



Dronetekniikan käyttömahdollisuudet terminaalialueella

Janne Kuusela

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2021

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), logistiikan tutkinto-ohjelma

Kuusela Janne

Dronetekniikan käyttömahdollisuudet terminaali-alueella

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2021, 63 sivua

Tekniikan ja liikenteen ala, Insinööri (AMK), logistiikan tutkinto-ohjelma, opinnäytetyö

Julkaisun kieli: Suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Tutkimus sai alkunsa toimeksiantajan DB Schenkerin ideasta tutkia autonomisen dronetekniikan käyttömahdollisuuksia terminaali-alueella. Tavoitteena oli tutkia mahdollisuuksia hyödyntää droneteknologiaa esimerkiksi lähetysten ja kaluston inventaariossa sekä selvittää drone-toiminnan rajaehdot kuten lainsäädännön asettamia rajoituksia. Lisäksi tutkittiin millaista droneteknologiaa on markkinoilta saatavilla ja mitä käyttökohteita niillä on tällä hetkellä. Aihe rajattiin alustavaksi teoreettiseksi tutkimukseksi eikä tutkimuksen tavoitteena ole ottaa dronejärjestelmää käyttöön tai tehdä koelentoja. Tutkimuksen tarkoitus on tuoda esiin keskeisimmät tekijät dronetekniikasta ja sen potentiaalisista käyttökohteista terminaali-alueella.

Tutkimuksessa aineistoa kerättiin kirjallisuudesta, lainsäädännöstä, dokumenteista, teemahaastatteluista ja myös terminaalissa suoritettujen havainnoiden avulla. Haastatteluiden kohteena oli asiantuntijoita, viranomaisia ja dronejärjestelmiä kehitäviä sekä valmistavia toimijoita. Tutkimuksen alkuvaiheessa keskeiseksi tekijäksi muodostui se, että suoritetaanko drone-toimintaa sisätiloissa vai ulkona ilmatilassa. Tutkimuksessa on käsitelty näitä toimintaympäristöjä erikseen, koska toiminnan rajaehdot ovat erilaiset. Merkittävin tekijä on EU:n droneasetus, jota ei sovelleta sisätiloissa.

Tuloksena voidaan pitää droneteknologiaa teoriassa potentiaalisena useaan käyttökohteeseen terminaali-toiminnoissa. Markkinoilla varsinkin varaston tai terminaalin sisätiloihin lähetysten inventaarioon on kehitteillä useita autonomisia dronejärjestelmiä ja ensimmäisiä laajempia käyttöönottojakin on meneillään markkinoilla toimivien yritysten mukaan. Sisätiloissa merkittävin autonomisen dronetekniikan ongelma on dronen sijainnin määrittäminen ja navigointi. Tämän ongelman ratkaistua voi teoriassa drone lentää minne tahansa sisätiloissa ja suorittaa tehtäviä millä tahansa sensorilla, jonka se pystyy kantamaan.

Ilmatilassa tapahtuvan toiminnan osalta sääolosuhteet ja lainsäädäntö rajoittaa toimintaa ja korkean tason autonomiset operaatiot eivät ole vielä saaneet toimintalupia riskiarvioinnin perusteella, kuin yksittäisissä tapauksissa EU-alueella. Jatkotutkimusten avulla voidaan kuitenkin vasta tarkemmin arvioida dronetekniikan kannattavuutta ja käytännön soveltuvuutta terminaaliympäristöön. Autonominen dronetekniikka vaikuttaa kuitenkin potentiaaliselta ratkaisulta useaan eri käyttökohteeseen logistiikassa ja muillakin toimialoilla tulevaisuudessa.

Avainsanat (asiasanat)

Drone, terminaali, logistiikka

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Kuusela Janne

Usage possibilities of drone technology in transport terminal environment

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2021, 63 pages

Bachelor of engineering, logistics, bachelor's thesis

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Thesis topic got started of DB Schenker's idea to investigate possibilities of autonomous drone technology in transport terminal environment. The goal was to find out if it is possible to use autonomous drones in tasks such as vehicle or transport unit inventory and shipment inventory and dimensioning. It was also a goal to find boundary conditions to drone technology in terminal environment such as drone regulation. Third goal was to investigate the drone market and see if there are any solutions on the market that could be used in transport terminals.

Material was gathered from literature, regulation, documents, interviews and observing terminal environment. Interviewees were authorities and professionals from drone industry. In the beginning of the study two main themes in the thesis could be separated. These themes were indoor and outdoor drones. Indoor and outdoor environments are very different in terms of boundary conditions. Main differences were that indoor drone flights do not fall under the EU-drone regulations and autonomous drone navigation is harder problem to solve indoor than outdoor.

Drone technology has potential in transport terminal environment in theory. In the drone market there are multiple companies advertising drone systems capable of autonomously navigating through warehouses/terminals and read barcodes for inventory. One warehouse inventory solution is also in larger client roll out stage at the moment according to the company in the drone market. The main problem to solve indoor in drone technology is the drone localization problem. After solving this, in theory drones can fly autonomously anywhere in the space and carry small sensors for any task they are capable of.

Regulation and weather are boundary conditions in the drone operations outdoor in the airspace. Only single authorization has been granted by EASA for a highly autonomous drone operation in the EU so far. Further investigation is still required to find out drone technology could be used in transport terminals in practice. However autonomous drone technology seems very potential for many use cases in logistics and other areas as well in the future.

Keywords/tags (subjects)

Drone, transport terminal, logistics

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Tutkimusasetelma	5
2.1	Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet	5
2.2	Tutkimuskysymykset	6
2.3	Aiheen rajaus.....	6
2.4	Tutkimus- ja aineistonkeruumenetelmät.....	7
2.5	Tutkimusprosessi.....	8
2.6	Toimeksiantaja DB Schenker	9
3	Tavaraterminaalit	10
3.1	Terminaalit ja sen toiminnot	10
3.2	Kappaletavaraterminaalit	10
4	Dronetekniikka	11
4.1	Drone, UAV, UAS vai RPAS	11
4.2	Dronetyypit ja niiden voimanlähteet	11
4.3	Akut	12
4.4	Tietoliikenne ja kommunikaatio.....	12
5	Autonomiset dronet	13
5.1	Autonomisen lennon eri tasot	13
5.2	Autonomisen dronejärjestelmän ominaisuudet	14
5.2.1	Lennonhallinta	14
5.2.2	Sijainnin määrittäminen.....	14
5.2.3	Esteiden väistäminen.....	15
6	Drone-toimintaa koskevat asetukset ja laitteet	16
6.1	Sisätiloissa tapahtuvat lento-operaatiot	16
6.2	Ilmatilassa tapahtuvat lento-operaatiot	17
6.2.1	Avoin kategoria	17
6.2.2	Erikois-kategoria	18
6.2.3	Certified-kategoria	20
6.3	UAS-ilmatilavyöhykkeet	20
7	Dronetekniikan käyttökohteet ja järjestelmän vaatimukset terminaalien sisätiloissa ...	22
7.1	Lähetysten inventaario.....	22
7.2	Havainnointi toimeksiantajan terminaalissa.....	24
8	Terminaalien sisätiloihin soveltuvat dronejärjestelmät markkinoilla	25
8.1	Autonomous Warehouse Inspection via Drones -projekti.....	25

8.2	FlytBase Incorporated	28
8.2.1	Referenssi 1 IAG-Cargo	29
8.2.2	Referenssi 2 Romark Logistics	30
8.2.3	Haastattelu.....	30
8.3	Verity AG	31
8.3.1	Referenssi 1 DSV	31
8.3.2	Referenssi 2 IKEA	32
8.3.3	Haastattelu.....	33
9	Dronetekniikan käyttökohteet ja vaatimukset terminaalin ulkoalueilla	34
9.1	Järjestelmän vaatimukset	34
9.2	Schenkerin terminaalien sijoittuminen UAS-ilmatilavyöhykkeille	36
9.3	Muut regulaation asettamat vaatimukset järjestelmälle	38
9.4	SORA-riskiarviointi.....	40
10	Ulkotiloihin soveltuvat järjestelmät markkinoilla	45
11	Tulokset ja johtopäätökset.....	47
11.1	Dronetekniikka sisätiloissa	47
11.2	Dronetekniikka ulkotiloissa	49
12	Pohdinta ja jatkotutkimusaiheet	51
	Lähteet	54
	Liitteet	59
	Liite 1. OSO-Taulukko	59

Kuviot

Kuvio 1.	Helsinki-Vantaa - EFHK Rajoittavat UAS-ilmatilavyöhykkeet	21
Kuvio 2.	Ehdotetun järjestelmän tärkeimmät fyysiset sekä ohjelmiston komponentit projektissa	27
Kuvio 3.	FlytWaren käyttämä drone IAG Cargon Madridin varastossa	29
Kuvio 4.	Verityn drone DSV:n Moerdijkin varastossa	32
Kuvio 5.	Schenkerin Turun terminaalin layout.....	33
Kuvio 6.	DB Schenkerin Terminaalien sijainti ja UAS-ilmatilavyöhykkeet	37
Kuvio 7.	SORA-Prosessi	40

Taulukot

Taulukko 1. Aineistonkeruumenetelmät teemoittain	9
Taulukko 2. Siirtymäajan rajoitukset 1.7.2020-1.7.2022	18
Taulukko 3: Rajoitukset siirtymäajan jälkeen	18
Taulukko 4. Dronejärjestelmän keskeiset komponentit ja vaatimukset	23
Taulukko 5. Schenkerin terminaalin ja vallitsevat UAS-ilmatilavyöhykkeet	38
Taulukko 6. Maariskin taulukko	41
Taulukko 7. Maariskinvähennys taulukko	42
Taulukko 8. SAIL määrittely	44

1 Johdanto

Viime vuosina dronet eli virallisesti miehittämättömät ilma-alusjärjestelmät (UAS) ovat lisääntyneet merkittävästi kuluttajien, yritysten ja asevoimien toimijoiden käytössä. Dronella tarkoitetaan ilma-alusta, joka operoi ilman pilottia tai miehistöä kauko-ohjattavana tai autonomisesti. Droneja käytetään monissa eri tarkoituksissa ja niiden koko voi vaihdella asevoimien käyttämästä kymmenien metrien siipivälillä varustetusta aluksesta kämmenen kokoiseen droneen. (Bestaoui 2018, 3.)

Globaalin drone-markkinan ennustetaan kasvavan 22,5 miljardista 42,8 miljardiin vuodesta 2020 vuoteen 2025 eli 13,8 % vuosittain (The Drone Market Report 2020–2025 2020). Kasvavan markkinan mukana dronejen määrän odotetaan kasvavan ilmassa merkittävästi ja EU:n lainsäädäntöä on kehitetty siten yhteneväiseksi, että miehitetty ja miehittämätön ilmailu pystyvät toimimaan turvallisesti samassa toimintaympäristössä. (Drone-infotilaisuus 2020.)

Suomessa Traficomien mukaan rekisteröityjä lentotyötä tekeviä on ilmoitusten mukaan 2962 ja droneja näillä toimijoilla yhteensä 3815 kpl. Toimijoista suurin osa eli noin 90 % on erikoistunut valo- tai videokuvaukseen. (RPAS-tilastoja 2019). Droneille on löydetty käyttökohteita useille toimialoille kuten esimerkiksi maatalouteen, media-alalle, rakennusalalle ja virkavallan käyttöön poliisille sekä rajavartiolaitokselle. Suomi on ollut sääntelyn puolesta joustava drone-toimijoille mutta nyt vuoden alusta voimaan tulleen EU-asetuksen takia sääntely yhtenäistyy EU-alueella ja sen seurauksena kiristyy Suomessa. (Valkama 2019.)

Logistiikassa droneille on löydetty jo monia käyttökohteita. Varsinkin pakettien toimitukset droneilla ovat olleet mediassa esillä paljon, koska niillä yritetään ratkaista ”last mile delivery” -ongelmaa kaupungeissa. Suomessakin on jo useita hankkeita missä droneilla tehtäviä toimituksia testataan käytännössä. Esimerkiksi Helsingissä teknologiayritys Googlen alla toimiva Wing-niminen yritys on käynnistänyt Vuosaarella drone-liiketoiminnan toimittamalla tuotteita asiakkaille kaupasta sekä kahvilasta. Toimituksia varten Wingille on tehty ilmatilanvaraus Vuosaaren ylle. (Nelskylä 2018.)

Dronetekniikan kehittyessä yhä useampi logistiikka-alan yritys on kiinnostunut sen tuomista mahdollisuuksista. Myös tämän opinnäytetyön toimeksiantaja DB Schenkerin Suomalainen tytäryhtiö Schenker Oy kiinnostui dronetekniikan tuomista mahdollisuuksista myös terminaaliympäristössä logistiikan prosesseissa. Opinnäytetyön aihe syntyi toimeksiantajan ideasta tutkia voiko dronetekniikkaa hyödyntää terminaali-alueella tehtävissä.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia autonomisen dronetekniikan käyttömahdollisuuksia toimeksiantajan logistiikan prosesseissa terminaali-alueella. Tavoitteena oli myös selvittää millaista dronetekniikkaa tähän tarkoitukseen on saatavilla markkinoilla tällä hetkellä tai lähitulevaisuudessa. Työssä tutkitaan ja määritetään myös drone-toiminnan rajaehdot terminaali-alueella kuten lainsäädäntöä ja tekniikan asettamia rajoituksia. Työ sai alkunsa toimeksiantajan ideasta tutkia mahdollisuuksia dronetekniikan hyödyntämisestä kaluston ja lähetysten inventaariossa sekä lähetysten ”kuutiointissa” eli mittatietojen selvittämisessä rahditusta varten. Nykyisessä tilanteessa nämä prosessit suoritettiin manuaalisesti ja ne koettiin tehottomaksi työskentelytavaksi.

Terminaalin ulkoalueella tapahtuva kaluston inventaario ja tarkastaminen suoritetaan tällä hetkellä ajojärjestelijöiden toimesta kiertämällä terminaali-alue esimerkiksi autolla ympäri päivittäin ja havainnoimalla sekä tarkastamalla käytettävissä olevat kontit, perävaunut ja kuorma-autot. Tästä aiheutuu ajojärjestelijoille ylimääräistä työtä ja muut työt keskeytyvät inventaarioiden ajaksi. Kaluston inventaariolla tavoitteena on selvittää kaluston kunto, kierto sekä saatavilla oleva kapasiteetti. Kaluston osalta usein on myös tilanne se, että perävaunut ja kontit ovat Schenkerin omistuksessa mutta varsinainen alusta eli kuorma-auto on liikennöitsijän. Tästä johtuen ajoneuvojen gps-seurantaa tai fleet management -järjestelmiä ei voi hyödyntää konttien ja perävaunujen inventaariossa tai tarkastamisessa.

Terminaalin sisätiloissa tapahtuva lähetysten inventaario suoritetaan tällä hetkellä manuaalisesti kiertämällä terminaalia ympäri ja tunnistamalla käsin lähetykset viivakoodinlukijalla. Myös lähetysten mittatietojen selvittäminen tapahtuu manuaalisesti ja osittain kiinteillä kuutiointilaitteilla. Nämäkin työmenetelmät ovat hitaita ja ne vievät aikaa varastotyöntekijöiden muilta tehtäviltä. Toimeksiantajalla on intressinä myös tämän prosessin kehittäminen automaattiseen lähetysten inventaarioon ja kuutiointiin tulevaisuudessa.

Tavoitteena on myös saada tutkimustyön lukijalle kuva siitä, minkälaisia käyttökohteita dronetekniikalle on löydetty markkinoilla. Lisäksi työssä käsitellään drone-toiminnan rajaehdot, joiden avulla voi hahmottaa drone-toiminnan kokonaisuutta ja mahdollisuuksia myös muissa käyttökohteissa terminaali-toimintojen ulkopuolella.

2.2 Tutkimuskysymykset

Opinnäytetyössä haetaan vastausta tutkimusongelmaan tutkimuskysymysten avulla, joista ensimmäinen pääkysymys on:

- Onko teoriassa mahdollista hyödyntää autonomista dronetekniikkaa tehtävissä toimeksiantajan terminaaleissa?

Lisäksi tutkimuksessa on kaksi alakysymystä tarkentamaan tutkimusongelmaa:

- Onko markkinoilta saatavilla terminaaliympäristöön soveltuvia dronejärjestelmiä tällä hetkellä tai lähitulevaisuudessa?
- Mitä rajaehdot drone-toiminnalla on terminaaliympäristössä?

2.3 Aiheen rajaus

Opinnäytetyö rajattiin alustavaksi kartoittavaksi tutkimukseksi. Työssä ei ole tarkoitus ottaa käyttöön dronejärjestelmää toimeksiantajalle. Työssä pyritään luomaan kokonaiskuva dronejärjestelmistä ja niiden mahdollisesta potentiaalista terminaaliympäristössä. Kokonaiskuvaa varten työssä selvitetään järjestelmän vaatimukset eli mihin sen on pystyttävä sekä toiminnan rajaehdot kuten lainsäädäntö ja tekniikan rajoitukset. Lisäksi työssä tutkitaan dronemarkkinoita ja onko markkinoilta saatavilla sellaisia järjestelmiä, joilla pystytään vastaamaan määritettyihin vaatimuksiin tällä hetkellä tai lähitulevaisuudessa.

Työssä ei pohdita tarkemmin taloudellista kannattavuutta, koska tässä vaiheessa tutkimusta on vaikeaa kerätä luotettavaa dataa taloudellisen kannattavuuden selvittämiseksi. Työssä analysoidaan dronetekniikkaa vain teoreettisesti eikä sen aikana ole tarkoitus suorittaa drone koelentoja tai pilotointia. Nykytila-analyysia ei myöskään tehty mistään yksittäisestä terminaalista, vaan työ keskittyy pääasiassa dronetekniikkaan ja sen soveltuvuuteen varastoihin ja terminaaleihin eikä muita teknologisia vaihtoehtoja käsitellä tarkemmin. Työn tarkoitus onkin olla ensiaskel autonomiseen dronetekniikkaan ja sen tulosten avulla voidaan arvioida jatkotutkimuksen aiheita tarkemmin.

2.4 Tutkimus- ja aineistonkeruumenetelmät

Tämän opinnäytetyön tutkimusstrategia oli tapaustutkimus. Tapaustutkimuksessa haetaan intensiivistä tietoa usein kohdistuen yksittäiseen tapaukseen ja prosessiin, käyttäen aineistonkeruumenetelminä tyypillisesti havainnointia, haastatteluja ja dokumentteja. Tutkimuksessa käytettiin kvalitatiivista lähestymistapaa tutkimusongelmaan eli tutkimuksessa keskityttiin laadullisiin seikkoihin. (Hirsijärvi, Remes & Sajavaara 1997, 136.)

Hirsijärven, Remeksen & Sajavaaran (1997, 164) mukaan kvalitatiivinen tutkimus on kokonaisvaltaista tiedon hankintaa ja tutkimus etenee joustavasti, joten tutkimussuunnitelma muotoutuu tarkemmin tutkimuksen edetessä. Lisäksi tutkimuksen aineistonkeruu menetelmien kohteet valitaan tarkoituksenmukaisesti eikä satunnaisesti. Myös aineistonkeruumenetelminä suositetaan laadullisia menetelmiä eli esimerkiksi haastatteluita ja havainnointia. Kerättyä aineistoa tarkastellaan monitahoisesti ja yksityiskohtaisesti eikä lähtökohtana ole teorian tai hypoteesin testaaminen. (Hirsijärvi, Remes & Sajavaara 1997, 164.)

Tämän tutkimuksen tarkoitus on luonteeltaan kartoittava. Kartoittavassa tutkimuksessa on tarkoitus etsiä keskeisiä teemoja tutkimusongelmien kannalta ja etsiä keskeisiä näkökulmia tutkimuksen aiheesta (Hirsijärvi, Remes & Sajavaara 1997, 138). Tutkimuksessa käsitellään kokonaisuudessaan laajaa aluetta ja tarkoituksena on määrittellä keskeisimmät teemat dronetekniikasta ja sen hyödyntämisestä terminaaliympäristössä. Keskeisten teemojen avulla voidaan löytää myös tarkempaa tutkimusta vaativat jatkotutkimusaiheet tulevaisuutta varten.

Aineistonkeruumenetelminä käytettiin kirjallisuutta, lainsäädäntöä, valmista aineistoa eli dokumentteja, teemahaastatteluita ja havainnointia. Teemahaastatteluissa aihe oli ennalta määritetty, mutta rakenne oli muuten määrittelemätön ja haastattelussa edettiin keskustelun tavoin. Havainnoinnin avulla haettiin käytännönläheistä tietoa terminaalista toimintaympäristönä droneteknologialle.

2.5 Tutkimusprosessi

Tutkimus aloitettiin syksyllä 2020 keskustelemalla toimeksiantajan kanssa opinnäytetyön aiheesta. Schenker oli kiinnostunut droneista terminaali-alueella ja niiden tuomista mahdollisuuksista terminaali-toiminnoissa. Ensimmäisissä keskusteluissa toimeksiantajalla oli mahdollisia käyttökohteita mielessä, joita droneilla voisi hyödyntää terminaaleissa. Käyttökohteita oli esimerkiksi terminaalin ulkoalueella kaluston inventaario ja tarkastaminen. Sisätiloissa dronetekniikan mahdollisuuksia pohdittiin esimerkiksi lähetysten inventaarioon ja tilavuuden mittaamiseen. Toimeksiantaja oli kiinnostunut pääasiassa autonomisesta dronetekniikasta korvaamaan tällä hetkellä manuaalisesti suoritettavat tehtävät. Sisä- ja ulkotilat muodostuivat kahdeksi teemaksi tutkimuksessa nopeasti aineistonkeruuta suunnitellessa, koska dronetekniikan rajaehdoissa on huomattavia eroavaisuuksia riippuen siitä, käytetäänkö sitä sisätiloissa vai ulkona ilmatilassa.

