



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

MEHITAMATA ÕHUSÕIDUKI TÕSTEVÕIME JA HELIMÜRA SUHTE OPTIMEERIMINE

UNMANNED AERIAL VEHICLES LIFTING CAPACITY AND NOISE RELATION OPTIMIZATION

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Meelis Kobin

Üliõpilaskood: 185109EAAB

Juhendaja: Viktor Rjabtšikov, nooremteadur

Tallinn 2022

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.

"....." 2022

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2022

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."2022

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: Meelis Kobin

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Mehitamata õhusõiduki tõstevõime ja helimüra suhte optimeerimine

Kuupäev:
18.05.2022

55 lk (*lõputöö lehekülgede arv koos lisadega*)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): nooremteadur Viktor Rjabtšikov

Töö konsultant (konsultandid): Anton Rassõlkin

Sisu kirjeldus:

Antud bakalaureusetöös on kirjeldatud mehitamata õhusõidukitel tekkivat müra ning seletatud lahti, mis faktorid neid põhjustavad ja kuidas neid optimeerida. Selle alusel on läbi viidud katsed, et viia teooria ja praktika vastavusse. Katsete käigus saadi ülevaade reaalsetest müratasemetest, mida droonid tekitavad. Lisaks veel katsetati üksikult läbi erinevate mõõtmega propellereid, et aru saada, millist faktorit oleks praktiliselt kõige mõistlikum muuta, et kõige paremini vastavuses sobilik ja optimaalne tulemus saada.

Märksõnad: droon, mehitamata õhusõiduk, helimüra, tõstevõime, optimeerimine.

ABSTRACT

Author: Meelis Kobin

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Unmanned aerial vehicles lifting capacity and noise relation optimization

Date: 18.05.2022

55 pages (the number of thesis pages including appendices)

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: juunior research scientist Viktor Rjabtšikov

Consultant(s): Anton Rassõlkin

Abstract:

The following bachelors thesis describes the noise generated by unmanned aerial vehicles and explains which factors cause them and how to optimize it. By relying on that information, tests were carried out to see if theoretical knowledge will match with practice. The tests provided an overview of the actual noise levels generated by drones. In addition, many diferent sized of propellers were tested individually to understand more precisely which factor would practically be the most reasonable to change in order to obtain the best and wanted result.

Keywords: drone, unmanned aeriacle vehicle, noise, lifting capacity, optimization

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Mehitamata õhusõiduki tõstevõime ja helimüra suhte optimeerimine
Lõputöö teema inglise keeles:	Unmanned aerial vehicles lifting capacity and noise relation optimization
Üliõpilane:	Meelis Kobin, 185109EAAB
Eriala:	Elektroenergeetika ja mehhatroonika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Nooremteadur, Viktor Rjabtšikov
Lõputöö kaasjuhendaja: (ettevõtte, amet ja kontakt)	
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	2023 kevad
Lõputöö esitamise tähtaeg:	18.05.2022

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Tänapäeval on mehitamata õhusõidukid aina rohkem arenemas tänu uutele tehnoloogiatele, mille tõttu on ka väga laialt kasutusele võetud need just sõjalises kontekstis ning paljude erinevate valdkondade jaoks seal sees. Drooni puhul on 2 asja, mille tõttu nende kasutamine on riskantne – nende nähtavus ja kuuldavus. Kuna hästi võimekad droonid vajavad võimsaid mootoreid, et neid ilma probleemideta lennutada, tuleb selle eest lennukõrgus viia võimalikult kõrgele, et selle kuuldatavus oleks minimaalne. Minu eesmärk antud tööga olekski leida võimalik lahendus just helist tulenevatele probleemidele, sest olen ise foto- ja videograaf ning suvel tehes tööd drooniga, mille mass oli kõigest 250g, oli ligi 20m lennukõrgus maast piisavalt väike, et oma propellerist tekkivate helidega häirida vabas õhus toimunud esinemist, mille tõttu

pidin kas drooni alla tooma ning teiseks võimaluseks siis lennukõrgust või -kaugust suurendama.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärk on leida kõige efektiivsem lahendus drooni tõstevõime ja helimüra suhtele, tehes läbi erinevaid katseid, kasutades erinevaid mootoreid ja propellereid.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Kas propellerite suurus ja disain mängib kõige suuremat rolli. Kui jah, siis miks?
2. Kas kaalu suurendamine mootorite ja n-ö mootori jalgade lisamisega vähendab mootorite pöörlemiskiirust?
3. Kas oleks võimalik heli peegeldada kuidagi, et see ei tuleks otse alla?
4. Millised on heli karakteristikud vastavalt propelleri suurusele ja disainile, arvamusel, et suuremad propellerid teevad madalama sagedusega helisid?

4. Lähteandmed

Lähteandmed saadakse toodete andmelehtedelt ja juhendajalt.

5. Uurimismeetodid

Kindlasti põhineb see ka teoreetilisel taustal, kuid siiski on põhirõhk testimistel ja katsetamistel, et tuua reaalseid näiteid, kuidas üks või teine asi uuritavat objekti mõjutab. Lisaks proovin ka ise disainida erinevaid propellereid ja analüüsida nende erinevusi.

Kasutamisel on Excel, Matlab.

6. Graafiline osa

Müra karakteristikud. Graafilist osa on nii töö põhi- kui lisaosas.

7. Töö struktuur

1. Teoreetilise materjali ja sarnaste olemasolevate tööde otsimine.
2. Arvutamine.
3. Reaalne katsetamine ja testimine.

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Teadusartiklid ja raamatukogu kirjandus. Samuti uurimis-/lõputööd.

9. Lõputöö konsultandid

Anton Rassõlkin

10. Töö etapid ja ajakava

- 31. detsember – teoreetilise materjali kogumise lõpetamine, esimeste arvutuste ja katsete paikaseadmine.
- 31. jaanuar – akustika laboris esimesed katsed tehtud.
- 28. veebruar – teoreetiline materjal valmis, viimaste katsete läbiviimine, esialgne töö valmis.
- 30. aprill – viimane mustand saadetud juhendajale kontrollimiseks.
- 15. mai – töö lõplik versioon valmis.

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöörd

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	10
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	11
SISSEJUHATUS	12
1. TAUSTINFO	13
1.1 Maailmas ringlevad süsteemid.	13
1.1.1 DJI	13
1.1.2 FPV	13
1.1.3 Jetson	14
1.1.4 Sõjaline perspektiiv	15
1.2 Füüsikaline informatsioon	16
1.2.1 Müra ja selle tasemed	16
1.3 Tehniline informatsioon	17
1.3.1 Propellerid ja sellest tulenevad faktorid	17
1.3.2 Teoreetilised võimalused optimeerimiseks	18
2. PRAKTILINE OSA	20
2.1 Katsed DJI Mavic Mini-ga.	20
2.1.1 Kasutatavad mõõteriistad ja seadmed DJI Mavic Mini-ga mõõtmiste puhul.	20
2.1.2 Mõõtmised	21
2.1.3 Katsete Mõõtmistulemused	23
2.2 Testpink.	29
2.2.1 Kasutatavad seadmed	29
2.2.2 Kasutatud katsevahendid	35
2.2.3 Katsete tulemused	41
2.2.4 Mehaaniline konstruktsioon ja arvutused [43].	44
3. LÕPPTULEMUS	48
KOKKUVÕTE	49
SUMMARY	50
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	51
LISAD	54
GRAAFILINE OSA	55

EESSÕNA

Antud bakalaureusetöö koostati autori Meelis kobin poolt. Töö koostamisel viidi praktilised osad läbi Tallinna Tehnikaülikooli tööruumides, laborites ja ülikoolilinnakus, kus olid olemas vajalikud töövahendid ning sobiv keskkond töö realiseerimiseks. Autor soovib tänada nooremteadur Viktor Rjabtšikovi, kelle juhendamisel töö valmis.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

FPV – Esimese isiku vaade (inglise k. First-person view)

FC – Lennukontroller (inglise k. Flight Controller)

ESC – Elektroonilise kiiruse kontroller (inglise k. Electronic Speed Control)

SISSEJUHATUS

Antud bakalaureusetöö annab ülevaate erinevatest faktoritest, mis mõjutavad väiksemas formaadis mehitamata õhusõidukite (edaspidi: droonide) enamasti propelleritest tekkivaid helitugevusi ja -sagedusi. Töös tuuakse välja hüpoteetilised lähenemised ning eeldused, mille toel viidi läbi katseid ning kinnitatakse kas hüpotees peab paika või mitte.

Meelelahutuslikul eesmärgil on tänapäeval kasutusel suur variatsioon erinevaid droone. Odavamapoolsed, mida tihedamini poelettidelt leiab, saab kasutada lihtsalt lennutamise eesmärgil ja on eeskätt mõeldud lastele. Kui aga hinnas edasi minna, tulevad valikusse droonid, millele on integreeritud kaamerasüsteemid ka pildistamiseks ja filmimiseks ning seda ka sellisel kvaliteeditasemel, kus foto- ja videograafik saavad antud võimalust kasutada oma töö tegemisel.



Joonis 1. DJI Mavic Mini [1]



Joonis 2. iFlight X DJI TITAN DC5 5'' FPV rallidroon [2]

Tulenevalt helist ja tõstevõimest on eeldatavasti väga palju erinevaid faktoreid, mis seda mõjutavad: drooni mass, suurus, kuju, tekkivad vibratsioonid, mootorid (nende võimsus ja pöörlemiskiirused + nendest tulenevad helimürad) ja eeskätt propellerid, mis mõjutavad helitaset kõige rohkem. Sealt tekkiski autoril see küsimus, et mis ja miks nendest faktoritest tekitab kõige rohkem lisahelisid ja kas see on lahendatav n-ö probleem või on tegu füüsikalisest vaatepunktist väga keerulise ning spetsiifilise ülesandega, sest kõigi juures, rohkem tavakasutuses, esinev ühine murekoht on nende kõrgsageduslik ja hästi eristatav suurtest pöörlemiskiirustest tekitatud helimüra.

