

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

CASTER BOARD'I MOTORISEERIMISMOODULI VÄLJATÖÖTAMINE

DEVELOPMENT OF THE CASTER BOARD MOTORIZATION
MODULE

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Hans-Joosep Hanson

Üliõpilaskood: 179652EAAB

Juhendaja: Vahur Maask, doktorant-nooremteadur

Tallinn, 2020

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 /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Hans-Joosep Hanson

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Caster board'i motoriseerimismooduli väljatöötamine

Kuupäev: 20.05.2010

45 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Vahur Maask, doktorant-nooremteadur

Töö konsultant (konsultandid): Raido Hanson, Tarmo Pihlak

Sisu kirjeldus:

Töö eesmärgiks oli võimaldada motoriseeritud liikumine sõidukil *caster board* kasutades ise disainitud lahendust lisamooduli kujul. Moodul ei tohiks oluliselt häirida manööverdamisvõimet.

Lõputöö muudab eriliseks motoriseeritava sõiduki valik. Teadaolevalt ei ole antud ülesannet nii põhjalikult ette võetud.

Eesmärgi saavutamiseks valiti sobivad elektroonilised komponendid ja ehitati seejärel süsteemile raamistik. Kriitiliseks osutusid õige mootori, kontrolleri, aku ja jõuülekande valimine. Detailid disainiti programmiga SolidWorks ja arvutusi sooritati programmis MatLab. Mõõtmeid võeti otse sõiduvahendilt. Töö lõpus sooritatakse ka majanduslik analüüs, et võrrelda süsteemi ehitamise maksumust ja väärtust.

Märksõnad: Motoriseerimine, sõiduk, elektrimootor, disain, kergliikur, caster board.

ABSTRACT

Author: Hans-Joosep Hanson

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Development of the caster board motorization module

Date: 20.05.2020

45 pages

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Vahur Maask

Consultant(s): Raido Hanson, Tarmo Pihlak

Abstract:

The aim of this work was to enable motorized movement for a caster board mobility device by designing an extra module for it. It was important that the module would not impact the freedom of movement in a significant way.

What makes this thesis unique is the choice of vehicle, that was motorized. To the public knowledge, this task has not been undertaken so thoroughly.

To achieve this, suitable electronic components were selected and then a support structure was built around them. Choosing the correct motor, electronic speed controller, battery, and transmission proved to be critical to the cause. The parts were designed with SolidWorks and the calculations were performed using MatLab. Required measurements were taken directly from the vehicle.

Keywords: motorization, vehicle, electric, caster board, design.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Caster board'i motoriseerimismooduli väljatöötamine
Lõputöö teema inglise keeles:	Development of the caster board motorization module
Üliõpilane:	Hans-Joosep Hanson, 179652EAAB
Eriala:	Elektroenergeetika ja mehhatroonika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Vahur Maask
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	20.05.2020
Lõputöö esitamise tähtaeg:	20.05.2020

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Erinevalt tavalisest rulast on *caster board*'il vaid kaks ratast ja see tõstab manööverdamise võimalusi. Ent sõitmis-tehnika hoo saamiseks on keerukam ja väsitavam kui tavalisel rulal. Seetõttu on sõiduvahend ka tahaplaanile jäänud. Elektrimootori lisamine võimaldaks lihtsustada sõiduvahendi kasutamist, kuna edasi liikumiseks pole kasutajal tarvis ise vaeva näha ning saaks keskenduda ainult juhtimisele. Hetkel on teada kaks erinevat olemasolevat lahendust. Firma Ripstik on välja töötanud elektrilise variandi, ent sellega koos ka vähendanud liikumisvabadust. Youtube'is on ericinventor ehitanud parema kontseptsiooniga versiooni, ent tegu on pooliku lahendusega.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on sõiduki *caster board* täiustamine elektrimootoriga, ilma et nimetatud mootor liikuri funktsionaalsust oluliselt piiraks ja samas oleks mooduli lisamine ning eemaldamine võimalikult lihtne.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- Töötada välja moodul, mis oleks võimalikult kerge, et sõitmine ei oleks mõjutatud.
- Väljatöötatav lahendus peab olema võimalikult töökindel ning robustne, et õnnetuste või kontakti korral maapinnaga oleks moodul piisavalt tugev.
- Lähtuvalt kasutajast arvutada mootori ning aku parameetrid.
- Leida tasakaal tugevuse, kaalu ja kompaktsuse vahel.

4. Lähteandmed

Maksimaalse võimsus saab valitud vastavalt Eesti riigi seadustele. Samuti on plaanis sügavamalt uurida elektrirulade kontseptsioonidega ja sealt paralleele tuua käesoleva lõputööga.

5. Uurimismeetodid

- Modelleerimine ja disain SolidWorksis.
- Teoreetilised parameetrite arvutused ja graafikud programmis Matlab.
- Tabelarvutused Excelis
- Prototüüplahenduse katsetamine

6. Graafiline osa

Graafilist osa kasutatakse teoreetiliste ja reaalsete parameetrite võrdluseks ja kontseptsiooni tutvustamiseks. Mahukamad joonised esitatakse lõputöö lisades.

7. Töö struktuur

- Kontseptsioon
- Põhikomponentide valik
 - Mootor
 - Toide
 - Mootori kontrollid
- Disain
 - Elektriline
 - Mehaaniline
- Koostamine
 - Mehaanika ja elektroonika
 - Programmeerimine
- Testimine
- Järeldused
- Kokkuvõte

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Liiklusseadustik

Mehhaanikainseneri käsiraamat [Ulrich Fischer, Roland Gomeriger, Max Heinzler, Roland Kilgus, Friedrich Näher, Stefan Oesterle, Heinz Paetzold, Andreas Stephan]

Kursuse ATM3060 Elektromagnetism ja Elektrimasinad materjalid [Ants Kallaste]

Kursuse MHK0150 Süsteemi dünaamika materjalid [Leo Teder]

9. Lõputöö konsultandid

Vajadus konsultantide järele selgub töö tegemise käigus.

10. Töö etapid ja ajakava

Lähteandmete kogumine (23.03.2020)

Arvutuste/mõõtmiste/disainimise/modelleerimise teostamine (10.04.2020)

Koostamine (27.04.2020)

Tulemuste kirjeldamine (29.04.2020)

Järelduste kirjutamine (29.04.2020)

Kokkuvõtte koostamine (06.05.2020)

Töö esimene versioon valmis (06.05.2020)

Juhendajale läbilugemiseks saatmine (06.05.2020)

Paranduste sisseviimine (13.05.2020)

Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (13.05.2020)

Paranduste sisseviimine (20.05.2020)

Töö lõplik versioon valmis (20.05.2020)

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	3
ABSTRACT	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE.....	5
ESSÕNA.....	10
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	11
SISSEJUHATUS.....	12
1. DISAINIMISE PROTSESS	14
1.1 Elektriline disain.....	14
1.1.1 Kasutatavad seadmed.	14
1.1.2 Nõuete püstitus	14
1.1.3 Lähteparameetrite välja arvutamine.....	15
1.1.4 Mootor.....	16
1.1.5 ESC	17
1.1.6 Vastuvõtja ja pult.....	17
1.1.7 Aku.....	18
1.1.8 BMS.....	19
1.1.9 Lüliti	19
1.1.10 Ülevoolukaitse	19
1.1.11 Ühendused ja juhtmestik	19
1.2 Ülekanne.....	21
1.3 Uute karakteristikute arvutamine ja hindamine	22
1.4 Konstruksiooni disain	24
1.4.1 Laagri kinnitus.....	24
1.4.2 Mooduli raam	25
1.4.3 Telg	26
1.4.4 Mootori kinnitus	27
1.4.5 Elektroonika karp.....	28
1.4.6 Hammasrihm ja rihmarattad	29
1.4.7 Detailide koost.....	30
2 MAJANDUSLIK ANALÜÜS	32

KOKKUVÕTE.....	34
SUMMARY	36
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU.....	38
LISAD.....	39

ESSÕNA

Transport on tänapäeva maailma alustala. Igal inimesel on meetod, et jõuda punktist A punkti B. Mõni hindab transpordimeetodis mugavust, teine aga ökonoomsust või meelelahutust. Caster board on üks sõiduvahenditest, millel on palju potentsiaali manööverduse ja meelelahutusliku külje poolest, kuid nõuab juhilt suurt energia sisendit - seetõttu pole sõiduvahend ka kuigi laialdaselt tarbijate hulgas levinud.

Aina enam muutuvad populaarseks kergliikurid oma mugavuse tõttu, mille muudavad võimalikuks juurde lisatud mootorid. Autor leidis, et kasutades sarnast lahendust oleks võimalik muuta ka caster board mugavamaks.

Selle lõputöö teema on pakutud välja lõputöö autori poolt ja realiseerimisel aitasid kaasa juhendaja Vahur Maask, nõustaja Raido Hanson ja nõustaja Tarmo Pihlak. Tänuavaldused kõigile osapooltele.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

a – Kiirendus, m/s^2

BMS – Battery Management System

c – Ratta übermööõt, m

D – Ratta diameeter, m

E_{Max} – Maksimaalne toitepinge, V

E_{Min} – Minimaalne toitepinge, V

ESC – Electronic Speed Controller

F – Jõud, N

g – Gravitatsioonikonstant

I – Vool, A

Kv – Pöördeid voldi kohta

Li-Po – Liitiumpolümeeraku

m – Juhi mass, kg

M_m – Mootori moment, Nm

M_r – Ratta moment, Nm

m_s – Sõiduvahendi mass, kg

N – Ülekandesuhe

n_m – Mootori kasutegur

n_r – Rihma kasutegur

n_s – Sõiduki kasutegur

P – Mootori võimsus, W

RPM_M – Mootori pöörlemiskiirus, rpm

RPM_r – Ratta pöörlemiskiirus, rpm

RPM_{rihm} – Rihma pöörlemiskiirus, rpm

v – Kiirus, km/h

VESC – Vedder Electronic Speed Controller

ω_M – Mootori nurkkiirus, rad/s

SISSEJUHATUS

Lõputöös käsitletaval sõidukil on kaks ratast, millel on positiivne järeljooks, mis on kinnitatud laua külge kasutades kalde all olevaid tugilaagreid. (vt Joonis 1) Rataste kontaktpind maaga on nihutatud taha, et rattad püsiksid maaga risti (vt Joonis 2). Positiivne järeljooks sunnib rattad alati sõidusuunale vastassuunda. [1]



Joonis 1: RipStik G. [2]



Joonis 2: Caster süsteem. 1 - Radiaallaager, 2 – Tugilaager. [2]

Selline disain võimaldab juhil sõiduki lauda küljelt küljele liigutades hoogu tekitada ja annab juhile ka väga hea manööverdusvõime, mis pole võrreldavad teistel sõidulaudadel põhinevatel sõidukitel.

Enne töö alustamist tuleks uurida milliseid lahendusi juba eksisteerib ja mis on nende puudused. Tuleks jooksvalt ka läbi viia turu-uuring teadmaks ,palju maksavad alternatiivsed tooted. Ehitatud lahenduse maksumuse ja spetsifikatsioonide suhe peaks olema mõistlikkuse piires ja võrreldav analoogsete toodetega.

Nagu varem mainitud ei ole caster board kuigi populaarne sõiduvahend. Sellest tulenevalt ei ole ka tema elektrilised variandid levinud. Hetkel on teada kaks erinevat olemasolevat lahendust. Firma Razor on välja töötanud elektrilise variandi RipStik Electric, ent sellega koos ka vähendanud liikumisvabadust. Youtube'is on kasutaja ericinventor ehitanud parema kontseptsiooniga versiooni, ent tegu on pooliku lahendusega, mis pole mõeldud kauakestvaks kasutamiseks.

Töös kasutatakse detailide ja koostude disainisel programmi SolidWorks, elektriskeemide koostamisel on kasutatud AutoCADi ja arvutused teostati programmis MatLab. Mooduli disainimisel toodi mitmeid paralleele elektrirulade disainimisega.

Mooduli arenduse baasiks võeti RipStik G, kuna see oli autoril juba olemas.

1. DISAINIMISE PROTSESS

Esmalt tuli välja valida kõik vajalikud komponendid. Selleks püstitati süsteemile nõuded ja komponentide valikul arvestati nii eelnevalt valitud komponentidega kui ka süsteemi nõuetega.

