



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**ELEKTRILISE VEOAJAMIGA TUGIRATAS SÕIDUAUTO  
HAAGISELE**

BAKALAUREUSETÖÖ  
MAHHATROONIKA ÕPPEKAVA

Üliõpilane: Allan Tuvikene

Üliõpilaskood: 112402 MAHB

Juhendaja: Ahti Põlder

2017

## AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Lõputöös kasutatud kõik teiste autorite tööd ja seisukohad ning materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Ahti Põlderi juhendamisel.

„.....“ .....2017 a.

Töö autor:

..... /allkiri/

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

„.....“ .....2017 a.

Juhendaja:

..... /allkiri/

Lubatud kaitsmisele

„.....“ ..... 2017 a.

..... õppekava lõputööde kaitsmiskomisjoni esimees: ..... /allkiri/

TTÜ inseneriteaduskond  
**BSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE**

2017 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Allan Tuvikene, 112402 MAHB

Õppekava: MAHB 02/09

Eriala: Mehhatroonika

Juhendaja: Ahti Põlder

**LÕPUTÖÖ TEEMA:**

(eesti keeles) Elektrilise veoajamiga tugiratas sõiduauto haagisele

(inglise keeles) Trailer jockey wheel with electric drive

**Töös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Olemasolevate lahendustega tutvumine, seadme nõutavad parameetrid ja väline disain.	31.03.2017
2.	Mehaanika ja ajamite projekteerimine, mehaanikakomponentide valik.	25.04.2017
3.	Elektroonikaskeemi disain ja paigutus.	02.05.2017
4.	Lõplikud joonised ja 3D mudel seadme valmistamiseks.	15.05.2017
5.	Vajalikud täiendused ning töö vormistamine.	20.05.2017

**Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:**

Projekteerida seade, mis lihtsustaks raskemate järelhaagiste haakimist sõidukitele ja haagise liigutamist ilma sõidukita. Seade peab sealjuures olema kompaktne, mugav kasutada, töökindel ja ohutu.

**Täiendavad märkused ja nõuded:**

**Töö keel:** Eesti keel

**Kaitsmistootlus esitada hiljemalt:** 25.05.2017

**Töö esitamise tähtaeg:** 25.05.2017

**Üliõpilane** Allan Tuvikene /allkiri/ .....

Kuupäev: 24.03.2017

**Juhendaja** Ahti Põlder /allkiri/ .....

Kuupäev: 24.03.2017

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

# SISUKORD

EESSÕNA.....	5
1. SISSEJUHATUS.....	6
2. TURU-UURING.....	8
3. NÕUDMISED PROJEKTEERITAVALE SEADMELE.....	11
3.1 Arvulised nõutavad parameetrid projekteeritavale seadmele.....	11
3.2 Nõuded seadme kasutusmugavusele.....	11
3.3 Ohutusnõuded.....	11
3.4 Nõuded seadme töökindlusele.....	12
4. SEADME MEHAANIKA.....	13
4.1 Seadme veoajam.....	13
4.1.1 Sobiva rehvi ja velje valik.....	13
4.1.2 Veomootori valik.....	14
4.1.3 Lõppastme reduktor.....	16
4.2 Seadme tõsteajam.....	22
4.2.1 Tõstemootori valik.....	22
4.2.2 Tõstemootori reduktor.....	23
4.3 Seadme juhthoob.....	26
4.4 Seadme juhtmoodul ja elektroonikamoodulite paigutus.....	27
5. SEADME ELEKTROONIKA JA JUHTAHELAD.....	29
5.1 Mõõtmiskatsed aku ja akutrelliga.....	29
5.2 Juhtelektroonika disain.....	33
5.2.1 Komponentide valik.....	39

6. Mikrokontrolleri programmikood .....	40
6.1 Programmikoodi ülesanded.....	40
6.1.1 Akupinge mõõtmine, led indikaatoril akuinfo kuvamine ja aku kaitselülitus.....	40
6.1.2 Akutemperatuuri mõõtmine ja aku termokaitse.....	40
6.1.3 Voolutugevuse mõõtmine jõuahelas.....	41
6.1.4 Veomootori juhtnupu väljundpinge mõõtmine ja mootorikontrolleri juhtimine PWM signaali ja pöörlemissuuna signalidega.....	41
6.1.5 Tõstemootori juhtnuppude signaali lugemine ja PWM signaaliga sujuvkäivitus.....	42
6.1.6 LED signaallambi juhtimine.....	42
KOKKUVÕTE.....	43
SUMMARY.....	44
KASUTATUD KIRJANDUS.....	45
LISAD.....	47
Lisa 1. Veomootori mõõtmed.....	47
Lisa 2. Nurkhammasrataste andmeleht.....	48
Lisa 3. Seadme elektriskeem.....	49
Lisa 4. Programmikoodi blokkdiagramm.....	50
Lisa 5. Projekteeritud seade haagise küljes.....	51

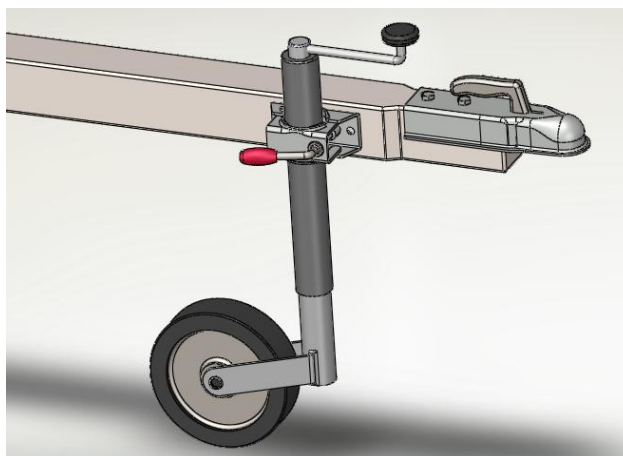
## EESSÕNA

Käesoleva bakalaureusetöö teema tulenes töö autori isiklikust vajadusest, lihtsustamaks 1200 kg täismassiga paadihaagise haakimist sõiduautole. Kuna haagist hoiustati üsna raskesti ligipääsetavas kohas, kuhu autoga juurde tagurdada oli väga keerukas, tuli haagist esmalt inimjõul ligikaudu 10 meetrit lükata. Antud haagise liigutamine ja autole haakimine nõudis 2-3 inimese jõupingutust. Kuna abikäsi ei olnud alati võtta ning antud tegevus oli ka üsna ohtlik haagise suure inertsiga ja maapinna kallaku tõttu, tekkiski idee projekteerida seade, mis võimaldaks haagist üksi ja ohutult liigutada. Töö on kirjutatud Tallinna Tehnikaülikooli Mehhatroonikainstituudis nooremteadur Ahti Põlderit juhendamisel.

# 1. SISSEJUHATUS

Antud bakalaureusetöö eesmärgiks on projekteerida seade, mis lihtsustaks raskemate järelhaagiste haakimist sõidukitele ja haagise liigutamist ilma sõidukita. Pahatihti ei ole kitsastes hoovides võimalik autoga alati haagisele juurde tagurdada ning haagis tuleb hoopis auto juurde lükata. Paraku muutub aga raskete haagise inimjõul lükkamine ja manööverdamine üpris vaevarikkaks, kui ka ohtlikuks. Näiteks 1200 kg täismassiga haagise ohutuks liigutamiseks ja haakimiseks oli tarvis 2-3 inimest. Probleem süveneb veelgi, kui maapind on pehme või toimub manööverdamine kallakul. Pehmel pinnasel kipuvad haagise rattad maapinda sisse vajuma ning haagist on seetõttu veelgi raskem lükata. Kallakul on aga suur oht, et haagis võib iseeneslikult veerema hakata ning vigastada sõidukit või lähedal asuvaid inimesi. Projekteeritava seadme eesmärgiks oleks lihtsustada haagise manööverdamist ja sõidukile haakimist sedavõrd, et sellega saaks üks inimene ilma suurema jõupingutusega hakkama. Lisaks peaks seade suurendama ohutust haagise manööverdamisel. Kuigi turul on saada mitmeid sarnaseid tooteid, siis kahjuks ükski neist ei vasta täielikult ootustele. Peamisteks puudusteks turul saadaolevatel lahendustel on elektrilise tõsteajami puudumine, mittereguleeritav liikumiskiirus ja eraldiseisva suure lisaaku vajadus.

Projekteeritav seade võiks väliskujult sarnaneda hetkel kasutuses oleva mehaanilise tugirattaga, mis kinnitub haagise tiisli küljele, jättes haagise veopea vabaks. Samuti võiks ka seadme kinnitusviis jääda samaks, kasutades standartset, 48 mm läbimõõduga klambrit.



Sele 1.1 Hetkel kasutuses olev mehaaniline tugiratas

Projekteeritav seade peaks suutma elektrimootorite abil haagist mõlemas suunas liigutada ning haagise tiisli tõsta ja langetada. Seadme pööramine võib toimuda käsitsi, juhthoova abil, kui see on on teostatav mõistliku jõuga. Seadme juhtimine peaks olema teostatav kasutades ühte kätt, jättes teise käre vabaks näiteks haagise veopea lukustamiseks.

Lisaks eeltoodule, peab olema tagatud ka seadme ohutus nii varale kui ka inimestele. Ohutu peab olema nii seadme mehaaniline konstruktsioon kui ka elektriabelad. Väljastatud peab olema haagise iseeneslik veeremine kallakul kui ka tiisli iseeneslik allavajumine vertikaalse koormuse mõjul. Seadme elektroonika peab kaitsma akusid ülekoormamise ja liigtühjenemise eest.

Seadme elektriabelate toiteks otsustati kasutada standartseid akutööriistadel kasutatavaid akusid. Antud seadme projekteerimisel võeti aluseks Metabo 18 v liitiumakud, kuna need olid juba olemas. Aku peaks kinnituma otse seadme külge ja olema lihtsasti eemaldatav laadimiseks. Akutööriistade akusid otsustati kasutada eelkõige sellepärast, et need on üsna suure mahtuvusega, universaalsed ning neid on lihtne laadida ja vahetada. Seadmel peaks olema ka akuindikaator, mis kuvaks kasutajale infot aku jääklaengu kohta, võimaldamaks kasutajal õigeaegselt aku välja vahetada.



Sele 1.2 Erineva mahtuvusega Metabo 18v liitiumakud [1]

Antud seade on plaanis valmistada prototüübina üksikkorras. Kogu seadme disain lähtub sellest, et enamik detaile oleks lihtsalt treitavad, freesitavad ja keevitatavad. Kindlasti on antud disaini realiseerimine majanduslikult oluliselt kulukam, kui enamik turul saadaolevaid lahendusi. Prototüübi puhul pole aga projekti maksumus siiski niivõrd oluline. Kuna hinnakalkulatsioonide tegemine on üsna keerukas, siis majanduslikke aspekte antud töös ei käsitleta. Kui sarnase funktsionaalsusega toodet toota masstootmises, oleks selle tootmiskulu kordases väiksem. Seadme mehaanika projekteerimisel on kasutatud Solidworks modelleerimistarkvara. Elektriskeemide koostamiseks on kasutatud programmi Fritzing. Programmikoodi blokkdiagramm on koostatud veebirakenduses draw.io.



## 2. TURU-UURING

Et koguda ideid seadme projekteerimiseks ja lihtsustada prototüübi väljatöötamist, uuriti erinevaid turul saadaolevaid sarnaseid tooteid ja lahendusi ning nende parameetreid. Välja on toodud nende peamised eelised ja puudused. Antud ülevaates võrreldakse ainult neid pakutavaid lahendusi, mis kinnituvad otse haagise tiisli küljele. Haagise veopea sisse kuulliigendiga kinnituvad seadmed ei võimalda haagist kohe auto taha kinnitada, vaid eeldavad enne seadme eemaldamist, seega antud ülevaates neid ei käsitleta. Sellised seadmed on suuremad, raskemad ja võimsamad ning mõeldud pigem haagiste ja vagunelamute liigutamiseks suuremal alal või laoplatsil.



Sele 2.1 Kuulliigendiga haagise veopea sisse kinnituv seade [2]

Välja on toodud kolm turul saadaolevat haagise tiisli küljele kinnituvat lahendust, mis on projekteeritavale seadmele kõige ligilähedasema konstruktsiooni ja funktsionaalsusega:

- **Trailer Valet 5X** – USAs toodetud mehaanilise ajamiga tugiratas. [3]
- **Maxi-Pro Mini Mover Gen2 - NVYC500G** – Austraalias toodetud elektrilise veoajamiga tugiratas. [4]
- **OPTITEC V2+ WIRELESS** – Austraalias toodetud elektrilise veoajami ja juhtmevaba kaugjuhtimisega tugiratas.[5]



Sele 2.2 Trailer valet 5x [3]



Sele 2.3 Maxi-Pro Mini Mover Gen 2 [4]



Sele 2.4 OPTITEC V2+ [5]

Tabel 2.1 Turul saadaolevate lahenduste võrdlus

Tootenimi	Trailer Valet 5X	Maxi-Pro Mini Mover Gen2	OPTITEC V2+ WIRELESS
Tootjamaa	USA	Austraalia	Austraalia
Hind (eur)	308	262	1460
Maksimaalne haagise mass (kg)	2267	2722	3500
Maksimaalne vertikaalne koormus (kg)	226	498	350
Liikumiskiirus	-	7 m/min (0,117 m/s)	8 m/min (0,133 m/s)
Mootori võimsus (W)	-	550	720
Mõõtmed (m)	0,76*0,45*0,19	0,78*0,4*0,3	0,76*0,33*0,22
Mass (kg)	23	17 (ilma akuta)	22 (ilma akuta)
funktsionaalsus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vändaga mehaaniline veoajam</li> <li>• Vändaga mehaaniline tõsteajam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektriline veoajam</li> <li>• Vändaga mehaaniline tõstajam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektriline veoajam</li> <li>• Vändaga mehaaniline tõstajam</li> <li>• Puldiga kaugjuhitav</li> </ul>

	<b>Trailer Valet 5X</b>	<b>Maxi-Pro Mini Mover Gen2</b>	<b>OPTITEC V2+ WIRELESS</b>
<b>Peamised puudused</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puuduvad elektriajamid. Nii tõstmine kui ka liikumine toimuvad käsitsi vändaga.</li> <li>• Ehituselt suur ja kohmakas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puudub vertikaalsuunaline elektriajam. Tiisli tõstmine ja langetamine toimub käsitsi vändaga.</li> <li>• Vajab eraldiseisvat akut töötamiseks.</li> <li>• Liikumiskiirus pole reguleeritav.</li> <li>• Liikumiskiirus on üsna aeglane.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puudub vertikaalsuunaline elektriajam. Tiisli tõstmine ja langetamine toimub käsitsi vändaga.</li> <li>• Vajab eraldiseisvat akut töötamiseks.</li> <li>• Liikumiskiirus pole reguleeritav.</li> </ul>

#### **Oluliseimad puudused turul saadaolevatel seadmetel:**

- 1. Puudub kompaktne toiteallikas.** Kõik elektrilised lahendused kasutavad toiteallikana suurt ja rasket pliiaikut, mis ühendatakse jämeda vaskkaabliga seadme külge. Sobiva aku mass on umbes 10 kg ja see kinnitatakse üldjuhul haagise tiislile. Aku laadimine eeldab selle emaldamist haagiselt, või siis tuleb tuua akulaadija haagise juurde. Seega on nii aku laadimine kui ka seadme eemaldamine haagise küljest keerukas ja aeganõudev.
- 2. Puudub vertikaalne elektriline tõsteajam.** Ühelgi ülaltoodud seadmetel pole elektrilist tõsteajamit ning haagise tiisli tõstmine ja langetamine toimub käsitsi vändaga. Elektriajam lihtsustaks oluliselt seadme kasutamist ja oleks ühtlasi ka märksa kiirem.

### **3. NÕUDMISED PROJEKTEERITAVALE SEADMELE**

Et alustada seadme projekteerimist, oli tarvis paika panna parameetrid ja nõudmised, millele seade peab vastama. Kogu seadme konstruktsioon ja komponentide valik lähtub suuresti nendest parameetritest. Arvuliste parameetrite määramisel võeti aluseks turul saadaolevate seadmete parameetrid ja hetkel kasutuses oleva mehaanilise tugiratta mõõdud.

