



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**IGASUUNALISTE RATASTEGA ÕPPE-
EESMÄRGILISE VABAVARALISE KAUGJUHTIVA
SÕIDUKI VÄLJATÖÖTAMINE**

**DEVELOPMENT OF AN OPEN-SOURCE REMOTE-
CONTROL VEHICLE WITH OMNIDIRECTIONAL WHEELS
FOR EDUCATIONAL PURPOSES**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Janno Fink
Üliõpilaskood 185372EAAB

Juhendaja: Martin Sarap, doktorant-
nooremteadur

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

12 mai 2024

Autor: (allkirjastatud digitaalselt)

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

12 mai 2024

Juhendaja: (allkirjastatud digitaalselt)

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Janno Fink (sünnikuupäev: 27.07.1998)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Igasuunaliste ratastega õppe-eesmärgilise vabavaralise kaugjuhitava sõiduki väljatöötamine“,

mille juhendaja on Martin Sarap,

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.

(allkirjastatud digitaalselt) (allkiri)

_____ (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 loominguulise 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.

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Janno Fink 185372EAAB
Õppekava, peeriala: EAAB Elektroenergeetika ja mehhatroonika
Juhendaja: Doktorant-nooremteadur Martin Sarap
Konsultant: Doktorant-nooremteadur Viktor Rjabtšikovi

Lõputöö teema:

Igasuunaliste ratastega õppe-eesmärgilise vabavaralise kaugjuhitava sõiduki väljatöötamine

Development of an open-source remote-control vehicle with omnidirectional wheels for education purposes

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Selgitada välja sõiduki vajadused
2. Töötada välja Igasuunaliste ratastega õppe-eesmärgiline vabavaraline kaugjuhitav sõiduk arvestades vajalikke kriteeriume.
3. Koostada prototüüp millega viia läbi testimine ning järelduste tegemine
4. Anda majanduslik ülevaade sõiduki koostamisega seotud kulutustest.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Sõiduki vajaduste väljaselgitamine	16.09.23
2.	Olemasolevate lahenduste leidmine	23.09.23
4.	Mehhaanilise disaini loomine	28.10.23
6.	Detailide 3D printimine ja komplekteerimine	10.02.23
7.	Elektriskeemide loomine ja komplekteerimine	30.02.24
8.	Sõiduki komplekteerimine	31.03.24
9.	Programmide loomine	07.04.24
11.	Testimine	21.04.24
13.	Järeldused ning kokkuvõtted	30.04.24

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 13 mai 2024

Üliõpilane: Janno Fink (allkirjastatud digitaalselt) 13 mai 2024
/allkiri/

Juhendaja: Martin Sarap (allkirjastatud digitaalselt) 13 mai 2024
/allkiri/

Programmijuht: Marek Tull (allkirjastatud digitaalselt) "....." mai 2024
/allkiri/

SISUKORD

SISUKORD.....	6
EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu.....	8
1 SISSEJUHATUS.....	10
2 SÕIDUKI VAJADUSTE VÄLJASELGITAMINE	11
2.1 Sõiduki vajaduste väljaselgitamine	11
2.2 Olemasolevad lahendused	12
3 SÕIDUKI ELEKTROMEHHANILINE DISAIN.....	13
3.1 Sõiduki mehhaaniline disain.....	13
3.2 Sõiduki igasuunalised rattad	14
3.3 Igasuunaliste ratastega sõiduki ajam	16
3.3.1 Sõiduki elektriskeem	16
3.3.2 Sõiduki mootorid	17
3.3.3 Mootorite elektroonilised kontrollid.....	21
3.3.4 Sõiduki akud	22
3.4 Sõiduki kaugjuhtimise teostamine	23
3.4.1 Sõiduki juhtmoodul	23
3.4.2 Sõiduki põhiprogramm	25
4 PROTORÜÜBI KOOSTAMINE	27
4.1 Mehhaaniliste detailide 3D printimine.....	27
4.2 Prototüübi koostamine	28
4.3 Prototüübi testimine ning järelduste tegemine	29
4.4 Arendusvõimalused tulevikus.....	34
4.5 Majanduslik ülevaade.....	35
KOKKUVÕTE	36
SUMMARY.....	37
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	39
LISAD	41
Lisa 1 Sõiduki raam	41
Lisa 2 Raami tugi ja laiendusplaadi alus	42
Lisa 3 Mootori kinnitus ja aku alus.....	43
Lisa 4 Igasuunalise ratta disain	44
Lisa 5 Arendusplaadi programm kommentaaridega.....	46
Lisa 6 Mobiilirakenduse programm.....	51

EESSÕNA

Antud bakalaureusetöö teema sõnastati Tallinna Tehnikaülikooli doktorant-nooremteaduri Martin Sarapi ning Viktor Rjabtšikovi algatusel. Põhilised algandmed koguti eelnimetatud doktorant-nooremteadurilt suusõnaliste vestluste käigus ning turult sarnaste projektide ja toodete otsinguga.

Käesolev bakalaureuse töö hõlmab endas laialdast ülevaadet igasuunaliste ratastega õppe-eesmärgilise vabavaralise kaugjuhitava sõiduki väljatöötamisest. Töös kirjeldatakse sõiduki vajaduste uurimist, mehhaanilise, elektrotehnilise ja programmi loomise teoreetilist poolt ning sõiduki koostamise ja testimise praktilist poolt koos ülevaatega antud projekti rahalisest kulust, komplektse ja toimiva sõiduki loomiseks. Igas sisupeatükis on kirjeldatud ja analüüsitud erinevaid alamosade lahendusi, mille kombineerimisel saadakse lõplik lahendus igasuunaliste ratastega õppe-eesmärgilise vabavaralise kaugjuhitava sõiduki näol, mida on võimalik tuleviku projektides edasi arendada, läbi selle mehhatroonika erialal praktilist kogemust saades.

Lühendite ja tähiste loetelu

KV – Mootori kiirusindeks, mootori pöörded, ühe voldise kontrolleri sisendpinge korra;

ESC - Electronic speed controller ehk mootori kontrolleri;

PWM – Pulse Width Modulation ehk pulsilaiusmodulatsioon;

BEC – battery eliminator circuit ehk aku eraldus ahel;

UART – universal asynchronous receiver / transmitter ehk universaalne asünkroonne sisend / väljund;

Li-Po – liitiumpolümeer;

Li-Ion – liitiumioon;

P_S – sisendvõimus;

P_V – väljundvõimus;

U – pinge;

I – vool;

F – jõud;

ω – mootori nurkkiirus;

τ_M – sõiduki mootori moment;

τ_R – ratta pöörlemiseks vajalik moment;

r – raadius;

g – gravitatsioonikonstant;

a – sõiduki kiirendus;

m – sõiduki kogumass;

C – aku mahutavus;

g – gramm;

kg – kilogramm;

m – meeter;

mm – millimeeter;

N – njuuton;

Nm – Newton-meeter;

mAh – milliampertund;

Ah – ampertund;

A – amper;

V – volt;

t – aeg;

h – tund;

min – minut;

HC-06 – mooduli tüübinimetus;

USB – Universal Serial Bus ehk universaalne järjestiksin;

S – series ehk jadaühendus;

C – aku laadimise ja mahalaadimise määr;

1 SISSEJUHATUS

Mehhatroonika eriala keskendub elektri tõhusamale kasutamisele ning uute seadmete väljatöötamisele. Selle erialahariduse omandamise käigus on oluline saada praktilist erialakogemust projektide näol, mis hõlmavad kõiki eriala aspekte. Projekte, mille käigus tutvutakse mehhaanilise, elektroonilise ning informaatika valdkondadega, luues ja arendades midagi, mis põhineb nende valdkondade sünergeetilisel koostööl.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on luua on igasuunaliste ratastega õppe-eesmärgiline vabavaraline kaugjuhitav sõiduk, mis võimaldab mehhatroonika erialal praktilist kogemust saada, sõidukit antud töö põhjal koostades ja vajadusel seda edasi arendades. Töö on jagatud kolmeks põhiosaks, mille esimeses osas ehk töö teises peatükis, selgitatakse välja sõiduki vajadused lähtudes doktorant-nooremteadurite Martin Sarapi ja Viktor Rjabtšikovi püstitatud nõuetest antud sõidukile ning uuritakse juba olemasolevaid lahendusi, et mõista paremini antud töö sisu.

Kolmandas peatükis kirjeldatakse sõiduki elektromehhaanilist disaini, alustades sõiduki üleüldisest mehhaanilisest disainist ning selle olulisemast detailist, igasuunalisest rattast. Seejärel kirjeldatakse sõiduki elektriskeemi ning põhjendatakse ära oluliste elektrooniliste komponentide valikud, milleks on sõiduki mootorid, mootorite kontrollid ning akud. Järgnevalt kirjeldatakse sõiduki juhtmooduli valikut, programmi mis on sellele talletatud, tuues selle ülesehituse välja plokk skeemina ning kirjeldatakse veel ka sõiduki juhtimiseks loodud mobiilirakendust.

Töö viimases põhiosas ehk neljandas peatükis, kirjeldatakse prototüübi koostamist, sellega tehtud katsetusi ja tekkinud probleeme, mille käigus võrreldakse saadud tulemusi, eelnevalt töö käigus arvatud tulemustega. Seejärel kirjeldatakse prototüübi koostamise ning katsetuste käigus tekkinud probleemide põhjal sõiduki arendusvõimalusi tulevikus. Töö viimase põhiosa lõpus antakse ülevaade sõiduki koostamisega seotud majanduslikkest kulutustest, mis tulid oluliselt alla lähima turul pakutava alternatiivse lahenduse.

Lõpetuseks, võetakse kokku antud bakalaureusetöö tulemus, mille käigus töötati edukalt välja, püstitatud nõuetele vastav, igasuunaliste ratastega vabavaraline kaugjuhitav sõiduk. Mida saab antud töö põhjal, praktilise erialakogemuse saamiseks koostada ning edasi arendada.

2 SÕIDUKI VAJADUSTE VÄLJASELGITAMINE

Järgnevas peatükis käsitletakse igasuunaliste ratastega vabavaralist kaugjuhitavat sõidukit kui õppeotsarbelise toodet. Eesmärk on sõiduki vajalikest parameetritest ja eesmärkidest ülevaade anda, et mõista paremini antud bakalaureuse töö sisu.

2.1 Sõiduki vajaduste väljaselgitamine

Antud bakalaureusetöös arendatav sõiduk luuakse, lähtudes doktorant-nooremteadurite Martin Sarapi ja Viktor Rjabtšikovi püstitatud vajadusest praktilist kogemust pakkuvate projektide järele mehhatroonika erialal. Nende vajaduste kaardistamiseks on töö autor pidanud suusõnalisi vestlusi eelnimetatud doktorant-nooremteaduritega. Vestluste põhjal saame välja tuua olulisemad punktid millest lähtutakse sõiduki disainimisel.

- Disainida sõiduki, mida saaks antud töö põhjal eriala praktilise kogemuse saamiseks koostada.
- Sõiduk peab olema disainitud selliselt, et see saaks liikuda tasapinnal igas suunas ilma pööramise vajaduseta, mis tagaks suurema liikumisvabaduse.
- Sõiduk peab olema kaugjuhitav, et sõiduki liikumine ei oleks piiratud ettekirjutatud programmi piires.
- Sõiduki juhtmooduliks peab olema laialt levinud arendusplaat, mis tagaks selle kättesaadavuse ning ei tohi seejuures oluliselt piirata selle arendust tulevikus.
- Sõiduk peab olema võimeline kandma vähemalt poole kilogrammist lisaraskust, et tagada liikumine, kui tuleviku arendustes paigutatakse sõidukile lisakomponente.
- Sõiduki akud peavad sõiduki kasutamisel vastu pidama vähemalt veerand tundi, mille käigus saaks sellega läbi viia erinevaid katsetusi.
- Sõiduki koostamiseks tehtavad majanduslikud kulutused peavad olema madalamad või samaväärsed turul olemasoleva lahendusega.

2.2 Olemasolevad lahendused

Sarnaseid õppe-eesmärgilisi sõidukeid leidub ka praegu ning üks näite neist on DJI RoboMaster S1. See on disaini ning elektroonika poolest valmis lahendus, mis tuleb ise komplekteerida ning selle juhtimiseks on võimalik programme luua. See oleks hea viis mehhatroonikaga ja robotikaga tutvumiseks, aga jääb liiga pealiskaudseks. Antud sõiduki puhul pole vaja elektroonilisi ühendusi teha ning ka mehaaniline disain on piiratud valmisoleva lahenduse näol.



Joonis 2.1 *DJI RoboMaster S1* [1].

Sõidukit pole võimalik edasi arendada sellele uusi komponente lisades ning sõiduki hinnaks on 549 € [1]. Müügil on ka odavamaid valmis lahendusi mille hind jääb 300 € piiresse, aga nende puhul puuduvat täpsed tootjapoolsed andmelehed ning tihtipeale pole võimalik tootjat üldse kindlaks teha, mistõttu antud töös neid täpsemalt ka ei uuritud, sest edasiarendus võimalused ning tootjapoolne tugi pole kindlustatud.

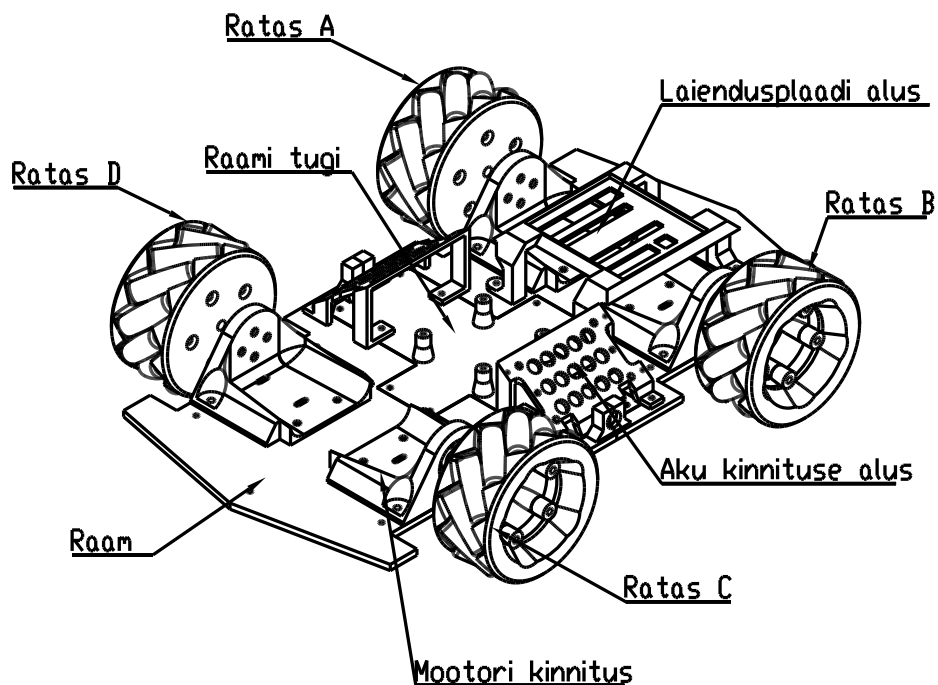
Olemasolevate lahenduste põhjal on näha, et antud töös loodavale sõidukile head alternatiivi turul ei leidu. Nendel puudub edasine arendusvõimalus ning tootjapoolsed andmed. Olemasoleva lahenduse põhjal võetakse eesmärgiks jääda majanduslike kulutustega alla 549 € piiri.