1. TAUSTINFO

1.1 Maailmas ringlevad süsteemid.

1.1.1 DJI

SZ DJI Technology Co., Ltd. on Hiina droonitootja ja maailma juhtiv mehitamata õhusõidukite looja ning turustaja. Nende peakorter asub Shenzhenis ja seda peetakse laialdaselt Hiina Silicon Valleyks. Tänu otsesele juurdepääsule tarnijatele ja toorainele saadab neid püsiv edu. Neid ressursse kasutades on nad kasvanud ühest väikesest kontorist 2006. aastal ülemaailmseks tööjõuks.

DJI arendab ja toodab uuenduslikke drooni- ja kaameratehnoloogiaid kommerts- ja meelelahutuslikuks kasutamiseks. Nende platvormid annavad võimaluse jäädvustada pilte, mis olid varasemalt kättesaamatud.

2013 aastal andis DJI välja esimese drooni avalikule turule, millel oli stabiliseeritud kaamera ning GPS, et seda võimalikult lihtsalt ning stabiilselt lennutada. 2017 aasta mais tutvustas DJI mudelit nimega Spark, mis oli esimene droon, mida sa juhtida käteliigutuste abil. 2018 aastal omas DJI kaks kolmandikku Ühendriikide drooniturust lähtudes käibest. [3] [4]

1.1.2 FPV

FPV droonid pakuvad kõige kaasahaaravamat lennukogemust, mida droonidega on võimalik saavutada, kuid sellel on omad väljakutsed ja eelised.

Kui rääkida FPV drooniga lendamisest, siis sisuliselt tähendab see, et FPV droonide piloodid näevad seda, mida droon näeb. Traditsioonilised droonid erinevad nendest, kuna neid juhitakse piloodi vaatenurgast kohapeal. FPV puhul juhitakse seda hoopis drooni vaatenurgast läbi spetsiaalsete prillide, sest see tagab kõige ohutuma lennu ning annab kõige parema tunnetuse drooni lendamisest.

1.1.3 Jetson

Jetson on rootsi firma, mille eesmärk on anda meile üks transpordiviis lisaks ning teha kõikidest inimestest piloodid. Jetson toodab inimestele lendamiseks mõeldud sõidukeid.

Esimene prototüüp valmis 2018 kevadel ning alates selles hetkest on nad usinalt tegutsenud, et turule jõuaksid tarbijasõbralikud masinad.

Selle projekti raames sai valmis Jetson ONE, kaubanduslikult saadav personaalne elektriline õhusõiduk, mida sa saad iseseisvalt omada ning sellega lennata. [5]



Joonis 1.3.1 Jetson ONE [5]

Tehnilised näitajad:

- Õhusõiduki tühimag: 86kg
- Maksimaalne piloodi raskus: 95kg
- Suurus(pikkus-laius-kõrgus): 2480mm-1500mm-1030mm
- Kokkupandult on laius 900mm
- Lennuaeg: 20 minutit
- Kiirus: Tarkvaraga piiratud 102km/h peale.
- Laadimisaeg: 1h 220V juures.

1.1.4 Sõjaline perspektiiv

Ukrainas toimuv on hea näide sellest, miks autori uuritav teema oleks abiks sealsetele sõduritele. Nimelt, kõiksugused lennubahendid ehk droonid ja taolised vahendid on hetkel vägagi teretulnud, sest neid saab kasutada seal mitmeteks eesmärkideks. Enamasti siiski vastase asukoha tuvastamiseks ning n-ö maastikuluureks. Eestis tehti märtsi alguses droonide kogumine inimestelt, kellel see niisama seisab ja kokku saadi mitutuhat erinevat toodet, mis lõpuks oma tee Ukrainasse leidsid. Natuke kallimatel DJI droonidel on olemas nii digitaalne kui ka füüsiline pildi suurendamise võimalus. Sellegi poolest ei pruugi pildi kvaliteet olla kõige paremini arusaadav, mistõttu oleks vaja drooniga vahel üpriski lähedale lennata. See aga annaks drooni asukoha välja, kui teda juba kuulda on mõnikümmend meetri kauguselt. USA on kasutusele võtnud selliste ülesannete jaoks FLIR toodangu nimega Black Hornet PRS, mis on peaaegu helitu ning väga väikese suurusega ja mille hind on pea 200,000 dollarit ühe toote kohta. [6]



Joonis 1.4.1. Black Hornet droon [6]

Hind tuleb lähtuvalt sellest, et see on väga kõrgtehnoloogiline leiutis. See on varustatud erinevate termo- ja infrapunakaameratega, öövaatlusseadmetega, võimekusega saata otseülekandes pilti operaatorile ning seda vägagi heas kvaliteedis ning kõike seda 32g juures ning 25 minutit pika lennuajaga. Pildilt on ka näha, et ta on umbes peopesa suurune.

Eestis toodab THREOD SYSTEMS OÜ droone enamasti sõjalisele maastikule, kuid erinevalt FLIR lahendusest on nende süsteemid mõeldud opereerimiseks kilomeetrite kõrgusel, kus helimüra hajub piisavalt, et see ei mängi enam rolli.

1.2 Füüsikaline informatsioon

1.2.1 Müra ja selle tasemed

Mis üldse on müra?

Atmosfääriõhu kaitse seaduse § 55 järgi on välisõhus leviv müra inimtegevusest põhjustatud ning välisõhus leviv soovimatu või kahjulik heli, mille tekitavad paiksed või liikuvad allikad. Välisõhus leviva müra hulka ei kuulu: olmemüra, meelelahutusürituste müra; töökeskkonna müra; riigikaitse tegevusega tekitatud müra. [7]

Erinevus helivõimsustasemel ja helirõhutasel:

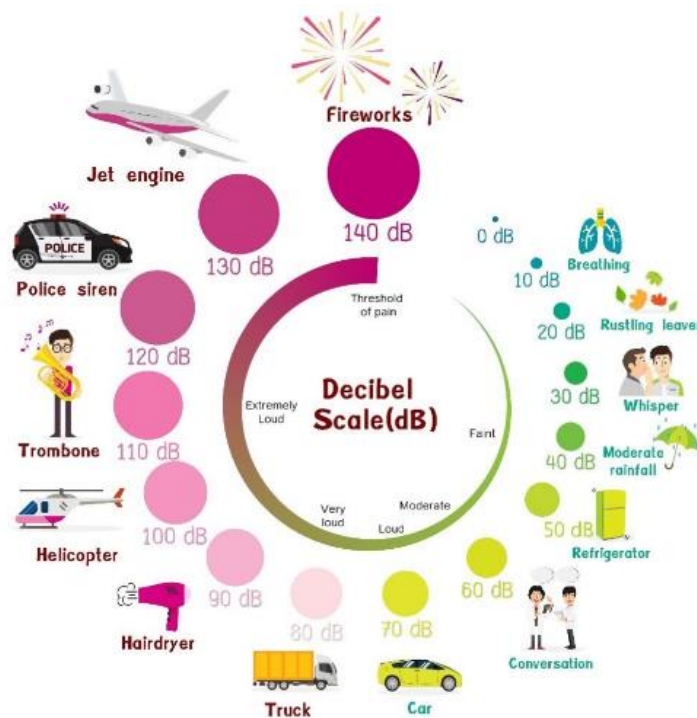
Helirõhutase(L_p) – helina tajutavad õhurõhu muutused. Mõõdetakse [Pa] ja väljendatakse [dB].

Helivõimsus (L_w) on müra allikast helilaine kujul väljuv energia. Helivõimsuse tasemed on oma iseloomu järgi lähteandmed müratasemete arvutamiseks (nt erinevate müraallikate võrdlemiseks, mürakaardistamiseks) ning neid ei saa kasutada normidega võrdlemiseks. [7]

Antud töös käsitleme helirõhutaset.

Helirõhutase L_p dB(A) 1m kaugusel müraallikast tehnilise passi järgi	Kaugus müraallikast, m									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	Helirõhutase (L_p dB(A)) müraallikast teadaolevas kauguses									
40	26	20	-	-	-	-	-	-	-	-
45	31	25	21	-	-	-	-	-	-	-
50	36	30	26	24	22	20	-	-	-	-
55	41	35	31	29	27	25	24	23	22	21
60	46	40	36	34	32	30	29	28	27	26
65	51	45	41	39	37	35	34	33	32	31
70	56	50	46	44	42	40	39	38	37	36

Joonis 2.1.1. Müratase müraallikast vastavalt allika helirõhutasele ja kaugusele. [7]



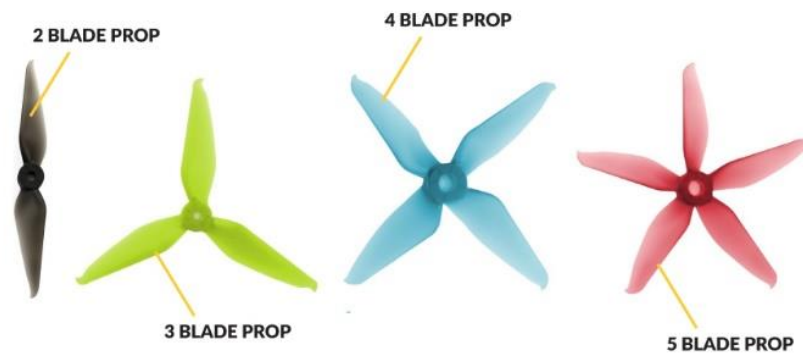
Joonis 2.1.2. Erinevad müraallikad vastavalt tasemele võrdluseks. [8]

1.3 Tehniline informatsioon

1.3.1 Propellerid ja sellest tulenevad faktorid

Kuna enamuse helimürast tuleb siiski propelleritest, siis nende kujust, tiivikute paksusest ja pindalast, kaldest suuruselt ja veel teistest faktoritest sõltuvad paljud erinevad omadused. Üldjuhul on kõige efektiivsemad heli suhtes kahe tiivikuga pikemad propellerid, sest siis tekib kõige vähem turbulentsist tekkivaid helisid ehk helisagedused on pigem madalamad. Samas paistab see vastukaalus olevat sellele, et kui propellerite labadel on rohkem pindala, siis sama tõstejõu juures peavad nad vähem pöörlemiskiirust rakendama ehk kui suurus ei luba, tulebki minna 4 tiivikuga ja lühemate propellerite peale, et sama tõstevõime juurde jääda – sellest lähtuvalt jääbki testimise jaoks õhku küsimus, et milline on see kõige optimaalsem propeller, mis on paraja suuruse, tõstevõime ja helimüraga kõige mõistlikum ja efektiivsem kasutada. [9]

Näiteid erinevatest propelleritest, mida kasutatakse:



Joonis 3.1.1. Erinevad propellerid võrdluseks [9]

1.3.2 Teoreetilised võimalused optimeerimiseks

Droone saab teha vaiksemaks, kuid peaaegu võimatu on neid teha hääletuks.

