysit, reitti uudelleen reititetään ja sille tehdään uusi riskianalyysi.

Käytävien reittisuunnittelu tulisi tehdä jokaiselle droniliiketoimintakategorialle erikseen, sillä esimerkiksi pienlogistiikan lentoprofiili on erilainen kuin dronitaksin. Lisäksi, mikäli on mahdollista, olisi etu arvioida saavutettuja liiketoimintahyötyjä kyseiselle reitille. Tämä auttaisi suhteuttamaan seuraavan vaiheen riskien lievennystoimenpiteiden kustannukset saavutettuun liiketoimintahyötyyn.

Vaihe 4: Riskianalyysi ja toimenpiteet riskien lieventämiseksi

Kun reittisuunnittelu (vaihe 3) on tehty, arvioidaan uudelleen riskit ja määritetään toimenpiteet riskien lieventämiseksi. Riskianalyysi aloitetaan riskikartan kohdista, joissa lentoreitillä riski on suurin. Riskianalyysi voidaan tehdä esim. Bowtie-menetelmällä (kts. Kappale 5.5 Riskien arviointi). Olennaista on tunnistaa korkean riskin alueista mahdolliset vaaratekijät, eli uhat ja jokaiselle vaaratekijälle toimenpiteet, joilla vaaratekijä voidaan joko ennalta ehkäistä tai seurauksen vaikutusta pienentää. Jokaisen toimenpiteen jälkeen tulisi määrittää jäännösriski ja päivittää jäännösriski riskikarttaan. Riskianalyysi tehdään jokaiselle alueelle (ruudukolle), jossa riski on korkea.

Jäännösriskiä määritettäessä olisi hyvä laskea sille yhteisvertainen absoluuttinen riskiarvo, niin että kokonaisriskille voidaan määrittää keskiarvo ja käyttää tätä keskiarvoa määrittämään mitkä muut alueet tulisi analysoida riskien pienentämiseksi.

Absoluuttisen arvon avulla on mahdollista verrata eri kaupunkialueiden riskien muodostumista ja toimenpiteiden vaikuttavuutta eri kaupunkialueilla. Lisäksi absoluuttinen arvo mahdollistaa riskien ja toimenpiteiden vaikuttavuuden vertailun eri kaupunkien välillä. Absoluuttinen riskiarvo auttaa myös keskusteluissa kansallisen viranomaisen kanssa.

Mikäli mahdollista, olisi hyvä myös arvioida riskien lievennystoimenpiteiden kustannuksia. Tämä auttaa myöhemmissä vaiheissa määrittämään droonikäytäväreitin kustannuksia ja vertaamaan niitä saavutettuun liiketoimintahyötyyn mikä syntyy, jos droonit voivat käyttää kyseistä reittiä. Esimerkkinä jos kyseisen reitin riskien lieventämistoimenpiteet ovat erittäin kalliita toteuttaa, mutta uudelleen reititysyrityksistä huolimatta jäännösriski on sama kuin alkuperäisessä reitissä, tulisi toimenpiteiden kustannuksia verrata arvioituun saavutettuun liiketoimintahyötyyn, joka voitaisiin saavuttaa mahdollistamalla droonien kulku alkuperäisellä reitillä.

Riskianalyysi tulisi myös tehdä jokaiselle liiketoimintakategorialle erikseen, sillä riskiä vähentävät toimenpiteet voivat erota esimerkiksi pienlogistiikan drooneille ja droonitakseille.

Vaihe 5: Uudelleen reititys

Mikäli jäännösriski on edelleen liian suuri, tulisi lentoreittiä muuttaa. Riskianalyysin tuloksena päivittyneen jäännösriskin kautta riskikartta saattaa muuttua niin, että optimi lentoreitti maariskin näkökulmasta sijaitsee alkuperäisen lentoreitin välittömässä läheisyydessä.

