

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond

Kaur Lukki-Lukin 193739IABB

Mehitamata õhusõidukite tuvastamise ja riskide maandamise võimalused

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Raul Savimaa, PhD

Tallinn 2022

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Kaur Lukki-Lukin

17.05.2022

Annotatsioon

Tsiviilkäibeks mõeldud mehitamata õhusõidukeid on taevas järjest rohkem ning tehnoloogia kiire arengu tõttu suudavad droonid teha järjest rohkem asju: lennata kaugemal, kiiremini, iseseisvamalt, näha paremini. See kiire areng on murekohaks sisekaitsele ja julgeolekule ning ettevõtetele, kes soovivad oma territooriumitel silma peal hoida ning vähendada ebameeldivaid kokkupuuteid droonidega. Käesolev töö analüüsib droonide kasutamisest ja väärkasutamisest tulenevaid ohte ning kuidas nende ohtude realiseerimise tõenäosust maandada, pakub sellekohaseid ettepanekuid.

Olukorra analüüsiks vajalikus taustamaterjalis on kogutud seaduslikud alused droonide lennutamiseks Eestis, droonide erinevad omadused, droonide tüübid ja suurimad pakkujad. Droonide ohtude liigitati, leiti ohtude realiseerumise kohta näiteid ning on märgitud ära kõige sagedasemad rikkumise vormid ja keskkonnad Euroopas.

Mehitamata õhusõidukitest tulenevate ohtude hindamiseks ja riskide maandamiseks analüüsiti ning hinnati olemasolevaid lahendusi droonide avastamiseks, tuvastamiseks, tõrjumiseks ning ka ohtude kohta parema hinnangu saamiseks. Kirjeldatud on erinevaid tehnoloogiaid, lahenduste tootjaid ja teenusepakkujaid, kes droonide avastamise või tõrjumisega juba tegelevad.

Käesoleva töö tulemus on ülevaade olukorrast droonitõrje osas ning ettepanekud Eestis lahenduste kasutamisele selle olukorra parendamiseks. Lisaks on kirjeldatud ära põhimõtted ning juhised paremini droonidest tulenevate ohtudega toime tulemiseks. Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 28 leheküljel, 5 peatükki, 5 joonist, 3 tabelit.

Abstract

Possibilities for detection and risk mitigation of UAVs

The rapid advancements in unmanned aerial vehicle (UAV) technology and a growing market for civilian and commercial drones puts more drones in the sky that can fly further, faster, and more autonomously but also see better. This in turn is a problem for law enforcement, internal security, and entrepreneurs or industries who wish to have less uncomfortable close contacts with drones, avoid information theft and disorder. This bachelor's thesis analyses the dangers from the use and misuse of unmanned aerial vehicles and how mitigate risks from drone threats whilst proposing solutions.

Background information for the analysis contains laws and guidelines for drone usage in Estonia, collection of different characteristics and properties of drones, the largest global producers, and local providers. Drone threats are grouped using the Estonian Law Enforcement Act, examples are given for the way a threat might present itself, what could be the consequences, and in what environments do incidents happen most often in Europe.

The evaluation of threats and risk mitigation required an analysis of existing methods for the detection, identification, and neutralisation of drones and drone threats. In addition, some methods for threat evaluation are explored. This thesis has collected various anti-drone technologies and solutions that cover the detection, identification and neutralisation needs. These solutions include both end-to-end anti-drone platforms as well as technologies that were discontinued after prototyping and testing.

As a result, this thesis provides the reader with an overview of the general anti-drone situation in Estonia. Principles and limitations are given for an entrepreneur who wishes to better control the airspace around and above their territory in Estonia. The thesis also suggests methods for different environments and situations where drone risk mitigation is required. The thesis is in Estonian and contains 28 pages of text, 5 chapters, 5 figures, 3 tables.

Lühendite ja mõistete sõnastik

| | |
|----------------------|--|
| Droon | Mehitamata õhusõiduk |
| Mehitamata õhusõiduk | Õhusõiduk, mille piloot ei ole osa sõidukist või millel pole vaja pilooti oma ülesannete täitmiseks. |
| Oht | Olukord, milles on tõenäoline, et toimub korrarikkumine |
| PPA | Politsei- ja Piirivalveamet |
| Risk | Ohu realiseerumise tõenäosus |
| Riski maandamine | Ohu realiseerumise tõenäosuse vähendamine või ohu mõju vähendamine |
| Rootor | Masina pöörlev osa, tiivik |
| Stardimass | Sõiduki mass, mis sisaldab tühimassi ning veose ja kütuse masse |

Sisukord

| | |
|--|----|
| Lühendite ja mõistete sõnastik | 5 |
| Jooniste loetelu | 8 |
| 1 Sissejuhatus | 10 |
| 2 Taustainfo | 12 |
| 2.1 Mehitamata õhusõidukid | 12 |
| 2.1.1 Turg ja kättesaadavus | 13 |
| 2.1.2 Tunnused ja liigitus | 13 |
| 2.1.3 Arengud lähitulevikus | 15 |
| 2.2 Ohtude klassifikatsioon | 16 |
| 3 Realiseerunud ohud mehitamata õhusõidukitest | 17 |
| 3.1 Oluline oht | 18 |
| 3.1.1 Oht tervisele..... | 19 |
| 3.1.2 Oht varale | 19 |
| 3.1.3 Oht keskkonnale | 19 |
| 3.2 Kõrgendatud oht | 20 |
| 3.2.1 Oht elule | 20 |
| 3.2.2 Oht suure väärtusega varale..... | 20 |
| 3.2.3 Oht suure keskkonnakahju tekkimisele | 21 |
| 3.3 Olukord Euroopas..... | 21 |
| 4 Lahendused..... | 24 |
| 4.1 Avastamine ja tuvastamine..... | 24 |
| 4.2 Ohtude tuvastamine | 28 |
| 4.3 Riskide maandamine..... | 29 |
| 4.4 Lahenduste rakendamine Eestis..... | 31 |
| 4.4.1 Hetkeolukord | 32 |
| 4.4.2 Võimalused..... | 33 |
| 4.5 Järeldused | 36 |
| 5 Kokkuvõte | 37 |
| Kasutatud kirjandus | 39 |

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks 44

Jooniste loetelu

| | |
|---|----|
| Joonis 1. Avatud kategoorias mehitamata õhusõidukite klassidele kehtivad nõuded ja piirangud..... | 14 |
| Joonis 2. Suurbritannias registreeritud ohtlikud olukorrad ebaharilike õhusõidukitega. | 18 |
| Joonis 3. THeMIS mehitamata maismaasõiduk, millele on kinnitatud Marduk Shark.. | 33 |
| Joonis 4. AARTOS platvorm erinevatel autodel..... | 34 |
| Joonis 5. Robin Radar Systemsi IRIS..... | 35 |

Tabelite loetelu

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Kahe viimase aasta droonidega seotud intsidendid Euroopas. | 21 |
| Tabel 2. Võimalikud lahendused mehitamata õhusõidukite tuvastamiseks Euroopas. ... | 26 |
| Tabel 3. Võimalikud lahendused droonide kahjutuks tegemiseks Euroopas. | 30 |

1 Sissejuhatus

Viimase kümne aastaga on tsiviilkasutuseks kõlbulike mehitamata õhusõidukite kättesaadavus kasvanud ja hind kahanenud tehnoloogia kiire arengu tõttu. Drooni ehk mehitamata õhusõiduki abil muutub tavalise inimese jaoks näiliselt kahemõõtmeline pind kolmemõõtmeliselt läbitavaks keskkonnaks. Drooni liikumisvabadus õhus ja inimeste valdavalt maa pinnal paiknemine tekitab aga uue dünaamika seoses drooni puutumatusena. Inimestel ja organisatsioonidel tuleb hakata otsima ja kasutusele võtma uusi meetmeid, et vajadusel kaitsta end näiliselt puutumatu tegutseja vastu ning julgeoleku tagamiseks.

Mehitamata õhusõidukite poolt võimaldatud mobiilsus lubab soovitud esemeid või seadmeid transportida läbi õhu. Kaameratega droone kasutatakse helikopterite asemel suurema pildi nägemiseks, näiteks loodusfilmide tegemiseks ning lennuki-suurused droonid kannavad kaasaegses sõjakeskkonnas lõhkepäid sihtkohtadesse lennukite asemel, et mitte riskida piloodi eluga. Kriitilise tähtsusega piirkonnad ja teave ei ole ka droonide eest kaitstud. Kaameraga droone saab efektiivselt kasutada, et nuuskida salajast informatsiooni kõrgelt ning märkamatult. Samuti on hakatud kasutama droone esemete smuugeldamiseks kaitstud territooriumitele ning üle riigipiiride. Tsiviilkasutuses olevad droonid on üldiselt väiksed ja võimekad, et soovi korral nendega eelnimetatud tegevusi läbi viia. Tehnoloogia kiire arengu tõttu kasvab pidevalt droonide kandevõime, uuenevad nende sidepidamise võimalused ning tarkvara, mistõttu on tarvis pidevalt uuendada ka vastumeetmeid.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on välja selgitada praktilised võimalused tänapäeval tsiviilkäibes kasutatavate mehitamata õhusõidukite tuvastamiseks, nendest lähtuvate ohtude tuvastamiseks ja ohtudest tingitud riskide maandamiseks. Kogutud teabe põhjal analüüsida võimalikke tehnilisi lahendusi mehitamata õhusõidukite tegevusest lähtuva ohu neutraliseerimiseks ning sünteesida ettepanekud mehitamata õhusõidukitega seotud riskide maandamiseks.

Töö keskendub teabekirjanduse ja muude allikate kogumisele ja läbi töötamisele. Kirjanduse otsimisel lähtutakse lennundustehnoloogia ja -tarkvara kiirest arengust ning mehitamata õhusõidukite kättesaadavuse paranemisest. Selle tõttu ei pruugi juba mõne aasta tagused väljaanded enam olla aktuaalsed. Lisaks kasutatakse avalikult kättesaadavat teavet projektide, uuringute ja ettevõtete kohta, mis tegutsevad sarnaste probleemidega. Töö oodatav tulem on hinnang tsiviilkäibes kasutatavate mehitamata õhusõidukite ja nendest lähtuvate ohtude tuvastamiseks ning riskide maandamiseks, sellekohased trendid lähiaastatel ja ettepanekud olukorra parendamiseks Eestis. Sealhulgas tuuakse välja vahendid, meetmed ning praktilised lahendused probleemidele.

