



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

MEHITAMATA ÕHUSÕIDUKI HÜBRIIDAJAMI ARENDUS

THE DEVELOPMENT OF UNMANNED AERIAL VEHICLES HYBRID SYSTEM

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Christopher Einmann

Üliõpilaskood: 155490MAHB

Juhendaja: Mart Tamre

Kristjan Tiimus

Tallinn 2019

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.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Christopher Einmann, 155490MAHB
Õppekava, peeriala: MAHB02/13 - Mehhatroonika
Juhendaja(d): Professor, Mart Tamre, 6203202
Kristjan Tiimus, Tehnoloogiajuht
Threod Systems OÜ, 5177186, Kristjan.Tiimus@threod.com

Lõputöö teema:

Mehitamata õhusõiduki hübriidajami arendus

The development of unmanned aerial vehicles hybrid system

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Luua UAV hübriidajami kontseptsioon
2. Luua UAV hübriidajami prototüüp

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Hübriidajami kontseptsioon	01.04.2019
2.	Hübriidajami prototüübi loomine	01.05.2019
3.	Lõputöö vormistamine	14.05.2019

Töö keel: Eesti Keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "21" Mai 2019a

Üliõpilane: Christopher Einmann "....."201....a
/allkiri/

Juhendaja: Mart Tamre "....."201....a
/allkiri/

Juhendaja: Kristjan Tiimus "....."201....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA.....	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	7
SISSEJUHATUS.....	8
1. ÜLESANDE ANALÜÜS.....	9
1.1 Nõuded seadmele	9
1.2 Sarnased lahendused.....	9
1.2.1 Seadme tööpõhimõte	12
2. MOOTOR.....	13
2.1 Mootori valik	13
3. GENERAATOR.....	16
3.1 Generaatori valik	16
4. ÜLEKANNE.....	18
4.1 Komponentide valik	18
4.2 Ülekande loomine	21
5. ELEKTROONIKA.....	24
5.1 Elektroonikakomponentide valik	24
5.1.1 Alaldi	24
5.1.2 Mikrokontroller	25
5.1.3 Servomootor	26
5.2 Elektriskeem	26
6. TARKVARA.....	29
7. PROTOTÜÜP.....	30
7.1 Teststendi loomine	30
8. TULEMUSED	34
9. MAJANDUSLIK ASPEKT	35
KOKKUVÕTE.....	36
SUMMARY	38
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	40
Lisa 1 Kalkulatsiooniprogrammi protokoll	43
Lisa 2 Joonised	45

Lisa 3 Programmikood.....	49
Lisa 4 Teststendi raami koostisosad	50

EESSÕNA

Käesolev bakalaureuse lõputöö on ettevõtte Threod Systems OÜ poolt välja pakutud. Lõputöö teema eesmärk on alustada arendusprotsessi mehitamata lennuvahendite lennuaja pikendamisel. Lõputöös ehitatav prototüüp koos teststendiga on ehitatud ja katsetatud Threod Systems OÜ firma territooriumil. Lõputöö lahendusi aitas luua tehnoloogiajuht Kristjan Tiimus.

Autor soovib tänada juhendajat professor Mart Tamret ja Threod Systems OÜ tehnoloogiajuhti Kristjan Tiimust abi eest.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

Wh – Elektrienergia ühik

W – Võimsuse ühik

Cc – Mootori kubatuuri ühik

UAV – Mehitamata õhusõiduki inglise keelne lühend

12S – Liitiumpolümeerakude lühend 12 elemendiga akule

V – Pinge ühik

PWM –Pulsilaiusmodulatsioon lühend

RPM – Pöördeid minutis lühend

KV – Mootori pöörlemissagedus voldi kohta

jm – Jooksev meeter

AWG – Juhtmete süsteemi nimetus

SISSEJUHATUS

Bakalaureusetöö autor töötab ettevõttes Threod Systems OÜ alates 2018. detsembrist kuid alustas samas ettevõttes praktikat 2 kuud varem. Autor töötab ettevõttes nooremisenerina.

Threod Systems OÜ on mehitamata õhusõidukeid arendav ja tootev eesti ettevõtte, mis asutati aastal 2012.

Käesoleva töö eesmärgiks on anda ülevaade hübriidajami kontseptsiooni arendusprotsessist. Töö alguses kirjeldatakse probleemi ning uuritakse turul olevaid lahendusi. Töö jooksul luuakse kontseptsioon hübriidajamist, mille abil on võimalik pikendada mehitamata lennusõiduki lennuaega. Mehitamata õhusõidukitel kasutatakse enamasti liitiumpolümeerakusid kuid nende miinuseks on väike energiatihedus. Energiatiheduse tõstmiseks uuritakse võimalikke hübriidkombinatsioone ning luuakse sobiv lahendus. Lõputöö käigus ehitatakse teststend koos arendatud hübriidajamiga ning testitakse seda.

Mehitamata õhusõidukid lähevad maailmas iga päevaga aktuaalsemaks, mistõttu on turule ilmunud esimesed kommertshübriidajamid siseõlemismootoriga. Prototüüpidena on avalikustatud veisinikuga lahendatud süsteeme. Globaalne mehitamata õhusõidukite turu väärtus oli aastal 2017 üle 69 miljardi dollari ja ennustatakse aastaks 2023 üle 141 miljardi dollari. Valdav osa turust koosneb militaarõhusõidukitest.

Lõputöös teostatavad ülesanded on järgmised:

- Turu uurimine sarnaste lahenduste osas
- Kontseptsiooni loomine
- Elektriskeemi koostamine
- Prototüübi ehitamine
- Teststendi valmistamine
- Prototüübi analüüs
- Majanduslik analüüs

Lõputöö raames kasutatakse joonestamiseks programmi Solid Edge 2019, programmeerimiseks tasuta tarkvara Arduinolt, veebipõhist elektriskeemi joonistamisvahendit Circuit Diagram, rihmülekande arvutamistarkvara ettevõtte Maedler poolt, plokkiskeemi joonestamisprogrammi yEd ning Volz servomootori programmaatorit.

1. ÜLESANDE ANALÜÜS

Lõputöös ehitatava seadme eesmärgiks on pikendada lennuaega mehitamata õhusõidukitel. Selleks, et mehitamata õhusõiduk kauem õhus püsiks on vaja luua hübriidajam. Laialt kasutatavate liitiumpolümeerakude energiatihedus on väga väike, alla 200 Wh/kg. [1]

1.1 Nõuded seadmele

Seadmele tuli eesmärgi saavutamiseks kehtestada tingimused. Nõuded on järgmised:

- Võimsus. Generaatori maksimaalne väljundvõimsus peaks olema 1500 W
- Vastupidav. Mootor ei tohiks nõuda väga tihedat hooldust
- Efektiivne. Ei tohi tarbida palju kütust
- Mass. Mootor koos generaatoriga ei tohiks kaaluda palju. Mida väiksem mass seda pikem lennuaeg ja suurem koorma kandmisvõime
- Kompaktne. Mida väiksematele lennuvahenditele see mahub, seda potentsiaalsem on toode tuleviku perspektiivis.

1.2 Sarnased lahendused

Turul on üksikuid lahendusi, mis pikendavad droonide lennuaega. Enamus lahendusi töötavad bensiinimootoritel, kuid on ka üksikuid vesiniklahendusi prototüüpide näol. Palju erinevaid firmasid pakuvad ka süsteemi osi nagu näiteks alalisvoolumootoreid, kuid on ka firmasid, mis müüvad terviklahendusi.

Kanada ettevõtte Pegasus Aeronautics on firma, mis arendab hübriidajami süsteeme. Ettevõttel on tootevalikus 2 eri võimsusega süsteemi GE35 ja GE70. Kuna ettevõtte põhieesmärk on arendada süsteeme, mis pikendaks lennuaega, siis on neil tooted väga head. Põhilised eelised konkurentide ees on sissepõritsega ja vesijahutusega mootorid.

Tabel 1.2.1 Pegasus Aeronautics mootorite spetsifikatsioonid [2, 3]

Mootor	GE35	GE70
Mass	2,6 kg	3,5 kg
Mootori tüüp	2-taktiline 35cc	2-taktiline 70cc
Maksimum võimsus	2 000 W	4 000 W
Pinge	24 V kuni 50 V	24 V kuni 50 V
Käivitamise meetod	Isekäivituv PWM signaaliga	Isekäivituv PWM signaaliga
Kiiruse reguleerimine	Automaatne sõltuvuses koormusega	Automaatne sõltuvuses koormusega
Kütusesüsteem	Pihustiga	Pihustiga
Hooldusvälp	200 tundi	200 tundi
Jahutus	Vesijahutus	Vesijahutus



Joonis 1.2.1 Pegasus Aeronautics toode GE35 [2]

Teine hübriidsüsteemide arendaja turul on ettevõtte Richenpower. Hiinlaste firma toodab lisaks hübriidajamitele ka mootoreid. Tootevalikutes on reaktiivmootoreid ja tavalised kolbmootoreid, kuid kõik tooted on UAV suunitlusega. Nende valikust huvitab meid ainult 2 toodet, H2 ja H2 PLUS.

Tabel 1.2.2 Richenpoweri mootorite spetsifikatsioonid [4, 5]

Mootor	H2	H2 PLUS
Mass	4 kg	4,2 kg
Mootori tüüp	-	-
Maksimum võimsus	1 800 W	2 400 W
Pinge	49 V	49 V
Käivitamise meetod	Starteriga	Starteriga
Gaasi andmine?	Automaatne sõltuvuses koormusega	Automaatne sõltuvuses koormusega
Kütuse toimetamine?	Karburaator	Karburaator
Hooldusvälp	50 tundi	50 tundi
Jahutus	Õhkjahutus	Õhkjahutus



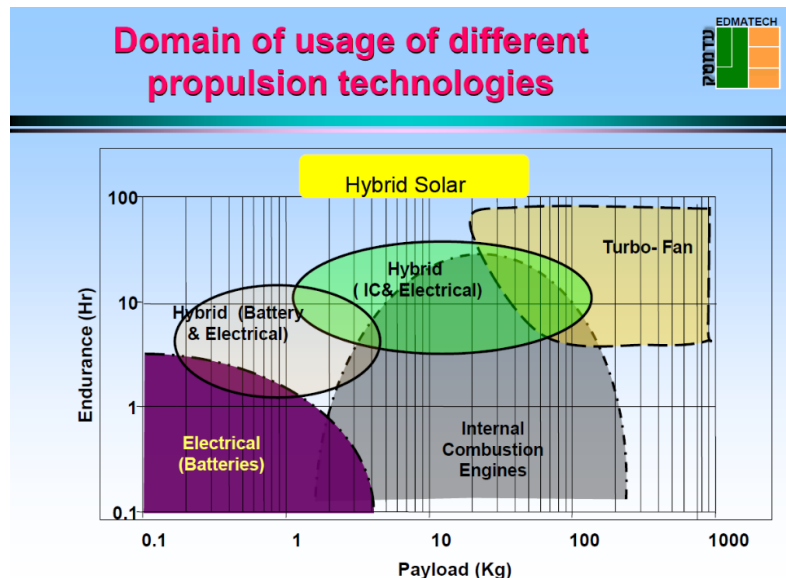
Joonis 1.2.2 Richenpoweri toodetud H2 [4]

Kahe firma vahel on näha suuri erinevusi. Pegasuse tooted on hiinlaste variantidest kõikides kategooriates paremad. Seda oli ka oodata, kuna Richenpoweris toodetakse peale hübriidajamite ka mitmeid teisi tooteid.

