



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonika instituut

Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MHK40LT

Ott Õismaa

Toiduainete kaalumisseade väiketootjale

Bakalaureusetöö

Autor taotleb
tehnikateaduste bakalaureuse
akadeemilist kraadi

Tallinn

2014

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Leo Teder'i juhendamisel

“.....”201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....”201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”201... a.

..... allkiri

BAKALAUREUSETÖÖÜLESANNE

2014 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Ott Õismaa

Õppekava: MAHB02/09

Eriala: Mehhatroonika

Juhendaja: assistent Leo Teder (amet, nimi)

Konsultandid: (nimi, amet, telefon)

.....

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Toiduainete kaalumisseade väiketootjale

(inglise keeles) Food weigher for small manufacturers

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Ülesande püstitus. Erinevate kaalumisseadmete tööpõhimõtete ja tehniliste näitajatega tutvumine. Esmaste jooniste koostamine.	24.03.14
2.	Seadme konstruktsioonimaterjalide ja elektroonikakomponentide analüüs ja valik. Tehniliste detaili- ja koostejooniste koostamine	14.04.14
3.	Prototüübi ehitamine. Programmikoodi koostamine.	05.05.14
4.	Seadme testimine, häälestamine.	12.05.14
5.	Töö lõplik vormistus.	19.05.14

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Lõputöö eesmärgiks on projekteerida seade toiduainete pakendamise hõlbustamiseks. Töö käigus uuritakse olemasolevaid kaalumisseadmeid ning leitakse majanduslikult otstarbekas lahendus väiketootjatele kasutamiseks.

Täiendavad märkused ja nõuded:.....

Töö keel: eesti

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt

Töö esitamise tähtaeg.....

Üliõpilane /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöörde

SISUKORD

EESSÕNA.....	6
1. SISSEJUHATUS	7
2. SEADME KONTSEPTSIOON	9
3. MATERJALIDE VALIK.....	10
3.1 Toidutööstuse materjalidest üldiselt.....	10
Konstruktsioonimaterjalid	10
Konveierlindid.....	10
3.2 Konstruktsioonimaterjali valik	11
3.3 Konveierlindi materjali valik.....	11
4. SEADME MEHAANIKA	12
4.1 Konstruktsiooni kandvad elemendid	12
4.2 Mahuti	13
4.3 Konveier	14
Eesmised rullid.....	14
Tagumised rullid.....	16
Lindi pingutamine	17
Lindi toetamine.....	18
Konveieri ääreribad	19
4.4 Kaalutav nõu ja selle kinnitamine	20
Nõu kinnitusõlg	21
4.5 Luugid	22
4.6 Siluja.....	23
4.7 Kasutajaliides	24
4.8 Muud mehaanilised osad.....	25
Servode kinnitamine.....	25
Kaalutava nõu järgne lehter.....	26
Tugitaldmikud	26
4.9 Lehtmetalli töötlemine	27
5. SEADME ELEKTROONIKA	28
5.1 Andur.....	28
Nõuded seadme andurile	28
Jõuanduri kirjeldus ja tööpõhimõte	28
Wheatstone'i silla kirjeldus	29

Instrumentatsioonivõimendi	30
5.2 Kontroller	31
Nõuded kontrolleriile.....	31
Kontrolleri valik	31
5.3 Servomootorid.....	32
Konveieri mootorite valik.....	33
Luukide mootorite valik	34
5.4 Kasutajaliides	35
Nõuded kasutajaliidesele	35
Vedelkristallekraan.....	35
Lülitid	36
5.5 Passiivkomponendid.....	37
5.6 Toiteallikas	37
6. SEADME JUHTIMINE.....	38
6.1 Seadme juhtimise idee.....	38
6.2 Programmikoodi selgitus.....	39
7. MAJANDUSLIK ANALÜÜS	41
KOKKUVÕTE.....	43
SUMMARY	44
ALLIKATE LOETELU	45
LISAD	46
L1. Joonis seadme gabariitmõõtmetega.....	46
L2.1 Koostu 3D vaade 1	47
L2.2 Koostu 3D vaade 2	48
L3. Elektroonikaskeem	49
L4. Programmikood	50

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema on pakutud Medifur OÜ poolt. Valisin antud teema, sest see käsitleb selgelt mehhatroonika kolme põhivaldkonda - nii mehaanikat, elektroonikat kui ka programmeerimist. Veelgi motiveeris mind selle tööga tegelema asjaolu, et projekteeritavast seadmest valmib ka reaalne prototüüp, mis leiab kasutust ettevõtte igapäevases tootmises.

Sooviksin tänada OÜ Raudveli juhtkonda konsultatsioonide ja abi eest seadme arendamise käigus.

1. SISSEJUHATUS

Ettevõtted, mis tegelevad toiduainete tootmise või käitlemisega, puutuvad igapäevaselt kokku enda toodete pakkimisega ning seejuures peab igasse pakendisse jõudma kindel kogus. Kasutades inimtööjõudu, võib pakkimine kui tootmise osa, kujuneda mõnel juhul sama palju aega nõudvaks, kui toote enda valmistamisprotsess. Seepärast on suuremates vabrikutes kasutusel tööstuslikud doseerimisliinid, mis suudavad automaatselt toote kaaluda ning pakendada.

Olemas on erinevaid kaalumisseadmeid, millest levinumad on ühe- ja mitmepealised kaalumisseadmed. Nende puhul kasutatakse enamasti konveierlinte või vibratsiooni toote kandmiseks kaalutava mahutini. Kui toote mass saavutab eelnevalt määratud massi, lõpetab seade konveieri või vibroajami töö ning toode seiskub. Mahutit on seejärel võimalik avada, et viia õige kogus toodet pakendisse. Kaalutavate mahutite arvu järgi ühe seadme kohta liigitatakse seadmeid ühepealisteks ja mitmepealisteks.



Sele 1.1. Tööstuslik mitmepealine kaalumisseade

Taoliste tööstuslike kaalumisseadmete hinnad ulatuvad kümnetesse tuhandetesse eurodesse, mistõttu osutuvad need liiga kulukaks paljudele väikestele ettevõtetele. Isegi kui suudetaks soetada masin ise, tuleb arvestada lisakulutustega. Näiteks kasutatakse suurtes toiduainetööstustes laialdaselt pneumoajameid. Väiketootjal ei tasu hakata ühe-kahe aparadi pärast investeerima veel lisaks kompressorile, suruõhutorustikule jne. Väiketootjad on seetõttu sunnitud oma toodangu pakendama käsitsi, kuigi see piirab ettevõtte tootlikkust, mis omakorda muudab tootmise ettevõttele kallimaks.

Seega on tekkinud nõudlus seadme järele, mis täidab järgmised kriteeriumid:

- suudab üldisest tootemassist eraldada operaatori poolt kindlaks määratud osa.
- kasutab vaid elektriajameid
- on teisaldatav
- on suhteliselt kompaktne, s.t paigaldatav tavamõõtudes töölauale
- hind on väiketootjale jõukohane

Antud töö eesmärgiks on luua seade kuivade toiduainete pakkimise hõlbustamiseks, mis täidab eelnevalt mainitud punktid.

Töö teostamisel on kasutatud järgnevaid programme:

- SolidWorks 2013, 3D projekteerimiseks
- Eagle CAD, elektroonikaskeemi joonestamiseks
- Arduino IDE, mikrokontrolleri programmeerimiseks

2. SEADME KONTSEPTSIOON

Käesolevas töös projekteeritav seade põhineb mõnevõrra olemasolevatel kaalumisseadmetel. Näiteks kasutab loodav seade samuti konveierit toote liigutamiseks ning jõuandurit massi määramiseks. On ka olulised erinevused, mis tulenevad sissejuhatuses mainitud kriteeriumitest.

Lähtudes kompaktsuse põhimõttest tekkis idee nihutada tavapärase kaalumisliini osi kokkupole. Seetõttu on paigutatud pakendatava toote mahuti seadme teistest osadest kõrgemale ja pööratuna 180° võrra nii, et mahuti ava on suunatud seadme tagumisse suunda (vt lisa 2). Selline paigutus võimaldab kasutada seadme paigaldamiseks oluliselt vähem ruumi.

Mahutist liigub toode edasi kahest iseseisvast ja eraldi juhitud lindist koosnevale konveierile. Lindid on erinevate laiustega. Suurem lint moodustab konveieri kogulaiusest 2/3 ja väiksem 1/3. Seade programmeeritakse nii, et kui kaalutavas nõus on vähem kui 90 % kasutaja poolt määratud massist, liiguvad mõlemad linnid. Saavutades 90 % lakkab suurem konveieri pool töötamast. Viimase 10 % vältel töötab üksinda väiksem pool, kust tuleb toodet vähem korraga peale. Nii saavutatakse suurem täpsus toote doseerimisel, võrreldes üheainsa lindi kasutamisega. Konveiereid eraldab vaheplaat, millel on oma roll veel ka konveieri detailide kinnitumisel. Eraldi on süsteem konveierilintide pingutamiseks.

Konveieri lõpus paikneb kaalutav nõu, mille massi kontrollimine toimub jõusensori abil. Jõusensorilt saadavat infot töötleb mikrokontroller ning juhib vastavalt sellele konveierite tööd. Kaalutavast nõust on võimalik peale õige koguse saavutamist toode välja lasta, vajutades jalgpedaalile. Kaalutava nõu alla on kinnitatud koonusekujuline lehter, mida mööda vajub toode pakendisse.

3. MATERJALIDE VALIK

3.1 Toidutööstuse materjalidest üldiselt

Antud seadme projekteerimisel on oluline arvestada toiduainete käitlemise hügieeninõuetega. See asjaolu on esmane ja kõige olulisem piirang seadme materjalide valikul. Seadme detailid peavad olema valmistatud materjalist, mis kokkupuutel toiduga ei mõjutaks toidu koostist ega kvaliteeti mitte mingil moel.[1]

Toiduga kokkupuutuvate masinate ja pindade materjali puhul on olulised parameetrid kulumiskindlus ja pinnakaredus. Vähene pinnakaredus on oluline, et toiduosakesed ei satuks pinna konaruste vahele, kuhu kinni jäädes võivad tekkida inimese tervisele ohtlikud ained. Kulumiskindluse tähtsus on seotud pinnakaredusega – materjali kuludes pinnakaredus suureneb, tekivad konarused ja praod.[2]

Konstruksioonimaterjalid

Toidutööstuses on laialdaselt kasutusel roostevaba teras, millel on võrreldes tavaterasega suurem kulumis- ja korrosioonikindlus. Roostevaba terast on kerge puhastada. Levinumateks roostevabade teraste tüüpideks on AISI 304 ja 316. Nende kahe terase erinevus seisneb happeskindluses, kus 316-terasel on see näitaja parem. Seetõttu on 316-teras ka hinna poolest kallim.[3]

Konveierlindid

Konveierlinte, mis täidavad hügieeninõudeid, valmistatakse peamiselt kolme tüüpi materjalidest. [4]

- Roostevaba teras – Kasutatakse eelmainitud omaduste pärast; neist kolmest kõige kallim.
- Kummid – Kõige odavam variant. Peab vastu tihedale puhastamisele, kuid on teiste valikus olevate materjalidega võrreldes suurema imavusega. Selle tulemusena jääb rohkem toiduosakesi kinni materjali sisse, põhjustades hügieeni languse.

- Termoplastid – Tänapäeval laialdaselt levinud lindimaterjal. Seda iseloomustavad suur kõvadus, tihedus, sitkus. Väikese pinnakaredusega ning lihtsasti puhastatavad. Erinevalt kummidest ei ole nad imavad. Puuduseks on vähene temperatuuritaluvus.