Mis enamjaolt mõjutab mürataset?:

- Propellerid
 - Nende suurus, kuju, samm, pindala
- Konfiguratsioonist tulenevad:
 - Mootori asukoht jala peal
 - Katte olemasolu mootori ja/või propelleri ümber
 - Mitu väiksemat mootorit on parem kui mõned suured

Mootorid teevad ka heli, aga need on nii vaiksed, et kaovad propellerite poolt tekitatud heli sees ära.

Heli sõltub enamasti kahest propelleri faktorist - laba kuju ja pikkus keskpunktist.

Mida aerodünaamilisem propeller, seda vähem heli ta tekitab.

Kui panna asjad perspektiivi, siis suure helikopteri propeller pöörleb 400rpm, aga väiksematel droonidel enamjaolt 5000rpm - ehk mida suuremad propellerid, seda vaiksemalt nad saavad pöörelda et samaväärne tõstejõud säilitada.

Internetis on palju ja erinevaid õpetusi kuidas teha enda drooni vaiksemaks, kuid enamus neist ei tööta ja pigem teevad asja hullemaks või kahjustavad midagi.

Võimalusi optimeerimiseks:

- Kasutada suuremat labade arvuga propellerit, sest mida rohkem labasid on, seda pehmemat heli sealt tuleb.
- Tihtipeale on labade peal vormist jäänud propelleri andmed suuruse ja sammu kohta. Kui need välja lihvida, siis on propeller ka aerodünaamilisem.
- Hoida propellereid puhtana

Tulevikus on kindlasti pakivedu õhusõidukitega plaanis ja selle mugavuse miinuseks oleks heli. Kui sellest pinisevast häälest lahti ei saa, siis see on pigem kahjulik kui kasulik lõpuks. Kuna see ei ole väga kaugel reaalsus, siis võttis ka NASA oma oskused välja. Nende lahenduse juures oli suure rõhuga see, et pigem kasutada rohkem ja väiksemaid mootoreid, kui mõned üksikud ja suuremad. Sellega nad said kasutada moodust, kus iga mootor pöörleb erineval pöördesagedusel. GL-10 on nende saavutus ja 30m kõrgusel pole seda kuulda.



Joonis 3.2.1. NASA GL-10 [10]

Pöörlemiskiirus mõjutab kõige rohkem, sest see on suhtes propelleri suuruse ja kujuga. Põhimõtteliselt nagu ahelreaktsioon. Lisaks kitsamad propellerid teevad rohkem häält kui laiemad.

Otsa disain - akustiliselt tähtis. Vibratsioonid ja turbulents tekitavad lisahelisid, seega ovaalsed on vaiksemad. [11] [12] [13] [14] [15] [16]

2. PRAKTILINE OSA

2.1 Katsed DJI Mavic Mini-ga.

2.1.1 Kasutatavad mõõteriistad ja seadmed DJI Mavic Mini-ga mõõtmiste puhul.

DJI Mavic Mini [1]	Müramõõtur TES 52 [17] [18]
 <p><i>Joonis 1.1.1. DJI Mavic Mini [1]</i></p>	 <p><i>Joonis 1.1.2. Müramõõtur TES 52 [17]</i></p>
Mass: 249g Propelleri suurus: 4726 [1]	
Statiiv Manfrotto MT190X3 [19]	
 <p><i>Joonis 1.1.3. Manfrotto MT190X3 statiiv [19]</i></p>	6 erinevat vahemikku 10dB sammudega: 20-80dB 30-90dB 40-100dB 50-110dB 60-120dB 70-130dB Uuendab infot iga 0.5s tagant [18]

Igal katsel olid DJI akud täis laetud. alla 20% ei saanud minna, siis hakkab vastavalt pult helisignaali märku andma ning tekitab keskkonnale müra juurde.

[20]

2.1.2 Mõõtmised

Esimene mõõtmine toimus TalTechi sisehoovis 17. aprill algusega kell 18:09. Temperatuur näitas 7 kraadi Celsiust. Mõningad väiksemad tuuleilid kohati, enamasti tuulevaikne. Selge ja pilvitu taevas, päike paistis.

Mõõtmine toimus horisontaalselt maaga. Fikseerisin ära müramõõturi maaga paralleelselt, sest mõõtma hakati drooni kaugust mikrofonist/helimõõturist horisontaalselt eemaldudes. Asukoht valiti vastavalt, et oleks võimalikult vähe võimalusi heli peegeldumiseks.



Joonis 1.2.1 Jäädvustus drooni helimüra mõõtmise keskkonnast. Pilt tehtud 22.aprill keskpäeval.

Mõõtmisi alustati sellega, et mõõdeti ära keskkonnast tekkiva ümbritseva müra nii enne kui peale katsetusi ning sellest võeti aritmeetilise keskmise. Kuna mõõtmiste jaoks kulus enamjaolt 20min, sest drooni aku ei võimaldanud kauem teha, siis enamasti ei jõudnud keskkond väga palju selle ajaga muutuda. Selle juures pandi siiski tähele, et ei oleks lennukeid, koptereid, sireene või mingeid muud sääraseid, mis kostaks eraldi ümbritsevast helist välja. Eesmärk oli tagada siiski võimalikult reaalne kuid samas ilma eranditeta mõõtmiskeskkond mitmeteks mõõtmisteks, et neid oleks võimalik võrdsel tasandil võrrelda.

DJI droonidel on sisse programmeeritud hõljumine, ehk kui pult käest ära panna, peaks droon seisma õhus ühe ja sama koha peal. Selleks ta kasutab ka enamasti pildi kui ka GPS-i abi, kuid kõrgematel kõrguselt ei ole tuulel mitte mingisugune probleem liigutada alla 250g hõljuvat keha. Seetõttu on neil ka vastav tarkvara automaatselt tuule vastu võitlemiseks, mis tekitab päris tihti pöörete kõikumist erinevates mootorites, et droon uuesti stabiliseerida.

DJI Mavic Mini hõljumise täpsus [1]:

Vertikaalselt:

± 0.1 m (Visuaalse positsioneerimisega), ± 0.5 m (GPS-i positsioneerimisega)

Horisontaalselt:

± 0.3 m (Visuaalse positsioneerimisega), ± 1.5 m (GPS-i positsioneerimisega)

Visuaalne positsioneerimine töötab siis, kui GPS pole saadaval ning keskkonnas on piisavalt valgust, mille põhjal saab droon korrekture sisse viia. Lisaks on ka drooni all olemas infrapuna kõrguse sensorid. Katsetamise käigus selgus, et tundlikkus kaob ära kuskil 4-5m vahemikus. Vastavalt sellele hakati helimõõtmisi tegema määratud distantsidelt. Alustati sellega, et prooviti maksimaalselt 10cm kaugusel müramõõturist olla, et fikseerida ära tema tekitatud helimüra võimalikult lähedalt. Atmosfääri ehk keskkonna helimüra tugevuseks oli antud hetkel 51,1dB. [1]

Tähelepanu! Kuna mõõtmised toimuvad välikeskkonnas mitteteaduslike seadmetega, ei saa ma väita absoluutset väärtust ning kõikidest mõõtetulemustest on võetud keskmised ehk tegu pole akustiliselt täpsete ning realselt võrreldavate mõõtetulemustega.

Allpool leitavates tabelites on toodud antud mõõtmisdistantsid ja -tulemused, mida kasutasin ka mõõtmiste ajal. Drooni enda kaugust sain fikseerida drooni GPS satelliitide abil.

2.1.3 Katsete Mõõtmistulemused

Esimene mõõtmine:

17.aprill, kell 18:00, 7 kraadi Celsiust, kohati tuuleilid [20]

Müramõõtur:

Paigutatud horisontaalselt, vahemik 40-100dB, kõrgus maast 1,5m.

Saadud tulemused:

Tabel 1.3.1 Esimeste mõõtmiste mõõtmistulemused.

	Keskkond	0m							
Helitugevus, dB	51,1	75,8							
Distsants, m	0,5	1	2	3	4	5	6		
Helitugevus, dB	-	63,1	58,5dB	57,5	55,5	54,9	54,5		
Distsants, m	7	8	9	10	12	15	30	50	
Helitugevus, dB	54,1	52,5	51,8	51,5	51,3	51,1	-	-	

Teine mõõtmine:

18.aprill kell 10 hommikul, 11 kraadi Celsiust, vähene tuul. [20]

Müramõõtur:

Vertikaalselt ülesse, vahemik 40-100dB, kõrgust maast 1,5m

Tabel 1.3.2 Teise mõõtmiste mõõtmistulemused.

	Keskkond	0m							
Helitugevus, dB	54,0	88,2							
Distsants, m	0,5	1	2	3	4	5	6		

Helitugevus, dB	-	70,5	65,5	63,2	61,5	59,2	57,7	
Distsants, m	7	8	9	10	20	25	30	50
Helitugevus, dB	57,0	56,4	55,7	55,4	55	-	-	-

Kuna keskkonnast tulnud müratase oli võrreldes esimese mõõtmisega suurem, siis sellest erinevad ka mingil määral mõõtmistulemused.

Lisatäpsustused:

25m - veel märgatavalt kuulda.

40m - pisteline, arvatavasti tuulest tekitatud drooni stabilisatsioonist tekkinud helid.

65m - peaaegu olematu kuuldavus.

70m – drooni heli on täiesti kadunud.