Väga häid lahendusi on juba loodud, aga kahjuks teiste firmade lahenduste integreerimine pole pikas perspektiivis kasulik. See ei tule kasulikuks kuna tulevikus on vaja luua mitmeid erinevate võimsuste ja spetsifikatsioonidega hübriidajameid. Jääda sõltuvaks teise firma tarneaegadest ning maksta arenduskulusid seoses uute versioonidega ei ole jätkusuutlik.

1.2.1 Seadme tööpõhimõte

Enamus väikesed mehitamata õhusõidukid tänapäeval saavad oma energia liitiumpolümeerakudest. Hübriidajami tööpõhimõte on vähendada liitiumpolümeerakude osakaalu ja tõsta efektiivsust. Selle saavutamiseks asendatakse suur osa akude kaalust bensiinimootorist generaatoriga. Sisepõlemismootorite hübriidajamil on parim suhe lennuaja ja kandevõime kohta (vt Joonis 2.2.3). Generaator hakkab katma lennuvahendi energiavajadusi terve lennu vältel. Varuvariandina säilitatakse ka piisava mAh suurusega aku, mis katab ära hädamaandumise energiavajadused mootori rikke korral. Aku mahutuvus peab olema võimeline ära katma hädamaandumisele kuluva energiavajaduse.. Lennuvahendi energia tarbimine kõigub palju mistõttu tuleb generaatorist väljuv vool hoida maksimaalselt sarnane nõudlusega ja see kõik peab toimuma autonoomselt.



Joonis 1.2.1.1 Tehnoloogiate võrdlus vastupidavuse ja kandevõime kohta [1]

2. MOOTOR

2.1 Mootori valik

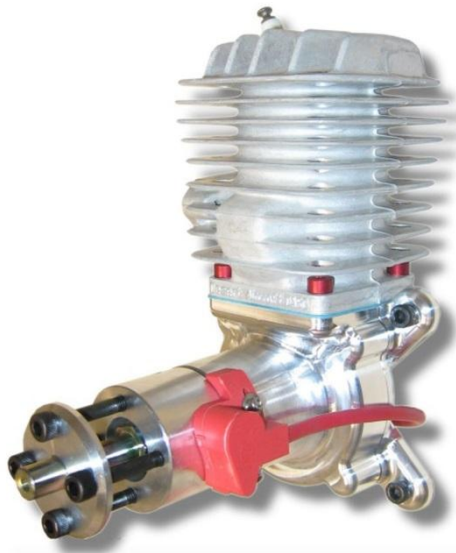
Mootor peab täitma palju erinevaid kriteeriumeid selleks, et sobida hübriidajami jõuallikaks. Kuna mootori valikul on turg rikkalik, siis esialgu tuleb kaaluda erinevaid kolbmootorite tüüpe. Valik tuleb teha 2-taktilise ja 4-taktilise mootori vahel. Võrdleme kahe mootori tüübi eripärasusi omavahel.

Tabel 2.1.1 2- ja 4- taktilise mootori võrdlus [6]

Mootor	2-taktiline	4-taktiline
Mass	Väiksem	Suurem
Hind	Odavam	Kallim
Efektiivsus	Halvem	Parem
Heli tugevus	Tugevam	Madalam
Soojuseraldus	Suurem	Väiksem
Kütuse lisamine	Avaga	Klapisüsteemiga
Suurus	Väiksem	Suurem

Tänu kahetaktilise mootori kaalule, lihtsusele ja kompaktsusele on seda mõistlikum kasutada hübriidajami ehitamisel. Suure soojuseralduse vastu saab valida vesijahutusega mootorid ning efektiivsus pihustiga 2-taktilistel mootoritel on ligilähedane 4-taktilise efektiivsusele. [6] Tänu poole väiksemale jõutsüklile, toodab kahetaktiline mootor sujuvamat võimsust ning on oma ülesehituse poolest lihtsam üleval pidada. 4-taktilistel on rohkem liikuvaid osi klapisüsteemi tõttu, mistõttu mehaanilise vea risk on suurem ning hooldusvälp kulukam.

Testmootoriks valiti 2-taktiline DA50 mootor. DA50 on 2003 aastal tootmisesse toodud spetsiaalselt mudellennunduse suunitlusega. Pikalt tootmises olnud mootori suur eelis on töökindlus ning turul leiduvad edasiarendused. Alumiiniumist kest, vähene vibratsioon, kompaktsus ja 3 aastane garantii annab suure eelise hübriidajami ehitamisel. Mootor tuleb kaasa karburaatori ja süütesüsteemiga. Süütesüsteem vajab 5V sisendit. [7, 8]

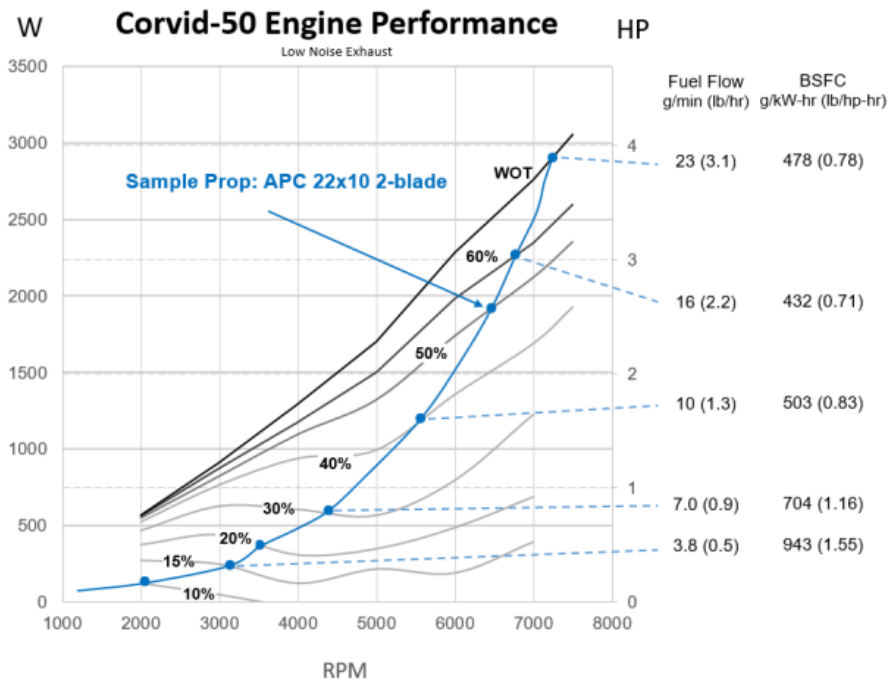


Joonis 2.1.1 DA50 mootor [7]

Tabel 2.1.2 DA50 mootori spetsifikatsioon [7]

Mootor	DA50
Mass	1.33 kg
Kubatuur	50cc
Kõrgus	187 mm
Laius	96 mm
Pikkus	190 mm

Tootja ei ole välja toonud mootori võimsusgraafikut, aga samast mootorist on teinud teine ettevõtte modifitseeritud mootori. Austraalia firma Currawong Engineering on oma spetsifikatsiooni lehel välja toonud mootori võimsuseks 2.9kW 7000RPM juures (vt joonis 2.1.2) . Tegemist on sissepritsega versiooniga mootorist. Lõputöö raames kasutatakse karburaatoriga versioon, mistõttu eeldatakse, et võimsuse numbrid jäävad madalamaks. Pihustiga kütusesüsteem on efektiivsem. Nõuete järgi on tarvis maksimaalselt 1.5kW. Spetsifikatsioonilehel avaldatud graafikult on võimalik lugeda, et mootor on kõige efektiivsem vahemikus 5500-6000 RPM (vt joonis 2.1.2) .



Joonis 2.1.2 DA50 sissepritsega versiooni Corvid-50 võimsuse ja pöörete suhe [9]

3. GENERAATOR

3.1 Generaatori valik

Kasutatakse harjadeta vahelduvvoolumootorit generaatorina kuna kättesaadavus prototüüpimiseks ja efektiivsus generaatori aplikatsioonis on hea. Generaatori valikul on kõige olulisem parameeter mootori KV. KV näitaja näitab mitu pööret voldi kohta mootor pöörleb minutis. KV näitaja ei pruugi päris täpne olla. Arvesse tuleb võtta mootori efektiivsust. Mootor kriteeriumid on järgmised: võimeline 1.5 kW võimsust väljastama, taluma kõrget pinget (kuni 50 V) ning voolutugevust. Generaatori ligilähedane KV väärtus arvutatakse välja kuna täpselt väärtust pole võimalik arvutada siis tuleb testida. KV väärtus jääb eeldatavasti välja arvutatavast umbes poole väiksemaks koormuse all. [10]

$$KV = \frac{n}{U} \quad (3.1.1)$$

kus n - Pöörlemissagedus [min^{-1}];

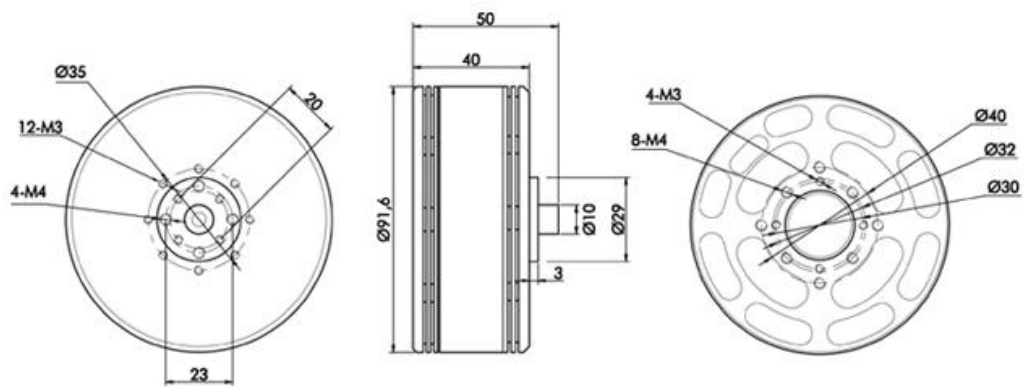
U - Pinge [V].

$$KV = \frac{5500}{25} = 220$$

Esimeseks võrdluspunktiks valiti mootor P80 120KV firmalt T-Motor. Mootor täitis kõik kriteeriumid ja KV oli ligilähedane.

Tabel 1.2.1 P80 Spetsifikatsioonid [11]

Mootor	P80 KV120
Mass (koos kaablitega)	6 50 g
Maksimaalne pidev võimsus	3 000 W
Maksimaalne pidev voolutugevus	70 A
Diameeter	91.6 mm
Kõrgus	43 mm
Pinge	Kuni 50 V



Joonis 3.1.1 P80 Mõõtmed [11]

4. ÜLEKANNE

Valitud generaator peaks nõutud võimsust väljastama umbes 4000 pöörde juures, mille saavutamiseks luuakse rihmülekanne. [11] Rihmülekannega saab hiljem teisi generaatoreid sarnaselt testida ning see kiirendab oluliselt prototüüpimisprotsessi. Järgmiseks etapis valitakse piisavalt tugev rihmülekanne komponendid.

