



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Aku Tikkanen

Dronejen mahdollisuudet ja tulevan droneasetuksen vaikutukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

18.11.2020

Tekijä Otsikko	Aku Tikkanen Dronejen mahdollisuudet ja tulevan droneasetuksen vaikutukset
Sivumäärä Aika	30 sivua 18.11.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Ryhmäpäällikkö Granlund Oy Markus Heinonen Lehtori Mauri Konttila
<p>Opinnäytetyön lähtökohtana oli Granlund Oy:n halu selvittää dronejen käyttömahdollisuuksia korjausrakentamisen apuna, sekä tulevan EU:n laajuisen droneasetuksen ja uuden markkinalainsäädännön vaikutuksia drone-toimintaan.</p> <p>Työ toteutettiin kirjallisuustutkimuksena. Tutkimuksessa hyödynnetyn lähdeaineiston perusteella pohdittiin dronejen käyttömahdollisuuksia esimerkiksi rakennusten ja rakenteiden silmämääräisessä tarkastelussa, lämpökuvaamisessa ja 3D-mallintamisessa. Lisäksi tutustuttiin uuden droneasetuksen mukanaan tuomiin muutoksiin käytännön toiminnassa. Muutokset tulevat liittymään mm. lentokorkeusrajoituksiin, dronejen painorajoihin ja droneja käyttävien henkilöiden osaamisvaatimuksiin ja koulutukseen.</p> <p>Raportin johtopäätöksenä voidaan todeta muun muassa, että droneasetuksen myötä työntekijöiden tulee järjestää dronea käyttäville työntekijöille vaadittavat koulutukset ja nykyinen drone-kalusto saatetaan joutua korvaamaan uudella, jotta se täyttää tulevat markkinalainsäädännön rajoitteet. Dronejen ja lisälaitteiden käyttömahdollisuuksien tarkastelussa kävi ilmi, että korjausrakentamissuunnittelun apuna on mahdollista käyttää droneja valo- ja videokuvaukseen ja lämpökuvaukseen.</p>	
Avainsanat	Drone, Droneasetus, Korjausrakennusala

Author Title	Aku Tikkanen The Potential of Drones and the Implications of the Drone Regulation
Number of Pages Date	30 pages 18 November 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Markus Heinonen, Team Manager Granlund Oy Mauri Konttila, Lecturer
<p>The starting point of this thesis was Granlund Oy's desire to study the possibility of using drones as a means of renovation construction planning, as well as the impact of the new drone regulation and new market legislation on drone operations.</p> <p>The study was carried out as a literature review. On the basis of the sources used in the study, the possibilities of using drones in, for example, visual inspection, thermal imaging and 3D modeling of buildings and structures were considered. In addition, the changes in practical operation caused by the new drone regulation were examined. The changes will be related to, for example flight altitude restrictions, drone weight limits and competence requirements and training for drone users.</p> <p>The report concludes, among other things, that the drone regulation will require employers to provide the required training for employees using a drone and that existing drone equipment may need to be replaced to meet future market legislation constraints. The examination of the possibilities of using drones and accessories revealed that it is possible to use drones for photography and video photography and thermal imaging to aid in renovation planning.</p>	
Keywords	Drone, Drone regulation, Renovation construction

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Granlund Oy	2
3	Drone	3
3.1	Dronejen historia	4
3.2	Dronejen lainsäädäntö	5
4	Dronejen lisälaitteet	6
4.1	Kamerat	7
4.1.1	Näkyvän valon kamerat	7
4.1.2	Lämpökamerat	8
4.1.3	Hyperspektrikamerat	11
4.2	Lidar	11
5	Dronejen uusi lainsäädäntö	13
5.1	Yleistä lainsäädännöstä	13
5.2	Liikenne- ja viestintävirasto Traficom	14
5.3	Uuden droneasetuksen sisältö	15
5.3.1	Määritelmiä	15
5.3.2	Droneasetuksen kategoriat	15
5.3.3	Koulutus	19
5.3.4	Markkinalainsäädäntö	19
6	Lainsäädännön vaikutus toimintaan	21
7	Dronejen mahdollisuudet	24
8	Johtopäätökset ja yhteenveto	28
	Lähteet	31

Lyhenteet

EASA	European Union Aviation Safety Agency
EU	Euroopan Unioni
NETD	Noise Equivalent Temperature Difference
UA	Unmanned Aircraft
UAS	Unmanned aircraft system

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia dronejen mahdollisuuksia ja käyttötarkoituksista Granlund Oy:ssä. Työssä on myös tarkoitus tutkia tulossa olevan Euroopan laajuisen droneasetuksen ja markkinalainsäädännön muutosten mahdollisia vaikutuksia drone-toimintaan. Opinnäytetyö toteutetaan kirjallisuustutkimuksena, jonka lähteinä on pääasiallisesti internet-lähteet. Työn aihe muodostui Granlund Oy:n halusta selvittää mahdollisia dronen käyttö tarkoituksia ja uuden tulevan droneasetuksen vaikutuksista drone-toimintaan.

Granlund Oy:llä droneja on käytetty jo entuudestaan esimerkiksi korjauskohteiden kattojen tarkastukseen ja korjauskohteiden yleisen kunnon tarkasteluun kameralla varustetun dronen avulla. Näin kerättyä kuva- ja videomateriaalia on pystytty käyttämään eri suunnittelualojen ja konsultoinnin apuna. Tässä työssä tarkastellaan pääasiassa dronejen hyödyntämistä kuvaus- ja tutkimustarkoituksiin.

Suomessa dronejen käyttömahdollisuuksia erityisesti rakennusalan tarkoituksiin ei ole kovin paljon tutkittu. Suomen insinöörialojen yliopistojen rakennustekniikan opinnäytetyöhaulla löytyy muutamia tutkielmia, joista on mahdollista löytää viittauksia dronejen hyödyntämiseen. Näissä papereissa on tutkittu mm. tietotekniikan ja robotiikan hyödyntämistä rakennustyömailla mm. johtamisen työkaluna ja fotogrammetrian, kuvantunnistustekniikoiden ja pistepilvitiedon hyödyntämistä mm. vauriokartoituksessa ja arkkitehtisuunnittelussa. [31, 32, 33, 34]

Tässä opinnäytetyössä esitellään ensimmäisenä lyhyesti droneja ja niiden käyttötarkoituksia, sekä historiaa. Tämän jälkeen tutustutaan dronejen monipuolisiin lisälaitteisiin ja niiden toimintaan. Ennen johtopäätöksiä ja yhteenvetoa pohditaan tulossa olevan EU:n laajuisen droneasetuksen vaikutuksia drone-toimintaan ja käytännön drone-toiminnan mahdollisuuksia.

2 Granlund Oy

Granlund Oy on Suomessa toimiva rakennus- ja kiinteistöalan asiantuntijakonserni, joka täytti vuonna 2020 60 vuotta. Granlundin asiantuntemusalueitten joukkoon kuulu esimerkiksi talotekninen suunnittelu, kiinteistö-, energia- ja ympäristökonsultointi ja korjausrakentaminen. Vuoden 2019 lopussa Granlundilla työskenteli 981 henkilöä ja liikevaihto oli noin 92 miljoonaa euroa. [29, 30.]

Granlundin liiketoiminta-alueita ovat:

- Talotekninen suunnittelu
- Ohjelmistoliiketoiminta
- Konsultointi
- Korjausrakentaminen ja rakennuttaminen
- Datakeskukset
- Erikoissuunnittelu
- Digitaaliset kiinteistöpalvelut [30.]

Tässä opinnäytetyössä käsitellään asioita pääosin korjausrakentamissuunnittelun kannalta. Granlundin korjausrakentamistoiminnassa on edustettuna talotekniikka-, rakenne- ja arkkitehtisuunnittelu, sekä erilaisten selvitysten asiantuntijatoiminta. Korjausrakentamisen ja rakennuttamisen suurin asiakas vuonna 2019 oli Senaatti-kiinteistöt, jolle suoritettavat projektit olivat hyvin monipuolisia.

Korjausrakentamisen suunnittelualojen toiminnassa käytetään Granlundilla erilaisia tietoteknisiä, mallinnusta ja suunnittelua avustavia ohjelmistoja, kuten on tyypillistä nykyaikaisessa suunnittelutoiminnassa. Helsingin toimipisteen rakennesuunnitteluryhmässä (RAK) käytetään mallintamisen ja suunnittelun tukena usein valokuva- ja videomateriaalia. Useissa kohteissa, joissa suunnittelu kohdistuu esimerkiksi vesikattoon tai julkisivuihin, on voitu hyödyntää normaalien kuvausmenetelmien lisäksi myös dronea. RAK-ryhmän kuvaamisen käytetty drone on DJI:n valmistama kuluttajatasoisen Mavic pro -drone (kuva 1), joka on täyttänyt toimintaan tarvittavat ominaisuudet.



Kuva 1. Granlund Oy:n käyttämä drone DJI Mavic pro

3 Drone

Tässä kolmannessa luvussa käydään lyhyesti läpi, mikä on drone ja mihin droneja esimerkiksi käytetään. Tämän jälkeen luodaan katsaus dronejen historiaan ja nykyiseen lainsäädäntöön.

Drone on yleistynyt nimike etäohjattavalle miehittämättömälle ilma-alukselle. Drone-sanalla voidaan viitata usein myös muihin kuin lentäviin kauko-ohjattaviin laitteisiin. Tässä työssä drone-sanalla viitataan lähes poikkeuksetta lentäviin kauko-ohjattaviin laitteisiin. [4.]

Yleisesti lentävät dronet voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin siivellisiin ja multikoptereihin. Siivellisiä droneja käytetään yleisesti toiminnassa, jossa tarvitaan nopeutta, tai toiminta-alue on suuri. Käyttökohteita droneille voivat olla esimerkiksi:

- kuvauskäyttö
- kuljetuskäyttö
- tutkimuskäyttö
- harrastekäyttö

- pelastustehtäväkäyttö
- valvontakäyttö

Kuvaamis- ja tutkimustarkoituksissa siivellisiä droneja käytetään esimerkiksi usein isojen alueiden kartoituksessa, jossa siivellisillä droneilla voidaan kuvata alue huomattavasti nopeammin kuin multikopterityyppisellä dronella. Tämä johtuu siitä, että siivellisen dronen huippunopeus on suurempi kuin multikopterimallisen dronen. Multikopteridroneja käytetään tehtävissä, joissa tarvitaan kykyä lentää lähellä kohdetta tai kykyä lentää paikoillaan. Tällaisia tilanteita voi olla esimerkiksi rakennetussa ympäristössä rakennusten julkisivujen kuvaaminen.