#### **3.1 Arvulised nõutavad parameetrid projekteeritavale seadmele**

- Vertikaalse liikumise käik minimaalselt 180 mm (0,18 m).
- Liikumiskiirus vähemalt 10 m/min (0,17 m/s).
- Vertikaalne tõstekiirus minimaalselt 10 mm/s (0,01 m/s).
- Vertikaalsuunaline koormustaluvus ja tõstevõime vähemalt 150 kg.
- Aku kestvus vähemalt 50 meetri läbimiseks.
- Suudab liigutada haagist massiga 1500 kg.
- Ratta pöördnurk mõlemas suunas vähemalt 90 kraadi.
- Mass kuni 25 kg.

Lisaks ülaltoodud parameetritele peab projekteeritav seade vastama ka mitmetele ohutus ja töökindlus nõuetele. Samuti on väga oluline seadme kasutusmugavus.

#### **3.2 Nõuded seadme kasutusmugavusele**

- Seadet peab olema võimalik kiiresti ning tööriistu kasutamata haagise küljest eemaldada.
- Seadmega opereerimiseks peab piisama ühest inimesest, kasutamata oluliselt füüsilist jõudu.

#### **3.3 Ohutusnõuded:**

- Seade peab olema varustatud piduriga, või projekteeritud sel viisil, et oleks välistatud haagise iseeneslik liikuma hakkamine kallakul.
- Seadme konstruktsioon peab olema projekteeritud piisava tugevusvaruga, et seade ei puruneks koormuse all.
- Seadmel ei tohiks olla kergesti purunevaid detaile, mida on lihtne seadme kasutamise käigus vigastada.
- Seadme elektriahelad peavad olema isoleeritud.

### 3.4 Nõuded seadme töökindlusele

- Jõuelektronikal ja mootoritel peab olema tagatud piisav jahutus, et seade kasutamise käigus üle ei kuumeneks.
- Seade peab olema varustatud aku jälgimis ja kaitseahelatega, et ei väheneks akude loomulik eluiga.
- Seadme välised metallpinnad peavad olema korrosioonikindlad või kaetud korrosioonivastase kattekihiga.
- Seadme liikuvad sõlmed peavad olema piisavalt määratud ja kaitstud välismõjude eest, et nende kulumine oleks minimaalne.
- Seadme elektriahelad peavad olema kaitstud niiskuse ja teiste välismõjude eest. Seade peaks vastama IP54 tolmu ja niiskuskindlus klassile. See tähendab seda, et seade on kaitstud tavalolmu vastu ja veepritsmete vastu igast suunast.[6]

## 4. SEADME MEHAANIKA

### 4.1 Seadme veoajam

#### 4.1.1 Sobiva rehvi ja velje valik

Kuna veoratta gabariitidest sõltub ka paljude teiste sõlmede konstruktsioon, komponentide valik ja mõõtmed, siis alustati seadme veoajami projekteerimist sobiva rehvi ja velje valimisega. Spetsiaalselt sobivat ratast seadme prototüübile on üksikkorras üsna keeruline ja kulukas valmistada, seega püüti sobivat ratast valida standard ostutoodete hulgast. Kui on teada veoratta läbimõõt, laius ja veljeavade mõõtmed, saab panna paika ka ülejäänud komponentide mõõtmed. Näiteks valida välja sobiva veomootori ja arvutada välja reduktori ülekandesuhte.

Hetkel kasutuses oleva lihtsa mehaanilise tugiratta ratta välisläbimõõt on 200 mm ja laius 50 mm. Ratas on terasveljega ja valmistatud täiskummist. Kuna ratas pole vedav, siis on tema radiaalpind üsna sile, vaid üksikute pikisuunaliste soontega. Et projekteeritav seade peab suutma liigutada üpris rasket haagist, on sel puhul ratta ja maapinna vaheline haardumine ülioluline. Et suurendada ratta kontaktpinda ja haarduvust, peaks ratas olema võimalikult lai. Samuti võiks rehvimuster olla kõrgem ja jämedam. Suurem kontaktpind ja jämedam muster tuleb eriti kasuks just pehmemal pinnasel, kus kitsas ja sile rehvi kipub maapinda sisse vajuma ja oma veojõu kaotama. Tulenevalt projekteeritava seadme konstruktsioonist, võiks ratta välisläbimõõt olla võimalikult sarnane hetkel kasutusel oleva ratta välisläbimõõduga (200 mm). Kui ratta välisläbimõõt on liiga suur, ei pruugi see koos kinnituskonstruktsioonidega ära mahtuda haagise tiisli aluspinnale ja maapinna vahele. Seetõttu ei saa haagise veopead sõidukile haakimisel piisavalt madalale langetada. Liiga väikse läbimõõduga ratas omab jällegi väiksemat kontaktpinda ja kipub lihtsamalt pehmele pinnasele sisse vajuma ja veojõudu kaotama.

Sobiv rehvi valiti **Starco** kataloogist [7], mille edasimüüjaks Eestis on Bohnenkamp OÜ, kes on just spetsialiseerunud tööstusrehvide ja rataste müügile. Et sobiv ratas peab olema läbimõõdult üsna väike, oli valik kahjuks üsna kitsas. Kataloogist valiti välja kõige laiem rehvi, mille välisläbimõõt jääks alla 250 mm.

Sobivaimaks osutus väiketehnikale mõeldud mururehvi **Kenda K372**.



Sele 4.1 Rehvi kenda K372[8]

## Kenda **K372** Rehvi parameetrid:

Tabel 4.1 Rehvi Kenda K372 parameetrid[8]

Välisläbimõõt	229 mm
Laius	94 mm
Velje mõõt	2,1*4 tolli (54*102 mm)
Maksimaalkiirus	16 km/h (4,4 m/s)

### Velje valik:

Kuna seda tüüpi rehvi kasutavad rattad pole üldjuhul vedavad, on ka sellele rehville mõeldud veljed sisseehitatud laagripuki tõttu antud rakendusse sobimatud, sest veljel puuduvad veojõu edasiandmiseks vajalikud poldiavad. Üldjuhul on need sisseehitatud laagripukiga veljed ka üsna nõrgad ja tihtipeale ka plastikust valmistatud. Sobiva läbimõõdu, laiuse ja kinnitusviisiga velg leiti hoopis kartidele mõeldud velgede seast. [9] Antud velg on kaheosaline, omab ümmargust keskava ja nelja auku kinnituspoltide jaoks.

Sobivaks osutus velg: **377 Go Kart Split Rim for a 4 inch tire**



Sele 4.2 Valitud Velg [9]

### 4.1.2 Veomootori valik

Sobiva veomootori valimisel lähtuti eelkõige mootori võimsusest, sisendpingest, kabariitidest ja soodsast hinnast. Mootori sisendpinge tulenes kasutatava aku väljundpingest. Mootori vajaliku võimsuse määramisel lähtuti turul saadaolevate seadmete võimsusest ja haagise massist, mida nad liigutada suudavad. Veomootori umbkaudse vajaliku võimsuse määramine toimus seadme OPTITEC V2+ parameetrite põhjal (Valem 4.1 ja 4.2). Et projekteeritav seade peab suutma liigutada oluliselt kergemat haagist, kui antud turul saadaolev seade, võib ka veomootori võimsus olla oluliselt väiksem. Samas kui tõsta seadme kiirust, siis peab olema mootori võimsus jällegi mõnevõrra suurem. Et liigutatav mass, liikumiskiirus ja vajalik võimsus on üksteisesst üsna lineaarselt sõltuvad, saab alltoodud parameetrite põhjal arvutada välja umbkaudse vajaliku võimsuse.

Tabel 4.2 OPTITEC V2+ võimsusparameetrid [5]

Seadme nimi	OPTITEC V2+
Liikumiskiirus	8 m/min (0,133 m/s)
Haagise maksimaalne mass	3500 kg
Seadme võimsus	720 W

Tabel 4.3 Projekteeritava seadme parameetrid

Nõuded projekteeritavale seadmele	
Haagise maksimaalne mass	1500 kg
Liikumiskiirus	10 m/min (0,17 m/s).

**Võimsuse arvutus haagisemassi põhjal:**

$$Vajalik\ võimsus = \frac{1500 \cdot 720}{3500} = 309\ W \quad [ \text{kiirusel } 8\ \text{m/min (0,133 m/s)} ] \quad (4.1)$$

**Võimsuse arvutus liikumiskiiruse põhjal:**

$$Vajalik\ võimsus = \frac{0,17 \cdot 309}{0,133} = 395\ W \quad [ \text{kiirusel } 10\ \text{m/min (0,17 m/s)} ] \quad (4.2)$$

Kuigi arvutuste põhjal peaks piisama veomootorist võimsusega 395 W, siis võeti vajalikuks võimsuseks 500 W. See peaks tagama piisava võimsusvaru.

**Nõuded veomootorile:**

- Sisendpinge: kuni 21 V
- Maksimaalne voolutarve: 100 A
- Võimsus vähemalt: 500 W

Parameetrite ja hinna poolest osutus kõige sobivaimaks mootor:

Gimson Robotics **GR-EP-45** High Power 45mm Planetary Gearmotor [10]

Antud mootorit kombineeritakse tootja poolt kahe erineva ülekandesuhtega reduktoriga. Kiirema väljund pöörlemissagedusega, ülekandesuhtega 13,7:1 ja aeglasema väljund pöörlemissagedusega, ülekandesuhtega 188: 1 . Kuigi piisavalt aeglase liikumiskiiruse saavutamiseks oleks vaja suuremat ülekandesuhet, osutus valituks siiski väiksema ülekandesuhtega (13,7:1) reduktor. Antud valik langetati seetõttu, et suhtega 188:1 reduktori puhul väändemoment reduktori lõppastmes läheb liiga suureks ja reduktor võib suurtel koormustel puruneda.[10] Seega ei saaks selle reduktori puhul ära kasutada mootori maksimaalset võimsust.



Sele 4.3 Valitud reduktormootor [10]



Tabel 4.4 Valitud reduktormootori parameetrid [10]

<b>Reduktormootori GR-EP-45 parameetrid sisendpingel 18 v</b>	
Pöörlemissagedus tühjooksul	21040 p/min
Pöörlemissagedus tühjooksul peale reduktorit	1536 p/min
Vool tühjooksul	2,42 A
Maksimaalne Vool	104 A
Väändemoment maksimaalvõimsusel peale reduktorit	59.5 kg/cm (5,83 N/m)
Pöörlemissagedus maksimaalvõimsusel peale reduktorit	768 p/min
Mass koos reduktoriga	760g (0,76 kg)
Mõõtmed	45*140 mm

Joonis reduktormootori mõõtmetega on toodud **lisas 1**.

Kuna valituks osutunud reduktormootori väljund pöörlemissagedus on liiga suur (768 p/min), vajab see reduktor lisaks veel täiendavat lõppastet, mis vähendaks ratta pöörlemissageduse soovitud kiirusele.

### 4.1.3 Lõppastme reduktor

#### Lõppastme reduktori vajalik ülekandesuhe:

Kuna projekteeritava seadme minimaalkiiruseks sai määratud 10 m/min (0,17 m/s), siis võetakse arvutustes (Valem 4.3 ja Valem 4.4 ) arvesse reduktormootori pöörlemissagedust mootori maksimaalvõimsusel, mis on 768 p/min.

$$\text{Rattavõlli pöörlemissagedus} = \frac{\text{liikumiskiirus}}{\text{ratta läbimõõt} \cdot \pi} = \frac{10}{0,229 \cdot 3,14} = \mathbf{13,9 \text{ p/min}} \quad (4.3)$$

$$\text{Lõppastme reduktori vajalik ülekandesuhe} = \frac{\text{reduktormootori pöörlemissagedus}}{\text{rattavõlli pöörlemissagedus}} = \frac{768}{13,9} = \sim \mathbf{55:1} \quad (4.4)$$

Veoülekande lõppastmel otsustati kasutada tigureduktorit, kuna sellega on võimalik lihtsalt ja kompaktselt saavutada piisavalt suur ülekandesuhe. Samuti pole tigureduktori puhul vajalik seadmele projekteerida täiendavaid pidurdus süsteeme. Kui kasutada reduktoris ühekäigulise sammuga tigu, mille spiraali tõusunurk on piisavalt väike, on välistatud et reduktori väljundvõllist oleks võimalik ajada kogu ajamit ringi. Kuna standardised müüdavad reduktorid on liiga suured ja kohmakad, tuleks sobiv reduktor antud seadmele spetsiaalselt valmistada. Et reduktoris kasutatavad tigu ja tiguratas on saada standardtoodetena, tuleks spetsiaalselt valmistada ainult reduktori korpus ja võllid. Ühekäigulise teo puhul oleks ülekandesuhte 55:1 saavutamiseks vaja 55 hambaga tigutatat.

#### Hambamooduli valik:

Sobivaks hambamooduliks osutus moodul 1,5. Valikul lähtuti sellest, et hambamoodul oleks maksimaalselt suur, kuid samas oleks tigu ja teoratas veel piisavalt väikese läbimõõduga ja kompaktne. Suurem hambamoodul tagab suurema koormustaluvuse ning lubatud tolerantsid reduktori korpuse valmistamisel on suuremad. Sobivad tigu ja teoratas sai valitud maedler.de kataloogist, mille edasimüüjaks Eestis on Alas-Kuul AS [11]

Valituks osutus **50 hambaga** tiguratas, kuna selle hammaste arv on kõige ligilähedasem soovitud hambaarvule. Järgmine variant sama hambamooduliga oleks antud tootjal 75 hammast, mis ajab aga ülekandesuhte liiga suureks ja seadme liikumiskiirus võib jääda liiga aeglane. Teoks valiti ühekäiguline tigu, mis sobib kokku antud tiguhammasrattaga



Sele 4.4 Valitud tigu ja tiguratas [12][13]

Valitud tigurattaga (hambaarvuga 50) saavutatav seadme liikumiskiirus:

#### Mootori maksimaalvõimsuse juures:

$$\text{Seadme liikumiskiirus} = \frac{\text{reduktormootori pöörlemissagedus maksimaalvõimsusel}}{\text{lõppastme reduktori ülekandesuhe}} * \text{rehviläbimõõt} * \pi = \frac{768}{50} * 0,229 * 3,14 = \sim \mathbf{11 \text{ m/min}}$$
 (4.5)

#### Tühijooksul:

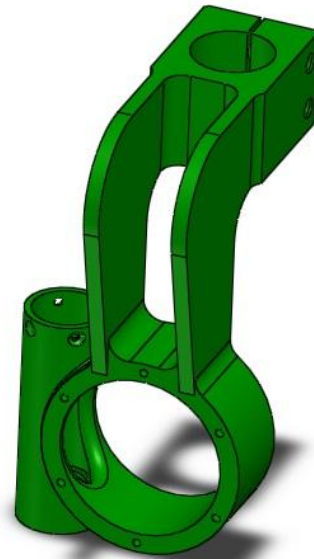
$$\text{Seadme liikumiskiirus} = \frac{\text{reduktormootori pöörlemissagedus tühijooksul}}{\text{lõppastme reduktori ülekandesuhe}} * \text{rehviläbimõõt} * \pi = \frac{1536}{50} * 0,229 * 3,14 = \sim \mathbf{22 \text{ m/min}}$$
 (4.6)

## Löppastme tiguülekande korpuse disain

Veoajami tigureduktori korpus valmistatakse alumiiniumist margiga EN 6082-T6, nagu ka paljud teised antud seadme jaoks projekteeritud detailid. Materjali valik lähtus eelkõige heast töödeldavusest, korrosioonikindlusest ja kättesaadavusest. Eesmärk oli disainida selline reduktorikorpus, mis täidaks korraga ka kandevkonstruktsiooni rolli ja ühendaks omavahel teleskooptoru ja reduktorikorpuse. Kuna alumiiniumvalu tehnoloogiaid ühekordse prototüübi puhul on väga kulukas rakendada, otsustati korpus viiest erinevast treitud ja freesitud detailist kokku keevitada. Reduktorikorpuse mõõtmete määramisel lähtuti peamiselt teo, tiguhammasratta, rehvi ja teleskooptoru mõõtmetest.