3 SÕIDUKI ELEKTROMEHHANILINE DISAIN

Sõiduki elektromehhaanilise disaini peatüki eesmärk on kirjelda sõiduki üleüldist mehhaanilist disaini ja rataste valikut ning sõiduki elektriskeemi, tuues välja selle tähtsamad komponendid koos parameetrite ja põhjendustega.

3.1 Sõiduki mehhaaniline disain

Disainitud sõiduk koosneb enamjaolt 3D printitud PLA-plastikust, välja arvatud sõiduki ratastel paiknevad rullikud. Rullikute puhul tuleb materjaliks kasutada TPU-tüüpi plastikut. PLA-plastik on tugeva jäikusega, jätkusuutlik materjal, mistõttu sobib on see hästi sõiduki jäigemate detailide 3D printimiseks [2-3]. Erinevad detailid on ühendatud omavahel kasutades poltliiteid ning magneteid. Selle abil on tagatud kerge ligipääsetavus sõiduki olulistele komponentidele nagu akud ja arendusplaat ning detailide purunemise korral saaks neid hõlpsasti asendada, ilma suuremat kahju tekitamata. Joonisel 3.1 on välja toodud sõiduki disain ning selle olulisemad komponendid.



Joonis 3.1 Igasuunaliste ratastega sõiduk.

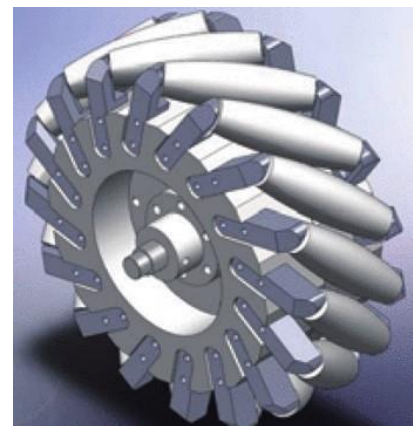
Sõiduki kogumõõdud komplekteeritud kujul on 420x280x100 mm. Jooniselt 3.1 on puudu sõiduki pealmine katuseplaat ning külgmised akukatted, mis kinnitatakse sõiduki külge magnetitega. Sõiduki külje ning katte detailid ei ole olulised sõiduki liikumise tagamiseks ning neid võib tulevikus arenduse käigus muuta. Sõiduki alusraami keskel paikneb raami tugi, sest alusraami suurte mõõtude tõttu, võib tekkida vajadus see 3D printimiseks poolitada. Sõiduki raami joonis on välja toodud lisas 1. Raami toe ning laiendusplaadi aluse joonised on lisas 2. Mootori kinnituse ning aku hoidikute aluse joonised on välja toodud lisas 3.

3.2 Sõiduki igasuunalised rattad

Sõiduki igasuunaline liikumine on tagatud igasuunaliste ratse näol [3]. Igasuunalisi rattaid on peamiselt kahte tüüpi, milleks on täielikult igasuunalised rattad joonisel 3.2 ning *mecanum*-stiilis rattad joonisel 3.3. Täielikult igasuunalise ratta puhul asetsevad rullikud ratta pöörlemistelje suhtes 90° nurga all ning *mecanum*-stiilis ratta puhul 45° nurga all. Rullikute asetuse tõttu ei ole täielikult igasuunalised rattad head 3D printitava lahenduse korral, sest rullikud tuleks koheselt rataste külge printida, mis teeks printimisjärgse järeltöötamise oluliselt keerulisemaks.



Joonis 3.2 Täielikult igasuunaline ratas [4].

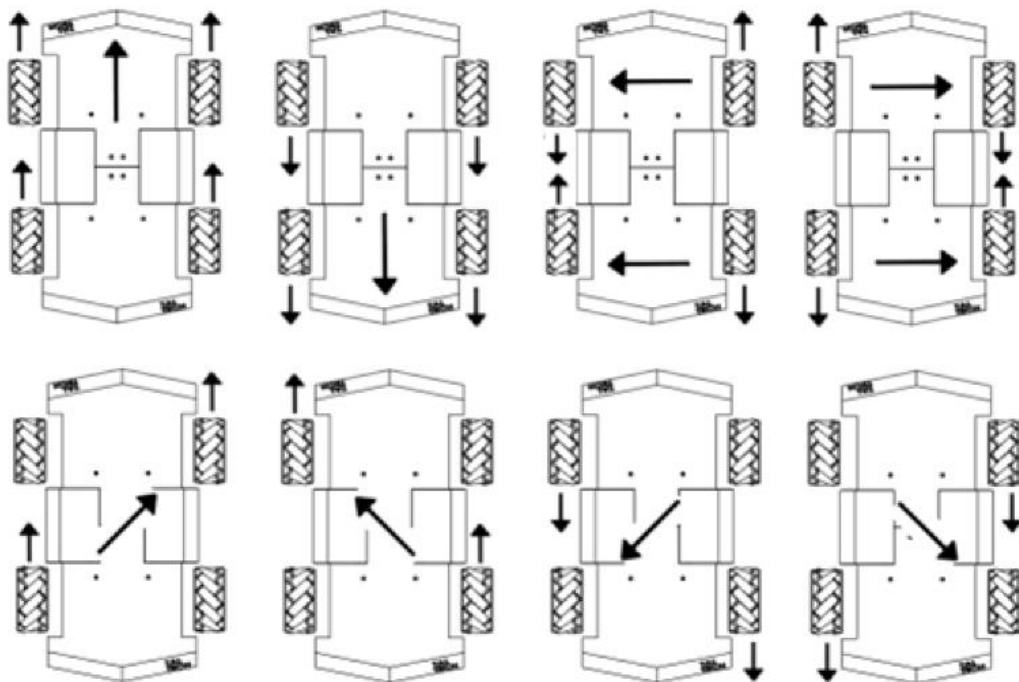


Joonis 3.3 Täielikult igasuunaline ratas [5].

Mecanum-stiilis ratta saab printida mitmes osas, mis teeb selle töötlemise oluliselt lihtsamaks ning ratta kahjustuse korral tuleks asendada ainult kahjustunud osad, mitte terve ratas. Mitmes osas 3D printimise käigus, saab kasutada ka erinevaid materjale ning ratta rullikute 3D printimiseks kasutatakse TPU-tüüpi plastikut, mis on teiste 3D printitavate materjalidega võrreldes pehmem ja tagab suurema hõõrdumise rulliku ning

maapinna vahel [6]. Seetõttu kasutatakse antud töös disainitaval sõidukil liikumiseks mecanum-stiilis rattaid.

Mecanum-stiilis ratastega liikumine toimib ainult ühtlasel siledal tasapinnal, sest rullikute vaba veeremise tõttu ei ületaks need hästi takistusi ja võivad kallaku peal sõiduki ootamatu libisemise põhjustada. Liikumist eri tasapindadel testiti prototüübi loomise järel. Joonisel 3.4 on näidatud sõiduki liikumise suunda sõltuvalt rataste pöörlemise suunast.



Joonis 3.4 Sõiduki igasuunaline liikumine mecanum-stiilis ratastega.

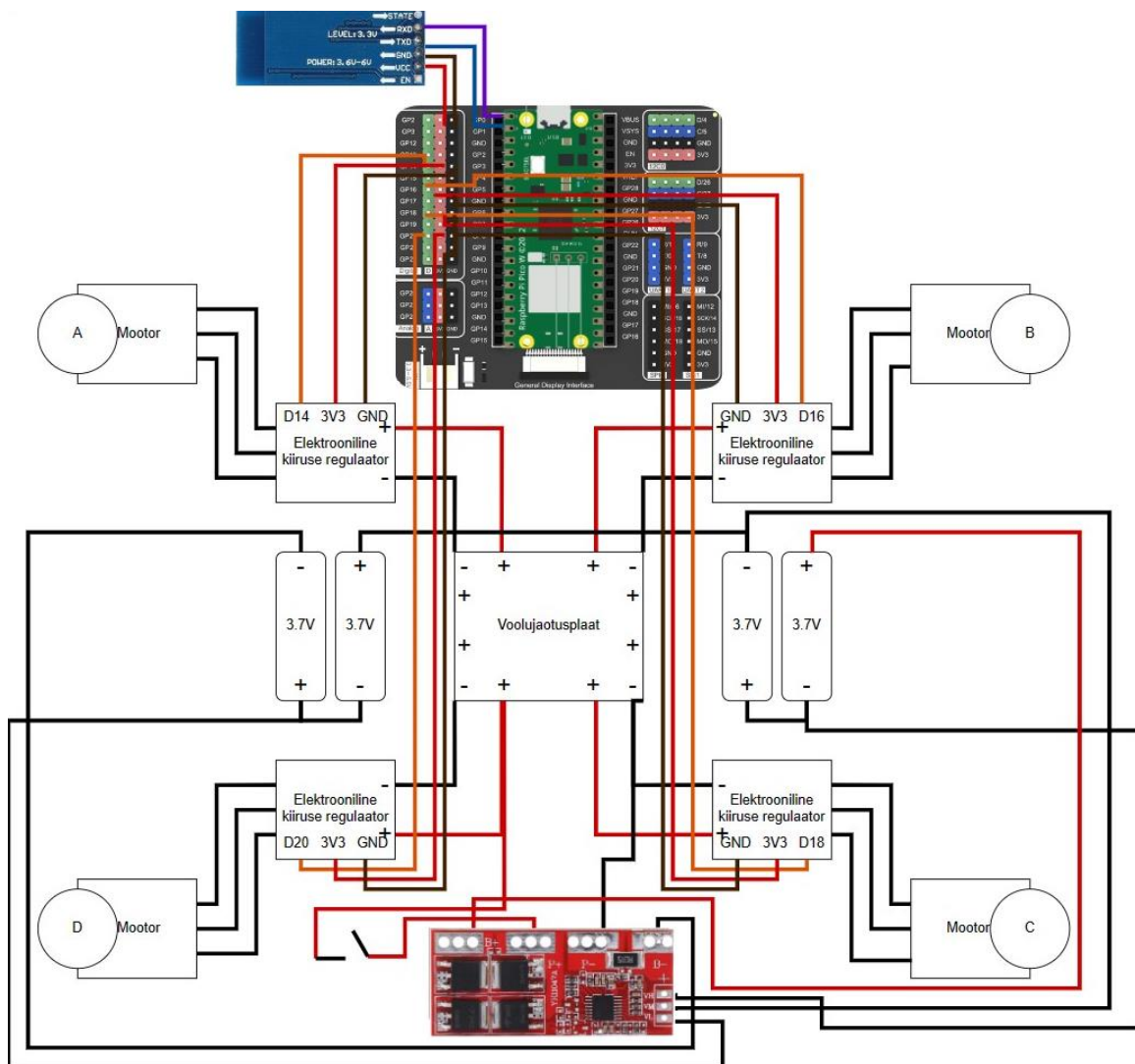
Sõiduki rattad 3D prinditakse kolmes osas. Ratta sisemine osa on välja toodud joonisel L4.2, Ratta välimist osa kirjeldab joonis L4.3 ning ratta rulliku mõõtmed on nähtavad joonisel L4.4. Antud sõidukil on mecanum-stiilis rattaid kaks paari, mis on üksteisest täpsed peegeldused. Ratta koostu joonis on välja toodud joonisel L4.1.

3.3 Igasuunaliste ratastega sõiduki ajam

Järgnev peatükk kirjeldab sõiduki elektriskeemi tuues välja selle olulisemaid komponente nagu mootorid, elektroonilised kontrollid ning akud.

3.3.1 Sõiduki elektriskeem

Sõidukit veab edasi neli harjadeta alalisvoolumootorit. Mootori pöörlemist kontrollitakse kahesuunaliste elektrooniliste kontrollritega, mis võimaldavad moorite mõlememasuunalise pöörlemise. Sõiduki elektroonikat toidavad neli 18650 liitium-ioon akut, mis on jadamisi ühendatud, et luua üks suur aku. Joonisel 3.5 on kujutatud sõiduki üleüldist elektriskeemi.



Joonis 3.5 Sõiduki elektriskeem

Sõiduki akudele ühendati ka aku laadimis ja kaitsemoodul, kuid eraldi ühendust laadimise jaoks ei ole tehtud. Seda on võimalik lisada tulevikus ning autor seda antud töös oluliseks ei pidanud, sest nende akude jaoks leidub ka eraldiseisvaid universaalseid laadijaid. Akud ühendati laadimis ja kaitsemooduli abi sõiduki keskel paikneva voolujaotusplaadiga, läbi mille tehti vajalikud hargnevad ühendused mootorite elektrooniliste kiiruse kontrolleritega. Sõiduki juhtmoodul otse läbi voolujaotusplaadi akudega ühendatud ei tohi olla, sest aku väljundpinge on juhtmooduli toiteks lubatud kõrgem ning ei sobi arendusplaatidele. Sõiduki juhtmoodul saab oma toite läbi mootorite kiiruse kontrollerite ja seetõttu pole eraldi pingeregulaatorit vaja ühendada akude ega juhtmooduli vahele. Mootori kontrolleritel on selleks tavaliselt spetsiaalne aku eraldus ahel.

3.3.2 Sõiduki mootorid

Sõidukit veavad edasi 4 harjadeta alalisvoolu mootorit. Mootori mõõdud on 50x10mm ning mootoril on 30mm pikkune võll mille külge kinnituvad igasuunalised rattad. Joonisel 3.6 on kujutatud sõidukis kasutatavat mootorit.