3.1 Dronejen historia

Kuten monien muidenkin teknologioiden juuret, myös dronen juuret juontavat sotilaallisesta toiminnasta ja kehityksestä. 1910-luvulla Yhdysvaltojen armeija kehitti maailman ensimmäisen etäohjattavan ilma-aluksen nimeltään Kettering Bug. Yhdysvaltojen kehittämän dronen alkuperäinen tarkoitus oli olla radio-ohjattava lentävä pommi, mutta sitä ei syystä tai toisesta otettu käyttöön. [1, 2.]

Vuonna 1935 Britannia otti käyttöön radio-ohjattavan polttomoottorikäyttöisen ilmatorjuntamaalitaulun. Ilmatorjuntaharjoituksissa käytetty drone nimettiin DH.82 Queen Bee:ksi (kuva 2). Nykyään on arvioitu, että drone-sanan käyttö kauko-ohjattaville ilma-aluksille juontaa juurensa DH.82 Queen Bee:n käyttötarkoituksesta ja sen nimen yhteydestä mehiläisyhteisön jäsenen kuhnuriin (englanniksi drone). Kuhnuri on koirasmehiläinen, jolla on vain yksi tehtävä, jonka täytettyään se kuolee. Queen Bee -drone on radio-ohjattava versio De Havillandin puurunkoisesta DH.82 Tiger Moth -lentokoneesta. [1, 3.]



Kuva 2. Winston Churchill katsomassa DH. 82 Queen Been lentovalmisteluita vuonna 1941

Nykyinen suuren suosion saanut dronejen huvikäyttö on lähtenyt liikkeelle 2000-luvun puolella, jolloin siviilimarkkinoille on ilmestynyt runsaasti valmis-droneja. Drone-lennäystä on ollut jo tätä ennen lennokkiharrastajien keskuudessa. Sotilaskäytön ulkopuolella droneja käytetään myös esimerkiksi rajavalvonnassa pelastustehtävissä, maanviljelyssä, elokuva-alalla, sekä rakennusalalla.

3.2 Dronejen lainsäädäntö

Tätä opinnäytetyötä kirjoitettaessa uusi EU:n laajuinen droneasetus ei ole vielä astunut voimaan. Tällä hetkellä dronejen käyttöä koskeva lainsäädäntö koostuu suomen ilmailulainsäädännöstä ja suomen liikenteen turvallisuusvirasto Traficomilta antamasta määräyksestä OPS M1-32. [19.]

OPS M1-32 -määräys pätee kaikkiin ulkotiloissa tapahtuvaan kauko-ohjattujen ilma-alusten ja yli 250 grammaa painavien lennokkien toimintaan Suomessa, jotka eivät ole osana sotilasilmailua. Määräyksessä käsitellään kauko-ohjattujen ilma-alusten lennättämistä ja niiden turvallisuutta. Lennätysturvallisuutta käsitellään erilaisten rajoitusten muodossa. Esimerkkeinä tällaisista rajoituksesta voidaan mainita esimerkiksi korkein sallittu lennätyskorkeus ja maksimi-ilmaannousumassa. Määräyksessä käsitellään myös lentokieltoja lentorajoitusalueita ja niiden alueella toimimista esimerkiksi poikkeuslupien avulla. Näiden asioiden lisäksi määräyksessä on erillisesti määritelty lennokkeihin kohdistuvia rajoituksia. Tulevassa droneasetuksessa kauko-ohjattavan ilma-aluksen ja lennokin välinen erottelu loppuu ja kaikki laitteet ovat Unmanned Aircraft -järjestelmiä (UA-järjestelmiä). Lennokkitoiminta tullaan kuitenkin edelleenkin Suomessa ottamaan huomioon droneasetuksessa kansallisella tasolla. [19, 35.]

Dronejen lisääntymisen myötä on tullut tarpeelliseksi tarkastella lainsäädännön tarkentamista. Uuden EU:n laajuisen droneasetuksen oli tarkoitus astua voimaan Suomessa vuoden 2020 heinäkuussa, mutta ajankohtaa on siirretty myöhemmäksi. Tämän muutoksen vuoksi ei ole syytä tämän tarkemmin tässä yhteydessä käydä läpi vanhoja säädöksiä. Sen sijaan uutta lainsäädäntöä käsitellään tässä opinnäytetyössä myöhemmin kappaleessa viisi. [18.]

4 Dronejen lisälaitteet

Droneihin on mahdollista liittää paljon erilaisia lisälaitteita, joilla on mahdollista laajentaa dronen käyttömahdollisuuksia. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan vain sellaisia lisälaitteita, jotka liittyvät kuvaamisen tai havainnointiin, ei esimerkiksi tavaroiden kuljetukseen tai muuhun näiden toimintojen ulkopuolelle rajautuvaan toimintaan. Tämän neljännen luvun tarkoituksena on käydä läpi dronejen käyttötarkoituksia laajentavia lisälaitteita, sekä niiden ominaisuuksia.

4.1 Kamerate

Kamerate ovat yleisimpiä dronen lisälaitteita. Nykyään kamera on usein dronen vakiovaruste. Kamerate mahdollistavat dronejen avulla kohteiden tarkastelun ilmasta käsin. Kamera ja drone -yhdistelmän mahdollistama näkökulma on ollut ennen dronejen yleistymistä mahdollista vain suuremmalla ja kalliimmalla kalustolla, kuten esimerkiksi helikoptereilla ja nostureilla. Kameroiden avulla dronet mahdollistavat edullisen tavan havainnoida kohdetta ilmasta käsin - verrattuna aikaisempiin ilmakuvausmenetelmiin. Ennen dronejen yleistymistä laajemmat, ilmasta käsin esitetyt kuvauskulmat ovat olleet mahdollisia lähinnä käyttämällä helikoptereita tai lentokoneita kuvaamisen apuna. Ensi vaiheessa kameroita operoivat aina ihmiset, mutta myöhemmin kameroita on voitu käyttää myös automaattisesti, ilman kuvaajan työpanosta. Dronet ovat mahdollistaneet siis myös sen, että kuvaaja itse voi operoida toimintaa maasta käsin. Dronella suoritettavan kuvaamisen avulla voidaan myös lisätä työturvallisuutta esimerkiksi siten, että kuvaajan ei tarvitse itse kiivetä riskialttiisiin paikkoihin kuten esimerkiksi vesikatoille. Tämä toiminta voi myös usein nopeuttaa kuvaamisprosessia, kun aikaa ei tarvitse käyttää mahdollisten turvavarusteiden, kuten esimerkiksi valjaiden käyttöön. [5, 26.]

4.1.1 Näkyvän valon kamerat

Näkyvän valon kamerat ovat yleisin ja suurimmalle osalle ihmisistä tuttu kameran muoto. Näkyvän valon kamera on kamera, jonka sensorin toiminta-alue on niin kutsuttu näkyvän valon spektri. Näkyvän valon spektriin kuuluu kaikki ihmissilmällä havaittavat valon aallonpituudet, eli n. 400–780 nanometriä. Näkyvän valon kameroilla saadaan tarkasteltua maailmaa ihmissilmän tavoin. Tällaisia kameroita voidaan käyttää rakentamisalalla esimerkiksi silmämääräisiin tarkastuksiin ja mittatarkasteluihin fotogrammetrian keinoin. [5, 6.]

Fotogrammetria on valokuvasta tai vastaavasta tallenteesta mittaamisen ja tulkitsemisen tiede, joka on muodostunut heti valokuvaamisen keksimisen aikaan. Ennen modernia tietotekniikkaa fotogrammetriaa on käytetty esimerkiksi karttojen piirtämiseen ilmakuvauksen pohjalta. Nykyään modernien tehokkaiden tietokoneiden ja fotogrammetrian avulla kyetään suurista kuvasarjoista tai videoista tuottamaan 3D-malleja. 3D-mallin

tarkkuus riippuu käytössä olevan kuvamateriaalin laadusta ja käytetystä prosessointijasta. Kuluttajatasen dronella otetusta kuvamateriaalista tuotettu 3D-malli (kuva 3), ei välttämättä ole laadultaan erityisen korkea. [23, 37.]



Kuva 3. Kuluttajatasen drone-kalustolla tuotetusta kuvamateriaalista fotogrammetrian avulla tehty 3D-malli.

4.1.2 Lämpökamerat

Lämpökamerat ovat kameroita, joiden sensoreiden havaintoalue sijoittuu aallonpituuksille 1-14 mikrometriä (1000-14000 nm). Lämpökameroiden havaitsemat aallonpituudet sijoittuvat infrapuna-alueelle. Infrapunasäteilyn määrän avulla voidaan määrittellä kohteen pinnan lämpötila, kun sen emissiivisyys tiedetään. Emissiivisyys on kappaleen ominaisarvo, joka kertoo sen säteilemän säteilyn määrän verrattuna fysikaalisesti mustaan kappaleeseen (fysikaalisesti musta kappale on teoreettinen kappale, joka absorboi kaiken siihen kohdistuvan säteilyn). Kappaleen lämpötilan mittaaminen kappaleen säteily määrän kautta perustuu Wienin siirtymälakiin, jonka mukaan mustan kappaleen säteilyn spektrin huippua vastaava aallon pituus on kääntäen verrannollinen kappaleen lämpötilaan. Lämpökameroiden tuottamat kuvat ovat yleisesti pienempiresoluutioisia kuin normaalin kameran kuvat. Yleisimpiä resoluutioita edullisille lämpökameroille ovat 160 x 120

pikseliä ja 320 x240 pikseliä, mutta korkeimman hintaluokan lämpökamerat saattavat tuottaa jopa 1280 x 1024 pikselin resoluutioisia kuvia. Lämpökameroiden herkkyyttä kuvataan NETD-arvolla, jonka yksikkö on millikelvin (mK). NETD-arvot vaihtelevat välillä 10-200 mK sensorin tyypin mukaan. Esimerkiksi Flir-lämpökameravalmistajan kamerassa Flir E4 (kuva 4) on 0.15 kelvinin erottelukyky eli NETD-arvo on 150 millikelviniä. [7, 8, 9.]



Kuva 4. Flir E4 lämpökamera.

