

Töö Nr 2020-016

Droonide kasutamise võimalikkusest korrashoiutööde järelevalvel

ARUANNE

Projektijuht: Tavo Kangru

Töö on koostatud Transpordiameti teede arengu osakonna tellimusel

Tallinn
2021

Projektijuht:

Tavo Kangru

Töös osalesid:

Villu Lõhmus

Simon Felding

© Maanteeamet, 2020

Töö tellija on Maanteeamet, kuid töö tulemus ei pea olema kooskõlas Maanteeameti seisukohaga ega väljenda Maanteeameti poolt heakskiidetud arvamusi. Vastutus antud dokumendis toodud informatsiooni ja esitatud arvamuste eest lasub täies mahus töö teostajal. Tööd võib vabalt tervikuna tasuta kasutamiseks välja anda või tsiteerida allikale viidates.

SISUKORD

Sissejuhatus	5
Töörühm.....	5
Droonide kasutus	6
Liigitus	7
Valmisdroonid.....	9
Drooni arendus.....	10
Missiooni kirjeldus.....	10
Konfiguratsiooni valik	11
Üldandmed	12
Konstruktsioon	12
Juhtimissüsteem	14
Peajuhtsüsteem	14
Video edastussüsteem.....	15
GPS positsioneerimise süsteem.....	16
Autonoomsed või automaatsed lennuplaanid.....	16
Videosalvestussüsteem	18
Drooni juhtimiseks mõeldud videosüsteem	18
Seirevideo salvestamine	18
Riigiteede seisundi hindamine kasutades drooni	18
Osaliselt automatiseeritud tarkvaralahendused	18
Tensorflow.....	19
Võimalikud drooniga fikseeritavad puudused.....	20
Arendustegevusega kaasnevad tegevused.....	23
Peakaamera.....	23
Drooni telik.....	23
Pardaarvuti.....	23
Akude mahtuvus ning lennuaja pikkus	23
Automaatne takistuste tuvastamise ja vältimise süsteem	24
Drooni käitamine ja hooldus.....	25
Käitamine	25
Hooldus	26
Filmitud videomaterjali töötlemine	26
Järeldused	28
Kokkuvõte.....	29
Viidatud allikad	30
Lisa 1. Tehniline kirjeldus	32
Lisa 2. Varuosade nimekiri.....	33
Lisa 3. Drooniseire teostamisest kaubanduslikel eesmärkidel	34

Lisa 4. Lendude logi	35
----------------------------	----

SISSEJUHATUS

Droonide kasutamise valdkonnad on järjest enam laienenud seda tingituna tehnoloogilisest võimekusest kui ka tehnoloogia hinnataseme languse tõttu. Droone on võetud kasutusse tsiviilotstarbel, professionaalselt nii filmitööstuses kui ka kinnisvara arenduses objektide müügi videote teostamise eesmärgil. Nende kasutuselevõtu on tinginud lihtne käsitlemine, efektiivne ja kulusäästlik opereerimine. Järjest enam arendatakse välja mingi kindla eesmärgiga droone kas siis põllumajandusele põllukultuuride jälgimiseks, pritsimiseks või siis riigi piiri jälgimiseks. Mõlemal juhul on võimalik neid tegevusi teostada aja ja kuluefektiivsemalt. Käesolev uurimustöö eesmärgiks on välja selgitada millise mehitamata õhusõidukiga oleks sõiduteede järelevalve teostamine otstarbekas. Siinkohal on peaasjalikult pööratud tähelepanu visuaalsele kontrollile. Väljakujunenud ja kasutusel olev protseduur toimub järgmiselt. Maanteeameti järelevaataja sõidab temale määratud teelõigud sõiduautoga igakuiselt läbi, ning puuduse märkamisel fikseerib selle fotoga ning lisab kirjelduse. Fikseeritud puudused ja ohud sisestatakse infosüsteemi HOSIS [1] ning saadetakse teelõigu korrashoidjale parandamiseks. Kirjeldatud protseduur on puuduste avastamise seisukohalt efektiivne kuid suurt inimressurssi nõudev ning mõningatel juhtudel (kui sõidukiga on keelatud peatuda, vms) ka ohtlik. Selle probleemi lahendamiseks on teostatud uuringus vaadeldud drooni kasutamist teelõikudel kus füüsilise järelevaataja kohalolu on ebamõistlik või piirangutega. Aruanne kajastab arendusprojekti „Droonide kasutamise võimalikkusest korrashoiutööde järelevalvel“ vältel teostatud tegevusi ja saadud tulemust.

Töörühm

Projekti isikkoosseisu on kaasatud valdkonnas või selle lähedaselt tegutsevad õppejõud, üliõpilased ja praktikud erasektorist. Töögrupi liikmetel on kogemused nii eralennunuduse, tootearenduse, mehaaniliste katsetuste, uurimistööde kui ka droonide ehitamise, katsetamise ja võistlemise vallas.

Projekti kaasatav isikkoosseis ning nende roll ja ülesanded:

Tootearendus ja mehaanika:

Tavo Kangru - Vol Meh Ins, PhD tootearendus ja tootmistehnika.

Uurimisrühm:

Simon Felding – TTK Masinaehituse õk. tudeng.

Drooni mehaanika, programmeerimine ja katsetamine:

Villu Lõhmus - Drooni tehnik, arendaja ja piloot.

Konsultant

Marek Kask – Transpordiamet, projektijuht.

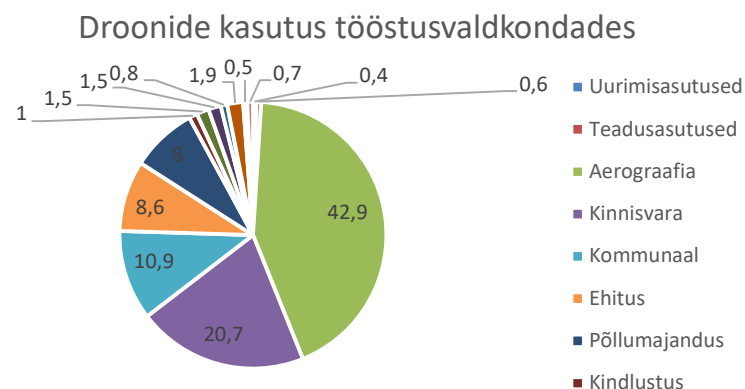
DROONIDE KASUTUS

Droon ehk mehitamata õhusõiduk on definitsiooni järgi õhusõiduk, mille pardal ei ole pilooti ning mille juhtimine toimub tehniliste abivahendite vahendusel või eelnevalt programmeeritud lennuna ilma piloodi juhtimiseta autonoomselt [2]. Droone on kasutatud sõjapidamises juba pikka aega, esimesed katsetused jäävad Esimese Maailmasõja aegadesse, kuid tsiviilotstarbeline kasutus on just viimastel aastatel hüppeliselt tõusnud. Droonid on olnud just eriti tõhusad sellistel ülesannetes mis on inimestele kas raskesti ligipääsetavad, ohtlikud või tegevuse teostamine pole inimesele ajaliselt või efektiivsuse mõttes otstarbekas. Selliste tegevuste hulka kuuluvad: aero fotografeerimine, erinevate sensoritega maa-ala või suurte objektide kaardistamine, pakkide kiire saatmine, piirikontroll ja järelevalve, keskkonna tingimuste hindamine ning põllumajanduslik jälgimine. Kindlasti on neid tegevusi veel ning droonide arenguga tekib kasutusvaldkondi järjest juurde. On hinnatud, et aastatel 2015 kui 2020 kasvas tsiviilotstarbeliste droonide tööstus stabiilselt 19% aastas. Tööstusharu on veel noor kuid juba on kujunenud T&A juhtivad ettevõtted Euroopas, Aasias ja Põhja Ameerikas.

Tehnoloogiliselt võib jagada droonide arengu generatsioonideks [3]:

- **Generatsioon I** – Algne raadioteel juhitud mehitamata õhusõiduk
- **Generatsioon II** – Lisatud fikseeritud kaamera video ja pildimaterjali salvestamiseks
- **Generatsioon III** – Kaamera on lisatud kahe teljelisele gimbalile, algsed ohutussüsteemid ning piloteerimisabi,
- **Generatsioon IV** – Väljakujunenud platvormi lahendus, kolme teljelisel gimbalil kaamera, kõrge lahutusvõimega video salvestamisvõimalus 1080p, parendatud ohutussüsteemid ning autopiloot,
- **Generatsioon V** – 360 kraadne gimbalil kaamera, video salvestamine 4K või kõrgem kvaliteet, intelligentne piloteerimisabi,
- **Generatsioon VI** – Ettevõtlustegevusteks sobilik ning ohutus ja teisi asjasse puutuvaid standardeid ja norme arvestav lahendus, koormuse kandmise võimekus, automatiseeritud ohutussüsteemid, intelligentne autopiloot koos täiesti autonoomse režiimi võimekusega.
- **Generatsioon VII** – Autonoomne missiooni teostamise võimekus.

Droonide kasutamine ettevõtlusvaldkonna järgi, USA teostatud uuringus vaata Joonis 1. on jätkuvalt suurimateks kasutusvaldkonnaks aerograafiaga, kinnisvaraga ning kommunaalteenuseid osutavad ettevõtted. Sellest võiks oletada, et samalaadne olukord valitseb ka Eestis. Eestis arendatud ja kasutusele võetud droonidest käsitlev uuring on toodud Lisa 3. Drooniseire teostamisest kaubanduslikel eesmärkidel



Joonis 1. Droonide kasutamine ettevõtlusvaldkondade järgi [4].

Liigitus

Droone võib liigitada kasutamise otstarbe, valdkonna, konstruktsiooni, aerodünaamiliste erisuste, kandevõime ja teiste spetsiifilisemate tunnuste järgi. Kõige laiem droonide liigitamine kasutusotstarbe järgi on tsiviil- ja militaarotstarbeks. Kuna militaarotstarbelised droonid on arendatud üldiselt ründerelvadeks, luureks, tulejuhtimiseks, jälgimiseks või mõneks muuks samalaadseks ülesandeks ning nende rakendamine tsiviilotstarbel on kas liiga kulukas või erinevatel põhjustel raskendatud sellest tulenevalt ei kuulu nende käsitlemine praeguse aruande koosseisu.

Tsiviilotstarbelised droonid saab omakorda jagada kasutusotstarbe järgi kolme suuremasse gruppi: mänguasjad, vaba aja veetmise droonid ning professionaalsed. Edaspidi käsitletakse ainult professionaalse otstarbega droone mingi kindla ülesande teostamiseks.

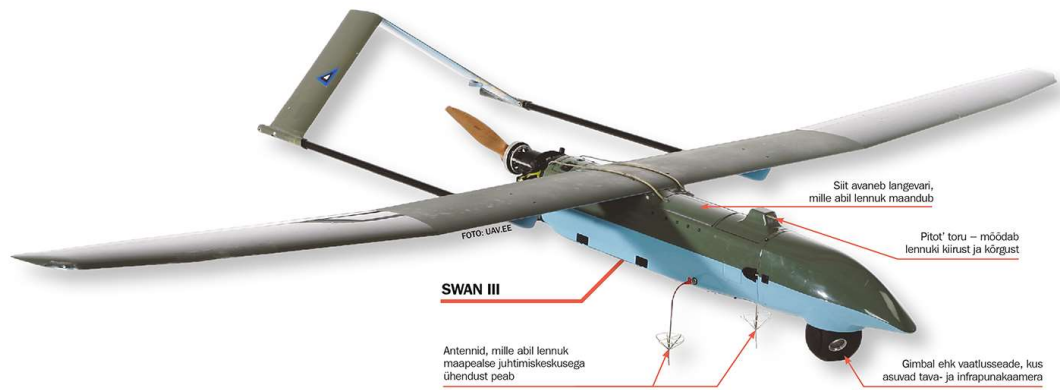
Professionaalseid droone saad jagada aerodünaamiliste eripärade tõttu neljaks põhi grupiks millel igauks sobib mingi kindla profiiliga missiooni teostamiseks:

- Mitme rootoriga droon, (Multirootor) vt Joonis 2 - Masinad sobivad eelkõige piiratud õhuruumis seire teostamiseks ja seda enamasti operaatori visuaalkontakti alusel. Seda tüüpi droonide eeliseks on kompaktsus ja kasutajasõbralikkus – masinad ise on reeglina gabariitmõõtmetelt väikesed ja ei vaja opereerimiseks palju ruumi ega maandumisrada. Piloodi jaoks on kopterite juhtimine tehtud lihtsaks erinevate nutikate tarkvara ja riistvaraliste lahenduste abil. Reeglina on seda tüüpi lennumasinad elektrimootoritega ja toiteallikaks on aku. Elektriliste kopterdroonide miinuseks on aga lühemad lennuajad, mis tulenevadki just sellest, et akude mahutavus on piiratud.



Joonis 2. Eli ELIX-XL droon [5]

- Jäiga tiivaga droon - Sääraste eeliseks on suur lennuulatus, sest tiiva aerodünaamika abil kulub enamik jõuallika tehtavast tööst masina edasi toimetamisele vt Joonis 3. Seetõttu rakendatakse fikseeritud tiibadega droone seire teostamiseks avaras õhuruumis ja mastaapsetele objektidele nagu näiteks põldudele, teedele jms. Miinuseks on aga masinate suurus. Reeglina on tiibade siruulatus üle ühe meetri ja nad vajavad õhkutõusks ning maandumiseks sobivat rada. Selle disaini puhul on rakendatakse tihtipeale sisepõlemismootoreid. Sõltuvalt sisepõlemismootori tüübist võib esineda tugevamat vibratsiooni võrreldes elektriajamitega. Fikseeritud tiibadega droonid peavad olema aredunaamilise kujuga ja nad maanduvad horisontaalsihis. Seetõttu igasugune last või vaatlusmoodulid on reeglina integreeritud kere. Tihtipeale suudavad selliste droonidega opereerida vaid kogenud piloodid, kes on võimelised masinaid turvaliselt maandama nii, et varustus jääks terveks.



Joonis 3. Eli Swan III [6]

- Ühe rootoriga helikopterdroon Joonis 4 – sarnaneb oma konstruktsioonilt helikopterile. Sellist tüüpi drooniga on võimalik efektiivselt lennata pikemalt kui mitmerootorilise drooniga.



Joonis 4. Hepta Airborne autonoomne kaugseiredroon [7]

- Hübriiddroonid - Droonimaailmas kasutatakse terminit VTOL reeglina siis, kui tegemist on fikseeritud tiibadega lennumasinaga mis teostab õhkutõusu ja maandumise vertikaalasendis vt Joonis 5. Lennukiiruse saavutamisel lähevad nad aga üle horisontaalsihis lennule nagu tavalised fikseeritud tiibadega lennumasinad ja kiiruse vähendamisel muudavad taaskord liikumise sihi vertikaalseks. Sellisel disainil on mitmeid eeliseid – aerodünaamiline disain annab talle eelise tavapärase kopterdrooni ees lennuulatuse suhtes ja VTOL maandumine on sama mugav, kui kopterdrooniga ja see ei vaja pikka maandumistrada. Droonidega on hea teostada seiret suurematele objektidele. Arendatud on ka hübriidroone, mille disainis on rakendatud kombinatsioone kõikidest ülaltoodud tüüpidest. Ühte säärastest hübriididest nimetatakse inglise k. transition type drone. Tegemist on kopterdroonidega, millel on ka fikseeritud tiivad ja vähemalt üks propelleritest on paigutatud horisontaalselt nii, et tema töö mõjul lendab droon vertikaalsihis ning tiibade aerodünaamika tagab tõstejõu. Ühel droonil võivad olla kasutusel mitu jõuallikat – elektriakumulaatorid ja sisepõlemismootorid. Seda tüüpi droonidega on võimalik teostada vaatluslende väga erinevates tingimustes.



Joonis 5. Threod Systems EOS C VTOL [8]

Valmisdroonid

Alljärgnevas Table 1. on välja toodud erinevate tootjate drooniplatvormide peamised parameetrid ning umbkaudne maksumus. Lennuparameetrid ja maksumus on suhtelised väärtused kuna on oluliselt sõltuvad drooni konfiguratsioonist.

Table 1. Droonide andmete võrdlustabel.

	<i>Ühik</i>	<i>DJI Inspire 2</i> [9]	<i>DJI Matrice 600</i> [10]	<i>Freefly Alta 8</i> [11]	<i>Freefly Alta X</i> [12]
Mass	kg	3,4	9,1	6,2	10,4
Mootorite arv	tk	4	6	8	4
Kandevõime	kg	0,81	6	9,1	15,9
Lennuulatus maksimaalne (side)	km	7	5	- ¹	- ¹
Kiirus	km/h	94	64,8	- ¹	95
Maksimaalne lennuaeg	min	23-27	35@6kg kv.	- ¹	40
Maksumus	€	9800	5 700	14 300 ²	15 200

¹ Andmeid ei ole välja toodud, oleneb konfiguratsioonist.

² Komplekt ei ole lendamiseks valmis, puudu on näiteks pult, akud vms.

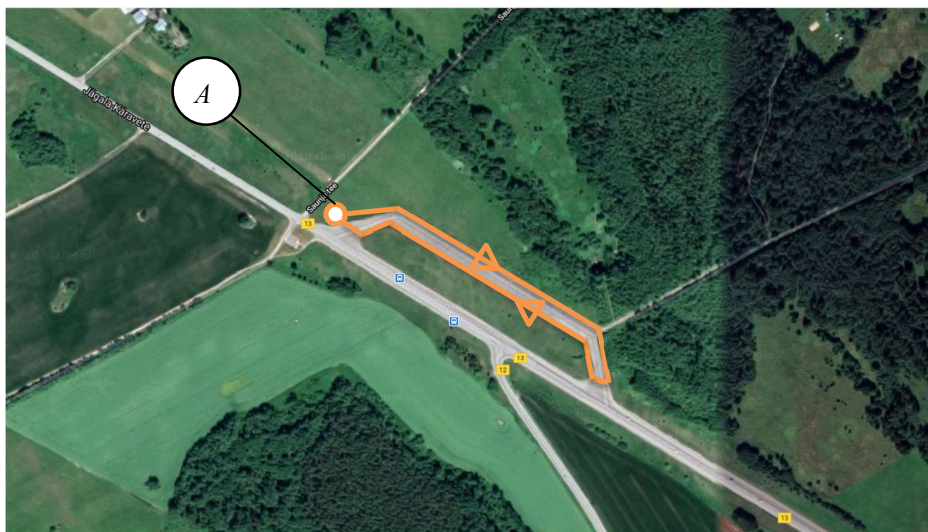
DROONI ARENDUS

Arendustöös on lähtunud Maanteeameti poolt püstitatud tehnilisest kirjeldusest Lisa 1. Tehniline kirjeldus, töö vältel teostatud uuringust Lisa 3. Drooniseire teostamisest kaubanduslikel eesmärkidel ning kogemustest droonide arendamise, katsetamise ja lennutamise vallas. Alljärgnevas peatükis käsitletakse lähtuvalt missiooni eripäradest arendatud drooni konstruktsiooni ja erinevaid süsteeme. Lisaks selgitatakse arendustegevusega kaasnevat tegevusi, muudatusi ja parandusi drooni komponentides ja süsteemides.

Missiooni kirjeldus

Missiooni profiil on koostatud kooskõlastatult Maanteeametiga ning lennukatsetused on teostatud Maanteeameti poolt määratud riigitee nr 13 ja kilomeeter 6 (N: 59.40397 E: 25.27309) vt Joonis 6. nn „tagavara lennuväli“. Missiooni profiil näeb ette drooniga üle lendamist trassil, kus droon paikneb horisontaalselt sõidutee ohutusribal, eraldusribal või nõlvavööndis, lennusuuna suhtes sõiduteest vasakul pool. Drooni asetus vertikaalselt on 3 kuni 5 m maapinnast, va juhtudel kui on vaja ületada mingi takistus. Lennukõrguse valik on teostatud kaamera parimast nägemise ulatusest, tuvastatavate objektide keskmisest suuruselt ning ohutusest. Lendamist sõidutee kohal on ohutuse tagamiseks viidud minimaalseks ning kasutatakse ainult juhul kui trass liigub risti üle sõiduradade.

Katsetrass kujutatud Joonis 6. mille pikkus on umbkaudselt 1 km stardib ja maandub droon punktis A vt . Droon teostab ülelendu filmides ja salvestades objekti videomaterjali koos GPS koordinaatidega hilisemaks töötlemiseks ja tee seisundi puuduste fikseerimiseks.



Joonis 6. Lennutrass.

Konfiguratsiooni valik

Lähtuvalt missiooni eripärast mille käigus toimub sõiduteede seire ülelennuna ohutusribal, maksimaalsel võimalikul kiirusel mis lubab videomaterjalist teekorrashoiu puuduseid tuvastada. Arvestades, et tulevikus oleks soovituslik ühe kuu aja jooksul teostatava trassi maksimaalne pikkus kuni 300 km. Ühe lennu keskmine pikkus on hinnanguliselt 3 kuni 10 km. Missioonile startimine ja lõpetamine peaks soovitatavalt toimuma sõidutee äärsetelt piiratud ohutusalt ilma lisastardiseadmeid vajamata. Startimisel ja maandumisel peab olema võimalik aeglustada drooni madalatele kiirustele 3 kuni 5 km/h, et tagada personaali ohutus. Transport stardile alale ja lõpetusalale peaks toimuma samalaadsete sõidukitega millised ka hetkel on kasutusel seire teostamiseks. Mistõttu ei tohiks drooni gabariitmõõtmed olla suuremad kui 1 m X 1 m X 0,5 m tagamaks normaalse pakkimise autole.