Aineistonkeruu aloitettiin hakemalla tutkimuskysymysten avulla teemoittain tietoa kirjallisuudesta. Tutkimuksen eri teemat määritettiin kirjallisuuden avulla ja samalla tutkimuksen tarkempi rakenne hahmottui kartoittavan työn edetessä. Keskeisiksi tutkittaviksi teemoiksi muodostui tutkimuskysymysten avulla autonominen dronetekniikka sekä sen soveltuvuus terminaaliympäristöön, drone-toiminnan rajaehdot (tekniikan rajoitukset ja lainsäädäntö) ja dronetekniikan saatavuus markkinoilta sekä meneillään oleva kehitystyö alalla.

Tutkimuksen keskeisten teemojen määrittämisen jälkeen tietoa haettiin lisää. Autonomisesta dronetekniikasta ja sen perusteista tietoa haettiin pääasiassa kirjallisuudesta. Lainsäädännön tutkimisessa hyödynnettiin alkuperäisiä EU:n asetuksia mutta suurelta osin myös Suomen ilmailuviranomaisen eli Traficomien julkaisemaa ja kääntämää materiaalia virallisista asetuksista. Lainsäädäntö on vielä osittain kesken ja jotkut asiat jäävät kansallisen lainsäädännön toteutettaviksi. Traficomien tarkastaja Timo Niemelän kanssa suoritettiin myös teemahaastattelu puhelimesta lainsäädännöstä ja varsinkin sen soveltamisesta. Haastattelussa saatuja vastauksia on käsitelty lainsäädäntöä koskevassa luvussa 6.

Terminaaliympäristöä tutkittiin havainnoimalla Jyväskylässä keväällä 2021 Schenkerin yhteistyökumppanin Vähälä Logistics Oy:n kappaletavaraterminaalia. Havainnoin tarkoituksena oli selvittää terminaalin sisätilojen soveltuvuutta dronetekniikalle. Havainnoinnin tulokset ovat kuvattuna lu-

vussa 7.2. Toimeksiantajan kanssa käytiin myös keskusteluita järjestelmän vaatimuksista havainnoin jälkeen. Näiden keskusteluiden perusteella on määritetty luvuissa 7 ja 9 dronejärjestelmien teoreettiset vaatimukset.

Dronemarkkinoita tutkittiin dronejärjestelmien valmistajien tuottamista aineistoista sekä teema-haastatteluiden avulla. Valmiista aineistosta haettiin yleistä tietoa dronejärjestelmistä ja teknisistä ratkaisuista. Tarkemmin tutkittavaksi päätyi kolme toimijaa dronemarkkinoilta. Kaksi näistä oli dronejärjestelmiä valmistavia yrityksiä, joilla oli referenssejä asiakkaiden kanssa suoritetuista pilotointi projekteista ja alustavasta kaupallisesti laajemmasta käyttöönotosta. Näiden valmistajien kanssa suoritettiin teemahaastattelut sähköpostilla keväällä 2021. Haastattelut ovat litteroituna luvussa 8. Taulukossa 1 on koottuna käytetyt aineistonkeruumenetelmät keskeisissä teemoissa.

Taulukko 1. Aineistonkeruumenetelmät teemoittain

Dronetekniikka	Dronemarkkinat	Rajaehdot
<ul style="list-style-type: none"> • Kirjallisuus • Traficom koulutusmateriaali 	<ul style="list-style-type: none"> • Haastattelut • Dokumentit/valmis aineisto 	<ul style="list-style-type: none"> • Havainnointi terminaalissa • Alkuperäiset EU-asetukset • Traficomien kääntämä materiaali EU-asetuksista • Viranomaisen haastattelu

2.6 Toimeksiantaja DB Schenker

DB Schenker on koko maailmassa toimiva logistiikkapalvelujen tarjoaja. Logistiikkapalveluihin kuuluu maa-, meri- ja lentokuljetuksia sekä sopimuslogistiikan toimintaa. DB Schenkerillä on koko maailmassa noin 2100 toimipistettä ja 76900 työntekijää. DB Schenker kuuluu Deutsche Bahn -konserniin. Suomessa toimii DB Schenkerin tytäryhtiö Schenker Oy, jonka liikevaihto oli vuonna 2019 noin 485 miljoonaa euroa ja se työllisti 1330 henkilöä. (Tietoja DB Schenkeristä 2021.)

Schenkerin kappaletavaraverkostossa on yhteensä 430 toimipistettä 38 maassa. Suomessa terminaaleja on 24 kappaletta mukaan lukien yhteistyökumppani Vähälä Logistics Oy:n terminaalit. Lisäksi Schenkerillä on varastoja 9 eri paikkakunnalla Suomessa. Keski- ja Pohjois-Suomessa Vähälä Yhtiöt toimivat itsenäisinä yhteistyökumppaneina ja Schenkerin kuljetuspalvelujen tuottajana. (DB Schenker Suomessa N.D.)

3 Tavaraterminaalit

3.1 Terminaali ja sen toiminnot

Terminaalit toimivat tavaraliikenteen tärkeänä solmukohtana. Terminaalit muodostavat verkostoja, joiden välillä suuret tavaramäärät kulkevat kaupungista toiseen ennen lopulliseen toimitusosoitteeseen saapumista kuljetuksen viimeisessä vaiheessa. Terminaalin ja varaston erona voidaan pitää sitä, että lähetyksen saapuessa terminaaliin sille on jo lopullinen toimitusosoite usein tiedossa eikä se ole terminaalissa varastoituna pidempään. Terminaaliin saapuneita ja kerättyjä lähetyksiä käsitellään sekä siirretään seuraaviin kuljetusyksikköihin kuljetusketjussa. Terminaaleja on monia erityyppisiä konttiterminaaleista kappaletavaraterminaaleihin. (Tapaninen 2018.)

Keskeisiin terminaalitoimintoihin kuuluu useasti tavaran vastaanotto kuljetusyksiköstä, siirto terminaalin sisällä määrätyle alueella ennen kuljetuksen seuraavaa vaihetta ja lastaus uuteen kuljetusyksikköön. Terminaaliverkoston avulla asiakkaille voidaan tarjota edullista kuljetuspalvelua kannattavasti yhdistämällä pieniä yksittäisiä lähetyksiä kuljetusyksikköihin ja siten liikennöimällä täydellä hyötykuormalla. Terminaaleihin asiakkaat voivat myös usein tuoda suoraan omia lähetyksiään tai vastaavasti noutaa saapuneita lähetyksiä ilman kuljetuksen viimeisen vaiheen noutoa tai toimitusta. (Hokkanen, Karhunen & Luukkainen 2010, 138.)

3.2 Kappaletavaraterminaali

Tässä työssä tutkittavat terminaalit ovat pääasiallisilta toiminnoiltaan kappaletavaraterminaaleja. Kappaletavaraterminaalien kautta kulkee lähetyksiä, joita ei kannata kokonsa puolesta kuljettaa suoraan lähettäjältä vastaanottajalle. Kappaletavaraterminaaleihin kerätään usein terminaalin toiminta-alueen lähetykset ja terminaalissa ne yhdistellään suurempiin runkolinjakuljetuksiin riippuen tavaran määränpäästä. Runkolinjakuljetukset kulkevat terminaalien välillä. Vastaavasti terminaaliin saapuvat runkolinjakuljetukset puretaan ja lajitellaan odottamaan lopullista toimitusta asiakkaalle terminaalin jakelun toiminta-alueella. Kappaletavarakuljetuksissa palveluntarjoaja usein rajoittaa kollin enimmäismittoja ja painoa. Esimerkiksi Schenkerin kappaletavarapalvelussa kollin enimmäismitat ovat pituus: 2,4 m, leveys 1,8 m ja korkeus 2,2 m. Lähetyksen enimmäispaino on 2500 kg. (Kappaletavarakuljetukset N.D.)

4 Dronetekniikka

4.1 Drone, UAV, UAS vai RPAS

Miehittämättömistä ilma-aluksesta käytetään yleisesti puhekielessä termiä drone, joka on tässäkin opinnäytetyössä pääasiassa käytettävä termi. Aikaisemmin käytettiin virallisesti myös termiä UAV eli unmanned aerial vehicle tai RPAS eli remotely piloted aircraft system. Traficomien mukaan UAS eli Suomeksi miehittämätön ilma-alusjärjestelmä on kuitenkin jatkossa virallisesti käytettävä termi kaikista miehittämättömistä ilma-aluksista ja laitteista. (Drone-infotilaisuus 2020.)

Droneja on laajasti käytössä eri toimialoilla ja niiden koko voi vaihdella kädenkokoisesta dronesta kymmenien metrien siipivälillä varustettuun sotilaskäytössä olevaan droneen. Droneja pystytään valmistamaan moneen eri tehtävään ja niiden varusteluun voi kuulua esimerkiksi aseita, tutkia, kameroita, mittareita ja muita sensoreita. (Bestaoui Sebbane 2018, 3.)

4.2 Dronetyypit ja niiden voimanlähteet

Tyypillisimmät dronet ovat joko moniroottorisia tai kiinteäsiipisiä. Yksinkertaisin ajattelumalli näiden kahden eroavaisuuksille on se, että moniroottorinen drone lentää kuin helikopteri ja kiinteäsiipinen drone kuin lentokone. (Drone ja sen... 2020.) Tässä työssä käsitellään vain moniroottorisia droneja, koska ne ovat rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan soveltuvia suorittamaan valo- ja video-kuvausta sekä mittausta rajatulla alueella.

Moniroottorisilla droneilla on mahdollista liikkua tarkasti ohjauskomentojen mukaan haluttuun suuntaan ja pysyä samalla vakaana kuvausta tai mittausta varten. Moniroottorinen drone on varustettu useilla roottorin ja sähkömoottorin yhdistelmillä, joiden avulla voidaan suorittaa ohjausliikkeet ja tuottaa tarvittava nostovoima dronelle. (Drone ja sen... 2020.)

Moniroottorisen dronen lentäminen perustuu potkuri/sähkömoottori yhdistelmän eri pyörimis-suuntiin ja nopeuksiin. Lennonhallinnan saavuttamiseksi tarvitaan myös lennonohjausjärjestelmä, joka muuttaa ohjauskomennot eri potkuri/sähkömoottori yhdistelmien nopeudeksi ja suunnaksi. Lennonohjausjärjestelmä hyödyntää myös yksinkertaisimmissa järjestelmissä gyroskooppia suunnan määrittämiseksi. Monimutkaisemmissa järjestelmissä hyödynnetään myös GPS:ssä, inertia-mittalaitteita (IMU) ja etäisyysantureita tai tutkia autonomisen lennon mahdollistamiseksi. (Terwilliger, Ison, Robbins & Vincenzi 2017, 73–74.)

Moniroottorisista droneista kaikista yleisin tyyppi on neljällä roottorilla varustettu quadkopteri. Quadkopterille on kehitetty paljon varsinkin autonomisia ominaisuuksia, koska sen hallintaan perustuvat matemaattiset mallit ovat yksinkertaisempia, kuin esimerkiksi kuuden tai kahdeksan potkurin dronessa. Näiden yksinkertaisempien mallien avulla on helpompi kehittää algoritmeja ohjaamaan ja hallitsemaan dronen lentoa.

4.3 Akut

Moniroottoriset dronet varastoivat tarvittavan käyttövoiman useimmiten litiumakkuihin. Yleisimmät käytössä olevat akut ovat litiumpolymeeriakut (LiPo) ja litiumionakut (Li-ion). Litiumakkujen hyvä energiatiheys, vapaa akun ulkomuoto ja hyvä kestävyys käytössä tukee niiden käyttöä pienissä droneissa. Litiumakut ovat kuitenkin kalliimpia valmistaa, kuin esimerkiksi aikaisemmin paljon käytetyt nikkeliakut. Litiumakut ovat rakenteeltaan monimutkaisempia ja niiden käyttölämpötilalla on merkitystä akun kestävyteen. Akut myös syttyvät herkästi esimerkiksi saadessaan ulkopuolisia iskuja. (Terwilliger ym. 2017, 96–97.)

Droneissa käytettävien LiPo-akkujen käytössä tulee huomioida erityisseikkoja varautuessa paloturvallisuuteen. LiPo-akkuja sammuttaessa tarvitaan myös akkua jäähdyttävä sammutusmenetelmä. Akkua voidaan jäähdyttää sammuttamalla paloa runsaalla vedellä tai jäähdyttämiseen tarkoitettulla jauhesammuttimella. Suomen talviolosuhteissa myös käyttölämpötila on huomioitava akkujen käytössä. Kylmässä säässä akun virranantokyky ja kapasiteetti heikkenee. Tämä voi aiheuttaa pahimmassa tapauksessa arvaamattoman akkujen tyhjenemisen ja samalla dronen lennon keskeytymisen sekä vaaratilanteen. (Dronen akkujen huolto 2020.)

4.4 Tietoliikenne ja kommunikaatio

Dronen ohjauksen komennot ja tiedonsiirto suoritetaan eri taajuuksilla langattomasti radioaalloilla. Yksinkertaisimmissa järjestelmissä dronessa voi olla vain vastaanotin, jolle annetaan suorat ohjauksen komennot radiolähettimellä. Kehittyneemmissä järjestelmissä tietoa kulkee myös dronelta lähettimen avulla ohjaajan vastaanottimeen tai maa-asemaan. Drone lähettää puolestaan takaisin tietoa sensoreilta, mittalaitteilta ja esimerkiksi kameran videokuva kauko-ohjaajalle tai maa-asemalle. (Terwilliger ym. 2017, 99)

Suomessa käytetään yleensä taajuuksia 2.4 GHz ja 5.8 GHz. Taajuuden korkeus vaikuttaa siirrettävän datan määrään sekä viiveeseen. Korkeammalla taajuudella voidaan lähettää suurempi määrä dataa pienemmällä viiveellä mutta negatiivisena asiana korkeammalla taajuudella on heikompi kantama. Myös WiFi-, 4G- ja 5G- verkkoja käytetään tiedonsiirtoon tietyissä tapauksissa. (Drone ja sen... 2021.)

Tietoliikenteessä ja kommunikaatiossa käytettävät ratkaisut sekä taajuudet vaihtelevat lento-opeeraation mukaan. Korkeilla radioaalloilla tapahtuva kommunikaatio on lineaarista radioaaltojen liikettä ja se tarvitsee lähes esteettömän näköyhteyden toimiakseen luotettavasti. Lentotoiminnan ollessa suoraan näköyhteyteen perustuvaa eli VLOS toimintaa (visual line of sight), yhteys voi katketa esteiden takia ohjaajan ja dronen välillä. Lentotoiminnan tapahtuessa ilman näköyhteyttä eli BVLOS-operaationa (Beyond visual line of sight), tarvitaan usein erillisiä toimintoja takaamaan luotettava signaali lennon aikana. BVLOS-lennoissa tähän käytetään esimerkiksi satelliitteja, joiden avulla signaali voidaan siirtää ilman näköyhteyttä dronen ja ohjaajan välillä. (Terwilliger ym. 2017, 100.)

5 Autonomiset dronet

5.1 Autonomisen lennon eri tasot

Bestaoui (2018) mukaan droneille voidaan määrittää 11 eri autonomian tasoa sen ominaisuuksien perusteella. Tasolla 0 dronea ohjataan kauko-ohjaimen avulla manuaalisesti ja dronessa voi olla antureita mutta niiden tiedot analysoidaan ulkoisessa järjestelmässä. Tasolla 10 dronella on ihmisen tasolla oleva päätöksentekokyky suorittaa tehtäviä itsenäisesti monimutkaisissa ympäristöissä sekä reagoida itsenäisesti muuttuviin tilanteisiin sekä käsitellä kaikki antureiden tieto sisäisesti. (Bestaoui 2018.)

Tässä työssä tutkitaan markkinoilta saatavilla olevia mahdollisimman autonomisia järjestelmiä. Bestaoui (2018) esittämien tasojen mukaan autonomian taso voidaan määrittää näille järjestelmille tasosta 4 ylöspäin. Tästä tasosta ylöspäin dronella on kyky lentää autonomisesti ja suorittaa autonomisesti annettuja tehtäviä sekä väistää tarvittaessa lentoreitillä olevia esteitä. Drone kuitenkin vaatii vielä järjestelmänvalvojan, joka tarvittaessa muuttaa tehtäviä tai lentoalueita sekä ratkoo ongelma tai vikaantumistilanteet. (Bestaoui 2018.)

Garcian, Hernandenzin ja Gilin (2016) mukaan autonomisen lennon mahdollistamiseksi dronella on oltava kyky hallita kahta tärkeää asiaa eli lennonhallinta (engl. Flight attitude) sekä määrittää sijainti suhteessa lentoalueeseen. Matalamman tason autonomisessa dronessa lennonhallinta voi olla autonomista mutta kauko-ohjaaja määrittää dronen sijainnin. Tarkka sijainnin määrittäminen onkin kriittinen ominaisuus autonomisissa järjestelmissä ja sen saavuttaminen on huomattavasti hankalampaa, kuin pelkän lennonhallinta autonomisesti. Lisäksi autonomisella dronella on oltava kyky tunnistaa yllättäviä esteitä suunnitellulla lentoreitillä sekä löytää uusi reitti kiertämällä este. (Garcia, Hernandez & Gil 2016, 3.)

5.2 Autonomisen dronejärjestelmän ominaisuudet

5.2.1 Lennonhallinta

Lennonhallinnan saavuttamiseen autonomisissa droneissa käytetään useimmiten inertiamittalaitteita (IMU). Inertiamittalaitteiden avulla mitataan esimerkiksi tärkeimpiä muuttujia lentämisen kannalta kuten dronen kulmanopeutta ja kiihtyvyyttä. Mittalaitteiden datan avulla dronen ohjausjärjestelmän algoritmi pystyy pitämään lentoasennon oikeana säätämällä moottorien pyörimisnopeutta ja muuttamaan sitä ohjauskomentojen määrittäessä sijainnin. Luotettavat inertiamittalaitteet ovat tarkan ja turvallisen autonomisen lennon perusedellytys. Lennonhallinta on yksinkertaisempi tehtävä autonomiselle dronelle sisätiloissa. Ulkotiloissa on otettava huomioon vallitsevat sääolosuhteet, jotka vaikuttavat lentovakauteen kuten kova tuuli ja sade. (Garcia ym 2016, 6.)

5.2.2 Sijainnin määrittäminen

Dronen sijainnin määrittämisessä ulkoalueella käytetään usein GPS–teknologiaa. GPS-sijainninmäärittäminen ei ole mahdollista tarkasti sisätiloissa. Sateellittipaikannusjärjestelmän lisäksi paikkatietoa voidaan täydentää esimerkiksi ilmanpaineanturilla, jonka avulla lentokorkeus voidaan määrittää tarkemmin kuin pelkän GPS:sän avulla. (Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän... 2020.)

Sisätiloissa sijainnin määrittämiseen tarvitaan muuhun kuin GPS-paikannukseen perustuva ratkaisu. Tunnetuimmat todistetusti toimivat järjestelmät sijainnin määrittämisessä sisätiloissa ovat esimerkiksi ulkoisen kameran avulla liiketunnistukseen perustuvat järjestelmät kuten esimerkiksi VICON sekä Optitrack sekä muut sisäpaikannusjärjestelmät (Garcia ym 2016, 8.)

Toinen käytetty menetelmä on dronen omien sensoreiden avulla navigointi. Yhtäaikaiseen paikannukseen ja kartoitukseen perustuva SLAM-tekniikka (Simultaneous Localization and Mapping) vaatii laskentatehoa dronen tietokoneelta sekä tarvittavan määrän sensoreita mutta mahdollistaa sijainnin määrittämisen ilman ulkoisia sensoreja. Sijainnin määrittäminen ja sitä kautta autonominen navigointi on kustannusten ja tarkkuuden optimointia. Esimerkiksi LiDAR-sensoreilla (Light detection and ranging) on SLAM-tekniikan avulla mahdollista määrittää tarkasti dronen sijainti mutta sensorit ovat kalliita, kookkaita ja vievät akkujen kapasiteettia lentämiseltä (Garcia ym 2016, 8.)

Sijainnin määrittämisen menetelmissä sisätiloissa käytetään monia eri sensoreita, kuten: kameroita, stereo kameroita, LiDAR-sensoreita, ultraääniantureita. Sensorien tietoa yhdistetään ja käsitellään algoritmien avulla, jonka jälkeen pystytään arvioimaan dronen sijainti lentoalueella. Sijainnin tarkkuus vaihtelee käytettävien sensoreiden ja laskentatehon mukaan. Kehityksen suuntana on yhä kevyemmät ja edullisemmat ratkaisut ilman, että sijainnin määrittämisen tarkkuus heikentyy. Sijainnin määrittämistä helpotetaan myös opettamalla dronelle lentoalueen layout etukäteen tai asettamalla sinne fyysisiä navigointipisteitä, joiden avulla drone voi arvioida sijaintinsa tarkemmin. (Garcia ym 2016, 10–11.)