1.1 Elektriline disain

1.1.1 Kasutatavad seadmed.

Ülesande täitmiseks kasutati elektrimootorit, kuna need on kompaktsed ja lihtsasti juhitavad. Mootori kiiruse reguleerimiseks oli vaja leida sobiv ESC. Kuna tegu on sõiduvahendiga, millel puudub juhtraud, siis oli vaja ESC kontrollimiseks kasutada mõnda vastuvõtjaga juhtmevaba lahendust. Süsteemi toidab aku, mis omakorda nõuab BMS'i, mis katkestaks voolu, kui akud hakkavad tühjaks saama. Akud vajasisid ka laadijat. Seda, kas seade on sisse lülitatud kontrollib lüliti. Kogu süsteemi ohutuse tagab ülevoolu kaitse.

Mõistlik järjekord kuidas seadmeid valida on:

1. Mootor
2. ESC
3. Vastuvõtja ja pult
4. Aku
5. BMS
6. Ühendus-, lülitus- ja kaitsemehhanismid
7. Ülekanne

1.1.2 Nõuete püstitus

Eestis tuleb alates juunist uus seadusemuudatus. Seaduses luuakse uus sõidukiliik "kergliikur". Kiirusepiirang kergliikuritel saab olema 25 km/h ja võimsuse piirang 1000 W. [3]

Kuna plaanis oli ehitada rahulik sõiduvahend, siis kasutati toiteks 3.7 V elementidega akusid, kus elemente jadaühenduses on 6. Tegemist on levinud alampiiiriga käesoleva võimsusklassi mootoritel. Elementide pingetühjana on 3 V ning täislaetud olekus 4.2 V. Ent kuna kõik elemendid on veidi erinevate karakteristikutega, siis selleks, et vältida elementide liigset tühejenemist, tuleks minimaalseks elementide keskmiseks lubatud pingeks valida 3.5 V. [4] See tähendab, et kogu

süsteem toimis pingevahemikus 21-25.2 V. Maksimaalse pinge põhjal arvutati sõiduvahendi parameetrid ja minimaalse pinge põhjal kontrolliti süsteemi toimivust aku tühjenedu olekus.

Transpordisüsteemide puhul on tähtis arvestada massiga, mida vahend vedama hakkab. Käesoleva süsteemi puhul on tegu inimeste transpordiga. Maksimaalne lubatud kaal originaalsel sõiduvahendil on 100kg, mis võeti ka mooduli arendamisel arvesse. [5]

Rihmaratas peaks olema vähemalt 10 mm väiksema raadiusega kui sõiduvahendi ratas. Seda selleks, et sõiduteel asetsevad kivid hammasrihma ei kahjustaks. Lisaks tuli ka arvestada, et ratas ei ole alati maa suhtes täisnurga all. Seetõttu peaks hammasrihma rattad olema võimalikult kitsad, et vältida manööverdamisest tingitud rihmaratta kontakti maapinnaga.

Arvestades sõiduki iseärasusi pidi mootori valima piisavalt võimsa, et suudaks inimest vedada. Lisaks pidi see ka mahtuma sõiduki alla võimalikult kõrgele maast. Leiti, et suurim mootor, mis laua alla mahuks, on 50mm diameetriga. Nendest enamus olid kõrge Kv näitajaga ehk madala momendi ja kõrge pöörlemissagedusega. Kuna ülesanne võimaldab kasutada vaid üht mootorit, siis tuli see valida võimalikult kõrge momendiga, mis samas oleks veel võimeline saavutama maksimaalse lubatud kiiruse.

Kiirenduse kriteeriumit sõiduvahendile polnud vajalik panna, kuna vahendile peale astumise tehnikaga kaasneb ka hoo sisse lükkamine. See eemaldas vajaduse arvestada seisuhõõrdejõuga ja sellega kaasneva lisakoormusega süsteemile.

1.1.3 Lähteparameetrite välja arvutamine

Parameetrite arvutamisel lähtuti paika pandud piirangutest (Alapeatükk 1.1.2). Arvutused viidi läbi programmis MatLab. (Lisa 1)

Lähteandmed arvutuste teostamisel on järgnevad:

- Maksimaalne toitepinge $E_{Max} = 25.2V$
- Minimaalne toitepinge $E_{Min} = 21V$
- Mootori võimsus $P = 1000W$
- Juhi mass $m = 100kg$
- Sõiduvahendi mass $m_s = 5kg$
- Kiirus $v = 25km/h$

- Ratta diameeter $D = 0.072m$

Arvutuste tegemisel tuleb ka arvestada kadusid süsteemis. Järgnevad kasutegurid on vaid hinnangulised, mis põhinevad elektrirulade foorumites leitud postitustel.

- Sõiduki kasutegur $n_s = 0.75$
- Mootori kasutegur $n_m = 0.9$
- Rihma kasutegur $n_r = 0.9$

1.1.4 Mootor

Mootoriks valiti 5064 200 Kv mootor võimsusega 1,65 kW. [6] Mootorit, mille võimsus langeks lubatud piiridesse, ent täidaks kõik teised kriteeriumid ei olnud võimalik antud ajahetkel leida. Sellest tulenevalt ei ole sõiduk Eesti liiklusesse lubatud. Tulevikus on plaan siiski leida mootor, mis vastaks kõigile kriteeriumile, seega kõik arvutused tehti siiski eeldusel, et mootori võimsus on 1 kW ja käesoleval prototüübil piiratakse samuti võimsus.

Valitud mootori nurkkiirus arvutati kasutades valemist 1.1.1 [7] saadud mootori pöörlemiskiiruse kaudu:

$$RPM_M = Kv \cdot E_{Max} \cdot n_m \quad (1.1.1)$$

$$RPM_M = 200 \cdot 25.2 \cdot 0.9 = 4536$$

$$\omega_M = RPM_M \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \quad (1.1.2)$$

$$\omega_M = 4536 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} = 475 \frac{rad}{s}$$

Mootori moment arvutati kasutades valemit 1.1.3. [8]

$$M_m = \frac{P}{\omega_M} \quad (1.1.3)$$

$$M_m = \frac{1000}{475} = 2.1 N \cdot m$$

Siinkohal tuleb ka meele hoida, et mootori maksimaalne võimsus eraldub umbes poole maksimaalse kiiruse peal.

1.1.5 ESC

Võttes arvesse, et on vaja piirata nii võimsust kui ka kiirust, siis peaks kasutusele võtma VESC tüüpi ESC. Tegu on vabavaralise kontrolleriiga, mille lõi Benjamin Vedder. Erinevalt tavalisest ESC-st on sellega võimalik määrata laialdasel hulgal piiranguid süsteemile ja seadistada täpsemalt mootori käitumist erinevates situatsioonides.

Kontrolleritel on konstantne ja tipp-voolupiirang. Selleks, et valida sobiv ESC, mis kasutaks võimalikult hästi ära mootori potentsiaali, on tarvis arvutada mootori poolt tarbitav maksimaalne konstantne amprite hulk. Toiteallika pingeks valiti süsteemi minimaalne toitepinge.

$$I = \frac{P}{E_{Min}} \quad (1.1.4)$$
$$I = \frac{1000}{21} = 47.62A$$

Saadud tulemuste põhjal sobis süsteemi kõige paremini FSESC 4.12 50 A arvestades, et tegu on VESC süsteemil põhineva võrdlemisi odava lahendusega, mis on mõeldud ühe mootori kontrollimiseks. Parameetrite poolest on mootori maksimaalne konstantne voolu tarbimine 47.62 A, mis sobib valitud ESC konstantse nimivooluga. Ent kuna soovitatav on jätta varu, siis tuleb piirata ampreid minimaalselt 5A tagavaraga ehk 45A peale, mis ühtlasi piirab ka võimsuse 1 kW peale nagu ette nähtud.

1.1.6 Vastuvõtja ja pult

VESC aktsepteerib laialdasel hulgal erinevaid juhtsüsteeme alustades analoogist ja lõpetades USB-ga. Esmaslt oli plaanis luua Bluetooth mooduli ja ESC vaheline I2C ühendus ning kasutada juhtmevaba Nyko Kama [9] mängukonsooli pulti, kuid siis otsustati kasutusse võtta juba välja töötatud 2.4GHz lahendus Flipsky VX1, millega kaasnevad mugavused nagu akuindikaator, kiirus-sätted ja püsikiiruse hoidja. Valmis lahendus osutus mugavamaks ja ka odavamaks. Lisaks ei ole Bluetooth ühendus stabiilne.

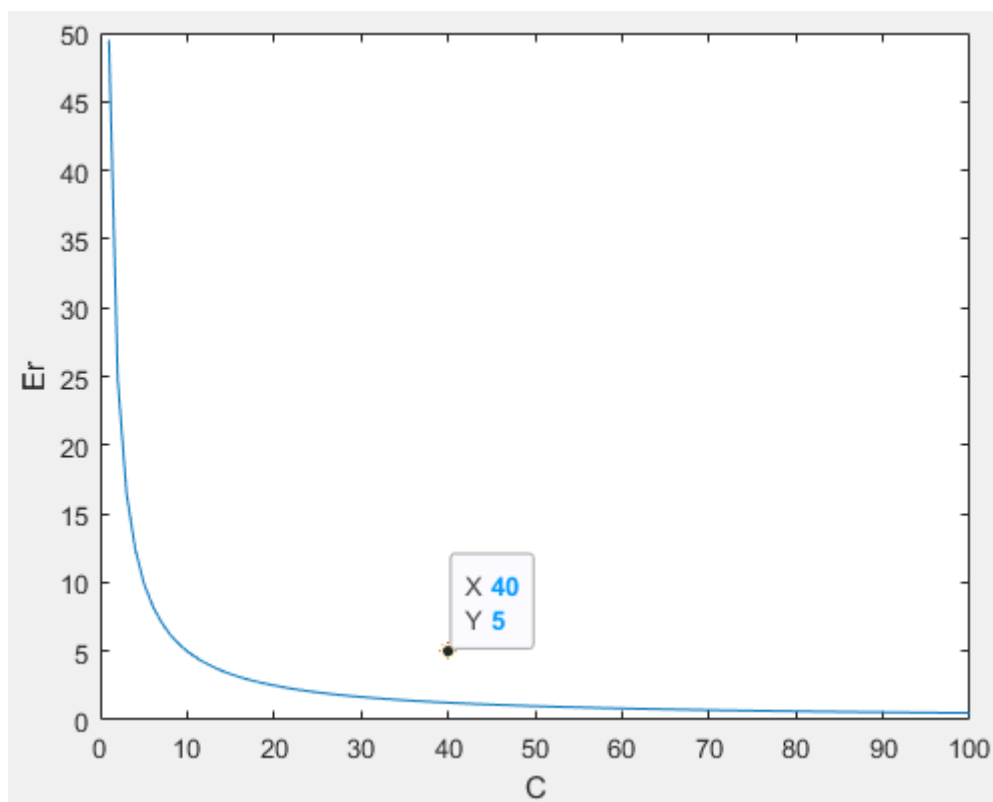
1.1.7 Aku

Aku tüübiks valiti Li-Po. Seda seetõttu, et neil akudel on väga hea massi ja mahutavuse suhe ning on ühtlasi ka võimelised kõrgeid ampreid väljastama. Akude puhul kui tootja pole spetsiifiliselt amprite nimiväärtust kirjutanud, on tüüpiliselt kirjas aku C-väärtus.

Kasutades seda väärtust on võimalik kontrollida kas akut on võimalik toiteallikana kasutada rakendades järgnevat võrratust [10]

$$I > C \cdot E_r \quad (1.1.5)$$

kus I on väljastatavad amprid, mille väärtuseks on käesoleva projekti puhul 50 A ja E_r (Ah) tähistab aku mahutavust. Saadi graafik (vt Joonis 3), millega on võimalik kontrollida kas aku sobib meie süsteemi. Otsingute tulemusel sai leitud hea pakkumine 5 Ah, 40 C akule, mille maksimaalne konstantne amprite väljastus on 200 A, mis on kordades rohkem kui oli tegelikult tarvis.



Joonis 3: Graafik kirjeldamaks aku valiku minimaalset piiri ja kus on ära märgitud valitud aku asetus skaalal.