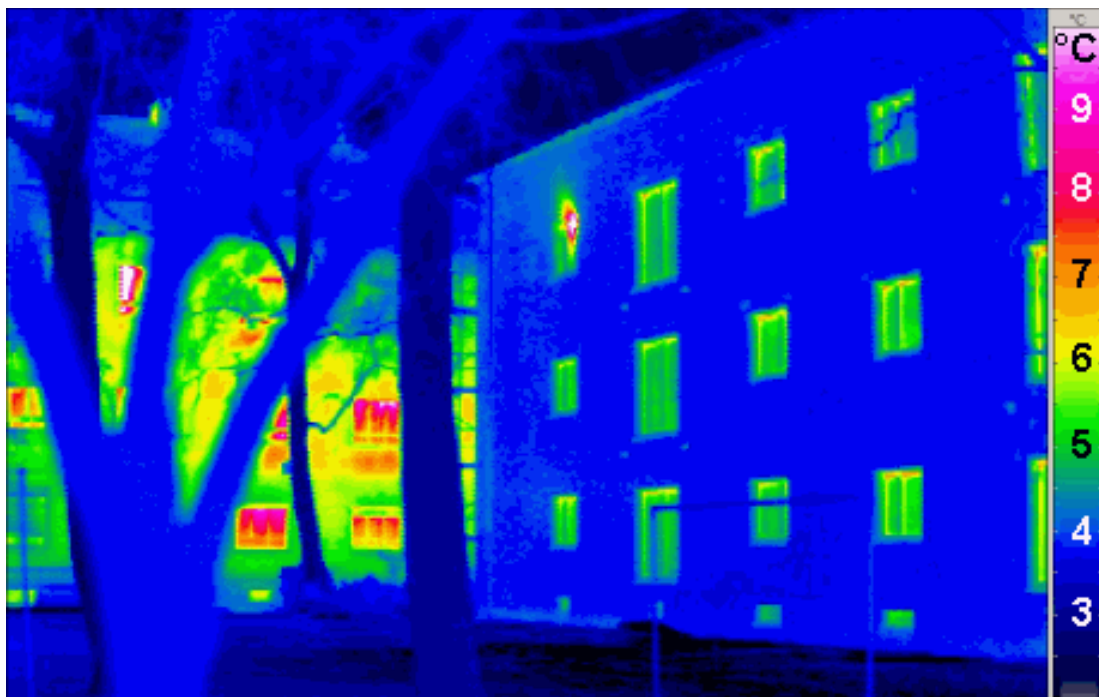
Lämpökamerat voidaan jakaa kahteen eri luokkaan niiden sensorien perusteella. Toiseen luokkaan kuuluvat jäähdytettyjen sensorien kamerat ja toiseen puolestaan ei-jäähdytettyjen sensorien kamerat. [9.]

Jäähdytetyt infrapunasensorit on yleensä suljettu tyhjiökoteloon, joka jäähdytetään nestemäisellä tyypellä, nestemäisellä hapella tai Peltier-elementeillä. Puolijohtimiin perustuvat sensorit tarvitsevat jäähdytystä toimiakseen ja pystyäkseen havainnoimaan tarkasti matalia lämpötiloja. Matalien lämpötilojen havainnoinnissa sensoreita täytyy jäähdyttää, jotta niiden oma lämpösäteily ei vaikuta mittaustuloksiin. Sensorin jäähdyttämällä

voidaan myös parantaa kuvanlaatua, koska se vähentää sensorin oman lämpösäteilyn tuottamaa kohinaa kuvassa. [9.]

Jäähdyttämättömien lämpökameroiden sensorit toimivat ympäröivässä lämpötilassa tai lähellä sitä, eivätkä tarvitse voimakasta erillistä jäähdytystä. Jäähdyttämättömille sensoreille yleistä on myös lämpötilaa tasaavat pienet lämmitys- ja jäähdytys-elementit, joilla sensorin lämpötila pidetään tasaisena. Pienen jäähdytystarpeen seurauksena tällaiset kamerat soveltuvat helpommin yksityis- ja yrityskäyttöön. [9.]

Yksityis- ja yrityskäyttöön tarkoitetut dronet käyttävät useimmiten jäähdyttämättömiä lämpökameroita niiden vähäisemmän painon ja energiankulutuksen seurauksena. Droneissa käytettynä lämpökameroilla voidaan tarkastella esimerkiksi vaikeakulkuisissa paikoissa sijaitsevien laitteiden toimintaa tai etsiä lämpövuotoalueita rakenteista. Esimerkiksi kuvaamalla asuinkerrostalon seiniä lämpökameralla voidaan oikeissa olosuhteissa havaita esimerkiksi rakenteiden tiiveyden puutteesta aiheutuvia lämpövuotoja. Lämpökameralla otetussa kuvassa (kuva 5) lämpötilaerot on esitetty värimuutoksilla, kyseisessä kuvassa kuvan oikeassa reunassa olevan asteikon mukaan. [9, 10.]



Kuva 5. Esimerkkikuva lämpökameralla kuvatusta rakennuksesta.

4.1.3 Hyperspektrikamerat

Hyperspektrikamerat toimivat usein laajalla sähkömagneettisella spektrillä. Yleisesti hyperspektrikamera tallentaa koko elektromagneettisen spektrin jokaista pikseliä kohden. Hyperspektrikameran toiminta perustuu siihen, että eri materiaalit heijastavat uniikin sähkömagneettisen spektrin, jota voi kuvailla materiaalin sormenjälkenä. Näiden uniikkien spektrien avulla materiaaleja voidaan tunnistaa erotella toisistaan visuaalisesti. Hyperspektrikameran kaltaiset multispektrikamerat havainnoivat myös useita eri spektrin osia ja mahdollistavat näin myös sen, että näkyvän valon ulkopuoliset erot on mahdollista havaita. [11, 12, 14.]

Hyperspektrikuvantamisen mahdollisuudet laajenevat koko ajan, ja kamerat ovat pienentyneet jopa vain millien kokoisiksi. Nyt alan toimijat kilpailevat erilaisia skaalausmahdollisuuksia kehittelemällä. Esimerkiksi VTT on Suomessa kehittänyt hyperspektrikuvantamista, ja uusia käyttömahdollisuuksia, esimerkiksi yhdistettynä mittaus- ja anturiteknoologiaan ja tekoälyyn, keksitään jatkuvasti. Hyperspektrikameroita käytetään esimerkiksi tehtaiden tuotantolinjoilla havaitsemaan viallisia tuotteita ja viljelyssä niillä kyetään tarkkailemaan viljelyskasvien terveyttä. [11, 13.]

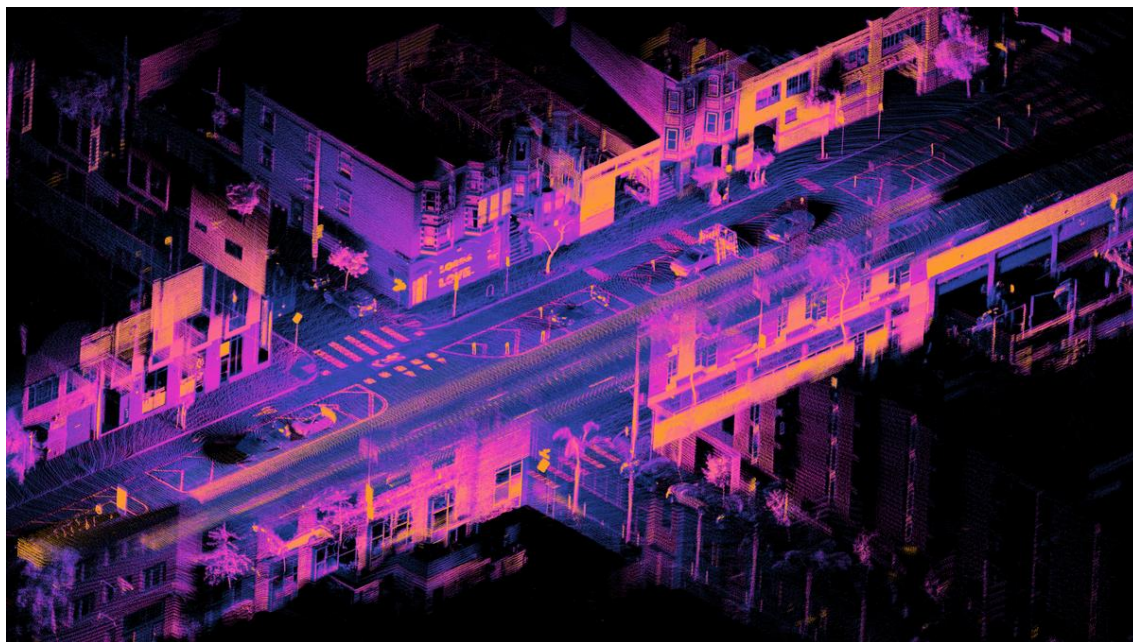
4.2 Lidar

Lidar on ääniaalloilla toimivan kaikuluotauksen kaltainen mittaustekniikka. Kuten kaikuluotauksessa lidar-mittauksessa laitteella lähetetään impulssi ja laite mittaa ajan, jossa lähetetyn impulssin heijastus havaitaan. Kun laite tietää lähetetyn impulssin nopeuden ja ajan, jossa impulssin heijastus havaitaan, voidaan laitteella määrittää heijastuskohteen etäisyys nähdessä laskea. Lidar-mittauksessa impulssina toimii laajennetun näkyvän valon spektrillä oleva laserpulssi, jonka nopeus on luonnonlakien mukaan aina 299 792 458 metriä sekunnissa. Kuluttajamarkkinoilla olevien lidar-sensoreiden laserit sijoituvat 600 ja 1000 nanometrin välille. Lidar-nimi tulee alun perin englannin kielen sanojen light ja radar sulautumasta. [15, 16.]

Nykyiset lidar-laitteet lähettävät laserpulseja ja mittaavat niiden matka-aikoja useita tuhansia kertoja sekunnissa. Lidar-laitteilla kerätty mittapistetiedoilla muodostetaan

tietokoneilla tarkasteltava pistepilvi, jolla voidaan paremmin havainnollistaa kerättyä dataa. Pistepilven jokaisella pisteellä on tieto sen etäisyydestä ja suunnasta suhteessa lidar-sensoriin. [15, 16, 17.]

Lidar-sensoreilla on useita eri käyttökohteita, jotka vaihtelevat kartoituksesta robotiikkaan ja arkeologiaan. Lidar sensoreita voidaan käyttää tarkoituksiin, joissa sensorin tuottamaa dataa hyödynnetään välittömästi, kuten esimerkiksi robotiikassa ja automaatioissa. Robotiikassa ja automaatioissa lidar-sensorin dataa käytetään mahdollistamaan laitteelle kyky havainnoida ympäristöään. Muissa käyttötarkoituksissa, kuten esimerkiksi kartoituksessa ja mallinnuksessa, sensorin tuottamaa pistepilvidataa prosessoidaan ja siitä tuotetaan esimerkiksi kolmiulotteisia malleja ja karttoja. Tätä teknologiaa voidaan käyttää myös esimerkiksi liikenneväyläsuunnittelussa (kuva 6). [15, 16, 17, 18]



Kuva 6. Pistepilvi San Franciscossa sijaitsevasta risteyksestä.

