

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Tehnoloogiainstituut

Georg Mattias Karu

Ribakardina motoriseerimine

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Arvutitehnika eriala

Juhendaja

kaasprofessor Heiki Kasemägi

Tartu 2021

Resümee/Abstract

Ribakardina motoriseerimine

Inimeste kodud ja neis olevad seadmed on muutumas järjest nutikamateks. Tehnoloogia areng on muutnud rutiinsete koduste tööde tegemise mugavamaks ja vähem aeganõudvaks. Üks selline tegevus on aknakatete, täpsemalt ribakardina, reguleerimine, mida tuleks teha keskmiselt kaks korda päevas. Bakalaureusetöös luuakse ribakardinale motoriseeritud lahendus lisaks standardsele käsitsijuhtimisele, võimaldades potentsiaalselt ka kaugjuhtimist. Töö teoreetilises osas antakse ülevaade olemasolevatest kommertslahendustest ning loodavast lahendusest koos nende eeliste ja puudustega. Töö praktilise osana loodi prototüüp motoriseeritud ribakardinast.

CERCS: T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia; T125 Automatiseerimine, robotika

Märksõnad: robotika, automatiseerimine, riistvara, elektroonika, mehaanika

Motorized blinds

People's homes and the appliances in there are becoming more intelligent. Advances in technology have made routine household works more convenient and less time-consuming. One such trivial activity would be adjustment of window coverings, particularly the blinds, which should be done on average twice a day. In the thesis, a remote controlled motorized solution for the blinds is created in addition to the standard manual control. Furthermore, an overview is given of existing commercial solutions and the solution to be created, together with their advantages and disadvantages. The final part introduces the prototype of motorized blind.

CERCS: T120 Systems engineering, computer technology; T125 Automation, robotics

Keywords: robotics, automation, hardware, electronics, mechanics

Sisukord

Resümee/Abstract	2
Sisukord	3
Jooniste loetelu	5
Lühendid, konstandid, mõisted	6
1 Sissejuhatus	7
1.1 Probleemi tutvustus	8
1.2 Töö eesmärk ja ülevaade	8
2 Kommertslahendused	10
2.1 Somfy	10
2.2 SOMA Smart Home	11
2.3 Tilt by Smarter home	12
2.4 Kommertslahenduste eelised ja puudused	15
3 Nõuded lahendusele	16
4 Kasutatud riistvara	17
4.1 Arduino Nano	18
4.2 NEMA 8 bipolaarne samm-mootor	19
4.3 DRV8834 Samm-mootori draiver	19
4.4 LTC4412 toiteallika vahetamise kontrolleri	20
4.5 MIC39100-5.0WS-TR LDO pingeregulaator	20
4.6 CHQ1838 infrapunasiignaali vastuvõtja	21
4.7 Päikesepatarei	21
4.8 Akupank	21
5 Lahenduse loomine	22
5.1 Trükkplaadi loomine	22
5.2 Mehaanika	23
5.2.1 Ribakardina ehitus ja tööpõhimõte	24
5.2.2 Kaldenurga reguleerimise mehhanism	25
5.2.3 Tõstmise ja langetamise mehhanism	26
5.2.4 Ribakardina reguleerimise mehaanika tervikuna	29
5.2.5 Päikesepatarei, akupanga ja trükkplaadi korpus	29
5.2.6 IR vastuvõtja korpus	31
5.3 Tarkvara	32

6 Tulemused	34
6.1 Energiakulu	34
6.2 Päikesepatarei efektiivsus	35
6.3 Loodud lahenduse testimine	37
7 Kokkuvõte	39
Tänuavaldused	40
Kasutatud materjalid	41
Lisad	47
Lisa 1. Elektriskeem	48
Lisa 2. Ribasid kallutava samm-mootori korpus prindituna ja ülakarpi paigaldatuna	49
Lisa 3. Ribasid tõstva ja langetava samm-mootori korpus ja pikendusvarras prindituna	51
Lisa 4. Tõmbenööri kerimise mehhanism prindituna	52
Lisa 5. Ribade kaldenurga reguleerimise mehhanism ülakarpi paigaldatuna	55
Lisa 6. Ribasid reguleeriva mehaanika tervik ülakarpi paigaldatuna	56
Lisa 7. Trükkplaadi, akupanga ja päikesepatarei korpused prindituna	57
Lisa 8. IR vastuvõtja korpus prindituna ja ribakardina juurde paigaldatuna	59
Lisa 9. Valminud motoriseeritud ribakardin	60

Jooniste loetelu

Joonis 1: Aluminiiumist ribakardin	7
Joonis 2: Somfy CTS-40 ja CTS-25 motoriseeritud lahendus ribakardinale	10
Joonis 3: SOMA Smart Shades 2	11
Joonis 4: SOMA Tilt	11
Joonis 5: MySmartRollerShades rulookardin	12
Joonis 6: MySmartBlinds ribakardin	13
Joonis 7: Tilt By Smarter Home rulookardina automatiseerimise komplekt	13
Joonis 8: Tilt By Smarter Home ribakardina automatiseerimise komplekt	14
Joonis 9: Arduino Nano arendusplaat	18
Joonis 10: NEMA 8 bipolaarne samm-mootor	19
Joonis 11: DRV8834 samm-mootori draiver	20
Joonis 12: Infrapunasignaali vastuvõtja CHQ1838	21
Joonis 13: Trükkplaadi disain	22
Joonis 14: Töös kasutatava ribakardina ülakarbi esiküljes olevad avad	24
Joonis 15: Ribade kaldenurka reguleeriva koonusülekande mehhanism ja kinnitus	25
Joonis 16: Ribade kaldenurka reguleeriva samm-mootori korpus ja rootori ühenduslüli	26
Joonis 17: Ribakardina originaalne tõmbenööri liikumise mehhanism ja kinnitus	26
Joonis 18: Tõmbenööri kerimise mehhanism ja kinnitus	27
Joonis 19: Tõmbenööri kerimise mehhanism	28
Joonis 20: Tõmbenööri keriva samm-mootori korpus	28
Joonis 21: Ribakardina reguleerimise mehaanika tervikuna	29
Joonis 22: Akupanga korpus päikesepatareide korpuse tagaküljel	30
Joonis 23: Trükkplaadi korpus	30
Joonis 24: Trükkplaadi korpus akupanga ja päikesepatareide korpuse küljes	31
Joonis 25: IR vastuvõtja korpus	31
Joonis 26: Programmi algoritmi plokk skeem	32

Lühendid, konstandid, mõisted

LDO (*Low-dropout voltage regulator*) – pingeregulaator

IR (*Infrared*) – infrapuna

AC/DC (*Alternating Current/Direct Current*) – alalisvool/vahelduvvool

IDE (*Integrated Development Environment*) – integreeritud arenduskeskkond

USB (*Universal Serial Bus*) – universaalne jadasiin

IoT (*Internet of Things*) – asjade internet

PLA (*Polylactic acid*) – polülihape ehk polüaktiid

PETG (*Polyethylene terephthalate*) – polüeteentereftalaat

1 Sissejuhatus

Tehnoloogia areneb iga päev, tänu millele on tekkimas juurde väga palju uusi lahendusi, mis inimeste elu lihtsamaks muudavad. Tehnoloogia üks arengusuund on seadmete automatiseerimine ja nende võrku ühendamine, et võimaldada näiteks kaugjuhtimist ja/või monitoorimist [1]. Kaugjuhtimise teel saab koduseadmeid juhtida üle võrgu ning inimene ei pea füüsiliselt seadme juures olema. Seadmed muutuvad nutikamaks, saades võrgu kaudu omavahel suhelda ning moodustades asjade interneti ehk IoT.

Eriotstarbelised kodumasinad ja seadmed vähendavad tänapäeva kodudes rutiinsetele majapidamistöodele kuluvat aega [1]. Kodus kasutatavatele seadmetele on juurde lisatud toimivusi, mis muudavad need automaatseteks. Mida rohkem kodus kasutatavatest seadmetest on automatiseeritud, seda nutikam on kodu ning seda mugavam on inimese elu.

Üks rutiinne ja käsitsi tehtav tegevus on aknakatete reguleerimine [2]. Nende motoriseerimine ja automatiseerimine vähendaks rutiinsele tegevusel kuluvat aega. Lisaks on võimalik automatiseerida aknakatete avamist ja sulgemist sõltuvalt aasta- ja kellaajast. Näiteks on see kasulik, kui inimene pole ise kodus, aga aknakatted oleks vaja eest võtta, et lasta taimedele valgust. Tuginedes isiklikule vaatluskogemusele, on enamikes kodudes mingit tüüpi aknakatted, mis ei ole motoriseeritud. Üks selline aknakatte tüüp on ribakardin, mida käesoleva lõputöö raames automatiseeritakse (joonis 1) [3,4].



Joonis 1: Alumiiniumist ribakardin

Ribakardin on nööriga ühendatud ribadest koosnev aknakate, mida on võimalik reguleerida kahel viisil. Esiteks saab muuta ribade kaldenurka ülakarbi küljes rippuva reguleerimisvardaga. Ribakardina ülakarbi küljes oleva tõmbenööriga saab ribakardina ribasid tõsta või langetada. Ribakardina ribade kaldenurga reguleerimine vastavalt päikese kõrgusele tagab piisava valguse ruumis ning ruumis viibijate privaatsuse [5].

1.1 Probleemi tutvustus

Motoriseerimata ribakardinad peab kasutaja käsitsi ette laskma ja üles tõmbama. Inimene, kes on laisk või pole võimeline ise ribakardinaid avama, kasutab toa valgustamiseks mingit tüüpi valgustit ja tarbib seega palju rohkem elektrienergiat [6]. Motoriseeritud ribakardin töötab enamasti kuni 2 korda päevas ja väga lühikest aega [7]. Lisaks üldisele energiasäästlikkusele muudavad motoriseeritud lahendused raskesti ligipääsetavate ribakardinate avamise ja sulgemise lihtsamaks.

Teine oluline viis, kuidas motoriseeritud ribakardinad energiat säästaksid, on päikeselt kiirguva soojusenergia tõrjumine [8]. Ärihoonetel või kodudel võib olla palju klaaspinda, mistõttu siseruumid muutuvad päikeselise ilma korral kiiresti palavaks. Ruumide jahutamiseks kasutatakse tihti kliimaseadmeid, mis tarbivad palju elektrienergiat [9]. Kliimaseadmete energiatarve moodustab ligi 20% ühe hoone energiakulust [9,10]. Kui need suured klaaspinnad oleks võimalik päikesevalguse eest kinni katta, väheneks ruumide soojenemine vähemalt 40% ning hoone energiakulu kuni 20% [11,12].

Automaatselt avanevad ja sulguvad ribakardinad on mugav ning aja- ja energiasäästlik lahendus eelnevalt mainitud probleemidele. Motoriseeritud ribakardinad vähendavad manuaalse töö mahtu, kui aknaid on palju ja neid oleks võimalik korruga lahti teha või kinni katta. Energiakulu vähendamiseks ja seejuures kasutusmugavuse tõstmiseks on mõistlik luua ja võtta kasutusele motoriseeritud ribakardinad.

1.2 Töö eesmärk ja ülevaade

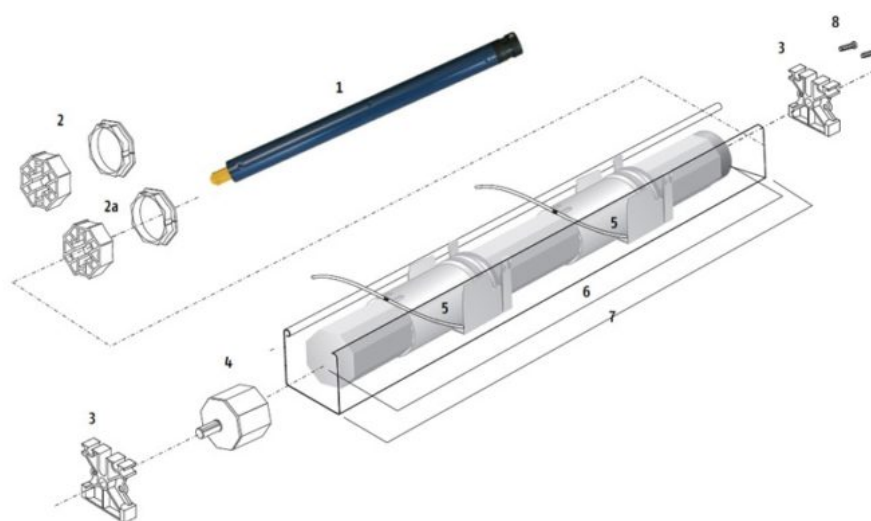
Bakalaureusetöö eesmärk on luua standardsele originaaldisainis käsitsijuhtimisega ribakardinale motoriseeritud lahendus kaugjuhtimise valmidusega. Loodav prototüüp peab olema ribakardinale lihtsasti paigaldatav ning säilitama ribakardina manuaalse reguleerimise võimaluse.

Töö teoreetilises osas antakse ülevaade probleemist ja erinevatest saadaval olevatest motoriseeritud ribakardinate kommertslahendustest. Samuti tuuakse välja viimaste eelised ja/või puudused. Töö praktilises osas kirjeldatakse loodavat lahendust ja sellele kehtestatud nõudeid. Lisaks tutvustatakse lahenduses kasutatud riistvara ning loodud mehaanikat ja tarkvara.

2 Kommertslahendused

2.1 Somfy

Prantsusmaa ettevõtte Somfy [13] pakub tellimise peale tehtavaid ja valmis nutilahendustega aknakatteid nii era- kui ka äri sektorile. Viimases keskendutakse uste ja akende automatiseerimisele ja motoriseerimisele. Somfy pakub üle terve maailma laia tootevalikut, et muuta nii kodud kui ka ärihooned turvalisemaks, nutikamaks ja mugavamaks. Olemas on motoriseeritud lahendusi nii tugevamatele ja turvalisematele kui ka tavalistele aknakatetele. Viimaste puhul on pakkuda lahendusi, mis sobivad tekstiil-, ruloo-, riba-, rooma- ja turvakardinatele. Ribakardinale mõeldud motoriseeritud lahendus sõltub ribakardina ribade materjalist [14]. Puidust ribakardina ribad kaaluvad rohkem kui kangast või alumiiniumist ribakardina ribad. Raskemate ribakardinate mootoriga reguleerimiseks on mõeldud CTS-40-süsteem (joonis 2) [15]. Alumiiniumist või kangast tehtud ribakardinate mootoriga reguleerimiseks on CTS-25-süsteem [16], mis on joonistel identne CTS-40-süsteemiga (joonis 2).



Joonis 2: Somfy CTS-40 ja CTS-25 motoriseeritud lahendus ribakardinale

Somfy tooteid on võimalik juhtida erinevatest nutiseadmetest nutirakenduse kaudu. Samuti saab juhtida mitut toodet samal ajal. Tuntumad Somfy toodete edasimüüjad Eestis on näiteks Sunorek AS [17] ja Avaeksperdid OÜ [18].

2.2 SOMA Smart Home

SOMA Smart Home [19] on Eesti ettevõtte, mis pakub seadmeid aknakatete automatiseerimiseks. Ettevõtte uusim toode kannab nime SOMA Smart Shades 2, mis on mõeldud tavalise või helmestega nõõriga rulookardinate reguleerimiseks (joonis 3) [20].



