



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

VETELPÄÄSTE DROONIMOODULI ARENDAMINE

CREATING A DRONE MODULE FOR TRANSPORTING A FLOTATION DEVICE

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Kristo Toots

Üliõpilaskood: 185438EAAB

Juhendaja: Anton Rassõlkin, professor

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 202.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ (autori nimi)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

_____ ,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on

_____ ,

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (kuupäev)

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

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Kristo Toots

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Vetelpääste droonimooduli arendamine

Kuupäev:
11.05.2021

59 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja: professor Anton Rassõlkin

Sisu kirjeldus:

Lõputöö eesmärk oli vetelpääste droonimooduli arendamine, et võimaldada ujuvusvahendi toimetamine abivajajani mehitamata õhusõiduki abil. Eesmärgi täitmiseks arendati vajalik riistvara ja tarkvara, et ehitada vetelpääste droonimoodul mehitamata õhusõiduki DJI Mavic 2 Pro jaoks.

Enne vetelpääste droonimooduli projekteerimist teostati uurimus mehitamata õhusõidukite kasutusvaldkondade kohta ja analüüsiti, miks vetelpäästes kasutusel olevatele mehitamata õhu- ja veesõidukitele ning droonimoodulitele vaatamata on vajadus uue vetelpääste droonimooduli järele.

Vetelpääste droonimooduli prototüübiga sooritati mitmeid katseid, millest selgus, et selle funktsioonid toimivad. Kiiruskatsete tulemuste võrdlemisel meeste vabaujumise olümpiarekorditega selgus, et vetelpääste droonimooduli kasutamine on kõige efektiivsem kesk- ja pikamaa distantsidel. Seetõttu on vetelpääste droonimoodul koos mehitamata õhusõidukiga DJI Mavic 2 Pro tõenäoliselt kasulik abivahend rannavalvurite jaoks.

Märksõnad: mehitamata õhusõiduk, droonimoodul, fototakisti, DJI Mavic 2 Pro, rannavalve, ujuvusvahend.

ABSTRACT

Author: Kristo Toots

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Creating a drone module for transporting a flotation device

Date: 11.05.2021

59 pages

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor of the thesis: professor Anton Rassõlkin

Abstract:

The aim of this bachelor thesis was to create a drone module for unmanned aerial vehicles for transporting a flotation device to drowning people. To accomplish this aim necessary hardware and firmware were developed in order to create a drone module for DJI Mavic 2 Pro.

There was conducted a research before creating the drone module to get a better understanding of the applications of unmanned aerial vehicles. The author analysed why there is a need for a new drone module despite unmanned aerial and surface vehicles and drone modules that are already in use for surface water rescue.

In addition, many tests were conducted and the result was that the prototype functions properly. The comparison of the speed test results to the men's freestyle swimming Olympic records showed, that the drone module prototype was the most effective for intermediate-range and long-range distances. Therefore, the drone module with DJI Mavic 2 Pro is probably a useful tool for lifeguards.

Keywords: unmanned aerial vehicle, drone module, photoresistor, DJI Mavic 2 Pro, lifeguard, flotation device.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Vetelpääste droonimooduli arendamine
Lõputöö teema inglise keeles:	Creating a drone module for transporting a flotation device
Üliõpilane:	Kristo Toots, 185438EAAB
Eriala:	Elektroenergeetika ja mehhatroonika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Anton Rassõlkin
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	20. juuni 2021
Lõputöö esitamise tähtaeg:	18. mai 2021

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Iga-aastaselt upub Eestis mitukümmend inimest, näiteks vahemikus 01.01.20 kuni 26.06.20 uppus Eestis 32 inimest. Vetelpääste droonimoodulit on vaja arendada, et võimaldada drooni abil vetelpäästevahendi senisest kiirem toimetamine uppujani.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on projekteerida ja ehitada vetelpääste droonimoodul.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Projekteerida ja ehitada vetelpääste droonimooduli lukustus- ja vallandamismehhanism vetelpäästevahendi transportimiseks ja vallandamiseks.
2. Valida sobilik raadioliides ning lukustus- ja vallandamismehhanismi täitur.
3. Projekteerida ja ehitada mehhanism, mis kinnitab vetelpääste droonimooduli drooni külge.
4. Projekteerida ja ehitada vetelpääste droonimooduli toite- ja toitelülitussüsteem.

4. Lähteandmed

Lõputöö autor kasutab vetelpääste droonimooduli arendamiseks erinevate vetelpäästevahendite mõõtmeid ja kaalu. Samuti kasutatakse erinevate droonide mõõtmeid, kandevõimet ja lennuaega ning droonide juhtimispuultide mõõtmeid. Lisaks võrreldakse erinevate raadioliideste raadiolainete leviala ning lukustus- ja vallandamismehhanismi täiturite poolt rakendatavat jõudu ja mõlemat tüüpi seadmete energiatarvet. Lõputöös võrreldakse erinevate toiteallikate energiamahuvust, võimsust, mõõtmeid, kaalu ja lülitite võimsust. Kõik eelpool nimetatud andmed saadakse välja valitud toodete andmelehtedelt.

5. Uurimismeetodid

Töö tulemuseni plaanitakse jõuda erialast kirjandust analüüsides ja seejärel vetelpääste droonimoodulit raalprojekteerides ning ehitades. Väljavalitava vetelpäästevahendi kaalu põhjal viiakse läbi tugevusanalüüs raalprojekteerimisprogrammis. Väljavalitava drooni kandevõime hindamiseks kasutatakse raalprojekteerimisprogrammi poolt arvutatavat vetelpääste droonimooduli kaalu. Väljavalitava raadioliidese ning lukustus- ja vallandamismehhanismi täituri energiatarbe põhjal valitakse Exceli tabelarvutusi kasutades sobilik toiteallikas.

6. Graafiline osa

- 3D-joonised vetelpääste droonimoodulist;
- joonised tugevusanalüüsist;
- toite- ja toitelülitussüsteemi ning vajadusel raadioliidese elektriskeemid;
- tabelid valikus olevatelt komponentidelt kogutud andmete võrdlemiseks.

Graafiline osa saab olema enamjaolt töö põhiosas, kuid vajadusel esitatakse lisades elektriskeemid.

7. Töö etapid ja ajakava

Teoreetilise osa (taustauuring) kirjutamine (02.02.21)

Vajalike komponentide valimine ja arvutuste teostamine (02.03.21)

Prototüübi projekteerimine ja ehitamine (30.03.21)

Prototüübi katsetamine (06.04.21)

Töö esimese versiooni juhendajale läbilugemiseks saatmine (13.04.21)

Töö juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (27.04.21)

Töö lõplik versioon valmis (11.05.21)

Iga etapi tähtaeg hõlmab ka vastava kirjaliku osa valmimist.

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	10
Lühendite ja tähiste loetelu	11
SISSEJUHATUS	12
1. TAUSTAURING.....	13
1.1 Mehitamata õhusõidukite kasutusvaldkonnad	13
1.2 Näiteid olemasolevatest mehitamata vetelpääste õhu- ja veesõidukitest ning droonimoodulitest	15
1.2.1 Little Ripper Lifesaver.....	15
1.2.2 PARS.....	16
1.2.3 Project Ryp tide.....	16
1.2.4 SAR 1 Kit.....	17
1.2.5 Dolphin 1.....	17
1.3 Vetelpääste droonimooduli arendamise põhjused ja kontseptsioon	18
2. KOMPONENTIDE JA MATERJALI VALIK	22
2.1 Ujuvusvahendi valik	22
2.2 Vallandamismehhanismi täituri valik	23
2.3 Arendusplaadi valik.....	25
2.4 Toiteallika valik	26
2.5 Optoelektronilise komponendi valik	27
2.6 Kiirprototüüpimismaterjali valik	29
3. PROTOTÜÜBI PROJEKTEERIMINE	31
3.1 Riistvara.....	31
3.1.1 Elektroonika.....	31
3.1.2 Mehaanika	31
3.2 Tarkvara.....	36
4. TULEMUSED	38
4.1 Staatilise koormuse simulatsioon	38
4.2 Prototüübi maksumus.....	40
4.3 Prototüübi katsetamine	42
4.4 Tulevikuplaanid	44
KOKKUVÕTE	47
SUMMARY.....	48

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	49
Lisa 1 Juhtimisahel	52
Lisa 2 Jõuahel	53
Lisa 3 Programm	54
Lisa 4 Vallandamise mehhanismi raam	55
Lisa 5 Elektroonikaraam	56
Lisa 6 Kinnitusklamber 1	57
Lisa 7 Kinnitusklamber 2	58
Lisa 8 Fototakisti kinnitusplaat	59

EESSÕNA

Mehitamata vetelpääste õhusõiduki arendamise mõte tekkis lõputöö autoril mõned aastad enne lõputöö koostamist, kuna igal aastal upub Eesti veekogudes kümneid inimesi. Kaaluti ka vetelpääste droonimooduli arendamist ning vesteldes Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi professori Anton Rassõlkiniga saadi kinnitust just viimase idee valimiseks lõputöö teemaks. Vetelpääste droonimooduli arendamise eesmärk on võimaldada ujuvusvahendi transportimine abivajajani mehitamata õhusõidukiga. Vetelpääste droonimooduli raamid ja vallandamismehhanism 3D prinditi TTÜ Robotiklubis.

Lõputöö autor soovib tänada juhendajat Anton Rassõlkinit andmast väärtuslikke juhiseid lõputöö parendamiseks. Oluliseks peetakse ka rannavalvuri Naatan Hollmani ja G4S Eesti rannavalve juhi Henry Seemeli panust vastamast lõputöö käigus kerkinud küsimustele. Tänuavaldused konsultatsioonide eest lähevad vabatahtlikule merepäästjale ja Tallinna Tehnikaülikooli doktorant-nooremteadurile Airi Noppelile ja mehitamata õhusõidukeid müüvale ettevõttele Meridein OÜ. Vetelpääste droonimooduli katsetamisel abistamise eest tänatakse lõputöö autori isa Tiit Tootsi.

Lühendite ja tähiste loetelu

3D - kolmemõõtmeline (*three-dimensional*)

ABS – akrüülnitriilbutadieenstüreen (*acrylonitrile butadiene styrene*), 3D printimise materjal

FDM - sulatatud sadestamise modelleerimine (*fused deposition modeling*)

HIPS – kõrglöögikindel polüstüreen (*high impact polystyrene*), 3D printimise materjal

PC – polükarbonaat (*polycarbonate*), 3D printimise materjal

PLA – polülihape (*polylactic acid*), 3D printimise materjal

PVA – polüvinüülalkohol (*polyvinyl alcohol*), 3D printimise materjal

PWM – pulsilaiusmodulatsioon (*pulse width modulation*)

rpm - pööret minutis (*revolutions per minute*)

SISSEJUHATUS

Eesti veekogudes upub igal aastal kümneid inimesi, näiteks 2020. aastal uppus 58 inimest, mis ületab 22 võrra 2019. aastal uppunute arvu [1]. Uppunute arvu madalana hoidmiseks annavad hindamatu panuse G4S Eesti rannavalvurid ja vabatahtlikud merepäästjad. Sellegipoolest piirdub paraku reageerimisvõimekus hädaolukordadele rannavalvurite jooksmis- ja ujumiskiirusega ning mootorpaadi veeskamiskiirusega. Praeguseks on G4S Eesti rannavalves kasutusel mehitamata õhusõiduk DJI Mavic 2 Pro peamiselt seire ülesanneteks ja kõlari abil häälkäskluste andmiseks (N. Hollman, isiklik kirjavahetus, 14. märts, 2021). Käesoleva lõputöö eesmärk on parandada mehitamata õhusõidukite abil rannavalvurite reageerimiskiirust hädaolukordadele.

Lõputöö raames arendatakse välja vetelpääste droonimoodul, et võimaldada ujuvusvahendi uppujani toimetamine DJI Mavic 2 Pro abil. Vetelpääste droonimooduli arendamine jaguneb kaheks: riistvara arendamine ja tarkvara arendamine. Riistvara arendamine koosneb elektroonika ja mehaanika projekteerimisest. Vetelpääste droonimooduli projekteerimist käsitletakse lõputöö kolmandas peatükis.

Vetelpääste droonimooduli elektroonika projekteerimiseks on kasutatud tarkvara Fritzing ja mehaanika projekteeriti 3D modelleerimise tarkvaras Autodesk Fusion 360. Antud tarkvara kasutades sooritati ka staatilise koormuse simulatsioon. Programm elektroonika ja mehaanika juhtimiseks kirjutati programmeerimistarkvaras Arduino Integrated Development Environment ja programmi algoritm koostati järgmisel veebilehel: <https://app.diagrams.net/>.

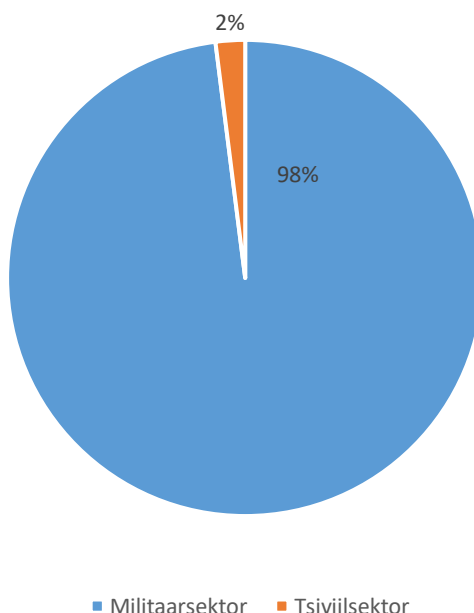
Enne vetelpääste droonimooduli projekteerimist teostatakse lõputöö esimeses peatükis uurimus mehitamata õhusõidukite kasutamisel valdkondade kohta ja tuuakse näiteid mujal maailmas vetelpäästes kasutusel olevatest mehitamata õhu- ja veesõidukitest ning droonimoodulitest. Ühtlasi analüüsitakse, miks on kasutusel olevatele lahendustele vaatamata vajadus uue vetelpääste droonimooduli järele. Teises peatükis teostatakse uurimus, et välja valida sobilikud komponendid vetelpääste droonimooduli arendamiseks. Lisaks on neljandas peatükis kasutatud arvutuslikku uurimismeetodit staatilise koormuse simulatsiooni jaoks ja katsetuslikku uurimismeetodit, et välja selgitada arendatud vetelpääste droonimooduli võimekus.

Lisades on välja toodud vetelpääste droonimooduli elektriskeemid, programm ja mehaanikajoonised.

1. TAUSTAUURING

1.1 Mehitamata õhusõidukite kasutusvaldkonnad

Mehitamata õhusõidukite turg on viimase 20 aasta jooksul enneolematult kiiresti kasvanud ja eelkõige militaarsektoris. Droonitehnoloogia on muutunud varasemast palju töökindlamaks, kuigi arenguruumi veel on. Sellegipoolest prognoositakse, et tulevikus asendatakse suur osa mehitatud õhusõidukite missioonidest mehitamata õhusõidukitega. Samuti usutakse, et riiklike kaitseinvesteeringute tõttu säilib militaarsektori osakaal mehitamata õhusõidukite turul suuremana kui tsiviilsektori osakaal [2]. 2018. aastal moodustas tsiviilsektor ülemaailmsest mehitamata õhusõidukite turust alla kahe protsendi nagu on näidatud joonisel 1.1 [3].



Joonis 1.1 Ülemaailmne mehitamata õhusõidukite turg [3]

Kuigi globaalse turvalisuse tõttu on relvastatud mehitamata õhusõidukid muutunud keskseks aruteluteemaks, saavad riigid mehitamata õhusõidukite abil hoida oma sõjaväelasi ohust eemal [4]. Mehitamata õhusõidukite üheks põhiliseks eeliseks on võime lennata mehitatud õhusõidukitest kauem [3].

Suuruse, kandevõime ja lennuaja põhjal jagunevad mehitamata õhusõidukid mitmeks erinevaks tüübiks. Militaarsektoril on kõrgendatud huvi käest või katapultdilt lennutatavate mini- ja mikrodroonide vastu, mida kasutatakse peamiselt lühimaa ja linnaala luuremissioonideks. Madala hinna ja opereerimislihtsuse tõttu on tulevikus võtmetähtsusega arengusuunaks mitme mikrodrooni või mikrodrooniparvede

kasutamine efektiivsemaks luureks tänu suurendatud andurite arvule. Improviseeritud lõhkekehade tõrjes kasutatakse suuremaid ja vertikaalse õhku tõusmisvõimega mehitamata õhusõidukeid. Pika lennuajaga mehitamata õhusõidukid on odav alternatiiv strateegilises luures võrreldes mehitatud õhusõidukitega. Tehnoloogia arenedes täiendavad ja asendavad mehitamata õhusõidukid mehitatud hävituslennukeid tugeva õhutõrjega luure- ja ründeoperatsioonidel. USA ja Iisrael uurivad mehitamata õhusõidukite kasutusvõimalusi varustuse veol ja haavatute evakueerimisel. Lõhkepeaga mehitamata õhusõidukeid kasutatakse ka ründemissioonideks, mille puhul tuvastatakse andurite abil sihtmärk, et seda rünnata [2].

Tänapäeval on mehitamata õhusõidukitel tsiviilkasutuses palju erinevaid rakendusvõimalusi ja tulevikus laieneb rakendusvõimaluste hulk veelgi [2]. Mehitamata õhusõidukid on ennast tõestanud seires, piirivalves, põllumajanduslikus piserdamises, kadunute otsimises, fotograafias, vabaaja tegevustes ja loodusõnnetuste inspeksioonis, näiteks metsapõlengute, üleujutuste ja keeristormide korral. Näotuvastustehnoloogia aitab politseil arreteerimiseks koguda täpset informatsiooni. Paljudes riikides on mehitamata õhusõidukeid kasutatud pantvangikriisides positiivsete tulemustega [3]. Tulevikus võib tulusaks äriks muutuda mehitamata õhusõidukite abil kaupade transportimine, kui suudetakse tagada mehitamata õhusõidukite töökindlus ja turvaline liikumine tsiviilõhuruumis [2]. Amazoni hinnangul kaalub umbes 85% nende poolt müüdavatest toodetest vähem kui kaks kilogrammi ja tänapäevased mehitamata õhusõidukid oleksid võimelised neid transportima [3]. Sellegipoolest moodustavad eeldatavasti vaatlus- ja seireülesanded lähitulevikus mehitamata õhusõidukite turu suurima osa [2]. Lisaks peetakse oluliseks mehitamata õhusõidukite turu potentsiaali täppispõllumajanduses ja avaliku turvalisuse tagamiseks [3].

Mehitamata õhusõidukite kasutusvõimaluste ülemaailmne majanduslik potentsiaal tsiviilsektoris on väga suur. Uurimistulemuste põhjal hinnati 2016. aasta ülemaailmse mehitamata õhusõidukite turu väärtuseks 150 miljardit USD. Hogan Lovells US LLP konsultandi ja endise US Association for Unmanned Vehicle Systems International asepresidendi Gretchen West`i sõnul on mehitamata õhusõidukid tõhus vahend peaagu kõikide majandusharude efektiivsuse tõstmiseks [3].