1.1.8 BMS

Arvestades valitud komponentidega jõuti otsusele, et eraldi BMS süsteemi pole tarvis. Esiteks võimaldab VESC panna miinimimpingele limiidi, mis hoiaks ära aku kahjustumise liigse tühjendamise tõttu. Teiseks võimaldab valitud juhtimissüsteem kasutajal aku seisu mugavalt jälgida. Lahendada oli vaja vaid aku laadimise meetod. Jõuti lahenduseni, et akude laadimine toimub rulaväliselt. Tuli arvestada vaid sellega, et kasutatav aku oleks lihtsasti kättesaadav. BMS'i välja jätmine muudab süsteemi ka kompaktsemaks.

1.1.9 Lüliti

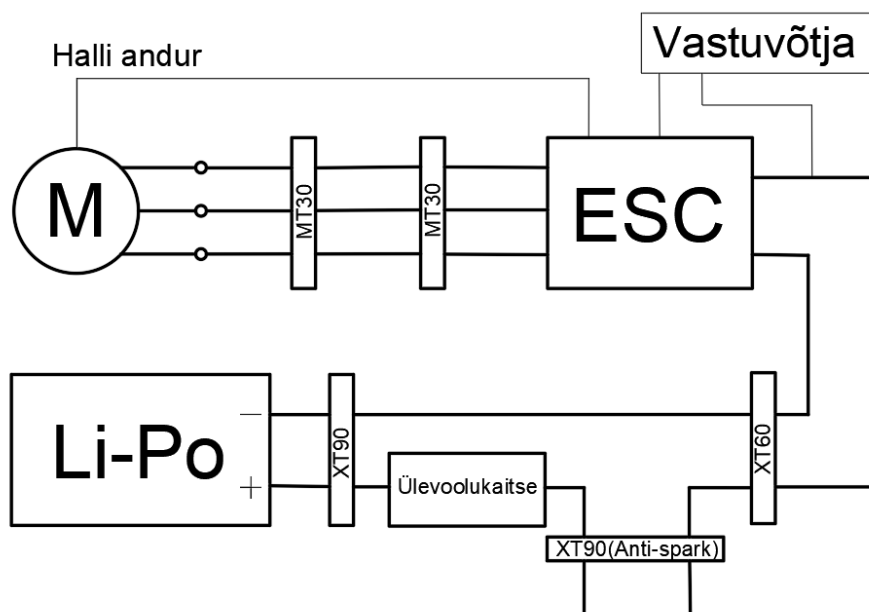
Kuna süsteemis on kasutusel nii kõrged amprid kui ka kõrgemad pinged, siis toitelülite valik sõidukile on piiratud. Otustati lahenduseks ehitada *loop key*, mis elektrirulade puhul on laialt levinud töökindluse ja lihtsuse tõttu. [11] Lahenduse probleem seisneb aga selles, et lülitis ei ole sädemevaba ja võib aja jookul rikkuda ühendusotsad ära või halvemal juhul kahjustada ESC moodulit. Probleemi on võimalik aga vältida kasutades takistit esmase kontakti loomisel. Üks sellistest ühendustest on XT90 Anti-Spark.

1.1.10 Ülevoolukaitse

Vältimaks akude lühistumist oli tarvis valida süsteemi ka ülevoolukaitse. Siinkohal tuleb meele pidada, et kaitsemehhanism ei tohi rakenduda seadme tavalise operatsiooni käigus. Seetõttu valiti 60A automaatkaitse.

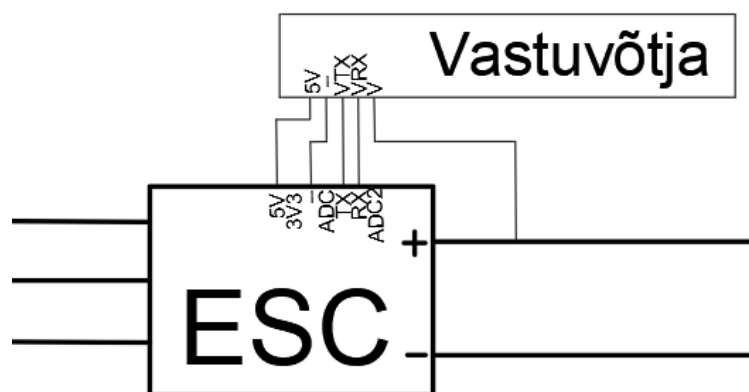
1.1.11 Ühendused ja juhtmestik

ESC ja Li-Po vahelsied ühendused loodi kõik kasutades 3.3 mm² juhet. [12] Lisaks on ahelas veel ülevoolukaitse, *loop key* ning XT60 ja XT90 ühendused. Mootori ja ESC vahelisteks ühendusteks kasutati 1.3 mm² juhet ning MT30 ühendusi. (vt Joonis 4)



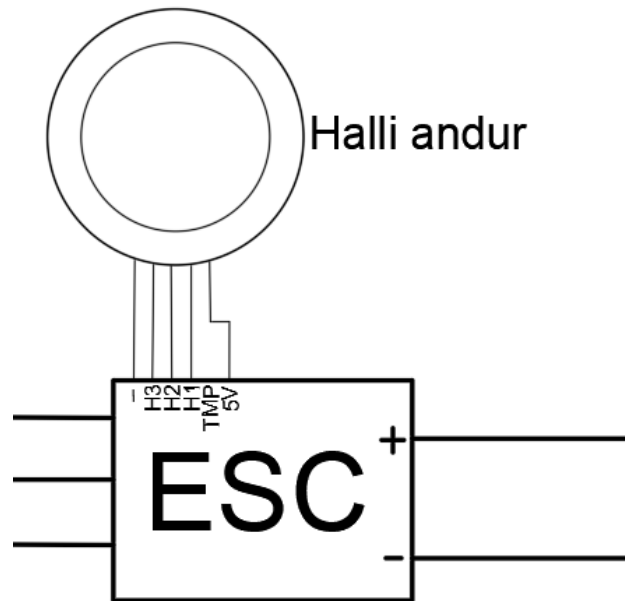
Joonis 4: Elektroonika ühendusskeem.

Vastuvõtjat oli võimalik ühendada ESC külge nii UART kui ka PPM meetodil, kuid lihtsuse pärast otsustati UART kasuks. Sellega kaasneb ka võimalus panna mootor tagurpidi sõitma, mis käesoleval seadmel pole tegelikult vajalik, ent võib siiski kuidagi kasulikuks osutuda. (vt Joonis 5)



Joonis 5: Vastuvõtja ja ESC vaheline ühendus.

Valitud mootorile oli sisse ehitatud ka halli andur, mis lihtsustab oluliselt maksimaalse kiiruse piiramist läbi VESC'i. ESC külge oli võimalik ühendada ka temperatuurianduri, kuid valitud mootoril temperatuuriandurit ei olnud. (vt Joonis 6)



Joonis 6: Halli anduri ja ESC vaheline ühendus.

1.2 Ülekanne

Ülekanne väärtuse arvutamiseks oli vajalik leida maksimaalne sõiduki ratta pöörlemissagedus. Selleks võeti ratta ümbermõõt ja jagati ajavahemikus vajaliku läbitava maa pikkusega.

$$c = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right) \quad (1.2.1)$$

$$c = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0.072}{2}\right) = 0.226m$$

Arvutame ülekande teguri kasutades vajaliku ratta pöörlemissageduse ja mootori maksimaalse pöörlemissageduse suhet.

$$RPM_r = \frac{v \cdot \frac{1000}{60}}{c} \quad (1.2.3)$$

$$RPM_r = \frac{25 \cdot \frac{1000}{60}}{0.226} = 1842$$

$$N = \frac{RPM_M}{RPM_r} \quad (1.2.4)$$

$$N = \frac{4536}{1842} = 2.46$$

Lähim sobiv ülekanne, mis leiti et süsteemile sobiks ette antud kriteerumitega (Alapeatükk 1.1.2) on 2.33, mis kasutab 12 hambaga ja 28 hambaga hammasrihmarattaid.

1.3 Uute karakteristikute arvutamine ja hindamine

Kasutades samu valemeid (Alapeatükk 1.1) ja lähteandmetes kiiruse asemel ülekande väärtusest $N = 2.33$ leiti täpsemad sõiduki karakteristikud ja kontrolliti ega mõni parameetritest lubatud piiridest ülekande muutumise tõttu ei välju. Arvutuste sooritamiseks kasutati MatLab programmi. (Lisa 2)

Nendes arvutustes lähtuti maksimaalse kiiruse asemel ülekandest

- Maksimaalne toitepinge $E_{Max} = 25.2V$
- Minimaalne toitepinge $E_{Min} = 21V$
- Mootori võimsus $P = 1000W$
- Juhi mass $m = 100kg$
- Sõiduvahendi mass $m_s = 5kg$
- Ratta diameeter $D = 0.072m$
- Ülekandesuhe $N = 2.33$

Kuna pöörlemiskiirus ja moment on pöördvõrdelised, siis oli võimalik arvutada ülekandest tulenev ratta moment:

$$M_r = M_m \cdot N \cdot n_r \quad (1.3.1)$$
$$M_r = 2.1 \cdot 2.33 \cdot 0.9 = 4.4 N \cdot m$$

Esmalt arvutati ratta pöörlemiskiirus, mis võimaldas tipp-kiiruse arvutamise:

$$RPM_r = \frac{RPM_m}{N} \quad (1.3.2)$$
$$RPM_r = \frac{4536}{2.33} = 1946.78$$
$$v = RPM_r \cdot c \cdot \frac{60}{1000} \quad (1.3.3)$$
$$v = 1946.78 \cdot 0.226 \cdot \frac{60}{1000} = 26.42 \frac{km}{h}$$

Tulenevalt väikesest muutusest üleminekus muutus ka maksimaalne kiirus suuremaks. Sellest jõuti järeldusele, et ka seda oli tarvis piirata.

Kiirenduse arvutamiseks oli eelnevalt vaja leida sõidukile ja juhile mõjuv jõud. [13]

$$F = \frac{M_r}{\frac{D}{2}} \quad (1.3.4)$$

$$F = \frac{4.4}{\frac{0.072}{2}} = 122.63 \text{ N}$$

Saame kiirenduseks:

$$a = \frac{F}{m + m_s} \cdot n_s \quad (1.3.5)$$

$$a = \frac{122.63}{100 + 5} \cdot 0.75 = 0.88 \frac{m}{s^2}$$

Arvutame aku energia mahutavuse Wh kasutades toiteallika keskmist pinget

$$Wh = \frac{E_{Min} + E_{Max}}{2} \cdot Er \quad (1.3.6)$$

$$Wh = \frac{21 + 25.2}{2} \cdot 5 = 115.5Wh$$

Arvutati hinnanguline sõidu kestus $t(h)$ eeldades, et keskmiselt tarbib moodul 5 A voolu.

$$I_{kesk} = 5A$$

$$t = \frac{Er}{I_{kesk}} \quad (1.3.7)$$

$$t = \frac{5}{5} = 1h$$

Arvutati maksimaalne tõusunurk, mida mööda sõiduk suudab konstantselt üles sõita tühjenenud akuga.

$$F = mg \cdot \sin\alpha \quad (1.3.8)$$

$$\alpha = \arcsin \frac{F}{(m + m_s) \cdot g}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{122.63}{(100 + 5) \cdot 9.8} = 6.84^\circ$$

Selleks et oleks mugavam võrrelda turul olevate seadmete ronimisvõimsusega, siis tuli kraadid arvutada ümber liikluses kasutatavasse protsendisüsteemi. [14]

$$S_{\%} = \tan(\alpha) \cdot 100 \quad (1.3.9)$$

$$S_{\%} = \tan(6.84^{\circ}) \cdot 100 \approx 12\%$$

Tuli ka arvutada sõidu kaugus. Järgnevas arvutuses valitud energia tarbimine on vaid hinnanguline väärtus, mis leiti elektrirulade foorumite põhjal.

$$E_{kulu} = 12 \frac{Wh}{km}$$

$$s = \frac{Wh}{E_{kulu}} \quad (1.3.10)$$

$$s = \frac{115.5}{12} = 9.63km$$

1.4 Konstruksiooni disain

3D mudelite ja koostude loomisel kasutati programmi SolidWorks ning jõusimulatsioone sooritati sellesse integreeritud keskkonnas.