Kolmas mõõtmine:

19.aprill kell 16:60. Õhk 12 Celsiust, tundub nagu 6 kraadi Celsiust ehk teoreetiliselt sarnased tingimused, mis olid esimesel mõõtmisel. Natuke tuulisem päev, tuulekülm oli tuntav. [20]

Müramõõtur:

Horizontaalselt, vahemik 40-100dB, kõrgust maast 1,5m

Tabel 1.3.3. Kolmanda mõõtmiste mõõtmistulemused.

	Keskkond	0m						
Helitugevus, dB	51,7	74,2						
Distsants, m	0,5	1	2	3	4	5	6	
Helitugevus, dB	-	61,3	60,4	57,6	55,6	54,8	54,1	
Distsants, m	7	8	9	10	11	12	15	25
Helitugevus, dB	53,7	53,5	52,9	52,4	52,1	51,9	51,7	53,7

Lisatäpsustused:

20m - vaevu kuulda, kuid kuna ta oli kindel heliallikas, siis ta oli keskkonnast eristatav.
25m - polnud enam kuulda, kuigi maja ees paiknenud lippude põhjal oleks saanud öelda, et tuul puhub müramõõtu suunas ning see oleks võinud just heli levimisele kaasa aidata.

Teisel mõõtmisel oli õhutemperatuur ka mõned kraadid soojemad, see võis mingil määral mõjutada mõõtetulemusi, sest soojemas kliimas liigub õhk kiiremini kui jahedamas.

Neljas mõõtmine:

21.aprill kell 23:50 TalTech NRG hoones, temperatuur ligikaudu 20 kraadi.

Müramõõtur:

Vertikaalselt, vahemik 40-100dB, kõrgus maapinnast 1.5m

Enne katset paika seatud hüpotees:

Kuna valgustus on kehvem ning GPS signaali siseruumis pole või on halb, siis hõljumine on raskendatud ning stabiliseerimist on rohkem.

Peale katset tehtud järeldus:

Siseruumis GPS puudus, siis stabiliseerimine toimus läbi kaamera ning droon püsis vägagi täpselt positsioonil. Ainuke miinus oli see, et kui kõrgusesse mõõta, siis oli tema kõhualuste sensorite mõju märgata - ta ei lubanud minna kõrgemale kui 5m maapinnast/kohast, kust ta algselt lendu tõusis ja sensorid nägid.

Müramõõtu piirkond muudeti 50-110db, sest kui lennati talle 40-100db vahemikus liiga lähedale, hakkas tuli müramõõturil vilkuma, et helitugevus liiga suur.

5cm suuruselt distantisilt saadi mõõtmistulemuseks siiski üsna stabiilselt 87dB. Keskkonnamüra oli 39,5dB, seega siiani on need ühed täpseimad mõõtmised, kus müramõõtu püsis vägagi stabiilselt.

Tabel 1.3.4. Neljanda mõõtmiste mõõtmistulemused.

	Keskkond	0m						
Helitugevus, dB	39,5	87,0						
Distsants, m	0,5	1	2	3	4	5	6	
Helitugevus, dB	72,5	67,4	61,2	59,4	-	-	-	
Distsants, m	7	8	9	10	15	20	25	30
Helitugevus, dB	-	-	-	-	-	-	-	-

Järeldus NRG mõõtmisest:

Eesmärk on katset korrata, et saaks ka ikkagi kõrgematelt kõrgustelt mingisuguse tulemuse kätte. Sellest saaks helitaseme tõttu tuua paremad graafikud, kuid reaalse olukorra puhul on teised mõõtmised paremad.

Viies mõõtmine:

22.aprill kell 12:00, temperatuur 12 kraadi Celsiust õhk, tundub nagu 14 kraadi.

Õrnad tuuleiilid: NE 13km/h [20]

Müramõõtur:

Vertikaalselt, vahemik 40-100dB, kõrgus maapinnast 1.5m

Tabel 1.3.5. Viienda mõõtmiste mõõtmistulemused.

	Keskkond	0m					
Helitugevus, dB	48,6	87,3					
Distsants, m	0,5	1	2	3	4	5	6
Helitugevus, dB	71,6	69,6	62,7	59,1	57,8	55,5	52,1

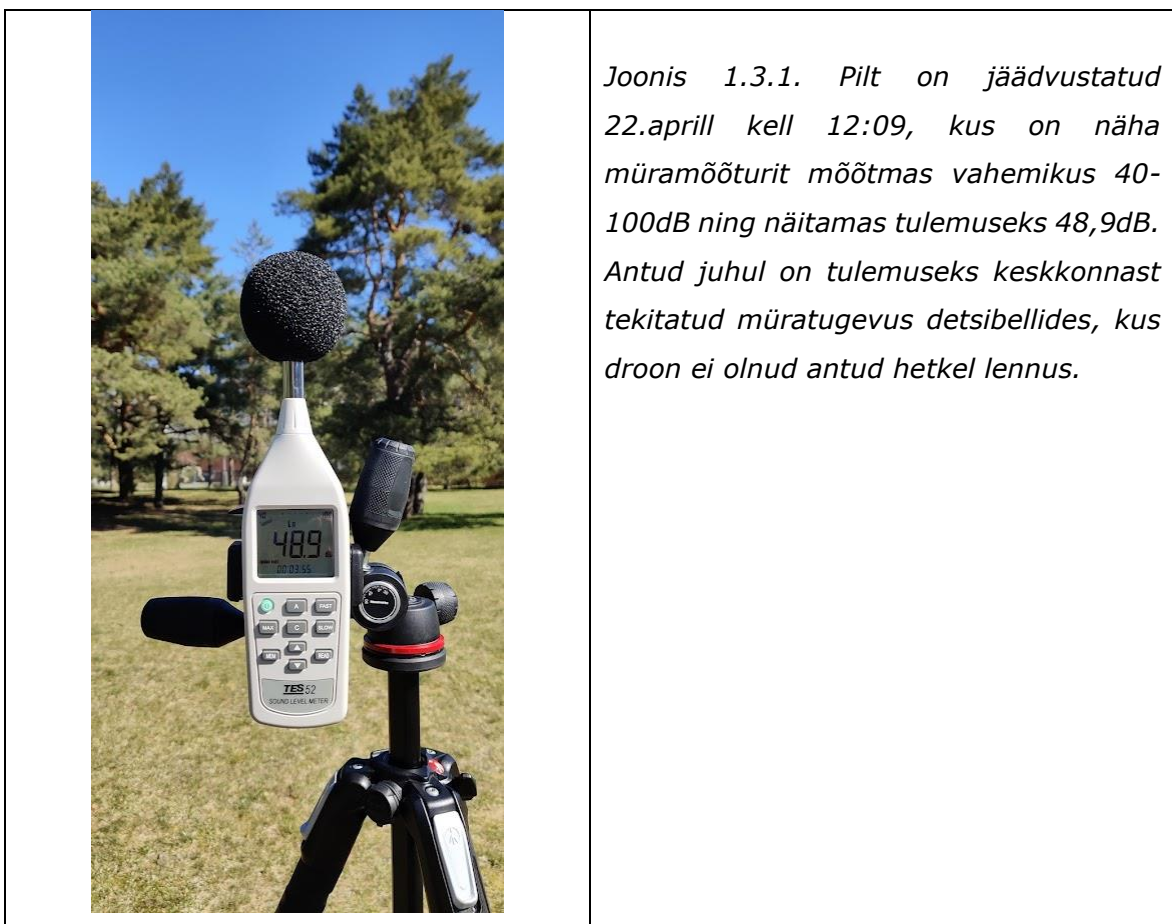
Distants, m	7	8	9	10	15	20	25	30
Helitugevus, dB	55,6	55,4	55,3	53,9	52,8	51,6	50,4	49,8

Lisatäpsustused:

65m - 48,8dB müramõõduri näit ja on õrnalt kohati kuulda, jällegi stabiliseerimise tõttu.

80m - ikka kuulda kohati, müramõõduri näit keskkonnaga vastavuses.

Mõõtmiste lõpetamise hetkel oli müratase 48,7dB ehk püsivalt valjemaks ei läinud.



Joonis 1.3.1. Pilt on jäädvustatud 22.aprill kell 12:09, kus on näha müramõõdurit mõõtmas vahemikus 40-100dB ning näitamas tulemuseks 48,9dB. Antud juhul on tulemuseks keskkonnast tekitatud müratugevus detsibellides, kus droon ei olnud antud hetkel lennus.

Kuues mõõtmine:

22.aprill kell 16, Temperatuur: Õhk 13 kraadi Celsius, tundub nagu 11.

Õrnad tuuleiilid NE 13km/h ehk sarnased tingimused, mis kell 12. [20]

Müramõõtur:

Horisontaalselt, vahemik 40-100dB, kõrgus maapinnast 1.5m

Tabel 1.3.6 Kuuenda mõõtmiste mõõtmistulemused.

	Keskkond	0m						
Helitugevus, dB	47,2	70,6						
Distsants, m	0,5	1	2	3	4	5	6	
Helitugevus, dB	-	60,3	56,8	54,6	53,1	52,2	51,4	
Distsants, m	7	8	9	10	15	20	25	30
Helitugevus, dB	50,0	49,6	49,0	48,9	48,9	49,1	48,8	50,0

Lisatäpsustused:

Keskkonna heli ilma droonita ja mõõtur suunatud ülesse andis tulemuseks 46,4dB.

20m - vaevu märgatav.

30m - ei olnud enam võimalik taustast eristada.

Tähelepanek on siin ka see, et tuul hakkas ükshetk natuke rohkem rolli mängima, seetõttu oli drooni lennutamise lõpus ka keskkonnast tekkinud müratase pooleteise detsibelli võrra kõrgem.

Seitsmes mõõtmine:

27.aprill kell 23.30, Temperatuur: NRG maja 20 celsius.

Müramõõtur:

Vertikaalselt, vahemik 30-90dB, kõrgus maapinnast 1.5m

Korruse vahed on 3,60 meetrit.

Tabel 1.3.7. Seitsmenda mõõtmiste mõõtmistulemused.