4.1 Komponentide valik

Esimene kriteerium oli DA50 mootori kinnituste kasutamine. Mootori küljes asuv rihmaratta miinium sisediameeter on 35 mm. Kriteeriumi põhjuseks on mootori 4 ava kasutamine rihmaratta kinnitamiseks. Avad on M5 keermega ja avade keskpunkt on 30 mm kaugusel vastasavast (vt joonist 5.1.2). Kataloogist spetsifikatsioonide järgi valiti välja sobiv ratas vastavalt rihma tüübile. Kataloogist leiti AT5 tüüpi 16 mm laiusega rihm, mille rihmaratta efektiivse diameetriga 47.75mm ja pööretega 5000 min^{-1} peab vastu 1.62 kW võimsusele. [12] Efektiivse diameetriga $d = 47.75$ rihmaratas ei sobi kuna $ND = 34$ mm (vt joonis 5.1.1.). Järgmine pakutav rihmaratas on efektiivse osa diameetriga $d = 50,93$ mm ja vastava ratta keskosa laius $ND = 38$ mm, mis antud kriteeriumitele vastab. [13] Arvutatakse võimsus, mida AT5 rihm 16 mm laiune välja valitud rattaga maksimaalselt peab suutma edastada. Vastav valem on rihmaratta tootja kataloogist. Kataloogis mainitakse ka rihma kiiruse kontrollimist kuna üle 30 m/s kiirusega rihmad vajavad täpset balanseerimist. [12]

$$v = \frac{d \cdot n}{19100} \quad (4.1.1)$$

kus v – rihmaratta kiirus [m/s].

$$v = \frac{47.75 \cdot 5500}{19100} = 13.75 \text{ m/s}$$

$$P_b = P * (K_1 + K_2 + K_3 + C_1) \quad (4.1.2)$$

kus P_b – Rihmaratta vajalik maksimaalne võimsus [W];

K_1 – Koormuse konstant;

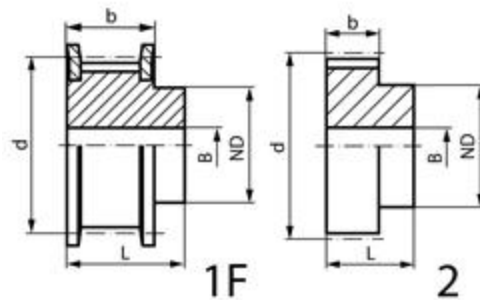
K_2 – Pingutus konstant;

K_3 – Ülekande konstant;

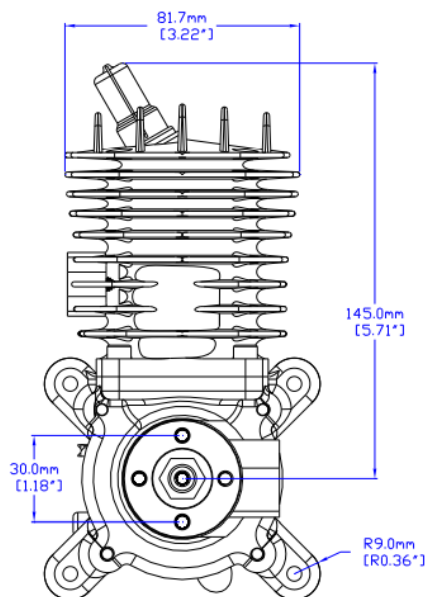
C_1 – Väikse rattal kasutatavate hammaste konstant.

$$P_b = P * (K_1 + K_2 + K_3 + C_1) = 1500 * (1.3 + 0 + 0.4 + 0) = 2\,550\text{ W}$$

Rihmaratta tootja arvutustarkvara ütleb, et sellise kombinatsiooni maksimaalne võimsus on 2.6 kW (vt Lisa 1.). Väiksem rihmaratas järelikult sobib meie apliksiooni.



Joonis 4.1.1 Mädler rihmaratta mõõtmed. d - efektiivse osa vahekaugus, L - rihmaratta laius, b - rihma kontaktpinna laius, B - Läbiva keskava diameeter, ND - keskosa laius



Joonis 4.1.2 DA50 mootori mõõtmed [14]

Õigete pöörete saavutamiseks valiti generaatori külge suurem rihmaratas. Valiku tegemiseks arvatati välja uue rihmaratta efektiivne diameeter.

$$X = \frac{Y_1}{Y_2} \tag{4.1.1}$$

kus X – kordaja;

Y_1 – esialgsed pöörded;

Y_2 – soovitud pöörded.

$$X = \frac{Y_1}{Y_2} = \frac{5500}{4000} = 1.375$$

$$d_s = d * X \tag{4.1.2}$$

kus d_s - efektiivse osa diameeter suuremal rihmarattal [mm].

$$d_s = 50,93 * 1,375 = 70.03 \text{ mm}$$

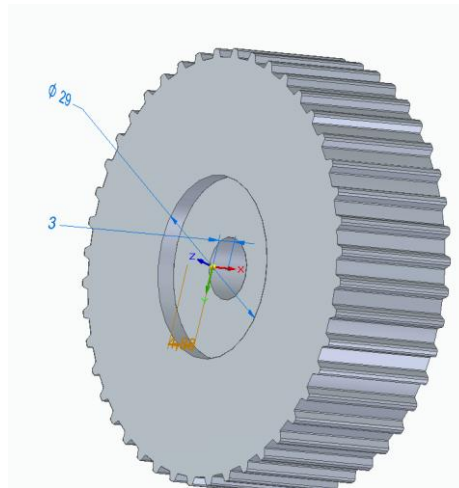
Kataloogist leiti täpselt õigete mõõtmetega rihmaratas. Rihmarataste tootja tarkvara abil kinnitati arvutuslikult rihmarataste maksimaalsed võimsused ning arvatati varutegur (vt Lisa 1). Valitud detailide suurused esitatakse tabelis (vt tabel 4.1.1).

Tabel 4.1.1 Valitud rihmarataste spetsifikatsioonid [12]

Rihmaratas	27 AT5/32-2	27 AT5/44-0
ND, mm	45	38
d, mm	70,03	50,93
b, mm	21	21
B, mm	8	8
L, mm	27	27
Hammaste arv	32	44
Varutegur	1.74	2.39

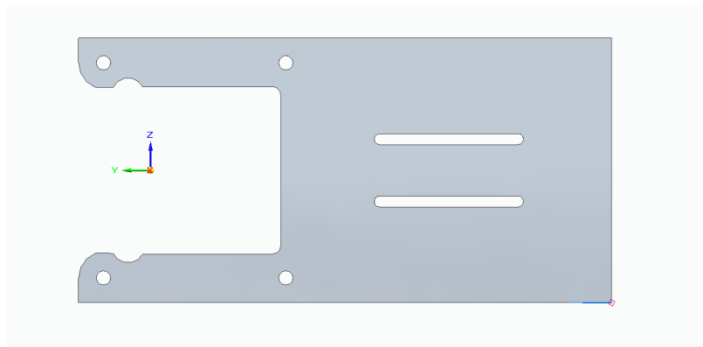
4.2 Ülekande loomine

Rihmarataste kinnitamiseks modifitseeriti rihmarataste CAD mudelid, mis tootja kodulehel tasuta saadaval. [28] Väiksemal rattal projekteeriti läbivad $\varnothing 5.2$ mm avad mootorile kinnitamiseks. Samuti tuli keskava üle puurida $\varnothing 10$ mm suuruseks kuna mootori võlli ots ulatub välja (vt Lisa 2). Väiksem ratas kinnitatakse M5x30 poldidega mootori külge. Generaatori rihmarattale tuli lõigata 3 mm sügavune süvis diameetriga $\varnothing 29$ mm. Generaatori rihmaratas kinnitatakse generaatori külge M6x30 poldiga.



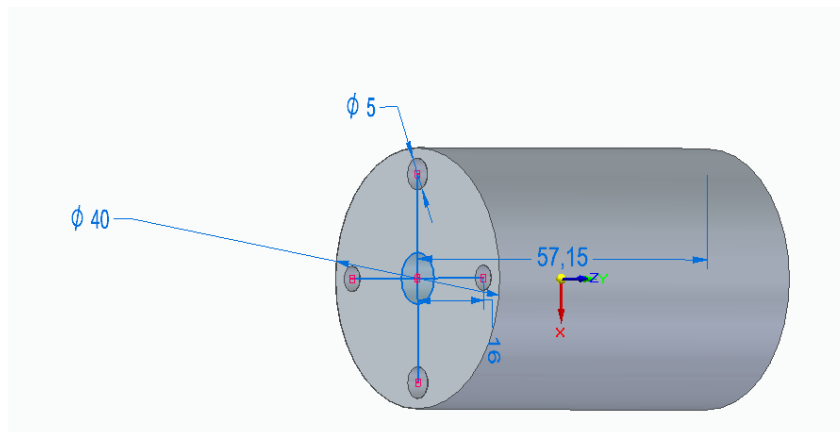
Joonis 4.2.1 Suurema rihmaratta modifitsioon

Generaatori kinnitamiseks tuli lisaks teha distantspuks ja alusplaat. Alusplaat valmistati 190 mm pikkune 96 mm laiune ning 10 mm paksusest plaadist. Plaat valmistati käepärastest vahenditest, mistõttu on palju üleliigset materjali, mida ära ei lõigatud. Plaadi kinnitamiseks kasutati mootoril olemasolevaid poldiavasid, millega mootor stendi külge kinnitub. Distantspuksi kinnitamiseks joonestati avad. Avad on ovaalsed, et pärast oleks rihma võimalik pingutada liigutades generaatorit koos distantspuksiga alla. Rihma pikkuse sai välja arvutada kalkulasiooniprogrammis (vt Lisa 1, Lisa 2).

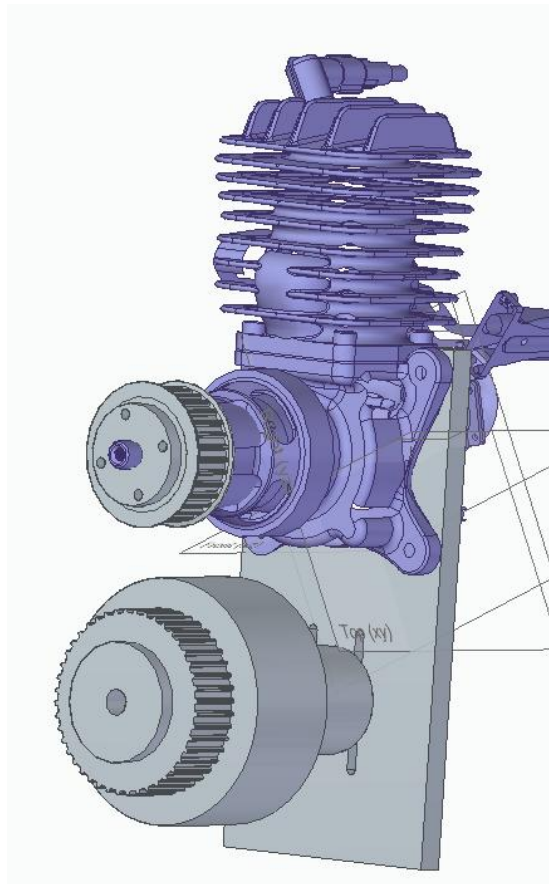


Joonis 4.2.2 Kinnitusplaat

Distantspuksi mõõdud saadi tänu Solid Edge tarkvaras loodud koostule, mis koosnes DA50 mootorist, alusplaadist, rihmaratatest ja generaatorist (vt joonis 4.2.4). Distantspuks valmistati $\varnothing 40$ mm laisest alumiiniumsilindrist, mis treiti 57,15 mm kõrguseks. Puksi kõrgus pidi olema võimalikult täpne, et rihmaratastel oleks rihm maksimaalselt peal. Rihmaratastel on varu 9 mm. [12] Distantspuksil oli vaja ka lõigata neli ava $\varnothing 5$ mm läbimõõduga, millega ühendusplaat ja distantspuks generaatori külge kinnitatakse. Suure jõuõla tõttu keermestati keskava M10 keermega ning kinnitati plaadi külge M10x30 poldiga ohutuse eesmärgil.