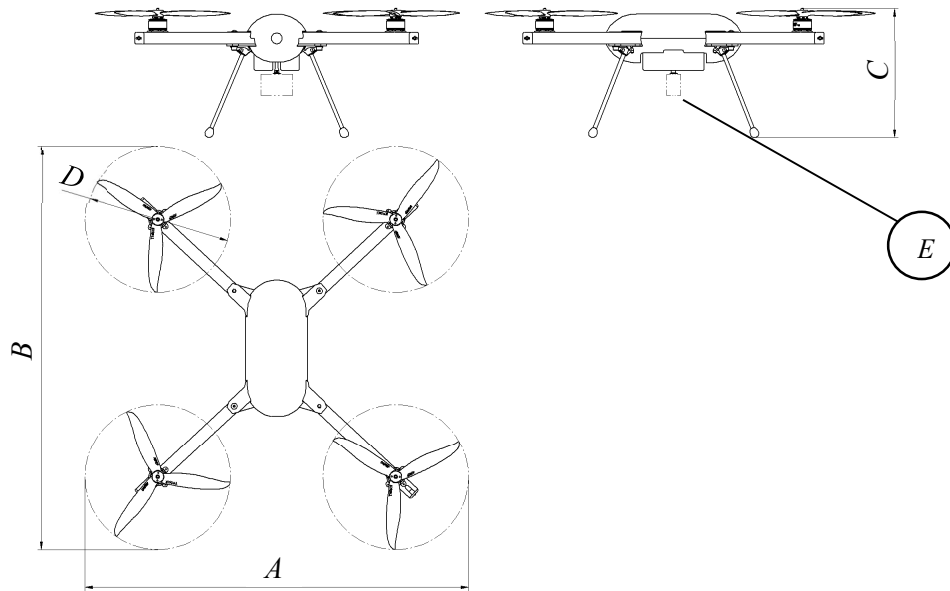
Table 2. Võrdlustable.

<i>Nr</i>	<i>Nõue</i>	<i>Multi-rootor</i>	<i>Jäiga tiivaga</i>	<i>Kopter</i>	<i>Hübriid</i>
1.	Vertikaalne start ja maandumine	Jah	Ei	Jah	Jah
2.	Lendamine kiirustel 3 ... 6 km/h	Jah	Ei	Jah	Jah
3.	Lendamine kiirustel 55 ... 90 km/h	Jah	Jah	Jah	Jah
4.	Lennuulatus 10 km	Ei	Jah	Jah	Jah
5.	Gabariitmõõtmed 1 m X 1 m X 0,5 m	Jah	Ei	Ei	Jah
6.	Transporditavus	Jah	Ei	Ei	Jah
7.	Optimaalne kulu	Jah	Jah	Ei	Ei
	Valiku järjekord:	2	4	3	1

Ülal loetletud nõuetele vt Table 2 vastab kõige paremini hübriid klassi droon, mis on võimeline vertikaalselt startima ja maanduma ning pikemate vahemaade läbimiseks suuteline lendama lennuki režiimis. Lennuki režiimis lendamine tagab pikema lennuulatuse, viies laadimiste ja lennu ettevalmistamise arvu miinimumi. Nimetatud klassi droonid on üldjuhul välja arendatud mingi kindla spetsiifilise ülesande teostamiseks ning nende soetusmaksumus käesoleva arendustöö raames ei ole otstarbekas. Käesolev uuring keskendub peaaesjalikult seire teostatavuse analüüsimisele, siis on mõeldav teha kompromiss lennuulatuse ja lennu ettevalmistamiseks kuluva aja arvelt. Sellest lähtuvalt on leitud optimaalseimaks mitmerootoriliste klassi kuuluv droon, mis toimib elektrienergial. Nimetatud drooniga on võimalik kohapealt startida ja maanduda, selleks ei vajata lisaseadmeid. Lennata madala kiirusega ning reguleerida kiirust parima videopildi salvestamiseks. Gabariitidelt mahuvad selle klassi droonid sõiduauto pakiruumi. Küll aga on lennu aeg ja sellest tulenevalt ka lennuulatus selle klassi droonidel piiratud.

Üldandmed

Väljaarendatud droon on nelja rootoriga elektritoitel töötav kaugjuhitav lennumasin, mille funktsionaalsus lubab eelseadistatud marsruudi või trassi järgi autonoomselt lennata. Drooni üldvaade on kujutatud Joonis 7. ning tehnilised parameetrid välja toodud Table 3.



Joonis 7. Drooni üldvaade.

Lennutehnilised andmed on määratud katseliselt ning olenevad drooni lennueelsest konfiguratsioonist, eelkõige tiivikute, akude ja lasti parameetritest. Lasti kinnitamiseks on projekteeritud drooni põhjaplaadi keskele 10 mm läbimõõduga kinnituspesa. Joonisel kujutatud droonil on kinnitatud lastikinnituspesa kaamera Insta360 One R tähistatud joonisel positsiooniga E.

Table 3. Tehnilised andmed.

Nimetus	Ühik	Väärtus
Mass	kg	2,0
Maksimaalne lennumass	kg	8,0
Maksimaalne kandevõime	kg	5,0
Laius, mõõde A	mm	875
Pikkus, mõõde B	mm	920
Kõrgus, mõõde C	mm	295
Tiivikute läbimõõt, mõõde D	mm	254
Maksimaalne lennuulatus vt Lisa 4. Lendude logi	km	6
Maksimaalne kiirus vt Lisa 4. Lendude logi	km/h	92
Maksimaalne tõusukiirus vt Lisa 4. Lendude logi	m/sek	
Maksimaalne lennuaeg	min	10

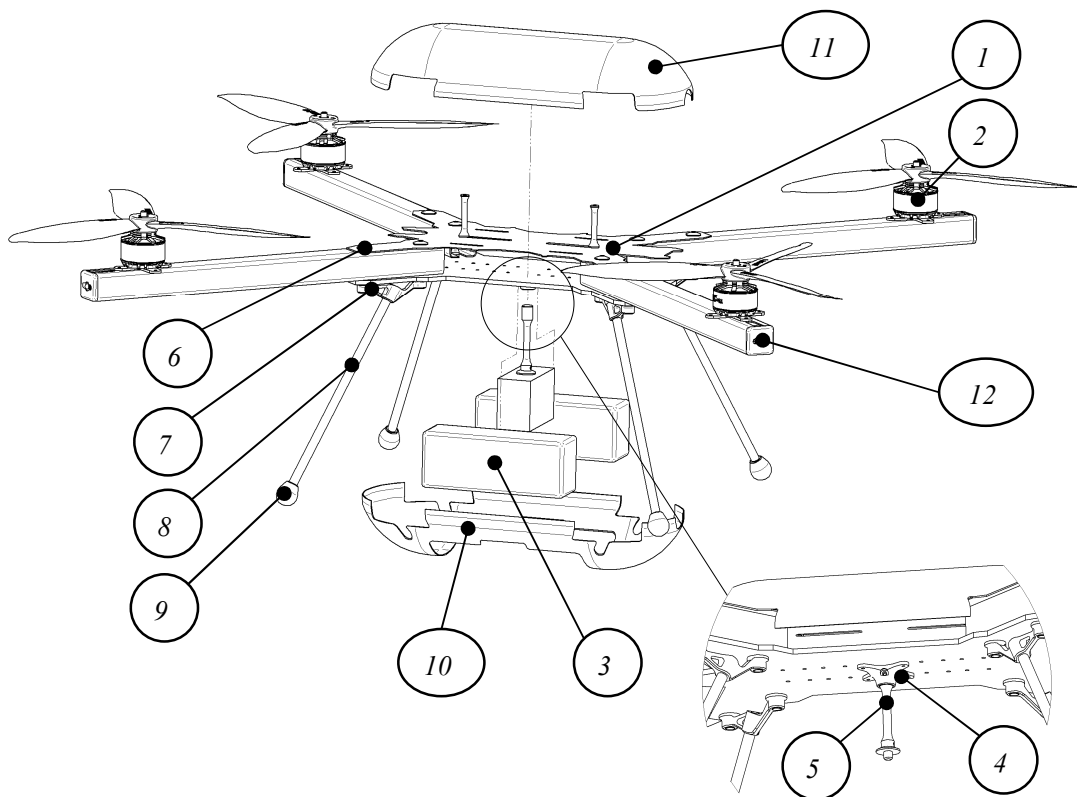
Konstruksioon

Drooni konstruktsioon on valitud tagades prototüübi võimalikult laia configureeritavu erinevate ülesannete täitmiseks ning samas olles kulu seisukohalt optimaalne. Üldine konstruktsioon on toodud Joonis 8.

Droon koosneb baas-raamist, joonis pos 1. mille külge on kõik komponendid kinnitatud. Baas-raamina on kasutatud X klassi võistlusdroonidel kasutatavat TBS Source X süsinikkomposiit raami koostu. Valik on teostatud eelkõige massi, konfigureeritavuse ja kulusäästlikkuse põhjal. Raami mootori taladele on kinnitatud Mad Polar XC5000 380kV harjadeta püsिमagnetmootorid, joonisel pos 2.

Lennu ja vajalike lisasüsteemide elektroonikaplaadid on asetatud raami alumise ja pealmise plaadi vahele, tagades neile kokkupõrke korral suurima kaitse.

Akupaketid on asetatud drooni alla ning on kinnitatud velcro paeltega alumise plaadi külge, joonisel pos 3. Alumisele plaadile on kinnitatud lasti kinnituspesa, joonisel pos 4. Kinnituspessa on võimalik ühendada lisaseadmeid, kasutades 10 mm läbimõõduga varrast. Varras fikseeritakse M3 seadekruviga. Joonisel on kujutatud kaamera kinnitus, kasutades ¼-20 UNC keeret. Vardale on projekteeritud kokkupõrkel murduv osa, joonisel pos 5, tagades seeläbi vähimad vigastused kokkupõrkel kaamerale.



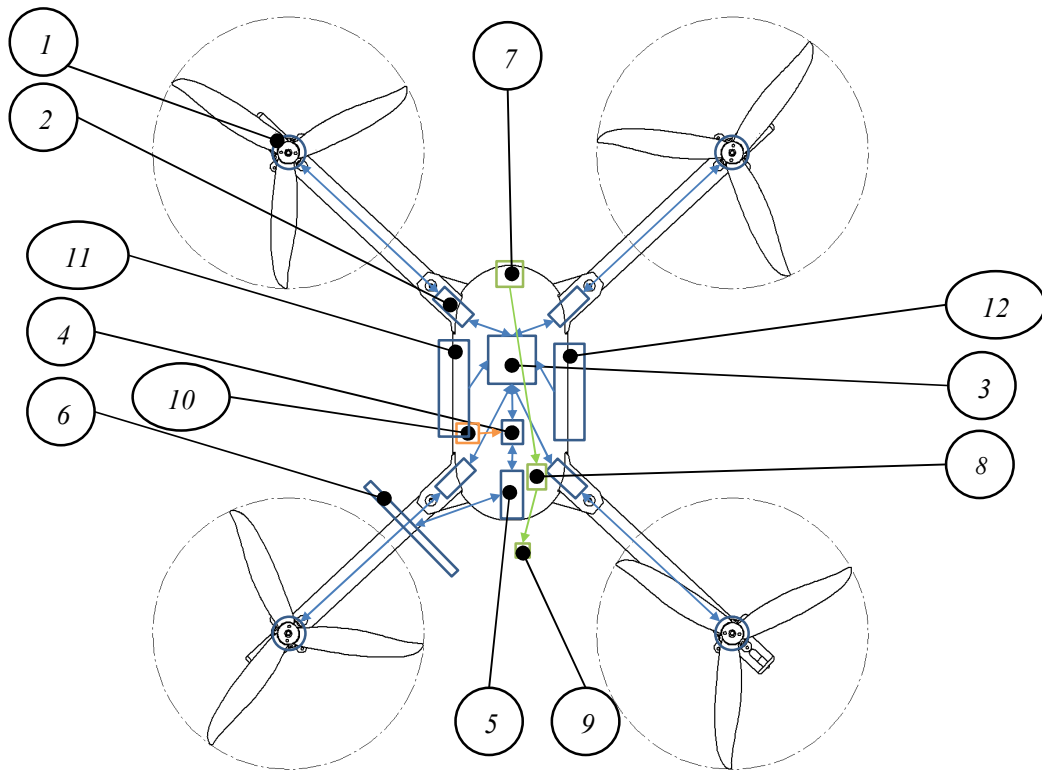
Joonis 8. Drooni konstruktsioon.

Raami ja mootori talade ühendamiseks on kasutatud kaheksat kergest alumiiniumist polti, joonisel pos 6, mis ühtlasi kinnitavad ka jalakandurid, joonisel pos 7. Mootoriraamide otstes on kinnitatud pesad 5W kollaste LED indikaatorite kinnitamiseks, joonisel pos 12. Drooni jalad koosnevad jalakandurist, jala torust, joonisel pos 8 ning otsataldmikust, joonisel pos 9. Droonile jalad piisava kõrguse maapinnast ning stabiilse seisu jalad. Jalad on projekteeritud taluma 5-kordset ülekoormust ning peale selle ületamist purunema, tagades minimaalsed vigastused teistele drooni komponentidele. Jala toruks on kasutatud kulusäästlikku alumiiniumtoru, mille vahetus on kiire, ei vaja erilisi tööriistu ning on teostatav ka objektil.

Raami keskosa ümber on paigaldatud alumine ja ülemine kate, joonisel pos 10 ja pos 11, mis - kaitseb elektroonikat mõningal määral keskkonnatingimuste eest. Katete kasutamine testimise faasis ei ole nõutav. Katetele on markeeritud ka drooni nimetus ja asutus, kellele droon kuulub.

Juhtimissüsteem

Drooni juhitakse kolme omavahel integreeritud süsteemi abil. Joonis 9 on näidatud komponentide nimetused, nende - vahelised ühendused ning umbkaudne paigutus droonil. Komponentid: 1 - Mootor MAD Polar XC5000 380kV, 2 - Mootori kontrolleri APD 120F3, 3 - Jaotusplokk APD PDB500, 4 - Pardaarvuti BrainFPV RADIX Flight Controller, 5 - Saatja/vastuvõtja (raadio) TBS Crossfire Diversity Nano RX, 6 - Vastuvõtja antenn (video) 2.4Ghz Yagi, 7 - Saatja (video) Unify 2G4 800mW, 8 - FPV kaamera Caddx Ratel, 9 - Antenn (Video) VAS 2.4GHz Victory Antenna, 10 - GPS antenn, 11,12 - Aku Tattu R-Line 22.2V 4000mah 6S 95C.



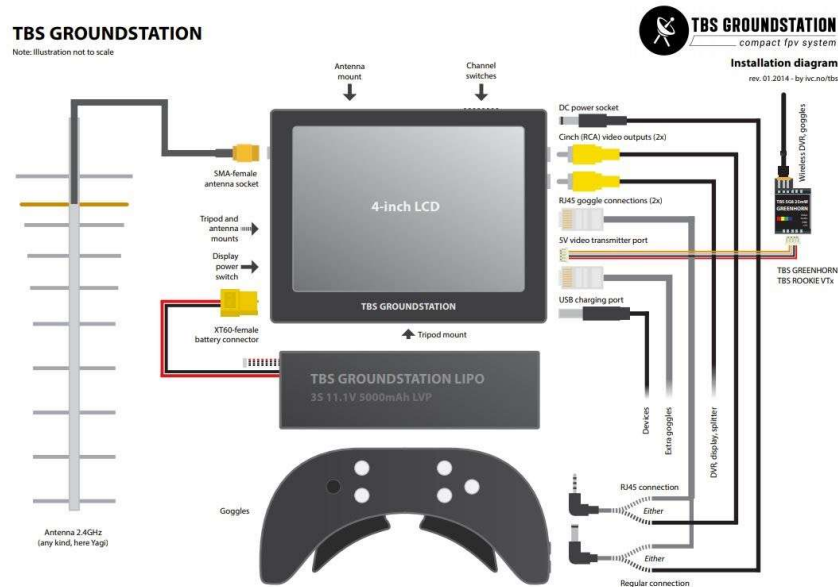
Joonis 9. Drooni juhtsüsteem ning komponentide umbkaudne paigutus.

Peajuhtsüsteem

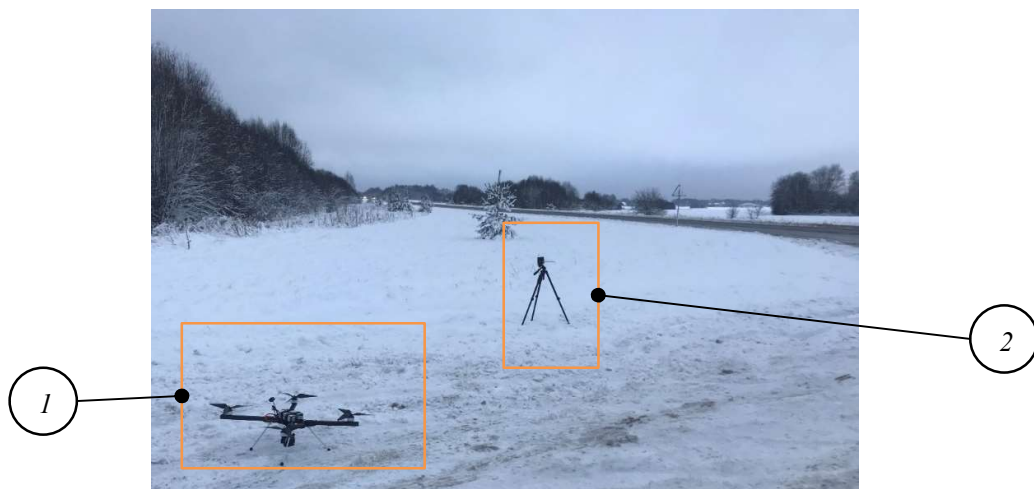
Peajuhtsüsteem (vt Joonis 9, tähistatud sinise värviga) on raadiosagedusel ühendatud saatja-vastuvõtja ühendus, mille abil saab drooni käivitada, välja lülitada ning manuaalselt juhtimise üle võtta, kui teiste kahe süsteemiga peaks midagi juhtuma. Raadiolink töötab 868 Mhz laine - pikkusel ning piloodi käes on pult, mis toimib saatja funktsioonis ning drooni peale on paigaldatud vastuvõtja. Ühendus luuakse esmasel seadistamisel ning on krüpteeritud võtme abil tuvastatav ainult kindla ühendatud drooni ja puldi vahel. Raadiolinki tarkvaral on võimekus kasutada FLARM süsteemi, mille abil saab piloot ja drooni omanik edastada lennuradarile oma tunnuse ja sellega olla Eesti õhuruumis registreeritud, kui peaks selline funktsioon vajalik olema.

Video edastussüsteem

Analoog - video abil juhtimise süsteem (vt Joonis 9, tähistatud rohelise värviga), mis toetab pilooti, kui peaks olema vaja sekkuda manuaalselt drooni juhtimisse automaatsüsteemide rikke korral. Süsteem töötab analoog - signaali edastamise põhimõttel läbi saatja-vastuvõtja süsteemi vt Joonis 10. Droonile on paigaldatud analoog - signaali saatja, mis edastab videopilti 2,4 Ghz lainepikkusel ning piloodi käes on vastuvõtja, maajaam vt Joonis 11, mis häälestatakse kindale lainepikkusele signaali püüdma. Saatja ja vastuvõtja peavad olema seadistatud samale lainepikkusele, mida lukustatakse ette seadistatud kanalite abil. Videopildi abil edastatakse droonile paigaldatud FPV kaamera pilti üle analoog - signaali, mida piloot näeb läbi seadistatud ekraani või muu selleks ettenähtud seadme. Valisime droonile analoog - süsteemi ning mitte digitaalsüsteemi, kuna maanteetrassid ning objektid, mida drooniga plaanitud on läbida on potentsiaalselt kõrge lennuriskiga alad ning analoog - signaalil puudub pildi saatmise ja vastuvõtu viivitus ning süsteemi rikke või ootamatu olukorra puhul ei pea piloot arvestama pildi ja tegeliku olukorra viivituse vahel, mis võib tihti suurtel vahemaadel olla kuni 0.5 sek.



Joonis 10. TBS Maajaama skeem [13].



Joonis 11. Ettevalmistus lennuks. 1- Seiredroon, 2- Maajaam.