3.2 Konstruksioonimaterjali valik

Kuna antud seadmele pole tarvis suurt happekindlust, osutub valituks AISI 304 roostevaba teras.

Tabel 3.1. AISI 304 tähtsamad parameetrid[5]

Tihedus, g/cm ³	8000
Kõvadus, Vickers	129
Tõmbetugevus, MPa	505
Voolepiir, MPa	215
Elastsusmoodul, GPa	193...200

3.3 Konveierlindi materjali valik

Antud seadmele sobivaimad lindi materjalid oleksid termoplastid, sest nad on teraslintidest odavamad, kuid ei jää samas hügieeninõuete ega vastupidavuse poolest märgatavalt alla.

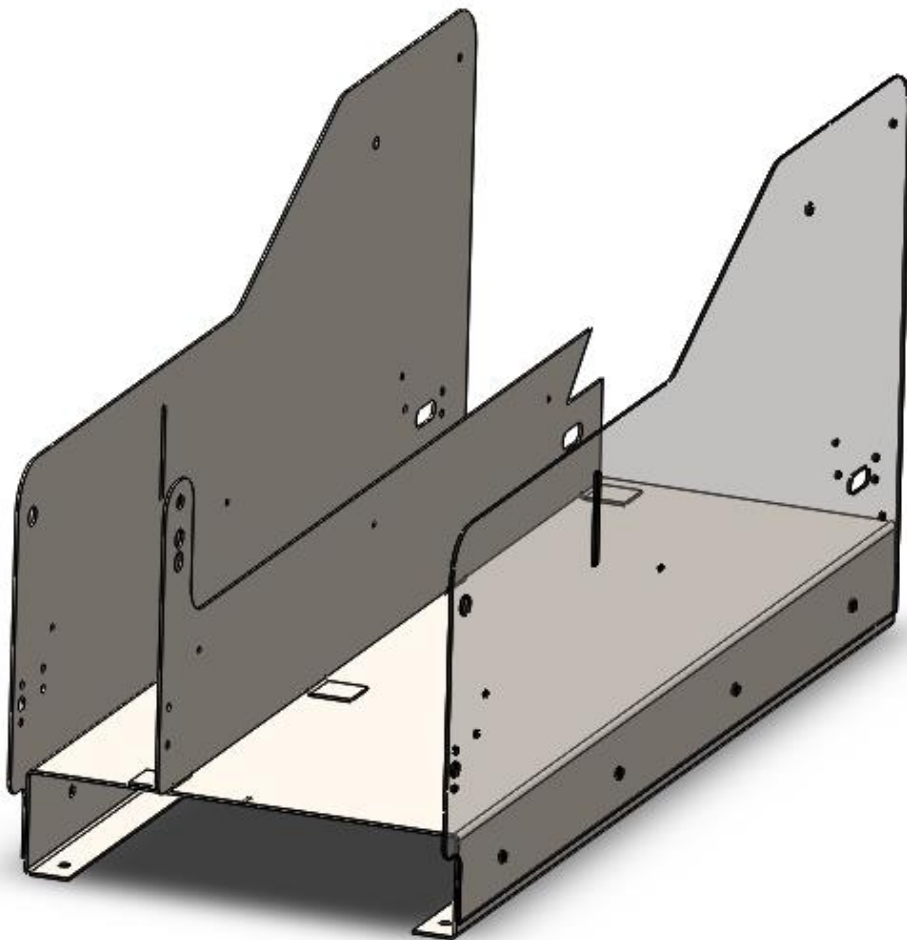
Konkreetne materjal, mis valituks osutus, on polüuretaanil põhinev termoplast 2PU-W-FDA.[6]

4. SEADME MEHAANIKA

Järgnevalt on kirjeldatud seadme mehaanika tähtsamaid sõlmi. Terve seadme koostu kolmemõõtmelisi vaateid võib näha lisan 2.

4.1 Konstruktsiooni kandvad elemendid

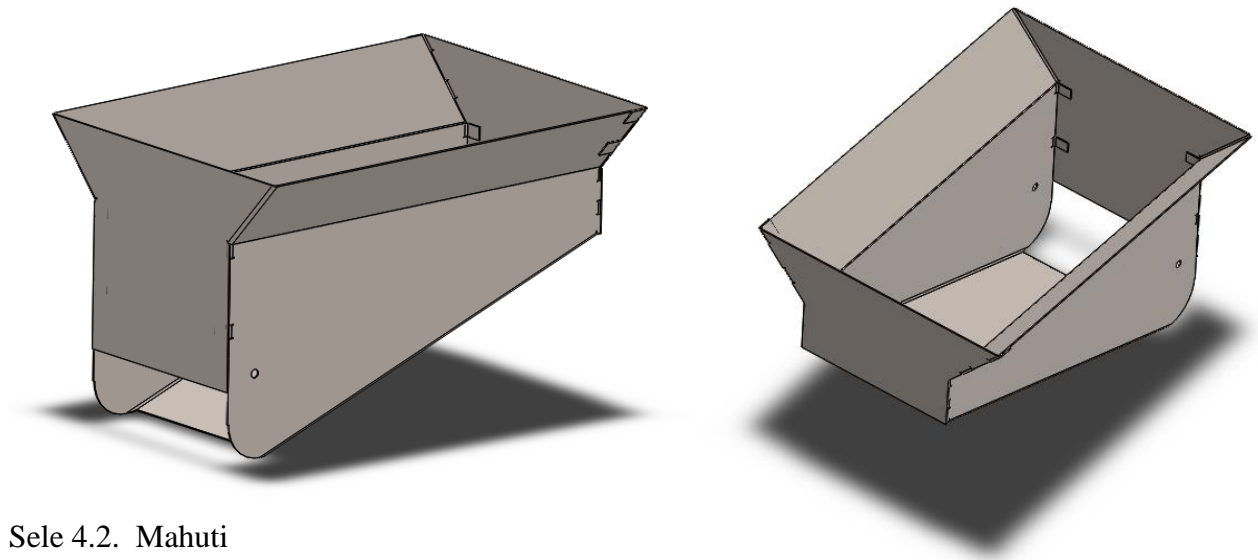
Kogu seadme ülejäänud mehaanika on seotud nelja kandva osa poolt – alusraam, vaheplaat ning kaks külgsplaati.



Sele 4.1. Konstruktsiooni kandvad osad

4.2 Mahuti

Pakendatava toote mahuti on esimeseks etapiks toote teel läbi seadme. Toote laadimine mahutisse käib pealt. Mahuti on disainitud nii, et oleks tagatud toote optimaalne libisemine mööda kaldpinda konveieri peale. Välditud on toote võimalikke kuhjumiskohti, mis takistaks ühtlase pealevoolu lindile.



Sele 4.2. Mahuti

Mahuti ja konveierlinte eraldava plaadi külge kinnitub käsitsi juhitud gaasivedru, millega saab reguleerida mahuti kaldenurka konveieri suhtes. Gaasivedru käigupikkuseks on 80 mm. Mahuti ava ette lisandub veel eraldi reguleeritav siiber, millega reguleeritakse ava kitsamaks ja laiemaks. Need reguleerimisvõimalused on mõeldud tõstmaks seadme universaalsust erinevate omadustega toodete pakendamisel.

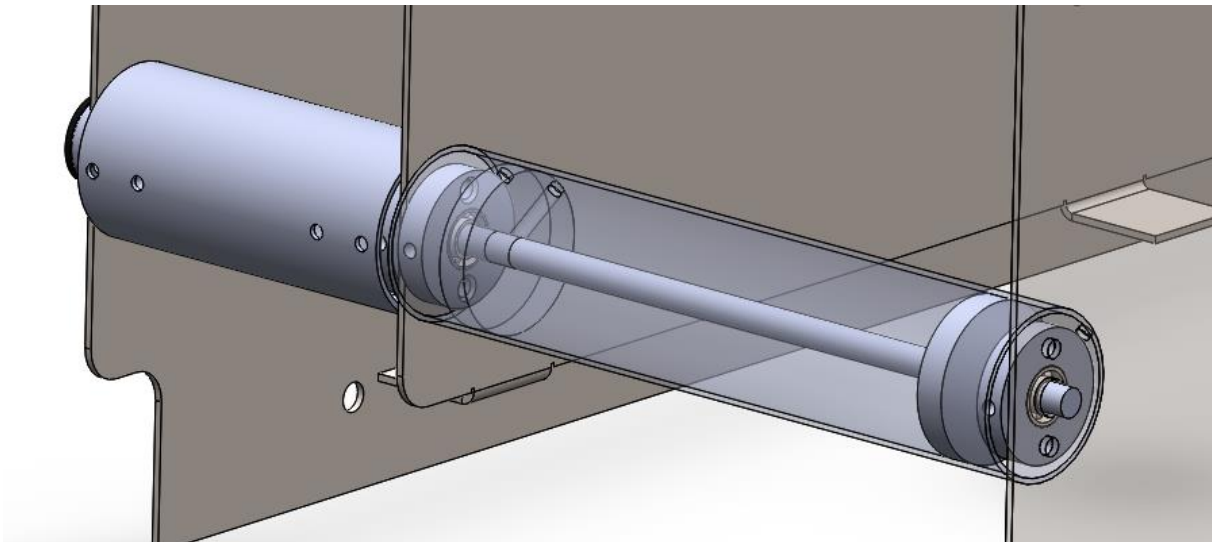
Külgedel olevad avad, mille läbi kinnitub mahuti külgplaatide külge on sihilikult paigutatud väljapoole ava kõrval oleva külgpinna raadiuse tsentrit. Niisugune paigutus võimaldab gaasivedruga kaldenurga muutmisel ka mahuti ja konveierilindi vahelise kauguse muutumist, mis lubab veelgi paremini seada toote juurdevoolu.

4.3 Konveier

Peale mahutist välja vajumist liigub toode edasi mööda konveierit. Konveieri kandvateks elementideks on rullid ja plaadid, millele toetub transportöörlint. Seadme projekteerimisel esines rullidega seoses probleem. See seisnes asjaolus, et rullid peavad saama vabalt pöörelda, üks teisest sõltumata ning samal ajal peab olema võimalik ühendada võllid ajamitega, et kanda üle pöördemomenti. Kui kinnitada rullid laagritele ning viia läbi laagrite ühine telg, mis kinnitub mõlemast otsast külgplaatide külge, saavad rullid küll iseseisvalt pöörelda, kuid neid väljastpoolt ajamitega ühendada pole võimalik.

Eesmised rullid

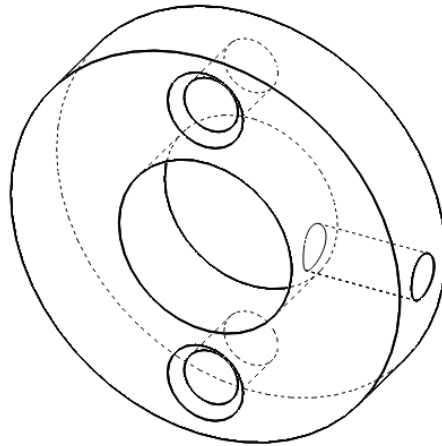
Eesmistele rullidele puhul sai probleem järgneva lahenduse.



Sele 4.3. Konveieri eesmised rullid lõikes

Rulliks on 3 mm seinapaksusega toru. Selle toru sisse lähevad mõlemast otsast teatud kaugusele toru sisse kaks 10 mm paksusega seibi. Seibi välisläbimõõt ühtib toru siseläbimõõduga ning seibi siseläbimõõt ühtib võlli läbimõõduga. Seibidele on piki raadiust puuritud läbi ava ja ka keere. See keermega ava on vajalik, et omavahel ühendada toru, võll ja seib. Kuna rulli peal jookseb lint, kasutatakse ilma peata seadekruvisid. Sellega on võll kinnitatud jäigalt rulli välise toruga.