Bakalaureusetöö koosneb viiest peatükist. Töö teine peatükk annab taustainfo üldise olukorra ning mehitamata õhusõidukite kohta. Töö kolmandas peatükis on mehitamata õhusõidukitest lähtuvad võimalikud ohud, õhusõidukite avastamise ning ohtude tuvastamise võimalused. Töö neljandas peatükis on uuritud mehitamata õhusõidukitest tingitud riskide maandamise meetmete trende ja piiranguid. Sellele lisaks annan ülevaate olukorrale Eestis, võtan kokku ohukohad ning pakun välja lahendused. Viiendas peatükis on töö kokkuvõte.

2 Taustainfo

Lihtne vaatlus on taskukohane, aga ajutine lahendus droonide avastamiseks. Inimese silm suudab keskmise suurusega drooni eristada taustavalgusest või linnust vaid paarisaja meetri kauguselt. Sellelt kauguselt ei saa enam eeldada, et silm suudab lugeda rootorite arvu või hinnata drooni tegelikku suurust [1]. Inimese silmal võib selliste objektide vaatlemisel esineda ka autokinees. Autokinees on efekt, mis tekitab tunde nagu väga kaugel olev või väga väike asi liigub, kui see tegelikult ei liigu. Eelnimetatud põhjustel ei ole silm usaldusväärne ning vaja on kasutada teisi lahendusi mehitamata õhusõidukite avastamiseks. Töös ei arvestata seega lahendusi, mis toetuvad inimeste nägemisele ning aju võimele objekte tuvastada.

2.1 Mehitamata õhusõidukid

Mehitamata õhusõiduk on õhusõiduk, mille piloot ei ole osa sõidukist või millel ei ole vaja pilooti oma ülesannete täitmiseks. Mehitamata õhusõiduki juhtimine toimub distantsilt seadmete abil või täidab sõiduk eelnevalt programmeeritud tegevusi. Mehitamata õhusõidukite hulka kuuluvad kagujuhitavad mudellennukid, mudelkopterid, multirootorid ning iga eelnimetatud sõiduki autonoomne variant. Mehitamata õhusõidukeid kutsutakse ka droonideks ning seda nimetust kasutatakse töös samatähenduslikult. [2]

Eestis ja laiemalt Euroopa Liidus reguleerib mehitamata õhusõidukite lennutamist Euroopa komisjoni rakendusmäärus 2019/947 [2]. See paneb aluse kõikide droonipilootide väljaõppele, piirangualadele, kõrguspiirangutele ning droonide omadustele, mis määravad nende lennutamise reeglid.

Eestis on mehitamata õhusõidukitel püsivad ning ajutised piirangu- ja keelualad, mis on leitavad drooniäpist. Mitte-kontrollitavas õhuruumis tohib ilma loata lennata kuni 120m kõrgusel. Selle kõrguse ületamise soovil tuleb kooskõlastada lend Transpordiametiga. Eesti-Vene piiri püsivas piirangualas ei tohi droone lennutada ilma Politsei- ja Piirivalveameti loata. [3]

2.1.1 Turg ja kättesaadavus

Vaieldamatult maailma suurimaks droonide tootjaks on Hiinas põhinev DJI. Selle ettevõtte käes on üle poole tsiviilkasutuseks mõeldud droonide turust. DJI kõrval on suuruselt järgmised tootjad Parrot, Autel, Skydio ning Yuneec. [4]

Kõikide eelnimetatud firmade tooted on ka kättesaadavad Euroopas. Eestis on suurimad edasimüüjad ning teenusepakkujad Meridein OÜ (droon.ee), Droonimaailm OÜ ja PhotoPoint.

2.1.2 Tunnused ja liigitus

Tsiviilkasutuseks mõeldud droone jaotatakse Euroopa Liidus viite klassi, vastavalt C0...C4. Massi järgi C0 on alla 250g, C1 on alla 900g, C2 on alla 4kg ning C3 ja C4 on alla 25kg (vt Joonis 1). Nendele lisanduvad erandjuhud käsitsi ehitatud droonidest ja vanadest droonidest. Käsitsi ehitatud droonid ja vanad droonid jaotatakse alla 250g kaaluvateks ja alla 25kg kaaluvateks. [5], [6]

| Mehitamata õhusõiduki süsteem | | Käitamine | | Drooni käitaja/piloot | | |
|---------------------------------|------------------------|---|--|---|--|--|
| Klass | Maksimaalne stardimass | Alamkategooria | Käitamise piirangud | Drooni käitaja registreerimine | Kaugpiloodi pädevus | Kaugpiloodi vanuse alampiir |
| Era- viisiliselt ehitatud | <250 g | A1 (tohib lennata ka alamkategoori as A3) | - tohib lennata üle kõrvaliste isikute (võimalusel tuleks vältida) - ei tohi lennata üle inimrühmade | Ei, välja arvatud juhul, kui pardal on kaamera/andur ja droon ei ole mänguasi | - koolitus ei ole vajalik | Vanuse alampiir puudub |
| 0 | | | | | - lugege kasutusjuhendit | 16*, vanuse alampiir puudub, kui droon on mänguasi |
| Pärand- droonid (art. 20) | | | | | | 16* |
| 1 | <900 g | | - Eeldatakse, et üle kõrvaliste isikute ei lennata (kui see juhtub, siis tuleks vähendada) - ei tohi lennata üle inimrühmade | Jah | - lugege kasutusjuhendit - läbige veebipõhine koolitus - sooritage veebipõhine teooriaeksam | 16* |
| 2 | <4 kg | A2 (tohib lennata ka alamkategoori as A3) | - ei tohi lennata üle kõrvaliste isikute - hoidke kõrvalistest isikutest horisontaalselt 30 m kaugusele (tohib vähendada 5 meetrile, kui madala kiiruse režiim on aktiveeritud) | Jah | - lugege kasutusjuhendit - läbige veebipõhine koolitus - sooritage veebipõhine teooriaeksam - läbige iseseisev praktiline õpe ja teatage sellest - sooritage lennuametis (või tunnustatud asutuses) kirjalik eksam | 16* |
| 3 | <25 kg | A3 | - lennake inimestest eemal - lennake väljaspool linnapiirkonda (150 m kaugusel) | Jah | - lugege kasutusjuhendit - läbige veebipõhine koolitus - sooritage veebipõhine teooriaeksam | 16* |
| 4 | | | | | | |
| Era- viisiliselt ehitatud | | | | | | |
| Pärand- droonid (art. 20) | | | | | | |

Joonis 1. Avatud kategoorias mehitamata õhusõidukite klassidele kehtivad nõuded ja piirangud. [7]

Käesolevas töö raames kasutatakse neid masse kui stardimasse ehk droon oma kõige primitiivsemate seadmetega võib kaaluda vähem. Kandevõime sel juhul sisaldub stardimassis. Samuti arvestatakse ka üle 25kg kaaluvate mehitamata õhusõidukitega olgugi, et neid käsitletakse Euroopa Liidus ja Eestis teistmoodi kui eelmises lõigus nimetatud kategooriatesse mahtuvaid sõidukeid.

Mehitamata õhusõidukitest on kõige tuntumad multirootorid. Nende rootorite arv algab kolmest ja võib ulatuda kümne rootorini. Populaarseimad on paarisarvuliste rootorite arvuga droonid oma juhitavuse ja stabiilsuse poolest. Mida rohkem rootoreid, seda suurem kandevõime ja stabiilsus, aga akukestvuse arvelt.

Droonide lennuvõimekuse kadumine võib esineda mitmel põhjusel. Peamisteks põhjusteks on aku rike või tühjenemine, side katkemine ning tarkvaraprobleemid. Droonid, eelkõige multirootorid, ei kaota lennuvõimekust täielikult, kui nende side katkeb juhtpuldiga või aku tase on ohtlikult tühi, vaid jäävad koha peale hõljuma ja ühendust ootama. Seejärel maanduvad või lendavad ettenähtud punkti, mis võib asuda piloodi juures. [8]

Droonide kontrollimiseks ja muude andmete ülekandeks kasutatakse raadiosidet. Üldiselt on kasutusel litsentsivabad sagedused, mida võib igäüks kasutada. Levinumateks on sageduse kasvamise järjekorras: 433MHz, 868MHz, 1,3GHz, 2,4GHz ning 5,8GHz. Madalamad sagedused võivad olla teatud piirkondades keelatud või nende kasutamine piiratud. [9, pp. 5-6]

Videopilti edastavate droone sagedused langevad 2,4GHz ja 5,8GHz ümbrustesse. Kui mõne aasta vanused droonid kasutavad kindlat sageduste vahemikku 2,4GHz või 5,8GHz, siis uuematel on nii-öelda segamisvastane ühendus, mis vastavalt vajadusele tõstab või langetab sagedust nii kanali sees kui ka kanalite vahelt. Sellist lähenemist kasutavad näiteks DJI OcuSync ja Autel SkyLink. [10], [11]

Live kaamerapildita droonid kasutavad madalamaid sagedusi, kuna need levivad kaugemale ja võtavad vähem energiat. See aga ei takista droonidel iseseisvalt kaamerat kasutada, sealhulgas ala kaardistada, kaamerapilti jäädvustada või optiliste seadmete abil takistusi vältida.

2.1.3 Arengud lähitulevikus

Sidetehnoloogia areneb kiiresti edasi ja võib eeldada, et interferentsi või segamise vastu leitakse järjest paremaid lahendusi. Näiteks Parrot ANAFI Ai on droon, mis on puldiga ühenduses läbi 4G mobiilandmeside. Praegu on sellisest tehnoloogiast kättesaadav ainult üks mudel, mis töötab ka ainult Ameerika Ühendriikides ja ainult Verizoni mastide levialas. [12]

Teine arengusuund on sidet üldse mitte kasutada, vaid täita oma ülesandeid pardalolevate seadmete abil ja iseseisvalt [13], [14, pp. 28-29] . See annab droonile rohkem vabadust, kuna seda on raskem avastada ning lennukaugus pole piiratud raadioside levi poolt.

2.2 Ohtude klassifikatsioon

Oht on olukord, kus ilmnenud asjaoludele antava objektiivse hinnangu põhjal võib pidada piisavalt tõenäoliseks, et lähitulevikus leiab aset korrarikkumine [15]. Ohud liigitatakse Eesti Vabariigi korrakaitseaduse järgi. Korrakaitseaduses on ära defineerinud kaks ohu tõsiduse taset: oluline oht ja kõrgendatud oht.