Rakennusten mallintamisessa voidaan hyvin hyödyntää pistepilvitekniikkaa, sillä se mahdollistaa kolmiulotteisten mallien tekemisen, tai sitä voidaan käyttää mittaamisen ja analysoinnin apuna. Erityisesti sellaisissa vanhoissa rakennuskohteissa, joista ei ole käytettävissä hyviä kuvia, esimerkiksi perusparannustilanteissa, voidaan pistepilven avulla saada hyödyllistä lisätietoa. [15, 16, 17, 18.]

5 Dronejen uusi lainsäädäntö

Tässä kappaleessa tullaan käsittelemään EU:n laajuisen droneasetuksen myötä tapahtuvaa droneja koskevan lainsäädännön muutosta. Tämän lisäksi kappaleessa kerrotaan lyhyesti myös droneasetuksen rinnalla tulevan markkinalainsäädännön uudistuksen sisällöstä.

5.1 Yleistä lainsäädännöstä

Vuoden 2020 alussa Suomessa oli noin 2400 rekisteröityä lentotyötätekevää toimijaa. Traficom, eli suomen liikenne- ja viestintävirasto on arvioinut, että EU:n droneasetuksen voimaantulon jälkeen rekisterissä olisi jo noin 50 000 toimijaa. Näistä 50 000 toimijasta suurin osa on kuitenkin rekisteröitymiskriteerien muutoksen seurauksena harrastajatoimijoita. [19.]

Uuden droneasetuksen toimintamalliin oli tarkoitus alkaa siirtyä 1.7.2020 alkaen, mutta alkuvuodesta 2020 alkaneen COVID-19 pandemian seurauksena asetuksen käyttöönottoa on siirretty vähintään 31.12.2020 asti. Asetuksen käyttöönotossa on alkuvaiheessa siirtymäaika, jonka aikana rajoitukset eriävät lopullisista rajoituksista. Siirtymäaika oli alkuperäisten suunnitelmien mukaan 1.7.2020-1.7.2022. [19.]

Lain säätäminen EU:ssa siirtyy jäsenmaiden toimeenpantavaksi kolmen pääasiallisen lainsäädännöllisenvälineen avulla, jotka ovat asetus, päätös ja direktiivi (kuva 7). Asetuksista ja päätöksistä tulee niiden voimaantulopäivänä sitovia koko EU:n alueella. Kansallisten viranomaisten tulee lisäksi varmistaa, että asetuksia ja päätöksiä sovelletaan oikein. Direktiiveissä on aina säädetty tietty määräaika, johon mennessä jäsenmaiden on sisällytettävä direktiivin muutokset oman maansa lainsäädäntöön. [38.]

Droneasetus on siis EU:n määräämä asetus, jonka oikein soveltamisesta vastuussa ovat jäsenmaiden kansalliset viranomaiset. Suomen tilanteessa droneasetuksesta vastuussa oleva viranomainen on liikenne- ja viestintävirasto Traficom. [38.]



Kuva 7. EU-lainsäädännön kolme keskeisintä välinettä.

5.2 Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

Traficom on Suomen liikenne- ja viestintäministeriön hallinnon alainen keskusvirasto, joka toimii liikenteen ja viestinnän lupa-, rekisteri- ja valvontaviranomaisena. Traficomien toiminnan tarkoituksena on tuottaa toimivia yhteyksiä niin ihmisille, datalle, kuin myös tavaroille. Toiminnan tarkoituksena on myös parantaa ja ylläpitää yhteiskunnan liikenteen ja digitoiminnan turvallisuutta. Liikenne- ja viestintävirastolle on myös määrätty Suomen laissa tarkasti 13:n tehtävän lista, joista kohtien yksi ja kaksi piiriin osuu tuleva EU:n laajuinen droneasetus. Kohdat 1 ja 2 esitetään laissa Finlexin mukaan seuraavasti.

1) edistää liikenteen ja viestinnän turvallisuutta sekä alan teknistä kehitystä ja häiriöttömyyttä;

2) huolehtii liikenteen ja sähköisen viestinnän sääntely-, lupa-, hyväksyntä-, rekisteri- ja valvontatehtävistä, toimialan pätevyys- ja tutkintotehtävistä, tietopalvelusta sekä toimialansa tilastoinnista;

[27, 28.]

5.3 Uuden droneasetuksen sisältö

UAS-käyttäjät, eli Unmanned Aircraft System -käyttäjät, on uusin ilmailun tiukasti säädeltyyn piiriin liittyvä käyttäjäryhmä, jonka parempaa integroimista varten EU:n laajuinen droneasetus on järjestellä. Asetuksessa tuodaan esiin toiminnan kategorisointia, kauko-ohjaajien koulutusvaatimuksia, markkinalainsäädäntömuutoksia koskien kuluttajatasen UA-laitteita, UAS-toimijoiden rekisteröintivaatimuksia ja lupaprosessi vaativaa toimintaa varten. [19.]

5.3.1 Määritelmiä

Uudessa lainsäädännössä drone-toiminnan osapuolien määritelmän mukaan UAS on käytettävä kauko-ohjattava ilma-alus ja kaikki siihen liittyvät järjestelmät, esimerkiksi kauko-ohjauslaitteisto ja niin edelleen. UAS-käyttäjä on kyseisen UA-järjestelmästä vastaava taho/henkilö, jonka nimeen UAS on rekisteröity. Kauko-ohjaaja on UA-järjestelmän ohjaaja, jolla on järjestelmän käyttämiseen vaadittu osaaminen sekä koulutus. UAS-käyttäjän on mahdollista toimia myös itse järjestelmän kauko-ohjaajana, mikäli hän täyttää siihen edellä mainitut kriteerit. [19.]

5.3.2 Droneasetuksen kategoriat

EU:n droneasetuksessa UAS-toiminta jaetaan kolmeen kategoriaan, jotka ovat avoin, erityinen ja certified. Certified-kategoria tulee koskemaan UA-kalustolla toimivia logistiikan ja ihmiskuljetusten aloja, jollaisia ei ole vielä olemassa. Toisin sanoen tällä hetkellä droneilla ei ole vielä järjestetty suuremmassa skaalassa ihmisten tai tavaroiden

kuljetusta. Tämä kategoria on tästä syystä vielä valmisteilla ja tuodaan käyttöön teknologian kehityksen myötä. [19.]

Avoin-kategoriassa UAS-käyttäjän on rekisteröidyttävä, mikäli toimija käyttää kalustoa, jonka massa ylittää 250 grammaa, tai järjestelmä sisältää kameran, eikä sitä ole määriteltä luluksi. Erityinen-kategorian alla toimivan käyttäjän on poikkeuksetta rekisteröidyttävä. Certified-kategorian rekisteröitymistöiminta ei ole vielä täysin määriteltä, mutta kategoriassa toimivat dronet tullaan rekisteröimään samalla tavalla kuin muutkin ilma-alukset, kuten esimerkiksi lentokoneet. Esimerkkinä certified kategoriasta voidaan esittää Airbus A³ Vahana (kuva 8), jonka prototyyppiä Airbus esitteli vuonna 2019 [19, 22.]



Kuva 8. Esimerkki kuva mahdollisesta certified-luokan UA:sta. Airbus A³ Vahana

Rekisteröinnin tarkoituksena on kerätä dataa Suomen UAS-toimijoista ja niiden määrästä. UAS-toimijoiden rekisteröinti on tarkoitus järjestää Traficom in toimesta heidän ylläpitämänsä rekisteröitymisverkkosivun avulla. Rekisteröitymisen yhteydessä voi varata itselleen ajan verkkoteoriakokeeseen. Rekisteröitynyt taho saa itselleen rekisterinumeron, joka tulee olla selvästi merkittynä jokaiseen toimijan vastuussa käytettävään droneen. Yrityksessä drone-toiminta voidaan järjestää rekisteröimällä UAS-käyttäjäksi yritys, jonka työntekijät voivat toimia kauko-ohjaajina. Kuluttajamarkkinoilla toimintamalli

menee esimerkiksi siten, että UA-järjestelmän omistaja rekisteröityy käyttäjäksi ja toimii itse kauko-ohjaajana vaaditut koulutukset suoritettuaan. [19.]

Avoin-kategoria tulee sisältämään suurimman osan UAS-toimijoista, koska se sisältää kevyimmän painoluokan UA-laitteet, johon kuluttaja tason laitteet yleisesti ottaen kuuluvat. Avoin-kategorian yleiset säännöt pätevät kaikkiin droneihin ja niihin UAS-toimijoihin, jotka eivät ole tehneet tarvittavia toimia siirtääkseen toimintaansa erityinen-kategorian alle. Avoin-kategorian yleiset säännöt ovat seuraavat: UA:n maksimi-ilmaannousupaino on 25 kg, korkein sallittu lennätyskorkeus on 120 metriä, vaarallisten aineiden kuljetaminen ei ole sallittua, dronella ei saa pudottaa esineitä ja autonomiset lennot on kielletty. Uuden drone-asetuksen myötä lennätyskorkeus tarkoittaa etäisyyttä maan *tai* veden *pinnasta*, joka helpottaa esimerkiksi vuoristoisessa maastossa toimimista. Lentokorkeuden määrittäminen etäisyydeksi *pinnasta* tarkoittaa, että UA:ta voi lennättää esimerkiksi 120 metrin etäisyydellä vuoren kielekkeestä, vaikka sen etäisyys alla olevasta maanpinnasta on yli 120 metriä. [19.]

Avoin-kategoriassa on yleisten sääntöjen lisäksi alakategorioille erilliset rajoitukset, jotka on määrätty UA:n painon ja lennätysalueen perusteella. Alakategorioita on kolme, ja kukin on määritetty omat kriteerit siirtymäajalla (kuva 9). A1-kategoriassa UA:n ilmaannousumassa on 500 grammaa tai vähemmän ja lentäminen on sallittu tiheästi asutetuilla alueilla. A2-kategoriassa puolestaan ilmaannousumassa on 500-2000 grammaa ja lentäminen on sallittu tiheästi asutetuilla turvallisella etäisyydellä ihmisistä. Viimeisessä A3-kategoriassa ilmaannousumassa alle 25 kilogrammaa ja lentäminen on sallittu harvaan asutetuilla alueilla etäällä lentokentistä. [19.]