GPS positsioneerimise süsteem

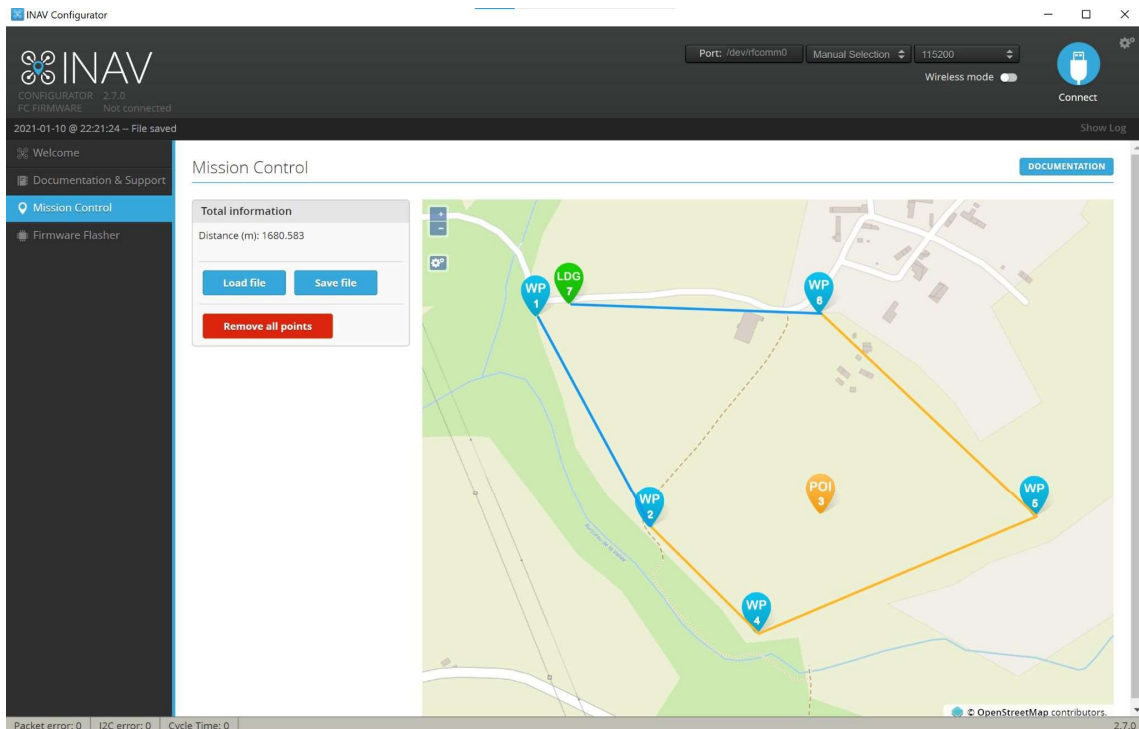
GPS tehnoloogiat kasutav droonile paigaldatud lokaator - süsteem (vt Joonis 9, tähistatud oranži värviga). Selle süsteemiga suudab droon teostada automatiseeritud ning ette kaardistatud lennuplaane. GPS seadme abil droon positsioneeritakse satelliitidega kindla laiuse ja pikkuse koordinaatide abil. Sellega saab piloot määrata õhku tõusmise positsiooni, kuhu droon tagasi lendab ning selle seadme abil tuvastab droon ennast pikkuse ja laiuse koordinaatidega ja suudab ette planeeritud koordinaate läbida autonoomselt kindla kõrguse ja kiiruse abil. GPS süsteemi parameetreid saab piloot jälgida läbi puldi ekraani vt Joonis 12, kuhu drooni poolt kuvatakse olulisi lennuandmeid.



Joonis 12. GPS süsteemi kuva.

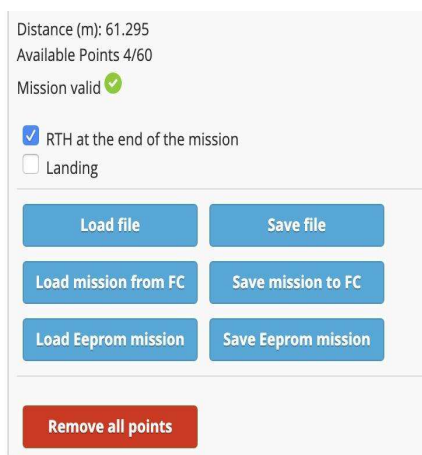
Autonoomsed või automaatsed lennuplaanid

GPS tehnoloogiaga saab teostada ette planeeritud lennuplaane. Selle jaoks kasutatakse laiuse ja pikkuse koordinaate (latitude, longitude) ning tarkvara abil lendab droon lennuplaanis ette planeeritud koordinaatide kohaselt. Koordinaate saab määrata arvuti tarkvaras või mobiili seadmes, kui see on seadistatud. Tarkvara võimaldab ka logida sõidetud vahemaad, kõrgust, kiirust ja lennuplaani pikkust. Kasutame vabavaralist tarkvara nimega “iNav Flight missions” [14], mis on lennuki tarkvarasse sisse ehitatud ja mida saab kasutada ükskõik millisel arvutiplatvormil (Windows, IOS, Linux). Lisaks on võimalik kasutada mobiilseadme rakendust nimega “Mission Planner for INAV” [15]. Lisaks on veel võimalus kasutada nn kolmanda osapoole tarkvarasid, kuid uuringu käigus ei ole nende kasutamist ja ühilduvust katsetatud.



Joonis 13. Lennuplaani seadistamise ekraanipilt.

Lennuplaani seadistamiseks peab märkima sihtpunktid kaardil vt Joonis 13 ning salvestama selle Joonis 14. Salvestada on võimalik välisele mäluseadmele, arvutisse, või otse drooni mälusse. Pardaarvutil on võimalik salvestada kuni 60 koordinaatpunktiga lennuplaani. Lennuplaani lõppedes on võimalus ja tungivalt ka soovitatav seadistada, et droon tuleks ise tagasi “kodukoordinaadile”. Kodukoordinaatideks on üldjuhul määratud asukoht, kus droonioperaator esmase akude ühenduse teostas ning pardaarvuti käivitas. Alati on võimalus nn kodu asukoht määrata lennuplaanis autonoomse koordinaadiga, kui hilisem vajadus seda nõuab. Kuidas täpselt lennuplaani koostada ning kuidas seda käivitada, millised on ohud ja missugused seadistused tuleb valida, on toodud juhendis [16].



Joonis 14. Koostatud lennuplaani kokkuvõte.

Videosalvestussüsteem

Drooniga opereerimiseks ja seire ülesande täitmiseks on paigaldatud kaks eraldiseisvat videopilti edastavat või salvestavat süsteemi. Üks paigaldatis süsteemis on mõeldud drooni piloodile droonivaate kuvamiseks ning teine paigaldis on seirveideo salvestamiseks.

Drooni juhtimiseks mõeldud videosüsteem

Drooni juhtimiseks on mõeldud videosüsteem, mille tööpõhimõtted kirjeldatakse Juhtimissüsteemi peatükis. FPV videosüsteem edastab pildi vastuvõtjasse, millele on võimalik vajadusel lisada salvestamise funktsioon. FPV salvestamise süsteemi peamine vajadus tekib olukorras, kus drooni GPS abil ega muul visuaalsel tuvastusel ei suudeta leida ning drooni mahakukkumise asukoht tuleb määrata vastuvõtjasse edastatud salvestuse abiga.

Seirevideo salvestamine

Põhikaamera süsteem, mis on droonile kinnitatud raami alumise plaadi külge ning kasutatakse teedel olevate objektide salvestamiseks ning puuduste kaardistamiseks. Kaamera ise salvestab toorfailid (RAW) oma enda INSP ja INSV formaatides, kuid JPG ja MP4 formaatides saab salvestusi eksportida. Kaameral on paigaldatav ja vahetatav mälukaart, (maksimum võimekus 1 TB) mille peale kaamera salvestab. Kaamera seadistamiseks ja salvestuse kuvamiseks ja/või pilveserverile salvestamiseks kasutatakse mobiiliäppi, mis töötab nii IOS, kui ka Android platvormidel. Mobiiliäpp töötab ja suhtleb kaameraga Wi-Fi ja sinahamba (Bluetooth) vahendusel. Kaamera on seadistatud filmima video 360 kraadise videopildiga, ehk põhimõte, et iga läbitud meeter teelõigust filmitakse üles ning hiljem on võimalik soovitud teelõigul salvestusi igas kraadinurgas uuesti kuvada või töödelda. Kaameral on võimalik ka panna 4K lainurka filmima, kuid selleks tuleb vahetada ära modulaarne objektiiv. Kaamera võimaldab filmida järgmistel resolutsioonidel, mis on toodud Table 4.

Table 4. Kaamera resolutsioon vastavalt konfiguratsioonile.

<i>4K lainurkobjektiiv</i>		<i>360° objektiiv</i>	
<i>Videopildi tihedus</i>	<i>Kaadrisagedus</i>	<i>Videopildi tihedus</i>	<i>Kaadrisagedus</i>
4000X3000	24/25/30	5760X2880	30/24/25
3840X2160	24/25/30/60	3840X1920	30/50
2720X1530	24/25/30/60	3008X1504	100
1920X1080	24/25/30/60/120		

Riigiteede seisundi hindamine kasutades drooni

Alljärgnevas peatükis on kirjeldatud võimalike tehnoloogilisi (tarkvara) lahendusi millega on mõistlik teostada tulevikus osaliselt automatiseeritud teede korrashoiu järelevalvet.

Osaliselt automatiseeritud tarkvaralahendused

Käesolev peatükk annab ülevaate võimalikest osaliselt automatiseeritud lahendustest, mis aitavad inspektori töökoormust sõidutee puuduste fikseerimisel tunduvalt vähendada. Kuna antud uuringu eesmärk ei olnud puuduste fikseerimise tarkvara lahenduse väljaarendus, käsitletakse teemat peaaesjalikult võimaliku eelprojektina, mille tulem peaks suunama uuringu järgmisi etappe.

Hilisema trassi salvestuste ülevaatamine on inspektorile küllalt ajamahukas tegevus. Lisaks on suur oht, et monotoonsele ja korduval trassivideo ülevaatamisel jäävad puudused inspektorile märkamata. Sellest tulenevalt on mõistlik rakendada tarkvaralist, videolt objekti tuvastust läbi

masinõppe algoritmide. Masinõpe on empiiriliste andmete põhjal loodud otsustussüsteemid, mis kasutavad erinevaid algoritme ning mudeleid.

Sarnast lahendust kus operaatorit huvitavate objektide tuvastus teostatakse automaatselt, kasutatakse laialdaselt turvakaameratel, tänapäevastel sõiduautodel ning tööstuses detailide haaramiseks, jälgimiseks konveierlindil. Objekti tuvastus toimib võrreldes tuvastava keha kas värvilist või kujulist mudelit eelsalvestatud etalonidega. Lahendust liiklusemärgide tuvastamiseks on kirjeldatud allikas [17]. Artiklis on selgitatud objektituvastuse neli erinevat etappi:

- Kaadri eeltöötlus – etapi käigus toimub kaadri suuruse muutmine optimaalseks, kiire töötlemise tagamiseks. Korrigeeritakse kaadri kontrasti objektide eraldamiseks ja müra vähendamiseks ning kaadri värv muudetakse hallideks toonideks.
- Teostatakse kaadril objektide servatuvastus ning meid huvitavate objektide eraldamine.
- Teostatakse objektide kuju võrdlus andmebaasis olevate objektide signatuuriga ning määratakse võimalike liiklusemärgide kuju ja asukoht kaadris.
- Liiklusemärgide tuvastus kasutades kuju ja värvi signatuuri andmebaasist ning kuvatakse kõige tõenäolisem lahendus.

Nimetatud etapid läbitakse videosalvestusel kõikide kaadrite puhul. See on ka üks põhjus, miks ei ole hetkel mõistlik teostada objektituvastust samaaegselt drooni lennul. Kuigi see on tõenäoliselt võimalik, siis lisamass sobivate (piisavalt võimekate) arvutite lisamisega droonite poleks otstarbekas. Järeeltöötlamise käigus on liiklusemärgide tuvastamise tõenäosus on artikli põhjal 88...94%, mida võib lugeda potentsiaaliks.

Peamised raskendavad asjaolud objektide (liiklusemärgide) tuvastamisel lähtuvalt [18] on järgnevad:

- Valgustuse mõju objektile lähtuvalt ajast, päevast ja ilmastikutingimustest,
- Värvide muutused tingituna objekti vanusest ja kiirguse mõjust,
- Geomeetria muutused lähtuvalt keskkonnatingimustest,
- Skaala muutused kuna salvestamisel liigutakse objektile lähemale,
- Samalaadsed kujundid kaadril,
- Tuvastatavate objektide kaetus, puud, majad, inimesed,
- Fotosalvestuse süsteemi eripärad,
- Vibratsioon ja sellest tekkiv kaadri udustus.

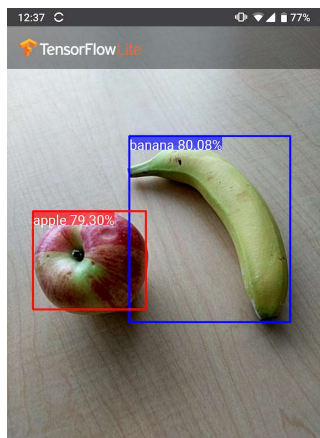
Lisaks veel kujunevad problemaatiliseks järgnevad tegurid:

- Kui liiklusemärk üldse puudub või on tema kuju tugevalt muutunud,
- Kui liiklusemärgil on muutunud suund,

Kuna objekti automaatse tuvastuse eesmärgiks antud juhul on selekteerida salvestatud videost lõigud, kus objektid (liiklusemärgid) on nähtavad on mõistlik arvestada objektide algset GPS asukohta. Näiteks liiklusemärgi asukohaga videolõik ilma liiklusemärgi tuvastamiseta on oht. Inspektorile kuvatakse peale järeeltöötlust hindamiseks pildid objektidest, mis kuuluvad edasisele täpsemale hindamisele, klassifitseerimisele. Sarnast lahendust on demonstreerinud Eesti ettevõtte Hepta Airborne tarkvaraga uBird [19], mille eesmärk on sarnane: tuvastada tõrkeid ja ohte elektriliinidel.

Tensorflow

Tensorflow [20] on Google Inc poolt välja arendatud avatud lähtekoodiga masinõppe tarkvara, mida on võimalik kasutada spetsiifilise tarkvara arendamiseks. Nimetatud tarkvaral on olemas objekti tuvastuse baasmudelid, mida on võimalik nn õpetada tundmaks videolt eesmärgpäraseid objekte. Üks näide lihtsast tarkvara rakendamisest on toodud Joonis 15, mille käigus tunneb rakendus videolt erinevaid igapäevaseid objekte. Objektid tuvastatakse kaadrist, markeeritakse objekti kontuurid ning nende klass koos tõenäosuse hinnanguga.



Joonis 15. Tensorflow objektituvastuse näide.

Erinevad olemasolevad objektituvastuse mudelid tarbivad arvutusressurssi küllalt erinevalt ning tulemused on suures ulatuses varieeruvad. Parima lahenduse leidmiseks on vaja esmalt nn õpetada erinevaid mudeleid ning võrdlusanalüüsi käigus selgitada parim.

Võimalikud drooniga fikseeritavad puudused

Lähtuvalt riigiteede korrashoiu järelevalve juhendile [21] on alljärgnevalt välja toodud Table 5 tee seisundi näitajad ja puudused, mida on võimalik droonide abil filmida ning hiljem video järeltöötamise käigus fikseerida. Antud hinnang on teostatud lähtuvalt trassi salvestuste läbivaatluste käigus, võrreldes neid vaatlusega inspektori sõidukist. Tabelis on teostatavuse all markeeritud juhud: Jah – Nimetatud puudust on võimalik arendatava seiredrooniga fikseerida, Ei - Nimetatud puudust ei ole võimalik seiredrooniga fikseerida või on see tegevus ebaefektiivne ning T - Nimetatud puudust on tinglikult võimalik seiredrooniga fikseerida. Markeerides tabelis tinglikult, on lisatud selgitus. Seiredrooniga teeseisundi näitaja mõõtmise reaalseks teostamiseks tuleb viia sisse muudatused ka ülalpool mainitud juhendisse. Juhendisse tuleks lisada seiredrooni mõõdistamisseadmed ning nende tolerants.

Table 5. Tee seisundi puuduste fikseerimine drooni abil.

Jrk. nr	Tee seisundi näitajad ja puudused	Teostatavus	Selgitus
1.	Kattega teedele ja teepeenardele		
1.1.	Tähistamata auk sügavusega üle 5,0 cm ja läbimõõduga üle 20 cm või auklik lõik	T	Vajalik määrata täpselt drooni kõrgus maapinnalt ning kasutada fotolt perspektiiv pikkuste mõõtmise tarkvaralahendust.
1.2.	Sama, tähistatud		
1.3.	Väikesed augud sügavusega alla 5,0 cm ja läbimõõduga kuni 20 cm, hoolde pindamise defektid, murenemised, praod	T	Vajalik määrata täpselt drooni kõrgus maapinnalt ning kasutada fotolt perspektiiv pikkuste mõõtmise tarkvaralahendust.
1.4.	Tähistamata liiklusohhtlik koht (kerkimine, vajumine vmt)	Jah	
1.5.	Tähistamata üle lubatava sügavusega roobas	Ei	Sügavuse mõõtmine on mõeldav ainult LIFDAR tehnoloogiat

			kasutades kui võib kujuneda liiga töömahukaks.
1.6.	Teepeenar kõrgem või madalam, katte serva lagunemine	T	Katte serva lagunemine on võimalik määrata.
1.7.	Tähistamata koormuspiirang, mille kehtestamise vajadus on eelnevalt kokku lepitud	Jah	
1.8.	Kate või peenar liiklusohhtlikult risustatud	Jah	
1.9.	Vee äravoolu takistav peenar	Jah	
2.	Kruusateedele		
2.1.	Augud ja/või ebatasasused, "trepp" sügavusega üle 5 cm	Ei	Võimalik määrata „trepp“
2.2.	Põikprofiili kalle puudub või on nõutust üle 2 % suurem	Ei	Vajab eriseadmeid olukorra fikseerimiseks
2.3.	Vall tee servas lubatust kõrgem, takistab vee äravoolu	T	Kui tolerantsi väli on piisavalt suur
2.4.	Tähistamata koormuspiirang, mille kehtestamise vajadus on eelnevalt kokku lepitud	Jah	
2.5.	Ettenähtud lõigul tolmutõrje kokkulepitud tähtajaks tegemata	Jah	
2.6.	Üksik liiklusohhtlik ebatasasus (sügavus ületab Tee seisundinõuetes lubatu)	Jah	
2.7.	Üksikud liiklusohhtlikud lahtised kivid	Jah	
3.	Sildadele ja truupidele		
3.1.	Vete ärajuhtimissüsteem ei toimi; käsipuud, silla trepid või nende käsipuud on katkised või roostes; koonused, tiibmüürid ja pealesõidud korrastamata; voolusäng puhastamata; silla pealisehitise, kõnniteed ja ümbrus korrastamata; silla tugiosad ja deformatsioonivuugid hooldamata, sild pesemata	Jah	
3.2.	Rohi sildade konstruktiivelementide ümber niitmata vastavalt seisunditaseme nõuetele	Jah	
3.3.	Truubi sisse- või väljavool puhastamata, truup ummistunud rohkem kui 25 % ulatuses läbimõõdust, truubipäiste kindlustus korrastamata	T	Nõuab märget lennuplaanis
3.4.	Katkisest truubist tingitud auk kattes või peenras	Ei	Olukord vajab kohapeal uurimist. Võimalik teostada ainult manuaalrežiimis lendamisel.
4.	Muldele ja veeviimaritele		
4.1.	Mulde nõlvade uhtumised sügavusega üle 10 cm	Ei	Mõõdistamise tolerant tuleb eelnevalt seiredroonil määrata katsetuste käigus
4.2.	Vee valgumine tee peale tekitades ohtu liiklusele või tee konstruktsioonidele	Jah	

5.	Teemaale		
5.1.	Seisundinõuetele mittevastav kül- ja pikinähtavust takistav võsa või rohi	Jah	
5.2.	Teemaa niitmata pärast 15. septembrit seisunditasemete "4" ja "3" puhul, pärast 15. oktoobrit seisunditaseme "2" puhul ja 31. oktoobrit seisunditaseme "1" puhul Teemaa niitmata pärast hooldelepinguga kehtestatud tähtaega	Jah	
5.3.	Teepeenar ja nõlvad niitmata põhi- ja tugimaanteedel pärast seisundinõuetega ja hooldelepinguga kehtestatud tähtaega	Jah	
5.4.	Puude oksad ja muud takistused liiklevate sõidukite ja ristprofiilis paiknevate ehitiste ning seadmete vahele jäävas vabas ruumis (tee projekteerimise normide ja nõuete kohaselt ette nähtud ohutuse tagamiseks)	Jah	
5.5.	Lumekaitsehekid pügamata üle 2 aasta lehtpuuhekid iga aasta	Jah	
5.6.	Silmatorikavad võõrkehad teemaal	Jah	
6.	Liikluskorraldusvahenditele ja märgistusele		
6.1.	Liiklusmärk puudub või on liigne (unustatud maha võtta)	Jah	
6.1.1.	Hoiatus-, eesõigus-, keelumärgid ja mõjuala märgid, osutusmärgid	Jah	
6.1.2.	Juhatusmärgid ja teeninduskoha märgid	Jah	
6.2.	Liiklusmärk defektne, märgist arusaamine lubatud kiirusel sõites raskendatud	Jah	
6.2.1.	Hoiatus-, eesõigus-, keelumärgid ja mõjuala märgid, osutusmärgid	Jah	
6.2.2.	Juhatusmärgid ja teeninduskoha märgid	Jah	
6.2.3.	Mõjuala ja hoiatusmärgid	Jah	
6.3.	Märgi postid viltu või värvimata	Jah	
6.4.	Tähistamata katkine, lahtine või deformeeritud kaitsepiire	Jah	
6.5.	Kaitsepiire roostes, värvimata	T	Sõltub defektide suuruselt ning asukohast.
6.6.	Tähispost puudu, katki, viltu või ilma helkurita või puhastamata	Jah	
6.7.	Katte märgistus vastavalt Maanteeameti peadirektori käskkirjale, hooldelepingule ja tööde graafikule	Jah	
6.8.	Kattehelkurid	Jah	
7.	Bussipeatustele, ootekodadele ja parklatele		
7.1.	Defektsed äärekivid, augud kattes, ootekoda või inventar hooldamata	Jah	

7.2.	Parkla hooldamata, prügikastid tühjendamata	Jah	
8.	Teedele talvistes oludes		
8.1.	Seisunditase hooldustükli lõpuks saavutamata: teepinna seisund, lumesus, tasasus, haardetegur ei vasta nõuetele või hooldetükli ajast ei ole kinni peetud või lumekihi (lume, lõrtsi, soola ja lume segu) paksus lumesaju, tuisu ajal suurem lubatust	Ei	Vajab eriseadmeid olukorra määramiseks ning ilmastikutingimused ei ole sobilikud drooniga lendamiseks.
8.2.	Sillad, ooteplatvormid, parklad ja ristmikud, ühendusteed ja teetiletuskohad lumest puhastamata	Jah	
8.3.	Liiklusmärkide puhastamine lumest	Jah	

Arendustegevusega kaasnevad tegevused

Alljärgnevas peatükis on kirjeldatud arendustöö käigus ilmnenud probleemid ja ettepanekud ning nende lahendamiseks väljapakutud tegevused.