### Reduktorikorpuse moodustavad alljärgnevad detailid:

- Alumiiniumtoru välisläbimõõduga 42 mm, siseläbimõõduga 25 mm, pikkusega 115 mm.
- Alumiiniumtoru välisläbimõõduga 104 mm, siseläbimõõduga 80 mm, pikkusega 47 mm.
- L-kujulised plaadid 8 mm paksusest lehtalumiiniumist 2 tk.
- Avaga alumiinium ristkülik mõõtmetega 60\*70\*50 mm. Ava läbimõõt 40 mm.

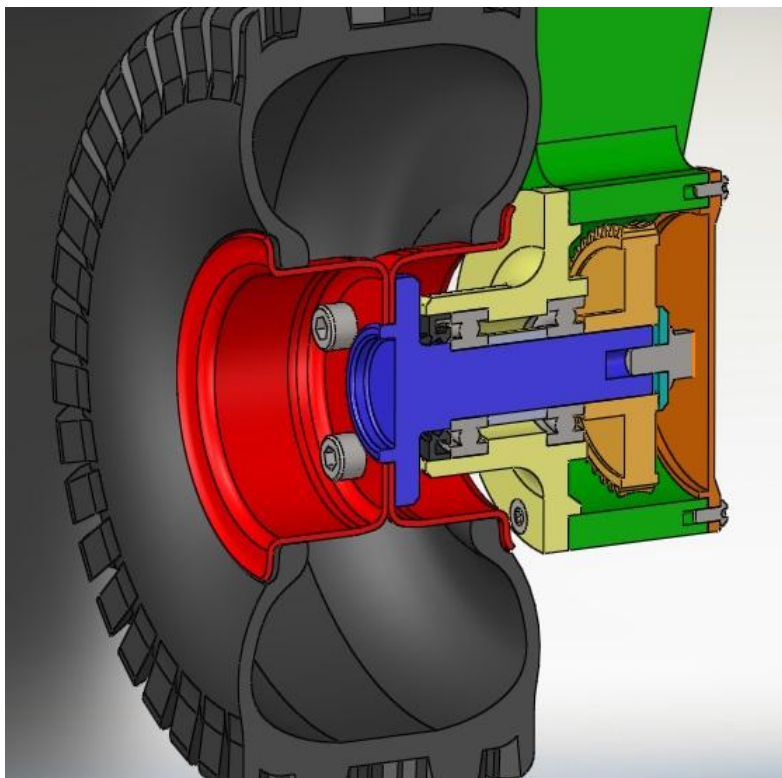


Sele 4.5 Pilt projekteeritud reduktorikorpusest

Nimetatud detailid keevitatakse omavahel kokku, kasutades TIG keevitustehnoloogiat. Kuna keevitamise käigus on keeruline tagada detailide täpset omavahelist asendit, töödeldakse kõik ümarad sisepinnad peale keevitamist üle, et tagada täpne avade positsioon. Selleks on jäetud ka töötlusvaru. Eriti oluline on see teo ja tiguhammasratta telgedevahe puhul, et nende omavaheline lõtk jääks tiguülekanetele ettenähtud tolerantsi H7– H8 piiridesse.[14]

Horisontaalse, 104 mm läbimõõduga alumiiniumtoru külge kinnitub otse poltidega laagripukk, mis toetab rattatelge. Ülemine ja vertikaalne, 42 mm siseläbimõõduga ava on mõeldud konstruktsiooni kinnitamiseksümber teleskooptoru. Ava positsioon on määratud nii, seadme pööratav jooksuks täpselt ratta tsentrisse, mis tagab selle, et seadet oleks võimalikult kerge juhthoova abil pöörata. Kahe keermestatud M8x35 poldiga pigistatakse kogu konstruktsioon ümber roostevaba teleskooptoru tugevalt kinni.

## Laagripukk ja veotelg



Sele 4.6 Pilt projekteeritud laagripukist

Selel 4.6 on kujutatud 3D mudel projekteeritava seadme rattalaagripukist.

### Laagripuki kirjeldus ja parameetrid:

#### Rattatelg (kujutatud sinisena):

Telje kogupikkus on 88mm. Rattaflantsi läbimõõt on 66mm ning laagripind on läbimõõduga 20 mm. Tihendipinna läbimõõt on 25 mm, et võll toetuks astmega vastu laagrit, mitte vastu tihendit. Tiguhammasratas fikseeritakse võlli otsa standardmõõdus M8x12 poldi, suure seihi ja 6x20 mm liistuga. Liistusoone valik tehti lähtuvalt standardist (18-22 mm läbimõõduga võllile 6mm lai liist) [15]. Velg kinnitub telje külge nelja M8x12 sisekuuskant poldiga, keermestatud avadesse. Telg valmistatakse roostevaba terasest AISI 316, et vältida korrosiooni teket. Telg treitakse välja monoliitset toorikut diameetriga 70 mm ja pikkusega 90 mm, liistusoon freesitakse peale treimist. Samuti puuritakse ja keermestatakse vajalikud avad.

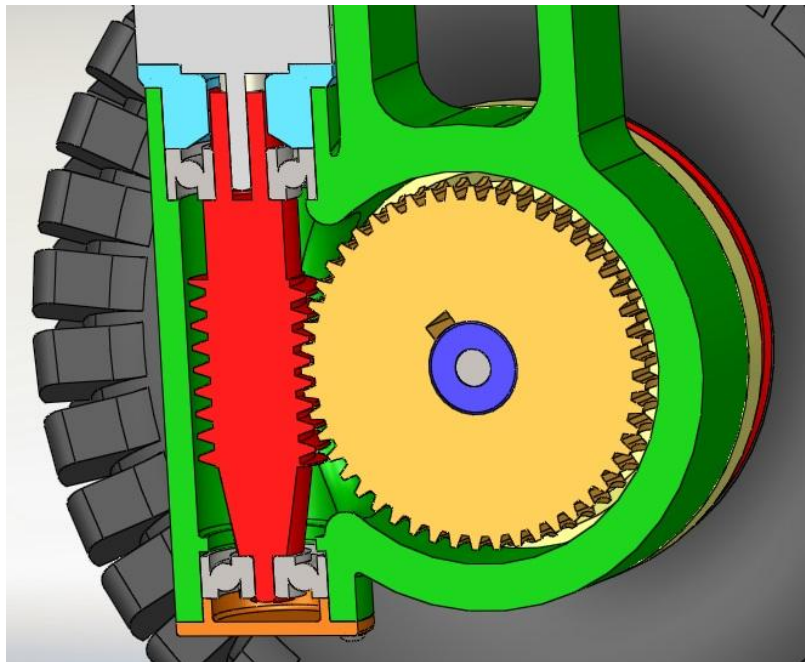
#### Laagripukk (kujutatud kollasena):

Laagripuki flantsi välisläbimõõt on 104 mm ning kinnitub reduktori korpuse külge kuue M5x16 süvispeaga poldiga. Laagripuki kogupikkus on 52 mm ja velje sisse ulatava osa välisläbimõõt on 52 mm. Laagripindade läbimõõt on valitud vastavalt laagritele 42 mm. Laagrite vahekaugus on 19 mm. Kahe laagri sisevõrude vahel on distantspuks mõõtudega 26\*20,5\*19 mm, mis ei lase laagreid kinni puua, kui pingutada tiguhammasratta fikseerimispolti. Laagripukk treitakse välja alumiiniumist, margiga EN 6082-T6.

### Laagrid ja tihend:

Sobivad laagrid valiti välja SKF kataloogist.[16] Mõõtude poolest osutusid sobivaimaks 6004 numbriga laagrid, mille mõõduks on 20\*42\*12 mm. Et kaitsta laagreid vee ja tolmu eest, lisati laagripuki veljepoolsesse otsa simmerling tihend. Sobivaimaks osutus simmerling mõõtudega 25\*42\*7 mm. Antud tihend takistab ka reduktorisse lisatava määrdeaine väljavalgumist.

### Tigu, teo tugilaagrid, mootorikinnitus:



Sele 4.7 Pilt lõppastme tigureduktorist

Selel 4.7 on kujutatud 3D mudel veomootori lõppastme tigureduktorist.

### Teo tugilaagrid

Kuna lisaks radiaalsuunalisele koormusele mõjuvad teole ka teljesihilised jõud, siis tavalised kuullaagrid antud rakendusse ei sobi. Suurt teljesuunalist koormust taluvad survelaagrid ei sobi jällegi seetõttu, et ei talu radiaalsuunalist koormust. Ainukeseks mõõtude ja omaduste poolest sobivateks laagriteks osutusid poolsurvelaagrid, mis taluvad nii teljesuunalist koormust kui ka radiaalsuunalist koormust. Sobivate mõõtudega laagrid valiti välja SKF kataloogist.[16]

### Sobivaks osutusid laagrid :

Ülemine poolsurvelaager numbriga **7202 BE**, mõõtudega 35\*15\*10 mm

Alumine poolsurvelaager numbriga **7200 BE**, mõõtudega 30\*10\*9 mm

Erinevate mõõtudega laagrid valiti sellepärast, et ülemise laagri siseava pidi olema suurem, et tigu koos mootorivõlliga laagrist läbi mahuks.

Laagritevahelist lõtku saab reguleerida reguleerseibidega, mis paigaldatakse tigureduktori korpuse alumise otsakaane ja alumise laagri välisvõru vahele.

#### **Tiguhammasratas ja tigu** (kujutatud punase ja kollase värvusega):

Kuigi tegu on ostutoodetega, siis vajavad need siiski enne kasutusele võtmist täiendavat töötlemist. Tigu on valmistatud terasest ja tiguhammasratas pronksist. Standard teo alumine ots tuleb treida 2mm lühemaks ja seejärel treida 10 mm pikkuselt läbimõõdule 10 mm, et sobituda alumise laagri siseavaga. Teo ülemine ots tuleb treida 23 mm pikalt läbimõõdule 15 mm, et sobituda ülemise laagri siseavaga. Lisaks tuleb puurida teo ülemisse otsa teljesihiline, 10 mm läbimõõduga ava mootori võlli jaoks. Et tagada väändmomendi ülekandmine mootorivõlli ja teo vahel, tuleb teo võlliavale stoosida ka 4 mm laiune ja 20 mm sügav liistusoon. Liistusoone mõõtmete valik lähtus juba reduktormootori väljundvõllil olemasolevast liistusoonest.

Ka teo poolt veetavat tiguhammasratast tuleb täiendavalt töödelda, et see sobituks rattateljega. Hammasratta siseava tuleb treida läbimõõdule 20 mm ja avale tuleb stoosida 6mm laiune läbiv liistusoon. Tiguhammasratta välimiselt külgpinnalt tuleb maha treida kogu väljaulatuv rummuosa nii, et väljapoole jääv hammasratta külgpind oleks sile. Vastasel juhul ei mahuks hammasratas laiuselt reduktorikorpusesse.

#### **Reduktormootori kinnitusdetail** (kujutatud helesinisena):

Antud detail on mõeldud reduktormootori kinnitamiseks ja ühtlasi ka ülemise laagri fikseerimiseks laagripessa. Detaili ülemine ots on välisläbimõõduga 45 mm ja siseläbimõõduga 26 mm, et et kattuda reduktormootori otsakinnitusega. Detaili kogupikkus on 18 mm, millest 5 mm jääb reduktormootori otspinna ja tigureduktori korpuse vahele. Detaili alumise otsa välisläbimõõt on 35mm, mis kattub laagripesa siseläbimõõduga. Detaili läbib ava läbimõõduga 16mm, et teo ots mahuks vabalt läbi. Antud detail kinnitub reduktormootori külge nelja M4x8 kruviga, vertikaalsuunaga alt üles. Poldipeade jaoks on puuritud süvised. Tigureduktori korpuse külge kinnitub detail samuti nelja M4x8 süvispeaga poldiga, mis paiknevad risti detaili 35mm radiaalpinna ja läbivad tigureduktori korpust väljastpoolt. Antud detail on valmistatud alumiiniumist EN 6082-T6.

## 4.2 Seadme tõsteajam

Tõsteajami projekteerimisel võeti eeskujuna olemasolevast mahaanilisest rattast, kus tõstmiseks ja langetamiseks kasutati käigukruvi. Antud lahenduse peamiseks eeliseks on lihtsus ja kompaktsus. Samas on väikse sammuga käigukruvi puhul välistatud haagise tiisli iseeneslik allavajumine rattale mõjuva vertikaalse koormuse mõjul.

### 4.2.1 Tõstemootori valik

#### Vajalik mootori võimsus:

Tõstemootori ligikaudse vajaliku võimsuse leidmiseks sai vaadeldud erinevaid turul saadaolevaid lineaarajameid, mis kasutavad sarnaselt projekteeritavale ajamile käigukruvi, reduktorit ja DC mootorit. Püüti leida sama tööpõhimõttega lineaarajam, mille jõud ja kiirus oleks sarnased projekteeritavale tõsteajamile

#### Tingimused tõsteajamile:

- Jõuab tõsta vähemalt 150 kg - jõud ligikaudu **1500 N**.
- Kiirus 100 kg koormuse juures vähemalt **10 mm/s** ( 0,01 m/s).

Antud parameetritele vastab lineaarmootor:

#### **GLA1800 12V** DC Compact High Force Linear Actuator [17]

Antud lineaarajami mootori võimsuseks on 80 W, seega peaks piisama tõsteajamile 100 W võimsusega mootorist, mis peaks tagama ka piisava võimsusvaru. Tõstemootori valikul lähtuti peamiselt mootori võimsusest, sisendpingest ja soodsaimast hinnast.

Sobivaks osutus mootor: **ADRS550SH** [18]

Tabel 4.5 Mootori ADRS550SH tehnilised andmed

<b>Mootori ADRS550SH parameetrid</b>	
Sisendpinge	3-24 V
Pöörlemissagedus tühijooksul (18v)	19 000 p/min
Pöörlemissagedus maksimaalvõimsusel (18v)	9500 p/min
Maksimaalne voolutugevus	76,5 A
Võimsus maksimaalse kasuteguriga	105 W

Kuna valitud mootori pöörlemissagedus on väga suur, otsustati see kombineerida sama tootja poolt pakutava planetaarreduktoriga. Antud mootorile sobib kinnitusviisi poolest reduktor **GR12**, ülekandesuhtega 19,2:1. [19]

## 4.2.2 Tõstemootori reduktor

Kuna kasutatava reduktormootori pöörlemissagedus on endiselt liiga suur, et otse käigukruvi keerata, on vaja mootori ja käigukruvi vahele veel mingit täiendavat reduktorit, mis vähendaks pöörlemissagedust veelgi ja suurendaks ühtlasi ka väändmomenti. Selleks otsustati kasutada nurkreduktorit, kuna see võimaldab pöörata mootorit 90 kraadi võrra ja paigaldada tõstemootorit seadmele kompaktsemalt.

