



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**KUIVA JA MÄRJA TOIDU AUTOMAATSÖÖTUR
KASSIDELE**

AUTOMATIC WET AND DRY FOOD FEEDER FOR CATS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Sander Kajak

/nimi/

Üliõpilaskood 221757MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, kaasprofessor

/nimi, amet/

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.

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

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Sander Kajak (*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose, Kuiva ja märja toidu automaatsöötur kassidele (*lõputöö pealkiri*) mille juhendaja on Toivo Tähemaa
(*juhendaja nimi*)

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.

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Sander Kajak 221757MATM (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava, peeriala: MATM02/22, Tootearendus ja tootmistehnika (kood ja nimetus)

Juhendaja(d): Kaasprofessor, Toivo Tähemaa, 62033252 (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Kuiva ja märja toidu automaatsöötur kassidele

(inglise keeles) Automatic wet and dry food feeder for cats

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Ülevaade ja turu analüüs
2. Lahenduste hindamine
3. Projekteerimine
4. Tulemused
5. Maksumuse analüüs

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande püstitus. Ülevaade ja turu analüüs – olemasolevate lahenduste eeliste ja puuduste analüüs.	15.03.2024
2.	Lahenduste läbitöötamine, parima lahenduse valik, tugevusanalüüs, projekteerimine	15.04.2024
3.	Seadme koostamine ja reaalne katsetamine, maksumuse analüüs, vormistamine	20.05.2024

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "20" mai 2024 a

Üliõpilane: Sander Kajak ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: Toivo Tähemaa ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Eerme ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	8
1. SISSEJUHATUS.....	9
2. TOOTE TEHNILISED NÕUDED	11
2.1 Märja toidu pakendamise viisid	11
2.1.1 Fooliumpakend.....	11
2.1.2 Terasplekist konservid.....	11
2.1.3 Alumiiniumplekist konservid.....	12
2.1.4 Alumiiniumfooliumist karbid, pehme kaanega	12
2.2 Konkurendid	12
2.2.1 Casfuy F13-L poolautomaatsöötur	13
2.2.2 <i>BistroCat Feeder</i> automaatsöötur kassidele.....	13
2.2.3 <i>PawBot Pro</i> automaatsöötur	14
2.2.4 Patent.....	15
2.3 Konkurentide kokkuvõte.....	17
2.4 Projekteeritava toote eesmärgid.....	18
3. KONTSEPTSIOONID	19
3.1 Kontseptsioonide osad	19
3.1.1 Raam	19
3.1.2 Platvormi üles-alla liikumine	20
3.1.3 Pakendi lükkaja	22
3.1.4 Pakendi hoidja	23
3.1.5 Pakendi avaja	23
3.1.6 Toidunõu liikumine	25
3.1.7 Jäätmete konteiner	26
3.1.8 Kuivtoidu dosaator.....	27
3.2 Kontseptsiooni valik.....	27

4.	TEHNOLOOGIA JA MATERJALI VALIK	28
4.1	Tehnoloogia valik	28
4.2	Materjali valik	28
5.	TUGEVUSARVUTUSED	29
5.1	Raami tugevusarvutused <i>SolidWorks Simulations</i> keskkonnas.....	29
5.2	Platvormi läbipaine	32
5.3	Mootori kinnituse koormamine	33
6.	ELEKTROONIKA	36
6.1	Mootorid	36
6.1.1	Platvormi tõstja mootori valik.....	36
6.1.2	Pakendi lükkaja mootor	37
6.1.3	Pakendi avaja täituri valik.....	37
6.1.4	Toidunõu lineaarliikumise mootor	38
6.2	Mootorite juhtimine	38
6.2.1	TMC2209 draiver	38
6.2.2	Mootori draiver L298N.....	39
6.2.3	5 V Relee moodul	39
6.3	Kontroller	39
6.4	Toiteplokk	39
6.4.1	DC/DC muundur.....	40
6.5	Elektronika komponentide plaat.....	40
7.	KASUTAJALIIDES JA PROGRAMM	41
7.1	Kasutajaliides	41
7.2	Programm	41
8.	PROJEKTEERITUD ALAMKOOSTUDE KIRJELDUS	42
8.1	Raam.....	42
8.2	Platvormi korpuse alamkoost	43
8.3	Pakendi lükkaja alamkoost	43

8.4	Pakendi hoidja	44
8.5	Pakendi avaja alamkoost.....	44
8.6	Toidunõu liikumine	45
8.7	Krõbinate dosaator	45
9.	RISKIANALÜÜS.....	46
9.1	Kassi ohutus.....	46
9.2	Kasutaja ohutus.....	46
10.	LÕPPTULEMUS JA PARENDAMINE.....	47
10.1	Parendamine	47
11.	HINNAKALKULATSIOON.....	49
	KOKKUVÕTE	50
	KASUTATUD KIRJANDUS	52
	LISAD	57
	Lisa 1 Automaatrežiimi voogdiagramm	58
	LISA 2 Ühenduskeem koos tabeliga	59
	LISA 3 Demo programmi kood.....	60
	GRAAFILINE OSA.....	68

EESSÕNA

Lõputöö käigus projekteeriti toimiv automaatsööteri prototüüp. Teema idee tekkis asjaolust, et autor plaanib pikemale reisile minna, ning soovib, et kassidel oleks natukenegi vaheldusrikkamat toitu kui ainult krõbinad.

Autor soovib tänada juhendajat Toivo Tähemaad, kolleege töölt ja teisi, kes aitasid lõputöö valmimisele kaasa.

Märksõnad: tootearendus, automaatsöötur, kassid, magistritöö

1. SISSEJUHATUS

Automaatsete ehk targemate toodete valik suureneb iga aastaga, et aidata inimestel kiire elutempoga paremini toime tulla. Lemmikloomade jaoks on turul saadaval mitmesuguseid automatiseeritud tooteid, sealhulgas automaatsed sööturid ja liivakastid. Populaarsemad neist on kuivtoidu sööturid, mis annavad kindla aja tagant krõbinaid. Nende lihtsam automaatika muudab need ka oluliselt soodsamaks. Samas automaatsed liivakastid on hiljuti turule tulnud, kuid nende hinnad pole oluliselt langenud. Inimesed on valmis lemmikloomade heaolu nimel märkimisväärselt kulutama, mis muudab selle turu väga edukaks.

Turule on lisandunud ka mõned automaatsed või poolautomaatsed märja toidu sööturid. Automaatsete sööturite juures on oluline üks kindel pakenditüüp – praegu sobivad ainult alumiinium – või plekkpurkides müüdavad konservid. Poolautomaatsed sööturid ei sõltu aga märja toidu pakenditüübist, kuna inimese ülesanne on anumad ise täita ning seade serveerib kindlatel hetkedel kassidele toidu. Turul pole seni ühtegi automaatsööturit, mis toimiks fooliumpakenditega. Toidu- ja loomapoodides müüdavad märgtoidud jagunevad näiliselt pooleks: ühed on konservides ja teised fooliumpakendites. Ainult väike osa moodustavad pehme kaanega alumiiniumpakendites märja toidu. Käesolevas magistritöö raames valmibki seade põhiprotsess ehk mehaaniline osa, mis kasutab fooliumpakendeid – midagi, mida turul seni ei leidu.

Autoril on endal kassid, kes eelistavad just märga toitu. Vaadates, mis tooted praegu saadaval on või milliseid projektid hoandja lehekülgedel, sai ilmseks, et nende hind on kas väga kõrge või lahendus ei sobi. Sellest tulenevalt tundus automaatse kassisöötja ise ehitamine hea mõttena. Esialgne mõte oli luua automaatsöötur, mis kasutab konserve, kuid internetist tellitud automaatne konserviavaja ei suutnud avada konservi. Siis tuli idee hoopis kasutada fooliumpakendeid. Esiteks on need võrreldes konservidega keskmiselt odavamad ja poodides nende valik suurem. Uurides, kas sarnased seadmed juba eksisteerivad, ei tulnud internetist ühtegi vastet. See andis indu luua seade, mis töötab fooliumpakendiste põhimõttel.

Toode disainitakse ja modelleeritakse *SolidWorks* tarkvaras. *SolidWorks*-is on võimalik vajalikud detailid ruumiliselt kujundada ja arvestada ka seda, kuidas need teineteisega suhtlevad. Antud mudeli disainimisel arvestatakse, et tükke oleks võimalik 3D-printida. 3D-printimine on kiire ja odav viis kohe oma detaile päriselus katsetada. Kõik ülejäänud komponendid seadmes on ostutooted, mida saab internetist tellida või kohalikest ehitus- ja elektroonikapoodidest osta.

Kogu toote disaini raskendab olukord, et puuduvad sarnased seadmed, mida oleks võimalik näiteks järgida. Üks lähimaid on Jaapanis asuv riisi ja karri müügiautomaat [1]. Karrit hoiustatakse fooliumpakendis ja see avatakse pöörleva noaga, lõigatakse lahti. Seejärel kallutab masin karri riisikaussi. On võimalik, et eksisteerib veel sarnaseid seadmeid, kuid antud lõputöö jooksul neid ette ei tulnud. See tõi kaasa palju katsetamisi ja läbikukkumisi, kuidas mingi etapp võiks toimida. Disainimise alguses loodi üldised kriteeriumid seadmele, kuidas see võiks töötada, mis on seadme mõõtmed ja kui palju pakendeid saab ühe korraga hoiustada.

2. TOOTE TEHNILISED NÕUDED

2.1 Märja toidu pakendamise viisid

Peatükis on põgusalt välja toodud hetkel turul olevatest märja toidu pakendamise viisidest.

2.1.1 Fooliumpakend

Iseseisvalt püstises asendis seisvad fooliumist pakendid (joonis 2-1), mis on laialt levinud pakendamis vahend. [2]. Pakendid on valmistatud mitmekihilisest materjalist, kus plastikust kile ja alumiiniumfoolium on kokku lamineeritud. Materjalide valik ja koti kuju määravad ära, kui vastupidav on pakend väliskeskkonnale ja mis on pakendis oleva toidu säilivusaeg [3].



Joonis 2-1 Fooliumpakendi näidis [4].

2.1.2 Terasplekist konservid

Terasplekist konservid (joonis 2-2) on valmistatud kolmest detailist, kus toormaterjal, milleks on plekk, tuleb tootmisesse rullina sisse, kus leht lõigatakse teatud pikkuseks. Järgmises etapis kaetakse konservi sisepind spetsiaalse lakiga üle, et kaitsta konservi korrosioonist, hoides konservi sisu puhtast terasest eemal. Seejärel ära kuivanud plekklehed rullitakse silindriliseks ja servad keevitatakse kokku. Järgmisena liigub silinder läbi äärikumasina, et valmistada silinder ette põhja ja kaane panekuks [5].



Joonis 2-2 Terasplekist konservi näidis [5]

2.1.3 Alumiiniumplekist konservid

Alumiiniumplekist konservid (joonis 2-3) on valmistatud kahest osast. Silindriline osa on valmistatud alumiiniumist või terasest. Toormaterjal saabub samuti rullina ja see tõmmatakse läbi stantsmasina, kus stantsitakse välja ümmargused kettad. Järgmises etapis lastakse kettad läbi mitme stantsi, mis muudavad ketta kuju õhukeseseinaliseks anumaks. Seejärel konservi nii sisemine kui ka välimine pind kaetakse üle spetsiaalse lakiga ja tehakse ülemisele servale äärik [6].



Joonis 2-3 Alumiiniumplekist konservi näidis [8]

2.1.4 Alumiiniumfooliumist karbid, pehme kaanega

Alumiiniumfoolium karbid (joonis 2-4) valmistatakse õhukesest alumiiniumlehest. Toormaterjal saabub rullis ja see tõmmatakse läbi stantsimismasina, kus lõigatakse tükid välja ja stantsi käigus antakse tükile ka lõplik kuju [7].



Joonis 2-4 Alumiiniumfooliumist karbi näidis [10]

2.2 Konkurendid

Märjatoidu sööturite valik ei ole võrreldav turul olevate kuivatoidu omadega. Nimelt on kuivatoidu sööturite valik kordades suurem ja ka tööpõhimõte mehaaniliselt lihtsam. Samad süsteemid on ka loomatööstustes ja midagi uut selles tehnoloogias ei ole.

Tootjate erinevus ongi suuresti toote disainist ehk välimusest ja lisafunktsioonidest. Märjatoidusööturite valik selle kõrval on vägagi kesine. Järgnevalt ongi välja toonud kolm eriilmelist märjatoidu konkurenti ja kirjeldatud nende tööpõhimõtteid. Lisaks on välja toodud ka nende tugevad ja nõrgad küljed.

2.2.1 Casfuy F13-L poolautomaatsöötur

Amazoni veebipoes on kõige populaarsemad automaatsöötjad *Casfuy F13-L* (joonis 2-5) tüüpi sööturid [8]. Seadme tööpõhimõte on kergesti mõistetav. Kasutaja peab täitma toiduanumad ja asetama need seadmesse, mis siis kindlate intervallide tagant need loomale hakkab paljastama. Ei ole piiratud, mida kasutaja saab nendesse kaussidesse panna- ehk ka krõbinaid ja snäkke saab sellega loomale anda. Omanik saab ka ise täpse koguse määrata, mis teiste seadmetega võimalik ei ole. Sellised seadmed eeldavad suuremat panust kasutajalt ja võrreldes teiste sööturitega on tegu poolautomaatse seadmega, mitte automaatse, nagu internetipoes kirjas. Teiseks, toote nõrgaks küljeks on asjaolu, et toitu ei hoiustada hermeetiliselt. Seadme tootja on sellepeale mõeldes lisanud külmakehad, mida olenevalt siis ruumitemperatuurist pidevalt vahetada tuleb. Võrreldes teiste konkurentidega eeldab selline seade rohkem tuge kasutajalt, kuid on sellepoolest madalama hinnaga.



Joonis 2-5 Casfuy automaatsöötur

2.2.2 *BistroCat Feeder* automaatsöötur kassidele

2023. aasta sügisel tuli turule uue tööpõhimõttega automaatne kassitoidu söötur *BistroCat* (joonis 2-6). Tööpõhimõte on sarnane eelmisele, kuid toidu jõudmine kaussi on automatiseeritud. Kasutaja peab alumiiniumfooliumist kaanega karbid laduma seadmesse ja seade ise kukutab ühe ringlevale alusele, eemaldab kaane ja presenteerib kassile. Tootes on võimalik hoiustada kuni 16 karpi ja peale kasutamist saab need lihtsalt ära visata. Ringleval alusel on 8 kohta ja igasse kukutatakse 2 karpi. Nii söötur

kui ka toidukarbid on sama tootja poolt tehtud ja nad on ka ainukesed edasimüüjad. Võrreldes nende hinda Eestis müüdava kassitoiduga, on karbid kordades kallimad. Samas, masina enda hind kõrge ei ole. Sellist ärimudelid kasutavad ka žileti-, kohvimasina- ja printerimüüjad, kus seade müüakse omahinnaga või kahjumis, kuid kulumaterjalid, nagu terad, kohvikapslid või tint, müüjakese kõrge kasumiga [9]. Sellises seadmes on looma toit alati värske, kuid seni, kui karpe müüb ainult seadmetootja, on toode väga kulukas.



Joonis 2-6 *BistroCat* automaatsöötur

2.2.3 PawBot Pro automaatsöötur

PawBot on arendanud tähelepanuväärse automaatsööturi (joonis 2-7), mis kasutab kuuateljelist robotkätt [10]. Robot haarab konservi, asetab selle konserviavaja alla, liigutab selle toidukausi kohale ja kallutab toidu välja. Roboti haarats on suuteline kahes erinevas mõõdus konserve hoidma, mis võimaldab kasutada rohkemaid loomasöögi brände. Kõige esimene liigutus robotil on tegelikult vana kausi ära viskamine ja uuega asendamine. Robot kasutab selleks internetis ostetavaid ühekordseid nõusid. Tekib palju prügi, kuid looma toidukauss on alati puhas. Lisaks asetseb masina keskel veenõud, milles robot oma haaratsit peseb. Selle reaalne vajadus on küsitav. *PawBot*-i tutvustusvideos paistab näiliselt, et seadme tootja kasutab ostetavaid komponente. Näiteks videol nähtavat avajat on võimalik 40 euro eest veebis soetada [11].

