



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

**UUDSE RULOOUKSE LAHENDUSE
VÄLJATÖÖTAMINE RAVEN DISAIN OÜ
TELLIMUSEL**

**DEVELOPMENT OF A NEW TAMBOUR DOOR SOLUTION
ON BEHALF OF RAVEN DISAIN OÜ**

RAKENDUSKÕRGHARIDUSTÖÖ

Üliõpilane: Gerth Aren

Üliõpilaskood: 178367EDTR

Juhendaja: Ago Rootsi, lektor
Raivo Aren, firmapoolne juhendaja

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

"31" mai 2021

Autor: Gerth Aren

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Gerth Aren (sünnikuupäev: 03.04.1997)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Uudse Rulookse lahenduse väljatöötamine Raven Disain OÜ tellimusel”,

mille juhendajad on Ago Rootsi ja Raivo Aren,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ (allkiri)

31.05.2021

TalTech Inseneriteaduskond

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Gerth Aren, 178367EDTR

Õppekava, peeriala: EDTR17/17 – Telemaatika ja arukad süsteemid,
Küberfüüsikalised süsteemid

Juhendaja(d): Lektor, Ago Rootsi, 56629821 (amet, nimi, telefon)

Raven disain OÜ juhataja, Raivo Aren, 56188447 (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

Uudse Rulookse lahenduse väljatöötamine Raven Disain OÜ tellimusel

Development of a new tambour door solution on behalf of Raven disain OÜ

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Rulooste uudse disainilahenduse väljatöötamine koostöös Raven disain OÜ-ga.
2. Uue lahenduse varustamine ajamitega kapi automatiseerimiseks ning puutevabaks aktiveerimiseks.
3. Valmistada uudse lahenduse füüsiline prototüüp kapile mõõtmetes 300x300x500 mm (laius, sügavus, kõrgus).

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Olemasolevate lahendustega tutvumine ja komponentide otsimine	01.03
2.	Lahenduse väljatöötamine	19.04
3.	Prototüübi koostamine	07.05

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "31"mai.2021a

Üliõpilane: Gerth Aren ".....".....2021a
/allkiri/

Juhendaja: Ago Rootsi ".....".....2021a
/allkiri/

Raivo Aren "....."..... 2021a
/allkiri/

Programmijuht: Helle Hallik "....."..... 2021a
/allkiri/

SISUKORD

TalTech Inseneriteaduskond	4
EESSÕNA	6
Lühendite ja tähiste loetelu	7
SISSEJUHATUS	8
1. LÄHTEÜLESANNE	9
2. OLEMASOLEVAD LAHENDUSED	11
2.1 Ruloo	11
2.2 Ruloo liikumise suunamine	13
2.3 Mehhanismid	13
2.4 Uste elektrilised ajamid	14
2.5 Juhtimislahendused	15
3. RAVEN DISAIN RULOO	16
4. PROTOTÜÜBI KAVANDAMINE	17
5. PROTOTÜÜBI EHITUS	23
5.1 Kassett	23
5.2 Elektrimootor	23
5.3 Vooluandur	24
5.4 Halli asendiandur	25
5.5 Infrapunaandur	26
5.6 Mikrokontroller	28
5.7 Toiteallikas	29
5.8 Hammasrihmaratas ja hammasrihm	30
5.9 Magnet	31
5.10 Rakis	32
6. SKEEM/ÜHENDAMINE	33
7. PROTOTÜÜBI TESTIMINE	35
8. TULEMUSED	37
8.1 Ettevõttepoolsete tingimuste täitmine	38
KOKKUVÕTE	39
Summary	41
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	43
Lisa 1 Juhtprogramm	47

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema on pärit Raven disain OÜ-lt. Eesmärgiks oli uudse disaini ja ajamitega varustatud rulookse lahenduse väljatöötamine. Töö tulemusena valmis lahendusest funktsionaalne prototüüp. Prototüübi arendamine ja koostamine toimus Raven disain OÜ tootmisruumides. Teema püstituse, lähteülesande tingimuste ja disainialase juhendamise eest aitas Raivo Aren, lõputöö ettevõttepoolne juhendaja ja Raven disain OÜ juhataja. Komponentide valimise ja konsultatsioonidega abistas Ago Rootsi, kes on lõputöö Tallinna Tehnikaülikooli poolne juhendaja ja ülikooli lektor.

Soovin tänada Ago Rootsit suurepärase juhendamise eest ning Raivo Arenit lõputöö teema püstitamise eest.

Lühendite ja tähiste loetelu

HTD (*high torque drive*) – hammasrihma ja hammasrihmaratta profiili tüüp

MDF (*medium density fiberboard*) - keskmise tihedusega puitkiudplaat, mida valmistatakse puitkiudude kombineerimisel vaha ja vaigu sideainega ning vormides paneelideks kõrge temperatuuri ja rõhu abil

PWM (*pulse width modulation*) – pulsilaiusmodulatsioon. Modulatsiooni liik, milles väljundpinge reguleerimiseks muudetakse impulsside laiust

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö ülesanne pärineb Raven disain OÜ-lt ja seisneb köögikappide rulooste uude lahenduse väljatöötamises. Ruloouksed meenutavad ehituselt tõstuksi ja nende eeliseks teiste uksetüüpide ees on kompaktsus. Ruloouksed ei võta ruumi kapi ees ja erinevalt liugustest võimaldavad ligipääsu kapi sisule kogu laiuses. Eriti oluline on see köögikappide puhul, kus tavapärased ukсед võivad segada köögi tööpinna kasutamist. Lisaks ruumiprobleemi lahendamisele, kasutatakse neid ka kapiuste kui köögis olulise disainielemendi kujunduse varieerimiseks. Mööbli ruloouksed on tüüpiliselt lahendatud nii, et rulooservad jooksevad kapi esiservas paiknevates juhtsoontes või siinides, mis on kas kapi külgedele kinnitatud või sisse freesitud. Selle lahenduse puuduseks on rulooservade pealispinna kulumine soones ning pikaajalise kasutamise korral võib rulooserv paiguti kinni kiiluma hakata. Lisaks on neid süsteeme, kus rulooserv liigub freesitud soones, paigaldajal ka raske üles seada.

Kuna Raven disaini äristrateegias on olulisel kohal toote disain, on ettevõtte põhieesmärgiks kaotada rulooservade ümbrise raam ja tekitada kõrvuti asetsevate kappide esikülgedest tasapind, milles puuduvad väljaulatuvad detailid. Peale selle on ettevõttel soov toode moderniseerida, lisades funktsionaalsust ja atraktiivsust, varustades lahenduse ajamisega, mis võimaldavad kapi automaatset ning puutevaba avamist ja sulgemist. Lisaks visuaalsele uuendusele ning automaatikaga kaasnevale mugavusele hoiab see ära uste määrimise, eriti just köögikappide puhul. Kirjeldatud rulooste lahendus annab piisavalt olulise müügieelise, et õigustada sellise toote väljatöötamiseks tehtavaid kulusi. Käesoleva töö ülesandeks on kirjeldatud lahenduse väljatöötamine ja prototüübi valmistamine Raven disain spetsialistide juhendamisel. Ettevõtte soovil ei ole antud lõputöös detailide täpseid mõõtmeid välja toodud.

1. LÄHTEÜLESANNE

Lähteülesande põhialuse moodustas Raven disaini disainivisioon. Mitmesugused numbrilised näitajad nagu näiteks mõõtmed, polnud otseselt ette antud ja baseerusid pigem firma seniste toodete väljakujunenud parameetritel ja edasiarenduse ideedel. Töö ülesandeks oli sobiva lahenduse väljatöötamine, mistõttu käesoleva töö väljundiks peab olema töötav prototüüp, mille alusel tehakse tootearendus konkreetsetele toodetele.

Ettevõtte tingimused lahendusele olid:

- Kaotada rulood ümbritsev raam ja tekitada kõrvuti asetsevate kappide esikülgedest tasapind, milles puuduvad väljaulatuvad detailid.
- Ruloo oleks kapi äärest ~2 mm kitsam
- Rulookuks peab avanema ja sulgema automaatselt ning sobiva kiirusega (2 – 3 s).
- Uste puutevaba avanemine ja sulgemine.
- Süsteem peab liikuma piisavalt vaikselt.
- Modulaarsus – Mehhanismi peab olema võimalik paigaldada olemasolevale kapikarkassile.
- Skaleeritavus – võimalus rakendada erinevate mõõtmetega kappidele.
- Varjata ruloo liistude külg, ruloo paremaks väljanägemiseks
- Rulookse avamise kiirus peab olema muudetav.

Detailide kujundamisel tuleb arvestada mitmete teguritega:

- Tellija poolt juba toodetava mööbliruloo kuju ja mõõtmetega.
- Ettevõtte poolt seatud tingimustega.
- Toote lihtsa paigaldamise ja hooldamise tagamisega.

Detailide kuju juures on oluline esteetika ning täita ettevõtte põhisoov, kaotada rulood ümbritsev raam. Samal ajal tagades, et detailid oleksid piisavalt tugevad ja vastupidavad. Siiani on ettevõtte rulookappide valmistamisel ruloo suunamiseks kasutanud külgedele freesitud sooni ning uue lahendusega soovitakse tootmise ja paigaldamise lihtsustamiseks võtta kasutusele siinid. Lisaks on uste avamiseks ja sulgemiseks vajalik automaatika, mis on puutevabalt aktiveeritav.

Koos ettevõtte poolse juhendajaga pandi paika järgnev ülesande raamistik. Antud lõputöö raames valmiv prototüüp on mõeldud disainilahenduse visualiseerimiseks ja tööpõhimõtte katsetamiseks ainult köögi ülemistele kappidele standardmõõdus

300x300x500 mm (laius, sügavus, kõrgus). Lisaks on valmiv prototüüp tehtud spetsiaalselt Raven disain OÜ poolt valmistatud rulo mõõtmetele ja on mõeldud kasutamiseks ainult selle rulooga.

2. OLEMASOLEVAD LAHENDUSED

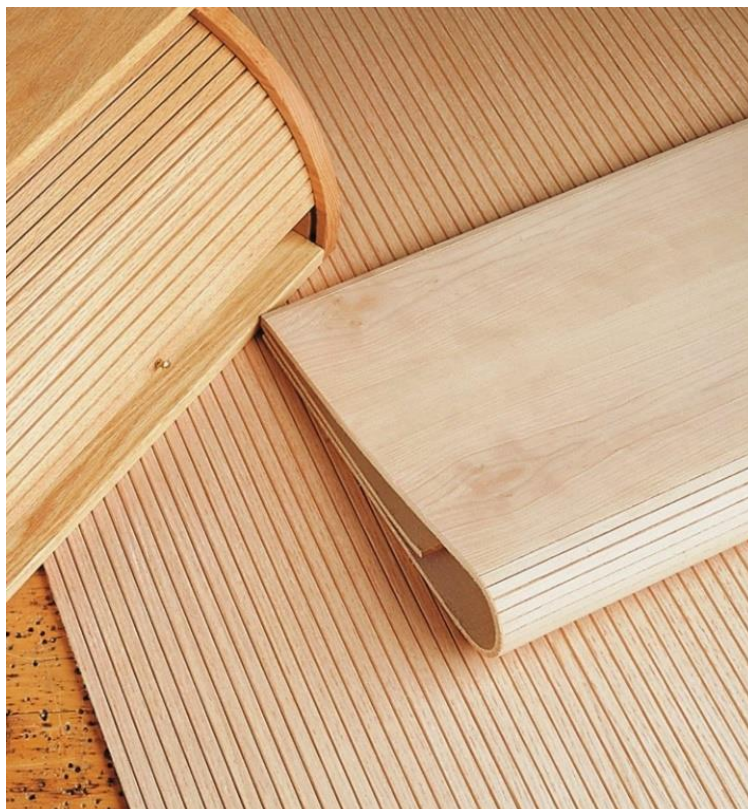
Lahenduste otsimine seisnes ettevõtete tootekataloogides, e-poodides ja jaemüügiteenustes nagu AliExpress.com, Alibaba.com ja Amazon.com pakutavate toodete läbivaatamisel. Just sellist olemasolevat toodet nagu Raven disain soovib, leida ei õnnestunud, mida kinnitab ka Raven disaini spetsialist. Kõige ligilähedasem toodetavatest lahendustest on Rehau frame4 [1] (vt Joonis 2.1).



Joonis 2.1 Rehau frame4 [2]

2.1 Ruloo

Ruloo enda valmistamisel on väljakujunenud kaks meetodit. Esimene, kus ruloo on ühes tükis (vt Joonis 2.2) ja ruloo lülisid hoiab koos riidekiht. Riidekiht võib asuda nii ruloo tagaküljel kui ka keskel. Seda varianti kasutatakse eelkõige puidust ruloode tootmiseks. Ruloo profiilid võivad olla näiteks poolring, lame või kiilprofiil. Sellist ruloode kasutatakse ka disainielemendina kumerate või sirgete seinte, sammaste, paneelide katmiseks [3].

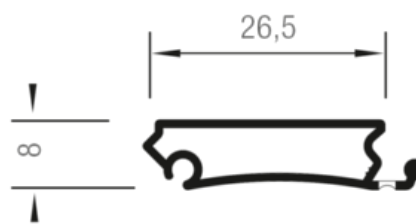


Joonis 2.2 Puidust ruloo [4]

Teise meetodina valmistatakse rulood liistudest, mis üksteise külge kinnitatakse. Selle variandi eelis on ruloo pikkuse lihtne muutmine liistude lisamise või eemaldamisega. Liistude laius, paksus ning profiil erineb tootjatel ja tootesarjadel[5]. Kasutuses olevate materjalide valik on lai. Ainuüksi Rehau valikus on teras, alumiinium, PVC, laminaat, klaas, klaaslaminaat, akrüüllaminaat[6].