Peakaamera

Otsustati tellijaga koos välja vahetada varasemalt kokku lepitud “gimal” kinnitustega kaamera hoidja ning standard 4K FOV 140 kaamera statsionaarselt kinnitatud 360 kraadise vaatenurgaga kaamera vastu. Põhjuseks ostusus asjaolu, et drooni kasutusest lähtuvalt saab 360 kraadise kaameraga videole salvestada panoraamina kogu drooni poolt läbitud ala. Suunatava kaameraga võib tekkida oht, et mõni defekt teel jääb märkamata ja salvestamata ning hiljem ei ole võimalik seda tuvastada. Lisaks on piloodil, kes ei sõida automaatse GPS abil eelsalvestatud lennuplaani, vaid peab manuaalselt drooni juhtima tunduvalt mugavam ja lihtsam keskenduda ainult juhtimisele ja mitte lisaks kaamera jälgimise nurga suunamisele ning defektide tuvastamisele, vaid saab neid otsida hiljem salvestatud panoraampildilt järeltöötluses.

Drooni telik

Katsetuste käigus selgus, et algselt projekteeritud ja valmistatud telik ei oma piisavat jäikust, maandudes ebatasasele pinnale, juhul kui droon omab horisontaalset kiiruse komponenti. Nimetatud probleemi lahendamiseks projekteeriti suurema tugevusvaruga teliku vardad ning vahetati varda materjali. Algselt oli katsetustel kasutusel EN AW6060-T6 F22 alumiiniumi mis vahetati süsinik komposiidi vastu.

Pardaarvuti

Testlendudel tuvastasime, et esmalt planeeritud pardaarvuti funktsionaalsus ei toetanud autonoomset lennuplaani mugavat teostust. Olime sunnitud vahetama pardaarvuti tarkvara ning kõik varasemad seadistused ringi kirjutama. Kasutajale selles mingit piirangut ei teki, vaid pigem tekib juurde tarkvaralisi võimalusi, mida droon oskab ja suudab teha.

Akude mahtuvus ning lennuaja pikkus

Testimisel tuvastasime, et antud lastiga droonil (kaamera, platvorm, akud, jalad, mootorid) lennu kestvus on maksimum 10 minutit. Kuna selle ajaga ei pruugi planeeritud lennuplaani lõpetada edukalt, siis soovitame kaaluda tulevikus paigaldada suurema mahtuvusega akud. Antud lahendus toob aga esile kompromissi. Nimelt maksimum mahtuvusega akud, mis

kannatavad sellise lastiga sõita kuni 90 km/h on 4000 mAh hetkel ka kasutusel droonil. Kui valida suurema mahtuvusega akud, siis tõenäoliselt väheneb drooni maksimaalne lennukiirus. Kuna suurema mahtuvusega akud ei võimalda anda mootoritele vajalikku elektrilist võimsust ning seega mootorid ei suuda sõita aku väljalaske võimsusest kiiremini. Kui on soov ikkagi teha 20 kuni 30 minuti pikkuseid lende, siis saab paigaldada ühe 30V (praegu 50V) aku mahtuvusega 10 000 mAh. Nimetatud aku vahetus drooni massi ei suurenda, kuid sellisel juhul oleks drooni maksimaalne liikumiskiirus kindlasti madalam.

Automaatne takistuste tuvastamise ja vältimise süsteem

Antud probleemile proovisime kahte lahendust. Esimene lahendus - Objektide tuvastus ja vältimine raadiolainete kasutamisega. Antud lahenduse peamine probleem osutus kahe möödapääsmatu asjaolu tõttu teostamatuks. Esiteks, lennul ei olnud võimalik piisava stabiilsusega tuvastada ühtegi objekti. Droon oleks sellise testi puhul suure tõenäosusega purunenud ning otsustati, et antud lahendus ei ole piisavalt efektiivne ja praktiline. Teine probleem oli drooni mass. Nimelt sellise seadme juurde lisamine oleks ületanud juba mootorite lubatud tõstevõime ja droon ei oleks võimeline enam efektiivselt lendama.

Teine lahendus kasutada "Tensorflow" masinõppe algoritmi vt Osaliselt automatiseeritud tarkvaralahendused, et läbi kaamera pildi objekte reaajas tuvastada. Lahendusel oli kaks möödapääsmatut takistust. Droonile oleks vaja olnud paigaldada graafika moodul ja lisa arvuti, et reaajas sellist toimingut teostada. Nimetatud seadmete lisamisega suureneks drooni mass ja energiatarve ning väheneks märgatavalt lennuulatus. Teiseks takistuseks, oli lisatehnoloogia juurde paigaldamine juba niigi keerulisse süsteemi. Lisaks tõstatub küsimus, kus objektide andmebaasi hakata hoiustama ning ühendused keskse serveriga lendude ajal. Kokkuvõtteks osutusid mõlemad lahendused antud platvormi ja projekti jaoks liiga keeruliseks või liiga ebausaldusväärseks. Kindlasti on need probleemid sihitud uuringutega lahendatavad. Hetkel on mõistlik lennuplaanidel märkida ära staatilised objektid GPS koordinaatidega ning tõusta objektile lähenedes kõrgemale või sõita ümber. Lisaks valida trasse hoolikalt ja riske hinnates.

DROONI KÄITAMINE JA HOOLDUS

Käitamine

Drooni operaator peab enne igat lendu teostama lennueelse kontrolli nii droonile, kasutatavatele alamsüsteemidele, veenduma lennu ohutuses, ilmastiku sobivuses ning olema teadlik ja lähtuma riiklikest regulatsioonidest [22]. Ühegi neist loetletud tegevustest teostamata jätmine võib kaasa tuua drooni purunemise, ohu inimeste tervisele, elule, varale või seaduse rikkumise vt [23]. Drooniga peab opereerima inimene, kes on saanud selleks vajaliku teoreetilise kui ka praktilise väljaõppe. Järgnevalt on loetletud käitamise tingimused:

1. Ära kasuta drooni keerulistes ilmastikutingimustes. Nende hulka kuuluvad vihm, lörts, lumi, puhanguline või tugev üle 10m/s puhuv tuul, halb nähtavus.
2. Ära lenda takistuste, rahvamasside, elektriliinide, suurte puude ja veekogu kohal.
3. Lennutrass peaks olema planeeritud avatud alal ning eemal suurtest metallkonstruktsioonidest. Metallkonstruktsioonid võivad mõjutada raadio ja GPS signaali.
4. Keskkonnatingimused nagu temperatuur ja õhutihedus mõjutavad otseselt lennukestvust.
5. Vältida piirkondi, kus võib esineda kõrge elektromagnetlainete tihedus.

Järgnevalt on kirjeldatud drooni käitamise protseduur vastavalt drooni käitaja meespeale [24].

1. Mõttele läbi ning koosta lennuplaan,
(kus lendada, kui kõrgel, mis ajal, kas on piiranguid, mis on lennu eesmärk),
2. Lennueelne kontroll vt Table 6,
3. Veendu enne õhkutõusmist, et kõrvalised isikud on ohutus kauguses.

Table 6. Lennu eelne, vältel ja järgselt teostatavad kontrolli ja hooldustegevused.

<i>Kontroll/hooldus</i>	<i>Tegevus</i>
Lennu eelne	• Propellerite kinnituste visuaalne, • Ühenduspistikute visuaalne, • Drooni jalgade (jalad on sirged ilma defektideta), • Kaamerate objektiivid, • Aku kinnitused, • Aku ühendamine, • Lülita põhikaamera salvestusrežiimi, • Videosüsteemi ühenduste ja seadme kanali kontroll, • GPS süsteemi kinnitus ja asukoha tuvastuse kontroll.
Lennu vältel	• Kontrolli drooni aku laetust, • Kontrolli maajaama aku laetust, • Kontrolli videosignaali tugevust, • Kontrolli raadiolingi tugevust.
Lennu järgne	• Lülita välja põhikaamera salvestusrežiimist ning eemalda kaamera, • Ühenda lahti ja eemalda akud, • Puhastada droon tolmus, porist, kõrvalistest esemetest, • Eemaldada propellerid.

Hooldus

Tõrgeteta töö tagamiseks on vaja teostada droonile ja selle erinevatele osadele ennetavat hooldust kindlate intervallide tagant. Hooldused on jagatud ära lennu eelseks ja järgseks vt Table 6 ning lennuressursi põhisteks hoolduseks. Lennueelne ja järgne hooldus on vaja teostada enne ja pärast igat lendu vt ptk. Käitamine. Ressursipõhine hooldus on toodud Table 7. Teostatud hooldused tuleb fikseerida koos kasutatud varuosade nimekirjaga. Nimekiri varuosade nimetustest ja maksumusest on toodud. Hooldus ja remonttööd hinnastatakse tunnipõhiselt, tunnihind orienteeruvalt 50 eurot millele lisandub käibemaks.

Table 7. Hooldustegevused vastavalt hooldusvälbale.

<i>Välp [h]</i>	<i>Hooldustegevused ja normajakulu [h]</i>
10	• Süsteemide diagnostika ja toimivuse kontroll [2] • Akuklemmide korrasolekut [0,5] • Propellerite visuaalne kontroll [0,5] • Mehaaniliste osade kontroll [1] • Kontrollida mootori kinnituskruvid [1]
30	• Jooteühenduste kontrollimine [5]
100	• Drooni osandamine, puhastus, kontroll, komponentide vahetus, koostamine ja testimine [16]

FILMITUD VIDEOMATERJALI TÖÖTLEMINE

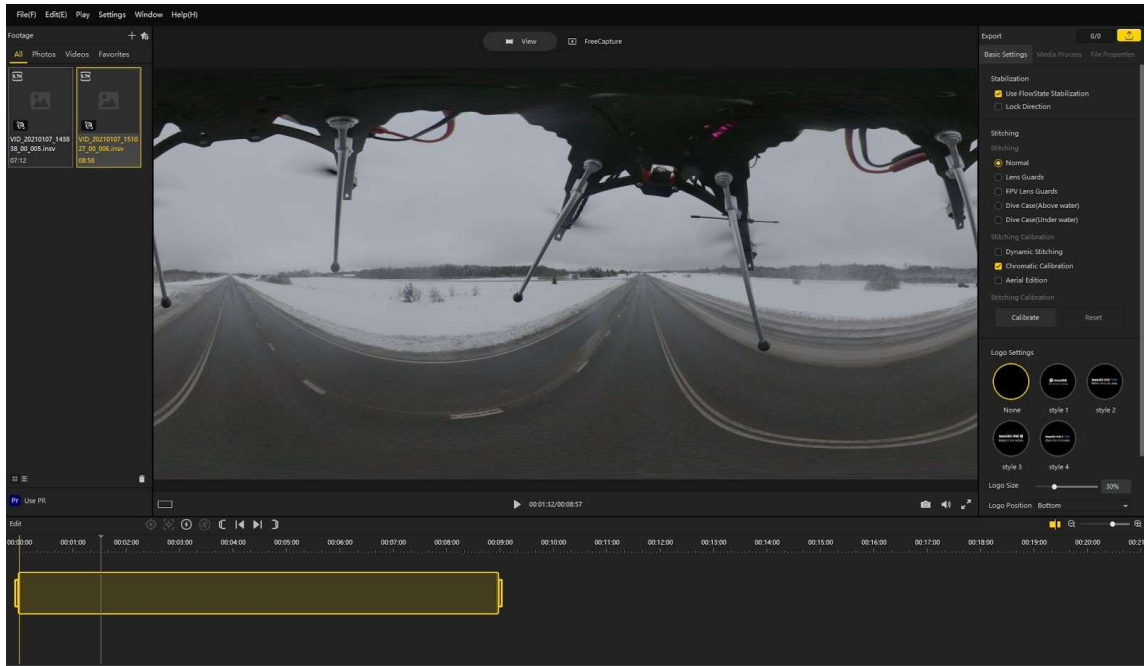
Selleks, et puudusi saaks fikseerida ning hiljem kanda pildimaterjal koos märkustega kanda Maanteeameti infosüsteemi salvestab peakaamera filmitud lennud mälukaardile peakaameral. Kui sellest vaja puudused tuvastada ning registreerida on vaja materjali kaamerast olla, kas kuni 10 m kaugusel ja salvestuse kuvada üle WiFi ühenduse või kopeerida need seadmesse salvestatud mälukaardilt otse.

Droonile on paigaldatud u-blox8-M8 GPS moodul, mis salvestab GNSS süsteemiga kellaega ning läbi selle positsiooni GPS koordinaatidel. Tänapäevane videosüsteem ja GPS süsteem ei sünkroniseeri omavahel aega ja koorinaate automaatselt, vaid süsteemid teevad seda kõik individuaalselt. Seega peakaamera filmitud video täpse asukoha määramine kindlal ajahetkel on antud süsteemiga manuaalne töö. Kui peakaamerast on saadud planeeritud lend salvestatud, siis materjali töötlemiseks on kaks moodust.

Filmitud materjali saab töödelda läbi mobiiliäpi otse või kasutades arvutisse installeeritud tarkvara Insta360 Studio vt Joonis 16. Kasutaja saab üle Wi-Fi ühenduse vaadata ja kohe ka töödelda kaameraga filmitud faile. Kaamera ei nõua eraldi failide seadmesse laadimist ning lubab kõiki funktsionaalsuse, mida töötlustarkvara võimaldab, kasutada ka otse mobiilse seadmega. Selleks kasutatakse toote enda poolt kaasa antavat Insta360 mobiili äppi. Seda saab kasutada nii androidi platvormil, kui ka IOS platvormil:

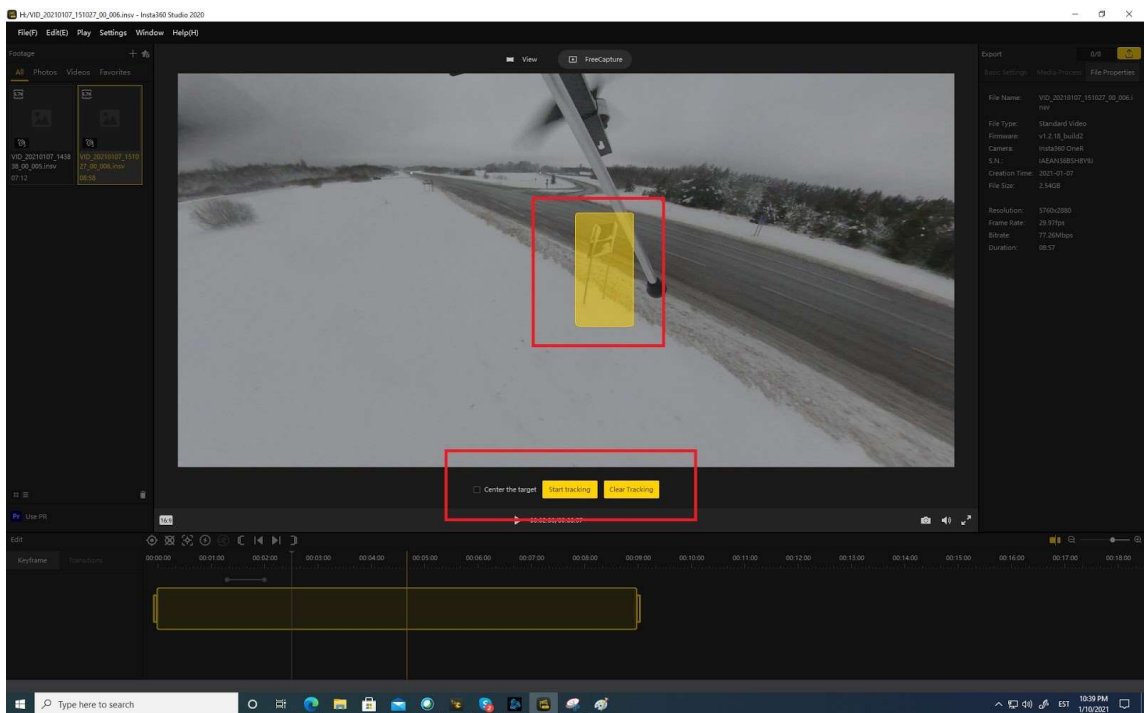
- Insta360-for ONE R, ONE X2, ONE X - Apps on Google Play
- Insta360-ONE X2, ONE R, ONE X on the App Store (apple.com)

Esmase seadistuse jaoks on vaja kaamera kood ühendada mobiilse seadmega, millele on äpp laetud ning sellega tootja lubab tarkvara kasutuslitsentsiga kasutada.



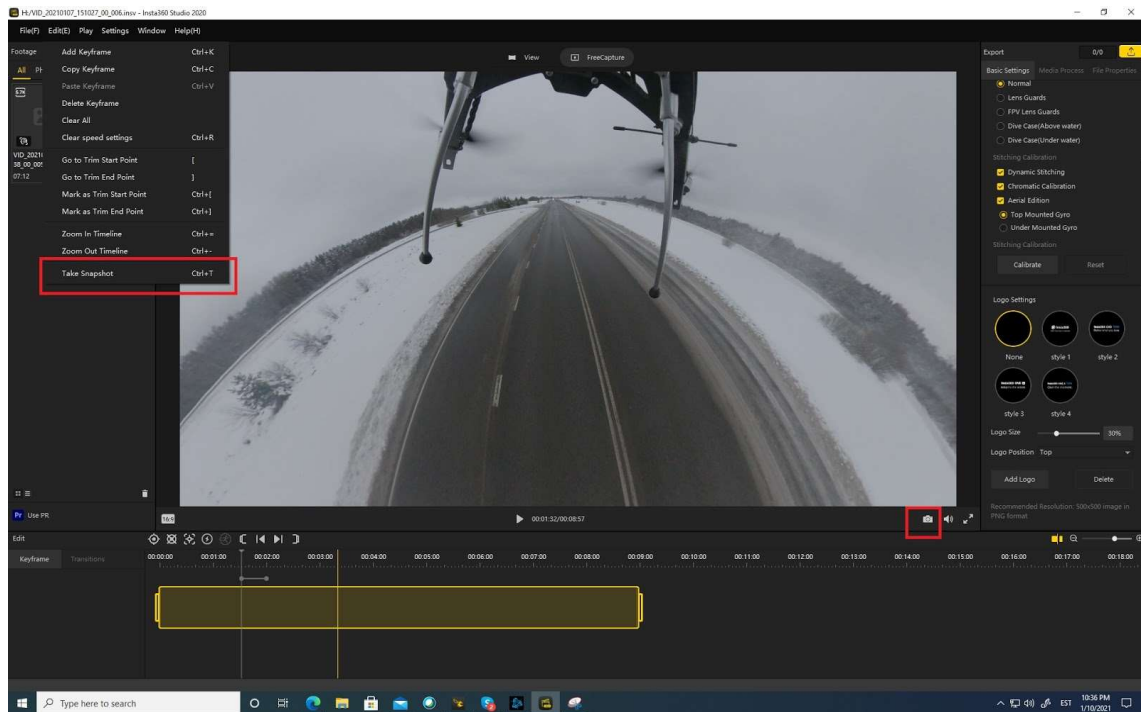
Joonis 16. Kuva programmist.

Töötluses saab määrata ja see juures muuta filmitud kaadrite nurka. Saab jälitada kaameras filmitud objekti kaader haaval, kasutades nn “key frame” funktsiooni vt Joonis 17.



Joonis 17. Objekti markeering jälituseks.

Võimalus on ka eksportide üksikuid videolõike või isegi kaadreid filmitud materjalist välja ja saata need kas mobiilse seadme mälusse või kindale e-postiaadressile vt Joonis 18.



Joonis 18. Puuduste eksport programmist.

Kõiki töötlustarkvara funktsioone ei saa antud dokumendiga välja tuua, kuid tootjal on olemas juhendid nii mobiiliäpis otse leidmiseks, kuid ka kodulehel lugemiseks [25].

JÄRELDUSED

- Läbitud lennuaeg ning projekti käigus teostatud katsetused meile tutvustatud Maanteeameti tööülesannete ning filmimise objekti käigus on andnud kindlust, et valik mitte lisada peakaamerat, mis oleks liigutatav Gimbal kanderaamil, vaid 360 kraadise objektiiviga peakaamera vastu on meie hinnangul parem lahendus. Kuna hoiab drooni massi märgatavalt madalama ning võimaldab hiljem üle kontrollida objektid, mida piloodil võib jääda esmapilgul märkamata.
- Projekti raames sai ette antud aja raames paigaldada ainult drooni süsteemid, mis kõik töötavad autonoomselt ning tulevikus oleks vaja panustada aega ja ressursi, et kõik süsteemid töötaksid ühiselt üksteist infoga ja funktsioonidega täiendades. Projekti käigus ja ajaraamis avastasime tihti, et ühiste funktsioonide loomiseks on vaja teostada tarkvara arendust suuremas mahus, kui projekti skooopi oli võimalik mahutada.
- Üks peamisi edasisi tegevusi peaks olema peakaamera ja video juhtimissüsteemi integreerimine, et drooni kasutajal oleks mugavam ja lihtsam objektid töid teostada ja hiljem ka materjali töödelda.
- Suurt rõhku tuleks panna drooni opereerimismugavuse tõstmiseks, et tulevikus saaksid drooni kasutada ka piloodid ja operaatorid, kes ei peaks omama hulganisti lennutunde ja kogemust.
- Märgatav oli asjaolu, et antud rakendusega droon peab olema ilmastikukindel, et sellega saaks opereerida ka sügisel ja talvel, kui õhuniiskuse tase on kõrge.
- Selle aja raames jõuti välja arendada toimiv lennuplatvorm, mis kindlasti vajab edasiarenduse, et parandada süsteemide töökindlust ning koostöövõimet.