	Keskkond	0m					
Helitugevus, dB	39,2	80,4					
Distsants, m	0,5	1	2	3	4	5	6

Helitugevus, dB	71,0	65,9	59,1	-	-	57,1	-	
Distsants, m	7	8	9	10	12	14	15	16
Helitugevus, dB	-	56,6	55,3	54,7	55,0	56,5	57,1	55,1

Ka varasemalt märgati, et kuskil 10m kõrgusel hakkab helitugevus uuesti suurenema. Kas see on heli levimisest lähtuv nähtus või toimub kuskil mingisugune helilainete liitumine, mis ajab need näidikud natukene suuremaks.

2.2 Testpink.

2.2.1 Kasutatavad seadmed

Müramõõtuuri ja statiivi leiab eestpoolt, kuidas ma seda kirjeldaksin?
Või toon need siin eraldi uuesti välja või panen lissasse üldse?

Mamba F722 Mk1 FC ja F50PRO

3-6S ESC torn [21]:

Pidev voolutugevus: 50A*4

Hetkeline voolutugevus: 60A



Joonis 2.1.1. Mamba F722 ja F50PRO

*Reaalsuses läheb vaevu voolutugevus üle 30A, see sõltub propelleritest.

Racestar mootorid [22]:

BR2207S Fire Edition

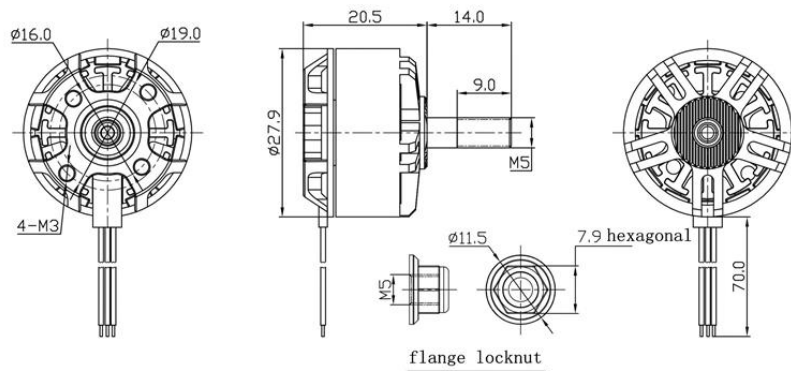
2500KV



Joonis 2.1.2. Racestar BR2207S

2500KV ehk maksimaalne rpm on $2500 \cdot 14.8 = 37 \text{krpm}$

MOTOR OUTLINE DRAWING




MOTOR PERFORMANCE DATA

MODEL	KV (rpm/V)	Voltage (V)	Prop	Load Current (A)	Pull (g)	Power (W)	Efficiency (g/W)	Lipo Cell	Weight (g) Approx
BR2207S	1600	18.5	5045 3-blade	22.8	950	422	2.3	3-6S	35
		22.2	4045 3-blade	26.2	1150	582	2.0		
	2200	14.8	5045 3-blade	28.5	995	422	2.4		
		18.5	4045 3-blade	28.3	1060	524	2.0		
	2500	11.1	5045 3-blade	25.0	810	278	2.9		
		14.8		32.6	1120	482	2.3		

Joonis 2.1.3 Racestar BR2207S mootori andmeleht. [22]

Andmelehes on kõige alumisel real toodud, et 4S akuga ehk 14,8V (11.1V on 3S aku) 5045 3-labalise propelleriga peaks tõstevõime olema 1120g. Antud juhul peaks 4 selle mootoriga droon olema võimeline tõstma 4480g, kuhu on ka arvestatud drooni enda mass. Antud katsetel kasutatud drooni mass on koos akuga 540g, seega peaks olema piisavalt võimsust, et sellega väga kiiresti ka lennata.

<p>TATTU Lipo aku [23]: Kasutab XT-60 pistikut Maht: 1300mAh Pinge: 14.8V (4S ehk 4*3.7V akut jadamisi) Max. järjepidev koormus 75C Max. hetkeline koormus 150C Mass: 154g *C tähendab kui suurt voolutugevust suudab aku anda välja konstantselt.</p>	 <p>Joonis 2.1.4. TATTU Lipo aku</p>
---	--

Peaktech 2795 tahhomeeter [24]

2 kuni 200,000 rpm

Täpsus 0.05%



Joonis 2.1.5. Peaktech tahhomeeter

Selleks, et testpingil katseid läbi viia, oli vaja arvutiga ühendatavat FC-d, ESC-d ja mootorit, kuhu kinnitada erinevaid propellereid.



Joonis 2.1.6. Laiali lammutatud droon terviklikult.

Katsete läbiviimiseks oli vaja algteadmisi. Selleks kinnitati ülaltoodud pildil olev droon korralikult konstruktsiooni külge, jättes siiski mootorite ja propellerite alt vabaks, et õhk saaks ilma takistusega liikuda.

Arvutiga ühendades oli võimalik drooni mootoreid kontrollida ja juhtida, kasutades selleks Betaflight tarkvara.



Joonis 2.1.7 Betaflight tarkvara, kus 1 mootor teeb tööd 30% võimsusel. [25]

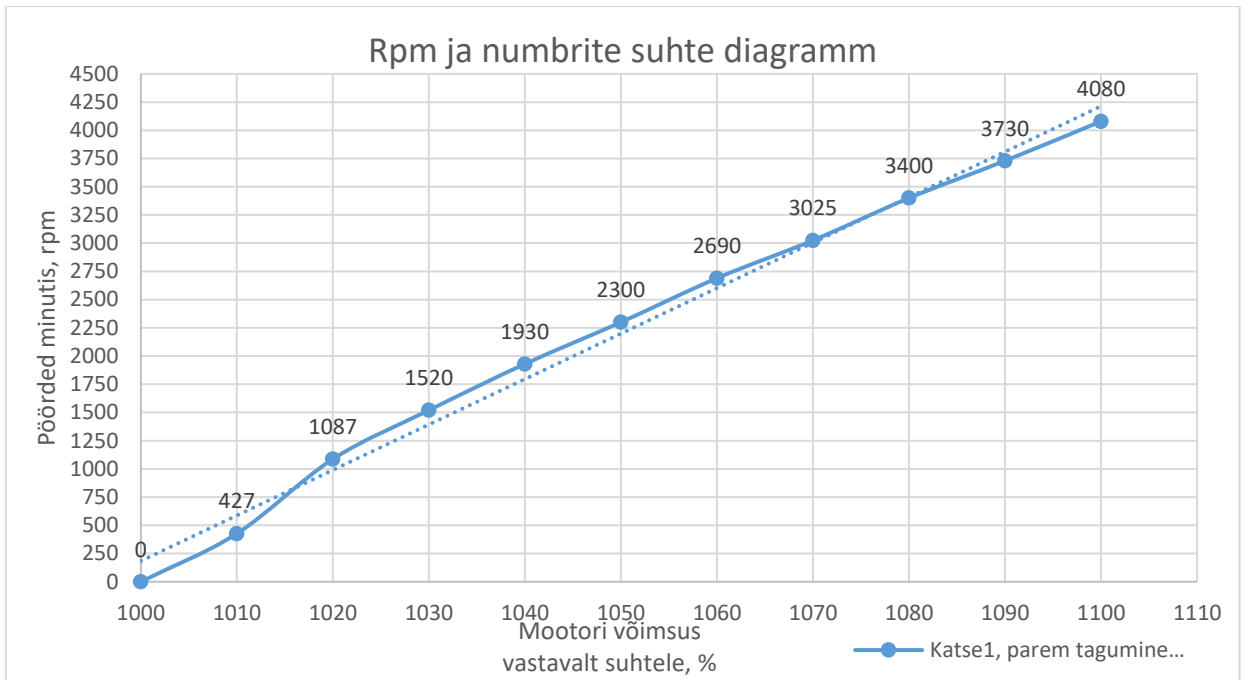
Mootori võimsuse piirkond oli 1000 kuni 2000 ehk teisiti saab ka öelda 0-100%

Esimene katse: määrata ära võimsuse ja pöörete suhe betaflightis

Tabel 2.1.1. Mootori pöörded vastavalt seatud võimsusele%.

Näit	1000	1008	1010	1020	1030	1040	1050	1060	1070	1080	1090	1100
gaas, %	0%	0.8%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
rpm	0	257	427	1087	1520	1930	2300	2690	3025	3400	3730	4080

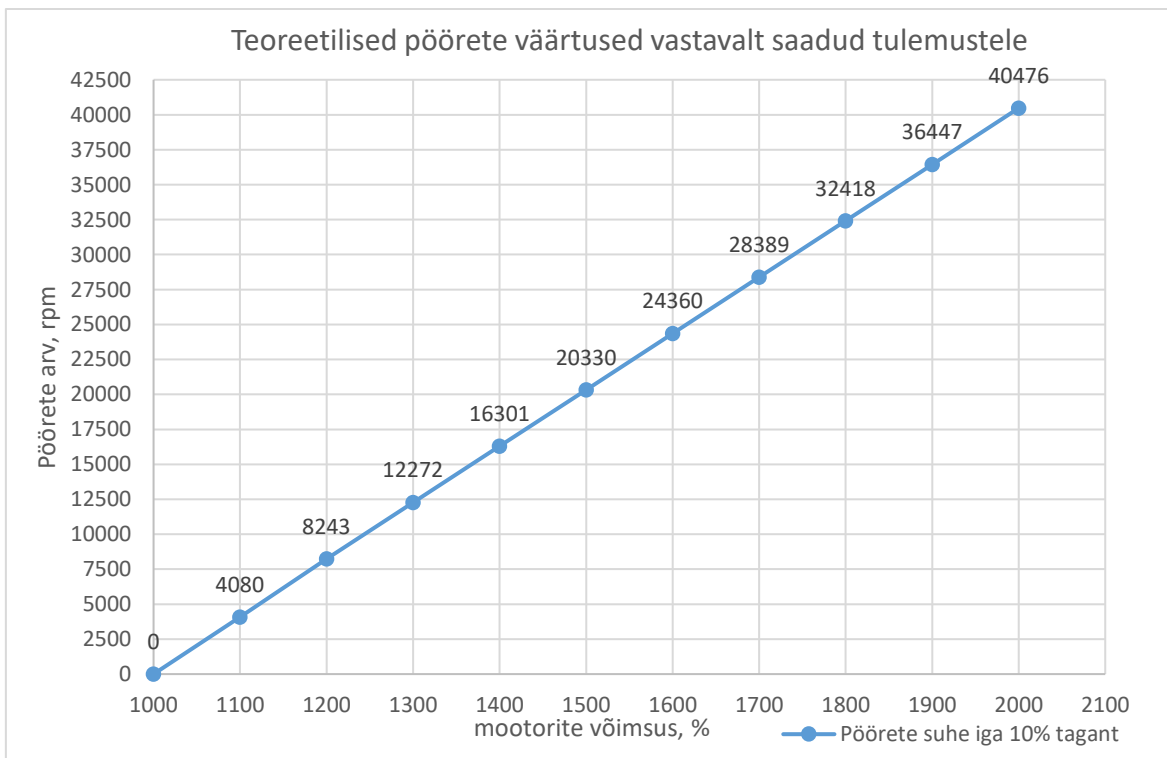
Gaasi vahemik on 0 kuni 100%. Kasutati väiksemaid vahesid, et näha kas on lineaarne.