Joonis 2.3 Rehau E9 [7]



Joonis 2.4 Rehau E9 profiil, ühik mm [8]

2.2 Ruloo liikumise suunamine

Et rulood saaks kasutada kapiuksena on vaja võimaldada selle suunatud liikumine avatud ja suletud olekusse. Ruloo liikumise suunamiseks on peamiselt kasutusel kaks varianti. Klassikaline variant on valmistada kapp spetsiaalselt rulookse jaoks, kus kapi mõlema külje sisemisele poolele freesitakse ruloole liikumiseks soon. See variant on pigem kasutuses väiketootjate seas. Teise variandina kasutatakse alumiiniumist või plastikust siine, mis paigaldatakse kapi sisekülgedele freesitud soonde või kinnitatakse sisekülgede peale (vt Joonis 2.5).



Joonis 2.5 Rehau (TOP) pealepaigutatav juhtsiin [9]

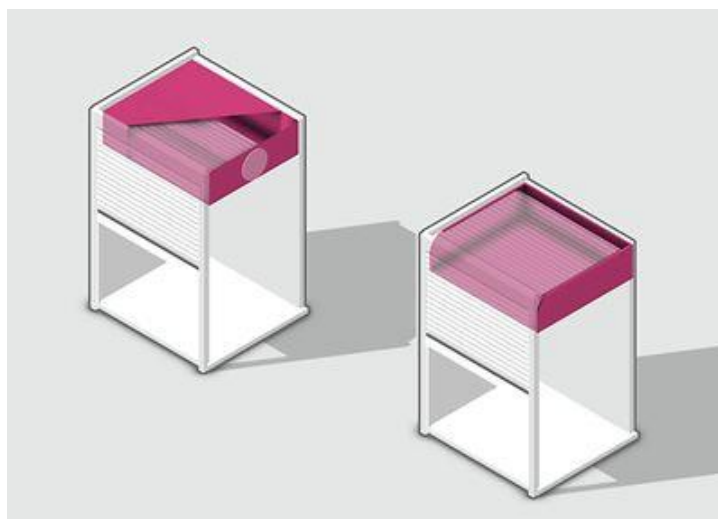
Kasutades seda meetodit on ka võimalus teiste ukسسüsteemide jaoks valmistatud kapid ümber teha ruloopakiks. Pealekinnitatavate siinidega lahendused koosnevad moodulitest, mida on üldjoones ka paigaldajatel või kliendil ise kergem paigaldada. Ainukesed teadaolevad lahendused, kus kasutatakse kapi külgede esikülge siinide paigaldamiseks on Rehau FRAME ja frame4.

2.3 Mehhanismid

Kui kapi suletud olekus katab ruloo enamuse või isegi täispikkuses kapi avavust, siis kapi avamisel on vaja see ruloo eest ära liigutada ja kuskile peita. Ruloo eest liigutamiseks ja peitmiseks on kasutusel erinevad mehhanismid ja lahendused vastavalt soovile ning kapiga sobivusele. Valikut piirab see, kas ruloo juhtimiseks soovitakse kasutada freesitud soont või siine. Osad mehhanismidest sobivad ainult külgedele kinnitatud siiniga. Lisaks ei ole võimalik kõiki variante kasutada juba

valmisoleva kapi ümbertegemisel. Näiteks pakutakse piduritega süsteemi, mis pidurdab rulood avades ja sulgedes, vastukaalumehhanismi, mis ei lase rulool alla vajuda ja võtab kapis sees minimaalselt ruumi.

Olemas on ka kappi või kapi peale paigaldatavad rulookastid. Need võtavad kapis rohkem ruumi, kuid on valmislahendused lihtsaks paigaldamiseks. Ka kastsüsteemid jagunevad kaheks. Spiraal, kus ruloo keritakse karbi keskele spiraali/rulli ja kassett, kus ruloo pakitakse kokku, kasutades kogu kapi sügavust (vt Joonis 2.6). Kassettsüsteemis liigub ruloo sirgelt kasseti lõppu ja tagasipöördega ette, nii mitu korda kui vaja. Kui enamik mehhanisme asuvad kapis sees, siis Rehau frame4 kassett asub kapi karkassi peal.



Joonis 2.6 Rehau spiraal (vasakul) ja kassett süsteem (paremal) [10]

2.4 Uste elektrilised ajamid

Kui automaatsed tõstukaad (garaaži/lao) on vägagi levinud, on elektrooniliselt juhitud rulookad köökides kapiustena siiani väheleitud. Lisaks sellele ei avalda osad tootjad kasutatud tehnoloogiat, mistõttu ei ole kasutatud ajamite kohta palju informatsiooni. Leitud lahendustest enam levinud meetod ruloo automaatseks liigutamiseks on torumootor (vt Joonis 2.7). Torumootoreid kasutatakse ka rulookardinate ja projektorite ekraanide üles/alla liigutamiseks.

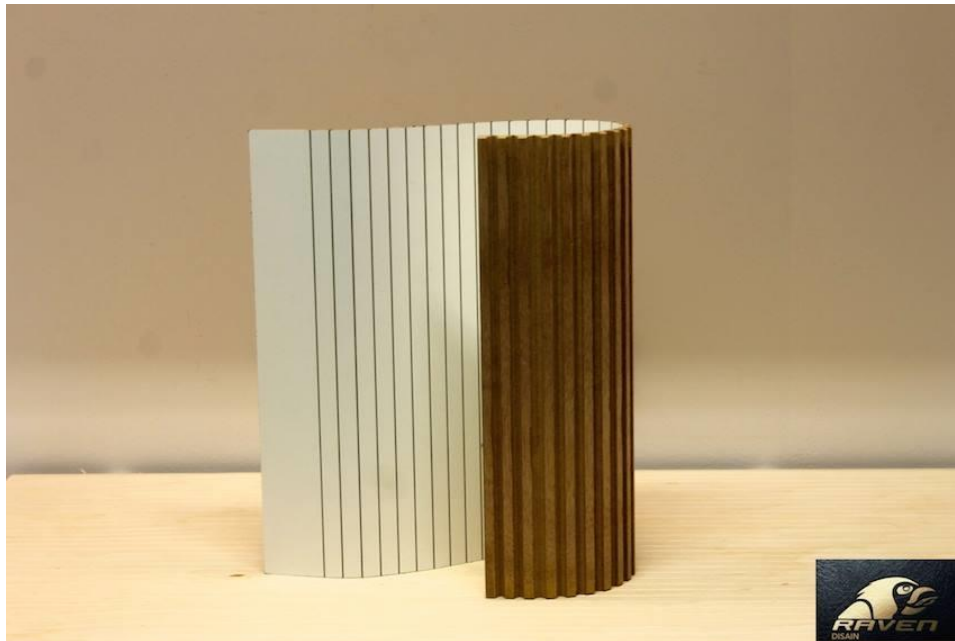


Joonis 2.7 Tambortech'i automaatlahenduse torumootor ja kontrollpult [11]

2.5 Juhtimislahendused

Automatiseeritud ruloo avamiseks on kasutatud mitmeid lahendusi. Tambortech Doors kasutab oma automatiseeritud lahendusel juhtmevaba juhtpulti (vt Joonis 2.7). Kuigi pult on juhtmevaba, soovib firma puldi kadumise ja purunemise vältimiseks kinnitada selle kaasasoleva kinnitusega seinale [12]. Continental Metal Products pakub haigla operatsiooniruumide hoiukappide avamiseks lahendusi nagu: võtmekarp, kaugpult, seinalüliti, puutekraan, puutevaba kaart [13]. Mõned pakuvad ka lisa turvaelemente, kappi ligipääsetavuse piiramiseks.

3. RAVEN DISAIN RULOO

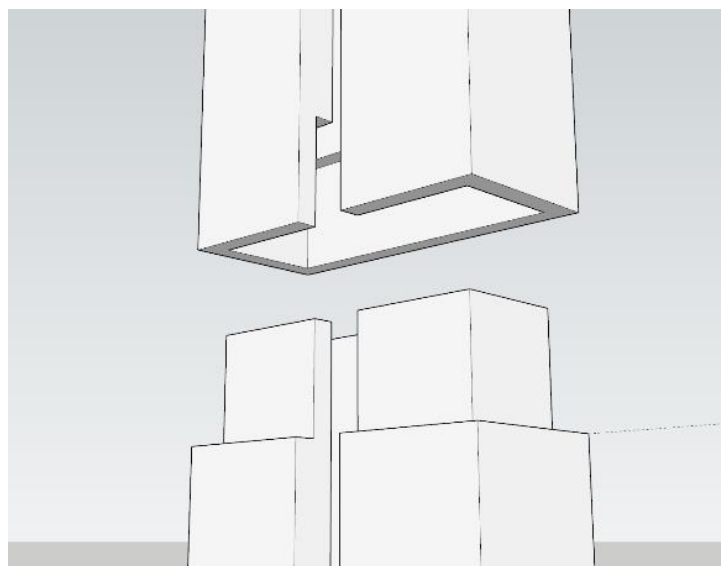


Joonis 3.1 Raven disaini ruloo [14]

Raven disain on väikeettevõtte kes tegeleb eritellimusel mööbli disaini ja valmistamisega. Ettevõtte on spetsialiseerunud mööbliruloo disainile ning tootmisele vastavalt kliendi visioonile. Raven disain OÜ tootmises kasutatav ruloo on kiilprofiiliga ja valmistamise meetodilt on see ühest tükist koosnev (vt Joonis 3.1). Raven disain toodab rulood nende enda valmistatud masinaga ning kasutab seda ka teistes müügi artiklites nagu peegliraamid ja eritellimuste disainielemendid. Kuna rulootüüp on firmas laialdaselt kasutuses ning moodustab ka suuremas osas firma identiteedi, peab uus lahendus kasutama just seda rulootüüpi. Ruloo koosneb neljast kokku liimitud kihist. Alustades tagumiselt küljelt, on esimeseks kihiks spoon. Spoon ehk kattedvineer on 0,3 – 3 mm paksune puiduleht [15]. Kõige paksem kiht on valmistatud MDFist (*medium density fiberboard*). MDF on keskmise tihedusega puitkiudplaat, mida valmistatakse puitkiudude kombineerimisel vaha ja vaigu sideainega ning vormides paneelideks kõrge temperatuuri ja rõhu abil [16, 17]. Järgmine kiht on kangas, mis annab ruloole painduvuse ning hoiab ruloo lülisid koos. Viimane ja „nähtav“ kiht võib olla spoon või laminaat ning selle valib klient ise, vastavalt värvi, mustrit ja materjali soovile. Raven disain toodab ka veekindlat rulood, mis on välimuselt samasugune, kuid valmistatud veekindlatest materjalidest.

4. PROTOTÜÜBI KAVANDAMINE

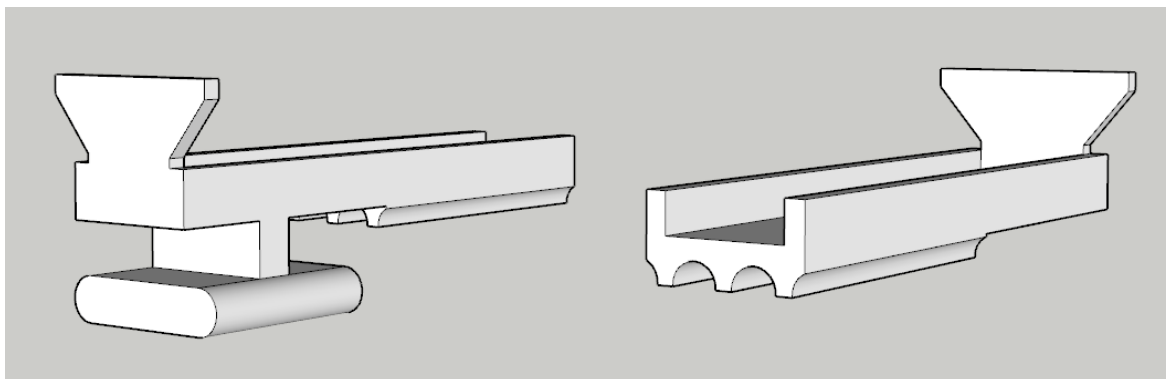
Prototüübi kavandamisel alustati Raven disaini põhitingimuse täitmisest. Et kaotada rulood ümbritsev raam peab ruloo katma ka kapi külgseinte esiservad ning seega ei mahu kappi sisse. Sellest tulenevalt on vaja ruloo liigutamise mehhanism paigutada kapi karkassi peale. Lisaks sellele on vaja rulood hoida kapi esikülje küljes. Lihtsaim lahendus oleks kasutada seni ruloostel kasutatavaid siine, mis kinnitatakse kapi külje külge ja ümbritseb ruloo kolmest küljest ning piirab liikumise ainult soovitud suunda. See lahendus aga ei sobi, kuna katab rulood pealtpoolt ning kaotab ära ettevõtte poolt soovitud visuaali. Probleemi lahendamiseks võeti kasutusele kaks detaili. Juhtsiin (vt Joonis 4.1), mis liimitakse kapi külgseinte esiservadele ja juhikud, mis liimitakse ruloo lülide külge ning liiguvad juhtsiinis. Lahendus sarnaneb põhimõttelt lükandustel kasutatavate mehhanismidega.