Mehitamata õhusõidukite ostmis-, opereerimis- ja hooldamiskulud on madalamad [3] ja logistiline jalajälg väiksem [2] kui mehitatud õhusõidukitel. Kulude alandamise kaudu väheneb ka õhusõidukite emissioonide hulk ja kahju keskkonnale [3]. Mehitamata õhusõidukite laialdast kasutamist takistavad praegu veel peamiselt seadusandlus, privaatsus ja eetikaprobleemid [2].

1.2 Näiteid olemasolevatest mehitamata vetelpääste õhu- ja veesõidukitest ning droonimoodulitest

Antud alapeatükis 1.2 tuuakse kaks näidet olemasolevatest mehitamata vetelpääste õhusõidukitest, kaks näidet olemasolevatest vetelpääste droonimoodulitest ja üks olemasolev mehitamata vetelpääste veesõiduki näide. Alapeatükis 1.3 võrreldakse neid mehitamata vetelpääste õhu- ja veesõidukeid ning droonimoduleid, mis on välja toodud alapeatükis 1.2. Lisaks analüüsitakse, milline on vajadus uue vetelpääste droonimooduli arendamise järele ja sõnastatakse selle kontseptsioon ja arendamise detailsemad eesmärgid.

1.2.1 Little Ripper Lifesaver

Little Ripper Lifesaver hõlmab ühe ja mitme rootoriga mehitamata õhusõidukeid otsingu-, pääste- ja vetelpäästeoperatsioonideks (Joonis 1.2). 18. jaanuaril 2018. aastal sooritas Little Ripper Lifesaver maailma esimese dokumenteeritud vetelpäästeoperatsiooni mehitamata õhusõidukiga, mis leidis aset Austraalias Lennox Head rannas. Lisaks on Little Ripper Lifesaver`i meeskond välja töötanud koostöös University of Technology Sydney`ga haisid ja krokodille reaalajas tuvastavad algoritmid mehitamata õhusõidukite jaoks. Little Ripper Lifesaver kasutab kõrge resolutsiooniga kaamerat ning mitmekeelset kõlari- ja sireenisüsteemi. Little Ripper Lifesaver`i ujuvusvahend avaneb automaatselt kokkupuutel veega ning on taaskasutatav tänu lihtsasti vahetatavale süsihappegaasi konteinerile. Ujuvusvahend on võimeline kandma korraga kolme kuni nelja inimest. Ujuvusvahend on varustatud SOLAS valgustiga öisteks päästeoperatsioonideks, SOLAS helkurribaga ja võib sisaldada ka suurt triivankrut ja hai-kaitsevahendit Shark Shield`i [5].



Joonis 1.2 Little Ripper Lifesaver`i mehitamata õhusõiduk [6]

1.2.2 PARS

PARS (Joonis 1.3) on kaheksarootoriline mehitamata vetelpääste õhusõiduk kuni kolme abivajaja päästmiseks ühekorraga tänu kaasaskantavatele ujuvusvahenditele. Abivajajate asukoha kindlaks tegemiseks on PARS varustatud kaameraga [7] ja öiseks tegutsemiseks soojuskaameraga. Lisaks on mehitamata õhusõidukil ka autopiloodi funktsioon, GPS-seade, baromeeter ja kompass. PARS`id on varustatud ka ujuvplatvormiga, kus on võimalik rohkem kui ühe PARS`i akut laadida päikesepaneelide abil [8]. PARS`i lennukiirust katsetades jõudis see 75 m kaugusel oleva abivajajani 22 sekundiga, kui vetelpäästjal kulus sama vahemaa läbimiseks 90 sekundit [7].



Joonis 1.3 PARS [9]

1.2.3 Project Ryptide

Ryptide on väike ja kerge vetelpääste droonimoodul (Joonis 1.4), millega saab abivajajani toimetada veega kokkupuutel viie sekundi jooksul automaatselt avanevat ujuvusvahendit. Vallandamismehhanismi kontrollitakse sama raadiokanaliga nagu paljude mehitamata õhusõidukite kaameragimbaleid. Edasiarendatud Ryptide`i versioonid kasutavad arendusplaati Arduino Pro, et vallandada kuni nelja ujuvusvahendit ühe raadiokanali kaudu. Iga nupu vajutusega vallandatakse üks ujuvusvahend. Vetelpääste droonimoodulit saab mõne sekundiga kinnitada kõikide DJI Phantom versioonide külge. Lisajuppide abil on Ryptide`i võimalik kinnitada paljude teiste mehitamata õhusõidukite kaamerate kinnituskohdade külge. Vetelpääste droonimoodulit on võimalik kinnitada enamike mehitamata õhusõidukite külge nii, et mehitamata õhusõiduki vette kukkudes jääb see veepinnale ujuma [10].



Joonis 1.4 Project Ryp tide vetelpääste droonimoodul [10]

1.2.4 SAR 1 Kit

SAR 1 Kit on mehitamata õhusõiduki Splashdrone 3+ baasplatvormi külge kinnitatav vetelpääste droonimoodul otsingu- ja vetelpäästeoperatsioonide jaoks (Joonis 1.5). SAR 1 Kit on võimeline kandma kuni 1200 g koormat ja SAR 1 Kit`i jaoks on arendatud spetsiaalne ujuvusvahend. SAR 1 Kit`i IP kaitseklass on IP67. 2.7k resolutsioonilise kaameraga on võimalik teostada reaajas filmimist kui ka filmimaterjali salvestamist [11].



Joonis 1.5 SAR 1 Kit [11]

1.2.5 Dolphin 1

Dolphin 1 on mehitamata vetelpääste veesõiduk rannavalve, sadamate, avamere nafta- ja gaasiplatvormide ning laevade jaoks [12]. Dolphin 1`ga (Joonis 1.6) on võimalik päästa korrakauni kahte abivajajat. Propellerid on varjestatud, et vältida kasutaja vigastamist ja Dolphin 1 veetaimesse kinnijäämist. Dolphin 1 kaal on 13 kg ja Dolphin 1 on varustatud udutuledega. Kaugjuhtimispuldiga juhitava Dolphin 1 aku on kaitstud omaette kabiini sees olles, et Dolphin 1 saaks jätkata sõitmist ka kere vigastuse korral [13].



Joonis 1.6 Dolphin 1 [13]

1.3 Vetelpääste droonimooduli arendamise põhjused ja kontseptsioon

Little Ripper Lifesaver`i meeskond kasutab tehnoloogiaettevõtte DJI mehitamata õhusõidukeid ja kohandab neid vetelpäästeoperatsioonideks ning videoallikast [14] on näha, et üks kasutatavatest mehitamata õhusõidukitest on üks DJI Matrice versioonidest. Meridein OÜ töötaja emailist (S. Lensment, isiklik kirjavahetus, 2. jaanuar, 2021) selgus, et DJI Matrice versioonide hinnad jäävad vahemikku 6600 € kuni 23000 €. Antud lõputöö käigus arendatakse vetelpääste droonimoodul hinna poolest sobivama mehitamata õhusõiduki DJI Mavic 2 Pro jaoks, mille hind hobitoote kaupluses Meridein OÜ on 1999 € (hind sisaldab kaugjuhtimispuhki Smart Controller) [15]. Ka PARS`i hind on kõrge: 9061 € (02.11.15)¹ [7].

PARS`i lennukiirus on 7,5 m/s [8] ja Splashdrone 3+, mida kasutatakse SAR 1 Kit`i baasplatvormina, lennuulatus on 1600 m [16]. Dolphin 1 liikumiskiirus on 3,33 m/s ja raadiosignaali leviala 500 m [13]. Antud parameetrite poolest on DJI Mavic 2 Pro aga võimekam: lennukiirus on 20 m/s ja lennuulatus 18000 m [17]. Mehitamata veesõidukite (s.h Dolphin 1) sihtkohta jõudmist aeglustab ka asjaolu, et neid tuleb juhtida ümber ujujate ja muude takistuste. Mehitamata õhusõidukitega saab ujujatest ja muudest takistustest sirgjoones üle lennata. Lisaks on mehitamata veesõidukeid võimalik kasutada ainult vetelpäästeoperatsioonideks, kuid mehitamata õhusõidukeid on rannavalvuritel võimalik kasutada ka teisteks operatsioonideks, näiteks kadunud laste otsimiseks või koeraomanike rannaalalt välja saatmiseks.

¹ The Economy News. *U.S. Dollar to Euro Spot Exchange Rates for 2015 from the Bank of England*, The Economy News, Albany House, Wokingham, Berkshire, Ühendkuningriik. Kasutatud: Nov. 26, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.poundsterlinglive.com/bank-of-england-spot/historical-spot-exchange-rates/usd/USD-to-EUR-2015>

Dolphin 1 ja enamike Rypside`i versioonide puuduseks on ka kaamera puudumine [13], [10]. Kõige kallimal Rypside`i eriversioonil on First Person View kaamera [10]. SAR 1 Kit`i koosseisu kuulub 2.7k resolutsiooniga ehk 1920 x 1080 piksliga kaamera [11]. DJI Mavic 2 Pro koosseisu kuulub 5472 x 3648 piksliga kaamera, mis on kinnitatud kolmeteljelise gimballi külge [17]. Hea resolutsiooniga kaamera on oluline näiteks kadunud laste otsimiseks rannas. SAR 1 Kit`i maksumus on 352,55 € (26.01.21)¹ [11] ning lõputöö käigus arendatava vetelpääste droonimooduli valmistamise maksumuse sihiks võetakse suurusjärk kuni 250 €.

Tabelis 1.1 on välja toodud olemasolevate mehitamata vetelpääste õhu- ja veesõidukite ning droonimoodulite võrdlus lõputöös arendatava vetelpääste droonimooduliga.

Tabel 1.1 Mehitamata vetelpääste õhu- ja veesõidukite ning droonimoodulite võrdlus

Mehitamata vetelpääste õhu- või veesõiduk või droonimoodul	Kiirus m/s	Hind €	Liikumisulatus m	Kaamera resolutsioon	Viited
Little Ripper Lifesaver: DJI Matrice versioonid	18,06 või 22 või 22,5 või 23	6600 kuni 23000	7000 kuni 15000	Andmed puuduvad	[18], [19], [20], [21], (S. Lensment, isiklik kirjavahetus, 2. jaanuar, 2021)
PARS mehitamata vetelpääste õhusõiduk	7,5	kuni 9061 (02.11.15) ²	4500	Andmed puuduvad	[7], [8]
Project Rypside vetelpääste droonimoodul	Sõltub mehitamata õhusõidukist	106,01 kuni 410,08 (26.01.21) ² + mehitamata õhusõiduki hind	Sõltub mehitamata õhusõidukist	Enamikel versioonidel puudub kaamera	[10]
SAR 1 Kit vetelpääste droonimoodul	20	352,55 (26.01.21) ² + 1179	1600	1920 x 1080	[11], [22]
Dolphin 1 mehitamata veesõidukid	3,33	4519,87 (26.01.21) ²	500	Kaamera puudub	[13], (R. Zhang, isiklik kirjavahetus, 26. jaanuar, 2021)
Lõputöös arendatav vetelpääste droonimoodul	20	Vetelpääste droonimooduli hind + 1999	18000	5472 x 3648 pikslit	[17], [15]

² The Economy News. *U.S. Dollar to Euro Spot Exchange Rates for 2015 from the Bank of England*, The Economy News, Albany House, Wokingham, Berkshire, Ühendkuningriik. Kasutatud: Nov. 26, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.poundsterlinglive.com/bank-of-england-spot/historical-spot-exchange-rates/usd/USD-to-EUR-2015>

Eelneva analüüsi käigus on selgunud mitmed puudused olemasolevatel mehitamata vetelpääste õhu- ja veesõidukite ning droonimoodulite näidetel. Seetõttu leitakse, et antud lõputöö käigus arendatava paremate omadustega vetelpääste droonimooduli järele on vajadus. Vetelpääste droonimoodul saab olema kinnitatav DJI Mavic 2 Pro külge (Joonis 1.7), kuna antud mehitamata õhusõiduk on alates 2020. aasta suvest kasutusel G4S Eesti rannavalves. Siiani on DJI Mavic 2 Pro`d kasutatud G4S Eesti rannavalves peamiselt seire ülesanneteks ja kõlari abil häälkäskluste andmiseks (N. Hollman, isiklik kirjavahetus, 14. märts, 2021). Käesoleva lõputöö käigus arendatakse vetelpääste droonimoodul, et võimaldada mehitamata õhusõidukite abil ujuvusvahendite senisest kiirem toimetamine abivajajateni. Tabelis 1.1 olevatele andmetele lisaks tasub välja tuua, et DJI Mavic 2 Pro lennuaeg on 31 min ja see on võimeline lendama tuulekiiruse kuni 10,6 m/s korral [17].



Joonis 1.7 DJI Mavic 2 Pro [15]

Vetelpääste droonimooduli vallandamismehhanismi juhtimiseks kasutatakse DJI Mavic 2 Pro põhja küljes olevat valgustit, mille sisse lülitamisele kaugjuhtimispuldi abil reageerib vetelpääste droonimooduli küljes olev optoelektroniline komponent, mis on ühendatud mikroprotsessori külge. Kui optoelektronilisele komponendile paistab DJI Mavic 2 Pro põhja küljes oleva valgusti valgus, saab mikroprotsessor signaali, mille väärtus on üle etteantud lävendi. Antud signaali vastuvõtmise korral annab mikroprotsessor täiturile käskluse manipuleerida vallandamismehhanismi, et vallandada ujuvusvahend.

Vetelpääste droonimooduli prototüübi projekteerimine ja ehitamine koosneb kolmest põhietapist. Esiteks tuleb projekteerida ja koostada elektronika. Selleks on vaja valida sobilik optoelektroniline komponent, mikroprotsessor, täitur vallandamismehhanismi manipuleerimiseks, toiteallikas ja pingemuundur. Teiseks tuleb mikroprotsessorile kirjutada programm, mis analoogsisendisse saabuva sisendsignaali korral annab digitaalklemmi kaudu täiturile käskluse manipuleerida vallandamismehhanismi. Lõpuks

tuleb projekteerida ja ehitada vallandamismehhanism ja raam, mis kõiki komponente koos hoiab ja DJI Mavic 2 Pro külge kinnitab.

2. KOMPONENTIDE JA MATERJALI VALIK

2.1 Ujuvusvahendi valik

Ujuvusvahendid peavad olema kasutatavad, vaatamata sellele, millise küljega need vees on [23]. Ujuvusvahendi kandevõime peab olema vähemalt 50 N [24].

Päästerõngas on ujuv rõngas, mille ümber on neljast kohast kinnitatud haardeliin, kust abivajaja saab kinni hoida. Osad päästerõngad on varustatud viskeliiniga [23]. Päästerõngad on valmistatud kõrgkvaliteetsest polüetüleenist. G4S rannavalves kasutatava päästerõnga kandevõime on 145 N ja kaal 2,5 kg (H. Seemel, isiklik kirjavahetus, 25. veebruar, 2021).

Päästevest on inimest vee peal hoidev ujuvusvahend [23]. Päästevest keerab vees hulpiva inimese õigesse asendisse: selili. Päästevestide kandevõime on sõltuvalt kasutusala 50 N, 100 N, 150 N või 275 N. Vest on sobilik kasutamiseks kõikides B-, C- ja D-kategooria paatides (H. Seemel, isiklik kirjavahetus, 25. veebruar, 2021). Kuna päästevestil on ripnevaid osasid, muutub see mehitamata õhusõidukiga transportimisel ohtlikuks. Seetõttu jäetakse päästevest vetelpääste droonimooduli ujuvusvahendi valikust välja. Päästevest on mõeldud kasutamiseks veesõidukites olevatele inimestele (N. Hollman, isiklik kirjavahetus, 24. veebruar, 2021).

Restube on täispuhutav ujuvusvahend [25]. Restube Automatic on loodud kasutamiseks mehitamata õhusõidukitel ja see aktiveerub automaatselt veega kokkupuutel mõne sekundi jooksul. Lisaks on seda võimalik käsitsi aktiveerida [26]. Restube Automatic`u kaal on 240 g ja mõõtmed kokkupakituna on 140 x 60 x 50 mm [27], mistõttu sobib see hästi vetelpääste droonimoodulil kasutamiseks. Kerge kaalu tõttu on seda võimalik ka käsitsi kaugele visata. Restube Automatic`u kandevõime on 75 N ja sellel on lihtsasti vahetatavad süsihappegaasi-padrin ja veeaktivaator. Restube Automatic`ut saab kasutada kuni sada korda [26]. Vetelpääste droonimoodulil kasutatavaks ujuvusvahendiks valitakse Restube Automatic (Joonis 2.2), kuna see on sobilik kõikide aspektide poolest ja on mitu korda kergem, kui näiteks G4S rannavalves kasutatav päästerõngas.



Joonis 2.1 Restube Automatic [26]

2.2 Vallandamismehhanismi täituri valik

Vallandamismehhanism on vajalik ujuvusvahendi kinnitamiseks ja vallandamiseks ning selle põhilised komponendid on latt, riiv ja täitur. Vallandamismehhanism toimib nii, et servoajami rootori pööramise korral tõmmatakse riivi, mis vabastab ujuvusvahendit kinnitava lati, et vallandada ujuvusvahend. Sobiva täituri valikuks võrreldakse alalisvoolumootoreid, servoajameid, samm-mootoreid ja lineaarliikumisega solenoide.

Alalisvoolumootor on lihtne kaheklemmiline elektriliselt juhitud seade, millel on pöörlev völli rataste, hammasrataste või propellerite kinnitamiseks. Alalisvoolumootor genereerib oma suuruse kohta märkimisväärselt palju pöördet minutis: 3000 rpm kuni 8000 rpm. Alalisvoolumootorite kiirust juhitakse pulsilaiusmodulatsiooni abil. Alalisvoolumootoreid on võimalik klemmide polaarsust vahetades panna pöörlema päri- ja vastupäeva. Madalatel kiirustel on alalisvoolumootorite pöördemoment ja positsioneerimistäpsus kesised, mistõttu on alalisvoolumootorid ebapraktilised kõrget positsioneerimistäpsust nõudvatel ülesannetel [28].

Servoajam on suure täpsuse ja toimekiirusega ning laias kiirusvahemikus töötav ajamisüsteem, mis koosneb servomootorist ja servovõimendist. Servovõimendi reguleerib servomootori toitevoolu ja koosneb põhiosadena lõppastmest ning seda tüüriivast regulaatorist. Regulaator tagab etteande- ning tegelike suuruste pideva võrdlemisega servomootori täpse töö ka muutuva koormuse tingimustes. Lõppaste on jõuelektroonikal baseeruv modulaator, mis formeerib servomootori toitevoolu tagamaks täituri ettenähtud liikumistrajektoori [29]. Pulsilaiusmodulatsioonist tulenevad signaalid on sisendiks pöördenurga määramisel [28]. Servoajamit kasutatakse tavaliselt positsioneerimist nõudvatel ülesannetel [29].