Joonis 2.1.8. Pöörete ja võimsuse suhte diagramm.

Antud graafiku põhjal võib öelda, et gaas on lineaarne, mille alusel saame välja arvutada eeldatavad pöörlemiskiirused erinevate gaasi % juures.

Mida suuremaks läheb kiirus, seda rohkem võib lõppkokkuvõttes mõjutada aku reaalseid tingimusi, mille tõttu arvutused ja reaalne tulemus võivad reaalsuses erineda.



Joonis 2.1.9. Pöörete ja võimsuse teoreetiline võimekus iga 10% tagant.

Teine katse: jälgida aku pinget langemist, kui mootorid on 20% võimsuse peal. Katseks kulus aega 10min ja 34 sekundit.


Tabel 2.1.2. Aku pinget langemise ja aja mõõtetulemused.

Aeg	Pinge	Müra	Pöörded
0	16,60	77,1	7800
30sec		76,9	
1min		77,0	
1min30sec		75,8	
2min		75,7	
2min30sec		75,2	
3min		75,0	
3min30sec		75,5	
4min	15,4v	75,1	7500
4min30sec		75,0	
5min		74,8	
5min30sec		74,6	
6min		74,3	
6min30sec	15,1	74,2	7400
7min		74,3	
7min30sec		74,2	
8min		74,0	
8min30sec	14,95	74,5	7300
9min		74,4	
9min30sec		74,5	
10min		74,1	
10min30sec	14,72/15,00	74,4	7200

2.2.2 Kasutatud katsevahendid

4045 – esimesed 2 numbrit näitavad diameetrit ja teised 2 numbrit sammu tollides

2-labaga

<p>Dal 4045 Bullnose</p> <p>Materjal: klaaskiud ja polükarbonaat</p> <p>Mass: 3.4g</p> <p>Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 55gf</p>	 <p><i>Joonis 2.1.10.</i></p>
--	---


[26]

<p>Gemfan 7042</p> <p>Materjal: polükarbonaat</p> <p>Mass: 5,48g</p> <p>Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 514gf</p>	 <p><i>Joonis 2.1.11.</i></p>
---	---


[27]

<p>E-flite EFL11003 7240 Materjal: polükarbonat Mass: 5.9g Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 533gf</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Joonis 2.1.12</i></p>
--	--


[28]

<p>HQprop S5040 Materjal: polükarbonaat Mass: 3.6g Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 134gf</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Joonis 2.1.13</i></p>
--	---

[29]

<p>Dalprop 5045 Materjal: klaaskiud ja polükarbonaat Mass: 3.6g Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 134gf *Suurema sammuga propelleril on vaja rohkem võimsust et sama tõstevõime saavutada kui väiksema sammuga</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Joonis 2.1.14</i></p>
---	--

[30]


<p>HQprop 5050V1S Materjal: polükarbonaat Mass: 3.2g Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 134gf</p>	 <p><i>Joonis 2.1.15</i></p>
--	--

[31]


<p>Gemfan 6045C Materjal: Karboni ja nailoni komposiit Mass: 4.9g Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 278gf</p>	 <p><i>Joonis 2.1.16</i></p>
---	---

[32]


3-labaga

<p>Dalprop cyclone T5045C Pro Materjal: Bayer'i polükarbonaat Mass: 5.1g Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 171gf</p>	 <p><i>Joonis 2.1.17</i></p>
--	--


[33]

<p>Racestar 5051</p> <p>Materjal: polükarbonaat</p> <p>Mass: 5.9g</p> <p>Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 171gf</p>	 <p><i>Joonis 2.1.18</i></p>
--	--


[34]

<p>GEPRC 5040</p> <p>Materjal: polükarbonaat</p> <p>Mass: 3.8g</p> <p>Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 171gf</p>	 <p><i>Joonis 2.1.19</i></p>
---	---


[35]

<p>Gemfan Flash 6042</p> <p>Materjal: polükarbonaat</p> <p>Mass: 6.45g</p> <p>Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 354gf</p>	 <p><i>Joonis 2.1.20</i></p>
---	--

[36]


<p>Dalprop 4045BN Materjal: polükarbonaat Mass: 3.8g Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 70gf</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Joonis 2.1.21</i></p>
---	--

[37]


<p>Dalprop J4045 Materjal: polükarbonaat Mass: 2.8g Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 70gf</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Joonis 2.1.22</i></p>
--	---

[38]


4-labaga

<p>Dalprop Q5030 Materjal: klaasikiud ja polükarbonaat Mass: 4.6g Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 203gf</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Joonis 2.1.23</i></p>
---	--

[39]

<p>Dalprop Q5040 Materjal: polükarbonaat Mass: 4,1g Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 203gf</p>	 <p><i>Joonis 2.1.24.</i></p>
---	---

[40]

<p>Dalprop Q4045 Materjal: klaaskiud ja polükarbonaat Mass: 3.4g Staatiline tõmbejõud 30% võimsusel: 83gf</p>	 <p><i>Joonis 2.1.25</i></p>
---	---

[41]



Joonised 2.1.26, 2.1.27 ja 2.1.28. Ehitatud testpink

2.2.3 Katsete tulemused

Akusid oli kokku 10 tükki, mida kasutada sai. Kõik samad akud ja vahetult enne täis laetud.

Keskkonna helimüra keskel läbi 38dB

Konstruksiooni massipõhised andmed:

- Kiige mass: 180g – metallprofiil
- Kogu elektroonika v.a propeller mass: 106g
- Aku mass: 150g

Konstruksiooni distantsipõhised andmed:

- Mootori keskkohast teljeni: 50cm
- Kaalumise punktist teljeni: 78.5cm
- Aku viisin teljele võimalikult lähedale, et see massi ega tõstevõimet väga ei mõjutaks.

Müramõõtu skaala mõõtmiste ajal 40-100dB

Kõik katsed viidi läbi samadel tingimustel. kõik mõõteseadmed olid fikseeritud ning oli tagatud iga katse alguses võimalikult sarnased tingimused.

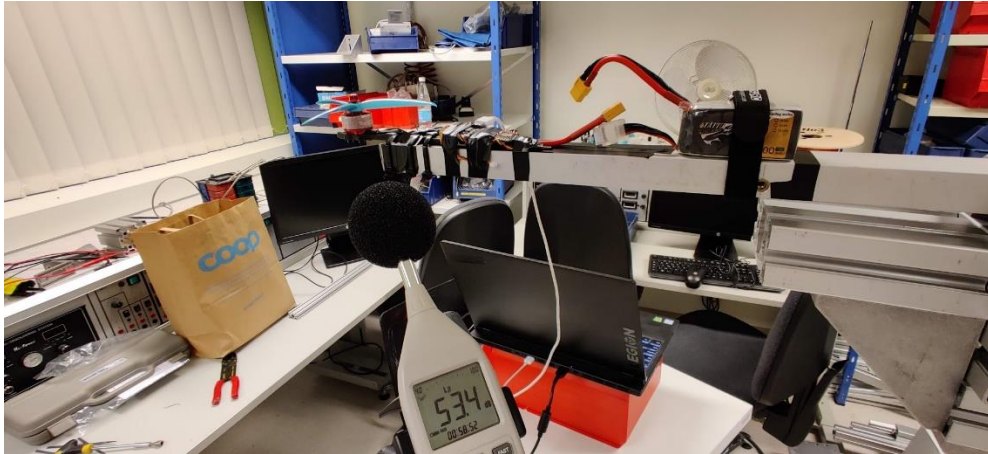
Tabel 2.3.1. Saadud mõõtetulemused

Tiiviku mudel	Aku pinge alguses	Aku pinge lõpus	Kaalu näit enne, g	Kaalu näit pärast, g	Pöörded, rpm	Helimüra, dB
4045*2	16.6	16.05	85	160	10840	85
5040	16.6	16.05	85	180	10840	82.4
5045	16.62	16.2	85	190	10840	83.7
5050	16.62	16.13	84	196	10840	83.8
6045	16.62	15.82	85	250	10840	89.01
7042	16.62	15.65	86	330	10840	89.2
7240*2	16.62	15.95	86	340	10840	89.5
J4045*3	16.55	16.23	85	130	10840	80
4045BN*3	16.56	16.08	84	180	10840	80.2
5040	16.6	16	85	199	10840	84
T5045C	16.45	15.45	86	195	10840	85
5051	16.6	15.75	84	195	10840	85.5
6042*3	16.6	15.95	86	275	10840	92.2
Q4045	16.65	16.2	85	136	10840	77.4
Q5030	16.6	16.16	85	182	10840	83.5
Q5040*4	16.6	16.05	85	215	10840	82.8

Helimüra ning kaalu näit on võetud 20 sekundit peale käivitust.



Joonis 2.3.1. Testpink enne katse alustamist.