Myös muuttamalla lentoreittiä selkeästi toiseen kohtaan, saatetaan saada jopa parempi lopputulos, vaikka lähtötilanteessa uudessa reitissä riskiarvo olisi jopa suurempi kuin alkuperäisen reitin riskiarvo. Tämä johtuu siitä, että uuden lentoreitin jäännösriski voi olla pienempi tehokkaampien toimenpiteiden takia, eli toisin sanoen riskisuojaustoimenpiteiden vaikuttavuus voi olla erilainen eri kohdissa kaupunkialuetta.

Koska riskit muodostuvat erilaisiksi riippuen drooniliiketoimintakategoriasta, myös käytävien uudelleen reitityksen osalta optimi reititys voi erota suuresti kategorioittain. Lisäksi energian tarve on erilainen eri kategorioissa, joten myös siksi uudelleen reititystä tulisi arvioida erikseen eri kategorioissa.

Reitityksessä tulee käyttää kustannushyötylaskelma uuden reitin liiketoimintahyödyistä. Tämä auttaa suhteuttamaan alkuperäisen reitin liiketoimintahyödyt ja uuden reitin liiketoimintahyödyt. Jos alkuperäisen reitin liiketoimintahyödyt ovat huomattavasti suuremmat kuin uuden reitin, tulisi arvioida myös alkuperäisen reitin riskien lievennystoimenpiteiden kustannuksia ja heikentyneet liiketoimintahyödyn suhdetta.

Vaihe 6: Riskien uudelleenarviointi

Jokaisen uudelleenreitityksen jälkeen riskit ja niitä pienentävät toimenpiteet tulisi arvioida uudestaan. Reitin muutos voi lisätä uuden reitin lähtöriskiä, mutta uuden riskiarvion toimenpiteet voivat laskea jäännösriskiä merkittävästi pienemmäksi kuin alkuperäisen lentoreitin jäännösriski. Tämä johtuu siitä, että toimenpiteet riskien vähentämiseksi voi olla hyvin erilaiset eri reittivalinnoissa. Mikäli uudelleen arvioinnissa jäännösriski on edelleen hyväksyttyä arvoa isompi, tulisi arvioida voidaanko saavuttaa pienempi jäännösriski, jos reitti valitaan vielä uudelleen.

Tällaisella iteratiivisella uudelleen reitityksellä voidaan saavuttaa optimi jäännösriski, mutta se myös auttaa tunnistamaan uusia riskejä ja lievennystoimenpiteitä muissakin reiteissä.

Lisäksi jos eri vaiheissa on arvioitu liiketoimintahyötyjä, voidaan uudelleen reitityksen liiketoimintahyötyjä suhteuttaa edellisen reitin liiketoimintahyötyihin. Liiketoimintahyötyjen arvioiminen mahdollistaa arvioimaan myös lievennystoimenpiteiden kustannuksien vaikuttavuutta liiketoimintahyötyihin.

6 Jälkipohdintaa ja seuraavat askeleet

Droonien merkitys kaupungeille kasvaa koko ajan, ja kaupunkien pitää varautua siihen. Investoimalla maariskin yhteisiin hallintamenetelmiin ja -palveluihin kaupungit edistävät kaikkein tehokkaimmin droonitoiminnan hallittua kasvua. Käytäväsuunnittelu on tehokas työkalu maariskin systemaattiseen hallintaan ja siksi suosittelemme seuraaviksi askeleiksi jatkoprojekteja tällä rintamalla.