5.2.3 Esteiden väistäminen

Autonomisilla droneilla on usein tehtävänä kiertää määritetty lentoreitti ja valvoa tai etsiä määritettyjä kohteita. Reitinsuunnittelussa tärkeää on löytää reitti, jossa ei ole dronelle esteitä tehtävän suoritukseen. Sijainnin määrittämisen ja lennonhallinnan avulla drone voi lentää autonomisesti pisteiden A-B välillä mutta esimerkiksi yllättävän esteen ilmestyessä lentoreitille, on dronella oltava kyky reagoida esteeseen ja suunniteltava uusi reitti esteen ohi sekä palata tämän jälkeen tehtävän suoritukseen. Esteet voivat olla staattisia tai liikkuvia. Staattisten tai ennustettavasti liikkuvien esteiden väistäminen on helpompaa, kuin ennustamattomasti liikkuvien esteiden. (Garcia, ym 2016, 16.)

Esteiden väistämässä käytetään useita eri strategioita. Yksinkertaisimpia menetelmiä on esimerkiksi strategia, jossa dronen ympärillä on turva-alue. Turva-alueen avulla drone pystyy staattisen esteen läheisyydessä kiertämään esteen pysyttelemällä turva-alueen reunalla. Vastaavan yksinkertaisen menetelmän etuna on matala laskentatehon tarve. Monimutkaisempien liikkuvien esteiden väistämiseen käytetään monimutkaisempia algoritmeja, jotka tarvitsevat myös enemmän laskentatehoa ja tarkempia tai useampia antureita. (Garcia ym 2016, 17.)

6 Drone-toimintaa koskevat asetukset ja lait

Regulaatio on ilmailussa tärkeää turvalliselle ja sujuvalle lentoliikenteelle. Ilmailu on tämän takia yksi säännellyimmistä toimintaympäristöistä maailmassa. Dronet tuodaan tämän sääntelyn piiriin uuden EU-asetuksen myötä. Dronet ovat viranomaisen näkökulmasta ilmatilan uusi käyttäjäryhmä, jonka on toimittava turvallisesti samalla toiminta-alueella perinteisen miehitetyn ilmailun kanssa. (Drone-infotilaisuus 2020.)

Tässä luvussa analysoidaan regulaation asettamia rajaehoja terminaaliympäristössä tapahtuvan drone-toiminnan näkökulmasta. Rajaehoja asettaa esimerkiksi dronen koko, lennätystapa ja lentoalue ja vallitseva UAS-ilmatilavyöhyke. Näitä osa-alueita käsitellään seuraavissa alaluvuissa tarkemmin teoriassa ja myöhemmin tutkimusosiossa konkreettisesti, kun tutkitaan markkinoilta saatavilla olevien järjestelmien teknistä soveltuvuutta regulaation näkökulmasta. Lentoalueen asettamia rajaehoja käsitellään myös teoriassa tässä luvussa ja tutkimusosiossa syvennyttään konkreettisesti toimeksiantajan terminaalien sijaintiin UAS-ilmatilavyöhykkeiden alla ja sen vaikutusta drone-toiminnan mahdollisuuteen tarkemmin.

6.1 Sisätiloissa tapahtuvat lento-operaatiot

Euroopan unionin 31.12.2020 voimaan tullutta drone-asetusta ei sovelleta sisällä tapahtuvaan drone-toimintaan eikä se ole Suomessa ilmailuviranomaiselle eli Traficomille kuuluvaa toimintaa. Sisällä tapahtuvasta lentämisestä vastaa siis rakennuksen omistaja. Sisällä tapahtuvat autonomiset operaatiot eivät siis ole lainsäädännöllisesti rajoitettu millään tavalla ilmailuun liittyvien asioiden osalta. (ED päätös 2019/021/R.) Työturvallisuus ja siihen liittyvät asetukset on kuitenkin otettava huomioon sisätiloissa tapahtuvassa toiminnassa, vaikka ilmailuviranomaisten määräykset eivät siellä ole voimassa.

Työturvallisuuslaissa työnantajan vastuulla on tunnistaa työpaikalla esiintyvät vaarat ja arvioitava niihin liittyvät riskin sekä kouluttaa työntekijät niiden varalta. Työnantajan on suunniteltava työolot sellaisiksi, että vaara- ja haittatekijöiden syntyminen estetään. Tämän takia työnantajan on tunnistettava riskit drone-toiminnassa sisätiloissa ja määritettävä työntekijöille turvallisuuteen liittyvät ohjeet. (Työturvallisuuslaki 2002/738, 14§)

6.2 Ilmatilassa tapahtuvat lento-operaatiot

Kaikki ilmatilassa tapahtuva lentäminen, kuten myös terminaaliympäristössä ulkoalueella ilmatilassa suoritettavaan lentämiseen on sovellettava EU:n 31.12.2020 voimaan tullutta asetusta (EU) 2019/947 ja (EU) 2019/945. Asetuksessa dronet ja lentotoiminta jaetaan eri kategorioihin dronen koon ja esimerkiksi lentotavan mukaan. Suomessa myös kaikkien droneja käyttävien on rekisteröidyttävä ja perehdyttävä dronella lentämiseen sekä useimmiten myös suorittaa teoriakoe hyväksyttysti. Traficom on Suomen ilmailuviranomainen. (EU:n dronesäännöt 2020.)

Uudessa asetuksessa määritellään yhteisesti EU-maille markkinalainsäädäntö droneille, kauko-ohjaajien koulutusvaatimukset, rekisteröintivaatimukset sekä lupaprosessit luvanvaraiseen toimintaan. Valtionilmailun sääntöjen, lennokkikerhojen sekä ilmatilarajoitusten määrittäminen jää vielä kansallisen sääntelyn tehtäväksi. Uudessa droneasetuksessa on droneille kolme eri kategoriaa: Avoin-, erityinen- ja certified-kategoria. Kategoriat määräytyvät dronen kokoluokan, lennätystavan, lentoalueen ja lentotoiminnan tarkoituksen mukaan. (Drone-infotilaisuus 2020.)

6.2.1 Avoin kategoria

Avoimessa kategoriassa lentäminen perustuu aina näköyhteyteen kauko-ohjaajan ja dronen välillä (VLOS). Avoin kategoria rajoittaa dronen massan 25 kiloon sekä suurimman sallitun lentokorkeuden 120 metriin. Lisäksi avoimen kategorian droneilla on kielletty vaarallisten aineiden kuljettaminen, esineiden pudottaminen sekä autonomiset lennot. Myös etäohjauksessa tapahtuvat lennot ovat kielletty eli lentäminen ilman näköyhteyttä ohjaajan ja dronen välillä (BVLOS). (Drone-infotilaisuus 2020.)

Lisäksi avoin -kategoria on jaettu kolmeen alakategoriaan A1, A2 ja A3. Näissä kategorioissa on vielä erikseen lisävaatimukset. Taulukossa 1 on lisävaatimukset eri kategorioille avoimessa luokassa siirtymäjälle ja taulukossa 2 on lisävaatimukset siirtymäajan jälkeen. Avoimessa kategoriassa on käytössä myös markkinalainsäädännön mukaiset CE-merkinnät. CE-merkinnät jaetaan 4 luokkaan teknisten vaatimusten mukaan. (Drone-infotilaisuus 2020.)

Taulukko 2. Siirtymäajan rajoitukset 1.7.2020-1.7.2022. Lainattu (Drone-infotilaisuus 2020).

A1 Dronen maksimipaino 500 g	A2 Dronen paino 500 g - 2 kg	A3 Dronen paino 500 g - 25 kg
Lentäminen sallittu satunnaisten ihmisten, mutta ei ihmisjoukkojen päällä.	Lennot sallittu tiheästi asutuilla alueilla turvallisella etäisyydellä ihmisistä.	Lennot harvaan asutuilla alueilla kaukana lentokentistä.
Ei koulutusvaatimusta	Verkkoteoriakoe + lisäteoriakoe	Verkkoteoriakoe

Taulukko 3: Rajoitukset siirtymäajan jälkeen. Lainattu (Drone-infotilaisuus 2020).

A1 Dronen maksimipaino 900 g CE merkinnät: C0 ja C1	A2 Dronen paino 900 g - 4 kg CE merkinnät: C2	A3 Dronen paino 900 g - 25 kg CE merkinnät: C2, C3, C4
Lentäminen sallittu tiheästi asutuilla alueilla satunnaisten ihmisten, mutta ei ihmisjoukkojen päällä.	Lennot sallittu tiheästi asutuilla alueilla turvallisella etäisyydellä ihmisistä.	Lennot harvaan asutuilla alueilla kaukana lentokentistä.
Dronen paino 250 – 900 g: Verkkoteoriakoe	Verkkoteoriakoe + lisäteoriakoe	Verkkoteoriakoe

6.2.2 Erityinen-kategoria

Toiminnan ylittäessä avoimen kategorian minkä tahansa rajan, on lentotoiminnassa noudatettava erityisen kategorian vaatimuksia. Raja voidaan ylittää esimerkiksi dronen massan (> 25 kg), lento- korkeuden (> 120 m) tai lentotoimintaa suoritettaessa ilman näköyhteyttä (BVLOS). Myös täysin autonomiset dronet ylittävät avoimen kategorian rajat, koska autonomiset lennot ovat kielletty avoimessa kategoriassa. (Drone-infotilaisuus 2020.)

Erityinen-kategorian ylärajaksi on asetuksessa määritetty seuraavat kohdat: Dronella kuljetetaan ihmisiä tai vaarallisia aineita, lennetään väkijoukon päällä yli 3 metrin kokoluokan dronella tai

SORA-riskiarvioinnin lopputulos ylittää menetelmän sallimat rajat. Erityisen kategorian alla suoritettavat operaatiot perustuvat siten riskiarvioinnille, jonka perusteella haetaan viranomaiselta toimintalupa. SORA-riskiarviointi eli Specific Operation Risk Assessment perustuu viiden kohdan arvioinnille. Näitä ovat: Turvallisen toiminnan rajat, sallitut sääolosuhteet, pilottien ja henkilöstön pätevyydet, tekniset vaatimukset ja lentokelpoisuus, turvallisuus ja yksityisyys. (Drone-infotilaisuus 2020.)

Euroopan lentoliikenneviranomaisen on kuitenkin tarkoitus tehdä ennalta suosituille matalan riskin standardi skenaarioille (STS) valmiit riskiarvioinnit lupaprosessin nopeuttamiseksi. Riskiarvioinnin tehdään valmiiksi myös korkean riskin operaatioille, jota täydentämällä voidaan hankkia hyväksyntä viranomaiselta. Tätä riskiarviointia kutsutaan ennalta määritetyksi riskiarvioksi (PDRA). Tällä hetkellä valmiita lupia ei ole vielä tehty viranomaisen toimesta, kuin muutamia mutta niiden avulla lupaprosessista tulee jatkossa myös korkeampien riskien operaatioissa joustavampi. Mikäli lento-operaatiolle ei löydy valmista riskiarviointia, on SORA-riskiarviointi tehtävä tapauskohtaisesti itse ja hyväksyttävä se viranomaisilla. (Drone-infotilaisuus 2020.)

Tällä hetkellä täysin autonomisille operaatioille ei ole saatavilla standardi skenaariota tai ennalta määritettyä riskiarviointia (PDRA). Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli tavoitteena on suorittaa täysin autonomisia lentoja, on SORA-riskiarviointi tehtävä itse ja tämän jälkeen haettava siihen hyväksyntä viranomaiselta toimintalupaa varten. (Drone-infotilaisuus 2020.) Asetuksen määritelmä autonomiselle operaatiolle tarkoittaa kuitenkin täysin autonomista toimintaa, jossa ei ole kauko-ohjaajaa keskeyttämässä lentoa häiriö tai vaaratilanteessa. Drone voi kuitenkin olla autonominen muilta osin, mutta mikäli dronea seuraavan valvojan on pysyttävä esimerkiksi keskeyttämään dronen lento tarvittaessa. Tällaiseen operaatioon on mahdollista saada toimintalupa ilman, että se on lain määrittelemä autonominen operaatio, jonka vaatimukset tekniikalle ovat huomattavasti suuremmat. Valvoja voi myös mahdollisesti seurata useampia droneja yhtäaikaisesti etänä mutta valvojan on oltava aina mahdollista keskeyttää lento. (Niemelä 2021.)

Mikäli toimintaa varten ei ole saatavilla sopivaa standardi skenaariota (STS) tai ennalta määritettyä riskiarviointia (PDRA), on SORA-riskiarviointia varten määritettävä kaikki tarvittavat kohdat toimintalupaa varten. Täysin autonomista lentotoimintaa varten on todennäköisesti vaikea saada lupaa tämän hetken olemassa olevalla dronetekniikalla. Lentotoimintaa varten on oltava valvoja koko

ajan, jolla on mahdollisuus keskeyttää lentäminen erikoistilanteissa. Erikoistilanne voi olla esimerkiksi pelastushelikopterin laskeutuminen terminaalin pihalle, tässä tilanteessa on äärimmäisen tärkeää saada drone toiminta keskeytettyä eikä täysin autonomiseen lentämiseen voi vielä luottaa. (Niemelä 2021.)

6.2.3 Certified-kategoria

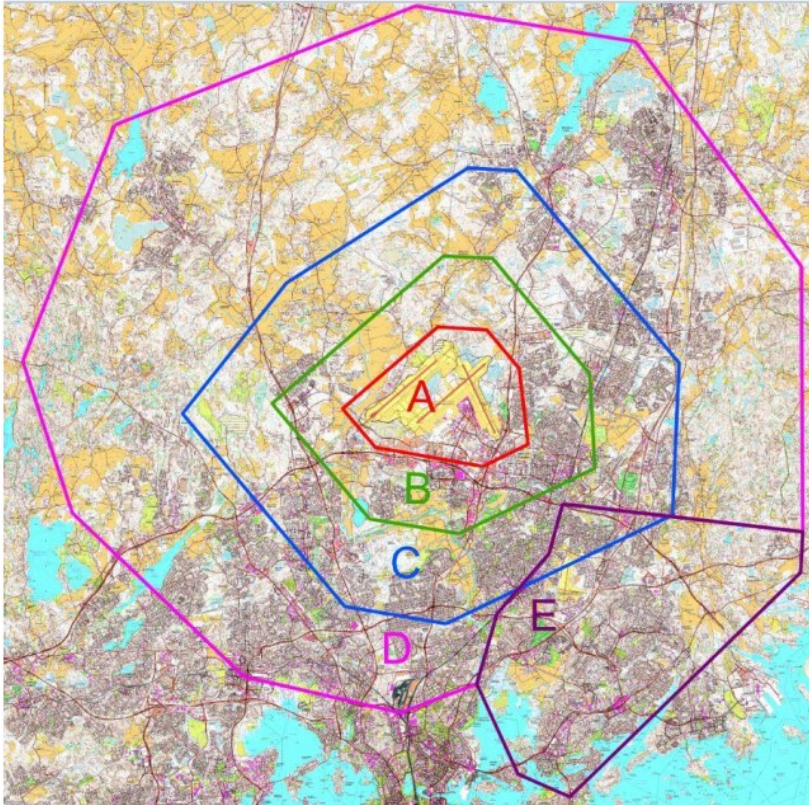
Certified-kategoria tulee dronelle voimaan, mikäli toiminta ylittää erityisen kategorian jonkun ylärajan eli dronella kuljetetaan ihmisiä tai vaarallisia aineita, lennetään väkijoukon päällä yli 3 metrin koko luokan dronella tai SORA-riskiarvioinnin lopputulos ylittää sen sallimat rajat. Tämän kategorian toiminta vastaa lentoyhtiötoimintaa samalla tavalla kuin miehitetyn ilmailun puolella ja sen lainsäädäntö on vielä kehitteillä tulevaisuutta varten. (Drone-infotilaisuus 2020.)

6.3 UAS-ilmatilavyöhykkeet

Drone-toimintaa rajoittaa myös eri kategorioiden rajoitusten lisäksi lentämisen aikana vallitseva ilmatilavyöhyke. Alueiden määrittäminen on EU:n jäsenvaltioiden tehtävä ja näillä alueilla on erilliset määräykset koskien esimerkiksi sallittua lentokorkeutta. Ilmatilavyöhykkeet rajoittavat dronella lentämistä lento- ja helikopterilentopaikkojen läheisyydessä (CTR) sekä lentopaikan lentotiedotusvyöhykkeille (FIZ). Rajoittavat UAS-ilmatilavyöhykkeet ovat nimetty lentopaikkojen tunnistuiden mukaan. (Traficom perustaa miehittämätöntä... 2020.) Esimerkiksi Aviamaps Oy tarjoaa ilmaisen dronekartta -palvelun, jonka avulla UAS-ilmatilavyöhykkeitä voidaan tarkastella karttapohjalla.

Esimerkiksi Kuvioista 1 voidaan havaita Helsinki-Vantaan lentoaseman ympärille ja lähialueille perustettujen UAS-ilmatilavyöhykkeiden rajoittamat alueet. Ilmatilavyöhykkeet ovat jaettuna A-E vyöhykkeisiin, jolla jokaisella on omat rajoitukset UAS-toiminnalle. Vastaavasti muilla lentopaikoilla on rajoitettu toimintaa määritetyillä vyöhykkeillä. (Rajoittavat UAS-ilmatilavyöhykkeet 2020.)

Helsinki-Vantaa - EFHK



Kuvio 1. Helsinki-Vantaa - EFHK Rajoittavat UAS-ilmatilavyöhykkeet. Lainattu (Rajoittavat UAS-ilmatilavyöhykkeet... 2020).

Kuviossa 1 vyöhykkeellä A UAS-toiminta on sallittua ainoastaan ilmaliikennepalveluntarjoajan luvalla sen aukioloaikoina ja niiden ulkopuolella Liikenne- ja viestintäviraston luvalla tai Liikenne- ja viestintäviraston asettamilla erityisehdoilla. Vyöhykkeellä B määräys on muuten sama kuin A vyöhykkeellä mutta A-vyöhykkeen sivurajojen ulkopuolella on mahdollista lentää lentoesteen läheisyydessä enintään 50 m vaakasuoralla etäisyydellä kaikkina aikoina ja esteen ylittäminen on sallittua enintään 15 metrillä vastaavan yksikön pyynnöstä. (rajoittavat UAS-ilmatilavyöhykkeet... 2020.)

Kuviossa 1 vyöhykkeellä C UAS-toiminta on kaikkina aikoina sallittua alle 50 m korkeudella. Tästä ylittyvällä lentokorkeudella vaaditaan ilmaliikennepalveluntarjoajan lupa ja muita erityisehtoja. Vyöhykkeellä D UAS-toiminta on sallittua kaikkina aikoina alle 120 m korkeudella. Tästä ylittävällä korkeudella erityisehdoilla ja ilmaliikennepalveluntarjoajan luvalla. Vyöhykkeellä E UAS-toiminta on sallittua alle 120metrissä ja sen ylittäessä vain erityisehdoilla. (rajoittavat UAS-ilmatilavyöhykkeet... 2020.)

7 Dronetekniikan käyttökohteet ja järjestelmän vaatimukset terminaalin sisätiloissa

Tässä luvussa käsitellään dronetekniikkaa ja sen mahdollisuuksia terminaalin sisätiloissa. Luvussa analysoidaan aikaisempien lukujen tietoperustan avulla ja terminaalissa suoritettua havainnointia perusteella sisätiloissa käytettävän dronejärjestelmän vaatimuksia ja rajaehtoja. Luvussa määritetään dronejärjestelmän keskeisimmät vaadittavat komponentit sekä ominaisuudet. Vaatimusten määrittämisessä hyödynnetään toimeksiantajan kanssa käytyjä keskusteluja järjestelmän tarpeista. Luvussa käsitellään pääasiassa lähetysten inventaariota mahdollisena käyttökohteena mutta dronejärjestelmien perusrakenne on myös sama muissakin tehtävissä ja sovelluksissa, joissa kerätään dataa dronella.

7.1 Lähetysten inventaario

Terminaalin sisätiloissa tutkittiin dronetekniikan soveltuvuutta lähetysten inventaarioiden suorittamiseen autonomisesti. Lähetykset inventoidaan tällä hetkellä käsin viivakoodinlukijalla toimeksiantajan terminaalin lattialta, usein kerran vuorokaudessa tietyssä aikaikkunassa. Toimeksiantajalla on tavoitteena hakea tähän prosessiin tulevaisuudessa automatisoitua ratkaisua, jonka avulla lähetykset saadaan inventoitua automaattisesti kerran vuorokaudessa eikä varastotyöntekijöillä mene aikaa sen tekemiseen.

Aikaisemmin käsiteltyä EU-droneasetusta ei tarvitse terminaalin sisätiloissa soveltaa. Terminaalin sisällä olosuhteet ovat myös yleensä vakiot lämpötilan ja ilmavirtausten osalta. Nämä ovat myönteisiä asioita dronella lentämiselle ja sen akun kapasiteetille. Sisätiloissa on kuitenkin ratkaistava aikaisemmassa luvussa 5 mainitut ongelmat: dronen sijainnin määrittäminen sekä lennonhallinta autonomisen navigoinnin ja tehtävien suorittamisen mahdollistamiseksi. Autonominen navigointi on ratkaistava lähtökohtaisesti dronen omien antureiden ja esimerkiksi kiinteiden navigointi pisteiden avulla, koska navigointi dronen omilla sensoreilla on todettu mahdolliseksi ja ulkoisten sisäpaikkajärjestelmien käyttäminen on aina haasteellisempaa isossa tilassa kuten terminaalissa ratkaisun skaalautumisen kannalta.