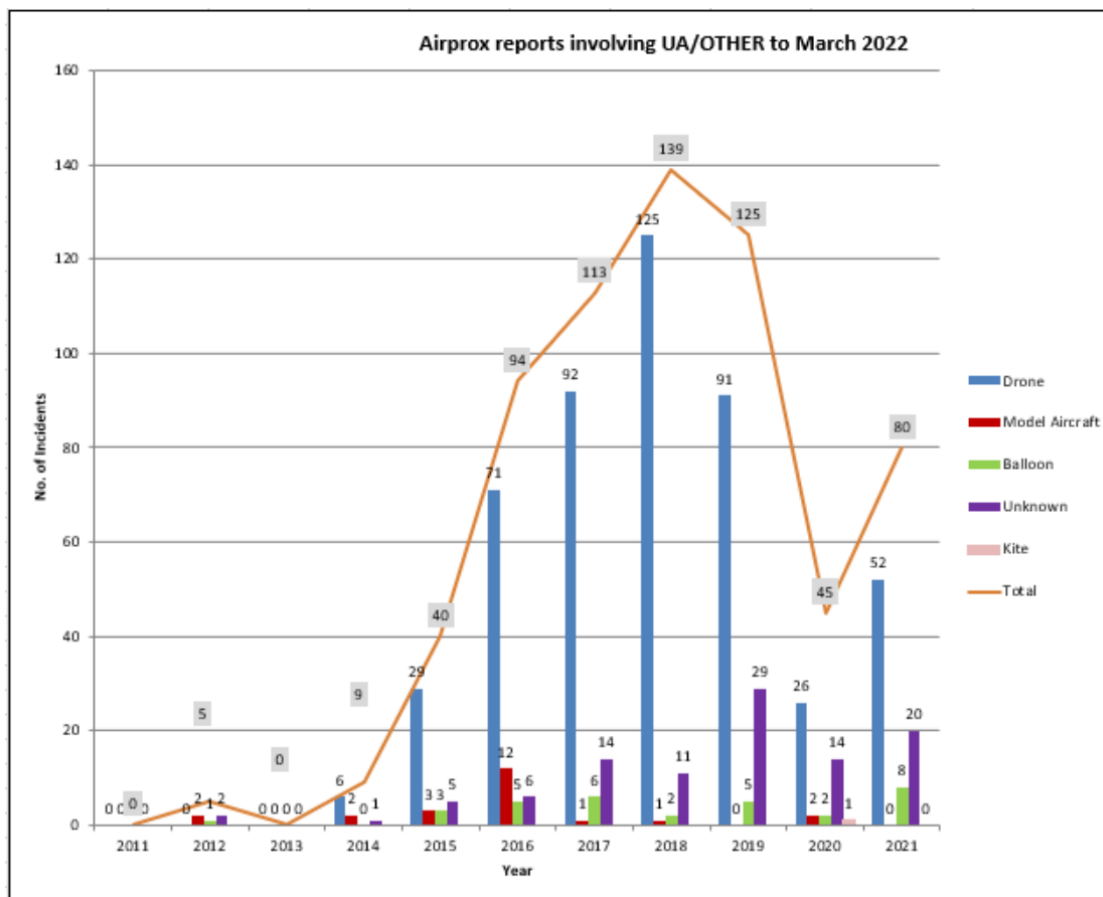
Oht isiku tervisele, oht olulise väärtusega varale ning oht keskkonnale kuuluvad olulise ohu alla. Kõrgendatud oht on oht elule, kehalisele puutumatusse, füüsilisele vabadusele, suure väärtusega varale, suure keskkonnakahju tekkimisele ning oht teatud tüüpi kuritegude toimepanekule. [15]

Kuna droonid ei pruugi füüsiliselt midagi kahjustada, vaid oma kohalolekuga häirida või olulist informatsiooni koguda, siis eksisteerib ka oht majandustegevusele. Seda pole kirjeldatud korrakaitseaduses sellises kontekstis, nagu käesolevas töös vaja on. Oht majandustegevusele on seega osa ohust olulisele varale. Kui töös on olukord, kus tuleb selgelt eristada ohtu majandustegevusele ja ohtu varale, siis seda ka tehakse.

3 Realiseerunud ohud mehitamata õhusõidukitest

Selles peatükis on näited ohtudest ja toimunud intsidentidest, mida mehitamata õhusõidukid on põhjustanud viimase 3-4 aasta jooksul. Näited on grupeeritud peatükis 2.2 kirjeldatud liigituste järgi ning valitud, et katta võimalikult palju droonide poolt põhjustatavaid probleeme.

Droonidega seotud intsidentide arv on viimase aastakümne jooksul hüppeliselt kasvanud. Seda väljendab Joonis 2, milles on Suurbritannias registreeritud olukorrad, mille piloot või lennujuhtimiskeskuses olev isik on hinnanud ohtlikuks. Horisontaalsel teljel jooksevad aastad ning vertikaalsel teljel on aastast registreeritud intsidentide arv, kategoriseeritud sõiduki tüübi järgi. Aastal 2020 mõõdetud langus intsidentide arvus võib olla seotud koroonapiirangutest tuleneva vähenenud lennundusega, Suurbritannia lahkumisega Euroopa Liidust ning muudatustega droonide lennutamise seadustes.



Joonis 2. Suurbritannias registreeritud ohtlikud olukorrad ebaharilike õhusõidukitega. [16]

Droonide lennupiirangud ja klassifikatsioonid on tehtud pidades silmas selliste seadmete eluohtlikkust. Reguleerimine, mis kehtestavad lennupiiranguid ja nõuavad vastavat väljaõpet ongi eelkõige selleks, et vähendada ohtu elule või kehalistele vigastustele, kuna tsiviilkasutuses olevad droonid võivad kaaluda kuni 25 kilogrammi ning lennata mõnikümme kilomeetrit tunnis.

3.1 Oluline oht

Vastavalt korrakaitseaduse § 5 lg 2 [15] on oht olukord, kus ilmnenud asjaoludele antava objektiivse hinnangu põhjal võib pidada piisavalt tõenäoliseks, et lähitulevikus leiab aset korrarikumine. Oluline oht on (korrakaitseaduse § 5 lg 3 alusel) oht isiku tervisele, olulise väärtusega varalisele hüvele või keskkonnale.

3.1.1 Oht tervisele

Droon võib kahjustada inimesi ja nende vara oma tiivikute või kerega. Inimeste sekka lendamisel on kineetiline energia väiksem kui kukkumisel, seega kahju otsesel kokkupuutel on justkui väiksem. Samas tahtliku ründe korral juhitakse drooni, seega kahju tõenäosus on suurem. Drooni olemasolu ja pidevat droonide nägemist võib pidada ka ohuks tervisele, kuna droonide sage nägemine ja kuulmine võivad häirida inimese vaimset tervist.

Droon, mis lendab inimeste kohal, osutab ohtu neile, kes selle all seisavad. Kui droon kaotab mingil põhjusel lennuvõime, siis see kukub alla ja võib põhjustada kahju asjadele, mis selle all on. Mida raskem masin ja kõrgem kukkumine, seda rohkem kahju. Kõrgemate klasside droonid ei tohi EL seadusel kohaselt inimeste lähedal ega kohal lennata just sellel põhjusel [5].

3.1.2 Oht varale

Mehitamata õhusõiduk võib lihtsalt vääralt käsitlemise korral kahjustada vara. Ka pisikesed droonid, mille klass ei piira linnas ja majade vahel lendamist [5], saavad oma tiivikutega lõhkuda õhus rippuvaid vaskkaableid, seeläbi põhjustades rikkeid telefoni- ja internetiliinides.

Õige informatsioon võib olla oluline konkureerivatele ettevõtetele või minna väga hea hinna eest. Näiteks mõned spordiüritused edastatakse ainult tasulistel telekanalitel või veebilehtedel ja droonipildi salvestamine ning edastamine võib mõjutada spordiürituse kõiki osapooli negatiivselt [17]. Tegemist on ohuga majandustegevusele, kuna informatsioon ei ole alati mõõdetav vara ega oluline vara.

2018. aasta jõulude paiku pidi Londoni lähistel asuv Gatwicki lennujaam sulgema end kaheks päevaks, kuna keegi lennutas droone selle lähistel [17], [18]. Selleks seisati kogu lennuliiklus mõneks päevaks. Lennujaamade töö häirimisel võivad jääda tuhanded reisijad lennujaama ootama, mitmed lennud võivad ära jääda ning lennujaamaga kõikide seotud osapooltel on lisaks ajalisele kahjule ka kahju majandustegevusele.

3.1.3 Oht keskkonnale

Piisava kineetilise energiaga lend elektri infrastruktuuri võib seda kahjustada. Lahtised elektrijuhtmed ja -kaablid võivad põhjustada tulekahjusid lisaks infrastruktuuri kahjule.

Liitumakudel on kalduvus iseenesest süttida. Aku kaitsekesta kahjustamisel kuumeneb väga kiiresti või süttib põlema. See võib juhtuda ka ilma välise kahjustamiseta, kuid selle tõenäosus on väiksem. Kuna akutoite probleemidega droon tõenäoliselt ei lenda, siis aku süttib maas ning võib süüdata ümber asuvaid esemeid või loodust. Halvimal juhul liitumaku plahvatab. [19]

3.2 Kõrgendatud oht

Korralduse §5 lg 4 [15] põhjal on kõrgendatud oht määratletud kui oht isiku elule, kehalisele puutumatusle, füüsilisele vabadusele, suure väärtusega varalisele hüvele või suure keskkonnakahju tekkimisele.

3.2.1 Oht elule

Väikeseid mehitatud õhusõidukeid ja droone eelistatakse üha enam ebaseaduslike esemete, näiteks narkootikumide piiriüleseks salakaubaveoks. Nende suurus ning võime madalal lennata muudavad avastamise keeruliseks ning neil on iga aastaga üha suurem ulatus ning kandevõime. Lisaks saab droone lennutada väikestelt avamerelaevadelt eesmärgiga kaupa maismaale kanda. [20]

Droonide kandevõimet kasutatakse enamikel juhtudel ära kahjutute seadmete, näiteks kaamerate, kandmiseks. Küll aga saab nendega kanda ka eluohtlike seadeldisi või lõhkepäid. 2018. aastal toimunud Venezuela presidendi atentaat, milles kasutati droonidele kinnitatud lõhkekehasid, andis maailmale uue arusaama tsiviilkasutuseks mõeldud droonide ohtlikkusest [21].

Vanglate või muude kinnipidamisasutuste jaoks on oluline, et keegi ei saaks kedagi kahjustada. Seal võib koos olla kolleksioon isikuid, kellel on tendents käituda impulsiivselt ja äkiliselt. Selliste asutuste ohuks on esemed, millel on võimekust teistele märgatavat kahju teha. Vanglaperimeetritesse relvade toomine on reaalne oht kõigile seal viibijatele. Sellele lisaks pidev droonidele reageerimine ja kinnipeetavate evakueerimine õuest hakkab ühel hetkel viimaseid ärritama. [17]

3.2.2 Oht suure väärtusega varale

Riigi infrastruktuuri saab lugeda suure väärtusega varaks. 2019. aastal rünnati droonide ja rakettidega Saudi Araabia riikliku naftafirma rajatisi, mille tulemuseks oli naftahindade

tõus 20% ja märkimisväärne langus riigi nafta töötlemise võimekuses [22]. Ka väiksemate droonidega saab teha piisavalt kahju infrastruktuurile, et terve riigi või isegi turu majandustegevusi halvata.