A1 Dronen maksimi paino 500 grammaa	A2 Dronen paino 500- 2000 grammaa	A3 Dronen paino 0,5-25 kilogrammaa
Lentäminen sallittu satunnaisten ihmisten, mutta ei ihmisjoukkojen yllä.	Lennot sallittu tiheästi asutuilla alueilla Turvallisella etäisyydellä ihmisistä	Lennot sallittu harvaan asutuilla alueilla Kaukana lentokentistä
Ei koulutusvaatimusta	Verkkoteoriakoe ja lisäteoriakoe	Verkkoteoriakoe

Kuva 9. Kuvassa esitetty taulukko muodossa siirtymäajan aikaiset alakategorioiden rajoitukset ja vaatimukset.

Siirtymäajan jälkeen alakategorioita on edelleen kolme, ja kullakin on edelleen omat kriteerinsä (kuva 10). A1-kategoriassa UA:n ilmaannousumassa on 250-900 grammaa ja lentäminen on sallittu tiheästi asutetuilla alueilla satunnaisten ihmisten yläpuolella, mutta ei ihmisjoukkojen yläpuolella. A2-kategoriassa puolestaan UA:n ilmaannousumassa on 900-4000 grammaa ja lentäminen on sallittu tiheästi asutetuilla alueilla, mutta ei ihmisten yläpuolella. Kolmannessa A3-kategoriassa UA:n ilmaannousumassa on 250 grammaa – 25 kilogrammaa ja lentäminen on sallittu ainoastaan harvaan asutetuilla alueilla, riittäväällä etäisyydellä lentokentistä. [19.]

A1 Dronen paino 250-900 grammaa CE-merkinnät: C0 ja C1	A2 Dronen paino 900- 4000 grammaa CE-merkinnät: C2	A3 Dronen paino 0,9-25 kilogrammaa CE-merkinnät: C2, C3
Lentäminen sallittu tiheästi asutuilla alueilla satunnaisten ihmisten, mutta ei ihmisjoukkojen yllä.	Lennot sallittu tiheästi asutuilla alueilla Turvallisella etäisyydellä ihmisistä	Lennot sallittu harvaan asutuilla alueilla Kaukana lentokentistä
Verkkoteoriakoe	Verkkoteoriakoe ja lisäteoriakoe	Verkkoteoriakoe

Kuva 10. Kuvassa esitetty taulukkomuodossa siirtymäajan jälkeiset alakategorioiden rajoitukset ja vaatimukset

5.3.3 Koulutus

Uuden droneasetuksen myötä tulevat kauko-ohjaajien koulutusvaatimukset sisältävät maksuttoman rekisteröinnin yhteydessä suoritettavan verkkokokeen ja erillisen lisäteoriakokeen. UA-laitteistosta, sen käyttötarkoituksesta ja käyttöpaikasta riippuen kauko-ohjaajalta edellytetään eri määrä suoritettuja koulutuksia. Avoin-kategoriassa tarvittavat koulutukset on määrätty alakategorioiden mukaan. Siirtymäajalla vain A2- ja A3-kategoriassa on koulutusvaatimukset. A2-kategoriassa tarvitaan verkkoteoriakoe sekä lisäteoriakoe, mutta A3-kategoriassa riittää pelkkä verkkoteoriakoe. Siirtymäajan jälkeen A1-kategorian toimintaan riittää verkkokokeen suoritus, mutta A2- ja A3-kategorioiden toiminta vaatii myös lisäteoriakokeen suorituksen. Erityinen-kategorian toiminta edellyttää aina sekä verkkokokeen, että lisäteoriakokeen suorituksen. Verkkoteoriakoe sisältää 40 kysymystä koskien yleisiä sääntöjä, turvallisuutta ja dronejen toimintaa. Tarkempia kysymysaihepiirejä ovat esimerkiksi lentokieltoalueet, yksityisyys ja turvallisuus. Lisäteoriakokeiden toteutus pyritään järjestämään kolmansien osapuolien avulla, jotta koulutus olisi helposti saatavilla ympäri Suomea. Lisäteoriakokeessa käsitellään vaativampia aiheita, joiden osaaminen on tärkeää niin avoin- kuin erityinen-kategorioidessakin. Kokeen aiheita ovat esimerkiksi: toiminta asutusalueilla, lentosuunnittelu, riskiarviointi ja turvallinen lentäminen. Erityinen-kategoriassa tarvittavia koulutus- ja lupavelvoitteita ei ole vielä droneasetuksen voimaan astumiseen mennessä ehditty täysin määrittellä. Kategoriaa varten on siis tarkoitus tulla vielä omat, tarkennetut toimintaan edellytetyt vaatimukset. Erityinen-kategorian vielä keskeneräisiä aiheita ovat:

- Pilottien koulutusvaatimukset
- koulutusorganisaatioiden vaatimukset
- EU:n tasolla yhteiset lentokelpoisuusstandardit ja hyväksyntäprosessit [19.]

5.3.4 Markkinalainsäädäntö

EU:n droneasetuksen myötä tulee myös muutoksia droneja koskevaan markkinalainsäädäntöön. Uudistunut markkinalainsäädäntö määrittelee uusien valmistettujen dronejen ominaisuuksia. Kaikkien valmistettujen dronejen tulee täyttää uudet EU:n CE-merkinnät, jotta niitä saa käyttää EU:n alueella. Uusia CE-merkintöjä on viisi kappaletta C0, C1, C2,

C3 ja C4. CE-merkintöjen vaatimuksia ovat esimerkiksi massa, nopeus, elektroniikka, valaistus, etätunnistusjärjestelmä ja geo-awareness järjestelmä. [19.]

Droneasetuksen myötä etätunnistusjärjestelmä tulee pakolliseksi kaikkiin droneihin. Etätunnistusjärjestelmässä drone lähettää jatkuvaa signaalia, josta selviää seuraavat tiedot: käyttäjän rekisterinumero, UA:n sarjanumero, sijainti, korkeus, kulkusuunta, maanopeus ja lentäjän sijainti. Järjestelmä siis toimisi samantyyppisesti kuin nykyiset ilma-alusten transponder-järjestelmät. Droneissa etätunnistussignaali on tarkoitus järjestää joko Wi-Fi- tai bluetooth-tekniikalla. Näiden tekniikoiden etuna on se, että niiden tulkitsemiseen on lähes jokaisella työkalu, nimittäin älypuhelin. Etätunnistuksen helppous mahdollistaisi esimerkiksi helpomman laittoman tai häiritsevän drone-toiminnan ilmoittamisen viranomaisille. [19.]

Geo-awareness -järjestelmän tarkoituksena on toimia UA-toimijan apuna ja se pyrkii estämään epähuomiossa lentokieltoalueella lennättämisen. Järjestelmään ladataan toiminta-alueen rajoitusalueetiedot. Ladattujen tietojen avulla järjestelmä varoittaa dronen ohjaajaa, mikäli tämä on lennättämässä dronea kielto- tai rajoitusalueelle, tai dronen navigointijärjestelmä ei saa riittävää sijaintitietoa taatakseen, että geo-awareness -järjestelmä kykenee toimimaan oikein. [19.]

Erityinen-kategoria on tarkoitettu toiminnalle, joka ylittää minkä tahansa avoin-kategorian rajoituksen, esimerkiksi ilmaannousumassan, lentokorkeuden, lennot näköpiirin ulkopuolella tai lennot rajoitus/kieltoalueilla. Erityinen-kategoriassa toimiminen vaatii joko ilmoituksen toimittamista Traficomille ja muille osallisille tahoille, tai vaativammissa tapauksissa erillistä haettavaa lupaa. Tämä lupa-/ilmoitustoiminta on samankaltaista kuin nykyisessä lainsäädännössä. Tätä asiaa pohditaan tarkemmin myöhemmin kappaleessa kuusi. Droneasetuksen myötä on tavoitteena, että tähän toimintaan tulee helpotusta yleisimmille vähä- ja suuririskisille operaatioille esitehtyjen ilmoituslomakkeiden avulla. Esi- tehtyjä ilmoituslomakkeita on tällä hetkellä vain muutamia kappaleita, mutta EASA on tuomassa uusia siirtymäajan aikana ja myöhemmin selviävän tarpeen mukaan. [19.]

6 Lainsäädännön vaikutus toimintaan

Tämän kuudennen kappaleen tarkoituksena on pohtia ja käsitellä, miten uuden EU- laajuisen droneasetuksen tuomat muutokset tulevat vaikuttamaan drone-toimintaan. Lisäksi käsitellään myös sitä, miten asetuksen kanssa samaan aikaan tuleva markkinalainsäädännön muutos tulee vaikuttamaan droneihin ja niiden käyttöön.

Lainsäädännön avulla on tarkoitus selkeyttää niitä toimintapuitteita, joiden sisällä dronejen käyttö on sallittua. Tällä hetkellä dronejen käyttöä säädellään Suomen ilmailulainsäädännössä ja liikenteen turvallisuusvirasto Traficom in antamassa määräyksessä OPS M1-32. Viranomaissäädösten lisäksi lentoturvallisuustyön avulla ilmailijoille on ollut tarjolla sääntöjä ja koulutusta, mutta lentäjien koulutusvaatimuksista poiketen drone-toiminta on ollut vapaammin säänneltyä. Dronejen lisääntymisen myötä lentoturvallisuuteen liittyvät läheltä piti -tilanteet ovat lisääntyneet, ja esimerkiksi tämän vuoksi on tullut tarpeelliseksi tarkastella lainsäädännön tarkentamista. [19, 20.]

Droneasetuksen myötä tulee myös voimaan koulutus- ja lupavelvoitteita, jotka tulevat vaikuttamaan kaikkiin EU:n kansalaisiin, jotka haluavat käyttää yli 250 gramman painoisia tai kameralla varustettuja droneja, joita ei ole erikseen määritelty leluiksi. Kaikkien näiden toimijoiden tulee suorittaa vähintään verkkoteoriakoe, joka mahdollistaa toimimisen Avoin-kategorian alakategorioissa A1 ja A3. Mikäli toimija haluaa toimia alakategoriassa A2 tulee hänen suorittaa verkkoteoriakokeen lisäksi erillinen lisäteoriakoe.

Myös kaikissa yrityksissä, joissa harjoitetaan jonkin tasoista drone-toimintaa, tulee ottaa huomioon ja varmistaa, että kaikki yrityksen droneja ohjaavat henkilöt ovat suorittaneet yrityksen drone-toimintaa varten vaaditut koulutukset. Droneasetuksessa tulevat koulutusvaatimukset tulevat aiheuttamaan välittömiä, sekä välillisiä kustannuksia yrityksissä. Välittömät kustannukset johtuvat siitä, että vaikka verkkoteoriakoe olisi ilmainen, niin lisäteoriakoetta varten järjestettävät kurssit, eivät tule olemaan maksuttomia. Välillisiä kustannuksia tulee aiheutumaan siitä, kun koulutukseen valmistautuvat ja osallistuvat työntekijät eivät ole yrityksen muun toiminnan käytettävissä normaalisti.