Samm-mootor on alalispinge impulsse mootori völli mehaaniliseks energiaks muutev elektrimasin. Ehitusviisilt on samm-mootorid sünkroonmootorid, mille rootor [29]

pöörleb iga taktimpulsi korral kindla nurga võrra [28]. Pooluste arvu suurendades suureneb positsioneerimistäpsus. Tänu numbrilisele juhtimisele sobib samm-mootor ideaalselt kokku diskreetsete juhtimissüsteemidega, näiteks mikroprotsessoriga. Samm-mootori eeliseks on tagasisideanduri puudumine ajami positsioneerimisel [29]. Erinevalt servoajamitest on samm-mootoritel võime töötada järjepidevalt püsikiirusel [28]. Järjestikuste impulssidega juhtimise tõttu võib madalatel pööretel olla samm-mootori liikumine katkendlik. Samm-mootoritel on sõltuvalt ehitusviisist neli, kuus või kaheksa ühendusklemmi [29].

Solenoid on elektrienergiat mehaaniliseks energiaks muutev seade [29]. Solenoidi läbistav elektrivool põhjustab seadme mehaanilise osa liikumise. Antud liikuvat mehhanismi kasutatakse riivi, klapi või lülitina [28]. Solenoide kasutatakse automaatikaseadmetes, kus on vaja sooritada lühikese teekonnaga lineaar- või pöördliikumist. Ühesuunalise lineaarliikumisega solenoididel mõjub mähisest arendatav jõud ühes suunas ja tagasi liikumine toimub mehaaniliselt, näiteks vedru abil. Kahe-suunalistel lineaarliikumisega solenoididel toimub liikumine kahes suunas kahe erineva mähise abil. Bistabiilsetel lineaarliikumisega solenoididel saavutatakse liikumine elektrilise impulsi abil ja liikumissuund määratakse polaarsusega ning lõpupositsioonid säilitatakse püsिमagnetitega ühes otsas [29].

Alalisvoolumootor on mõeldud püsikiirusel töötamiseks ning mitte suurt positsioneerimistäpsust nõudvateks ülesanneteks [28], mille tõttu ei sobi see vallandamismehhanismi täituriks. Samm-mootor töötab nelja, kuue või kaheksa ühendusklemmiga ning allikast [29] selgus, et samm-mootori juhtimine on üsna keeruline. Lisaks võib madalatel pööretel olla samm-mootori liikumine katkendlik, mistõttu ei kasutata ka samm-mootorit antud lõputöös. Juhtimislihtsuse tõttu sobivad vallandamismehhanismi täituriks lineaarliikumisega solenoid ja servoajam.

Vallandamismehhanismi täituriks valitakse servoajam WP110T (Joonis 2.2), mis on veekindel kuni ühe meetri sügavuseni vee all. WP110T poolt arendatav pöördemoment on 12,6 kg/cm kuni 20,1 kg/cm sõltuvalt toitepinge väärtusest, mis jääb vahemikku 4,8 V kuni 6 V. Servoajami WP110T kaal on 53 g [30].



Joonis 2.2 Servoajam WP110T [30]

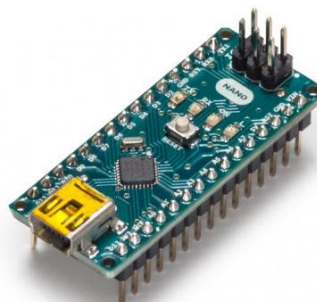
2.3 Arendusplaadi valik

Kasutamislühtsuse [31] tõttu valitakse vallandamismehhanismi täituri juhtimiseks üks Arduino arendusplaatidest. Tabelis 4.1 on välja toodud enim levinud Arduino arendusplaatide võrdluseks vajalikud andmed.

Tabel 4.1 Arduino arendusplaatide võrdlus

Arendusplaat	Mõõtmed mm	Kaal g	Allikas
Arduino Uno	68,6 x 53,4	25	[32]
Arduino Nano	18 x 45	7	[33]
Arduino Leonardo with headers	68,6 x 53,3	20	[34]
Arduino Micro	48 x 18	13	[35]

Vallandamismehhanismi täituri juhtimiseks valitakse arendusplaat Arduino Nano 3.1 (Joonis 2.3), kuna see on kõige väiksemate mõõtmete ja kaaluga, mistõttu on see kõige sobilikum vetelpääste droonimoodulil kasutamiseks. Atmega328 on Arduino Nano 3.1 mikroprotsessor. Arendusplaadi Arduino Nano 3.1 opereerimispinge on 5 V, taktsagedus 16 MHz, välmälu 32 kB, SRAM 2 kB ja EEPROM 1 kB [36]. Ka antud andmete põhjal on arendusplaat Arduino Nano 3.1 sobilik.



Joonis 2.3 Arduino Nano 3.1 [37]

2.4 Toiteallika valik

Tsinksüsiptareid pole sobilikud järjepidevaks kasutamiseks ja on kergesti lekkivad. Tsinksüsiptareid nominaalpinge on umbes 1,5 V, kuid see langeb tegevusaja jooksul. Tsinksüsiptareid on lühike hoiustamisaeg ja need on sobilikud madala võimsusega rakendusteks [28].

Tsinkkloriidptareid võimaldavad kõrgemat voolutugevust ja on umbes 50 % suurema mahutavusega, kui tsinksüsiptareid. Ka tsinkkloriidptareid nominaalpinge on umbes 1,5 V ja see langeb tegevusaja jooksul. Samas töötavad tsinkkloriidptareid suuremas temperatuurivahemikus ja neid on võimalik kauem hoiustada. Tsinkkloriidptareid on madalam sisemine takistus ja kõrgem mahutavus kui tsinksüsiptareid [28].

Alkaline ptareid on enim levinud ptareid majapidamisalastes rakendustes. Alkaline ptareid nominaalpinge on 1,5 V ning see ei lange eluea jooksul nii palju, kui tsinksüsiptareid ja tsinkkloriidptareid. Alkaline ptareid on madala hinna ja sisemise takistusega [28] ning neid on võimalik väga kaua hoiustada [38]. Lisaks töötavad alkaline ptareid suuremas keskkonna temperatuurivahemikus, kui eelpool välja toodud ptareid [28].

Liitiumptareid nominaalpinge on 3 V. Liitiumptareid on võimalik hoiustada väga kaua: 10 aastat. Lisaks on liitiumptareid madal sisemine takistus ja see säilib sellisena ka tühjakslaadimise jooksul. Liitiumptareid toimivad hästi nii madalate kui ka kõrgete keskkonna temperatuuride korral [28]. Liitiumptareid on kõrge mahutavus [38].

1,5 V liitium-raud dissulfiid ptareid on kergemad ja suurema mahutavusega, kui alkaline ptareid. Samas on madala koormuse korral liitium-raud dissulfiid ptareid eluiga lühem, kui alkaline ptareid [28]. Sellegipoolest on liitium-raud dissulfiid ptareid võimalik hoiustada 15 aastat [38]. Alkaline ptareid on odavamad, kui liitium-raud dissulfiid ptareid. [28].

Merkuurelement on kõrge mahutavusega. Merkuurelementi sisemine takistus ja 1,35 V nominaalpinge on püsivad merkuurelementi eluea jooksul. Neid toodetakse ainult nööppptareidena [28].

Ka hõbeksiidptareid toodetakse ainult nööppptareidena. Neil on hea löögi- ja vibratsioonitaluvus, püsiv sisemine takistus ning neid on võimalik kaua hoiustada. Hõbeksiidptareid nominaalpinge on natuke üle 1,5 V [28].

Tsinkõhkelemendi nominaalpinge on 1,45 V ja selle sisemine takistus on üsna madal [28]. Tsinkõhkelement on kõrge mahutavusega, kuid lühikese elueaga [38]. Aktiveerimise järel kestab tsinkõhkelement tavaliselt umbes 60 päeva ja on kõige efektiivsem rakendustes, kus energia tarbitakse mõne nädala jooksul. Neid toodetakse nööp- ja tabletpatareidena [28].

Toiteallika valikul välistatakse 1,35 V, 1,45 V ja 1,5 V nööppatareid, sest nende nominaalpinge tõttu oleks vaja nelja nööppatareid, et toita 5 V arendusplaati Arduino Nano 3.1 ja servoajamit WP110T, mille toitepinge on 4,8 V kuni 6 V. Seetõttu välistatakse merkuurpatarei, hõbeoksiidpatarei ja tsinkõhkpatarei. Tsinkõhkpatareid välistav tegur on ka lühike eluiga. Alkaline patarei on paremate omadustega, kui tsinksüsiidpatarei ja tsinkkloriidpatarei. Samas on liitiumpatarei väga kõrge mahutavusega [28], mistõttu peetakse seda sobilikuks toiteallikaks vetelpääste droonimooduli elektroonika jaoks. Toiteallikaks valitakse kolm 3 V CR2032 liitiumpatareid, mis ühendatakse omavahel jadamisi, et saavutada 9 V toitepinge. Ühe nööppatarei mõõtmed on 20 x 3,2 mm [39].

Mõõtmise käigus selgus, et valitud elektroonika komponentide voolutarve kokku on tavaolekus 38 mA ja servoajami WP110T rootori pööramise korral 120 mA kuni 140 mA. Valitud liitiumpatareide mahutavus on 230 mAh [39]. Seega saaks 38 mAh korral tavaolekus lennata vetelpääste droonimooduliga 6 h 3 min ja teha üle 11 täispikkuses lennu, kuna mehitamata õhusõidukiga DJI Mavic 2 Pro on võimalik lennata järjest 31 min. Samas pole rannavalves vaja tavaliselt eeldatavasti sooritada täispikkuses 31 min lende ja seetõttu on kokkuvõttes võimalik sooritada rohkem lende enne, kui tuleb vetelpääste droonimooduli patareisid vahetada. Kuna ujuvusvahendi vallandamiseks ja kinnitamiseks kestab servoajami WP110T rootori edasi-tagasi pööramine 1 s, on servoajami töötamise energiatarve väga madal ja ei mõjuta oluliselt toiteallika kestvust. Järelikult sobivad valitud liitiumpatareid toiteallikaks.

2.5 Optoelektronilise komponendi valik

Antud alapeatükk käsitleb sobiliku optoelektronilise komponendi valimist. Optoelektronilise komponendi eesmärk on arendusplaadile Arduino Nano 3.1 etteantud lävendist suurema väärtusega signaali andmine, kui DJI Mavic 2 Pro põhjal olev valgusti

sisse lülitatakse. Antud signaali vastuvõtmise korral teostab Arduino Nano 3.1 programmis määratud juhtimisprotsessi.

Fototakistid on takistid, mille takistus muutub vastavalt valguse intensiivsusele. Pimeduses omavad fototakistid tavaliselt väga suurt takistust (megaohm`des) ja valguse käes väheneb nende takistus oluliselt. Sõltuvalt valguse intensiivsusest võib takistus langeda isegi mõne saja ohm`ni. Fototakisteid kasutatakse valguse või pimeduse poolt aktiveeritavates lülitusskeemides ja valgustundlikes tajurskeemides. Fototakistil kulub mõni millisekund või rohkem täieliku olekumuutuse toimumiseks [28].

Fotodiodid on erilised diodid, mis on tundlikud footonite suhtes [40]. Kaheklemmilised fotodiodid muundavad valgusliku energia elektriliseks energiaks [28]. Fotodioode kasutatakse valgustajurit vajavates elektriahelates [40]. Kui fotodiodi anood ja katood ühendada juhtme abil ja fotodiodile suunata valgus, muutub see väikeseks energiaallikaks [28].

Fototransistorid on valgustundlikud transistorid. Tüüpiline fototransistor on bipolaartransistori sarnane, millelt on baas eemaldatud ja asendatud valgustundliku pinnaga. Kui valgustundlikule pinnale suunata valgus, siis tekib väike baasivool, mis tüürib kollektori ja emitteri vahelist voolu [28]. Fototransistore kasutatakse sageli koos valgusdiodidega kontrollimaks, kas nende vahel on mõni objekt [40]. Väljafototransistorid on valgustundlikud väljatransistorid. Neis tekib valguse tõttu paisupinge, mis tüürib läbilastavat voolu. Väljafototransistorid kahjustuvad kergemini, kui bipolaarsed fototransistorid. On olemas ka fototüristorid, mis on valgustundlikud türistorid [28].

Kõik kirjeldatud optoelektronilised komponendid sobivad põhimõtteliselt vetelpääste droonimooduli arendamiseks. Fototransistorite nõrkuseks on siiski asjaolu, et need võivad kergesti kahjustuda ja seetõttu need välistatakse. Vetelpääste droonimooduli prototüübi valmistamiseks valitakse 5 k Ω kuni 10 k Ω fototakisti tootekoodiga PGM5616D. Pimeduse korral on antud fototakisti takistus 1 M Ω ja olekumuutuse aeg on 20 ms kuni 30 ms. Maksimaalne talutav võimsus on 100mW ja alalispinge 150 V [41].

Fototakisti üks jalg maandatakse läbi takisti. Suurema takistusega takisti puhul saab Arduino Nano 3.1 suurema pingeväärtusega signaale ja väiksema takistusega takisti puhul väiksema pingeväärtusega signaale. Fototakistiga ühendatakse jadamisi 1,5 k Ω takisti, mille puhul saab Arduino Nano 3.1 signaale vahemikus ca 4,4 V kuni 4,9 V, kui

DJI Mavic 2 Pro põhja küljes olev valgusti sisse lülitatakse. Lisa 1 juhtimisahela skeemil on näidatud, kuidas ühendatakse fototakisti, 1,5 k Ω takisti ja Arduino Nano 3.1.

2.6 Kiirprototüüpimismaterjali valik

Vetelpääste droonimooduli raami kiirprototüüpimiseks kasutatakse FDM (Fused Deposition Modeling) 3D printerit. Järgnevas alapeatükis võrreldakse erinevaid 3D printimise materjale ja valitakse sobilik.

PLA ehk polülihape on tehtud taimsetest materjalidest (mais või kartulid), mistõttu on see biolagundatav [42]. PLA on 3D printimisel üks enim kasutatavaid materjale [43] ja saadaval mitmes erinevas värvitoonis, läbipaistmatu või osaliselt läbipaistvana [42]. PLA 3D printimine on lihtsam, kui teiste materjalide puhul, tänu üsna madalale printimistemperatuurile (umbes 210°C). Samas muutuvad PLA`st prinditud objektid teatud temperatuuril pehmeks [43], mistõttu välistatakse PLA kasutamine vetelpääste droonimooduli raami valmistamisel. PLA on ka hapram, kui teised materjalid ja vähem painduv kui nylon [44].

ABS ehk akrüülnitriilbutadieenstüreen on laialt kasutatav tööstuslikes rakendustes, näiteks LEGO klotsides. ABS sulab kõrgemal temperatuuril ja selle 3D printimine on lihtsamini kontrollitav kui PLA puhul. ABS`i printimisel tekivad tundlikke inimesi mõjutavad aurud ning kergesti lenduvate mikroskoopiliste osakeste tõttu tuleb kasutada õhufiltrit. ABS tõmbub jahtudes kokku [43], mille tõttu seda ei kasutata vetelpääste droonimooduli raami 3D printimiseks.

PVA`d ehk polüvinüülalkoholi kasutatakse toetusmaterjalina, mis lahustub vees [42]. Vees lahustatavuse tõttu tuleb PVA`d isoleerida õhuniiskusest. Osad PVA versioonid on elektrijuhid ja neid kasutatakse elektriskeemide 3D printimiseks otse valmistatavale objektile [44]. HIPS ehk kõrglöögikindel polüstüreen on lõplike osade printimiseks mõeldud materjal või vedeliku Limonene abil lahustatav toetusmaterjal. HIPS on palju lihtsamini prinditav ja odavam kui PVA. HIPS materjalist prinditud objektid on hea pinnaga, millel puuduvad printimisjooned [42]. PVA`d ja HIPS`i ei kasutata vetelpääste droonimooduli arendamiseks, kuna enamjaolt kasutatakse neid toetusmaterjalina ja need lahustuvad vees või vedelikus Limonene.

Nylon`it on lihtne ümber värvida [42]. Samas tõmbub jahtumisel nylon`ist 3D printitud objekt kokku ja selle servad keerduvad üles. Nylon`it on hea kasutada madalat hõõrdejõudu nõudvate osade printimiseks [42]. Õhukese struktuurina printides on nylon painduv, kuid paksemana jäik ja tugev. Niiskus imendub kergesti nylon`i kiududesse. Nylon`i 3D printimiseks on vaja kõrgel temperatuuril 3D printivat printeriotsikut ja spetsiaalset kuumutamata printimisplatvormi (näiteks Garolite) [43]. Erinevalt ABS`ist ja PLA`st ei reageeri nylon atsetooniga. Allika põhjal tagab väga hea nylon`i kihtidevaheline seotus veekindluse [44]. Nylon`it ei kasutata vetelpääste droonimooduli raami valmistamiseks, kuna 3D printimisel keerduvad nylon`i otsad üles ja jahtumisel objekti dimensioonid muutuvad.

PC ehk polükarbonaadi 3D printimiseks on vaja kõrgtemperatuurilist printimisotsikut, näiteks Prusa printimisotsikut. PC`d loetakse eksperimentaalseks materjaliks [42]. PC on väga tugev materjal, kuid seda on keeruline 3D printida, kuna see ei jää kergesti printimisplatvormi külge [43], mistõttu ei kasutata PC`d vetelpääste droonimooduli arendamiseks.

XT-CF20 on 20% karbonikiududest koosnev komposiitmaterjal [45]. XT-CF20 on väga vastupidav, kõrgendatud kuumuse taluvuse ning aurude neutraalsusega 3D printimisel [46]. XT-CF20 on hea dimensionaalse täpsuse ja stabiilsusega materjal [45]. Antud omaduste tõttu valmistatakse vetelpääste droonimooduli raam materjalist XT-CF20. Kareduse tõttu soovitatakse XT-CF20 3D printimisel kasutada roostevaba terasest või tugevdatud vasest printimisotsikut [45].