Lisäksi dronella on oltava kyky tunnistaa lähetykset ja skannata lähetysten viivakoodit. Luettujen lähetysten viivakoodit on myös pystyttävä tuomaan ulos dronejärjestelmästä. Toimeksiantajalla on

käytössä oma toiminnanohjausjärjestelmä, jonka käyttöliittymä on manuaaliseen skannauslaitteeseen integroitu varastotyöntekijöitä varten. Dronen skannaamat lähetykset ja siitä luotu data on siis pystyttävä tuomaan jollain tavalla tähän toiminnanohjausjärjestelmään sisään. Järjestelmä integraatiota ei tässä tutkimuksessa käsitellä tarkemmin aiheen laajuuden vuoksi.

Dronella on myös oltava mahdollisuus automaattiseen akkujen lataukseen sekä tiedonsiirtoon. Dronejärjestelmässä on oltava siis esimerkiksi maa-asema, jonne drone pystyy navigoimaan autonomisesti ja lataamaan akun sekä siirtämään kerätyn datan lähetyksistä eteenpäin varastohallinnasta vastaavalle tai suoraan toiminnanohjausjärjestelmään. Tiedonsiirto dronen ja maa-aseman välillä on myös oltava langatonta. Dronen hallintaa varten tarvitaan myös käyttöliittymä, jonka avulla tehtäviä voidaan aikatauluttaa tai keskeyttää tarvittaessa.

Dronen toiminta on lisäksi pystyttävä integroimaan turvallisesti terminaalin muuhun toimintaan työturvallisuuslain mukaisesti. Dronet pystyvät väistämään objekteja lentoreitillä mutta esimerkiksi vikaantumistilanteissa drone voi törmätä ihmisiin tai muihin esteisiin. Taulukossa 3 on kuvattu dronejärjestelmän keskeisiä vaatimuksia ja ominaisuuksia kokonaisuudessaan.

Taulukko 4. Dronejärjestelmän keskeiset komponentit ja vaatimukset

Drone	Maa-asema	Taustajärjestelmä
<ul style="list-style-type: none"> • Autonominen navigointi <ul style="list-style-type: none"> ○ Sijainnin määrittäminen ○ Lennonhallinta ○ Esteiden väistäminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Automaattinen akkujen latausasema suoritettavien tehtävien välissä 	<ul style="list-style-type: none"> • Kerätyn datan prosessointi
<ul style="list-style-type: none"> • Datan kerääminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kerätyn datan siirtäminen dronelta taustajärjestelmään 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiedonsiirto eteenpäin toiminnanohjausjärjestelmää/järjestelmä integraatio
<ul style="list-style-type: none"> • Dronen omat sensorit ja/tai sisäpaikannusjärjestelmä navigointiin ja datan keräämiseen 	<ul style="list-style-type: none"> • Langaton tiedonsiirto dronen ja maa-aseman välillä 	<ul style="list-style-type: none"> • Käyttöliittymä dronen seurantaan ja tehtävien hallintaan

7.2 Havainnointi toimeksiantajan terminaalissa

Toimeksiantajan yhteistyökumppanin Vähälä Logistics Oy:n Jyväskylän terminaalissa suoritettiin havainnointi terminaaliympäristöön, minkä tarkoituksena oli tutkia yleisesti kappaletavaraterminaalien soveltuvuutta autonomiselle drone-toiminnalle.

Havainnoinnin perusteella ongelmia aiheuttaa terminaalissa ensimmäisenä viivakoodien sijainti lähetyksissä. Havaintoja tehdessä terminaalissa oli selvää, että lähetyksen viivakoodien sijainnissa on tehtävä toimintamalliin muutoksia, mikäli droneilla halutaan lukea viivakoodeja. Dronejärjestelmää tai mitä tahansa muuta lukijaa käytettäessä viivakoodien lukemiseen, on kaikkien viivakoodien oltava sijoitettuna siten, että viivakoodiin on suora näköyhteys. Lähetyksiä oli havainnoin aikana sijoitettu siten, että viivakoodeja ei ole mahdollista lukea suoraan ilman lähetyksen siirtämistä. Tämän ongelman ratkaisu vaatii mahdollisesti uusia ohjeita asiakkaille viivakoodi teippausten sijoittamiseen sekä varastotyöntekijöiden toimintaan siten, että lavat ovat aina viivakoodi ulospäin sijoitettuna lattialla esteettömän lukemisen mahdollistamiseksi.

Terminaalissa suoritettussa havainnoinnissa huomattiin myös, että osaa lähetyksistä ei ole mahdollista inventoida dronella. Tällaisia ovat esimerkiksi rullakot, jossa on pieniä lähetyksiä päällekkäin useammassa kerroksessa. Tällaisessa tapauksessa on mahdotonta asetella lähetykset siten, että viivakoodit voidaan lukea suoralla näköyhteydellä dronen avulla. Lähtökohtaisesti dronella on siis mahdollista inventoida vain suuremmat lähetykset, joiden viivakoodit voidaan sijoitella siten, että dronella on suora näköyhteys viivakoodiin.

Autonominen dronen navigointi varastossa tai terminaalissa perustuu usein myös varaston layoutin opettamiseen dronelle, jonka avulla dronen sijainnin määrittäminen on yksinkertaisempaa. Toimeksiantajan terminaalissa ongelmana on se, että kiinteitä rakenteita muodostavat vain tukipilarit sekä ulkoseinät. Tämä vaikeuttaa dronen sijainnin määrittämisen ongelman ratkaisua. Kiinteiden rakenteiden lisäksi lähetykset ovat kuitenkin määritetyillä alueilla terminaalien layoutissa, jotka ovat merkattu usein lattiaan teipeillä. Lähetyksiä on kuitenkin usein muillakin alueilla tai kaikki lähetykset eivät mahdu niille määrätuille alueille.

Vaikka terminaalin sisällä on mahdollista lentää autonomisesti dronella lainsäädännön puolesta, on työturvallisuus kuitenkin otettava huomioon. Useilla droneilla on kyky väistää esteitä mutta turvallisuuden takia on todennäköisesti suunniteltava toiminta siten, että dronen lentäessä ei lähellä työskentele ihmisiä. Tämän takia on dronella oltava riittävä kapasiteetti skannata lähetyksiä, että sen toiminta voidaan integroida terminaalin muuhun työskentelyyn joustavasti ja turvallisesti. Tällä hetkellä inventaario suoritetaan usein kerran päivässä, tässä määrätystä aikaikkunassa myös droneilla suoritettava inventaario on todennäköisesti suoritettava.

8 Terminaalin sisätiloihin soveltuvat dronejärjestelmät markkinoilla

Tässä luvussa analysoidaan markkinoilta saatavilla olevia dronejärjestelmiä terminaalien ja varastojen sisätiloihin sekä hanketta, jossa rakennettiin etenemissuunnitelma kuormalavahyllyjen rakenteita tarkastavaan autonomiseen dronejärjestelmään. Luvun tarkoituksena on luoda kokonaiskuva tämän hetken tilanteesta dronemarkkinoilla sekä meneillään olevasta kehitystyöstä.

8.1 Autonomous Warehouse Inspection via Drones -projekti

Työtehosteuran ja Turun yliopiston Autonomous Warehouse Inspection via Drones -projektissa testattiin simulaatiossa autonomista dronea kuormalavahyllyjen tarkastamisessa vaurioiden varalta sekä rakennettiin alustava tiekartta vastaavan dronejärjestelmän kehittämiseen. Järjestelmän vaatimukset ja tekniset ominaisuudet ovat samansuuntaisia, kuten aikaisemmin määritetyt lähetysten inventaarion mahdollistavassa järjestelmässä. Hankkeen etenemissuunnitelman avulla voidaan havainnollistaa myös osittain mahdollista lähetysten inventaariota varten kehitettävän järjestelmän työmäärää sekä keskeisiä haasteita.

Hankkeen dronejärjestelmän konseptin suunnittelussa tavoitteena oli automaattinen järjestelmä, jonka avulla voidaan tarkastaa kuormalavahyllyt ja havaita vaurioita hyllyjen rakenteissa. Järjestelmässä ideana on, että drone navigoi autonomisesti varastossa kuormalavahyllyn luokse, kuvaa määritettyjen hyllyjen rakenteet ja palaa automaattisen latausaseman luokse. Dronen keräämästä datasta analysoidaan automaattisesti mahdolliset vauriot ja ilmoitetaan löydetystä vaurioista tarkastajalle. (Koivunen & Mäkilä 2020. 6.)

Autonomisessa navigoinnissa dronen sijainnin määrittämisen ongelma oli tavoitteena ratkaista dronen omien sensorien avulla ja SLAM-menetelmällä. Ulkoista sisäpaikannusjärjestelmää ei pidetty sopivana vaihtoehtona, koska sisäpaikannusjärjestelmää ei nähty skaalautuvana varsinkaan suurissa varastoissa. Järjestelmän komponentteja suunniteltaessa pohdittiin myös jo olemassa olevan dronetekniikan hyödyntämistä markkinoilta, koska useissa droneissa on jo valmiina lähes kaikki tarvittavat sensorit autonomiseen navigointiin sekä kuormalavahyllyjen tarkistamiseen. (Koivunen & Mäkilä 2020, 11.)

Kuormalavahyllyjen tarkastukseen suunnitelmassa esitetään koneoppimista ja kuvantunnistusta. Algoritmia varten dataa kerätään dronella kameroiden avulla, joka tuodaan maa-asemalle ja ladataan esimerkiksi pilvipalvelimelle. Suuremman prosessointitehon vuoksi kuvamateriaalia ei analysoida dronessa vaan vasta maa-aseamalla tai pilvipalvelussa samalla, kun dronen akku latautuu. Koneoppimista varten vaurioituneista kuormalavahyllyistä on vielä kerättävä lisää dataa eli kuvia todellisista kuormalavahyllyjen vaurioista. Keräämällä tarpeeksi dataa näistä vaurioista tunnistuksen tarkkuus paranee. (Koivunen & Mäkilä 2020, 14.)

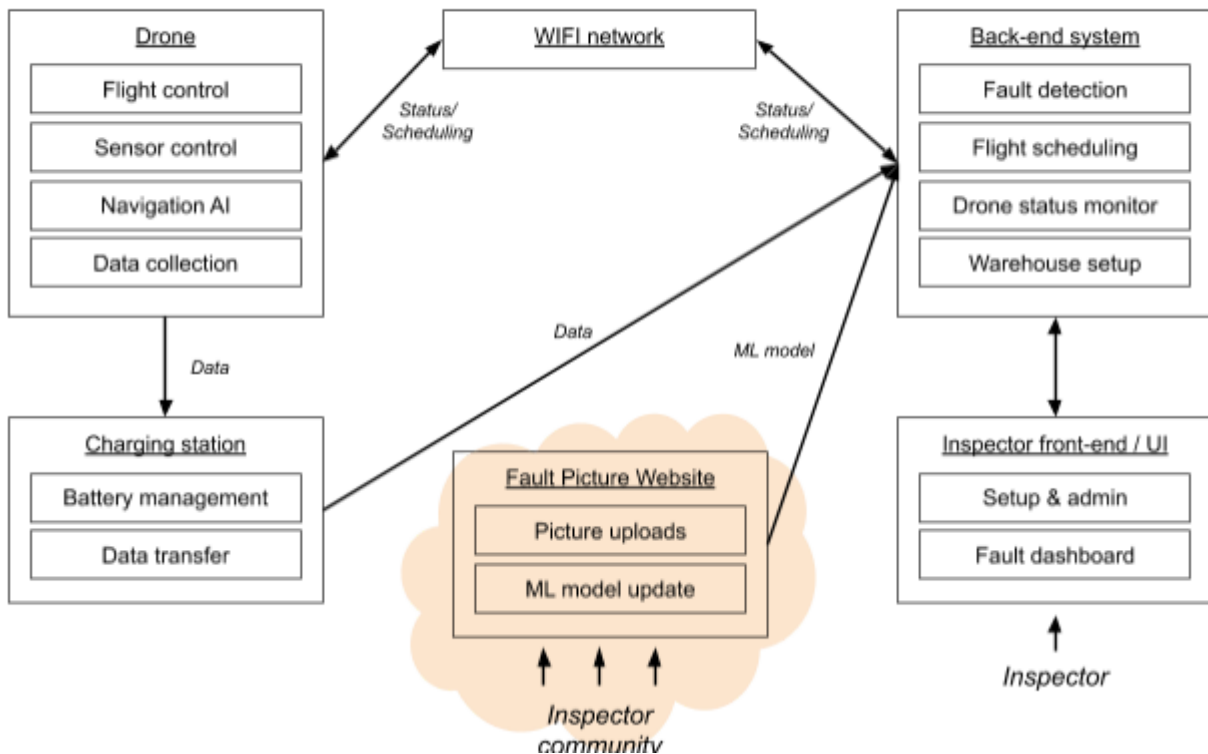
Taustajärjestelmän ominaisuuksiin hankkeessa esitettiin käyttöliittymää, jonka avulla havaituista vaurioista voidaan ilmoittaa tarkastajalle. Lisäksi taustajärjestelmän avulla voidaan hallita dronen aikatauluja sekä seurata dronen kuntoa. Tiedonsiirtoa varten maa-aseman ja dronen välille esitettiin langatonta WiFiä. (Koivunen & Mäkilä 2020, 16)

Projektissa autonomista navigointia ja muita ominaisuuksia varten droneen ehdotettiin lisää laskentatehoa tuovaa tietokonetta, joka on mahdollista asentaa markkinoilta saatavilla olevaan droneen. Dronen sensoreiksi esitettiin navigointia varten stereo kameraa sekä etäisyysanturia esteiden väistämistä varten. Lisäksi LiDAR-sensoria ehdotettiin lisänä avustamaan layoutin rakentamisessa, mikäli se on mahdollinen vielä osana dronen hyötykuormaa. (Koivunen & Mäkilä 2020, 19.)

Koivusen ja Mäkilän mukaan (2020) esitetty dronejärjestelmän konsepti vaatii vielä paljon kehitystyötä mutta dronetekniikasta on potentiaalia varasto ympäristön tehtäviin tulevaisuudessa. Koivunen ja Mäkilä (2020) arvioivat konseptin järjestelmän kehittämisen MVP-vaiheeseen (Minimum Viable Product) vaadittavan noin 8000 työtuntia eli 46 kuukautta kehitystyötä.

Kuviossa 2 on kuvattuna projektissa esitetyn järjestelmän kokonaisuus. Järjestelmän ominaisuuksilla on yhteneväisyyksiä myös aikaisemmassa luvussa kuvatun lähetyksen inventaarioon tarkoitettun järjestelmän kanssa. Järjestelmällä on samat perusominaisuudet, mutta navigointi sekä lähetyksen tunnistaminen avoimessa tilassa ilman kuormalavahyllyjä ovat erilaiset ongelmat tässä työssä tutkittavassa järjestelmässä.

Proposed Solution



Kuvio 2. Ehdotetun järjestelmän tärkeimmät fyysiset sekä ohjelmiston komponentit projektissa. Lainattu. (Koivunen & Mäkilä 2020, 17.)

8.2 FlytBase Incorporated

Varaston inventaarioon autonomista dronejärjestelmää kehittää yhdysvaltalainen vuonna 2016 perustettu startup-yritys FlytBase Incorporated. Autonomiseen inventaarioon tarkoitetun tuotteen nimi on FlytWare. FlytBasen mukaan järjestelmä soveltuu kapean käytävän varastoihin (VNA), kuormalavahyllyille, pientavarahyllyille sekä myös bulkki varastoihin ja se on sovellettavissa moniin erityyppisiin varastoihin. (About Us 2021.)

FlytBasen tarjoamassa järjestelmään kuuluu maa-asema, ohjelmisto, dronen latauspiste ja itse moniroottorinen drone. Dronen sijainnin määrittäminen sekä esteiden väistäminen sisätiloissa on ratkaistu dronen oman kameran ja muiden sensoreiden avulla sekä varasto kartoitetaan tapauskohtaisesti ennen toiminnan aloittamista. Kartoitusta varten varastoon asetetaan navigointipisteitä, jotka avustavat dronea sijainnin määrittämisessä. Viivakoodien lukeminen suoritetaan kameran avulla, jonka kuva tuodaan maa-asemalle, jossa se analysoidaan konenäön avulla. Viivakoodeista muodostetaan tietokanta, jonka avulla voidaan määrittää varastossa olevat lähetykset ja niiden sijainnit. FlytBase ei valmista droneja vaan keskittyy pääasiassa ohjelmiston ja algoritmien kehittämiseen, jonka avulla drone navigoi autonomisesti sekä suorittaa tehtävät varastossa. (Solution 2021.)

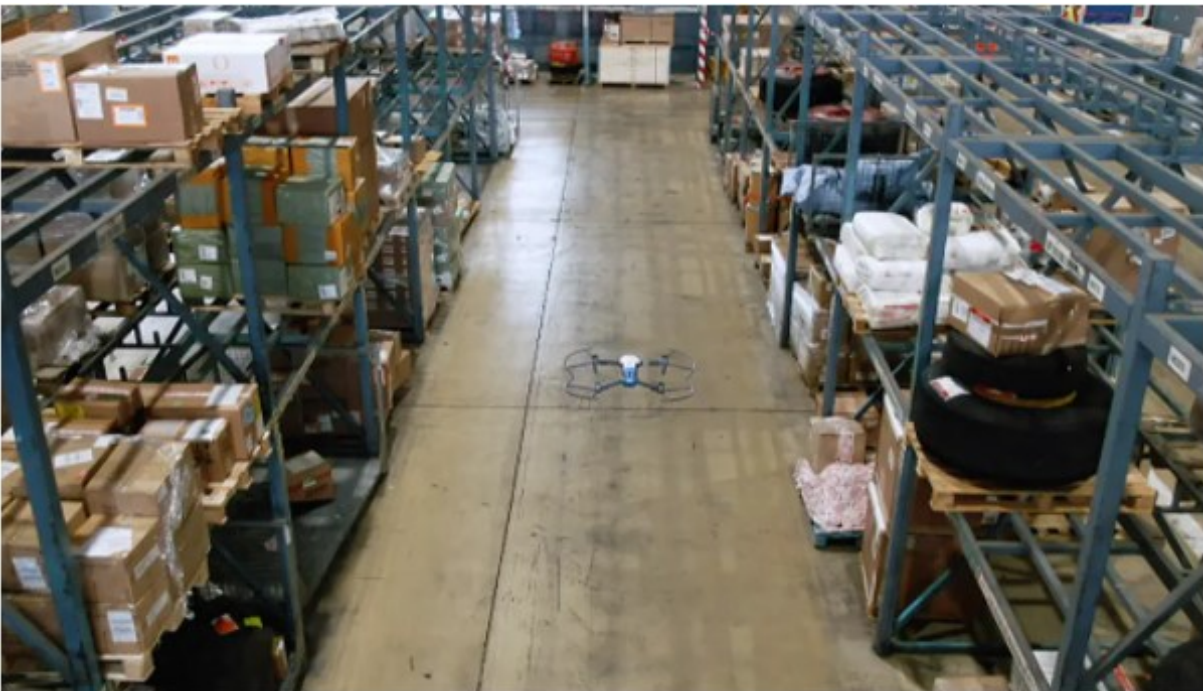
FlytWarella on mahdollista ladata drone myös täysin autonomisesti latausalustalla, johon drone laskeutuu autonomisesti tehtävien välissä. Lentoaika täydellä latauksella on noin 30min optimaalisissa olosuhteissa. Järjestelmä ei tarvitse erillistä infrastruktuuria varastoon, vaan tietoliikenne hoidetaan maa-aseman ja dronen välillä langattomasti. Maa-asemalla dronen keräämä tieto analysoidaan ja se voidaan mahdollisesti integroida ohjelmistorajapinnan avulla varastonhallinta- tai toiminnanohjausjärjestelmään. Järjestelmän luomaa dataa voidaan myös tuoda CSV-tiedostoissa toisiin järjestelmiin yksinkertaista tiedonsiirtoa varten. (Solution 2021.)

FlytWarella on kyky skannata useampi alue varastossa ja siirtyä autonomisesti alueelta toiselle. Dronella on myös kyky väistää esteitä mutta valmistaja suosittelee, että lennon aikana dronen läheisyydessä ei työskentele ihmisiä turvallisuuden varmistamiseksi. Dronen lentoaika on noin 30 minuuttia, joten mikäli aika ei riitä määritettyjen alueen skannaamiseen tietyssä aikaikkunassa on droneja oltava useampi. (Solution 2021.)

8.2.1 Referenssi 1 IAG-Cargo

FlytBasella on kaksi julkista referenssiä yrityksiltä, jotka ovat ottaneet FlytWare dronejärjestelmän käyttöön ainakin pilotointia tai testausta varten. IAG Cargon Madridin lentorahti varastossa on käynnissä pilottiprojekti, jossa testataan FlytWarea autonomista inventaariota varten. IAG harkitsi RFID teknologian käyttöä autonomista inventaariota varten mutta lukijoiden asentaminen sekä tägien lisäämien jokaiseen lähetykseen koettiin liian kalliiksi vaihtoehdoksi. Drone vaihtoehto koettiin sopivaksi, koska varastoon tai lähetyksiin ei tarvinnut tehdä erillisiä muutoksia vaan olemassa olevat viivakoodit pystyttiin lukemaan FlytWaren avulla. (Aerial Inventory Counts 2020.)