Konserviavaja käivitamiseks on *PawBot* varustatud push-pull solenoidi või lineaarmootoriga. Arvestades nähtud komponentide hindu, on toote omahind madal, kuid tulenevalt arenduskuludest või muudest tingimustest, võib 3220 suurune hinnasilt olla õigustatud. *PawBot* võttis ka osa hooandja sarnasest rahakogumisest, kus soovitud 8000 dollarit kokku ei suudetud koguda. Nende lõplik tulemus oli 2200 dollarit [12]. Võib spekuloida, miks neil ei õnnestunud. Näiteks on seadme mõõtmed 605x290x270 mm väga suured ja potentsiaalsed kliendid pole nõus nii palju ruumi kulutama. Teiseks

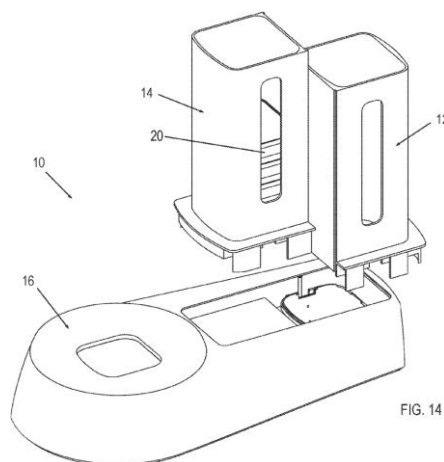
oluliseks faktoriks on kindlasti ka hind, mis paljusid loomaomanike hirmutas. *PawBot* ise kasutas hooandjat, et mõistmaks turu nõudmist. Klientide vähesest huvist tulenevalt, pole ka ime, et 2020. aastal, kui COVID-19 pandeemia oli, pandi edasine arendus pausile [13].



Joonis 2-7 Kuvatõmmis tutvustusvideost, *Pawbot Pro* sisemus

2.2.4 Patent

Google Patendis oli ainult üks vaste märja toidu söoturile (joonis 2-8) [14]. Oma tööpõhimõttelt sarnaneb see eelnevalt toodud *BistroCat*-ile. Seade koosneb kahest tornist ja lineaarliikuriga korpusest. Ühest eelnevalt täidetud tornist kukutatakse toit liugurile. Pakendi liikumisel eemaldatakse sellelt kaas ja loomale avaneb ligipääs toidule. Peale söömist liigutatakse karp tagasi teise torni alla, seal lükatakse tühi karp ülesse. Kasutajal jääb siis ainult esimest torni täita ja teist tühjendada. Rohkemad andmed puuduvad, näiteks mis toidukarpe seade kasutab.



Joonis 2-8 Kuvatõmmis patendist

2.3 Konkurentide kokkuvõte

Sellist märja toidu automaatsööturit kassidele, mis mahutaks ära kuni 14 portsjoni toiduvaru ja kasutaks fooliumpakendeid, hetkel turul ei leidu. Tabelis 1 annab ülevaate ja teeb kokkuvõtliku ülevaate määratud olulisematest mõõdikutest. Tabelisse ei ole lisatud leitud patenti, sest andmed on puudulikud ja reaalne konkurent ta ei ole. Kui kasutada *Casfuy*'d märja toidu andmisel, eriti kui on pidevalt vaja vahetada ka külmakotte, tuleks läbi mõelda ega see rohkem tööd ei tekita. Anumate täitmine, nende pesemine ja külmakottide vahetamisega võib olla sama palju toimetamist, kui jätkata lihtsalt ise toidu andmist. *BistroCat* seade tundub esmapilgul vägagi atraktiivne, kuid masinasse sobivate fooliumkarpide hinnad on liiga kõrged. Juhtides ka tähelepanu, et karpides on 40 grammi, kuigi pea kõigis poodides müüdavates pakendites on ligikaudu 85 grammi. On võimalik, et toidukarpe läheb poole rohkem, kui muidu on harjutud andma. Kui *PawBot*'i seadet isegi oleks võimalik soetada, on selle hind ikkagi oluliselt kõrgem teistest turul olevatest seadmetest.

Tabel 1 Konkurentide võrdluse kokkuvõttev tabel

Mõõdik	Ühik	Olulisus (1-5)	<i>Casfuy</i> F13-L	<i>BistroCat</i> Feeder	PawBot Pro
Universaalsus brändi suhtes?	Jah/ei	4	Jah	Ei	Jah
Hind(ilma transpordita)	€	4	90	275	3220
Toidupakendi tüüp	Konserv, fooliumkarp, fooliumpakend	4	Sobivad kõik	Fooliumkarp	Konserv
Pakendi avamine	Manuaalne/automaatne	5	Manuaalne	Automaatne	Automaatne
Toidusäilivus tagatud	Jah/ei	5	Jah*	Jah	Jah
Portsjoni suurus	g	2	115	40	150
Portsjonite arv	tk	4	6	16	18
Seadme mõõtmed	LxWxH, mm	4	320x330x90	370x410x280	605x290x270
Kuivtoidu dosaator	Jah/ei	5	Ei	Ei	Ei

* Juhul kui ei kasuta jääpakke

2.4 Projekteeritava toote eesmärgid

Projekteeritava seadme aktsepteeritavad ja ideaalväärtused on toodud tabelis 2. Nende määramisel võeti arvesse nii konkurentide võimekust kui ka enda soove. Kasutada peaks saama võimalikult palju erinevaid brändi tooteid. Seadme laius ja pikkus hõivavad umbes sama ala, mis praegused toidunõud, ja kõrgus ei ole piiratud. Samas liiga massiivset seadet ka ei soovi kuid kõrgusest sõltub pakendite hoiustamise arv. Seega on masina kõrguse valik suhtes soovitud portsjonite arvuga. Kuiva toidu dosaator ei olnud esialgselt plaanis, kuid prototüüpimise käigus ilmnas, et seadmesse jääb palju tühja ruumi, mida oleks hea kasutada krõbinat hoiustamiseks.

Tabel 2 Toote eesmärgid

Mõõdik	Ühik	Olulisus (1-5)	Vastuvõetav väärtus	Ideaal väärtus
Universaalsus brändi suhtes?	Jah/ei	4	Jah	Jah
Toidupakendi tüüp	Konserv, fooliumkarp, fooliumpakend	4	Fooliumpakend	Fooliumpakend
Pakendi avamine	Manuaalne/automaatne	5	Automaatne	Automaatne
Toidusäilivus tagatud	Jah/ei	5	Jah	Jah
Portsjoni suurus	g	2	40-150	80
Portsjonite arv	tk	4	18-30	28
Seadme mõõtmed	LxWxH, mm	4	320x360x600	320x360x400
Kuivtoidu dosaator	Jah/ei	5	Ei	Jah

3. KONTSEPTSIOONID

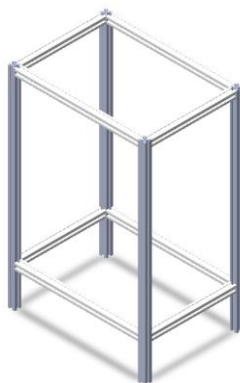
3.1 Kontseptsioonide osad

Kontseptsioonide loomisel tuleb arvestada kõigi etappide omavahelise suhtega ja kuidas kõik omavahel sobivad. Seadme töö jagati kaheksaks osaks:

1. Raam/konstruktsioon
2. Platvormi üles-alla liikumine
3. Pakendi lükkaja
4. Pakendi hoidja
5. Pakendi avaja
6. Toidunõu liikumine
7. Jäätmete konteiner
8. Kuivtoidu dosaator

3.1.1 Raam

Raami ülesanne on anda tuge ja stabiilsust seadmele, tagada komponentide joonduse ja võimalikud kinnitused. Raam määrab masina üldised mõõtmed ja kuju, kui palju ruumi jääb komponentide jaoks. See aitab tõhusamalt ka otsustada komponentide paigutust. Raami valmistamiseks on kaks peamist võimalust. Üheks on kasutada alumiinium nelikanttorusid ja teine alumiiniumprofile. Alumiiniumprofili kasutuse puhul on võimalik kinnituskohtade kiire muutmine. See on prototüüpimise juures oluline, sest võib tekkida vajadus kinnituskohtade muudatuseks. Nelikanttorude puhul peab selleks uusi kinnitusauke puurima. Joonisel 3-1 on esitatud prototüübi jaoks loodud raam.



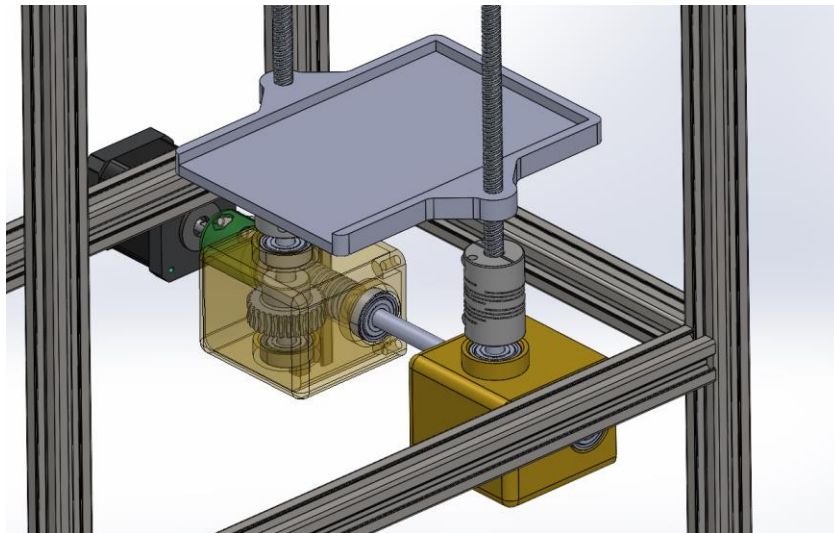
Joonis 3-1 Esimene versioon raamist

3.1.2 Platvormi üles-alla liikumine

Pakendi hoiustamine ja selle liigutamise disainimine oli üks esimesi katsumusi. Tuli mõtiskleda, kuidas tagada, et ainult üks pakend liigub järgmisesse etappi või et midagi ei liigugi üldse. Disainimise käigus katsetati nii üles-alla, alt-ülesse kui ka horisontaalselt pakendite liigutamist. Ülevalt-alla liigutamise juures oleksid pakendid gravitatsiooni mõjul allapoole kukkunud, kus siis pakend oleks külje pealt või pakendi alt hoidikust eemaldatud. Horisontaalse liigutamise puhul tekkis tõrge toidu viskoossuses. Pakendi püsti seismisel vajub toit iseenesest põhja ja pakend muutub sealt paksemaks, muutes töökindluse tagamise keerulisemaks. Lõpus otsustati alt-ülesse liikumisega, kus pakendid on laotud pikuti üksteise peale. Antud lahenduse juures on võimalik kasutada gravitatsiooni pakendi edasise liikumise juures. Läbi modelleeriti kolm erinevat lahendust.

Tiguülekande lahendus

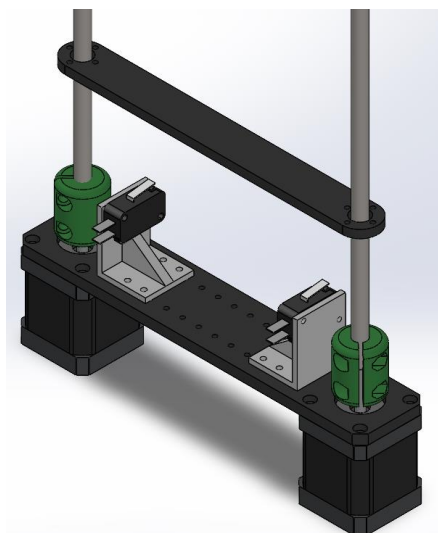
Tiguülekande süsteem on varustatud kahe trapetslatiga, millele on siduritega kinnitatud tigurattad. Üks mootor pöörab kahte tigu ühisel võllil (joonis 3-2). See süsteem vähendab mootorite hulka. Tiguülekande süsteemi eripära seisneb selles, et vedav osa on tigu - tigu saab tiguratast pöörata, kuid vastupidi see ei toimi. Seega on tigu vedav ja tiguratas veetav. See tähendab, et koormuse all platvorm ei tohiks alla vajuda, st liikumine allapoole on raskendatud.



Joonis 3-2 Tiguülekande lahendus

Samm-mootori lahendus:

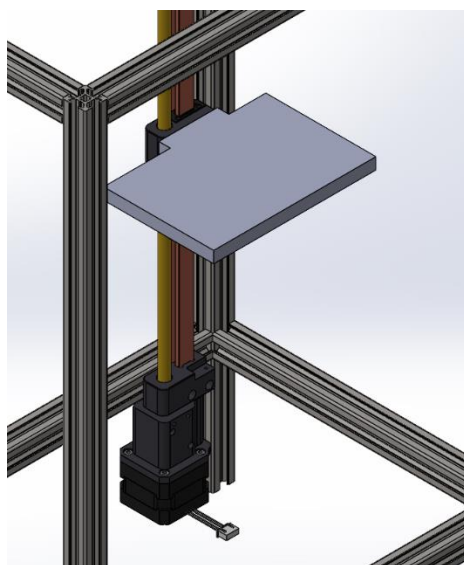
Iga trapetslati juhtimine toimub otse samm-mootori abil. Mootorite juhtimine on lihtsustatud. Kui mootorile lisatakse mehaanilised lülitid, saab platvormi asukohta kindlaks määrata. Lisaks toimivad lülitid kalibreerijatena, tagades, kui platvorm liigub algpositsiooni, siis on platvorm alati mootoritega paralleelne.



Joonis 3-3 Samm-mootori lahendus

Lineaartelg juhtkruviga lahendus:

Samuti oleks võimalik kasutada igus-se poolt pakutud lineaartelje moodulit juhtkruviga [15]. Mis on raami külge vertikaalselt kinnitatud, juhtkrugi on reduktoriga ühendatud samm-mootori võlli külge. Ja lineaari kelgu külge on kinnitatud platvorm, mille peale saab pakendeid ladustada.



Joonis 3-4 Lineaartelje moodul juhtkruviga

3.1.3 Pakendi lükkaja

Selleks, et kõige pealmine toidupakk liiguks järgmisesse tsüklisse, tuleb ühekaupa pakendeid liigutada. Kontrollimaks, et pakend on jõudnud ka soovitud positsioonile, kus lükkajaga kontakt on saavutatud, sisaldab lükkaja ka lüliti või sensorit. Mis siis tuvastab, et pakend on jõudnud soovitud positsioonile, et lükkaja tööga saaks alustada.

Kummist segmentidega ratta lahendus:

Kummist ratas, on automaatri üks tööriistadest, kasutatakse liimijääkide eemaldamiseks värvitud pindadelt. Headeks omadusteks on see, et neid leidub erinevates mõõtudes ja sisaldab juba metallist võlli, mida saab ühendada otse mootori külge. Siiski on sellel lahendusel üks puudus: kontaktpind on suhteliselt väike. Kui ratas asetatakse pakendi keskele ja hakatakse pakendit liigutama, võib see poole pakendi pealt kontakti kaotada ning edasi lükata ei saa. Ühe võimaliku lahendusena võiks kaaluda suurema kiirusega mootori kasutamist, kuigi see võib kaasa tuua täiendavaid probleeme, näiteks müra või vajaduse valida võimsam mootor, mis on ka kulukam.

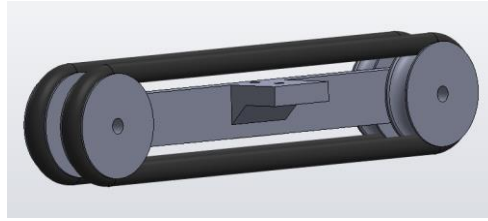


Joonis 3-5 Kummist lapikud vms

O-rõnga lahendus:

Peaaegu pakendi pikkune rihma lahendus, mis on kahe ratta vahele pingule tõmmatud, võimaldab paremat kontakti ja ühtlustab platvormi poolt rakendatava jõu. Lisaks on lahendusele lisatud veel üks rõngas.