Rullide pöörlemise võimaldamiseks on kasutusel kuullaagrid 638/8-Z. Laagrid kinnitatakse külgplaatide ja vaheplaadi külge laagripukkide abil. Laagrite fikseerimine puki sees käib sarnaselt toru ja võlli kinnitamisega, kasutades seadekruve. Laagripukkide mõõtmed on sellised, et nad mahuvad rulli toru otsast sisse, s.t. rull saab ümber puki vabalt pöörelda. Jäetud on ka paar millimeetrit varu rulli ja puki vahele, võimalike ebatäpsustega arvestamiseks töötlemisel või koostamisel.[7]

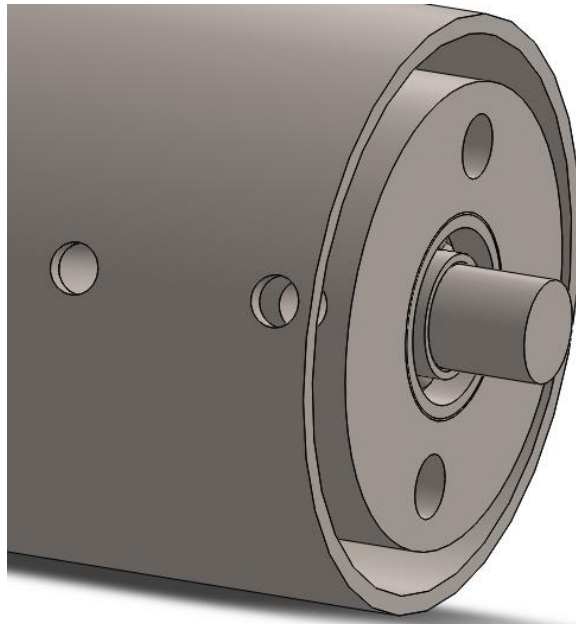


Sele 4.4. Eesmise võllide laagripukk

Rulli võll on tehtud piisava varuga, et ta ulataks läbi külgplaadi välja ning sellega ongi võimaldatud samal teljel paiknevate võllide sõltumatu pöörlemine nii, et on võimalik ühendada võll külgplaatide vahelt väljaspool asuva ajamiga.

Laagripukkide kinnitusavad on seest keerrestatud, mis võimaldab kinnitada pukid ilma mutriteta. Niiviisi hoitakse kokku ruumi puki ja rulli toru vahel. Lisaks on pukkide monteerimine lihtsam.

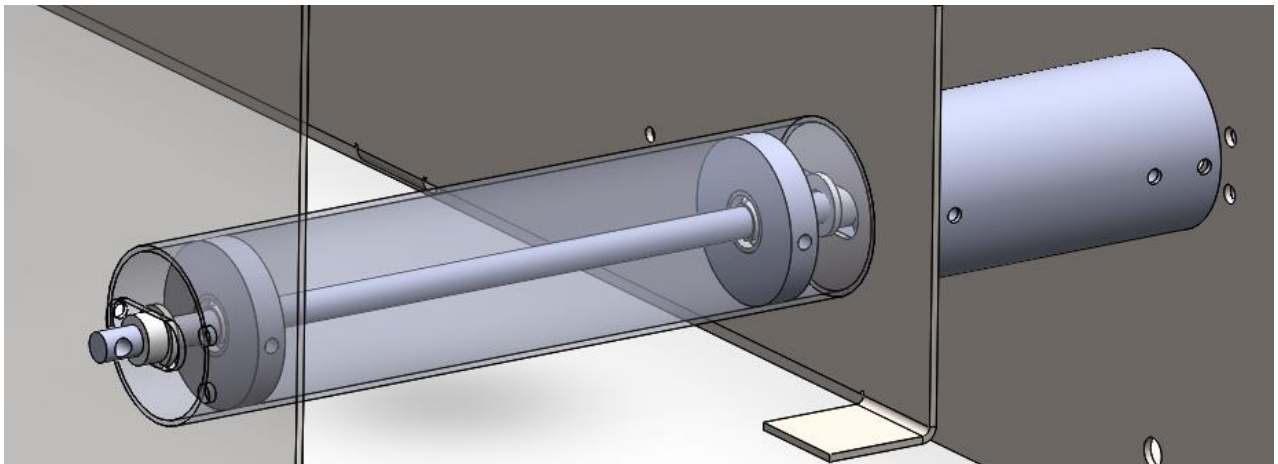
Rullide torude äärtesse on tehtud lisaavad monteerimise hõlbustamiseks. Näiteks, kui on tarvis rullid vaheplaadi küljest demonteerida, ei oleks võimalik seda teha ilma rulli telge laagri seest välja tõmbamata. Tänu lisaavadele on võimalik rull keerata käsitsi sellisesse asendisse, kus toru ava on kohakuti laagripuki avaga ning on võimalik kruvikeerajaga ligi saada laagri seadekruvile.



Sele 4.5. Montaaži hõlbustamiseks mõeldud lisaava toru äärel

Tagumised rullid

Tagumiste rullide lahendus on tunduvalt lihtsam, sest rullide telg ei pea kaasa pöörlema ning see võib olla kahe rulli peale ühine.



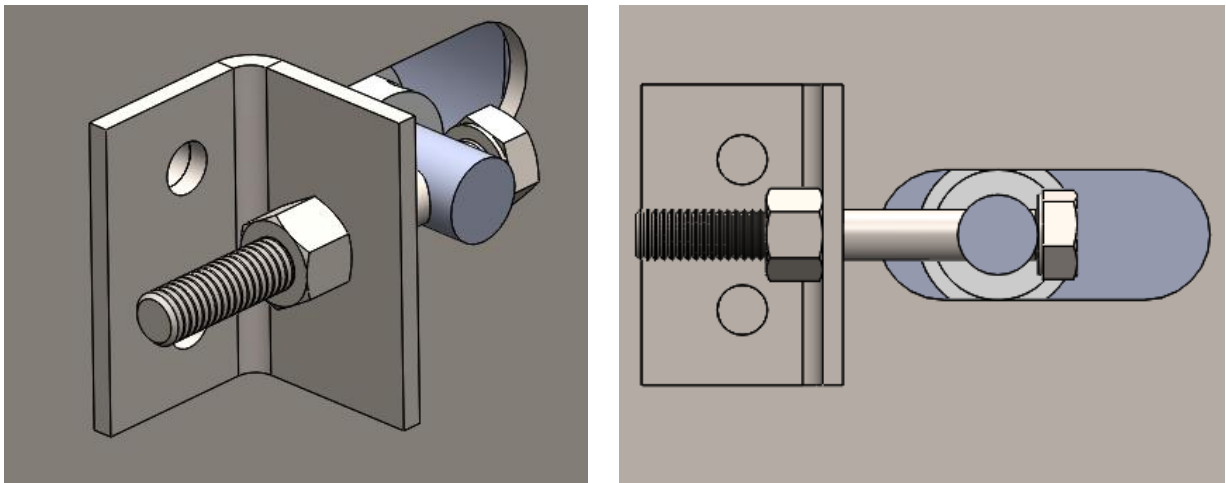
Sele 4.6. Konveieri tagumised rullid lõikes

Siin on laagrid kinnitatud ühise telje peale, mis ulatub läbi kõigi kolme plaadi. Nüüd kasutatakse laagripukke, mis kinnituvad jäigalt toru suhtes ning pöörlevad sellega kaasa.

Lindi pingutamine

Isegi täiesti uus konveierlint ei pruugi olla täpselt mõõdus, seega fikseeritud kaugusega rullidele linti peale pannes võib see osutada liiga lühikeseks või liiga pikaks. Samuti lint venib kasutamise tagajärjel.

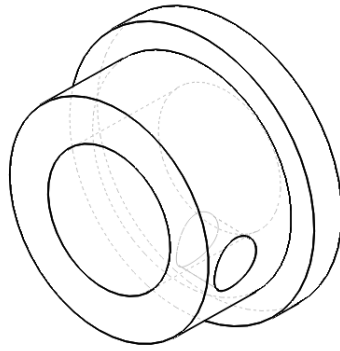
Seega vajab konveier võimalust esimese ja tagumise rulli telje vahekauguse muutmiseks. Selle teostamiseks on välja pakutud järgnev süsteem.



Sele 4.7. Pingutussüsteem

Lindi pingutamiseks tõmmatakse pingule tagumiste rullide telg. Telje nihutamiseks on külgsplaatide ja vaheplaadi sees vastavad sooned, kus telge on võimalik liigutada edasi-tagasi. Telje sees on ava, kust läheb läbi M5 polt. See polt läbib veel 2 mm paksusest teraslehest painutatud kinnitusnurka, mis on omakorda kinnitatud (poltide või neetidega) külgsplaadi külge.

Keerates nüüd poldile lukustiga mutter, on võimalik reguleerida konveierlindi pingutust vastavalt vajadusele. Eelnevalt kirjeldatud konstruktsioon on seadme mõlemal küljel, et ühtlustada teljele mõjuvat koormust.

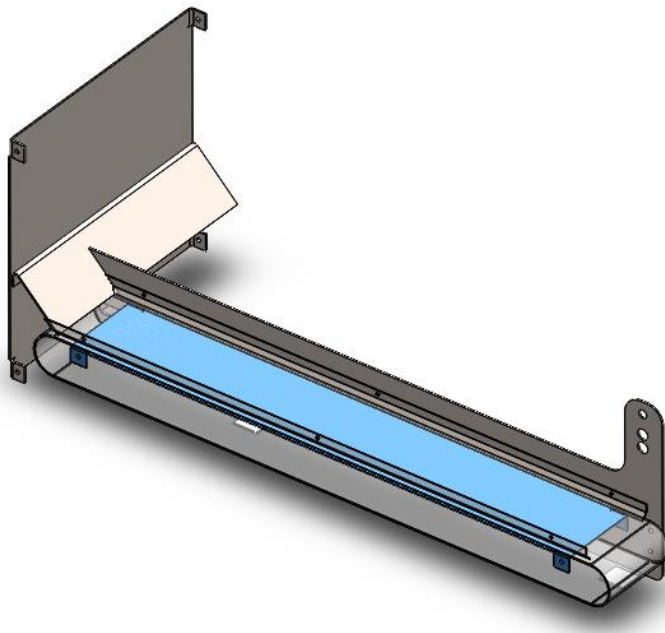


Sele 4.8. Liugpuks

Telje ja soone ühenduselementideks on liugpuksid, mis on kasutusel ka paljudes teistes seadme sõlmedes. Nende pukside abil tagatakse ka tagumise telje paralleelsus esimese telje suhtes – fikseerides puksid seadekruvidega telje külge. Nii takistavad puksi pinnad, mis on paralleelsed külgplaadiga, tagumist telge liikumast paralleelasendist välja.