Joonis 3.6 Sõiduki harjadeta alalisvoolu mootor

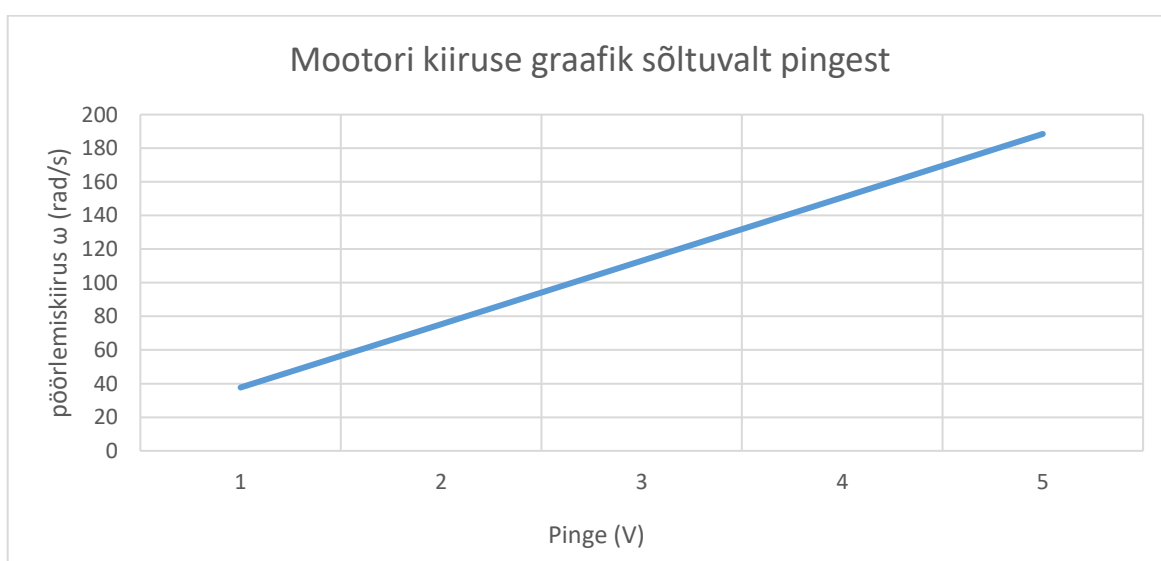
Antud mootorid on mõeldud eelkõige dronide ja lennukite jaoks, kus on vaja suurt pöörlemiskiirust ja ühtlast momenti ning ei ole ideaalsed antud lahenduse jaoks [7]. Sellele sõidukile sobiksid madalama KV väärtusega mootorid paremini, sest antud sõiduki puhul pole vaja nii suurt pöörlemiskiirust. KV väärtus tähistab mootori pöörlemiskiirust 1 V juures ehk antud mootor teeb ühe voldise kontrolleri pinge juures

360 pööret minutis. Alternatiivne variant oleks olnud kasutada analoogse roboti DJI Robomaster S1 mootoreid, aga nende kõrge hinna tõttu, üle 150 euro mootori kohta, sai need valikust kõrvale jäetud. Teiste analoogsete mootorite puhul osutus üheks probleemiks mootori võll, mille külge oleks ratast väga keeruline kinnitada. Antud töös valitud mootoritel on piisavalt suure diameetriga võll, et ratas mootori külge kinnitada. Teine probleem selliste odavamate mootorite puhul on puudus tootjapoolsetes mootori nimiandmetest ning seetõttu on mootoriga seotud arvutusi keerulisem teha ja need ei ole alati päris täpsed. Mootorite nimiandmed on välja toodud tabelis 3.1. Antud mootorite tootja ei ole andnud andmeid mootorite efektiivsuse ega väände kohta ning need tuli iseseisvalt leida.

Tabel 3.1 Mootori nimiandmed

Kiirusindeks	360 KV
Mootori diameeter	50 mm
Mootori laius	26 mm
Mootori mass	80 g
Toide	14,6 - 16,8 V
ESC	20 - 40 A

Lähtuvalt nimiandmetest koostati mootori kiirusegraafik. Jooniselt 3.7 on näha, et teoreetiline mootori kiirusevahemik on üpris suur ning antud sõiduki puhul on kasutatakse ainult väikest osa sellest.



Joonis 3.7 Mootori kiiruse graafik sõltuvalt pingest.

Nende mootorite puhul on sõiduki liikumine äkiline ning suure tõenäosusega võib sõidukil liikuma hakates ning suunda muutes rataste haarduvusega probleeme olla. Seda probleemi eeldatavasti võimendavad ratastel paiknevad rullikud veelgi ning seetõttu on sõiduki täpne kiirenduse arvutamine sisuliselt võimatu. Nimiaandmete puudumise tõttu oli mootori väände ning võimsuse graafiku koostamine keerulisem kuna puuduvad andmed mootori väände konstandi kohta. Kasutades järgnevaid valemeid leitakse teoreetiline mootori vääne [8]. Arvutuste käigus eeldati olukorda kus, pinge mootorile U on 1 V ning teoreetiline suurim voolutarve I oli 5 A, sest aku väljundvool oli kuni 20 A ning mootoreid oli antud sõidukil neli. Mootori kasuteguriks η on eeldatud 0,8. Elektrimasinate kasutegur jääb enamasti 0,7 kuni 0,9 vahemiku [9]. Reaalsuses on mootori tarbitav vool ilmselt natuke madalam, sest ka teised komponendid tarbivad väikse koguse.

$$P_S = U \cdot I = 1 \cdot 5 = 5 \text{ W} \quad (3.1)$$

kus

P_S – sisendvõimus, W,

U – pinge kontrollerial, V,

I – vool kontrollerial, A,

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot U \cdot 360 = \frac{2\pi}{60} \cdot 1 \cdot 360 = 37.7 \text{ rad/s} \quad (3.2)$$

kus

ω – mootori nurkkiirus, rad/s,

360 – kiirusindeks, KV,

$$\tau_M = \frac{P_V}{\omega} = \frac{4}{37.7} = 0,106 \text{ Nm} \quad (3.3)$$

kus

τ_M – mootori moment, Nm,

P_V – väljundvõimsus, W,

Seejärel leitakse ratta pöörlemiseks vajalik moment kasutades valemit 3.4. Arvutuste käigus on ratta mass m , mis on 0,167 kg, ratta raadius r , milleks on 0,044 m.

$$\tau_R = F \cdot r = mgr = 0,167 \cdot 9,8 \cdot 0,044 = 0,072 \text{ Nm} \quad (3.4)$$

kus

τ_R – ratta pöörlemiseks vajalik moment, Nm,

F – jõud mis rakendub rattale, N,

r – ratta raadius, m,

m – ratta mass, kg,

g – gravitatsioonikonstant, m/s²,

Saadud tulemuse põhjal võib eeldada, et mootorid on võimelised rattaid pöörlema panema olukorras kus muid jõude ratastele ei rakendu. Mootorite poolt tekitatav moment 0,106 Nm ületab rataste pöörlemiseks vajalikku momenti 0,072 Nm.

Arvutuste käigus leitakse ka teoreetiline kiirendus sõidukil kasutatavate mootoritega. Kasutades valemeid 3.5 ja 3.6 ning arvestades, et sõidukil on neli ratast ja mootorit [10]. Sõiduki kogumass m on 2,298 kg.

$$F = \frac{4\tau_M}{r} = \frac{0,461}{0,044} = 10,477 \text{ Nm} \quad (3.5)$$

kus

F – jõud maapinnale, N

τ_M – sõiduki ühe mootori moment, Nm,

r – ratta raadius, m,

$$a = \frac{F}{m} = \frac{10,477}{2,298} = 4,56 \frac{m}{s^2} \quad (3.6)$$

kus

a – sõiduki kiirendus, m/s^2 ,

F – jõud maapinnale, N,

m – sõiduki kogumass, kg,

Antud valemities ei arvesta me hõõrdumist ratta ja tasapinna vahel ning ka seda, et rattal on rullikud mis suurendavad libisemist. Seejuures peaks tulemus olema piisav, et kinnitada antud mootorite sobivust sõiduki disainis. Mootorid on võimelise rattaid pöörlema panema ning teoreetiline kiirendus on suur millest järeldub et sõiduk on võimeline liikuma ka lisaraskusega.

3.3.3 Mootorite elektroonilised kontrollid

Mootorite juhtimine toimib läbi mootori elektrooniliste kontrollite. Mootori kontrollid reguleerib mootori kiirust läbi pinget. Juhul kui voolutarve peaks järsult suurenema, lülituvad kontrollid välja, et kaitsta süsteemi lühiste ja ülekuumenemise eest.

Antud bakalaureuse töös disainitud sõiduki puhul on väga oluline, et mootorite pöörlemise suunda saaks kaugjuhitavalt muuta. Selle nõude täitmiseks tuleb kasutada kahesuunalisi elektroonilisi kontrollereid, mille abil saab mootori pöörlemise suunda juhtimise käigus muuta [11]. Valituks osutus kontrollid, mille suurim väljundvool on 30 amprit ning mis toimib pingevahemikus 14,8 – 16,8 V. Kontrollitel on ka BEC (battery eliminator circuit) ehk aku eraldusega 5V väljund mille abil saab vajadusel toita teisi komponente skeemis, näiteks sõiduki juhtmooduliks kasutatavat arendusplaati. Erilisi alternatiive antud kontrollitele turule ei leidunud, mistõttu ei olnud vajadust võrdleva tabeli koostamiseks.

Kontrolleri juhtimiseks kasutatakse PWM-i (Pulse Width Modulation) ehk pulsilaiusmodulatsiooni mille abil kontrollitakse mootori kiirust. Töös kasutatavad kontrollid on odavamapoolsed millel puudub detailne andmeleht. Seetõttu on keeruline määrata täpset PWM vahemikku milles sõidukit läbi programmi juhtida, sest

tavaliselt käib kontrolleri kalibreerimine automaatselt, sõltuvalt sõiduki juhtimispuldi juhtkangi liikumisvahemikust.

3.3.4 Sõiduki akud

Sõiduki akudeks on võimalik kasutada nii liitiumpolümeer akusid kui ka liitium-ioon akusid. Liitiumpolümeer ehk Li-Po akud on tavaliselt raskemad ning suurema väljundvooluga, aga nende eluiga on lühem ning need on ka tunduvat kallimad kui liitium-ioon ehk Li-Ion akud [12-13]. Akude võrdluseks sai koostatud tabel 3.2 milles on välja toodud levinud parameetrite vahemikud nende akude puhul. Li - Ion akude puhul on üksikute akude näidud korrutatud neljaga, et saada vajalik pingevahemik kontrollite toimimiseks.

Tabel 3.2 Li-Po ja Li-Ion akude võrdlus

	Li-Po	Li-Ion
Väljundpinge	14,8 – 16,8 V	14,8 – 16,8 V
Mahutavus	5000 – 8500 mAh	3000 – 3500 mAh
Mahalaadimise kiirus	25 – 120 C	1 – 10 C
Aku Kestvus	0,1 – 0,2 h	0,1 – 0,6 h
Aku väljundvool	50 – 120 A	5 – 35 A
Kaal	0,467 – 0,737 kg	0,176 – 0,188 kg
Hind	70 – 150 €	48 – 80 €

Koostatud tabeli põhjal on sõidukile valitud Li-Ion akud. Sõidukil ei ole rataste pöörlema panemiseks vaja suuremat voolu kui Li-Ion akud on võimelised välja andma. Need on ka oluliselt kergemad ja odavamad kui Li-Po akud.

Sõidukil kokku neli standardsest 18650 liitium-ioon akut, mis on jagatud kaheks ning paigutatud paralleelselt sõiduki külgedele optimaalseks kaalujaotuseks. Akud on ühendatud jadamisi, et luua üks 4 S (Series) aku. Ühe aku väljundpinge on 3,6 – 4,2 V ning mahutavus 3000 mAh, mis tähendab et antud lahendusega on sõiduki aku toitepingeks 14,4 – 16,8 V ning kogumahutavuseks 3000 mAh.

Akuga on ühendatud ka laadimis ja kaitsemoodul, kuid laadimiseks vajalikku sisendit ei ole elektriskeemi loodud. Laadimis ja kaitsemooduli põhiline eesmärk on kaitsta süsteemi lühiste ning akude ahelasse valesti ühendamise eest. Antud akukaitsemooduli

voolu läbilaskevõime on kuni 30 amprit ehk suurimat väljundvoolu antud lahenduses, milleks on 20 amprit see piirata ei tohiks. Kasutades valemit 3.7 leitakse aku kestvus, mille juures kogumahutavus C on 3 ampertundi ning suurim võimalik väljundvool I on 20 amprit.

$$t = \frac{C}{I} \cdot 60 = \frac{3}{20} \cdot 60 = 0,15 \cdot 60 = 9 \text{ min} \quad (3.7)$$

kus

t – aku kestvus, min,

C – aku mahutavus, Ah,

I – aku väljundvool, A,

Arvutuste põhjal järeldatakse, et suurima võimaliku väljundvoolu juures peaksid sõiduki akud kestma 9 minutit. Tavatingimustes on akude kestvus oluliselt pikem, sest antud sõidukil ei ole aku väljundvool pidevalt 20 A. Prototüübi koostamisel mõõdetakse ka akude kestvust katsetuste tegemise käigus.

3.4 Sõiduki kaugjuhtimise teostamine

Järgneva alapeatüki eesmärk on kirjelda igasuunaliste ratastega sõiduki kaugjuhtimist. Selleks tuuakse välja olulisemad komponendid sõiduki juhtimiseks ning põhjendatakse nende valikut. Sõiduki põhiprogramm ning mobiilirakenduse programm on välja toodud lisades 5 ja 6.

3.4.1 Sõiduki juhtmoodul

Sõiduki juhtmooduli valikul oli oluline, et arendusplaat oleks laialt levinud ja kättesaadav. Sõiduki tehnilise poole pealt on veel oluline, et sellel oleks vähemalt 4 erinevat PWM kanalit ning lisaks UART (universal asynchronous receiver / transmitter) ehk universaalsed asünkroonsed sisendid ja väljundid kaugjuhtimiseks vajaliku andmeside teostamiseks [14]. Võimalike juhtmoodulite võrdluseks sai koostatud tabel 3.3.