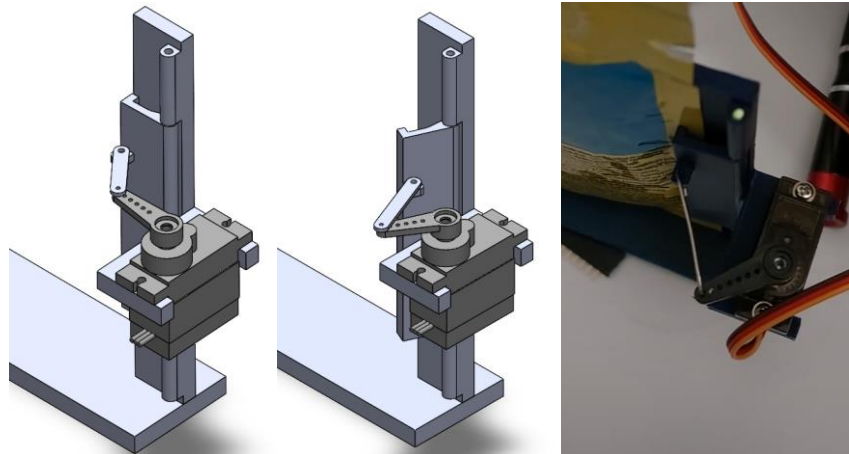
O-rõnga valimine suurendab kontaktpinda pakendiga, võimaldades valida vaiksema mootori ja suurendas seadme töökindlust.



Joonis 3-6 O-rõnga lahendus

3.1.4 Pakendi hoidja

Kuna pakendil ei ole sobivaid külgi, kust sellest kinni haara või fikseerida, tuleb seda mööda pikemat külge hoida. Näiteks põhjast kinni haarates võib toit jääda pakendisse. Seetõttu valiti klambrid, mis hoiavad pakendit külgede pealt. Klambreid liigutavad SG90 mikro servomootorit. Antud lahendust sai realselt testitud, ning servomootorid hoidsid tugevalt kinni, isegi siis kui toide oli ära võetud.



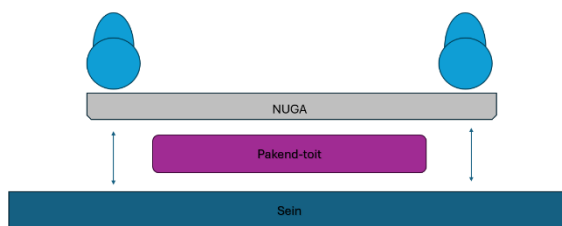
Joonis 3-7 Pakendi klamber, kinnises, lahtises ja uuesti kinnises asendis

3.1.5 Pakendi avaja

Avamiseks on erinevaid viise, saab kasutada giljotiini, pabernuga ning kääre. Kindlasti tuleb arvestada, et milline viis on hoolduse mõttes kõige parem, sest lõiketerad kuluvad. Ja kuna puutuvad kokku toiduga, siis peab olema neid ka kerge puhastada.

Giljotiini lahendus:

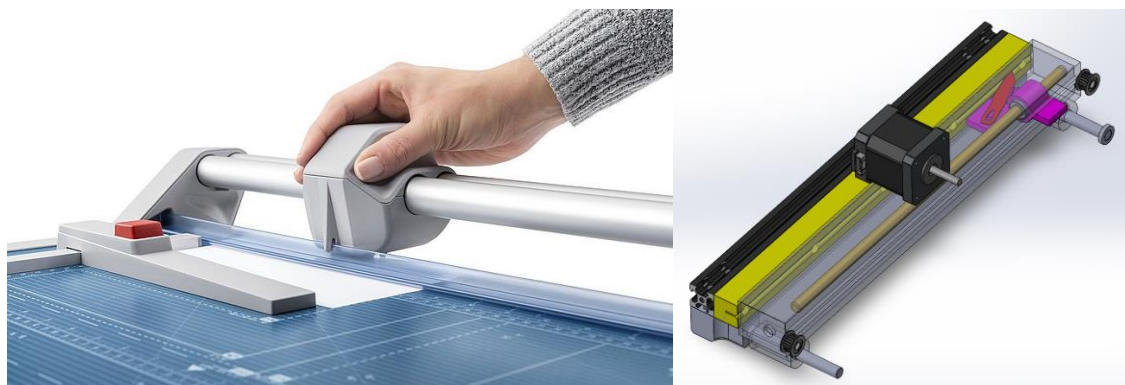
Üks lahendus oleks olnud kasutada nukkmehhanismidega giljotiini lahendust. Kus mootor paneb nukid pöörlema ja noa liikumisega pakendi poole, survestab vedrud, ja lõikab pakendi lahti. Vedrud siis tagastavad noa tagasi algasendisse.



Joonis 3-8 Giljotiini lahendus

Pabernoa lahendus:

Teine lahendus oleks kasutada paberi giljotiini/trimmerit, mille alusele tuleb asetada pakend ja lineaarse liikumisega avatakse pakend. Lineaarse liikumise saavutamiseks võib kasutada kas juhtkruvi või rihmülekannet. Puudujäägiks antud lahendi puhul on see, et pakend peab olema kindlalt fikseeritud, s.t kui pabernuga liigub, siis ei lükkaks pakendit eemale.



Joonis 3-9 Vasakul paberi trimmer, paremal projekteeritud rihmülekandega trimmer.

Kääride lahendus:

Kolmas lahendus oleks kasutada tavalisi majapidamiskääre, fikseerides ühe poole ära ja vāntmehhanismiga panna teine pool liikuma.



Joonis 3-10 Kuvatõmmis internetist

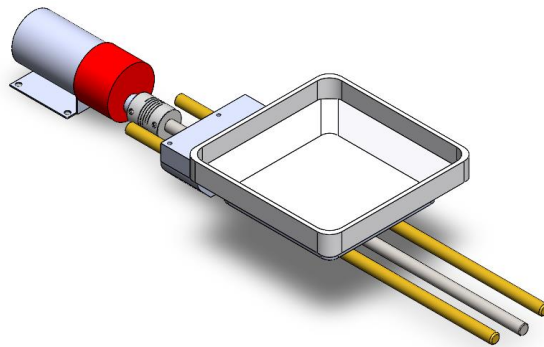
Parimaks lahenduseks osutusid käärid, kuna sellel lahendusel on vähe komponente ja see on ülesehituselt lihtsam kui teised võimalikud lahendused.

3.1.6 Toidunõu liikumine

Toiduga täidetud kausi transportimiseks on vaja kasutada lineaarset liikumist, mille puhul kausi hoidik liigub lineaarlaagrite peal. Näiteks lineaarne täitur juhtkruviga, mis toob toidunõu kassile ette. Alternatiivina võib kasutada hammaslati süsteemi, mis on kinnitatud raami külge ning toidunõu hoidikul on mootor hammasrattaga. Kolmas võimalik lahendus hõlmab rihmülekande kasutamist, mille puhul mootor on fikseeritud kindlas asendis. Gabariitmõõtmete optimeerimiseks ja masina mõõtmete suurendamise vältimiseks peaks toidunõu masinast väljuma. See on ka põhjus, miks kauss peab liikuma.

Juhtkruvi lahendus:

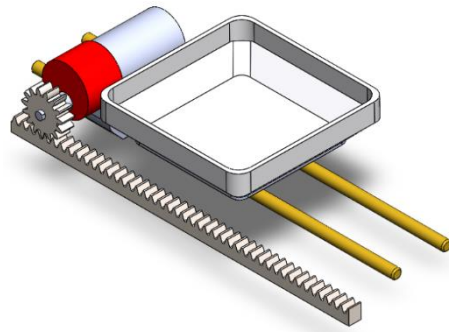
Juhtkruvi lahendusel on mugav, et mootor on samuti fikseeritud ja liikuvaid osi on vähem. Kuid antud lahendus võib olla väga mürarohke ning kuna mootori võll peab olema samal teljel juhtkruviga, siis venib antud lahendus pikaks.



Joonis 3-11 Juhtkruvi lahendus

Hammasratas + hammaslati lahendus:

Mootori külge on kinnitatud hammasratas, mis hambub hammaslatiga, ja pöördliikumine muundatakse lineaarseks liikumiseks. Kerge toota ja lihtsa ülesehitusega.



Joonis 3-12 Hammaslati lahendus

Rihmülekande lahendus:

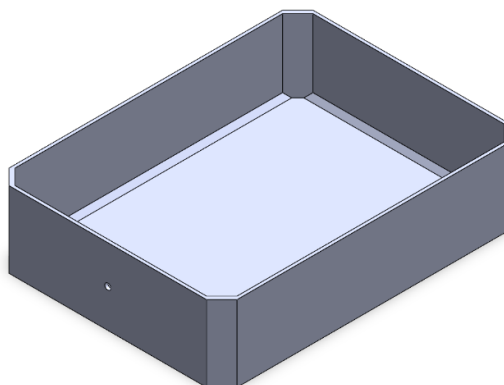
Rihmülekande lahendusel on positiivne, et süsteem on vaiksem, kuid lahendust disainides sai autor aru, et antud lahendus hakkaks sisaldama palju komponente, rullikud, rihmapingutid ja muud. Lühemalt öeldes lahenduse välja töötamine ei olnud kõige mõistlikum.

Parimaks lahenduseks osutus hammaslatt ja hammasratta lahendus, kuna on kompaktne, ja mahub ilusti raami sisse. Samuti sai seda ka realselt katsetatud ja see töötas ilma probleemideta.

3.1.7 Jäätmete konteiner

Protsessi väljundiks on tühi fooliumpakend, millest on vaja vabaneda.

Samuti tuleb tühjasid pakendeid kusagil hoiustada, see võiks olla lihtsalt nii, et haarats laseb pakendist lahti, kui on teatud positsiooni saavutanud ja näiteks kukutab pakendi kusagile karpi.



Joonis 3-13 Lihtne ristkülikukujuline karp

3.1.8 Kuivtoidu dosaator

Kuna seade on 2-1, ehk peab krõbinaid ka toitma kassidele. Tuleb projekteerida suuremat sorti punker krõbinate hoiustamiseks, ja krõbinaid doseerib mootor, mille külge on kinnitatud Archimedese kruvi ehk kruvikonveier. Samuti punkri ülemine osa võiks olla modulaarne, et vajadusel saab suurendada krõbinate punkeri mahtu. Lisaks punker peab kannatama 2 kg kuiva toitu, kinnituskohad ei tohi olla nõrgad. Lisaks uuriti EEV5120 aine raames tehtud projekti „Lemmikloomasöötja“ [16], kus hinnati siiber, kruvimehhanismi ja pöörlevate „lapatsitega“ dosaatorit.

3.2 Kontseptsiooni valik

Tabelis 3 on koondatud eelnevalt peatükkides kirjeldatud lahendusviisid ning rohelisega on märgitud valituks osutunud lahendusviisid. Lisaks on antud viiepallisüsteemis hinnang, mis on sulgudesse märgitud, et kui sobilik on lahendus kasutamaks prototüübis, samuti arvestades ka, kui töökindel lahendus on.

1-mitte üldse, 5 – sobib täielikult, on töökindel.

Tabel 3 Toote erinevate lahenduste viisid koos autoripoolse hinnanguga.

	Lahendus 1	Lahendus 2	Lahendus 3
Raam/konstruktsioon	Alumiinium profiilid(5)	Nelikanttorud(3)	
Platvormi üles-alla liikumine	Tiguülekanne(3)	Samm-mootorid(5)	Lineaartelg juhtkruviga(4)
Pakendi lükkaja	Kummist segmentidega ratas(2)	O-rõngas(4)	
Pakendi hoidja	Klamber-põhjast(2)	Klamber- külgedelt(4)	
Pakendi avaja	Giljotin(2)	Käärid(4)	Pabernuga(1)
Toidunõu liikumine	Rihmülekanne(2)	Hammasratas+hammaslatt(4)	Kruvimehhanism(4)
Jäätmete konteiner	Kaanega konteiner(3)	Pealt avatud konteiner(5)	
Kuivtoidu dosaator	Kruvikonveier(4)	Pöörleva „lapatsitega“ (3)	Siiber dosaator(2)

Valituks osutunud lahendustega alustati edasisist projekteerimist.

4. TEHNOLOOGIA JA MATERJALI VALIK

4.1 Tehnoloogia valik

Kõikide plastdetailide tootmisel on kasutatud FDM (ing k. *Fused Deposition Modeling*) 3D-printimise kihtlisadustehnoloogiat, mis loob objekte kiht-kihi haaval, sulatades ja sadestades termoplastilisi materjale mööda ettemääratud teekonda. Sulanud materjali jahtudes ja kõvenemisel valmib detail [17].

Selle tehnoloogia plussideks on kuluefektiivsus, kättesaadavus ning lai valik materjale, mida tootmiseks saab kasutada. Miinusteks on ebatäpsus ja detaili valmimise kiirus. Lisaks vajavad järeltöötlust detailid, mille pinnad peavad siledad olema, kuna kihid jäävad nähtavaks [17].

Detailide valmistamiseks on kasutatud seadmeid Bambu Lab P1S [18] ja Prusa MK3S+ [19].

4.2 Materjali valik

Kulumiskindlad ja temperatuurikindlad detailid, näiteks hammasrattad ja kruvi kröbinate dosaatorile, on valmistatud Bambu Lab ABS GF filamendist [20]. See materjal sisaldab klaasfiibrit, mille osakaal filamendis on 10-20%. Klaasfiiber annab tugevuse ja vastupidavuse, mis on oluline koormustega kokkupuutuvates osades.

Detailid, mis ei võta vastu koormusi, on valmistatud Bambu PLA filamendist (ing. k. *Polylactic Acid*). PLA on üks populaarsemaid materjale 3D-printimiseks, kuna selle madal sulamistemperatuur [21] võrreldes ABS-iga aitab kaasa kiiremale detaili valmimisele ja prototüüpimisele.

Lisaks komponentide materjalid, mis puutuvad kokku toiduga, valitakse jooksvalt projekti käigus.

5. TUGEVUSARVUTUSED

5.1 Raami tugevusarvutused *SolidWorks Simulations* keskkonnas

Tugevusarvutused on teostatud *SolidWorks*'i sisseehitatud *Simulation* tarkvaras. Profiilid on ekstruuditud ALMgSI0,5 F25 (tunnusnumber EN AW-6060 T66) alumiiniumsulamist [22], mille voolepiiriks on $\sigma_{lim} = 170$ MPa [23]. Samuti on lisatud raamile plaat, mis on AlSi1MgMn (tunnusnumber EN AW-6082 T6) alumiiniumsulamis, mille voolepiir $\sigma_{lim 2} = 270$ MPa [24]. Kuna profiilid materjal on madalama voolepiiriga, siis kasutame seda lubatud pinge arvutamisel .

Raamile mõjuv koormus F on 1 kN, mis võib tekkida, kui kasutaja kasutab seda pingina või "astmena", näiteks laelambi pirni vahetusel. Varuteguriks on võetud $v = 2$. Lubatud pinge raamile:

$$\sigma_A = \frac{\sigma_{lim}}{v}, [25]$$

kus σ_A – lubatud pinge, MPa

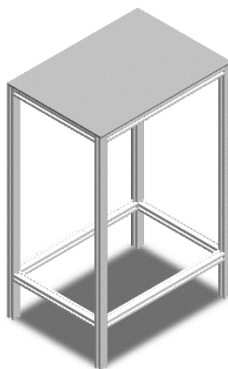
σ_{lim} - materjali voolepiir, MPa

v – varutegur

$$\sigma_A = \frac{170}{2} = 85 \text{ MPa}$$

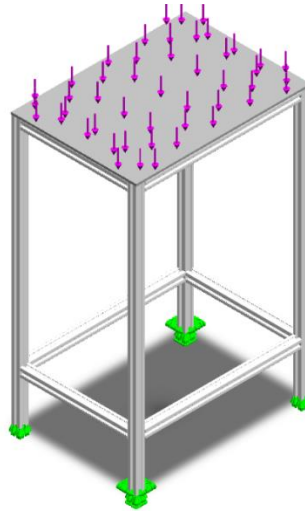
Lubatud pinge, mis võib raamile mõjuda, on 85 MPa.