Lindi toetamine

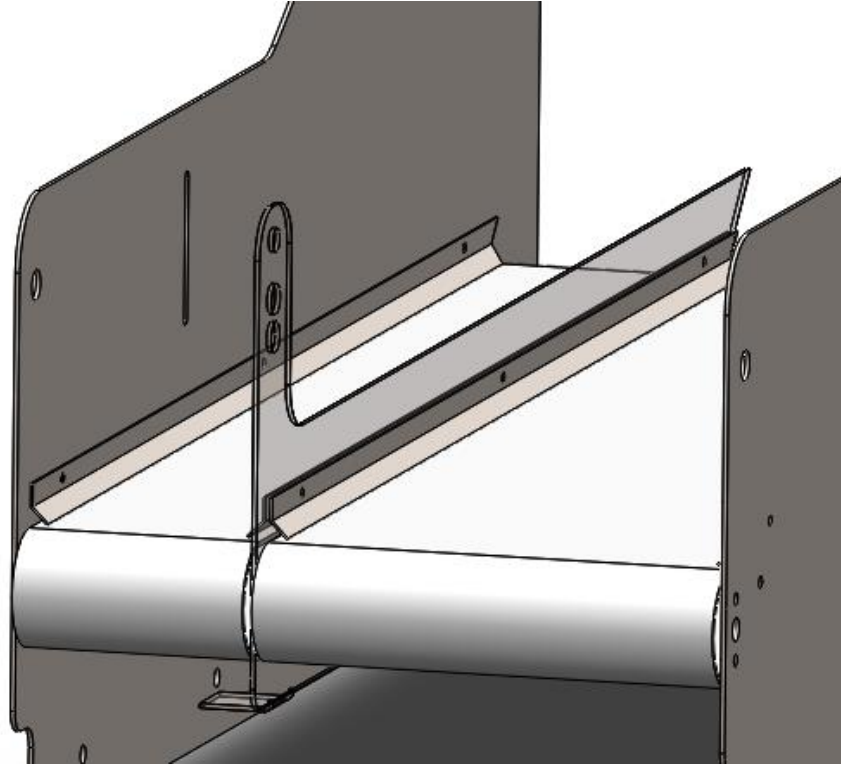
Lint on toetatud lisaplaadiga, mis on kinnitatud kül- ja vaheplaadi vahele. Nii viisi ei teki lindi läbivajumist koormamisel.



Sele 4.9. Transportöörlindi toetusplaadi paiknemine

Konveieri ääreribad

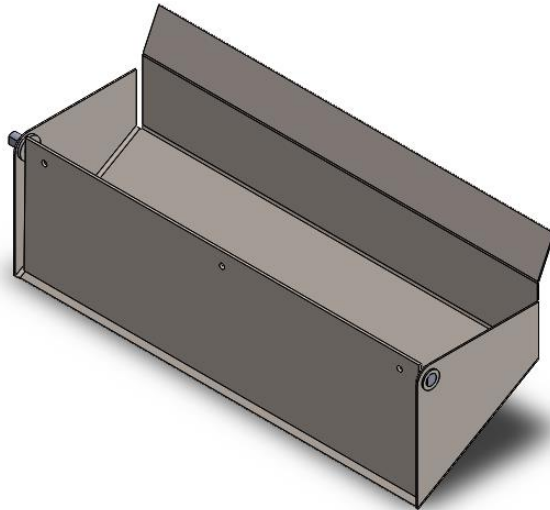
Konveieri töö käigus võivad toote osakesed sattuda lindi ja külgplaadi vahele. Selle vältimiseks on linte ääristavate plaatide küljes 45° all painutatud nurgad, mis takistavad tootel sattumast üle lindi külgmise ääre. Vahe riba ja lindi vahel on 0,5 mm.



Sele 4.10. Ribade paiknemine lintide äärtel

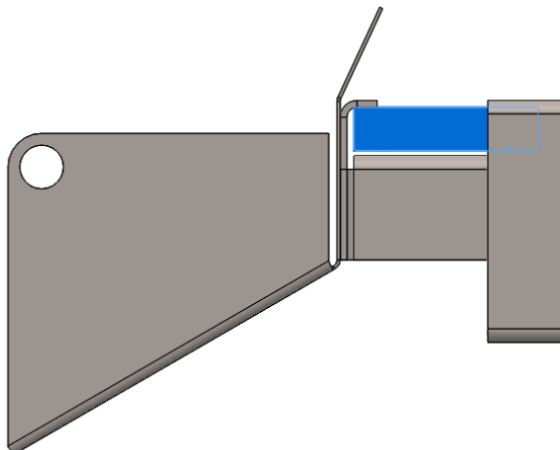
4.4 Kaalutav nõu ja selle kinnitamine

Kaalutav nõu käitub seadmes puhvrina, kuhu kogutakse pakendatav tootekogus. Nõu on paigutatud nii, et konveieri lõppedes kukub toode mõlemalt lindilt nõu sisse. See on valmistatud 1 mm paksusega lehtmaterjalist. Oluline on, et nõu mass oleks võimalikult väike, et jõusensorile mõjuks võimalikult vähene pidev koormus.



Sele 4.11. Kaalutav nõu koos luugiga

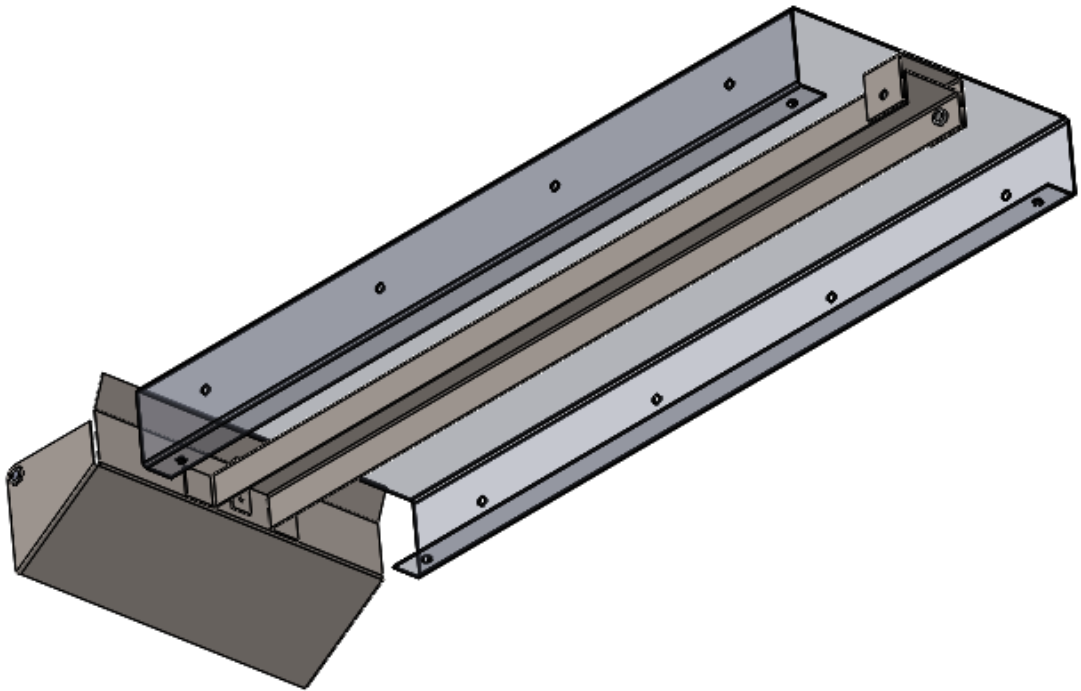
Kaalutav nõu on projekteeritud nii, et toode vajuks raskusjõu toimel nõust välja, kui luuk on avatud asendis. Selleks on põhi tehtud 30° kaldega. Nõu külgedele on tehtud avad kuhu kinnitub luuki liigutav võll koos liugpuksidega. Nõu tagumist seina on pikendatud ja painutatud tahapoole, vältimaks toote kukkumist konveieri ja nõu vahele. Nõu toetub jõusensori vaba otsa peale painutatud nurga toel, mis kinnitub nõu tagaküljele.



Sele 4.12. Nõu toetumine sensorile, küljelt vaadatuna (sensor on sinist värvi)

Nõu kinnitusõlg

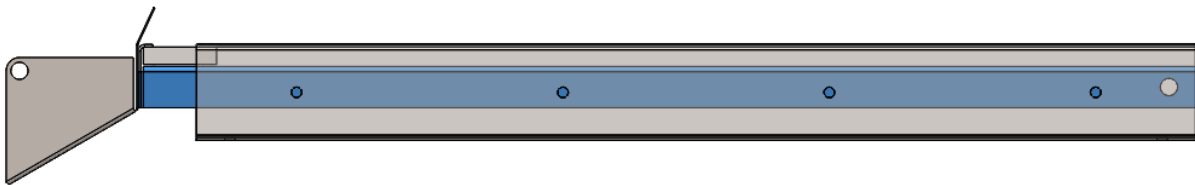
Kaalutav nõu peab eelkõige toetuma jõusensorile, et saada infot nõus asuva toote massi kohta. Nõu kinnitamine ainult sensori vabale otsale tagab küll kõige täpsema tulemuse, kuid on tülikas ning antud seadme nõuete puhul tarbetu.



Sele 4.13. Kaalutava nõu kinnitusõlg seadme alt vaadatuna

Eelneval põhjusel on nõu kinnitatud pika õla külge. Õla üks ots on kinnitatud kaalutava nõu külge ja teine ots seadme alusraami tagumisse otsa. Selline kinnitusviis on lihtne ja vähenõudlik.

Samas tekib nüüd koormuse mõjumisel nõule jõumoment õla kinnispunkti suhtes. Sellest tulenevalt väheneb jõusensori info täpsus. Põhjuseks on asjaolu, et nüüd mõjutab sensorit veel ka toote paiknemine nõus tulenevalt kinnispunkti ja ja toote vahelise õla pikkusest.

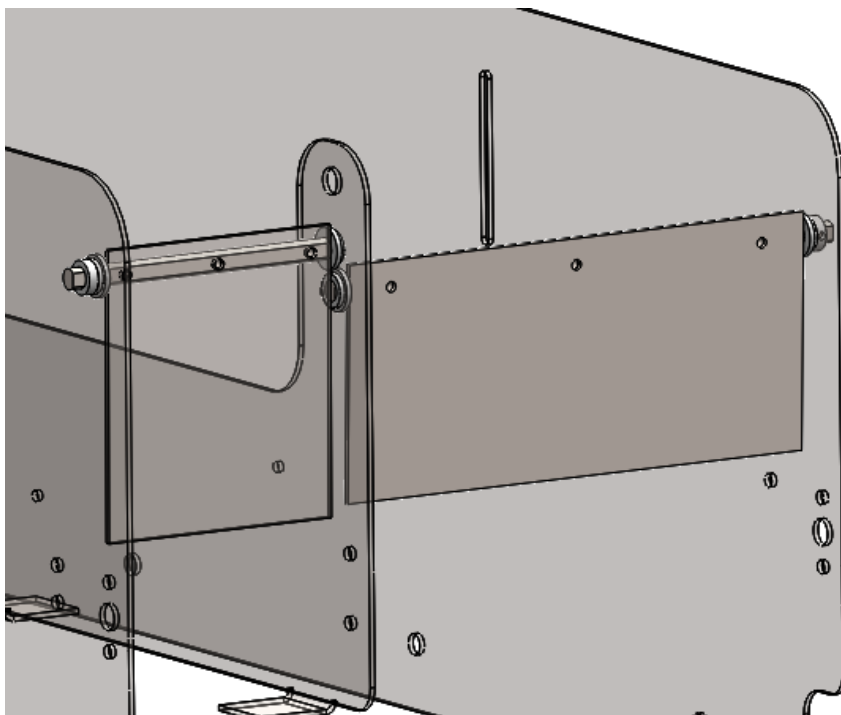


Sele 4.14. Õla pikkus kaalumisenõu mõõtmete suhtes

Õla pikkuse maksimeerimine on oluline, sest niiviisi on nõu mõõtmed jõumomendi õla suhtes kõige väiksemad ning seega mõjutab toote paiknemine mõõtetulemust kõige vähem.