Joonis 4.2.3 Distantspuks



Joonis 4.2.4 Hübriidajami koost

Kõikide detailide lõikamiseks kasutati programmi Fusion 360 ning Haas TM-2P CNC pinki. [15, 16] Detailid joonestati ja koost koostati programmis Solid Edge. [17] Koos tööriistade paigutamisega võttis rihmarataste ja alusplaadi valmistamine 1,5 tundi CNC pingis. Treipingis lõigati distantspuks mõõtu ning aega kulus 10 minutit.

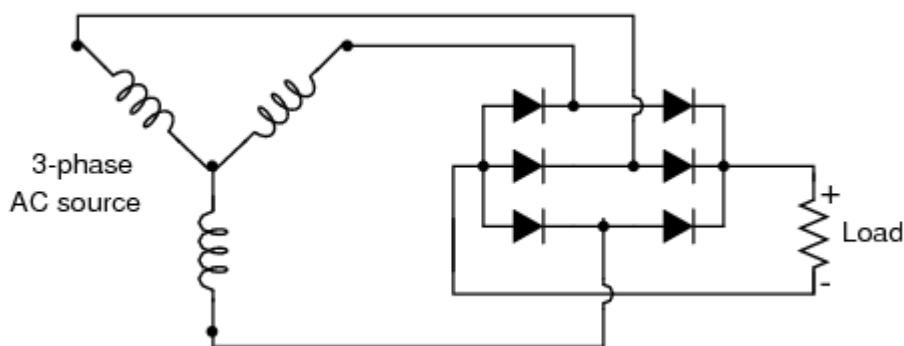
5. ELEKTROONIKA

Hübriidajamil kasutatav generaator on 3 faasiline harjadeta vahelduvvoolumootor. Vahelduvvool tuleb teha alaldi abiga alalisvooluks, et seda oleks võimalik kasutada mehitamata õhusõidukil.

5.1 Elektroonikakomponentide valik

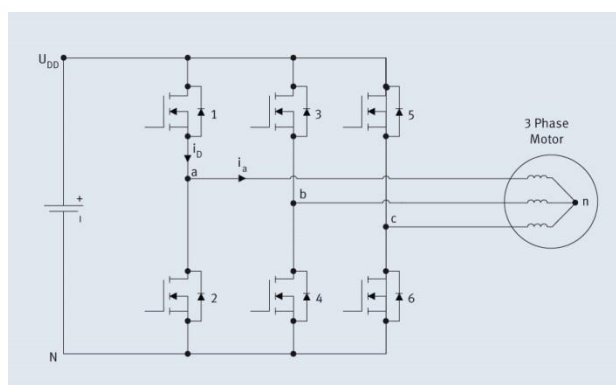
5.1.1 Alaldi

Alaldi on vahelduvvoolu muutmiseks alalisvooluks. Alaldid enamasti koosnevad 3 faasilise mootori puhul kuuest diodist ning ühendatud vastavalt joonisele (vt joonis 5.1.1.1). Diod on kahe elektroodiga elektronseadis, millel on ühesuunaline elektrijuhtivus.



Joonis 5.1.1.1 Alaldi elektriskeem diodidega [18]

Alaldeid saab lahendada diodide asemel ka isoleeritud paisuga väljatransistoritega ehk mosfetiga joonisel näidatud elektriskeemina (vt. Joonis 5.1.1.2).



Joonis 5.1.1.2 Alaldi elektriskeem mosfetitega [19]

Diiodide positiivseteks osadeks on hind ja lihtsus, aga nad ei ole väga efektiivsed. Mosfetid on võrreldes diiodidega olulisemalt efektiivsemad alaldi skeemis. [20] Prototüübi loomisel ei mängi suurt rolli efektiivsus vaid pigem lihtsus, hind ja kiirus mistõttu otsustati diiodide kasuks. Kiire ja odava lahendusena on müügil valmistootena diiodidest alaldid. Valitud alaldi spetsifikatsioonid on tabelis välja toodud (vt tabel 5.1.1.1). Alaldi valimisel peati silmas maksimaalset voolutugevust ja pinget.



Joonis 5.1.1.3 Alaldi [21]

Tabel 5.1.1.1 Alaldi spetsifikatsioon [21]

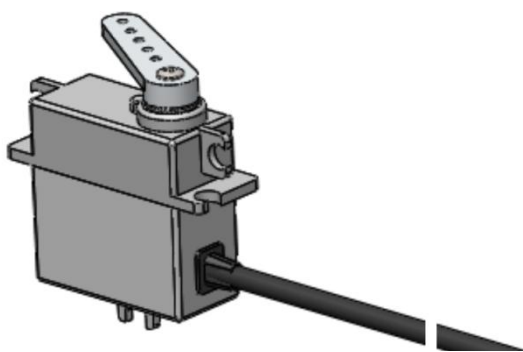
Toode	Alaldi
Faaside arv	3
Maksimaalne pinge [V]	1200
Maksimaalne voolutugevus [A]	88
Maksimaalne operatsioonitemperatuur (°C)	150

5.1.2 Mikrokontroller

Elektrimootorite tarbimine varieerub mehitamata õhusõidukil väga palju seetõttu tuleb mikrokontrolleri abiga gaasi liigutada vastavalt pingele. Mikrokontrollerile pole väga palju nõudmisi. Kontroller peab suutma lugeda analoogpinget ning väljastama PWM signaali servole. Kõige lihtsam variant on võtta laialt levinud Arduino platvormilt üks arendusplaat. Valituks osutus Arduino UNO. Uno vajab sisendpinget 5 volti ning on programmeeritav arduino poolt loodud tarkvaras. [22] Kontroller suudab lugeda analoogpinget 0-5 volti. [23]

5.1.3 Servomootor

Gaasisiibri liigutamiseks valiti väike servomootor DA-13. DA-13 on ettevõtte Volz poolt toodetav servomootori sihtturuks on mehitamata õhusõidukite, robotika ja meditsiiniliste aplikatsioonid. Töötamiseks vajab sisendpinget 5 V ning maksimaalne liikumisenurk on 110°. [24] Sisendsignaali on täiturmootoritel PWM signaal.



Joonis 5.1.3.1 DA-13 servomootor [25]

5.2 Elektriskeem

Elektriskeem koosneb arenduse algusfaasis järgnevatest elementidest: takistid, alaldi, generaator, mikrokontroller, toiteplokk, servo, süütesüsteem ning 6S aku. Toiteplokk varustab arendusplaati ning süütesüsteemi püsiva 5 V pingega. Toiteplokkiks kasutatakse Tenma firma poolt toodetud toiteplokki, mille maksimaalne pinge on 30 V ja voolutugevus on 3 A. [25] Arendusplaadist saab toite servomootor. Generaatorist tulev alalisvool läbib takisteid, et oleks analoogsisendiga loetav. Analooisisendit saab lugeda kuni 5 V. Selleks tuli arvutada välja sobivad takistid. Maksimaalseks sisendpingeks võtsin 55 V. See jätab võimaluse tulevikus kasutada samu takisteid kõrgema pingega süsteemil. 12S süsteem väljastab maksimaalselt 50.4 V pinget. Elektriskeem koostati veebipõhises programmis Circuit Diagram, kus oli mikrokontrolleri kiip eelnevalt sisestatud. [26] Üheks takistikks valiti 1kΩ suurune takisti ning teine takisti arvutatakse välja.

$$V_{OUT} = \frac{V_{IN} * R_2}{(R_1 + R_2)} \quad (5.2.1)$$

kus V_{OUT} - väljundpinge [V];

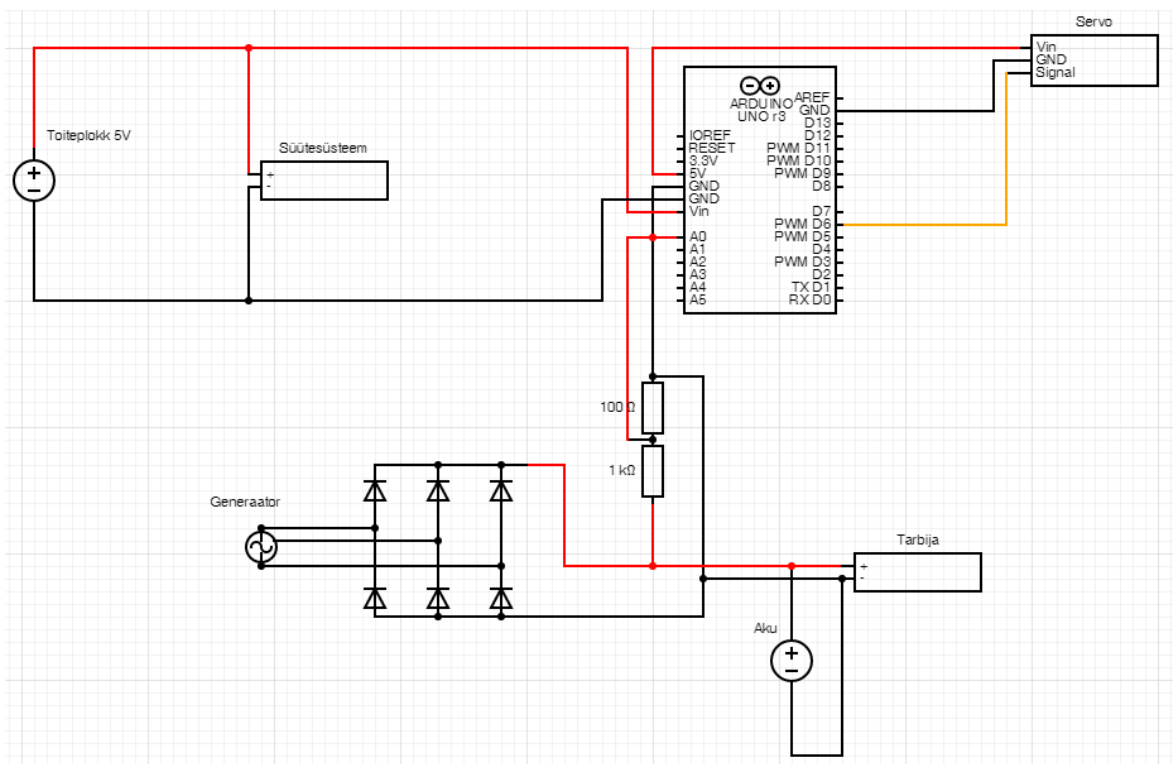
V_{IN} - sisendpinge [V];