IAG Cargon varastossa lähetykset on pääasiassa sijoitettu kuormalavahyllyihin ja lähetykset ovat vaihtelevan kokoisia. Varastossa käytetään noin 6500 työtuntia vuodessa lähes päivittäin suoritettavaan inventaarioon. FlytWarea muokattiin sopivaksi IAG:n varastoon ja kehitys on vielä kesken, mutta tulokset ovat olleet lupaavia. Lähetyksen skannauksessa päästiin 82 % tarkkuuteen mutta tavoitteena on vielä tarkempi skannaus kehitystyön jatkuessa. Yhteistyö on vielä tällä hetkellä käynnissä mutta mikäli FlytWaresta saadaan täysin toimiva ratkaisu, on IAG:lla tarkoitus skaalata toimintaa yrityksen muihin varastoihin. (Aerial Inventory Counts 2020.)



Kuvio 3. FlytWaren käyttämä drone IAG Cargon Madridin varastossa (Aerial Inventory Counts.. 2020).

8.2.2 Referenssi 2 Romark Logistics

FlytBasen toinen referenssi on Yhdysvaltalainen Romark Logistics. Romarkin ja FlytBasen välillä on kolmivaiheinen sopimus FlytWaren laajemmasta käyttöön otosta Romarkin varastoissa. Tarkoituksena oli ensin suorittaa proof of concept -vaihe. Tässä vaiheessa todennetaan yleisesti, onko ratkaisu sopiva varastoon ja onko autonomia vaaditulla tasolla. Tämä vaihe suoritettiin onnistuneesti 2019 loppuvuodesta. Onnistuneen proof of concept -vaiheen jälkeen käynnistettiin pilottiprojekti Lancasterin varastossa Texasin osavaltiossa. Tässä varastossa Romarkilla on käytössä kapeat käytävät hyllyjen välissä eli VNA varasto (Very Narrow Aisle) sekä korkeat hyllyt mikä aiheutti haasteita droneille. (Drone technology vastly... 2020.)

Pilotissa demonstroitiin onnistuneesti jatkuvaa autonomista lähetysten inventaariota osana varaston päivittäisiä prosesseja. Pilotissa dronella suoritettiin onnistuneesti autonomisesti lähetysten inventaario, lataus tehtävien välissä ja hyllyvälistä toiseen siirtyminen. Pilotissa huomattiin myös kehityksen kohteita ja rajoja dronen toiminnalle. Näitä olivat esimerkiksi lataus- ja maa-asemien sijainti ja määrä, viivakoodien sijoittelu lähetyksiin, langattoman tiedonsiirron kantama. Näitä toimintoja on vielä tarkoitus kehittää ja suunnitella ennen täysimääräistä käyttöönottoa Romarkin varastoissa. Romark Logistics on ollut merkittävä kumppani FlytBaselle tuotekehityksessä. (Drone technology vastly... 2020.)

8.2.3 Haastattelu

Helmikuussa 2021 suoritettiin sähköpostilla avoin haastattelu FlytBasen kanssa. Haastattelun tarkoituksena oli selvittää FlytWaren soveltuvuutta terminaaliympäristöön, missä lähetykset eivät ole kuormalavahyllyissä. Kysyttäessä soveltuvuudesta terminaaliympäristöön oli annettuna seuraavat rajaehdot: Lähetykset ovat määrättyillä alueilla ja viivakoodit ovat saatavilla suoraan näköyhteyteen dronella sekä inventaario suoritetaan kerran päivässä. Lisäksi FlytWare käyttää sijainnin määrittämiseen fyysisiä navigointi merkkejä, joten näiden paikoittamisesta kysyttiin tilanteessa, jossa kuormalavahyllyjä ei ole.

Vastauksena kysymyksiin saatiin, että FlytWare ei tällä hetkellä kykene lukemaan viivakoodeja ja siten suorittamaan inventaariota tällaisessa käyttökohteessa. FlytWare pystyy lentämään avoimesakin tilassa mutta tämä ominaisuus on suunniteltu bulkkivarastojen inventointia varten.

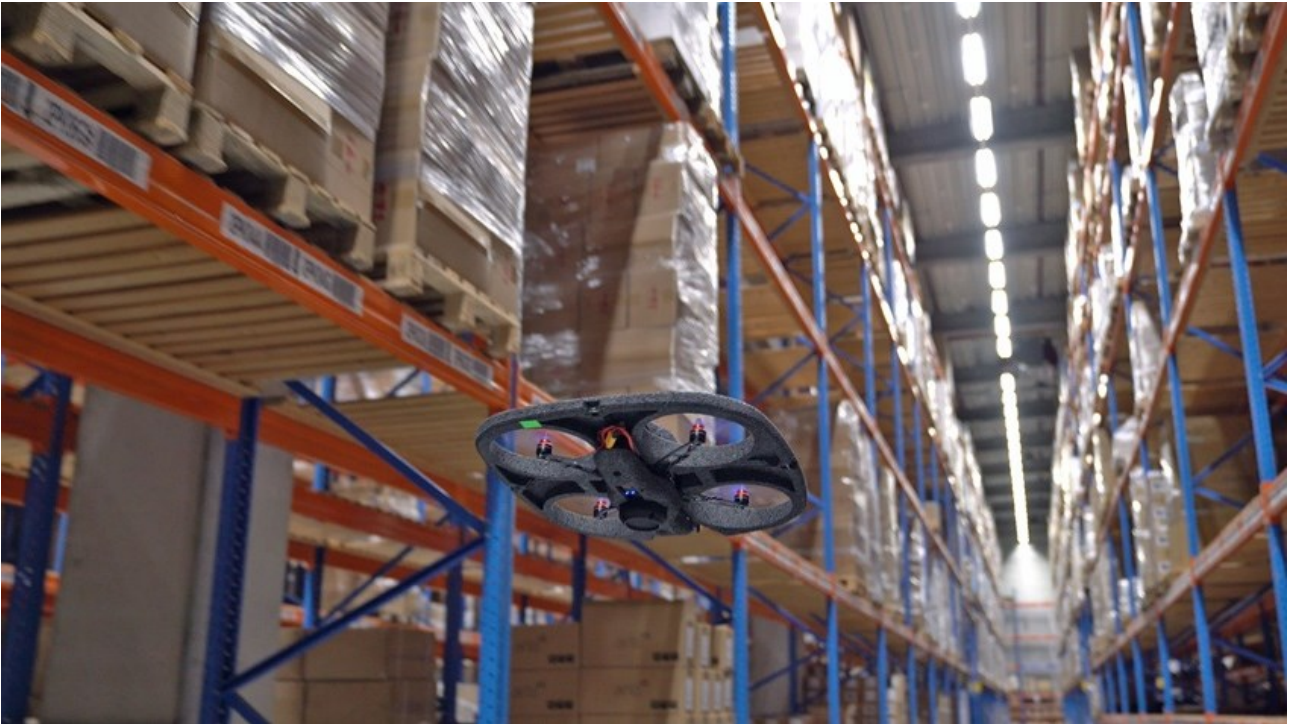
8.3 Verity AG

Verity AG on 2014 perustettu sveitsiläinen yritys, joka on erikoistunut sisäkäytössä olevaan droneteknologiaan sekä quadkopterien turvallisuuteen. Verity kehittää fail-safe algoritmia, jonka avulla quadkopterit voivat laskeutua turvallisesti maahan, vaikka osa moottoreista vikaantuisi. Yritys tarjoaa myös logistiikkaan autonomisia dronejärjestelmiä sekä live-tapahtumiin kuten konsertteihin droneja osana esimerkiksi erikoistehosteita. Myös Verity AG on edelleen startup -vaiheessa liiketoiminnaltaan ja se sai loppuvuodesta 2020 pääomasijoittajilta viimeisimmän rahoituskierröksensä. Verityn toisen perustajan Raffaello D`Andrean aikaisempi yritys, autonomisiin varastorobotteihin keskittynyt Kiva Systems myytiin Amazonille 775 miljoonalla dollarilla vuonna 2012 (Biography N. D.).

Verityn ratkaisu droneilla suoritettavaan inventaarioon on myös täysin autonominen. Järjestelmään kuuluu drone, automaattinen latausasema ja pilvipalvelut kerätyn datan prosessoimiseksi. Verityllä on myös kaksi julkista referenssiä yrityksistä, jotka ovat ottaneet Verityn ratkaisun käyttöön pilottiprojektissa onnistuneesti, ja tämän jälkeen siirtyneet laajempaan käyttöönottoon useammassa kohteessa. Verityn ratkaisu keskittyy myös tällä hetkellä varastoihin, jossa lähetykset siioittuvat kuormalavahyllyille. Verityn ratkaisusta ei ole paljon julkista tietoa saatavilla. (Autonomous drone systems... 2021).

8.3.1 Referenssi 1 DSV

DSV on suorittanut onnistuneen pilottiprojektin Verityn dronejärjestelmällä varastossa Alankomaissa, jossa testattiin dronen kykyä autonomiseen inventaarion suorittamiseen. Varastossa lähetykset on sijoitettu korkeille kuormalavahyllyille. Dronen tehtävänä oli pilotissa lukea lähetysten viivakoodit sekä tunnistaa tyhjät ja täydet lavapaikat. Drone suoritti inventaariot yöaikaan, koska tässä varastossa ei ole silloin muita työntekijöitä. Tällä hetkellä Verityn järjestelmää ollaan ottamassa käyttöön myös useammassa DSV:n varastossa Euroopassa onnistuneen pilottiprojektin seurauksena. Pilotointi vaiheessa dronella tehtiin tuhansia onnistuneita lentoja ja tunnistettiin kymmeniä tuhansia viivakoodeja ilman virheitä. (DSV improves warehouse... 2020.)



Kuvio 4. Verityn drone DSV:n Moerdijkin varastossa. Lainattu. (DSV Improves warehouse.. 2020.)

8.3.2 Referenssi 2 IKEA

Ikea on myös suorittanut onnistuneen pilottiprojektin Verityn dronejärjestelmällä. Pilotissa järjestelmää testattiin autonomiseen viivakoodien lukemiseen, lavapaikan tilan tunnistamiseen ja myös laatikoiden laskemiseen yksittäisellä lavalla. Myös tässä pilotissa kuormalavat sijaitsivat hyllyissä ja dronet suorittivat inventaariot yöaikaan, kun varastossa ei ollut muuta henkilöstöä. Onnistuneen pilottiprojektin jälkeen myös IKEA on alkanut ottaa käyttöön Verityn järjestelmää muissa varastoissa. (How tech for... 2020).

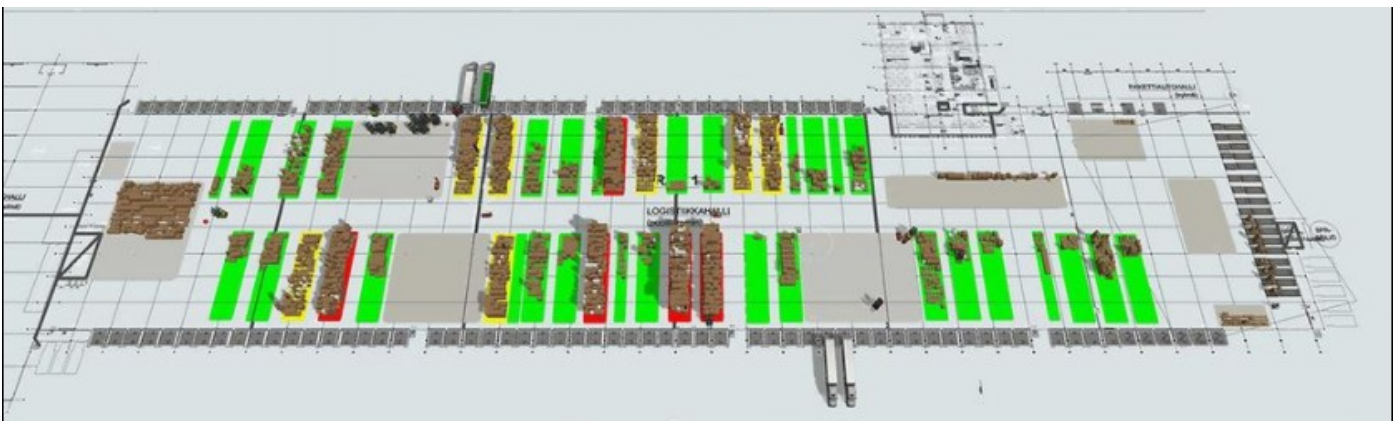
IKEA:n mukaan suurimmat hyödyt manuaaliseen inventaarioon verrattuna ovat olleet turvallisuus työntekijöille, koska ei tarvitse enää nousta lukemaan korkealta kuormalavahyllystä viivakoodeja. Lisäksi manuaalinen inventaario on ollut todella hidas työvaihe suuressa varastossa ja korkeissa kuormalavahyllyissä, dronella suoritettu autonominen inventaario on ollut huomattavasti tehokkaampi ratkaisu. Droneilla suoritettava inventaario on myös pystytty tekemään suuremmalla frekvenssillä tehokkuuden parannuksen ansiosta, joten varastojen saldot ovat olleet täsmällisempiä. (How tech for... 2020).

8.3.3 Haastattelu

Verityn operatiivisen johtajan, Markus Waibelin kanssa suoritettiin avoin haastattelu sähköpostilla huhtikuussa 2021. Haastattelun tarkoituksena oli hankkia yksityiskohtaisempaa tietoa Verityn järjestelmästä sekä sen soveltuvuudesta terminaaliympäristöön. Verityn järjestelmästä ei ollut juuri-kaan yksityiskohtaista tietoa saatavilla tarkemmista ominaisuuksista julkisesti. Haastattelussa kysyttiin ensimmäisenä tarkempia yksityiskohtia Verityn ratkaisusta dronen sijainnin määrittämisen ongelmaan sisätiloissa. Vastauksena tähän saatiin, että Verityn paikannusjärjestelmä on patentoitu ja liikesalaisuus, jota ei voi avata tarkemmin (Engl. Proprietary).

Seuraavana keskustelun aiheena oli Verityn dronejärjestelmän yhteensopivuus terminaaliympäristöön. Verityn julkisissa referensseissä järjestelmä oli käytössä vain kuormalavahyllyvarastoissa. Kysyttäessä yhteensopivuudesta oli terminaaliympäristölle annettu seuraavat rajaehdot sekä alla oleva kuvio 5, jossa on Schenkerin kappaletavaraterminaalin layout demonstrointia varten:

- Jokainen lähetyksissä sijaitseva viivakoodi on sijoitettu siten, että dronella on mahdollisuus päästä suoraan näköyhteyteen viivakoodin kanssa
- Lavat/lähetykset on sijoitettu määritetyille alueille terminaalissa (lähtevän tavarun ruudut tai muut määritetyt alueet)
- Määritetyt alueet ovat merkattuna lattiaan ja alueet ovat staattisia
- Inventaario suoritetaan kerran päivässä tietyssä aikaikkunassa



Kuvio 5. Schenkerin Turun terminaalin layout. Lainattu. (Tyttö N.D.)

Vastauksena yhteensopivuuteen saatiin yksinkertaisesti, että Verityn dronejärjestelmällä on mahdollista ratkaista kysymyksessä esitetty käyttökohde, vaikka ratkaisua on tällä hetkellä kehitetty vain kuormalavahyllyille. Haastattelussa keskusteltiin myös Verityn kilpailijoista. Markus Waibelin mukaan Verityllä on ainoa täysin autonominen ratkaisu, joka on tällä hetkellä käyttöönottovaiheessa kaupallisesti useilla asiakkailta. Hänen ymmärryksensä kilpailijoista oli se, että heidän projektinsa ovat jääneet pilotointivaiheeseen eikä autonomian taso ole kilpailijoilla yhtä korkealla, kuin he mainostavat.

9 Dronetekniikan käyttökohteet ja vaatimukset terminaalin ulkoalueilla

Tässä luvussa käsitellään terminaalin ulkoalueilla tapahtuvaa drone-toimintaa. Luvussa määritetään mahdollisen dronejärjestelmän vaatimukset ja komponentit sekä tutkitaan niiden vaikutusta merkittävimpään rajaehoon ilmatilassa tapahtuville drone-operaatioille eli regulaatioon. Luvussa keskitytään enemmän lainsäädäntöön sekä järjestelmän vaatimukseen sen kannalta, koska se on merkittävin yksittäinen tekijä drone-toiminnan mahdollistamiseksi ja ensimmäinen askel suunniteltaessa drone-toimintaa ilmatilassa.

9.1 Järjestelmän vaatimukset

Terminaalin ulkoalueella tavoitteena olisi suorittaa dronella esimerkiksi kaluston inventaariota ja muita tarkastustehtäviä autonomisesti ja siirtää kerätty data eteenpäin esimerkiksi ajojärjestelyyn. Tätä varten dronella tulee olla kyky navigoida autonomisesti ja suorittaa annettuja tehtäviä terminaalialueella. Dronella on oltava myös maa-asema automaattista akkujen latausta ja tiedonsiirtoa varten. Lisäksi datan keräämistä, esimerkiksi autojen rekisterinumeroita tai perävaunujen ja konttien tunnistusten lukemista varten drone on varustettava kameralla sekä taustajärjestelmä konenäkö ominaisuuksilla kerätyn materiaalin analysointia varten.

Ulkona dronen sijainnin määrittäminen navigointia varten on huomattavasti helpompaa, kuin sisätiloissa. Drone voi hyödyntää GPS-paikannusta sekä ilmanpaineanturia tarkan sijainnin sekä lento korkeuden luotettavaan määrittämiseen. Ulkona sääolosuhteet aiheuttavat kuitenkin haasteita lentämiselle. Droneilla on valmistajan määrittelemät maksimi- ja minimilämpötilat, jossa lentämi-

nen on mahdollista. Myös tuulen voimakkuudelle on valmistajan antamat suositukset, joita on turvallisuudessa noudettava. Tämän takia ääriolosuhteissa drone-toiminta ei välttämättä onnistu. Mahdollisimman autonomista operaatiota varten maa-alueella pitäisi olla mahdollisuus suojata myös dronea sääolosuhteilta ja ylläpitää sopivaa lämpötilaa akkujen latausta varten.

Lainsäädännössä autonomisella lennolla tarkoitetaan täysin autonomista dronea, jonka lentoa ei ole edes mahdollista keskeyttää välittömästi ohjaajan toimesta. Lento ei kuitenkaan ole täysin autonominen lainsäädännön näkökulmasta, mikäli sitä valvotaan esimerkiksi etänä ja lento voidaan keskeyttää kaikkina aikoina välittömästi tai ottaa drone valvojan haltuun. Valvoja voi kuitenkin mahdollisesti seurata useampaa dronea yhtä aikaa ilman, että lento määritellään täysin autonomiseksi.

Tämän seurauksena järjestelmässä on oltava valvoja, jolla on kyky keskeyttää dronen lento tarvittaessa. Täysin autonomiselle lennolle ei tällä hetkellä ole mahdollista saada toimintalupaa. Valvojaa varten järjestelmässä on siten oltava käyttöliittymä kyseisillä toiminnoilla varustettuna sekä dronen tilan seuranta varten. Valvojan olisi kuitenkin valvottava lähtökohtaisesti useampaa dronea kerralla, että järjestelmä olisi taloudellisesti järkevä tai valvojalla on myös muita työtehtäviä dronen lisäksi.