Tabel 3.3 Võimalike juhtmoodulite võrdlus

	<i>Raspberry Pi Pico</i> [14]	<i>Arduino Nano RP2040 Connect</i> [15]	<i>Pimoroni Pico Lipo</i> [16]	<i>Adafruit Feather RP2040</i> [17]
PWM kanaleid	8	8	8	8
UART kanaleid	2	2	2	2
pistikühendus	Micro USB	Micro USB	USB-C	USB-C
Hind	8,70 €	25,2 €	13,16 €	11,7 €

Koostatud tabeli põhjal selgus, et parim valik antud sõidukile oleks Raspberry Pi Pico arendusplaat. See on omaklassi üks odavamaid, aga täidab vajalikud tehnilised nõudmised sõidukile. Raspberry Pi Pico oli ka kõige lihtsamalt kättesaadav arendusplaat, sest seda ei pidanud eraldi tellima, vaid sai otse poest osta. Sellel on ka ulatuslik tootjapoolne dokumentatsioon programmeerimise võimalustest ning ostujärgne tootjapoolne tugi. Sõiduki juhtimiseks on vajalikud ainult neli PWM klemmidest, mistõttu on võimalik tulevikus PWM väljundiga liideseid sõidukile juurde lisada. Antud arendusplaat ei tohiks seega oluliselt piirata sõiduki arendusvõimalusi tulevikus. Edasiste arenduste kõigus on võimalik luua sõidukile laiendusi tulede ja vajadusel ka temperatuuri andurite näol ilma võimekamale arendusplaadile üle minemiseta.

Sõidukile on disainitud eraldi alus juhtmooduli laiendusplaadile. Laiendusplaat teeb ühenduste tegemise lihtsamaks ning laiendusplaadi alus hoiab komponente sõidukis paigal, et arendusplaadi ühendused, liikumise või kokkupõrke käigus lahti ei tuleks.

Sõidukil kasutatava arendusplaadi ning juhtmooduli vaheliseks andmeedastuseks kasutatakse HC-06 Bluetooth moodulit. HC-06 moodul ei ole võimeline andmeid edastama ja saab neid ainult vastu võtta[18]. Töös loodava sõiduki puhul käib andmeedastus ainult juhtseadmest sõidukile, mistõttu sellest andmeedastuse moodulist piisab.

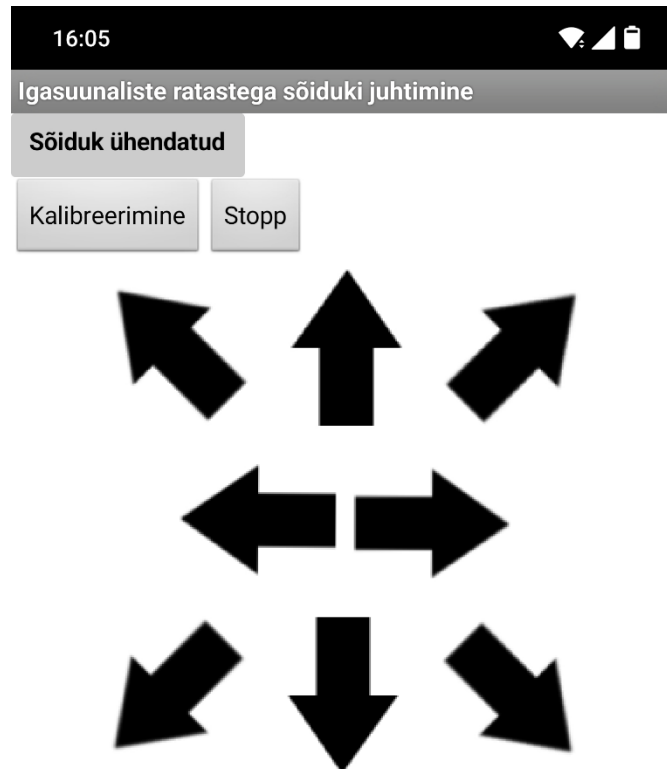
3.4.2 Sõiduki põhiprogramm

Sõiduki põhiprogramm talletatakse sõidukil asetsevale juhtmoodulile kasutades MicroPythonit. Joonisel 3.8 kirjeldatakse programmi ülesehitust plokk skeemi kujul. Programm algab vajalike seadete ning algväärtuste määramisega. Selle käigus määratakse mootorite PWM väljundiks null, et sõiduki käivitusel mootorid pöörlema ei hakkaks. Seejärel luuakse signaal juhtseadmega ühendamiseks ning defineeritakse sõiduki kontrollerite kalibreerimiseks ja sõiduki liikumiseks vajalikud funktsioonid. Peale liikumiseks vajalike funktsioonide defineerimist algab tsükkel, mille käigus kuulatakse juhtseadet ning juhtseadmest käskluse saamise korral kutsutakse välja käsklusele vastav funktsioon. Seejärel hakkavas sõiduki rattad pöörlema vastavalt joonisel 3.4 toodud suundadele, et tagada ette antud suunas liikumine. Juhul kui käsklust ei tule kutsutakse tsüklis välja kontrollerite kalibreerimis funktsioon, et tagada pidev liikumiseks valmisolek.



Joonis 3.8 Arendusplaadi programmi plokk skeem.

Sõiduki kaugjuhtimiseks luuakse mobiilirakendus kasutades MIT App Inventorit, mille eelis alternatiivsete mobiilirakenduse loomise platvormide, näiteks Thunkable, ees on see, et MIT App Inventor ei nõua lisakulutusi. Mobiilirakenduse loomine MIT App Inventoris käib funktsioonidele vastavaid plokkide kokku tõstes. Joonisel 3.9 on välja toodud kuvatõmmis mobiilirakendusest, läbi mille saab sõidukit nooltele vastavates suundades juhtida.



Joonis 3.9 Mobiili kuvatõmmis sõiduki juhtimise rakendusest.

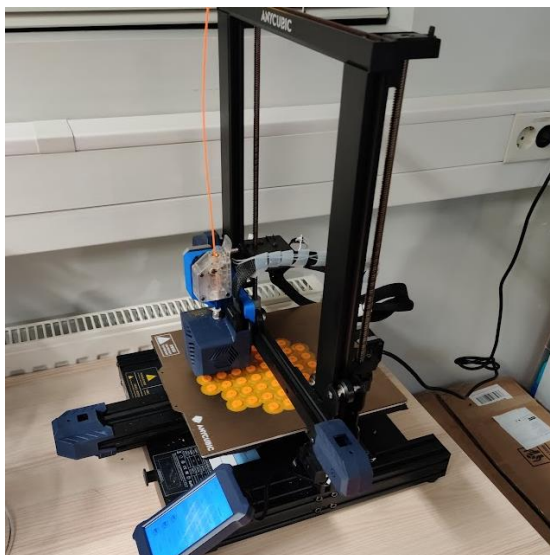
Mobiilirakenduse käivitamisel, tuleks valida sõiduki juhtimiseks Bluetooth liides HC-06 ning peale ühenduse loomist on rakendus valmis kaugjuhtimiseks. Lisas 6 on välja toodud ka plokkidest koosnev programm, millel mobiilirakendus põhineb. Iga plokk välja toodud programmis kirjeldab nupule vastavat funktsiooni, mis edastatakse arendusplaadile nii nupu vajutamisel, kui ka nupu lahti laskmisel.

4 PROTOTÜÜBI KOOSTAMINE

Prototüübi koostamise peatüki eesmärk on kirjeldada prototüübi koostamist, koostamisel tekkinud probleeme, potentsiaalseid lahendusi tekkinud probleemidele ning teste mis sai prototüübiga läbiviidud koos alalüüsi ja järeldustega saadud testitulemustest. Peale seda kirjeldatakse ka mõningad tuleviku arendusvõimalusi ning lisaks tuuakse välja prototüübi koostamise majanduslik ülevaade.

4.1 Mehhaaniliste detailide 3D printimine

Detailide modelleerimisel sai arvestatud ka 3D printeri võimaliku ebatäpsusega, aga tihtipeale osutusid need kõikumised ettemääratust suuremaks. Seetõttu tuli teha muudatusi detailide mudelites ning ka 3D printimise seadetes. Ideaalselt tulemust 3D printides ei saavutatud ning kõikide detailide puhul tuli ka teha 3D printimise järgseid viimistlusi. Joonisel 4.1 on kujutatud ratta 3D rullikute printimine.



Joonis 4.1 Ratta rullikute 3D printimine

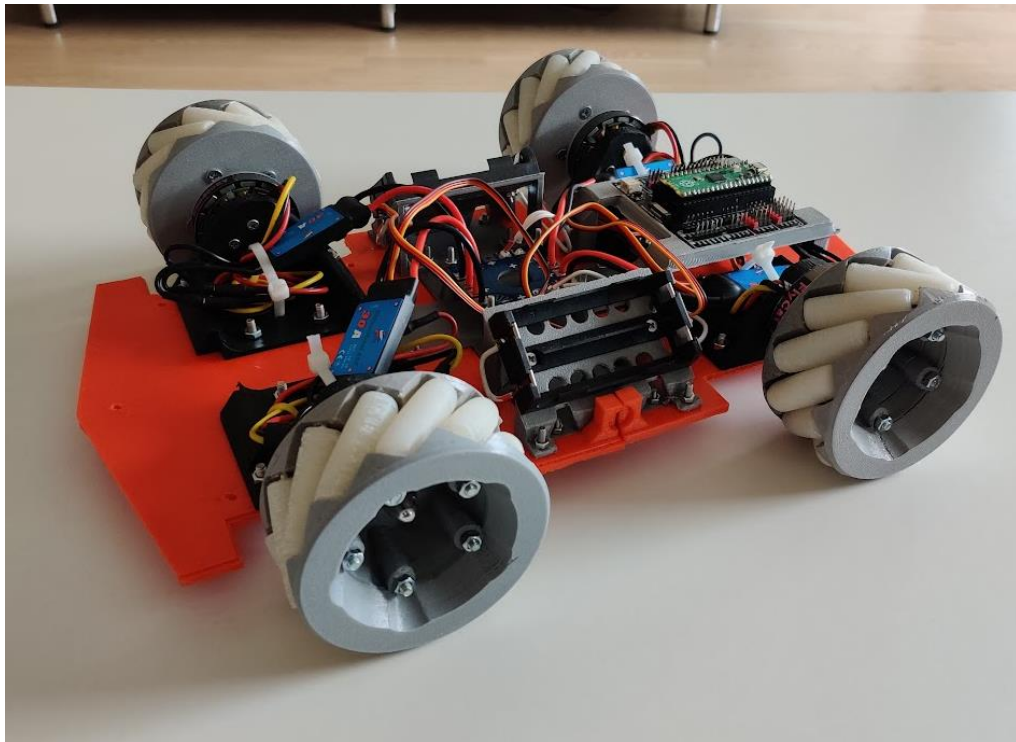
Viimistlemine hõlmas endas detailide lihvimist ning avade puurimist ehk üleliigse materjali eemaldamist. Kuigi kõikide detailide 3D printimisel kasutatav materjal oli ka sama PLA-tüüpi plastik, siis eri värvi materjalidega tulid erinevad tulemused. See oli suure tõenäosusega juhuslik, sest iga 3D prinditud komponent tuli natuke erineva kvaliteediga. Sõiduki modelleerimisel arvestati ka detailide 3D printimisjärgse

viimistluse vajadusega, seega antud töös seda kvaliteedi kõikumist sügavamalt ei uurita. Oluline oli, et detailid jääksid pärast viimistlemist esialgselt kavandatud mõõtmete lähedusse, sest vastasel juhul poleks olnud võimalik sõidukit edukalt komplekteerida.

Prototüübi mehhaanilised komponendid, kaasa arvatud rullikud 3D prinditi PLA-plastikust. Peatükis 3.1 nimetatud TPU-plastik ei olnud 3D printimise hetkel kättesaadav ning selle kasutus ei ole oluline sõiduki esmase prototüübi testimisel. Sõiduki rataste õigesuunalist pöörlemist ning esmaseid liikumisega seotud katsetusi saab teha ka kõvemate rullikutega.

4.2 Prototüübi koostamine

Prototüübi koostamise eesmärk oli koostada sõitev prototüüp antud töös loodud sõiduki disaini põhjal. Joonisel 4.2 on osaliselt komplekteeritud sõiduk. Kogudisainist on antud pildil puudu sõiduki küljedetailid ning katus kuna need ei olnud olulised sõiduki liikumise testimiseks.



Joonis 4.2 Osaliselt komplekteeritud sõiduk

Sõiduki mehhaanilise poole komplekteerimises on oluline, et rullikute all paiknevad süvistused omavahel joonduks ning ei takistaks rullikute veeremist. Selle tagamiseks on kõikide rataste sisse, mõlemale poolele, ühe poltliite juurde tehtud märke.

Prototüübi jaoks tuli koostada ka sõiduki elektriskeem, mille jaoks oli vaja palju ühendusi luua ja kokku joota. Sõiduki juhtmooduliks kasutataval Raspberry Pi Picol puuduvad ka ühenduste loomiseks vajalikud klemmid ning need tuli iseseisvalt lisada. Valdav osa sõiduki elektriskeemist on liidetud ilma pistikuteta, välja arvatud mootorite ja kontrollrite vaheline ühendus ning lülitite ühendus. See tähendab, et mootori või kontrolleri rikke korral on neid lihtsam välja vahetada, ilma skeemi kontakte lahti sulatamata ning lülitite juurde on võimalik ühendada elektriskeemi ampermeetrit, et mõõta voolu süsteemis. Ühenduste isoleerimiseks kasutati termokahanevat rüüsi.

4.3 Prototüübi testimine ning järeltööstegemine

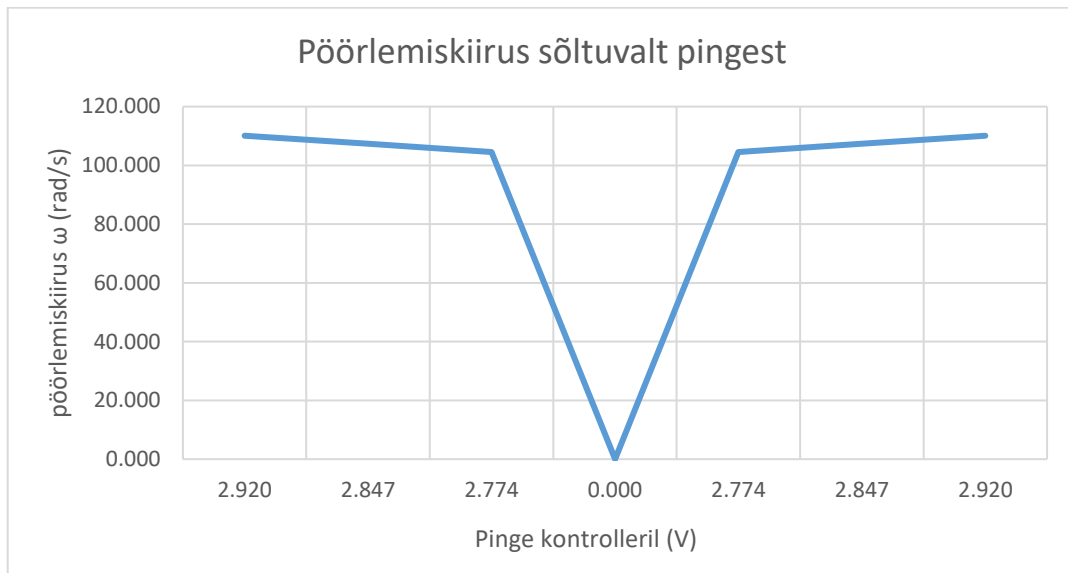
Prototüübiga sai sooritatud ka erinevaid katsetusi, näiteks liikumine erinevatel tasapindadel ning liikumine lisaraskusega ja kontrollerrisse mineva voolu mõõtmine ampermeetriga. Lisaraskuse puhul sai raskusest maha arvatud mudelis määratud sõiduki külje ja katuse detailide kaal, sest neid esialgsel prototüübil ei olnud.