R_1 – takisti [Ω];

R_2 - takisti [Ω].

$$V_{OUT} = \frac{V_{IN} * R_2}{(R_1 + R_2)} \Rightarrow R_2 = 100\Omega$$

Teststendil on paralleelselt ühendatud aku eesmärk alaldist tuleva voolu ühtlustamine ning tagavara hädamaandumiseks. Pinge, mida generaator toodab on väga suure pulseerumisega. Pinge ühtlustamiseks võib kasutada ka kondensaatoreid kuid ruumi puuduse tõttu jäetakse kondensaatorid esialgu välja. Pulseerumise tagajärjel laetakse täis ja tühjaks paralleelselt ühendatud akut. Liitiumpolümeerakude laadimine pulseeriva pingega on kasulikum akudele kui tavaline laadimismeetod ning võib pikendada akude eluiga. [27]



Joonis 5.2.1 Elektriskeem Circuit Diagrammi lehelt [26]

Kohapeal olemasolevas droonimootorite teststendi elektriskeem koosneb voolu jaotusplaadist, mis on ettevõttesiseselt välja arendatud. Jaotusplaadile on lisatud ka pingeregulaator, mis muudab väljundpinge 5 V peale. 5 V pingega varustatakse testmoodulit ning mootorites olevaid valgusdiodlampe. Jaotusplaadist jaotuvad voolujuhtmed mootoritesse. Mootoreid juhib kontrollier ning kontrolleri signaale kontrollitakse manuaalselt firma HJ servomootori testmooduliga. Testmoodul vajab sisendiks 4.8-6 V pinget. Moodul suudab saata korraga sama PWM signaali kõikidesse kontrolleritesse. [28]

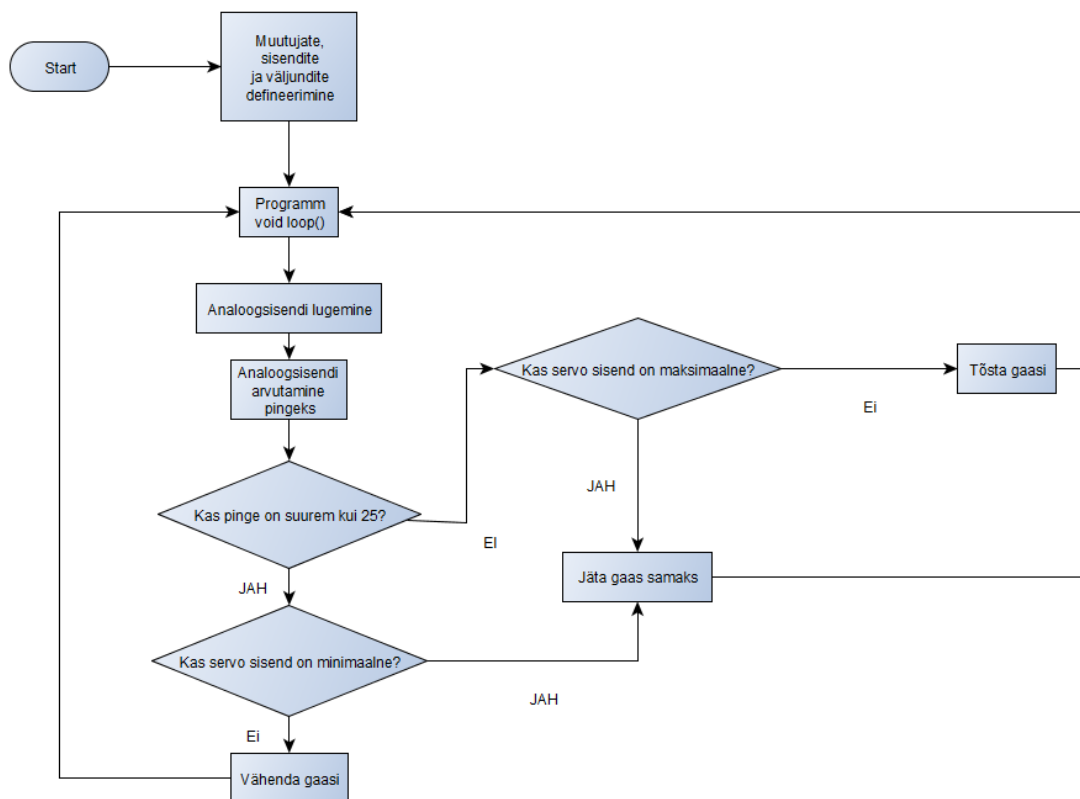


Joonis 5.2.2 Servomootori testmoodul [28]

6. TARKVARA

Mootori pöörete muutmiseks sõltuvalt pingest on vaja programmeerida Atmega328 kiibiga arduino UNO. [24] Programmeeritakse Arduino 1.8.9 tarkvaras ning C++ programmikeeles. [23] Tänu Arduino tarkvarale on väga lihtne programmeerida, kompileerida ning testida valmistatud programmikoodi.

Programmikood koosneb analoogsisendi lugemisest, sisendi ja väljundi arvutamisest ning PWM signaali saatmisest. Analoogsisendit loetakse vahemikus 0-1023. Sisend arvutatakse ümber pingeks ning seejärel saadetakse vastava pikkusega PWM signaal servole (vt Lisa 3.). PWM signaali väärtused tuvastati testimise käigus, leides servomootori miinimum ning maksimum väärtused. Plokkskeem loodi programmis yEd. [29]

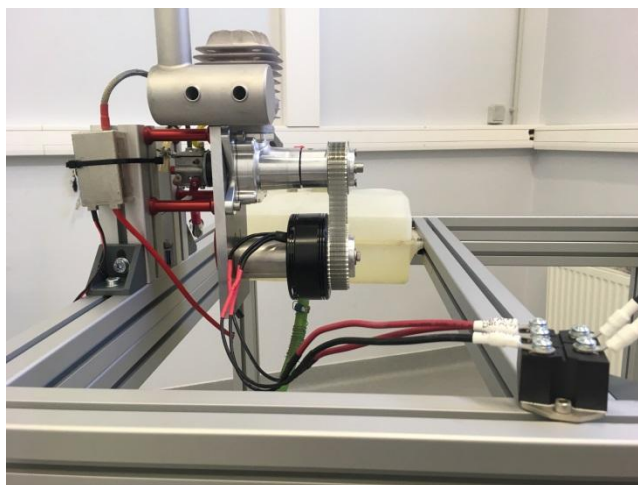


Joonis 6.1 Programmi plokkskeem

7. PROTOTÜÜP

7.1 Teststendi loomine

Hübriidajami testimiseks on loodi teststend. Teststendi loomiseks kasutatakse ettevõtte Minitec alumiiniumprofiili 45x45 mm. [30] Stendi mõõtmetel arvestati kohapeal olevate uste laiuseid, et stendi oleks võimalik transportida ruumide vahel. Erinevate mõõtude vähendamiseks koostati stend 700 mm pikkuseks, 790 mm laiuseks ning 700mm kõrguseks ning lisati manööverdamise lihtsustamiseks alla rattad. Profiil lõigati mõõtu lintsaega Ergonomic 275.230 DG. [31] Profiilid kinnitatakse omavahel Miniteci poolt pakutavate kiirkinnitustega ning nurkliidestega (vt Lisa 4). Stendi peale kinnitatakse mootor, generaator, alaldi, bensiinipaak ning servo. Koormuse testimiseks kasutatakse Threod Systemsil kohapeal asuvat droonimootorite teststendi, kuhu asetatakse 4 mootorit (vt Joonis 7.1.3).



Joonis 7.1.1 Teststend

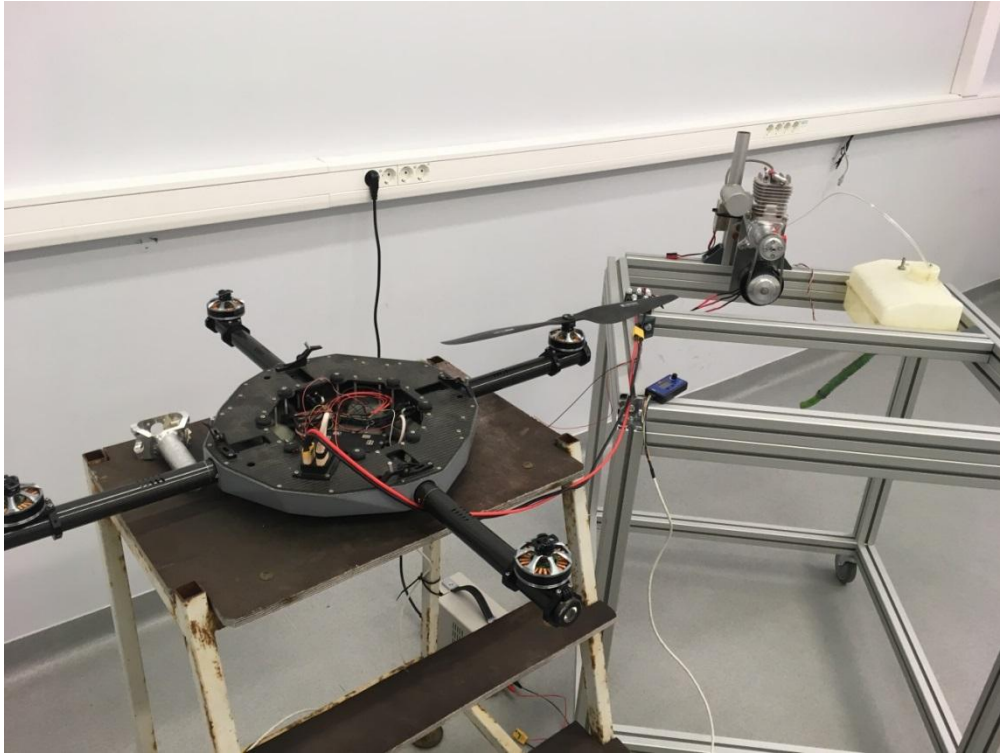
Servomootor DA-13 kinnitamiseks puuritakse alumiiniumprofiili $\varnothing 2.5\text{mm}$ avad, keermestatakse M3 keermeks ning kinnitatakse M3x16 poltidega. Täiturmootori rakendamiseks tuleb tootja tarkvaras programmeerida mootori käik vastavalt gaasihoova käigule. Programmis on palju võimalusi servomootori käitumise muutmiseks (vt joonis7.1.3) . Gaasihoob ühendatakse mootoriga servohoova ülekandemehhanismiga. Testimisel kasutatakse mõõtetulemuste saamiseks servomootori testmoodulit gaasihoova liigutamiseks. Mootor kinnitatakse mootoriga kaasa tulevate distantspuksidega alumiiniumprofiilikülge (vt Joonis 7.1.1). P80 mootorile ja alaldile joodetakse külge pistikud. Kasutatakse 12 AWG juhtmeid ja XT90 pistikuid. [32]



Joonis 7.1.2 Servomootori kinnitamine



Joonis 7.1.3 Volz programmeerimistarkvara [33]