Joonis 4.1 Disainitud juhtsiini ühenduskoht

Juhtsiin on kolmest küljest kinnine ja ristlõikelt ristkülik. Siini esikülje keskel on 2,5 mm laiune pilu, mis võimaldab juhikute siinisisese ja välise osa ühendamise. Siini vajadus tuleneb, nagu ka teistel rulookappidel, ruloo „rööpas“ hoidmiseks. Ettevõtte soov kaotada ära rulood ümbritsev raam määrab ära siinide paigutuse kapi esiküljele. Kuna kapi avatud olekus jäävad siinid näha, on oluline, et lisaks otstarbele oleks ka disain aksepteeritav. Siini külgede paksus on 2 mm. See tuleneb siini ja kasseti liitekohta ning siini üldise tugevuse tagamisest. Liitekoht võimaldab kasutada erineva pikkusega siine ühe mõõduga kassetil, tingimusel, et siin on lühem kui kasutatavasse kasseti mahtuv osa. Lisaks tagab see lihtsama transportimise võimaldades kompaktsemat pakkimist. Standardmõõdus kappide küljed on tehtud enamjaolt kuueteist mm paksusest materjalist, millest tulenes siini laiuse piirang. Siin tuli teha

piisavalt sügav, et puutevabaks avamiseks kasutatav andur mahuks siini sisse ning siini sees olev juhiku osa oleks piisavalt tugev.



Joonis 4.2 T-juhik (vasakul) ja I-juhik (paremal)

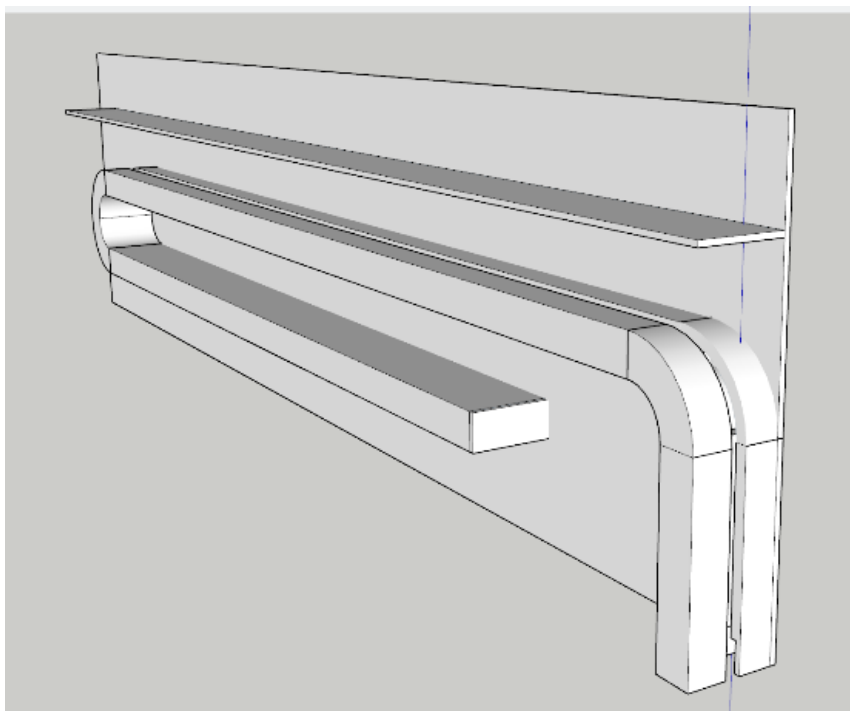
Juhikuid on kahte tüüpi: T-juhik ja I-juhik (vt Joonis 4.2). Mõlema juhiku pealmine pool on tehtud vastavalt ruloo liistule ning liimitakse ruloo liistude tagakülgedele üle ühe, alustades ja lõpetades T-juhikuga. Peamine põhjus kahel erineval juhiku tüübil on ruloo pöörderaadiuse vähendamine. Kui jätta ainult T-juhikud on ruloo ühe lüli pöördenuk kaheksa kraadi aga paigutades juhikud üle ühe, 31 kraadi. Teiseks, võimaldavad juhikud täita ka ettevõtte tingimuse, et ruloo külg oleks varjatud. I-juhikul on pesad vedava hammasrihma ratta hammaste jaoks. T-juhik hoiab ruloo siinis.

Juhikute disain muutus kavandamise käigus mitmeid kordi. Algselt oli mõtte teha juhtimine hammasrattaga siini ülemisest nurgast, kus hammasratta hammaste jaoks on juhikutel pesa. Siiski see lahendus ei sobinud kuna sirges asendis oleva ruloo lülide samm ei sobinud nurgas olevaga. Järgnevalt kaaluti erinevaid väikseid rattaid ja rullikuid, kuid lõplikuks variandiks jäi hammasrihmsüsteem. Hammasrihm veab rulood juhikutelt, millel on tehtud pesad vastavalt hammasrihmale. Soov juhtimine teha juhikute pealt, mitte otse ruloo tagaküljelt tuli ettevõttel selle küsimusega silmitsi olles. Põhjuseks on see, et juhikute materjal on tugevam ja kulumiskindlam kui ruloo tagaküljel kasutatav spoon.

Ruloo liigutamise mehhanism peab olema kapi karkassist väljaspool. Olemasolevate lahendustega tutvudes selgus, et sobivad variandid selleks on kastsüsteemid, mis on lõppkasutaja jaoks modulaarsed ja lihtsasti paigaldatavad valmislahendused. Kuna ruloo külge on kinnitatud juhikud, võtaks ruloo rulli kerimine oluliselt rohkem ruumi. Seega sobib ruloo kinni jooksmise mehhanismiks kõige paremini kassettsüsteem,

millega saab ära kasutada maksimaalselt kapi sügavust ning seeläbi minimaliseerida moodulina asetatava süsteemi kõrgust.

Kassettsüsteemil on juhtsiin kasseti külje küljes (vt Joonis 4.3). See aitab vältida võimalikke koostamisvigu, mis juhtsiini eraldi kinnitamisel tekkida võiks. Kassett ja juhtsiin kinnitatakse kapi karkassi külge ning neid saab valmistada nii standardmõõtudes kui ka erilahendusena vastavalt kindlale kapile. Seega täidavad need ka modulaarsuse ja skaleeritavuse tingimused.

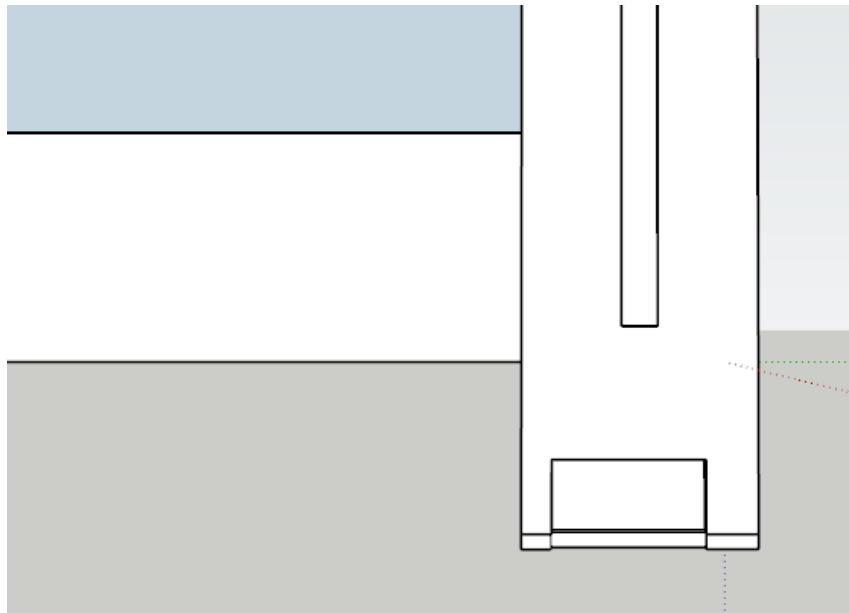


Joonis 4.3 Kasseti külg

Ukse puutevaba avamise ja sulgemise jaoks on vaja andurit. Anduri paigutamine ruloo külge ei sobi kuna andur liiguks koos rulooga avamisel üles. Ka kapi karkassi külge eraldi ei soovitud seda paigutada. Esialguses plaanis oli kapi avamiseks kasutatava anduri asukoht mõeldud ühe siini lõppu tehtud pesas, mis ideaalis oleks kapi suletud olekus ruloo taga peidus. See lahendus aga vajaks mahtvusanduri kasutamist ning pikemat arendusprotsessi käe tuvastamiseks läbi ruloo [18]. Lisaks kuna mahtvusandur töötab ka metallist esemetega võib andur metallist pottide ja tarvikute kappi panemisel või kapis olemisel anda valerakendumisi või üldse mitte töötada.

Järgmiseks variandiks oli kasutada infrapunaandurit ning pikendada anduriga siini nii palju, et andur jääks kapi suletud olekus ruloo tagant välja paistma (vt Joonis 4.4). Kuid see variant ei meeldinud ettevõttele disaini poolest. Anduri kapi ühe ääre juurde

paigutamiseks võib tekkida olukord, kus andur jääb vastu seina ja kappi on ebamugav avada.

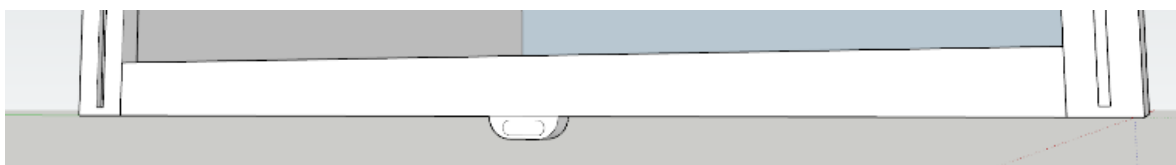


Joonis 4.4 Anduri pesa pikendatud siiniga

Teisalt kahe anduri kõrvuti jäämisel võib tekkida anduritega segadus, kumba kappi avada sooviti. Lisaks ergonoomika poole pealt on ainukene liigutus inimesel käe tõstmine infrapunaandurini, vastavalt kas kapi avamiseks ja edasi kappi, või sulgemiseks ja tagasi alla. Antud prototüüp on köögi seinakapp. Sellest tulenevalt on kapi avamiseks inimese käel kõige lühem tee kapi alumise servani kuhu tehti anduri paigutamiseks liist (vt Joonis 4.5).

Veel tuli otsustada kas suunata andur ette või alla. Alla suunatus on käe liikumistrajektor pikem, sest tuleb teha lisa liigutus, kus kõigepealt viiakse käsi kapi nurga alla ja tõstetakse tagasi ette, soovitud eseme välja võtmiseks. Seega anduri paigutamine alumise liistu keskele, ette suunatus on kõige ergonoomilisem variant, arvestades käe trajektoori andurini ja sealt edasi esemeni. Lisaks välistab see olukorrad, kus andur võib jääda seina äärde või teise anduri kõrvale.

Liistule tehtud laiend võimaldab rulool kinnises asendis olla tasa kapi alumise servaga, ilma anduri vaatevälja takistamata. Juhtmete viimiseks infrapunaandurini on nagu ka siinil, liistu tagaküljel kanal.



Joonis 4.5 Alumine liist

Kapi liikumise automatiseerimiseks tuleb kasutada elektrimootorit. Mootori valimisel oli oluline mootori madal müratase ja jõu lineaarne graafik, et kapi avamisel ruloo kiirus oleks ühtlane ja ei muutuks olenevalt ruloo raskusest. Kindlasti peab olema võimalus kontrollida pöörlemissagedust ning suunda. Mootoritüübi valimisel kaaluti torumootori kasutamist, kuid odavama hinna ja parema kättesaadavuse pärast otsustati esmalt testida alalisvoolumootorit. Harjadeta alalisvoolumootor on võrreldes harjadega mootoriga vaiksem ja pikema tööeaga, kuna ei ole harjasid, mis kuluksid. Lisaks suudavad nad paremini oma asendit hoida, et ruloo pooleldi avatuna alla ei hakkaks vajuma. Selle põhjal on prototüübis kasutatud just harjadeta alalisvoolumootorit.

Kapi suletud ja avatud oleku määramiseks on vaja kas mikrolüliti või andurit. Kuna mikrolüliti on mehhaaniline lüliti liikuvate osadega, võib tekkida olukord, kus lüliti hoob jääb ruloo külge kinni või kiilub lüliti kinni. Selliste olukordade vältimiseks otsustati kasutada kontaktivaba andurit. Anduritest on valikus mitmeid, kuid peamine valik toimus induksioon- ja Halli anduri vahel. Suures pildis on need sarnased, kuid induksioonandur tuvastab metalli aga Halli andur tuvastab magnetvälja olemasolu. Prototüübi jaoks otsustati kasutada Halli andurit, kuna need on mõõtudelt väiksemad ja odavamad. Sellest olenevalt on vajalik ka väiksemõõduline magnet, mida Halli andur tuvastada saaks.

Kapi ajamitega töölepanemisega kaasneb ka suurem risk ning tuleb pöörata tähelepanu võimalikele ohtudele nii inimesele kui ka süsteemirikes. Inimesele elektriga seotud ohtude eest aitab kaitsta elektroonikakomponentidele juurdepääsu piiramine. Antud juhul asub kogu süsteemi elektroonika kasseti sees, millel on üks „lahtine“ külg, mis on realselt katmata ainult ruloo siinist täielikul eemaldamisel. Kasseti tagaküljel on ava toiteadapteri ühendamiseks. Teisalt on ka oht kapi sulgemisel käe või mõne eseme rulookse vahele jäämisel. Sellisel juhul toimub mootori töövoolu järsk kasv, mille tuvastamiseks on vaja lisada juhtimisautomaatikasse voolutugevuse andur. Et seda võimalust vähendada sulgub ruloo avamiskiirusest poole aeglasemalt. Siiski takistuse esinedes muudab ruloo suunda ning hakkab uuesti avanema.