Koulutus- ja lupavelvoitteilla voi olla myös toivottavasti vaikutusta drone-toiminnan turvallisuuteen. Tämä turvallisuusvaikutus syntyisi siitä, että jokaisella drone-toimijalla olisi

vähintään yhteinen tietopohja drone-toiminnan turvallisuudesta, koska he kaikki suorittaisivat saman verkkoteoriakokeen. Lisäksi koko EU:n kattava droneasetus aiheuttaa sen, että Suomessa noudatetaan samoja sääntöjä, kuin muualla EU:n alueella.

Nykyinen drone-lainsäädäntö ei ole kaikilta osin tarpeeksi kattava ja selkeä. Nykyisessä droneja koskevassa lainsäädännössä on sellaisia osa-alueita, jotka aiheuttavat hankaluuksia ja sujuva toiminta ei ole mahdollista. Hankalia/hitaita toiminta-alueita on esimerkiksi kaupunkialueella lentäminen ylittäen vähäisesti painorajoituksen tai lentokorkeusrajoituksen. Vanhassa lainsäädännössä tällainen toiminta on edellyttänyt UA:n käyttäjää laatimaan kirjallisen toimintakuvauksen, jossa kerrotaan toiminta-alue, toiminta-aika UA:n / UA:iden mallit, vaarojen arviointi, riskien vähentämissuunnitelma, sekä normaalia toimintaa, että vaaratilanteita koskeva toimintatapaselostus. Kirjallinen toimintakuvaus on nykyisten säännösten mukaan säilytettävä vähintään kolmen kuukauden ajan. Uudessa EU:n laajuisessa droneasetuksessa pyritään helpottamaan tällaisten yleisten, rajoituksia ylittävien toimintojen lupa-/ilmoitusasioita valmiiksi tehdyillä standardiskenaarioilla. Näiden standardiskenaarioiden avulla yleisimpien vähä- ja suuririskisten operaatioiden toteuttaminen ja ajoittaminen tulee sujumaan jouhevammin.

Nykyisen drone-lainsäädännön painorajat ovat osittain matalammat, kuin lopulta voidaan tulevan EU:n droneasetuksen mukaiset rajat. Ilmaannousupaino alakategoriassa A2 tulee nousemaan jopa kolmanneksella, kolmesta kilogrammasta neljään. Tällä muutoksella voi olla positiivisia vaikutuksia joidenkin toimijoiden näkökulmasta. Esimerkiksi mikäli toimija haluaisi käyttää 2,8 kilogrammaa painavassa UA:ssa 300 gramman lisälaitetta, pitäisi nykylainsäädännöllä tehdä edellisessä kappaleessa mainitut lisätoimenpiteet. Uusi lainsäädäntö mahdollistaa tämän laiteyhdistelmän käyttämisen ilman lisätoimenpiteitä. Uusi sallivampi painorajoitus siis helpottaa joidenkin toimijoiden työtaakkaa mahdollistamalla toimimisen avoin-kategoriassa.

Ilmaannousupainorajan nosto todennäköisesti vaikuttaa positiivisesti myös drone-valmistajien tuotteisiin. Toisin sanoen korkeammat painorajat voivat mahdollistaa vanhojen ominaisuuksien parantamisen tai uusien lisäämisen. Tällaiset lisäykset olisivat mahdollisia, koska tuotteen painoa kyetään nostamaan ilman, että sen käyttö siirtyy korkeampaan vaativuuskategoriiaan, jossa saattaa olla vähemmän potentiaalisia ostajia.

Lentokorkeuden madaltuminen on yksi konkreettinen seikka, jolla voidaan parantaa yleistä lentotoiminnan turvallisuutta. Erityisesti matalalla lentävät helikopterit ovat saattaneet joutua vaaratilanteisiin liian korkealla lentäneiden dronejen vuoksi. Jopa lentokenttiä on jouduttu sulkemaan lentoturvallisuussyistä, kun droneja on lennätetty liian korkealla ja väärällä alueella. Korkeuden madaltamisella voi toisaalta olla myös mahdollisesti haittaa joillekin pienemmille avoin-kategorian alla toimiville toimijoille, joiden toiminnassa on tarvittu yli 120m lentokorkeutta. Tällaisia dronen käyttötarkoituksia voivat olla, esimerkiksi erilaiset kartoitus ja mittaustehtävät. Kartoituksen tapaisissa drone kuvauksissa lentokorkeudesta on erityisesti hyötyä siksi, että mitä korkeammalta kuvaaminen voidaan suorittaa sitä isomman maa-alueen saa mahdutettua yhtä kuvaa kohti, ja näin ollen koko alueen kuvaamisen tarvittava aika lyhenee.

EU:n laajuisen droneasetuksen rinnalla tuleva markkinalainsäädännön muutos on myös sidottu drone-lainsäädäntöön siten, että itserakennettuja ja vanhan markkinalainsäädännön mukaisia droneja ei saa lain mukaan enää käyttää kuin edellä mainittujen rajoitusten mukaisesti. Vanhojen ja itserakennettujen dronejen käyttö tulee merkittävästi hankaloitumaan siirtymäajan päätyttyä. Rajoitus saattaa vaikuttaa joidenkin UA-käyttäjien toimintaan, jos heidän toimintansa kuuluu avoin-kategoriaan. Muutoksen tuomien rajoitusten jälkeen toimijalla on kaksi vaihtoehtoa, ostaa uusi drone tai siirryttävä toimimaan erityinen kategorian piiriin. Kumpikaan ratkaisutapa ei ole täydellinen. Uudet CE-merkinnät omavan dronen hankinnalla voi olla suuri taloudellinen vaikutus. Oman toiminnan siirtäminen erityinen kategoriaan taas voi aluksi lisätä toimijan työtaakkaa, mutta on todennäköisesti näistä kahdesta ratkaisutavasta pienempivaikutteinen. Joiltakin drone-valmistajilta saattaa olla mahdollista saada "hardware"- ja "software" -päivityspaketit, joiden avulla drone saadaan täyttämään uudet CE vaatimukset.

Uusien markkinalainsäädäntömuutosten sisältämät velvoitteet UA-järjestelmien etätunnistusta varten tuovat mahdollisuuksia drone-toiminnan turvallisuuden lisäämiseksi. Etätunnistusjärjestelmän avulla on mahdollista havaita, jos omalla toiminta-alueella on käytössä muita UA-laitteita ja ottaa se huomioon omassa toiminnassa.

Droneasetuksen astuessa voimaan tulee siis monenlaisia vaikutuksia, niin positiivisia kuin myös negatiivisia. Asetuksen pohjimmaisena tarkoituksena on tarkentaa tämän uusimman ilmatilakäyttäjryhmän lainsäädäntöä. Drone-toimijoita koskevat koulutus- ja

lupavelvoitteet tulevat vaikuttamaan hetkellisesti drone-toimintaan ja sen kustannuksiin velvoitteiden voimaan tulon alkuvaiheessa. Koulutus- ja lupavelvoitteet tulevat myös toivottavasti vaikuttamaan drone-toiminnan turvallisuuden lisääntymiseen. Uudessa asetuksessa tulee olemaan helpotusta rajoitusten ylittävän toiminnan järjestämiseen valmiiksi tehdyillä standardiskenaarioilla, joiden avulla yleisimpiä vähä- ja suuririskisiä operaatioita voidaan järjestää helpommin. Vanhoja droneja koskevia rajoituksia, kuten esimerkiksi ilmaannousumassa ja maksimilentokorkeus tullaan muuttamaan. Näillä rajoitusten tiukennuksilla ja lievennyksillä tulee olemaan vaikutuksia niin dronejen käyttäjien kuin myös dronejen valmistajien mahdollisuuksiin. Dronejen valmistajia ja käyttäjiä tulee lisäksi koskemaan myös droneasetuksen myötä tuleva markkinalainsäädännön uudistus. Markkinalainsäädännön uudistus tulee vaikuttamaan esimerkiksi rajoittamalla vanhojen dronejen käyttöä siirtymäajan jälkeen ja lisäämällä käytettävien dronejen turvallisuutta uuden etätunnistusjärjestelmän avulla.

7 Dronejen mahdollisuudet

Tässä kappaleessa käsitellään erilaisia mahdollisuuksia, joita dronejen hyödyntäminen rakennusalalla voi tuoda tullessaan. Kappaleessa myös pohditaan lyhyesti tarvittavan kaluston hintaa verrattuna toiminnan laajuuteen.

Droneja on mahdollista hyödyntää useilla eri toimialoilla. Rakennusalalla droneja voidaan hyödyntää erityisesti alueiden kartoitukseen, kohdetarkastuksiin, lämpökuvaukseen ja 3D-mallinnukseen. Lähes kaikki edellä mainituista toiminnoista kyetään toteuttamaan niin edullisella kuin myös hintavalla kalustolla. Tarvittavan kaluston hinta määräytyy vahvasti vaaditun lopputuloksen laadun perusteella. Korjausrakentamisen kannalta hyödyllisempiä käyttötarkoituksia ovat kohdetarkastukset, lämpökuvaukset ja 3D-mallinnus.

”Normaalit”, kameralla varustetut dronet ovat erinomaisia työkaluja esimerkiksi kohdekuvauksiin ja vaikeakulkuisten tai riskialttiiden paikkojen tarkastuksiin. Korjausrakentamisalalla usein ennen rakennuksen korjauksia suoritetaan kuntoarvio, jonka perusteella arvioidaan rakennuksen korjaustarpeita. Osana kuntoarviota pystytään käyttämään dronen avulla kuvattua kuva- ja videomateriaalia, josta voidaan esimerkiksi esittää havaittuja vikoja raportoinnin yhteydessä. Dronejen avulla saatua kuvamateriaalia voidaan

hyvin hyödyntää myös rakennesuunnittelun piirustus- ja suunnitteluapuna. Esimerkiksi vesikaton korjaussuunnittelun plaanin piirtämisessä voidaan arkkitehtikuvien ja katosta otetun kuva- ja videomateriaalin avulla varmistaa, että kaikki kattotekniikka, kuten esimerkiksi jalkarännit, lumenputoamisesteet ja kattotikkaat, on esitetty asianmukaisesti oikeilla paikoilla.