Regulaation asettamiin vaatimuksiin vaikuttavat keskeisimmät tekijät ehdotetussa järjestelmässä ovat:

- Dronea lennätetään BVLOS-menetelmällä autopilotilla ja valvonta tapahtuu etänä ilman rajoituksia kauko-ohjaajan ja dronen etäisyydessä
- Valvojalla on mahdollisuus valvoa useampaa dronea yhtä aikaa
- Valvojalla on mahdollisuus ottaa drone hallintaan ja suorittaa hätälaskeutuminen tai kutsua drone kotiin välittömästi
- Lento-alueena on yksityisalue eli terminaali ja maa-alue on suljettu ulkopuolisilta
- Lentokorkeus on matala (alle 50 m tai mahdollisesti jopa 30 m) ja se tapahtuu lähellä lentoesteitä (rakennuksia) miehitetyn ilmailun ulottumattomissa

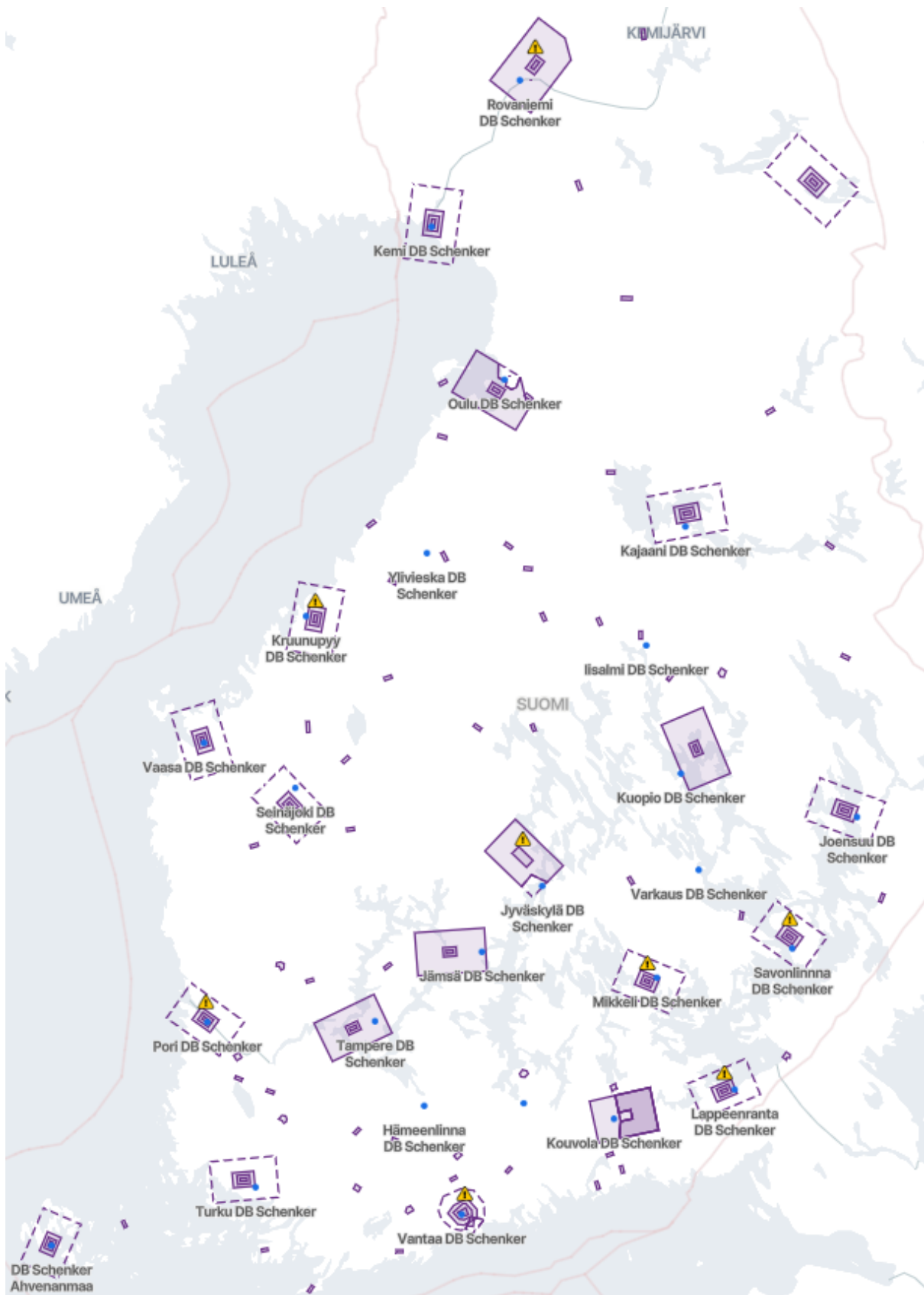
9.2 Schenkerin terminaalien sijoittuminen UAS-ilmatilavyöhykkeille

Kuviosta 5 voidaan tarkastella DB Schenkerin terminaalien sijoittumista UAS-ilmatilavyöhykkeisiin nähden. Lentokentät sijaitsevat useassa kaupungissa lähellä terminaalia, mikä aiheuttaa rajoituksia osassa terminaaleista mahdollisessa UAS-toiminnassa. UAS-ilmatilavyöhyke voi kieltää UAS-toiminnan kokonaan tai rajoittaa sitä. Lisäksi toimintalupaa hakiessa esimerkiksi BVLOS-lennolle Specific-kategoriassa, on vallitsevalla UAS-ilmatilavyöhykkeellä vaikutus ilmariskin määrittämisessä SORA-riskiarvioinnissa. Liian korkea ilmariski vallitsevan ilmatilavyöhykkeen takia voi estää luvan saannin, vaikka alueella olisi mahdollista lennättää esimerkiksi avoimen kategorian dronea VLOS menetelmällä eli drone on kauko-ohjaajan näköyhteydessä.

Kuviossa 5 A-vyöhykkeillä eli kaikista rajoitetuimmalla UAS-ilmatilavyöhykkeellä sijaitsevat seuraavat DB Schenkerin terminaalit: Kemi, Vaasa, Pori ja Vantaa. Näillä vyöhykkeillä UAS-toiminta on mahdollista ainoastaan ilmaliikennepalvelun tarjoajan luvalla sen aukioloaikoina. Näiden aukioloaikojen ulkopuolella UAS-toiminta on sallittua vain Liikenne- ja viestintäviraston luvalla tai Liikenne- ja viestintäministeriön asettamilla erityisehdoilla. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että dronella ei ole mahdollista säännöllisesti lentää näiden A-vyöhykkeellä sijaitsevien terminaalien alueella.

Seuraavaksi rajoitetuimmalla alueella eli B-vyöhykkeellä sijaitsee Kouvolan terminaali. Tällä ilmatilavyöhykkeellä on mahdollista lentää kaikkina aikoina alle 50 metrissä ja esteen läheisyydessä (enintään 50 m vaakasuoralla etäisyydellä) esteestä on kuitenkin sallittua kaikkina aikoina, ja esteen ylittäminen enintään 15 metrillä on sallittua esteestä vastaavan yksikön pyynnöstä. Dronella on siis mahdollista lentää tämän terminaalin alueella mutta se vaikuttaa ilmariskin määrittämiseen SORA-riskiarvioinnissa.

Vyöhykkeellä C sijaitsevat seuraavat DB Schenkerin terminaalit: Rovaniemi, Tampere, Jämsä, Jyväskylä, Mikkeli ja Lappeenranta. Näillä vyöhykkeillä on mahdollista lentää alle 50 metrissä kaikkina aikoina mutta ilmatilavyöhykkeellä on merkitys ilmariskin määrittämisessä SORA-riskiarvioinnissa. Loput Schenkerin terminaaleista sijaitsevat vyöhykkeillä D tai vyöhykkeiden ulkopuolella kokonaan. Tässä tapauksessa droneilla voi lentää kaikkina aikoina alle 120 metrissä.



Kuvio 6. DB Schenkerin Terminaalien sijainti ja UAS-ilmatilavyöhykkeet (Aviamaps 2021).

9.3 Muut regulaation asettamat vaatimukset järjestelmälle

Taulukossa 4 on Schenkerin terminaalit ja UAS-ilmatilavyöhykkeet koottuna. Kemin, Porin, Vaasan ja Vantaan terminaaleissa UAS-toimintaa ei todennäköisesti pysty toteuttamaan terminaalin sijaitessa liian lähellä lentokenttää. Muissa terminaaleissa toimintaa mahdollisesti pystytään toteuttamaan mutta myös B, C ja D vyöhyke vaikuttavat riskiarvioinnissa ilmariskin ja ympäröivien alueiden riskin määrittämiseen. Mikäli mahdolliset drone-operaatiot kuitenkin pystytään suorittamaan tarpeeksi matalalla ja lentoesteiden eli rakennusten läheisyydessä voidaan riskiarvioinnissa ilmariskin osalta käyttää epätyypillistä ilmatilaa (engl. Atypical airspace).

Taulukko 5. Schenkerin terminaalin ja vallitsevat UAS-ilmatilavyöhykkeet

A Vyöhyke	B Vyöhyke	C vyöhyke	D vyöhyke	F/ei rajoitettu
Kemi, Pori, Vaasa Vantaa	Kouvola	Jämsä, Lappeenranta, Rovaniemi, Tampere, Jyväskylä, Mikkeli	Oulu, Kajaani, Kruunupyy, Joensuu, Savonlinna, Turku	Ylivieska, Iisalmi, Kuopio, Varkaus, Lahti, Hämeenlinna, Seinäjoki
Suurin sallittu lennätyshkorkeus 0 m	Suurin sallittu lennätyshkorkeus 50 m Esteen läheisyydessä enintään 50 m vaakasuoralla etäisyydellä ja ylittäminen enintään 15 metrillä	Suurin sallittu lennätyshkorkeus 50 m	Suurin sallittu lennätyshkorkeus 120 m	Suurin sallittu lennätyshkorkeus 120 m

Luvussa 9.1 esitettyjen järjestelmän vaatimusten toteuttaminen asettaa myös muita lainsäädännöllisiä vaatimuksia. Ehdotettu järjestelmä ei ole täysin autonominen lainsäädännöllisen määritelmän mukaan, mutta lentäminen tapahtuu kuitenkin näköyhteyden ulkopuolella eli se on BVLOS-toimintaa. Tämän takia drone-toimintaa tapahtuu erityinen -kategorian alla, jossa toiminta perustuu riskiarvioinnille. Erityistä kategoriata varten on olemassa valmiit riskiarvioinnit. Tällä hetkellä valmiiksi tehtyjä riskiarviointeja on 4 kappaletta.

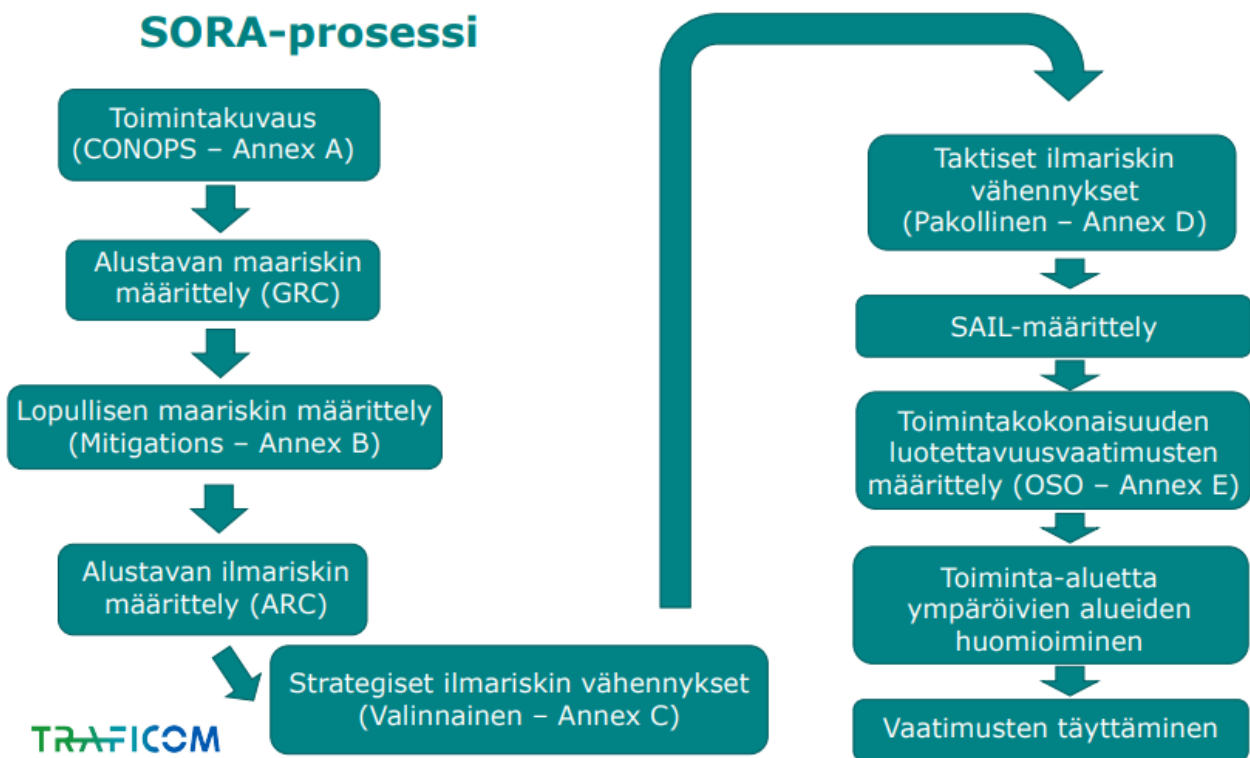
Valmiista standardi skenaarioista (STS) on olemassa kaksi versiota STS-01 ja STS-02. STS-01 on tarkoitettu vain VLOS-operaatiolle valvotulla alueella asutetussa ympäristössä, joten riskiarviointi ei ole käytettävissä ehdotetulla BVLOS-operaatiolle. STS-02 on puolestaan tarkoitettu BVLOS-operaatiolle valvotulla maa-alueella harvaan asutussa ympäristössä ilmatilatarkkailijoiden avustuksella. Myös STS-02 riskiarviointi ei ole käytettävissä ehdotetussa järjestelmässä, koska kauko-ohjaajan/valvojan on oltava näköyhteydessä dronen noustessa ilmaan tai laskeutuessa maahan eikä tätä voi valvoa etänä. Kauko-ohjaajan pitää myös olla enimmillään 1 kilometrin päässä dronesta tai 2 kilometrin päässä, mikäli käytössä on yksi tai useampi ilmatilan tarkkailija. (EU täytäntöönpanosäädös 2020/639, liite 1)

Ennalta määritettyjä riskiarviointeja (PDRA) on olemassa kaksi kappaletta PDRA-G01 ja PDRA-G02. PDRA-G01 on tarkoitettu BVLOS-operaatiolle harvaan asutulle alueelle mutta kauko-ohjaajan on oltava näköyhteydessä dronen nousu- ja laskutilanteissa, ellei aluetta ole määritelty turvallisesti etukäteen. Lisäksi kauko-ohjaajan on oltava enintään 1 kilometrin päässä dronesta lennon aikana. Mikäli ilmatilan tarkkailijoita käytetään, on tarkkailijoiden sijaittava enintään 1 kilometrin päässä dronesta ja tässä tapauksessa kauko-ohjaajan etäisyyttä ei rajoiteta. Lisäksi kauko-ohjaaja voi ohjata/valvoa vain yhtä dronea kerrallaan. Tämäkin riskiarviointi ei ole täysin soveltuva esitetylle dronejärjestelmälle mainittujen rajoitteiden takia. (Easy access rules..., 120 2020.)

PDRA-G02 on tarkoitettu BVLOS-operaatiolle harvaan asutulla alueella, jonne on tehty ilmatilavaraus operaatiota varten. Riskiarvioinnissa edellytetään myös, että kauko-ohjaaja valvoo/ohjaa vain yhtä dronea kerrallaan ja on näköyhteydessä dronen nousu- ja laskutilanteissa, ellei aluetta voida määrittää turvallisesti ennalta. Ilmatilavaraukset ovat tarkoitettu vain määrääjäksi, joten riskiarviointi ei ole soveltuva täysimääräisesti esitetylle dronejärjestelmälle. (Easy access rules..., 126 2020.)

9.4 SORA-riskiarviointi

Valmiita riskiarviointeja ei tällä hetkellä ole saatavilla esitetylle drone-operaatiolle, ellei järjestelmän vaatimusten tasoa lasketa. Lähtökohtaisesti kuitenkin drone-toiminta vaatii koko ajan yhden työntekijän kauko-ohjaajaksi olemassa olevilla riskiarvioinneilla eikä mahdollista useampaa dronea voi vielä valvoa etänä ilman erillistä SORA-riskiarviointia tehdä tällaista operaatiota varten. SORA-riskiarviointi on laaja prosessi, jonka lainsäädäntö on vielä osittain kesken, joten sitä ei käsitellä tässä työssä syvällisesti. Kuviossa 7 on kuvattuna SORA-prosessi ja sen kaikki vaiheet. (Hohtari 2020).



Kuvio 7. SORA-Prosessi. Lainattu. (Drone-infotilaisuus 2020.)

SORA-prosessin ensimmäisessä osiossa määritetään drone-operaation toimintakuvaus. Toimintakuvauksessa määritetään mitä drone-operaatioissa tehdään, millä alueella toimitaan, kuka toimintaa suorittaa ja millaisella dronella se tapahtuu. Osio on jaettu kahteen osaan: toimintaan ja tekniikkaan. Toiminta-osion luvanhakija voi tehdä itse mutta teknistä osiota varten vaaditaan dronevalmistajalta tarkemmat tekniset tiedot. Erityinen -kategoriassa ei ole käytössä markkina-

lainsäädännön mukaiset CE-merkinnät, kuten avoin -kategoriassa, joten tekniikan hyväksyntä tapahtuu riskiarvioinnin yhteydessä standardien avulla. Standardien tekeminen on vielä osittain kesken tällä hetkellä. (Hohtari 2020).

Alustavassa maariskin määrittämisessä dronen koko sekä toiminta-alueen asutuksen tiheyden mukaan saadaan alustava maariski. Terminaalialue voidaan määrittää hallituksi maa-alueeksi ja sitä myötä saada matalan maariski riskiarvioinnissa mutta tässä tapauksessa kaikkien dronen toiminta-alueella liikkuvien pitää olla tietoisia drone-toiminnasta ja sen riskeistä esimerkiksi vikaantumistilanteessa. Tässä tapauksessa terminaalialueen pitää myös olla suljettu siten, että sinne ei pääse ulkopuolisia vahingossa dronen toiminta-alueelle. Mikäli maa-aluetta ei määritetä hallituksi, käytetään Traficomien määrittämiä alueita, joka useimpien terminaalien kohdalla on harvaan asuttu alue. Taulukosta 5 alustava maariskin arvo voidaan määrittää tasolle 1–2 mikäli terminaalialue määritetään hallituksi maa-alueeksi. Määritettäessä terminaalialue harvaan asutuksi alueeksi riskin arvo on 3–4. Lopullinen taso riippuu tarvittavan dronen kokoluokasta. (Hohtari 2020).

Taulukko 6. Maariskin taulukko. Lainattu. (Drone-infotilaisuus 2020.)

Intrinsic UAS Ground Risk Class				
Max UAS characteristics dimension	1 m / approx. 3ft	3 m / approx. 10ft	8 m / approx. 25ft	>8 m / approx. 25ft
<i>Typical kinetic energy expected</i>	< 700 J (approx. 529 Ft Lb)	< 34 KJ (approx. 25000 Ft Lb)	< 1084 KJ (approx. 800000 Ft Lb)	> 1084 KJ (approx. 800000 Ft Lb)
Operational scenarios				
VLOS/BVLOS over controlled ground area	1	2	3	4
VLOS in sparsely populated environment	2	3	4	5
BVLOS in sparsely populated environment	3	4	5	6
VLOS in populated environment	4	5	6	8
BVLOS in populated environment	5	6	8	10
VLOS over gathering of people	7			
BVLOS over gathering of people	8			

Alustava maariski (GRC) arvioidaan aina huonoimman skenaarion mukaan toiminta-alueella. Tämän jälkeen määritellään lopullinen maariski, jossa voidaan laskea maariskiä kolmella eri tavalla: Vähennetään vaarassa olevien ihmisten määrää, vähennetään seurauksia törmäyksestä ja vaikuttavalla sekä kattavalla hätätilanne suunnitelmalla. Terminaalialueella lähtökohtaisesti vaarassa

olevien ihmisten määrää voidaan vähentää dronen toiminta-alueella ohjeistamalla työntekijöitä ja kuljettajia. Törmäyksen seurauksia voidaan vähentää esimerkiksi laskuvarjolla teknisten vikaantumisien sattuessa tai dronen rakenteellisilla muutoksilla mikä lieventää dronen törmätessä esimerkiksi ihmiseen. (Hohtari 2020).

Taulukosta 6 voidaan arvioida maariskinvähennystä. Taulukon ylimmällä rivillä strateginen riskinvähennys voidaan suorittaa vähentämällä vaarassa olevien ihmisten määrää. Tämä on terminaali-alueella perusteltavissa suljetulla alueella sekä kouluttamalla kaikki alueella liikkuvat olemaan turvavälin päässä dronesta. Taulukosta korkeimman riskinvähennyksen voi saada esimerkiksi aidoittamalla turva-alueen kokonaan dronen alapuolelta mutta keskitason vähennyksen voi saada lievemmillä toimilla kuten suljetulla alueella ja koulutetulla henkilöstöllä. Taulukosta 6 voidaan arvioida strategiseksi vähennykseksi enintään -2 tai vähintään 0. (Hohtari 2020).

Taulukon 6 rivillä 2 riskinvähennys törmäyksen seurauksista on vaikea perustella ainakaan laskuvarjon avulla lennettäessä matalalla. Riskinvähennyksen voi arvioida matalalle tasolle eli arvoksi tulee 0 taulukosta. Taulukossa 6 rivillä 3 hätäsuunnitelman avulla voi saavuttaa enintään keskitason riskinvähennyksen ja tästä suuremman vähennyksen esimerkiksi oman pelastushenkilökunnan avulla. Arvioidaan tämän riskinvähennys keskitasolle eli arvoksi tulee myös 0 taulukosta. Lopullinen maariski voidaan karkeasti arvioida taulukoista 6 ja 7 laskemalla alustavan maariskin arvoon (1–4) riskinvähennykset, joka on enintään -2+0+0. Lopullinen maariski jää siis korkeimman arvion mukaan enintään tasolle GRC 2. (Hohtari 2020).

Taulukko 7. Maariskinvähennys taulukko. Lainattu. (Drone-infotilaisuus 2020.)

Mitigation Sequence	Mitigations for ground risk	Robustness		
		Low/None	Medium	High
1	M1 - Strategic mitigations for ground risk ^e	0: None -1: Low	-2	-4
2	M2 - Effects of ground impact are reduced ^f	0	-1	-2
3	M3 - An Emergency Response Plan (ERP) is in place, operator validated and effective	1	0	-1

Ilmariskin (ARC) määrittämisessä terminaali-alueella pystytään hyödyntämään mahdollisesti epätyypillisen ilmatilan matalaa riskitasoa (ARC-a). Epätyypillinen ilmatilaksi voidaan määrittää ilmatila, jonne ei ilmaesteiden eli esimerkiksi rakennusten takia pysty lentämään muita ilma-aluksia käytettäessä matalaa lentokorkeutta dronella. Tämä edellyttää sen, että drone-toiminta pystytään suorittamaan noin 30 metrin päässä esteistä eli rakennuksista tai muuten alueella missä miehitetyn ilmailun alukset eivät pysty lentämään. (Hohtari 2020).