3. PROTOTÜÜBI PROJEKTEERIMINE

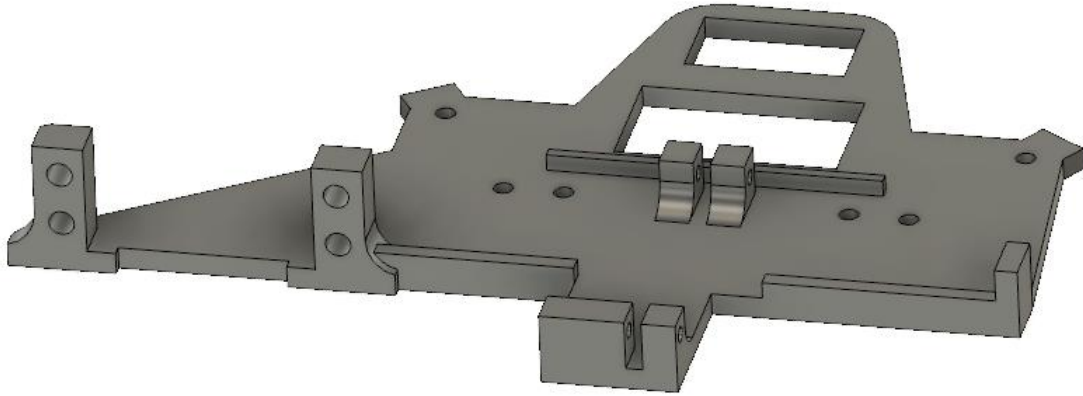
3.1 Riistvara

3.1.1 Elektroonika

Vetelpääste droonimooduli elektroonika jaotatakse juhtimisahelaks ja jõuahelaks. Juhtimisahela kõige tähtsamad komponendid on arendusplaat Arduino Nano 3.1 ja fototakisti. Jõuahela kõige tähtsamad komponendid on servoajam WP110T ja 9 V toiteallikas. Arduino Nano 3.1 toitepinge on 5 V ning servoajami WP110T toitepinge jääb vahemikku 4,8 V kuni 6 V. Jõuahelasse lisati alalispingemuundur, et muuta 9 V toiteallika pinge tasemele 5 V. Toiteallika positiivsele klemmile on lisatud lüliti. Toite olemasolu tõestuseks on alalispingemuunduriga paralleeli ühendatud ka valgusdiodid koos 1 k Ω takistiga. Fototakisti eesmärk on arendusplaadile Arduino Nano 3.1 etteantud lävendist suurema väärtusega signaali andmine, kui DJI Mavic 2 Pro põhja küljes olev valgusti sisse lülitatakse. Seetõttu on fototakisti üks jalg ühendatud Arduino Nano 3.1 analoogklemmi ja läbi 1,5 k Ω takisti maanduse külge. Teisele fototakisti jalale antakse 5 V toide. Arduino Nano 3.1 digitaalklemmi külge on juhtimise eesmärgil ühendatud servoajami pulsilaiusmodulatsiooni-klemm. Lisades 1 ja 2 on välja toodud vetelpääste droonimooduli juhtimisahela ja jõuahela elektriskeemid, mis koostati tarkvaras Fritzing.

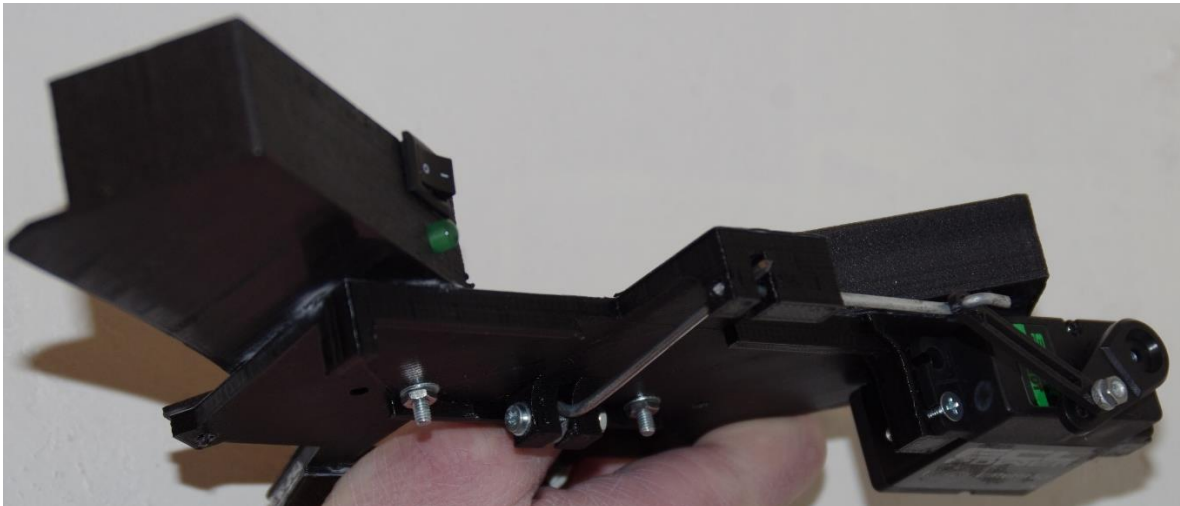
3.1.2 Mehaanika

Antud jaotises käsitletavad ruumilised kehad projekteeriti 3D printimiseks. Vallandamismehhanismi eesmärk on ujuvusvahendi kinnitamine vetelpääste droonimooduli külge ja servoajami abil ujuvusvahendi vallandamine. Raami eesmärk on elektroonikakomponentide ja vallandamismehhanismi koos hoidmine. 3D printimise iseärasuste tõttu koosneb raam kahest osast. Joonisel 3.1 on kujutatud vallandamise mehhanismi raami. Joonisel 3.4 on kujutatud elektroonikaraami.



Joonis 3.1 Vallandamise mehhanismi raami aksonomeetiline altvaade

Vallandamise mehhanismi raami külge projekteeriti kaks väljaulatuvat nelja auguga sammast servoajami kinnitamiseks poltide ja mutrite abil. Vallandamise mehhanismi raami keskosast väljaulatuvad neli sammast täidavad ujuvusvahendi kinnitamise ja vallandamise eesmärki. Ristkülikukujuliste aukude poolsete kahe väljaulatuva samba augud on mõeldud pöörleva telje jaoks. Antud telje külge kahe samba vahele kinnitub latt ujuvusvahendi kinnitamiseks. Teised kaks vaatajapoolset raamist väljaulatuvat sammast on mõeldud selleks, et mööda nendes olevaid auke saaks lineaarselt liikuda riiv, mis lukustab ujuvusvahendit kinnitavat latti. Joonisel 3.2 on välja toodud antud riiv, latt ja vallandamismehhanism. Servoajami rootori pööramise korral tõmmatakse antud riivi, mis vabastab ujuvusvahendit kinnitava lati, et vallandada ujuvusvahend.



Joonis 3.2 Vallandamismehhanism

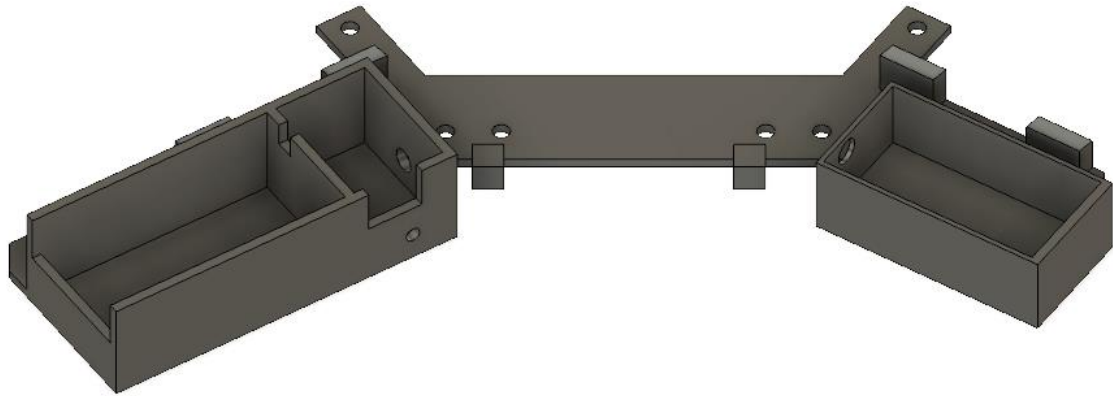
Joonisel 3.3 on välja toodud vallandamismehhanismi hoob, mille abil servoajam manipuleerib riivi.



Joonis 3.3 Vallandamismehhanismi hoova aksonomeetriline vaade

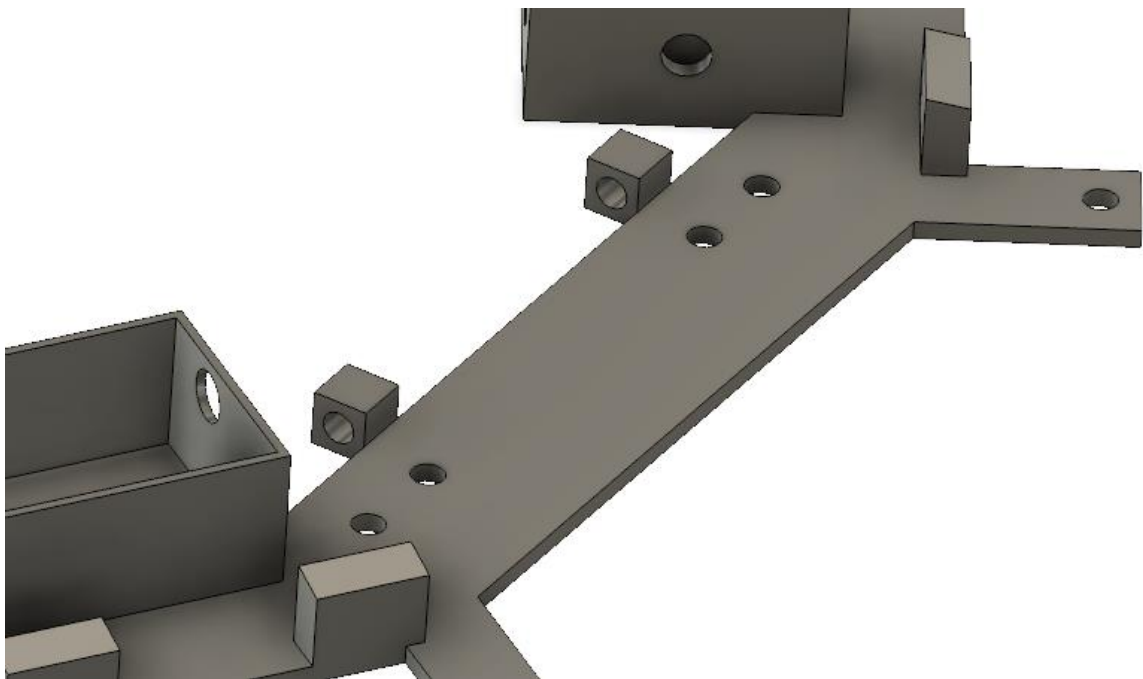
Vallandamise mehhanismi raami sisse projekteeriti kaks ristkülikukujulist auku (Joonis 3.1), et vallandamise mehhanismi raam sobiks kokku DJI Mavic 2 Pro põhjast välja ulatuva anduri ja valgustiga. Väiksemate mõõtmetega ristkülikukujuline auk on DJI Mavic 2 Pro põhja küljes oleva valgusti jaoks. Lisaks on vallandamise mehhanismi raami sisse projekteeritud ringikujulised augud. Kaks keskmist auku on antud raami ühendamiseks poltide ja mutrite abil elektroonikaraamiga, mis kinnitatakse vallandamise mehhanismi raami peale. Ülejäänud neli auku on mõeldud poltide ja mutrite abil vallandamise mehhanismi raami ühendamiseks kinnitusklambrate külge (Joonis 3.8). Antud neli auku asuvad kohakuti elektroonikaraamil olevate vastavate aukudega, nii et samad poldid läbistavad nii vallandamise mehhanismi raami kui ka elektroonikaraami.

Joonisel 3.4 on välja toodud elektroonikaraam, millest ulatuvad välja kastid elektroonikakomponentide hoidmiseks. Parempoolne kast on projekteeritud Arduino Nano 3.1 hoidmiseks. Parempoolse kasti ühes tahus on ringikujuline auk juhtmete jaoks. Vasakpoolse kasti suurem osa on projekteeritud toiteallika hoidmiseks ja väiksem osa lüliti, valgusdiodi, takisti ja alalispingemuunduri hoidmiseks. Osasid eraldava seina sisse on projekteeritud ristkülikukujuline auk juhtmete jaoks. Vasakpoolse kasti ühes tahus on ringikujuline auk, et valgusdiodid vasakpoolsest kastist välja ulatuks, ja selle augu kohal on ristkülikukujuline auk lüliti kinnitamiseks. Vasakpoolse kasti teises tahus on ringikujuline auk juhtmete jaoks.



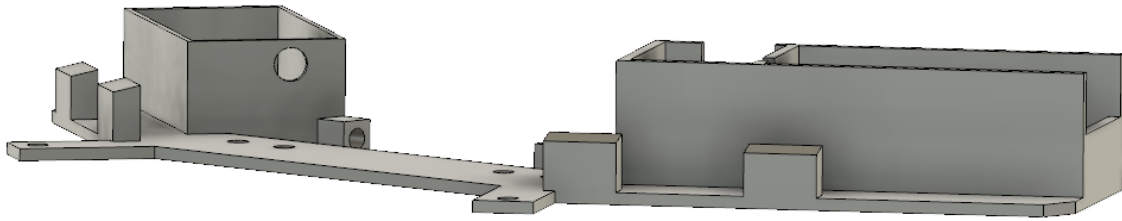
Joonis 3.4 Elektroonikaraami aksonomeetriline pealtvaade

Joonisel 3.5 on välja toodud kaks elektroonikaraami külge kinnituvat auguga kuubikut, mis on mõeldud elektroonikakastidevaheliste juhtmete kinnitamiseks.



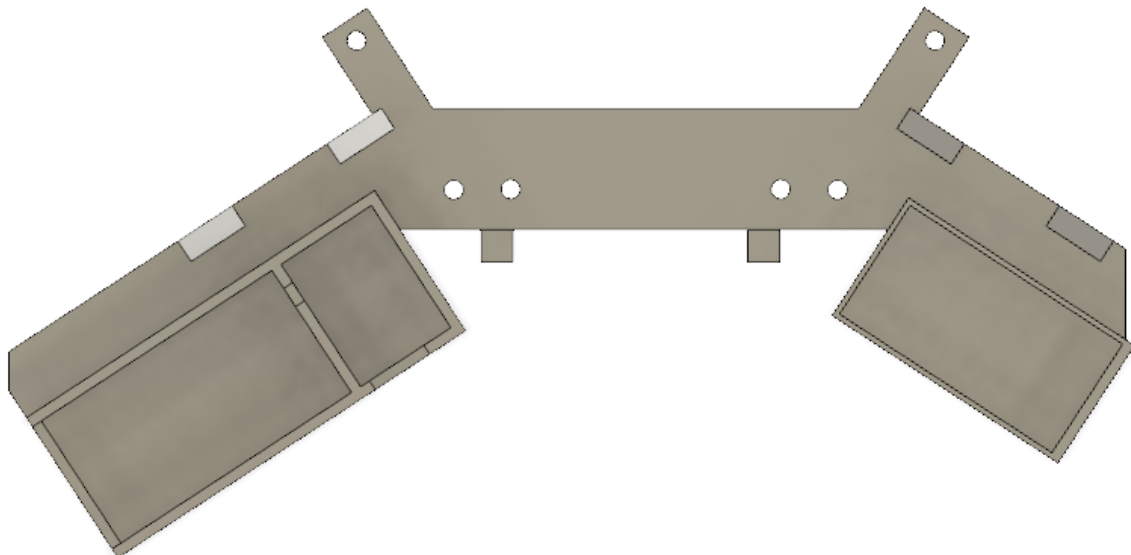
Joonis 3.5 Elektroonikaraami juhtmete kinnituste aksonomeetriline vaade

Joonisel 3.6 on välja toodud neli elektroonikaraamist välja ulatuvat tahukat, mis on projekteeritud elektroonikaraami ja vallandamise mehhanismi raami hoidmiseks sobival kaugusel mehitamata õhusõidukist DJI Mavic 2 Pro.



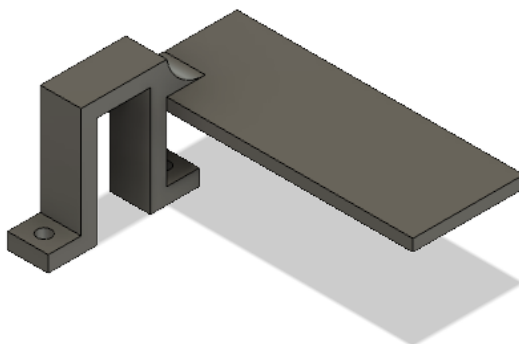
Joonis 3.6 Elektroonikaraami aksonomeetriline vaade

Joonisel 3.7 on näha kuus elektroonikaraami sisse projekteeritud ringikujulist auku. Kaks keskmist auku on antud raami ühendamiseks poltide ja mutrite abil vallandamise mehhanismi raamiga. Ülejäänud neli auku on mõeldud poltide ja mutrite abil elektroonikaraami ühendamiseks kinnitusklambrite külge. Nagu eelnevalt mainitud läbistavad antud neli polti ka vallandamise mehhanismi raami.



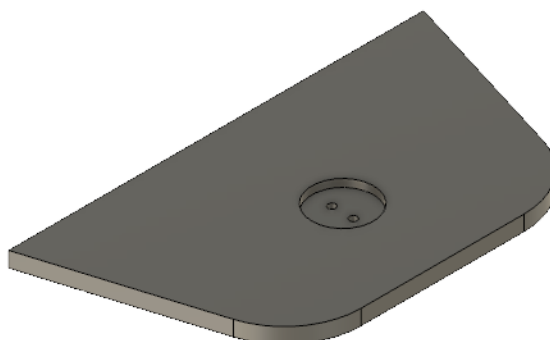
Joonis 3.7 Elektroonikaraami pealtvaade

Kahe kinnitusklambri ülesanne on vallandamise mehhanismi raami ja elektroonikaraami kinnitamine DJI Mavic 2 Pro külge (Joonis 3.8). Mõlema kinnitusklambri külge on projekteeritud väljaulatuv plaat, millega kaetakse elektroonikakaste (Joonis 3.4) pealt poolt. Kui kinnitusklambrid on kinnitatud elektroonikaraami külge, siis on elektroonikakastid kaetud kõigist kaheksast küljest.



Joonis 3.8 Kinnitusklambri aksonomeetriline vaade

Joonisel 3.9 on välja toodud plaat fototakisti kinnitamiseks DJI Mavic 2 Pro põhja küljes oleva valgusti alla. Fototakisti kinnitatakse antud plaadi külge sellelt poolt, kus on plaati mitte läbistav ringikujuline auk. Fototakisti jalad pannakse läbi kahe ringikujulise augu, mis läbistavad plaati. Antud plaat kinnitatakse näiteks Loctite Super Attak liimiga vallandamise mehhanismi raami külge väiksema ristkülikukujulise augu alla, nii et plaadi ja vallandamise mehhanismi raami ümarad servad on kohakuti.