Mootori jõu ülekandmiseks juhikutele kasutakse hammasrihma ratast ja hammasrihma. Kogu süsteemi tervikuna töötamiseks on vaja „juhtaju“, mis koguks andurilt info kokku, töötleks seda ning juhiks mootorit vastavalt vajadusele. Selleks „ajuks“ on mikrokontroller, millega on kõik teised komponendid ühendatud. Tegelikult

„tühi“ mikrokontroller ise ei juhi midagi, vaid selleks tuli see ära programmeerida, mis tähendas ka juhtprogrammi vajadust (Lisa 1).

Arvestades ettevõtte antud tingimusi on vajalikud detailid niivõrd spetsiifilised, et sobivate valmis detailide leidmine on äärmiselt keeruline või neid isegi ei ole olemas. Seetõttu tuli lahenduse disainiks vajalikud komponendid prototüübi jaoks ise valmistada. Alates 1990ndatest on prototüüpimisel kasutatud 3D printimise tehnoloogiat. Esialgu oli see kulukas ning peamiselt kasutatud suurkorporatsioonide poolt. Tänapäeval on see levinud ka väikeettevõtete ja erakasutajate seas [19]. Põhjuseks on ühe eksemplari odavam ja kiirem valmistamine, mida prototüüpimisel läheb vaja tihti. Detailide modelleerimine toimus kasutades SketchUp tarkvara [20]. Programmi valimisel osutus määravaks varasem kasutuskogemus ning võimalus eksportida 3D printimise standardfailiformaati STL (*Stereo Lithography*) [21]. Kõigi prototüübis kasutatavate detailide 3D joonised on valmistatud töö autori poolt. Kuna ettevõtte 3D printerit ei oma, osteti printimisteenus sisse.

Prototüübi detailide materjal erineb toodangul planeeritavast. See tuleneb sellest, et prototüübi detailid valmistatakse 3D printeriga EOS Formiga P100 [22] aga tootmises on plaanis detailid valmistada vormidega, mis suurema tootmise juures tuleb odavam ja kiirem. Printimisel kasutatud materjal on polüamiid plastipulber. Detaile ei ole planeeritud ise valmistada, vaid soovitakse tellida need selleks spetsialiseerunud ettevõttelt, kellega koostöös soovitakse leida sobivate omadustega materjal. Seega ei pruugi anda prototüübi jaoks prinditud detailid täpselt edasi, kuidas juhikud reaalselt siinis liikuma hakkavad.

Kuna kõik detailid on võimalikult väikeste mõõtmetega ning osati väga õhukesed tuleb arvestada nende võimaliku purunemisega. Kõige tõenäolisemalt võivad puruneda juhikute küljed ja kassetti küljed, mis on mõlemad kohati vaid 1 mm paksud. Seda tuleb kindlasti silmas pidada toodanguks materjali valimisel.

Kasutades kavandatud lahendust jääb rulooga katmata ühelt küljelt $2,5 \pm 0,5$ mm. Sellest 1 mm on juhiku külj, mis on visuaalselt osa ruloost. $\pm 0,5$ mm on jäetud kasseti külje ja juhiku vahele liikumisruumi. Seega on rulo (koos juhiku küljega) kapi äärest 1 – 1,5 mm kitsam. 3D prinditavad detailid on juhikud, juhtsiin, kassetti külj ja alumine liist. Automatiseerimiseks vajalikud komponendid on: infrapunaandur, elektrimootor, vooluandur, Halli andur, magnet, mikrokontroller, hammasratas ja hammasrihm.

5. PROTOTÜÜBI EHITUS

5.1 Kasset

Sulgemismehhanismina on kasutusel kassettsüsteem, kuhu rulo kapi avatud asendis peitu jookseb ja kus on kõik rulo liigutamiseks vajalikud komponendid. Kasset on töö põhimõttelt samasugune Rehau kassettsüsteemiga, kuid erineb juhtsiini poolest. Selle põhi, pealmine- ja tagakülge valmistatakse vineerist. Esikülge katab rulo ning ülemisel äärel on kitsas katteriba tasapinna tekitamiseks. Kaseti tagaküljel on ava toiteadapteri ühendamiseks. Kaseti küljed 3D prinditakse. Mõõtmete puhul oli eesmärgiks kompaktsus.

5.2 Elektrimootor

Puidust rulo ruutmeetri kaal on 3,1 kg, plastikust 4 kg. Prototüübis kasutatavale kapile kulub $295 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} = 0,18 \text{ m}^2$ rulood. Seega mootor peab suutma paigalt liigutada $0,18 \times 4 = 0,7 \text{ kg}$ rulood. See aga ei sõltu ainult mootorist, vaid ka reduktori võlli otsas olevast hammasrihma rattast. Mootori pöörlemissagedus koos valitud hammasrihma rattaga peab olema selline, et töö raamistikus määratud mõõtmetega kapp avaneks soovitud 2 – 3 sekundiga.

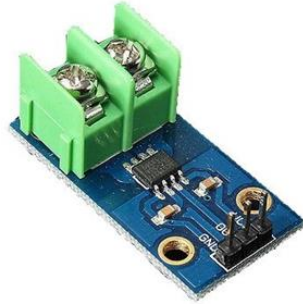
Valitud mootoriks sai FIT0441 [23] (vt Joonis 5.1). Selle mootori eeliseks oli sisseehitatud mootorikontroller. Tänu sellele saab mootori ühendada otse mikrokontrolleriga. Mootoril on eraldi sisendid suuna määramiseks ja pöörlemissageduse muutmiseks. Pöörlemissagedust saab määrata kasutades PWMi (pulse-width modulation), ehk pulsilaiusmodulatsiooni vahemikus 0 – 5 V. Mootori suuna määramine toimub väljundi ühendamisel 5 V (pöörlemissuund edaspidi) või maandusega (pöörlemissuund tagurpidi). Juhtprogrammis on see teostatud digitaalväljundi väärtuse määramisega. Lisaks on ka tagasiside väljund pöörlemissageduse ja suuna kontrollimiseks. Mootori tööpinge on 12 V. Maksimaalne töövool 0,7 A ja pöördemoment 2,4 kg*cm. Mootori kiirus võllil on ligikaudu 159 pööret minutis, reduktori suhtega 45:1.



Joonis 5.1 FIT0441 elektrimootor [24]

5.3 Vooluandur

Vooluandur on projektis turvaelement. Selle abil saab selgeks teha, kui ruloo liikumisel esineb takistus, mis väljendub elektrimootori voolutarbimise järsus suurenemises. Vooluanduriks sai valitud ACS712 5A [25] (vt Joonis 5.2). ACS712 on odav ja populaarne vooluandur. See andur kasutab oma töös Halli efekti. Mõõdetav vooluring kulgeb läbi anduri. Andur reageerib seda läbiva voolu magnetväljale. Väljundsignaaliks on voolutugevusega proportsionaalne pinge. ACS712 5A ülekandetegur on 185 mV/A. Anduri väljund ühendatakse juhtsüsteemi automaatika kontrolleri analoogsisendisse. Mootori töötamisel kontrollitakse, et vool mootori toiteahelas ei ületaks lubatud piiri 0,7 A. Erinevalt vooluanduri lahendusest, kus mõõdetakse pingelangu vooluringi järjestikku ühendatud takistil, ei tekita valitud vooluandur vooluringis pingelangu. Lisaks sellele on mõõdetav vooluring ja anduri muu elektriskeem teineteisest galvaaniliselt eraldatud, ehk need ahelad ei ole otseselt ühendatud ja seega pole võimalik elektrilaengu vahetu liikumine ühest ahelast teise.

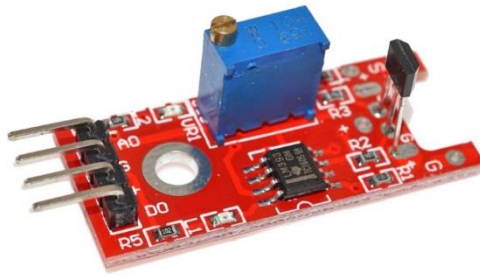


Joonis 5.2 vooluandur ACS712 [26]

5.4 Halli asendiandur

Ruloo alguse ja lõpu tuvastamiseks otsustati kasutada Halli andurit koos ruloo otstesse kinnitatud magnetitega. Prototüübil kasutatakse OKY3433-1 [27] tüüpi Halli andurit (vt Joonis 5.3), millel on nii analoogväljund kui ka digitaalväljund. Plaadil on ka potentsiomeeter, mis võimaldab valida, millise magnetvälja tugevuse juures anduri digitaalväljund ümber lülitub. Valik selle plaadi kasuks sai tehtud osaliselt erinevate kasutus- ja paigutusvõimaluste testimise võimaldamiseks, kuid ka Koroonaja tarneraskustest tingitud tootevaliku tõttu.

Prototüübil on kasutatud kahte Halli andurit. Üks avatud oleku tuvastamiseks ning teine suletud oleku tuvastamiseks. Anduritel on kasutatud analoogväljundeid, määrates programmis magnetvälja piirväärtuse ruloo täpselt soovitud positsioonis. Kui magnetvälja tugevus on piirväärtusest suurem on ruloo jõudnud lõpp-positsiooni. Sobivad väärtused saadi andurite ja ruloo külge kinnitatud magnetite koos testimisel.



Joonis 5.3 Halli andur OKY3433-1 [28]

Siiski tootmise jaoks ei ole OKY3433-1 plaat otstarbekas oma hinnalt ja mõõtmetelt. Ka kahe anduri kasutamisel ei ole mõtet, kuna on olemas ka Halli andurid, mille analoog- väljundpinge on pool toitepingest ja kasvab magneti ühe pooluse lähendamisel ning kahaneb teise pooluse lähendamisel. Pannes ruloo kumbagi otsa erinevat pidi magneti, on võimalik kontrolleri analoogsisendiga anduri väljundilt pinget muutes ühe anduriga registreerida kolme erinevat olekut:

- Magnetit pole läheduse ehk ruloo on vahepeelses asendis
- Pinge on väiksem või suurem kui $\frac{1}{2}$ toitepinget – ruloo on kas kinni või avatud.

5.5 Infrapunaandur

Infrapunaandur sai tellitud vastavalt esialgsele ideele, kus andur pidi mahtuma siini sisse (vt Joonis 4.4). Anduri valimisel ei pea vajalik mõõteulatus olema väga suur aga on oluline, et minimaalne mõõtedistants oleks väiksem soovitavast maksimaalsest aktiveerimiskaugusest. Kuna ettevõttel ei olnud see veel kindlaks määratud, ning prototüübiga sooviti seda katsetada, oli ka anduri mõõtmise miinimumkaugus üheks otsustavaks parameetriks. Valitud infrapunaandur on TOF050H [29] (vt Joonis 5.4).



Joonis 5.4 TOF050H infrapunaandur [29]

TOF050H kasutab kauguse mõõtmiseks VL6180 mikrokiipi, mis kasutab STMicroelectronics poolt patenteeritud FlightSense™ tehnoloogiat [30]. Kauguse hindamiseks ei mõõdetata tagasipeegelduva valguse hulka, mida mõjutab oluliselt objekti värv ja pind, vaid mõõdetakse valguse lennuaega. Lennuaeg on aeg, mis kulub valgusel lähima objektini jõudmiseks ning tagasi andurisse peegeldumiseks. Anduril on kolm töörežiimi, millest maksimaalse mõõtekaugus on 50 cm ning kõrge täpsusega režiimis 20 cm. Anduri tööpinge on 3 – 5 V ja maksimaalne voolutarve on 40 mA. Andmete edastamiseks pakub andur kolme protokollit: I²C, Modbus ning UART.

Kuna andur väljastab objekti kaugust mõõtarvuna, ei eelda sobiva kauguse seadistamine prototüübi ümberehitamist, vaid on muudetav juhtprogrammis soovitud parameetri muutmise teel. Arvestades, et prototüübis käsitletakse kõõgi seinakappe, mis on tavaliselt töötasapindade kohal, võib anduri suur aktiveerimiskaugus muuta segavaks töötasapinna igapäevase kasutamise ning tekitada ebavajalikke lülitusi. Selle jaoks on andur kõrge täpsusega töörežiimis ning tegelik kapi avamisdistants (reageerimiskaugus) piiratud programmis 6 cm peale. Edaspidises arenduses saab seda vastavalt soovile muuta.

Anduri laser kasutab lähiinfrapunakiirgust lainepikkusega 850nm, mistõttu on otse andurisse vaadates inimese silmaga näha õrna punast täppi [31]. Anduris on kasutatud „klass 1“ laserit, mis on inimese silmale ohutu [32]. Anduri otsimisel panin suuremat rõhku anduri suurusele ning minimaalsele ja maksimaalsele mõõtmisdistantsile ning ei pööranud tähelepanu anduri laseris kasutatavale valguse

lainepikkusele. Siiski esialgse prototüübi jaoks ei olnud see aspekt niivõrd olulise tähtsusega, et otsida uus andur ning edaspidises arenduses otsustatakse, kas selle väljavahetamine on vajalik. Arvestades ka seda, et andurite mõõtmete piirangud muutusid, mis laiendab otsinguulatust.