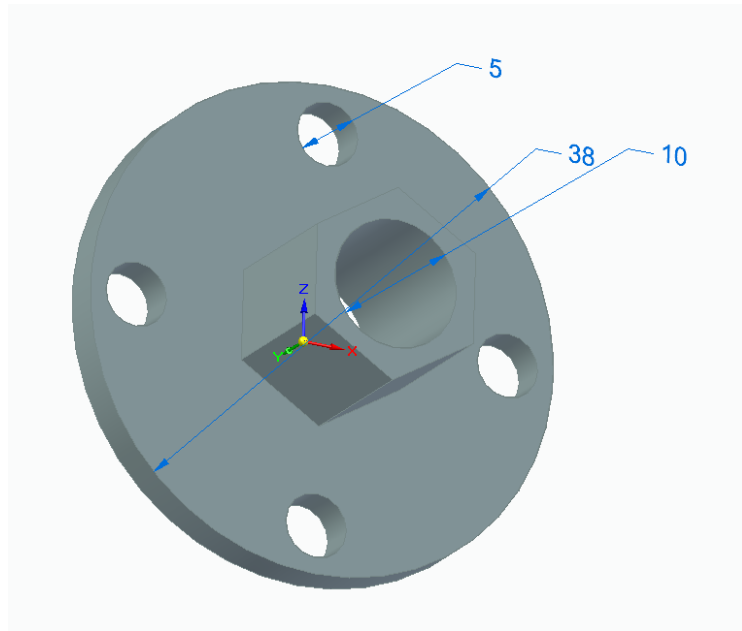
Joonis 7.1.4 Teststend koos drooni mootorigega

Testimiste teostamisel ilmses mootori raske käivitamine koonusstarteri lahendusega, mis on mudelismilennukitel väga populaarne. Starter ei jaksanud mootorit piisavalt ringi käia ning kummist starteri koonus läks väga kuumaks.



Joonis 7.1.5 Koonusstarter

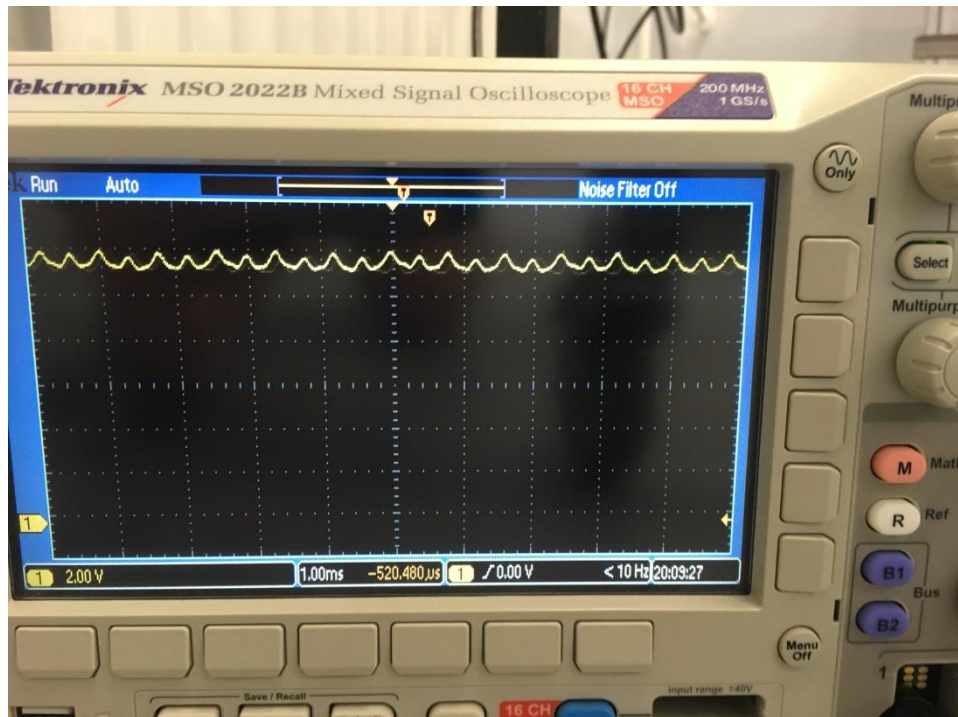
Starteri välistamiseks disainiti 13mm padruni kasutamiseks detail. Detaili diameeter ning avad on samad väikese rihmaratta avadega. Detail kinnitub väikese rihmaratta külge ning võimaldab edasipidi käivitada akutrelliga hübriidajamit (vt Joonis 7.1.6).



Joonis 7.1.6 13 mm padrunvõtmega käivitamise detail

8. TULEMUSED

Esimese mõõtmisena mõõdeti generaatori väljundpinget ilma koormuseta. Tektronix ostsilloskoobiga vaadati alaldist tuleva pinge pulseerumist. Pinge pulseerub 12V juures umbes 1 V, ligi 10% pinge kõikumine. Pinge kõigub sagedusel 2500 Hz (vt Joonis 8.1.1).



Joonis 7.1 Pinge generaatorist ilma koormuseta

Koormustesti tehes tõestas mootor oma võimsust kuid jahutuse puudumise tõttu jäi testimine lühikeseks. Antud kombinatsiooniga on võimalik toota 1500 W võimsust ja varustada mehitamata õhusõiduki energiavajadusi. Pikemat testimist vajab võimsusegraafiku loomine, pinge pulseerumise mõõtmine kui paralleelselt aku ühendatud ning mootori efektiivsus.

9. MAJANDUSLIK ASPEKT

Lõputöös valminud prototüübi jaoks ostetud detailid suures mahus ümbertegemist ei vajanud. Ostutoodete ümbertegemiseks arvestati freespingi tunnitasuks 60€. Ümbertegemisele ning pingi seadistamisele kulus umbes 1.5 tundi. Tabelis 9.1 on välja toodud hübriidajami prototüübi loomisel kulunud detailid koos hindadega ja kogusega.

Tabel 9.1 Hübriidajami komponentide nimekiri koos hindadega

Detail	Hind	Kogus	Kogusumma	Allikas
DA50	491,78 €	1	491,78 €	Desert Aircraft
P80 KV120	179,1 €	1	179,1 €	T-Motor
Väike rihmaratas	11,2 €	1	11,2 €	Alas-Kuul
Suur rihmaratas	11 €	1	11 €	Alas-Kuul
Rihm	15,8 €	1	15,8 €	Alas-Kuul
Alaldi	32,71 €	1	32,71 €	Farnell
Takisti 1k Ω	0,2 €	1	0,2 €	Oomipood
Takisti 100 Ω	0,2 €	1	0,2 €	Oomipood
Arduino Uno	34 €	1	34 €	Oomipood
Alumiiniumprofiil 45x45	12 €/ jm	12	144 €	Alas-Kuul
Kiirkiinnitused	2,85 €	28	79,8 €	Alas-Kuul
Ratas	9 €	4	36 €	Alas-Kuul
Nurkkiinnitus	15 €	4	60 €	Alas-Kuul
DA-13	300 €	1	300 €	Volz-Servo

Ligikaudne prototüübi maksumus koos teststendiga 1791 €. Maksumusse pole arvestatud detailide tellimiseks kulunud saatmistasu.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureuse töö raames arendati hübriidajami kontseptsioon ja prototüüp mehitamata õhusõiduki jaoks. Projekt valmis koostöös firmaga Threod Systems OÜ. Ettevõtte sponsoreeris lõputöö arendust, pakkus tööruume ning vahendeid. Valmistatud süsteemi eesmärk on pikendada ettevõttes arendavate mehitamata õhusõidukite lennuaega

Nõudeid kontseptsioonile oli mitmeid. Peamine nõue oli, et hübriidajami väljundvõimsus oleks maksimaalselt 1500 W. Teised kriteeriumid olid süsteemi efektiivsus, vastupidavus, kompaktsus ja mass. Süsteemi arenduse algusfaasis on tähtis luua baastadmised ning testida erinevaid variante. Baastadmised ning kontseptsiooniga tutvumise eesmärgil teostati turu-uuring. Sarnaseid süsteeme küll eksisteerib vähesel määral. On ettevõtteid, kes on oma fookuse ainult hübriidajamitele suunanud ning teevad seda väga kõrgel tasemel. Kahjuks ei ole süsteemi integreerimine pikas perspektiivis kasulik kuna igal mehitamata õhusõidukil on erinevad nõudmised. Samuti ei tasu sõltuda teise ettevõtte tarneaegadest ja maksta arendustöö eest.

Hübriidajami tootearendus algas komponentide valikust. Komponendid valiti eelnevatele nõuetele kuid suures osas tehti mööndusi, sest tegemist on prototüübiga. Lahendamiseks valiti testimissuunitlusega komponendid, mille abil on võimalik luua baastadmised. Esimese sammuna disainiti ning valmistati mootori teststend. Teststendi koostamise järel loodi välja valitud mootorite jaoks rihmülekanne. Rihmülekannega suudeti generaatorile määrata korrektsed pöörded nõuete saavutamiseks. Konstruktsiooni valmimise järel disainiti elektriskeem. Elektriskeemi disainimisel lähtuti testimisprotsessi kiirendamiseks lihtsusest. Hübriidajami süsteemi valmimise järel sooritati esimesed testid. Hübriidajami testid suures osas õnnestusid ja prototüübiga saadi esimesed tulemused edasiminekuks. Koormustesti abil saadi hea baastadmine generaatori väljundpinge osas kuid kolbmootori jahutuse puudumise tõttu jäi testimine lühikeseks. Testimise puudulikkuse tõttu on arduino programm arendusfaasis kuna testid on toimunud ainult labori tingimustes. Ilmus ka probleem mootori käivatamisega. Esialgne lahendus koonusstarteriga ei toimunud ning loodi uus lahendus, mis vajab testimist lähitulevikus.

Kokkuvõttes jääb lõputöö koostaja rahule, sest loodi tootearenduse esmane prototüüp ning kontseptsioon. Testitulemused, mis saadi, olid paljulubavad ning kinnitasid lõputöö ülesande kontseptsiooni luua hübriidajam, mis pikendaks lennuaega. Valminud teststendi saab kasutada teiste komponentide testimiseks ja edasiarendusteks. Järgnevad arendusetapid koosnevad

jahutussüsteemi arendusest, rihmülekande kaotamisest, teiste komponentide kombinatsioonide testimisest ning mehitamata õhusõidukile hübriidajami integreerimisest.

SUMMARY

Throughout the thesis, author developed the conception and a prototype for UAV hybrid system. Thesis was made in cooperation with Threod Systems OÜ. Company sponsored the development, gave access to necessary tools and workplaces. The developed systems purpose is to increase unmanned aerial vehicles flight time.

There were quite a few requirements set for the system. The main requirement was that it must be able to put out maximum power of 1500 W. Other requirements were that the system had to be efficient, compact, reliable and lightweight. In the beginning, research was conducted about existing systems and concepts. Some existing systems were found during the research. One of the company, which provides hybrid systems for UAVs, is specialized in that category, therefore their system is highly advanced. Integrating a system might be easy but that does not benefit the company in long term. Integrating a system will keep you dependant on another companys manufacturing times and development.