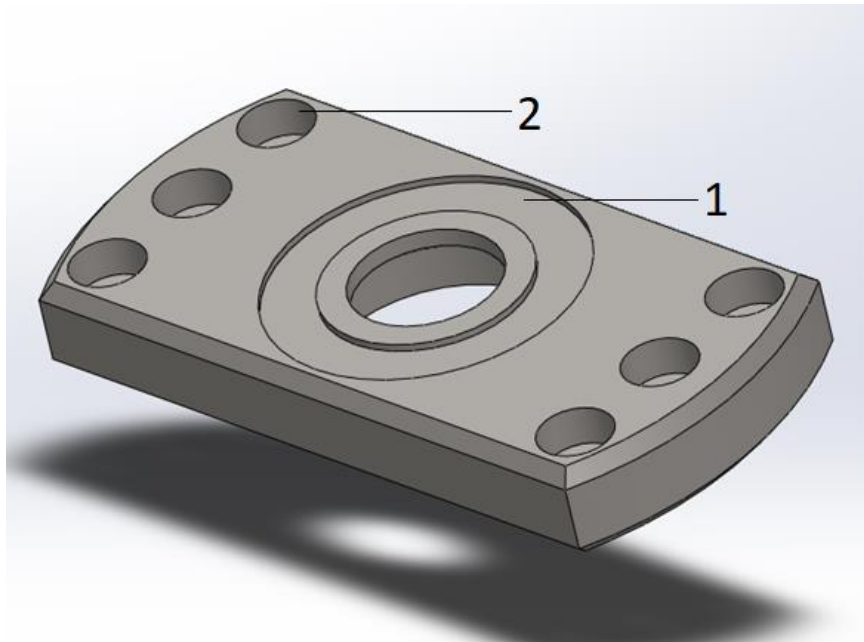
1.4.1 Laagri kinnitus

Kogu mooduli suurimat füüsilist jõudu taluv detail, mis on ühtlasi ka kogu disaini alustala.

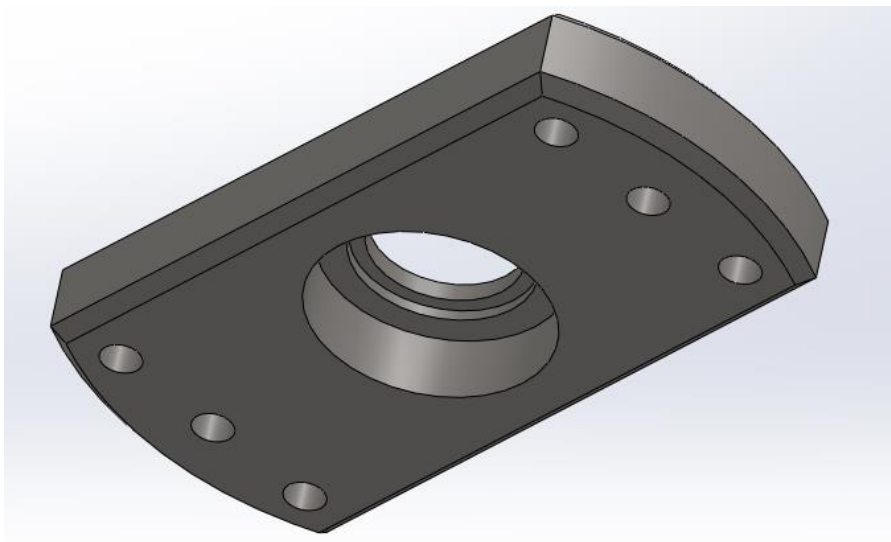
Tähtsamad osad detaili disainis on:

- Tugikuullaagri vagu, mis võimaldab sujuva pööramise. (vt Joonis 7)
- Radiaallaagri pesa, mis võimaldab laagri kasutuse, et pöörlemistelg oleks paigas. (vt Joonis 8)
- Mooduli raami kinnitusavad. (vt Joonis 7)

Originaalsel detailil oli näha, et laagri kuulid olid suurte jõudude tõttu detaili sisse sügavama vao surunud, sellest otustati õppida ja asendatav detail luua kõvemast materjalist. Selleks sai valitud roostevaba teras, kuna omab suurt kõvadust ning ilmastikukindlust. Tootmistehnikate hulgas kaaluti CNC tehnoloogiat, kuid odavamaks osutus tavalise freesikoja teenuse kasutamine.



Joonis 7: 1 - Tugikuullaagri vagu, 2 – mooduli raami kinnitusavad.



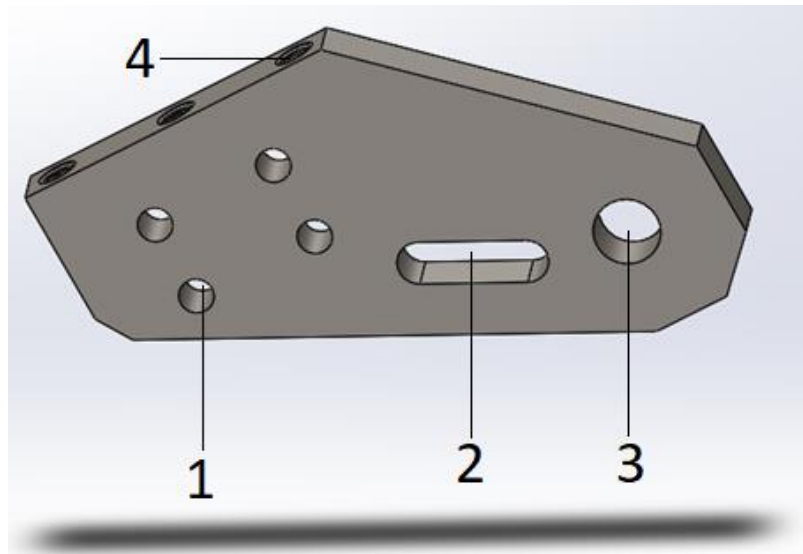
Joonis 8: Radiaallaagri ava.

1.4.2 Mooduli raam

Raam koosneb kahest identsest paralleelselt asetsevast detailist.

Kuna kogu koormus on jaotunud kahe detaili vahel ning ei esine juhtusid, kus raskus koondub ühte punkti, siis polnud kriitiline detaili suur kõvadus. Polnud vajalik kasutada terast, mis on ühtlasi ka raskem. Nende detailide puhul kasutati Alumec 7075 materjali. Tegemist on kerge, ent samas vastupidava materjaliga, mida kasutatakse tihti lennu- ja kosmosetööstuses. [15] Disainimisel

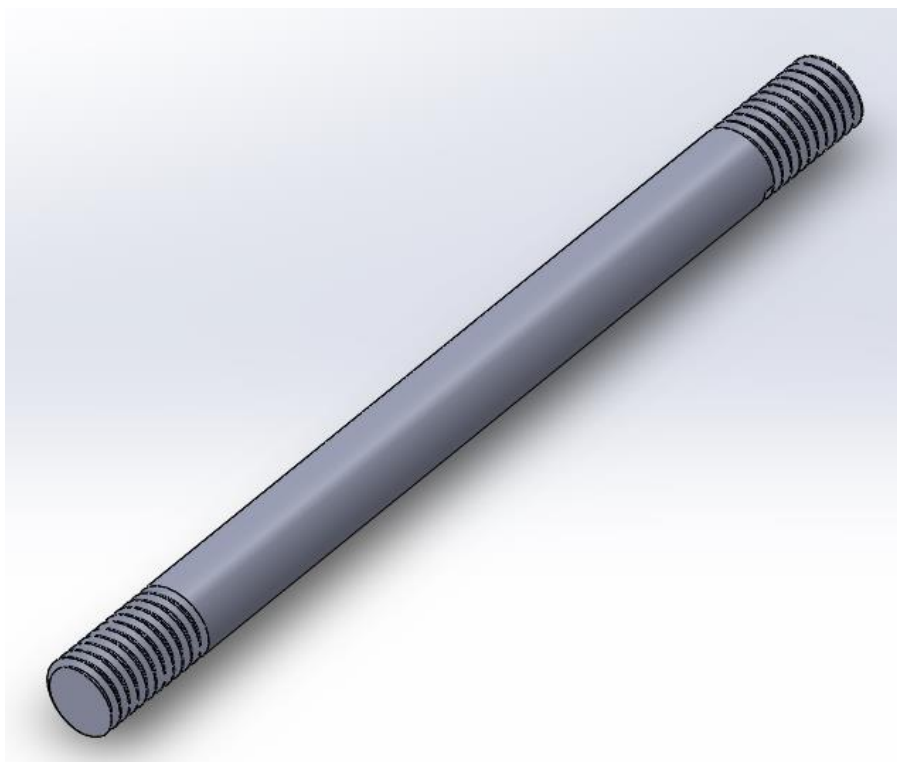
lähtuti originaalsetest väärtustest, mis mõõdetud otse sõidukilt. Samuti võeti arvesse ka tootmiskulud. (vt Joonis 9)



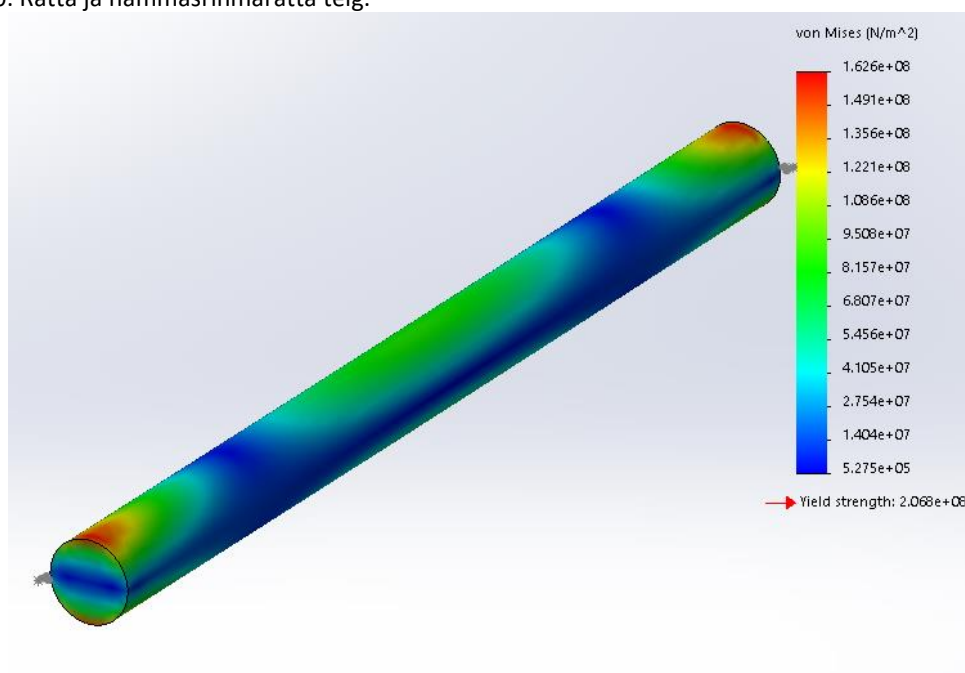
Joonis 9: 1 - avad juhtmete kinnitusteks ja tulevikus planeeritud energiaketi jaoks, 2 - ovaal mootori kõrguse reguleerimiseks, 3 - Ratta telje ava, 4 kinnitused casteri raami külge.

1.4.3 Telg

Detail, millele toetuvad ratas, mootori kinnitus ja hammasrihmaratas. Jämeduseks valiti 8mm läbimõõt, kuna see ühtib rattalaagrite sisemise ava diameetriga. Materjaliks valiti teras, kuna kogu jõud taandub uuesti keskpäika, kus asub ratas. (vt Joonis 10) Hetkel on tegu konstruktsiooni kõige nõrgema osaga, kuid teljele lisanduvad ratas, laager ja puksid aitavad teljele langevaid jõude vähendada toestades konstruktsiooni. Jõuarvutuste sooritamisel ei olnud võimalik keermeid kaasata, seega simulatsioonide teostamisel kasutati lihtsustatud disaini. (vt Joonis 11)



Joonis 10: Ratta ja hammasrihmaratta telg.