Suure majandusliku kahjuga võiva olla lennujaamade sulgemised. Sellele lisaks, et drooniohu tõttu ei saa õhus ringlevad lennukid maanduda, ei saa ka lennujaam toimida ning iga hilinenud või tühistatud lennuga kulud kasvavad.

3.2.3 Oht suure keskkonnakahju tekkimisele

Oht suure keskkonnakahju tekkimisele on potentsiaalselt olemas, kuid tänapäeval tsiviilkäibes olevate droonidega ei ole tavavõimaluste piires suure keskkonnakahju tekitamine praktiliselt võimalik. Erandiks oleks juhud, kui droon kannaks keemilist, bioloogilist, radioaktiivset vms relva.

Selliseid juhtumeid ei ole käesolevas töös vaadeldud, kuna taoliste materjalide kättesaadavus on piiratud ja range kontrolli all. Potentsiaalsed ohud selliste materjalide väärkasutamisest ei pruugi sõltuda sellest, kas ründeks on kasutatud drooni, kuna tagajärgede kaalukus ja ühetaolisus ületab kohaletoimetamise meetodite erisused. Selliste intsidentide näideteks on naftalekked maismaal ja meres. Naftalekked tekitavad suurt keskkonnakahju olenemata sellest, mis neid põhjustas.

3.3 Olukord Euroopas

Suuremad Euroopas aset leidnud mehitamata õhusõidukitega intsidendid on ära liigitatud ja kogutud tabelisse Tabel 1. Kõik nimetatud intsidendid on saanud meediakajastust. Tabelisse on lisatud ka ohtude ja/või kahjude liigid peatükis 2.2 kirjeldatud liigituse järgi. Eestis on droonidega seotud intsidente vähe. Hiljutine aktuaalne juhtum oli Ida-Eestist avastatud salakaubavedu, mis kasutas droone narkootikumide ja sigarettide kandmiseks Ivangorodist Narva suunas [23].

Tabel 1. Kahe viimase aasta droonidega seotud intsidendid Euroopas. [24]

| Eestikeelne kirjeldus | Ohu liik | Keskkond | Asukoht | Aasta |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------|---------|-------|
| Napp möödumine reisilennukist | Oht elule, suure väärtusega varale | Kõrge õhuruum | London | 2021 |

| | | | | |
|---|------------------------------------|---------------|----------------|------|
| Vang kasutab drooniga toodud tulirelva teiste vangide peal | Oht elule | Vangla | Rom | 2021 |
| Kõrghoonete õhkamisel lennutatakse droone ebaseaduslikult | Oht tervisele, varale | Taristu | Duisburg | 2021 |
| Staadioni kohal lendav droon segab mängu alustamist | Oht tervisele | Üritus | Chisinau | 2021 |
| Politseinik püüab kinni drooni, mis kannab narkootikume | Oht tervisele, varale | Avalik ruum | Doksy | 2021 |
| Droon lendab maanduvale lennukile lähedale | Oht elule, suure väärtusega varale | Kõrge õhuruum | Glasgow | 2021 |
| Perekond kahtlustab, et neid jälgitakse drooniga | Oht tervisele | Eravaldis | Albringhausen | 2021 |
| Droon lendab maanduvale helikopterile väga lähedale | Oht elule, suure väärtusega varale | Eravaldis | London | 2021 |
| Linnaelanikud kahtlustavad, et neid jälgitakse | Oht tervisele | Eravaldis | Stuhr-Brinkum | 2021 |
| Napp möödumine eralennukist | Oht elule, suure väärtusega varale | Kõrge õhuruum | Brockworth | 2021 |
| Võimalik ebaseaduslik madal lend eramaa kohal | Oht tervisele, varale | Eravaldis | Bremervörde | 2021 |
| Ebaseaduslik madal lend peaaegu põhjustas kokkupõrke autoga | Oht tervisele, varale | Avalik ruum | Hanau | 2021 |
| Jalgpallimäng peatatakse drooni ohu tõttu | Oht tervisele | Üritus | Mansfield Town | 2021 |
| Droon kahjustab seisva veoki tuuleklaasi | Oht varale | Avalik ruum | Bedburg | 2021 |
| Frankfurdi lennujaama liiklus seisatakse drooni tõttu | Oht majandustegevusele | Lennujaam | Frankfurt | 2021 |
| Droon maandub kortermaja rõdul pele kontrolli kaotamist | Oht varale | Eravaldis | Salford | 2021 |
| Droon kukkus taevast alla | Oht elule | Avalik ruum | Old Perth | 2021 |
| Droon kukkus hobuste võidusõidurajale võistluse ajal | Oht tervisele, varale | Üritus | Chepstow | 2021 |

| | | | | |
|--|---|---------------|----------------|------|
| Napp möödumine reisilennukist | Oht elule, suure väärtusega varale | Kõrge õhuruum | Heathrow | 2020 |
| Droon jälitab naist öösel | Oht tervisele | Avalik ruum | Midden-Drenthe | 2020 |
| Napp möödumine reisilennukist | Oht elule, suure väärtusega varale | Kõrge õhuruum | Manchester | 2020 |
| Napp möödumine mootorpurilennukist | Oht elule, varale | Kõrge õhuruum | Eschwege | 2020 |
| Napp möödumine reisilennukist | Oht elule, suure väärtusega varale | Kõrge õhuruum | Nürnberg | 2020 |
| Tuhanded lennud Berliini keelualades | Ebaseaduslik (valitsuse poolt piiratud õhuruum) | Keeluala | Berlin | 2020 |
| Ebaseaduslik madal lend, häirib kohalikke | Ebaseaduslik, häirimine | Avalik ruum | Cirencester | 2020 |
| Ebaseaduslik lend lennubaasi lähedal | Oht varale | Keeluala | Neuburg | 2020 |
| Droon lendab maanduvale helikopterile väga lähedale | Oht elule, suure väärtusega varale | Lennujaam | Freiburg | 2020 |
| Napp möödumine väiksest lennukist | Oht elule, varale | Lennujaam | Perth | 2020 |
| Tuletõrje helikopter on sunnitud maanduma drooni tõttu | Oht elule, suure väärtusega varale | Avalik ruum | Darwen | 2020 |

Kuigi oht lennuliiklusele on reaalne ning lennujaamad saavad palju tähelepanu, ei ole paljud lennujaamadega seotud intsidendid tegelikult lennujaamade keelualades. Kõrge õhuruum tähendab 120m kõrgust ala lähimast punktist maapinnal. Töös kõrge õhuruumina liigitatud ala on mehitamata õhusõidukite jaoks üldiselt keelatud [5]. Tabel 1 on esitatud ka juhtumid, mis on häirinud suurt hulka inimesi, sealhulgas ka need juhtumid, milles lihtsalt märgatakse drooni endale häirivalt lähedal või kahtlustatakse jälgimist.

4 Lahendused

Mehitamata õhusõidukite tuvastamine linnakeskkonnas on kulukas. Traditsiooniliselt kasutatakse radareid, raadioside antenni, kaameraid ja mikrofone. [25]

Euroopa Liidu Horizon 2020 teadus- ja arendustööde programmi raames rahastati muuhulgas ka mehitamata õhusõidukite tuvastamise ja tõrjumisega seotud projekte. Need projektid olid rahvusvahelised ning nende eesmärk oli välja mõelda ning prototüüpida lahendusi oma probleemile.

4.1 Avastamine ja tuvastamine

Käesolevas alapeatükis on kogutud erinevad droonide avastamise ja tuvastamise lahendused. Leitud lahendused võivad olla reaalselt pakutavad tooted ja teenused või prototüübid, mida pole edasi arendatud. Lahendustele on listaud eelised ja puudused (Tabel 2).

Projekt nimega ALFA keskendus Euroopa merepiirile ning üle vahemere lendavatele droonidele. ALFA otsis skaleeruvat ja lihtsasti integreeritavat lahendust madalal, mere kohal lendavate droonide avastamiseks. Tulemuseks on modulaarne kolme süsteemi peal töötav avastamise ja tuvastamise tehnoloogia. ALFA kasutab radareid, kaameraid ja raadio vastuvõtjaid, mis täidavad erinevaid ülesandeid. Nende süsteemide teave saadetakse ALFA modelleerimistarkvarasse, mis suudab teha andmete põhjal järeldusi õhusõiduki kuju, lennusuuna ja -kiiruse kohta ning suudab anda hinnangu ohutaseme kohta. [20]

ALADDINI-nimeline projekt töötas lisaks tuvastamisele ka ohu eemaldamisega. ALADDIN on sisult drooni tuvastamise platvorm, mis koosneb radaritest ja optilistest seadmetest, muuhulgas ka infrapunakaamerast. Selle lahenduse juurde käib vajadusel ka võrgukahur, raadioside segaja või väike droon, mille eesmärk on peatada tuvastatud õhusõiduk ALADDIN on ehitatud Prantsusmaa ettevõtte CS Group Boreades süsteemi peale. [26]

Linnas on reeglina väga palju seadmeid, mis näevad Wi-Fi võrke ja signaale. Samu või sarnaseid signaale kasutavad ka droonid. Näiteks on Hiina teadlased välja töötanud süsteemi, mis kasutab inimeste nutitelefonide Wi-Fi antenni droonide leidmiseks linnakeskkonnas, mida nad kutsuvad nimega CEDAR. See süsteem, küll inimeste privaatsuse arvelt, võimaldab piirkonna peale tekitada n-ö Wi-Fi kaardi, milles telefonid edastavad oma asukoha ja erinevate signaalide tugevuse. Selle kaardi abil saab leida droonide signaalide asukohti. [25]

Linnapildis on aga raadiosignaale väga palju ning õhusõidukite leidmine ainuüksi signaali tugevuse pealt on väga raske. CEDARi loojad kasutasid oma töö lihtsustamiseks tuntud droonide pakkujate MAC aadresside ja SSID-de teeki, mille pihta Wi-Fi seadmete aadresse võrreldi. Samuti kasutati ka signaalides esinevaid mustreid, mis on iseloomulikud droonide juhtpultide käsklustele. [25]

Manhattani-nimeline projekt Colorado osariigi Denveri ja Boulderi ülikoolidest on välja pakkunud ja katsetanud raadioside signaalidest mustrite tuvastamise. Nende töös on kirjeldatud, kuidas raadioside sagedustel töötavatele droonidele ja pultidele saadetud signaalid on eristatavad taustamürast. Näiteks saaks tuvastada puldilt droonile saadetud käsklusi. Sellele lisaks on võimalik kasutada ka paigal seisvate droonide signaale, kuna paigal seisvad droonid saadavad tihti teavet oma puldile, et pult teaks arvestada näiteks tuule tugevusega ja suunaga, kui saadab välja järgmisi käsklusi. [27]

Saksamaal asuv erafirma Aaronia AG pakub mitmeid raadiosidet kuulavaid seadmeid, mida saab kasutada droonide tuvastamiseks [28]. Lisaks on Aaronia välja töötanud droonitõrjesüsteemi nimega AARTOS. See süsteem saab koosneda mitmest Aaronia seadmest, üldiselt raadioside spektri analüsaatorist ja raadioantennimastist, millele lisaks pakutakse ka raadioside segajaid, radareid, kaameraid ning akustilisi andureid [29]. Samade seadmetega on loodud mobiilsed tuvastussüsteemid, mis võivad olla kerged ja käeshoitavad või autode ja treilerite peale ehitatud [30].