**Vajalik nurkreduktori ülekandesuhe:**

$$\text{Reduktormootori pöörlemissagedus} = \frac{\text{mootori pöörlemissagedus}}{\text{planetaarreduktori ülekandesuhe}} = \frac{9500}{19,2} = \sim 495 \text{ p/min} \quad (4.7)$$

$$\text{Vajalik käigukruvi pöörlemissagedus} = \frac{\text{tõsteikiirus}}{\text{käigukruvi samm}} = \frac{0,01}{0,005} = \frac{2 \text{ pööret}}{\text{sek}} = 120 \text{ p/min} \quad (4.8)$$

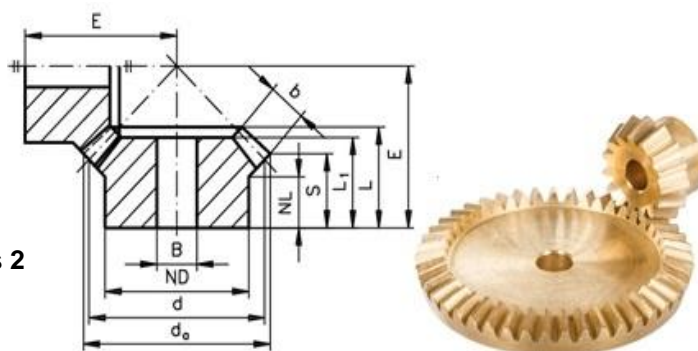
$$\text{Vajalik nurkreduktori ülekandesuhe} = \frac{\text{tõsteikiirureduktormootori pöörlemissagedus}}{\text{käigukruvi pöörlemissagedus}} = \frac{495}{120} = 4,13:1 \quad (4.9)$$

Kuna turul saadaolevad valmis nurkreduktorid on liiga suured ja ei ühti ülejäänud seadme konstruktsiooniga, otsustati reduktor ise valmistada. Kuna nurkhammasrattad on ostutooted, tuleb ise valmistada vaid reduktori korpus. Sobivad hammasrattad valiti Maedler.de kataloogist.[20][21] Mõõtude poolest osutusid sobivaimaks nurkhammasrattad hammastearvuga 60 ja 15, mis annavad ülekandesuhte 4:1. Hambamooduliks võeti moodul 1, sest suurema hambamooduliga hammasrattad ei oleks seadme sisse ära mahtunud.

Sobivaks osutusid hammasrattad tootekoodiga:

**35059200 ja 35059300**

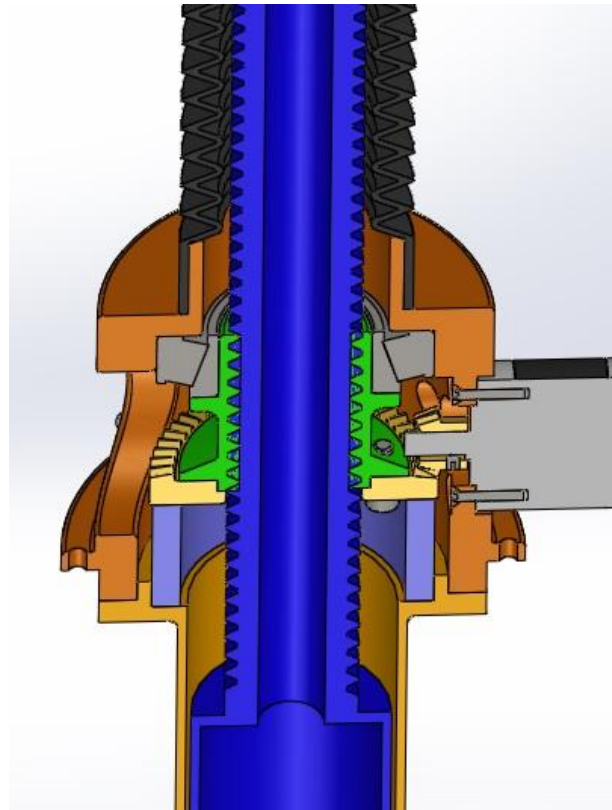
Nurkhammasrataste mõõdud on toodud **lisas 2**



Sele 4.8 Pilt valitud nurkhammasratatest [20][21]



## Tõstmismootori reduktor, reduktorikorpus ja käigukruvi



Sele 4.9 Projekteeritud tõsteajam

Selel 4.9 on kujutatud 3D mudel projekteeritava seadme vertikaalsest tõsteajamist.

### **Nurkhammasrattad** (kujutatud helekollasena):

Kuigi antud nurkhammasrattad on ostutooted, tuleb neid siiski enne kasutusele võtmist täiendavalt töödelda. Suuremal nurkhammasrattal tuleb treida siseava läbimõõdule 28,5 mm, et käigukruvi temast vabalt läbi mahuks. Seejärel tuleb treida hammasratta siseavale 3 mm sügavusega ja 32 mm läbimõõduga aste, mida kasutatakse käigukruvi mutri tsentreerimiseks. Viimaks tuleb puurida hammasrattast läbi kolm auku, läbimõõduga 4 mm, mida kasutatakse hammasratta kinnitamiseks mutri külge. Väiksemal nurkhammasrattal tuleb siseava treida läbimõõdule 8 mm. Lisaks tuleb puurida ja keermestada ava M3x4 stopperkruvi jaoks, risti hammasratta siseavaga. Stopperkruvi toetub vastu reduktormootori võlli lapikuks freesitud pinda.

### **Tugilaagri valik**

Kuna kogu seadmele rakendatav vertikaalsuunaline koormus langeb ühele tugilaagriale, peab see olema piisavalt tugev ja kannatama teljesihulist koormust vähemalt 3000 N (arvestatud kahekordne tugevusvaru). Tavaline survelaager antud rakendusse ei sobi, kuna laager peab tsentreerima trapetskeermemutri ka radiaalsuunas. Antud rakendusse osutus kõige sobivamaks koonusrull laager, mis tänu rullikute suurele kontaktpinnale talub väga suuri koormusi. Sobiv laager valiti välja SKF kataloogist.[22]

Mõõtude poolest osutus kõige sobivaimaks laager numbriga **320-32X**, mõõtmetega 58\*32\*17 mm. Antud laager talub dünaamilist koormust kuni 36,9 kN ehk 36900 N, mis on enam kui piisav antud rakendusse.[22]

Tugilaagrit hoiab oma õiges positsioonis rõngas välisläbimõõduga 59 mm, siseläbimõõduga 47 mm ja pikkusega 28mm (kujutatud helesinisena). Kuna antud rõngale saab mõjuda ainult väga väike, seadme alumise osa massist tulenev koormus, siis valmistatakse antud rõngas plastikust. Seda eelkõige plastiku hea töödeldavuse ja kaalu kokkuhoiu kaalutlustel. Materjaliks sobiks näiteks POM-C.

#### **Tõstereduktori korpus ja tolmuKate**(kujutatud oranži ja mustana):

Reduktori korpus treitakse välja alumiiniumist, margiga EN 6082-T6. Sobivad avad reduktomootori kinnitamiseks freesitakse ja puuritakse. Korpuse suurim välisläbimõõt on 97 mm ja pikkus 99 mm. Korpuse ülaosa sisepinda on treitud laagripesa läbimõõduga 58mm ja sügavusega 13 mm. Korpuse ülaosast ulatub 19mm pikalt välja 45 mm välisläbimõõduga krae, kuhu kinnitatakse lõõtsa meenutav kummist kate, mis kaitseb käigukruvi ja reduktorit tolmu ja niiskuse eest. Antud kummist tolmuKaitse on mõeldud kasutamiseks mootorataste amortide kaitseks, kuid osutus mõõtude poolest väga hästi sobivaks ka projekteeritavale seadmele. [23]

#### **TolmuKaitse mõõtmed:**

Pikkus kokkusurutult: 80 mm

Pikkus väljavenitatult: 300 mm

Alumise otsa sisediameeter: 45 mm

Ülemise otsa sisediameeter: 30 mm



Sele 4.10 Pilt kautatavast tolmuKaitsemest [23]

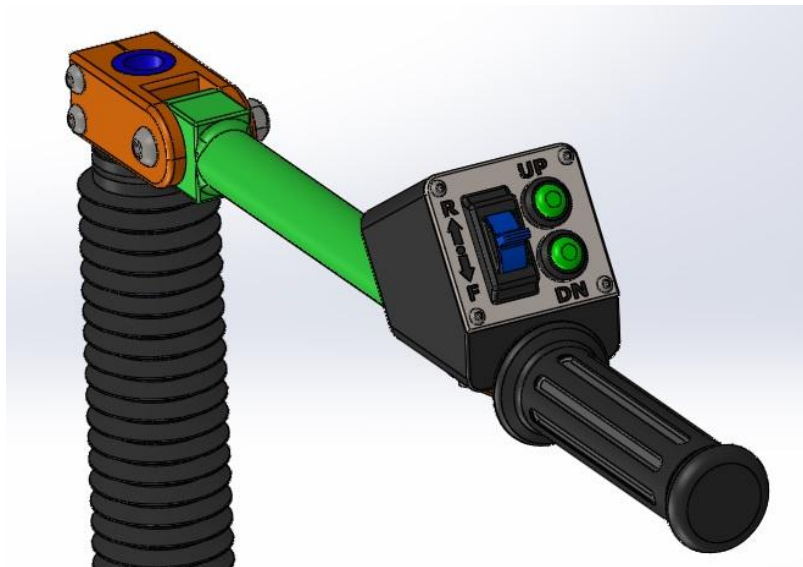
#### **Käigukruvi teleskooptoruga ja käigukruvi mutter** (kujutatud sinise ja rohelisena):

Seadme vertikaalsuunaliseks tõstmiseks ja langetamiseks kasutatakse trapetskeermega käigukruvi, läbimõõduga 28 mm ja keermesammuga 5 mm. Antud kruvi valiti standardmõõdus kruvide seast.[24] Juhthoova kinnitamiseks on käigukruvi ülemine ots treitud 30 mm pikalt läbimõõdule 22 mm, mis eemaldab keermeniidid täielikult ja alles jääb sile radiaalpinde. Käigukruvi alumine ots on keevitatud roostevaba teleskooptoru külge, mis omakorda kinnitatakse eelpool mainitud tigureduktori korpuse külge. Kasutatav roostevaba toru on standardmõõdus, välisläbimõõduga 42 mm, seinapaksusega 2 mm ja materjalist AISI 316. Kuna 28 mm läbimõõduga trapetskeermelatt on üleliia tugev ja raske, puuritakse temast pikisuunas läbi 14 mm läbimõõduga ava. Antud avast on võimalik hiljem näiteks juhtmeid läbi vedada. Antud konstruktsiooni kogupikkus on 630 mm, millest käigukruvi moodustab 330 mm ja roostevaba teleskooptoru 300 mm.

Käigukruvi mutter treitakse välja pronksist. Mutri kogupikkus on 43 mm ja suurim välisläbimõõt 48 mm. Mutri ülemine ots on treitud 17 mm pikalt läbimõõdule 32 mm, lähtudes tugilaagri siseava mõõtmetest. Mutter toetub astmega vastu laagri sisevõru, andes sellviisil vertikaalsuunalise koormuse edasi

laagritele. Mutri alumine on treitud 3 mm pikalt läbimõõdule 32 mm, et tsentreerida ennast suurema nurkhammasrattaga. Mutter on kinnitatud hammasratta külge kolme M4X12 sisekuuskant poldiga. Kuna kasutatakse standartse mõõtudega käigukruvi, siis on lihtne leida ka keermepuuri, millega valmistatavale mutrile sobiv keere sisse lõigata.

### 4.3 Seadme juhthoob



Sele 4.11 Pilt projekteeritud seadme juhthoovast

Selel 4.11 on kujutatud 3D mudel seadme juhthoovast.

#### **Juhthoova kinnitusklamber** (kujutatud oranžina):

Antud kinnitusklamber ühendab omavahel trapetskeermega teleskooptoru ja seadme juhthooba, võimaldades kasutajal juhthoovast seadet sobivas suunas pöörata. Antud kinnitusklamber on välja freesitud alumiiniumist EN6082-T6. Klambri mõõtmed on 35\*72\*30 mm ning klambrit läbib vertikaalsuunas ava läbimõõduga 22 mm, mida saab kahe M6x30 poldi abil ümber teleskooptoru tugevalt kinni pigistada. See võimaldab täpselt paika reguleerida käepideme ja veoratta omavahelise asendi.

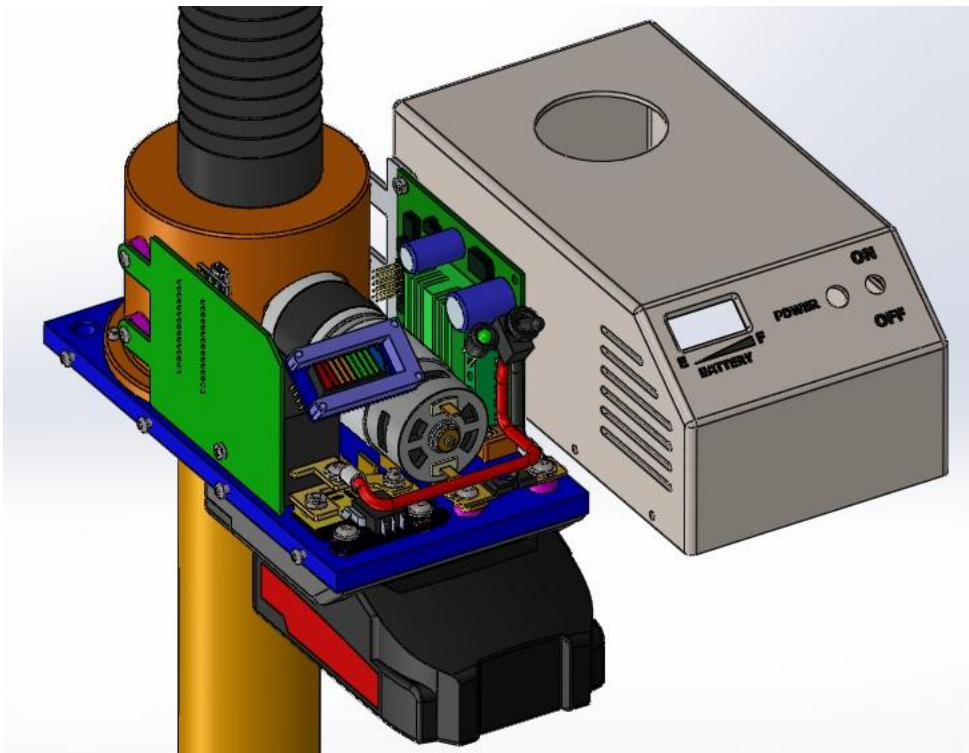
#### **juhthoob ja käepide** (kujutatud roheline ja mustana):

Seadme juhthoova valmistamiseks otsustati kasutada alumiiniumtoru välisläbimõõduga 22 mm ja seinapaksusega 4 mm. Toru välisläbimõõdu valik tulenes sellest, et enamik turul saadaolevaid kummist käepidemeid on mõeldud kasutamiseks just 22 mm läbimõõduga torul. Toru otsa keevitatakse alumiiniumist klots mõõtmetega 30\*22\*35 mm, mis on kinnitatud ühe M8x35 poldiga juhthoova kinnitusklambri vahele. Antud konstruktsioon moodustab liigendi, mis võimaldab käepideme asendit seadme kasutamise käigus vertikaalsuunas muuta. Käepideme kogupikkus pöörlemistelje tsentrist kuni käepideme otsani on 410 mm.

### Juhtlülitite karp ja esipaneel (kujutatud musta ja hõbedasena):

Seadme juhtlülitid otsustati paigutada karp, mis kinnitub klambriga ümber juhthoova toru. Antud karbi peamiseks ülesandeks on fikseerida lülitid sellisesse positsiooni, et neid oleks mugav seadme kasutajal käsitleda. Teisalt toimib karp ka harukarbina, kus on mugav teha erinevaid elektrilisi ühendusi nii, et need oleks isoleeritud ja kaitstud välismõjude eest. Et karp oleks lahtivõetav, on karbi esipaneel eemaldatav nelja M3X10 poldiga. Karbi umbkaudsed välismõõtmed on 60\*60\*75 mm. Karp freesitakse välja mustast plastikust POM-C, kuna antud materjal on väga hästi töödeldav, kerge ja tal on head dielektrilised omadused. Esipaneel lõigatakse laserlõikepingis välja 1,5 mm paksust roostevaba plekist margiga AISI 316. Laseriga saab korraka esipaneelile peale graveerida ka vajalikud sümbolid juhtlülitite juurde.