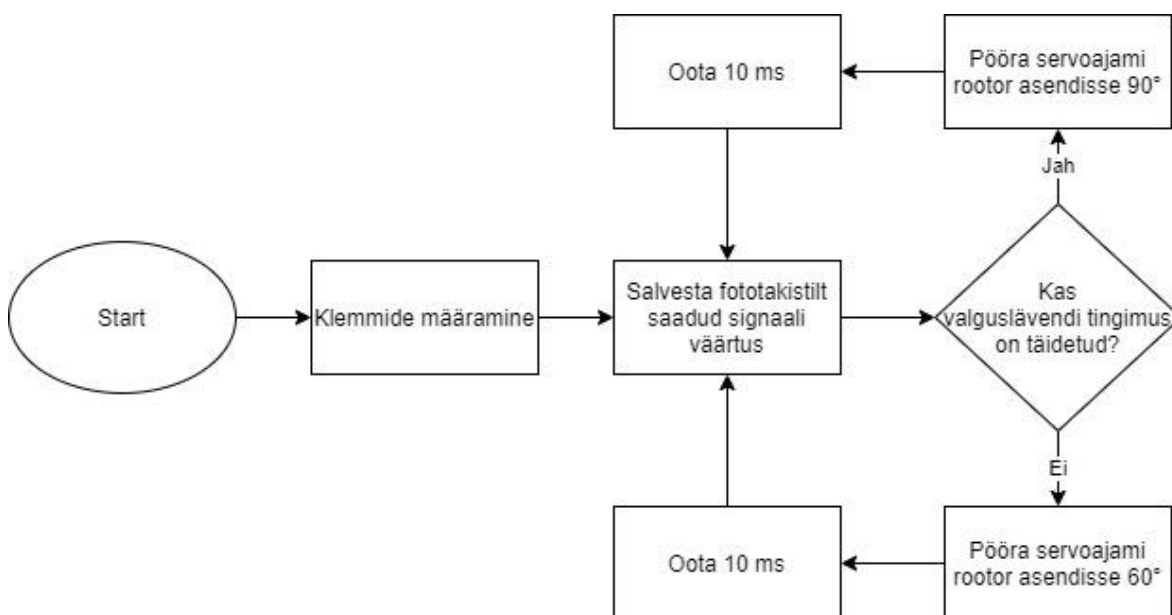
Joonis 3.9 Fototakisti kinnitusplaadi aksonomeetriline vaade

Antud alapeatükis käsitletud kehade tehnilised joonised on välja toodud Lisa 4, Lisa 5, Lisa 6, Lisa 7 ja Lisa 8. Kõnealuste kehade kolmemõõtmelised mudelid ja tehnilised joonised on koostatud tarkvaras Autodesk Fusion 360.

3.2 Tarkvara

Arendusplaadi Arduino Nano 3.1 ülesanne on juhtida servoajami tööd vastavalt analoogklemmi saabuval signaali väärtusele. Antud juhtimisprotsessi elluviimiseks kirjutati programm Arduino Nano 3.1 jaoks. Joonisel 3.10 on välja toodud Arduino Nano

3.1 programmi algoritm ja programmi asukoht on Lisa 3. Programm kirjutati programmeerimistarkvaras Arduino Integrated Development Environment ja programmi algoritm koostati järgmisel veebilehel: <https://app.diagrams.net/>.



Joonis 3.10 Programmi algoritm

Esiteks määratakse juhtimisprotsessiks vajalikud Arduino Nano 3.1 klemmid. Kõike järgnevat programmis korratakse toite olemasolul lõputult. Fototakistilt analoogklemmi kaudu saadud signaali väärtus salvestatakse deklareeritud muutujasse. Arduino Nano 3.1 analoogklemmid võtavad vastu elektrilisi signaale väärtusvahemikus 0 V kuni 5 V ja Arduino Nano 3.1 tõlgib signaalide väärtused skaalale 0 kuni 1023 [47]. Järgneb tingimuslause servoajami juhtimiseks vastavalt saabunud signaali väärtusele. Kui saadud signaali väärtus on üle 650, siis antakse servoajamile digitaalklemmi kaudu käsklus pöörata rootor asendisse 90°. Käskluse väljastamise järel oodatakse kümme millisekundit. Vastasel juhul antakse servoajamile käsklus pöörata rootor tavaasendisse 60°. Käskluse väljastamise järel oodatakse kümme millisekundit. Signaalide lävendiks määrati 650, kuna saadud signaalide väärtused jäävad keskmiselt vahemikku 900 kuni 1000 (ca 4,4 V kuni 4,9 V), kuid osade signaalide väärtused on väiksemad. Antud tingimuslausega lõppeb programmi põhiosa kordus.

Servoajami rootor pöörab asendisse 90°, et tõmmata riivi vabastamiseks ujuvusvahendit kinnitavat latti. Nii viisi vallandatakse ujuvusvahend. Tavaasend servoajami rootori jaoks on 60°. Antud rootori asendi korral lukustab riiv ujuvusvahendit kinnitava lati.

4. TULEMUSED

4.1 Staatilise koormuse simulatsioon

Tarkvaras Autodesk Fusion 360 sooritati prototüübi staatilise koormuse simulatsioon. Simuleerimise eesmärgiks oli teada saada, kas vallandamise mehhanismi raam peab vastu jõule, mida raskuskiirenduse tõttu avaldab selle külge kinnitatav 240 g kaaluv ujuvusvahend Restube Automatic. Tarkvaras Autodesk Fusion 360 polnud võimalik valida staatilise koormuse simulatsiooni jaoks materjali XT-CF20 ning seetõttu valiti materjaliks ABS Plastic. Simuleerimisel määrati jõud aukudele, milles liigub riiv lineaarselt, ja aukudele, milles pöörleb ujuvusvahendit kinnitava lati võll. Restube Automatic`u poolt avaldatava jõu arvutamiseks kasutati järgnevat valemit:

$$F = m \cdot g, \quad (4.1)$$

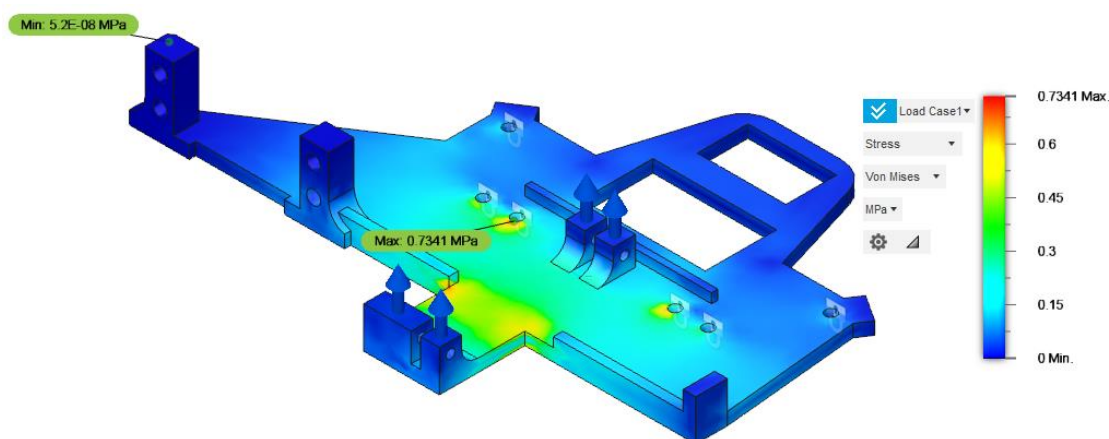
kus F – jõud, N,

m – keha mass, kg,

g – raskuskiirendus, N/kg.

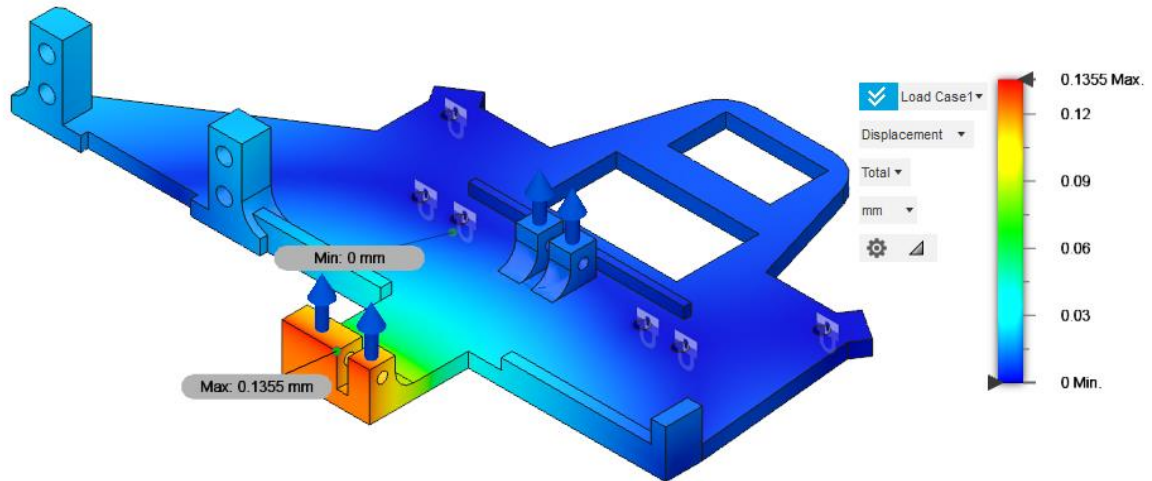
Restube Automatic`u mass on $m = 0,24$ kg ja Maa pinna lähedal on raskuskiirendus $g = 9,81$ N/kg. Järelikult avaldab valemi kohaselt Restube Automatic vallandamise mehhanismi raamile jõudu $F = 2,35$ N. Simuleerimisel fikseeriti vallandamise mehhanismi raami augud, mida kasutatakse vallandamise mehhanismi kinnitamiseks kinnitusklambrite ja elektroonikaraami külge poltide ja mutrite abil.

Simulatsiooni tulemusel saadi teada, et suurima rõhu alla 0,73 MPa väärtuses jääb üks aukudest, mis ühendab vallandamise mehhanismi raami elektroonikaraamiga poltide ja mutrite abil. Joonisel 4.1 on välja toodud täpsem ülevaade rõhu jaotumisest vallandamise mehhanismi raamil.



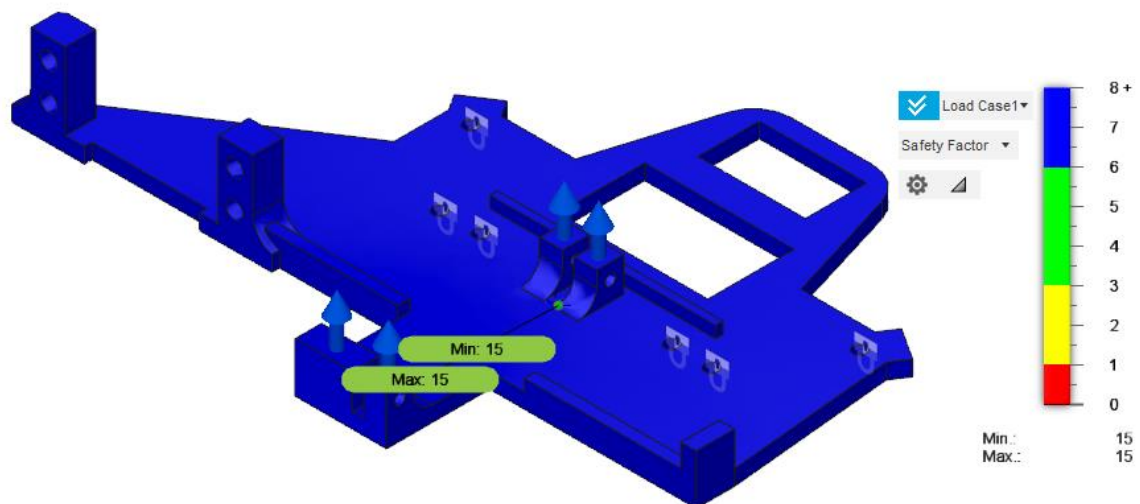
Joonis 4.1 Rõhu jaotumine vallandamise mehhanismi raamil

Maksimaalne nihe toimub paindumise tagajärjel sammastes, milles on augud riivi lineaarseks liikumiseks. Paindumise käigus tekib maksimaalselt ligikaudu 0,14 mm nihe (Joonis 4.2).



Joonis 4.2 Vallandamise mehhanismi raamile mõjuva jõu poolt tekitatav paindumine

Kogu vallandamise mehhanismi raami ulatuses hinnatakse turvalisusteguri väärtuseks 15 (Joonis 4.3), mis on maksimaalne võimalik väärtus. Staatilise koormuse simulatsiooni tulemusena selgus, et projekteeritud vallandamise mehhanismi raam on sobilik kasutamiseks antud tingimustes.



Joonis 4.3 Turvalisustegur

4.2 Prototüübi maksumus

Prototüübi ehitamiseks vajalike komponentide kogumaksumus on 167,67 €. Seega jääb komponentide maksumus seatud piiridesse, kuna lõputöö käigus arendatava vetelpääste droonimooduli valmistamise maksumuse sihiks võeti suurusjärk kuni 250 €. Tabelis 4.1 on välja toodud vajaminevate komponentide loetelu koos hindadega.

Tabel 4.1 Prototüübi komponentide hinnakiri

Komponent	Hind €	Viide
Servoajam WP110T	32,99	(A. Hobbies, tellimus, 24. veebruar, 2021)
Arendusplaat Arduino Nano 3.1	25	³
Fototakisti	1,3	⁴
Klahvlüliti	1	⁵
Alalispingemuundur	2,50	⁶
9 V toiteallikas	3,21	⁷
Patareipesad	16,39	⁸

³ OÜ Dormikor. *Arduino Nano 3.1*, OÜ Dormikor, Lasnamägi, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 04.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.oomipood.ee/product/a000005_arduino_nano_3_1

⁴ OÜ Dormikor. *Photoresistor; 100mW; 5÷10kΩ; 560nm; Mounting: THT; 150VDC*, OÜ Dormikor, Lasnamägi, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 06.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval:

<https://www.oomipood.ee/kataloog/tme/toode?sku=UEdNNTYxNkQ%3D&t=fototakisti>

⁵ OÜ Dormikor. *Klahvlüliti mikro ON-ON 1A 250VAC 10*15mm must*, OÜ Dormikor, Lasnamägi, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 05.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.oomipood.ee/product/smrs102_1c3b_klahvluliti_mikro_on_on_1a_250vac_10_15mm_must

⁶ OÜ Dormikor. *Toitemoodul DC/DC step-down 4.75..23V/1..17 3A*, OÜ Dormikor, Lasnamägi, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 05.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.oomipood.ee/product/oky3504_1_toitemoodul_dc_dc_step_down_4_75_23v_1_17_3a

⁷ "Amazon.com: 10 Pack of CR2032 Battery JNKXIXI 3.0V DL2032 5004LC Lithium Coin Button Cell Batteries," (11.05.2020). [Võrgumaterjal]. Kasutatud: 10.05.2021. Saadaval: https://www.amazon.com/CR2032-Battery-JNKXIXI-Lithium-Batteries/dp/B088FB93YW/ref=sr_1_3_sspa?crd=3LYVO4XFQPU4E&dchild=1&keywords=lithium+battery+cr2032&qid=1620670064&sprefix=lithium+battery+%2Caps%2C310&sr=8-3-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEyNzBYVkoYQkpPWUtEJmVuY3J5cHRlZElkPUEwMDM4MDU2OU5ZT1gwTzdBSkg1JmVuY3J5cHRlZEFkSWQ9QTA0Mzc5ODMySU9PSFJMwktNNMktNjndpZGdldE5hbWU9c3BfYXRmJmFjdGlvbj1jbGlja1JlZGlzZW50JmRvTm90TG9nQ2xpY2s9dHJ1ZQ==

⁸ „Shapenty Black Plastic Shell Dip Type CR2032 Vertical Coin Button Cell Battery Sockets 3 Pin Holder Case, Pack of 20,” (10.05.2017). [Võrgumaterjal]. Kasutatud: 24.04.2021. Saadaval: https://www.amazon.com/gp/product/B071F3HW8J/ref=ox_sc_act_title_2?smid=A2ZJEV0QC8IT0R&psc=1

Tabel 4.1 järg

Komponent	Hind €	Viide
Valgusdiod	0,3	9
XT-CF20 (karbonkiududest koosnev komposiitmaterjal 3D printimiseks)	49,95	10
2 mm traat	15,9	11
Juhtmed	1,2	12
Makettplaat	5	13
Takisti 1,5 k Ω	2,32	14
Takisti 10 k Ω	0,2	15
Poltide ja mutrite komplekt	2,63	16
Seibid M4	0,1	17

⁹ OÜ Dormikor. *LED3 roheline 2mA 3.2mcd 60deg*, OÜ Dormikor, Lasnamägi, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 05.04.2021. [Vörgumaterjal]. Saadaval: https://www.oomipood.ee/product/l_934lgd_led3_roheline_2ma_3_2mcd_60deg

¹⁰ ColorFabb. *XT-CF20*, ColorFabb, Belfeld, Madalmaad. Kasutatud: 01.03.2021. [Vörgumaterjal]. Saadaval: <https://colorfabb.com/xt-cf20>

¹¹ AS Kesko Senukai Estonia. *Terastraat 2mm/25m*, AS Kesko Senukai Estonia, Kesklinn, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 04.05.2021. [Vörgumaterjal]. Saadaval: <https://www.k-rauta.ee/p/terastraat-2mm-25m/2xnz>

¹² OÜ Dormikor. *Kiuline 4.0mm2 must juhe PVC Cu -30..+80deg 500V MKEM*, OÜ Dormikor, Lasnamägi, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 05.04.2021. [Vörgumaterjal]. Saadaval: https://www.oomipood.ee/product/h07vk400sw_kiuline_4_0mm2_must_juhe_pvc_cu_30_80deg_500v_mkem

¹³ OÜ Dormikor. *Makettplaat 100*160mm 3-sed saared*, OÜ Dormikor, Lasnamägi, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 05.04.2021. [Vörgumaterjal]. Saadaval: https://www.oomipood.ee/product/h25ps160_makettplaat_100_160mm_3_sed_saared

¹⁴ OÜ Dormikor. *Resistor: carbon film; THT; 1.5k Ω ; 0.25W; \pm 5%; \varnothing 2.5x6.8mm; axial*, OÜ Dormikor, Lasnamägi, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 05.04.2021. [Vörgumaterjal]. Saadaval: <https://www.oomipood.ee/kataloog/tme/toode?sku=MS80VzEuNUs%3D&t=takisti%201%2C5k>

¹⁵ OÜ Dormikor. *10K 1/4W*, OÜ Dormikor, Lasnamägi, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 04.05.2021. [Vörgumaterjal]. Saadaval: https://www.oomipood.ee/product/1_4w_10k_10k_1_4w

¹⁶ Ronex OÜ. *Kruvid, tüüblid, needid ja poldid*, Ronex OÜ, Kesklinn, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 06.04.2021. [Vörgumaterjal]. Saadaval: http://www.ronex.ee/Tootekataloog/Kruvid,_tuublid_ja_poldid/poltide_komplekt_180_tk_ristpeaga_poldid_ja_mutrid__k_sc2

¹⁷ Hüdraks OÜ. *Seib M4*, Hüdraks OÜ, Pärnu, Eesti. Kasutatud: 06.04.2021. [Vörgumaterjal]. Saadaval: <https://www.hydroshop.ee/catalog/product/view/id/1919/s/seib-m4-1919/category/232/>

Tabel 4.1 järg

Komponent	Hind €	Viide
Seibid M3	0,04	18
Termokahanevate rüüde komplekt	6	19
Kokku	167,67	

4.3 Prototüübi katsetamine

Esiteks katsetati prototüübi riistvara ja tarkvara toimimist ilma õhku tõusmata. Lüliti abil suleti elektriahel ja fototakistile suunati DJI Mavic 2 Pro põhja küljes oleva valgusti valgusvihk, misjärel servoajami rootor pööras asendisse 90°. Järgnevalt varjati fototakistit antud valgusti ja muude valgusallikate valgusvihkude eest ning servoajami rootor pööras asendisse 60°. Järelikult prototüübi riistvara ja tarkvara toimisid.