KOKKUVÕTE

Uurimustöö eesmärgiks oli sõiduteede seisukorra hindamiseks vajaliku autonoomse lendava drooni prototüübi väljatöötamine, katsetamine ning droonipõhise kaugseire teostatavuse analüüs. Selleks alustati uuringuga mille käigus selgitati välja droonide erinevad liigid, kasutusvaldkonnad, konfiguratsioonid ning analüüsiti nende eelised ja puudused. Lisaks uuriti mis eesmärkidel droone kasutatakse ja mis valdkondades, keskendudes peaaesjalikult seiredroonidele. Tutvuti Maanteeameti järelevalve osakonna tööga mille käigus kirjeldati järelevalve protsess terviklikult. Saadud teavet kasutati arenduse lõppfaasis kaugseire teostatavuse analüüsiks.

Töö käigus valmistati autonoomne kaugseire drooni prototüüp. Prototüübiga teostati kaugseiret ettemääratud teelõigul. Arenduse käigus pöörati tähelepanu integreeritud süsteemide avatud arhitektuurile ja laiale konfigureeritavusele. Eelpoolnimetatul on just oluline esmaste uuringute ja teostatavusanalüüsi alguses faasis. Lisaks prooviti pakkuda kulusäästlikku lahendus arvestades drooni operaatorite algset madalat ettevalmistatavuse taset mis võib olla suureks riskiteguriks drooniga töötamisel.

Töö viimases faasis viidi läbi salvestatud seirevideote põhjal tee korrashoiu järelevalve teostamise protsess. Protsessi käigus hinnati teostatavust ning ajakulu.

Kokkuvõtvalt jõuti arvamusele, et kaugseire teedel kasutades autonoomset drooni on tehnoloogiliselt võimalik kuid tuleb arvestada erinevaid võimalikke tekkivaid ohte. Kindlasti on nimetatud seire teostamine võimalik ainult kindlatel teelõikudel ja ei asenda järelevalve spetsialisti tööd.

- [1] Maanteeamet, „Hooldesündmuste infosüsteem,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://hosis.mnt.ee/web/#/login>. [Kasutatud 11 01 2021].
- [2] Transpordiamet, „Mehitamata õhusõidukid, sealhulgas droonid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ecaa.ee/et/lennundustehnika-ja-lennutegevus/mehitamata-ohusoidukid-sealhulgas-droonid>. [Kasutatud 02 12 2020].
- [3] Air Drone Craze, „The Future of Drone Technology,“ Air Drone Craze, [Võrgumaterjal]. Available: <https://airdronecraze.com/drone-tech/>. [Kasutatud 22 12 2020].
- [4] BI Intelligence, „Drone technology uses and applications for commercial, industrial and military drones in 2020 and the future,“ 18 12 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.businessinsider.com/drone-technology-uses-applications>. [Kasutatud 22 12 2020].
- [5] PPA ostetud droon.. [Art]. Politsei ja Piirivalveamet, 2018.
- [6] Droonid - Kas sõjanduse tulevik?. [Art]. Ajakiri Sõdur, 2014.
- [7] M. Kuuse, „Eesti droonitehnoloogia teeb ära kümne mehe töö,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.investly.co/et/blogi/kaibekapitali-kaasamine-annab-eelise-konkurentide-ees-hepta-energy-edulugu>. [Kasutatud 10 01 2021].
- [8] EOS C VTOL. [Art]. Threod Systems, 2020.
- [9] DJI, „Inspire 2,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dji.com/ee/inspire-2>. [Kasutatud 07 12 2020].
- [10] DJI, „MATRICE 600 PRO,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dji.com/ee/matrice600-pro>. [Kasutatud 07 12 2020].
- [11] Freefly, „Alta 8,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://store.freeflysystems.com/products/alta-8>. [Kasutatud 07 12 2020].
- [12] Freefly, „Alta X,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://store.freeflysystems.com/collections/alta-x>. [Kasutatud 07 12 2020].
- [13] IVC, TBS, „TBS Groundstation,“ 2020.
- [14] „iNavFlight Missions,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://github.com/iNavFlight/inav/wiki/iNavFlight-Missions>. [Kasutatud 30 04 2021].
- [15] „Mission Planner for INAV,“ Eziosoft, [Võrgumaterjal]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.eziosoft.ezgui.inav&hl=en>. [Kasutatud 30 04 21].
- [16] „iNav Waypoint Mission Notes,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://newtonairlines.blogspot.com/2020/06/inav-waypoint-notes.html>. [Kasutatud 30 04 2021].
- [17] R. Laguna, R. Barrientos, F. L. Blázquez ja L. L. Miguel, „Traffic sign recognition application based on image processing techniques,“ %1 *Proceedings of the 19th World Congress The International Federation of Automatic Control*, Cape Town, 2014.
- [18] M. Swathi ja K. V. Suresh, „Automatic Traffic Sign Detection and Recognition: A Review,“ 2021.
- [19] Hepta Airborne, „ubird Login,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://api.ubird.eu/ubird/>. [Kasutatud 27 04 2021].
- [20] Google Inc., „TensorFlow,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tensorflow.org/>. [Kasutatud 27 04 2021].
- [21] Maanteeamet, „Korrashoiu järelevalve juhend riigiteedel MA 2016-022,“ Maanteeamet, Tallinn, 2016.

- [22] Lennuamet, „Infovoldik,“ 18 12 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ecaa.ee/sites/default/files/voldik.pdf>.
- [23] Lennuamet, „Mehitamata õhusõidukite (sh droonide) müügi ja käitamise juhend,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ecaa.ee/sites/default/files/content-editors/ops/droonid/juhend.pdf>. [Kasutatud 18 12 2020].
- [24] Lennuamet, „KÄITAJA MEELESPEA,“ 18 12 2020. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.ecaa.ee/sites/default/files/content-editors/ops/droonid/meelespea_kaitajale.pdf.
- [25] Insta360, „Insta360 Studio 2020 Tutorial,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.insta360.com/support/supportcourse?post_id=18072. [Kasutatud 09 01 2021].

Lisa 1. Tehniline kirjeldus

Droonide kasutamise võimalikkusest korrashoiutööde järelevalvel

Riigihanke alusdokument I

TEHNILINE KIRJELDUS

Sissejuhatus

Maanteeameti hooldevaldkonna tegevusprogrammis on aastateks 2019-2021 püstitatud eesmärgiks välja selgitada riigiteede korrashoiu ülesehituse võimalused tulevikus, sealhulgas hangete korraldamise ja korrashoiu eest tasustamise põhimõtted, seisundinõuete rakendamise põhimõtete täpsustamine, järelevalve tegemise võimalikud viisid, teehoolde IT-rakenduste võimalikud arendused, liiklejatele sõiduoludest teavitamine jne. Ühe tegevusena on kavas selgitada välja, kas ja kui suures ulatuses oleks võimalik korrashoiutööde järelevalve tegemine droonide abil tihedama liiklusega teedel kus autoga aeglaselt liikudes järelevalve teostamine ei pruugi olla kõige turvalisem lahendus.

1. Teostatavad tööd

- 1.1. Töövõtja soetab drooni koos vajalike lisaseadmetega, millega katsetada riigiteede korrashoiu tööde järelevalvet. Lepingu lõppedes peab drooni koos lisaseadmetega Tellijale üle andma. Nõuded droonile:
 - 1.1.1. Droon peab suutma lennata kas automaatselt eelsisestatud marsruudi järgi (eelistatud) või peab olema vähemalt 6 km kauguselt juhitav, et drooni juhtiv isik ei peaks seda lendamise ajal autoga saatma
 - 1.1.2. Drooni põhi- ja FPV-kaamera peab edastama videosignaale kuni 6 kilomeetri kauguselt. Põhikaamera video-ülekanne resolutsioon minimaalselt 720p
 - 1.1.3. Droonil peab omama vähemalt 2 paralleelselt akut, ent peab olema võimeline turvaliselt lendama ja maanduma ka ühega, kui teise akuga peaks ilmnenema probleem
 - 1.1.4. Automaatne tuvastamine kuni 25 meetri kaugusel asuvate takistustele, võimaldades turvalist lendu kiiruseni 15m/s (55km/h). Takistusi tuvastavad süsteemid peavad toimima tava- ja automaatrežiimides ning automaatselt koju naasmisel.
 - 1.1.5. Vähemalt 2 kaamerat kus on lisaks põhikaamerale ka teine, kaheteljelisel gimbalil stabiliseeritud ja alati ettepoole suunatud FPV-kaamera. mille kaamera pildil saab ühe puudutusega valida koha ning droon valitud suunas teele saata. Samal ajal peab olema võimalik põhikaamerat igas suunas keerata, ja ei peaks tegelema samal ajal enam drooni piloteerimisega.
 - 1.1.6. Horisontaallennu kiirus vähemalt 90 km/h, tõusukiirus 8 m/s ja laskumiskiirus 6 m/s.
- 1.2. Töövõtja tagab Tellijale ligipääsu drooni kaameraga filmitud videotele mis on salvestatud katselendude ajal.
- 1.3. Drooniga tuleb teha testlende vähemalt 24 tundi lepinguperioodi jooksul ja seda päevasel ajal kui on piisavalt valgust puuduste tuvastamiseks.

- 1.4. Töövõtja katsetab drooni võimekust iseseisvalt avastada puudusi vastavalt "Korrashoiu järelevalve juhend riigiteedel" Tabelile 1 „Riigiteede seisundi puudused, nende arvestuslikud ulatused ning ajad puuduse tähistamiseks ja kõrvaldamiseks“.
- 1.5. Automaatse puuduste tuvastamise tarkvara väljatöötamine ei ole käesolevas töös ettenähtud, kuid töövõtja ülesanne on välja selgitada kas taoline tarkvara on mingil määral olemas ja kui suures ulatuses puuduste avastamisel on seda võimalik kasutada.
- 1.6. Võimalikke automaatelt tuvastatud puudusi peab olema tulevikus võimalik samuti automaatselt edastada HOSIS keskkonda. Droon peaks fikseerima avastatud puuduse korral asukoha koordinaadid ja punktis 1.5 kirjeldatud tabelis oleva puuduse järjekorra numbri. Käesolevas töös ei ole nõutud andmete automaatset edastamist.
- 1.7. Töövõtja vastutab Lepingu täitmise perioodi jooksul drooni toimimise ja korrasoleku eest, sh. andmete terviklikusse ning teostab kõik vajalikud hooldused vastavalt seadmete tootja spetsifikatsioonidele.
- 1.8. Töövõtja lepib vähemalt 1 päeva enne tellija esindajaga kokku, kus ja millal on kavas drooniga testlende teostada.
- 1.9. Töövõtja peab taotlema kõik drooni lennutamiseks vajaminevad load.
- 1.10. Töövõtja korraldab drooniga järelevalve tegemise koolituse kuni kolmele Tellija esindajale.

2. Ajakava tööde teostamiseks

Neli kuud alates lepingu allkirjastamisest Tellija poolt.

3. Tegevuskava ja töökoosolekud

- 3.1. Töövõtja koostab tegevuskava esialgse projekti ja esitab Tellijale kooskõlastamiseks hiljemalt 7 päeva jooksul peale lepingu sõlmimist.
- 3.2. Töövõtjalt oodatakse valmisolekut teha töö käigus saadud kogemuste alusel muudatusi algses, esimesel töökoosolekul kokkulepitud tegevuskavas, ning olla eesmärkide ja tulemuste saavutamiseks tegevustes piisavalt paindlik.
- 3.3. Töövõtja peab arvestama tegevuste korraldamiseks Maanteeameti Kontseptsiooni töögrupi poolt saadud soovitusi.
- 3.4. Esimese töökoosoleku kutsub kokku Tellija projektijuht (lepingus määratud kui Tellija kontaktisik) vahetult peale lepingu sõlmimist. Järgnevad töökoosolekud kutsub Tellija projektijuht kokku vajadusel.

4. Analüüsi teostamine ja aruande koostamine

- 4.1. Igakukselt esitab Töövõtja Tellija nõudmisel aruande tööde kulgemisest, tekkinud probleemidest koos võimalike lahenduste .
- 4.2. 3,5 kuu jooksul alates Lepingu sõlmimisest koostab Töövõtja teostatud töö ja tegevuste kohta lõpparuande, mis sisaldab ülevaadet drooni poolt avastatud puudustest, kirjeldab töö kulgu ja tulemusi, probleeme ja annab soovitusi edaspidisteks tegevusteks
- 4.3. Lõpparuanne tuleb esitada Tellijale hiljemalt 14 päeva enne lepingu lõpptähtaega ja see peab sisaldama vähemalt:
 - 4.3.1. Ülevaadet drooni valikust ja selle plussid ja miinused võrreldes analoogidega sh. maksumused erinevatel droonidel.
 - 4.3.2. Tuua välja, milliseid puudusi Tabel 1-st on võimalik droonide abil fikseerida ja milliseid mitte.
 - 4.3.3. Automaatse tuvastuse puhul reaalselt esinenud puudused ja drooni poolt fikseeritud puuduste võrdlus. Tuua välja võimalikud põhjused, miks mingit sorti puudused droonil avastamata jäid?
 - 4.3.4. Ülevaade tarkvara lahendusest mille abil drooni filmitud materjalist oli võimalik selekteerida puuduseid.
 - 4.3.5. Kirjeldab töö kulgu ja toob välja kõik tekkinud probleemid ja lahendused neile.
 - 4.3.6. Toob välja droonide hooldustööde loetelu ning regulaarsuse koos maksumustega.
 - 4.3.7. Ülevaade tänapäeva droonidest, milleks need võimelised on ja kus neid enim kasutatakse.

5. Aruannete vormistamine ja esitlemine

- 5.1. Aruanne esitatakse eestikeelsena digitaalselt PDF formaadis (MNT tellitud töö aruande kujundusega. Lisa 4 ja Lisa 5).
- 5.2. Töövõtja peab koostama põhjaruandest ettekande (eesti keeles, sh .pptx formaadis fail). Koostama artikli ajakirja "Teeleht", pikkusega kuni 1 lk. Artikli ilmumise aja lepib Tellija ajakirja väljaandjaga kokku.
- 5.3. Töövõtja korraldab peale lõpparuande valmimist ja Tellija poolt heakskiidu saamist aruande presentatsiooni Maanteeameti keskuses, Teelise 4, Tallinn, kestvusega ~1 tund.

Lisa 2. Varuosade nimekiri

Projekt: Droonide kasutamise võimalikkusest korrashoiutööde järelevalvel

Koostas: Tavo Kangru

Kuupäev: 07.01.2020

Maanteehoiu teenistuse seiredrooni varuosade nimekiri koos maksumusega

Pos	Varuosa nimetus	Ühiku maksumus [EUR ilma KM]	Viide	Märkus
1	Tattu R-Line 22.2V 4000mah 6S 95C FPV	120	Droon OÜ	
2	2.4Ghz Yagi (11dB)	52	Droon OÜ	
3	Groundstation 2.4GHz	338	Droon OÜ	
4	Unify 2G4 800mW 16ch	130	Droon OÜ	
5	Crossfire Micro TX V2	91	Droon OÜ	
6	BrainFPV RADIX Flight Controller	28	Droon OÜ	
7	TBS Crossfire Diversity Nano RX	65	Droon OÜ	
8	MAD Polar XC5000 380kV (8-14S)	130	Droon OÜ	
9	APD PDB500	104	Droon OÜ	
10	APD 120F3	130	Droon OÜ	
11	TBS Source X jalg	20	Droon OÜ	
12	TBS Source X raamiplaat	100	Droon OÜ	
13	Caddx Ratel	41	Droon OÜ	
14	BrainFPV GPS	43	Droon OÜ	
15	VAS 2.4GHz Victory Antenna (RHCP)	33	Droon OÜ	
16	RadioMaster TX16S HALL 16ch 2.4ghz	197	Droon OÜ	
17	Propeller 10X	20	Droon OÜ	
18	Jala kandur PN:201213002	50	OÜ Toucan Engineering	
19	Jala toru PN:201229001	5	OÜ Toucan Engineering	
20	Jala taldmik PN:201229002	8	OÜ Toucan Engineering	
21	Lasti kinnituspesa PN:201230001	25	OÜ Toucan Engineering	
22	Lasti varras ¼-20 UNC PN:201230002	15	OÜ Toucan Engineering	
23	Indikaatori korpus PN:201231002	15	OÜ Toucan Engineering	
24	Alumine kate PN:210101003	30	OÜ Toucan Engineering	
25	Ülemine kate PN:210101002	25	OÜ Toucan Engineering	

Lisa 3. Drooniseire teostamisest kaubanduslikel eesmärkidel

Simon Felding

UURIMISTÖÖ DROONISEIRE TEOSTAMISEST KAUBANDUSLIKEL EESMÄRKIDEL

UURIMISTÖÖ

Õppeaines: PROJEKTITÖÖ TAT422

Tehnikainstituut

Õpperühm: ME/LA

Juhendaja: lektor Tavo Kangru

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
UURIMISTÖÖ LÄBIVIIMISE METOODIKA KIRJELDUS	4
1. TÖÖS KASUTATAVATE LÜHENDITE SELGITUSED	5
2. METSAMAJANDUSES KASUTATAVAD DROONID	6
2.1 Metsamajanduses kasutatavate droonide võimekuse ülevaade.....	6
2.2 MTÜ Ühinenud metsaomanikud – DJI Mavic Pro	6
3. Aeromõõdistamine droonilt	10
3.1 Reaalprojekt OÜ droon	10
3.2 DJI Phantom 4.....	12
4. Elektriliinide seire – Hepta Airboren droon.....	15
5. VTOL droonid	18
5.1 WingtaOne droon.....	18
5.2 Aerovironment Quantix Mapper.....	22
6. KOKKUPÕRKEKINDLAD DROONID – FLYABILITY ELIOS2	23
7. PÕLLUMAJANDUSES KASUTATAVAD DROONID.....	25
7.1 Sentera PHX.....	25
7.2 SenseFly eBee SQ.....	26
LISAD	28
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU	36

SISSEJUHATUS

Uurimistöö eesmärk on viia läbi veebipõhine uuring ettevõtetes kasutatavate droonide kohta, millega oleks võimalik teostada teekorrashoiu alast seiret suure liiklustihedusega magistraalidel kui ka kõrvalteedel. Uuring on läbi viidud 2020. aasta sügisel. Käesoleva töö skoobis on lendavad droonid, millega on võimalik teostada vaatlustöid. Uurimistöös fookusest on jäetud välja nimetatud droonide tarkvaralahendused.

Kuna droonidega seonduv on võrdlemisi uus ja kiirelt arenev ala, siis kirjandust mis annaks hea aktuaalse ülevaate Eestis praktikas kasutatavate seadmete üle ei ole. Seetõttu oli infokogumise põhirõhk veebiotsingul. Käesolev töö toetub mitmete artiklitele, ettevõtete kodulehtedele jms vabalt kättesaadavale veebimaterjalile. Uurimistöö skoobis ei ole teadustööd ja -artiklid.

Autor annab lühiülevaate droonide võimekusest ja toob näiteid ka drooni piloodi töökohast. Autor toob välja droonide tüübi, margi ja karakteristika. Töö lõpus on tabel, kuhu on koondatud erinevate droonide info, mis hõlbustab erinevate droonide omavahelist võrdlust.

UURIMISTÖÖ LÄBIVIIMISE METOODIKA KIRJELDUS

Põhiline infoallikas on Google otsingumootor. Märksõnadega “metsandus droon,” “aerial road inspection,” “observation drone,” “road inspection with drone” on leitavad mitmed artiklid, ettevõtete kodulehed jms kust on leitavad viited mitmetele firmadele kes pakuvad drooniseire teenuseid. Täpsemaid andmeid droonide kohta on kogutud võimalusel drooni tootjapoolsest dokumentatsioonist. Juhul kui uuritav droon on firma enda poolt arendatud ja spetsifikatsioon ei ole kättesaadav, siis on toetunud klientide tagasisides välja toodud mõõdetavatele suurustele ja drooni teenuse isloomustusele.

1. TÖÖS KASUTATAVATE LÜHENDITE SELGITUSED

GLONASS - akronüüm vene keelsetest sõnadest Глобальная навигационная спутниковая система - (ГЛОНАСС). Tegemist on satelliitnavigatsiooni süsteemiga, mis töötati välja NSV Liidus ning mida praegu juhib ja haldab Venemaa.

Vision Positioning - abisüsteem, mis aitab juhtida DJI Mavic drooni lendu juhul kui puudub GPS signaal (siseruumides, sildade/taimestiku all vms.)

GPS – akronüüm inglise keelsetest sõnadest *Global Positioning System*. Mõiste tähendab üleilmset satelliitpositsioneerimise süsteemi.

FCC - akronüüm inglise keelsetest sõnadest *Federal Communications Commission*. Sõltumatu asutus USA-s, mis reguleerib tele-, radio-, kaabel- ja satelliitkommunikatsiooni. Asutus väljastab sama tähisega sertifikaati, mis kinnitab et toode vastab vajalikele nõuetele, et seda saaks USA pinnal müüa ilma täiendavate piiranguteta. [1]

CE - sertifitseerimismärk, mis tagab toote vastavuse Euroopas kehtivatele nõuetele [2]

SRRC - Hiina turul müüdavale raadiotehnoloogiat kasutavale tootele omistatav sertifitseerimismärk, mis tõendab et toode vastab kõigile nõuetele [3]

MIC – Jaapani turul müüdavale raadiotehnoloogiat kasutavale tootele omistatav sertifitseerimismärk, mis tõendab et toode vastab kõigile nõuetele. Reguleerib *Bluetooth* ja traadita kohtvõrke, mobiilsidet (2G, 3G, 4G, 5G), Raadiosaagedusi (2.4 GHz, 920 MHz) ja ultra lairiba signaale. [4]

LIDAR - akronüüm inglise k. *Light Detection And Ranging*. Tõlgituna laser-kaugus mõõtmine.