Joonis 3: SOMA Smart Shades 2

Samuti pakutakse ribakardinatele toodet nimega SOMA Tilt, kuid see reguleerib ainult ribakardinate ribade kaldenurka ning sellel puudub käsitsi reguleerimise võimalus (joonis 4) [21].



Joonis 4: SOMA Tilt

Mõlemad tooted kinnituvad seina külge ja on lihtsasti paigaldatavad. Samuti saab kõiki kodus olevaid SOMA seadmeid korraga juhtida ja seadistada nutitelefoni loodud mobiilirakendusest. Nutirakendust saab kasutada mitmes erinevas nutiseadmes. Mõlema SOMA toote hind on 149 €, mille sees on päikesepaneel ja USB laadimisjuhe. SOMA toodetele mõeldud rakenduses saab seada ajarežiimid, millal toimub automaatne avamine ja sulgumine. Lisaks rakendusest juhtimisele, saab seadmeid juhtida häälkäsklustega, kasutades Amazon Alexat, Google Home'i või Apple HomeKiti.

2.3 Tilt by Smarter home

Tilt By Smarter Home [22] on Ameerika Ühendriikide Utahi osariigis tegutsev ettevõtte, mis pakub motoriseeritud aknakatete lahendusi. Nende tootevalikus on nii elektrilisi ruloo- ja ribakardinaid kui ka isepaigaldatavaid automatiseerimise komplekte [23]. Motoriseeritud rulookardina toote nimi on MySmartRollerShades ja selle hind on 399 \$ (joonis 5) [24].



Joonis 5: MySmartRollerShades rulookardin

Motoriseeritud ribakardina toode kannab nime MySmartBlinds ja selle hind on 270 \$ (joonis 6) [25].



Joonis 6: MySmartBlinds ribakardin

Mõlemad tooted on lihtsasti paigaldatavad, Bluetoothi kaudu juhitud, päikeseenergiast toituvad ning tellitavad kasutajale sobivas suurus. Lisaks saab neid seadistada päikese tõusul üles tõusma ja päikese loojumisel alla minema. Tilt By Smarter Home tootevalikus on lisaks motoriseeritud kardinale ka motoriseerimata ruloo- ja ribakardinad. Kasutaja saab neid tellida endale sobivas suurus ning nende hinnad on vastavalt 199 \$ ja 120 \$ [26,27]. Juba olemasolevale ruloo- või ribakardinale juurde lisatav automatiseeritavad komplektid maksavad vastavalt 199 \$ ja 149 \$ (joonis 7, 8) [28,29]. Need sisaldavad lisaks mootorile ka akut ja päikeseplatte.



Joonis 7: Tilt By Smarter Home rulookardina automatiseerimise komplekt



Joonis 8: Tilt By Smarter Home ribakardina automatiseerimise komplekt

Ribakardinate automatiseerimise komplektis olev mootor käib ribakardina ülakarbi sisse ning sellega saab reguleerida ribade kaldenurka reguleerivat võlli. Ribade tõstmise või langetamise motoriseeritud lahendust tootevalikus pakkuda ei ole. Ribakardinad, millel ei ole tõmbenööre, on tehtud alumiiniumist või on lühemad kui 53,34 cm, ei ole sobilikud MySmartBlinds automatiseerimise komplektile. Tootja soovib kasutada kahte MySmartBlinds automatiseerimise komplekti, kui ribakardin on pikem kui 187,6 cm (75⁷/₈ inch). Rulookardina üles või alla kerimist motoriseerivas komplektis on lisaks mootorile ka päikesepatarei.

Aknakatete juhtimiseks on rohkete omadustega nutirakendus. Selle kaudu saab teavet aku täituvuse ja päikesepatareiga laadimise kohta. Samuti saab sellega seadistada aknakatete töötamise päevast või nädalast ajakava. Kõiki majapidamises olevaid motoriseeritud aknakatteid on võimalik juhtida Tilt nutirakenduse abil, mis on saadaval nii iOS kui ka Android operatsioonisüsteemidele. Lisaks on võimalik seadmeid juhtida häälkäsklustega Amazon Alexa või Google Home abil, kuid viimane ei ole toetatud MySmartRollerShades tootega. See-eest saab kasutada ainult rulookardinate juhtimiseks lisaks Amazon Alexale ka Samsung SmartThings rakendust. Häälkäskluste abil juhtimiseks tuleb soetada 89 \$ maksev lisaseade nimega Bridge. See võimaldab aknakatteid juhtida üle WiFi-võrgu kuni 200 meetri kauguselt.

2.4 Kommertslahenduste eelised ja puudused

Erinevad aknakatete tootjad pakuvad juba valmislahendusena motoriseeritud aknakatteid või lisaseadet, mis muudab manuaalselt reguleeritavad aknakatted automaatseks [30]. See annab kasutajale võimaluse leida endale sobivaim lahendus. Aknakatete motoriseerimiseks ei ole otseselt vaja neid uute vastu välja vahetada, tuleb vaid osta oma aknakattele sobiv mootoriga lahendus [31]. Kuna aknaid on erinevaid mõõde, siis ka nende katete mõõdud varieeruvad. Valmislahenduse ostmisel tuleb nii selle kui ka ribakardina ülakarbi ehitusega arvestada, kuna viimase avade asukoht ja arv varieerub sõltuvalt tootjast. Näiteks Eestis aknakatteid müüva Sunorek AS tootevalikust leiab ribakardinaid, mille korpuse esiküljel on vaid üks ava, milles on nii ribade kaldenurga reguleerimise kui ka tõstmise või langetamise mehaanika koos [5].

Eelnevalt kirjeldatud kommertslahenduste peamine ja läbiv puudus on, et pärast ribakardinate motoriseerimist pole võimalik neid käsitsi reguleerida. See võib osutuda vajalikuks, kui süsteemis tekib tehniline rike. Osade lahenduste korral on võimalik taastada esialgne käsitsi reguleerimise võimalus, kuid tehasest sisseehitatud automaatikaga ribakardinate seda võimalust ei ole. Oluline puudus lisaseadmetel on see, et ribakardina automaatne üles või alla kerimise toimivus puudub.

3 Nõuded lahendusele

Bakalaureusetöö raames valmib süsteem, mis lisab ribakardinale mootori jõul töötamise võimekuse. Lisaks peab motoriseeritud ribakardina süsteem vastama järgmistele nõuetele:

- ribakardina ribade kaldenurka saab reguleerida käsitsi või kaugjuhtides samm-mootorit infrapunasiiniga;
- ribakardinat saab tõsta ja langetada käsitsi või kaugjuhtides samm-mootorit infrapunasiiniga;
- loodav lahendus on ribakardinale lihtsasti paigaldatav;
- sobib 50×116 cm mõõtmetega ribakardinale;
- ribakardina ülakarbi paremas otsas on eraldi avad ribade reguleerimiseks ja tõmbenööri liikumiseks;
- süsteemi toide on 5 V peal seinadapteri või akupanga kaudu;
- akupanka saab laadida päikesepatareidega.

4 Kasutatud riistvara

Motoriseeritud ribakardina terviklik süsteem koosneb järgnevatest riistvarakomponentidest:

- Arduino Nano;
- 2 samm-mootorit;
- 2 samm-mootori draiverit;
- IR sensor ja saatja;
- 2 päikesepatareid;
- akupank;
- USB-A 2.0 pesa;
- mini-USB pesa;
- toitepistik;
- toiteallika vahetamise kontrolleri;
- pingeregulaator;
- passiivkomponendid.

Kasutatavate riistvarakomponentide hinnad on esitatud tabelis 1 (tabel 1). NEMA 8 bipolaarseid samm-mootoreid kasutatakse ribakardina tõstmiseks, langetamiseks ning selle ribade kaldenurga muutmiseks. Samm-mootorite juhtimiseks kasutatakse DRV8834 samm-mootori draivereid. Arduino Nano v3 arendusplaat juhib kogu süsteemi tööd, saades sisendiks CHQ1838 IR vastuvõtja moodulile saadetud signaale, et nende peale samm-mootori draivereid juhtida. Süsteemile saab anda 5 V toitepinget mini-USB pesa või toitepistiku kaudu. Nendevahelist automaatset ümberlülitust teeb toiteallika vahetamise kontrolleri. Kahe päikesepatarei abil saab USB-A 2.0 pesast akupanka laadida. Päikesepatareist tuleva pinge 5 V peale reguleerimiseks kasutatakse pingeregulaatorit. Passiivkomponentide alla kuuluvad riistvarakomponentide juurde käivad takistid ja kondensaatorid.

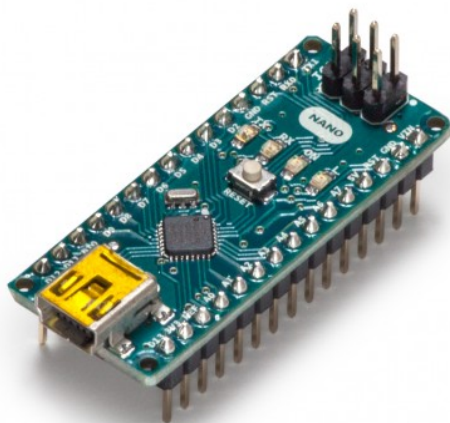
Tabel 1: Töös kasutatavate komponentide hinnad

Komponent	Kogus	Hind
Arduino Nano v3	1	20 € [32]/3,46 € [33]
NEMA 8 bipolaarne samm-mootor	2	33,5 € [34]
DRV8834 samm-mootori draiver	2	12,22 € [35]
CHQ1838 IR vastuvõtja moodul	1	0,19 € [36]

Trükkplaat	1	0,53 €
FDS6375 p-MOSFET	1	1,08 € [37]
MIC39100-5.0WS-TR LDO 5 V 1 A	1	1,34 € [38]
Schottky diood 30 V 1 A	1	0,61 € [39]
Schottky diood 30 V 0,6 A	1	0,33 € [40]
USB-A 2.0 pesa	1	1,98 € [41]
5 V 2 A DC toitepistik	1	2,42 € [42]
LTC4412 toiteallika vahetamise kontrolleri	1	3,07 € [43]
Päikesepatareid 12 V 2 W	2	12,62 € [44]
Mini-USB pesa	1	0,86 € [45]
Akupank	1	9,86 € [46]
Kokku		100,61 € / 84,07 €

4.1 Arduino Nano

Arduino Nano (joonis 9) [32] on arendusplaat, mis on avatud lähtekoodiga ning mida kasutatakse laialdaselt prototüüpimiseks ja hobiprojektideks. Plaadil on ATmega328 mikroprotsessor ning Mini-B USB pesa, mille kaudu saab anda 5 V toitepinget ning programmeerida mikroprotsessorit. Lisaks on plaadil 16 MHz taktsagedusega kristall ning 22 viiku, millest 14 on digitaalse sisendi või väljundi jaoks ning 8 analoogsisendi jaoks. Arduino Nano arendusplaadil on 5 V ja Vin viik, mida saab kasutada vastavalt 5 V sisendi või väljundina ning 7–12 V toitepinge andmiseks. Plaadi voolutarve töörežiimis on 19 mA.



Joonis 9: Arduino Nano arendusplaat

4.2 NEMA 8 bipolaarne samm-mootor

NEMA 8 bipolaarne samm-mootor (joonis 10) [34] on Pololu tootevalikus kõige väiksemate mõõtmetega samm-mootor. See töötab 3,9 V toitepingega ning selle kumbki mähis tarbib 600 mA voolu. Mootori üks sammunurk on $1,8^\circ$, seega kulub rootoril täispöörde tegemiseks 200 sammu ($360^\circ/1,8^\circ$). Mootorist väljub 4 juhet, millest must ja roheline on ühendatud ühe ning sinine ja punane teise mähise otstesse. Juhtmed kinnituvad trükkplaadi küljes olevatesse pistikühendustesse. Samm-mootor suudab tõsta 180 g raskust, mis on tema rootorist 1 cm kaugusel. Mootori enda kaal koos juhtmetega on 60 g.

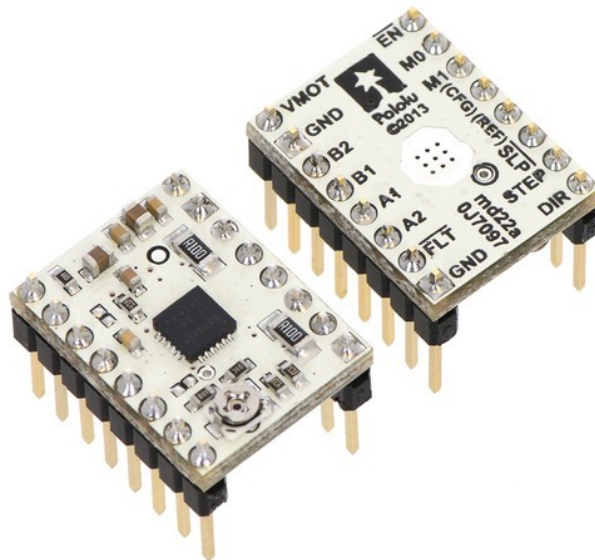


Joonis 10: NEMA 8 bipolaarne samm-mootor

4.3 DRV8834 Samm-mootori draiver

DRV8834 samm-mootori draiveri moodul (joonis 11) [47] on mõeldud bipolaarsete samm-mootorite juhtimiseks. Selle draiveriga on võimalik juhtida samm-mootorit täis-, 1/2-, 1/4-, 1/8-, 1/16- ja 1/32-sammtalitluse meetodil. Viimaste vahetamiseks tuleb muuta viikude M0 ja M1 olekut. Mootori draiveri sisendpinge, mis on mõeldud samm-mootori toitepingeks, võib olla vahemikus 2,5–10,8 V ning maksimaalne lubatud voolutugevus on 1,5 A ühe mähise kohta. Loogikalülituste tegemiseks ja kontrollimiseks mõeldud viikude lubatud sisendpinge on 2,5–5,5 V. Lisaks on draiveril olemas ülekuumenemise ning lubatud voolutugevuse ületamist takistav kaitse, mis rakendub, kui voolutugevus peaks tõusma üle 2,2 A. Kuna tegemist on madalal toitepingel töötavate samm-mootorite draiveriga, siis on sellel võimalik piirata voolutugevust, reguleerides mooduli küljes olevat potentsiomeetrit.

Voolutugevuse arvutamiseks tuleb lisada draiverile taha koormus (nt samm-mootor) ning seejärel mõõta potentsiomeetri või VREF viigu pealt pinget. Valem, mille järgi saab leida voolutugevuse, on $I = VREF \times 2$. Seega 600 mA jaoks peab reguleerima potentsiomeetrit selliselt, et VREF pinge oleks sellest kaks korda väiksem ehk 0,3 V. Samm-mootori kummalgi draiveril piirati potentsiomeetriga maksimaalne voolutugevus 500 mA peale, et vältida samm-mootorile maksimaalse voolu andmist.