Esiõigsed testimised ning mootorite kalibreerimised said tehtud viisil, mil sõiduki rattad asetsesid õhus. Kuigi eeldatavad mootoritööpiirkonnad antud sõiduki puhul olid teada, siis mootorite ja kontrollrite detailsete andmete puudumise tõttu ei olnud võimalik olla kindel mootorite reaalingimustes käitumises. Esialgselt tuli panna paika eeldatav vahemik 50% PWM signaali juures, millal mootorid peaksid olema seiskunud, seejärel aegamisi signaali tõstes, et jälgida rataste pöörlemise suunda.

Sõiduki programmi esmasel katsetusel osutus probleemiks ühe ratta mitte pöörlemine, mis oli tingitud defektsest laiendusplaadist. Nimelt üks kontrollerrile PWM signaali edastavatest laiendusplaadi pesadest ei toiminud, aga kuna antud laiendusplaadil oli ka teine, lisa pesa sama klemmi väljundi jaoks, sai kontrolleri signaali juhe sinna ümber ühendatud ning kõik sõiduki rattad liikusid edukalt joonisel 3.4 välja toodud suundades. Signaali edastamiseks valitud klemm selle käigus realselt ei muutunud, mistõttu programmis ega elektriskeemis muudatusi teha vaja polnud.

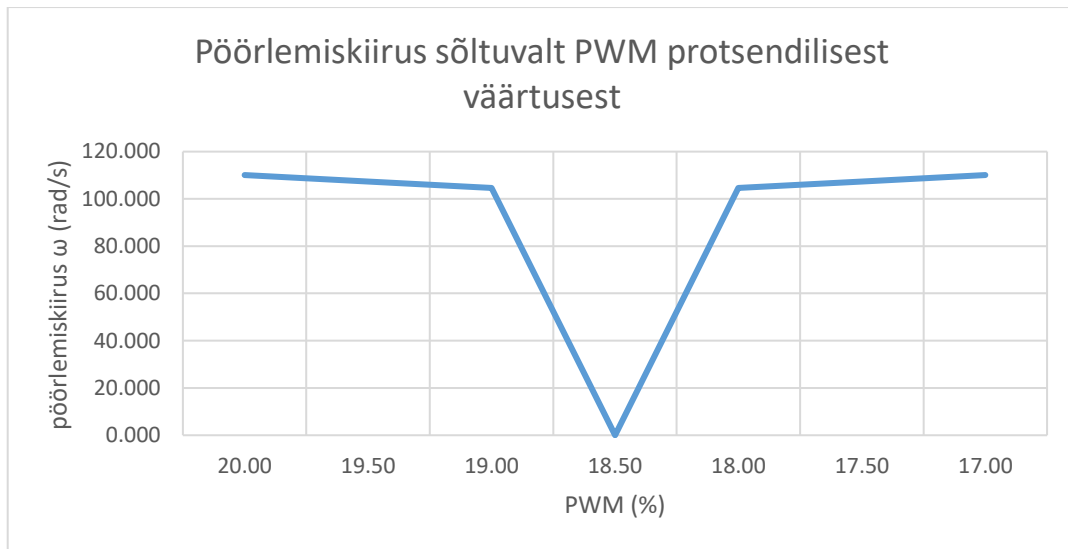
Teise testimise käigus selgus, et rattad pöörlevad edukalt mõlemas suunas ning pöörlemissuunda on võimalik muuta, ilma et rattad peaksid mingit aega signaali keskpunktis seisma. See oli ka oluline eesmärk antud lahenduse puhul, et tagada igasuunaline liikumine ning järsk rataste pöörlemissuuna muutus.

Katsetuse käigus selgus ka, et lineaarselt pinget tõsta liikumise tagamiseks ei saa, sest liiga madala pinge puhul on algne koormus mootorile liiga suur ning kui mootor kohe liikuma ei hakka, seiskuvad kontrollid ning tuleb teha uuest algne keskpunkti kalibreerimine. Seetõttu võib järeldada, et sõiduki juhtimisel tuleb kasutada natuke suuremat pinget, et panna rattad pöörlema, mis antud mootorite puhul tähendab üpris suurt pöörlemiskiirust olukorras kui rattad on juba hakanud pöörlema. Joonisel 4.3 on välja toodud mootorite pöörlemiskiirused vastavalt kontrollite pingetele.



Joonis 4.3 Pöörlemiskiirus sõltuvalt pingest kontrollril.

Antud olukord oli ka eeldatud, sest sõiduki disainis kasutatavad mootorid on loodud eelkõige droonide jaoks, mille puhul on oluline mootorite kõrge pöörlemiskiirus, et tagada õhku tõusmine ning õhus püsimine. Selle probleemi lahenduseks on tulevikus võimalik kasutada suurema momendi ning madalama KV väärtusega mootoreid, kuigi see tõstab sõidukile tehtavaid majanduslikke kulutusi juba märgatavalt. X-telje nullpunkt joonisel 4.3 on paigutatud graafiku keskele, sest graafikul on näidatud pinget mõlema pöörlemissuuna korral. Mootorite pöörlemissuuna muutus toimus 18.5% protsendilise PWM väärtuse juures, mis vastab 0.661 V väljundile Raspberry Pi Pico poolt ning ei läinud kokku eeldatava PWM signaali keskpunktiga, milleks on 50%. Joonisel 4.4 on välja toodud pöörlemiskiirus sõltuvalt edastatavast PWM signalist.



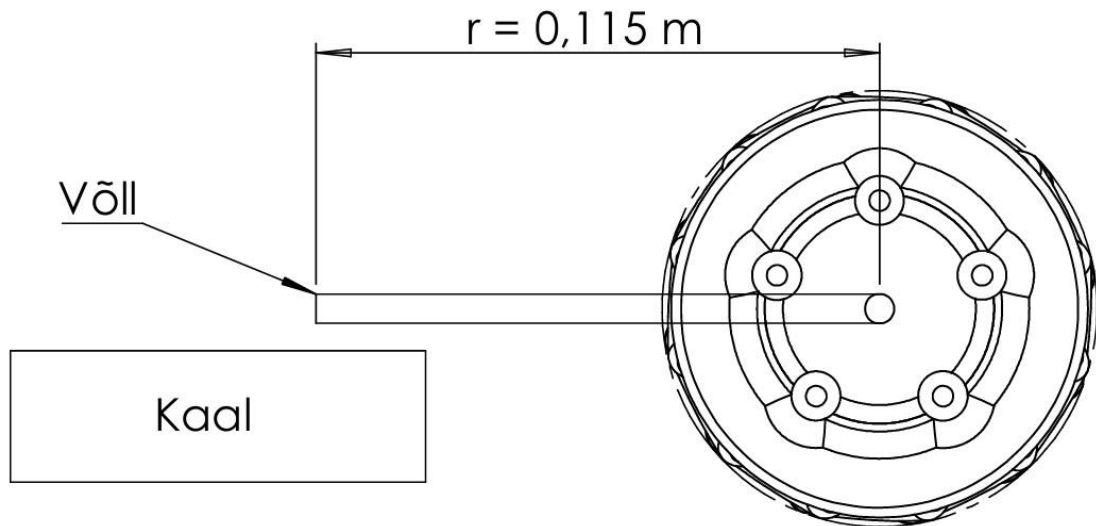
Joonis 4.4 Pöörlemiskiirus sõltuvalt kontrolleri edastatud PWM-i protsendilisest väärtusest.

Sõiduki ühe mootori kontrolleri ja voolujaotusplaadi vahele sai ühendatud ka ampermeeter, et mõõta voolutarbimist sõiduki liikumise korral. Mõõtmisest järel, et sõiduki käivitamisel oli hetkeks voolutarbimine 0,04 A kontrolleri kohta, misjärel voolarve langes 0,02 A juure kontrolleri kohta. Sõiduki liikuma hakkamisel tõusis vool ajutiselt kuni 4,02 amprini kontrolleri kohta, mille juures hakkasid rattad pöörlema ning voolu tarbimine langes 0,55 ampri juurde. Nendest voolumõõtmiste põhjal saame järeldada, et sõidukile valitud, kuni 20 A väljundvooluga akud, olid täiesti piisavad ning suurema väljundvooluga kallimad akud ei ole põhjendatud.

Sõidukiga sai ka testitud liikumist erinevatel tasapindadel. Liikumise testimisel selgus, et kõva tasapinna puhul, näiteks puitparketil, hakkasid rattad liikumisel libisema. Prototüübil sai ka rataste rullikut 3D prinditud PLA-tüüpi plastikust, mis on omaduste poolest kõvem materjal kui sõiduki disainis materjaliks määratud TPU-tüüpi plastik. Seega rullikute kõvadus koos mootorite suure pöörlemiskiirusega põhjustab kõvematel pindadel esialgsel liikumisel rataste libisemise, mistõttu sõiduk hakkab liikudes ootamatult kalduma. Seetõttu ei olnud võimalik mõõta sõiduki kiirendust katsetuse käigus.

Liikumist sai katsetatud ka vaibal, mille käigus oli näha, et sõiduk ei suuda liikuda külgedele, aga suudab liikuda edasi ja tagasi. Vaiba pehmuse tõttu sõiduk vajub vaibal ning rattad ei hakanud seega pöörlema suurema takistuse tõttu. Külgedele liikumiseks pidid sõiduki rattad liikuma ka eri suundades, mistõttu peab mootorite poolt arendatav moment olema suurem ning suurema pöörlemistakistuse puhul ei suutnud rattad vajalikku momenti tekitada. Katsetest võib järeldada, et sõidukiga saab liikuda pigem siledal ja kõval tasapinnal, misjuures ratta rullikud peaksid olema 3D prinditud pehmest TPU-tüüpi plastikust.

Prototüübiga sai ka katsetuse käigus mõõdetud mootori poolt tekitatavat momenti. Joonisel 4.5 on näha katsetust, mille käigus sai määratud mootori momenti kaalu ning ratta külge kinnitatud võlli abil. Antud viis ei ole just kõige täpsem viis momendi määramiseks, sest ratta külge kinnitatud, võll võis katsetuse käigus natuke liikuda ning oluliselt langetada kaalu näitu.



Joonis 4.5 Mootori väände määramine kaalu ja ratta külge kinnitatud võlli abil.

Lisaks segas katsetuse läbiviimist mootori omapära, mitte anda kaalule ühtlane surve vaid pigem kiire pulseerimine, mistõttu oli kaalu täpse näidu lugemine oluliselt raskendatud. Suurim registreeritud kaalu näit m oli 79 g ning varda ots asus ratta keskpunktist 0,115 m kaugusel. Kuna 1 g kaalul võrdub ligikaudu jõuga 0,0098 N, saame järgneva arvutuskäigu abil leida mootori poolt tekitatud momendi [19].

$$F = m \cdot g = 79 \cdot 0,0098 = 0,774 \text{ N} \quad (4.1)$$

kus

F – jõud kaalule, N,

m – kaalu näit, g,

g – gravitatsioonikonstant, m/s^2 ,

Lähtudes saadud tulemusest ning ratta külge paigutatud võllist, mis tekitab raadiuse r ratta keskpunktist 0,115 m, leiame mootori momendi valemi 4.2 abil [10].

$$\tau_M = F \cdot r = 0,774 \cdot 0,115 = 0,089 \text{ Nm} \quad (4.2)$$

kus

τ_M – mootori moment, Nm,

F – jõud kaalule, N

r – võlli kasutusel tekkinud raadius, m,

Saadud tulemus oli natuke madalam eelnevalt töös arvatud tulemusest ning see oli ka eeldatud, sest võll suure tõenäosusega liikus katsetuse käigus ning mootori pulseerimise tõttu oli kaalu näidu lugemine oluliselt raskendatud. Seejuures antud näit ikkagi kinnitab veelkord, et mootorid olid tõesti õigesti valitud, sest mootori valiku üks eesmärkidest oli, et see oleks võimeline ratast pöörlema panema.

Prototüübiga sai veel katsetatud ka liikumist lisakaaluga. Prototüübi enda kaal oli 2,051 kg ning sellele sai lisatud raskusi peale. Sõidukil hakkas siledal ja kõval tasapinnal probleeme tekkima 0,8 kg lisakaaluga. Lisaraskusest prototüübi puuduvate detailide kaalud maha arvates võib arvestada, et disainitud komplektse sõiduki kogumassi 2,298 kg juures võiks sõidukile lisaraskust lisada kuni 0,5 kg. Selle lisaraskuse juures saaks sõidukile tulevikus paigutada lisa komponente, näiteks andurite näol.

Kallaku peal liikumine on antud disainiga sõiduki puhul üpris keeruline ning seda oli näha ka prototüübiga tehtud katsetustest. Kui sõiduk liigub hooga kallaku suunas, siis saab sellega kallakule sõita, aga kallakul liikuma hakates, hakkab sõiduk koheselt libisema kalde suurusest eriliselt sõltumata. See oli ka eeldatud, sest antud disainiga rattad on mõeldud eelkõige ühtlasel kõvemal tasapinnal liikumiseks.

Tehtud katsetuste käigus jälgiti ka akude kestvust. Sõiduki programmi ja liikumisega seotud katsetused, koos tulemuste jäädvustamisega võtsid aega ligi neli tundi. Selle aja jooksul ei tekkinud vajadust sõiduki akusid laadida. Millest võib järeldada, et algne eesmärk sõiduki veerand tundi akude kestvusest on edukalt täidetud. Sõidukiga võib katsetusi sooritada sellest oluliselt kauem.

4.4 Arendusvõimalused tulevikus

Sõiduki prototüübi koostamisel tekkinud probleemide ning tehtud katsetuste järelduste põhjal on näha, et antud töös disainitud sõidukil on palju arendusvõimalusi ka tulevikus. Sõiduki mehhaanilist ja elektroonilist disaini annaks oluliselt optimeerida ning sõidukile oleks võimalik lisada ka uusi komponente, mille käigus võib tõusta sõiduki mass.