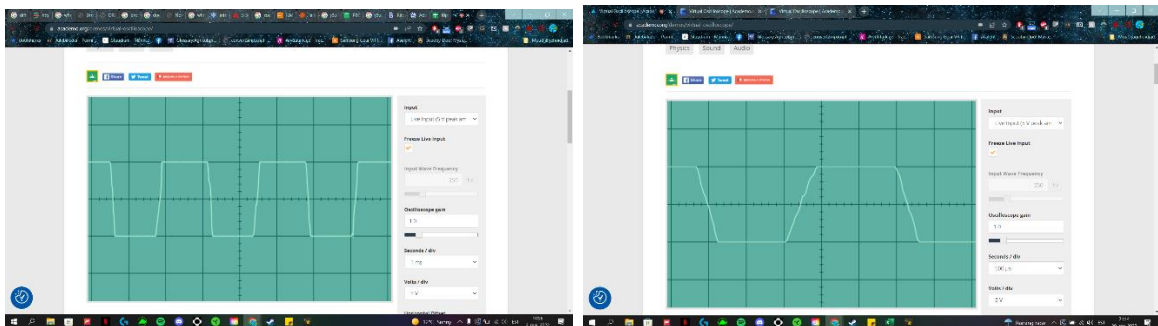


Joonis 2.3.2. Testpink enne katse alustamist.

Läbitud katsetel lähtuti sellest, et kuidas oleks võimalik muuta just seda drooni helimüra suhtes efektiivsemaks. Sellepärast on allpool toodud tabelis just need tulemused, mis said 30% võimsuse juures märgatavalt suurema kaalunäidu kui ettenähtud 5040 kolme labaga propeller. Vastavalt langetati võimsust kuni selle hetkeni, kus kaalu näit oleks võimalikult lähedal 5040 propelleri kaalunäidule ehk 199g juurde, et määrata vastavalt kui palju väiksema võimsuse, pöörete ja seeläbi vaiksema ja madalama helisageduse juures on võimalik sama tõstevõime säilitada.

Tabel 2.3.2. Uued reguleeritud mõõtetulemused.

Mudel	Võimsus	Müratase	Kaalu näit	pöörded
6042 tri	1220 / 22%	86,6dB	198g	7490rpm
7042 duo	1195 / 19.5%	81.5dB	200g	6200rpm
7240 duo	1175 / 17.5%	79.2dB	197g	5630rpm
6045 duo	1245 / 24.5%	85.5dB	200g	8950rpm



Joonis 2.3.3 ja 2.3.4. Vasakul joonisel on 5040 2-labaga ja paremal 6042 3-labaga helisagedus. Antud juhul on tõstejõud samad, aga parempoolsel rpm 11k asemel 7.5k [42]

2.2.4 Mehaaniline konstruktsioon ja arvutused [43].

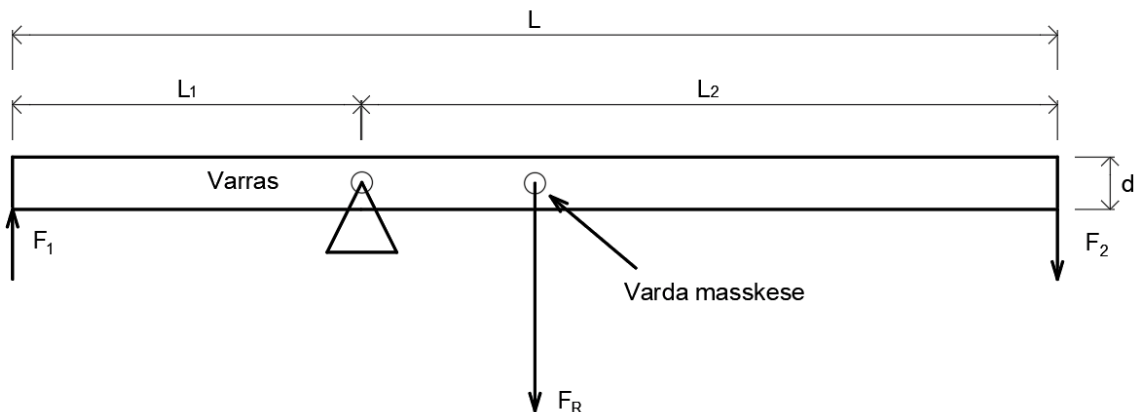
Konstruktsiooni massipõhised andmed:

- Kiige mass: 180g – metallprofiil
- Kogu elektroonika v.a propeller mass: 106g
- Aku mass: 150g

Konstruktsiooni distantsipõhised andmed:

- Mootori keskkohast teljeni: 50cm
- Kaalumise punktist teljeni: 78.5cm
- Aku viisin teljele võimalikult lähedale, et see massi ega tõstevõimet väga ei mõjutaks.
- Müramõõtur oli statiivil 15cm otsejoones mootori kruvini.

Müramõõturi skaala mõõtmiste ajal 40-100dB



Joonis 2.4.1. Ehitatud testpingi skeem

Kaalu ma kasutan siin andurina, mis annab mulle väärtuse aga mitte tõese tõstevõime massi.

Lähteandmed:

$$L = 1,285m - \text{Varda pikkus}$$

$$m = 180g = 0.18kg - \text{Varda mass}$$

$$m_2 = 85g = 0,085kg - \text{kaalu näit, kui mootor ei pöörle}$$

$$L_1 = 50cm = 0.5m - \text{Toetuspunkti kaugus mootori keskpunktist}$$

$$L_2 = 78,5cm = 0.785m - \text{Toetuspunkti kaugus kaalule toetavast punktist}$$

Esmased arvutused:

$$F_2 = m * g = 0,085 * 9,807 = 0,834N$$

$$F_R = m * g = 0,180 * 9,807 = 1,765N$$

Nende andmetega arvutab välja kui suur on moment ilma mootorile jõudu rakendamata.

$$M_2 = L_2 * F_2 = 0,785 * 0,834 = 0,655Nm$$

$$M_R = \left(\frac{L}{2} - L_1\right) * F_R = \left(\frac{1,285}{2} - 0,5\right) * 1,765 = 0,252Nm$$

$$M_1 = M_2 - M_R = 0,655 - 0,252 = 0,403Nm$$

Kuna varda mass katsete vahel ei muutu, siis raskusjõust tulenev moment on konstantne.

$$F_1 = \frac{M_1}{L_1} = \frac{0,403}{0,5} = 0,806N$$

$$m_1 = \frac{F_1}{g} = \frac{0,806}{9,807} = 0,082kg = 82g$$

Arvutustest on näha, et kui raskusjõud välja arvestada, siis $85-82 = 3g \approx 0g$ -peaks olema ideaalses maailmas vahe, kuid on erinevad mõõtemääramatused ja inimlik viga, mis tekib.

Lisaarvutuse saadud kaalunäiduga 195g, kui kasutusel oli 3-labaga 5045 propeller.

$$F_2 = (m_{pärast} - m_{enne}) * g = 0,109 * 9,807 = 1,067N$$

$$F_R = 1,765N$$

$$M_2 = L_2 * F_2 = 0,785 * 1,067 = 0,838Nm$$

$$M_R = 0,252Nm$$

$$M_1 = M_2 - M_R = 0,838 - 0,252 = 0,587Nm$$

$$F_1 = \frac{M_1}{L_1} = \frac{0,587}{0,5} = 1,174N$$

$$m_1 = \frac{F_1}{g} = \frac{1,174}{9,807} = 0,1197kg = 120g$$

$$m_{tõste} = 120g$$

Erinevused tulemustes tulevad selle tõttu, et katsete läbiviimisel ei olnud tingimused ideaalsed ja esinesid kaod.

Kuna raskusjõud ei mõju mootori pool olevale teljele, siis saame kaalu peal olevat näitu arvestada vastavalt õigesti – ehk lahutame algse näidu lõpunäidust maha ja saame tulemuse.

Lisaarvutuse saadud kaalunäiduga 330g, kui kasutusel oli 2-labaga 7042 propeller.

$$F_2 = (m_{\text{pärast}} - m_{\text{enne}}) * g = 0,244 * 9,807 = 2,393N$$

$$F_R = 1,765N$$

$$M_2 = L_2 * F_2 = 0,785 * 2,393 = 1,878Nm$$

$$M_R = 0,252Nm$$

$$M_1 = M_2 - M_R = 1,878 - 0,252 = 1,626Nm$$

$$F_1 = \frac{M_1}{L_1} = \frac{1,626}{0,5} = 3,254N$$

$$m_1 = \frac{F_1}{g} = \frac{3,254}{9,807} = 0,332kg = 332g$$

$$m_{\text{tõste}} = 332g$$

Tabel 2.4.1. Andmed eeldatavate ehk teoreetiliste ning mõõtetulemuste põhjal tehtud arvutused.

Tiiviku mudel	Kaalu näit enne, g	Kaalu näit pärast, g	Pöörded, rpm	Teoreetiline tõstevõime, g	Arvutatud tõstevõime, g
4045*2	85	160	10840	55	66
5040	85	180	10840	134	98
5045	85	190	10840	134	113
5050	84	196	10840	134	124
6045	85	250	10840	278	208
7042	86	330	10840	514	332
7240*2	86	340	10840	533	347
J4045*3	85	130	10840	70	19
4045BN*3	84	180	10840	70	99
5040	85	199	10840	171	128
T5045C	86	195	10840	171	120
5051	84	195	10840	171	123
6042*3	86	275	10840	354	245
Q4045	85	136	10840	83	29
Q5030	85	182	10840	203	101
Q5040*4	85	215	10840	203	153

Kõik tulemused on näidud, mida kasutatakse võrdlemiseks. Tegu ei ole absoluutsete väärtustega, mis näitavad tõelist tõstevõimet.

3. LÕPPTULEMUS

Väga suures mahus katseid ja andmeid on selles töös üle käidud. Autoril hinnangul on olemas adekvaatne lõpptulemus antud teema kohta.

Katsetuste esimene osa ehk DJI Mavic Mini müratasemed.

DJI Mavic Mini müratase keskeltläbi 5cm kauguselt andis müramõõturile näidu:

- 75dB, kui müramõõtur oli horisontaalselt paigutatud ja droon oli müramõõturi ees.
- 87dB, kui müramõõtur oli vertikaalselt suunaga üles ja droon hõljus müramõõturi kohal.

Need tulemused on võrreldavad helitugevuselt fööniga või võimekama tolmuimejaga. Mõlemad teevad töötamise ajal märgatavat häält. Rahulikuma ilmaga päeval on drooni kuulda ka 80m kõrguselt. Umbes 25m kõrguselt ei ole enam rääkimise taustalt kuulda.