Joonis 11: DRV8834 samm-mootori draiver

4.4 LTC4412 toiteallika vahetamise kontrollid

LTC4412 on erinevate toiteallikate vahel lülitamiseks mõeldud kontrollid [48]. See võimaldab tõhusalt valida mitme toiteallika vahel, juhtides selleks välist p-MOSFETi. Nii aku toite kui ka toiteadapteri olemasolul lülitatakse tarbimine viimasele, et tagada pikem aku kestvus. Seinakontakti ühendatava AC/DC adapteri väljundpinge lubatud vahemik on 3–28 V. Aku väljundpinge lubatud vahemik on 2,5–28 V.

4.5 MIC39100-5.0WS-TR LDO pingeregulaator

MIC39100-5.0WS-TR on LDO pingeregulaator, mille väljundi pinge on täpselt (ingl k *fixed*) 5 V ning maksimaalne voolutugevus kuni 1 A [38]. LDO pinge väärtuseks on 0,41 V. mis on toimimiseks vajalik erinevus sisend- ja väljundpinge vahel. Komponenti pakend on SOT-223 ning sisendpinge lubatud vahemik on 2,25–16 V.

4.6 CHQ1838 infrapunasi signaali vastuvõtja

Infrapunasi signaali vastuvõtmiseks kasutatakse CHQ1838 moodulit (joonis 12) [36]. Sellel on kolm viiku - väljund, maandus ja toide. Väljundi viigult edastatakse signaal, mis on digitaalsel ja kodeeritud kujul. Toiteviigule rakendatava pinge lubatud vahemik on 2,7–5,5 V. CHQ1838 infrapuna vastuvõtja töötab 38 kHz infrapunasi signaaliga.



Joonis 12: Infrapunasi signaali vastuvõtja CHQ1838

4.7 Päikesepatarei

Akupanga laadimiseks kasutati kahte jadamisi ühendatud päikesepatareid. Tootja andmetel suudab üks päikesepatarei välja anda 12 V pinget ning 2 W võimsust. Nendest andmetest saab arvutada voolutugevuse, mis on $I = P / U = 2 \text{ W} / 12 \text{ V} = \sim 166 \text{ mA}$. Kuna päikesepatareid on ühendatud jadamisi, siis nende voolutugevus summeerub. Seega on kahe päikesepatarei toodetava voolu tugevus on 332 mA.

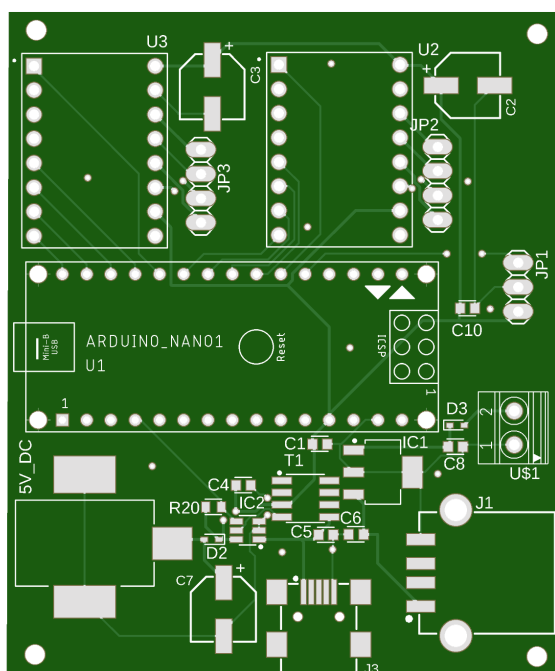
4.8 Akupank

Akupanga sisend- ja väljundpinge on 5 V ning maksimaalne voolutugevus kuni 1 A [46]. Mõlemal juhul on tegemist DC ehk alalisvooluga. Akupanga sisendiks on micro-USB pesa, väljundiks USB-A pesa ning aku mahutavus on 4000 mAh.

5 Lahenduse loomine

5.1 Trükkplaadi loomine

Süsteemi riistvara ühendamiseks ja juhtimiseks on disainitud trükkplaat (joonis 13), mis tehti elektriskeemi põhjal (lisa 1). Trükkplaadid tootis Hiina ettevõtte JLCPCB [49] ning selle peale joodetavad komponendid telliti Farnelli [50] ja Mouser [51] veebipoodidest. Kõik komponendid joodeti käsitsi peale, testides samal ajal ühendusi ja trükkplaadi toimivust. Enne riistvaraliste komponentide trükkplaadile lisamist kontrolliti multimeetriga, kas nende toiteviigud saavad õiges suuruses pinget, et ennetada komponentide läbipõlemist.



Joonis 13: Trükkplaadi disain

NEMA 8 bipolaarsed samm-mootorid telliti Pololu veebipoest [52] ning nende juhtimiseks vajaminevad draiverid Teval Elektroonikast [53]. Kogu elektroonika vajab töötamiseks 5 V toitepinget. Selleks on trükkplaadil kaks toitesisendit – 5 V toitepistik ja mini-USB pesa. Toitepistiku läbimõõt on 6,3 mm ja see on mõeldud seinapistikusse käiva toiteadapteriga kasutamiseks. Mini-USB pesaga saab süsteemi toita USB kaabliga 5 V akupangast või 5 V toiteadapteriga. Lisaks on trükkplaadil kruviterminal ja USB-A pesa, et päikesepatareidega laadida akupanka. Päikesepatareide juhtmed tuleb ühendada kruviterminali ning akupanga enda laadimisjuhe USB-A pesasse. Päikesepatareide eeldatav väljundpinge on kuni 12 V, kuid kindlasti ei tohi see olla rohkem kui 16 V. Kruviterminali positiivse ja negatiivse klemmi külge on ühendatud vastavalt punane ja must juhe. Nende juhtmete teise otsa on joodetud

XT60 pesa. Sama konektori pistik on joodetud päikesepatareide juhtmete külge, et neid mugavalt ja kiiresti kokku või lahti ühendada. Päikesepatareid on ühendatud omavahel jadamisi, et suurendada nende voolutugevust. Trükkplaadil on LDO pingeregulaator, mis reguleerib päikesepatareidest tuleva pinge täpselt 5 V peale. LDO lubatud sisendpinge on kuni 16 V, mistõttu ei ole soovitatav kasutada 12 V suurema pingega päikesepatareisid. Arduino Nano ja samm-mootorite draiverite jaoks on plaadile joodetud 2,54 mm vahedega ühenduspesad. Samm-mootorite draiverite külge joodeti 2,54 mm ühenduspistikud, et neid mugavalt trükkplaadi külge lisada. Samm-mootorite ja IR vastuvõtja mooduli juhtmete otsa joodeti 2,54 mm emased ühenduspesad ning trükkplaadile samade vahedega isased ühenduspesad.

5.2 Mehaanika

Mehaanilise lahenduse jaoks loodi järgnevad detailid:

- kaks samm-mootori korpust;
- koonusülekanne ribade kaldenurka reguleeriva võlli keeramiseks;
- ribakardina ribade kaldenurga reguleerimise mehhanism;
- hammasülekanne ja pikendav lüli samm-mootori rootori ja tõmbenööri kerimise mehhanismi vahele;
- ribade tõstmise ja langetamise mehhanism;
- ühenduslüli samm-mootori ja ribade kaldenurka reguleeriva võlli ühendamiseks;
- päikesepatareide korpus;
- akupanga korpus;
- trükkplaadi korpus;
- IR vastuvõtja korpus.

Mehaanikadetailide joonestamiseks kasutati Autodeski Fusion 360 joonestustarkvara [54]. Kõik 3D mudelid prinditi Prusa I3 MK3S 3D printeriga [55] ja kasutades PLA filamenti. Printeriga jaoks vajalikud failid tehti Prusa Slicer tarkvaraga [56]. PLA filament on omadustelt jäik ja tugev ning vajab printimiseks 190–220 °C temperatuuri [57]. Lisaks on sellega printimine lihtne, kuid valmis detail võib muutuda UV-kiirguse käes rabedaks. Viimase vältimiseks on võimalik PLA filamendist tehtud detailid üle värvida, et muuta need ultraviolettkiirguse kindlamaks. Mehaanika disainimisel oli oluline, et detaile saaks lihtsasti

ribakardina ülakarbi otsast sisse lükata. Lisaks peavad need omavahel hästi kokku sobima, et tagada motoriseeritud ribakardina sujuv toimimine.

5.2.1 Ribakardina ehitus ja tööpõhimõte

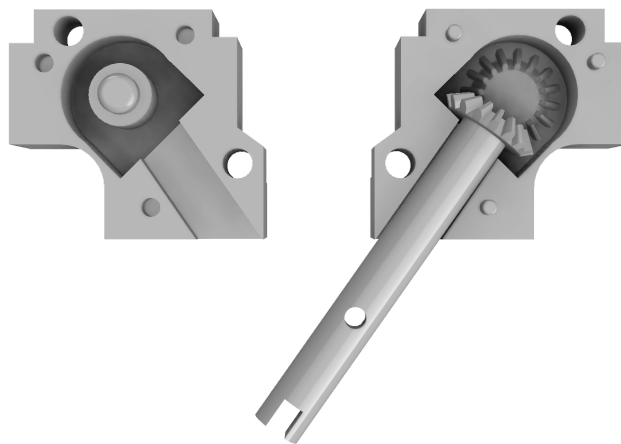
Töös kasutatud ribakardina mõõtmed on 50×160 cm, selle ribad on tehtud alumiiniumist ning see kaalub 0,79 kg [4]. Ribakardina ribade kaldenurga reguleerimiseks on nende esi- ja tagaküljele kinnitatud kaks nõõri, mis on omakorda kinnitatud ribade kaldenurka reguleeriva võlli kahe rulliku külge. Ribakardina ülakarbi küljes rippuva reguleerimisvarda abil saab võlli keerata. Keerates reguleerimisvarrast paremale, kaldub ribade esimene külg alla, sest võll keerab enda ümber olevat kahte rullikut koos rulliku külge kinnitatud nõõridega ettepoole. Vasakule keerates kaldub vastupidiselt ribade tagumine külg alla. Lisaks läbib kõiki ribasid kaks tõmbenõõri, mis on kinnitatud kõige alumise ja jämedama riba põhja külge. Ribade tõstmisel toetuvad kõik teised ribad alakarbi peale. Ribade langetamisel tekitab ribadest rohkem kaaluv alakarp suuremat raskusjõudu, mis võimendab ribakardina alla laskmisel enda raskuse mõjul vajumist. Ribakardina ribad on kumera ristlõikega, mistõttu peegeldavad nad tagasi päikesevalgust. Ribakardina ristkülikukujulise läbilõikega ülakarp sisaldab kahte eraldi ava paremas küljes (joonis 14) [4]. Vasakpoolne ava on mõeldud tõmbenõõrile, millega saab tõsta või langetada ribakardinat. Parempoolne ava on mõeldud ribade kaldenurga reguleerimiseks. Kuna ribakardinate ülakarpide pikkused, avade asukohad ning selles olevate mehaaniliste komponentide paigutus võivad erineda, siis tuleks igale variandile luua sobiv mehaaniline lahendus.



Joonis 14: Töös kasutatava ribakardina ülakarbi esiküljes olevad avad

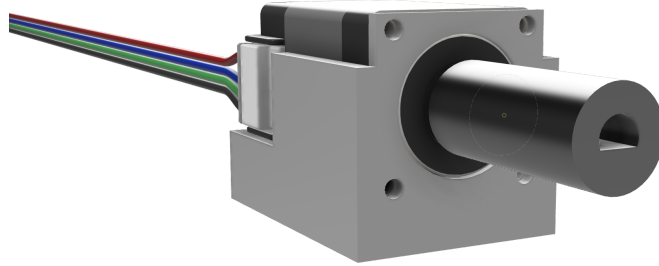
5.2.2 Kaldenurga reguleerimise mehhanism

Originaalis on ribade kaldenurka reguleeriva võlli keeramiseks kasutatud tiguülekanne. See takistab ribadel enda raskuse mõjul võlli keeramist. Viimast saab keerata ainult tiguülekanne sisaldava kinnituse küljes olevast reguleerimisvardast. Võlli keeramiseks mootoriga tuleb tiguülekanne asendada koonusülekandega (joonis 15). Koonushammasrattad on paigutatud omavahel 90° nurga all. Kinnituse altservast väljaulatuva pika koonushammasratta otsa kinnitub originaalkinnitusest pärinev metallist otsakonks, mille külge käib reguleerimisvarras. Teise kinnituse sisse käiva koonushammasratta otsa käib ribade kaldenurka reguleeriv võll. Kaldenurga reguleerimise kinnituse saab paigutada esialgse kinnituse asemele (lisa 5). Mõlemal koonushammasrattal on 16 hammast ehk nendevaheline ülekanne on 1:1. Kinnituse alumine ja ülemine pool käivad kokku M2×20-poldi -ja M2-mutriga.



Joonis 15: Ribade kaldenurka reguleeriva koonusülekande mehhanism ja kinnitus

Ribade kaldenurka reguleeriva samm-mootori jaoks disainiti korpus (lisa 2 joonis 1), mis tuleb lükata ribakardina ülakarpi vasakust otsast (joonis 16). Samm-mootor kinnitamiseks on neli M2×4 poldi jaoks mõeldud ava korpuse esiküljes. Enne ribakardina ülakarpi paigaldamist tuleb panna samm-mootori rootori otsa ühendusülili, mille teise otsa käib ribade kaldenurka reguleeriv võll. Viimase saab lükata ühendusülilisse, kui samm-mootori korpust lükatakse ribakardina ülakarpi (lisa 2 joonis 2).



Joonis 16: Ribade kaldenurka reguleeriva samm-mootori korpus ja rootori ühenduslüli

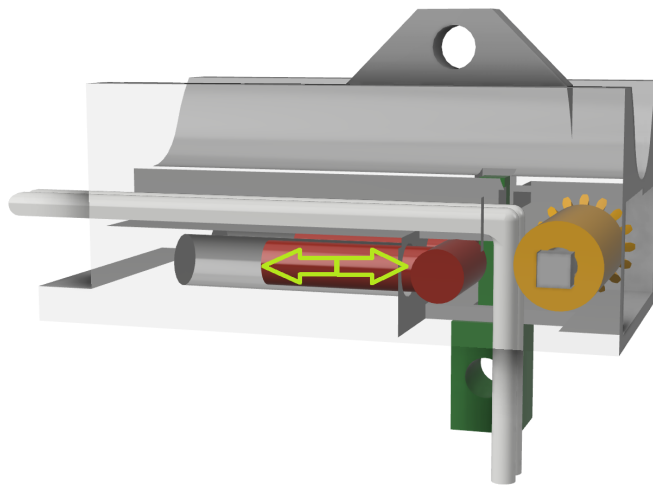
5.2.3 Tõstmise ja langetamise mehhanism

Originaalne ribakardina tõstmise ja langetamise mehhanism koosneb kinnitusest, mille sees on süvendis üles-alla liikuv hammasratta ning paigal olev sileda pinnaga metallsilinder (joonis 17). Ribasid tõstev tõmbenöör jookseb hammasratta ning silindri vahelt läbi. Süvendi vahemaa silindrist muutub süvendi üleval otsas väiksemaks, mistõttu on tõmbenöör hammasratta ja metallsilindri vahel paigal. Ribakardina tõstmiseks või langetamise alustamiseks tuleb tõmmata tõmbenööri vasakule. Sellisel juhul lahutatakse tõmbenöör hammasrattast, mis langeb mööda süvendit alla ja jääb metallsilindrist eraldatuks. Seejärel saab vabalt jooksvat tõmbenööri alla tõmmata, et ribakardinat tõsta, või järele anda, et ribakardinat langetada. Ribakardina langetamise lõpetamiseks tuleb tõmbenöör viia paremale, et see haakuks hammasratta külge. Nüüd liigub hammasratta koos tõmbenööriga senikaua üles, kuni vahemaa hammasratta ja metallsilindri vahel on piisavalt väike, et tõmbenöör paigale jääks.