4.5 Luugid

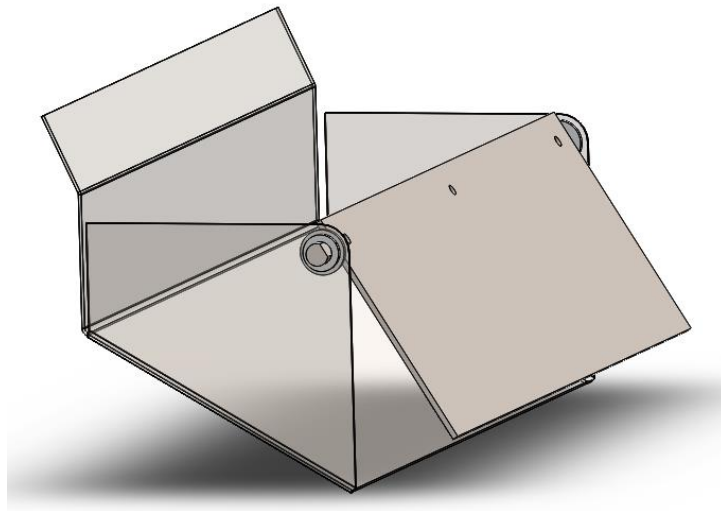
Kuigi konveierite peatumised programmeeritakse sujuvateks, võib toode siiski vajuda konveierilt kaalutavasse nõusse ka siis, kui sinna on juba jõudnud vastav kogus. Kindlustamaks, et mainitud olukorda ei juhtuks, on mõlema konveieri lõpukohale lisatud servodega suletavad luugid, mis vajaduse korral takistavad toote edasise liikumise.



Sele 4.15. Konveierite luukide paigutus

Luukide liigutamine toimub võlli pööramise kaudu. Võllid istuvad liugpukside sees, mis tagavad vähese hõõrdetakistuse võlli pöörlemisel. Luugi plaat kinnitub võlli külge vastavate avade läbi. Plaadi paremaks istumiseks võlli külge on lõigatud ümara võlli peale tasapind. Konveierite luugid on erineva pikkusega ja paiknevad erineval kõrgusel selleks, et neid oleks võimalik kinnitada ühise vaheplaadi külge.

Samasugune luuk on ka kaalutaval nõul.

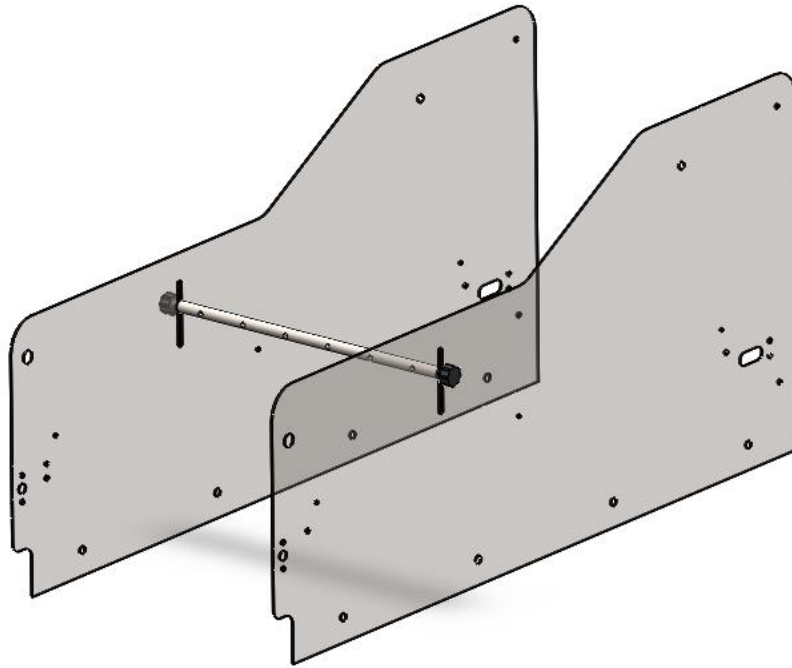


Sele 4.16. Kaalutava nõu luuk

4.6 Siluja

Oluline on, et toode läheks kaalumisenõusse võimalikult ühtlaselt. Suure tootekoguse kuhjudes lindile võib tekkida olukord, kus lindilt vajub kaalumisenõusse nii palju toodet korraga, et mootorid ja luugid ei jõua veel reageerida ning toote kogus nõu sees ületab vajaliku. Sellise olukorra vältimiseks on kasutusel nn. siluja, mis võimaldab reguleerida konveieril liikuva toote kihi paksust, pühkides mööda konveierit liikuva tootemassi madalamaks.

Siluja moodustab külgplaatide vahele kinnituv avadega telg, mille külge on võimalik kinnitada elastseid plaate või ribasid. Kõrguse mugavaks seadmiseks on kasutusel käsikruvid. Külgplaatidesse on siluja telje jaoks tehtud vastavad sooned, kus telg saab liikuda üles-alla.



Sele 4.17. Siluja telje paiknemine külplaatide vahel

Ribade materjal ja telje kõrgus määratakse vastavalt kaalutava toote iseloomule, et siluja ei põhjustaks konveieri ummistumist. Näiteks jahu pakendades oleks telje külge vaja jäika plaati, seevastu kuivatatud puuviljade pakendamisel oleks tarvis elastseid ribasid. Idee järgi oleks seadmega komplektis erinevat tüüpi silujaid, muutes seadet veelgi universaalsemaks

4.7 Kasutajaliides

Kasutajaliidese mehaanilise osa moodustab juhtpult, kus asuvad vedelkristallekraan ja nupud. Puldi korpuseks on ABS plastikust valmistatud kaanega karp. See on piisavalt suur, et sinna sisse mahutada ka kontrolleri koos ülejäänud juhtelektroonikaga.

Pult on kinnitatud mahuti tagaseina külge. Juhtmed servode ja anduri jaoks viiakse läbi kaablikõri välja puldi alt ning edasi mööda mahuti külgi alla. Kaabel kinnitatakse mahuti ja külgseinte külge kleebitavate plastikust ankrutega.



Sele 4.18. Pult

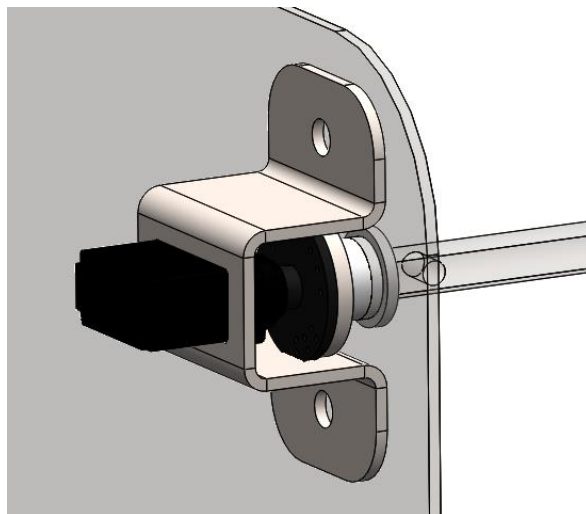
Peale *on/off* lüli, on puldil kaks nuppu seadesuuruse määramiseks ning üks programmeeritav nupp lisaks – edaspidiste arenduste tarbeks.

4.8 Muud mehaanilised osad

Järgnevalt on kirjeldatud seadme mehaanika osi, millel on vähem funktsioone seadme toimimisel võrreldes eelnevatega.

Servode kinnitamine

Servomootorid kinnituvad külgplaatide külge painutatud kinnituste abil. Nende kinnituste sisse on lõigatud avad vastavalt servode mõõtmetele.

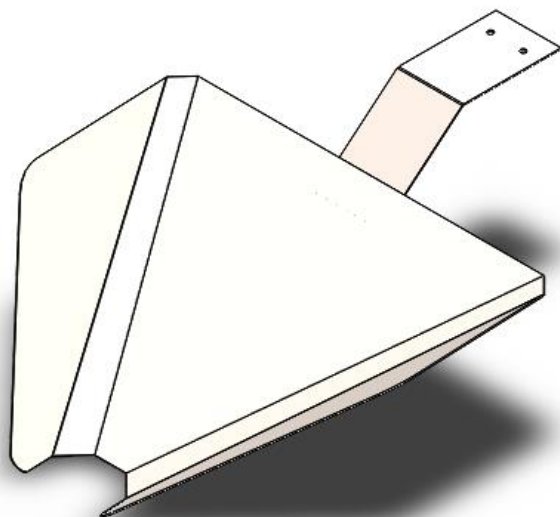


Sele 4.19. Servo kinnitus

Servo ühendamiseks rulli võlliga kasutatakse ära servoga komplektis olevat kinnitusratast. Rulli võlli otsale on keevitatud sama siseläbimõõduga seib. Kinnitusratta ja seibi tasapinnad liidetakse poltide või neetidega, et kanda üle pöördemomenti.

Kaalutava nõu järgne lehter

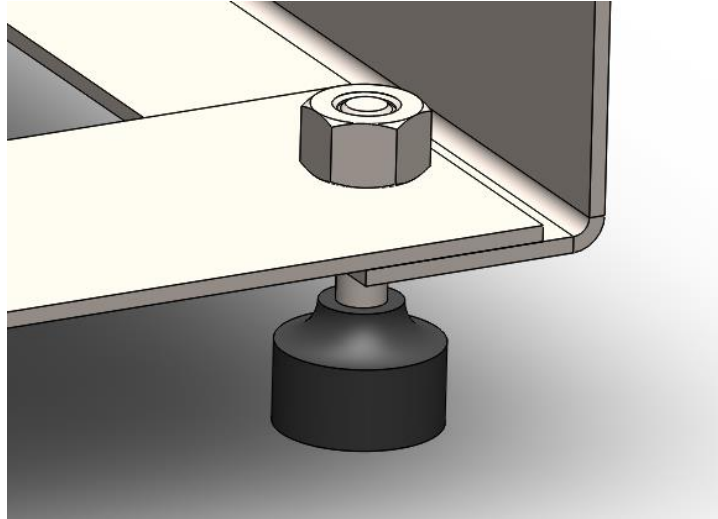
Viimase etapina toote liikumisel läbi seadme on lehter, mis juhib kaalumisenõust vabastatud toote pakendisse. Lehter kinnitub seadme alusraami külge käsikruvidega, samamoodi nagu siluja ning on vahetatav erinevate mõõtudega pakendite täitmiseks.



Sele 4.20. Lehter

Tugitaldmikud

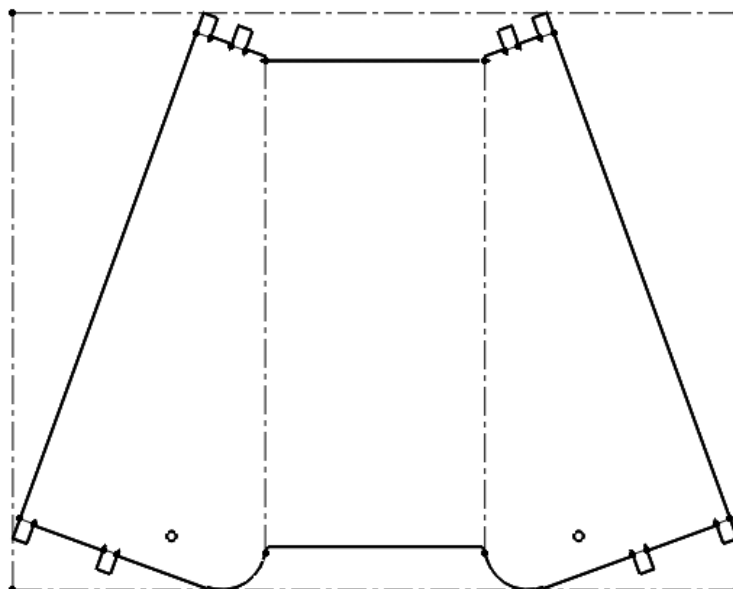
Seadme alusraam toetub kummikattega taldmikutele. Alusraami külge on keevitatud mutrid, kuhu sisse taldmiku keermestatud osa keerates, saab reguleerida seadme stabiilselt lauale seisma.