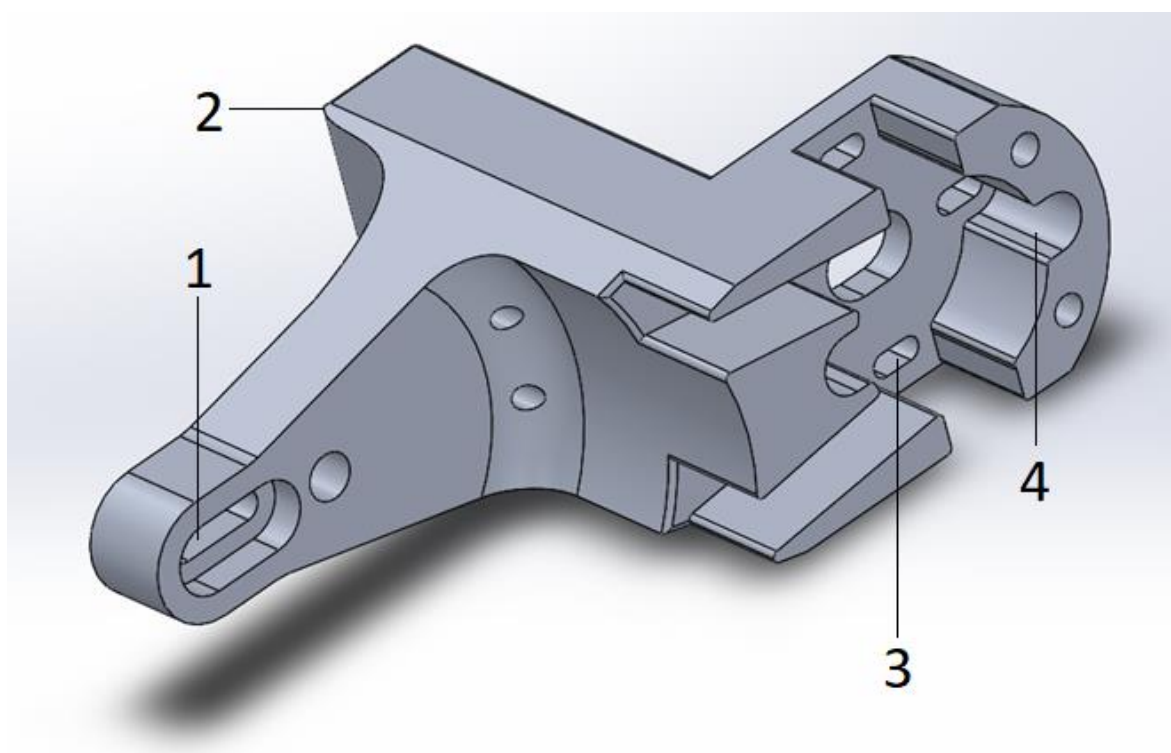


Joonis 11: Lihtsustatud telje jõusimulatsioon.

1.4.4 Mootori kinnitus

Mootori kinnitus on ülekandemehhanismi ja mootorit kaitsva disainiga. Rahaliselt ei tundunud mõistlik mootorikinnitus samuti eritellimusena välja freesida, kuna jõud, mida detailid taluma peavad, ei ole suur ning liikudes eemale mooduli pöörlemisteljest, on ka detaili kergus suurema

tähtsusega. (vt Joonis 12) Plekist painutamine oleks olnud rahaliselt mõistlik, ent esmalt uuriti kõige odavamad ja kergema kaaluga lahendust, milleks oli 3D-printimine. Uuritavaks materjaliks valiti ABS, kuna tegu on laialdaselt kasutatava, kõrgema sulamistemperatuuriga materjaliga, mis erinevalt laialdaselt kasutatavast materjalist PLA ei lagune keskkona mõjude tõttu. Põhjus, miks plastikuid SolidWorksi simulatsioonitarkvaras ei esine on, et tegu on isotroopsete materjalidega - seda eriti, kui kasutada 3D printimist detaili tootmismeetodina. Ning kuigi ABS on tarkvaras olemas ja simulatsioone on võimalik ka läbi viia, siis võib tulemusi vaadata kriitlise pilguga. Sellega arvestades prinditi detailid välja sellises orientatsioonis, et tekkivad kihid ristuksid jõududega, mis detailile mõjuma hakkavad.

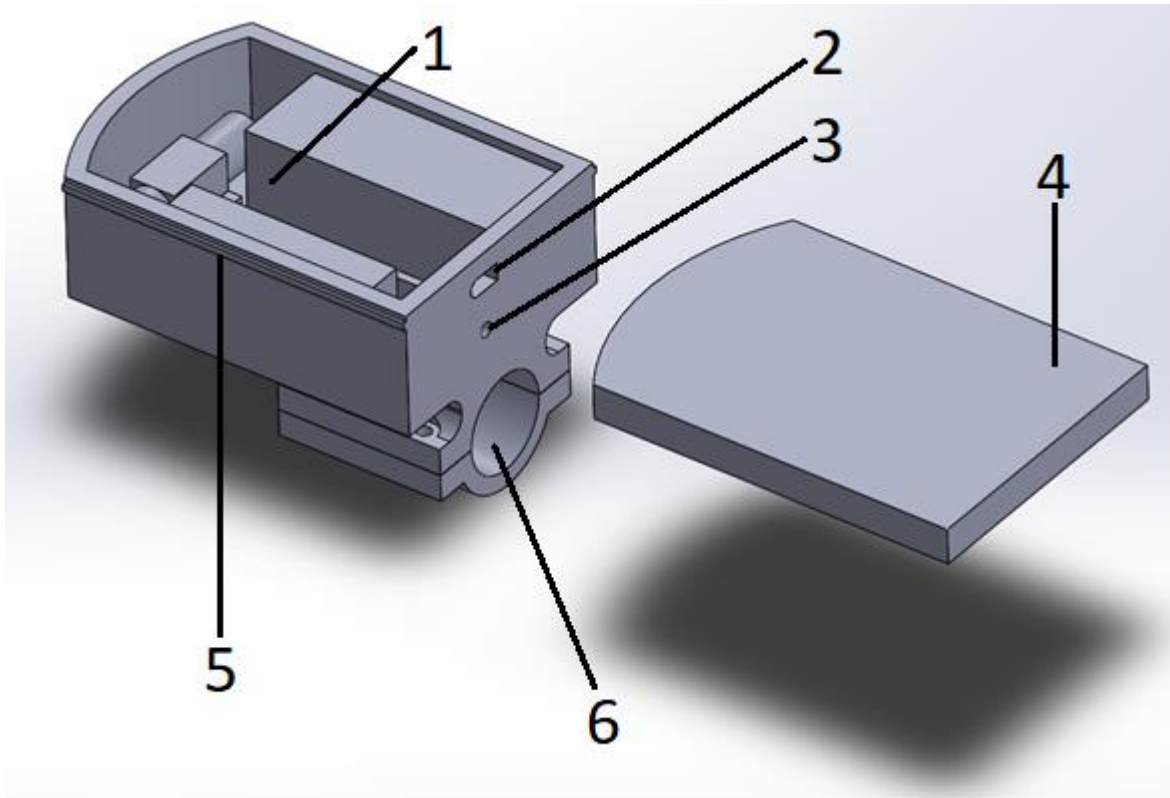


Joonis 12: 1 - ovaalne ava mootori kõrguse reguleerimiseks, 2 – Mootorit löögi eest kaitsev serv, 3 - ovaalsed mootorikinnitused rihma pingutamiseks. 4 – Rihma kaitsev vari.

1.4.5 Elektroonikakarp

Aluseks võetud sõiduvahendil pole palju ruumi, et kasutatavat elektroonikat lihtsal viisil laua külge kinnitada. Tuli välja töötada keerulisem lahendus, mis kasutab ära laua esimest ja tagumist poolt ühendavat lüli. Füüsilisel vaatlusel selgus, et lüli liigub kaasa laua tagumise poolega. See tähendas, et on võimalik luua karp, mis toetuks tagumisele poolele ning oleks kinnitatud keskmise lüli külge kasutades klambrit. Lisaks tehti karbile ava *loop key* sisestamiseks. Kuna BMS süsteemi moodulile

ei lisatud, siis karbile pidi olema hea ligipääs. Selleks disainiti karp peale libistatava kaanega, mille võimaldasid sooned karbil. Detailide tootmiseks kasutati 3D printimist ABS plastikuga. (vt Joonis 13)



Joonis 13: 1 – Elektroonika paigutus, 2 – Loop key ava, 3 – Mootori juhtmete ava, 4 – Elektroonikat kattev kaas, 5 – Karbi kaane soon, 6 – Kinnitus.

1.4.6 Hammasrihm ja rihmarattad

Rihma profiiliks valiti T5. See profiil on tuntud oma robustsuse ja hea haardevõime poolest. Seetõttu on võimalik kasutada ka kitsamat rihma. Valiku negatiivsed küljed on, et T5 profiilile on maksimaalseks soovitatavaks pöörete arvuks minutis 3600 ja minimaalne soovitatav hammaste arv hammasrihmarattal on 14.

Rihma pöörete arvu on lihtne arvutada kasutades rihmal olevate hammaste arvu [16] ja mootori küljes oleva rihmaratta pöörlemiskiirust ning hammaste arvu.

$$RPM_{rihm} = RPM_m / 12 \cdot 55 \quad (1.4.1)$$

Rihma pöörete arv jääb alla maksimumi, ent hammaste arv jääb alla soovitatava piiri. Liiga väikese rihmaratta kasutamine vähendab vähesel määral rihma eluiga. [17] Disaini koostamisel lepiti selle negatiivse küljega.

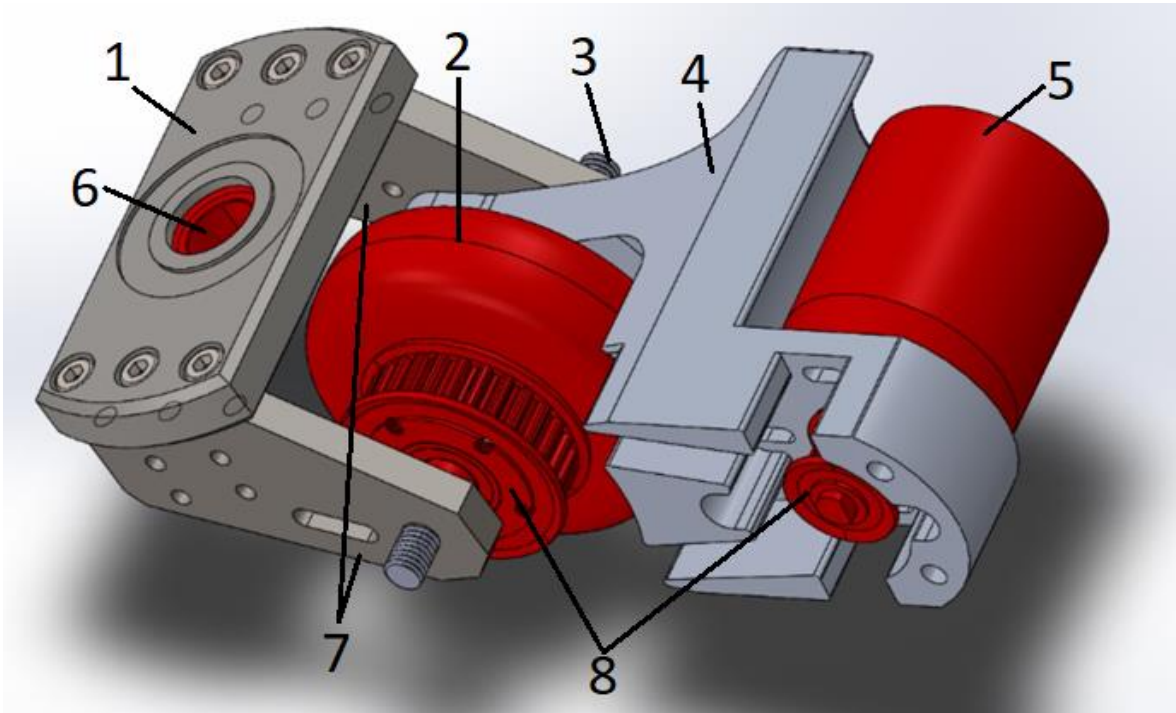
Rihmarattad vajasis lisatöötlust. Ratta külge kinnitamiseks oli tarvis detaili teha viis keermestatud ava, mis sobisid ratta disainis olevate avadega. Et ära hoida rihmaratta hüppamist oli vaja veenduda, et hammasrihmaratas ja sõiduki ratas asuvad samal teljel. Selleks vajas rattale kinnitatav rihmarattas laagreid, millega kindlustada telgede ühtivus ja samas võimaldada pöörlemine.