- **Yksityiskohtainen maariskikartta**, joka perustuu suojaluokitusmalliin. Riittävän yksityiskohtainen suojaluokitus saavutetaan panostamalla tarkkaan ja säännöllisesti päivitettävään 3D-malliin kaupungista, josta voidaan määrittää muun muassa yksittäisten puiden ja rakennuksien muodot. Nykyinen Suomessa käytettävä maariski perustuu väestötiheyteen suhteellisen isolla ruudukolla, mutta jatkossa on erittäin tärkeää kehittää huomattavasti tarkempi maariskikartta, jossa otetaan paremmin huomioon monia muita tekijöitä kuin vain väestön tiheys. Tällaisia maariskikarttoja on kehitetty maailmalla vain vähän.
- **Ensimmäisten droonikäytävien perustaminen**, jossa huomioidaan eri droonien ominaisuudet, droonisääpalvelut, sekä viestiverkkoyhteyksien laatu. Käytävien määrittäminen on iteratiivinen menetelmä, joten suosittelemme, että kaupungit mahdollistavat myös käytäväsuunnittelumenetelmien tutkimusta ja tuotekehitystä.
- **Kaupungin digitaalinen kaksonen**, joka päivitetään kaupunkirakentamisen myötä. Jatkuvasti ajan tasalla oleva digitaalinen kaksonen mahdollistaa myös tarkemmat lentoreittisuunnitelmat esimerkiksi liikenteen valvontadrooneille. Tällaisen digitaalinen kaksonen laadinta voi aloittaa em. droonikäytävien ympärille tai rakentaa jo olemassa olevan päälle.

Ehdotettuja edistysaskeleita on syytä edistää läheisessä yhteistyössä sekä alan yritysten että liikenne- ja viestintävirasto Traficom ja Ilmatieteen laitoksen kanssa.

7 Referenssit

- Achim Washingtona, * Reece A. Clothierb, and Jose Silva. 2017. "aReview of Unmanned Aircraft System Ground Risk Models." *Progress in Aerospace Sciences*.
- Anderson, Craig WA Murray and David. 2017. "A CFD-based procedure for airspace integration of small unmanned aircraft within congested areas." *International Journal of Micro Air Vehicles*.
- Bloomberg. 2018. *Bloomberg articles*. 10. lokakuu.
<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-10-10/will-you-fly-when-your-pilot-is-a-robot>.
- ei pvm. *BowTie Methodology Basics*. <https://thealoftgroup.com/bowtie-methodology-basics/>.
- ei pvm. *CGE risk*. https://www.cgerisk.com/knowledgebase/The_bowtie_method.
- Drone Industry Insight. 2019. 27. Maaliskuu. <https://www.droneii.com/project/drone-market-report>.
- Drone Info. 2019. *Drone Info / Traficom*. 15. Tammikuu.
https://www.droneinfo.fi/fi/lentotyto/rpas_tilastot.
- Drone info. 2018. *Drone info usein kysyttyä*. 19. Joulukuu.
https://www.droneinfo.fi/fi/usein_kysyttya/ilmailu_-_miehittamattomat_ilma-alukset_ja_lennokit.
- Dronelife. 2018. *utah-opens-drone-corridor-to-encourage-industry-innovation*.
<https://dronelife.com/2018/11/05/utah-opens-drone-corridor-to-encourage-industry-innovation/>.
- EIP Sustainable Urban Mobility. 2018. *EIP SCC*. <https://eu-smartcities.eu/clusters/11/description>.
- EIP UAM. 2018. *EIP SCC*. <https://eu-smartcities.eu/initiatives/840/description>.
- Ericsson. 2019. *Ericsson Blog*. 15. January. <https://www.ericsson.com/en/blog/2019/1/drones-and-networks-mobility-support>.
- Eurocontrol. 2018. "UAS ATM CARS - Common Altitude Reference System discussion document."
- Eurooppa-neuvosto. 2018. *Politiikka*. 21. marraskuu. www.consilium.europa.eu/fi/policies/drones/.
- Ewen Denney*, Ganesh Pai, Marcus Johnson. 2018. "Toward a Rigorous Basis for Specific Operations Risk Assessment of UAS." *IEEEExplore*.
- Helsinki Region Infoshare. 2019. *Helsinki Region Infoshare*.
<https://hri.fi/data/fi/dataset/rakennustietoruudukko>.
- JARUS. 2019. "Jarus Publications SORA 2.0." 6. march. <http://jarus-rpas.org/content/jar-doc-06-sora-package>.
- JARUS.ORG. 2016. "JARUS.ORG SORA1.0." 26. June. http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jar_doc_06_jarus_sora_v1.0.pdf.