Myös alustavaa ilmariskiä voidaan vähentää alustavasta arviosta strategisilla tai taktisilla menetelmillä. Omaa toimintaa rajoittamalla voidaan vähentää strategisesti riskiä esimerkiksi lentämällä todella matalalla tai lentämällä lentokentän läheisyydessä silloin, kun se on suljettu. Taktinen riskinvähennys tarkoittaa dronen kykyä vähentää riskiä lennon aikana. Riskiä voidaan vähentää havainnoimalla muuta lentoliikennettä ja tekemällä väistötoimenpiteitä sen mukaan. Havainnointia voidaan suorittaa manuaalisesti tai tekniikan avulla, kuten tutkien tai sensorien avulla. Mikäli kuitenkin terminaali-alueen ilmariski voidaan määrittää ARC-a tasolle, ei ilmariskin vähennyksiä erikseen tarvita. Mikäli ilmariski nousee korkeammaksi, taktiset vähennykset ovat pakollisia. (Hohtari 2020).

Maariskin (GRC) ja ilmariskin (ARC) määrittämisen jälkeen SAIL-taulukosta (Specific Assurance and Integrity Levels), määritetään kokonaisuuden lopulliset luotettavuusvaatimukset. Taulukosta 7 voidaan määrittää esitetylle drone-toiminnalle ilmariskin luokaksi ARC-a ja maariskin luokaksi GRC ≥ 2 . Näillä määritetyillä riskeillä saadaan SAIL-luokaksi 1. Ehdotettu operaatio voidaan siis perustella varsin matalan riskin operaatioksi, mikäli kaikki aiemmin mainitut asiat toteutuvat. Merkittävimmät asiat ovat matalalla lentäminen muun miehitetyn ilmailun ulottumattomissa sekä hallitulla maa-alueella ilman ulkopuolisia ihmisiä dronen toiminta-alueella. (Hohtari 2020).

Taulukko 8. SAIL määrittely. Lainattu. (Drone-infotilaisuus 2020.)

SAIL Determination				
	Residual ARC			
Final GRC	a	b	c	d
≤2	I	II	IV	VI
3	II	II	IV	VI
4	III	III	IV	VI
5	IV	IV	IV	VI
6	V	V	V	VI
7	VI	VI	VI	VI
>7	Category C operation			

Jokaista SAIL-luokkaa varten on määritetty SORA-riskiarvioinnin viimeisessä vaiheessa operaation turvallisuustavoitteet (OSO eli Operational Safety Objectives). Turvallisuustavoitteet ovat jaettu neljälle eri tasolle vaatimusten mukaan. Vaatimustasot ovat Optional eli ei vaadita (O), Low (L), Medium (M) ja High (H). Vaatimusten eri tasojen määritelmät ovat tarkemmin kuvattuna SORA-riskiarvioinnin liitetiedoissa jokaisen 24 turvallisuustavoitteen kohdalla. Turvallisuustavoitteita (OSO) on yhteensä 24 kappaletta ja ne koskevat mahdollisia teknisiä ongelmia, ulkoisten järjestelmien mahdollisia ongelmia, inhimillisiä virheitä sekä toimintaympäristöä turvallisuustavoitteet ovat taulukossa liitteessä 1. (Hohtari 2018)

SORA-riskiarvioinnin lopuksi arvioidaan vielä vaikutukset ympäröiviin alueisiin, mikäli jostain syystä drone ajautuu pois määritetyltä toiminta-alueelta. Toimintalupaa hakiessa on hakijan esitettävä turvallisuusmenetelmät millä drone pysyy toiminta-alueella myös todennäköisissä vikatilanteissa. Esimerkiksi useat Schenkerin terminaalit sijaitsevat lentokentän läheisyydessä B tai C UAS-ilmatilavyöhykkeellä, jossa suurin sallittu lennätyskorkeus on 50 metriä. Tässä tilanteessa vaatimukset ovat tiukemmat turvallisuusmenetelmille, ettei drone teknisen vian sattuessa pääse pois määritetyltä alueelta. (Hohtari 2018)

Kokonaisuudessaan ehdotettu drone-toiminta terminaali-alueella on varsin matalan riskin operaatio. Toiminta kuitenkin edellyttää SORA-riskiarvioinnin tekemisen toimintalupaa varten, mikä on itsessään työläs prosessi. Järjestelmälle on lisäksi löydettävä valmistaja, jolta on mahdollista saada

kaikki tarvittavat tiedot varsinkin SORA-riskiarvioinnin ensimmäisen vaiheen teknistä osiota varten, koska erityisen kategorian alla toimintaa suoritettaessa ei voi hyödyntää valmiita CE-merkittyjä markkinalainsäädännön mukaisia droneja. SORA-riskiarvioinnissa usein myös viitataan viranomaisen hyväksymiin standardeihin määritettäessä tiettyjä vaatimuksia, jotka ovat vielä osittain työn alla. Riskiarvioinnin lopputulosta on kuitenkin vaikea määrittää lopullisesti ilman, että riskiarviointi tehdään täysimääräisesti kaikki yksityiskohdat mukaan lukien. Tätä varten on kaikki aineisto tehtävä ja toimitettava Traficomille.

10 Ulkotiloihin soveltuvat järjestelmät markkinoilla

Tässä luvussa käsitellään markkinoilta saatavilla olevia droneja, jotka ovat soveltuvia ulkona tapahtuvaan drone-toimintaan. Aikaisemmassa luvussa käsitellyn lainsäädännön takia tässä luvussa käsitellään toimijoita, joilla on mahdollisesti kokemusta SORA-riskiarvioinnista ja sen vaatimuksista BVLOS-lennoilla, joka on ehdotetun dronejärjestelmän perusehto.

BVLOS-operaatio eli dronella lentäminen ilman näköyhteyttä on merkittävin seuraava edistysaskel drone-alalla. BVLOS-lennot mahdollistavat skaalautuvat operaatiot, koska dronet voivat toimia itsenäisesti etävalvonnassa ilman ilmatilantarkkailijoita. Turvallinen BVLOS-lento kuitenkin vaatii varmaa tekniikkaa ja hyvin suunniteltua toimintaa. Varsinkin laajemmat operaatiot esimerkiksi lähetyksen toimittaminen vaatii muiden ilma-alusten huomioimista sekä turvatoimia lennettäessä tiheään asutuksen yläpuolella mahdollisesti kookkaillakin aluksilla. Erilaisiin mittaus- ja valvontatehtäviin tarkoitetuista autonomisista dronejärjestelmistä käytetään usein markkinoilla nimitystä ”drone in a box”. Näissä järjestelmissä drone kykenee itsenäisesti lähtemään lentoon sekä laskeutumaan maa-asemalle tehtävien välissä lataamaan akkuja. Drone on myös suojassa sääolosuhteilta maa-asemalla sekä kylmissä tai kuumissa olosuhteissa maa-aseman lämpötilaa voidaan säätää optimaaliseksi dronelle.

Yksityiselle alueelle kuten terminaali-alueelle, ilma- ja maariski voidaan määrittää tarpeeksi matalalle BVLOS-operaatiota varten pienemmillä vaatimuksilla kuin asutetulla alueella. Tällä hetkellä Euroopassa on yksi toimintaluvan autonomiselle BVLOS-operaatiolle saanut yritys. Toimintaluvan sai Azur Dronesin Skeyetech -dronejärjestelmä. Dronejärjestelmä on saanut toimintaluvan BVLOS-operaatiolle helmikuussa 2021 Pohjois-Euroopassa. Toimintalupa on myönnetty yksityisalueelle

öljy- ja kaasualan asiakkaalle valvontatehtäviin. Järjestelmässä drone nousee ja laskeutuu automaattisesti maa-asemalle ja suorittaa erilaisia tarkastustehtäviä tuotantolaitoksen alueella. Tavoitteena on korvata vartioiden tekemät kierrokset alueella. Drone on myös integroitu turvallisuusjärjestelmään ja se voidaan aktivoida, mikäli tunnistetaan esimerkiksi ulkopuolinen tunkeutuja alueella. Dronea valvoo vain turvallisuustiimin vartija ilman lentokoulutusta ja drone on muilta osin täysin autonominen. Euroopan ilmailuviranomainen EASA antoi toimintaluvan operaatiolla SORA-riskiarvioinnin perusteella. (A first autonomous... 2021)

Markkinoilla on useita muita toimijoita, jotka mainostavat drone in a box -järjestelmiä. Suurin osa muista toimijoista on kuitenkin Pohjois-Amerikassa, jossa lainsäädäntö ei ole yhteneväinen EU:n ilmailuviranomaisten kanssa. FAA (Federal Aviation Administration) on kuitenkin myöntänyt ensimmäisen BVLOS-toimintaluvan operaatiolle Pohjois-Amerikassa, jossa ei ole käytössä ilmatilantarkkailijoita. Drone on tässä operaatiossa varustettuna huomattavalla ilmariskin vähennys teknologialla ja se pystyy toimimaan kansallisessa ilmatilassa alle 120 metrissä havaiten muita ilma-alueita ja tarvittaessa tekemään väistöliikkeitä tai laskeutumaan. Järjestelmän valvoja/kauko-ohjaaja voi olla satojen kilometrien päässä itse dronesta ja maa-asemasta. Tavoitteena on vielä kehittää järjestelmää siten, että valvoja voi seurata etänä useampaa dronea. Tämän avulla järjestelmästä saadaan skaalautuva ja kustannustehokkaampi erilaisiin tehtäviin. (Reichmann 2021.)

Drone in a box -markkina on kuitenkin vasta aluillaan. Regulaatio on hidastanut markkinan kasvua ja tekniikan laajempaa käyttöönottoa kaupallisesti mutta tällä hetkellä alustavia merkkejä on toimintalupien myöntämisen johdosta markkinan kasvun kiihtymiseen. Drone in a box -järjestelmät ovat aikaisemmin vaatineet mahdollisesti kauko-ohjaajan ja erillisiä ilmatilantarkkailijoita mutta teknologian kehittyessä viranomaiset ovat myöntäneet toimintalupia ilman tarkkailijoita operaatioiden riskitasojen laskiessa merkittävästi. Tämä on merkittävin yksittäinen tekijän järjestelmien taloudellisen kannattavuuden sekä skaalautuvuuden kannalta. (Frost & Sullivan 2020.)

Markkinoilla ei siis suoraan ole saatavilla täysin valmista teknologiaa terminaaliympäristöön BVLOS-operaatiolle. Drone in a box -järjestelmissä on perusta, jonka avulla erilaiset autonomiset operaatiot ovat mahdollisia tulevaisuudessa mutta markkina on vielä varsin nuori, eikä käyttöönotto tai edes pilotointi ole yksinkertainen prosessi tällä hetkellä lainsäädännön asettamien vaatimusten takia.

11 Tulokset ja johtopäätökset

11.1 Dronetekniikka sisätiloissa

Terminaalien sisätiloissa lähetysten autonominen inventaario on potentiaalinen käyttökohde droneille. Dronetekniikka on kehittynyt siihen vaiheeseen, että suurimmat ongelmat autonomisessa lentämisessä droneilla sisätiloissa on ratkaistu. Keskeisin ongelma eli sijainnin määrittäminen sisätiloissa on toteutettu useissa kaupallisissakin järjestelmissä dronen omilla sensoreilla eikä tässä tapauksessa terminaaliin tai varastoon tarvitse välttämättä asentaa ulkoisia komponentteja sisäpaikannusjärjestelmää varten, joten ratkaisut ovat hyvin skaalautuvia. Dronen omien antureiden avulla pystytään myös väistämään mahdollisia odottamattomia esteitä lentoreiteillä. Dronet pystyvät myös autonomisesti laskeutumaan maa-asemalle akkujen latausta varten, joten ihmistä ei tarvita ideaalitulanteessa ollenkaan.

Useimmat kaupalliset järjestelmät ovat kuitenkin keskittyneet kuormalavahylly-varastojen inventaarioon ja kuormalavahyllyt ovat dronelle yksinkertaisempi ympäristö navigoida autonomisesti, kuin avoin terminaali. Kuormalavahyllyissä lavat ovat lähes aina samoilla paikoilla, joten drone voi siirtyä aina oletettuun lavapaikkaan ja lukea viivakoodin esimerkiksi kameran avulla. Kehittyneemmissä järjestelmissä on tutkittu myös mahdollisuutta tunnistaa konenäön avulla, kuinka monta pakettia lavalla on tai onko lavapaikka tyhjä. Myös kuormalavahyllyjen rakenteita tarkastava dronejärjestelmää on tutkittu ja todettu se potentiaaliseksi käyttökohteeksi tulevaisuudessa varastoissa. Mikäli dronen autonomiset navigointiominaisuudet ovat luotettavat, voi dronella teoriassa lentää mihin tahansa sisätiloissa missä on riittävät tilat dronelle sekä suorittaa mitä tahansa mittausta tai datan keräystä sensorilla, jonka drone pystyy kantamaan.

Terminaalissa haasteita aiheuttaa kuitenkin lavojen ja lähetysten satunnainen sijainti sekä asento. Myös viivakoodit on asiakkaiden toimesta sijoitettu satunnaisesti. Osa lähetyksistä on myös niin pieniä ja pakattuna rullakoihin, mikä ei mahdollista suoraa näköyhteyttä eikä siten viivakoodin lukemista ilman lähetysten siirtämistä manuaalisesti. Terminaalissa lähetykset eivät aina sijaitse niiden määrätyillä alueilla tai ne eivät mahdu määrätyille alueelle esimerkiksi lähtevän tavaran ruudukkoon. Tällä hetkellä useita kuormalavahyllyvaraston inventaarioon keskittyneitä dronejärjestelmiä pilotoidaan ja yksi toimittaja on edennyt jo laajempaan kaupalliseen käyttöönottoon useammassa kohteissa asiakkailla.

Terminaalin sisätiloissa dronetekniikan soveltuvuutta ei voi vielä potentiaalista huolimatta todistaa käytännössä. Terminaaliympäristössä on paljon ongelmia, joiden ratkaiseminen ei onnistu ilman tarkempaa tutkimusta ja mahdollisen järjestelmän pilotointia. Haastattellessa dronejärjestelmien toimittajia, saatiin kuitenkin kokonaiskuva siitä, että dronet voivat mahdollisesti sopia myös terminaaliympäristöön. Dronetekniikka kuitenkin vaatii, että terminaalissa lähetykset ovat alueilla mitkä pystytään ennalta määrittämään dronea varten terminaalin layoutissa. Lisäksi jokainen viivakoodi, joka halutaan tunnistaa, on oltava saavutettavissa suoraan näköyhteyteen dronella. Näiden ehtojen toteutumista pitäisi tutkia tarkemmin eri terminaaleissa sekä arvioida onko edes mahdollista tehdä toimintamalleihin muutoksia siten, että ehdot toteutuvat. Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen voi vastata kuitenkin teoreettisesti kyllä.

Sisätiloissa ei tarvitse soveltaa EU:n droneasetusta, joten dronejärjestelmiä voi testata ja pilotoida vapaasti. Potentiaalisimmalta dronejärjestelmän toimittajalta vaikuttaa Verity AG. Kilpailijoiden järjestelmät eivät vaikuta olevan täysin samalla tasolla tekniikan osalta. Veritystä mielenkiintoisen tekee perustaja toimitusjohtajan historia robotiikassa ja Kiva Systemsissä (myytiin Amazonille 2012), hyvät referenssit Euroopasta (DSV ja IKEA) sekä vuodesta 2014 jatkunut kehitystyö autonomisessa dronetekniikassa, joka on todistettu toimivaksi ja turvalliseksi viihdealalla osana live-esityksiä. Verityltä saatiin myös kattavimmat vastaukset haastattelussa dronetoimittajista ja Verity oli valmis esittelemään ratkaisuaan tarkemmin sekä uskoi sen soveltuvan myös terminaaliympäristöön. Toinen haastateltava FlytBase Incorporated vastasi, että heidän dronejärjestelmä pystyy lentämään terminaaliympäristössä mutta viivakoodien lukeminen ei tällä hetkellä onnistu. Vastaus siis toiseen tutkimuskysymykseen on myös kyllä.

Viimeiseen tutkimuskysymykseen vastatessa terminaalin sisätiloissa rajaehtona on, että kaikki inventoitavat lähetykset ovat ennalta määritetyillä alueilla, jonne dronella on mahdollisuus lentää. Myös viivakoodit on oltava saavutettavissa suoraan näköyhteyteen lukemista varten. Myös työturvallisuus on rajaehtona siten, että dronen lähistöllä ei ole suotavaa työskennellä jatkuvasti. Kovaa vauhtia liikkuvat trukit ja muut koneet ovat haastavia ennakoitavia dronelle sensoreista ja esteiden väistämiskyvystä huolimatta. Vaikka dronella olisi kyky väistää myös ihmisiä, on kuitenkin todennäköisesti työskentelyä rajoitettava dronen välittömässä läheisyydessä.

11.2 Dronetekniikka ulkotiloissa

Dronetekniikkaa käytetään usealla alalla erilaisissa mittaus-, kartoitus- ja valvontatehtävissä. Euroopassa suurin osa näistä operaatioista suoritetaan vielä VLOS-operaatioina tai BVLOS-operaatioina ilmatilan tarkkailijoiden avustuksella tai varatussa ilmatilassa. Autonomiset Drone in a box -ratkaisut eivät ole vielä laajassa käytössä. Vasta yksittäisiä käyttöönottoja on Euroopan alueella suoritettu. Dronetekniikalla on myös potentiaalisia käyttökohteita terminaalin ulkoalueilla mutta toimintaa koskee useita rajaehdoja. Teoriassa dronella voidaan inventoida esimerkiksi kalusto rekisterinumeroiden sekä tunnistenumeroiden perusteella samalla periaatteella kuin sisätiloissakin lähetykset inventoidaan konenäön avulla. Ulkona on kuitenkin otettava huomioon erilaiset rajaehdot kuin sisätiloissa.

Ulkona suurin yksittäinen rajaehto on regulaatio. Mikäli tavoitteena on dronejärjestelmä jossa, drone nousee itsenäisesti maa-asemalta, suorittaa annetun tehtävän ja palaa maa-asemalle, tarvitaan toimintalupa sekä aiemmin kuvattu SORA-riskiarviointi sitä varten. Tässä ratkaisussa pitää olla kuitenkin valvoja/kauko-ohjaaja, joka on valmiina keskeyttämään tarvittaessa lennon tai kutsu-maan dronen kotiin. Valvoja voi kuitenkin mahdollisesti seurata useampaa dronea yhtä aikaa. SORA-riskiarviointi toimintalupa varten on itsessään laaja prosessi ja sitä varten tarvitaan tarkat tekniset tiedot käytettävän tekniikan hyväksyntää varten dronejärjestelmän valmistajalta. Terminaali-alue, missä ei ole ulkopuolisia ja matalalla lentäminen tekee kuitenkin operaation maa- ja ilmariskistä matalan, kuten luvussa 9.4 on arvioitu.

Markkinoilla on useita yrityksiä, jotka kehittävät esimerkiksi valvontatehtäviin drone in a box -ratkaisuja BVLOS-lentoa hyödyntäen. Toistaiseksi mahdollisesti vain yksi tämän tyyppinen ratkaisu on saanut EASA:n myöntämän toimintaluvan SORA-riskiarvioinnin jälkeen. Ratkaisussa järjestelmä suorittaa tehtäviä öljy- ja kaasualan toimijan tuotantolaitoksen alueella autonomisesti. Järjestelmää valvoo turvallisuustimistä vartija, jolla ei ole erityisiä pilotin koulutusvaatimuksia. BVLOS-operaatioita on myös suoritettu varatussa ilmatilassa tai ilmatilantarkkailijoiden avustuksella. Laajemmin BVLOS-lentoa hyödyntäviä korkean tason autonomisia järjestelmiä ei ole vielä otettu käyttöön kaupallisesti Euroopassa.

Ulkona dronet ovat myös alttiita sääolosuhteille. Kova tuuli, sade, pakkas tai ukkosmyrsky voi keskeyttää lentämisen tai estää operaation. Myös esimerkiksi erilaiset tunnistustehtävät voivat

olla haasteellisia, jos näkyvyys on huono tai valaistus pimeällä ei ole riittävä. Ulkotiloissa tekniikan vaatimukset ovat myös kovemmat sääolosuhteiden ja riskien minimoimisen takia. Käytettävät komponentit ovat usein kestävämpiä ja vesi/pöly tiiviitä sekä esimerkiksi akkuja saattaa olla useampia regulaation asettamien vaatimusten takia mahdollista vikaantumista varten.

Dronetekniikalla on teoriassa käyttökohteita myös terminaali-alueella ulkona. Droneilla pystytään lentämään haluttuun sijaintiin sekä keräämään dataa esimerkiksi kameran avulla. Tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi kaluston inventaariossa. Ulkona sääolosuhteet ja lainsäädäntö tekevät tästä haastavamman kuitenkin, kuin sisätiloissa mikäli tavoitteena on autonominen järjestelmä tietyin ehdoin. Ulkona dronejärjestelmän tekniset vaatimukset ovat kovemmat, kuin sisätiloissa. Esimerkiksi dronen mekaaniset osat ovat alttiimpia vedelle, pölylle ja muulle lialle sekä akkujen on kestävä suurempaa lämpötilavaihtelua. Myös maa-aseman on toimittava dronelle suojana ja se vaatii myös sään kestäviä ominaisuuksia. Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen voidaan kuitenkin vastata teoreettisesti kyllä.

Drone in a box-järjestelmät ovat usealla toimijalla kehitystyön alla. Euroopassa vain yksi toimija on saanut tällaiselle järjestelmälle toimintaluvan EASA:lta SORA-riskiarvioinnin avulla. Laajempaa kaupallista käyttöönottoa ei ole vielä tapahtunut vaan suurin osa drone-toiminnasta suoritetaan vielä melko manuaalisesti ottamalla drone käyttöön aina tarvittaessa ja lentämällä VLOS-menetelmällä. Tämä on toimiva ratkaisu useisiin käyttökohteisiin mutta tämän työn tavoitellessa autonomista järjestelmää korvaamaan ihmisen suorittamaa valvontaa tai tarkastusta se ei ole kovin tehokas ratkaisu. Toiseen tutkimuskysymykseen voidaan siten vastata, että ei ole saatavilla tällä hetkellä suoraan soveltuvia järjestelmiä toimeksiantajan tarpeisiin.