Sele 4.21. Taldmik

4.9 Lehtmetsalli töötlemine

Valdav enamus seadme mehaanilistest osadest on valmistatud lehtmetsallist, nagu näiteks mahuti ja külgsplaadid. Nende valmistamiseks lõigatakse esmalt välja lehtmetsalist pinnalaotus arvprogrammjuhtimisega laserlõikepingil. Seejärel toimub lõigatud lehtede painutamine painutuspingil.



Sele 4.22. Mahuti ühe osa pinnalaotus

5. SEADME ELEKTROONIKA

Kaalumisseadme elektrilise osa moodustavad järgmised komponendid:

- Andur toote massi määramiseks.
- Elektriajamid liikumiste realiseerimiseks.
- Kontroller andurilt saadava info töötlemiseks ning selle järgi ajamite juhtimiseks.
- Toiteplokk seadmele sobiliku tööpinge tagamiseks.
- Kasutajaliidese osad – lülitid, ekraan jne.
- Üldised elektroonikakomponendid, näiteks takistid.

Seadme elektroonikaskeem on toodud lisas 3.

5.1 Andur

Nõuded seadme andurile

Seadme andur peab täitma järgnevad kriteeriumid:

- Suudab edastada kontrollerile infot kaalumisenõus oleva toote massi kohta.
- Mõõtetäpsus ± 1 g.
- Maksimaalne lubatav mass 10 kg
- Väikeste mõõtmetega ning on seadme külge kergesti kinnitatav
- Odav

Jõuanduri kirjeldus ja tööpõhimõte

Eelnevalt mainitud kriteeriumid täidab jõuandur (inglise keeles *load cell*).



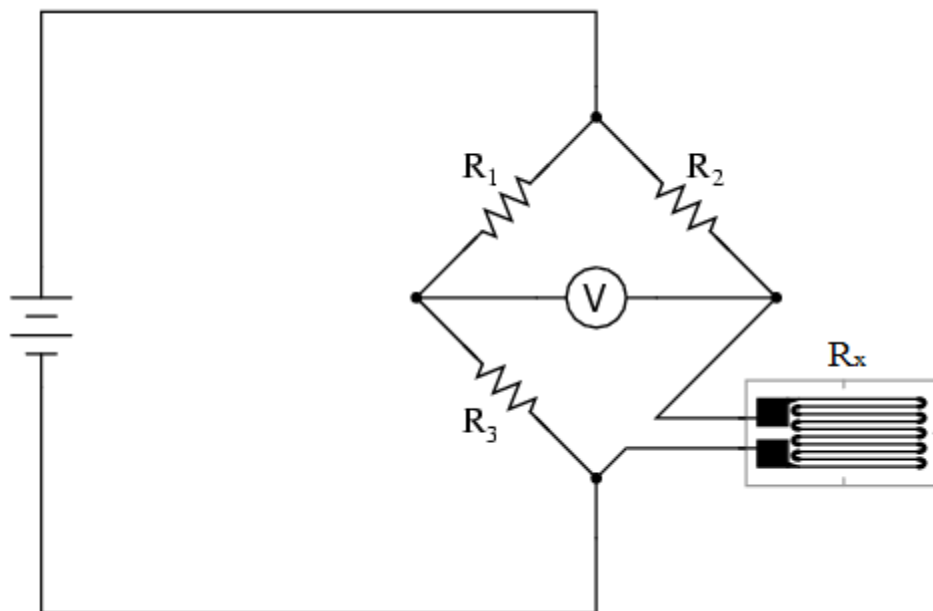
Sele 5.1. Jõuandur

Selle anduri töö põhineb tensotajuritel. Tensotajureid kasutatakse jõudude, momentide, rõhkude ning dünaamilistes süsteemides ka kiirenduse mõõtmiseks. Nende talitus põhineb venitusefektil. Venitusefekt on anduri aktiivtakistuse muutus selle geomeetrilise suuruse ja vastupanu muutuse tõttu elastsel mehaanilisel deformatsioonil.[8]

Jõuanduri puhul on tensotajurid kinnitatud metallist nelikant pulga külge. Kinnitades pulga ühe otsa jäigalt ning rakendades teisele, vabale otsale koormust, muutub tensotajuri takistus. Tensotajur on ühendatud Wheatstone'i silda.

Wheatstone'i silla kirjeldus

Wheatstone'i sild koosneb neljast takistist, mis seel 5.2 näidatud moel ühendades on sisuliselt kaks pingejagurit kokku ühendatuna. Pingejagurite vahele ühendatakse voltmeeter, mis mõõdab pingejagurite pingete vahet. Seega, kui pingejagurite takistuste suhe on võrdne, näitab voltmeeter nulli. Kui aga näiteks ühte takistust muuta, muutub ka eelnevalt mainitud suhe ning omakorda ka voltmeetri näit. Niiviisi on võimalik mõõta ühe takisti väärtust eeldusel, et teised kolm on teada.[9]



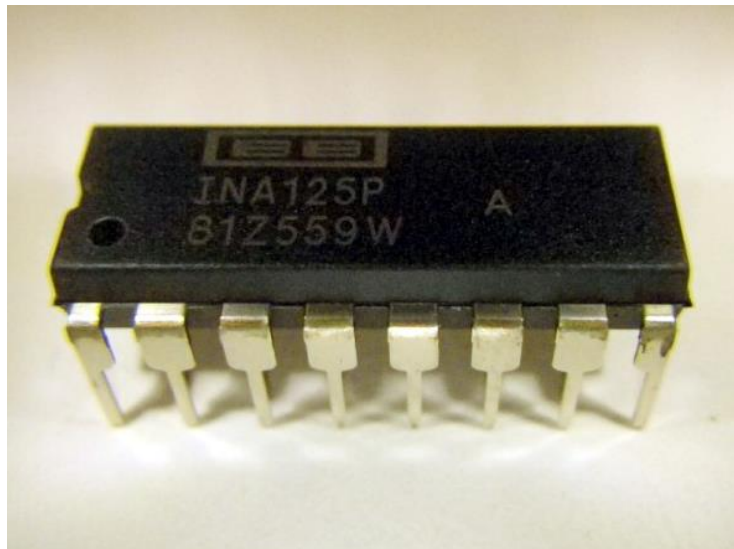
Sele 5.2. Tensotajur ühendatuna Wheatstone'i silda

Asendades ühe takisti tensotajuriga, tekib skeem, millega on võimalik mõõta tajuri deformatsiooni koormuse all. Kui tensotajurile mõjub jõud, põhjustab see tajuri

deformeerumise. Deformatsioon mõjutab seeläbi pingejaguri takistust, mis omakorda põhjustab pinge muutuse voltmeetri klemmidel. Pinge muutub proportsionaalselt deformatsiooni muutusele ning sellele vastavalt saab välja arvutada jõu suuruse. Kui tegemist on raskusjõuga, saab arvutada massi väärtuse.

Instrumentatsioonivõimendi

Pinge muutuse elektriline signaal on reaalse anduri puhul väga väike (pinge muutus on mikrovoltides) ning mikrokontrolleri analoog-digitaalmuundur ei ole võimeline seda tuvastama. Seetõttu on vaja signaali võimendada. Selle jaoks on kasutusel instrumentatsioonivõimendi (edaspidi in-võimendi) integraallülitus INA125P.



Sele 5.3. In-võimendi INA125P

In-võimendi on diferentsiaalvõimendi alaliik, mille sisendesse on lisatud puhervõimendid, et tagada võimendatud signaali suur täpsus ja stabiilsus. In-võimendid leiavad kasutust näiteks mõõte- ja meditsiinitehnikas.[10]

Võimendi ühendamine mikrokontrolleri ja jõuanduriga on näidatud lisas 3 toodud elektroonikaskeemil.

5.2 Kontroller

Nõuded kontrollerile

Kontroller peab täitma järgmised kriteeriumid:

- Sisaldab piisavalt sisend-väljund porte kõigi vajaminevate kasutajaliidese elementide, andurite ja ajamite tarbeks.
- Sisaldab analoog-digitaalmuundurit (ADC) anduri info lugemiseks.
- Võimeline väljastama pulsilaiusmodulatsiooni (PWM) signaali ajamite juhtsignaalideks.
- Odav.

Kontrolleri valik

Valituks osutus mikrokontroller Arduino Nano (edaspidi Nano), eelkõige seepärast, et see täidab kõik eelmainitud kriteeriumid ning on samas lihtsasti programmeeritav.



Sele 5.4. Arduino Nano mikrokontroller.

Nano on väikeste mõõtmetega mikrokontroller, mis põhineb Atmel ATmega328 baasil. Nano eeliseks on ka fakt, et ta ei vaja programmeerimiseks lisaprogrammaatorit, piisab vaid USB-kaablist.

Tabel 5.1. Arduino Nano tähtsamad parameetrid [11]

Sisendpinge, V	6...20
Digitaalseid sisend-väljundporte	14
ADC toega sisend-väljundporte	8
Max. alalisvoolu tugevus ühe pordi kohta, mA	40
Taktsagedus, MHz	16
Pikkus, mm	43
Laius, mm	18
Kõrgus, mm	19

5.3 Servomootorid

Seadme konveieri liikumiseks on vaja ajameid, mis oleksid piisavalt suure pöördemomendiga, et liigutada mahutist konveieri peale vajunud toote massi. Mootorite pöörlemiskiirust peab saama juhtida võimalikult lihtsalt, ilma lisajuhtseadmeteta. Mootorite mõõtmed ja mass peavad olema suhteliselt väikesed võrreldes masina gabariitidega, et nad ei mõjutaks negatiivselt masina kompaktsust ja teisaldatavust. Neid kõiki tegureid arvestades peavad mootorid olema veel ka suhteliselt odavad.

Luukide liigutamiseks kasutatavad mootorid ei pea arendama nii suurt pöördemomenti kui konveieri mootorid, kuid neil peab olema tagasiside mootori pöördenurga kohta s.t. võime positsioneerida. Kaalutava nõu luugi liigutamiseks kasutatava mootori väike mass on eriti oluline, sest see mootor asub nõu küljes ning avaldab mõju jõusensorile. Seadme erinevate liikumiste(konveier, luugid) realiseerimiseks on kasutusel hobi-servomootorid.

Hobiservode head omadused:

- Kompaktsus
- Lihtne juhtida
- Töötavad madalpingel
- Sisaldavad hammasreduktoreid

Hobiservode halvad omadused:

- Vähenenud positsioneerimistäpsus

Konveieri mootorite valik

Rullide mootoriteks on nn. *standard*-suurusklassi hobiservod Hitec HS-5645MG, mida on modifitseeritud pideva pöörlemise jaoks, asendades positsiooni mõõtvat potentsiomeetri takistitest koosneva pingejaguriga. Antud servol on metallist hammasratastega reduktor, mis võimaldab suurt maksimaalset pöördemomenti. Mõlema konveieri tarbeks on üks servo.