Mehhaanilisest aspektist annaks igasuunaliste rataste disaini oluliselt optimeerida. Prototüübi rullikute 3D printimiseks sai kasutatud PLA-tüüpi plastikut, kuigi sõiduki mehhaanilise disaini peatükis on rullikute materjaliks määratud TPU-tüüpi plastik. See oli tingitud printimise ajal materjali kättesaadavusest, kuid tehtud katsetuste põhjal võib järeldada, et PLA-tüüpi plastik on liiga kõva materjal rullikute jaoks ning need hakkavad libisema. Sõiduki ratastel võiks vähendada ka rullikute arvu ühe võrra. Selle käigus saaks teha rullikud suuremaks, samal need üksteisest kaugemale paigutades, mis tagaks rullikute vabama veeremise.

Sõiduki elektroonika poole pealt võiks tulevikus kasutada veelgi madalama KV väärtusega mootoreid või peaks mootorite ja rataste vahel olema ülekande mehhanism. See tõstaks küll oluliselt sõidukile tehtavaid majanduslikke kulusi, kuid võimaldaks sõidukil täpsemalt ja efektiivsemalt liikuda. Antud mootorite puhul tõusis rataste pöörelmiskiirus üpris järsult, mistõttu hakkas sõiduk libisema.

Sõiduki juhtmestust oleks võimalik vähendada kui sõiduki alusraamiks disainida trükkplaat. Sellisel alusraami disainil väheneks oluliselt juhtmestuse kogus sõidukis ning langeks natuke ka sõiduki mass. Sõidukit saaks ka edasi arendada erinevaid andureid või kaamerat lisades. Sellise arendusega oleks võimalik sõidukile luua lisaprogramme, näiteks joone jälgimiseks, mille abil saaks sõiduk autonoomselt mööda joont liikuda. Lisaks saaks paigutada andurid akude ning mootorite kontrolleri juurde, et jälgida nende temperatuure.

Nende arenduste puhul tõuseks eeldatavasti oluliselt ka sõidukile tehtavad majanduslikud kulutused, kuid need oleks kõik head praktilised viisid saada lisakogemusi mehhatroonikast.

4.5 Majanduslik ülevaade

Sõiduki kogumaksumus tuli oluliselt madalam kui antud bakalaureusetöö alguses välja toodud alternatiivsete sõidukite maksumus. Sõidukiga koostamisega seotud kulud on välja toodud tabelis 4.1. Eesmärk oli, et sõiduki koostamisega seonduvad kulutused jääksid alla turul leiduva olemasoleva lahenduse ning tabeli põhjal on näha, et sõiduki lõppmaksumus tuli 252,19 €. Selle põhjal võib järeldada, et sõidukiga seotud majanduslikud eesmärgid said täidetud.

Tabel 4.1 Rahalised kulutused sõidukile.

	Detail	Kogus	Hind kokku €
1	Mootorid	4	53,6
2	Aku	4	47,6
3	Aku hoidikud	2	20
4	Laiendusplaat	1	12,03
5	Raspberry Pi Pico	1	8,7
6	Kontrollerid	4	36
7	Paraleeltihvt	48	32,16
8	Aku laadimis ja kaitsemoodul	1	12
9	HC-06 moodul	1	15
10	Ühenduste loomise kulud	1	15,1
		Kulu kokku €	252,19

Tulevikus tehtavate arenduste käigus võivad sõidukiga seonduvad rahalised kulutused oluliselt tõusta, kuid see on autori arvates mõisteta ning ei mõjuta otseselt antud töö tulemust.

KOKKUVÕTE

Mehhatroonika erialahariduse omandamise käigus on oluline saada ka praktilist kogemust projektide käigus, mis hõlmavad endas peamisi eriala valdkondasid. Projekte, mille käigus tutvutakse nii mehhaanilise kui ka elektroonilise ja informaatika valdkondadega. Luues ning arendades midagi, mis põhineb nende valdkondade sünergeetilisel koostööl. Selle käigus kinnituvad teoreetilised teadmised ning lihtsustub ka tööturule sisenemine.

Käesoleva bakalaureuse töö teemaks oli igasuunaliste ratastega õppe-eesmärgilise vabavaralise kaugjuhitava sõiduki väljatöötamine. Eesmärgiga luua projekt antud sõiduki näol, mida selle töö põhjal koostades ning vajadusel ka edasi arendades, saaks kasutada mehhatroonika erialal praktilise kogemuse saamiseks. Töö põhiosas on esmalt väljaselgitatud nõuded sõiduki disainile ning uuritud praeguseid turul leiduvaid lahendusi, mille põhjal selgus, et sobivaid lahendusi eelnevalt turul ei leidunud. Seejärel loodi sõiduki disain, mis vastaks eelnevalt püstitatud nõuetele. Töö kolmandas peatükis on kirjeldatud loodud sõiduki elektromehhaanilist disaini, tuues esmalt välja selle üleüldise mehhaanilise disaini, misjärel kirjeldati selle olulisemat mehhaanilist osa, igasuunalist ratast. Järgnevalt kirjeldati sõiduki elektriskeemi, mille käigus toodi välja selle tähtsamad komponendid ning tehti vajalikud arvutused, et kinnitada nende sobivust loodud lahenduses. Peale selle on kirjeldatud ka sõiduki kaugjuhtimise teostamist, tuues välja arendusplaadi programmi plokkeemina ning selgitades sõiduki juhtimiseks loodud mobiilirakenduse toimimist.

Töö käigus koostati ka prototüüp, et kinnitada loodud sõiduki disaini vastavust nõuetele. Prototüübi katsetuse käigus oli esmalt probleemiks ühe mootori mitte pöörlemine, mis oli tingitud defektsest laiendusplaadist, kuid selle probleemi kõrvaldamisel pöörlesid kõik mootorid ning sai prototüübi katsetustega jätkata. Katsetuste käigus selgus, et loodud sõiduki disain vastab eelnevalt püstitatud nõuetele, kuid seda oleks tulevikus võimalik oluliselt optimeerida ning edasi arendada.

Kokkuvõttes saab öelda, et antud sõiduki disaini ning prototüübi loomine osutus märgatavalt keerulisemaks ja mahukamaks ülesandeks kui esmapilgul arvata võis. Teisalt oli see bakalaureusetöö autori arvates erialaselt silmaringi laiendav ning õpetas erialateadmisi kombineeritud kasutama. Töö võib lugeda õnnestunuks, sest loodud sõiduki disain vastab eesmärgiks püstitatud nõuetele ning selle koostamine ja edasine arendamine oleks hea viis saada praktilist kogemust mehhatroonika erialal.

SUMMARY

During the acquisition of a mechatronics vocational education, it is important to gain practical experience through projects that encompass the main areas of the specialty. Projects that introduce mechanical, electrical and informatics. Creating and developing something based on the cooperation of these fields. This consolidates theoretical knowledge and simplifies entry into the labour market.

The topic of this bachelor's thesis was the development of an open-source remote-controlled vehicle with omnidirectional wheels for educational purposes. The aim was to create a project in the form of this vehicle, which, based on this work and, if necessary, further development, could be used to gain practical experience in the field of mechatronics. The main part of this work first identified the requirements for the vehicle design and investigated current market solutions, which revealed that suitable solutions were not found on the market. Then a design was created for the vehicle, that would meet the previously set requirements. The third chapter of the work describes the electromechanical design of the created vehicle, first bringing out its general mechanical design, after which its more important mechanical part, the omnidirectional wheel. Next, the vehicle's electrical scheme was described, highlighting its most important components, and making the necessary calculations to confirm their suitability in the created solution. In addition, the remote control of the vehicle is described, presenting the development board program as a block diagram and explaining the operation of the mobile application created for controlling the vehicle.

A prototype was also compiled during the work, to confirm the compliance of the created vehicle design with the requirements. During the testing of the prototype, the initial problem was the non-rotation of one motor, which was due to a defective expansion board, but after eliminating this problem, all motors rotated, and the prototype tests could continue. The tests revealed that the design of the created vehicle, meets the previously set requirements, but it could be significantly optimized and further developed in the future.

In conclusion, it can be said that the design and creation of this vehicle and its prototype turned out to be a noticeably more complex and time-consuming task than one might initially think. On the other hand, in the author's opinion, this bachelor's thesis expanded the professional horizon and taught to use combined professional knowledge. The work can be considered successful because the design of the created

vehicle meets the requirements set for the purpose and its compilation and further development would be a good way to gain practical experience in the field of mechatronics.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] <https://store.dji.com/ee/product/robomaster-s1?vid=81081>
- [2] Kadi Kruuse „Taaskasutatud materjalid 3D printimisel“ magistritöö 2015, 20 lk.
- [3] Farah, Shady, Daniel G. Anderson, Robert Langer „Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—A comprehensive review“ 2016
- [4] Kiattisin Kanjanawanishkul „Omnidirectional wheeled mobile robots: Wheel types and practical applications“ International Journal of Advanced Mechatronic Systems 2015, 291lk.
- [5] Kyung-Lyong Han, Oh-Kyu Choi, Jinwook Kim, Hyosin Kim and J. S. Lee „Design and control of mobile robot with Mecanum wheel“ 2009
- [6] Krzysztof Mateja "Prototype of 3D printed mecanum wheel" 2023, 26 lk.
- [7] K Mohanraj, Deepak, et al. "A review of BLDC motor: state of art, advanced control techniques, and applications." 2022.
- [8] Kuno Janson, Ants Kallaste „Elektrimasinate alused“ Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus 2017, 239 lk.
- [9] Kuno Janson, Ants Kallaste „Elektrimasinate alused“ Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus 2017, 61 lk.
- [10] Kuno Janson, Ants Kallaste „Elektrimasinate alused“ Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus 2017, 23 lk.
- [11] Pothorajoo, Satishrao, and Hamdan Daniyal. "PID bidirectional speed controller for BLDC with seamless speed reversal using Direct Commutation Switching Scheme." IEEE 8th Control and System Graduate Research Colloquium, 2017.
- [12] Baronti, Federico, et al. "Parameter identification of Li-Po batteries in electric vehicles: A comparative study." IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2013.
- [13] Deng, Da. "Li-ion batteries: basics, progress, and challenges." Energy Science & Engineering, 2015.

[14] <https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/raspberry-pi-pico.html>

[15] <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano-rp2040-connect>

[16] <https://shop.pimoroni.com/products/pimoroni-pico-lipo?variant=39335427080275>

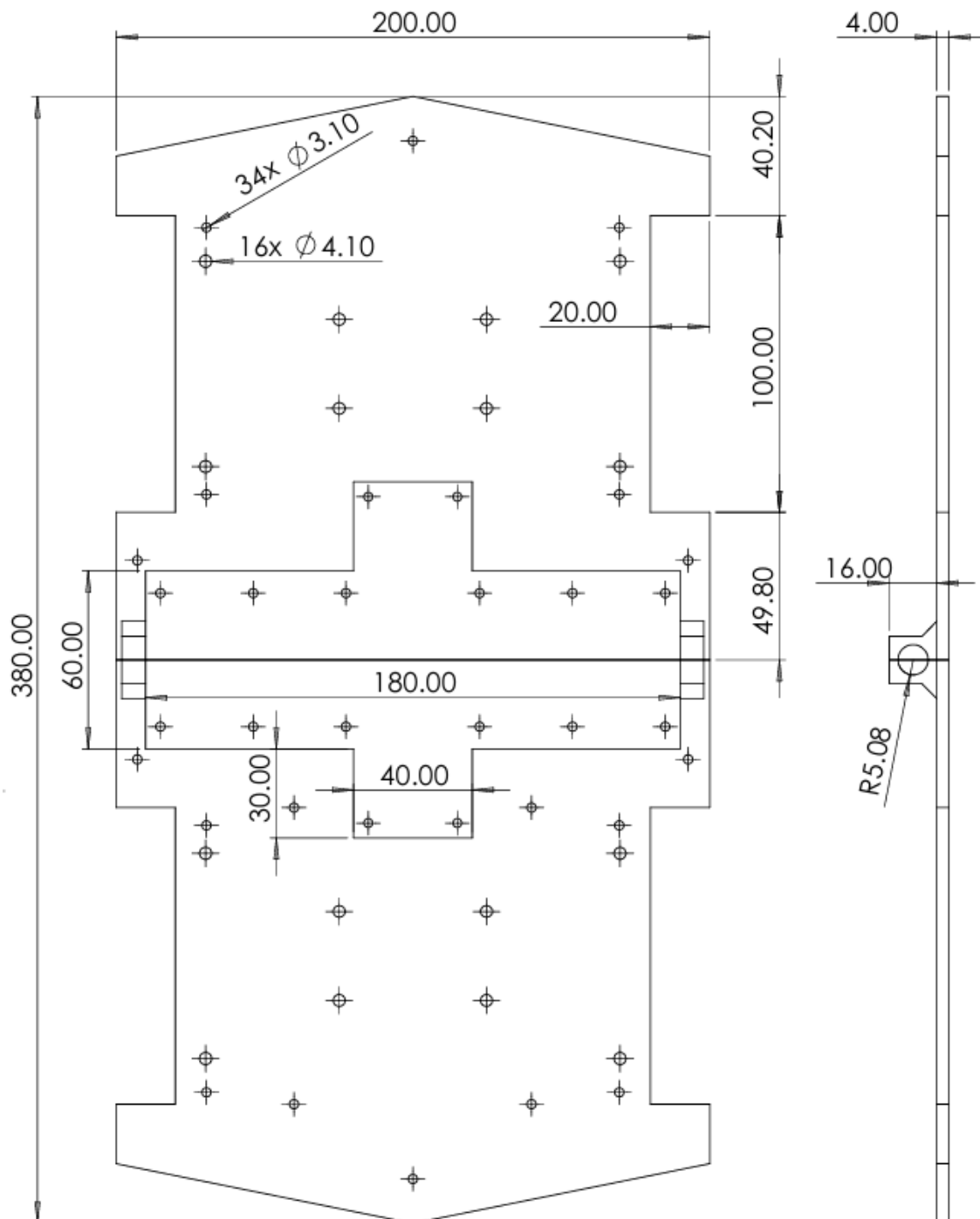
[17] <https://www.adafruit.com/product/4884>

[18] Hamzah M. Marhoon „Implementation of rover tank firefighting robot for closed areas based on arduino microcontroller“ Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science 2021, 58 lk.

[19] Kuno Janson, Ants Kallaste „Elektrimasinate alused“ Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus 2017, 24 lk.