Katsetuste teine osa ehk testpingil propellerite testimine.

Katsetades läbi erinevaid propellereid samadel tingimustel, tekkis võimalus mõõtmistulemusi omavahel võrrelda, et nendest lähtuvalt saaks valida optimaalse lahenduse.

Katsetamisel kasutatud FPV drooni soovituslik propelleri suurus oli 3-labaga 5040.

Kui võtta ainult 1" võrra suurem 3-labaline 6042 propeller, siis sama tõstejõu juures:

- Mootori võimsuse sai langetada 30% pealt 22% peale
 - Sellega langes pöörlemiskiirus 10850 pealt 7490 peale
 - Müratase 92,2dB pealt 86,6dB peale

Antud juhul on müratasemed küll 5040 ja 6042 üpris sarnased, kuid sagedus:

- 5040 propelleriga 500Hz – sarnane mesilase sumisemisele.
- 6042 propelleriga 340Hz

Inimesi häirib madalam sagedus vähem, seega suurem propeller oleks juba abiks.

KOKKUVÕTE

Käesolevas bakalaureusetöös on antud ülevaade mehitamata õhusõidukite helimüra tekitavatest faktoritest

Lõputöö esimeses osas on välja toodud erinevad ettevõtted, kes toodavad erinevas mastaabis ning erinevatele tarbijatele droone, kuid neil kõigil on üks sama probleem selle juures. Lisaks on seal füüsikaline ja tehnoloogiline informatsioon, et natukene tutvustada erinevaid aspekte, näiteks mis üldse on müra ning mis on droonide puhul peamised allikad ja faktorid, mis tekitavad seda. Lisaks ka teoreetilised ettepanekud, kuidas helimüra droonide puhul optimeerida.

Töö teises osas antakse ülevaade reaalsest olukorrast, kus mõõdetakse DJI Mavic Mini drooni helimüra tugevust erinevatelt distantsidelt nii horisontaalselt kui vertikaalselt ning tuuakse välja tähelepanekuid mõõtmiste käigus kui ka tulemusi analüüsides.

Lõputöö kolmandas osas tehakse läbi katseid, kus testitakse kindlatel seadritel erinevaid propellereid ning mõõdetakse sealjuures propelleri iseärasusi helitugevuse ja tõstevõime alusel. Antud tulemused analüüsiti ning kasutati arvutustes, et leida teooria ja praktilise osa erinevused ning teha nendest kokkuvõte, millist propellerit teatud süsteemi juures kõige mõistlikum kasutada oleks.

Lõputöö tulemusena said lahendatud lõputöö ülesandes püstitatud küsimused ja hüpoteesid ning läbi katsetuste leitud mehitamata õhusõiduki tõstevõime ja helimüra kõige efektiivsem lahendus.

SUMMARY

The following Bachelor's thesis gives an overview of unmanned aerial vehicles different noise generating factors.

In the first part of the thesis, there are brought out companies which produce different kind of drones for all sorts of consumers, but after all, they all have one problem in common. There is information about scientific and technological aspects to introduce what exactly is noise and which are the main sources and factors which generate noise in drones. Addition to that, there are also proposals about how to optimize the noise coming out of the vehicles.

The second part of the thesis covers real life scenarios, where a DJI Mavic Mini drone is put on a test. The goal of the test was to observe and analyze different noise levels from different heights and distances and make some notes along the way.

In the third part of the thesis there are also tests, but with different propellers which have different specs. The goal was to see which results each drone gave about lifting capacity and noise that it emits. The results were analyzed and used in equations to come out with differences between theoretical and practical calculations to give out a summary, which propeller is the wisest to use.

In conclusion the thesis solved all raised questions and hypothesis, which were in the thesis task and through the tests it was possible to declare the final answer about which is the most effective solution.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] DJI, „Mavic Mini,” 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dji.com/ee/mavic-mini>.
- [2] „iFlight 5” FPV droon,” 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.getfpv.com/flight-x-dji-titan-dc5-5-fpv-racing-drone-w-dji-digital-hd-fpv-system-pnp.html>.
- [3] „DJI andmed,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.fastcompany.com/company/dji>.
- [4] „DJI andmed lisaks,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.crunchbase.com/organization/dji>.
- [5] JETSON, „JETSON ONE,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.jetsonaero.com/>.
- [6] „Black Hornet droon,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.army-technology.com/projects/black-hornet-personal-reconnaissance-system/>.
- [7] Terviseamet, „Müra,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.terviseamet.ee/et/keskkonnatervis/inimesele/fuusikalised-tegurid/mura>.
- [8] „Erinevad müratasemed,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://adapt-global.com/how-to-stay-focused-and-productive-in-a-noisy-working-environment/>.
- [9] „Propellerite andmed,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.getfpv.com/learn/new-to-fpv/all-about-multirotor-fpv-drone-propellers/>.
- [10] „NASA GL-10,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nasa.gov/langley/ten-engine-electric-plane-completes-successful-flight-test>.
- [11] „Kas droonid saavad olla hääletud?,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://tipsfordrones.com/can-drones-be-silent/>.
- [12] „Kui valjud on droonid,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.extremefliers.com/how-loud-are-drones/>.
- [13] „Kui valjud on droonid?,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://dronesgator.com/how-loud-are-drones/>.
- [14] „Kuidas teha droone vaiksemaks,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://dronesgator.com/ways-to-make-your-drone-quieter/>.
- [15] „Kuidas teha droone vaiksemaks,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://flythatdrone.com/blog/how-to-make-drones-quieter/>.
- [16] „Kuidas teha droone vaiksemaks,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.droneblog.com/drone-noise-reduction-8-ways-to-make-your-drone-quieter/>.
- [17] „Müramõõtur TES 52,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.suomentyokalu.fi/korjaamolaitteet/testaus-saato-ja-huolto/oskilloskoopit-mittalaitteet-tyokalut/tes-52-desibelimittari-p-8165.html>.
- [18] „Müramõõtur TES 52 andmeleht,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ariantajhiz.com/files/public/Products/4/969/5f3e24fc3ea84.pdf>.
- [19] „Manfrotto statiiv,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.manfrotto.com/global/190x-aluminium-3-section-camera-tripod-mt190x3/>.
- [20] „Ilmaennustus,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.accuweather.com/et/ee/tallinn/127964/daily-weather-forecast/127964?day=1>.

- [21 „Mamba F722 stack,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.getfpv.com/diatone-mamba-f722-app-f50pro-3-6s-esc-stack.html>.
- [22 „Racestar mootorid,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.racerstar.com/racerstar-2207-br2207s-fire-edition-1600kv-2200kv-2500kv-3-6s-brushless-motor-for-rc-drone-frame-kit-p-249.html>.
- [23 „TATTU aku,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.getfpv.com/tattu-1300mah-4s-75c-lipo-battery.html>.
- [24 „Peaktech 2795 tahhomeeter,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.tme.eu/Document/a017ed100e9d5d918165f3172e5f39c1/P%202795%20.pdf>.
- [25 „BetaFlight,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://betaflight.com/>.
]
- [26 „Dalprop 4045BN,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.dalprops.com/products/4045bn>.
- [27 „Gemfan 7042,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.aerial-shop.com/en/7-inches/200-gemfan-flash-7042-sustainable.html>.
- [28 Amazon, „EFL11003 propeller,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.amazon.com/flite-EFL11003-Main-Propeller-Set/dp/B01N383GR0>.
- [29 „HQprop S5040,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://shop.fpv.ee/propellers/4x-hqprop-durable-s5x4-pc-transparent.html>.
- [30 D. 5045. [Võrgumaterjal]. Available: <https://nitrohobbies.com/dal5045-white/>.
]
- [31 „HQprop 5050V1S,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hqprop.com/hq-durable-prop-5x5v1s-2cw2ccw-poly-carbonate-p0182.html>.
- [32 „Gemfan 6045C,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://shop.fpv.ee/4x-gemfan-6045-carbon-nylon-black.html>.
- [33 „Dalprop T5045C,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.getfpv.com/dalprop-cyclone-t5045c-pro-propellers-set-of-20.html>.
- [34 „Racestar 5051,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://rcplanet.ee/et/tiivikud/10-paari-racerstar-5051-fpv-drooni-propellerid#/1538-varv-lilla>.
- [35 „GEPRC 5040,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://geprc.com/product/props-5040x3-v2-transparent-red/>.
- [36 „Gemfan Flash 6042,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://rcplanet.ee/et/tiivikud/gemfan-6042-3-flash-propellerid#/1528-varv-sinine>.
- [37 „Dalprop 4045BN,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.rcpapa.com/products/dal-4-4045-bullnose-tri-blade-propellers?variant=12714342150>.
- [38 „Dalprop J4045,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.surveilzone.com/-g-1489>.
- [39 „Dalprop Q5030,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://fpvracing.ch/en/propellers/1256-dalprop-q5030-2-x-cw-2-x-ccw-red.html>.
- [40 „Dalprop Q5040,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] https://hobbyking.com/de_de/dalprop-q5040-red.html?__store=de_de.
- [41 „Dalprop Q4045,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hobbytown.com/dal-props-quad-blade-4x4.5x4-prop-red-2cw-2ccw-dlp-q4045-red/p512935>.
- [42 „Virtuaalne ostsilloskoop,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://academo.org/demos/virtual-oscilloscope/>.

- [43 „Mehaanika arvutused,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] https://isc.ttu.ee/materials/martin/MHK0120/SissejuhatusMehhatroonikasse2020-5_seminar-lahendused.pdf.
- [44 „DJI Mavic Mini müratase,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://dronesgator.com/mavic-air-2-vs-mavic-mini-vs-mavic-air/>.
- [45 „Kõrgsagedus vs madalsagedushelid,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] http://www.physicslab.org/Document.aspx?doctype=3&filename=WavesSound_IntroSound.xml.
- [46 „Propellerite labade arvust tulenev erinevus,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://dronesgator.com/how-many-blades-for-a-drone-propeller/>.

LISAD

GRAAFILINE OSA