Kolmannessa tutkimuskysymykseen vastatessa merkittävin rajaehto on regulaatio. Mikäli haluttaisiin ottaa käyttöön aikaisemmin ehdotettu autonominen dronejärjestelmä, tarvitaan yhteistyöhön dronevalmistaja, jonka teknologia on tarvittavalla tasolla SORA-riskiarviointia varten. Tästä johtuen prosessi edes vastaavanlaisen järjestelmän pilotointiin on melko työläs. SORA-riskiarviointi itsessään on pitkä prosessi sekä samalla on mahdollisesti muokattava dronejärjestelmää viranomaisten vaatimusten mukaisesti. Muita rajaehoja ulkona ilmatilassa toiminnalle on sääolosuhteet. On mahdollista, että jossain keliolosuhteissa kuten äärimmäisillä pakkasilla tai tuulella, ei

toimintaa voitaisi suorittaa ollenkaan. Lisäksi esimerkiksi datan kerääminen visuaalisesti voi osoittautua hankalaksi jossain terminaaleissa valaistuksen ja sääolosuhteiden vuoksi, mikäli tunnistusteknologia perustuu konenäköön eli visuaaliseen havainnointiin.

Vastatessa tutkimuskysymyksiin, johtopäätöksenä voidaan pitää, että dronetekniikka ei ole kovin soveltuva terminaaliympäristön ulkotiloihin ja toimeksiantajan tarpeisiin. Teknologian vaatimukset ovat ulkona vallitsevien olosuhteiden ja regulaation johdosta korkeat. Tekniikan on kestävä kaikkia sääolosuhteita ja sen on täytettävä viranomaisen vaatimukset. Lisäksi Schenkerin Vantaan, Porin, Vaasan ja Kemin terminaaleissa ei voi lentää dronella ollenkaan vallitsevan UAS-ilmatilavyöhykkeen takia. Jatkotutkimuksena olisi aiheellista tutkia vielä muita mahdollisia vaihtoehtoja ongelman ratkaisemiseksi.

12 Pohdinta ja jatkotutkimusaiheet

Työssä onnistuttiin kuvaamaan keskeisimmät kohdat teoriassa dronetekniikasta, mahdollisista käyttökohteista, dronemarkkinoista ja rajaehdoista. Työ rajoittuu kuitenkin hyvin pintapuoliseen ja alustavaan teoreettiseen tutkimukseen. Työ on siis vasta ensiaskel dronetekniikan käytettävyydestä terminaali-toimintoihin. Käytännön soveltuvuus terminaaliympäristöön sekä taloudellinen kannattavuus ovat asioita mihin ei voi ottaa tarkemmin kantaa tämän työn perusteella. Työ antaa kuitenkin hyvät lähtökohdat pohtia dronetekniikan sopivuutta ja kannattavuutta terminaali-toimintoihin sekä johtaa aiheet tarkemmalle jatkotutkimukselle.

Työn ollessa hyvin teoreettinen, on selvää, että käytännön pilotointia droneilla tarvitaan tarkemman soveltuvuuden määrittämiseksi. Tutkimuksen edetessä potentiaalisia toimittajia kuitenkin löytyi, joiden avulla käytännön tutkimusta on mahdollista suorittaa tulevaisuudessa tarpeen vaatiessa. Kokonaisuudessaan dronetekniikka ja varsinkin robotiikan puolelle menevät autonomiset dronet ovat hyvin laaja kokonaisuus, joten tässä työssä käsitellään asioita hyvin pintapuoleisesti. Tutkimusta tarkemmin rajaamalla koskemaan esimerkiksi vain sisätiloihin soveltuvia droneja olisi ollut mahdollista syventyä aiheeseen ja hakemaan esimerkiksi käytännön pilotointia osaksi työtä.

Työ toteutettiin myös toimeksiantajan ideasta hyödyntää dronetekniikkaa eikä tarkempaa tutkimusta toimeksiantajan nykytilanteesta tehty. Tämän takia on vaikea arvioida dronetekniikan kannattavuutta tämän työn perusteella, mutta työn tulosten avulla voidaan kuitenkin arvioida kannattaako dronetekniikan mahdollisuuksia tutkia tarkemmin terminaali-alueella. Työssä käsiteltävää tietoa drone-regulaatiosta voidaan hyödyntää myös tulevaisuudessa, mikäli esimerkiksi dronella tehtävät lähetyksen toimitukset terminaaleista ovat tutkittavana aiheena.

Työssä markkinoiden tilannetta tutkiessa käytetään myös paljon alan startup -vaiheessa olevia yrityksiä lähteenä. Tästä johtuen on suhtauduttava kriittisesti yhtiöiden puheisiin niiden omasta teknologiasta. Dronetekniikan hyödyntäminen varastossa/terminaalissa sisätiloissa on kuitenkin vasta hyvin alkuvaiheessa isossa mittakaavassa. Ajatuksena droneteknologian hyödyntäminen sisätiloissa on kuitenkin hyvin mielenkiintoinen. Mahdollisuuksia on todella paljon muillakin aloilla, kuin vain logistiikassa. Teoriassa siis drone voi autonomisesti lentää mihin tahansa pisteeseen sisätiloissa, johon se fyysisesti mahtuu ja kantaa mukanaan pieniä sensoreita ja kerätä dataa näillä sensoreilla.

Tutkittaessa tarkemmin dronejärjestelmän soveltuvuutta terminaaliin lähetyksen inventaarioon, on tarve tutkia toimeksiantajan terminaalien toimintamalleja sekä terminaalin kokonaistilannetta inventaarioon aikana. Tämän avulla olisi mahdollista arvioida dronetekniikan tuomaa mahdollista lisäarvoa, kun on selkeämpi kuva siitä kuinka paljon inventaarioprosessi vie resursseja tällä hetkellä. Samalla olisi mahdollista tutkia tarkemmin eri terminaalien rajaehdoja. Schenkerin terminaalit ovat eri kokoisia ja myös layouteissa on eroja. Opinnäytetyön aikana käytiin havainnoimissa vain Jyväskylän terminaalissa, joten kovin isoja johtopäätöksiä ei voi pelkästään tämän perusteella tehdä muiden terminaalien osalta.

Sisätiloissa kuitenkin lainsäädännön puute mahdollistaisi dronejärjestelmän pilotointia tai proof of concept -vaihetta valitun toimittajan kanssa ilman erityisiä järjestelyjä. Verity AG on eurooppalainen yritys ja kiinnostunut myös demonstroimaan järjestelmäänsä tarkemmin, tämä voisi olla potentiaalinen toimittaja pilotointia varten ja samalla hyvä tilaisuus tutkia dronen soveltuvuutta terminaaliympäristöön tarkemmin. Vaikka ilmailulainsäädäntöä ei tarvitse sisätiloissa soveltaa on

työturvallisuus kuitenkin merkittävä huomioitava asia. Inventaarioprosessin aikana terminaalin toimintaa on tutkittava ja arvioitava työturvallisuusriskit sekä miten muut terminaalityönnöt mahdollisesti rajoittuisivat, mikäli inventaario suoritettaisiin dronella.

Mahdollisen dronejärjestelmän keräämän datan siirtäminen tai järjestelmäintegraatio Schenkerin käyttämään toiminnanohjausjärjestelmään on myös kriittinen jatkotutkimuksen kannalta. Järjestelmäintegraatiot ovat usein työläitä sekä kalliita prosesseja, joten tämän selvittäminen on myös oleellista koko järjestelmän kannattavuuden kannalta. Tarkemman tutkimuksen kohteena olisi miten hyvin Schenkerin järjestelmään voi tuoda dataa yksinkertaisin menetelmin tai mitkä sen ohjelmistorajapinta mahdollisuudet ovat.

Ulkoalueella tapahtuvan toiminnan osalta on vielä aiheellista tutkia muita mahdollisia vaihtoehtoja, esimerkiksi GPS tai RFID pohjaisia ratkaisuja kaluston inventaariolle. GPS-seuranta pystytään esimerkiksi toteuttamaan asentamalla pienikokoiset GPS-laitteet Schenkerin omistamiin perävau-nuihin ja kontteihin. Järjestelmän avulla pystytään siten paikantamaan yksittäiset kuljetusyksiköt, vaikka varsinaiset kuorma-auto alustat ovat liikennöitsijöiden. GPS-paikannuksen tarkkuudella pystytään ainakin määrittämään kunkin terminaalin pihassa oleva kapasiteetti reaaliaikaisesti. GPS-seurantaa varten asennettavat laitteet voivat olla paristo- tai akkukäyttöisiä, joiden käyttöikä voi olla jopa vuosiakin ilman virtalähteen vaihtoa tai latausta. Alkuperäisen suunnitelman mukaan oli tarkoitus tutkia myös lähetysten kuutiointia dronen avulla. Aikataulusta johtuen ei tähän enää riittänyt aika ja laajuus tässä opinnäytetyössä.

Lähteet

Aerial Inventory counts at IAG Cargo. 2020. Artikkelin FlytBasen FlytWare tuotteen www-sivuilla.

Viitattu 3.3.2021. <https://flytware.com/iag-case-study/>

Aviamaps. 2021. Aviamaps Oy:n ilmailukartta-alusta verkossa. Viitattu 15.5.2021.

<https://aviamaps.com/fi>

Autonomous drone systems for warehouse automation. 2021. Verity AG:n verkkosivut. Viitattu

12.4.2021. <https://verity.ch/warehouse-automation/>

A first autonomous flight authorisation and an operational deployment for Skeyetech in Northern

Europe. 2021. Uutinen Azur Drones www-sivuilla. Viitattu 22.4.2021. [https://www.azur-](https://www.azur-drones.com/autonomous-flight-approval-northern-europe/)

[drones.com/autonomous-flight-approval-northern-europe/](https://www.azur-drones.com/autonomous-flight-approval-northern-europe/)

Bestaoui Sebbane, Y. 2018. Intelligent Autonomy of UAVs : advanced missions and future use. E-

kirja. Boca Raton, Florida. Viitattu 10.12.2020. <https://janet.finna.fi>, ProQuest Ebook Central.

Biography. 2020. Raffaello D'Andreas elämäkerta hänen omilla verkkosivuillaan. Viitattu

12.4.2021. <https://raffaello.name/biography/>

DB Schenker Suomessa. N.D. DB Schenkerin www-sivut. Viitattu 15.4.2021. [https://www.dbschen-](https://www.dbschenker.com/fi-fi/tietoja-meista/db-schenkerin-tarina/db-schenkerin-historiaa-suomessa)

[ker.com/fi-fi/tietoja-meista/db-schenkerin-tarina/db-schenkerin-historiaa-suomessa](https://www.dbschenker.com/fi-fi/tietoja-meista/db-schenkerin-tarina/db-schenkerin-historiaa-suomessa)

Drone ja sen toiminnot – Miehitettävien ilma-alusjärjestelmien yleistuntemus. Traficom ylläpitämän droneinfo.fi sivuston koulutusmateriaali. Viitattu 3.3.2021.

<https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehitettavien-ilma-alusjarjestelmien-yleistuntemus?toggle=Drone-j%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20toiminnot%2C%20jotka%20tulee%20hallita>

Dronen akkujen huolto. 2020. Traficom ylläpitämän droneinfo.fi sivuston opetusmateriaali. Viitattu 6.1.2021. <https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehitettavien-ilma-alusjarjestelmien-yleistuntemus?toggle=Drone-j%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20toiminnot%2C%20jotka%20tulee%20hallita>

<https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehitettavien-ilma-alusjarjestelmien-yleistuntemus?toggle=Drone-j%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20toiminnot%2C%20jotka%20tulee%20hallita>

Drone-infotilaisuus. 2020. Powerpoint Traficom in 30.1.2020 järjestämästä Drone-infotilaisuudesta. Viitattu 5.1.2021. <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/EU-s%C3%A4%C3%A4ntelyn%20aikataulu%20ja%20vaikutukset.pdf>

Drone technology vastly improves performance for Romark Logistics. 2020. Artikkelin FlytBasen FlytWare tuotteen www-sivuilla. Viitattu 3.3.2021. <https://flytware.com/romark-logistics-case-study/>

DSV improves warehouse operations with drone system. 2020. Uutinen DSV:n www-sivuilla. Viitattu 25.2.2021. <https://www.dsv.com/en/about-dsv/press/news/com/2020/11/dsv-improves-warehouse-operations-with-drone-system>

Easy access rules for unmanned aircraft systems. 2020. Euroopan lentoturvallisuusviraston tekemä helppolukuinen kokoelma EU:n droneasetuksesta EASA:n www-sivuilla. Viitattu 16.5.2021. <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy%20Access%20Rules%20for%20Unmanned%20Aircraft%20Systems.pdf>

EU:n dronesäännöt. 2020. Traficom in ylläpitämän droneinfo.fi sivuston koulutusmateriaali. Viitattu 28.1.2021. <https://www.droneinfo.fi/fi/eun-dronesaannot>

Garcia, P. Hernandez, L & Gil, P. 2016. Indoor navigation strategies for aerial autonomous systems. Elvise Science & Technology, United Kingdom and United States. Viitattu 21.1.2021. <https://janet.finna.fi>, Proquest Ebook Central

Hirsijärvi, S. Remes, P & Sajavaara, L. 2009. Tutki ja kirjoita. 15. p. Helsinki: Tammi. Viitattu 15.5.2021

Hohtari, H. 2020. SORA riskianalyysi. Traficom in järjestämän drone-infotilaisuuden SORA riskianalyysiin keskittyvän osuuden webcast-tallenne 30.1.2020. Viitattu 16.5.2021. <https://traficom.videosync.fi/drone-info?seek=8604>

Hokkanen, S. Karhunen, J & Luukkainen, M. 2011. Johdatus logistiseen ajatteluun. Kangasniemi: Sho business Development. Viitattu 15.5.2021

How tech for show business can automate IKEA warehouse. 2020. Uutinen IKEA:n www-sivuilla. Viitattu 25.2.2021. <https://ikea.today/how-tech-for-show-business-can-automate-ikea-warehouses/>

Kappaletavarakuljetukset. N.D. DB Schenkerin www-sivut. Viitattu 16.5.2021. <https://www.dbschenker.com/fi-fi/tuotteet/maakuljetukset/kappaletavarakuljetukset>

Koivunen, L & Mäkilä, T. 2020. Autonomous Warehouse Inspection Via Drones. Työtehoseura Ry:n ja Turun yliopiston projektin etenemissuunnitelma. Viitattu 15.3.2021.

Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän suorituskyky lennossa. 2020. Traficomien ylläpitämän droneinfo.fi sivuston opetusmateriaali. Viitattu 21.1.2021. <https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/miehittamattoman-ilma-alusjarjestelman-suorituskyky-lennossa?toggle=Drone%20ja%20hy%C3%B6tykuorma%2C%20huomioitavia%20asioita&toggle=Miten%20drone%20toimii>

Nelskylä, L. 2018. ”Jos drone toimii Suomen talvessa, se lentää missä tahansa” – Myös Google pyrkii Helsingin taivaalla. Uutinen Ylen www-sivuilla. Viitattu 4.1.2021. <https://yle.fi/uutiset/3-10539830>

Niemelä, T. 2021. Tarkastaja. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Helsinki. Puhelinhaastattelu 16.2.2021.

Päätös ED 2019/021/R. Euroopan lentoturvallisuusviraston toiminnanjohtajan päätös asetuksen soveltamisesta. Annettu 10.10.2019. Viitattu 26.1.2021. <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy%20Access%20Rules%20for%20Unmanned%20Aircraft%20Systems%20%28Regulations%20%28EU%29%202019-947%20and%20%28EU%29%202019-945%29.pdf>

Reichmann, K. FAA Approves BVLOS Drone Operations Without Visual Observers. 2021. Uutinen aviation today www-sivuilla. Viitattu 27.4.2021. <https://www.aviationtoday.com/2021/01/22/faa-approves-bvlos-drone-operations-without-visual-observers/>

RPAS tilastoja. 2019. Traficom in ylläpitämä www-sivusto droneinfo.fi. RPAS toimijailmoituksista kerättyjä tilastoja. Viitattu 10.12.2020. https://www.droneinfo.fi/fi/lentotyto/rpas_tilastot

Solution. 2021. Flytbasen FlytWare tuotteen www-sivut. viitattu 3.3.2021 <https://flytware.com/solution/>

Tapaninen, U. 2018. Logistiikka ja liikennejärjestelmät. Helsinki: Otatieto. Viitattu 15.5.2021. <https://janet.finna.fi> Ellibslibrary.

Terwilliger, B. Ison, D. Robbins, J. & Vincenzi, D. 2017. Small unmanned aircraft systems guide. Exploring designs, operations, regulations & economics. Aviation supplies & Academics, INC. Newcastle, Washington. Viitattu 5.1.2021. <https://janet.finna.fi>, ProQuest Ebook Central.

Traficom perustaa miehittämätöntä ilmailua rajoittavat UAS-ilmatilavyöhykkeet lentoliikenteen suojaamiseksi. 2020. Traficom in antama tiedote UAS-ilmatilavyöhykkeistä. Viitattu 1.3.2021. <https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/traficom-perustaa-miehittamatonta-ilmailua-rajoittavat-uas-ilmatilavyohykkeet>

The Drone Market Report 2020-2025. 2020. Tutkimuksen pääkohdat Research and Markets tutkimusyhtiön www-sivuilla. Viitattu 10.12.2020. https://www.researchandmarkets.com/reports/5117908/the-drone-market-report-2020-2025?utm_source=GNOM&utm_medium=PressRelease&utm_code=7rwzgr&utm_campaign=1416129+-+The+Drone+Market+Report+2020-2025&utm_exec=joca220prd

Tietoja meistä. N. D. DB Schenkerin www-sivut. Viitattu 15.5.2021. <https://www.dbschenker.com/fi-fi/tietoja-meista>

Typpö, A. N.D. Simuloinnilla tavaravirrat sujuviksi. Artikkelin Schenkerin www-sivuilla. Viitattu 15.5.2021. <https://www.dbschenker.com/fi-fi/tietoja-meista/ajankohtaista/tarinoita/delfoi>

Täytäntöönpanoasetus 2020/639/EU. EU:n täytäntöönpanoasetus standardiskenaarioita (STS) varten, joissa drone-operaatiot tapahtuvat näköyhteyden ulkopuolella. Euroopan unionin virallinen lehti 12.5.2020. Viitattu 15.5.2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0639>

Valkama, V. 2019. Drone-bisnekselle ennustetaan miljardien kasvua, ja suomi saattaa olla jo muita edellä – Uusi verkosto voisi auttaa vientiä. Uutinen aamulehden www-sivuilla. Viitattu 15.5.2021. <https://www.aamulehti.fi/uutiset/art-2000007243559.html>

Liitteet

Liite 1. OSO-Taulukko

OSO Number (in line with Annex E)		SAIL					
		I	II	III	IV	V	VI
	Technical issue with the UAS						
OSO#01	Ensure the operator is competent and/or proven	O	L	M	H	H	H
OSO#02	UAS manufactured by competent and/or proven entity	O	O	L	M	H	H

OSO#03	UAS maintained by competent and/or proven entity	L	L	M	M	H	H
OSO#04	UAS developed to authority recognized design standards ^h	O	O	O	L	M	H
OSO#05	UAS is designed considering system safety and reliability	O	O	L	M	H	H
OSO#06	C3 link performance is appropriate for the operation	O	L	L	M	H	H
OSO#07	Inspection of the UAS (product inspection) to ensure consistency to the ConOps	L	L	M	M	H	H
OSO#08	Operational procedures are defined, validated and adhered to	L	M	H	H	H	H
OSO#09	Remote crew trained and current and able to control the abnormal situation	L	L	M	M	H	H
OSO#10	Safe recovery from technical issue	L	L	M	M	H	H

	Deterioration of external systems supporting UAS operation						
OSO#11	Procedures are in-place to handle the deterioration of external systems supporting UAS operation	L	M	H	H	H	H
OSO#12	The UAS is designed to manage the deterioration of external systems supporting UAS operation	L	L	M	M	H	H
OSO#13	External services supporting UAS operations are adequate to the operation	L	L	M	H	H	H

Human Error							
OSO#14	Operational procedures are defined, validated and adhered to	L	M	H	H	H	H
OSO#15	Remote crew trained and current and able to control the abnormal situation	L	L	M	M	H	H
OSO#16	Multi crew coordination	L	L	M	M	H	H
OSO#17	Remote crew is fit to operate	L	L	M	M	H	H
OSO#18	Automatic protection of the flight envelope from Human Error	O	O	L	M	H	H
OSO#19	Safe recovery from Human Error	O	O	L	M	M	H
OSO#20	A Human Factors evaluation has been performed and the HMI found appropriate for the mission	O	L	L	M	M	H

Adverse operating conditions							
OSO#21	Operational procedures are defined, validated and adhered to	L	M	H	H	H	H
OSO#22	The remote crew is trained to identify critical environmental conditions and to avoid them	L	L	M	M	M	H
OSO#23	Environmental conditions for safe operations defined, measurable and adhered to	L	L	M	M	H	H
OSO#24	UAS designed and qualified for adverse environmental conditions	O	O	M	H	H	H