5.6 Mikrokontroller



Joonis 5.5 Arduino Uno arendusplaat [33]

Mootori pöörlemissageduse ja suuna muutmiseks ning andurite kontrollimiseks vastavalt vajadusele on vaja need programmeerida. Prototüüpimisel on oma laia leviku ning komponentide lihtsa ühenduvusega väga sobilikud Arduino arendusplaadid. Arduinol on ka oma avatud lähtekoodiga tarkvara, Arduino IDE [34] (*integrated development environment*), mis teeb programmi kirjutamise ja arendusplaadile laadimise lihtsaks ka algajale. IDE ehk integreeritud arenduskeskkond on tarkvara rakenduste loomiseks, mis ühendab ühte graafilisse kasutajaliidesesse arendajate poolt enim kasutatavad tööriistad. Ettevõttel oli teiste projektidega katsetamisest olemas Arduino Uno [35] (vt Joonis 5.5) ja otsustati kasutada seda. Arduino Uno kasutab Atmega328P mikrokontrollerit, sellel on olemas kuus analoogsisendit ning 14 digitaalset sisendit/väljundit. Sisendina kasutamine tähendab, et Uno võtab selles pesas andmeid vastu ning väljundina saadab välja. Nendest

neljateistkümnest klemmist kuute saab kasutada PWM väljundina. Antud juhul on vaja PWM väljundit kasutada mootori pöörlemissageduse määramiseks. Arduino Uno sobib toitepinge 7 - 12 V, mis on ka mootori tööpinge. Toiteadapteri pistik peab olema sisediameetriga 2,1 mm ja keskmine klemm positiivne. Lisaks on ka eelnev kogemus Arduino arendusplaatidega ja Arduino IDE kasutamisega, mis kergendab juhtprogrammi loomist.

5.7 Toiteallikas



Joonis 5.6 DVE DSA-12R-12 toiteadapter [36]

Mootori FIT0441 tööpinge on 12 V peal, mis sobib ka Arduinole toitepingeks. Mootori maksimaalne töövool on 0,7 A ja kogu süsteemi tarbimine ei ületa maksimaalselt 0,8 A. Arduino Uno sobiv 2,1/5,5 mm positiivse keskmikuga otsik. Seega võib toiteallikana kasutada sobivat 12 V toiteadapterit, mille väljundvool on vähemalt 1 A, arvestades juurde reserviks jäetava varu. Prototüübile valitud DVE DSA-12R-12 (vt Joonis 5.6) oli ettevõttel olemas ning peale pinge ülemõõtmist, et olla kindel adapteri 12 V väljundpinges ja veendumist, et adapteri pistik on positiivse keskmikuga, otsustati mitte uut osta ja kasutada seda. Edaspidises arenduses võiks adapter olla pistikühendusega toitejuhtmega, mis võimaldaks adapteri paigutamise kassetti. Siis tuleb silmas pidada ka adapteri mõõtmeid kassetti mahutamiseks.

5.8 Hammasrihmaratas ja hammasrihm

Kuna hammasrihmaratas ja hammasrihm on omavahel otseselt seotud, tuleb neid valida koos. Lähenemispunktid hammasratta puhul olid välimine diameeter, mis mõjutab koos elektrimootoriga ruloo liikumiskiirust, sisemine diameeter 4 mm, et sobiks valitud mootori võllile, ning sobivus hammasrihmaga. Hammasrihma korral oli soov kasutada 15 mm laiust rihma, et juhikute puutepind oleks võimalikult suur. Lisaks otsiti võimalikult kõrge hamba profiiliga, kuid samas juhikutele sobiva hambasammuga hammasrihma tüüpi. Kõrge hambaprofiiliga seetõttu, et hammasrihma hambad oleksid kindlalt juhikutele tehtud süvendites ning ei saaks kergelt välja hüpata, kasutades juhtsoones loksumiseks jäetud ruumi. Selleks hetkeks kui otsustati hammasrihmsüsteemi kasuks ei olnud enam aega jäänud nii palju, et saaks riskida välismaalt toodete tellimisega, arvestades koroonapandeemiast tingitud võimalike ajaliste viivitustega. Seetõttu oli komponentide valik piiratud.

Juhikute põhja laius on 8 mm. Populaarsemad hambasammud, mis on klambrite põhja laiusest väiksemad on 2, 3 ja 5 mm. Kuna juhikute samm on 12 mm, siis 5 mm sammuga hammasrihmad ei sobi ja valikusse jäävad 2 ja 3 mm. Nendest sobib paremini 3 millimeetrine, sest selle hambaprofiili kõrgus on ligikaudu 1,2 mm aga 2 millimeetrisel on see ligikaudu 0,75 mm. Kõige vaikssem ja sobilikum variant oleks STD S3M hammasrihm [37], mis on valmistatud tugevdatud kummist, kuid seda ei õnnestunud Eesti poodidest leida. Järgmise variandina otsiti PowerGrip GT2 tüüpi 3mm sammuga rihma, mis on HTD (*High Torque drive*) rihma edasiarendus [38], kuid ka selle sobivat varianti ei leitud. Lõpuks oli sobiv 15 mm laiune rihm HTD3M tüüpi.



Joonis 5.7 Hammasrihma ratas
HTD3M, 24hammast [39]



Joonis 5.8 Hammasrihm HDT3M-210-9 [40]

Olles leidnud rihma, alustati sobiva hammasrihmaratta otsimisega. Et ruloo kiirus oleks antud elektrimootoriga sobilik, oli vaja vähemalt 20 süvendiga hammasrihmaratast ning teiselt poolt oli piiranguks väline diameeter 35 mm, üle mille ei mahu hammasrihmaratas kasseti jäetud ruumi ära. Valikus oli HTD3M 24 hambaga aga 9 mm laiune, kuid 15 millimeetrise hammasrihma jaoks ei pakutud ühtegi. Seega on prototüübil kasutatav hammasrihmsüsteem 9 mm laiune. Hammasrihmaratas on 24 hambaga (vt Joonis 5.7) ning hammasrihm HDT3M-210-9 (vt Joonis 5.8). Toote edasiarendamisel võib vahetada hammasrihmsüsteemi STD S3M tüübi vastu.

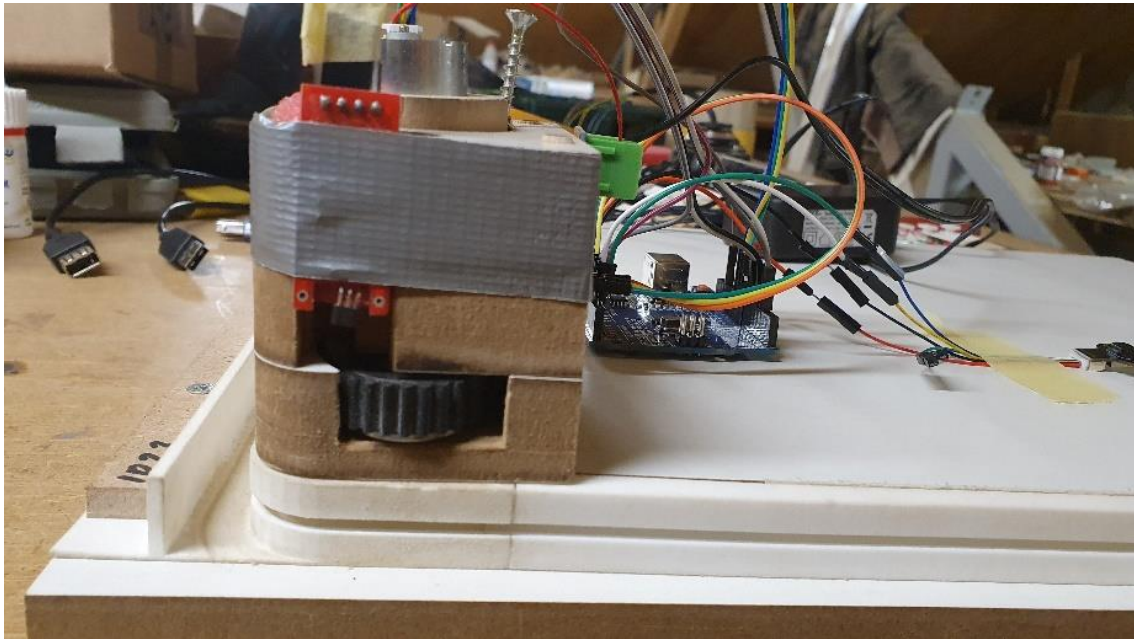
Valitud hammasrihma ratta ümbermõõt on 72 mm. Seega on vaja 500 mm kõrguse kapi avamiseks teha mootoril $500/72 \approx 7$ pööret. Maksimaalsel pöörlemissagedusel, 159 pööret minutis, kulub selleks $7 \cdot 60 / 159 \approx 2,6$ s, mis on ettevõtte soovitud ajavahemikus.

5.9 Magnet

Magneti valimisel olid esmatähtsad magneti väikesed mõõtmed ja madal hind. Magneti teised omadused ei ole antud rakenduses primaarsed, kuna kasutatud Halli anduri mõõtekaugust on võimalik muuta ning mõõdetud väärtuse põhjal programmis määrata sobiv aktiveerimise läviväärtus. Prototüübis kasutasime väikest $3 \times 3 \times 0,5$ mm neodüüm püsomagnetit [41], mis oli kaetud nikkliga. Neid magneteid on kasutusel kaks ning on kleebitud ruloo otstesse lülide sisekülgedele õhukese kahepoolse teibiga.

Neodüümmagneti nõrkadeks külgedeks on madal töötemperatuur. Lisaks on katmata magnetid vastuvõtlikud korrosioonile ning kuna magnet on väga rabe võib see kergelt puruneda [42]. Kasutatud magneti maksimum töötemperatuur jääb vahemikku 60 – 80 °C, mille ületamisel võib magnet kas ajutiselt või jäädavalt demagnetiseeruda [43]. Kuigi toote planeeritav asukoht on köök, kus temperatuurid võivad olla tavalisest toatemperatuurist kõrgemad, jäävad ka tööstuslike (*commercial*) köökide temperatuurid sellele alla [44]. Korrosiooni kaitseks on magnet kaetud nikklikihiga. Kuna magnet on kinni liimitud ja kasutuses ainult Halli anduri jaoks ning seda ilma otsese kontaktita on ka purunemise oht minimaalne.

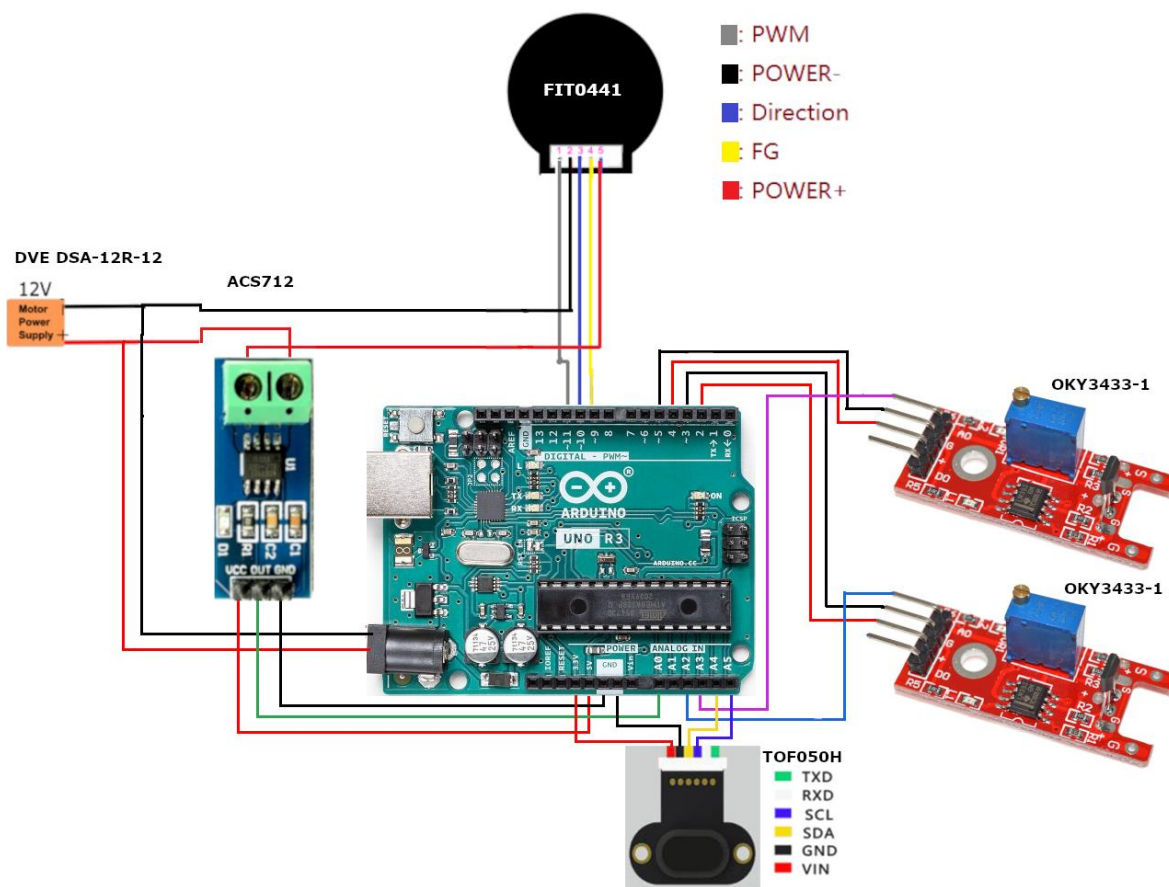
5.10 Rakis



Joonis 5.9 Komponentide paigutamiseks valmistatud rakis

Kuna 3D prinditud detailid valmisid enne elektroonikakomponentide tellimist, ei saanud mootorit ja hammasrihmsüsteemi kohe kassetti külje külge paigutada. Seega automaatika testimiseks oli vaja valmistada rakis (vt Joonis 5.9). Rakis koosnes neljast MDFi kihist, mis on omavahel ühendatud tihvtidega. Rakises on tehtud pesa hammasrihma rattaga mootorile ja kahele laagrile, mille peal jookseb hammasrihm. Hammasrihma hambad on väljapoole suunatud ja puutepunktid juhikutega asuvad esiküljel ja peal. Eialgu oli plaanis teha lahendus, kus hammasrihm veab ainult rakise pealt, kuid rakise testimisel selgus, et rullo kangas venib vedamisel siiski liiga palju ja alates neljandast kontaktis olevast juhikust ei sobi juhikute samm hammasrihma hammaste sammuga. Laagrid on paigutatud hammasrihma siseküljel juhikute puutepunktidesse. Hammasratas asub hammasrihmast väljaspool ning täidab ka hammasrihma pinguti rolli. Halli andurite jaoks on rakisele freesitud pesad. Üks esiküljele ja teine peale. Lihtsamaks eemaldamiseks ja seadistamiseks on need rakise külge kinnitatud teibiga. Teised komponendid on paigutatud rakise vahetusse lähedusse.