Tabel 5.2. Servomootori HS-5645MG põhiparameetrid[12]

Pikkus, mm	40,6
Laius, mm	19,8
Kõrgus, mm	37,8
Mass, g	60
Max. nurkkiirus, rad/s	5,24
Max. pöördemoment, Nm	1,2
Nimipinge, V	4,8...6
Temperatuurivahemik, ° C	-20...60



Sele 5.5. Servomootor Hitec HS-5645MG

Luukide mootorite valik

Luukide avamiseks ja sulgemiseks on kasutusel modifitseerimata *micro*-suurusklassi servod Hitec HS-5065MG. Need servod osutusid valituks, sest neil on oma väikeste mõõtmete ja massi kohta väga suur maksimaalne pöördemoment.

Tabel 5.3. Servomootori Hitec HS-5065MG põhiparameetrid [13]

Pikkus, mm	23,4
Laius, mm	11,4
Kõrgus, mm	23,9
Mass, g	11,9
Max. nurkkiirus, rad/s	9,52
Max. pöördemoment, Nm	0,22
Nimipinge, V	4,8...6



Sele 5.6. Servomootor Hitec HS-5065MG

5.4 Kasutajaliides

Nõuded kasutajaliidesele

Seadme kasutajaliides peab täitma järgnevad kriteeriumid:

- Kuvab graafiliselt info kaalutava nõu massi kohta
- Kasutajal on võimalik kergesti muuta massi seadesuurust
- Kasutaja saab käivitada seadme töötssükli käte abita.

Nõuete täitmiseks kasutatakse järgnevaid lahendusi.

Vedelkristallekraan

Info kuvamiseks on kasutusel väike, 16 veeru ja 2 reaga vedelkristallekraan. Ekraanil kuvatakse kasutajale nii massi seadesuurus, kui ka hetkel kaalumismõõdu oleva toote mass. Ekraani kontrolleriiks on laialt levinud Hitachi HD44780.



Sele 5.7. 16x2 vedelkristallekraan

Tabel 1.4. Powertip 16x2 ekraani põhiparameetrid[14]

Sisendpinge vahemik, V	0,3...7,0
Vaadeldava ekraanipinna mõõtmed, mm	66,0 x 16,2
Eristatava punkti mõõtmed, mm	0,56 x 0,66

Lülitid

Kasutusel on kolme tüüpi lüliteid, mis on vajalikud seadme operaatorile kasutamiseks.

- *Rocker*-tüüpi *ON/OFF* lüliti toite sisse-välja lülitamiseks.



Sele 5.8. *Rocker*-lüliti

- Hetklülid, mida kasutatakse seadesuuruse muutmiseks.



Sele 5.9. Hetklüliti

- Jalgpedaal, millega toimub seadme töötüklite käivitamine.



Sele 5.10. Jalgpedaal

5.5 Passiivkomponendid

Seadmes on kasutusel kolme erineva väärtusega takisteid.

- 1 k Ω takistid lülitite *pull-up* takistitena, mis hoiavad loogilise kõrge pingeniivood, kui lülitit pole vajutatud.
- 100 Ω takisti, in. võimendi võimendusteguri määramiseks. See väärtus on määratud katseliselt.
- 10 k Ω *trimmer*-tüüpi potentsiomeetrit kasutatakse ekraani kontrastsuse seadmiseks.

5.6 Toiteallikas

Kuna kogu seadme elektroonika töötab 6V peal, on vaja ainult üht voluallikat, ilma lisaregulaatoriteta. Selleks sobib voluadapter, mis muundab 220V vahelduvvoolu 6V alalisvooluks. Allikale seavad piirangud servoajamid, mille volutarbe peab allikas suutma katta.



Sele 5.11. Toiteallikas

Hobiservode puhul tavaliselt andmelehes volutarbe kohta info pole antud. Seda võib arvestada hinnanguliselt servo suurusklassi järgi. Näiteks *standard*-tüüpi servode max. volutarve on tavaliselt 1A ning *micro*-tüüpi servode puhul 0,5A. [15]

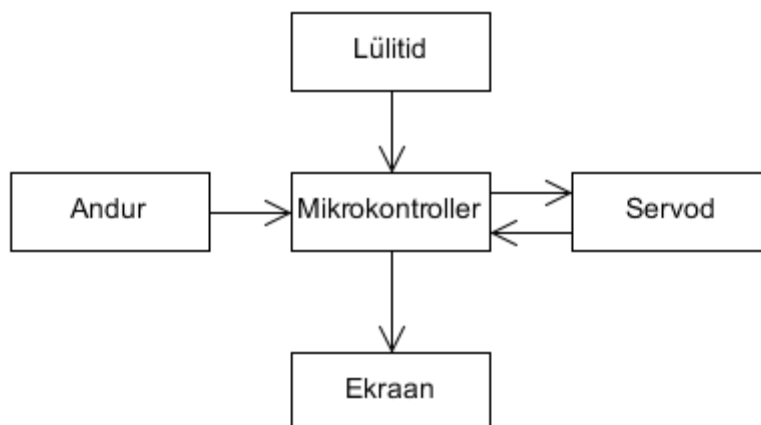
Niisiis on käesoleva seadme kolme väiksema ja kahe suurema servo hinnanguline maksimaalne volutarve ca. 3,5 A. Selleks, et nii palju voolu tarbitaks, peaksid kõik servod töötama ühel ja samal ajal. Sellist olukorda programmi järgi realselt ei toimu, seega võiks toiteallikas olla võimeline andma välja vähemalt 4 A volutugevust, võttes arvesse ka kontrolleri ja ekraani tarbimisi.

6. SEADME JUHTIMINE

6.1 Seadme juhtimise idee

Järgnevalt on toodud seadme töösükli etapid, kirjeldatud toimumise järjekorras. Nende etappide järgi on koostatud programmikood mikrokontrollerile.

1. Seadme käivitamine pealülitist.
2. Operaatoril on võimalik muuta massi seadesuurust.
3. Kui operaator vajutab pedaalile, avanevad konveierite luugid ning konveierite ajamid hakkavad tööle.
4. Ajamite pöörlemise kiirus on pöördvõrdelises sõltuvuses kaalumisenõusse jõudnud toote massiga, s.t. mida rohkem toodet jõuab nõusse, seda aeglasemalt pöörlevad ajamid. Niiviisi muutub kaalumine sujuvamaks ja seeläbi ka täpsemaks.
5. Hetkel, mil kaalumisenõusse on jõudnud 90% seatud suurusest, peatub suurem konveier ning sulgub selle ees olev luuk. Väike konveier töötab edasi üksinda.
6. Kui toote mass saavutab seadesuuruse väärtuse (± 1 g), peatub ja sulgub ka väike konveier.
7. Seejärel oodatakse operaatori vajutust pedaalile, mille järgselt avaneb kaalumisenõu luuk, vabastades kaalutud toote pakendisse.
8. Uuesti pedaalile astudes nõu sulgub.
9. Algab uus tsükkel, punktist 2



Sele 6.1. Kontrolleri poolt juhitava info suunad plokk skeemina

6.2 Programmikoodi selgitus

Arduino mikrokontrollerite suureks eeliseks on nende lihtne programmeerimine. Arduinol on oma kõrgtaseme programmeerimiskeel, mis põhineb keelel C++. Arduinole on loodud eraldi teegid, mis võimaldavad kasutajal programmeerida sisendeid ja väljundeid läbi lihtsustatud funktsioonide. Järgnevalt on selgitatud lisas 4 toodud koodi osade kaupa.

Koodi päises on defineeritud kasutatavad teegid ja kõik vajalikud globaalsed muutujad, sealhulgas massi seadesuurus, ekraani ja servode objektid jne.

setup() - Selles osas olevad käsud täidetakse vaid ühe korra programmi algul. Põhiliselt kasutatakse seda portide määramisel sisenditeks või väljunditeks. Lisaks viiakse luukide servod algasenditesse.

Kontroller saab andurilt teavet koormuse kohta pinge näol. See väärtus tuleks siduda vastava massiga. Selleks kasutatakse funktsiooni *interpoleerimine()*. Funktsiooni sisendisse antakse andurilt loetud pinget ning tulemuseks saadakse massi väärtus. Interpoleerimine toimub kahe teada oleva massi ning neile vastavate pingete järgi. Sensori kalibreerimine viiakse seega läbi programmis – loetakse pinget väärtused sensori koormamisel tuntud massidega ning kirjutatakse need koodi päises olevatesse muutujatesse. Niiviisi määratakse kaalumismõõdu massi nullasend. Olgu mainitud, et selline arvutus on võimalik vaid siis kui sensor annab infot lineaarselt koormuse suhtes. Arduino teek sisaldab sarnast interpoleerimisfunktsiooni *map()*, kuid antud juhul pole seda võimalik kasutada, sest *map()* ei suuda töödelda murdarve.[16]

Programmi põhiosa moodustab peatsükkel – *loop()*. Esmalt kontrollitakse, et kaalumistsükkel ei oleks parasjagu käigus, selleks on kasutusel *if*-tingimuslaused. Järgnevalt kontrollitakse kasutajaliidese nuppude vajutamist – vastavalt sellele kumba lüliti on vajutatud, liidetakse või lahutatakse kasutaja poolt määratud väärtus seadesuurusele.

Kui tingimused töötsükli täieliku läbimise kohta on täidetud, kontrollitakse pedaali vajutamist. Vastava signaali korral käivitatakse konveieri ajamid ning seatakse luukide servod avatud asendisse – algab uus töötsükkel.

Nüüd hakatakse lugema andurilt infot koormuse kohta. Stabiilse väärtuse saamise huvides leitakse pinge väärtuste keskmine ning salvestatakse see globaalses muutujas `analogKeskmine`. Saadud väärtust kasutatakse eelnevalt kirjeldatud interpoleerimisfunktsioonis ning saadakse nõus oleva massi väärtus.

Edasi kontrollitakse, kas on aeg suurema konveieri peatamiseks. Sõltumata sellest kas töötab üks või mõlemad konveierid, seatakse järgnevalt mootorite kiirus. Mootorite kiiruse väärtuse maksimaalse kiiruse suhtes määrab hetkel oleva koormuse suurus seadesuuruse suhtes. Kuna hobiservode kiirust juhitakse signaali pulsilaiuse järgi mikrosekundites, arvutatakse õige pulsilaiuse väärtus kasutades `map()` funktsiooni. Arvutamiseks antakse funktsiooni sisendisse koormuse väärtus, vahemik nullist seadesuuruseni ning pulsilaiuse vahemik mootori seisuasendist kuni `max` kiiruseni. Saadud pulsilaiusega signaal antakse servole käsuga `writeMicroseconds()`. Sama käsku kasutatakse ka luukide servode puhul, kus pulsilaius määrab servo võlli pöördenurga.

Peale kiiruse määramist kontrollitakse massi uue *if*-tingimusega. Kui nõus olev kogus ei vasta seadesuurusele, algab uuesti kiiruse seadmine. Seatud koguse olemasolul antakse vastavad pulsilaiuse väärtused väikese konveieri servole peatumiseks ja selle ees oleva luugi sulgumiseks. Lisaks muudetakse `boolean valmis` väärtus vääraks, mille tulemusena programm ei läbi enam kaalumistsükli. See lubab aga jällegi muuta seadesuurust ning alustada uut kaalumistsükli.

Kogu kaalumistsükli vältel väljastab kontroller ekraanile infot kaalutava massi ja seadesuuruse kohta. Iga kord, kui uus massi väärtus välja arvutatakse, kuvatakse see ka ekraanil kasutades funktsiooni `print()`, millele eelneb konkreetse `LiquidCrystal`-objekti nimi. Käsuga `setCursor()` toimub reavahetus, et koormuse hetkväärtus prinditaks alumisele reale.