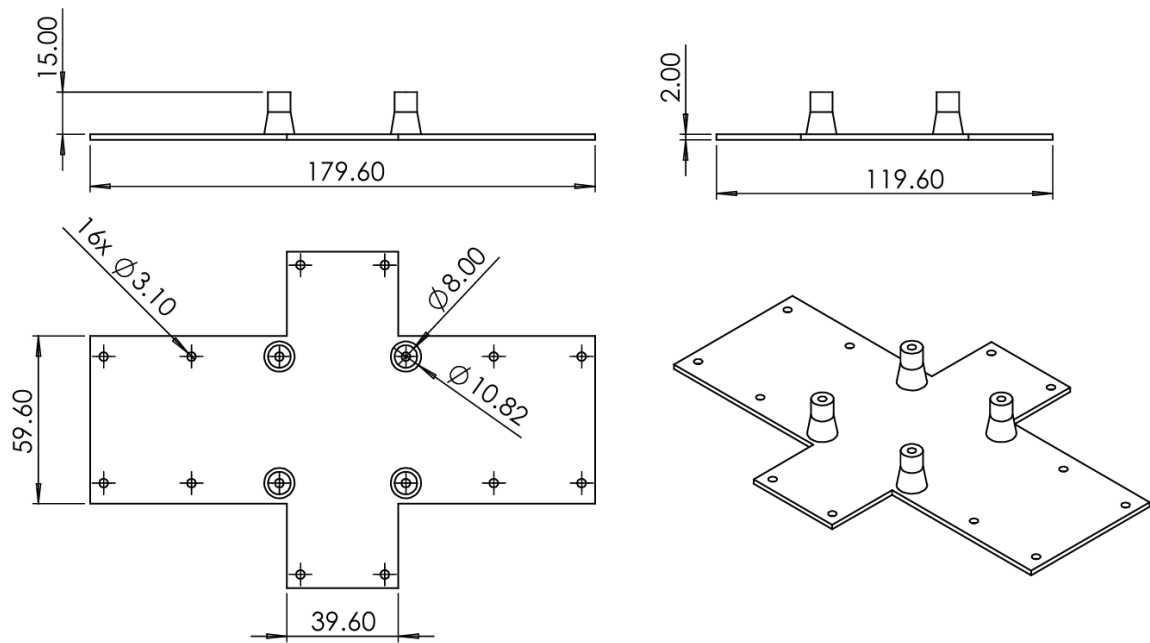
LISAD

Lisa 1 Sõiduki raam

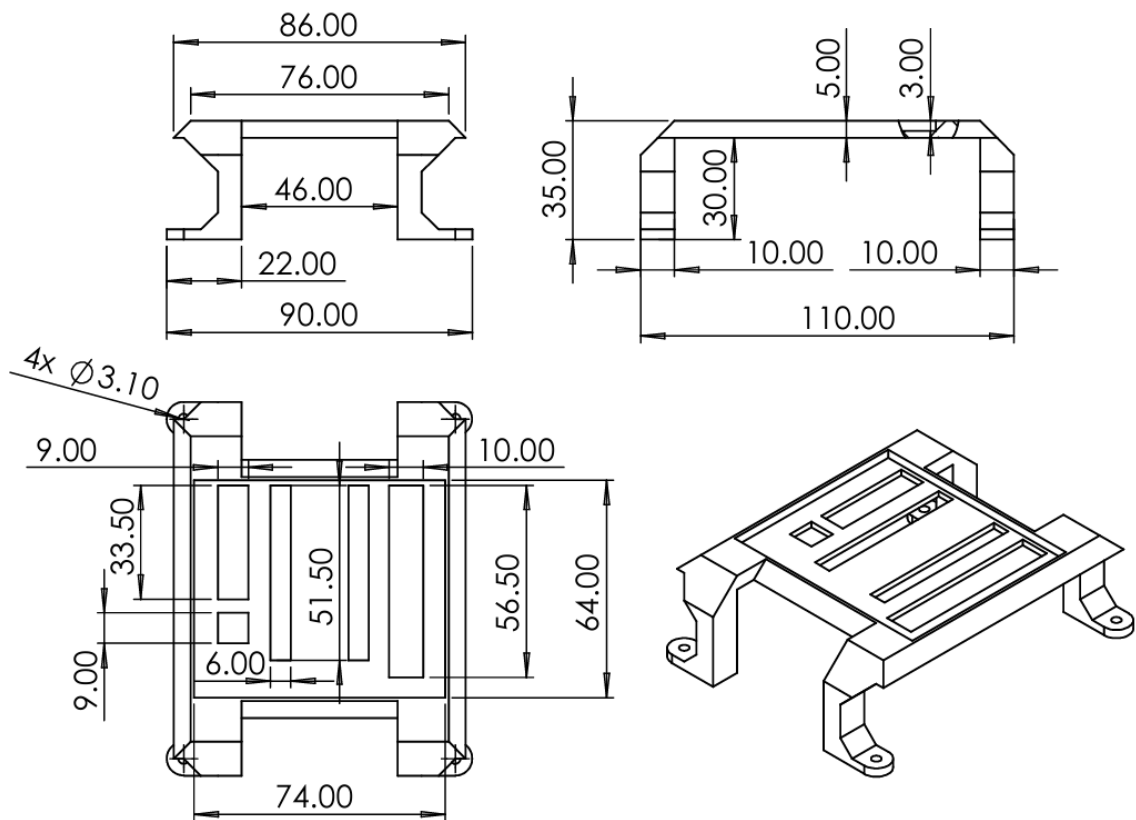


Joonis L1.1 Sõiduki raam.

Lisa 2 Raami tugi ja laiendusplaadi alus

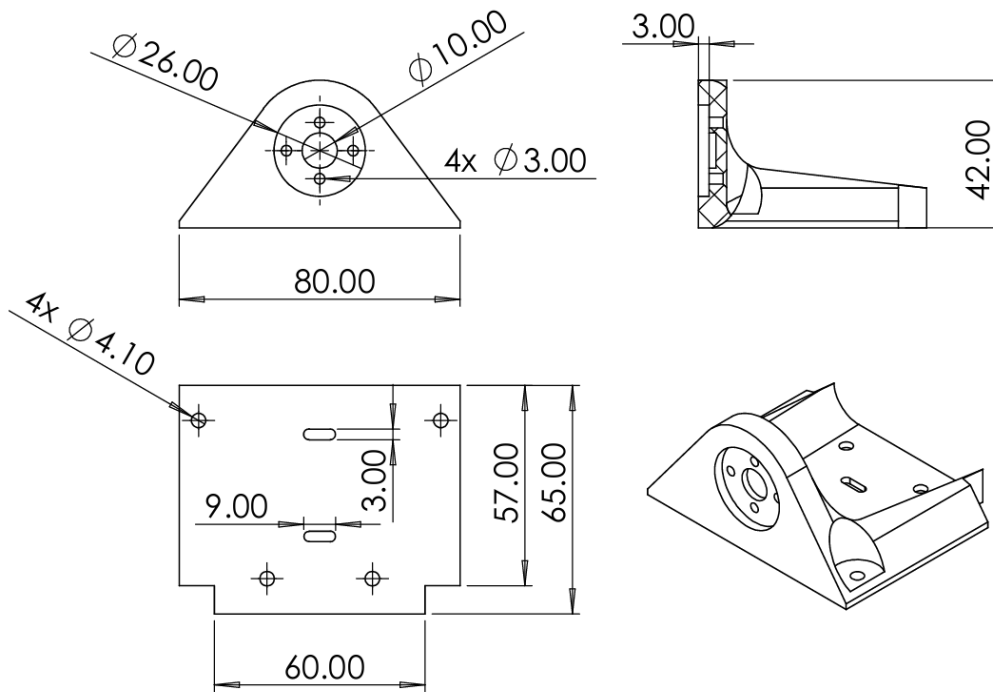


Joonis L2.1 Sõiduki raami tugi.

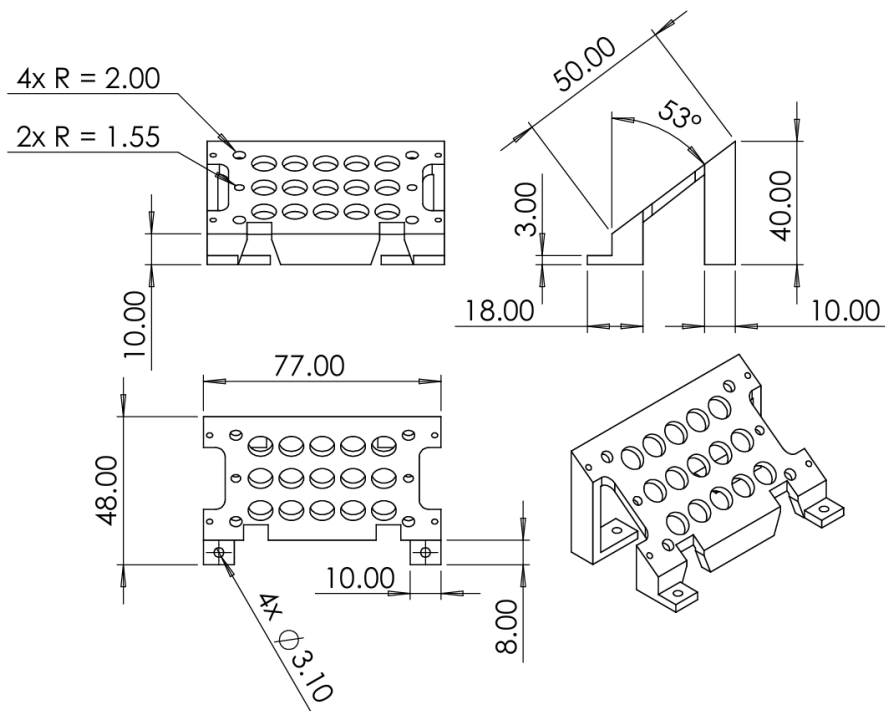


Joonis L2.2 Sõiduki laiendusplaadi alus.

Lisa 3 Mootori kinnitus ja aku alus

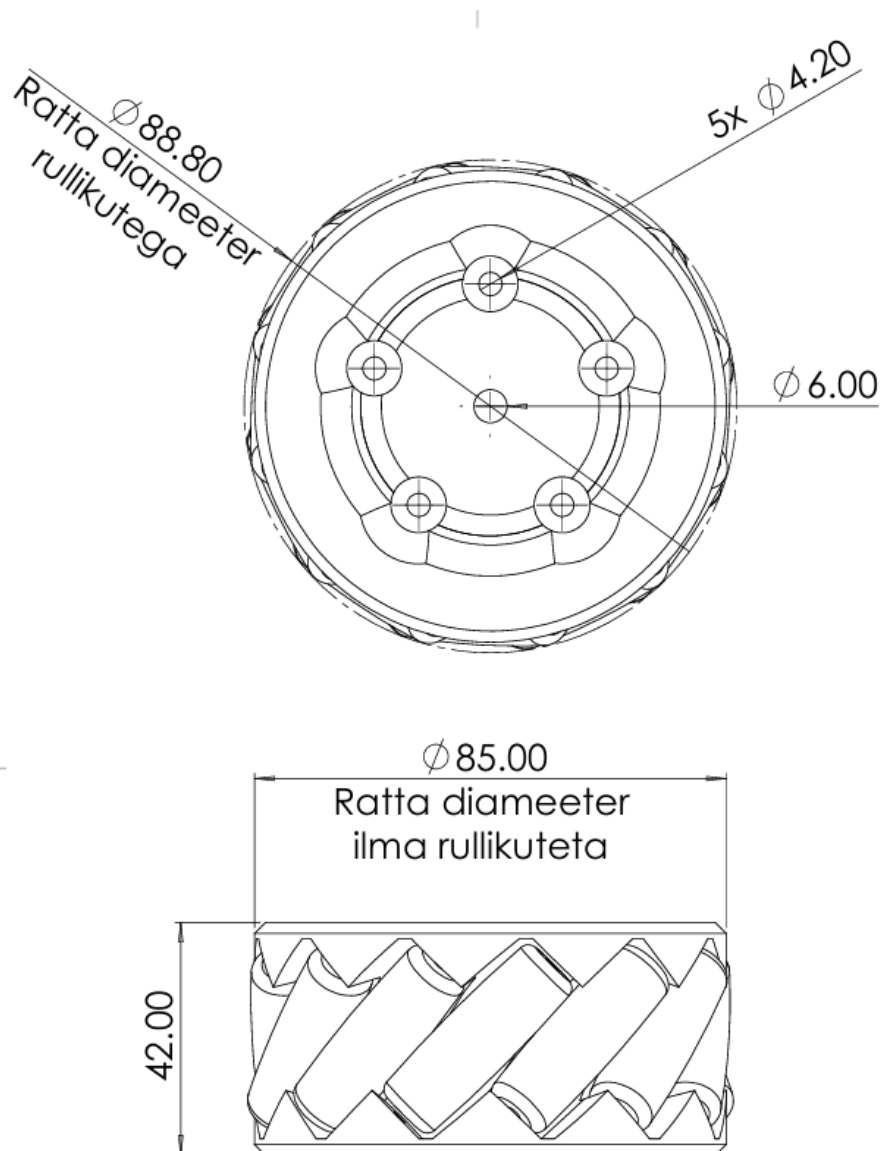


Joonis L3.1 Mootori kinnitus.

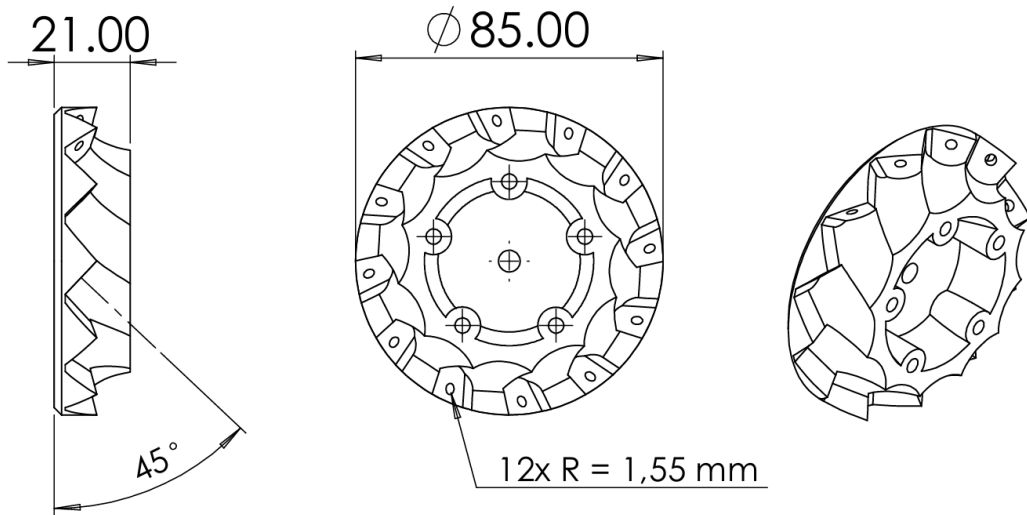


Joonis L3.2 Aku kinnituse alus.