The process started by choosing the components. Components were picked based on the requirements. Since the system is a prototype, needs multiple test with different combinations, parts were picked having simplicity and cost in mind. First step was to build a test bench. Afterwards the belt transmission was designed according to generators needs. Convinced that the transmission is capable of transferring that kind of power, the design of electrical schematics began. The schematics main purpose was to make AC current to DC current since we are using a brushless AC motor as a generator. After the systems completion, testing began. Testing the voltage unloaded gave a good starting point for future combinations. Loaded test gave a good base for further developments and improvements.

Since our 2-stroke engine did not have any cooling installed, testing fell short. Because of that, arduino program is in development phase, since it has only been tested in laboratory conditions. A starting problem rose during testing aswell, because the engine was difficult to start with cone starter. Starting mechanism was changed therefore and needs to be tested in the near future.

Overall, the author is pleased with the results, since a product development concept and prototype was made. Tests that were done showed great power and confirmed that the

system can deliver more flight time. Test bench that was made during the thesis can be used for testing other combinations and new developments. Next steps in terms of development consist of: cooling development, removing belt drive, different engine combination testing and integrating the system into a UAV and testing it.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] *Richenpower*. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<http://richenpower.com/solutions/> [Kasutatud 15.04.2019].
- [2] “*GE35 Range Extender - Technical Specifications*.” [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://static1.squarespace.com/static/5c8f319e92441beb9ee66c65/t/5cd03ead53450a6a102ff001/1557151405581/ge35-brochure.pdf> [Kasutatud 14.04.2019].
- [3] “*GE70 Range Extender - Technical Specifications*.” [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://static1.squarespace.com/static/5c8f319e92441beb9ee66c65/t/5cd03ee7eb23890001914f6c/1557151464384/ge70-brochure.pdf> [Kasutatud 14.04.2019].
- [4] *H2 Drone Hybrid System*. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<http://www.richenpower.com/products/rs24/> [Kasutatud 15.04.2019].
- [5] *H2 PLUS Drone Hybrid System*. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<http://www.richenpower.com/products/rs48/> [Kasutatud 15.04.2019].
- [6] T. English (2017, Jaanuar 2), “2-Cycle vs 4-Cycle Engines: Understanding the Difference.” [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<http://shortsleeveandtieclub.com/2-cycle-vs-4-cycle-engines-understanding-the-difference/> [Kasutatud 15.04.2019].
- [7] *DA-50*. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.desertaircraft.com/products/da-50r> [Kasutatud 16.04.2019].
- [8] “*DA50R Instruction Manual*.” [Võrgumaterjal]. Saadaval:
https://cdn.shopify.com/s/files/1/0826/8595/files/DA50_Manual_July_12_2012.pdf?13583873435843125876 [Kasutatud 17.04.2019].
- [9] “*Corvid-50 Engine Datasheet*.” [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.currawongeng.com/wp-content/uploads/2017/07/CE1224.d01-Datasheet-Corvid-50-Engine.pdf> [Kasutatud 17.04.2019].
- [10] M.Miyamasu ja K.Akatsu, „Efficiency Comparison between Brushless DC Motor and Brushless AC Motor Considering Driving Method and Machine Design,” 2012. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejia/2/1/2_79/_pdf [Kasutatud 16.04.2019]
- [11] *P80 KV120*. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<http://store-en.tmotor.com/goods.php?id=423> [Kasutatud 20.04.2019].
- [12] “*Timing-Belt Drives*.” [Võrgumaterjal]. Saadaval:

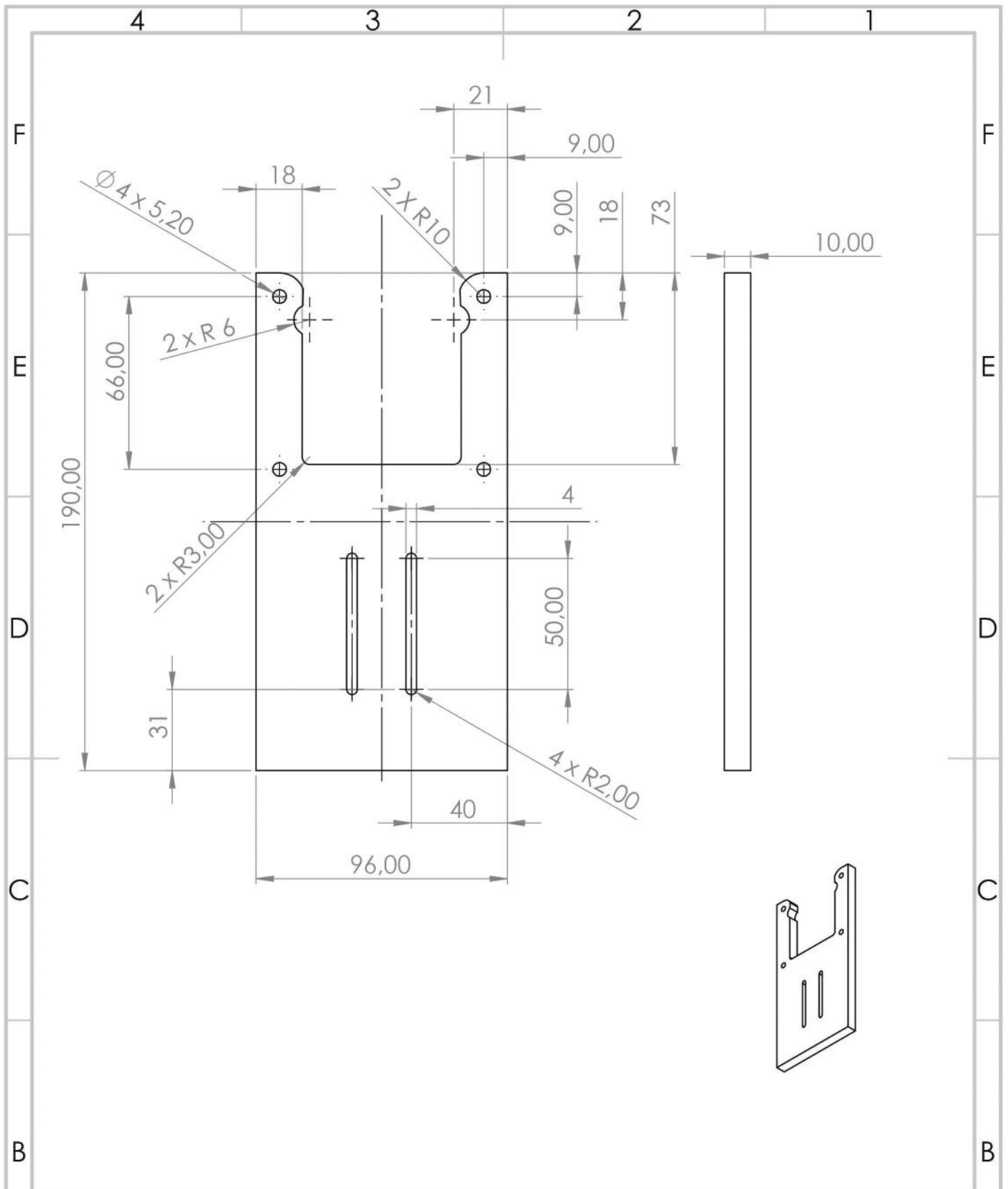
- http://smarthost.maedler.de/datenblaetter/zahnriemenantriebe_EN.pdf [Kasutatud 19.04.2019].
- [13] *Pulleys AT5, Belt Width 16mm*. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://maedler.de/product/1643/1616/996/zahnriemenraeder-at5-fuer-riemenbreite-16-mm> [Kasutatud 19.04.2019].
- [14] “Desert Aircraft DA50 Views” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0826/8595/files/Desert_Aircraft_DA50_views.pdf?13583873435843125876 [Kasutatud 16.04.2019].
- [15] *Programm Fusion 360*. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educators> [Kasutatud 15.05.2019].
- [16] *CNC pink Haas TM-2p*. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.haascnc.com/machines/vertical-mills/toolroom-mills/models/tm-2p.html> [Kasutatud 12.05.2019].
- [17] *Solid Edge Programm* [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://solidedge.siemens.com/en/> [Kasutatud 12.04.2019].
- [18] “Rectifier Circuits,” in *All About Circuits*. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-3/rectifier-circuits/> [Kasutatud 17.05.2019].
- [19] “BLDC motor and controller theory,” in *Hackaday*, 2014. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://hackaday.io/project/3176-gator-quad/log/11053-bldc-motor-and-controller-theory> [Kasutatud 18.05.2019].
- [20] B. Sevel (2007, Juuni 7). “MOSFETs: Increased Efficiency In Bridge Rectifiers” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.edn.com/design/components-and-packaging/4314989/MOSFETs-Increased-Efficiency-In-Bridge-Rectifiers>[Kasutatud 19.04.2019].
- [21] *Bridge Rectifier Diode, Three Phase, 1.2 kV, 88 A, Module, 1.6 V, 5 Pins*. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ee.farnell.com/ixys-semiconductor/vuo82-12no7/bridge-rectifier-88a-1200v-3ph/dp/9359460> [Kasutatud 20.04.2019].
- [22] *Arduino programm*. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> [Kasutatud 12.04.2019].
- [23] “Arduino Uno” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf> [Kasutatud 12.04.2019].
- [24] “DA-13 Datasheet” [Võrgumaterjal]. Saadaval:

- https://www.hfeinternational.com/wp-content/uploads/2017/07/DA-13_Datasheet.pdf
[Kasutatud 16.04.2019].
- [25] *Tenma 72-2685*. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://uk.farnell.com/tenma/72-2685/bench-power-supply-1-ch-30v-3a/dp/2563981>
[Kasutatud 16.04.2019].
- [26] *Programm Circuit Diagram*. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.circuit-diagram.org/editor/> [Kasutatud 10.05.2019].
- [27] J. M. Amanor-Boadu, A. Guiseppi-Elie, E. Sánchez-Sinencio (2018, August 18). "The Impact of Pulse Charging Parameters on the Life Cycle of Lithium-Ion Polymer Batteries." [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.mdpi.com/1996-1073/11/8/2162/pdf> [Kasutatud 15.05.2019].
- [28] "Digital Servo/ ESC consistency Tester Datasheet" [Võrgumaterjal]. Saadaval:
http://www.ekt2.com/pdf/91_DIY_SERVO_MOTOR_TESTER.pdf [Kasutatud 16.04.2019]
- [29] *Programm yEd*. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.yworks.com/products/yed> [Kasutatud 16.04.2019].
- [30] *Profile 45x45*. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
https://www.minitecautomation.com/products/configurable_products/32-profile-45x45-1g-20-1126-0 [Kasutatud 10.05.2019].
- [31] *Ergonomics 275.230 DG*. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<http://www.bomar-germany.de/en/en-ergonomic/manual/ergonomic-275-230-dg>
[Kasutatud 21.04.2019].
- [32] "XT90 Battery Connector Datasheet." [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://components101.com/xt90-battery-connector> [Kasutatud 21.04.2019].
- [33] *Volz Programming tool*. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.hfeinternational.com/shop/servos/programming-tool-for-volz-servos>
[Kasutatud 20.04.2019].
- [34] *Megatron starter*. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<http://sullivanproducts.com/product/s651/> [Kasutatud 15.05.2019].