DJI, maailma suurim droonide tootja, pakub platvormi Aeroscope, mis on DJI droonide tuvastamiseks. Aeroscope suudab kuni 50km kauguselt leida üles drooni raadioside ning selle abil määrata drooni asukoht, mudel ning lennusuund ja -kiirus. Aeroscope võib koosneda mitmest antennist, mida tootja ise pakub. Aeroscope tooteid saab DJI ametlikelt edasimüüjatelt. Eestis on selleks näiteks Meridein OÜ [31]. [32]

Madalmaade ettevõtte Robin Radar Systems pakub radareid droonide avastamiseks. Robini radarid Iris ja Elvira suudavad õhus kuni 5km kauguselt avastada objekte, jälgida nende liikumist ning hinnata, kas need võivad olla linnud, linnuparved, droonid või midagi muud. [33]

Eesti ettevõtte Rantelon on loonud detektori, mis suudab lugeda 2,4GHz ning 5,8GHz sagedusi ja leida selle abil droone kuni 10km kauguselt. Nagu ka teiste platvormidega, saab ka Ranteloni puhul mitme seadme kasutamisel määrata kindlaks mitte ainult drooni suuna seadme suhtes vaid ka asukoha. [34]

Ranteloni kõrval teine Eesti ettevõtte kasutab teistsugust lähenemist droonide tuvastamiseks. Marduk Shark on erinevate optiliste seadmetega õhusõidukeid tuvastav ja jälgiv süsteem, mis suudab seda teha kuni 2km kauguselt. [35]

Ameerika Ühendriikide ja Austraalia ettevõtte DroneShield pakub juppidega erinevaid seadmeid ning tervikuna lahendusi, mis avastavad tuvastavad drooni väga mitmel meetodil. Tooteid pakutakse osana platvormist, mis kasutab radarit, raadioantenne, mõnel juhul sonarit ja segajaid. [36]

Tabel 2. Võimalikud lahendused mehitamata õhusõidukite tuvastamiseks Euroopas.

| Lahendus | Lahenduse tüüp, seadmed | Probleemid, mida lahendab | Tõenäoline kasutaja | Puudujäägid |
|----------|----------------------------------|--|---|---|
| ALFA | Radar, kaamera, raadio | Madalalt lendava juhitava ning autonoomse drooni tuvastamine | Piirivalve | Projekt pole arenenud edasi peale H2020. Seadmed on kallid. |
| ALADDIN | Radar, kaamera, infrapunakaamera | Piirkonnakaitse, juhitava ja autonoomse drooni tõrjumine | Kaitseväge või sõjaväe harud, turvafirmad, politsei ja kinnipidamisasutused | |
| CEDAR | Wi-Fi nägevad seadmed | Linnapildis juhitava drooni avastamine ja asukoha leidmine | Politsei | Isikuandmete kaitse, vabatahtlike vajadus, prototüüp |

| | | | | |
|--------------|----------------------------------|--|--|--|
| AARTOS | Raadio, radar, optilised seadmed | Juhitava drooni avastamine ja tuvastamine | Sõjavägi | |
| Aeroscope | Raadio | DJI juhitavate droonide avastamine ja identifitseerimine | „Mõeldud kasutamiseks riigisektoris, lennunduses või suurte ürituste korral vastavate jõuorganite poolt.“ [31] | Täielik kasu vaid kindlatele DJI mudelite puhul. |
| Robin Iris | Radar | Väikeste objektide avastamine ja eristamine | Lennuväljad, avalikud üritused | |
| Rantelon | Raadio | Droonide avastamine, sh linnakeskkonnas | Kaitseväge või sõjaväe harud, turvafirmad, politsei ja kinnipidamisasutused | |
| Marduk Shark | Optilised seadmed | Raadiota droonide avastamine, tuvastamine, jälgimine | Kaitseväge või sõjaväe harud | Algfaasis |
| DroneShield | Raadio, radar, kaamerad | Terviklahendus | Sõjavägi, politsei | Ettevõtte asukoht |

Siiani kirjeldatud lahendused kasutavad järgmisi tehnoloogiaid droonide avastamiseks: Wi-Fi ja raadioside kuulamine, radar, kaamera, infrapunakaamera. Enamusel Tabelis 2 kirjeldatud lahendustel on hinnaga seotud probleem. Nimetatud lahendustest CEDAR on ainuke, mis ei vaja lisaseadmeid nagu radarid või raadioantennid ja seega oleks justkui odavam. CEDAR on testitud prototüüp ning ei ole pakutav toode ega tarkvarateenus. Sellele lisaks on CEDAR ainuke lahendus, mille efektiivne ulatus on alla poole kilomeetri [25]. Drooni, mis ei kasuta levinud 2,4GHz ega 5,8GHz sagedusi ei pruugi mõned Wi-Fi ja raadioside peal töötavad lahendused näha. Lisaks kui Euroopa Liidus võetakse kasutusele uus sagedus, mida droonid kasutavad, siis võtab droonivastaste tuvastamissüsteemide uuendamine ka aega. Problemaatiline on ka DroneShield, kuna see ei asu Euroopas, vaid omab seal partnereid [37].

4.2 Ohtude tuvastamine

Lubatud kõrgusel ja kaugusel lendav droon on eeldatavasti ohutu, ei häiri kedagi ning ei tee ebaseaduslikke tegevusi. Seda ei saa igas olukorras teada ning ka parima silmaga hindamise korral ei saa selles olla täiesti kindel. Sellepärast on oht alati olemas, aga lihtsalt risk võib olla madal.

Hea aktiivselt õhuruumiseiret teostav süsteem suudab leitud drooni ohtu hinnata. Süsteem ei saa drooni käest küsida, mis tema piloodi kavatsused on, küll aga saab süsteem välja arvutada drooni liikumiskiiruse ja -suuna, tuvastada drooni tüübi ja parimal juhul arvata ära ka mudeli [32]. Drooni tüübi tuvastamiseks kasutatakse mikro Doppleri efekti. Tegemist on Doppleri efektiga, mida radarid üldiselt kasutavad, aga väga väikeste liikumiste kohta. Selle abil saab avastada propellerite olemasolu, arvu ning pöörlemise suuna. [38], [39]

Peatükis 4.1 toodud ALFA-nimelise projekti käigus töötati välja riski arvutamise meetoodika, mis võtab arvesse ka määramatusi. Kuna puudus andmekogumik, mille peale ehitada ohtu hindav süsteem, siis ALFA riski arvutamine toimub nii, et ohu tunnus kaalutakse koos saadud andmete hulgaga. See tähendab seda, et väheste andmete korral ohu tunnuse kaal riski arvutamisel on väike. Samuti võimaldab süsteem käsitsi ohu tunnuste olulisuse konfigureerimist, sealhulgas millised tunnused suurendavad riski ja millised vähendavad. [40]

Soulis asuva Korea Ülikooli teadlased uurisid ja hindasid droonidega seotud ohte ning olemasolevaid lahendusi. Töö keskendus industriaalkomplekside ja lennujaamade kaitsele ning kaitse jaoks nõuete koostamisele. Töös oli välja mõeldud ports valem, mille alusel saaks jooksvalt ning dünaamiliselt hinnata drooni poolt osutatud ohtu ning ohutaset. [41]

$$R = (R_{objekt} + R_{teekond})^{R_{aeg}} \quad (1)$$

Valem (1) näitab, kuidas ohutaset võiks arvutada, kasutades õhusõidukist tuleneva ohu R_{objekt} ning tema eeldatava läbitava teekonna $R_{teekond}$ summat, astendades selle ajast tingitud ohuga R_{aeg} . Õhusõidukist tuleneva ohutaseme arvutamiseks liigitatakse droone tunnuste, näiteks müra, maksimaalse kineetilise energia, seadmete ja side avastatavuse, järgi. Igale tunnusele antakse ka kaal. Teekonna ohu arvutamiseks kasutatakse ruumi (näiteks tööstuskompleksi) osade prioritseerimist 4-astmelisel skaalal. Seejärel

hinnatakse drooni kaugust mingist ruumi osast, arvestades selle osa prioriteedi astet, drooni avastamise kaugust, drooni hetkeasukoha prioriteedi astmest, drooni poolt läbitavate ruumi osade hinnangulistest ohutasemetest. Viimaks ajast tingitud oht arvestab drooni lennukiirust, keskmist riski maandamise metoodika reageerimisega ning vähimat distantssi drooni ning kriitilise asukoha vahel. [41, pp. 42649-42652]

4.3 Riskide maandamine

Droonide kahjutuks tegemine on üks võimalus drooni poolt tekitatud riski maandamiseks. Drooni kahjutuks tegemise tulemusena ei ole droon enam õhuruumis ega maapinnal kohtades, milles ta osutab ohtu. Drooni kahjutuks tegemine võib tähendada drooni eemale tõrjumist kaugusesse, milles ta ei saa enam ohtu osutada, drooni lennuvõimetuks tegemist, et see ei saaks oma ülesandeid enam täita õhust, ning drooni keha või süsteemi kahjustamist või halvamist, et droon ei saaks oma ülesandeid enam täita. Selles alapeatükis on kogutud prototüübitud ja reaalse toodete või teenustena pakutavad lahendused (vt ka Tabel 3). [41]

Aktiivselt raadiosidet kasutavad juhitud droonidega on teoorias lihtne toime tulla. Peatükis 2.1.2 on kirjeldatud droonide, aga eelkõige multirootorite toimimine, kui nende side katkeb juhtpuldiga. Kui drooni side puldiga blokeerida piisavalt pikaks ajaks, siis peaks droon kas iseseisvalt maanduma või piirkonnast lahkuma.