## 4.4 Seadme juhtmoodul ja elektroonikamoodulite paigutus

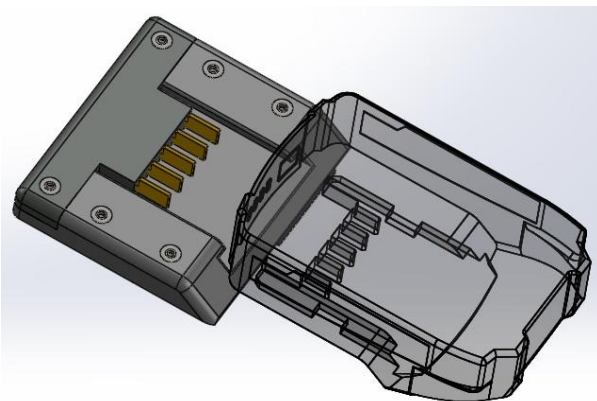


Sele 4.12 Pilt projekteeritud seadme juhtmoodulist

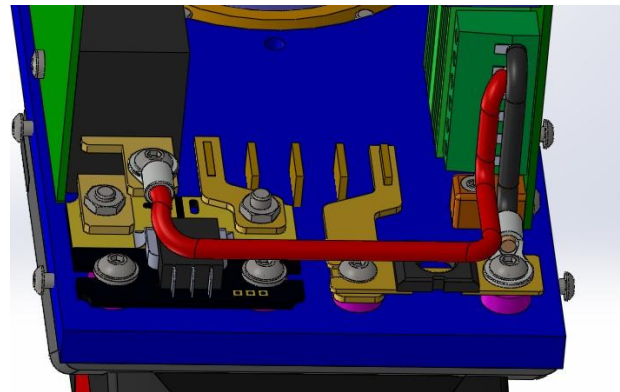
Selel 4.12 on kujutatud 3D mudel seadme juhtmoodulist ja selle kattest.

Antud karp on ära mahutatud kogu seadme elektroonika peale juhtnuppude ja veomootori. Karbi põhi on valmistatud mustast 8 mm paksusest POM-C lehtmaterjalist mõõtmetega 190\*100 mm. Antud materjal valiti eelkõige tänu tema heale töödeldavuse ja dielektrilistele omadustele. Akukinnitus on viidud karbi alaküljele, et seadme kasutajal oleks mugav akut eemaldada ja paigaldada. Akukinnitus on valmistatud kahest osast, mis on kuue M4X20 süvispeaga poldiga kinnitatud karbi põhja külge. Materjaliks on valitud akukinnitusel POM-C, tänu tema heale töödeldavusele ja dielektrilistele omadustele. Lisaks elektroonikamoodulitele on antud karp ära mahutatud ka tõstemootori reduktor ja tõstemootor, mis võttis ära suure osa ruumist.

Karbi paremasse serva on paigutatud serviti mootorite juhtkontroller. Karbi vasakus servas paikneb serviti elektroonikaplaat koos toiterelee, Arduino juhtkontrolleri ja ülejäänud vajalike komponentidega. Paremale poole karbi esiserva on paigaldatud 120 A mini ANL sulavkaitse. Antud asukoht võimaldab kaitsmele lihtsat ligipääsu, kui peaks tekkima vajadus kaitset välja vahetada. Vasakul pool esiservas paikneb moodul voolumõõtmis anduriga. Akuindikaator, seadme toitelüliti ja indikaator LED on paigutatud karbi katte kaldpinnale, mis on parema nähtavuse huvides kasutaja poole suunatud. Kõik elektriühendused, mida läbib suur vool, püüti hoida võimalikult lühikesed, et nende takistus oleks minimaalne ja ei tekiks pingelangu. Näiteks akuklemmide ühendamisel kasutati juhtmete asemel 1,5mm paksusest vaskplekist lõigatud klemme.



Sele 4.13 Pilt projekteeritud akukinnitusest



Sele 4.13 pilt aku elektriühendustega

Karbi kate on laserlõigatud 2 mm paksust alumiiniumplekist, kolmes osas ja hiljem kokku keevitatud ning keevisõmblused lihvitud. Ühe osa moodustavad karbi esikülg, pealmine pind ja tagakülg. Teise osa moodustab karbi parem külg ja kolmanda osa karbi vasak külg. Laseriga saaks korrada karbi esipaneelile graveerida ka vajalikud sümbolid akuindikaatori ja toitelüliti juurde. Karbi mõlemale küljele on lisatud ka 3 mm laiad jahutusavad. Kuna tõstemootorist ja mootorikontrollerist eraldub märkimisväärne hulk soojust, siis avad karbis peaksid tagama piisava õhu tsirkulatsiooni, et seade üle ei kuumeneks.

## 5. SEADME ELEKTROONIKA JA JUHTAHELAD

### 5.1 Mõõtmiskatsed aku ja akutrelliga

Projekteeritava seadme mootoreid ja juhtelektroonikat hakatakse toitma akutööriistadel kasutatavatest liitiumakudest. Kuna tänapäevased akutööriistad töötavad enamik 18 V akudega, on plaanis ka projekteeritaval seadmel kasutada 18 V akusid.

#### Akutööriista akude kasutamise eelised:

- Akud on üsna kompaktsed ja võimsad.
- Akuelemendid on tugevas korpuses.
- Akude laadimiseks on mugav kasutada tööriistatootja poolt valmistatud akulaadijat.
- Akupakil on juba sisseehitatud osad kaitseahelad ja temperatuuriandur.
- Akud on universaalsed, kui seadet ei kasutata, saab akut kasutada mõnel teisel tööriistal.

Antud seadme projekteerimisel on aluseks võetud Metabo akutööriistade akud, kuna need on juba olemas. Kui tahta seadet ehitada mingi teise tootja akude jaoks, oleks vaja ilmselt muuta ainult akukinnitus ja seadme tarkvara. Seda muidugi eeldusel, et aku nimipinge on endiselt 18 V. Metabo tootevalikus on 18V liitiumakusid saada väga erineva mahtuvusega. Alates 1,5 Ah ja lõpetades 6,2 Ah mahtuvusega akudega. Akukinnitus on sealjuures kõigil neil identne. Kuna akutööriistade tootjad enamasti oma tööriistade spetsifikatsioonides seadmete elektrilisi parameetreid ei avalda, oli tarvis teha erinevaid mõõtmisi akutööriistaga, mis aitaksid seadet projekteerida.

#### Mõõtmisteks kasutatud seadmed:

- Akutrell Metabo BS 18 LT BL
- Liitiumaku Metabo Li-Ion 18 V, 2,0 Ah 36 Wh
- Liitiumaku Metabo Li-HD 18 V, 5,5 Ah 99 Wh
- 100 k $\Omega$  potentsiomeeter

#### Kasutatud mõõteriistad:

Multimeeter: UNI-T UT139B

Multimeeter: KEYSIGHT U1233A

Voolumõõtmissunt: 75 $\Omega$ CM3 50 A/75 mV

### Läbiviidavad katsed:

- Aku klemmide tuvastus.
- Maksimaalse voolutugevuse mõõtmine.
- Aku pingevahemiku kindlaksmääramine.
- Aku kaitsehela asukoha tuvastamine ja selle parameetrid.

### Klemmide tuvastamine:



Sele 5.2 Pilt aku klemmidest



Sele 5.1 Pilt akutrelli klemmidest

Kuna vaadeldaval Metabo akul, kui ka akutrellil on 5 kontakti(Sele 5.1 ja 5.2 ), siis esimeseks eesmärgiks oli välja selgitada, milleks neid kontakte kasutatakse.

Kontaktid on akul tähistatud sümbolitega: **-** , **T+**, **T-**, **D**, **+** .

Aku toiteväljundiks on ilmselgelt servmised **-** ja **+** tähistusi kandvad kontaktid, kuna need on teistest kontaktidest oluliselt tugevamad, suurema kontaktpinnaga ning materjali või siis selle pinnakatte poolest ülejäänud kontaktidest eristuvad.

Kontaktid **T+** ja **T-** tundusid olevat akule sisseehitatud temperatuurianduri klemmid. Toatemperatuuril on nende kontaktide vahel takistus ligikaudu 7 KΩ. Akut lambi all soojendades hakkas klemmide vahele jääv takistus kohe vähenema. Akut külmikus jahutades hakkas takistus vastupidiselt suurenema. Järelikult on tegu NTC thermistoriga. (*Negative Temperature coefficient*)[25] Termoandurile viitavad ka akul olevad tähistused **T+** ja **T-** .

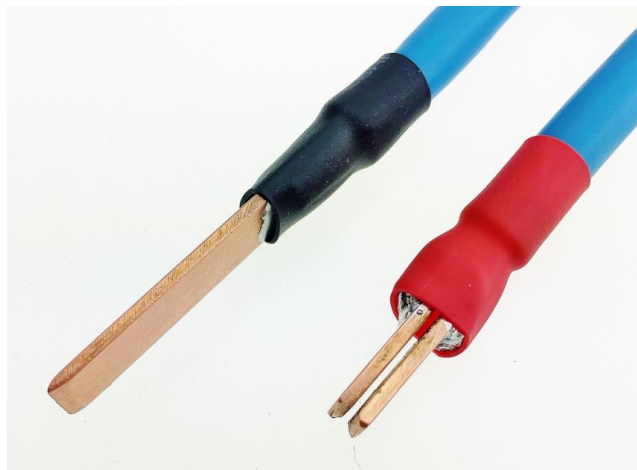
Tähistust **D** kandva kontakti eesmärk jäi esialgu ebaselgeks. Antud ühenduse katkestamine ei tundund trelli töös midagi muutvat. Ehk kasutab akulaadija seda kontakti aku laadimisel aku parameetrite tuvastamisel, kuna erineva mahtuvusega akude laadimisvool on väga erinev, kuid see on kõigest oletus.

### Maksimaalse voolutugevuse leidmine:

Et valida seadme ajamite mootoreid ja projekteerida nende juhtelektroonikat, oleks vaja teada maksimaalset voolutugevust, millega oleks mõistlik akut koormata. Kuna enamik multimeetreid suudavad mõõta voolutugevust vaid maksimaalselt kuni 10 A, kasutati voolutugevuse mõõtmisel sunti. Multimeetriga jälgiti pingelangu sundil, mille järgi saab välja arvutada sunti läbiva voolutugevuse.

Et viia läbi akutrelli maksimaalse tarbitava voolu mõõtmiskatsed, oli tarvis akutrell ja aku omavahel eraldada, kuid säilitada sealjuures nendevahelised elektrilised ühendused ning tarbitav vool suunata läbi mõõteahela. Kuna + ja - kontakte läbiv vool võib olla väga suur, siis on ülioluline, et testjuhtmed ja trelli ning aku kontaktid omaks väga head elektrilist kontakti. Vastasel juhul võivad kontaktid hakata sädelema, kuumenema ja moonutada mõõtetulemusi. Kuna sobivaid kontaktkemme ei ole nii lihtne kuskilt osta ja sobivate klemmide leidmine oleks olnud liiga aeganõudev, valmistati need ise 1,5mm paksusest vaskplekist. Akupoolsed testklemmid on ristkülikukujulised ribad, mis immiteerivad akutrelli enda kontakte. Akutrelli poolsed testklemmid on painutatud U-kujulised ribad, mis hoiavad ennast tihedalt trelli klemmide ümber (Sele 5.3). Aja kokkuhoiu huvides kasutati U-kujulisi klemme ainult suuri voole läbivate + ja - kontaktide ühendamiseks. Ülejäänud kontaktid ühendati kasutades väikseid krokodillklemme.

Sama tähtsad kui korralikud testklemmid on ka kasutatavad testjuhtmed. Kuna katse ettevalmistamisel polnud täpselt teada, kui suured võivad olla maksimaalsed juhtmeid läbivad voolutugevused, oli optimaalset valikut üsna keeruline teha. Et vältida võimalikku juhtmete soojenemist ja tagada võimalikult väike pingelang, said juhtmed pigem üledimensioneeritud. Valituks osutus 16 mm<sup>2</sup> ristlõikepindalaga ühesooneline kiuline vaskaabel, millele lubatakse teatud oludes üle 100 A pidevat koormust.[26] Kontaktklemmid ja juhtmed ühendati omavahel tinaga jootmise teel.



Sele 5.3 Pilt valmistatud testklemmidest

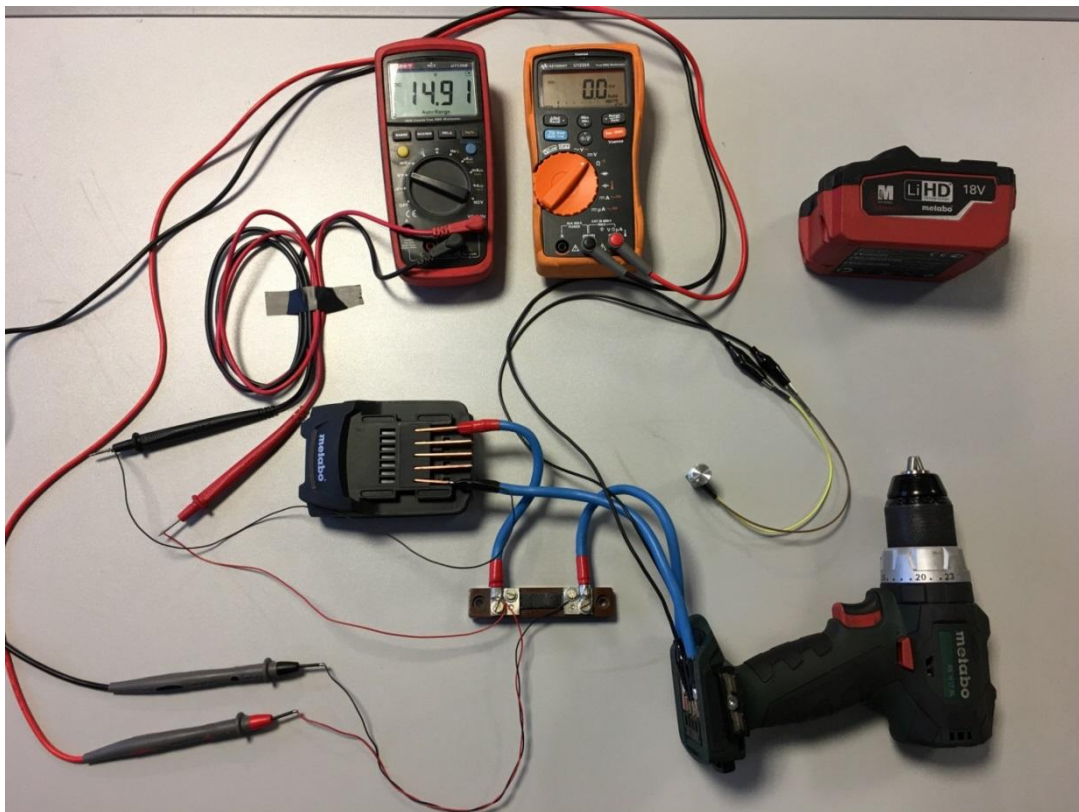
Voolu mõõtmiseks kasutati vene päritolu sunti 75ЩСМ3 50 A/75 mV, mille peale 50 A läbimisel jääb pingelang 75 mV.



Maksimaalse voolutugevuse leidmiseks koormati akutelli sujuvalt koormust suurendades seni, kuni rakendus mootori ülekoormukaitse ja akutrell lülitas ennast välja. Multimeetriga registreeriti maksimaalne sundilt mõõdetud pingelang, milleks oli **147 mV**. Mõõdetud pingelangu järgi sai välja arvutada (Valem 5.1) sunti läbiva voolutugevuse.

$$\text{Sunti läbiv voolutugevus} = \frac{50 \cdot 147}{75} = \mathbf{98 \text{ A}} \quad (5.1)$$

Kui arvestada ka väikest mõõteviga, võib eeldada et antud akutrelli ülekoormus kaitse on häälestatud rakenduma 100 A voolutugevuse juures. Kuna mõõtmistel kasutatud akutrell pole kõige võimsam tööriist, mis seda tüüpi akusid kasutab, siis võib eeldada, et aku koormamine kuni 100 A voolutugevusega on akule üsna ohutu.



Sele 5.4 Pilt mõõtmiskatsetest

### **Aku võimalik pingevahemik ja kaitseahel**

Et projekteerida seadme elektriühelaid ja valida sobivaid komponente, on tarvis teada minimaalset ja maksimaalset toitepinget, millega seade peab suutma töötada. Maksimaalse toitepinge leidmiseks võeti otse laadijast täielikult täis laetud aku ja mõõdeti multimeetriga aku klemmidelt pinget, milleks osutus **20,4 V**.