Raami lihtsustamiseks on eemaldatud üleliigsed komponendid, mis võivad segada tugevusarvutuste sooritamist ja kiirendab tulemuste saamist.



Joonis 5-1 Tugevuste arvutuse jaoks jäetud komponendid

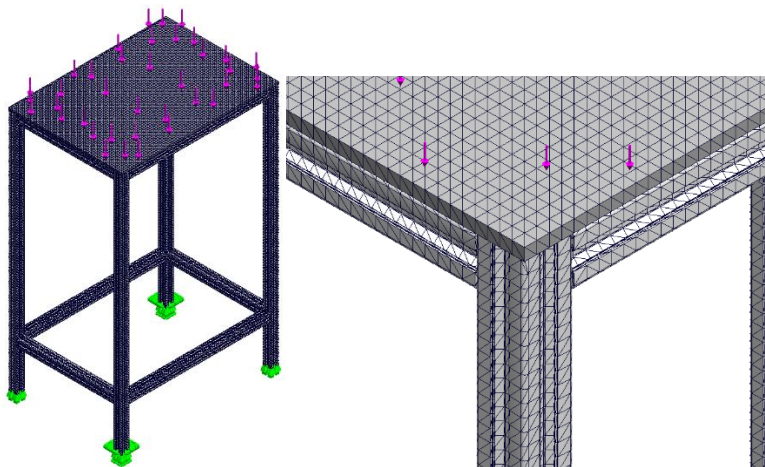
Joonisel 4-2 on näidatud raamile lisatud rajatingimused tugevusarvutusteks. Rohelised nooled näitavad, et raami jalad on fikseeritud. Lillad nooled näitavad raamile mõjuvat jõudu F , milleks on 1 kN.



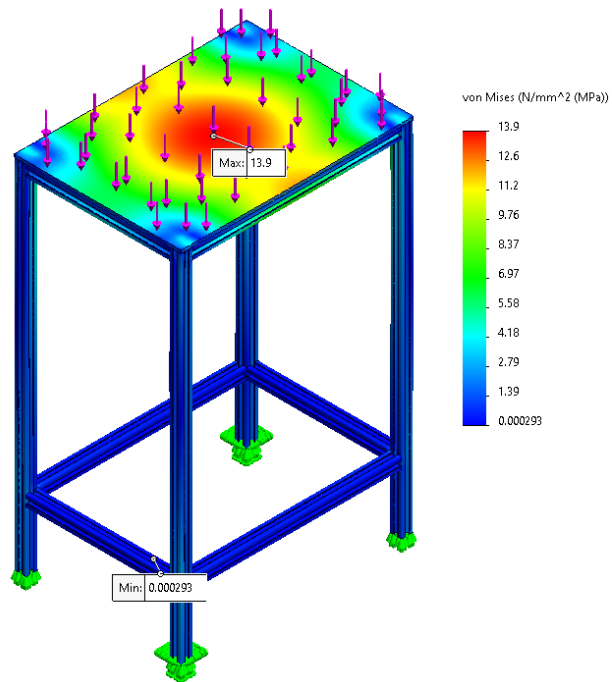
Joonis 5-2 Raami rajatingimused

Elementideks jaotumisel kasutas autor *Solidworks*-i *Mesh*-i generaatorit. Autor pani elemendi kvaliteediks "kõrge", mille peale *SolidWorks* pakkus elemendi suuruseks 5 mm.

Study name	Static 1 (-Default-)
DetailsMesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points for High quality mesh	16 points
Element size	5 mm
Tolerance	0.25 mm
Mesh quality	High
Total nodes	974384
Total elements	540233
Maximum Aspect Ratio	75.752
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	25.8
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	18.5
Percentage of distorted elements	0
Number of distorted elements	0
Remesh failed parts independently	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:03:12
Computer name	

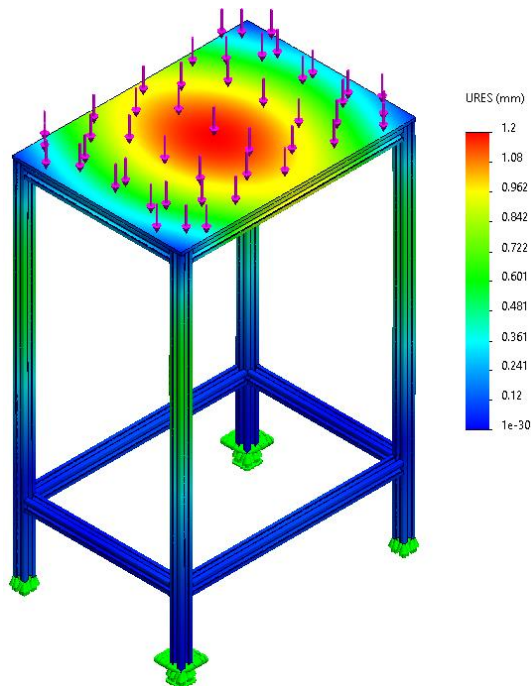


Joonis 5-3 Elementide väärtused ja elementideks jaotatud raam



Joonis 5-4 Maksimaalsed ekvivalentpinged raamil

Suurim ekvivalentpinge tekkis raami keskel plaadi peal. Maksimaalne pinge, mis mõjub raamile, on 14 MPa, mis jääb lubatud pinge, 85 MPa, vahemikku.



Joonis 5-5 Deformatsioonid raamil

Joonisel 4-5 on näidatud deformatsioonid 1000 N mõjuva jõga. Maksimaalseks deformatsiooniks kujunes välja 1,2 mm, mis on autori arvates täitsa lubatav läbipaine.

5.2 Platvormi läbipaine

Platvorm on 3D-prinditud, mis tähendab, et antud detaili mehaanilised omadused ei ole samad, kui me võrdleme detaili, mis on toodetud survevalutehnoloogial. 3D-prinditud tooteid mõjutavad mitmed tegurid mehaanilisi omadusi, nt seinapaksus, kõrgstruktuuri tihedus ja tootja.

Platvormi läbipainde arvutamisel on autor kasutanud ABS mehaanilisi omadusi, kui detail oleks survevalutehnoloogial valmistatud.

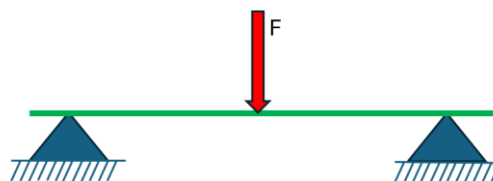
$$f = \frac{5 \cdot F \cdot a^4}{3 \cdot E \cdot I \cdot l}, [25]$$

- kus f – läbipaine, m
 F – koormus, N
 a – paindejõu asukoht toest, m
 E – elastsusmoodul, GPa
 I_x – ristlõike telginertsimoment, cm^4
 l – pikkus, m

Arvutuste jaoks on autor eemaldanud kõik avad ja faasid, et lihtsustada arvutamist. Ristlõike telginertsimoment on võetud *SolidWorks*'ist. Kuna koormus on risti x-x teljega siis kasutame I_x telginertsimomenti.

Section properties of the selected face of ACFD-002.001		
Area = 8.25 centimeters ²		
Centroid relative to output coordinate system origin: (centimeters)		
X = 0.00		
Y = 0.00		
Z = 10.00		
Moments of inertia of the area, at the centroid: (centimeters ⁴)		
Lxx = 0.17	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 187.34	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 187.17
Polar moment of inertia of the area, at the centroid = 187.34 centimeters ⁴		
Angle between principal axes and part axes = 90.00 degrees		
Principal moments of inertia of the area, at the centroid: (centimeters ⁴)		
ix = 0.17		
iy = 187.17		
Moments of inertia of the area, at the output coordinate system: (centimeters ⁴)		
LXX = 825.17	LXY = 0.00	LXZ = 0.00
LYX = 0.00	LYY = 1012.34	LYZ = 0.00
LZX = 0.00	LZY = 0.00	LZZ = 187.17

Joonis 5-6 SolidWorks'i ristlõike parameetrid

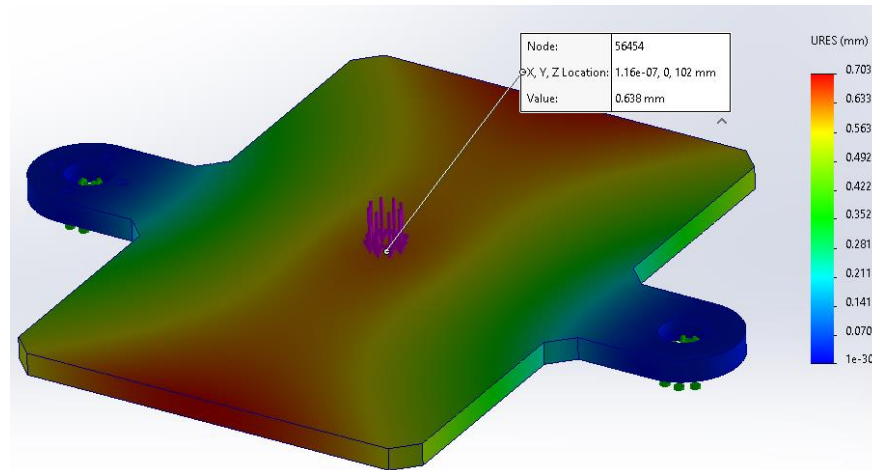


Joonis 5-7 Koormuse mõjumise skeem

Läbipaine tuleb sellise juhul siis:

$$f = \frac{F \cdot a^4}{3 \cdot E \cdot I \cdot l} = \frac{50 \cdot 0,0645^4}{3 \cdot 2 \cdot 10^9 \cdot 129 \cdot 10^{-3} \cdot 0,17 \cdot 10^{-8}} = 0,67 \cdot 10^4 \text{ m} \sim 0,65 \text{ mm}$$

Arvutuslikult saame suurimaks läbipaindeks 0,65 mm, mis on autori arvates täiesti hea tulemus, kuid kasutades *SolidWorks*'i *Simulation* tarkvara kontrollime saadud vastuse üle.

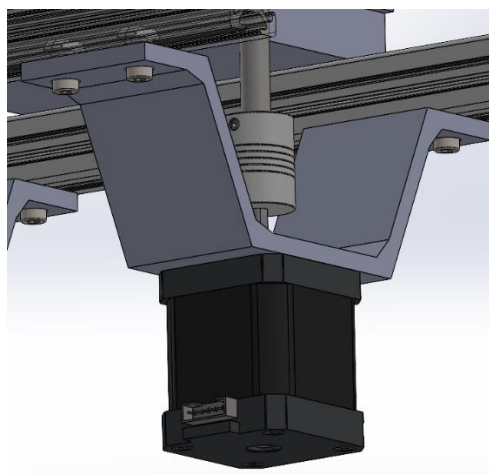


Joonis 5-8 Tugevusarvutuse kontroll *SolidWorks*'is

probe(sond?), leiame, et platvormi keskel on läbipaine 0,638 mm. Autor jääb tulemusega rahule.

5.3 Mootori kinnituse koormamine

Mootorite kinnitamiseks raami külge on prinditud Bambu ABS-GF materjalist samm-mootorite hoidja, mootorid kinnitatakse DIN 912 M3 poltidega hoidja külge, mis omakorda kinnitatakse M4 poltidega alumiiniumprofili külge.



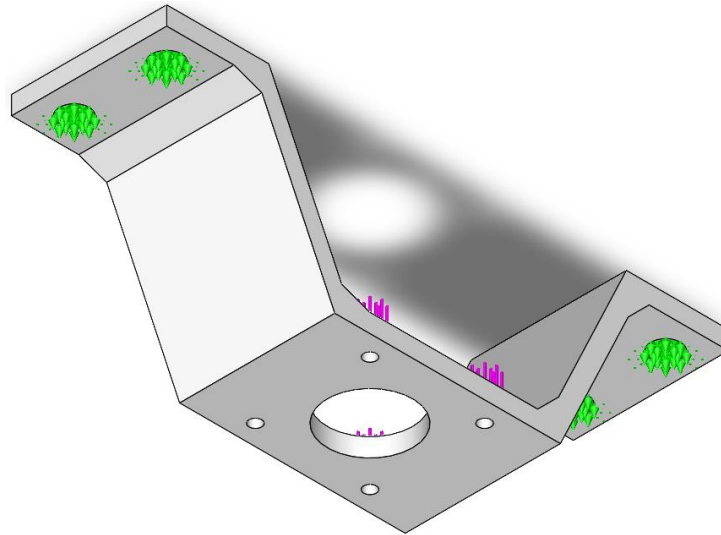
Joonis 5-9 Samm-mootori hoidja

Mehaanilisteks omaduseks on võetud nii nagu peatükis 5.2 on võetud, materjaliks on ABS, millel on voolepiiriks $\sigma_{lim_ABS} = 37 \text{ MPa}$.

Lubatud pinge sellisel juhul on:

$$\sigma_{ABS} = \frac{37}{2} = 18,5 \text{ MPa}$$

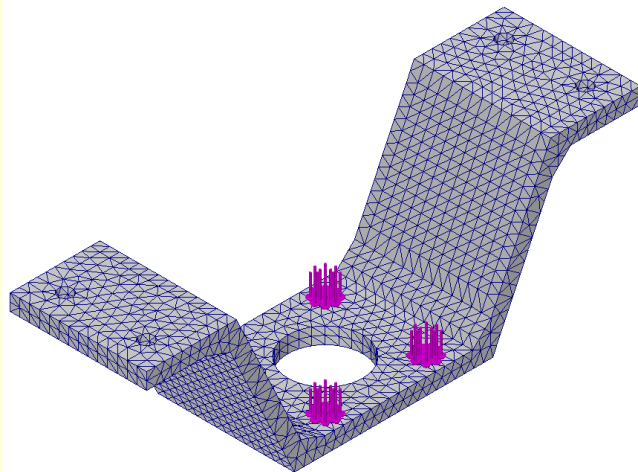
Kuna poldiavad on süvistatud, siis on M4 poldi avad fikseeritud (rohelisega joonisel 5-10) ja M3 poldi avadele rakendub jõud $F = 100 \text{ N}$ (lillad nooled joonisel 5-10 ja 5-11).



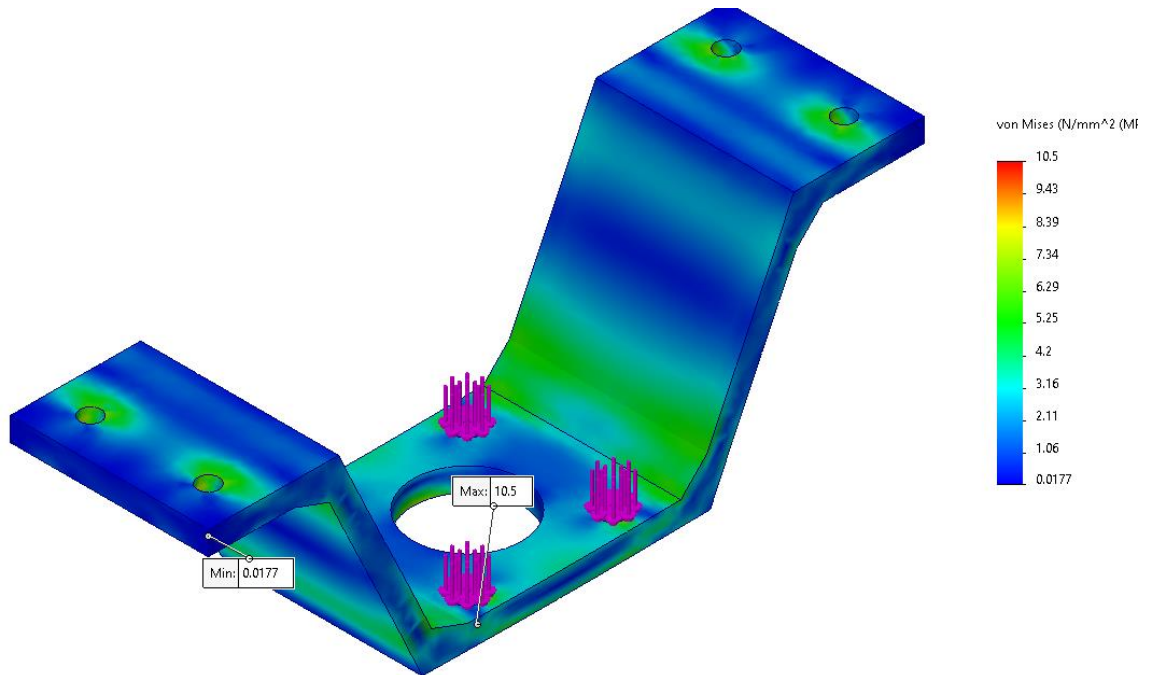
Joonis 5-10 Rajatingimused mootori hoidjale

Elemenditeks jaotamisel on kasutatud *SolidWorks*'i *Mesh* generaatorit. Elemendi suuruseks on võetud 3mm.