Teiseks katsetati prototüübi toimimist lendava DJI Mavic 2 Pro küljes koos ujuvusvahendiga Restube Automatic. Prototüüp kinnitati DJI Mavic 2 Pro külge ja vallandamismehhanismi külge kinnitati ujuvusvahend Restube Automatic. Seejärel lennutati mehitamata õhusõiduk DJI Mavic 2 Pro umbes kahe meetri kõrgusele ja kaugjuhtimispuldi abil lülitati sisse DJI Mavic 2 Pro põhja küljes olev valgusti, misjärel vallandus Restube Automatic. Katset sooritati kokku viis korda erinevatel kõrgustel: kaks meetrit kuni 15 meetrit. Ühel katsel tekkis probleem Restube Automatic`u kinnitamisega vallandamismehhanismi külge, sest päikesevalgus paistis ühe nurga alt fototakisti peale ja servoajam vabastas Restube Automatic`ut kinnitava lati. Sellegipoolest õnnestusid kõik viis katset, sest DJI Mavic 2 Pro tõusis lendu koos Restube Automatic`uga ja kaugjuhtimispuldi abil oli võimalik sobival hetkel Restube Automatic vallandada.

¹⁸ Hüdraks OÜ. *Seib M3*, Hüdraks OÜ, Pärnu, Eesti. Kasutatud: 06.04.2021.

[Võrgumaterjal]. Saadaval:

<https://www.hydroshop.ee/catalog/product/view/id/1915/s/seib-m3-1915/category/232/>

¹⁹ OÜ Dormikor. *Termokahanevate rüüde komplekt 127tk 40-85mm 2..13mm mustad*, OÜ Dormikor, Lasnamägi, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 06.04.2021. [Võrgumaterjal].

Saadaval:

https://www.oomipood.ee/product/has07_termokahanevate_ruude_komplekt_127tk_40_85mm_2_13mm_mustad

Kolmandaks sooritati kiiruskatsed, mille käigus tehti kindlaks, kui kiiresti on võimalik toimetada Restube Automatic abivajajani DJI Mavic 2 Pro abil. Katsed sooritati, kui abivajaja oli 400 m, 200 m, 100 m ja 50 m kaugusel. Igal distantsil sooritati kaks katset. Tabelis 4.2 on välja toodud katsete tulemused.

Tabel 4.2 DJI Mavic 2 Pro lennuajad vetelpääste droonimooduli prototüübiga

Katse	400 m aeg s	200 m aeg s	100 m aeg s	50 m aeg s
1	48	30	16	22
2	42	35	20	18

Antud tulemuste hulka pole arvestatud DJI Mavic 2 Pro käivitusajaga. Sooritati ka viis katset DJI Mavic 2 Pro käivitusaja kindlaks tegemiseks. Kolmel katsel kulus käivitamiseks 11 s ja kahel katsel 10 s. Järelikult oli keskmine DJI Mavic 2 Pro käivitusajaks 10,6 s. Kuna DJI Mavic 2 Pro`d pole võimalik hoida pidevalt käivitatud olekus, liidetakse lennuajadele (Tabel 4.2) juurde enim levinud DJI Mavic 2 Pro käivitusajaks 11 s. Tabelis 4.3 on välja toodud antud tulemused.

Tabel 4.3 DJI Mavic 2 Pro käivitusajaga sisalduvad lennuajad vetelpääste droonimooduli prototüübiga

Katse	400 m aeg s	200 m aeg s	100 m aeg s	50 m aeg s
1	59	41	27	33
2	53	46	31	29

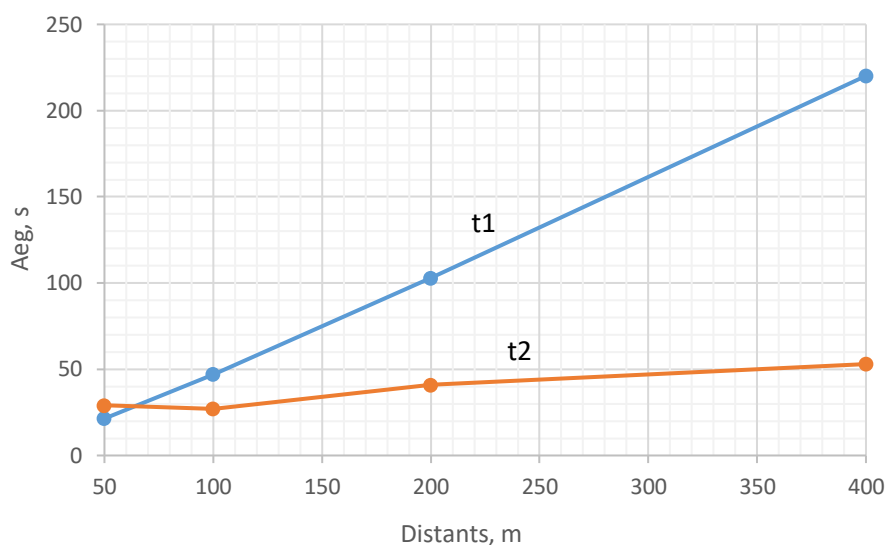
DJI Mavic 2 Pro lennuajade analüüsimiseks võrreldakse neid ujumise olümpiarekordidega vastavatel distantsidel. Tabelis 4.4 on välja toodud 2008. a Pekingi olümpiamängudel ja 2012. a Londoni olümpiamängudel sooritatud vastavate distantside meeste vabaujumise olümpiarekordid.

Tabel 4.4 Olümpiarekordid meeste vabaujumises [48]

400 m aeg	200 m aeg	100 m aeg	50 m aeg
3 min 40,14 s	1 min 42,96 s	47,05 s	21,30 s

Tuleb arvestada, et võrdluseks on toodud olümpiavõitjad, kes maailma parimatena on kiiremad ujumised, kui rannavalvurid. Lisaks ei läbi rannavalvurid kogu distantsi abivajajani ujudes, vaid ka joostes. Sellegipoolest on võrdlusest näha, et DJI Mavic 2 Pro ja vetelpääste droonimooduli eelis kasvab distantsi suurendes. DJI Mavic 2 Pro jäi meeste vabaujumise olümpiarekordile alla ainult 50 m distantsil umbes 8 sekundiga. DJI Mavic 2 Pro oli meeste vabaujumise olümpiarekorditest kiirem 100 m distantsil umbes 20 s võrra, 200 m distantsil umbes 1 min 2 s võrra ning 400 m distantsil umbes 2 min 47 s võrra. Järelikult arendati käesoleva lõputöö käigus vetelpääste droonimoodul, mis võimaldab mehitamata õhusõiduki DJI Mavic 2 Pro abil ujuvusvahendi Restube Automatic toimetamise abivajajani olümpiavõitjatest kiiremini enamikel distantsidel.

Joonis 4.4 iseloomustab DJI Mavic 2 Pro parimate lennuaegade ja meeste vabaujumise olümpiarekordite erinevust.



Joonis 4.4 DJI Mavic 2 Pro parimate lennuaegade ja meeste vabaujumise olümpiarekordite võrdlus: t1 - meeste vabaujumise olümpiarekordid, t2 - DJI Mavic 2 Pro parimad lennuajad

Järgmises alapeatükis kirjeldatakse induktiivlaadimisplatvormi ja vetelpäästedrooni arendamise tulevikuplaani. Induktiivlaadimisplatvormi abil oleks võimalik vetelpäästedrooni pidevalt laadida juhtmevabalt ja seeläbi hoida seda kogu aeg käivitatud olekus, mistõttu väheneksid abivajajani jõudmise ajad potentsiaalselt 10 s kuni 11 s võrra (Tabel 4.2). Kui arendatava vetelpäästedrooni lennukiirus on vähemalt sama hea, kui DJI Mavic 2 Pro lennukiirus, siis oleks võimalik vetelpäästedrooniga jõuda abivajajani olümpiavõitjatest kiiremini kõikidel välja toodud distantsidel. Antud juhul läbiks vetelpäästedroon 50 m distantsi 12 sekundiga, olles umbes 9 sekundi võrra kiirem olümpiavõitjast.

4.4 Tulevikuplaanid

Antud lõputöö eesmärgiks oli vetelpääste droonimooduli esimese prototüübi arendamine, et katsetada vetelpääste droonimooduli kontseptsiooni. Antud alapeatükis arutatakse, kuidas täiustada mehitamata õhusõidukite abil ujuvusvahendite toimetamist abivajajateni. Kolm esimest tulevikuplaani käivad olemasoleva vetelpääste droonimooduli prototüübi parendamise kohta. Kolm viimast tulevikuplaani käivad kaugema tuleviku kohta ja nende jaoks on vaja välja arendada vetelpäästedroon, et rannavalvurite tööd veelgi optimeerida.

Üks prioriteet järgmiste vetelpääste droonimoodulite prototüüpide arendamisel on fototakisti parem varjamine päikesevalguse ja muude väliste valgusallikate eest. Vastasel korral võib ujuvusvahend enneaegselt vallanduda. Probleemi lahendamiseks kavatakse projekteerida fototakisti ümber paremad servad, kaalutakse kummitihendite kasutamist ja muudetakse programmi tingimuslauses signaali väärtuse lävendit.

Edasiste prototüüpide arendamisel lähtutakse vetelpääste droonimooduli kaalualandamise põhimõttest, et pikendada DJI Mavic 2 Pro lennuaega. Samas on selle läbi võimalik suurendada antud mehitamata õhusõiduki poolt kantavate seadmete ja moodulite hulka. Näiteks saaks lisaks vetelpääste droonimoodulile kanda DJI Mavic 2 Pro kõlarit häälkäskluste edastamiseks või termokaamerat ranna küllastajate keha temperatuuri mõõtmiseks.

Tulevaste prototüüpide projekteerimisel peetakse oluliseks ka lihtsamini ja kiiremini vetelpääste droonimooduli DJI Mavic 2 Pro külge kinnitamise võimalust. Praeguse prototüübi kinnitamiseks on vajalikud poldid, mutrid, seibid ja kruvikeeraja, mis teeb kinnitamise protsessi tülikaks ja ajanõudlikuks. Lisaks võivad poldid, mutrid ja seibid kergesti ära kaduda. Antud prototüüp otsustati projekteerida poltide ja mutrite abil DJI Mavic 2 Pro külge kinnitavaks, kuna antud prototüübi eesmärk on katsetada vetelpääste droonimooduli kontseptsiooni. Erinevate aspektide optimeerimist nähakse ette järgmiste prototüüpide puhul.

Plaanidesse kuulub ka induktiivlaadimisplatvormi arendamine, et hädaolukorras ei peaks vetelpäästedrooni käivitamisele aega kulutama. Induktiivlaadimisplatvormi abil saaks vetelpäästedrooni pidevalt juhtmevabalt laadida ja seeläbi kogu aeg käivitatud olekus hoida, et reageerida kiiremini hädaolukordadele. DJI Mavic 2 Pro käivitamine võtab aega 10 s kuni 11 s.

Ranna ujumisala filmivate kaamerate ja videotöötuse abil on võimalik arendada vetelpäästedroonile võimekus autonoomselt abivajajani lennata. Videopilt kuvatakse puutetundlikule ekraanile, kus rannavalvur saab välja valida punkti, kuhu saata vetelpäästedroon. Kui rannavalvur märkab abivajajat ja annab ekraanil soovitud kohta puudutades käskluse vetelpäästedroon välja saata, siis lendab vetelpäästedroon autonoomselt abivajajani. Niiviisi ei peaks ükski rannavalvur tegelema vetelpäästedrooni juhtimisega ja rohkem rannavalvureid saaks otsese abi andmisega

tegeleda. Kindlasti oleks rannavalvuril võimalus vetelpäästedrooni juhtimine vajadusel üle võtta.

Lisaks kaalutakse ka masinõppel ja videotöötlusel põhineva abivajajaid tuvastava süsteemi välja arendamist. Abivajaja tuvastamise järel teavitab süsteem rannavalvurit. Seejärel saab rannavalvur otsustada, kas on vaja saata vetelpäästedroon inimeseni, kellele süsteem tähelepanu juhtis.

KOKKUVÕTE

Lõputöö käigus arendati välja vetelpääste droonimooduli prototüüp, et abivajajani saaks toimetada ujuvusvahendit Restube Automatic mehitamata õhusõidukiga DJI Mavic 2 Pro. Eesmärgi täitmiseks arendati vetelpääste droonimooduli jaoks vajalik riistvara ja tarkvara. Riistvara arendamiseks valiti sobilikud elektroonikakomponendid ja projekteeriti mehaanika. Elektroonika jaotub juhtimisahelaks ja jõuahelaks. Mehaanika osa koosneb elektroonikaraamist, vallandamise mehhanismi raamist koos vallandamismehhanismiga, kahest kinnitusklambrist ja fototakisti kinnitusplaadist. Elektroonika ja vallandamismehhanismi juhtimiseks koostati programm arendusplaadil Arduino Nano 3.1 jaoks.

Enne vetelpääste droonimooduli projekteerimist teostati uurimus mehitamata õhusõidukite kasutusvaldkondade kohta ja toodi näiteid mujal maailmas vetelpäästes kasutusel olevatest mehitamata õhu- ja veesõidukitest ning droonimoodulitest. Ühtlasi analüüsiti, miks on kasutusel olevatele lahendustele vaatamata vajadus uue vetelpääste droonimooduli järele.

Vetelpääste droonimooduli prototüübi võimekuse ja funktsioonide toimimise välja selgitamiseks sooritati mitu katset. Selgus, et prototüübi funktsioonid toimivad: DJI Mavic 2 Pro on võimeline õhku tõusma koos vetelpääste droonimooduli prototüübiga ja kaugjuhtimispuldi abil on võimalik sobival hetkel vallandada ujuvusvahend Restube Automatic. Kiiruskatsete tulemuste võrdlemisel meeste vabaujumise olümpiarekorditega selgus, et vetelpääste droonimooduli kasutamine on kõige efektiivsem kesk- ja pikamaa distantsidel. Näiteks kui abivajaja asub 100 m, 200 m või 400 m kaugusel, siis toimetab DJI Mavic 2 Pro ujuvusvahendi abivajajani 20 s kuni ligi 3 min võrra kiiremini meeste vabaujumise olümpiarekorditest vastavatel distantsidel. Seetõttu on vetelpääste droonimoodul koos mehitamata õhusõidukiga DJI Mavic 2 Pro tõenäoliselt kasulik abivahend rannavalvurite jaoks.

Tulevikus on plaanis vetelpääste droonimooduli prototüüpi edasi arendada, et tagada selle väiksem kaal ja kiirem kinnitatus DJI Mavic 2 Pro külge. Kuna ühel katsel oli päikesevalguse tõttu raskusi ujuvusvahendi Restube Automatic kinnitamisega vetelpääste droonimooduli prototüübi külge, tuleb tagada parem fototakisti isolatsioon välistest valgusallikatest. Lisaks on võimalik tulevikus arendada masinõppel põhinev süsteem, mis on võimeline iseseisvalt abivajajaid tuvastama, ja vetelpäästedroon, mis autonoomselt abivajajateni lendab. Lähitulevikus plaanitakse arendada induktiivlaadimisplatvorm, et hoida vetelpäästedrooni kogu aeg käivitatud olekus.

SUMMARY

In the course of this bachelor thesis a drone module prototype was created for DJI Mavic 2 Pro for transporting a flotation device Restube Automatic to drowning people. To accomplish this aim necessary hardware and firmware were developed. For the hardware development necessary electronics components were selected and mechanical elements were designed. The electronics consists of a control circuit and a power circuit. Mechanics consists of a chassis for the electronics, the drop mechanism, a chassis for the drop mechanism, two clamps and a plate for the photoresistor. To control the electronics and the drop mechanism a program was created for development board Arduino Nano 3.1.

There was conducted a research before creating the drone module to get a better understanding of the applications of unmanned aerial vehicles and of unmanned aerial and surface vehicles and drone modules that are already in use for surface water rescue. The author analysed why there is a need for a new drone module despite the existing solutions.

In addition, many tests were conducted to find out the capabilities of the drone module prototype and whether it functions properly. The result was that the prototype functions properly: DJI Mavic 2 Pro is able to ascend with the prototype and it is possible to drop the flotation device Restube Automatic at the right moment using a button on the remote control. The comparison of the speed test results to the men's freestyle swimming Olympic records showed, that the drone module prototype was the most effective for intermediate-range and long-range distances. For instance, in 100 m, 200 m and 400 m cases DJI Mavic 2 Pro had better time than the men's freestyle swimming Olympic records by 20 seconds up to almost 3 minutes. Therefore, the drone module with DJI Mavic 2 Pro is probably a useful tool for lifeguards.

There is a plan to develop the drone module further in the future so that it would be possible to attach it faster to DJI Mavic 2 Pro. It is also necessary to reduce weight and design better isolation for the photoresistor since at one test it was difficult to attach the flotation device Restube Automatic to the drone module prototype as sunlight caused the photoresistor to reduce resistance. Furthermore, it is possible to develop a system based on machine learning that is capable of detecting drowning people and an unmanned aerial vehicle that is capable of autonomously flying to drowning people. In the near future it is planned to develop a platform with an inductive charger to keep the unmanned aerial vehicle always powered on.