Kuna liitiumakusid tohib ainult teatud piirini tühjaks laadida, peab olema seda tüüpi akusid kasutaval seadmel alati mingi kaitselülitus, mis takistab aku täielikku tühjenemist. Vastasel juhul võib aku eluiga märkimisväärselt väheneda. Üldjuhul jääb akuelemendi minimaalne pinge vahemikku 2.4 V kuni 2.9 V, sõltuvalt akuelemendi tüübist. Ühe liitiumaku elemendi pingeks loetakse tavaliselt 3,6 V.[27]

$$\text{Elementide arv akus} = \frac{18}{3,6} = 5 \text{ elementi} \quad (5.2)$$

Seega vaadeldav 18V akupakk koosneb viiest jadamsi ühendatud elemendist (Valem 5.2). Minimaalne akupaki pinge võiks seega teoreetiliselt jääda vahemikku 12 V (5 \* 2,4 V) kuni 14,5 V (5 \* 2,9 V). Kuna pole täpselt teada mis tootja akuelemente antud akupakis kasutatakse, tuli minimaalne pinge teha kindlaks katseliselt. Minimaalse toitepinge leidmiseks võeti peaaegu tühi aku ja koormati seda akutrelliga võimalikult väikse koormusega, samal ajal multimeetriga aku klemmipinget jälgides. Kui aku klemmipinge oli langenud **12,4** voldini, rakendus aku kaitselülitus ja akutrell seiskus. Antud pinget võibki lugeda minimeelseks võimalikuks seadme toitepingeks. Tööriist käivitus uuesti alles siis, kui akupinge oli tõusnud **14,9** voldini.

Seadme projekteerimisel on väga oluline teada, kas akupaki liigtühjenemise eest vastutav kaitseahel asub akupaki sees või hoopis akutööriista sees. Kuna kaitseahela rakendumisel ja akutrelli seiskumisel aku klemmipinge säilis, oli selge et antud kaitseahel asub akutööriista enda sees. Seega akupakk end ise aku liigtühjenemise eest ei kaitse ja projekteeritavale seadmele tuleb kindlasti lisada ka akupinge jälgimis ahel, mis seadme seiskab kui pinge langeb alla teatud piiri.

#### **Aku termokaitsme parameetrid:**

Katseliselt uuriti aku sees oleva termoanduri parameetreid. Katse käigus säilitati aku ja akutrelli vahel kõik ühendused peale T+ ja T- kontaktide. Aku temperatuurianduri asemel ühendati akutrellile külge potentsiomeeter takistusega 100 KΩ ja sel viisil immiteeriti akutrellile erinevaid termotakisti väärtusi. Akutrell töötas, kui takistus jäi vahemikku 1 KΩ kuni 53 KΩ. Teiste takistuse väärtuste korral akutrell ei käivitunud.

## **5.2 Juhtelektroonika disain**

Seadme elektriahelate disain ja komponentide valik lähtub suuresti sellest, et seadet oleks lihtne valmistada prototüübi korras. Kasutatud on võimalikult palju valmis mooduleid, et vähendada ise koostatavate elektroonikaskeemide keerukust ja sedaläbi elektriahelate disainile kulutatud aega. Välja on toodud ainult skemaatilised lahendused. Eraldiseisvate elektroonikakomponentide paigutust ja trükkplaadi disaini antud töös ei käsitleta. Seadme juhtskeem on toodud **lisas 3**.

## Juhtelektroonika ülesanneteks on :

- Juhtida veomootorit ja muuta sujuvalt selle kiirust ning pöörlemissuunda.
- juhtida tõstemootorit ja muuta selle pöörlemissuunda.
- jälgida akupinget ja kaitsta akut liigtühjenemise eest.
- jälgida aku temperatuuri ja kaitsta akut võimaliku ülekuumenemise eest.
- kuvada kasutajale aku jääklaeng visuaalse indikaatoriga.
- Mõõta tarbitavat voolutugevust ning kaitsta akut ja mootoreid ülekoormuste eest.

### 5.2.1 Komponentide valik:

#### Juhtkontroller:

Et hoida seadme elektriskeem võimalikult lihtne ja odav, baseerub skeem programmeeritaval mikrokontrolleril, mitte eraldiseisvatel loogikaelementidel ja analoogahelatel. Et lihtsustada veelgi koostatavat skeemi, otsustati kasutada mõne teise tootja poolt valmistatud mikrokontrolleriga moodulit.

Sobivaks osutus arendusplaat **Arduino Nano V3.0**, mis baseerub ATmega328 mikrokontrolleril. Valik langetati peamiselt soodsa hinna ja hea informatsiooni kättesaadavuse põhjal.[28]

#### Antud arendusplaadi eelised:

- Väiksed mõõtmed (18 mm x 45 mm).
- Väga odav ja lihtsasti kättesaadav.
- Peal toiteregulaator mikrokontrolleri jaoks.
- Peal usb-uart converter CH 340 ja mini usb pesa – ei vaja eraldiseisvat programmeerimistarkvara.
- Peal veel teisigi vajalikke aktiiv ja passiivkomponente.
- Vabavaraline programmeerimistarkvara, palju koodinäiteid ja lihtsasti kättesaadav informatsioon.
- Välja toodud suured kontaktid sammuga 2,54 mm, mis lihtsustab jootmist.

#### Jõuelektroonika:

##### Tõstemootori juhtimine:

Kuna tõstemootoril otsest vajadust kiiruse reguleerimiseks pole, piisaks selle juhtimiseks kahest releest, millega reverseeritakse mootori toitepinge polaarsust. Kahe eraldiseisva rele asemel saaks kasutada ühte spetsiaalset bistabiilset releed. Märksa parem lahendus oleks kasutada pooljuhtidel baseeruvat juhtkontrollerit. Näiteks neljast MOSFET transistorist koostatud H-BRIDGE-i, mis võimaldaks PWM signaali abil reguleerida ka mootori kiirust. See funktsionaalsus võimaldaks lisada mootorile sujuvkäivituse ja vähendada selliisil löökkooormuseid reduktoris. Samas oleks antud lahendus ka täielikult kontaktivaba, mis suurendaks selle töökindlust.

## Veomootori juhtimine :

Kuna veomootori puhul on kindlasti vaja reguleerida nii mootori kiirust kui ka pöörlemissuunda, siis selle juhtimiseks ainult releedest ei piisa. Kõige väiksema komponentide arvuga lahendus koosneks ühest releest, millega reverseeritakse mootori polaarsust ja ühest MOSFET transistorist, millega genereeritakse PWM signaal mootori kiiruse reguleerimiseks. Antud lahendus ei pruugi aga olla väga töökindel, kuna voolutugevus veomootori juhtahelas on väga suur. Voolutugevuse 100 A juures on suur oht, et rele kontaktid hakkavad sädelema. Teine ja parem variant oleks kasutada neljast MOSFET transistorist moodustatud H-BRIDGE-i, mis oleks täiesti kontaktivaba lahendus ning võimaldaks muuta nii mootori pöörlemissuunda kui ka sujuvalt mootori kiirust.

Lihtsuse huvides otsustati kasutada turul saadaolevat, kahe kanaliga PWM juhtmoodulit, mis suudab samaaegselt juhtida kahte mootorit. Sealjuures muuta sõltumatult nende pöörlemissuunda ja kiirust. Mooduli valikul lähtuti eelkõige soodsaimast hinnast. Sel viisil oleks ühe valmis mooduliga lahendatud nii veomootori kui ka tõstemootori juhtimine.[29]

Valituks osutus Hiina päritolu moodul: **UN 178**

Tabel 5.1 Mootorikontrolleri UN 178 parameetrid [29]

Mootorikontrolleri UN 178 tehnilised andmed	
Toitepinge vahemik	12 – 48 V
Maksimaalne voolutugevus ühe kanali kohta	100 A
Lühiajaline maksimaalne voolutugevus ühe kanali kohta	260 A
Juhtsisendite pingeniivoo	3,3 – 5 V
Mõõtmed	80*70*25 mm



Sele 5.5 Pilt valitud mootori juhtkontrollerist [29]

Antud moodulit juhitakse 6 sisendsignaali, 3 sisendit ühe kanali kohta. Kanali A juhtimiseks kasutatakse sisendeid A1, A2 ja PA ning kanali B juhtimiseks sisendeid B1, B2 ja PB. Sisendid A1, A2, B1 ja B2 on mõeldud mootorite pöörlemissuuna määramiseks. Sisendid PA ja PB on mõeldud mootorite pöörlemissageduse muutmiseks, kasutades PWM sisendsignaali. Kõik sisendid töötavad pingeniivool 3,3 – 5 V.

Tabel 5.2 Sisendite tõeväärtustabel [29]

Sisend A1 / B1	Sisend A2 / B2	Mootori A / B Pöörlemissuund
1 (HIGH)	0 (LOW)	pärisuunas
0 (LOW)	1 (HIGH)	reverseeritud

## Voolu mõõtmine :

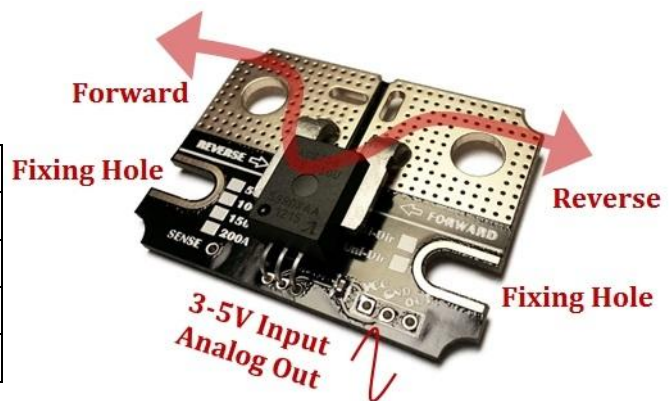
Et kaitsta mootoreid ülekoormamise eest ja akupakki liiga suure voolutugevuse eest, peaks mootorite toiteahel sisaldama endas ka voolutugevuse mõõtmis ahelat. Kui on teada mootoritele lubatav maksimaalne voolutugevus, saab pidevalt voolutugevust jälgides vältida ka mootorite täielikku seiskumist ülekoormuse tõttu. Antud kaitseahel peaks rakenduma, kui veomootoris ületab voolutugevus 100 A ja tõstemootoris 50 A.

Üks variant oleks kasutada sunti ja mõõta mikrokontrolleri ADC sisendiga pingelangu sundil. Selle lahenduse eeliseks oleks odavus ja lihtsus. Peamisteks puudusteks oleks see, et suure vooluga suntu on kabariidilt suur ja mõõdetav pinge on suhteliselt väike, mis muudab mõõtmise ebatäpsemaks. Teine variant oleks kasutada spetsiaalset HALL-effectil põhinevat vooluandurit. Antud lahenduse eelisteks on kompaktsus ja suurem mõõtetäpsus, kuna mikrokontrolleri ADC sisendiga tuleb mõõta kordades suuremat pingeniivod.

Valituks osutus valmis moodul **bb-hcsm-u150a**, mille mõõteorganiks on HALL-effectil põhinev vooluandur **Allegro ACS758**. [30]

Tabel 5.3 Vooluanduri parameetrid [30]

Mooduli bb-hcsm-u150a tehnilised andmed	
Sisendpinge	3 – 5,5 V
Sisetakistus	100 $\mu\Omega$
Väljundpinge (5 V toitepingel)	26,6 mV / A
Mõõtmed	45*34.4 mm



Sele 5.6 Pilt valitud vooluandurist [30]

Antud moodulit toodetakse nelja erineva mõõtepiirkonnaga: 50 A, 100 A, 150 A ja 200 A. Otsustati kasutada moodulit mõõtepiirkonnaga 150 A, kuna voolud ahelas võivad lühiajaliselt ületada 100 A ja andur satuks sellisel juhul küllastusse. Võimalus oleks ka kasutada 200 A mõõtepiirkonnaga moodulit, kuid sellel poleks otsest vajadust ning suurem mõõtepiirkond muudaks mõõtetulemused ebatäpsemaks. Antud mooduli väljundiks on analoogsignaali, pingeniivool 0 – 4 V, mida on väga lihtne mikrokontrolleri ADC sisendiga mõõta.

## Akuinfo kuvamine kasutajale:

Et anda seadme kasutajale tagasisidet aku jääklaengu kohta, peaks seadmepolema kindlasti ka mingi visuaalne akuindikaator. Akunäidu põhjal saaks kasutaja hinnata seda, kui kaua saab veel seadmega töötada ja võimaldaks vajadusel ennetavalt peagi tühjenevat aku välja vahetada.

Üks variant oleks kasutada lihtsat LEDidest koosnevat indikaatorit, kus aku tühjenedes põlevate ledide arv väheneb. Antud lahendus oleks kõige lihtsam, robustsem ja ilmselt ka kõige töökindlam. Lahenduse puuduseks oleks üsna piiratud mahuga infohulk, mida indikaator saab kuvada. Teine variant oleks kasutada väikest ekraani info kuvamiseks. Selle lahenduse peamiseks eeliseks on see, et kuvada saaks infot akutaseme kohta väga täpselt. Samuti võimaldaks ekraan kuvada ka mingit täiendavat informatsiooni peale akunäidu, kuigi otsene vajadus selle järgi puudub. Ekraani kasutamine eeldab aga paremat kaitset löökide ja teiste välismõjude eest, kuna ekraanid on üldjuhul õrnemad kui LEDid. Samuti võib ekraani puhul tekkida probleeme nähtavusega eredas päevavalguses.

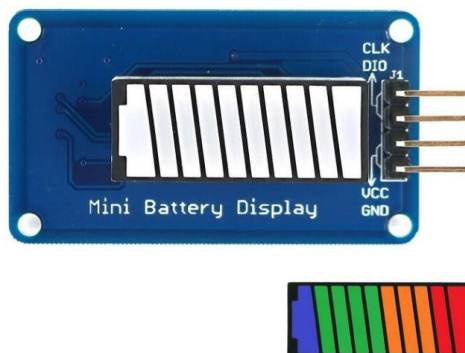
Valituks osutus LED indikaator tänu lihtsusele ja heale visuaalsele nähtavusele. Lihtsuse huvides otsustati kasutada valmis moodulit, millel on juba peale ehitatud osad vajalikud komponendid ja LED-ide juhtdriver TM1651.[31] Tänu sellele tuleb vedada oluliselt vähem juhtmeid akuindikaatorist juhtkontrollerini, kui eraldiseisvate ledide puhul. Kui kasutada eraldiseisvaid LEDe, võiks olla LEDe vähemalt 5 tk, et kuvada adekvaatset aku infot (20 % aku mahust ühe LEDi kohta). Selleks oleks tarvis aga vähemalt vähemalt 6 juhet. Antud moodulit kasutades saab aga hakkama vaid 4 juhtmega, kuvades sealjuures oluliselt täpsemat, 10 astmelist erivärvilist akunäitu (10 % akumahust üle LEDi kohta).

Valituks osutus hiina päritolu moodul: **Mini Battery Display**

Antud moodul ostus valituks peamiselt odava hinna ja esteetilise välimuse põhjal.

Tabel 5.4 Akuindikaatori parameetrid

LED mooduli Mini Battery Display tehnilised andmed	
Toitepinge	3,3 – 5 V
Maksimaalne vool	20 mA
Indikaatornäidu mõõtmed	25,4*10 mm
Mõõtmed	47*14*12 mm
Mass	6,1 g



Sele 5.7 Pilt valitud akuindikaatorist [31]

### Juhtnupud:

### Tõstemootori juhtnupud:

Tõstemootori juhtimiseks saab kasutada lihtsaid surunupp lüliteid, tumblerit või klahvlülitiit, kuna pole kiiruse reguleerimis vajadust. Valik langeb kahte eraldiseisva surunupp lüliti kasuks, kuna need tundusid olevat kõige mugavamad seadme kasutajal käsitleda.