Kuva- ja videomateriaalin keräämisen soveltuvia droneja löytyy nykyään lähes kaikista hintaluokista. Kuvanlaadultaan erinomaisia drone-järjestelmiä saa nykyään jo melko edullisesti. Rakennusalalla tarvittavaa tai jopa hieman parempaa riippuen käyttötarkoituksesta on saatavilla jo monissa kuluttajatason droneissa, kuten esimerkiksi DJI:n Mavic -sarjan droneissa. Markkinoille on myös viime vuosina tuotu ”valmisdronerajärjestelmiä”, joissa on kuvaamista avustavia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi optisella zoomauksella varustettu kamera. Tämän zoomauksen avulla voi kohteita tarkastella lähemmin vaarantamatta dronea tai muita asioita kuvaustoimintaympäristössä, lentämättä liian lähellä kuvauskohdetta. Korkeammassa hintakategoriassa on myös tarjolla järjestelmiä, joita voidaan hyödyntää hyvin vaativassa kuvaustyössä, kuten esimerkiksi elokuva-alalla. Tällaiset drone-järjestelmät ovat yleisesti modulaarisia, jolloin niihin voidaan liittää esimerkiksi jo olemassa olevaa kuvauskalustoa tai niille erityisesti valmistettuja kamerajärjestelmiä.

Lämpökameroilla suoritettava lämpökuvaukseen on ainetta rikkomaton tutkimusmenetelmä. Rakentamisessa lämpökuvauksella voidaan arvioida rakennusten, rakennusten osien ja materiaalien toimivuutta ja kuntoa. Lämpökuvauksella voidaan myös hyödyntää talotekniikan järjestelmien toiminnan tarkastelussa, rakentamisen laadunvalvonnassa ja rakennusten kuntotutkimuksissa. Lämpökuvaukseen Suomessa sertifioidun alaista työtä, jonka seurauksena lämpökuvauksen suoritukselle, suorittajalle ja kalustolle on omia vaatimuksia. Jos lämpökuvauksella halutaan tuottaa virallisesti käytettävää mittatietoa, on käytössä olevan lämpökamerajärjestelmän oltava mittaava, tasapainotettu ja kuvantava mittalaite. Kameralla täytyy kyetä tallentamaan lämpökuvadataa myöhempää raportointia, tulosten käsittelyä ja jälkianalysointia varten. Lämpökameran täytyy olla kalibroitu siihen valtuutetulla taholla vähintään kahden vuoden välein. Kameran mittatarkkuuden on oltava vähintään ± 2 °C astetta riippumatta olosuhteista. [10.]

Lämpökuvauksen ja raportoinnin suorittajalla täytyy olla asiantuntemusta lämpökuvaamisesta sekä rakennetekniikasta. Lämpökuvaaja voi todentaa osaamisensa esimerkiksi VTT:n myöntämällä lämpökuvaajan sertifiikatilla. [10.]

Lämpökamera ja drone -yhdistelmällä on omia etuja verrattuna normaaliin rakennusten lämpökuvausmenetelmään. Lämpökuvaaminen dronen avulla parantaa esimerkiksi työturvallisuutta vähentämällä tarvittavaa kiipeämistä katoille ja muille rakenteille. Drone myös helpottaa vaikeapääsyisten paikkojen lämpökuvaamista ja mahdollistaa joissain tilanteissa kuvaamisen suorittamisen yksin. Lämpökameralla varustetulla dronella voidaan myös mahdollisesti laskea korkeiden rakennusten lämpökuvauksen kustannuksia nopeuttamalla työnsuoritusta ja poistamalla esimerkiksi vuokrattavien henkilönostimien tarve. Henkilönostimien käyttäminen ei välttämättä ole tarpeellista siksi, että dronella saadaan järjestettyä samat mahdollisuudet tarvittaville tai jopa paremmille kuvausasetäisyyksille ja -kulmille

Lämpökuvaukseen kykeneviä valmis-droneja löytyy myös edullisemmasta hintaluokasta (esimerkiksi alle 3000€). Tällaisella kalustolla kyetään toteuttamaan ainakin ilmavuotojen paikannusmittauksia siten, että laitteen tekniset ominaisuudet ovat riittävällä tasolla. Tällainen drone on esimerkiksi Parrot Anafi Thermal -drone, jonka lämpökameran tekniset ominaisuudet täyttävät ilmavuotojen paikanukseen vaaditut ominaisuudet. Mikäli halutaan toteuttaa vaativampia lämpökuvauksia, siihen kykenevän valmiin UA-järjestelmän hinta on todennäköisesti jo huomattavasti korkeampi. Esimerkki kyvykkäämmästä lämpökuvaus-dronesta on Parrot:in Anafi USA, jonka lämpökuvausominaisuudet ovat paremmat, mutta sen hinta on hetkellä yli kolminkertainen. Nämä korkeamman hintaluokan UA-järjestelmät ovat paremmin soveltuvia esimerkiksi yrityksille, jotka ovat erikoistuneet erityisesti rakenne- ja kuntotutkimuksiin. Tämä johtuu siitä, että korkean luokan laitteiden hankintahinta on niin suuri, että niiden käyttäminen esimerkiksi pelkkään avustavaan toimintaan ei todennäköisesti ole kustannustehokasta, eikä dronen hankintahintaa saada katettua sen käyttöiän aikana. Lämpökuvaukseen kykeneviä droneja, jotka eivät täytä kaikkia vaadittuja ominaisuuksia, on kuitenkin mahdollista käyttää esimerkiksi korjausrakentamissuunnittelun apuna. [21, 36.]

Aikaisemmin Granlundille tehtyyn innovaatioreporttiin viitaten 3D-mallintamiseen tarvittavan kaluston hintataso on melko korkea johtuen käyttökelpoiseen 3D-malliin

tarvittavan tarkkuuden vuoksi. Nykyinen, halvemman hintatason kalusto (esimerkiksi alle 3000€) ei kyennyt selvityksemme mukaan riittävään tarkkuuteen ja toistettavuuteen. [23.]

Tämän opinnäytetyön markkinakartoituksen yhteydessä on selvinnyt, että markkinoille on tulossa uusia tuotteita esimerkiksi DJI:iltä, jotka vaikuttavat lupaavilta enteiltä halvemmalle, riittävän tarkalle 3D-mallinukselle. DJI:n tulevat uudet tuotteet ovat Zenmuse -sarjan uudet lisälaitteet P1 ja L1, jotka kyetään liittämään esimerkiksi DJI:n Matrice -sarjan droneihin (kuva 11). P1 on 45 megapikselin fullframe-kennolla varustettu kamerajärjestelmä ja L1 taas on DJI:n ensimmäinen dronelle tarkoitettu valmis lidar-lisälaitte. Valitettavasti tähän opinnäytetyöhön hintatietoa ei ehditty tarkasti selvittämään. Oman arvioni mukaan edellä mainitut tuotteet ovat edelleen hintatasoltaan melko korkealla, joten niiden avulla ei välttämättä saavuteta tilannetta, että UA-järjestelmän kokonaishinta olisi esimerkiksi alle 3000€. DJI:n markkinoille tuleva lidar-sensori tulee toivottavasti innoittamaan muita valmistajia tuottamaan mahdollisesti kilpailevia, alemman hinnan tuotteita. [24, 25.]



Kuva 11. Esimerkki dronesta mihin voidaan kiinnittää P1 ja L1 tuotteet. DJI matrice 600

Edullisemmat riittävän tason järjestelmät voisivat mahdollistaa 3D-mallintamisen hyödynnettävyyden pienemmässä toiminnassa, esimerkiksi korjausrakennesuunnitteluryhmän/-osaston tukena. Nykyisen 3D-mallintamiseen vaadittavan kaluston hinta on niin korkea, että jotta sen kustannukset pystyttäisiin kattamaan järkevästi, pitäisi kalustoa käyttää päätoimisesti, ei vain muun toiminnan apuna.

Tämän tarkastelun yhteenvetona voidaan siis todeta, että dronet voivat olla erinomaisia apuvälineitä rakennusalalla. Näkyvän valon kameroilla varustettuja droneja voidaan rakennusalalla hyödyntää monilla eri tavoilla esimerkiksi julkisivujen, kattojen ja erilaisten vaikeakulkuisten paikkojen tarkastelussa. Erilaisia apukeinoja voidaan rakennusalalle tuoda esimerkiksi lämpökameroiden ja lidarin avulla. Lämpökameran ja dronen yhdistelmällä voidaan esimerkiksi tarkastella rakenteiden tiiveysongelmia ja käyttää sitä esimerkiksi suunnittelun avustavana työkaluna. Dronen osa tässä yhdistelmässä lisää myös työturvallisuutta ja toiminnan nopeutta. Lidarilla taas voidaan tuottaa kohteista tarkkojakin 3D-malleja riippuen käytetyn kaluston laadusta. 3D-malleja voidaan hyödyntää suunnittelussa esimerkiksi mittausapuna. Tekniikan nopeasta kehittämisestä ja yleistymisestä huolimatta, muiden paitsi näkyvien kameroiden hinnat ovat edelleen suhteellisen korkeita, jonka vuoksi niiden käyttö edellyttää päätoimista, ammattimaista toimintaa ollakseen kustannustehokkaita.

8 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena on ollut tutkia dronejen mahdollisuuksia ja käyttö-tarkoituksia. Työssä käsiteltiin tulevaa EU:n laajuista droneasetusta ja sen mahdollisia vaikutuksia drone toimintaan, sekä erilaisia dronejen käyttömahdollisuuksia, esimerkiksi lämpökuvausta.

EU:n laajuinen droneasetus ja sen mukana tuleva markkinalainsäädännön uudistus tulevat vaikuttamaan kaikkien drone-toimijoiden toimintaan, sekä yksityistoimijoiden, että myös yritystoimijoiden. Välittömimmät ja huomattavimmat muutokset tulevat olemaan toiminnan edellyttämät koulutusvaatimukset. Koulutusvaatimukset tulevat koskemaan kaikkia dronejen käyttäjiä riippumatta dronejen käyttötarkoituksesta. Tarvittavien koulutusten määrä riippuu käytettävästä UA:sta, toiminta-alueesta ja toimintatavasta.

Koulutusta ei vaadita tilanteessa, jos drone painaa alle 250 grammaa eikä siinä ole kameraa. Tällaista tilannetta vaativammassa toiminnassa edellytetään aina joko verkko-teoriakokeen suoritusta tai verkkoteoriakokeen sekä lisäteoriakokeen suoritusta.

Uusien säännösten toinen merkittävä muutos tulee olemaan se, että todennäköisesti suuri osa vanhoista droneista ei tule täyttämään uuden markkinalainsäädännön CE-merkintävaatimuksia ja niiden käyttö tulee rajoittumaan hyvin huomattavasti. Vanhoja droneja koskevat rajoitukset saattavat aiheuttaa monille tilanteen, jossa vanha drone joudutaan korvaamaan uudella vastaavan tason dronella, koska vanhalla dronella ei voida enää esimerkiksi suorittaa haluttuja aiempia työtehtäviä.