Lisa 1 Kalkulatsiooniprogrammi protokoll

Details - timing belt		
Designation	AT5	
Pitch	5	mm
Width	16	mm
Weight per metre	0,06	kg
Required preload	160,38	N
Required preload for linear drives	320,76	N
Centre dist.	87,01	mm
Belt length	375	mm
Belt weight	0,02	kg
Number of teeth	73,01	
Details - power calculation		
Input power	1,5	kW
Output power	1,5	kw
Drive wheel	1	
Safety	1,74	
Details - timing belt pulleys		
Timing belt pulley no.: 1		
Position X	197	mm
Position Y	10	mm
Number of teeth	32	
meshing Number of teeth	14	
Outer diameter	49,7	mm
Pitch diameter	50,93	mm
Width	16	mm
Angle of wrap	167,4	°
Speed	5500	1/min
Input/output	Drive	
Torque	2,6	Nm
Power	1,5	kW
Max. permitted power	2,6	kW
Safety	1,74	
Product number	16633200	

Timing belt		
pulley no.: 2		
Position X	284	mm
Position Y	9	mm
Number of teeth	44	
meshing Number of teeth	23	
Outer diameter	68,8	mm
Pitch diameter	70,03	mm
Width	16	mm
Angle of wrap	192,6	°
Speed	4000	1/min
Input/output	Output	
Torque	3,58	Nm
Power	1,5	kW
Max. permitted power	2,93	kW
Safety	1,96	
Product number	16634400	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Einmann		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

Alusplaat

MATERIAL:

Al 7075

DWG NO.

N1

A4

WEIGHT:

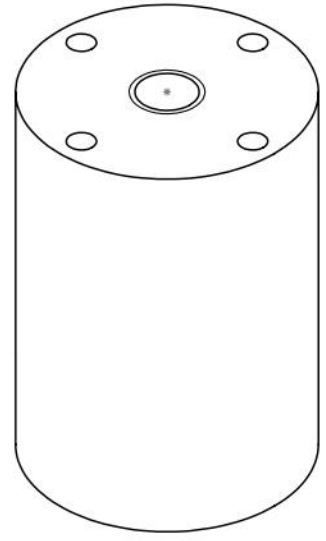
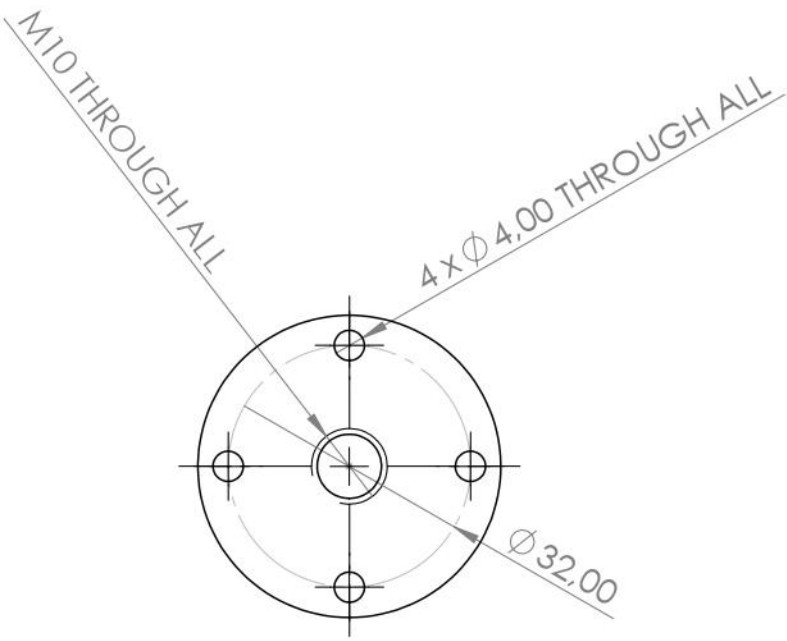
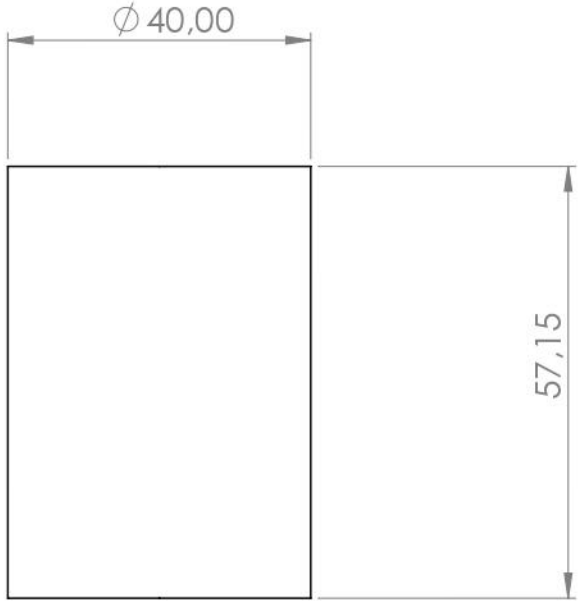
SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	EINMANN		
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A			

TITLE:
distant_s_puks

DWG NO.
distant_s_puks

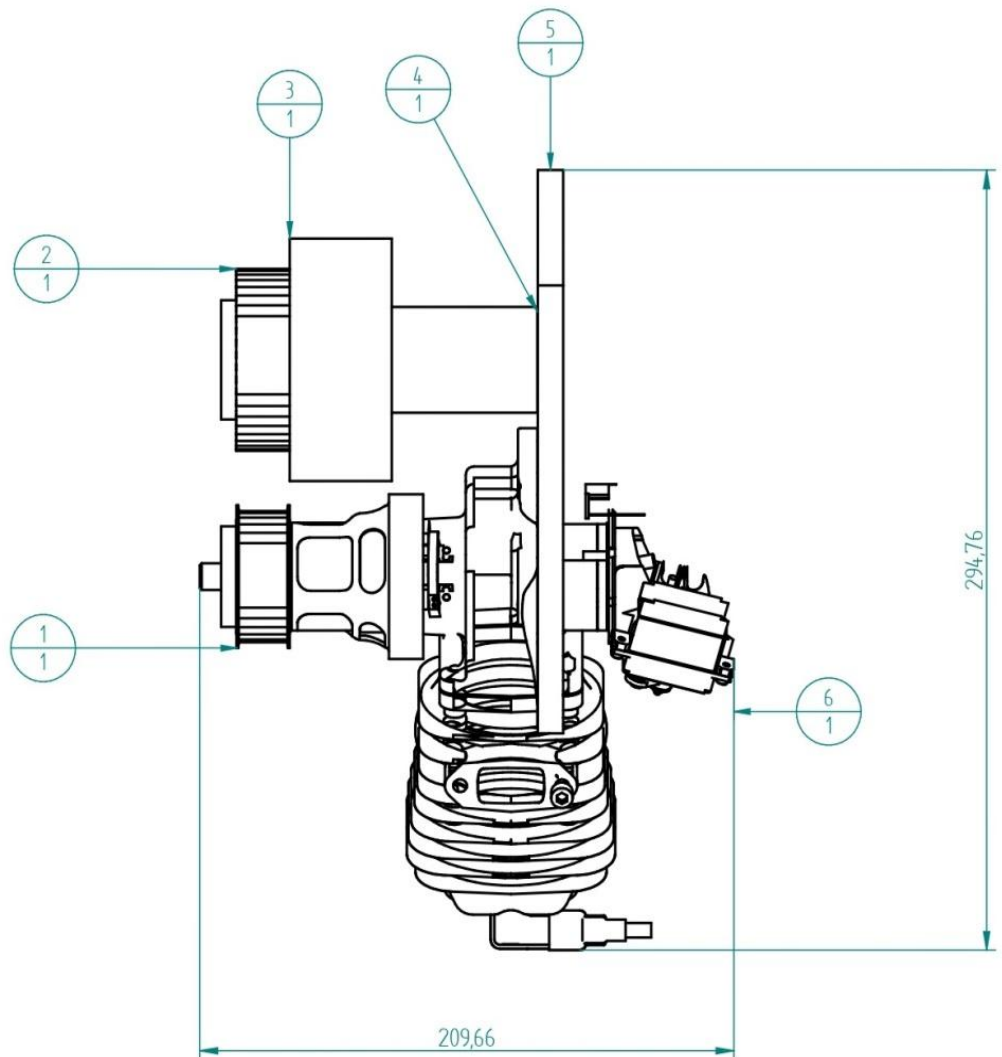
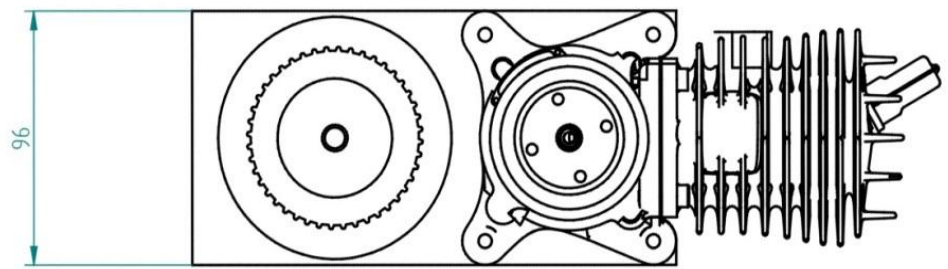
MATERIAL:
AL 7075

SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1



Item Number	File Name (no extension)	Author	Quantity
1	Väike_rihmaratas	ChristopherEinmann	1
2	Suur_rihmaratas	ChristopherEinmann	1
3	P80_KV120	ChristopherEinmann	1
4	Distans_puks	ChristopherEinmann	1
5	Alusplaat	ChristopherEinmann	1
6	Corvid-50 Customer		1

		NAME	DATE				
DRAWN		Chris		Solid Edge Koost			
CHECKED							
ENG APPR							
MGR APPR							
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±XX° 2 PL ±XXX 3 PL ±XXXX				TITLE Solid Edge Koost	SIZE A2	DWG NO	REV
				i10			
SCALE:		WEIGHT:		SHEET 1 OF 1			


```
#include <Servo.h>
int PWM = 6;
int pos;
Servo myservo;

void setup()
{
  myservo.attach(6);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PWM, OUTPUT);
}

void loop()
{
  myservo.write(pos);
  int sensorValue = analogRead(A0);
  float voltage = (sensorValue * (5.0 / 1023.0)*(1000+100)/100);
  if (voltage > 25)
  {
    pos++;
  }
  if (voltage < 24.5)
  {
    pos= pos - 1;
  }
  if (pos > 120)
  {
    pos = 120;
  }
  if (pos < 20)
  {
    pos = 20;
  }
}
```

Lisa 4 Teststendi raami koostisosad

Toode	Kogus	Firma	Illustreeriv materjal
Alumiiniumprofiil 45x45 mm	12 jm	Minitec	<p>45 mm 1.77 in</p> <p>45 mm 1.77 in</p>
Nurkkinnitus	4	Minitec	<p>40 mm</p> <p>22.5</p> <p>6</p> <p>M8</p> <p>40</p>
Kiirkinnitus	28	Minitec	<p>13.5 mm</p> <p>28 mm</p> <p>8 mm</p> <p>5mm HEX KEY</p> <p>48 mm</p>
Ratas	4	Minitec	