Otsustati kasutada lüliteid **PBS-33B**, kuna need on odavad, paraja suurusega ja vastavad IP65 tolmu ja niiskuskindlus sertifikaadile. [32]



Sele 5.8 Valitud surunupplülit [32]

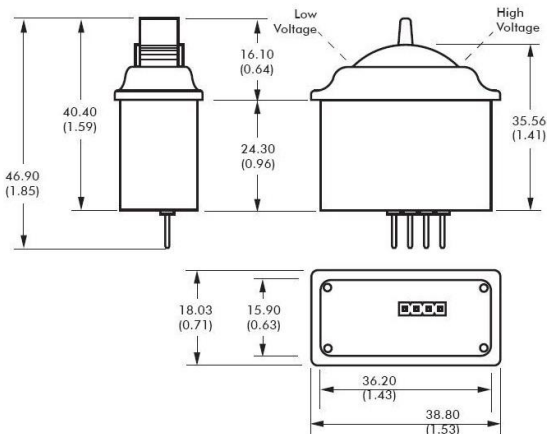
### **Veomootori juhtnupp:**

Veomootori juhtimiseks peaks olema kasutatud potentsiomeetri või mõne teise tööpõhimõttega, sujuvalt muutuva analoogväljundiga lülitit, kuna mootori kiirust on vaja sujuvalt reguleerida. Lülitit peab olema isetsentreeruv nullasendisse. Lisaks peab lülitit, tulenevalt käepideme disainist, olema mugavalt pöidlaga juhitud.

Valituks osutus lülitit **APEM TW-01BLU12**, eelkõige tänu soodsamale hinnale ja sobivatele mõõtmetele. Antud lülitit põhineb HALL anduritel ning on täiesti kontaktivaba ja tänu sellele väga töökindel. Lülitit vajab toitepinget 5 V ja tema väljundiks on analoogsignaali pingeniivoo 0 – 5 V. Keskasendis on väljundpinge siis vastavalt 2,5 V. Lülitit vastab ka IP67 tolmu ja niiskuskindlus sertifikaadile. [33]



Sele 5.9 Pilt valitud lülitist [33]



Sele 5.10 Valitud lülitit mõõtmed [33]

### **Seadme peatoitelülitit:**

Et seade ei jääks pidevalt voolu alla ja aku eemaldamine peale igat kasutamist on üsna tülikas, peaks seadmel olema ka toitelülitit. Toitelülitit peaks eraldama aku täielikult kogu elektriühelast, et vältida aku tühjenemist pikema aja vältel. Kuna voolud toiteühelas on väga suured, peab ka toitelülitit taluma voolutugevust vähemalt 100 A. Paraku on aga lülitid, mis nii suurt voolutugevust taluvad, liiga suured ja kohmakad. Seega otsustati võimsa lülitit asemel kasutada hoopis releed ja väikest lülitit, mis juhib selle rele mähise toitepinget.

Sobivaks releeks osutus **Panasonic ADZ12112H**, peamiselt tänu tema kompaktsuse ja piisavale kontaktivoolule.[34]

Tabel 5.5 Valitud rele parameetrid

Relee Panasonic ADZ12112H tehnilised andmed	
Mähise toitepinge	12 V
Mähise vool	117 mA
Maksimaalne kontaktivool	120 A
Mõõtmed	35*41*22 mm



Sele 5.11 Pilt valitud releest [34]

Relee mähise juhtimiseks otsustati kasutada tumblerlüliti, millele lisatakse tolmu ja veekindel kate, kaitsmaks välismõjude eest. Sobiv lüliti leiti kaupluse Oomipood kataloogist.

Lüliti tootekood: **MTS103** [35]

Tolmukatte tootekood: **WPC E1** [36]



Sele 5.12 Pilt toitelülitist ja tolmu katest [35][36]



## 6. MIKROKONTROLLERI PROGRAMMIKOOD

Projekteeritava seadme näol on tegu on prototüüplahendusega, mis on alles disainifaasis. Kuna hetkel pole olemas kõiki vajalikke elektroonikamooduleid, elektroonikakomponente ja seadme mehaanikat, on sobivat programmikoodi väga keeruline välja töötada ja testida. Seega on välja toodud ainult programmikoodi funktsionaalsuse kirjeldus ja programmi loogika üldine ülesehitus. Programmi loogika blokkdiagramm on toodud **lisas 4**

### 6.1 Programmikoodi ülesanded:

- Akupinge mõõtmine, led indikaatoril akuinfo kuvamine ja aku kaitselülitis.
- Akutemperatuuri mõõtmine ja aku termokaitse.
- Voolutugevuse mõõtmine jõuahelas ja ülekoormuskaitse.
- Veomootori juhtimine ja kiiruse reguleerimine PWM signaaliga.
- Tõstemootori juhtimine ja PWM signaaliga sujuvkäivitus.
- LED signaallambi juhtimine

#### 6.1.1 Akupinge mõõtmine, led indikaatoril akuinfo kuvamine ja aku kaitselülitis

Mikrokontrolleri ADC sisendiga tuleb mõõta aku klemmidega ühendatud pingejaguri väljundpinget vahemikus 0–5 V. Vastavalt mõõdetud väärtusele peab programm välja arvutama aku jääkmahtuvuse protsentides. Saadud protsendarv teisendatakse ümber akuindikaatoril põlevate LEDide arvuks. Mikrokontrolleri digitaalväljundeid kasutades kuvatakse vastav akunäit LED indikaatorile. Programm ei tohi lubada mootoreid käivitada, kui akupinge on alla 14,9 V ja peab seiskama mootorid, kui akupinge langeb mootorite töötamise ajal alla 12,4 V, kaitstes sellega akut liigtühjenemise eest.

#### 6.1.2 Akutemperatuuri mõõtmine ja aku termokaitse

Mikrokontrolleri ADC sisendiga tuleb mõõta aku sisseehitatud NTC temperatuurianduriga ühendatud pingejaguri väljundpinget vahemikus 0 – 5 V. Mõõdetud pinge teisendatakse aku temperatuuriks. Kui temperatuur väljub etteantud piiridest, seiskab programm kogu seadme, kaitstes sellega akut ülekuumenemise eest.

### 6.1.3 Voolutugevuse mõõtmine jõuahelas

Mikrokontrolleri ADC sisendiga tuleb mõõta voolutugevuse anduri väljundpinget vahemikus 0 – 5 V. Mõõdetud pinge teisendatakse voolutugevuseks. Kui veomootori töötamise ajal ületab voolutugevus 100 A, siis seiskab programm mootori ja lubab seda uuesti käivitada alles peale seda, kui juhtnupp on sekundiks vabastatud. Sama loogikat rakendatakse ka tõstemootori puhul, kuid seal on voolu piirnivooks 50 A. Sel viisil kaitstakse mootoreid ja akut ülekoormamise eest.

### 6.1.4 Veomootori juhtnupu väljundpinge mõõtmine ja mootorikontrolleri juhtimine PWM signaali ja pöörlemissuuna signaalidega.

Mikrokontrolleri ADC sisendiga tuleb mõõta veomootori lüliti väljundpinget vahemikus 0 – 5 V. Mõõdetud pinge teisendatakse mootori pöörlemissuunaks ja kiiruseks. Lüliti neutraalasendis on lüliti väljundpinge 2,5 V. Keskasendiks määrati lüliti pingevahemik 2,41 – 2,59 V. Antud vahemikus peab mootori kiirus = 0.

Kui veomootori lüliti juhthooba liigutatakse alla (F) ja väljundpinge jääb vahemikku 0 – 2,4 V, valitakse mootori suund päripäeva. Vastavalt mõõdetud pingele arvutatakse välja PWM signaali pulsipikkus, mis on pöördvõrdelises ja lineaarses sõltuvuses mõõdetud pingega. Kui veomootori lüliti juhthooba liigutatakse üles (R) ja väljundpinge jääb vahemikku 2,6 – 5 V, valitakse mootori suund vastupäeva. Vastavalt mõõdetud pingele arvutatakse välja PWM signaali pulsipikkus, mis on võrdelises ja lineaarses sõltuvuses mõõdetud pingega. Lähtuvalt veomootori juhtlüliti asendist määratud mootori suunale ja arvutatud PWM signaali pulsipikkusele juhitakse mootori juhtkontrolleri sisendeid A1, A2 ja PA mikrokontrolleri digitaalväljunditega.

- Kui mootori kiirus = 0, siis mootorikontrolleri sisendid A1 = A2 = 0 (LOW)
- Kui mootori suund on määratud päripäeva, siis mootorikontrolleri sisendid A1 = 1 (HIGH) ja A2 = 0 (LOW)
- Kui mootori suund on määratud vastupäeva, siis mootorikontrolleri sisendid A1 = 0 (LOW) ja A2 = 1 (HIGH)
- Arvutatud PWM signaali pulsipikkuse järgi genereeritakse PWM signaal, mis mikrokontrolleri digitaalväljundist suunatakse mootorikontrolleri sisendisse PA.

Veomootori töötamise ajal peab olema tõstemootori käivitamine programmi poolt keelatud, kuna mootorite samaaegselt koos töötamiseks pole vajadust. Mõlema mootori koos töötamise puhul ületaks voolutugevus lubatud piiri (100 A).

### **6.1.5 Tõstemootori juhtnuppude signaali lugemine ja PWM signaaliga sujuvkäivitus.**

Mikrokontrolleri digitaalsisenditega loetakse tõstemootori surunupplülitite signaale. Kui vajutatakse ülemist surunupplülitit (UP), siis määratakse tõstemootori pöörlemissuunaks päripäeva. Kui vajutatakse alumist surunupplülitit (DN), siis määratakse tõstemootori pöörlemissuunaks vastupäeva. Kui mõlemad nupud on samaaegselt vabastatud või samaaegselt vajutatud, siis mootori kiirus = 0. Lähtuvalt tõstemootori surunupplülitite asendist määratud pöörlemissuunale juhitakse mootori juhtkontrolleri sisendeid B1 ja B2 mikrokontrolleri digitaalväljunditega.

- Kui mootori kiirus = 0, siis mootorikontrolleri sisendid B1 = B2 = 0 (LOW).
- Kui mootori suund on määratud päripäeva, siis mootorikontrolleri sisendid B1 = 1 (HIGH) ja B2 = 0 (LOW).
- Kui mootori suund on määratud vastupäeva, siis mootorikontrolleri sisendid B1 = 0 (LOW) ja B2 = 1 (HIGH).

Kuna tõstemootorile sooviti lisada ka sujuvkäivitus, siis programm peab genereerima ajas muutuva pulsipikkusega PWM signaali mootorikontrollerile. Näiteks ühe sekundi jooksul alates tõstemootori käivitamisest suurendab programmikood sujuvalt PWM signaali pulsipikkust vahemikus 10 % - 100 %. Genereeritud PWM signaal suunatakse mikrokontrolleri digitaalväljundist mootorikontrolleri sisendisse PB.

### **6.1.6 LED signaallambi juhtimine.**

Seadmele sai lisatud ka LED signaallamp, mis ühendati mikrokontrolleri digitaalväljundiga, et oleks võimalik LEDi vajadusel programmikoodiga juhtida. See võimaldaks kasutajale kuvada veel mingit täiendavat informatsiooni näiteks vilkudes. Hetkel see funktsioon kasutustust ei leidnud ja LED süttib kohe, kui seade on aktiveeritud.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö raames projekteeriti sõiduauto haagise tiislile kinnituv elektrilise veoajamiga tugiratas. Projekteeritava seadme eesmärgiks oli lihtsustada raskemate haagise haakimist sõidukile ja haagise liigutamist ilma sõidukita. Antud teema kujunes välja töö autori isiklikust vajadusest, lihtsustamaks 1200 kg kaaluva paadihaagise manööverdämist. Seade pidi hakkama saama kuni 1500 kg kaaluva haagise liigutamisega ning selle tiisliosa tõstmise ja langetamisega. Nii veoajam kui ka tõsteajam pidid olema elektrilised ja saama oma toite standartsest akutööriistadel kasutatavast 18 V liitiumakust. Tagada oli vaja seadme piisav jõudlus, töökindlus, kasutusmugavus ja ohutus.

Töö esimeses osas tutvuti sarnase otstarbega turul saadaolevate toodetega. Toodi välja nende tehnilised parameetrid ja peamised puudused, mistõttu tuleb antud seade ikkagi ise projekteerida. Pandi paika nõuded ja parameetrid, millele peab projekteeritav seade vastama. Kui seadme nõutavad parameetrid olid teada, sai hakata tegelema seadme mehaanika disainiga. Alustati seadme veoajami projekteerimisega. Esmalt valiti seadmele välja sobiv rehvi, velg ja veomootor. Nende komponentide põhjal sai disainitud sobivate mõõtmete ja ülekandesuhtega tigureduktor koos kõigi ülejäänud komponentidega. Seejärel tegeleti tõsteajami projekteerimisega. Valiti välja sobiv tõstemootor ja käigukruvi ning nende põhjal valiti sobivad nurkhammasrattad ja disainiti tõstereduktori korpus. Koostati täielik 3D mudel seadmest, koos kõigi vajalike mõõtmetega.

Kui seadme mehaanika oli paigas, sai alustada elektriahelate disainiga. Et seade ühtiks standartsete Metabo akutööriistade akudega, sooritati ka mitmeid mõõtmiskatseid seadmest kasutatava akuga. Seejärel valiti välja elektroonikakomponendid nagu näiteks mootorikontroller, vooluandur, juhtlülitid ja akuindikaator ning pandi paika nende asukoht seadmest. Disainiti sobiv akukinnitus ja korpus, kuhu kogu elektroonika mahutati. Seejärel koostati seadmele täielik elektriskeem.

Viimaks, kui paigas oli nii mehaanika kui ka elektroonika, keskenduti seadme mikrokontrolleril baseeruvale juhtloogikale. Pandi paika programmikoodi ülesanded ja koostati blokkiskeem programmiloogika ülesehitusega.

Töö alguses püstitatud eesmärgid said täidetud. Projekteeritud sai nii mehaanika, elektroonika kui ka juhtprogrammi ülesehitus. Et seadet edasi arendada, oleks realselt vaja valmis ehitada seadme mehaanikaosa ning seejärel saaks juba testida elektroonikaskeemi ja koostada sobivat programmikoodi. Töö koostamine andis palju uusi teadmisi ja kogemusi, eriti just 3D joonestamises ja elektriskeemide koostamises.

## SUMMARY

This Bachelor's thesis presents the design of a trailer jockey wheel with electric drive. The purpose of designed device was to make hitching and maneuvering of the heavier trailer more easier. Presented topic was developed from author's own need to simplify of maneuvering 1200 kg weighing boat trailer. Designed device should be able to move trailer weighing up to 1500 kg and also rise and lower its hitch coupling. Both lifting and driving mechanism should have electric drive, powered from standard lithium batteries used in power tools. Developed device should be enough powerful, reliable, safe and easy to use.

At the beginning, different existing electric powered jockey wheels were analysed and their parameters and disadvantages were studied. Requirements for designed device were determined. When the needed parameters and requirements were known, development of the mechanics could begin. Mechanics design began with development of device's wheel drive. At first, suitable tyre, rim, and drive motor were chosen. Based on these components, worm gearbox with correct dimensions and transfer ratio was designed. After that, started development of lifting mechanism. Suitable lifting motor, lead screw and bevel gears were chosen. Based on these components, suitable case for gears was designed. The last goal of mechanics section was to assemble complete 3D model from device.

When the all mechanics were in place, development of the suitable electric circuit could begin. To combine device with standard Metabo lithium batteries, many measurements were conducted with these specific batteries. After that, all the needed electronic components were chosen: motor driver, current sensor, battery indicator, control switches, etc. Battery mount and the case for the electronics were designed. In the last part of electronics section, complete wiring diagram was drawn. Finally, when all the mechanics and electronics were in place, focus turned to device's microcontroller based control logics. Functions of the program code were determined and suitable program logic diagram was presented.

The main goals of this thesis were achieved. To develop device even further, device's mechanics must be built. After that, an electronic circuit and the program code can be tested. Writing this thesis gave a lot of knowledge and experience, specially in 3D modeling and circuit design.