6. SKEEM/ÜHENDAMINE



Joonis 6.1 Elektroonikakomponentide ühenduse skeem

Kõik elektroonikakomponendid on ühendatud arduino Uno külge (vt Joonis 6.1). Joonisel 6.1 on toiteühendused tähistatud kokkuleppeliste värvidega („-“ mustaga ja „+“ punasega). Uno saab toitevoolu (12 V) DVE DSA-12R-12 adapterist, mis on ühendatud plaadi toitepessa. Adapteri miinuskaabliga on ühendatud ka FIT0441 mootori miinusklemm (Joonisel 6.1 tähistatud *POWER-*). Adapterist tulev plusskaabel sisestatakse ACS712 vooluanduri miinusepoolsesse terminali ning teine terminal ühendatakse mootori plussklemmiga. Vooluanduri VCC ehk sisendvoolu klemm on ühendatud Uno +5 V klemmiga ning GND ehk nn maaklemm Uno GND klemmiga. Vooluanduri väljund (*OUT*) on ühendatud Uno sisendiga A0. Mootori PWM ja suuna (Joonisel 6.1 *Direction*) klemmid on ühendatud Uno pesadesse 11 ja 10 ning määratud Uno programmis väljunditena. FG (Joonisel 6.1 FG), ehk tagasiside väljund on ühendatud pesasse 9, sisendina. Infrapunaanduri TOF050H pluss (VIN) on ühendatud Uno 5 V pesaga ja miinus on ühendatud vastava Arduino pesaga. Kuna esialgselt proovitud UART protokolliga ei õnnestunud andmeid infrapunaanduri ja Uno vahel „liikuma“ saada, kasutati andmete edastamiseks I²C protokoll, mis kasutab

SDA (*serial data line*), ehk andmesiini ja SCL (*serial clock line*), ehk taktsiini. Unoga on need väljundid ühendatud vastavalt A4 ja A5 sisenditega. Kuna Uno1 rohkem vabu +5 V pesasid ei olnud, ühendati Halli andurite pluss klemmid Uno pesadesse 2 ja 4. Juhtprogrammis seati need väljunditeks, väärtusega „HIGH“, mis määrab nende käitumise 5V pesana. Et kaablite paigutus arendusplaadil oleks arusaadavam, ühendati andurite miinusklemmid pesadega 3 ja 5 ning anti väärtus „LOW“, mis määrab nende käitumise GNDna. Andurite analoogväljundid ühendati Uno analoogsisenditega vastavalt A2 ja A3. Edaspidises tootearenduses lahendatakse 5 V toite jagamine.

7. PROTOTÜÜBI TESTIMINE

Esimene katsetamine prototüübiga toimus ainult 3D prinditud detailide ja rulooga. Kuna joonisel tundus, et kõik on sobilik, telliti detaile terve prototüübi valmistamiseks. Nende kättesaamisel ja esmasel testimisel ei liikunud juhikud soones üldse. See oli tingitud kasutatud printimise tehnoloogiast, mis jätab prinditud detailid väga puruseks. Peale detailide põhjalikku veega pesemist hakkasid nad liikuma. Selgus, et kuigi rulo töötab, ei liigu juhikud siinis sujuvalt ja haakuvad rulo käega lükkamisel kinni. Põhjus tulenes T-juhiku soones olevast liiga kitsast tallast, mis lasi juhikul kalduda lükkamise suunda ning takistas pidurdas liikumist. Samuti ei sobinud peale reaalsuuruses infrapunaanduripesaga siini nägemist, infrapunaanduri asetus siini lõpus. Positiivse poole pealt kinnitusid juhikud rulo külge täiuslikult ning ei vajanud selle külje pealt edaspidist muutmist. Ka kasseti küljed töötasid nagu vaja ja sobisid visuaalselt. Lisaks sellele sai Raven disain kinnituse, et kasutatud lahenduse üldmulje on see, mida ettevõtte otsib.

Teisel katsel otsustati esimesel katsel tehtud vigadest õppida ja muudetud detaile tellida testimiseks väiksem kogus ning sobimisel, tellida puuduolevad.

Esiolgu telliti mõlemat juhikut 15 tükki ning üks kasseti külge, kuna juhikute muutmise muutus ka kassetti küljes olev siini tagasipööre ja esimene nurk. Seekord probleeme ei olnud ja rulo liikus sujuvalt.

Järgmisena toimus programmi arendamine ja testimine koos elektroonikakomponentide ja mootoriga. Selle testi ajaks olid jõudnud ka kõik muud komponendid peale hammasrihma ratta, mistõttu ei saanud veel ajamit 3D prinditud detailidega testida. Protsess nägi välja iga komponendi eraldi lisamist ja programmiga integreerimist. Peale komponentide Arduinoga ühendamist oli kaks probleemi:

- Infrapunaandur, ei töötnud kasutades UART protokollit.
- Mootor töötas ainult ühtepidi.

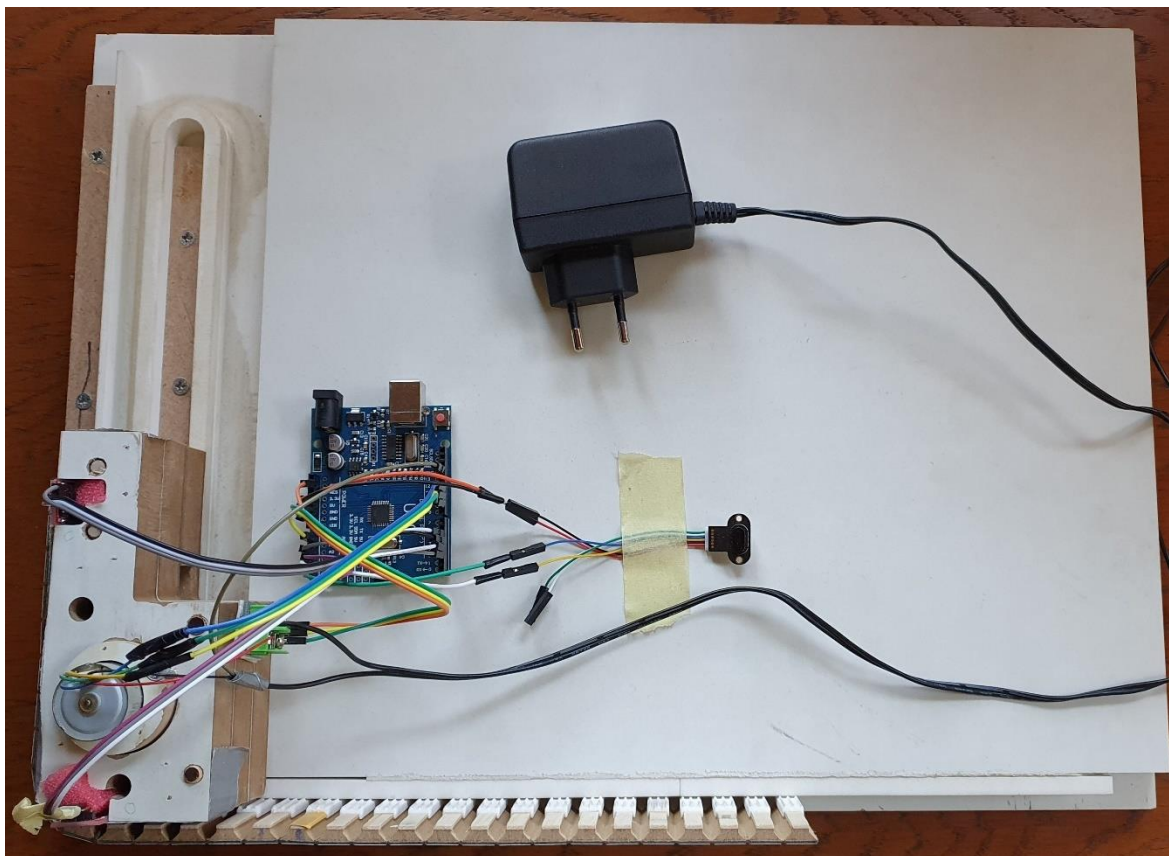
Internetist uurides, oli sama anduriga ka teistel sama probleem ning UART protokollit asemel soovitati kasutada I²C ühendust, mis lahendas probleemi. Anduri ja mikrokontrolleri ühenduste kontrollimisel selgus, et olin jätnud toiteallika miinuse ühendamata Uno GND klemmiga kui kasutasin testimisel Arduino toitmiseks arvuti USB ühendust. Ühenduse loomisel ka see probleem lahenes. Edaspidi ei esinenud anduritega ühtegi tõrget ja kõik töötasid nagu programmis ettenähtud.

Kui jõudis ka hammasrihma ratas, valmistati Raven disaini poolt mootorile ja rihma ülekandele rakis ning sai kõik siiani eraldi testitu koos tervikuna läbi katsetada. Prototüübil oli vaja reguleerida Halli anduri mõõtmiskaugust ja muuta koodis aktiveerimise läviväärtust. Kuna prototüüp oli ainult üks külj, oli ruloo teisest küljest lahti ning see võimaldas rulool loksuda ning vajuda hammasrihmast kaugemale. Ka valmistatud rakis ei pingutanud hammasrihma piisavalt. Sellest tulenevalt, kui ruloo oli hammasrihmaga kontaktis ainult ühest punktist, hakkas hammasrihm juhikul olevatest hammasrihma pesadest välja käima. Olles kontaktis kahe punktiga, töötas süsteem ilma probleemideta. Kuna juhikuid prinditi esialgu kokku 32 tükki on prototüübil ruloo liikumisala planeeritud 500 mm asemel 230 mm ja tegelik ruloo pikkus 372 mm. Lühem liikumismaa tuleneb vajadusest katta mõlemad juhikute hammasrihma puutepunktid. Need probleemid lahendaks prototüübi planeeritud mahus lõpetamine. Üks aspekt, mis ei olnud tingitud prototüübi teise poole puudumisest ja millega ei jäädud rahule oli mootori reduktorist tingitud süsteemi soovituselt valjem heli. Selle parandamiseks peab mootori välja vahetama. Üks potentsiaalsetest võimalustest on planetaarreduktoriga harjadeta alalisvoolumootor. Lisaks ka kasutada müra summutavaid materjale mootori kinnitamisel.

Siiski otsustati lugeda esimene prototüüp õnnestunuks juba selles staadiumis ning seda täielikult mitte lõpetada. Prototüübi lõpetamise asemel otsustas ettevõtte edasi liikuda lahenduse edasiarendamisega planeeritava maksimaalmõõduga kapil, mille kõrgus on koos kassetiga 900 mm. Seda käesolevas lõputöös ei käsitleta kuna jääb algselt määratud raamistikust välja.

8. TULEMUSED

Käesoleva töö tulemusena valmis kapist ja ruloosüsteemist 3D mudel, mootori ja andurite kontrollimiseks ja juhtimiseks vajalik juhtprogramm ning planeeritud täismõõdus prototüübi asemel süsteemi juhtiva külje füüsiline prototüüp.



Joonis 8.1 Lõppkujul prototüüp

Prototüüp ei valminud esialgselt planeeritud mastaabis kuna prototüübi funktsionaalsuse testimisel ainult juhtiva külje detailidega, leiti, et vajadused on täidetud ning otsustati raamistikus märgitud mõõtmetes prototüübi täieliku koostamise asemel lahendust edasi arendada planeeritava maksimaalmõõduga kapil.

Prototüübi katsetamise tulemusena koostati edasine arendusplaan. Lahenduse edasiarendamisel vahetatakse välja mootor vaiksema vastu ning vibratsiooni ja kaja vähendamiseks kasutada mootori kinnitamise lahenduses müra kapi korpusesse edasikandumist takistavaid materjale. MDFist juhtimise ülekandmiseks valmistatud rakis integreeritakse vastavalt uuele mootorile kasseti külje külge ja 3D printitakse. Lisaks sellele vahetada välja prototüüpimiseks valitud Halli andur väiksema, tootmiseks sobilikuma vastu.