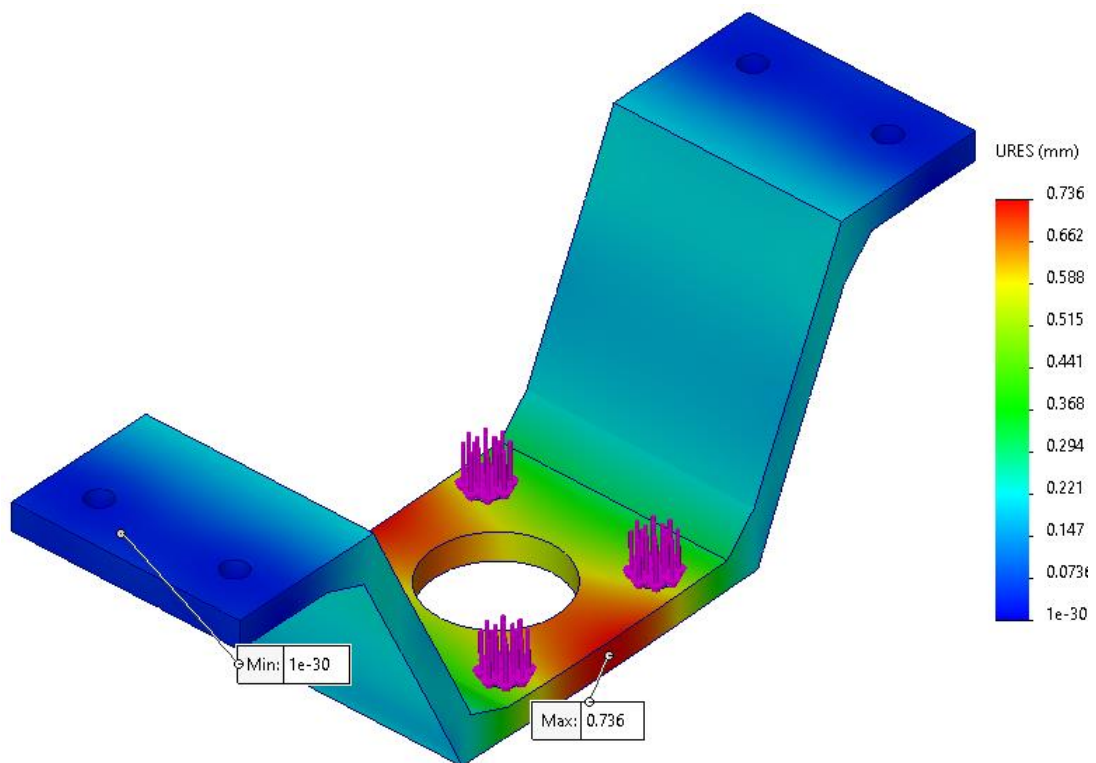
Study name	Static 1* (-Default-)
DetailsMesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points for High quality mesh	16 points
Element size	3 mm
Tolerance	0.15 mm
Mesh quality	High
Total nodes	22258
Total elements	12878
Maximum Aspect Ratio	4.5762
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	98.6
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0
Percentage of distorted elements	0
Number of distorted elements	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:02
Computer name	



Joonis 5-11 Elemendite väärtused ja elementideks jaotumine



Joonis 5-12 Suurim ekvivalentpinge



Joonis 5-13 Suurim deformatsioon

Antud simulatsiooni põhjal võib väita, et üks mootori hoidja kannatab 10 kg ilusti ära. Maksimaalne pinge, mis mõjus hoidjale oli 10,5 MPa, mis jääb alla lubatud pinge 18,5 MPa ja läbipaine sellise koormuse juures on kõigest 0,74 mm.

6. ELEKTROONIKA

6.1 Mootorid

6.1.1 Platvormi tõstja mootori valik

Platvormi liigutamiseks ülesse või alla on vaja valida sobilik samm-mootor. Selle jaoks tuleb välja arvutada, kui suur väändemoment peab samm-mootoril olema, olukorras kus platvorm on toiduga täidetud. Üks pakend kaalub 85 grammi [26] ja platvormile mahub kuni 28 pakendit. See tähendab, et kahele samm-mootorile mõjub $F_{samm-mootorid} = (0,085 \cdot 28) \cdot 9,81 = 23,35 \text{ N}$ koormus. Et vältida olukorda, kus samm-mootorid peavad pidevalt täisvõimsuse juures töötama, rakendatakse koormus ainult ühele samm-mootorile. Sellest järeldame, et ühe platvormi tõstmiseks vajalik väändemoment on [27]:

$$T = \frac{F_{samm-mootorid} \cdot d_m}{2} \left(\frac{l + \pi \cdot f \cdot d_m \cdot \sec \alpha}{\pi \cdot d_m - f \cdot l \cdot \sec \alpha} \right),$$

kus T – väändemoment, $\text{N} \cdot \text{m}$

$F_{samm-mootorid}$ – koormus, N

f – hõõrde tegur

d_m – keskläbimõõt, m

\sec – koosinuse pöördväärtus

α – keermeprofiilnurk, mis on jagatud 2-ga, kraad

Juhtkruviks on ISO trapetsmeeterkeermelatt TR 8 x 2, mis on siduriga ühendatud mootori võlli külge, latt on valmistatud AISI 304 roostevaba terasest ja mutter, mis hakkab üles-alla liikuma on valmistatud vasest. Kahe materjali vaheline hõõrdetegur on sellisel juhul $f = 0,20$ [25]. Keskläbimõõt antud lati korral on:

$$d_m = d - 0,5 \cdot P, [25]$$

kus d – nimiläbimõõt, m

P – keermeniidisamm, m

$$d_m = d - 0,5 \cdot P = 8 - 0,5 \cdot 2 = 7 \text{ mm}$$

Seejärel:

$$T = \frac{F_{samm-mootorid} \cdot d_m}{2} \left(\frac{l + \pi \cdot f \cdot d_m \cdot \sec \alpha}{\pi \cdot d_m - f \cdot l \cdot \sec \alpha} \right) = \frac{50 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^{-3} + \pi \cdot 0,2 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot \sec 15}{\pi \cdot 7 \cdot 10^{-3} - 0,2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \sec 15} \right) \\ = 0,0528 \sim 0,053 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Platvormi tõstmiseks on vaja leida suurema väändemomendiga mootor kui leitud väändemoment T.

Autor valis kahe-faasilise samm-mootori LDO-42STH40-1004ASC [28], millel on 0,48 Nm hoidmismoment ja nimivool DC 1.0 A faasi kohta. Samm-mootorid on saadud vanast 3D-printerist.

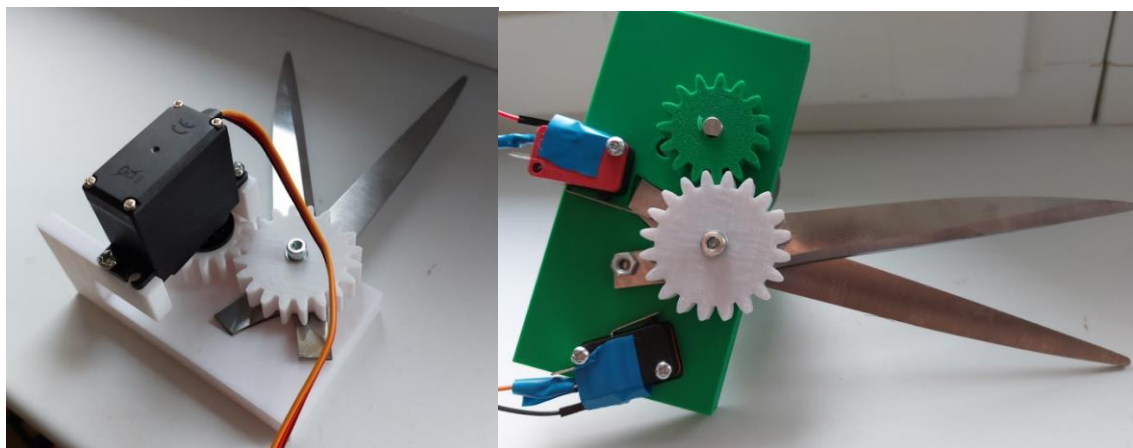
6.1.2 Pakendi lükkaja mootor

Micromotors-i poolt toodetud DC elektrimootor RH158 12-75 reduktoriga, kompaktne ja suure väändemomendiga mootor kuni 0,5 Nm, sisendpingeks 12 V. Kuna autoril oli antud mootor olemas, siis osutus see valituks.

6.1.3 Pakendi avaja täituri valik

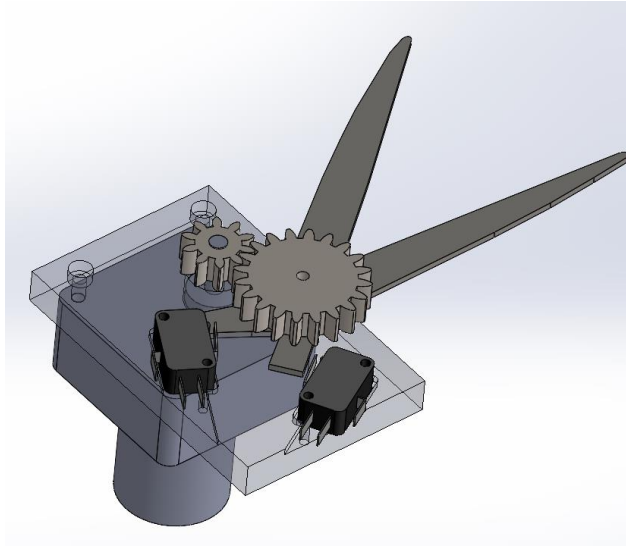
Sai katsetatud erinevaid mootoreid, mis oleksid võimelised pakendit ühe tsükliga avama. Kuna autor ei saanud fooliumpakendite peal alati proovida, siis voltis autor paberi 3 korda kokku, et tekkis 8 kihiline paber ja lasi avajal seda proovida lõigata.

Katsetades servomootorit MG995-te jäi lahendus nõrgaks, kuna tegemist polnud "*High Torque*" tüüpi servomootoriga. Paberiga katsetas, ei jõudnud ühest paberistki läbi lõigata. Seejärel katsetas autor pakendi lükkaja mootorit (RH158 12-75), kuid jäi samuti nõrgaks, kuid seekord suutis kolmest paberist läbi lõigata.



Joonis 6-1 Servomootori lahendus (vasakul) ja lükkaja mootori lahendus (paremal).

Seejärel sai käärde hoidja nii disainitud, et mahutaks ära *Elinco International JPC* poolt toodetud harjadega alalisvoolu mootori DME36B6HPB&6DG60, mis on varustatud reduktoriga [29]. Selle kiirus on 60 pööret minutis. Võrreldes samm-mootoritega on antud elektrimootor väga efektiivne, tarbides ainult 3 W energiat 12 V pinge korral. Tuleb märkida, et antud mootor on mõeldud 24 V süsteemidele. Antud mootoriga lahendus lõikas 8 kihilisest paberist läbi nagu kuum nuga võist.



Joonis 6-2 Töötav lahendus *Elinco* mootoriga

Samuti proovis autor mootori pöörlemist takistada, kasutades näpitsaid ja hoides mootori võllist kinni. Huvitav oli see, et sellise koormuse all ei suutnud mootor peatuda ning sel hetkel tarbis mootor ainult 4 W energiat.

6.1.4 Toidunõu lineaarliikumise mootor

RS PRO poolt toodetud harjadega 12 V DC mootor 321-3164 [30] on varustatud reduktoriga. Mootori pöörlemiskiirus 290 pööret minutis, mis on liiga kiire toidunõu liigutamiseks. Seetõttu on mootori pöörlemine piiratud, kasutades pulsilaiusmodulatsiooni, et saavutada 80 pööret minutis.

6.2 Mootorite juhtimine

6.2.1 TMC2209 draiver

TMC2209 draiver on valmistatud *BigTreeTech* ettevõtte poolt. See on populaarne 3D printerites kasutatav ultravaikne draiver, mis on mõeldud kahefaasiliste samm-mootorite kontrollimiseks. TMC2209 kasutab *StealthChop2* tehnoloogiat [31], tagades sellega vaikse pöörlemise, suurima efektiivsuse ja parima mootori momendi. Üks põhjus, miks autor valis antud draiveri oli *Sensorless homing*. Mis tähendab, et draiver suudab tuvastada samm-mootori libisemist, kui see puutub kokku takistusega [32]. *Sensorless homing* võimaldab platvormi asukoha määrata ilma mehaaniliste lülite abita. Kahjuks ei saanud autor antud funktsiooni tööle, mistõttu kasutatakse positsiooni määramiseks endiselt mehaanilisi lüliteid.

6.2.2 Mootori draiver L298N

Mootorite juhtimiseks mõeldud draiver, millega saab juhtida kahte DC mootorit korraga või kaht samm-mootorit. Oma laia sisendpinge vahemikuga 5-35V ja kõrge väljundvõimsusega kuni 25 W. Mootori kiirust on võimalik reguleerida pulsilaiusmodulatsiooniga ja pöörlemissuunda H-silla abil. [33]

Antud projektis on kasutusel 2 L298N draiverit, mis kontrollivad nelja mootorit:

1. Pakendi lükkaja mootor;
2. Pakendi avaja mootor;
3. Toidunõu lineaarliikumise mootor;
4. Krõbinate dosaatori mootor.

6.2.3 5 V Relee moodul

Selleks, et tagada süsteemi madal elektrienergia tarbimine, kasutatakse releesid [34] nii samm-mootorite kui ka teiste elektrimootorite draiverite juhtimiseks. Enne mootorite aktiveerimist lülitatakse vastav relee sisse ning seejärel saadetakse draiverile signaal. Kuna seade seisab enamiku ajast, tundub releede kasutamine mõistliku valikuna.

6.3 Kontroller

Kogu süsteemi kontrollimiseks kasutati Arduino Mega 2560 Rev3 [35], mida jooksub ATmega2560 protsessor. Sellel on rohkelt sisendeid ja väljundeid, mis muudab selle sobivaks valikuks. Lisaks sobib Arduinole 12V toide ning samuti on kogemus nende programmeerimisega olemas.

6.4 Toiteplokk

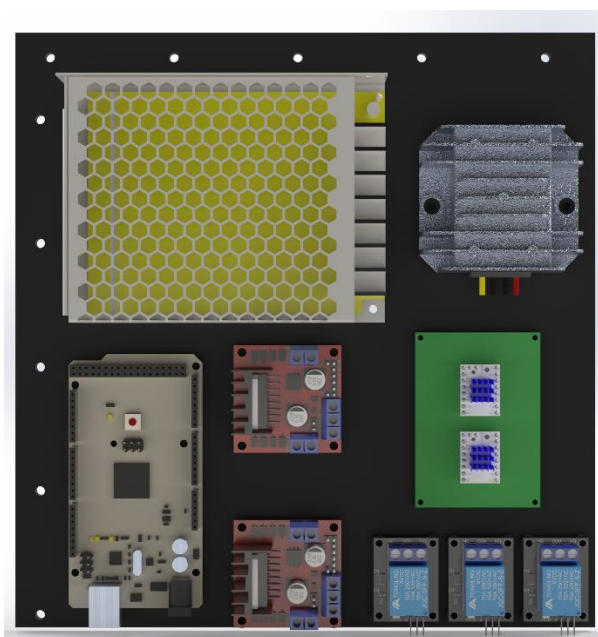
Toiteplokk sai valitud tarbitava voolutugevuse järgi, mida võivad tekitada elektrimootorid, kui nad töötavad maksimaalse võimsuse juures. Samm-mootorid tarbivad kuni 4 A kokku. Lükkaja mootor tarbib 1 A ja toidunõu mootor 2 A. Kokku saame, et mootorid koos töötades võivad tarbida kuni 7 A. Kuigi see on ebatõenäoline, et kõik mootorid töötavad koos, siis on valitud toiteplokk 7 amprile ja selleks oli MeanWell LRS-100-12 [36], mis suudab anda välja kuni 8,5 A.