1.4.7 Detailide koost

Koost koosneb kaheksast põhidetailist, mille alla ei kuulu kõik poldid, mutrid, seibid, puksid. (vt Joonis 14)

Koostamisel on ette nähtud järgnev järjekord:

1. Ühendada terasest laagrikinnitus ja üks alumec raami detailidest.
2. Lisada telg.
3. Lisada mootori raam teljele ja korrigeerida selle kõrgust kasutades ovaalseid avasid.
4. Lisada kitsam puks teljele.
5. Ühendada mootor raami külge lõdvalt.
6. Lisada mootori teljele väike hammasrihmaratas.
7. Pingutada rihmaratta kinnituspoldid.
8. Ühendada omavahel ratas ja hammasrihmaratas ning lisada nad teljele.
9. Lisada rihm.
10. Lisada laiem puks teljele.
11. Ühendada teine alumec raami detail.
12. Pingutada telje poldid.
13. Pingutada rihm.
14. Lisada suurem laager terasest laagrikinnitusele.
15. Ühendada moodul sõiduki külge.



Joonis 14: 1 – Laagrikinnitus, 2 – Ratas ,3 - Telg, 4 – Mootori kinnitus, 5 - Mootor, 6 - Laager, 7 - Raam, 8 – Ülekanne .

2 MAJANDUSLIK ANALÜÜS

Eestis oli kõige lihtsam võrrelda süsteemi hinda e-poega Voltride. Võttes arvesse ehitatud süsteemi parameetrid, on kõige paremini võrreldav valmis lahendus elektrirula GPad Blade (vt Tabel 1), mille maksumus on poes käibemaksuga 599 eurot. (vt Tabel 2) [18]

Tabel 1: Võrdlus turul oleva lähima lahendusega.

	GPad Blade	Autori lahendus
Kaal	<i>6.5 kg</i>	<i>5 kg</i>
Tippkiirus (km/h)	<i>30</i>	<i>25</i>
Sõidukaugus (km)	<i>15</i>	<i>9.6</i>
Tõusunurk (%)	<i>15</i>	<i>12</i>
Kandevõime (kg)	<i>120</i>	<i>100</i>
Vedav ratas	<i>Kaksikvedu</i>	<i>Üksikvedu</i>
Mootori võimsus (W)	<i>2X350</i>	<i>1000</i>
Aku pinge (V)	<i>36</i>	<i>22.2</i>
Aku mautavus (Wh)	<i>144</i>	<i>115.5</i>
Aku tüüp	<i>Li-Po</i>	<i>Li-Po</i>
Kiiruse astmeid	<i>3</i>	<i>3</i>
Tagapidur	<i>Elektrooniline</i>	<i>Elektrooniline</i>
Tippkiirus (Piiratud, km/h)	<i>25</i>	<i>25</i>

Tabel 2: Detailide maksumus.

Kogus	Komponendi nimetus	Hind (€)	Asukoht
1	Mootor	51.76	Banggood
1	ESC	63.22	Banggood
1	Reciever/pult	37.37	Banggood
1	XT90 emane anti-spark	5.5	YE internatioonal
2	XT90 isane	5	Oomipood
2	MT30 paar	3.98	RC Planet
1	XT60 paar	2.5	RC Planet
1	12T Rihmaratas	3.92	Alas-Kuul
1	28T Rihmaratas	8.8	Alas-Kuul
3	608Z laager	4.25	Alas-Kuul
1	6002Z laager	1.76	Alas-Kuul
1	Hammasrihm	6.2	Alas-Kuul
1	Transport	3.19	Alas-Kuul
1	Teras latt	0.3	Metall24
1	Kaablid	8.39	ClayPitRC
1	Akulaadija	18.24	Hobbyking
1	Transport	13.25	Hobbyking
1	6S Li-Po aku	45.37	Hobbyking
1	Eritellimusdetailid	120	Freesikoda OÜ
1	Ripstik	80	
	Summa	483	

Nagu näha, siis ehitatud süsteemi hind on üpris mõistlik, seda eriti arvestades, et hetkel on tegu veel prototüübiga, mille detailid on ostetud väkestes kogustes või lausa eritellimusena. Ent kui sisse arvestada ka töötunnid, mis mooduli väljatöötamisel ja koostamisel kuluvad, siis peab käesolevaid mooduleid suuremal hulgal tootma, et vähendada disainimisele kulunud töötundide maksumust ühe mooduli kohta. Hetkel osutub süsteem liiga kalliks.

KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli võimaldada motoriseeritud liikumine sõidukil *caster board* kasutades ise disainitud lahendust lisamooduli kujul. Moodul ei tohiks oluliselt häirida manööverdamisvõimet.

Töö aluseks oli sobilike elektrooniliste komponentide leidmine ja nende omavaheliste ühenduste planeerimine ja teostamine. Valituks osutus 200 Kv mootor võimusega 1650 W. Tegu on mootoriga, mis ei ole ülemäära äkiline, ent samas on piisavalt võimsa momendiga, et inimest vedada. Kahjuks ei tohi valitud mootori tõttu sõidukiga eesti avalikel teedel sõita, kuna ületab 1 kW nimivõimsuse piiri, mis 2020. aasta suve algusest jõustub kergliikuritele. Mootori kontrolleri jaoks valiti VESC disainil põhineva FSESC 4.12 50 A oma laialdaste seadistusvõimaluste ja parameetrite tõttu. Kontrolleri abiga piirati mooduli võimsust, et tagada nii süsteemi stabiilne töö kui ka juhi ohutus. Juhtimissüsteemiks valiti Flipsky VX1, kuna omab mitmeid mugavaid võimalusi nagu püsikiirusehoidja, 3 erinevat kiiruse sätet ja aku indikaator. Kogu süsteem planeeriti pingega vahemikus 21-25.2 V. Valiti vastava pingega Li-Po aku, mis oli võimeline ka piisavalt voolu väljastama. Oluline oli ka lisada ülevoolukaitse, et ennetada ootamatute lühiste poolt tekitatud kahju. Süsteemile lisati ta toitelülitus *loop key* kujul.

Teine oluline teema antud töös oli detailide disain. Disainimisel lähtuti originaalparameetritest, mis mõõdeti otse sõiduvahendilt. Arvestati raskusjõududega, mida detailid peavad kannatama, ning materjalid valiti võimalusel kerged, et moodul manööverdamisvõimet häiriks võimalikult vähe.

Töö disainimise jooksul viidi läbi ka arvutusi sõiduvahendi karakteristikute leidmiseks. Saadud tulemusi võrreldi turul olevate seadmetega. Jõuti järelduseni, et ühe seadme tootmine ei ole kulunud kapitali ja aega väärt. Tootes aga seadmeid suuremal hulgal väheneks disainimise kulud ühe toote kohta.

Tulevikus on plaanis süsteemi veel edasi arendada. Enamus arendusest on plaanis läbi viia elektroonikakarbis. Plaanide kohaselt kaasneb ümber disainimisega USB pesa juhtimispuldi laadimiseks, jahutussüsteem stabiilsuse tagamiseks ja GPS moodul süsteemi vargakindlustamiseks. Need lisandused ühtlasi nõuavad ka BMS süsteemi, et vältida akude kahjustumist. Plaanis on optimiseerida karbi ruumi kasutust ning vahetada materjal välja mõne tugevama vastu. Lõpuks võiks karp olla veekindel ning võtmega avatav, et halbade kavatsustega inimesed GPS moodulile ega muule elektroonikale ligi ei pääseks.

Kokkuvõtteks sai moodul valmis disainitud mõningate mööndustega seoses mootori nimivõimuse ja akude laadimisega. Jäänud on vaid prototüübi testimine ja vastavalt tulemustele disaini modifitseerimine ja edasi arendmine.

SUMMARY

The aim of this work was to enable motorized movement for a caster board mobility device by designing an extra module for it. It was important that the module would not impact the freedom of movement in a significant way.

The work was based on finding suitable electronic components along with planning and implementing their interconnections. A 200 Kv engine with a power of 1650 W was chosen. It is an engine that doesn't have too sudden acceleration, but at the same time has enough power to haul a person. Unfortunately due to the selected engine, the vehicle may not be driven on public roads of Estonia since the selected motors rated power is over the allowed 1 kW limit that will be enforced in the summer of 2020. The FSESC 4.12 50 A, based on the VESC design, was chosen as the motor controller due to its wide range of settings and suitable parameters. With the help of the controller, the power of the module was limited to ensure both stable operation of the system and drivers safety. The Flipsky VX1 was chosen as the control system as it has a number of convenient features, such as cruise control, 3 different speed settings and a battery indicator. The entire system was designed for a voltage in the range of 21-25.2 V. A Li-Po battery with the appropriate voltage was selected, which was also capable of delivering sufficient current. It was also important to add overcurrent protection to prevent damage caused by unexpected short circuits. A power switch in the form of a loop key was added to the system.

Another important topic in this work was the design of custom parts. The design was based on the original parameters, which were measured directly from the vehicle. The forces of gravity that the parts must withstand were taken into account and the materials were chosen to be as light as possible so that the impact to the maneuverability would be kept to a minimum.

During the designing process, calculations were also performed to describe the characteristics of the vehicle. The results were compared with the devices on the market. It was concluded that the production of one device is not worth the capital and time invested. However, producing more of said modules would reduce design costs per product.

There are plans to further develop the system in the future. Most of the development is planned to be carried out in the electronics box. The plans include a redesign of the USB port to charge the RC controller, a cooling system to ensure stability, and a GPS module to protect the system from theft. These additions also require a BMS system to prevent damage to the batteries. The plan is to optimize the use of the box space and replace the material with a stronger one. Finally, the box

should be waterproof and unlockable only by key to prevent malicious people from accessing the GPS module and other electronics.

In conclusion, with a few compromises made concerning the power of the selected motor and battery charging, the system was designed and has entered the assembly phase. What remains is to test the prototype and modify the design according to the results while also further developing the module.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://carfox.ee/blog/sildade-reguleerimine-sillastendiga/>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [2] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.amazon.com/RipStik-G-Caster-Board/dp/B076VNFRZ6>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [3] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.rmp.ee/uudised/eelnoud/seadusemuudatus-jatab-elektritoukerattad-jalakaijate-keskkonda>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [4] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.cnydrones.org/lipo-batteries-and-safety-for-beginners/>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [5] [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.razor.com/wp-content/uploads/2018/07/RipStik_MAN_US_AUS_170315.pdf. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [6] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://m.racerstar.com/racerstar-5065-brh5065-200kv-6-12s-brushless-motor-without-gear-for-balancing-scooter-p-115.html>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [7] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://learningrc.com/motor-kv/>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [8] [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.ene.ttu.ee/leonardo/elektro_alused/8Elektrimasinad.pdf. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [9] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://nyko.com/products/nintendo-wii-wired-kama-assorted>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [10] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://oscarliang.com/lipo-battery-c-rating/>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [11] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://electricboardsolutions.com/blogs/building-an-esk8/diy-esk8>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [12] [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.powerstream.com/Wire_Size.htm. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [13] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.orientalmotor.com/technology/motor-sizing-calculations.html>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [14] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.hariduskeskus.ee/pracmath/est/1.html>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [15] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ssm.co.nz/products/category/9>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [16] Misumi, "Configurable Timing Pulleys and Timing Belts Catalog," [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://us.misumi-ec.com/us/CatalogRequest.html>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [17] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://sdp-si.com/resources/beltdesignsuggestions.php>. [Kasutatud 18. 05. 2020].
- [18] [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://voltride.com/et/elektrirula-gpad-blade/>. [Kasutatud 18. 05. 2020].