- Joshuah K. Stolaroff, Constantine Samaras, Emma R. O'Neill, Alia Lubers, Alexandra S. Mitchell & Daniel Ceperley. 2018. "Energy use and life cycle greenhouse gas emissions of drones for commercial package delivery." *Nature Communications*.
- Mona Kurppa, Anti Hellsten, Mikko Auvinen, Anu Kousa, Mari Kauhaniemi, Nelli Kaski. 2016. <https://www.hel.fi>. Helsinki: City of Helsinki. https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/yos_2016-5.pdf.
- PECASUS. 2019. pecasus.eu/. <https://pecasus.eu/>.
- PWC. 2016. *PWC Press*. <https://press.pwc.com/News-releases/global-market-for-commercial-applications-of-drone-technology-valued-at-over--127-bn/s/ac04349e-c40d-4767-9f92-a4d219860cd2>.
- Reuters. 2018. *Global Smart Commercial Drones Market Size, Share & Industry Expected to Reach 179600 Million US\$ by 2025 with a CAGR of 83.3% During 2018-2025*. <https://www.reuters.com/brandfeatures/venture-capital/article?id=62679>.
- S. Primatestaa, * , A. Rizzoa , A. la Cour-Harbob. 2018. "Ground risk map for Unmanned Aircraft in Urban Environments." *ResearchGate*.
- Siivet. 2019. *Siivet.fi*. 11. Helmikuu. <http://siivet.fi/sotilasimailu/droonien-100-vuoden-historia/>.
- Stefano Primatestaa, Luca Spanò Cuomob , Giorgio Guglierib, *, Alessandro Rizzo. 2019. "An Innovative Algorithm to Estimate Risk Optimum Path for Unmanned Aerial Vehicles in Urban Environments." *Transportation Research Procedia* 44 - 53.
- Stock News Magazine. 2019. *Commercial Drones Market Size, Share and Trend Report 2019 by Aurora Flight Sciences Corporation, Denel, Northrop Grumman, Lockheed Martin, Elbit Systems Ltd, General Dynamics, AeroVironment*. 29. Huhtikuu. <https://stocknewsmagazine.com/commercial-drones-market-size-share-trend-report-2019-aurora-flight-sciences-corporation-denel-northrop-grumman-lockheed-martin-elbit-systems-ltd-general-dynamics-aerovironment/>.
- Telia, Finland. 2018. *IHMISVIRTOJEN LIIKKUMISESTA SAATAVA DATA AUTTAA TEKEMÄÄN PAREMPIÄ PÄÄTÖKSIÄ*. 2. Lokakuu. <https://www.telia.fi/yrityksille/artikkelit/artikkeli/ihmisvirtojen-liikkumisesta-saatava-data-auttaa-tekemaan-parempia-paatoksia>.
- The Drone Girl. 2018. *The Drone Girl*. <http://thedronegirl.com/2018/09/21/drone-corridor/>.
- The Economic Times. 2019. *The Economic Times*. <https://economictimes.indiatimes.com/industry/transportation/airlines/-aviation/civil-aviation-ministry-moots-corridor-for-flying-drones/articleshow/67544397.cms>.
- Tobias Franke*, Paul Lukowicz and Ulf Blanke. 2015. "Smart crowds in smart cities: real life, city scale deployments of a smartphone based participatory crowd management platform." *Journal of Internet Services and Applications*.
- Uber Elevate. 2018. *Uber's Air's international launch Market*. <https://www.uber.com/info/elevate/cities/>.
- Unicef. 2018. *Unicef Stories*. <http://unicefstories.org/2018/10/22/dronecorridorkazakhstan/>.
- Wing. 2019. *Wing Helsinki*. <https://wing.com/finland/helsinki/>.