VTOL – akronüüm inglise k. *Vertical Take Off and Landing*. Tõlgituna vertikaalsihis õhku tõusev ja maanduv.

iOS – Apple Inc. nutiseadmetel kasutatav operatsioonisüsteem.

HD – lühend inglise k. *High Definition*. Tõlgituna kõrglahutusvõime monitoril. Tähendab monitoril kuvataava info suurt teravustäpsust.

BeiDou – Hiinas välja töötatud satelliitnavigatsioonisüsteem.

Galileo – Euroopa ühendriikides välja töötatud satelliitnavigatsioonisüsteem.

RGB – inglise k. akronüüm sõnadest *Red, Green, Blue*. Värvide loomise mudel, kus punase, roheline ja Sinise kombinatsioonides luuakse kõik värvitoonid.

2. METSAMAJANDUSES KASUTATAVAD DROONID

2.1 Metsamajanduses kasutatavate droonide võimekuse ülevaade

Luuu metsanduskoolis on arendatud välja kaasaegsele metsamajanduse töö iseloomule sobiv drooni tarkvara. Metsanduse visioonikonverentsil peetud esitluses andis Silver Pärn, kes on üks tarkvara arendajatest hea ülevaate sektoris kasutatavate droonide ja tarkvaralahenduste võimekusest.

Tema sõnul on droonilt saadava info põhjal võimalik näiteks planeerida kokkuveo teid ja tulemus on piisavalt täpne, et eristada uut metsa juurdekasvu. Ülesvõtteid on võimalik jagada ilma järeltöötluseta objektilt.

Droonilt saadav info järeltöödeldakse ja ortofoto põimitakse Google kaardiga. Tööde täpsust ilmestab järeltöötlusest saadav tulemus - võimalik on eristada erinevaid puuliike.

Töö kiiruse iseloomustuseks tõi kõneleja välja, et 7 hektarise kaasiku ortofoto tegemine võtab aega 25 minutit. Kasutusel on ka LIDAR mis annab rohkelt punkte vaadeldava objekti kohta, ent see on veelgi ajakulukam. [5]

2.2 MTÜ Ühinenud metsaomanikud – DJI Mavic Pro

MTÜ Ühinenud metsaomanikud kasutab oma metsa majandamisel drooni DJI droon Mavic Pro. Seadme lennukaugus on 6,9km, tal on 4K resolutsiooniga kaamera ja sensorid, mis suudavad tuvastada takistusi 15m kauguselt. MTÜ Ühinenud Metsaomanikud drooni kogemus sai alguse 2017. aastal. [6]

Pille-Riin Ressaar andis intervjuu õppelehele “Sinu mets,” kus ta kirjeldas drooni kasutamise mugavusi. Temas sõnul jääb reaalne lennukaugus erinevate tingimuste keskmisena ~2 km raadiusesse ja pikimaks lennu ajaks ~22 minutit – see annab kolme akuga tunniajase lennuaja, mis on üheks pikaks metsapäevaks täiesti piisav. Kõik sõltub õhutemperatuurist, tuule tugevusest ja lennustiilist. Vajaduse korral saab kasutada autos olevat laadijat, et teel järgmisele kinnistule tühjad akud laadida. [6]

Mavicu eelis on, et seda on võimalik pisikeseks voltida (83mm x 83mm x 198mm). Metsas töötades aitavad Mavicut hoida sensorid, mis tuvastavad takistuse juba 15 m kauguselt. See võimaldab droonil ise takistusest kõrvale kalduda, et vältida õnnetusi. Metsa minnes on droon

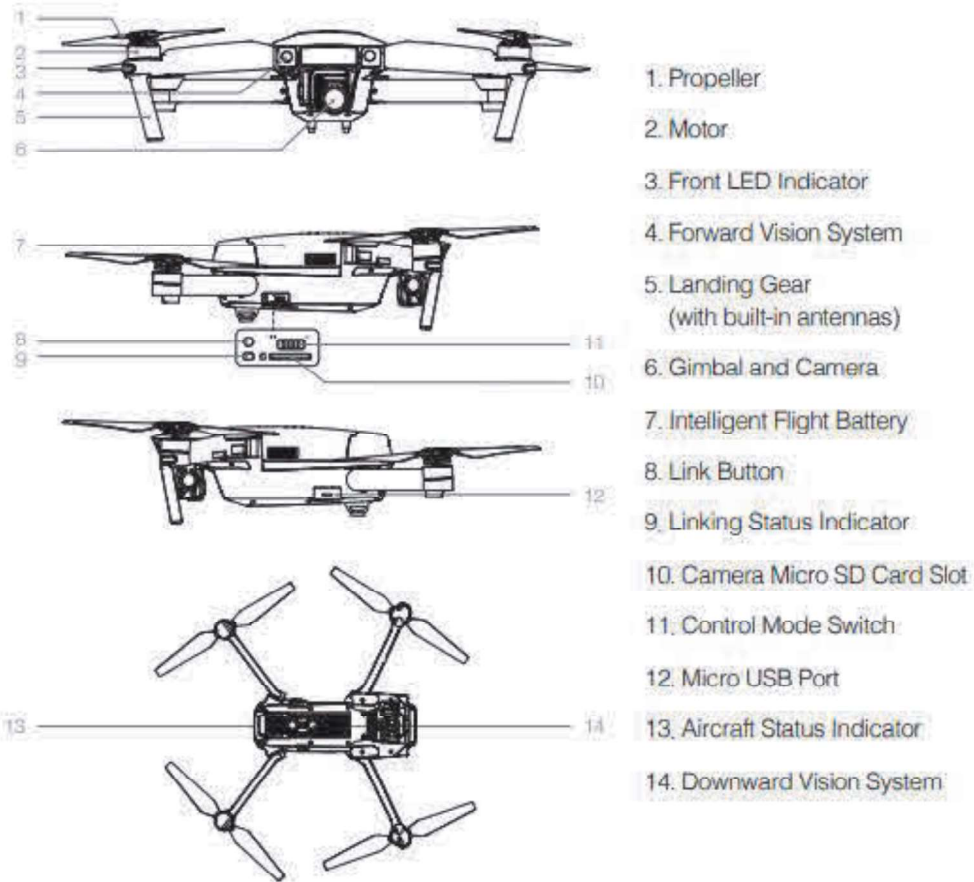
pakitud pisikesse kandekotti, milles on ka pult ja varu akud. See teeb drooni kasutamise väga mugavaks. [6]

Kasutusel on metsamajanduse tarkvara Forest Information System (FIS), millele on loodud eraldi äpp E-Mets (töötab ainult iOS operatsioonisüsteemiga). E-Mets kasutab metsaregistri andmeid ja näitab reaajas drooni asukohta eraldisel. Äpp jagab ekraani kaheks ning korraga on näha drooni kaamerast tulev pilt ja drooni asukoht eraldisel. [7]

Drooni tootjapoolse spetsifikatsiooni alusel on loodud Tabel 1, mis kirjeldab lennumasina karakteristikat. Tabelisse 2 on koondatud drooniga seonduva lisavarustuse olulisem informatsioon.

Tabelis 1 on välja toodud drooni dünaamilised karakteristikud ja juhtsignaali andmed, tabelisse 2 on lisatud tootjapoolne spetsifikatsioon lisavarustuse kohta.

Aircraft Diagram





Sele 2 DJI Mavic Pro droon

[9]

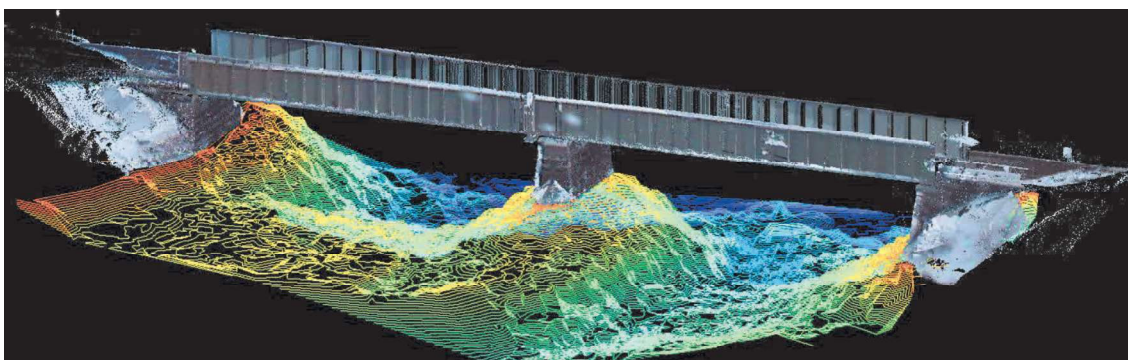
3. Aeromõõdistamine droonilt

3.1 Reaalprojekt OÜ droon

Firma Reaalprojekt OÜ tegeleb taristu ja tehnorajatiste projekteerimise, järelvalve, ekspertiisi, geodeesia, geoloogia ja geotehnikaga.

Koostöös Reaalprojekt OÜ tütarfirmaga SIA Latvijasmernieks.lv pakutakse aeromõõdistuse teenust multikopteri abil ja soome ettevõttega VRT FINLAND OY teostatakse mõõdistustöid näiteks sildadele ja sadamatele nii veepealsetest objektidest kui ka veealustest objektidest luues neist terviklikud mudelid.

[10]



Sele 3. 3D mudel skaneeritud sillast

[10]

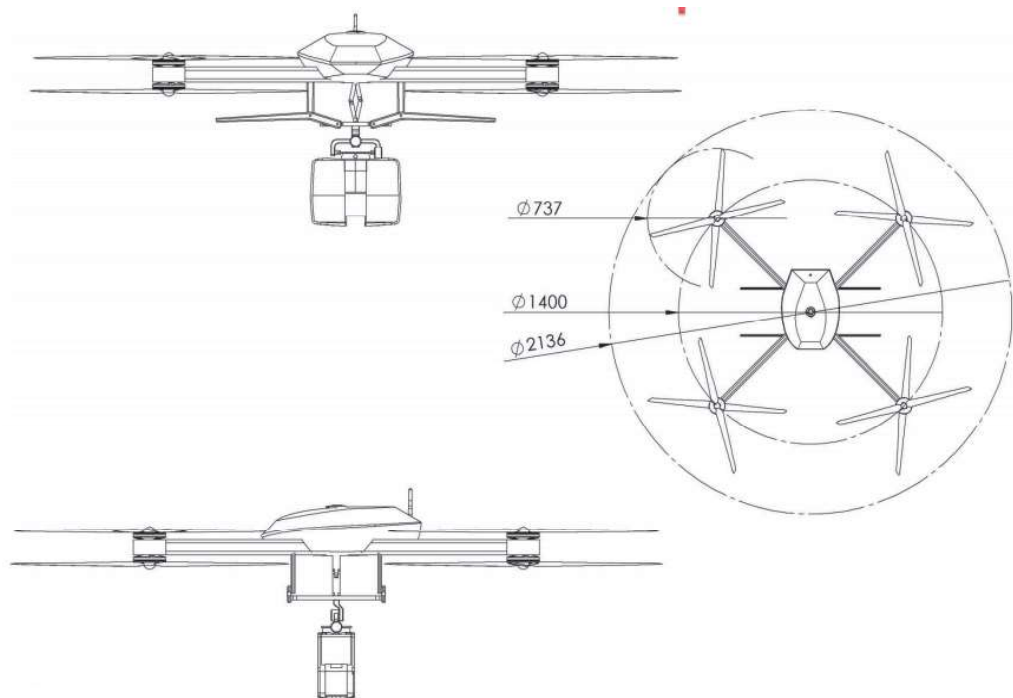
Tegemist on nelja rootorilise kopterdrooniga, mis on keskpärase lennuajaga ja suudab kanda võrdlemisi rasket lasti. Drooni karakteristikud on koondatud tabelisse 3.

[11]



Sele 4 Drooni 3D mudel

[11]



Sele 5 Drooni eskiis

[11]



Sele 6 Drooni juhtimismoodul

[11]

Drooni juhtimismoodul on kompaktne. Puldi ekraanidelt kuvatakse lennuinfo ja näidikute info. Drooni juhtimiseks on üks kontrollpult ja teine on lasti (kaamera vms.) jaoks. Kolmas ekraan kuvab navigatsiooni info. Lennuinfo on operaatorile igal hetkel kättesaadav. [11]

3.2 DJI Phantom 4

DJI Phantom 4 droone kasutatakse üle maailma. Näiteks USA, Minnesota osariigis tegutsev Bolton & Menk, kui ka Eestis tegutsev Hades Geodeesia. Ameeriklased on välja toonud selle, et DJI Phantom 4 drooniga on neil hea kogemus, kui kontrolliti 26 miili ulatuses sõiduteede infrastruktuuri kulumist. Seireks kulus kaheliikmelisel meeskonnal 2 tööpäeva, mille vältel sooritati 18 lendu. [12]

Hades Geodeesia soovib DJI Phantom 4 drooniga teostada töid, mis on vaja teha just madalatel kõrgustel. [13]

Tegemist on nelja rootorilise kopterdrooniga, mis on arendatud just madalatel kõrgustel töötamiseks. Phantom 4 on saanud ka uue version, mis kannab tunust RTK. Seeläbi on tõstetud drooni positsioneerimise täpsust horisontaalsihis 1cm-ni ja vertikaalsihis 1.5cm-ni. Seel 17 on kujutatud drooni eskiis. [14]

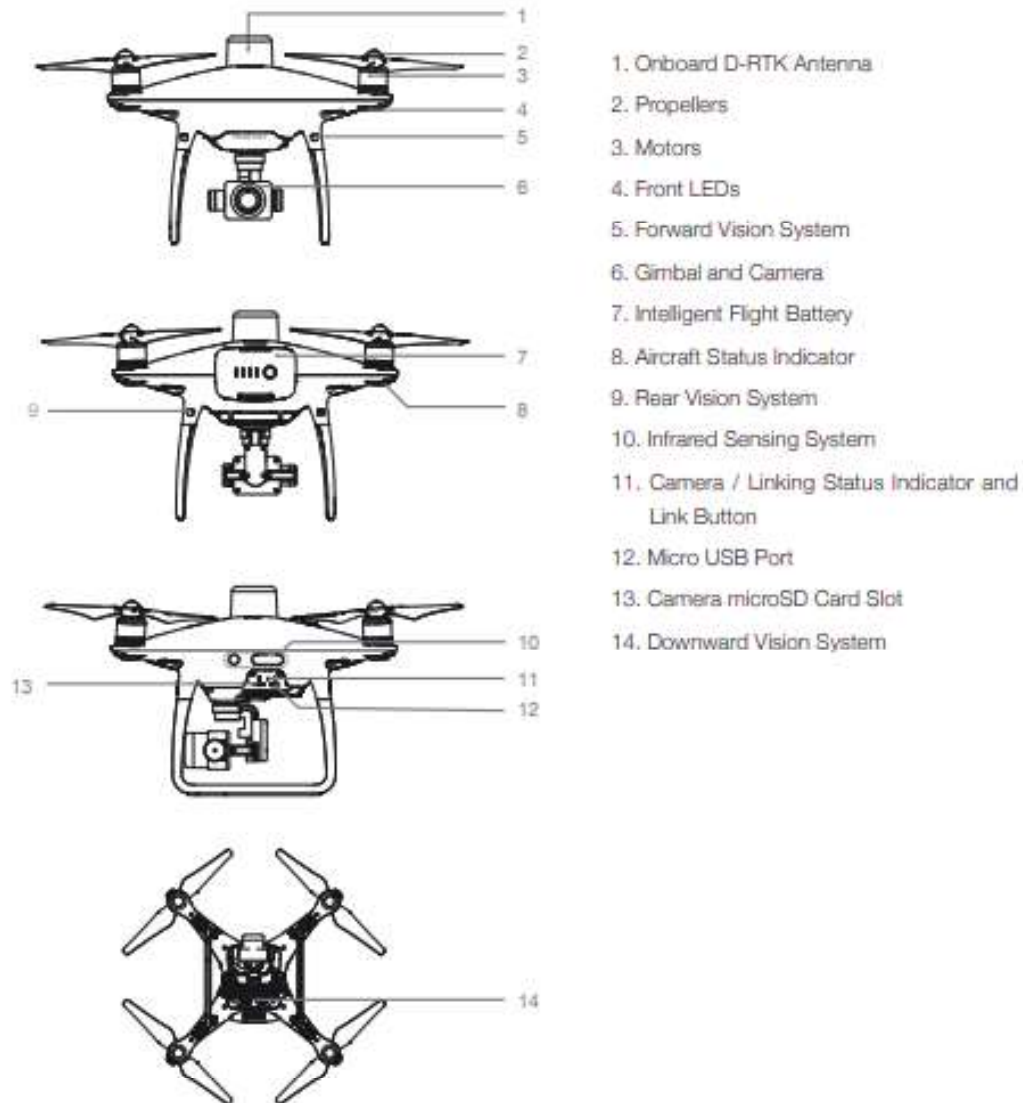
Drooni juhtimispuлдilt saab valida mitmete lennurežiimide vahel ja piloodil on ülevaade drooni lennuinfost 5,5 tolliselt tahvelarvutilt. Puldiga on võimalik ühendada sobiv Android või iOS operatsioonisüsteemiga seade, millele saab paigaldada juhtimise rakenduse. Seadme ekraanilt avaneb HD pilt. Drooni tehniline spetsifikatsioon on koondatud tabelisse 7. Tabelist 7 on välja jäetud puldi, kaamerat jm mooduleid puudutav info. [15]



Sele 7. DJI Phantom 4 RTK koos puldiga.

[16]

Aircraft Overview

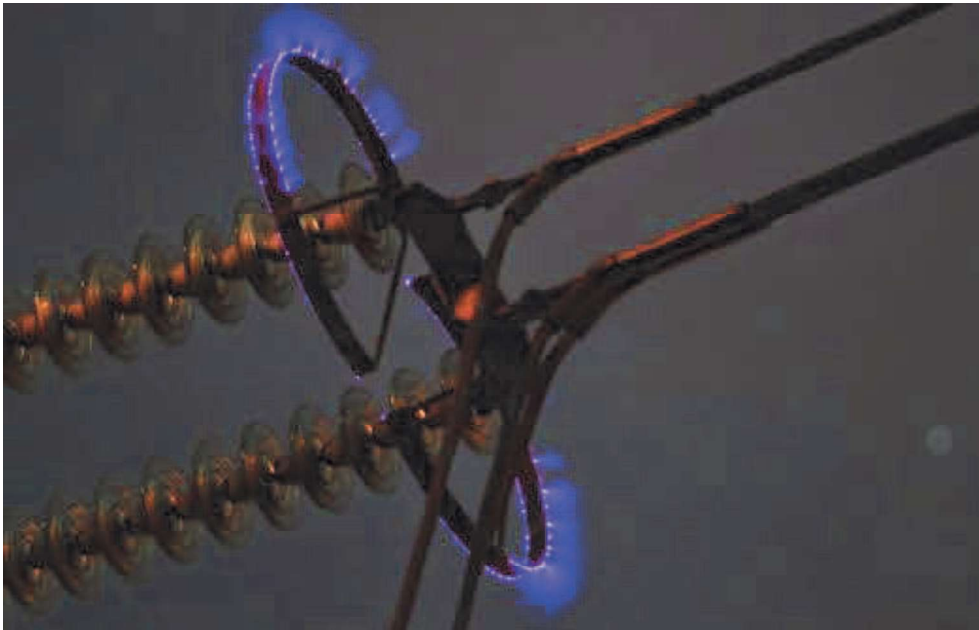


4. Elektriliinide seire – Hepta Airborne droon

Hepta Airborne täidab väga spetsiifilist nišši - töid teostatakse kaugseiredroonidega. Välja on arendatud kopterdroonid, mille lennuulatus on kuni 600 kilomeetrit ja seejuures suudavad õhus püsida kuni kuus tundi korraga. Lennumasinatele on paigaldatud masinnägemisega sensorid, mis tuvastavad seiratava objekti. Tehnilise analüüsi protsess on arendatud äärmiselt lihtsasti hallatavaks - seda juhib tehisintellekt. Drooni spetsifikatsiooni firma kodulehelt ei leia, küll aga on võimalik kokku koguda drooni kirjeldus, mille põhjal on koostatud tabel 4. [17]

- 250 km elektriliini andmete analüüsiks kulub 5 minutit
- Vaatlusi on võimalik teostada keskmisest karmimates ilmastikutingimustes
- Pikemate lendude puhul aitab *Beyond Visual Line of Sight* (BVLOS)
- LiDAR, soojuskaamera, koroonatuvastus
- Sensorite kogutud andmed asuvad kõik ühes keskkonnas.
- Fotod on detailsed
- Andmeid on võimalik koguda ka hämaras ning pimedas.
- Droon tuvastab sensorite abil elektriliinide ja -taristu mittevastavusi
- Tulemused võetakse graafiliselt kokku
- Defektidest ja anomaaliatest on võimalik teha kolmemõõtmelisi mudeleid, hoolimata võimalikust taimestikust kontrollitava objekti ümbruses
- Andmete põhjal on võimalik koostada kihilisi plaane: talletatud vaatlusandmeid saab kõrvutada mitmete teiste plaanidega, näiteks sateliitfotode ja olemasolevate andmebaasidega. [18]