6.4.1 DC/DC muundur

Peale mootorite on veel servomootorid ja releed, mis samuti vajavad toidet. Kuna 12 V pinge on antud komponentide jaoks liiga kõrge ning ei soovitud kasutada kontrolleri 5V väljundit, valiti DC/DC muundur Fulree F-J24V-5V, mis suudab pakkuda kuni 10 A voolutugevust.

6.5 Elektroonika komponentide plaat

Komponentide fikseerimiseks on 3D-prinditud plaat PLA-st, kuhu külge kinnitati kõik elektroonika komponendid. Plaati on võimalik kinnitada alumiiniumprofiilide külge.

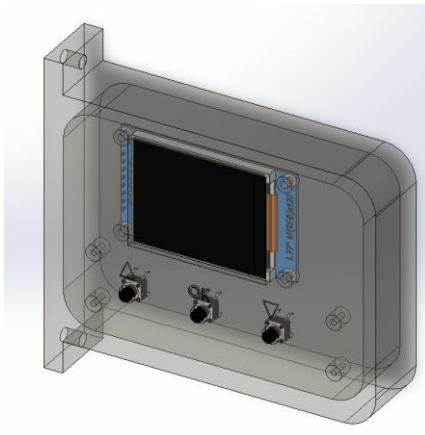


Joonis 6-3 Elektroonika komponentide plaat

7. KASUTAJALIIDES JA PROGRAMM

7.1 Kasutajaliides

Kogu süsteemi saab juhtida läbi värvilise TFT 1,77" LCD ekraani. Lisaks ekraani ümbrisele on lisatud kolm 6x6x6 mm nuppu, millega toimub terve süsteemi juhtimine. Ekraani peale kuvatakse menüü ja vasaku või parema nupuga saab liikuda üles-alla, keskmine nupuga saab kinnitada valiku. Ekraani korpus on 3D-prinditud, materjaliks PLA.



Joonis 7-1 Kuvatõmmis ekraanist ja nuppudest

7.2 Programm

Arduino kontrolleri programmeerimiseks kasutas autor *Arduino IDE* tarkvara. See platvorm on mugav, populaarne ja pakub suurt tuge programmeerimiseks. Programmi kiiremaks loomiseks, kasutas autor koodi kirjutamisel abi *OpenAI* poolt välja töötatud keelemudelit *ChatGPT 3.5*.

Iga sõlme jaoks kirjutas *ChatGPT* eraldi koodilõigu, mille autor kombineeris ühte koodifaili. Umbes 60% koodist on kirjutatud *ChatGPT* abiga. Koodi toimivust kinnitab töötav mehaanika.

Koodifailis[VIIDE LISAS] on kasutajal võimalik valida kahe alamprogrammi vahel: Automaat programm ja demo programm. Automaatse programmi korral palutakse kasutajal määrata, millise intervalli tagant peab kasse toitma. Demo programmis saab igat sõlme eraldi sisse või välja lülitada, et veenduda seadme korrasolekus.

8. PROJEKTEERITUD ALAMKOOSTUDE KIRJELDUS



Joonis 8-1 Renderdus peakoostust

8.1 Raam



Joonis 8-2 Prototüübi lõplik raam

Hetkel on lahtiseks jäetud plaadi kinnitamine raami külge. Kooseb alumiiniumprofillidest 20x20 ning lisatud on kaks profiili juurde, üks platvormi korpuse fikseerimise jaoks ja teine pakendi avaja jaoks.

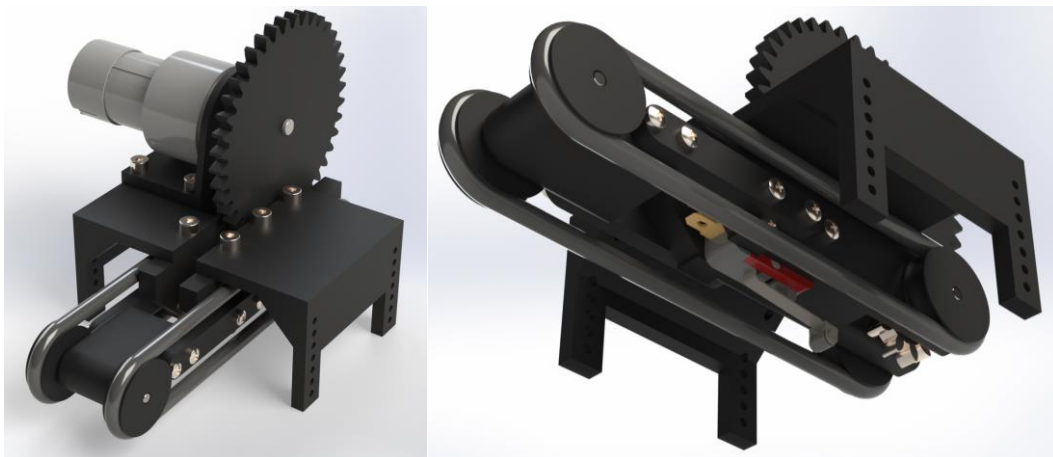
8.2 Platvormi korpuse alamkoost



Joonis 8-3 Korpuse viimane versioon koos uksega

Platvormi korpuse külge on lisatud 3 messingust ümarlatti, mis on painutatud umbes 60 kraadi juurde, et pakendi lükkamisel gravitatsiooni abil kukuks mööda juhikuid alla pakendi hoidjasse.

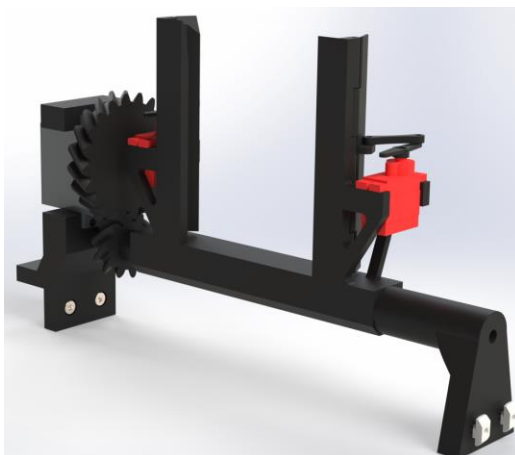
8.3 Pakendi lükkaja alamkoost



Joonis 8-4 Pakendi lükkaja, lüliti asukoht on kahe o-rõnga vahel

Pakendi tuvastamiseks on kasutusel rullikuga piirlüliti, mis on pakendi keskele asetatud. Et o-rõngad kiiremini tiireleks on kasutatud 4:1 ülekannet. Kui on erineva paksusega toidupakend, siis on võimalik antud alamkoostu tõsta kõrgemale, et pakendi oleks kõrgemal kui platvormi korpuse serv.

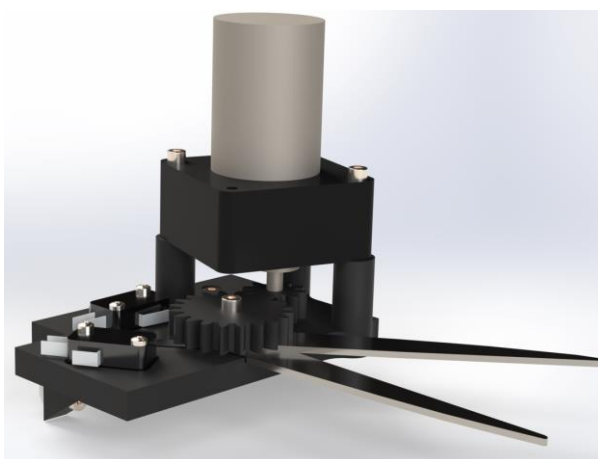
8.4 Pakendi hoidja



Joonis 8-5 Pakendi hoidja

Pakendi hoidjat juhib pöörlemisel servomootor MG995. Kuna antud servomootor suudab pöörata vaid 180 kraadi ning pakendi ära viskamiseks on vaja 230 kraadi, on kasutatud kaldhammastega silinderhammasratta 1:2 ülekannet. Joonisel 8-5 on punasega märgitud mikroservomootorid SG90, mis hakkavad klambreid lahti-kinni liigutama, ning mis fikseerivad pakendi hoidjasse.

8.5 Pakendi avaja alamkoost

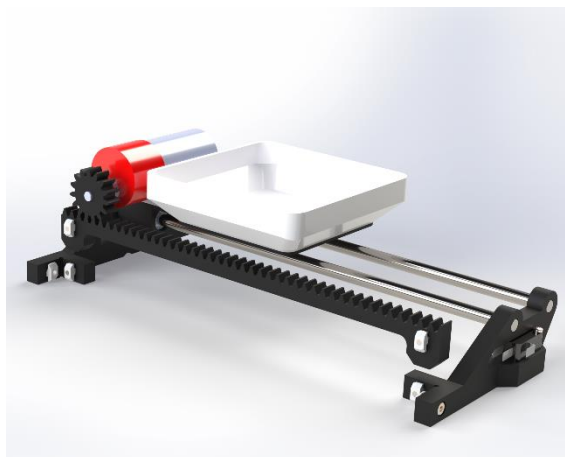


Joonis 8-6 Pakendi avaja

Võrreldes prototüübiga on avaja mootor toodud kääride kohale. See seisab kolme jala peal, kuna mootorist tulev võll on tsentrist väljas ja hea mootori asendi leidmine oli

raskendatud. Lisaks on neljanda poldi jaoks mõeldud avast võimalik kuuskandiga pingutada kääride terasid rohkem kokku poole, juhul kui käärid enam ei lõika.

8.6 Toidunõu liikumine



Joonis 8-7 Toidunõu lineaarse liikumise mehhanism

Seade sisaldab kahte piirlüliti alg- ja lõpp-positsiooni fikseerimiseks. Toidunõu liigub kahe lineaarvõlli peal, ning mootor nõu taga toimib vastukaaluna. Lisaks kasutatakse kahte LM8UU lineaarlaagrit.

8.7 Krõbinate dosaator



Joonis 8-8 Krõbinate dosaator 2 mooduliga

Krõbinate dosaatori punker on universaalne, see tähendab, et selle mahtu saab vajadusel suurendada, printides juurde veel ühe mooduli, mida saab üksteise peale laduda nagu LEGO.

9. RISKIANALÜÜS

Kuna lõputöö eesmärgiks oli saada valmis töötav mehaaniline kontseptsioon, ei pööranud autor ohutusele nii suurt rõhku. Toote edasise disainimisel võetakse kassi ja kasutaja ohutus oluliseks prioriteediks.

Alljärgnevates peatükkides on välja toodud ohud ja nende vältimiseks pakutud lahendused.

9.1 Kassi ohutus

Üks suurimaks ohuks võib olla lõhn, mis tekib, kui pakend avatakse. Kuna suure isuga kassid teevad endast kõik, et ligi pääseda antud toidule. Seetõttu on vaja seadmele korpus ümber teha ja katta kinni kõik võimalikud avad, kust kass saab käpaga urgitseda. Toidunõu ava ees võiks olla luuk, mis avaneb nõu välja liikumisega seadmest.

9.2 Kasutaja ohutus

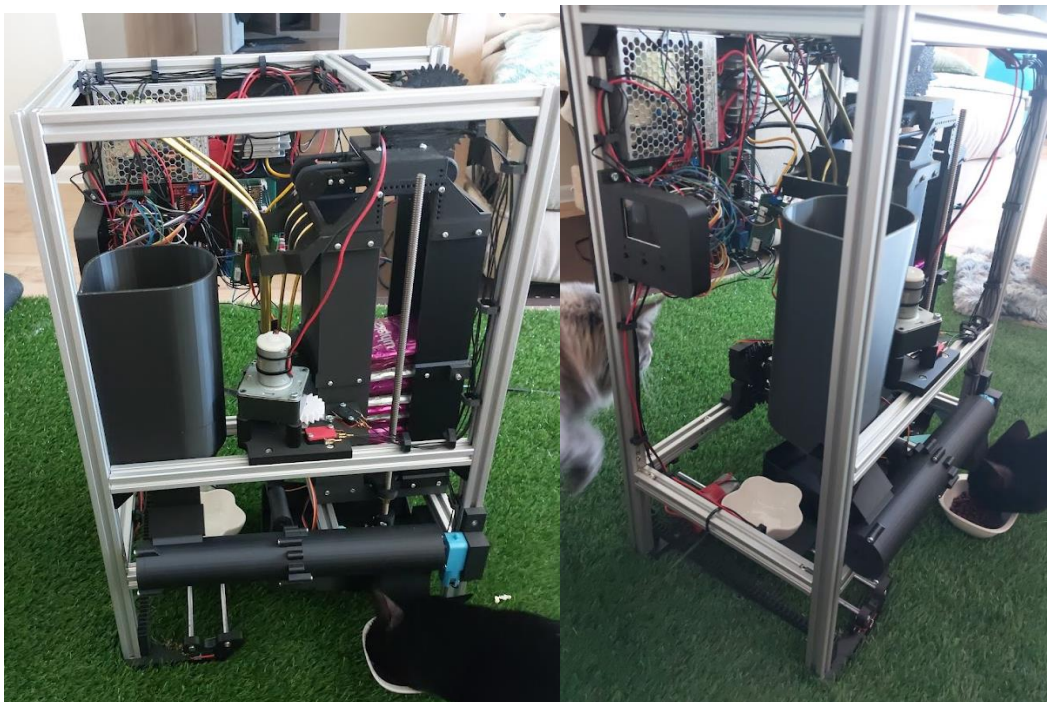
Ohtlikesse kohtadesse tuleb lisada vastav märgis ning näiteks, kui korpus on seadmelt eemaldatud, siis lülitab seade ise end välja.

Samuti pakendi avaja on ohtlik, tuleks disainida sellele korpus ümber ja teha ainult ava pakendi jaoks. Samuti mõelda avaja momendi kontrollile, et kui teatud piirväärtus on saavutatud, siis liigub tagasi algasendisse, et kui võõrkeha või midagi muud on avaja vahele sattunud.

Seadmes on praegu 220 V süsteem, mis võib olla ebamugav. Kuigi toiteplokkis on kaitsmed olemas, võiksime siiski kaaluda paremat viisi, kuidas toiteallikat eraldada. Üks võimalus on viia toiteplokk seadmest välja.

Samuti puudub hetkel ka pakendi hoidjal pakendi tuvastamine.

10. LÕPPTULEMUS JA PARENDAMINE



Joonis 10-1 Valmis ehitatud prototüüp

Lõpptulemus oli äärmiselt positiivne: prototüüp täitis oma eesmärged ja, mis veelgi olulisem, seade töötas suurepäraselt – mingil määral. Võttis pakendi platvormilt, lükkas hoidjasse, hoidjas lõigati lahti ja kallutas toidukaussi.

Siiski tekitas keerukust asjaolu, et juhtmeid tuli väga palju vedada, mis hilisemat veatuvastust raskendas. Lisaks tulid juhtmed kontrolleri küljest väga kergesti lahti. Seetõttu on enne seadme kasutamist alati oluline teha visuaalne kontroll ja veenduda, et kusagil ei ripu lahtiseid juhtmeid.

10.1 Parendamine

Võimalikud parendused, mida tuleks järgmise versiooni loomisel arvesse võtta:

Elektronikaga seotud:

- Ühe trükkplaadi lahendus: disainida üks trükkplaadi, kuhu on integreeritud kõik vajalikud komponendid. See vähendaks juhtmete hulka ja lihtsustaks süsteemi kokkupanekut. Näiteks võiks disainida Arduino Mega-le laiendusplaadi koos vajalike komponentidega.

- *Sensorless homing*-u kasutamine: See vähendaks lülite hulka seadmes ja samuti juhtmeid, mis on veetud kontrolleri lülitisse.
- Optimeerida ruumikasutust. Ühele trükkplaadile komponente integreerides saab säästa palju ruumi. Lisaks võiks muretseda eraldi toiteploki, mis juba pistiku juures muundab vahelduvvoolu alalisvooluks.