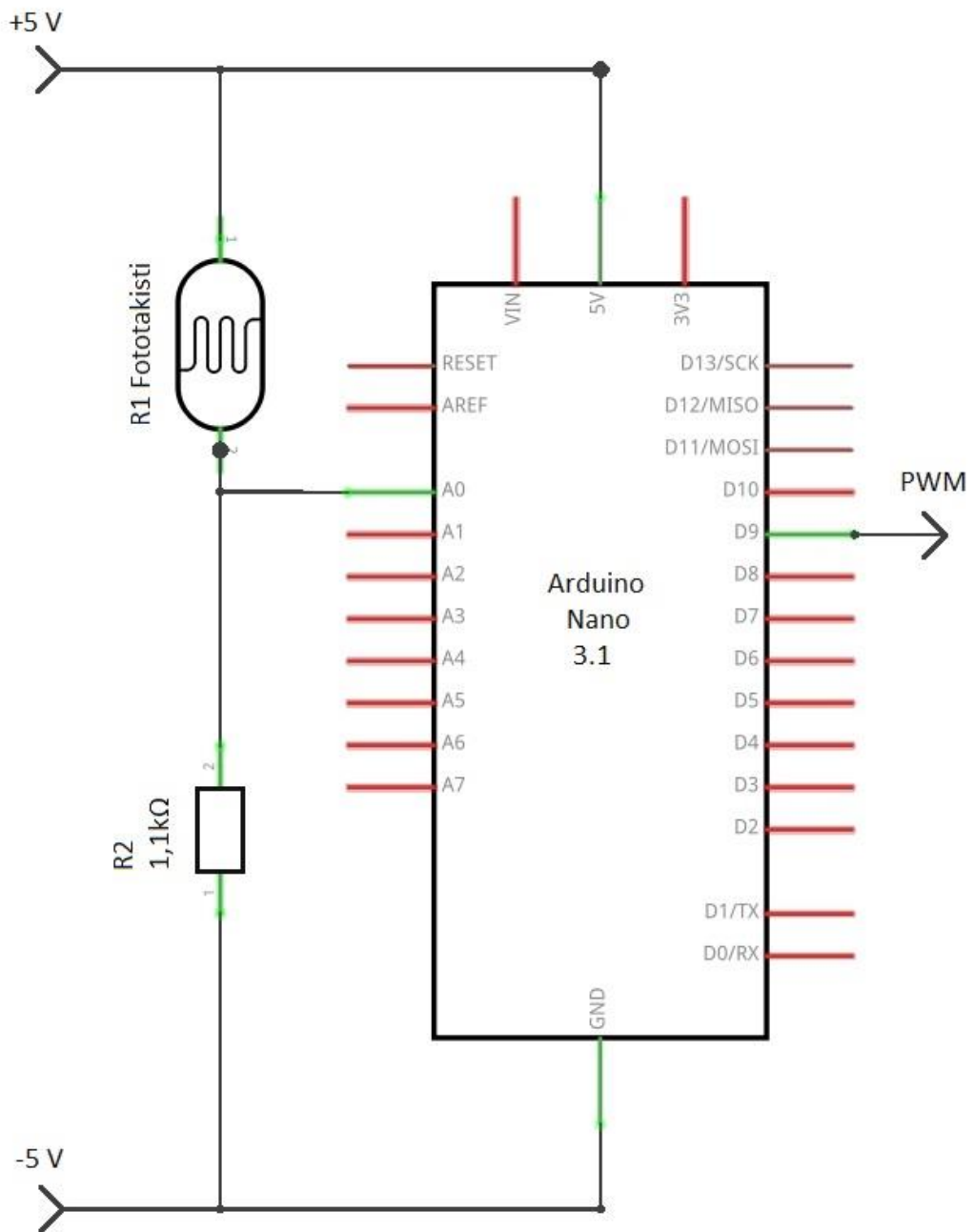
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

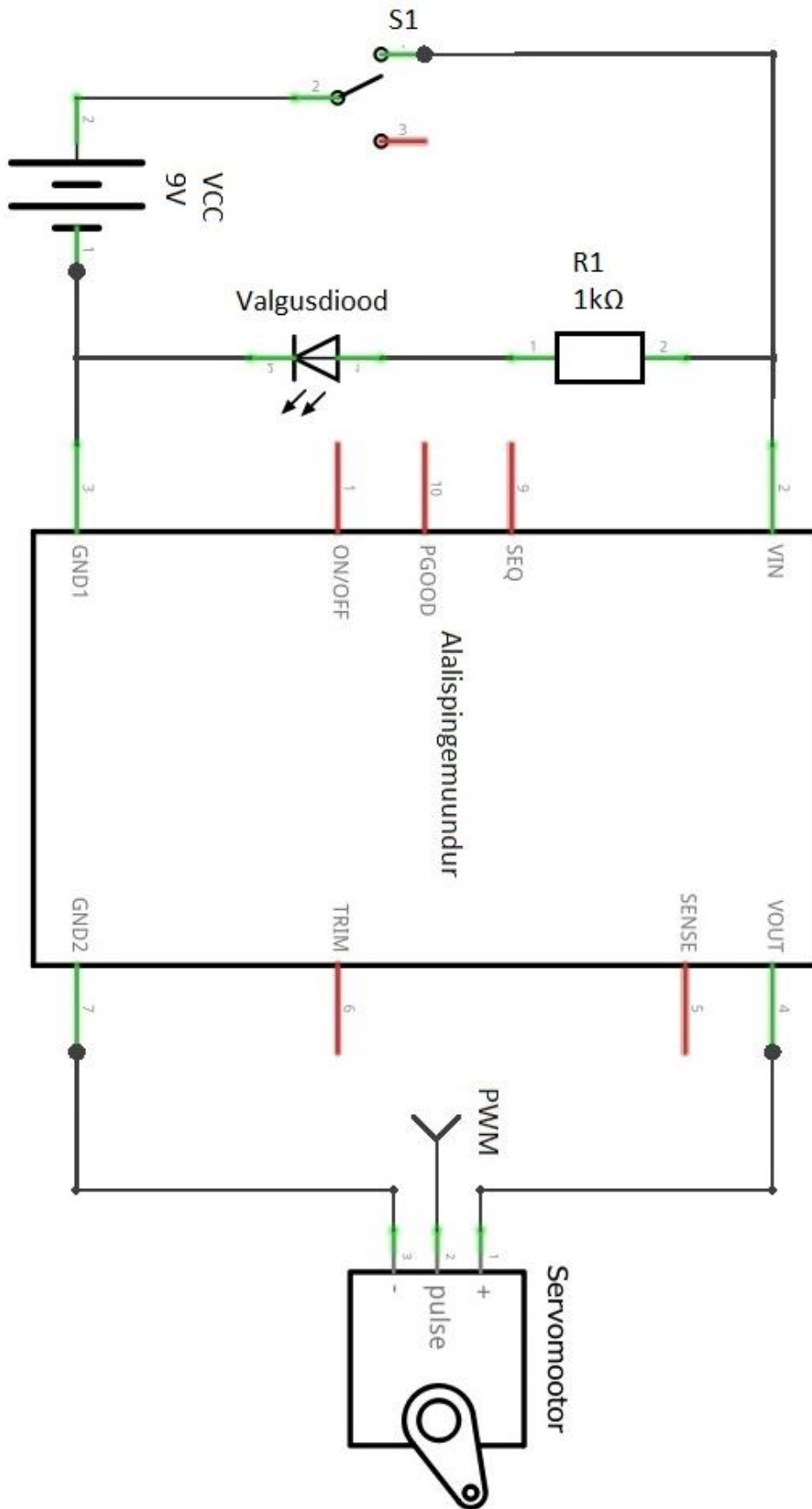
- [1] Päästeamet. *Veeõnnetustes hukkunud 2020*, Päästeamet, Kesklinn, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 11.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.rescue.ee/files/2021-02/luehikokkuvote2020.pdf?89c0a79e33>
- [2] K. P. Valavanis ja G. J. Vachtsevanos, Eds., *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Dordrecht, Springer Netherlands, 2015.
- [3] R. Bartsch, J. Coyne ja K. Gray, *Drones in society: Exploring the strange new world of unmanned aircraft*. London; New York: Routledge, 2018.
- [4] D. Cortright, R. Fairhurst ja K. Wall, Eds., *Drones and the future of armed conflict: ethical, legal, and strategic implications*. Chicago; London: The University of Chicago Press, 2015.
- [5] The Ripper Group (2019). *The Little Ripper Life Saver*, The Ripper Group, South Brisbane, Queensland, Austraalia. Kasutatud: 01.02.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://rippercorp.com/divisions/little-ripper-lifesaver/>
- [6] The Ripper Group. *Avalon Air Show – February 26 – March 3, 2019*, The Ripper Group, South Brisbane, Queensland, Austraalia. Kasutatud: 30.01.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://therippergroup.com/events/avalon-air-show-february-26-march-3-2019/>
- [7] S. P. Yeong, L. M. King ja S. S. Dol, "A Review on Marine Search and Rescue Operations Using Unmanned Aerial Vehicles," *International Journal of Marine and Environmental Sciences*, vol. 9, no. 2, pp. 396–399, juuli 2015. Kasutatud: 30.01.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://publications.waset.org/10001953/a-review-on-marine-search-and-rescue-operations-using-unmanned-aerial-vehicles>
- [8] D. Slezak *et al.*, "The use of drones in various rescue sectors – an analysis of examples in Poland and in the world," *Postępy Nauk Med.*, vol. 31, no. 3, pp. 173-178, juuni 2018. doi: 10.25121/PNM.2018.31.3.173
- [9] J. Fincher (19.11.2013). *Pars life-saving flying robot is now a reality*, New Atlas. Kasutatud: 30.01.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://newatlas.com/pars-life-saving-flying-robot/29831/>
- [10] B. Piedra (04.05.2015). *Project Ryp tide - A Life Saving Drone Accessory*, Kickstarter. Kasutatud: 26.01.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.kickstarter.com/projects/flying-robots/project-ryptide-a-life-saving-drone-accessory>
- [11] Swellpro Technology Co., Ltd. (2020). *SAR 1 - Water Search & Rescue \$429.00*, Swellpro Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, Hiina. Kasutatud: 26.01.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://store.swellpro.com/collections/splashdrone-3-accessory/products/search-and-rescue-kit>
- [12] OceanAlpha USV (13.06.2019). *Introducing - OceanAlpha Dolphin 1*, [Videofail]. Kasutatud: 02.02.2021. Saadaval: <https://www.youtube.com/watch?v=jjmgwD8I0Yo&t=37s>
- [13] OceanAlpha. *Dolphin 1*, OceanAlpha, Zhuhai, Guangdong, Hiina. Kasutatud: 26.01.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.oceanalpha.com/product-item/dolphin1/>
- [14] Larry Richardson (03.11.2018). *Will These Rescue Drones Replace Lifeguards? 4k Video* [Videofail]. Kasutatud: 26.01.2021. Saadaval: https://www.youtube.com/watch?v=RXTWbLSH_h0
- [15] Meridein OÜ. *DJI Mavic 2 Pro + DJI Smart Controller*, Meridein OÜ, Kesklinn, Tallinn, Harju maakond, Eesti. Kasutatud: Märts 15, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://droon.ee/toode/dji-mavic-2-pro-dji-smart-controller/>
- [16] *Splashdrone 3+ User Manual v1.54*, Swellpro Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, Hiina, 2019. Kasutatud: 26.01.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.swellpro.com/uploadfiles/files/84/84eca2209d-splashdrone-3-user-manual-v154en.pdf>

- [17] *Mavic 2 Pro/Zoom User Manual v2.2*, SZ DJI Technology Co., Ltd., Nanshan, Shenzhen, Guangdong, Hiina. Kasutatud: Märts 15, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/Mavic_2_Pro_Zoom_User_Manual_v2.2_en.pdf
- [18] DJI. *M200 Series Comparison*, SZ DJI Technology Co., Ltd., Nanshan, Shenzhen, Guangdong, Hiina. Kasutatud: 26.01.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.dji.com/ee/products/compare-m200-series>
- [19] *M300_RTK_User_Manual_EN.pdf*, SZ DJI Technology Co., Ltd., Nanshan, Shenzhen, Guangdong, Hiina, 2020. Kasutatud: 26.01.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://dl.djicdn.com/downloads/matrice-300/20200507/M300_RTK_User_Manual_EN.pdf
- [20] DJI. *Matrice 600 Pro*, SZ DJI Technology Co., Ltd., Nanshan, Shenzhen, Guangdong, Hiina. Kasutatud: 26.01.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.dji.com/ee/matrice600-pro/info>
- [21] DJI. *Matrice 100*, SZ DJI Technology Co., Ltd., Nanshan, Shenzhen, Guangdong, Hiina. Kasutatud: 26.01.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.dji.com/ee/matrice100/info>
- [22] Meridein OÜ. *SPLASHDRONE 3+ WATERPROOF BASE PLATFORM*, Meridein OÜ, Kesklinn, Tallinn, Harju maakond, Eesti. Kasutatud: 26.01.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://dron.ee/toode/swellpro-splash-drone-3-auto/>
- [23] R. Varend, *Merel kasutatavad päästevahendid II*, Tallinn: Eesti NSV Riiklik Kutsehariduskomitee, 1988.
- [24] Veeteede Amet (2016). *Veesõidukil nõutav varustus*, Veeteede Amet, Põhja-Tallinn, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 23.02.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://veeteedeamet.ee/sites/default/files/public/Varustus_2016-1.jpg
- [25] Restube. *RESTUBE*, Restube, Karlsruhe, Baden-Württemberg, Saksamaa. Kasutatud: 23.02.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.restube.com/home/>
- [26] Restube. *Restube automatic*, Restube, Karlsruhe, Baden-Württemberg, Saksamaa. Kasutatud: 23.02.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://eu-shop.restube.com/products/restube-automatic>
- [27] Restube. *Restube Comparison*, Restube, Karlsruhe, Baden-Württemberg, Saksamaa. Kasutatud: 23.02.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.restube.com/restube-comparison/>
- [28] P. Scherz ja S. Monk, *Practical Electronics for Inventors*, 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2016.
- [29] E. Brindfeldt, E. Pettai, H. Hõimoja ja V. Beldjajev, *Täiturid tööstusautomaatikas*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastuse trükikoda, 2011.
- [30] Amain Hobbies. *EcoPower WP110T Cored Waterproof High Torque Metal Gear Digital Servo*, Amain Hobbies, Chico, California, Ameerika Ühendriigid. Kasutatud: 26.02.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.amainhobbies.com/ecopower-wp110t-cored-waterproof-high-torque-metal-gear-digital-servo-ecp-110t/p734713>
- [31] Arduino. *Arduino Products*, Arduino, Torino, Itaalia. Kasutatud: 09.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.arduino.cc/en/products/compare>
- [32] Arduino. *Arduino Uno Rev3*, Arduino, Torino, Itaalia. Kasutatud: 09.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [33] Arduino. *Arduino Nano*, Arduino, Torino, Itaalia. Kasutatud: 09.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>
- [34] Arduino. *Arduino Leonardo with Headers*, Arduino, Torino, Itaalia. Kasutatud: 09.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://store.arduino.cc/arduino-leonardo-with-headers>
- [35] Arduino. *Arduino Micro*, Arduino, Torino, Itaalia. Kasutatud: 09.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://store.arduino.cc/arduino-micro>

- [36] *Arduino Nano 3.1*, Electronics Source Co. Ltd., Bangkok-noi, Bangkok, Tai. Kasutatud: 09.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.es.co.th/Schemetic/PDF/ARMB-0022.PDF>
- [37] OÜ Dormikor, *Arduino Nano 3.1*, OÜ Dormikor, Lasnamägi, Tallinn, Eesti. Kasutatud: 09.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.oomipood.ee/product/a000005_arduino_nano_3_1
- [38] P. Horowitz ja W. Hill, *The art of electronics*, 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
- [39] "Amazon.com: 10 Pack of CR2032 Battery JNKXIXI 3.0V DL2032 5004LC Lithium Coin Button Cell Batteries," (11.05.2020). [Võrgumaterjal]. Kasutatud: 10.05.2021. Saadaval: https://www.amazon.com/CR2032-Battery-JNKXIXI-Lithium-Batteries/dp/B088FB93YW/ref=sr_1_3_sspa?crd=3LYVO4XFQPU4E&dchild=1&keywords=lithium+battery+cr2032&qid=1620670064&sprefix=lithium+battery+%2Caps%2C310&sr=8-3-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEyNzBYVkozYkpwUUtEJmVuY3J5cHRlZElkPUEwMDM4MDU2OU5ZT1gwTzdBSkg1JmVuY3J5cHRlZEFkSWQ9QTA0Mzc5ODMySU9PSFJMwkJNNMktNjNdpZGdldE5hbWU9c3BfYXRmJmFjdGlvbj1jbGlja1JlZGlzZW50JmRvTm90TG9nQ2xpY2s9dHJ1ZQ==
- [40] D. G. Alciatore ja M. B. Histan, *Introduction to mechatronics and measurement systems*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [41] *CDS Light-Dependent Photoresistor*, Token Electronics Industry Co., Ltd., Wugu Dist., New Taipei City, Taiwan, 2010. Kasutatud: 08.05.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.tme.eu/Document/0b7aec6d26675b47f9e54d893cd4521b/PGM5506.pdf>
- [42] A. K. France, Ed., *Make: 3D Printing*. Sebastopol, California: Make Media, 2013.
- [43] J. Horvath, *Mastering 3D Printing*, 1st ed. Berkeley, California: Apress, 2014.
- [44] R. Horne ja K. K. Hausman, *3D Printing For Dummies*, 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2017.
- [45] ColorFabb. *XT-CF20*, ColorFabb, Belfeld, Madalmaad. Kasutatud: 01.03.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://colorfabb.com/xt-cf20>
- [46] *colorFabb_XT*, ColorFabb, Belfeld, Madalmaad, 2020. Kasutatud: 01.03.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://colorfabb.com/media/datasheets/tds/colorfabb/TDS_E_ColorFabb_XT.pdf
- [47] Afrotechmods (17.03.2017). *You can learn Arduino in 15 minutes.*, [Videofail]. Kasutatud: 11.05.2021. Saadaval: <https://www.youtube.com/watch?v=nL34zDTPkcs>
- [48] Fina. *Men Freestyle Olympic Records*, Fina, Lausanne, Switzerland. Kasutatud: 13.04.2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: www.fina.org/swimming/records