Joonis 17: Ribakardina originaalne tõmbenööri liikumise mehhanism ja kinnitus

Motoriseeritud lahenduse jaoks tuli disainida uus ribade tõstmise ja langetamise mehhanism, mille tööpõhimõte jääb originaalsega sarnaseks. Viimase puudus oli, et sellele ei saanud motoriseeritud lahendust juurde arendada. Uue mehhanismi kinnituse (lisa 4 joonis 1) saab lükata ribakardina ülakarbi otsast sisse. Kinnituses on kaks 15×4 mm vedru, koonushammasrattas, silinder, mis vedrude jõul liigub ning varras silindri paigalhoidmiseks (joonis 18). Lisaks on kinnituse peal süvend ribade kaldenurka reguleeriva võlli pöörlemiseks.

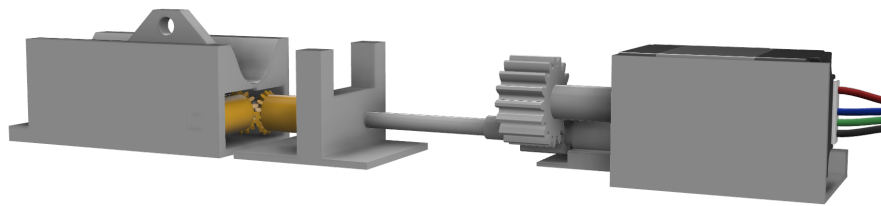


Joonis 18: Tõmbenööri kerimise mehhanism ja kinnitus

Ribakardina valget värvi tõmbenöörid on lükatud läbi kinnituse vasakus küljes olevast avast (lisa 4 joonis 2) enne kinnituse ülakarpi paigutamist. Esimesena tuleb paigutada ettenähtud kohtadesse vedrud ja nende jõul liikuv silinder ning seejärel silinder, mille otsas on koonushammasrattas. Vedrude lükatav silinder surutakse vastu koonushammasrattaga silindrit. Selle liikumissuunad on joonisel 18 tähistatud nooltega (joonis 18). Koonushammasrattaga silinder on kaetud kummist materjaliga, mis suurendab silindri hõõrdetegurit. Viimase suurenemine põhjustab ribakardina tõmbenööride parema haakumise ega lase sellel silindrite vahel ribakardina raskuse mõjul liikuma hakata.

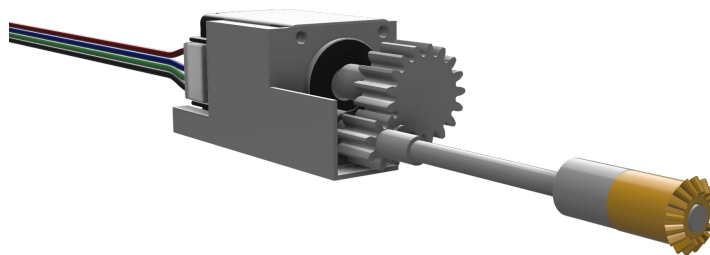
Tõmbenööri kerimise mehhanismis kasutatud koonusülekanne on ühendatud samm-mootoriga pikendusvarda abil. Pikendusvarda ühes otsas on koonushammasrattas, teises otsas tavaline hammasrattas (joonis 19). Ribakardina ülakarbi parempoolses ääres on samm-mootori korpus, mille külge kinnitub pikendusvarras. Samm-mootori rootori küljes olev hammasrattas pöörab pikendusvarrast selle küljes oleva hammasratta abil. See omakorda

paneb koonusülekande tööle, mille tulemusena hakkab tõmbenöör sileda ja kummiga kaetud silindri vahel liikuma. Pikendusvarras on pandud läbi U-kujulise tugiseina, et vähendada selle soovimatut vasakule või paremale liikumist. Koonusülekande kasutatud koonushammasratastel on 16 hammas ehk nendevaheline ülekanne on 1:1. Hammasülekande kasutatud hammasrataste suhe on 17:8, kuna pikendusvarda otsas oleval hammasrattal on 8 hammas ning samm-mootori hammasrattal on 17 hammas.



Joonis 19: Tõmbenööri kerimise mehhanism

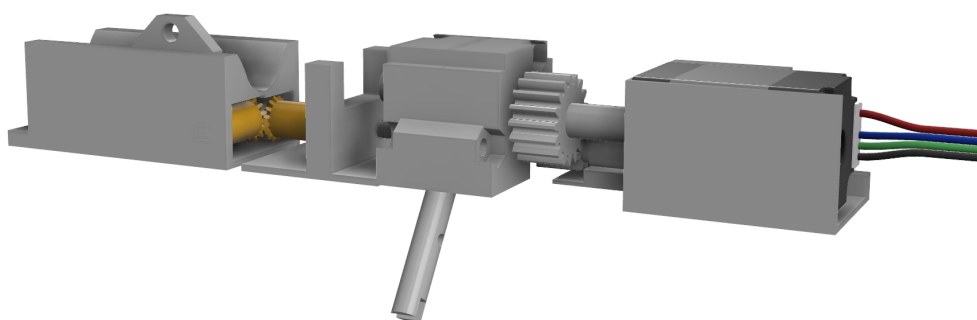
Ribakardinat tõstva ja langetava samm-mootori korpuse (lisa 3) erineb ribade kaldenurka reguleeriva samm-mootori korpusest selle poolest, et esimese esiküljele on juurde lisatud silindrikujuline auk. Sinna sisse käib samm-mootori rootori pikendamiseks mõeldud varras (joonis 20). Ribakardinat tõstev ja langetav samm-mootor kinnitub kolme M2×4 poldiga oma korpuse külge. Samm-mootori korpuse vasakusse külge on jäetud väljalõige juhtmete konnektori jaoks.



Joonis 20: Tõmbenööri keriva samm-mootori korpuse

5.2.4 Ribakardina reguleerimise mehaanika tervikuna

Ribakardina tõstmise ja langetamise mehhanismi ja kinnituse, ribade kaldenurka reguleeriva koonusülekande kinnituse ning ribakardinat tõstva ja langetava samm-mootori korpus moodustavad terviku. Need kõik on võimalik paigaldada ribakardina ülakarpi joonisel 21 või lisa 6 nähtavas järjekorras (joonis 21, lisa 6).

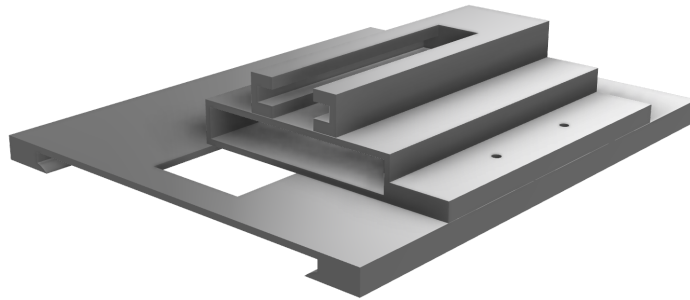


Joonis 21: Ribakardina reguleerimise mehaanika tervikuna

5.2.5 Päikesepatarei, akupanga ja trükkplaadi korpused

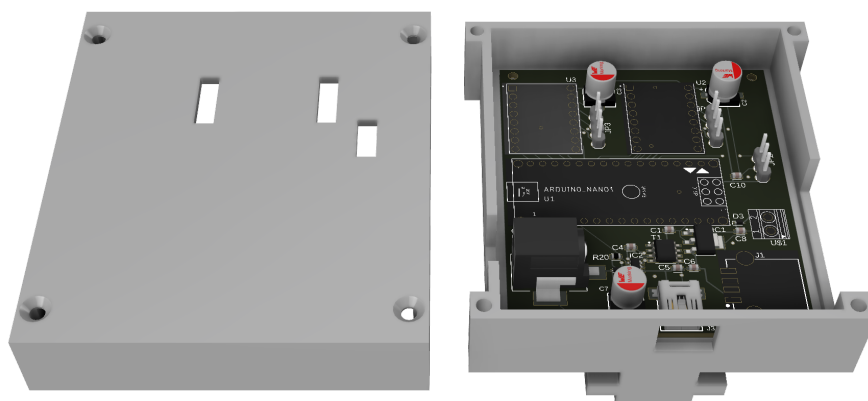
Päikesepatareide mugavamaks kinnitamiseks on disainitud korpus, mille ülemisest küljest saab päikesepatareid sisse lükata (joonis 22). Kasutatud päikesepatarei mõõtmed on 85×115 mm. Laboris, kus 3D printerid asusid, oli saadaval vaid PLA filamenti. Selle puuduseks on päikese käes rabedaks muutumine, mida saab vältida detaili üle värvimisega või PETG filamendi kasutamisega, millel on parem ultraviolettkiirguse kindlus [58]. Lisaks on PETG filament mõeldud välitingimustes kasutamiseks, kuid konkreetse lahenduse päikesepatarei korpus koos elektroonikaga on mõeldud akna siseküljele paigaldamiseks. Päikesepatarei korpuse tagakülje keskel on ligipääsuava päikesepatarei juhtmete.

Akupanga mõõtmed on $110 \times 69 \times 10$ mm ning nende põhjal disainiti korpus, mis kinnitub kahe $M3 \times 16$ poldiga päikesepatareide korpuse tagaküljele (joonis 22). Akupanga korpuse ülemises otsas on auk akupanga sisse lükkamiseks. Lisaks on selle välisküljel vastus trükkplaadi korpuse lükandkinnitusele, et neid omavahel kokku ühendada.



Joonis 22: Akupanga korpus päikesepatareide korpuse tagaküljel

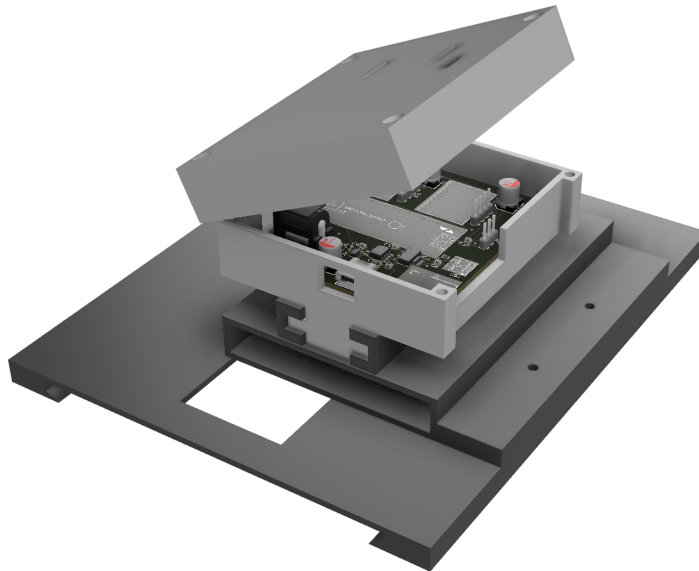
Trükkplaadi jaoks disainiti kaheosaline korpus, et trükkplaati kaitsta ja seda mugavamalt akupanga korpuse külge kinnitada (joonis 23). Plaat kinnitub korpuse alumise osa külge nelja M2×28 poldiga. Lisaks on alumise osa külgedel avad, et ühendada 5 V AC/DC pistik, päikesepatareid, akupank ning selle laadimiseks mõeldud juhe. Korpuse ülemine osa kinnitub alumise osa külge nelja M3 poldiga. Ülemise osa sisse on tehtud kolm ava, mis on mõeldud samm-mootorite ning IR vastuvõtja juhtmete jaoks. Trükkplaadi korpuse alumise osa tagaküljel on kinnitus, mille saab lükata akupanga korpuse tagaküljel olevasse pesasse, et need omavahel kinnitada.



Joonis 23: Trükkplaadi korpus

Päikesepatareide, akupanga ja trükkplaadi korpused on võimalik omavahel kokku ühendada, et moodustada tervik (joonis 24, lisa 7 joonis 1 ja 2). Viimase paigaldamine aknale või

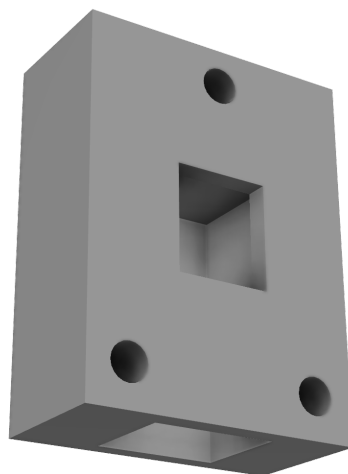
seinale on mugav, kuna kogu süsteem on ühes osas kinnitav. Lisaks säilib võimalus ühte või mitut korpust vahetada, et asendada see teistsuguse komponendi jaoks sobivaga. Sellisel juhul peab uute korpuste disainimisel arvestama olemasolevate detailide mõõtmete ja iseärasustega.



Joonis 24: Trükkplaadi korpus akupanga ja päikesepatareide korpuse küljes

5.2.6 IR vastuvõtja korpus

IR vastuvõtja kinnitamiseks on disainitud korpus, mille alumisest küljest saab vastuvõtja sisse lükata (joonis 25, lisa 8). Korpuse kinnitamiseks tasapinna külge on selles kolm M2 suurust auku. IR vastuvõtja tuleb paigaldada nii, et selle ja IR saatja vahelisel trajektoorigil ei oleks takistusi, mis võivad nende tööd häirida.