Mehaanikaga seotud:

- Samuti võib plastikdetalle lihtsustada, proovides materjali kokku hoida.
- Lisaks on hetkel kõik avad disainitud nii, et kruvi keeramisel avasse keermestab see ise ava ära. Kuid sellisel juhul on oht, et võidakse üle keerata. Seetõttu võiks kasutada keermega pukse, mida saab plastiku sisse sulatada (ing. k *heat insert*). Nii muutub koostamine kui ka hiljem hoolduse tegemine palju lihtsamaks.
- Krõbinate dosaatori kruvi tuleks valmistada paksemast ja tugevamast materjalist. Suuremate krõbinatega >10 mm lõhkus väikese tüki kruvilt ära.
- Lisada pakendi hoidjasse pakendituvastamise jaoks lüliti või andur

11. HINNAKALKULATSIOON

Käesolevas peatükis on välja toodud prototüübi ehitamiseks kulunud summa. Kuna komponente on võimalik tellida erinevatest kohtadest, võivad hinnad oluliselt varieeruda. Sisse ei ole arvestatud projekteerimisele kulunud töötunde ega uue 3D-printeri soetamist, millega sai kiirendada prototüüpimist.

Tabel 4 Projekti kogu maksumus, €

Valdkond	Komponent	Hind(tk)	Kogus	Summa
Elektroonika	Arduino Mega	54	1	54
	L298	8	2	16
	TMC2209	16	2	32
	Toiteplokk	21	1	21
	Pingemuundur	8	1	8
	5V relee	4	3	12
	Ekraan	5	1	5
Mootorid	321-3164	32	1	32
	Samm-mootorid	20	2	40
	MG995 servomootor	17	1	17
	SG90 servomootor	18	2	36
	OKY5022-4	5	1	5
	RH158-12-75	67	1	67
	6DG60	60	1	60
Mehaanika	Messingust ümarlatt	5	2	10
	Juhtkruvi kmpl	10	2	20
	Lineaari kmpl	15	2	30
	Piirlülitid	4	8	32
	Laagrid	4	2	8
	Erinevad kinnitusvahendid	50	1	50
	Alumiiniumprofiil	15	5,2	78
	Plastdetailid(materjal)	140	1	140
	sh elekter	0,35	40,5	14,2
	Kõik kokku:			787,2
	Koos 3D printeriga:			1490

Tabelis olev informatsioon on võetud veebilehtedelt [37] [38] [39] [40] [41] [42].

Prototüübi maksumuseks ilma töötundideta kujunes 787,2 eurot.

KOKKUVÕTE

Eesmärgiks oli projekteerida ja töötada välja esimene märja toidu automaatsööturi prototüüp, mis kasutab tavalisest poest leitavaid märgtoidu pakendeid, mis on valmistatud alumiiniumfooliumist. Ning oleks universaalne brändide suhtes. Antud prototüüp on tulemitmetest erinevatest versioonidest kokku saadud töötav lahendus, mis täidab oma eesmärgi ilusti. Kuigi

Lõputöö eesmärgiks oli projekteerida ja ehitada valmis esimene märja toidu automaatsööturi prototüüp kassidele, mis kasutab tavalisest poest kättesaadavaid fooliumpakendites olevat märga toitu ning oleks brändide suhtes universaalne. See tähendab, et kui pakendi moodsud jäävad teatud vahemikku, siis saab seda automaatsööturis kasutada.

Lõputöö käigus teostati põhjalik turu-uuring, analüüsiti olemasolevaid lahendusi ning töötati välja uus disain, mis lahendab senised probleemid. Prototüüp disainiti ja modelleeriti kasutades *SolidWorks* tarkvara, mis võimaldas detailide ruumilist kujundamist ja nende vastastikuse mõju arvestamist. Mudeli disainimisel võeti arvesse ka 3D-printimise tehnoloogia, et kuidas detaile saaks kiiresti printida ja odavalt katsetada. Kõik ülejäänud komponendid seadmes olid kergesti saadavad, kas internetist või kohalikest ehitus- ja elektroonikapoodidest.

Prototüübi loomiseks katsetati erinevaid lahendusi, mille tulemuseks oli töötav seade, mis täitis oma eesmärgi edukalt. Kuna erinevate lahenduste katsetamine oli aeganõudev, sai soetatud teine 3D printer, et kiirendada prototüüpimist. Sai kohe reaalselt ära katsetatud lahendused.

Kuna lõputöö eesmärgiks oli saada valmis töötav mehaaniline kontseptsioon, ei pööranud autor ohutusele nii suurt rõhku. Kuid järgmise versiooni arendamisega, võetakse ohutus samuti prioriteediks. Prototüübi hinnaks kujunes välja 787,2 € ilma töötundideta.

Töö järeldustes leiti, et loodud seade täidab oma eesmärgi ning suudab edukalt doseerida märga toitu fooliumpakendist kassidele. Projekti käigus kogutud kogemused ja saadud tulemused annavad hea aluse edasiseks tootearenduseks.

SUMMARY

The goal was to design and develop the first prototype of an automatic wet food dispenser for cats that uses wet food packages commonly found in regular stores, which are made of aluminum foil. The aim was to create a universal solution that would work with various brands. This means that if the package dimensions fall within a certain range, it can be used in the automatic feeder.

During the thesis work, thorough market research was conducted, existing solutions were analyzed, and a new design was developed to address existing issues. The prototype was designed and modeled using SolidWorks software, allowing for spatial design of components and consideration of their mutual interactions. The design also took into account 3D printing technology for rapid and cost-effective prototyping. All other components for the device were easily accessible, either online or from local construction and electronics stores.

Multiple versions of the prototype were tested, resulting in a functional device that successfully fulfilled its purpose. Since testing various solutions was time-consuming, a second 3D printer was acquired to speed up prototyping. Immediate real-world testing of the solutions was carried out.

While safety was not a top priority during the development of the mechanical concept for this thesis, future iterations will prioritize safety. The prototype's cost, excluding labor hours, amounted to €787.2.

In the conclusions, it was found that the created device serves its purpose and can successfully dispense wet food from foil packaging to cats. The experiences and results gathered during the project provide a solid foundation for further product development.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1 S. Parts, „Why These Old Japanese Vending Machines Are Genius,” YouTube,] [Võrgumaterjal]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=gzxW3B3_Pak&t=272s. [Kasutatud 13 mai 2024].
- [2 Polybol, „Why are foil lamination bags taking over the packaging industry?,”] [Võrgumaterjal]. Available: <https://polybol.com/why-are-foil-lamination-bags-taking-over-the-packaging-industry/>. [Kasutatud 13 mai 2024].
- [3 Wikipedia, „Stand-up pouch,”] [Võrgumaterjal]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Stand-up_pouch. [Kasutatud 13 mai 2024].
- [4 KIKA, „NATURE'S PROTECTION SKIN & COAT CARE ADULT CAT WITH CHICKEN] AND BEEF, PAKIKONSERVID KANA- JA VEISELIHAGA TÄISKASVANUD KASSIDELE,”] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kika.ee/kataloog/nature-039-s-protection-skin-coat-care-adult-cat-with-chicken-and-beef-pakikonservid-kana-ja/?item=394>. [Kasutatud 13 mai 2024].
- [5 T. M. P. M. Association, „How a three-piece welded food can is made,”] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mpma.org.uk/wp-content/uploads/3-Piece-Food-Cans-1.pdf>. [Kasutatud 13 mai 2024].
- [6 T. M. P. M. Association, „How a two-piece drawn and wall-ironed food can is made,”] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mpma.org.uk/wp-content/uploads/HOW-2piecefood-low-res.pdf>. [Kasutatud 13 mai 2024].
- [7 A. Mechatronic, „Video,”] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.alufoiltray.com/index.php/video/>. [Kasutatud 13 mai 2024].
- [8 Amazon, „Casfuy Automatic Cat Feeder,”] [Võrgumaterjal]. Available: <https://shorturl.at/zBLVX>. [Kasutatud 13 mai 2024].
- [9 Bistro.Cat, „BistroCat Feeder,”] [Võrgumaterjal]. Available: <https://getbistrocat.com/products/bistro-cat-feeder?variant=44381496377641>. [Kasutatud 13 mai 2024].
- [1 PawBot, „Main Feature,”] [Võrgumaterjal]. Available: <https://pawbot.com/>.
0] [Kasutatud 13 mai 2024].

- [1 Walmart, „Hamilton Beach Smooth Touch Can Opener,“ [Võrgumaterjal]. Available:
1] <https://shorturl.at/czJV2>. [Kasutatud 13 mai 2024].
- [1 Kickstarter, „Automatic Wet Food Dispenser | Cats, Dogs | 18 cans | PawBot,“
2] [Võrgumaterjal]. Available:
<https://www.kickstarter.com/projects/pawbot/automatic-wet-food-dispenser-cats-dogs-18-cans-paw/?ref=kicktraq>. [Kasutatud 13 mai 2024].
- [1 Facebook, „PawBot page,“ [Võrgumaterjal]. Available:
3] <https://www.facebook.com/pawbot>. [Kasutatud 13 mai 2024].
- [1 T. Gordon, E. BENYAMINI, S. SHACHRUR ja D. Averbukh, „Google Patent
4] EP3157326B1,“ [Võrgumaterjal]. Available:
[https://patents.google.com/patent/EP3157326B1/en?q=\(cat+food+dispenser\)&q=cat+food+dispenser](https://patents.google.com/patent/EP3157326B1/en?q=(cat+food+dispenser)&q=cat+food+dispenser). [Kasutatud 17 mai 2024].
- [1 igus, „Linear module: SLT | Installation size: 0412,“ [Võrgumaterjal]. Available:
5] <https://drylin-drive-technology-configurator.igus.tools/customization>. [Kasutatud
14 mai 2024].
- [1 G.Põllumäe, T.Timak, T. Tammeveski ja H. Soomer, *Lemmikloomasõõtja*, Tallinn,
6] 2022.
- [1 ProtoLabs, „What is FDM (fused deposition modeling) 3D printing?,“
7] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/>. [Kasutatud 14 mai 2024].
- [1 B. Lab, „Bambu Lab P1S 3D Printer,“ [Võrgumaterjal]. Available:
8] <https://eu.store.bambulab.com/en-ee/products/p1s?skr=yes>. [Kasutatud 14 mai
2024].
- [1 P. Research, „Original Prusa i3 MK3S+ 3D printer,“ [Võrgumaterjal]. Available:
9] <https://www.prusa3d.com/product/original-prusa-i3-mk3s-3d-printer-3/>.
[Kasutatud 14 mai 2024].
- [2 EMTEK, „Bambu ABS GF SDS,“ [Võrgumaterjal]. Available:
0] https://cdn.shopify.com/s/files/1/0584/7236/6216/files/MSDS_Bambu_ABS-GF.pdf?v=1713341648. [Kasutatud 14 mai 2024].
- [2 B. Lab, „PLA Basic Tehnical Datasheet,“ [Võrgumaterjal]. Available:
1] <https://www.3drepublika.com/wp-content/uploads/2023/10/Bambu-PLA-Basic-Technical-Data-Sheet.pdf>. [Kasutatud 17 mai 2024].

- [2 myaluprofil, „Aluminium profile 20x20 groove 6 B-type,” [Võrgumaterjal].
2] Available: <https://www.myaluprofil.de/Aluminium-profile-20x20-groove-6-B-type.html>. [Kasutatud 20 mai 2024].
- [2 MakeItForm, „6060-T66 Aluminum,” [Võrgumaterjal]. Available:
3] <https://www.makeitfrom.com/material-properties/6060-T66-Aluminum#:~:text=6060%2DT66%20aluminum%20is%206060,to%20yield%20more%20favourable%20properties..> [Kasutatud 20 mai 2024].
- [2 MakeItForm, „6082-T6 Aluminum,” [Võrgumaterjal]. Available:
4] <https://www.makeitfrom.com/material-properties/6082-T6-Aluminum>. [Kasutatud 20 mai 2024].
- [2 M. H. R. K. V. M. S. O. T. R. C. S. R. Gomeringer, %1 *Mehaanikainseneri käsiraamat*,
5] *Teine väljanne*, Tallinn, TTÜ Kirjastus, 2022, p. 38.
- [2 Karvakera, „BRIT PREMIUM KITTEN EINEKOTIKE KASSIPOJALE CHICKEN FILLETS
6] IN GRAVY 85G,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://karvakera.ee/products/brit-premium-chicken-fillets-in-gravy-margtoit-kassipoegadele-85g>. [Kasutatud 16 mai 2024].
- [2 J. K. N. a. R. G. Budynas, %1 *Shigley's Mechanical Engineering Design 9th Edition*,
7] 2011, p. 442.
- [2 Lector, „Samm-mootor LDO-42STH40,” [Võrgumaterjal]. Available:
8] https://lektor.com/en/index.php?controller=attachment&id_attachment=33. [Kasutatud 20 mai 2024].
- [2 E. I. JPC, „DME Technical Datasheet,” [Võrgumaterjal]. Available:
9] <https://catalog.e-jpc.com/Asset/DME-Technical-Datasheet.pdf>. [Kasutatud 17 mai 2024].
- [3 R. PRO, „321-3164 Datasheet,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://docs.rs-online.com/975a/A700000007082061.pdf>. [Kasutatud 17 mai 2024].
- [3 Tirinamic, „TMC2209 Datasheet,” [Võrgumaterjal]. Available:
1] https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/TMC2209_datasheet_rev1.08.pdf. [Kasutatud 17 mai 2024].
- [3 3. P. Beast, „What Is Sensorless Homing in 3D Printing? (Explained),”
2] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.3dprintbeast.com/sensorless-homing/>. [Kasutatud 17 mai 2024].

- [3 H. Technology, „L298N Dual H-Bridge Motor Driver,” [Võrgumaterjal]. Available:
3] <https://www.handsontec.com/dataspecs/L298N%20Motor%20Driver.pdf>.
[Kasutatud 16 05 2024].
- [3 Oomipood, „1 Channel Isolation Board Relay Module With Optocoupler Sensor
4] 5V/12V,” [Võrgumaterjal]. Available:
https://www.oomipood.ee/en/product/oky3011_3_1_kanaliga_high_low_level_trigger_releemoodul_5v_12v. [Kasutatud 17 mai 2024].
- [3 Oomipood, „Arduino Mega2560 Rev3,” [Võrgumaterjal]. Available:
5] https://www.oomipood.ee/product/a000067_arduino_mega2560_rev3.
[Kasutatud 20 mai 2024].
- [3 Oomipood, „Toiteplokk 12VDC 8.5A 100W IP20 Mean Well,” [Võrgumaterjal].
6] Available:
https://www.oomipood.ee/product/lrs_100_12_toiteplokk_12vdc_8_5a_100w_ip20_mean_well. [Kasutatud 20 mai 2024].
- [3 <https://www.oomipood.ee/>. [Võrgumaterjal].
7]
- [3 <https://www.elfadistrelec.ee/et/>. [Võrgumaterjal].
8]
- [3 <https://www.mouser.ee/>. [Võrgumaterjal].
9]
- [4 <https://www.myaluprofil.de/Aluminium-profil-20x20-groove-6-B-type.html>.
0] [Võrgumaterjal].
- [4 <https://www.wuerth.ee/et/>. [Võrgumaterjal].
1]
- [4 <https://www.bauhaus.ee/>. [Võrgumaterjal].
2]
- [4 KIKA, „NATURE'S PROTECTION KONSERVSÖÖT TÄISKASVANUD KASSIDELE VALGE
3] KALALIHAGA,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kika.ee/kataloog/nature-039-s-protection-konservsoeet-taeiskasvanud-kassidele-valge-kalalihaga/?item=1488>. [Kasutatud 13 mai 2024].

[4 KIKA, „FINNERN MIAMOR FEINE KONSERVSÖÖT TÄISKASVANUD KASSIDELE
4] KANALIHAGA,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kika.ee/kataloog/finnern-miamor-feine-konservsoeet-taeiskasvanud-kassidele-kanalihaga/?item=14856>.
[Kasutatud 13 mai 2024].