Lisa 1 Juhtimisahel





Lisa 3 Programm

```
/*
  Programmi nimi: Vetelpääste droonimoodul
  Autor: Kristo Toots
  Loodud: 30.03.2021
  Kirjeldus: Vastavalt analoogklemmi saabuvalle signaali väärtusele antakse
             digitaalklemmi kaudu servoajamile käsklus pöörata rootor
             asendisse 90° või 60°.

*/

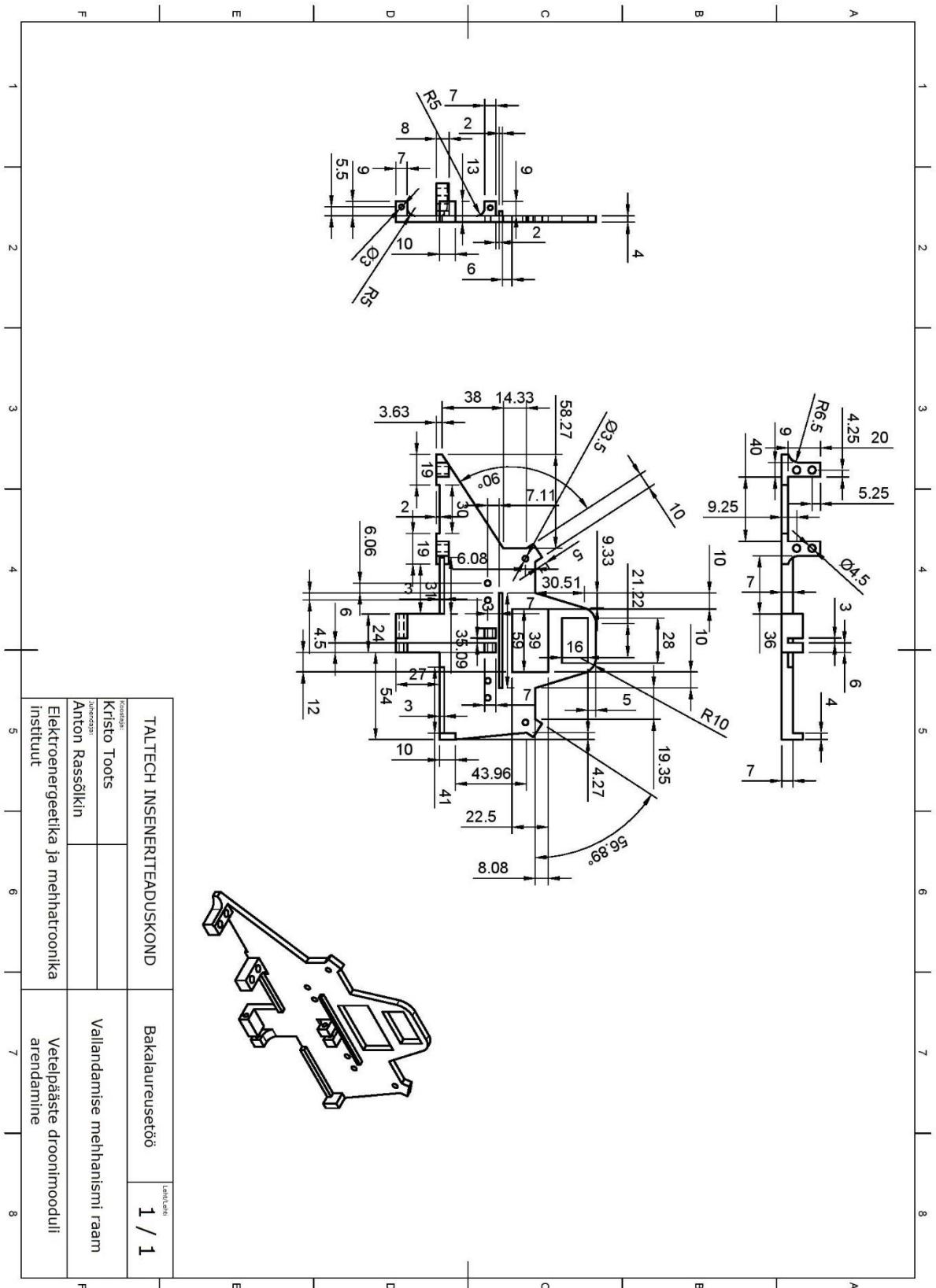
#include <Servo.h> // Servoajami "library" lisamine
#define fotoTakisti A0 // Analoogklemmi A0 määramine fototakisti jaoks
// Servoajami juhtimiseks luuakse objekt nimega „minuServo“:
Servo minuServo;

void setup() {
  //Digitaalklemmi D9 määramine servoajami juhtimiseks:
  minuServo.attach(9);
}

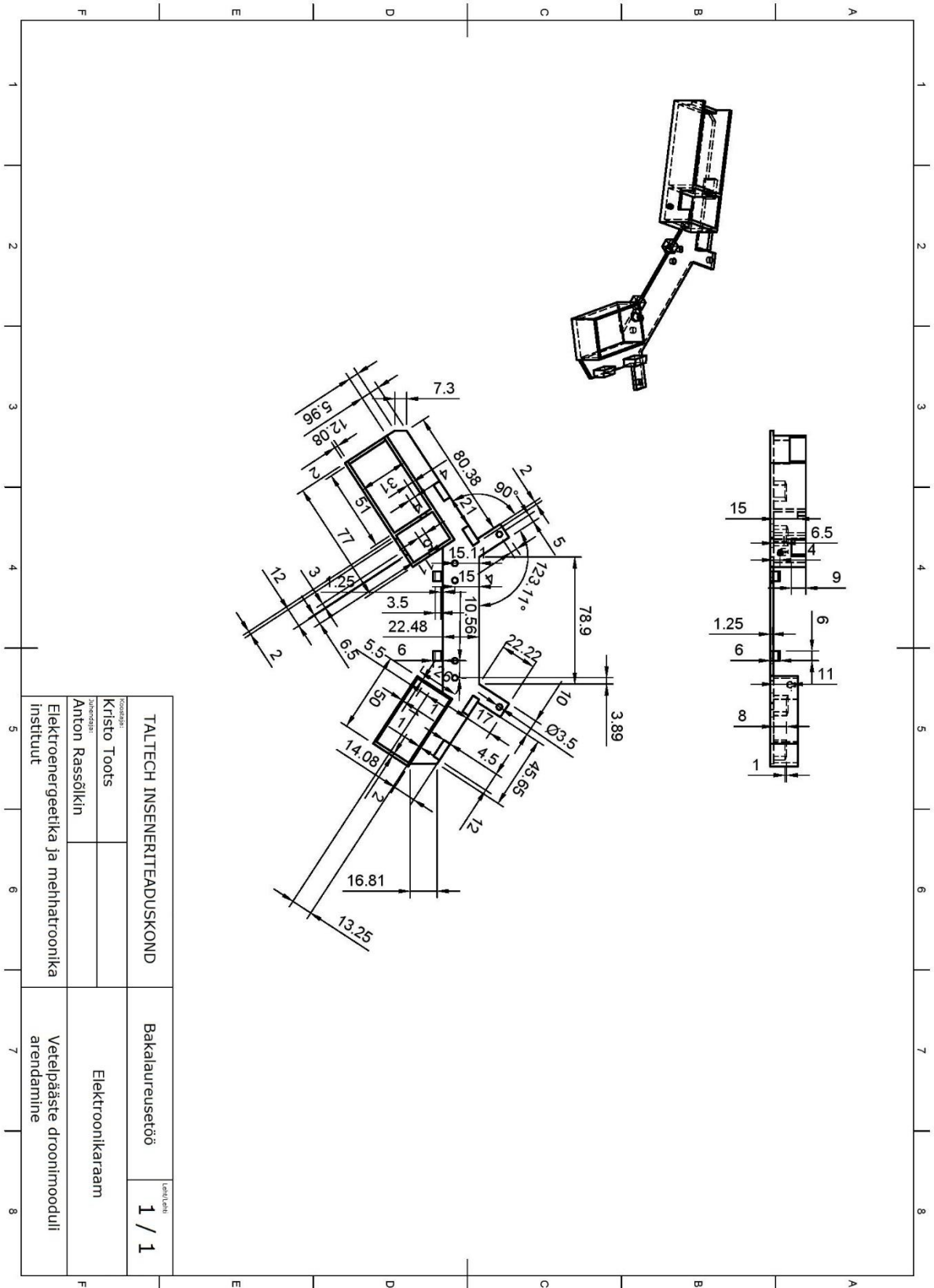
void loop() {
  // Muutuja deklareerimine ja sellesse fototakistilt
  // klemmi A0 tulnud väärtuse salvestamine
  int vaartus = analogRead(fotoTakisti);

  // Tingimuslause salvestatud väärtuse põhjal servoajami juhtimiseks
  if (vaartus > 650) { // Kui väärtus on üle 650 teostatakse alljärgnev
    minuServo.write(90); // Käsk pöörata servoajami rootor asendisse 90°
    delay(10); // Oodatakse kümme millisekundit
  } else { // Kui väärtus ei vasta tingimusele teostatakse alljärgnev
    minuServo.write(60); // Käsk pöörata servoajami rootor asendisse 60°
    delay(10); } // Oodatakse kümme millisekundit
}
```

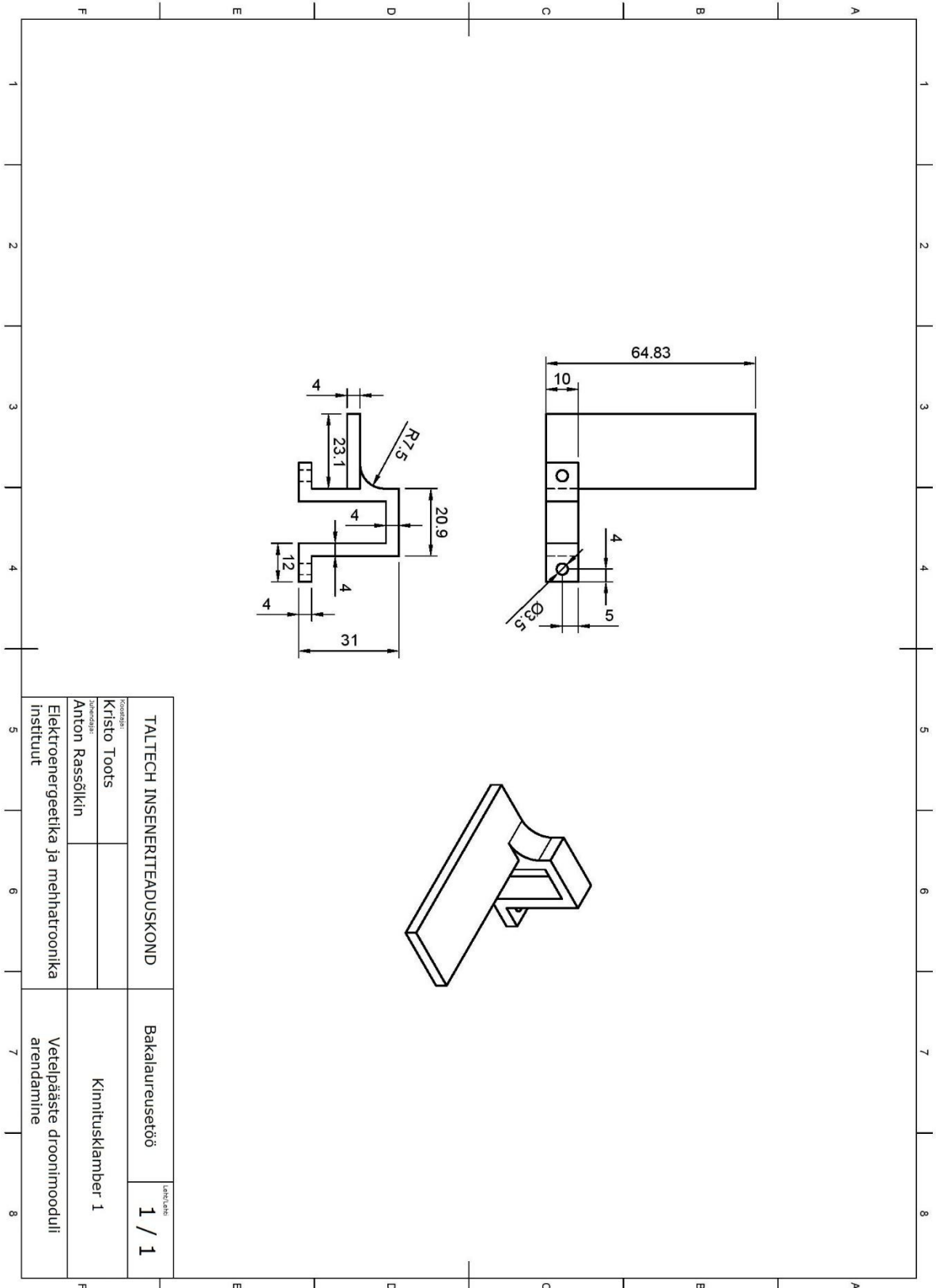
Lisa 4 Vallandamise mehhanismi raam



Lisa 5 Elektroonikaraam

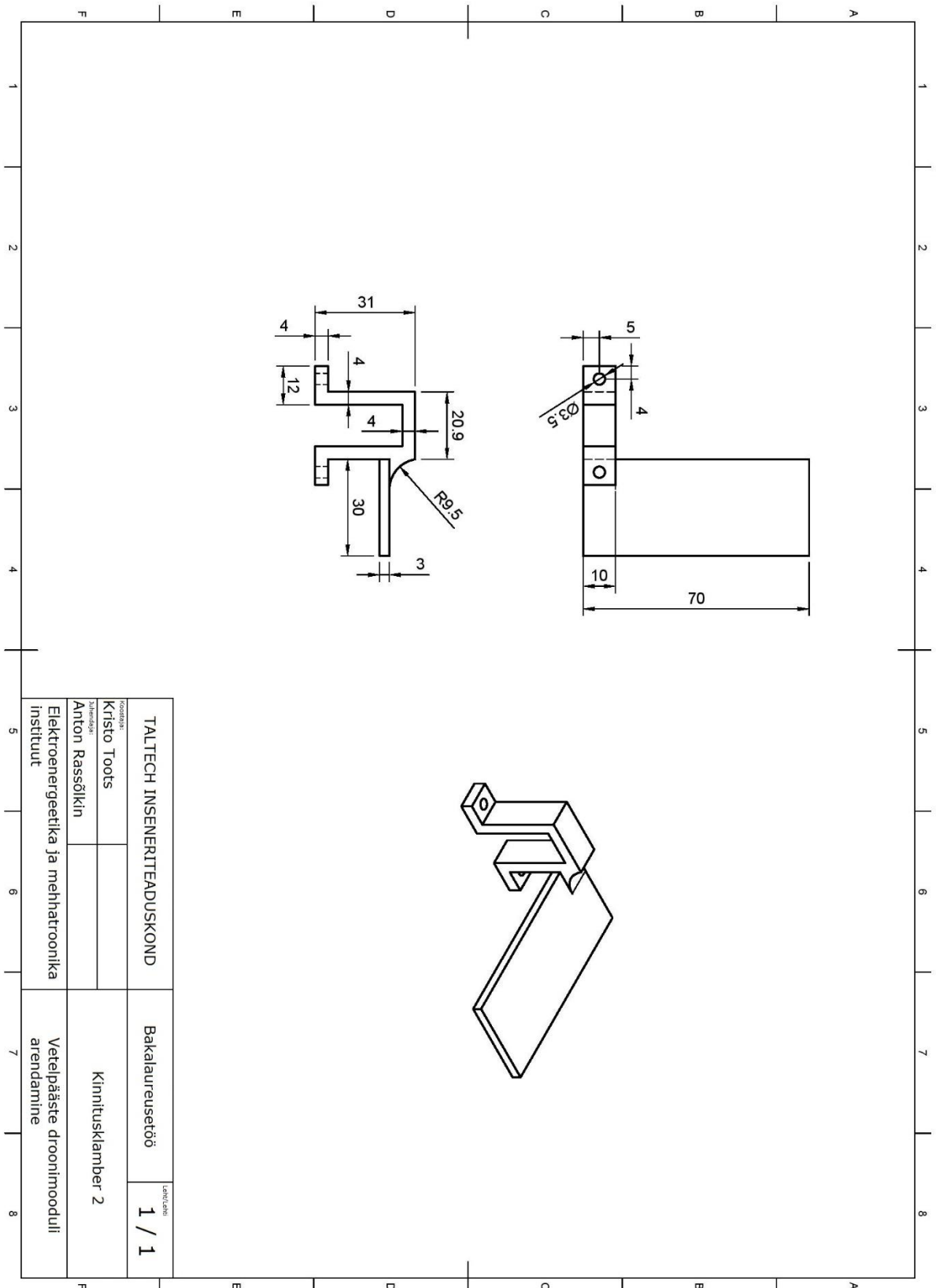


Lisa 6 Kinnitusklamber 1

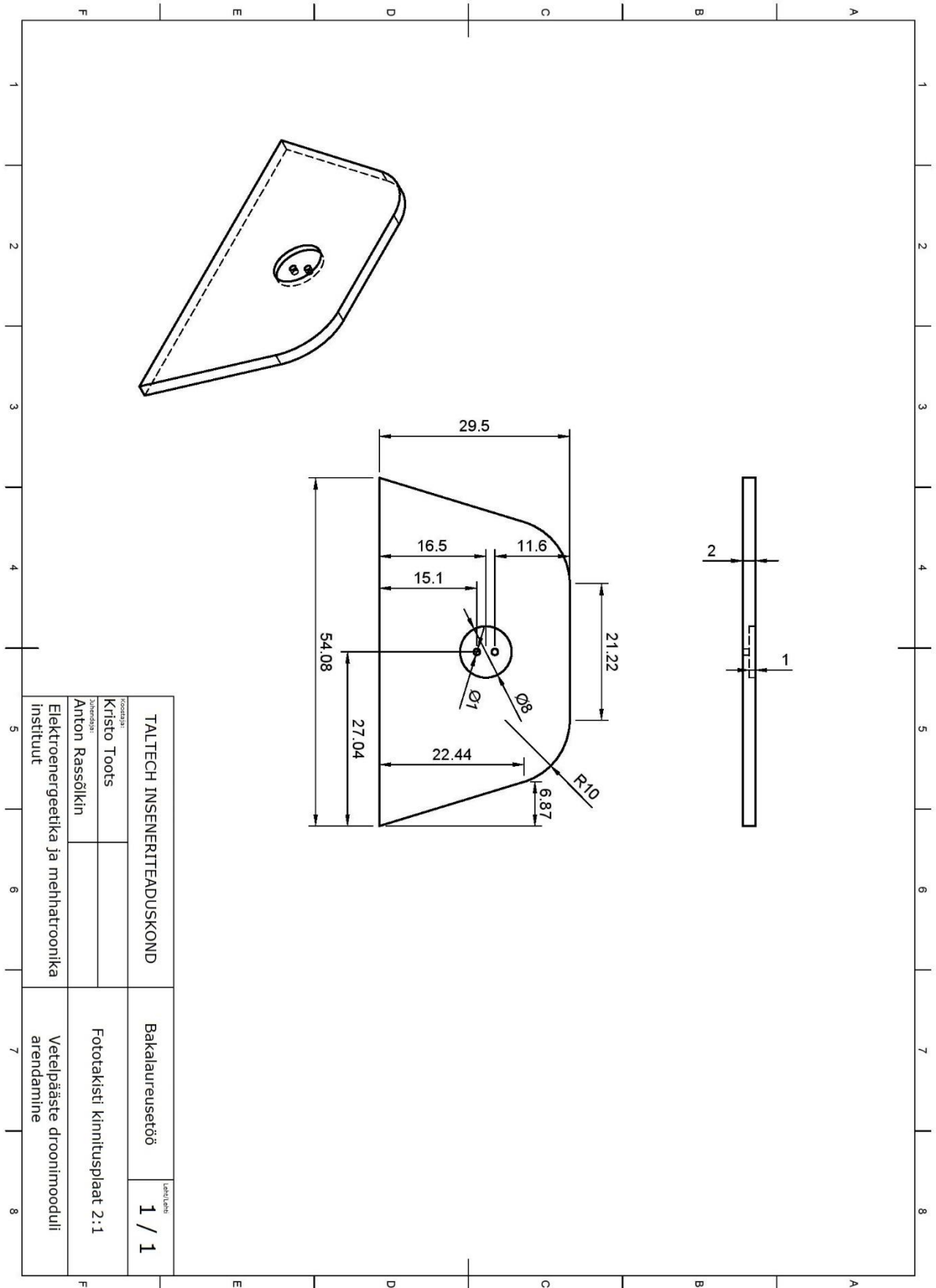


TALTECH INSENERITTEADUSKOND		Bakalaureusetöö	lehekülg
Koostaja:	Kristo Toots	Kinnitusklamber 1	1 / 1
Ühinevõtteja:	Anton Rassõlkin		
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut		Vetelpäaste droonimooduli arendamine	

Lisa 7 Kinnitusklamber 2



Lisa 8 Fototakisti kinnitusplaat



TALTECH INSENERITTEADUSKOND		Bakalaureusetöö	Lehtide arv
Koostaja: Kristo Toots		Fototakisti kinnitusplaat 2:1	1 / 1
Järelkõrge: Anton Rasmõikin			
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut			
		Vetelpäste droonimooduli arendamine	