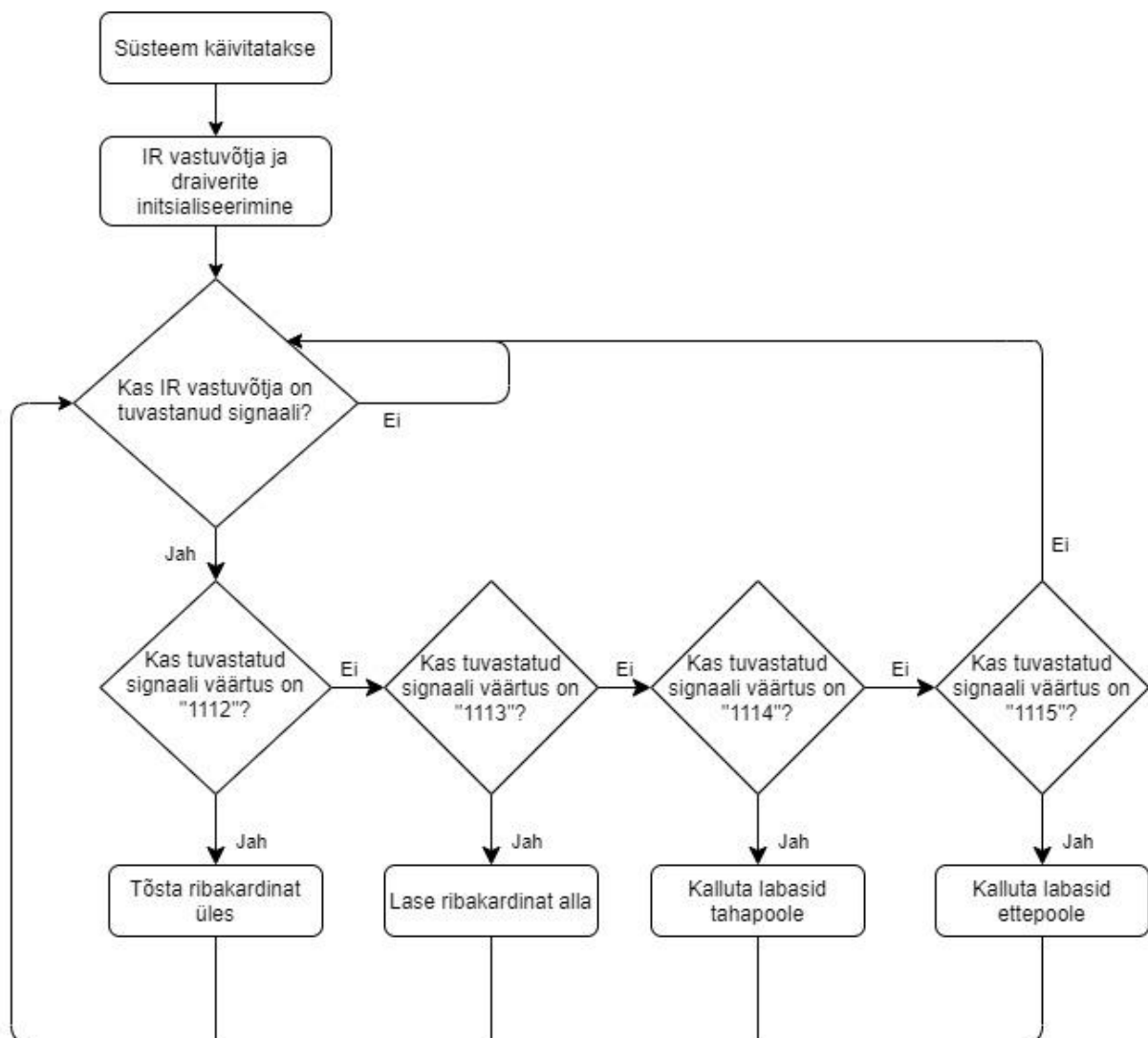


Joonis 25: IR vastuvõtja korpus

5.3 Tarkvara

Arduino IDE on avatud lähtekoodiga tarkvara [59]. See on sobilik nii Windowsi, Linuxi kui ka Mac OS X operatsioonisüsteemidele. Arduino IDE tarkvara sobib igale Arduino arendusplaadile ning sellega on võimalik programme kirjutada, kompileerida ning seejärel mikroprotsessorile üles laadida. Arduino programmeerimise keeleks on C++/C.

Programmi algoritm on kirjeldatud plokkskeemina (joonis 26). Peale süsteemile toite andmist ja selle käivitamist alustatakse IR vastuvõtja mooduli ning samm-mootorite draiverite initsialiseerimist. Kui initsialiseerimine on tehtud, hakkab käima programmi põhitsükkel, mille käigus kontrollitakse pidevalt, kas IR vastuvõtja on saanud kätte mingi IR signaali.



Joonis 26: Programmi algoritmi plokkskeem

Infrapuna saatjaks on pult, millel kasutati nelja erinevat nuppu, et ribakardinat reguleerida. Puldi nuppudele on tähistatud nooled, mis on suunaga üles, alla, paremale ja vasakule. Igal

nupul on oma unikaalne IR signaal, mida nupule vajutamisel või selle allhoidmisel väljastatakse. See võimaldas igale nupule omistada ühe kindla tegevuse ribakardina reguleerimise juures. Programmi testimisel tehti kindlaks nende nelja nupu vajutamisel või allhoidmisel väljastatavad IR signaali väärtused. Tegemist on konkreetsetes töös kasutatud puldi väärtustega, mis võivad teistel infrapunasiignaali saatjatel erineda. Üles ja alla suunatud noolega nuppude edastatud IR signaali väärtused digitaalsel ja dekodeeritud kujul on vastavalt 1112 ja 1113. Kui tuvastatakse need IR signaali väärtused, lülitatakse sisse ribakardinat tõstev ja langetav samm-mootor ning hakatakse ribakardinat vastavalt üles või alla kerima. Vasakule ja paremale nuppude puhul on need väärtused vastavalt 1114 ja 1115. Kui tuvastatakse IR signaal väärtusega 1114 või 1115, lülitatakse kummalgi juhul sisse ribasid kallutav samm-mootor, hakates neid kallutama vastavalt taha- või ettepoole. Peale ükskõik millise nelja nupu vajutamist või lahti laskmist lülitatakse samm-mootor välja, et minimeerida energiakulu. Nuppude edastatud IR signaali dekodeerimiseks kasutatakse avatud lähtekoodiga IRremote teeki, mis võimaldab nii saata kui ka vastu võtta infrapuna signaale [60]. Autor kasutas teegi versiooni 2.2.3, kuna see töötas kasutatava riistvaraga kõige stabiilsemini.

Samm-mootoreid on võimalik lülitada sisse või välja samm-mootori draiverite kaudu. Arduino Nano D3 ja D5 viigud on vastavalt ühendatud ribade kaldenurka reguleeriva samm-mootori draiveri ENABLE viiguga ning D5 viik SLEEP viiguga. Ribade kaldenurka reguleeriv samm-mootor lülitub sisse, kui Arduino Nano D5 viik on kõrges, aga D3 viik madalas olekus. Väljalülitamiseks tuleb seada D5 viik madalasse, aga D3 kõrgesse olekusse. Ribakardinat tõstva ja langetava samm-mootori draiveri ENABLE ja SLEEP viigud on ühendatud vastavalt Arduino Nano viikudega D8 ja D10. Ribakardinat tõstva ja langetava samm-mootori sisselülitamiseks tuleb seada Arduino Nano D8 viik kõrgesse, aga D10 viik madalasse olekusse. Väljalülitamiseks tuleb seada D8 viik madalasse, aga D10 viik kõrgesse olekusse. Mõlema samm-mootori suunda on võimalik muuta samm-mootori draiveri DIR viiguga. Ribasid kallutava samm-mootori suuna saab muuta Arduino Nano D7 viigu oleku muutmisega. Ribakardina tõstmise või langetamise samm-mootori suuna muutmiseks tuleb muuta Arduino Nano D12 viigu olekut.

6 Tulemused

6.1 Energiakulu

Süsteemil on neli voolu tarbijat – Arduino Nano, kaks samm-mootorit ja IR vastuvõtja. Nende voolutarbed on esitatud tabelis 2 (tabel 2). Samm-mootori kummalgi draiveril piirati maksimaalne lubatud voolutugevus 500 mA peale. Samm-mootori tegeliku voolutugevuse mõõtmiseks ühendati ühe mähise ots läbi multimeetri, mis oli seadistatud voolutugevust mõõtma. Peale mootorile toite andmist saadi multimeetril tulemuseks 350 mA. See tähendab, et samm-mootori mõlemad mähised tarbivad töörežiimis kokku 700 mA voolu. Tootja andmete kohaselt moodustab ühte samm-mootori mähist läbiv voolutugevus umbes 70% draiveriga lubatud voolutugevusest. Kuna lubatud voolutugevus oli määratud potentsiomeetriga 500 mA peale, siis sellest 70% on 350 mA. Samm-mootorid ei saa samal ajal töötada ning enamik ajast on nad välja lülitatud.

Tabel 2: Süsteemi osade voolutarbed

Riistvara	Voolutarve (tööolekus/puhkeolekus)
Arduino Nano	18 mA
Ribade kaldenurka reguleeriv samm-mootor	700 mA/0 mA
Ribakardinat tõstev/langetav samm-mootor	700 mA/0 mA
IR vastuvõtja	0,2 mA
Kokku	718,2 mA/18,2 mA

Arduino Nano ja IR vastuvõtja töörežiimis mõõdetud voolutarve oli vastavalt 18 mA ja 0,2 mA (tabel 2). Kuna Arduino Nano tarbitav voolutugevus on oluliselt madalam kui samm-mootoritel, siis ei seadistata seda puhkeolekusse. Töörežiimis olles saab pidevalt kontrollida, kas IR vastuvõtjale on saadetud IR signaal.

Olukorras, mil üks samm-mootor töötab, on süsteemi voolutarve ligi 718,2 mA (tabel 2). Sellise voolutarbimise juures kestaks 4000 mAh akupank ligi $4000 \text{ mAh} / 718,2 \text{ mA} = \sim 5,5$ tundi. Enamik ajast on aga samm-mootorid välja lülitatud ehk kogu süsteemi voolutarve on oluliselt väiksem – ligi 18,2 mA. Puhkeolekus süsteem kestaks täislaetud akupangaga $4000 \text{ mAh} / 18,2 \text{ mA} = \sim 220$ tundi ehk natuke üle 9 ööpäeva.

6.2 Päikesepatarei efektiivsus

Päikesepatareide efektiivsuse välja arutamiseks tehti selle peal mõõtmisi, et saada teada väljundpinge ja voolutugevus. Tasub ära märkida, et töö autori aknaklaasid on kaetud õrna toonkilega, mis vähendab päikesepatareini jõudvat päikesekiirgust. Seetõttu tehti mõõtmised kahel viisil. Ühel juhul oli päikesepaneel paigutatud aknaklaasi sisemisele poolele, teisel juhul välimisele. Lisaks katsetati päikesepatarei tootlikkust kolme erineva pilvisuse ja päikesekiirguse tasemega. Viimase kohta saadi andmeid Tartu Ülikooli füüsika instituudi keskkonnafüüsika labori ilmajaamast [61]. Mõõtmised tehti 1-minutilise perioodi jooksul, mistõttu ei saa nende põhjal hinnata päikesepatarei tootlikkust terve päeva kestel. Küll aga antakse ülevaade, kas nende mõõtmistulemustega saaks akupanka piisavalt laadida, et vältida selle tühjaks saamist ja süsteemi toite kadumist. Kuna süsteem on enamik päevast puhkeolekus, siis võeti selle voolutarbeks 18,2 mA (tabel 2).

Esimene mõõtmine tehti 08.05.2021 kell 12:00, mil taevast oli pilvine, esines sademeid ning päikesekiirguse näit oli Tartus ligi 250 W/m². Küll aga ei paistnud päike otse akna ja päikesepatarei peale. Esimese mõõtmise tulemused on esitatud tabelis 3 (tabel 3). Juhul, kui päikesepatarei oli kinnitatud toonitud aknaklaasi siseküljele, oli selle väljundpinge 10,87 V ja voolutugevus 3,65 mA, mis on madalam kui süsteemi puhkeoleku voolutarve. See omakorda tähendab, et akupanka ei laeta piisavalt suure voolutugevusega ning ta kestab täislaetuna 4000 mAh / (18,2 - 3,65) mA = ~275 tundi ehk ligi 11 ja pool päeva. Sellest tuleb maha arvestada isetühjenemine. Kui akupank oli kinnitatud aknaklaasi välisküljele, siis oli selle väljundpinge 12,72 V ja voolutugevus 18,96 mA, mis on suurem kui süsteemi puhkeoleku voolutarve. See omakorda tähendab, et akupank hakkab ennast täis laadima 18,96 mA - 18,2 mA = 0,76 mA voolutugevusega. Täiesti tühja akupanga täislaadimiseks kulub 4000 mAh / 18,96 mA = ~5263 tundi ehk ligi 219 päeva, mis ei pruugi olla lineaarne protsess, kuna päikese intensiivsus on muutuv.

Tabel 3: Päikesepatarei esimese mõõtmise tulemused

Päikesepatarei asukoht	Pinge	Voolutugevus
Aknaklaasi siseküljel	10,87 V	3,65 mA
Aknaklaasi välisküljel	12,72 V	18,96 mA

Teine mõõtmine tehti 08.05.2021 kell 20:00, mil taevast oli vahelduva pilvisusega, sademeid ei esinenud ning päikesekiirguse näit oli Tartus ligi 200 W/m². Selle mõõtmise ajal paistis

loojuv õhtupäike akna peale. Teise mõõtmise tulemused on esitatud tabelis 4 (tabel 4). Juhul, kui päikesepatarei oli kinnitatud toonitud aknaklaasi siseküljele, oli selle väljundpinge 10,5 V ja voolutugevus 7 mA, mis on madalam kui süsteemi puhkeolekus tarbitava voolu tugevus. See omakorda tähendab, et akupanka ei laeta piisavalt suure voolutugevusega ning ta kestab täislaetuna $4000 \text{ mAh} / (18,2 - 7) \text{ mA} = \sim 357$ tundi ehk veidi alla 15 päeva, millest tuleb omakorda maha arvestada isetühjenemine. Kui päikesepatarei oli kinnitatud aknaklaasi välisküljele, oli selle väljundpinge 12,56 V ning voolutugevus 30,75 mA, mis on suurem kui süsteemi puhkeoleku voolutarve. Selle tulemusena hakkab akupank ennast täis laadima $30,75 \text{ mA} - 18,2 \text{ mA} = 12,55 \text{ mA}$ voolutugevusega. Täiesti tühja akupanga täislaadimiseks kulub $4000 \text{ mAh} / 12,55 \text{ mA} = \sim 319$ tundi ehk üle 13 päeva.

Tabel 4: Päikesepatarei teise mõõtmise tulemused

Päikesepatarei asukoht	Pinge	Voolutugevus
Aknaklaasi siseküljel	10,5 V	7 mA
Aknaklaasi välisküljel	12,56 V	30,75 mA

Kolmas mõõtmine tehti 09.05.2021 kell 12:45, mil taevast oli pilvitu ja päikesekiirguse näit oli Tartus ligi 780 W/m^2 . Selle mõõtmise puhul ei olnud võimalik päikesepatareid kinnitada akna külge, kuna aken on põhja poole ja jääb päevase päikese eest varju. Seetõttu puuduvad mõõtmistulemused aknaklaasi siseküljel. Päikesepatarei asetati lagedale alale, suunaga päikese poole. Kolmanda mõõtmise tulemused on esitatud tabelis 5 (tabel 5). Lagedal alal mõõdeti päikesepatarei väljundpingeks 14,73 V ning voolutugevuseks 104,3 mA, mis on suurem kui süsteemi puhkeoleku voolutarve. See omakorda tähendab, et akupank hakkab ennast täis laadima $104,3 \text{ mA} - 18,2 \text{ mA} = 86,1 \text{ mA}$. Täiesti tühja akupanga täislaadimiseks kulub $4000 \text{ mAh} / 86,1 \text{ mA} = \sim 46$ tundi.

Tabel 5: Päikesepatarei kolmanda mõõtmise tulemused

Päikesepatarei asukoht	Pinge	Voolutugevus
Aknaklaasi välisküljel (lagedal alal)	14,73 V	104,3 mA

Erinevates ilmastikuoludes tehtud mõõtmiste tulemusena on akupanga täislaadimiseks kuluv aeg kõige pikem esimesel mõõtmisel, mil taevast oli pilvine. Kui lisada juurde rohkem jadamisi ühendatud päikesepatareid, suureneb tekitatava voolu tugevus ning väheneb akupanga täislaadimiseks kuluv aeg.