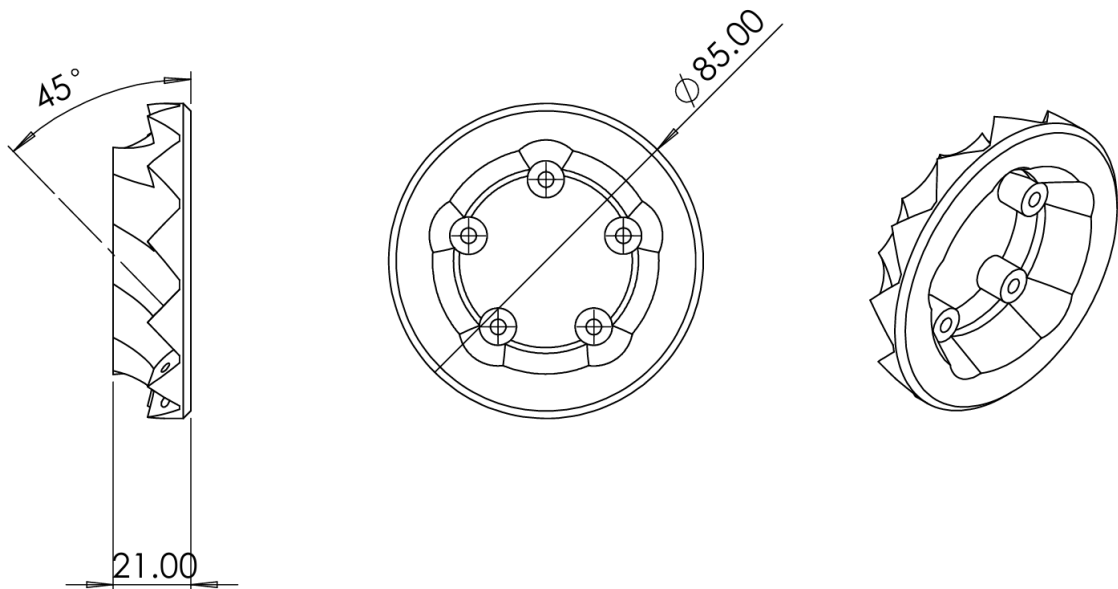
Lisa 4 Igasuunalise ratta disain



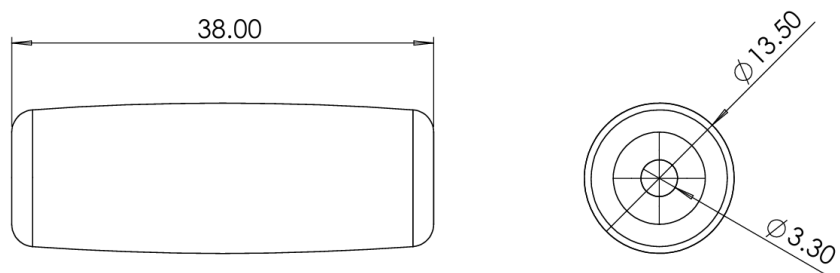
Joonis L4.1 Igasuunalise ratta koost.



Joonis L4.2 Igasuunalise ratta sisemine külg.



Joonis L4.3 Igasuunalise ratta välimine külg.



Joonis L4.4 Igasuunalise ratta rullik.

Lisa 5 Arendusplaadi programm kommentaaridega

```
from machine import Pin, PWM, UART

uart = UART(0,9600) #Defineerime UART väljundi ning baudi kiiruse.

led = machine.Pin("LED", machine.Pin.OUT) #Defineerime Raspberry LEDi.
Mootor_A = PWM(Pin(14)) #Defineerime mootorite PWM väljundi.
Mootor_B = PWM(Pin(16))
Mootor_C = PWM(Pin(18))
Mootor_D = PWM(Pin(20))

max = 65535 #Seadistame väärtuse limiidi.

Mootor_A.freq(1000) #Seadistame PWM-i reguleerimiseks sagedused.
Mootor_B.freq(1000)
Mootor_C.freq(1000)
Mootor_D.freq(1000)

Mootor_A.duty_u16(0) #Määrame algseks PWM-i tsükliks 0, et mootrid ei hakkaks
liikuma.
Mootor_B.duty_u16(0)
Mootor_C.duty_u16(0)
Mootor_D.duty_u16(0)

#kiirus_1_aeglane 0.195 #Soovitavad PWM väärtused kiiruste jaoks antud sõiduki
puhul. 0.195 = 19.5 %.
#kiirus_1_keskmine 0.197
#kiirus_1_kiire 0.2
#kiirus_2_aeglane 0.175
#kiirus_2_keskmine 0.177
#kiirus_2_kiire 0.170

kiirus_A = 0.5 #Seadistame PWM väärtuseks 0.5 = 50 %, et kalibreerida kontrollid.
kiirus_B = 0.5
kiirus_C = 0.5
kiirus_D = 0.5

def Kalibreeri_kontrollerid(): #Juhtseadest kutsutav kontrollite kalibreerimise
funktsioon.
    print ("Kalibreerin_kontrollereid") #Prindime juhtseadmest edastatud käskluse.
    kiirus_A = 0.5 #Seadistame kiiruseks 50 %, et kalibreerida kontrollid.
    kiirus_B = 0.5
    kiirus_C = 0.5
    kiirus_D = 0.5
    led.on()
    PWM_value_A = int(kiirus_A * max) #Korrutame määratud kiiruse Raspberry
65535 väärtusega, et saada täpne PWM-i väärtus.
    PWM_value_B = int(kiirus_B * max)
    PWM_value_C = int(kiirus_C * max)
    PWM_value_D = int(kiirus_D * max)
    Mootor_A.duty_u16(PWM_value_A) #Edastame kontrollite PWM-i väärtuse.
    Mootor_B.duty_u16(PWM_value_B)
```

```
Mootor_C.duty_u16(PWM_value_C)
Mootor_D.duty_u16(PWM_value_D)
```

```
def Edasi(): #Juhtseadest kutsutav sõiduki edasi liikumise funktsioon.
    print ("Edasi") #Prindime juhtseadest edastatud käsklu.
    kiirus_A = 0.197 #Edasi 0.195/0.2 #Seadistame kiirused edasi liikumiseks
    sõltuvalt mootorite asetusest sõidukil.
    kiirus_B = 0.197 #Edasi 0.195/0.2
    kiirus_C = 0.177 #Edasi 0.175/0.17
    kiirus_D = 0.177 #Edasi 0.175/0.17
    led.on()
    PWM_value_A = int(kiirus_A * max)
    PWM_value_B = int(kiirus_B * max)
    PWM_value_C = int(kiirus_C * max)
    PWM_value_D = int(kiirus_D * max)
    Mootor_A.duty_u16(PWM_value_A)
    Mootor_B.duty_u16(PWM_value_B)
    Mootor_C.duty_u16(PWM_value_C)
    Mootor_D.duty_u16(PWM_value_D)
```

```
def Tagasi(): #Juhtseadest kutsutav sõiduki tagasi liikumise funktsioon.
    print ("Tagasi")
    kiirus_A = 0.177 #Tagasi 0.175/0.17
    kiirus_B = 0.177 #Tagasi 0.175/0.17
    kiirus_C = 0.197 #Tagasi 0.195/0.2
    kiirus_D = 0.197 #Tagasi 0.195/0.2
    led.on()
    PWM_value_A = int(kiirus_A * max)
    PWM_value_B = int(kiirus_B * max)
    PWM_value_C = int(kiirus_C * max)
    PWM_value_D = int(kiirus_D * max)
    Mootor_A.duty_u16(PWM_value_A)
    Mootor_B.duty_u16(PWM_value_B)
    Mootor_C.duty_u16(PWM_value_C)
    Mootor_D.duty_u16(PWM_value_D)
```

```
def Paremale(): #Juhtseadest kutsutav sõiduki paremale liikumise funktsioon.
    print ("Paremale")
    kiirus_A = 0.197 #Edasi 0.195/0.2
    kiirus_B = 0.177 #Tagasi 0.175/0.17
    kiirus_C = 0.177 #Edasi 0.175/0.17
    kiirus_D = 0.197 #Tagasi 0.195/0.2
    led.on()
    PWM_value_A = int(kiirus_A * max)
    PWM_value_B = int(kiirus_B * max)
    PWM_value_C = int(kiirus_C * max)
    PWM_value_D = int(kiirus_D * max)
    Mootor_A.duty_u16(PWM_value_A)
    Mootor_B.duty_u16(PWM_value_B)
    Mootor_C.duty_u16(PWM_value_C)
    Mootor_D.duty_u16(PWM_value_D)
```

```
def Vasakule(): #Juhtseadest kutsutav sõiduki vasakule liikumise funktsioon.
    print ("Paremale")
    kiirus_A = 0.177 #Tagasi 0.175/0.17
    kiirus_B = 0.197 #Edasi 0.195/0.2
    kiirus_C = 0.197 #Tagasi 0.195/0.2
```

```

kiirus_D = 0.177 #Edasi 0.175/0.17
led.on()
PWM_value_A = int(kiirus_A * max)
PWM_value_B = int(kiirus_B * max)
PWM_value_C = int(kiirus_C * max)
PWM_value_D = int(kiirus_D * max)
Mootor_A.duty_u16(PWM_value_A)
Mootor_B.duty_u16(PWM_value_B)
Mootor_C.duty_u16(PWM_value_C)
Mootor_D.duty_u16(PWM_value_D)

```

def DVY(): #Juhtseadest kutsutav sõiduki diagonaalis vasakule üles liikumise funktsioon.

```

print ("Diagonaalis vasakule üles")
kiirus_A = 0.197 #Edasi 0.195/0.2
kiirus_B = 0 #Mootor seisab
kiirus_C = 0.177 #Edasi 0.175/0.17
kiirus_D = 0 #Mootor seisab
led.on()
PWM_value_A = int(kiirus_A * max)
PWM_value_B = int(kiirus_B * max)
PWM_value_C = int(kiirus_C * max)
PWM_value_D = int(kiirus_D * max)
Mootor_A.duty_u16(PWM_value_A)
Mootor_B.duty_u16(PWM_value_B)
Mootor_C.duty_u16(PWM_value_C)
Mootor_D.duty_u16(PWM_value_D)

```

def DPY(): #Juhtseadest kutsutav sõiduki diagonaalis paremale üles liikumise funktsioon.

```

print ("Diagonaalis paremale üles")
kiirus_A = 0
kiirus_B = 0.197 #Edasi 0.195/0.2
kiirus_C = 0
kiirus_D = 0.177 #Edasi 0.175/0.17
led.on()
PWM_value_A = int(kiirus_A * max)
PWM_value_B = int(kiirus_B * max)
PWM_value_C = int(kiirus_C * max)
PWM_value_D = int(kiirus_D * max)
Mootor_A.duty_u16(PWM_value_A)
Mootor_B.duty_u16(PWM_value_B)
Mootor_C.duty_u16(PWM_value_C)
Mootor_D.duty_u16(PWM_value_D)

```

def DVA(): #Juhtseadest kutsutav sõiduki diagonaalis vasakule alla liikumise funktsioon.

```

print ("Diagonaalis vasakule alla")
kiirus_A = 0.177 #Tagasi 0.175/0.17
kiirus_B = 0
kiirus_C = 0.197 #Tagasi 0.195/0.2
kiirus_D = 0
led.on()
PWM_value_A = int(kiirus_A * max)
PWM_value_B = int(kiirus_B * max)
PWM_value_C = int(kiirus_C * max)
PWM_value_D = int(kiirus_D * max)

```



```
Mootor_A.duty_u16(PWM_value_A)
Mootor_B.duty_u16(PWM_value_B)
Mootor_C.duty_u16(PWM_value_C)
Mootor_D.duty_u16(PWM_value_D)
```

def DPA(): #Juhtseadest kutsutav sõiduki diagonaalis paremale alla liikumise funktsioon.

```
print ("Diagonaalis paremale alla")
kiirus_A = 0
kiirus_B = 0.177 #Tagasi 0.175/0.17
kiirus_C = 0
kiirus_D = 0.197 #Tagasi 0.195/0.2
led.on()
PWM_value_A = int(kiirus_A * max)
PWM_value_B = int(kiirus_B * max)
PWM_value_C = int(kiirus_C * max)
PWM_value_D = int(kiirus_D * max)
Mootor_A.duty_u16(PWM_value_A)
Mootor_B.duty_u16(PWM_value_B)
Mootor_C.duty_u16(PWM_value_C)
Mootor_D.duty_u16(PWM_value_D)
```

def Stop(): #Juhtseadest kutsutav sõiduki seiskamise funktsioon.

```
print ("Stop")
Mootor_A.duty_u16(0)
Mootor_B.duty_u16(0)
Mootor_C.duty_u16(0)
Mootor_D.duty_u16(0)
led.off()
```

while True: #Tsükkel, mille käigus ootame ja loeme juhtseadme käsklusi ning kutsume välja käsklustest tulenevaid funktsioone.

```
if uart.any():
    data= uart.read()
    data= str(data)
    print(data) #Juhul kui juhtseade edastab käskluse, teisaldame selle sõneks ning
    printime edastatud käskluse.
    if("kalibreerimine" in data): #Juhul kui sõne sisaldab antud käsklust kutsume
    läbi järgneva funktsiooni.
        Kalibreeri_kontrollerid() #Välja kutsutav funktsioon.
    elif("edasi" in data):
        Edasi()
    elif("tagasi" in data):
        Tagasi()
    elif("vasakule" in data):
        Vasakule()
    elif("paremale" in data):
        Paremale()
    elif("stop" in data):
        Stop()
    elif("dvy" in data):
        DVY()
    elif("dpy" in data):
        DPY()
    elif("dva" in data):
```

```
DVA()
elif("dpa" in data):
    DPA()
else:
    Kalibreeri_kontrollerid() #Kui ühtegi funktsiooni välja ei kutsuta, kalibreerime
kontrollereid.
```

Lisa 6 Mobilirakenduse programm



Joonis L6.1 Mobilirakenduse programm.