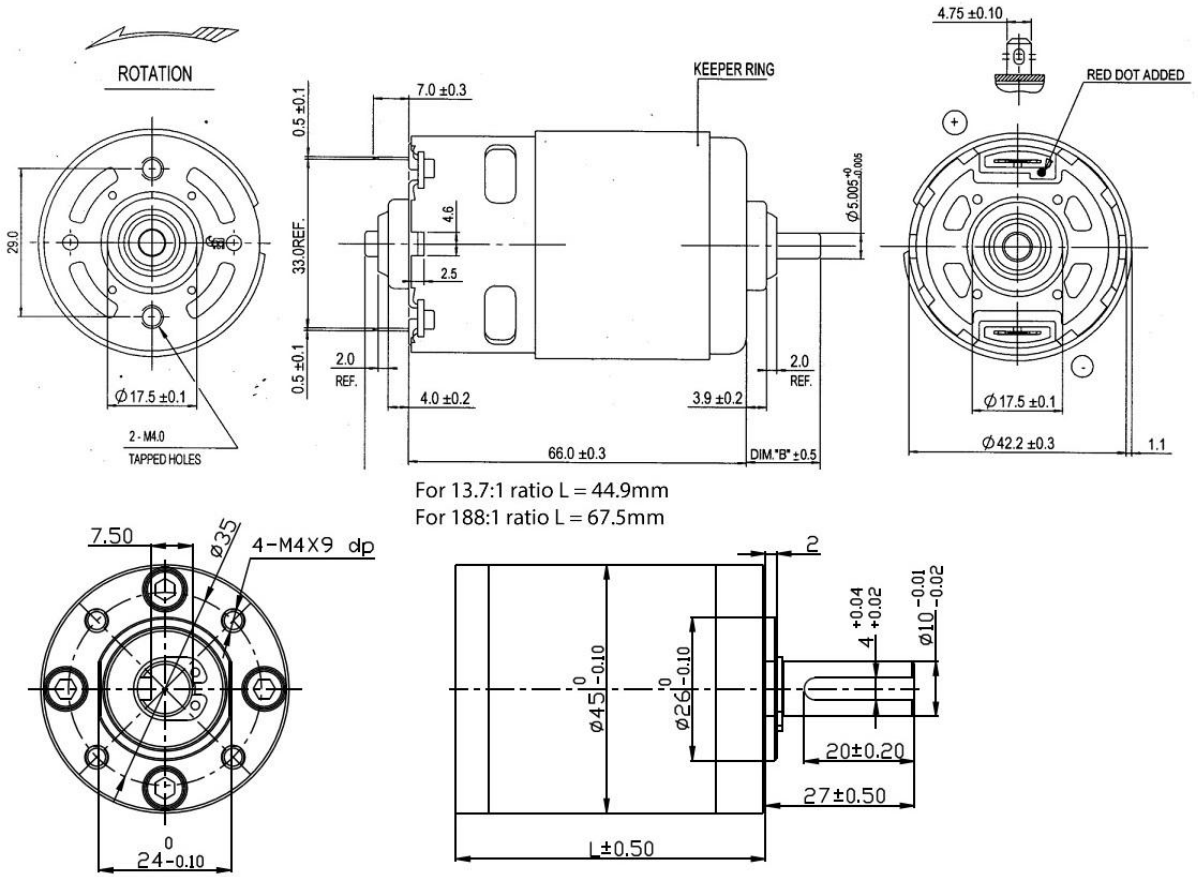
## KASUTATUD KIRJANDUS

1. [www] [http://www.szakinfo-epiteszet.hu/ujtech/metabo\\_lihd\\_technologia](http://www.szakinfo-epiteszet.hu/ujtech/metabo_lihd_technologia)
2. [www] <https://store.graniteind.com/product/overland-electric-powered-trailer-dolly-cart/>
3. [www] <https://www.trailervalet.com/shop/trailer-valet-trailer-dolly/>
4. [www] <http://maxipro.com.au/online/electric-jockey-wheel-mini-mover-gen2-nvyc500g.html>
5. [www] <http://www.optitec.com.au/caravan-mover-remote-control-jockey-wheel.html>
6. [www] [http://www.equ.ee/uploads/userfiles/file/geodeet/geo30\\_jyrgenson.pdf](http://www.equ.ee/uploads/userfiles/file/geodeet/geo30_jyrgenson.pdf)
7. [www] [http://starco.ee/info/catalogs/STARCO\\_Small\\_Tyres\\_V1\\_0814\\_EE.pdf](http://starco.ee/info/catalogs/STARCO_Small_Tyres_V1_0814_EE.pdf)
8. [www] <https://www.tiregeek.com/products/copy-of-2-two-9x3-50-4-kenda-turf-saver-tbls-turf-tires-garden-tractor-lawn-mower>
9. [www] <http://www.quickieparts.com/go-kart---mini-bike-parts/377-go-kart-split-rim-for-a-4-inch-tire.html>
10. [www] <https://gimsonrobotics.co.uk/categories/dc-electric-motors/products/gr-ep-45-high-power-45mm-planetary-gearmotor>
11. [www] <http://ee.maedler.de/>
12. [www] <http://ee.maedler.de/product/1643/1619/705/1931/1933/schneckenraeder-aus-bronze-eingaengig-rechts-modul-15>
13. [www] <http://ee.maedler.de/product/1643/1619/705/1931/schneckenwellen-aus-stahl-eingaengig-rechts-modul-05-bis-2>
14. [www] <http://mdmetric.com/khk/p87-118.pdf>
15. [www] [http://www.micro-machine-shop.com/Shaft\\_Hub\\_Keyway\\_&\\_Key\\_Sizes.pdf](http://www.micro-machine-shop.com/Shaft_Hub_Keyway_&_Key_Sizes.pdf)
16. [www] <http://www.skf.com/my/products/bearings-units-housings/index.html>
17. [www] <https://www.gimsonrobotics.co.uk/categories/linear-actuators/products/gla1800-12v-dc-compact-high-force-linear-actuator>
18. [www] <https://gimsonrobotics.co.uk/categories/dc-electric-motors/products/adrs550sh-dc-36mm-motor-12v-and-18v-versions>
19. [www] <https://gimsonrobotics.co.uk/categories/dc-electric-motors/products/compact-36mm-planetary-gearmotor-19-2-1-ratio>
20. [www] <http://ee.maedler.de/Article/35059200>
21. [www] <http://ee.maedler.de/Article/35059300>

22. [www] <http://www.skf.com/my/products/bearings-units-housings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/single-row/index.html>
23. [www] <http://www.ebay.ie/itm/2x-Black-Universal-Motorcycle-Rubber-Front-Fork-Dust-Cover-Gaiters-Gators-Boots-/272519199096?hash=item3f7368f978:g:UX4AAOSw44BYGGiR>
24. [www] <https://www.alas-kuul.ee/hammasrattad-ja-latid-trapetsulekanded/trapetskeermelatid-ja-mutrid>
25. [www] <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermistor>
26. [www] <http://www.elektroskandia.ee/files/Lihtsustatud%20kaablite%20koormatavuse%20tabel.pdf>
27. [www] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery)
28. [www] <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano>
29. [www] <http://www.ebay.com/itm/100A-DC-motor-drive-Module-High-Power-motor-speed-Control-Dual-Channel-H-bridge-/122112318908>
30. [www] <http://www.ebay.com/itm/50A-100A-150A-200A-Bi-Uni-AC-DC-Current-Sensor-Module-arduino-compatible-/111689533182>
31. [www] <http://www.dx.com/p/battery-style-digital-tube-led-battery-level-display-module-4-color-10-segment-led-bar-for-arduino-425645>
32. [www] <https://www.aliexpress.com/item/5pcs-lot-Power-round-small-button-switch-waterproof-starting-point-for-automatic-reset-PBS-33B-lock/32790533461.html?spm=2114.40010708.4.11.kWWWZb>
33. [www] [http://www.apem.com/files/apem/brochures/Joysticks\\_2015/APEM-TW-ThumbControls.pdf](http://www.apem.com/files/apem/brochures/Joysticks_2015/APEM-TW-ThumbControls.pdf)
34. [www] <http://www.mouser.ee/ProductDetail/Panasonic-Industrial-Devices/ADZ12112H/?qs=sGAEpiMZZMtGt%252bn33CgIPyPgBQGMwiYzULbWXijJFXk%3d>
35. [www] <https://cdn.sparkfun.com//assets/parts/6/6/0/7/11146-01.jpg>
36. [www] [https://www.oomipood.ee/product/mts103\\_tumbler\\_on\\_off\\_on\\_250v\\_3a?limit=96](https://www.oomipood.ee/product/mts103_tumbler_on_off_on_250v_3a?limit=96)

# LISAD

Lisa 1. Veomootori mõõtmed

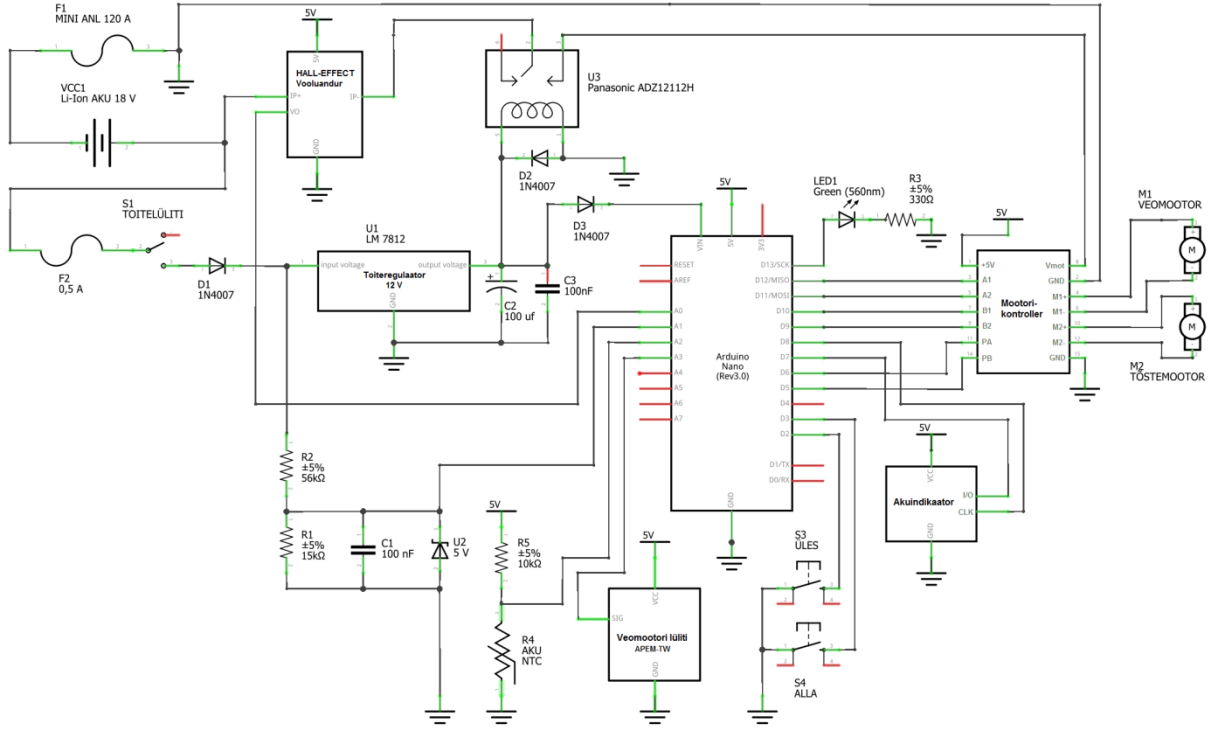




## Lisa 2. Nurkhammasrataste andmeleht

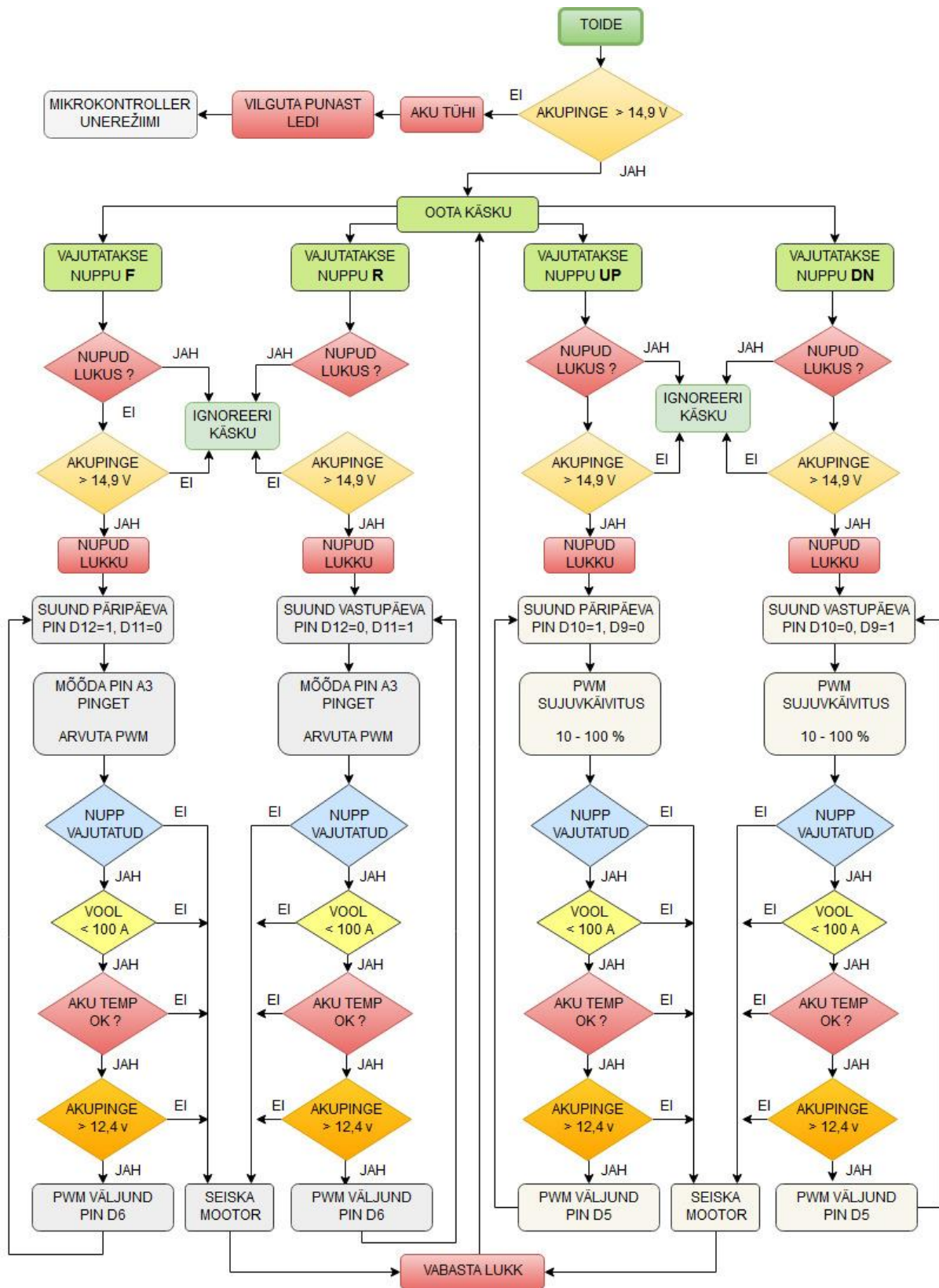
Transmission [i]	4:1 (60/15)	4:1 (60/15)
Module	1,0	1,0
No. of Teeth	60	15
da [mm]	60,3	17,8
d [mm]	60	15
ND [mm]	16,0	13,0
NL [mm]	8,0	5,5
L <sub>1</sub> [mm]	12,5	10,0
L [mm]	14,6	11,0
S [mm]	13,6	6,3
b [mm]	5	5
B <sup>H7</sup> [mm]	6	5
E [mm]	20,5	35,9
Admissible MD [Ncm]	48,8	12,2
Weight [g]	110	10

### Lisa 3. Seadme elektriskeem



fritzing

# Lisa 4. Programmikoodi blokkdiagramm



Lisa 5. Projekteeritud seade haagise küljes