6.3 Loodud lahenduse testimine

Loodud lahenduse elektrilisel poole testimisel vigu ega puuduseid ei esinenud. Trükkplaadi disain ja selle külge käivad ühendused töötasid eelduspäraselt. Süsteemi sai toita seinakontaktist või akupangast, mida sai laadida päikesepatareidega. IR vastuvõtja moodul tuvastas IR saatja nelja nupu infrapunasisignaale ning edastas need Arduino Nano arendusplaadile, mis omakorda juhtis kahte samm-mootori draiverit.

Pärast ribade kaldenurka reguleeriva teoülekande asendamist koonusülekandega sai ribade kaldenurka reguleerivat võlli samm-mootoriga keerata. Kuni poolenisti lahti tehtud ribakardina ribade kaldenurka õnnestus mootori abil reguleerida. Pärast esialgsete mehaanikadetailide asendamist motoriseeritud lahenduse jaoks loodud detailidega säilis siiski esialgne käsitsi ribade kallutamise ja tõstmise või langetamise võimalus.

Mehaanika disainimisel pidi olema väga täpne ning järgima nõuet, et see mahuks ära ribakardina ülakarpi, mille sisemõõtmed olid 20×25 mm. See seadis omakorda kitsendavaid piiranguid kasutatavate hammasrattaste ning samm-mootori füüsilistele mõõtmetele. Valitud samm-mootor oli gabariitidelt sobiv, kuid mitte piisavalt võimas, et ribakardinat tõsta, langetada või selle kõiki ribasid korraga kallutada. Seetõttu ei õnnestunud täita loodavale lahendusele esitatud nõuet, et ribakardinat saab samm-mootori abil tõsta või langetada.

Samuti esines puuduseid ribakardina tõmbenööri kerimiseks disainitud mehaanikas. Ribakardina tõstmiseks ja langetamiseks kasutatud koonushammasrattad ei olnud piisavalt suured, et nende hambad omavahel tihedalt haakuksid. See põhjustas hammaste üleviskamist ja tõmbenööri kerimise ebaõnnestumist. Tõmbenööri keriva samm-mootori otsa käiv 17-hambaline hammasrattas, mis oli hammasülekandes 8-hambalise hammasrattaga, vähendas mootori võimsust. Samm-mootori võimsuse suurendamiseks oleks pidanud hammasülekande suhe olema vastupidine. Rootori otsa kinnituval hammasrattal oleks pidanud olema teisest hammasrattast vähem hambaid. Selline suuruste suhe oleks tõstnud samm-mootori võimsust, kuid ruumi puudumise tõttu ei olnud võimalik kasutada 8-hambalise hammasratta asemel suuremat ja rohkemate hammastega hammasrattast. Samuti ei saa rootori küljes olevat hammasrattast väiksemaks või vähemate hammastega teha, sest siis ei ulatuks hammasrattad omavahel kokku. Lahendus sellele oleks keerukama hammasülekande disainimine. Selleks, et tagada kõigi hammasrattaste pikem vastupidavus, tuleb need asendada metallist omadega. Paraku on metallist hammasrattaste isetegemine keerulisem ning hinnad üldiselt kõrgemad.

Kuna ribakardina ülakarpi mahtuva samm-mootori kasutamine ei andnud oodatud tulemust, tuleb hinnata kui võimast samm-mootorit on tegelikult vaja. Selleks kinnitati ribakardina tõmbenööri 1 cm kaugusele esialgu 0,5 kg raskus. Kuna see polnud piisav, et ribakardina tõmbenööri alla tõmmata, siis suurendati raskust 1 kg peale. Ribakardina tõmbenöör hakkas 1 kg raskuse mõjul alla vajuma, kuid arvestada tuleks kahekordse varuga. Seega tuleb rakendada 2 kg raskust 1 cm kaugusel tõmbenööri, et seda alla tõmmata. Pololu tootevalikus on sellele näitajale kõige lähemal NEMA 17 bipolaarne samm-mootor, mis suudab tõsta rootorist 1 cm kaugusel olevat 3,7 kg raskust [62]. Paraku on NEMA 17 samm-mootori gabariidid liiga suured, et ülakarpi mahtuda. Tagantjärele oleks pidanud eelnevalt tegema mõõtmisi, et täpselt hinnata samm-mootori vajalikku võimsust ning seejärel disainima mehaanika suurema samm-mootori kinnitamiseks väljaspool ülakarpi.

Töö käigus selgus, et pikaaegsel kasutamisel võib päikesepatareide korpuse printimisel kasutatud PLA filament muutuda päikese käes rabedaks. Selle vältimiseks tuleks see kas üle värvida või printida mõne teise filamendiga. Tulevikus oleks võimalik kasutada näiteks PETG filament, mis on palju kõrgema ultraviolettkiirguse kindlusega.

7 Kokkuvõte

Bakalaureusetöö eesmärk oli luua ribakardinale motoriseeritud lahendus, mida on võimalik IR signaaliga kaugjuhtida ning mis kasutab päikesepatareid akupanga laadimiseks. Töö teoreetilises osas tutvustati olemasolevaid kommertslahendusi ja nendel esinevaid puuduseid. Samuti kirjeldati loodava lahenduse nõudeid ning anti ülevaade kasutatud riistvarast, loodud mehaanikast ning lahenduse tulemuslikkusest.

Töö tulemusena valmis motoriseeritud ribakardina prototüüp, millel esines mõningaid puuduseid (lisa 9 joonis 1 ja 2). Kõik vajalikud mehaanika detailid disainiti, prinditi välja ja paigaldati ribakardina ülakarbi sisse. Ribakardina juhtimiseks disainiti trükkplaat, mille peale joodeti elektroonikakomponendid ja ühenduspesad. Süsteemi toiteks kasutatud akupanga saab päikesepatareidega laadida. Valminud prototüüp reguleerib vähem kui poolenisti lahti tõmmatud ribakardina ribade kaldenurka, kuna valitud samm-mootor polnud kõigi ribade kaldenurga reguleerimiseks piisavalt võimas. Samal põhjusel ei õnnestunud ribakardinat üles ja alla kerida.

Edasiarendusena tuleks asendada samm-mootorid võimsamate vastu. See eeldab ka elektroonikaskeemi ümberdisainimist, kuna võimsamad samm-mootorid vajavad rohkem voolu. Kui seni kasutatud samm-mootorid mahtusid ribakardina ülakarbi sisse, siis võimsamate jaoks tuleb disainida uus lahendus ribakardina ülakarbist väljapoole kinnitamiseks. Samuti saab edasiarenduse käigus asendada kõik hammasrattad metallist hammasratastega ning päikesepatareide korpuse printida UV-kindla filamendiga (nt PETG), et tagada nende pikem kestvus.

Tänuavaldused

Tänan oma juhendajat Heiki Kasemäge lõputöö teema soovitamises ja selle valmimise kaasaaitamises nii nõu kui ka jõuga. Olen tänulik juhendaja antud tagasisidele ja toetusele. Tahaksin tänu avaldada ka Teet Tilgale elektriskeemi ja trükkplaadi disainimise tagasiside eest. Kindlasti tänan ka Renno Raudmäed ja Tartu Ülikooli Delta õppehoone digilabori ruumi ja seadmete kasutusvõimaluse eest.



Kasutatud materjalid

1. T. Hargreaves, C. Wilson ja R. Hauxwell-Baldwin, "Learning to live in a smart home", *Building research & Information*, **46**, 2018, 127-129, DOI: 10.1080/09613218.2017.1286882.
2. S. Y. Koo, M. S. Yeo ja K. W. Kim, "Automated blind control to maximize the benefits of daylight in buildings", *Building and Environment*, **45**, 2010, 1508-1520, DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.12.014.
3. "Ribakardinad", Avaeksperdid OÜ. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 11.05.2021, <https://avaeksperdid.ee/p/kardinad/ribakardinad/>
4. "Ribakardin hõbe alumiinium 50x160cm", Decora. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 02.05.2021, <https://www.decora.ee/9463-ribakardin-hobe-alumiinium-50x160cm>
5. "Ribakardinad", Sunorek AS. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 02.05.2021, <https://sunorek.ee/aknakatted/ribakardinad/>
6. P. Ihm, A. Nemri ja M. Krarti, "Estimation of lighting energy savings from daylighting", *Building and Environment*, **44**, 2009, 509-514, DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.04.016.
7. M. Rea, "Window Blind Occlusion: a Pilot Study", *Building and Environment*, **19**, 1984, 133-137, DOI:10.1016/0360-1323(84)90038-6.
8. N. Author, B. Miller, "Cooling Your Home Naturally", *Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse*, 2010, DOI: CH/10093-221.
9. C. Ospina, "Cooling Your Home but Warming the Planet: How We Can Stop Air Conditioning from Worsening Climate Change", *Climate Institute*, 2018. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 09.05.2021, <https://climate.org/cooling-your-home-but-warming-the-planet-how-we-can-stop-air-conditioning-from-worsening-climate-change/>
10. "The Future of Cooling", IEA, 2018. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 25.10.2020, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>
11. "Energy Efficient Window Attachments", *Energy Saver*. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 9.05.2021, <https://www.energy.gov/energysaver/energy-efficient-window-attachments>

12. F. Nicoletti, C. Carpino, M. A. Cucumo ja N. Arcuri, “The Control of Venetian Blinds: A Solution for Reduction of Energy Consumption Preserving Visual Comfort”, *Energies*, **13**, 2020, 1731, DOI:10.3390/en13071731.
13. Somfy. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 2.05.2021, <https://www.somfybaltics.com/et-ee/>
14. “Mootoriga ribakardinad”, Avaeksperdid OÜ. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 10.05.2021, <https://avaeksperdid.ee/p/mootoriga-aknakatete-lahendused/mootoriga-ribakardinad/>
15. “CTS-40 süsteem”, Avaeksperdid OÜ. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 19.05.2021, <https://avaeksperdid.ee/t/mootoriga-aknakatete-lahendused/mootoriga-ribakardinad/cts-40-susteem-2/>
16. “CTS-25 süsteem”, Avaeksperdid OÜ. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 19.05.2021, <https://avaeksperdid.ee/t/mootoriga-aknakatete-lahendused/mootoriga-ribakardinad/cts-25-susteem-2/>
17. Sunorek AS. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 20.05.2021, <https://sunorek.ee/>
18. Avaeksperdid OÜ. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 20.05.2021, <https://avaeksperdid.ee/>
19. SOMA Smart Home. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 19.05.2021, <https://www.somasmarthome.com/>
20. “SOMA Smart Shades 2”, SOMA Smart Home. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 19.05.2021, <https://www.somasmarthome.com/products/soma-smart-shades-2>
21. “SOMA Tilt”, SOMA Smart Home. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 19.05.2021, <https://www.somasmarthome.com/products/soma-tilt-free-solar-panel>
22. Tilt By Smarter Home. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 12.05.2021, <https://www.tiltsmarthome.com/>
23. “Tilt By Smarter Home – All Products”, Tilt By Smarter Home. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 12.05.2021, <https://www.tiltsmarthome.com/collections/all>
24. “MySmartRollerShades”, Tilt By Smarter Home. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 12.05.2021, <https://www.tiltsmarthome.com/products/mysmartrollershades>
25. “MySmartBlinds”, Tilt By Smarter Home. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 12.05.2021, <https://www.tiltsmarthome.com/products/mysmartblinds>

26. "Roller Shades", Tilt By Smarter Home. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 12.05.2021, <https://www.tiltsmarthome.com/products/non-automated-mysmartrollershades>
27. "Blinds", Tilt By Smarter Home. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 12.05.2021, <https://www.tiltsmarthome.com/products/non-automated-mysmartblinds>
28. "Roller Shades Automation Kit", Tilt By Smarter Home. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 12.05.2021, <https://www.tiltsmarthome.com/collections/all/products/mysmartrollershades-automation-kit>
29. "Blinds Automation Kit", Tilt By Smarter Home. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 12.05.2021, <https://www.tiltsmarthome.com/collections/all/products/mysmartblinds-automation-kit>
30. "Top 7 Smart Blinds and Motorized Window Shades", Geeks of Technology, 2021. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 02.05.2021, <https://geeksfl.com/blog/top-smart-blinds-motorized-shades/>
31. "Mootoriga aknakatete lahendused", Avaeksperdid OÜ. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 19.05.2021, <https://avaeksperdid.ee/p/mootoriga-aknakatete-lahendused/>
32. "Arduino Nano", Arduino. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 24.04.2021, <https://store.arduino.cc/arduino-nano>
33. "Arduino Nano 3.0 ATmega328p Controller Board", Aliexpress. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, https://www.aliexpress.com/item/4001279120772.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.5aa45756hH9JJX&algo_pvid=eca1797c-f409-4214-b1f6-cf1bd9914249&algo_expid=eca1797c-f409-4214-b1f6-cf1bd9914249-3&btsid=0bb0623b16212820772873071e1859&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_
34. "NEMA 8 Bipolar Stepper Motor", Pololu. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 24.04.2021, <https://www.pololu.com/product/1204>
35. "DRV8834 Stepper motor controller", Teval Elektroonika OÜ. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, <https://www.teval.ee/shop/product/pololu-2134-stepper-motor-controller-drv8834-2a-ui-n-mot-2-510-8v-149441?search=drv8834>