8.1 Ettevõttepoolsete tingimuste täitmine

Prototüüp täitis kõik peale ühe ettevõtte poolt lahendusele seatud tingimustest.

Ettevõtte tingimused:

- Kaotada rulood ümbritsev raam ja tekitada kõrvuti asetsevate kappide esikülgedest tasapind, milles puuduvad väljaulatuvad detailid.
- Ruloo oleks kapi äärest ~2 mm kitsam

Tingimused täidetud. Kokku jääb ruloo ühelt poolelt kapi karkassist $2,5 \pm 0,5$ mm kitsamaks. Sellest 1 mm on juhiku külg, mis on visuaalselt osa ruloost, ja $\pm 0,5$ mm liikumisruum kassetti külje ja juhiku vahel. Kasutades juhikuid ja juhtsiini ei ole ruloo eestpoolt kaetud.

- Uste puutevaba avanemine ja sulgemine.

Tingimus täidetud. Uste puutevaba avamine ja sulgemine infrapunaanduri abil.

- Süsteem peab liikuma piisavalt vaikselt.

Tingimus ei saanud täidetud. Mootori reduktor oli liiga vali. Edasises arenduses vahetatakse mootor välja planetaarreduktoriga elektrimootori vastu ja kasutatakse mürasummutust.

- Modulaarsus – Mehhanismi peab olema võimalik paigaldada olemasolevale kapikarkassile.
- Skaleeritavus – võimalus rakendada erinevate mõõtmetega kappidele.

Tingimused täidetud. Kassett, alusliist ja juhtsiinid on kapi karkassile kinnitatavad ning neid on võimalik valmistada erinevates mõõtudes.

- Varjata ruloo liistude külg, ruloo paremaks väljanägemiseks.

Tingimus täidetud. Juhikute külg katab ära ruloo külje.

- Ruloouks peab avanema ja sulgema automaatselt ning sobiva kiirusega (2 – 3 s).
- Rulooukse avamise kiirus peab olema muudetav.

Tingimused täidetud. Ruloo avaneb arvutuste järgi ~2,6 sekundiga ning on juhtprogrammist muudetava kiirusega.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli uudse disainiga ja ajamitega varustatud puutevabalt avatava rulookse lahenduse väljatöötamine. Disaini uudsus seisnes idees kaotada rulood ümbritsev raam ja tekitada kõrvuti asetsevate kappide esikülgedest tasapind, ilma väljaulatuvate detailideta.

Lähtudes ettevõttepoolsetelt juhendajalt saadud lähteülesandest, koostati lõputöö raamistik. Otsustati valmistada disainilahendust ja funktsionaalsust näitav prototüüp ainult kõõgi seinakappidele standardmõõdus 300x300x500 mm (laius, sügavus, kõrgus) kasutades Raven disaini poolt valmistatavat rulood.

Lõputöö esimene samm oli tutvuda olemasolevate lahenduste ja rulookapi ehitusviisidega, et kontrollida kas soovivat lahendust on võimalik leida. Lahenduste otsimine seisnes ettevõtete tootekataloogides, e-poodides ja jaemüügiteenustes nagu AliExpress.com, Alibaba.com ja Amazon.com pakutavate toodete läbivaatamisel. Otsingutulemusena sellist toodet ei leitud ning kõige lähedasem variant disaini poolest oli Rehau frame4. Automatiseeritud ruloosid küll leidsid, kuid ei suutnud leida ühtegi puutevabalt avatavat.

Teine samm oli prototüübi kavandamine. Kavandamisel tuli lähtuda ettevõtte põhieesmärgi täitmisest. Rulookse raami mulje kaotamiseks on vaja, et ruloo kataks ka kapi esiservad. See tähendab, et ruloo ei mahu kappi sisse ning ruloo kokkukerimisemehhanism peab asuma kapi karkassi peal. Sellest olenevalt disainiti juhtsiin, rulood juhtsiiniga ühendavad juhikud ning sulgemismehhanismina kasutatava kasseti külge. Selle lahendusega jääb rulooga katmata ühelt küljelt $2,5 \pm 0,5$ mm, millest 1 mm on juhiku külge ja $\pm 0,5$ mm loksumisruum. Juhiku külge katab ruloo külge ja näiliselt pikendab rulood.

Ukse puutevabaks avamiseks võeti kasutusele infrapunaandur, mille jaoks disainiti kapi alumisse serva liist. Juhtsiin, juhikud, kassetti külge ja alumine liist modelleeriti kasutades SketchUp tarkvara ning 3D prinditi tellimustööna. Kõigi prototüübis kasutatavate detailide 3D joonised on valmistatud töö autori poolt.

Ruloo automatiseerimiseks kasutati harjadeta alalisvoolumootorit. Turvalisuse tagamiseks vooluandurit ning ruloo avatud ja suletud oleku määramiseks Halli andureid ruloole kinnitatud magnetitega. Mootor juhib rulood hammasrihmsüsteemiga

ning kogu elektroonikat juhib Arduino Uno mikrokontroller plaat. Ehitamisel valmistati hammasrihmsüsteemi, mootori ja Halli andurite paigutamiseks rakis.

Prototüübi katsetamine viidi läbi algul sõlmekaupa ja lõpus tervikuna kogu prototüüpi. Kokku tehti 4 katseseeriat, millest igaühe järel analüüsiti saadud tulemusi, fikseeriti puudujäägid ja korrigeeriti sõlmi. Prototüübi tervikkatsetuste põhjal hinnati lahenduste sobivust ja tehti tähelepanekuid edasise tootearenduse tarbeks.

Lõputöö põhitulemusena valmis süsteemi juhtiva külje füüsiline prototüüp. Lisaks tehti ruloosüsteemist 3D mudel ning elektroonika kontrollimiseks ja juhtimiseks vajalik juhtprogramm (Lisa 1). Prototüüp ei valminud esialgu planeeritud mastaabis. Seda põhjusel, et täitis oma rolli juba varasemas staadiumis ning otsustati edasi liikuda tootearendusega suuremamõõtmelisel kapil. Seda käesolevas lõputöös ei käsitleta kuna jääb algselt määratud raamistikust välja.

Kuigi prototüüp ei valminud raamistikus püstitatud mõõtmetes, loeti see õnnestunuks. Lähteülesandes seatud eesmärkidest jäadi rahule kõigiga, peale ruloo liikumise valjuse. Ettevõtte peaeesmärk, kaotada rulood ümbritsev raam õnnestus ettevõtte hinnangul täielikult. Võrreldes harilike ruloostega, mille kapi raam on 16 mm, või isegi olemasolevatest lahendustest kõige ligilähedasema Rehau frame4-iga, mille külgraam on 4 mm, on loodud lahenduses raam kaotatud ja visuaalne vahe kapi servast 1 – 1,5 mm. Ruloo liigub automatiseeritult ning on puutevaba avamisega.

Valminud prototüübi analüüsist on lahenduse edasiarenduseks järgnevad soovitused:

- Integreerida rakis kasseti külje külge.
- Vahetada mootor planetaarreduktoriga mootori vastu, lisada mürasummutus.
- Vahetada Halli andurid ühe bipolaarse anduri vastu.
- Vahetada hammasrihm ja hammasrihma ratas STD S3M tüübi vastu.
- Uus toiteallikas vastavalt leitud mootoriga süsteeminõuetele.
- Vahetada infrapunaandur 940nm valgusepikkust kasutava vastu.

Antud lõputöös ei käsitletud olukorda, kus tuleb kapp avada elektrikatkestuse korral, kuid see peaks kuuluma edaspidisesse arenduskavasse.

Kuna ettevõtte jäi lahendusega rahule ja prototüüp täitis oma eesmärgi, võin lugeda lõputöö õnnestunuks.

Summary

The purpose of this work was to develop a touch-free tambour door/roller shutter solution equipped with an innovative design and actuators for automated opening. The novelty of the design was the idea of removing the frame around the tambour door and creating a plane from the fronts of adjacent cabinets, without protruding details.

Based on the Raven disain's terms for the solution, a framework for the thesis was prepared. It was decided to make a prototype showing the design and functionality only for the upper cabinets of the kitchen in the standard size 300x300x500 mm (width, depth, height) using tambour door profile made by Raven disain.

The first step of the thesis was to explore the existing solutions. The search for solutions consisted of checking the products offered by companies product catalogs, e-shops and retail services such as AliExpress.com, Alibaba.com and Amazon.com. The closest solution found in terms of design was the Rehau frame4. Automated options were found, but not with touch-free opening.

The second step was to design a prototype. The planning had to be based on fulfilling the main goal of the company. To remove tambour door's frame, it was necessary for the roller shutter to cover the front edges of the cabinet. This means that the blind does not fit into the cabinet and running mechanism must be placed on the cabinet frame. Depending on this, the guide rail, guides connecting the blinds to the guide rail and the side of the cassette system were designed.

An infrared sensor was used to open the door without contact, for which a strip was designed for the lower edge of the cabinet. The guide rail, guides, cassette side and bottom strip were modelled in SketchUp and 3D printed. 3D drawings of all the details used in the prototype have been made by the author of the thesis.

For automation a brushless DC motor was used. To provide safety current sensor was added. Hall effect sensors with magnets attached to the blind were used to determine the open and closed state of the door. The motor controls the blinds using timing belt system and electronics are controlled by the Arduino Uno microcontroller. A housing for the timing belt system, motor and Hall sensor was created when putting the prototype together.

Prototype development was performed initially on a node-by-node basis with last step consisting of the main side of the prototype. A total of 4 series of development cycles were performed, each of which were analyzed and the results obtained used to identify deficiencies. Based on the prototype, the suitability of the made solutions was assessed and approved for further product development.

The main result of the thesis was a physical prototype of the main side of the system. 3D prints of designed components and the program code in Lisa 1. The prototype was not completed on pre-agreed scale. This is due to the company wanting to move on with testing on a larger sized cupboard instead of fully completing the prototype. Reason being that the prototype had already given needed results and ideas for further development. Although that is not addressed in this dissertation as it falls outside the originally defined framework.

Even though the prototype was not completed to the dimensions set out in the framework, it was considered a success. From the company's terms on the solution all except for the loudness of the tambour door movement were fulfilled. The company's main goal of eliminating the surrounding frame from the tambour door was considered completed. Compared to ordinary tambour doors with a cabinet frame of 16 mm or even the closest Rehau frame⁴ with a 4 mm side frame this solution has no frame while being 1,5 mm narrower from the outside edge. The blind moves automatically and has a touch-free opening.

From the analysis of the completed prototype, the following recommendations are made for further development of the solution:

- Integrate the housing into the side of the cassette.
- Replace the motor with a planetary gearbox motor, add sound attenuation.
- Replace Hall effect sensors with one bipolar sensor.
- Replace the timing belt and timing belt pulley with type STD S3M.
- New power supply according to the requirements of the new motor.
- Replace the infrared sensor with wavelength of 940nm.

This thesis did not deal with opening the cabinet in the event of a power failure, but should be included in the future development plan.

As the company was satisfied with the solution and the prototype fulfilled its purpose I can consider the thesis a success.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. „Tambour door mechanisms and track systems | REHAU.”
<https://www.rehau.com/uk-en/interiors-tambour-doors-tambour-door-mechanisms-track-systems>
2. „Joonis 0.1 Rehau frame4,”
<https://www.rehau.com/images/507366/7x5/400/286/d1a7387d12402bca2063d53fac43b841/RI/-fuehrungssystem-frame4.jpg> (30.05.2021)
3. „WIUSA.com Tambour Woodwork - Tambour wall coverings.”
<https://wiusa.com/specialty-interior-finish-products/tambour-woodwork> (30.05.2021)
4. „Joonis 0.2 Puidust ruloo" <https://assets.leevalley.com/Size4/10065/40016-wooden-tambours-u-01.jpg> (30.05.2021)
5. „Tambour door profiles and accessories | REHAU.” <https://www.rehau.com/uk-en/interiors-tambour-doors-profiles-accessories> (30.05.2021)
6. „RAUVOLET tambour door range | REHAU.” <https://www.rehau.com/uk-en/interiors-tambour-doors-tambour-door-range> (30.05.2021)
7. „Joonis 0.3 Rehau E9”
<https://www.rehau.com/images/507310/11x5/400/182/ec8998e5b8b40388a0fe20f11364165b/Pw/rollladenprofile.jpg> (30.05.2021)
8. „Joonis 0.4 Rehau E9 profiil, ühik mm”
<https://www.rehau.com/images/507344/14x5/400/143/83c2bee061c63096996a4c0937e5dbc4/in/507344.png> (30.05.2021)
9. „Joonis 0.5 Rehau (TOP) pealepaigutatav juhtsiin”
<https://www.rehau.com/images/507370/7x5/400/286/e21f4f3ed6fc71c2bc7c5cbe7a66812d/xf/fuehrungssystem-top.jpg> (30.05.2021)
10. „Joonis 0.6 Rehau spiraal (vasakul) ja kassett süsteem (paremal)”
<https://www.rehau.com/images/507376/7x5/400/286/8f50e71d5978c41f14b8d4b1111cafe3/wb/kassettensystem-c-box-c3-gewickelt-und-schnecke.jpg> (30.05.2021)
11. „Joonis 0.7 Tambortech'i automaatalahenduse torumootor ja kontrollpult”
https://www.tambortech.com.au/fileadmin/user_upload/accesories/tambour_door_electric_motor/tambour_door_electric_motor.jpg (30.05.2021)
12. “Push Button Electric Tambortech Doors - Tambortech.”
<https://www.tambortech.com.au/product-information/accessories/electric-motor> (30.05.2021)