EU:n laajuinen droneasetus tulee vaikuttamaan myös positiivisesti drone-toimintaan niin Suomessa kuin myös toiminnassa ulkomailla. Tämä johtuu siitä, että koska drone-toiminnan yleissäännöt tulevat olemaan samat ympäri EU:ta, ei toimijan tarvitse selvittää erikseen suurta määrää sääntöjä maakohtaisesti.

Droneja ja niihin liitettyä teknologiaa on jo alettu hyödyntää laajasti monilla eri toimialoilla. Tässä työssä on tarkasteltu erilaisia dronejen käyttötarkoituksia ja todettu, että korjausrakennesuunnittelussa voidaan jo hieman pienemmässä toiminnassa hyödyntää esimerkiksi normaalia valo- ja videokuvausta, sekä lämpökuvausta, drone-kalustolla avustavaan toimintaan. Tutkimuksen perusteella on tehty johtopäätös, että korkeampitasoiseen ja suurempaa mittatarkkuutta vaativaan toimintaan vaadittava lämpökuvaamisen ja 3D-mallintamisen kalusto on hintatasoltaan vielä niin korkea, että se on kannattavaa vain päätoimisesti käytettynä. Lämpökuvaus ja 3D-mallintaminen dronejen avulla tulevat kuitenkin olemaan jatkossa vieläkin enemmän hyödynnetty toimintatapa, kun dronejen ja niiden lisälaitteiden teknologia kehittyy ja hintataso laskee.

Tämän opinnäytetyön tekeminen lähti liikkeelle Granlund Oy:n halusta selvittää mahdollisia dronejen käyttötarkoituksia ja tutkia mitä muutoksia uusi EU:n laajuinen droneasetus tuo drone-toimintaan. Granlund Oy:llä on käytetty droneja jo entuudestaan muun muassa korjauskohteiden kunnon tarkasteluun ja vesikattojen korjaussuunnittelun apuna. Keskeisimmät tämän opinnäytetyön löydökset Granlund Oy:n näkökulmasta ovat, että uuden droneasetuksen myötä tuleva markkinalainsäädännön muutos mahdollisesti aiheuttaa sen, että Granlundin nykyistä drone-järjestelmää ei voida enää käyttää

siirtymäajan jälkeen nykyisen kaltaisessa toiminnassa. Droneasetuksen myötä tulevat koulutus- ja lupavelvoitteet tulevat myös vaatimaan toimenpiteitä, mikäli drone-toimintaa halutaan jatkaa. Toinen mahdollisesti kiinnostava havainto on mahdollisuus ottaa käyttöön myös lämpökuvaamiseen kykenevää drone-kalustoa korjaussuunnittelun avuksi. Mikäli halutaan suorittaa vaativampia lämpökuvauksia, täytyy hankkia lämpökuvauksessa käytettävän dronen ohjaajille myös riittävä koulutus koskien lämpökuvaamista.

Tämän tutkimuksen perusteella esitetään, että pelkästään suunnittelun avustavaa käyttöä varten, ei ole tällä hetkellä kannattavaa hankkia 3D-mallintamiseen soveltuvaa drone-kalustoa. Syynä tähän on rakennesuunnittelussa yleisesti vaadittu mittatarkkuus, johon pääsemiseksi tuli satsata sellaiseen laitteistoon, jonka korkea hintataso edellyttää toiminnan päätoimisuutta.

Lähteet

- 1 Wikipedia. Unmanned aerial vehicle. https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle Luettu 12.9.2020
- 2 Wikipedia. Kettering Bug. https://en.wikipedia.org/wiki/Kettering_Bug Luettu 10.9.2020
- 3 Wikipedia. De Havilland Tiger Moth https://en.wikipedia.org/wiki/De_Havilland_Tiger_Moth Luettu 10.9.2020
- 4 Droneinfo verkkosivusto. <https://www.droneinfo.fi/fi>, Luettu 10.9.2020
- 5 Wikipedia. Camera. <https://en.wikipedia.org/wiki/Camera> Luettu 10.9.2020
- 6 Wikipedia. Valo. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Valo> Luettu 10.9.2020
- 7 Wikipedia. Thermal imaging camera https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_imaging_camera Luettu 11.9.2020
- 8 Wikipedia. Thermographic camera. https://en.wikipedia.org/wiki/Thermographic_camera Luettu 11.9.2020
- 9 Wikipedia. Thermography. <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermography> Luettu 11.9.2020
- 10 Rakennustieto Oy. RT-kortti rakennuksen lämpökuvaus RT 14-11239
- 11 Wikipedia. Hyperspectral imaging. https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperspectral_imaging Luettu 11.9.2020
- 12 Wikipedia. Multispectral image. https://en.wikipedia.org/wiki/Multispectral_image Luettu 11.9.2020
- 13 Yle. uutiset. <https://yle.fi/uutiset/3-10061246> Luettu 10.11
- 14 Wikipedia. Sähkömagneettinen säteily. https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_s%C3%A4teily Luettu 11.9.2020
- 15 Wikipedia. Lidar. <https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar> Luettu 11.9.2020

- 16 Wikipedia. Laserkeilaus. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Laserkeilaus> Luettu 11.9.2020
- 17 Wikipedia. Point cloud. https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud Luettu 11.9.2020
- 18 Rakennustieto Oy. RT-kortti rakennuksen laserkeilaus RT 103133
- 19 Traficom. Drone-info webinääri. <https://traficom.videosync.fi/drone-info> Katsottu 30.1.2020
- 20 Suomen lentäjaliitto. Verkkosivu <https://www.fpapilots.fi/tyoymparisto/dronet-tulevaisuuden-rakentaja.html> Luettu 9.11.2020
- 21 Parrot. Tuetoverkkosivu. <https://www.parrot.com/en/drones/anafi-thermal> Luettu 8.11.2020
- 22 Wikipedia. Airbus A³ Vahana. https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_A%C2%B3_Vahana Luettu 10.11.2020
- 23 Aku Tikkanen, Verner Saha. Innovaatioraportti Drone-koptereiden pistepilvien hyödyntäminen vesikatto- ja julkisivukorjaussuunnittelussa. 2019
- 24 DJI. tuotesivu. <https://www.dji.com/fi/zenmuse-l1> Luettu 7.11.2020
- 25 DJI. tuotesivu. <https://www.dji.com/fi/zenmuse-p1> Luettu 7.11.2020
- 26 Wikipedia. Aerial photography. https://en.wikipedia.org/wiki/Aerial_photography Luettu 10.9.2020
- 27 Finlex. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180935> Luettu 12.11.2020
- 28 Traficom. verkkosivu. <https://www.traficom.fi/fi/> Luettu 12.11.2020
- 29 Granlund Oy. verkkosivu. <https://www.granlund.fi/> Luettu 12.11.2020
- 30 Granlund Oy. Granlund vuosikertomus 2019
- 31 Pieskä, Ilkka. Fotogrammetrian ja kuvantunnistusohjelmiston hyödyntäminen rakenteiden vauriokartoituksessa. Tampere: Tampereen yliopisto, 2017. <https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/24763> Luettu 13.11.2020

- 32 Martelin, Waltteri. Tietotekniikan hyödyntäminen rakennustyömaalla – nykytilanne ja kehitysnäkymiä. Tampere: Tampereen yliopisto, 2019. <https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/27545> Luettu 13.11.2020
- 33 Savisaari, Anssi. Pistepilvitiedon hyödyntäminen korjausrakennushankkeen arkkitehtisuunnittelussa. Tampere: Tampereen yliopisto, 2017. <https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/24774> Luettu 13.11.2020
- 34 Vakeri, Mika. Robotiikan hyödyntäminen rakennustyömaalla. Tampere: Tampereen yliopisto, 2020. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/119044> Luettu 13.11.2020
- 35 Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennonkin käyttäminen ilmailuun. 2017. Määräys 03.04.00.00/2017 TRAFI/334638/03.04.00.00/2017, OPS M1-32. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. https://arkisto.trafi.fi/file-bank/a/1544017881/36449b3e46367e0de0a247f2f68fefa1/32674-OPS_M1-32_2018_fi_korjattu.pdf
- 36 Parrot yrityksen kotisivu <https://www.parrot.com/en/drones/anafi-usa> Luettu 14.11.2020
- 37 Wikipedia. Photogrammetry. <https://en.wikipedia.org/wiki/Photogrammetry> Luettu 15.11.2020
- 38 Euroopan unionin virallinen verkkosivusto. EU-lainsäädännön soveltaminen. https://ec.europa.eu/info/law/law-making-process/applying-eu-law_fi Luettu 16.11.2020

Kuvien lähteet:

- 1 Aku Tikkanen. Kuva Granlund Oy:n DJI Mavic pro dronesta.
- 2 Horton W. G. (Major) War Office official photographer <https://www.iwm.org.uk/collections/item/object/205195356> Luettu 10.9.2020
- 3 Aku Tikkanen ja Verner Saha. Innovaatioraportti Drone-koptereiden pistepilvien hyödyntäminen vesikatto- ja julkisivukorjaussuunnittelussa. 2019. Kuvamateriaali
- 4 Donald Trung Quoc Don. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FLIR_E4_infrared_camera,_Oude_Pekela_\(2018\)_04.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FLIR_E4_infrared_camera,_Oude_Pekela_(2018)_04.jpg) Luettu 11.9.2020
- 5 Passivhaus Institut. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Passivhaus_thermogram_gedaemmt_ungedaemmt.png Luettu 11.9.2020

- 6 Daniel L. Lu. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ouster_OS1-64_lidar_point_cloud_of_intersection_of_Folsom_and_Dore_St,_San_Francisco.png
Luettu 11.9.2020
- 7 Oma tehty kuva. Tiedonlähde. <https://eurooppatiedotus.fi/suomi-ja-eu/eu-lakien-suhde-suomen-lakiin/> Luettu 16.11.2020
- 8 Matti Blum. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Airbus_A3_Vahana,_Paris_Air_Show_2019,_Le_Bourget_\(SIAE8845\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Airbus_A3_Vahana,_Paris_Air_Show_2019,_Le_Bourget_(SIAE8845).jpg) Luettu 10.11.2020
- 9 Omakuva. Tiedon lähteenä: <https://traficom.videosync.fi/drone-info> Luettu 30.1.2020
- 10 Omakuva. Tiedon lähteenä: <https://traficom.videosync.fi/drone-info> Luettu 30.1.2020
- 11 Dominic Hart. <https://images.nasa.gov/details-ACD16-0169-001> Luettu 12.11.2020