Side segamine on läbi proovitud lahendus mehitamata õhusõidukite tõrjumiseks. Peatükis 4.1 droonide tuvastamise lahendust pakkuv AARTOS pakub ka droonide raadioside segajat, mille mõju ulatus on 10km [29].

HORIZON 2020 raames tehtud projekt kinnitas side segajate efektiivsust piirkonnakaitseks. Taani ettevõtte MyDefence'i koordineeritud projekt, koodnimega KNOX, töötas välja piirkonnakaitse süsteemi ning testis seda üle 200 erineva realistliku situatsiooniga. KNOXi lahendus koosneb raadio anduritest, segajatest ning ühest radarist. Projekti edu tulemusena pakub KNOXil põhinevat lahendust edasi eelnimetatud MyDefence. [42], [43]

Lisaks segamisele pakub peatükis 4.1 toodud ALADDINI-nimeline lahendus välja droonide tõrjumiseks lisaks segamisele ka võrgukahurid ning omad droonid [26].

Mõlemad lähenemised droonide kahjutuks tegemisele toovad droonid kiiresti taevast alla, mis võib põhjustada uusi ohte.

Eestis tegutsev Rantelon pakub lisaks oma detektorile ka side segamise lahendust. Rantelonil on pakkuda kahte droonipüssi, mis on sisuliselt suunatud segajad, ning kaasaskantavat akutoitega seadet droonide avastamiseks ja side segamiseks. Ranteloni segajad häirivad 2,5GHz, 5,8GHz sagedusi ning GPS ja GNSS satelliitnavigatsiooni. Nendele toodetele lisaks saab avastamise platvormiga integreerida isetehtud segajad, mis aktiveeruvad drooni avastamisel. [34]

DroneShield on samuti loonud droonipüssid. DroneShieldi droonide tuvastamise platvorm võimaldab ka automaatset droonide segamist. [36]

Tabel 3. Võimalikud lahendused droonide kahjutuks tegemiseks Euroopas.

| Lahendus | Lahenduse tüüp | Probleemid, mida lahendab | Tõenäoline kasutaja | Puudujäägid |
|-------------|---------------------------|---|--|---|
| AARTOS | Segaja | Raadiosidel juhitava drooni kahjutuks tegemine | Sõjavägi | Ainult raadio teel juhitud droonid |
| KNOX | Segaja | Raadiosidel juhitava drooni kahjutuks tegemine | Sõjavägi | Ainult raadio teel juhitud droonid |
| ALADDIN | Segaja, võrgukahur, droon | Raadiosidel juhitava drooni kahjutuks tegemine, füüsiline peatamine | Kaitseväge või sõjaväge harud, turvafirmad, politsei ja kinnipidamisasutused | Ainult raadio teel juhitud droonid. Füüsilist peatamist on vaid katsetatud. |
| Rantelon | Droonipüss | Raadiosidel juhitava drooni kahjutuks tegemine | Kaitseväge või sõjaväge harud, turvafirmad, politsei ja kinnipidamisasutused | Ainult raadiosidet või satelliitnavigatsiooni kasutavad droonid |
| DroneShield | Segaja, droonipüss | Raadiosidel juhitava | Sõjavägi, politsei | Ainult raadiosidet või |

| | | | | |
|--|--|---------------------------|--|--|
| | | drooni kahjutuks tegemine | | satelliitnavigatsiooni kasutatavad droonid |
|--|--|---------------------------|--|--|

Tabel 3 ei anna alternatiive segamisele. See tähendab, et laialt saadavalolevad lahendused droonide peatamiseks ja kahjutuks tegemiseks üldiselt eeldavad, et drooni juhitakse raadio teel. Kui segaja suudab pärssida drooni positsioneerimist, segades GPS-i või GNSS-i, siis autonoomsed droonid ei suuda ka oma ülesannet täita ja „eksivad ära“. Kiirelt lennuvõimetuse tagamiseks saab äärmistel juhtudel kasutada ka tulirelva, võrgukahurit või teisi automatiseeritud droone. Seda tehes tuleb meeles pidada, et droon on kellegi vallasvara, mille kahjustamine on enamikel juhtudel keelatud. Olemasolevad lahendused väldivad drooni kahjustamist, tuues selle ohutult maapinnale või ajades eemale.

Alla tulistamise lahendus, olgu see tulirelva, võrgukahuri või mõne muu seadmega, ei ole efektiivne, kui droon on väike ning lendab väga kiiresti. Sellisel juhul on mööda laskmise tõenäosus väga suur, mis tõenäoliselt kaalub üle tulistamisega seotud ohud. Kui aga drooni lennuvõimetuks tegemine õnnestub, siis tuleb arvestada drooni alla kukkumisega. C2 – C4 klassi droonide ja raskemate puhul võivad kahjustused olla suuremad kui kriimustus kehal ja mõra aknaklaasis. Samade klasside puhul on võimlik, et droonid kannavad piisavalt suuri lõhkekehi, et kahjustada lähedal asuvaid inimesi ja esemeid, mis nõuab lisanduvat ettevaatlikkust.

4.4 Lahenduste rakendamine Eestis

Eesti, osana Euroopa Liidust ja NATOst saab kasutada peamiselt nende kahe organisatsiooni liikmete poolt pakutavaid tooteid ja teenuseid droonide tõrjeks. Tulenevalt Euroopa Liidu direktiividest ning Eesti Vabariigi seadustest on Eestis mehitamata õhusõidukite tuvastamisel ja tõrjumisel piirangud.

Mehitamata õhusõidukitega seotud raadioside uurimise ning lähteseadmete asukohtade leidmine võib olla isikuandmete kogumine. Kui mehitamata õhusõidukit juhtakse distantsilt raadioside abil, siis piloodi asukoht on leitav samade seadmetega, millega õhusõiduk. Piloodi asukoht kuulub isikuandmete alla, millest tulenevalt on Euroopa Liidus raadiosidet kasutavad droonituvastusseadmete kasutamine piiratud [44]. Eesti

vabariigis on lubatud isikuandmete töötlemine julgeolekuasutustel, näiteks politseil, eesmärgiga ennetada või tõkestada süüteo toimepanekut või avastada toimuv või juba aset leidnud süütegu [45]. See ei kehti kõikidele süüteo vormidele, küll aga näiteks süütegudele inimese füüsilise ning vaimse tervise vastu, elu vastu, vara vastu ning ka ärisaladuste ja narkootikumidega seotud tegudele.

Eesti kaitseväel on õigus tõrjuda tsiviilõhusõidukeid, kui on alust arvata, et seda võidakse kasutada inimeste või vara kahjustamiseks. Siinkohal kehtib kaitseväge üldine jõu kasutamise reegel ehk jõu kasutamise eest hoiatatakse enne kui seda tehakse. Seaduses on mainitud, et jõudu tohib ka kasutada ainult juhul, kui muude vahenditega ei saa ohtu vähendada ning jõu kasutamise tulemusena on kahjud väiksemad kui ilma jõudu kasutamata. Kaitseväel on õigus kasutada kõiki olemasolevaid vahendeid, et jõuga õhusõidukit tõrjuda, kui selleks peaks vajadus tekkima. [46]

4.4.1 Hetkeolukord

Politsei- ja Piirivalveametil (PPA) on olemas varustus ning protseduurid ebaseadusliku droonide lennutamise vastu saamiseks. Sisekaitseakadeemias tehtud droonide ja siseturvalisusega seotud 2019. aasta magistritöös [14] autor kirjeldab, kuidas vaatles PPA toimimist droonide ebaseadusliku lennutamise piiramisel. Vaatluse kohta on kirjutatud, et droonid avastati nimetamata pargi ümber asuvatele hoonetele paigutatud seadmete abil ning nii saadi kuvaritele kuvada nii drooni kui piloodi asukohad. Samuti mainis autor, et patrullil oli käepärast ka segaja. [14, p. 59]

2022. aasta alguses meediakajastust saanud salakaubaveo intsident tõi päevavalgele ka tüki PPA võimekusest teostada droonivastast tõrjet. PPA peadirektori, Elmar Vaheri, sõnul [14, p. 51] on ametil olemas eraldi droonimeeskonnad, kelle ülesanne on valvata õhupiiri. Lisaks eraldati hiljuti siseministriumile salakauba vedamise vastu võitlemiseks 32,6 miljonit eurot [23]. Seadmete ja võimekuse koha pealt ei saa rohkem täpsustusi, kuna see teave pole mõeldud avalikkusele. 2019. aastal hindas justiitsministriumis Silver Pauk droonitõrje maksumuseks pool miljonit eurot, kui katta mingi territoorium (näiteks vangla) ilma pimealadeta [14, p. 51]. Sõjaväedroonide vastu saamiseks ütles ta hinnaks alates 5-6 miljonit eurot. Hüpotetiliselt mõned siseministriumile eraldatud miljonid eurod võivad ära katta suurema territooriumi või mitmekilomeetrise lõigu riigipiirist.

Politseil ja kaitseväel on praeguseks olemas meetmed ja õigused droonide avastamiseks, tuvastamiseks ja tõrjumiseks. 24. jaanuaril 2022 algatati eelnõu õhuruumi kasutamise korralduse muutmiseks. Selle eelnõu eesmärk on anda rohkem õigusi ja võimalusi õhuruumi kasutamise piiramiseks Vabariigi Valitsusele ning ajutiste piirangute tegemiseks PPA-le, Päästeametile, Kaitsepolitseile, Maksu- ja Tolliametile ning Kaitseväele. Eelnõusse lisatakse ka droonitõrje meetmed, mis on seotud avaliku korra tagamise ja riigi julgeoleku kaitsmisega. Lennuliiklusteenindusele antakse ka riigikaitsele ülesanded, laiendades nende õigusi ja kohustusi näiteks droonidega seotud õhuseire teostamisel. Töö kirjutamise ajal on pooleli eelnõu teine lugemine. [47]

Eesti kaitseväel on natuke rohkem vabadust mehitamata õhusõidukite tõrjumiseks, nagu peatüki 4.4 alguses kirjeldatud. On alust arvata, et Kaitseväel on vähemalt samaväärsed vahendid droonide avastamiseks, nagu on PPA-l, aga see info pole avalikkusele üldiselt kättesaadav. Peatükis 4.1 toodud AARTOS platvormi üks kasutajatest on Eesti kaitseväge [48] ning Kaitseväge on katsetanud ka Marduk Sharki süsteemi, mis Eesti ettevõtte loodud mitme sensoriga ja masinõppe abil töötav droonituvastusseade. 2021. aasta Kevadtormi õppusel testis ja valideeris Marduk oma lahendust edukalt multirootorite ja lennuki-tüüpi väiksemate droonide vastu. Marduki toodet pakub ka Milrem oma THeMIS mehitamata maismaasõiduki platvormi peal (Joonis 3), mida Kaitseväge kasutab. [13], [49]