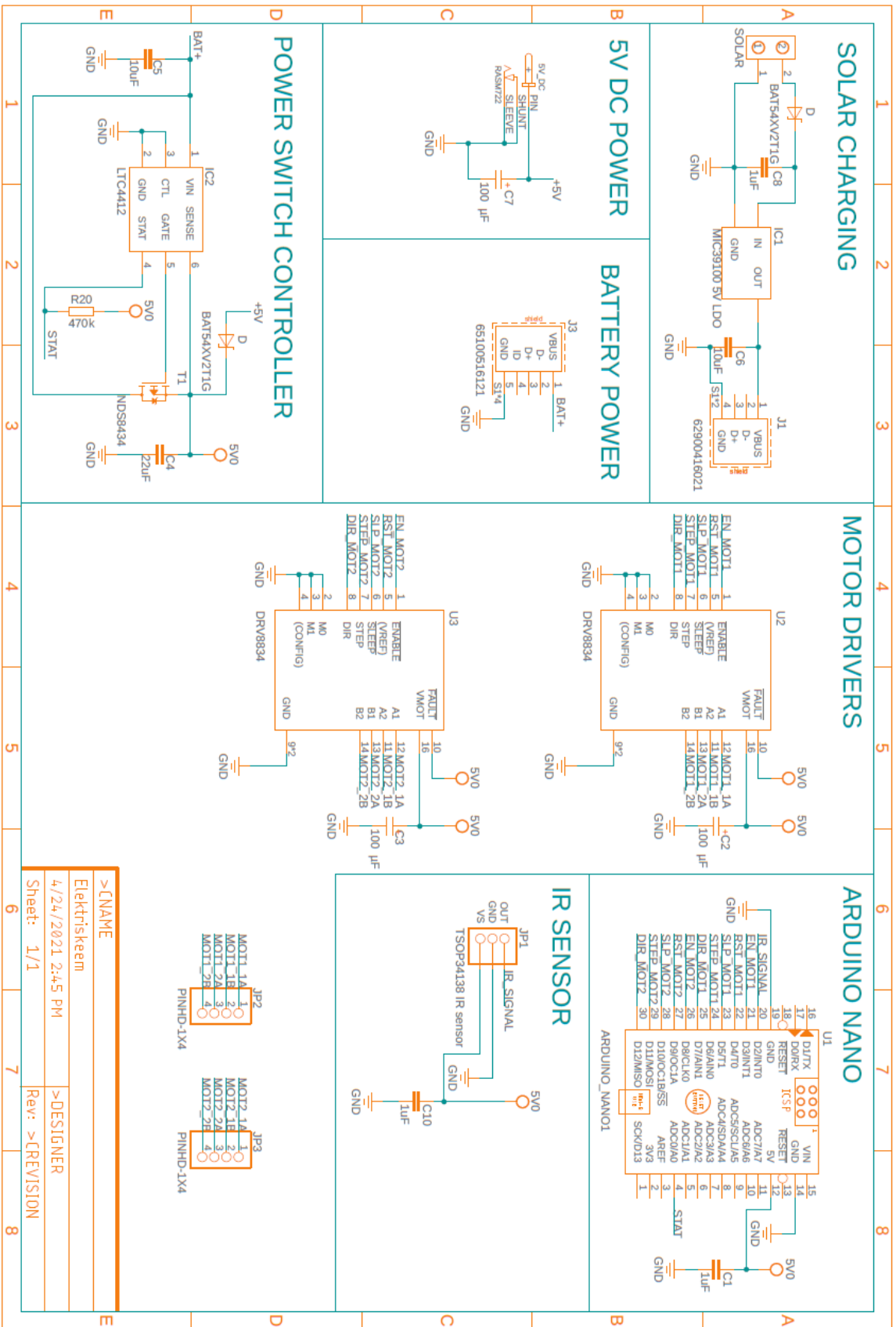
36. "IR Receiver CHQ1838 - 38kHz", Botland. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 19.05.2021, https://botland.store/ir-receivers/12528-ir-receiver-chq1838-38khz.html?SubmitCurrency=1&id_currency=4
37. "FDS6375 P-channel Power Mosfet", Farnell. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, <https://ee.farnell.com/on-semiconductor/fds6375/mosfet-p-so-8/dp/9846212>
38. "MIC39100-5.0WS-TR Fixed LDO Voltage Regulator", Farnell. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 24.04.2021, <https://ee.farnell.com/microchip/mic39100-5-0ws-tr/ldo-fixed-5v-1a-sot-223-3/dp/2857623>
39. "Powermite Schottky Diode 1A", Oomipood. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, https://www.oomipood.ee/product/1459066_diode_schottky_1a_powermite_mbrm130lt3g
40. "1PS79SB10,115 Small Signal Schottky Diode 0,6A", Farnell. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, <https://ee.farnell.com/nexperia/1ps79sb10-115/diode-schottky-sod-523/dp/8734070>
41. "USB Type A Connector", Farnell. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, <https://ee.farnell.com/wurth-elektronik/62900416021/conn-usb-2-type-a-rcpt-4pos-smt/dp/2749035>
42. "RASM722X 5V 2A DC Power Connector", Farnell. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, <https://ee.farnell.com/switchcraft-conxall/rasm722x/jack-socket-dc/dp/1608728>
43. "LTC4412ES6#TRPBF Low Loss Powerpath Controller", Mouser. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, <https://www.mouser.ee/ProductDetail/584-LTC4412ES6%23TRPBF>
44. "LINKLANK 12V 2W Solar Panel", Amazon. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, https://www.amazon.de/gp/product/B07X9Z2ZRY/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o01_s00?ie=UTF8&psc=1
45. "Mini-USB Type B Connector", Farnell. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, <https://ee.farnell.com/molex/67503-1020/usb-conn-2-0-mini-usb-type-b-rcpt/dp/1125348?st=mini%20usb>

46. "Akupank Powerflat", Feiss. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 19.05.2021, <https://www.feiss.ee/et/a/akupank-powerflat>
47. "DRV8834 Low-Voltage Stepper Motor Driver Carrier", Pololu. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 02.05.2021, <https://www.pololu.com/product/2134>
48. "LTC4412 Low Loss PowerPath Controller datasheet", Linear Technology. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 02.05.2021, <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/4412fb.pdf>
49. JLCPCB. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, <https://jlcpcb.com/>
50. Farnell Eesti. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, <https://ee.farnell.com/>
51. Mouser Electronics. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, <https://www.mouser.ee/>
52. Pololu. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, <https://www.pololu.com/>
53. Teval Elektroonika OÜ. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 17.05.2021, <https://www.teval.ee/>
54. "Fusion 360", Autodesk. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 02.05.2021, <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR>
55. "Original Prusa i3 MK3S+", Prusa3D. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 20.05.2021, <https://www.prusa3d.com/original-prusa-i3-mk3/>
56. "PrusaSlicer", Prusa3D. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 02.05.2021, <https://www.prusa3d.com/prusaslicer/>
57. "Ultimate Materials Guide - Tips for 3D Printing with PLA", Simplify3D. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 15.05.2021, <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/pla/>
58. "Filaments for Outdoor Use: All Weather Materials", Tractus3D. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 15.05.2021, <https://tractus3d.com/knowledge/learn-3d-printing/filaments-for-outdoor-use/>
59. "Arduino IDE", Arduino. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 02.05.2021, <https://www.arduino.cc/en/software>
60. "Arduino IRRemote Library", Arduino. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 02.05.2021, <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/irremote/>

61. “Tartu Ülikooli füüsika instituudi keskkonnafüüsika labori ilmajaam”, Tartu Ülikooli füüsika instituut. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 08.05.2021, <http://ilmajaam.physic.ut.ee/et/showperiod.php?type=day>
62. “NEMA 17 Bipolar Stepper Motor”, Pololu. [Võrgumaterjal]. Kasutatud 18.05.2021, <https://www.pololu.com/product/2267>

Lisad

Lisa 1. Elektriskeem

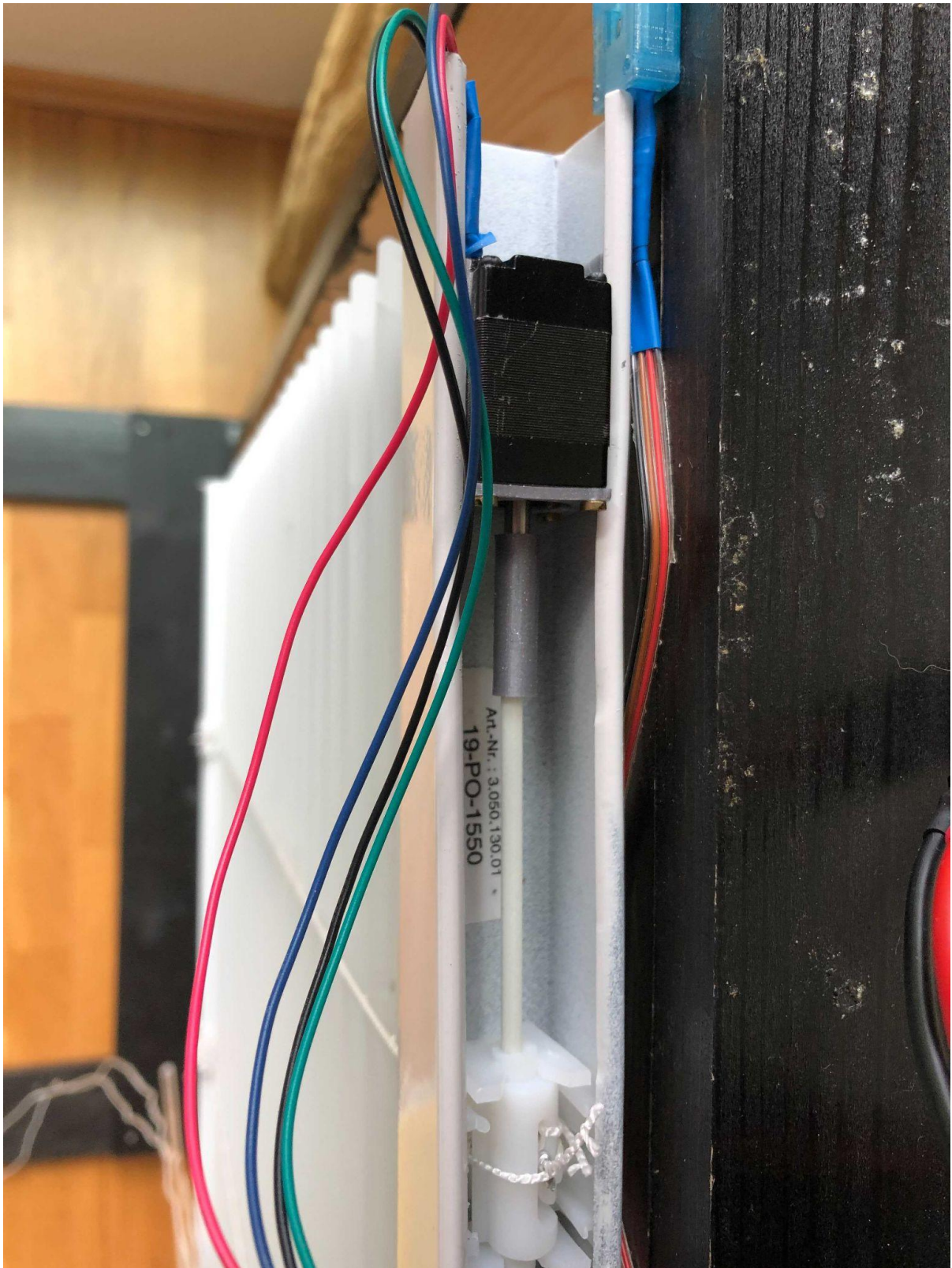


>CNAME	
Elektriskeem	
4/24/2021 2:45 PM	
Sheet: 1/1	
>DESIGNER	
Rev: >CREVISION	

Lisa 2. Ribasid kallutava samm-mootori korpus prindituna ja ülakarpi paigaldatuna

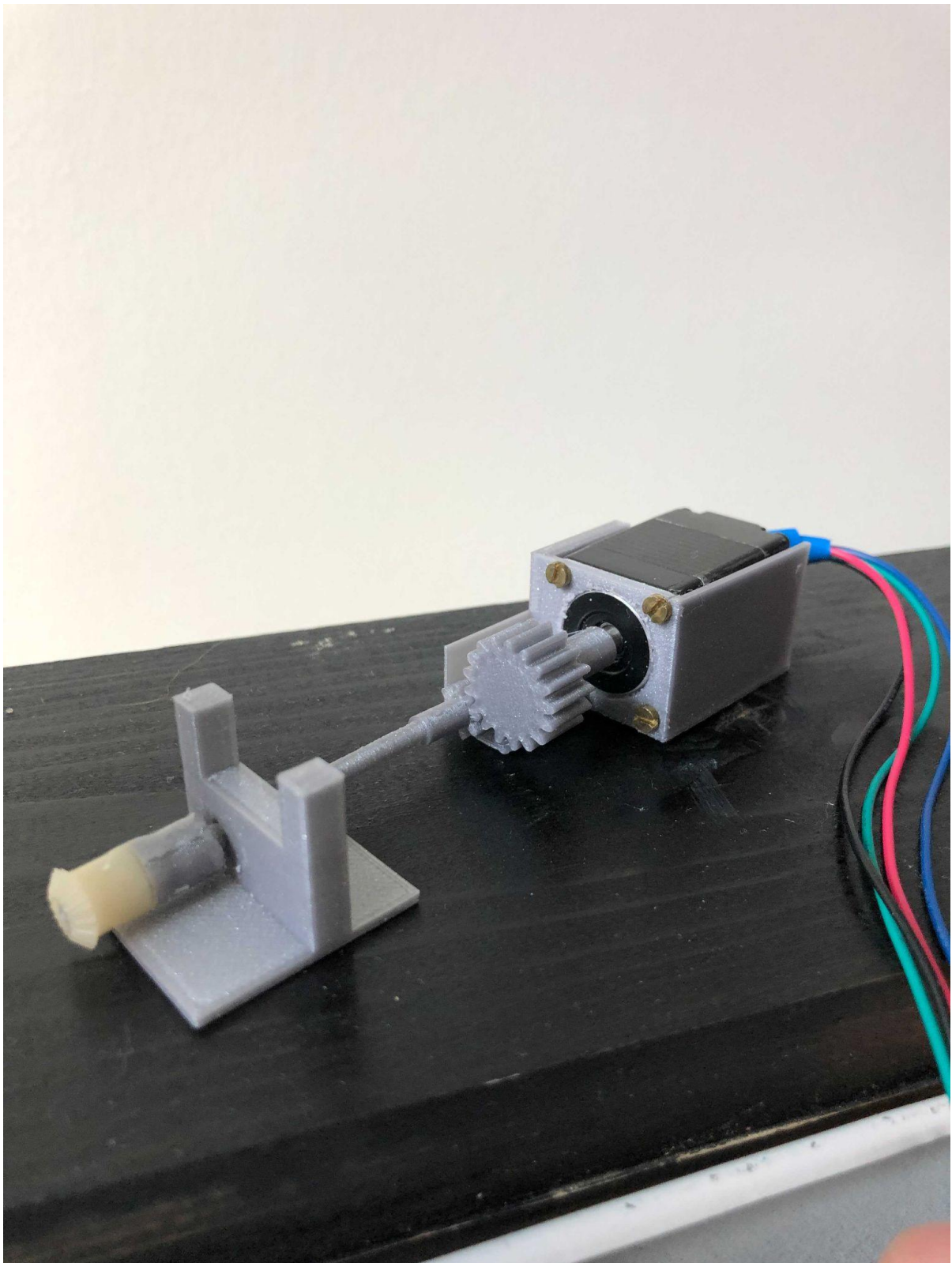


Joonis 1: Samm-mootori korpus prindituna



Joonis 2: Samm-mootori korpus ribakardina ülakarbis

Lisa 3. Ribasid tõstva ja langetava samm-mootori korpus ja pikendusvarras prindituna