LISAD

Lisa 1 MatLab arvutused lähtudes kiirusest

```
clc
clear all

Toitepinge = linspace(21,25.2,2);
V6imsus=1000;
Ratta_Diameeter= 0.072;
S6iduki_kasutegur=0.75;
Mootori_kasutegur=0.9;
Rihma_kasutegur=0.9
Mass=100;
Kiirus= 25
KV=200;

%Mootori rpm leidmine
Mootori_rpm = KV.*Toitepinge.*Mootori_kasutegur
Mootori_rads = Mootori_rpm.*2.*pi./60;
Mootori_torque = (V6imsus./Mootori_rads) %1 seal juhul kui vaja arvutada
poole max kiiruse pealt parameetreid

%Ratta rpm
c=2*pi*(Ratta_Diameeter/2);
mmin=(Kiirus*1000)/60
Ratta_rpm=mmin/c

%?lekande arvutamine
N=Mootori_rpm./Ratta_rpm
```

Lisa 2 MatLab arvutused lähtudes ülekandest

```
clc
clear all

Emin=21 %V
Emax=25.2 %V
Toitepinge = linspace(Emin,Emax,2); %V
V6imsus=1000; %W
Ratta_Diameeter= 0.072; %m
S6iduki_kasutegur=0.75;
Mootori_kasutegur=0.9;
Rihma_kasutegur=0.9
Mass=100; %kg
KV=200; %rotatsioone voldi kohta
N=2.33
c=2*pi*(Ratta_Diameeter/2); %m
Ikesk = 5 %A
AkuAh = 5 %Ah

%Mootori rpm leidmine
Mootori_rpm = KV.*Toitepinge.*Mootori_kasutegur
Mootori_rads = Mootori_rpm.*2.*pi./60;
Mootori_torque = (V6imsus./Mootori_rads) %1 seal juhul kui vaja arvutada
poole max kiiruse pealt parameetreid

%?lekande arvutamine
Ratta_rpm=Mootori_rpm./N

%Ratta torque, kuna Torque ja RPM p??rdv?rdelised ?lekandes
Ratta_torque=Mootori_torque.*N.*Rihma_kasutegur

%Tulenev j?ud
Force=Ratta_torque./(Ratta_Diameeter/2)

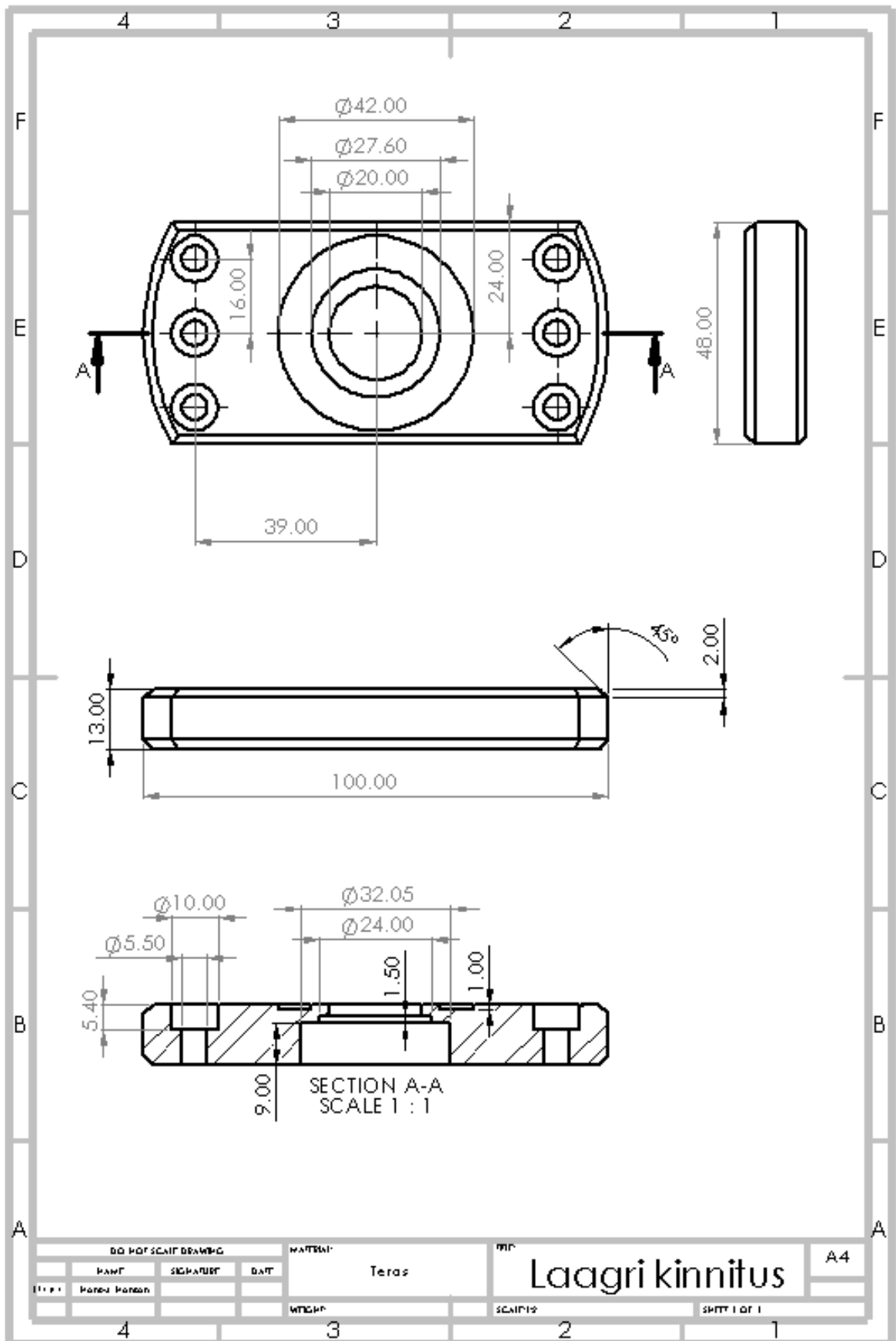
%kiirendus
Kiirendus=Force./(Mass+5).*S6iduki_kasutegur
mmin=Ratta_rpm*c
Kiirus=mmin./1000.*60

%Maksimaalne amprite kasutus ?steemis stabiilsel t??l.
Amprid=V6imsus./Toitepinge

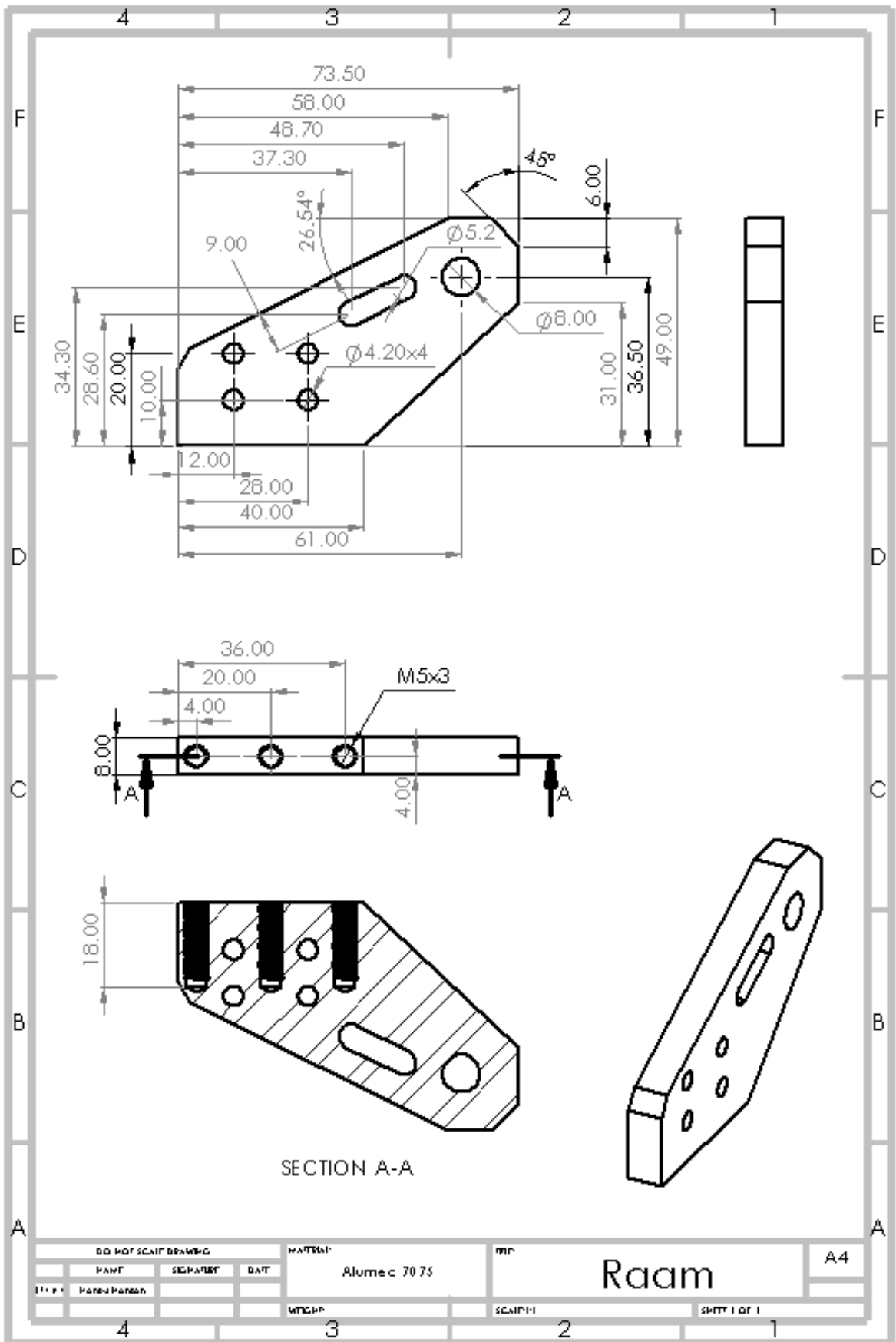
%rihma p??rlemiskiiruse arvutamine
Rihm_rpm=Mootori_rpm/12*55

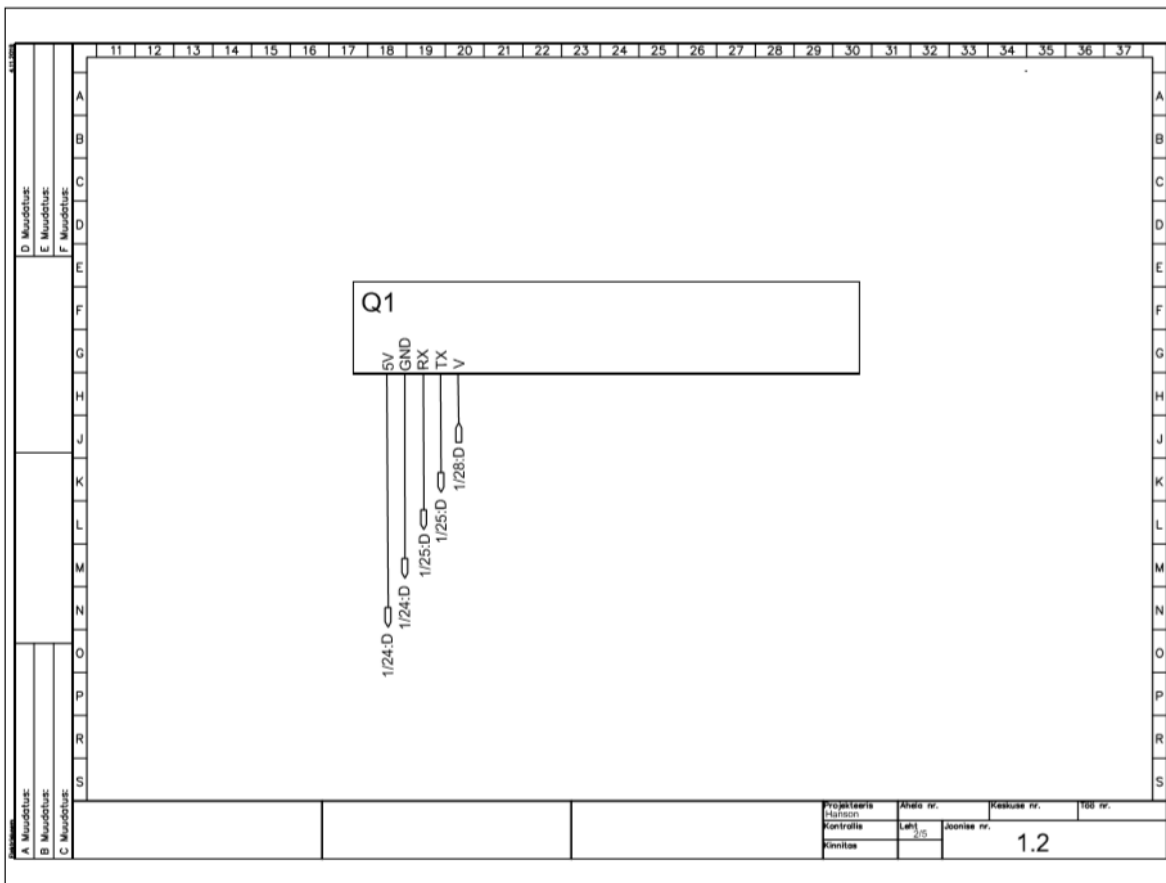
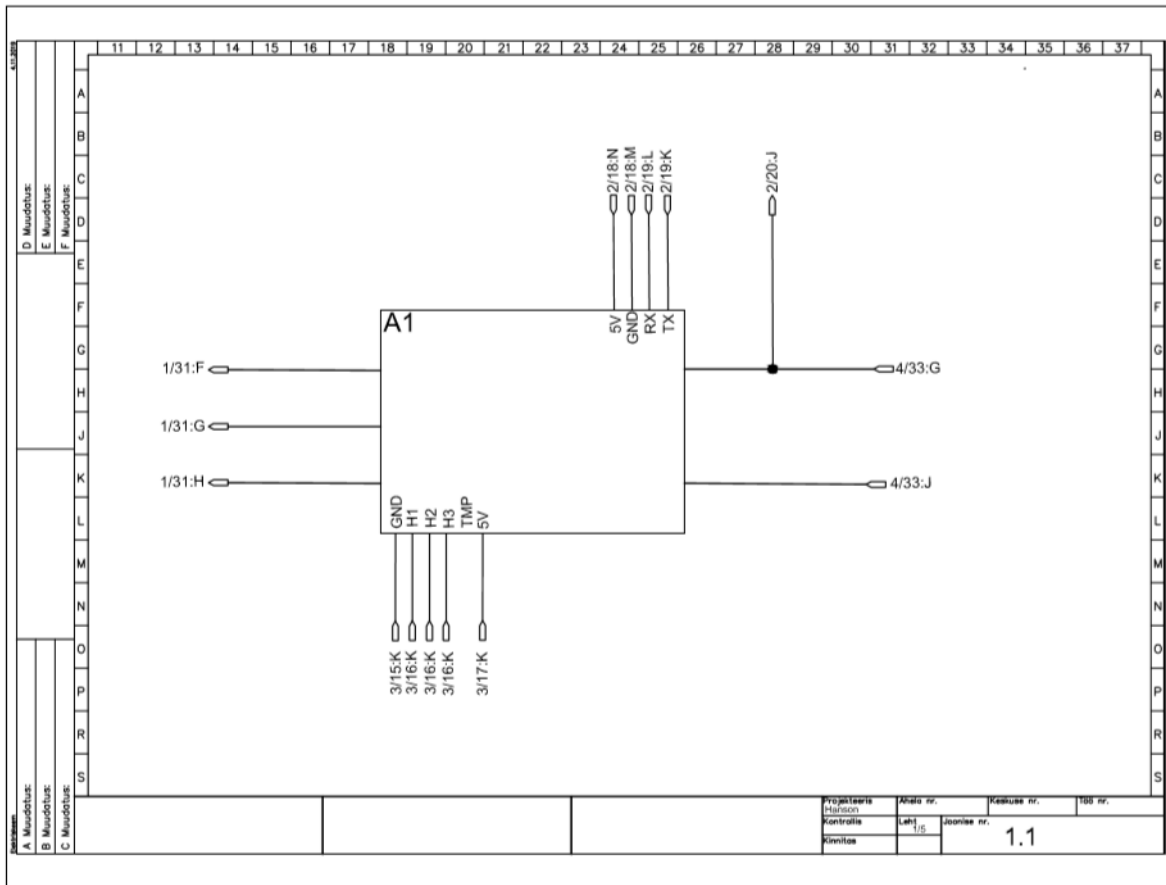
%aku mahutavus Wh
WH = (Emin+Emax)/2*AkuAh
%ennustatava s?idu aja arvutamine
Aeg = AkuAh/Ikesk

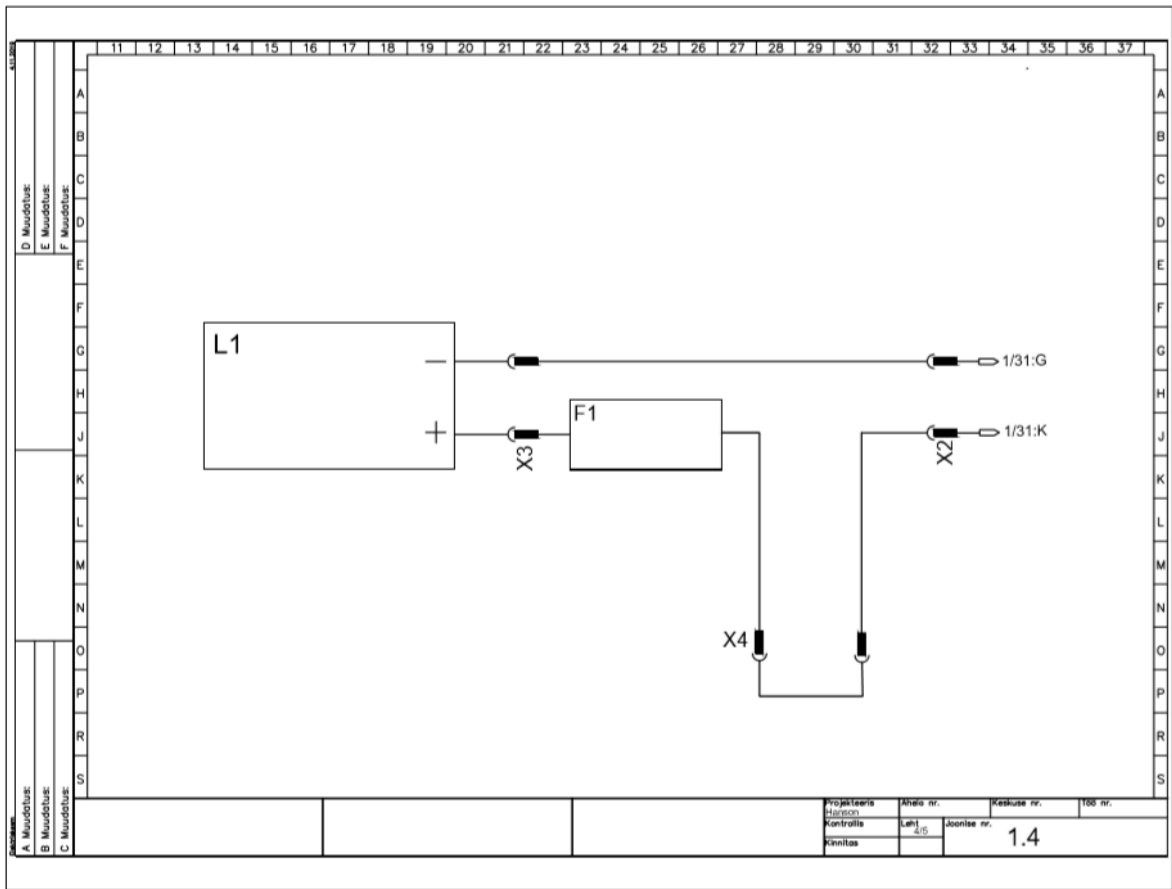
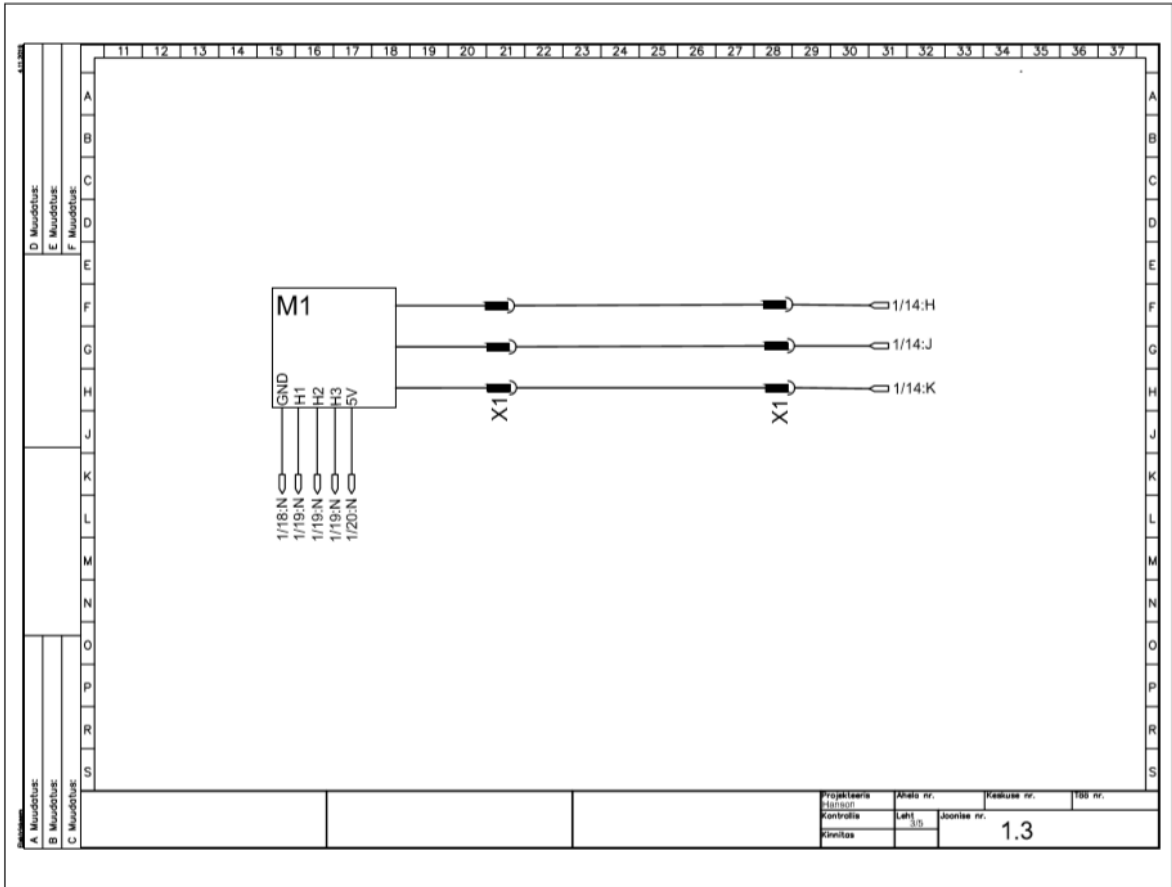
%maksimaalse t?usu arvutamine kraadides
t6us = (asin(Force./((Mass+5).*9.8)))*180/pi
%maksimaalne t?us protsentides
t6us_prots = tan(asin(Force./((Mass+5).*9.8)))
```