Joonis 3. THeMIS mehitamata maismaasõiduk, millele on kinnitatud Marduk Shark. [49]

4.4.2 Võimalused

2019. aastal tehtud intervjuus ütles päästeameti esindaja, et neil oleks vaja mobiilset droonituvastussüsteemi [14, p. 49]. Lagedal alal, kus visuaalseid takistusi õhuruumi

seireks on vähe, täidab Marduk Shark oma ülesandeid hästi. Sharki on testitud auto järelhaagiselt [13] ning Milrem pakub seda ka oma mehitamata mobiilsel platvormil [49]. AARTOS pakub eraldi teenust sõidukitele oma seadmete paigaldamiseks. AARTOSE mobiilne droonituvastusplatvorm (nt Joonis 4) sisaldab radareid, optilisi ja infrapunakaameraid ja raadioside analüsaatorit, segajaid. AARTOSE eelis Sharki ees oleks täielik otsast-lõpuni droonivastane lahendus, kuna Shark on piiratud vaatevälja ja lühikese tuvastamiskaugusega. Teisalt seadmete mitmekesisuse tõttu tuleb see kindlasti kordades kallim kui Shark. [30]



Joonis 4. AARTOS platvorm erinevatel autodel. [50]

Peatüki 3.3 lõpus on kirjeldatud kahte sagedasemat probleemi Euroopas: droonide liiga kõrge lend ning madalal inimeste häirimine. Lennujaamade radarite jaoks on droon liiga väike objekt, et see neid mitme kilomeetri kauguselt üles leiaks [13]. Robini radarid olid algselt mõeldud lindude ja linnuparvede jälgimiseks [51]. Sarnase tehnoloogiaga on loodud Robini IRIS (Joonis 5), mis on droonituvastusradar 5km efektiivse tuvastamiskaugusega [33]. IRIS radarid on väiksemad, kergemad ja odavamad kui suured lennujaamade radarid. Droonidele lisaks suudavad nad hoida silma peal ka linnuparvedel. Madalal asulate kohal lendamise vastu saabki kõige paremini peatükis 4.4.1 kirjeldatud PPA stsenaariumiga, kus on paigaldatud passiivsed avastussüsteemid ning vastavad

organid reageerivad süsteemidega saadud teabe alusel. Siin aitaks ka inimeste teadlikkus ning initsiatiiv anda vastavatele organitele teada potentsiaalselt korrariikumisest. Transpordiametile saab teatada võimalikust lennuohutust mõjutavast juhtumist või olukorrast [52]. Linnapildis võib aidata ka CEDARi lahendus, mis pakkus välja Wi-Fi kuulamise kasutades mobiiltelefone (vt Tabel 2). CEDARiga saaks kasutada mobiiltelefonides olevaid Wi-Fi antenni, et mõõta drooni poolt eritatava signaali tugevust paljudest punktidest, saades drooni tõenäolise asukoha info. CEDAR toetub üsna paljude inimeste isikuandmetele, mis võib tekitada probleeme CEDARi kasutajale. Kui selleks peaks Eestis vajadus tekkima, siis pakun välja hoonetele Wi-Fi antennide installeerimise, mis täidaks sarnast ülesannet nagu mobiiltelefoni antenn, kuid selle asukoht oleks alati konstantne. Nii ei teki vajadus kasutada elanikkonna head tahet ja asukoohaandmeid.



Joonis 5. Robin Radar Systemsi IRIS. [53]

Väljaspool julgeolekuasutusi, PPA-d ja Kaitseväge võivad näiteks ettevõtted oma territooriumi kaitseks kasutada peatükkides 4.1 ja 4.3 kirjeldatud seadmeid ainult mehitamata õhusõidukite tuvastamiseks. Raadioside kuulamise abil töötavad seadmed on võimelised leidma üles ka piloodi, kui piloot juhib aktiivselt mehitamata õhusõidukit ning piloodi juhtpult on avastamisseadme ulatuses. Sellisel juhul võivad kehtida isikuandmete töötlemisega kaasas käivad seadused, kui leitud asukoht on võimalik seostada isikuga [54]. Eesti raadiosagedusplaani Lisa 1 [55] alusel võib kasutada raadiotajureid ehk raadiosidet vastuvõtvat seadmeid igal sagedusel ilma loata. Lennuliikluseks mõeldud

raadiosidesagedusi, sealhulgas neid, mida kasutavad lennuradarid, tohib kasutada vaid vastava sagedusloaga.

4.5 Järeldused

Peatükis 4.1 käsitletud ja kirjeldatud lahendused avastavad ja tuvastavad droone järgmiseid tehnoloogiaid kasutades: juhtpuldi ning drooni vahelise side kuulamine, õhuseire radariga ning automaatsete optiliste seadmetega objektide leidmine. Samuti on lahendusi, mis ühendavad eelnimetatud tehnoloogiad, et ei oleks nii tugevalt mõjutatud iga tehnoloogia puudustest.

Lahenduste ja tehnoloogiate hulgast prima valimine peaks olenema piirkonna riskihinnangust. Kui piirkonnas on tõenäoline, et kasutatakse või väärkasutatakse ainult poodidest saadavaid raadioside abil töötavaid droone, siis ei ole mõtet investeerida kallitesse radarisüsteemidesse vaid pigem võtta kasutusele raadiosidet analüüsiv lahendus. Kui piirkonnas on oluline suurt pilti näha ning teada kõikide asjade liikumisest õhus, siis radarisüsteem on parim valik, kuna sellega näeb ka teisi objekte, näiteks linde ja autonoomseid droone. Üksikute õhusõidukite kohta väga põhjaliku ohuhinnangu saamiseks sobib kõige paremini optiline lahendus, mis teeb oma hinnangud tehisintellekti abil. Erinevate tehnoloogiate kombineerimise üks kasutusjuhtudest oleks mobiilne keskus, mis on võimeline reageerima igasse keskkonda ning peaks seega olema võimeline tuvastama droone madala määramatusega.

Mehitamata õhusõidukite poolt põhjustatud riskide maandamiseks tasub kõigepealt hinnata ohtu numbriliselt, kui see on võimalik. Peatükk 4.2 kirjeldab võimalikke lähenemisi ohtude kohta hinnangu saamiseks. Kasutada võib tehnoloogiaid, mis annavad lisainformatsiooni drooni kohta, või kaalutud numbrilisi näitajaid, mille alusel saab paremini aimu drooni käitumise ohtlikkusest. Kui kohalik seadus lubab olukorras rakendada riskide maandamise meetmeid, siis parim on kasutada meetmeid, mis tekitavad kõige vähem kahju nii droonile kui drooni ümbritsevatele arvestades, et kukkuv droon võib olla ohtlikum kui lendav droon. Meetmete rakendamisel võiks kasutada jõu kasutamise põhimõtet ehk kui olukord seda võimaldab, siis kasutada võimalikult vähe jõudu ning kui see ei aita, kasutada natuke rohkem jne. Droonipüsside kasutamine võiks olla igal juhul eelistatud tulirelva, võrgukahuri või muu drooni kahjustava meetme ees. Kui drooni kohta on teada, et see ei kasuta raadiosidet lendamiseks või navigeerimiseks,

siis droonipüss võib olla suuteline drooni segadusse ajama piirates drooni satelliitnavigatsiooni võimekust.

Eestis on olemas võimekus ja huvi droonitõrje tegemiseks ning droonidest tulenevad ohud saavad järjest rohkem tähelepanu. Samas on Eestis paigas seadused, mis piiravad droonivastaste meetmete kasutamist. Näiteks droonipüüsi kasutamine on piiratud, kuna see võib pärssida ka teiste samal sagedusel töötavate seadmete tööd. Sarnasel põhjusel nõutakse aktiivradari kasutamiseks vastavat luba, kuna aktiivradar võib segada teisi lennunduseks olulisi radareid. Passiivradarite kasutamiseks luba pole vaja.

5 Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli välja selgitada praktilised võimalused tänapäeval tsiviilkäibes kasutatavate mehitamata õhusõidukite tuvastamiseks, nendest lähtuvate ohtude tuvastamiseks ja ohtudest tingitud riskide maandamiseks.

Töö eesmärgi saavutamiseks uuriti õiguslikke aluseid mehitamata õhusõidukite kasutamiseks, võimalikke ohte, mida mehitamata õhusõidukid võivad tekitada, ning võimalusi nende ohtudega tegelemiseks. Mehitamata õhusõidukite poolt tekitatavad ohud liigitati korrakaitsealuse alusel ning leiti sagedased ohtude tekitamise vormid ning keskkonnad Euroopas. Mehitamata õhusõidukite ohtude tuvastamiseks leiti mitmekülgseid Euroopas prototüübitud või kättesaadavad lahendused nii õhusõidukite avastamiseks kui nende kohta lisateabe, näiteks liikumiskiiruse, saamiseks. Lahendused riskide maandamiseks on samuti kogutud peamiselt Euroopast. Viimaks analüüsiti olukorda Eestis.

Töö tulemusena leiti põhimõtted, mille alusel valida lahendus võimalikule drooniprobleemile. Arvesse võetakse kohalikke piiranguid ja seadusi erinevate meetmete kasutamisel, meetmete piiranguid ja puudusi. Töös pakutakse välja leitud lahenduste hulgast mehitamata õhusõidukite tuvastamise ja riskide maandamise võimalused Eestis vastavalt erinevate keskkondade ja olukordade vajadustele.

Tööd saab kasutada edaspidi ülevaate saamiseks erinevatest aktuaalsetest droonide poolt põhjustatavatest probleemidest ja probleemide lahendustest. Töös on viidatud tehnoloogiatele, teenusepakkujatele ning arengusuundadele, mille funktsionaalselt ja seaduslikult õige rakendamine võib vähendada mehitamata õhusõidukitest tulenevaid riske. Tööst saab kasu ettevõtja, kes soovib oma ettevõtte territooriumit kaitsta, ning droonivastaseid lahendusi välja töötavad organisatsioonid ja teadlased, et paremini hinnata olemasolevate lahenduste eeliseid ja puudusi.