13. Automated Roll-up Doors for Surgical Storage Cabinets | Stainless Steel | OR."
<http://continentalmetal.com/2021/05/automated-roll-up-doors-on-or-surgical-storage-cabinets> (30.05.2021)
14. „Joonis 3.3 Raven disaini ruloo“
<https://www.facebook.com/ravendisain/photos/a.1521958288098163/1529407224019936> (30.05.2021)
15. „spoon - MASS.“ <https://www.mass.ee/spoon> (30.05.2021)
16. Spence, William P. (2005). The Home Carpenters & Woodworker's Repair Manual. lk. 114 New York City: Sterling. ISBN 1-4027-1055-0
17. Medium Density Fibreboard.“ <https://design-technology.org/mdf.htm> (30.05.2021)
18. A. Braun, T. Dutz, and F. Kamieth, "Capacitive sensor-based hand gesture recognition in ambient intelligence scenarios," 2013. doi: 10.1145/2504335.2504340.
19. T. Rayna and L. Striukova, "From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 102, pp. 214–224, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.techfore.2015.07.023.
20. „3D Design Software | 3D Modeling on the Web | SketchUp.“
<https://www.sketchup.com> (30.05.2021)
21. M. Sakin and Y. C. Kiroglu, „3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM,“ in *Energy Procedia*, Oct. 2017, vol. 134, pp. 702–711. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.562.
22. „Teenused.“ <https://taltech.ee/mehaanika-ja-toostustehnika-instituut/teenused#p21639> (30.05.2021)
23. „Joonis 0.4 FIT0441 elektrimootor“
<https://media.digikey.com/Photos/DFRobot/FIT0441.JPG> (30.05.2021)
24. „FIT0441_Brushless_DC_Motor_with_Encoder_12V_159RPM-DFRobot.“
https://wiki.dfrobot.com/FIT0441_Brushless_DC_Motor_with_Encoder_12V_159RPM (30.05.2021)
25. „ACS712: Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC.“
<https://www.allegromicro.com/en/products/sense/current-sensor-ics/zero-to-fifty-amp-integrated-conductor-sensor-ics/acs712> (30.05.2021)
26. „Joonis 0.5 vooluandur ACS712“
<https://media.digikey.com/Photos/DFRobot/FIT0441.JPG> (30.05.2021)
27. „Hall Sensor Linear Module Magnetic Sensor – OKY3433-1 – OKYSTAR.“
<https://www.okystar.com/product-item/hall-sensor-linear-module-magnetic-sensor-oky3433-1> (30.05.2021)

28. „Joonis 0.6 Halli andur OKY3433-1“
<https://www.okystar.com/wp-content/uploads/2017/08/oky3433-1-Magnetic-linear-Hall-sensor-7.jpg> (30.05.2021)
29. „Range Sensor TOF050H.“ <https://shopee.com.my/Range-Sensor-ule-TOF050H-50cm-Distance-Sensor-ule-BUS-UART-I2C-IIC-Output-for-Arduino-with-Cable-i.118950434.5364780434> (30.05.2021)
30. „VL6180 Proximity sensing module datasheet.“
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl6180.pdf> (30.05.2021)
31. E. J. Fernández, A. Unterhuber, B. Považay, B. Hermann, P. Artal, and W. Drexler, “Chromatic aberration correction of the human eye for retinal imaging in the near infrared,” *Optics Express*, vol. 14, no. 13, p. 6213, Jun. 2006, doi: 10.1364/oe.14.006213.
32. „Laser Classification Explanation.“
<https://ehs.lbl.gov/resource/documents/radiation-protection/laser-safety/laser-classification-explanation> (30.05.2021)
33. „Joonis 0.7 Arduino Uno arendusplaat“
https://store-cdn.arduino.cc/uni/catalog/product/cache/1/image/520x330/604a3538c15e081937dbfbd20aa60aad/a/0/a000066_00.default.jpg (30.05.2021)
34. „Software | Arduino.“ <https://www.arduino.cc/en/software> (30.05.2021)
35. „Arduino Uno Rev3 | Arduino Official Store.“ <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> (30.05.2021)
36. „Joonis 0.8 DVE DSA-12R-12 toiteadapter“
https://www.pchub.com/images/thumbs/0117546_DVE-DSA-12R-12-AC-Adapter-NEW-Original-DSA-12R-12-AEU-b-117546_550.jpeg
37. „Pfeifer Industries, LLC. Timing Belt Tooth Profile (Comparison)“
[https://www.pfeiferindustries.com/documents/Timing%20Belt%20Tooth%20Profile%20\(Comparison\).pdf](https://www.pfeiferindustries.com/documents/Timing%20Belt%20Tooth%20Profile%20(Comparison).pdf) (30.05.2021)
38. „HANDBOOK OF TIMING BELTS AND PULLEYS“ <https://www.sdp-si.com/D265/PDF/D265T003.pdf> (30.05.2021)
39. „Joonis 0.9 Hammasrihma ratas HTD3M, 24hammast“ <http://isetegija.ee/wp-content/uploads/2017/01/HTD3M-pulley-24-hammast-8mm-vollile-9mm-rihmale.jpg> (30.05.2021)
40. „Joonis 0.10 Hammasrihm HDT3M-210-9“ <http://isetegija.ee/toode/htd3m-hammasrihm-210mm-9mm-laiune/#> (30.05.2021)

41. „Neodüümmagnet Plokk 3x3x0,5mm, Nikkel.“
<https://magnet.ee/et/epood/ladu-tuhjaks/neod%C3%BC%C3%BCmmagnet-plokk-3x3x0-5mm-nikkel-detail> (30.05.2021)
42. Neodüümmagnetid | magnet.ee.“
<https://magnet.ee/et/magnetitest/neoduummagnetid> (30.05.2021)
43. „How Does Temperature Affect Neodymium Magnets | First4magnets.com.“
<https://www.first4magnets.com/tech-centre-i61/information-and-articles-i70/neodymium-magnet-information-i82/how-does-temperature-affect-neodymium-magnets-i91> (30.05.2021)
44. A. Simone, B. W. Olesen, J. L. Stoops, and A. W. Watkins, “Thermal comfort in commercial kitchens (RP-1469): Procedure and physical measurements (Part 1),” *HVAC and R Research*, vol. 19, no. 8, pp. 1001–1015, Nov. 2013, doi: 10.1080/10789669.2013.840494.

Lisa 1 Juhtprogramm

```
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <SparkFun_VL6180X.h>
#define VL6180X_ADDRESS 0x29

#define VCC3 3 // define pin 3 as VCC2
#define GND2 2 // define pin 2 as Ground 2
#define VCC5 5 // define pin 5 as VCC2
#define GND4 4 // define pin 4 as Ground 2
VL6180x sensor(VL6180X_ADDRESS);

//Hall sensors
int HallC = A2; //HallIO sensor CLOSED
int HallCVal = 0;

int HallO = A3; //HallIO sensor OPEN
int HallOVal = 0;

//TOF050H
bool sensorState = LOW; // current state of the sensor
bool sensorLastState; // previous state of the sensor

unsigned long sensorStart = 0; // the moment the sensor was pressed
unsigned long sensorEnd = 0; // the moment the sensor was released
unsigned long holdTime = 0; // how long the sensor was hold
unsigned long idleTime = 0; // how long the sensor was idle

unsigned int activeDist = 60; //activating distance (mm)
unsigned int sensorMinWait = 800; //minimum wait time between allowed sensor
activating (ms)

// Arduino LED
const int ledPin = LED_BUILTIN; // the number of the LED pin
bool ledState = LOW; // ledState used to set the LED
```

```

// ACS712
const int currentPin = A0;
const int sensitivity = 185;
int adcValue = 0;
int offsetVoltage = 2500;
double adcVoltage = 0;
double currentValue = 0;

//FIT0441 motor. Speed 0- Maxmum speed; 255- Stop
bool motorState = LOW; // LOW - motor stopped / HIGH - motor active
int motorDir = LOW; //motor moving direction LOW - close / HIGH - open
const int directPin = 10; //direction control
const int pwmPin = 11; //PWM control
const int signalPin = 9; // Encoder signal output
int i = 0;

void setup() {
  Serial.begin(115200); //Start Serial at 115200bps
  Wire.begin(); //Start I2C library
  delay(100); // delay .

  if (sensor.VL6180xInit() != 0) {
    Serial.println("FAILED TO INITALIZE"); //Initialize device and check for errors
  }

  sensor.VL6180xDefaultSettings(); //Load default settings to get started.

  pinMode(directPin, OUTPUT); //direction control PIN 10 with direction wire
  pinMode(pwmPin, OUTPUT); //PWM PIN 11 with PWM wire

  pinMode(ledPin, OUTPUT);

  pinMode(VCC3, OUTPUT); //define a digital pin as output
  digitalWrite(VCC3, HIGH); // set the above pin as HIGH so it acts as 5V
  pinMode(VCC5, OUTPUT); //define a digital pin as output
  digitalWrite(VCC5, HIGH); // set the above pin as HIGH so it acts as 5V

```

```

pinMode(GND2, OUTPUT); //define a digital pin as output
digitalWrite(GND2, LOW); // set the above pin as LOW so it acts as Ground
pinMode(GND4, OUTPUT); //define a digital pin as output
digitalWrite(GND4, LOW); // set the above pin as LOW so it acts as Ground
}

void loop() {
  ACS712();
  if (motorState == HIGH) {
    checkHall();
  }
  if (sensor.getDistance() < activeDist) {
    sensorState = HIGH;
    Serial.print("Distance measured (mm) = "); //Get Distance and report in mm
    Serial.println(sensor.getDistance());
  } else {
    sensorState = LOW;
  }
  if (sensorState != sensorLastState) {
    updateState(); // sensor state changed. It runs only once.
    printCurrent();
  } else {
    updateCounter(); // sensor state not changed. Runs in a loop.
  }
  sensorLastState = sensorState;
}

void updateState() { // hand has just appeared in range

  if (sensorState == HIGH) {
    sensorStart = millis();
    idleTime = sensorStart - sensorEnd;

    if (motorState == LOW) { //Start Motor
      ledState = HIGH;
      digitalWrite(ledPin, ledState);
    }
  }
}

```

```

motorState = HIGH;
motorDir = !motorDir;
digitalWrite(directPin, motorDir);
Serial.print("Starting Motor!");

if (motorDir = LOW) { //closing (half- speed)
  analogWrite(pwmPin, 120);
  Serial.print("MotorDir: ");
  Serial.println(motorDir);
} else { //opening (max speed)
  analogWrite(pwmPin, 0);
  Serial.print("MotorDir: ");
  Serial.println(motorDir);
}
} else {
  if (idleTime >= sensorMinWait) { //stop motor when moving
    stopMotor();
    Serial.println("STOP!");
  }
}

} else { // hand has been just removed
  sensorEnd = millis();
  holdTime = sensorEnd - sensorStart;

  if (holdTime >= 100 && holdTime < 500) {
    Serial.println("hand held for half a second");
  }

  if (holdTime >= 1000) {
    Serial.println("hand held for one second or more");
  }
}
}

void updateCounter() {
  // hand still in range
  if (sensorState == HIGH) {
    holdTime = millis() - sensorStart;

```

```

    // hand not in range
} else {
    idleTime = millis() - sensorEnd;
}
}

void checkHall() {

    HallOVal = analogRead(HallO); // read the input pin
    if (HallOVal <= 445 || HallOVal >= 530) { //if magnetic field is present, stop
motor/led
        printCurrent();
        stopMotor();
        Serial.println("HallO:");
        Serial.println(HallOVal);
    }
    HallCVal = analogRead(HallC); // read the input pin
    if ( HallCVal <= 445 || HallCVal >= 530) { //if magneticfield is present, stop
motor/led
        printCurrent();
        stopMotor();
        Serial.print("HallC:");
        Serial.println(HallCVal);
    }
}

void ACS712() {

    adcValue = analogRead(currentPin);
    adcVoltage = (adcValue / 1024.0) * 5000;
    currentValue = ((adcVoltage - offsetVoltage) / sensitivity);

    if (currentValue > 0.11) {
        Serial.print("Current: ");
        Serial.println(currentValue);
    }
}

```

```

if (currentValue > 0.3) { // Something blocking movement of the door, reverse dir
    motorDir = HIGH;
    digitalWrite(directPin, motorDir);
    Serial.print("Blockage! Opening slowly.");
    analogWrite(pwmPin, 200);
}
if (currentValue >= 0.7) {
    stopMotor();
    Serial.print("STOPPED! Current: ");
    Serial.println(currentValue);
}
}

void printCurrent() {
    adcValue = analogRead(currentPin);
    adcVoltage = (adcValue / 1024.0) * 5000;
    currentValue = ((adcVoltage - offsetVoltage) / sensitivity);
    Serial.print("Current: ");
    Serial.println(currentValue);
}

void stopMotor() {
    motorState = LOW;
    analogWrite(pwmPin, 255);
    //Turn off built-in led
    ledState = LOW;
    digitalWrite(ledPin, ledState);
}

void motorSpeed() { //display motor speed (used only for testing)
    for (int j = 0; j < 8; j++) {
        i += pulseIn(9, HIGH, 500000); //SIGNAL OUTPUT PIN 9 with white line,cycle =
2*i,1s = 1000000us, Signal cycle pulse number : 27*2
    }
    i = i >> 3;
    Serial.print(111111 / i); //speed r/min (60*1000000/(45*6*2*i))
    Serial.println(" r/min");
    i = 0;
}

```