Siinkohal peab autor vajalikuks eraldi seletada loetelu neljanda punkti juures välja toodud koroonatuvastust. Tegemist on füüsilise nähtusega. Definiitsioon: Koroonalahendus ehk koroona (ladina k corona, kroon, pärg) on atmosfäärirõhul või sellele lähedasel rõhul toimuv gaaslahendus, millega kaasneb sinakas helendus. [19]



Sele 9. Koroonalahendus kõrgepingeliinil

[19]

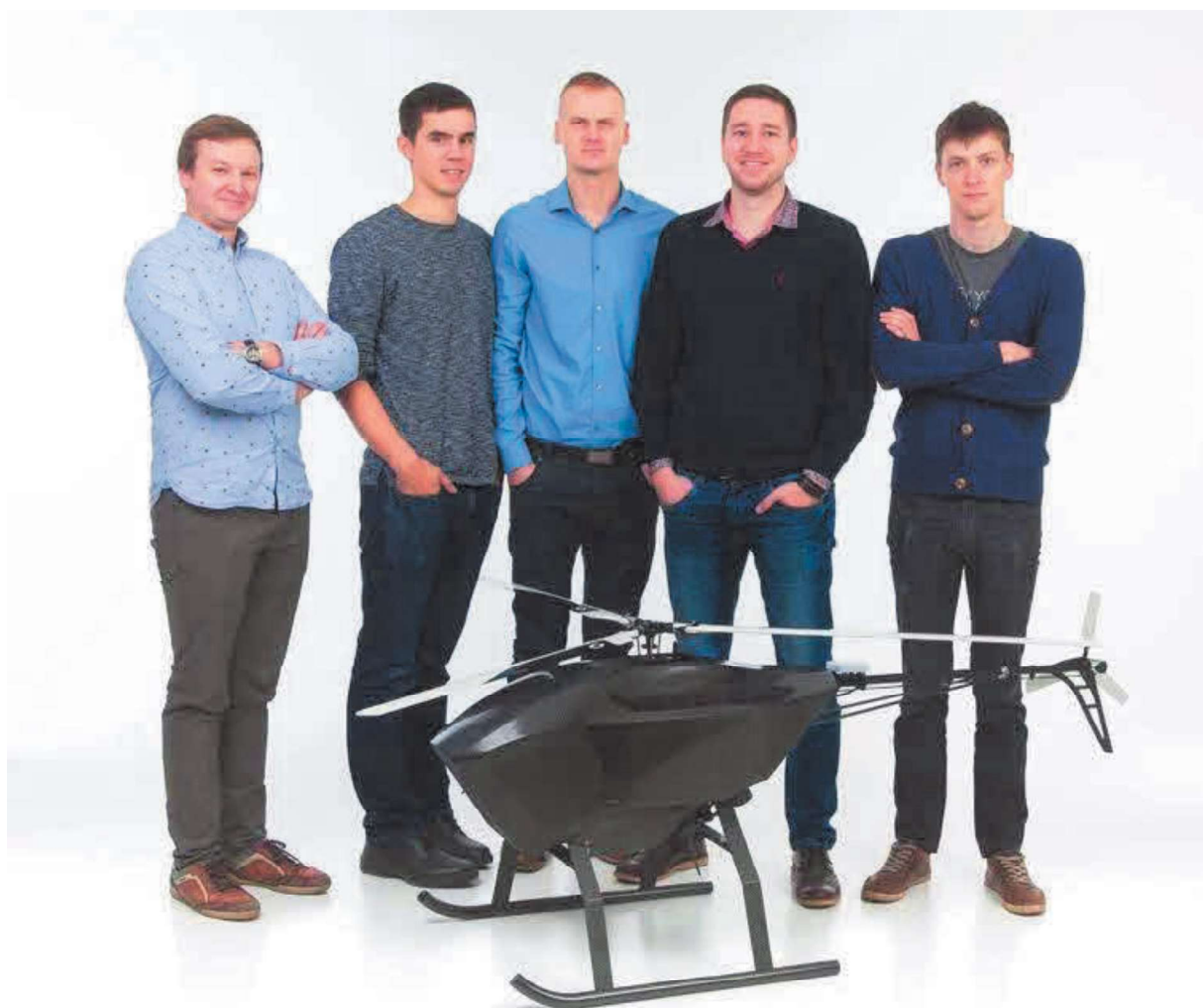
Sellest järeldub, et droonid on mõeldud eelkõige elektritaristu seireks, aga masinatel on võimekus teostada õhust ka muude objektide vaatlust keskmisest kauem ja suurema lennuulatusega.

Firma kodulehelt leiab ka viite tuleviku tootearenduste kohta - arenduses on tööstuslikud autonoomsed, suure lennuulatusega droonid, mis suudavad katta mitme tunni vältel suuremaid maa-alasid.



Sele 10 Hepta Airborne kopterdroon

[17]

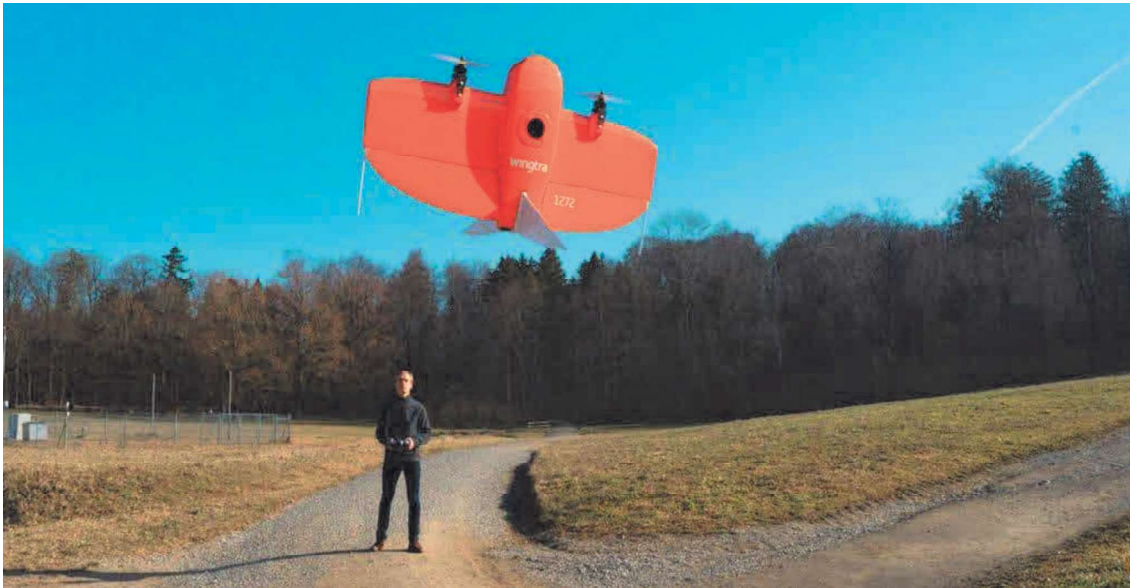


Sele 11 Hepta Airborne kopterdroon koos meeskonnaga [17]

5. VTOL droonid

5.1 WingtraOne droon

Šveitsi firma Wingtra (asutatud 2017) arendatud WingtraOne drooni kasutatakse näiteks Ameerika Ühendriikides kui ka Eestis teedehituse järelvalve seire teostamiseks.

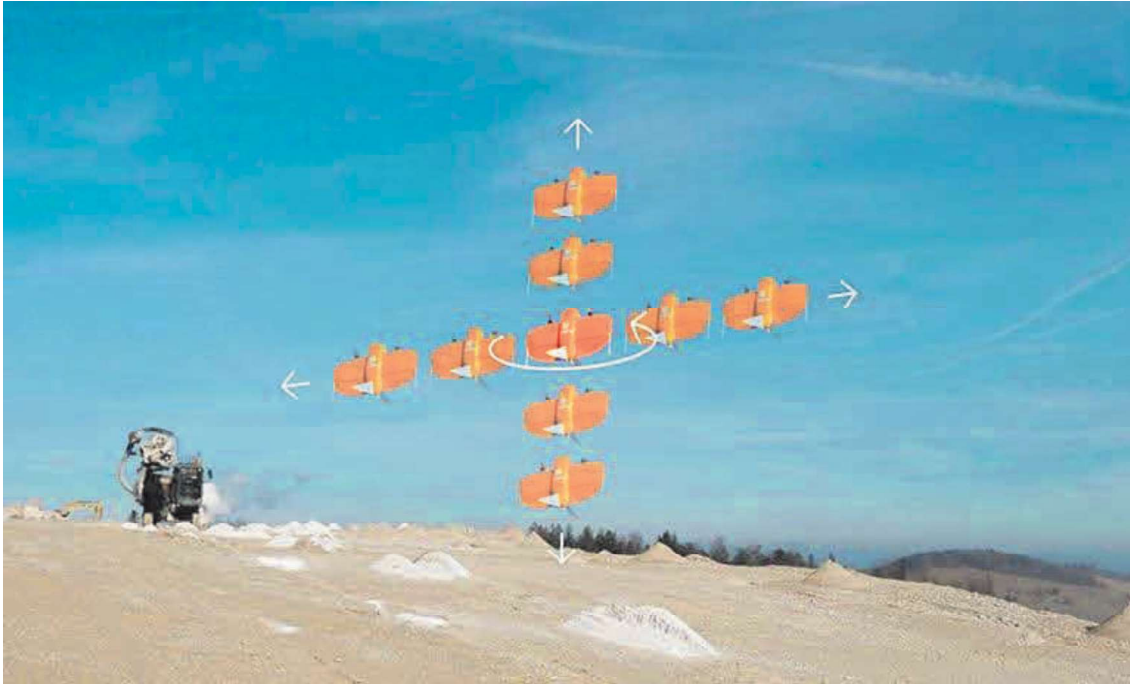


Sele 12. WingtraOne droon õhkutõusul.

Oma disainilt on tegemist vaidtiib lennumasinaga. Droon alustab lendu vertikaalsihis *VTOL* põhimõttel ja läheb kiiruse kogumisel üle horisontaalsihis lennurežiimi. Õhkutõsu kujutab selet 12 olev kujutis. Maandumine toimub taaskord vertikaalsihis. Sellisel disainil on mitmeid eeliseid – aerodünaamiline disain annab talle eelise tavapärase kopterdrooni ees lennuulatuse suhtes ja VTOL maandumine on sama mugav, kui kopterdrooniga. Riistvaraliselt on droon varustatud firma Sony kaamerateaga või Micasense mitmespektrilise kaameraga. Lennutee planeerimine on kasutaja jaoks lihtsustatud tänu intuitiivsele tarkvaraliidesele. Drooni poolt jäädvustatud materjali suudavad töödelda levinuimad fotogramm-meetria tarkvarad, mille abil on võimalik luua täpseid ortofotosid ja kolmemõõtmelisi arvutimudeleid.

Seire isloomustuseks on välja toodud võrdlus eestis tegutseva firma Hades Geodeesia poolt varasemalt kasutatud drooniga, kus päevas teostati seiret 3km ulatuses vaadeldavale teelõigule. WingtraOne drooniga on võimalik ühe vaatluspäevaga katta terve vaadeldav teelõik 22km ulatuses.

[20]



Sele 13. drooni WingtraOne õhkutõusu ajal võimalikud liikumise suunad

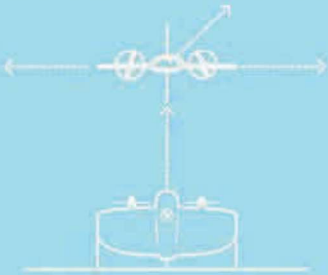
Firma kodulehel on välja toodud drooni lennuajaks kuni 59minutit. Täpsustatud on, et säärane tulemus on saavutatud optimaalsetes tingimustes, milleks on: droon varustatud Sony QX1 /20mm kaameraga ja standard propelleritega, lennukõrguse 20m, lähtepositsioonist kuni 1,2km kaugusel lennates; 15kraadise õhutemperatuuriga ja vähem kui 1m/s puhuva tuulega. Drooni tehniline karakteristik on koondatud tabelisse 5. Tabelist 5 on välja jäetud lisavarustusesse kuuluvate kaamerate täpsemad parameetrid, mida on võimalik leida toote manualist. [21], [22]

Wingtra kodulehelt leiab ka võrdluse teise VTOL tüüpi Aerovironment Quantix drooniga, mis annab hea ülevaate mõlema drooni tugevatest külgedest. Mõlemaid drone on kujutatud seel 14 ja seel 15 on välja toodud mõned WingtraOne eelised Quantix ees. [23]



Sele 14. WingtraOne ja Aeroenvironment Quantix kõrvuti piltidel

WingtraOne vs. Quantix

	WingtraOne	Quantix
Transport and handling	 One person can wheel or carry and it fits in a compact car.	 Requires two people to carry and a van or SUV to transport.
Image overlap options	 Flexible: you can choose percentage.	 Fixed: one option.
Swappable payloads	 Three payloads for different needs, including multi-spectral and high-resolution.	 Two fixed payloads in tandem.
Flight transition options	 Flexible: plan flight and choose your transition direction.	 Fixed: plan flight and transition is in one direction.

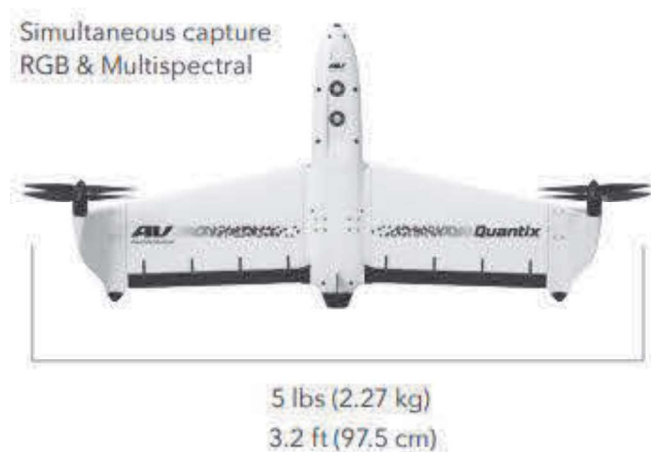
Sele 15. WingtraOne eelised Quantix drooni ees

5.2 Aerovironment Quantix Mapper

USA firmad AeroVironment, Inc. ja Draganfly, Inc. müüvad koostöös drooni Quantix Mapper. Tegemist on hübriid VTOL drooniga, millel on neli propellerit. Droon on arendatud silmas pidades USA põllumajandussektori vajadusi. Drooni juhitakse tahvelarvutiga. Masinat on kujutatud seel 12 koos WingtraOne drooniga, seel 16. ja seel 17 on ta kujutatud oma laiuse gabariitmõõtmega. [24], [25]



Sele 16. Quantix droon



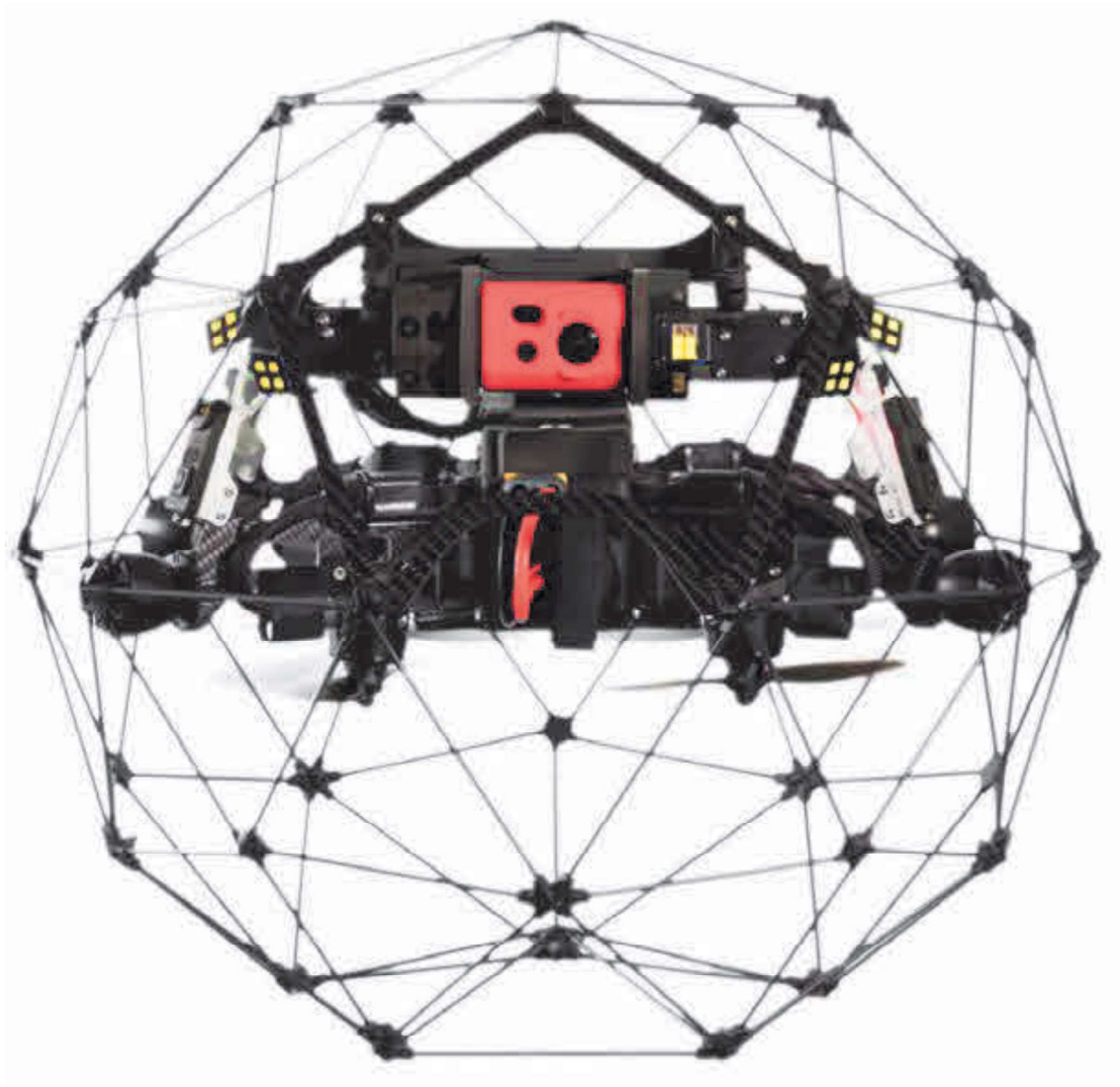
Sele 17. Quantix gabariitmõõde

Drooni tehnilised parameetrid on koondatud tabelisse 6. Tabelist 6 on välja jäetud lisavarustuse (fotokaamera) tehnilised parameetrid. Need on välja toodud tootjapoolses manuaalis.

6. KOKKUPÕRKEKINDLAD DROONID – FLYABILITY ELIOS2

Šveitsi firma Flyability on pühendanud enda ressursid siseruumides kasutatavate droonide arendamisse. See tähendab, et nende arendatud lahendused sobivad nii tööstusele, kui ehitussektoris teostatavaks seireks. Nende arendatud droon Elios 2 on nelja rootoriga droon, mis on sobilik seire teostamiseks kitsastes ruumides ilma visuaalkontaktita, kartmata kokkupõrkeohtu. Drooni ümbritseb metallist membraan millega tagatakse, et lennumasina õrnemad osad nagu näiteks propellerid ei purune kokkupõrke tagajärjel. Hämarate ja täiesti pimedate alade valgustamiseks on droon varustatud lampidega valgushulga 10000 lu tootmiseks. Kõik see tähendab, et drooniga on võimalik asendada varasemalt inimestele ohtlike ülesandeid näiteks katlamajade korstende sisepindu kontrollides või kanalisatsiooni torudes tehtavaid seiretöid. Täpsemalt on drooni rakendatud näiteks kaubanduskeskustes, naftatööstuses, elektrijaamades, tehastes, kaevandustes jne. Kuna sisetingimustes on juhtsignaalile rohkelt segajaid, siis on masinale programmeeritud signaali kadumise korral automaatne maandumine. Masinal on kolm lennurežiimi: OPTI, ATTI ja SPORT. Need on siis samas järjekorras: juhiabidega režiim, vabarežiim ja sportrežiim. Drooni soetades annab tootja masinale 24 kuulise garantii.

[27]



Sele 18. Flyability Elios 2 droon eestvaates.

Drooni spetsifikatsioon on koondatud tabelisse 8. Tabelist 8 on välja jäetud kaamera, juhtpuldi, akulaadija jms. varustuse info. See on leitav tootja manuaalist.

7. PÕLLUMAJANDUSES KASUTATAVAD DROONID

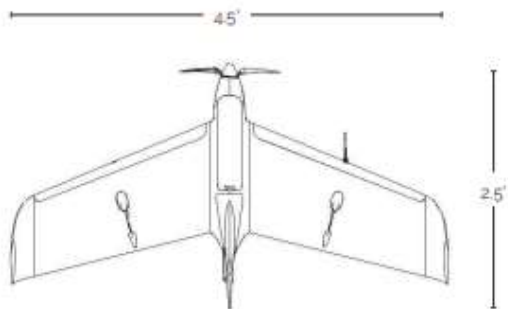
7.1 Sentera PHX

Põllumajanduses kasutatakse droone näiteks suuremate viljapõldude õhust jälgimiseks. Sentera Inc. on arendanud vaidtiib drooni millega saab teostada seiret nii, et piloodile avaneb reaajas HD pilt ja samaaegselt jäädvustatakse vajalik informatsioon, et oleks võimalik tuvastada hälbeid põllul varakult, et vajadusel õigeaegselt sekkuda. Sentera PHX on mõeldud eelkõige kogenud droonipiloodile. Masin lendab ~ 3,2km ulatuses skaneerides nobedalt vaadeldavat ala. Droon on ehitatud nii, et vaatlusmoodulite vahetamine on operaatorile lihtne. Multispektraalsed kaamerad aitavad põllumehel tuvastada umbrohtu kui ka taime seisukorda. Droon ei vaja oma töös internetiühendust ja temaga on võimalik lennata silmsidest kaugemale. Eelseadistus lendamiseks käib nobedasti tänu tarkvaralahendustele ja õhukütõusuks tuleb piloodil droon lendu visata. Õhus olles lendab droon ~56 km/h ja lennuaeg on tal kuni 1h. Drooni hind jääb vahemikku 8499 kuni 11749 dollarit. [29]

Drooni tehniline spetsifikatsioon on koondatud tabelisse 9. Tabelist 9 on välja jäetud moodulite ja lisavarustuse spetsifikatsioon [30]



Sele 19 SneteraPHX droon



Sele 20 Sentera PHX drooni eskiis tollmõõdustikus.