yo







		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
		TÄHIS	SEADE	TÜÜP	TOOTJA	JOONIS	TUNNUS	KOGUS	ALUMINE	MÄRKUSED																		
D Muudatus: E Muudatus: F Muudatus:	A	A1	ESC	FSESC 4.12 50A	Flipsky		1.1																					
	B	M1	Mootor	5055 200Kv	Racestar		1.3	1																				
	C	Q1	Vastuvõtja	VX1 2.4GHz	Flipsky		1.2	1																				
	D	L1	Li-Po	5Ah 40C	Turnigy		1.4	1																				
	E	F1	Ülevoolukaitse	60A	BLOW		1.4	1																				
	F	X1	Ühendus	MT 30A	Amass		1.3	2																				
	G	X2	Ühendus	XT 60A	Amass		1.4	1																				
	H	X3	Ühendus	XT 90A	Amass		1.4	1																				
	I	X4	Ühendus	XT 90A, Anti-spark	Amass		1.4	1																				
	J																											
K																												
L																												
M																												
N																												
O																												
P																												
Q																												
R																												
S																												
					Tükitabel		Projektoris Hakson		Alalis nr.		Keskuse nr.		168 nr.															
							Kontrollis		Leht		Joonise nr.		1.5															
							Kinnitas		D/S																			