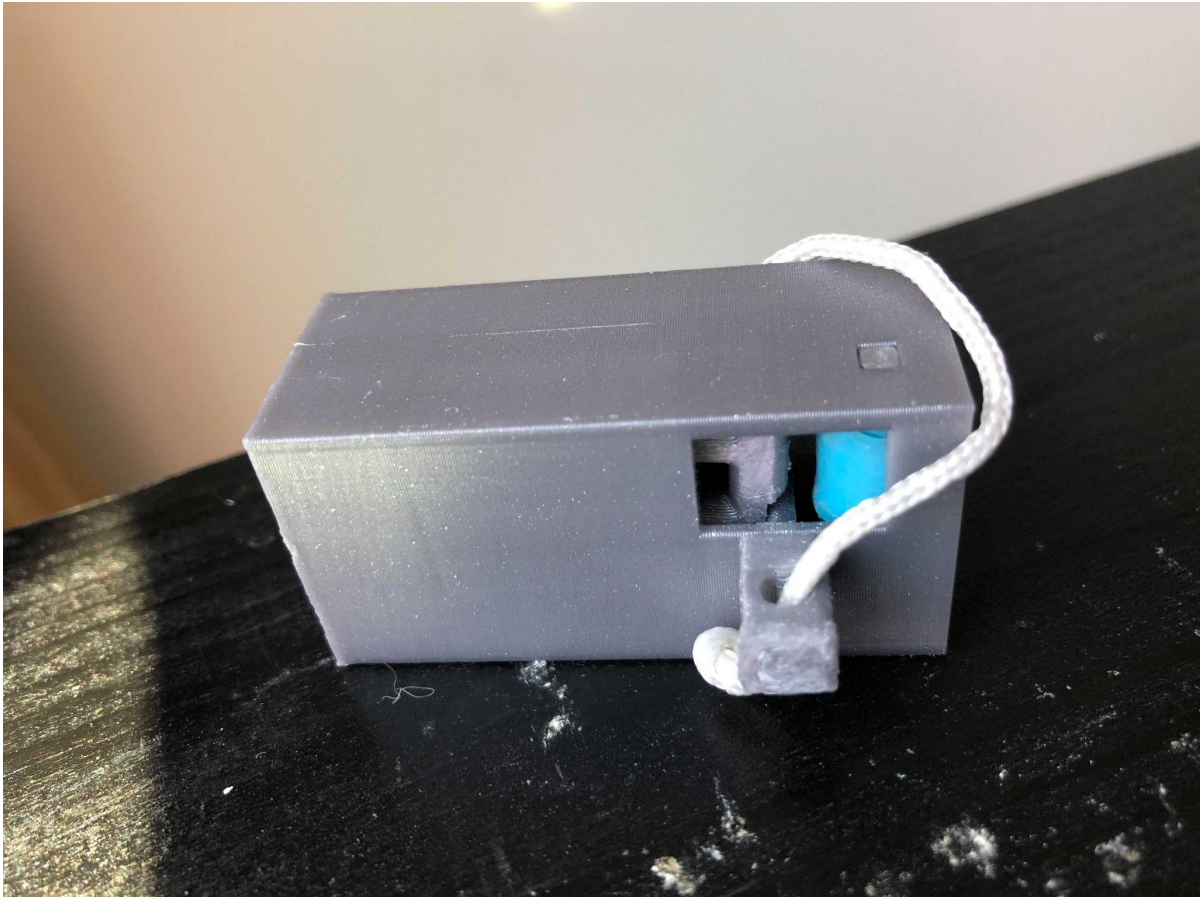
Lisa 4. Tõmbenööri kerimise mehhanism prindituna



Joonis 1: Ribakardinat tõstva ja langetava tõmbenöör kerimise mehhanism prindituna
(paremvaade)

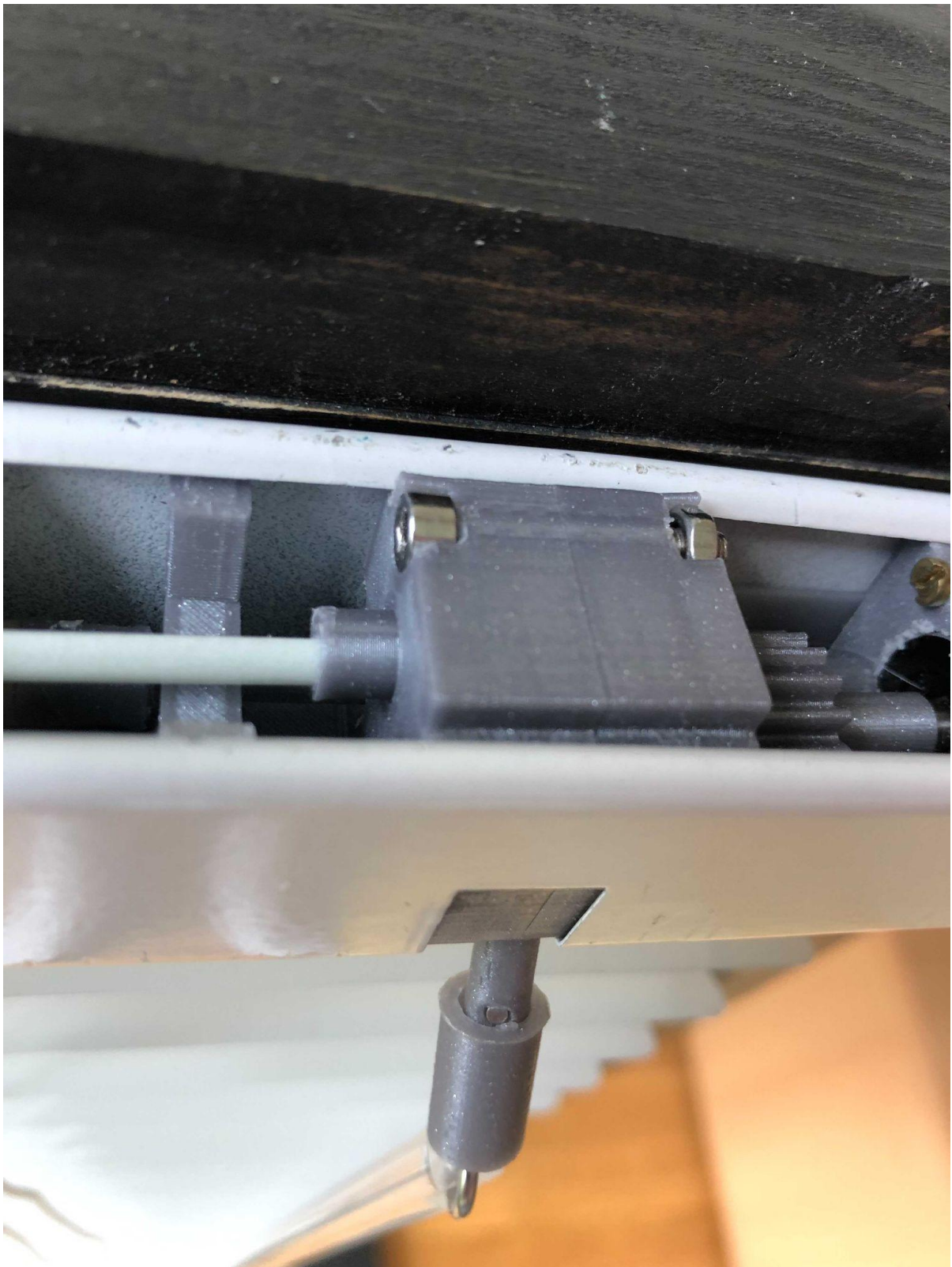


Joonis 2: Ribakardinat tõstva ja langetava tõmbenööri kerimise mehhanism prindituna
(vasakvaade)



Joonis 3: Ribakardinat tõstva ja langetava tõmbenöör kerimise mehhanism prindituna
(altvaade)

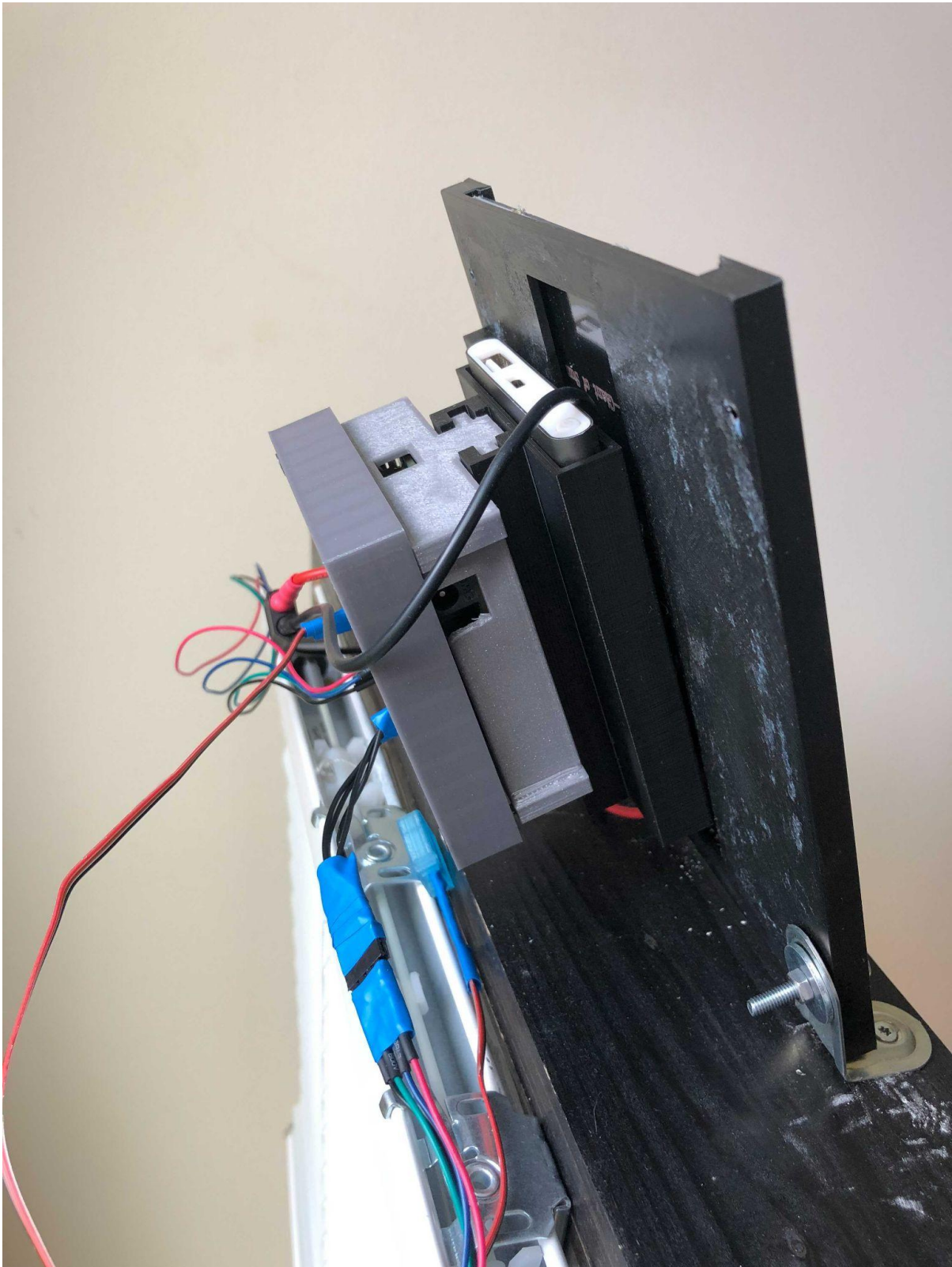
Lisa 5. Ribade kaldenurga reguleerimise mehhanism ülakarpi paigaldatuna



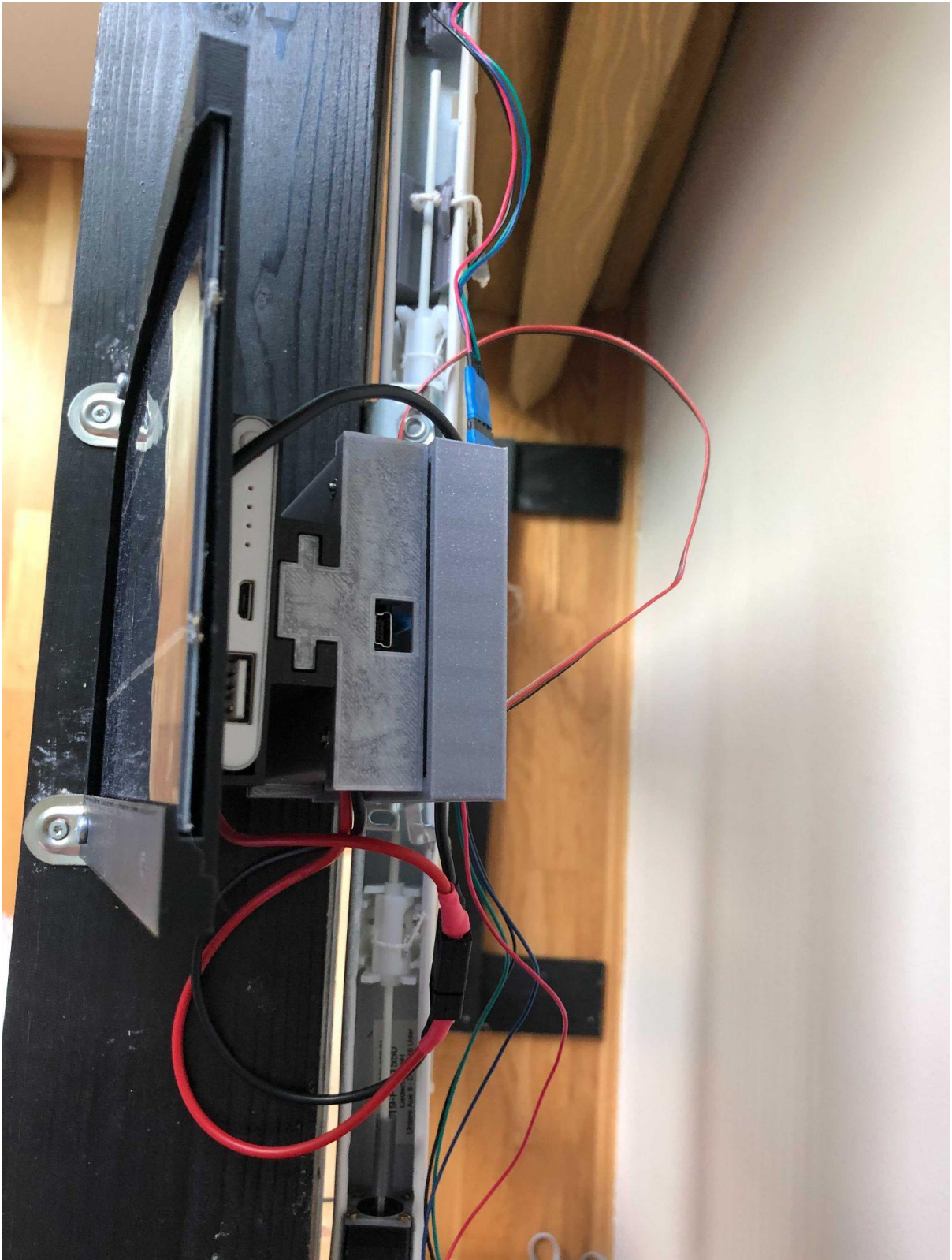
Lisa 6. Ribasid reguleeriva mehaanika tervik ülarpi paigaldatuna



Lisa 7. Trükkplaadi, akupanga ja päikesepatarei korpused prindituduna



Joonis 1: Trükkplaadi, akupanga ja päikesepatarei korpused prindituduna (külgvaade)



Joonis 2: Trükkplaadi, akupanga ja päikesepatarei korpused prindituna (pealtvaade)

Lisa 8. IR vastuvõtja korpus prindituna ja ribakardina juurde paigaldatuna



Lisa 9. Valminud motoriseeritud ribakardin



Joonis 1: Valminud motoriseeritud ribakardina eestvaade



Joonis 2: Valminud motoriseeritud ribakardina pealtvaade

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Georg Mattias Karu

1. Annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

“Ribakardina motoriseerimine”

mille juhendaja on Heiki Kasemägi

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Georg Mattias Karu

20.05.2021