7.2 SenseFly eBee SQ

Šveitsi firma SenseFly (Parrot Drones SAS tütarettevõtte) pakub põllumeestele vaidtiib drooni eBee SQ. Tegemist on kerge drooniga, mida tuleb samuti lendamiseks piloodil käest visata. Masin on välja arendatud nii, et ta kannab endas Parrot kaubamärgi Sequoia nimelist sensorit. Tegemist on ühe väikseima multispektraalse droonisensoriga turul. Sensor on võimeline teostama seiret neljal mittenähtaval spektril lisaks tavapärasele RGB pildile ja kaalub seejuures vaid 72g. [31], [32]

Drooni karakteristik on koondatud tabelisse 10. Tabelist on välja jäetud kaamerate jm. moodulite täpsemad andmed, mille leiab tootja manuaalist.



Sele 21. SeneseFly eBee SQ droon pealtvaates.



Sele 22. Parrot Squoia sensori paigaldus droonile

[32]

LISAD

Tabel 1, DJI Mavic Pro spetsifikatsioon

[33]

Karakteristik	Nominaalväärtus
Mõõtmed, m	0,083m x 0,083m x 0,198m
Diagonaali gabariitmõõt (ilma rootorita), m	0,335m
Kaal (koos akude ja propelleritega), kg	0,734kg ilma kaamera katteta, 0,743kg koos kaamera kattega
Max. tõusu kiirus, m/s	5 m/s, sportrežiimil
Max. laskumiskiirus, m/s	3 m/s
Tippkiirus, km/h	65 km/h (tuuleta)
Maksimaalne õhkutõusu kõrgus merepinna suhtes, m	5000 m
Pikim lennuaeg, min	27 min (tuuleta, püsival kiirusel 25km/h)
Pikim paigalseisu aeg õhus, min	24 min (tuuleta)
Üldine lennuaeg, min	21min, mõõdetud kuni aku laenguni 15%
Pikim lennudistants, km	13km (tuuleta)
Välistemperatuuri piirang, °C	0°C ... 40°C
Positsioneerimise süsteem	GPS, GLONASS
Positsioneerimise täpsus, m	Vertikaalsihis: +/-0,1m (aktiivse Vision Positioning** süsteemiga) või +/-0,5m Horisontaalsihis: +/-0,3m (aktiivse Vision Positioning süsteemiga) või +/-1,5m

Juhtsignaali sagedus, GHz	FCC: 2.4-2.4835GHz; 5.150-5.250 GHz; 5.725-5.850 GHz CE: 2.4-2.4835GHz; 5.725-5.850 GHz SRRC : 2.4-2.4835 GHz;5.725-5.850 GHz
Saatja efektiivne kiirgusvõimsus	2.4GHz FCC:<=26 dBm; CE: <=20 dBm; SRRC:<=20 dBm; MIC:<=18 dBm 5.2 GHz FCC:<=23 dBm 5.8 GHz FCC:<=23 dBm; CE <=13 dBm; SRRC: <=23 dBm; MIC: -

Tabel 2, DJI Mavic Pro lisavarustus

[33]

Karakteristik	Nominaalväärtus
Takistuste tuvastamise kaugus, m	Täppistuvastus 0,7...15m kauguselt, tavatuvastus 15...30m kauguselt
Tuvastatavad objektid	Valgustatud (15lux) ja selgelt nähtavad pinnad
Tuvastus liikumisel	Toimib kuni 36km/h kiirusel, kõrguselt 2m
Tuvastuse kõrgus maapinnast, m	0,3 kuni 13m
Drooni tarkvararakendusest nähtava otsepildi kvaliteet	720p@30fps, 1080p@30fps (Kaugjutimispuldilt) 720p@30fps(Wi-Fi) 720p@60fps, 1080p@30fps (DJI peakomplektiga)
Kaamera videosalvestuse kvaliteet	4K: 3840×2160, 30p FHD: 1920×1080, 96p HD: 1280×720, 120p
Mälukaardi vorming	Micro SD

Kaamera välistemperatuuri piirang, °C	0...40°C
Wi-Fi signaali vorm ja ühenduse ulatus, m	2,4G/5G, 80m kaugust ja 50m kõrgust (ilma signaali segavate takistusteta)
Aku mahutavus, Ah	3,830 Ah
Aku nominaalpinge, V	11,4V
Aku mass, Kg	0,240
Positsioneerimise süsteem	GPS, GLONASS*
Positsioneerimise täpsus, m	Vertikaalsihis: +/-0,1m (aktiivse Vision Positioning** süsteemiga) või +/-0,5m Horisontaalsihis: +/-0,3m (aktiivse Vision Positioning süsteemiga) või +/-1,5m
Juhtsignaali sagedus, GHz	FCC: 2.4-2.4835GHz; 5.150-5.250 GHz; 5.725-5.850 GHz CE: 2.4-2.4835GHz; 5.725-5.850 GHz SRR : 2.4-2.4835 GHz;5.725-5.850 GHz
Saatja efektiivne kiirgusvõimsus	2.4GHz FCC:<=26 dBm; CE: <=20 dBm; SRRC:<=20 dBm; MIC:<=18 dBm 5.2 GHz FCC:<=23 dBm 5.8 GHz FCC:<=23 dBm; CE <=13 dBm; SRRC: <=23 dBm; MIC: -

Tabel 3. Reaalprojekt OÜ kopterdrooni tehnilised näitajad

[11]

Karakteristik	Nominaalväärtus
Suurim õhkutõusu kaal, kg	25kg
Kandevõime, kg	10kg
Lennuaeg, min	Kuni 30minutit (7kg lastiga)
Lubatud tuule suurus, m/s	9m/s
Stabilisaatorid	+/- 0,5m vertikaalse telje suhtes
Telemeetria ja juhtsignaali suurim kaugus, m	3000m
Hädamaandumise funktsioon	Jah
Lennurežiimid	Käsijuhtimine, pool-autonoomne ja autonoomne

Tabel 4. Hepta Airbourne drooni tehnilised näitajad

[18]

Karakteristik	Nominaalväärtus
Suurim õhkutõusu kaal, kg	-
Kandevõime, kg	-
Lennuaeg, min	3600 min
Lubatud tuule suurus, m/s	Keskmine tuule kiirus, täpne info puudub
Stabilisaatorid	-
Lennuulatus, km	600 km
Vaatlusseadme tüübid	LIDAR, soojuskaamera
BVLOS	Jah

Tabel 5. WingtraOne drooni tehnilised andmed

[22]

Karakteristik	Nominaalväärtus
Kaal, kg	3,7kg
Kandevõime, g	800g
Lennuaeg, min	59min
Tiibade siruulatus, mm	1250mm
Gabariitmõõtmed, mm	1250 x 680 x 120mm
Suurim lennukiirus, m/s	16 m/s
Suurim lubatud tuule kiirus, m/s	8 m/s

Välitemperatuuri piirang, °C	-10 ... +40°C
Ilmastiku piirang	Udu, vihm, lumi
Suurim õhkutõusu kõrgus merepinnast, m	2500m, kõrglennu propelleritega 4800m
Aku mahutavus, Wh	2x 99Wh
Aku tüüp	Li-ion
Akupinge, V	14.4 V
Aku voolutugevus, A	35A
Juhtsignaali levikaugus, km	10 km
Juhtsignaali sagedus, GHz	Data link 2.4016 – 2.4779 GHz RC süsteem 2.405 – 2.474 GHz
Õhkutõusuks vajalik ruum, m	2 x 2m
Automaatse maandumise funktsiooni täpsus	< 5 m

Tabel 6. Aeronvironment Quantix Mapper spetsifikatsioon

[26]

Karakteristik	Nominaalväärtus
Kaal, kg	2,27kg
Laiusgabariit koos propelleritega, mm	9750mm
Lennuaeg, min	45
Suurim lennukõrgus, m	2286m
Suurim lennukiirus seiret teostades, m/s	20 m/s
Suurim lubatud tuule kiirus, m/s	9 m/s
Välitemperatuuri piirang, °C	-17 ... +48°C
Mälukaardi vorming	SD kaart
Hind, €	6500 \$~ 5480 €

Tabel 7. DJI Phantom 4 RTK spetsifikatsioon

[14]

Karakteristik	Nominaalväärtus
Õhkutõusu kaal, g	1391g
Diagonaali gabariitmõõt (ilma rootorita), m	0,335m
Max. tõusu kiirus, m/s	6 m/s, automaatrežiimil, 5 m/s käsijuhtimisel
Max. laskumiskiirus, m/s	3 m/s
Tippkiirus, km/h	58 km/h
Maksimaalne õhkutõusu kõrgus merepinna suhtes, m	6000m
Pikim lennuaeg, min	~30 min
Välistemperatuuri piirang, °C	0°C ... 40°C
Juhtsignaali sagedus, GHz	FCC: 5.725...5.850 GHz CE: 2.4...2.483 GHz;
Saatja efektiivne kiirgusvõimsus	2.4GHz CE, MIC<=20 dBm; 5.8 GHz FCC, SRRC:<=26 dBm;
Ühesageduslik positsioneerimise moodul	Aasias GPS+BeiDou+Galileo Mujal GPS+GLONASS+Galileo
Mitmesageduslik positsioneerimise mooduli kanal.	GPS: L1/L2 GLONASS: L1/L2 BeiDou: B1/B2 Galileo: E1/E5a
Hõljumise täpsusvahemik, m	Kui RTK moodul töötab siis ±0.1 m Kui RTK moodul ei tööta, siis vertikaalsihis ±0.1...±0.5 m ja horisontaalsihis ±0.3 m...1.5m

Drooni aku tüüp	LiPo 2S
Aku mahutavus, mAh	4920 mAh
Akupinge, V	7,6 V
Aku töötemperatuuri vahemik, °C	-20...40°C

Tabel 8. Elios 2 spetsifikatsioon

[28]

Karakteristik	Nominaalväärtus
Mootor	4 x reversseeriv elektriline harjasteta mootor.
Gabariitmõõtmed, mm	Sfäär 385 mm
Propelleri mõõt, mm	127 mm
Max. õhkutõusu kaal, g	1450 g
Max. tõusu kiirus, m/s	1,5 m/s
Max. laskumiskiirus, m/s	1 m/s
Tippkiirus, m/s	1.3/4/6,5 m/s sõltuvalt lennurežiimist
Pikim lennuaeg, min	~10 min
Välitemperatuuri piirang, °C	0°C ... 50°C
Juhtsignaali sagedus, MHz	2404 ... 2483 Mhz
Saatja efektiivne kiirgusvõimsus	2.4GHz; CE <=32 dBm, MIC <=26 dBm;
Müratase, dB	Kuni 120 dB
Drooni aku tüüp	LiPo 5S HV
Aku mahutavus, mAh	5200 mAh
Akupinge, V	19 V
Aku töötemperatuuri vahemik, °C	10...45°C

Tabel 9. Sentera PHX drooni spetsifikatsioon

[29]

Karakteristik	Nominaalväärtus
Õhkutõusu kaal, kg	1,9 kg
Tiiva siruulatus, mm	1450 mm
Pikkus, mm	760 mm
Lennuaeg, min	59 min
Suurim lennukiirus seiret teostades, m/s	20 m/s
Kiirus seire teostamisel, m/s (<i>Cruise speed</i>)	15 m/s
Tuule piirang, m/s (<i>Cruise speed</i>)	12,5 m/s
Õhkutõusu kiirus, m/s (<i>Climb speed</i>)	5 m/s
Harilik lendumise kõrgus maapinnast, m	1219 m
Suurim lennukõrgus, m	5846 m
Hind, €	7196...9949 €

Tabel 10. SenseFly eBee SQ drooni karakteristik

[32]

Karakteristik	Nominaalväärtus
Õhkutõusu kaal, kg	1,1 kg
Tiiva siruulatus, mm	1100 mm
Lennuaeg, min	55 min
Suurim lennukiirus seiret teostades, m/s	30 m/s
Kiirus seire teostamisel, m/s (<i>Cruise speed</i>)	11...30 m/s
Tuule piirang, m/s (<i>Cruise speed</i>)	12 m/s
Õhkutõusu kiirus, m/s	5 m/s
Lennuulatus, km	41 km
Juhtsignaali ulatus, m	3000 m (kuni 8000 m)

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

- [1] FCC, „What we do,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.fcc.gov/about-fcc/what-we-do>. [Kasutatud 17 10 2020].
- [2] CE, [Võrgumaterjal]. Available: https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_et.htm. [Kasutatud 17 10 2020].
- [3] Cetecom, „SRRC Certification,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cetecom.com/en/certification/srrc-certification/>. [Kasutatud 17 10 2020].
- [4] Cetecom, „MIC certificate,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cetecom.com/en/certification/mic-certification/>. [Kasutatud 17 10 2020].
- [5] S. Pärn, „Digilahendused metsa mõõdistamiseks,“ Eesti metsaselts, 3 Mai 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=dxYu9VN6O24>. [Kasutatud 17 Oktoober 2020].
- [6] Erametsakeskus, „Droon aitab aega kokku hoida - Erametsakeskus,“ 9 Oktoober 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.eramets.ee/metsandusuudised/droon-aitab-aega-kokku-hoida/>. [Kasutatud 27 Oktoober 2020].
- [7] Metsa õppeleht Sinu Mets, „Metsa õppeleht Sinu Mets Nr. 52,“ *Droon aitab aega kokku hoida*, p. 11, Septemeber 2018.
- [8] DJI, „Mavic Pro User Manual,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://dl.djicdn.com/downloads/mavic/Mavic_Pro_User_Manual_v2.0_en.pdf. [Kasutatud 17 Oktoober 2020].
- [9] DJI, „DJI Mavic Pro Drone,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www4.djicdn.com/cms_uploads/product/cover/103/5acfdd059e0923acdf97145a7b9a001f.png. [Kasutatud 17 Oktoober 2020].
- [10] Reaalprojekt OÜ, „Veealused mõõdistused,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.reaalprojekt.ee/teenused/laserskaneerimine-ja-andmetootlus/veealused-moodistused/>. [Kasutatud 17 Oktoober 2020].
- [11] J. Pärtna, „Multifunctional-Unmanned-Flying-System,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.reaalprojekt.ee/wp-content/uploads/2014/09/Multifunctional-Unmanned-Flying-System_Reaalprojekt-1.pdf. [Kasutatud 17 Oktoober 2020].

- [12] Medium, „Drones raise the bar for Roadway Pavement Inspection,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://medium.com/aerial-acuity/drones-raise-the-bar-for-roadway-pavement-inspection-9c0079465772>. [Kasutatud 24 Oktoober 2020].
- [13] Hades Geodesia, „Phantom 4 RTK droon,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://hades.ee/phantom4rtk/>. [Kasutatud 24 Oktoober 2020].
- [14] DJI, „Phantom_4_RTK_User_Manual_v2.4EN.pdf,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_rtk/20200721/Phantom_4_RTK_User_Manual_v2.4_EN.pdf. [Kasutatud 24 Oktoober 2020].
- [15] DJI, „Dji - the World leader in Camera Drones/Quadcopters for aerial photography,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dji.com/ee/phantom-4-rtk/info#specs>. [Kasutatud 24 Oktoober 2020].
- [16] DJI, „Phantom 4 RTK,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.dji.com/ee/phantom-4-rtk?site=brandsite&from=insite_search. [Kasutatud 24 Oktoober 2020].
- [17] Investly OÜ, „Eesti droonitehnoloogia teeb ära kümne mehe töö,“ Investly Technologies OÜ, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.investly.co/et/blogi/kaibekapitali-kaasamine-annab-eelise-konkurentide-ees-hepta-energy-edulugu>. [Kasutatud 17 Oktoober 2020].
- [18] Hepta Group Airborne Ltd, „Hepta Airborne - digitizing power,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://heptairborne.com/>. [Kasutatud 17 October 2020].
- [19] M. Sahu, „Corona Phenomenon In Transmission Lines,“ 21 Märts 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eeguides.blogspot.com/2016/03/corona-phenomenon-in-transmission-lines.html>. [Kasutatud 17 Oktoober 2020].
- [20] Wingtra AG, „Drones in constuction and infrastructure - Why and how to use them,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://wingtra.com/drone-mapping-applications/drones-in-construction-and-infrastructure/>. [Kasutatud 20 Oktoober 2020].
- [21] Wingtra AG, „WingtraONE - Mapping drone for high accuracy surveys,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://wingtra.com/mapping-drone-wingtraone/>. [Kasutatud 22 Oktoober 2020].
- [22] Wingtra AG, „Wingtra-Technical-Specifications,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://wingtra.b-cdn.net/wp-content/uploads/Wingtra-Technical-Specifications.pdf>. [Kasutatud 23 Oktoober 2020].

- [23] Wingtra AG, „Quantix vs. WingtraOne - Drone comparison,“ 6 Juuni 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://wingtra.com/best-drones-for-photogrammetry-wingtraone-comparison/quantix-vs-wingtra-drone/>. [Kasutatud 23 Oktoober 2020].
- [24] AeroVironment, Inc, „Quantix Mapper,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.avinc.com/cis/quantix-mapper>. [Kasutatud 23 Oktoober 2020].
- [25] Draganfly Inc., „Quantix Mapper - Draganfly - VTOL drone ideal for precision agriculture,“ Draganfly Inc., 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://draganfly.com/products/quantix-mapper/>. [Kasutatud 23 Oktoober 2020].
- [26] Draganfly Inc., „Quantix Mapper datasheet,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://draganfly.com/wp-content/uploads/2020/03/Quantix_Mapper_Datasheet_06.pdf. [Kasutatud 23 Oktoober 2020].
- [27] Flyability SA, „Elios 2 - Indoor drone for confined space inspections,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.flyability.com/elios-2>. [Kasutatud 24 Oktoober 2020].
- [28] Flyability SA, „Elios 2 - Brochure EN LW.pdf,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://drive.google.com/file/d/1Y3UdIxcC-nhS-pFF0x_61KFZAHwmzO7B/view. [Kasutatud 24 Oktoober 2020].
- [29] Sentera Inc., 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://sentera.com/product/sentera-phx/>. [Kasutatud 2020 Oktoober 26].
- [30] Sentera Inc, „PHXLit_4060D_Sentera_WEB.pdf,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://sentera.com/wp-content/uploads/2020/01/PHX_Lit4060D_Sentera_WEB.pdf. [Kasutatud 26 Oktoober 2020].
- [31] SenseFly, „eBee SQ - senseFly,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sensefly.com/drone/ebec-sq-agriculture-drone/>. [Kasutatud 27 Oktoober 2020].
- [32] SenseFly, „Sequoia_Specifications_2016_senseflyweb-NEW,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.sensefly.com/app/uploads/2018/05/Parrot_Sequoia_senseFly_Specifications_EN.pdf. [Kasutatud 27 Oktoober 2020].
- [33] DJI, „MAVIC PRO Specs,“ DJI, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dji.com/ee/mavic>. [Kasutatud 17 Oktoober 2020].

- [34] Reaalprojekt OÜ, „AEROMÕÕDISTAMINE DROONILT (UAV – UNMANNED AERIAL VEHICLE),“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.reaalprojekt.ee/teenused/laserskaneerimine-ja-andmetootlus/aeromoodistamine-droonilt-uav-unmanned-aerial-vehicle/>. [Kasutatud 17. Oktoober 2020].

Lisa 4. Lendude logi

Kuupäev	Stardikoht	Stardi algus	Stardi lõpp	Kestvus	Lennu eesmärgid, ülesanded, katsetused	Märkused
17.10.2020	Põhja-Tallinn	14:32	14:50	0:18	Esimene lend,	
24.10.2020	Muhu saar	12:11	13:11	1:00		
5.12.2020	Piibe maantee	09:42	10:34	0:52		
7.12.2020	Põhja-Tallinn	16:30	17:00	0:30	testisin muudetud seadistusi ja uusi aku kinnitusi.	
9.12.2020	Piibe maantee	10:00	10:53	0:53		
17.12.2020	Põhja-Tallinn	09:30	10:08	0:38		
7.1.2021	Piibe maantee	14:15	15:00	0:45	Põhikaameraga testlennud	
10.01.2021	Põhja-Tallinn	13:13	13:20	0:07	Viimane proovisõit	
23.03.2021	Läänemaa	11:41	13:50	2:07	Uue peaarvuti esmased seadistused	
26.03.2021	Läänemaa	10:13	12:40	2:27	Peaarvuti seadistused, GPS testimine	
27.03.2021	Läänemaa	14:09	15:50	1:41	GPS testlennud	
7.04.2021	Läänemaa	10:11	15:14	5:03	Seadete optimeerimised	
9.04.2021	Läänemaa	14:30	16:00	1:30	Seadete optimeerimised	
10.04.2021	Läänemaa	09:53	11:04	1:12	GPS testlennud, esmased autonoomsed katsed	
28.04.2021	Piibe maantee	11:39	13:49	2:00	Autonoomne lennuplaanisõit	
29.04.2021	Harjumaa	11:27	14:35	3:08	Autonoomne lennuplaanisõit	
			KOKKU:	24:11:00		