[4 KIKA, „ANIMONDA VOM FEINSTEN KONSERVSÖÖT NOORTELE KASSIDELE
5] LAMBALIHAGA,“ [Võrgumaterjal]. Available:
<https://www.kika.ee/kataloog/animonda-vom-feinsten-konservsoeet-noortele-kassidele-lambalihaga/?item=10>. [Kasutatud 13 mai 2024].

[4 BistroCat, „BistroPods,“ [Võrgumaterjal]. Available:
6] <https://getbistrocat.com/collections/cat-gourmet-food>. [Kasutatud 13 mai 2024].

[4 T. E. ToolBox, „Friction - Friction Coefficients and Calculator,“ [Võrgumaterjal].
7] Available: https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html.
[Kasutatud 17 mai 2024].

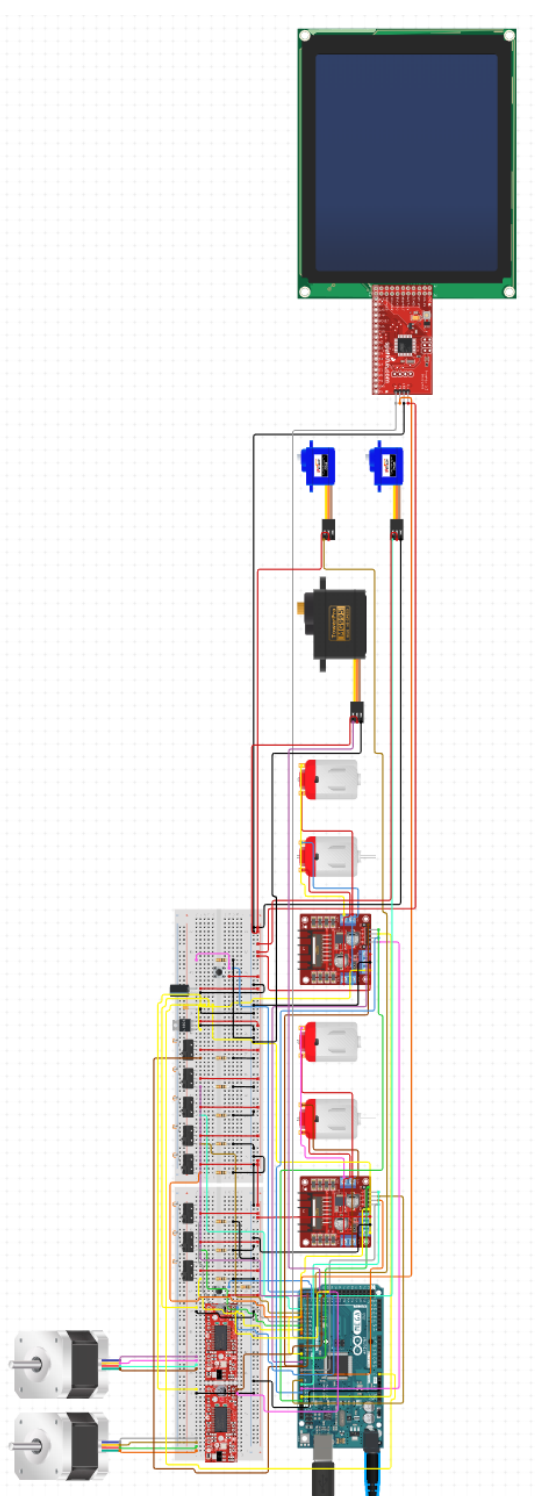
[4 E. H. P. Kulu, Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2018.
8]

LISAD

LISA 2 Ühenduskeem koos tabeliga

Table 4 I/O tabel

		Arduino pin
L298N_1	ENA	8
	EN1	7
	EN2	6
	EN3	4
	EN4	5
L298N_2	ENB	9
	ENA_1	12
	EN5	32
	EN6	4
	EN7	36
Ekraan	EN8	38
	ENB_1	13
	SCK	52
	SDA	51
	RES	43
Nupp üles	RS	45
	CS	47
	LEDA	3.3V
	Signal	35
	OK nupp	Signal
Nupp alla	Signal	31
TMC2209_1	DIR	22
	STEP	23
TMC2209_2	DIR	24
	STEP	25
Relee 1	Signal	3
Relee 2	Signal	53
Piirlülitid	SP1	26
	SP2	29
	SP3	49
	SP4	50
	SP5	41
	SP6	45
	SP7	46
	SP8	47
Servo pin	Signal1	39
	Signal2	34
	Signal3	37



LISA 3 Demo programmi kood

```
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_ST7735.h>
#include <SPI.h>
#include <Servo.h>
#include <AccelStepper.h>

#define TFT_CS      47
#define TFT_RST     43
#define TFT_DC      45
#define BUTTON_1    35
#define BUTTON_2    33
#define BUTTON_3    31
#define STEPPER1_DIR_PIN 24
#define STEPPER1_STEP_PIN 25
#define STEPPER2_DIR_PIN 22
#define STEPPER2_STEP_PIN 23
#define RELAY_PIN   3
#define SWITCH_PIN  26
#define SWITCH_PIN2 29
#define MICROSTEPS_PER_REVOLUTION 1600
#define MAX_SPEED   2000.0
#define ACCELERATION 1000.0
#define motorSpeed  200

AccelStepper stepper1(AccelStepper::DRIVER, STEPPER1_STEP_PIN, STEPPER1_DIR_PIN);
AccelStepper stepper2(AccelStepper::DRIVER, STEPPER2_STEP_PIN, STEPPER2_DIR_PIN);

const int startPositionPin = 49;
const int endPositionPin = 50;
const int motorPin1 = 7;
const int motorPin2 = 6;
const int enablePin = 8;
const int relayPin = 53;
const int servoPin = 39;
const int motorPin3 = 4;
const int motorPin4 = 5;
const int enablePinB = 9;
const int motorPin5 = 32;
const int motorPin6 = 34;
const int motorPin7 = 36;
const int motorPin8 = 38;
const int enablePinA2 = 12;
```

```

const int enablePinB2 = 13;
const int BowlStartPin = 41;

enum MotorState {
  CW, CCW, STOP
};

MotorState currentState = CW;

Adafruit_ST7735 tft = Adafruit_ST7735(TFT_CS, TFT_DC, TFT_RST);
Servo gripperServo;

int currentMenu = 0;
int currentOption = 0;
int subMenuOption = 0;

int buttonState1 = HIGH;
int lastButtonState1 = HIGH;
int buttonState2 = HIGH;
int lastButtonState2 = HIGH;
int buttonState3 = HIGH;
int lastButtonState3 = HIGH;

unsigned long lastDebounceTime = 0;
unsigned long debounceDelay = 50;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  tft.initR(INITR_BLACKTAB);
  tft.setRotation(1);
  tft.fillScreen(ST7735_BLACK);
  tft.setTextColor(ST7735_WHITE);
  tft.setTextSize(2);
  displayMenu();

  pinMode(startPositionPin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(endPositionPin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(motorPin1, OUTPUT);
  pinMode(motorPin2, OUTPUT);
  pinMode(enablePin, OUTPUT);
  pinMode(relayPin, OUTPUT);
  pinMode(motorPin3, OUTPUT);
  pinMode(motorPin4, OUTPUT);

```

```
pinMode(enablePinB, OUTPUT);
pinMode(motorPin5, OUTPUT);
pinMode(motorPin6, OUTPUT);
pinMode(motorPin7, OUTPUT);
pinMode(motorPin8, OUTPUT);
pinMode(enablePinA2, OUTPUT);
pinMode(enablePinB2, OUTPUT);
pinMode(BowlStartPin, INPUT_PULLUP);
```

```
digitalWrite(motorPin1, LOW);
digitalWrite(motorPin2, LOW);
digitalWrite(enablePin, LOW);
digitalWrite(relayPin, LOW);
digitalWrite(motorPin3, LOW);
digitalWrite(motorPin4, LOW);
digitalWrite(enablePinB, LOW);
digitalWrite(motorPin5, LOW);
digitalWrite(motorPin6, LOW);
digitalWrite(motorPin7, LOW);
digitalWrite(motorPin8, LOW);
digitalWrite(enablePinA2, LOW);
digitalWrite(enablePinB2, LOW);
```

```
currentState = STOP;
gripperServo.attach(servoPin);
gripperServo.write(90);
```

```
pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
pinMode(SWITCH_PIN, INPUT_PULLUP);
pinMode(SWITCH_PIN2, INPUT_PULLUP);
digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
```

```
stepper1.setMaxSpeed(MAX_SPEED);
stepper1.setAcceleration(ACCELERATION);
stepper2.setMaxSpeed(MAX_SPEED);
stepper2.setAcceleration(ACCELERATION);
}
```

```
void loop() {
  handleButtons();
  controlMotors();
}
```

```
void handleButtons() {
```

```

int reading1 = digitalRead(BUTTON_1);
int reading2 = digitalRead(BUTTON_2);
int reading3 = digitalRead(BUTTON_3);

if (reading1 != lastButtonState1) lastDebounceTime = millis();
if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {
  if (reading1 != buttonState1) {
    buttonState1 = reading1;
    if (buttonState1 == LOW) moveUp();
  }
}

if (reading2 != lastButtonState2) lastDebounceTime = millis();
if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {
  if (reading2 != buttonState2) {
    buttonState2 = reading2;
    if (buttonState2 == LOW) okButtonPressed();
  }
}

if (reading3 != lastButtonState3) lastDebounceTime = millis();
if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {
  if (reading3 != buttonState3) {
    buttonState3 = reading3;
    if (buttonState3 == LOW) moveDown();
  }
}

lastButtonState1 = reading1;
lastButtonState2 = reading2;
lastButtonState3 = reading3;
}

void controlMotors() {
  switch (currentState) {
    case CW:
      digitalWrite(motorPin1, HIGH);
      digitalWrite(motorPin2, LOW);
      analogWrite(enablePin, motorSpeed);
      if (digitalRead(startPositionPin) == LOW) currentState = CCW;
      break;
    case CCW:
      digitalWrite(motorPin1, LOW);
      digitalWrite(motorPin2, HIGH);

```

```

    analogWrite(enablePin, motorSpeed);
    if (digitalRead(endPositionPin) == LOW) currentState = CW;
    break;
case STOP:
    digitalWrite(motorPin1, LOW);
    digitalWrite(motorPin2, LOW);
    analogWrite(enablePin, 0);
    break;
}
}

```

```

void displayMenu() {
    tft.fillScreen(ST7735_BLACK);
    tft.setTextSize(2);

    if (currentMenu == 0) {
        displayMainOptions();
    } else if (currentMenu == 1) {
        displayDemoOptions();
    } else if (currentMenu == 2) {
        displayCutterOptions();
    } else if (currentMenu == 3) {
        displayPackageOptions();
    } else if (currentMenu == 4) {
        displayPlatformOptions();
    } else if (currentMenu == 5) {
        displayGripperOptions();
    } else if (currentMenu == 6) {
        displayBowlOptions();
    } else if (currentMenu == 7) {
        displayDryFoodOptions();
    }
}
}

```

```

void displayMainOptions() {
    if (currentOption == 0) tft.setTextColor(ST7735_GREEN);
    else tft.setTextColor(ST7735_WHITE);
    tft.setCursor(10, 20);
    tft.println("AUTOMAATNE");

    if (currentOption == 1) tft.setTextColor(ST7735_GREEN);
    else tft.setTextColor(ST7735_WHITE);
    tft.setCursor(10, 50);
    tft.println("DEMO");
}

```



```

}

void displayDemoOptions() {
    const char* menuOptions[] = {"..back", "Platform", "Package", "Cutter", "Gripper", "Bowl", "Dry food"};
    int numOptions = sizeof(menuOptions) / sizeof(menuOptions[0]);
    int startY = 20;
    int lineHeight = 20;
    int maxOptionsPerPage = (tft.height() - startY) / lineHeight;
    int startIndex = max(0, min(subMenuOption - (maxOptionsPerPage / 2), numOptions -
maxOptionsPerPage));

    for (int i = 0; i < maxOptionsPerPage; i++) {
        int index = startIndex + i;
        if (index == subMenuOption) tft.setTextColor(ST7735_GREEN);
        else tft.setTextColor(ST7735_WHITE);
        tft.setCursor(10, startY + i * lineHeight);
        if (index < numOptions) tft.println(menuOptions[index]);
    }
}

void displayCutterOptions() {
    const char* cutterOptions[] = {"TURN ON", "TURN OFF"};
    int numOptions = sizeof(cutterOptions) / sizeof(cutterOptions[0]);

    for (int i = 0; i < numOptions; i++) {
        if (i == subMenuOption) tft.setTextColor(ST7735_GREEN);
        else tft.setTextColor(ST7735_WHITE);
        tft.setCursor(10, 20 + i * 20);
        tft.println(cutterOptions[i]);
    }
}

void displayPackageOptions() {
    tft.fillScreen(ST7735_BLACK);
    tft.setCursor(10, 10);
    tft.setTextColor(ST7735_WHITE);
    tft.println("Package Options:");
}

void displayPlatformOptions() {
    tft.fillScreen(ST7735_BLACK);
    tft.setCursor(10, 10);
    tft.setTextColor(ST7735_WHITE);
    tft.println("Platform Options:");
}

```

```

}

void displayGripperOptions() {
    tft.fillScreen(ST7735_BLACK);
    tft.setCursor(10, 10);
    tft.setTextColor(ST7735_WHITE);
    tft.println("Gripper Options:");
}

void displayBowlOptions() {
    tft.fillScreen(ST7735_BLACK);
    tft.setCursor(10, 10);
    tft.setTextColor(ST7735_WHITE);
    tft.println("Bowl Options:");
}

void displayDryFoodOptions() {
    tft.fillScreen(ST7735_BLACK);
    tft.setCursor(10, 10);
    tft.setTextColor(ST7735_WHITE);
    tft.println("Dry Food Options:");
}

void moveUp() {
    if (currentMenu == 0) {
        currentOption = (currentOption - 1 + 2) % 2;
    } else if (currentMenu == 1) {
        subMenuOption = (subMenuOption - 1 + 7) % 7;
    } else if (currentMenu == 2) {
        subMenuOption = (subMenuOption - 1 + 2) % 2;
    }
    displayMenu();
}

void moveDown() {
    if (currentMenu == 0) {
        currentOption = (currentOption + 1) % 2;
    } else if (currentMenu == 1) {
        subMenuOption = (subMenuOption + 1) % 7;
    } else if (currentMenu == 2) {
        subMenuOption = (subMenuOption + 1) % 2;
    }
    displayMenu();
}

```

```

void okButtonPressed() {
  if (currentMenu == 0) {
    if (currentOption == 0) {
      currentMenu = 1;
      currentOption = 0;
    } else if (currentOption == 1) {
      currentMenu = 1;
      subMenuOption = 0;
    }
  } else if (currentMenu == 1) {
    if (subMenuOption == 0) {
      currentMenu = 0;
      currentOption = 0;
    } else if (subMenuOption == 1) {
      currentMenu = 4;
    } else if (subMenuOption == 2) {
      currentMenu = 3;
    } else if (subMenuOption == 3) {
      currentMenu = 2;
      subMenuOption = 0;
    } else if (subMenuOption == 4) {
      currentMenu = 5;
    } else if (subMenuOption == 5) {
      currentMenu = 6;
    } else if (subMenuOption == 6) {
      currentMenu = 7;
    }
  } else if (currentMenu == 2) {
    if (subMenuOption == 0) {
      digitalWrite(relayPin, HIGH);
    } else if (subMenuOption == 1) {
      digitalWrite(relayPin, LOW);
    }
  }
  displayMenu();
}

```

GRAAFILINE OSA

- 1) ACFD-000.000 Automaatsöötur koost
- 2) ACFD-001.000 Raami alamkoost
- 3) ACFD-002.000 Platvormi korpuse alamkoost
- 4) ACFD-003.000 Pakendi lükkaja alamkoost
- 5) ACFD-004.000 Pakendi hoidja alamkoost
- 6) ACFD-005.000 Pakendi avaja alamkoost
- 7) ACFD-006.000 Toidunõu alamkoost
- 8) ACFD-007.000 Krõbinate dosaatori alamkoost
- 9) ACFD-008.000 Platvormi mootori alamkoost