Kasutatud kirjandus

- [1] R. Jenkins, *How to Evaluate Counter-Drone Products*, WhiteFox Defense, 2018.
- [2] Transpordiamet, „Droonid,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://transpordiamet.ee/droonid#mis-on-mehitamata-h>. [Kasutatud 02. märts 2022].
- [3] Transpordiamet, „Lendude kooskõlastamine,“ Transpordiamet, 28. aprill 2022. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://transpordiamet.ee/maa-vee-ohusoiduk/droonidmehitamata-ohusoidukid/lendude-kooskolastamine>. [Kasutatud 17. mai 2022].
- [4] I. Singh, „DroneAnalyst report reveals dramatic drop in DJI’s commercial drone market share,“ 14. september 2021. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://dronedj.com/2021/09/14/droneanalyst-dji-market-share-2021/>. [Kasutatud 15. märts 2022].
- [5] *Komisjoni rakendusmäärus (EL) 2019/947*, Euroopa Liidu Teataja, 2019.
- [6] EASA, „Drones (UAS),“ European Union Aviation Safety Agency, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.easa.europa.eu/the-agency/faqs/drones-uas>. [Kasutatud 16. mai 2022].
- [7] Transpordiamet, „Droonide lennutamine,“ 12. mai 2022. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://transpordiamet.ee/droonid>. [Kasutatud 16 mai 2022].
- [8] E. Ciobanu, „What Happens If a DJI Drone Loses Signal?,“ Droneblog, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.droneblog.com/lost-signal/>. [Kasutatud 4. mai 2022].
- [9] TWEVO, „Radio regulation for drones,“ TWEVO, Coimbra, 2017.
- [10] R. Timbrook, „Expert World Travel,“ 6. september 2021. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://expertworldtravel.com/what-is-dji-ocuser/>. [Kasutatud 6. aprill 2022].

- [11] C. Swinney ja J. Woods, „The Effect of Real-World Interference on CNN Feature Extraction and Machine Learning Classification of Unmanned Aerial Systems,“ *Aerospace 2021*, 1. juuli 2021.
- [12] Parrot, „ANAFI Ai The 4G robotic UAV,“ Parrot Drones SAS, Pariis, 2021.
- [13] D. Paraskevopoulos, „Marduk - the slayer of bad drones,“ e-Estonia, 14. juuli 2021. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://e-estonia.com/marduk-the-slayer-of-bad-drones/>. [Kasutatud 15. mai 2022].
- [14] M. Matiisen, *Mehitamata lennuvahenditega seotud siseturvalissue alased ohud ja nende maandamine muutuv keskkonnas*, Tallinn: Sisekaitseakadeemia, 2019.
- [15] *Korraldusseadus. RT I, 03.03.2021, 5*, Riigikogu.
- [16] UK Airprox Board, „Historical Airprox trends,“ UK Airprox Board, 25. märts 2022. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.airproxboard.org.uk/reports-and-analysis/statistics/historical-trends/>. [Kasutatud 26. aprill 2022].
- [17] D. Dunkel, „Drones: Security threats from above,“ *Security*, 10. august 2021.
- [18] BBC, „Gatwick Airport: Drones ground flights,“ 20. detsember 2018. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.bbc.com/news/uk-england-sussex-46623754>. [Kasutatud 02. märts 2022].
- [19] D. Lisbona ja T. Snee, „A review of hazards associated with primary lithium and lithium-ion batteries,“ *Process Safety and Environmental Protection*, kd. 89, nr 6, pp. 434-442, 2011.
- [20] CORDIS, „Advanced Low Flying Aircrafts Detection and Tracking,“ CORDIS, 2020.
- [21] M. Brocchetto, C. Dominguez, J. Sterling ja S. Pozzebon, „CNN,“ 5 August 2018. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://edition.cnn.com/2018/08/04/americas/venezuela-maduro/index.html>. [Kasutatud 17. aprill 2022].
- [22] BBC, „BBC,“ 17. september 2019. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-49733558>. [Kasutatud 17. aprill 2022].
- [23] R. Kundla, „Politsei tabas mullu Narvas kaks droone kasutanud salakaubavedajate gruppi,“ Eesti Rahvusringhääling, 26. jaanuar 2022. [Võrgumaterjal]. Loetud

- aadressil: <https://www.err.ee/1608478526/politsej-tabas-mullu-narvas-kaks-droone-kasutanud-salakaubavedajate-gruppi>. [Kasutatud 15. mai 2022].
- [24] Aartos, „Worldwide Drone Incidents,“ Aaronia AG, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://drone-detection-system.com/drone-incidents/#di-list>. [Kasutatud 24. aprill 2022].
- [25] M. Hampson, „Harnessing the Public’s Smartphones to Track Drones,“ IEEE, 26. juuni 2019. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://spectrum.ieee.org/harnessing-the-publics-smartphones-to-track-drones>. [Kasutatud 20. aprill 2022].
- [26] CORDIS, „Advanced holistic Adverse Drone Detection, Identification Neutralization,“ CORDIS, 2020.
- [27] P. Nguyen, H. Truong, M. Ravindranathan, A. Nguyen, R. Y. W. Han ja T. N. Vu, „Manhattan: Drone Presence Detection by Identifying Physical Signatures in the Drone's RF Communication,“ %1 *MobiSys 2017*, Niagara Falls, 2017.
- [28] Aaronia AG, „Aaronia,“ Aaronia AG, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.aaronia.com>. [Kasutatud 27. aprill 2022].
- [29] Aartos, „Systems + Sensors Overview,“ Aaronia AG, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://drone-detection-system.com/sensor-types-overview/>. [Kasutatud 27. aprill 2022].
- [30] Aartos, „System Solutions Overview,“ Aaronia AG, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://drone-detection-system.com/system-solutions-overview/>. [Kasutatud 27. aprill 2022].
- [31] Meridein OÜ, „Droon.ee,“ Meridein OÜ, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://droon.ee/tootekategooria/droonid/lisatarvikud/aeroscope/>. [Kasutatud 14. mai 2022].
- [32] DJI, „DJI Aeroscope,“ DJI, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.dji.com/ee/aeroscope>. [Kasutatud 11. mai 2022].
- [33] Robin Radar Systems, „IRIS Counter Drone Radar,“ Robin Radar Systems, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.robinradar.com/drone-detection-radar>. [Kasutatud 12. mai 2022].

- [34] Rantelon, „Rantelon,“ Rantelon, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://rantelon.ee/en/services/drone-detectors-and-jammers/>. [Kasutatud 13. mai 2022].
- [35] Marduk, „Marduk,“ Marduk, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.marduk.ee>. [Kasutatud 15. mai 2022].
- [36] DroneShield, „DroneSentry,“ DroneShield Ltd, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.droneshield.com/dronesentry>. [Kasutatud 14. mai 2022].
- [37] DroneShield, „How To Buy,“ DroneShield Ltd, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.droneshield.com/how-to-buy>. [Kasutatud 14. mai 2022].
- [38] V. C. Chen, F. Li, S.-S. Ho ja H. Wechsler, „Micro-Doppler Effect in Radar: Phenomenon, Model, and Simulation Study,“ *IEEE Transactions on Aerospace and electronic systems*, kd. 42, nr 1, pp. 2-21, 2006.
- [39] S. Samaras, E. Diamantidou, D. Ataloglou, N. Sakellariou, A. Vafeiadis, V. Magoulianitis, A. Lalas, A. Dimou, D. Zarpalas, K. Votis, P. Daras ja D. Tzovaras, „Deep Learning on Multi Sensor Data for Counter UAV Applications - A Systematic Review,“ *Sensors*, kd. 19, nr 22, p. 4837, 2019.
- [40] B. van der Broek, J. van der Velde, M. van den Baar, L. Nijsten ja R. van Heijster, „Automatic threat evaluation for border security and surveillance,“ %1 *SPIE Defense & Security*, Haag, 2019.
- [41] S. Park, H. T. Kim, S. Lee, H. Joo ja H. Kim, „Survey on Anti-Drone Systems: Components, Designs, and Challenges,“ *IEEE Access*, kd. 9, pp. 42635-42659, 2021.
- [42] CORDIS, *Cost advantageous and scalable drone alarm and protection system for urban contexts*, CORDIS, 2020.
- [43] MyDefence A/S, „MyDefence introduces a modular anti-drone solution for airports, prisons and military bases,“ MyDefence A/S, 19. veebruar 2019. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://mydefence.dk/mydefence-introduces-a-modular-anti-drone-solution-for-airports-prisons-and-military-bases/>. [Kasutatud 5. mai 2022].
- [44] *Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv (EL) 2016/680*, Euroopa Liidu Teataja, 2016.
- [45] *Politsei ja piirivalve seadus. RT I, 19.01.2022, 4*, Riigikogu.

- [46] *Kaitseväe korralduse seadus. RT I, 18.06.2021, 7, Riigikogu.*
- [47] *Lennundusseaduse ja teiste seaduste muutmise seadus (riiklik lennundus ja õhuruumi kasutamise korraldamine riigikaitiselisel eesmärgil) 524 SE, Riigikogu.*
- [48] Aartos, „References,“ Aaronia AG, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://drone-detection-system.com/references/>. [Kasutatud 15. mai 2022].
- [49] Milrem, „The THeMIS UGV,“ Milrem AS, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://milremrobotics.com/defence/>. [Kasutatud 15. mai 2022].
- [50] Aartos, „Car based Vehicles,“ Aaronia AG, [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://drone-detection-system.com/system-solutions-overview/car-based-vehicles/>. [Kasutatud 16. mai 2022].
- [51] Robin Radar Systems, „Robin Radar IRIS Mini-Documentary,“ Robin Radar Systems, 4. november 2020. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.youtube.com/watch?v=NGTobj85gto>. [Kasutatud 16. mai 2022].
- [52] Transpordiamet, „Lennujuhtumist teavitamine,“ Transpordiamet, 4. veebruar 2022. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://transpordiamet.ee/ohutus-ja-jarelevalve/lennuohutus/juhtumist-teavitamine>. [Kasutatud 17. mai 2022].
- [53] Robin Radar Systems, „Introducing IRIS - The Best-in-Class Counter Drone Radar,“ Robin Radar Systems, 2. veebruar 2021. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.robinradar.com/press/blog/introducing-iris-the-best-in-class-counter-drone-radar>. [Kasutatud 16. mai 2022].
- [54] Andmekaitseinspeksioon, „Isikuandmed,“ Justiitsministeerium, 28 oktoober 2019. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.aki.ee/et/eraelukaitse/isikuandmed>. [Kasutatud 16. mai 2022].
- [55] Riigikogu, „Eesti raadiosagedusplaan,“ 26. oktoober 2017. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: <https://www.riigiteataja.ee/akt/125012019006?leiaKehtiv>. [Kasutatud 16. mai 2022].

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Kaur Lukki-Lukin

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Mehitamata õhusõidukite tuvastamise ja riskide maandamise võimalused“, mille juhendaja on Raul Savimaa
 - 1.1. reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

17.05.2022

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.