7. MAJANDUSLIK ANALÜÜS

Üheks töö sissejuhatuses mainitud nõuetest on majanduslik mõistlikkus väikeettevõtjale. Seetõttu on oluline arvestada seadme ligikaudset maksumust, et hinnata kas seadme sobivus potentsiaalse tootena on tagatud.

Tabel 7.1. Mehaaniliste osade hinnanguline maksumus

Mehaanika osa	Maksumus, €
Roostevabast terasest konstruktsioonidetailide valmistamine (s.h materjal, lõikamine, painutamine)	600
Gaasivedru	35
Transportöörlindid	70
Puldi korpus	5
Koostetööd koos kinnitusvahenditega (poldid, puksid jne.)	150
Kokku:	860

Tabel 7.2. Elektroonikakomponentide maksumus

Elektroonika osa	Allikas	Kogus, tk	Hind, €	Maksumus, €
Arduino Nano	Farnell	1	34,87	34,87
16x2 LCD ekraan	Farnell	1	5,25	5,25
INA125P	Farnell	1	4,89	4,89
10 kg jõusensor	Farnell	1	195,61	195,61
jalgpedaal	Farnell	1	25,57	25,57
Hetklüliti	Farnell	2	0,09	0,18
On/off lüliti	Farnell	1	0,94	0,94
1k takisti	Farnell	3	0,01	0,03
0,1k takisti	Farnell	1	0,01	0,01
10k trimpot	Farnell	1	0,34	0,34
Hitec HS-5645MG servo	Servocity	2	35,47	70,94
Hitec HS-5065MG servo	Servocity	3	24,82	74,46
Toiteallikas	Farnell	1	24,08	24,08
Kokku:				437,17

Hinnangu põhjal kujuneb seadme kogumaksumuseks ca. 1300 €. See maksumus on juba suurusjärgu poolest oluliselt väiksem olemasolevate sarnaste seadmetega võrreldes. Seega, võib järeldada, et töö majanduslik eesmärk on täidetud.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks on projekteerida seade toiduainete pakendamise hõlbustamiseks. Seade on mõeldud väiketootjatele, kes soovivad automatiseerida toodete pakendamist, kuid kelle jaoks on tööstusliku pakkimisliini soetamine liiga kallis.

Töös on kirjeldatud nii seadme mehaanikaga seotud probleeme, elektroonika riistvara valikut kui ka seadme juhtimist. Seadmele on valitud sobivad materjalid toidutööstuse nõuete täitmiseks. Projekteeritud on täielik 3D mudel, kus on arvestatud ka detailide töödeldavusega, et valmistada reaalne prototüüp. Valitud on sobivad ajamid, sensor ja kontrolleri. Kirjeldatud on seadme juhtimise põhimõtteid ning valmis on kirjutatud ka programmikood seadme juhtimiseks.

Kuna väiketootjatele vajalikud nõuded on töö tulemusega saadud seadmega täidetud, on võimalik, et tööst areneb välja reaalne toode.

SUMMARY

The aim of this work was to design a food weighing machine. This weigher is intended for small manufacturers, who would like to automate their packaging process, but are unable to lay out the large initial investment for an industrial packaging line.

This work addresses mechanical-related problems, the choice of electronical hardware and also the automated control of the weigher. Compatible materials have been picked to meet food industry requirements. 3D designs have been developed and appropriate electrical drives, sensors and microcontroller have been selected. There is also a description of the machine's control algorithms and a functional program code.

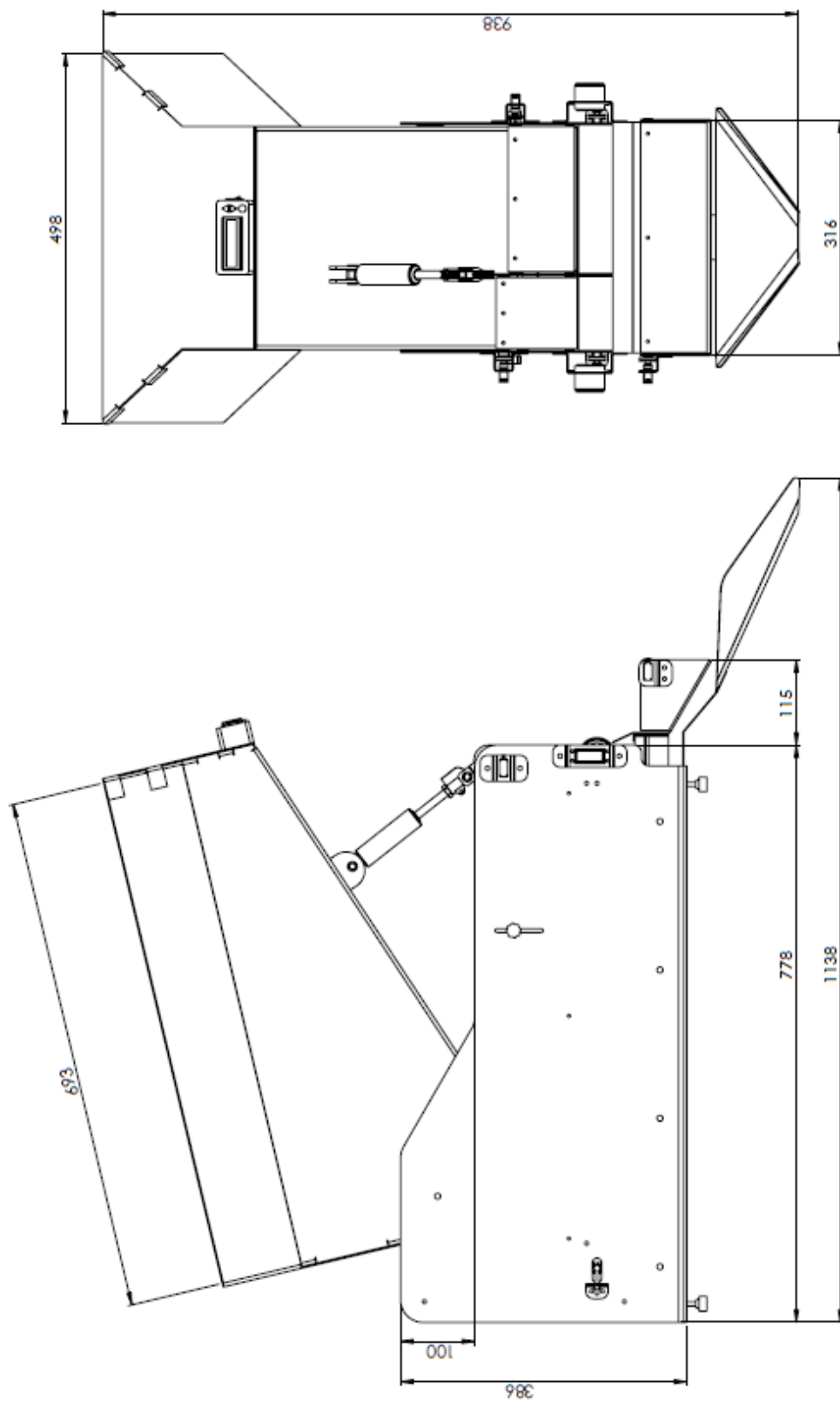
It is possible that an actual product will emerge from this work, because all of the essential demands of small manufacturers have been met as a result of this work.

ALLIKATE LOETELU

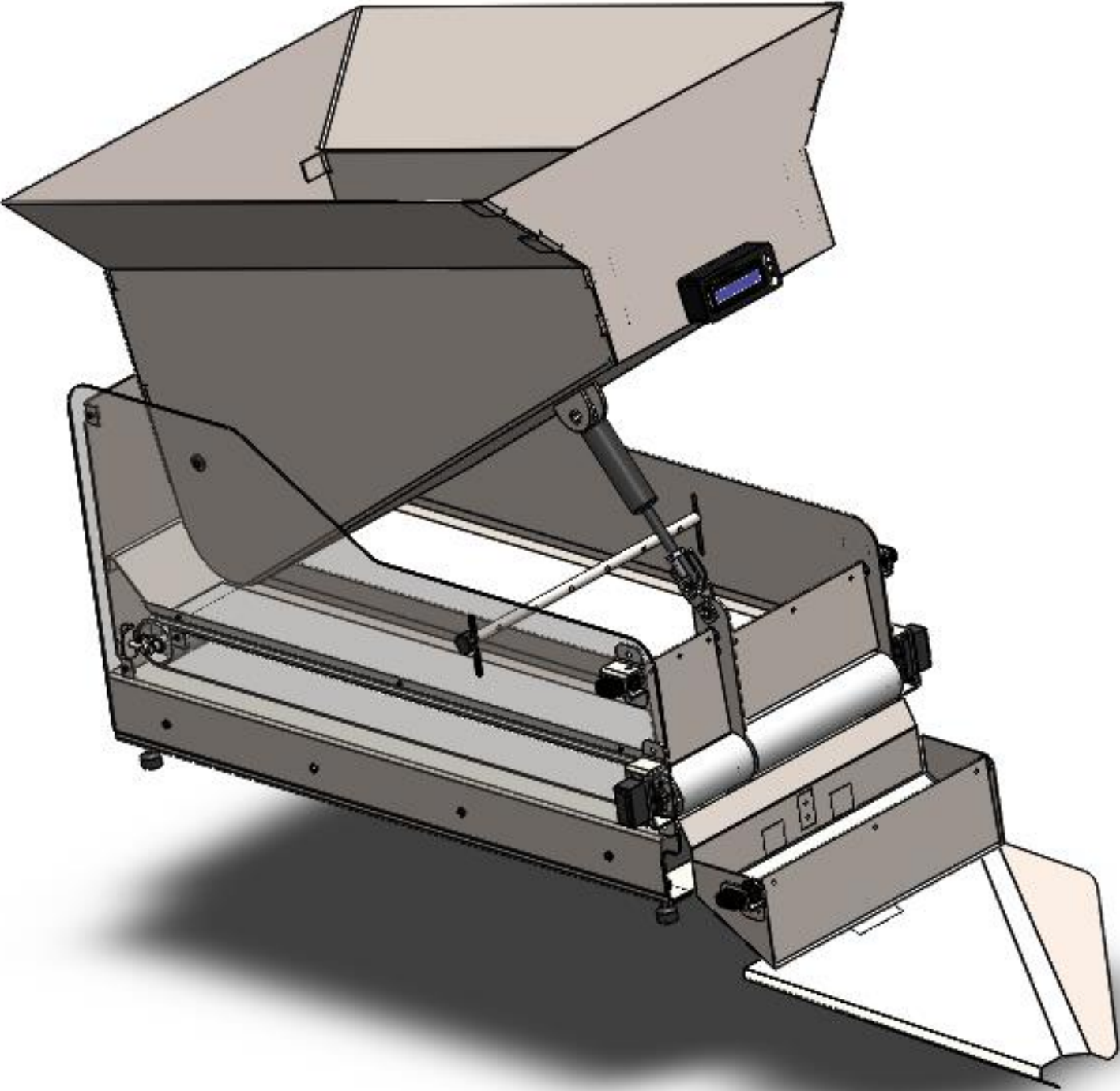
- [1] [WWW] <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=45>
- [2] [WWW] <http://corrosion-doctors.org/Food-Industry/Mat-select.htm>
- [3] [WWW] <http://www.reliance-foundry.com/blog/304-vs-316-stainless-steel>
- [4] [WWW] <http://www.wisegeek.com/what-are-the-different-types-of-food-conveyor-belts.htm>
- [5] [WWW] <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MQ304A>
- [6] [WWW] http://www.chiorino.com/public/download/eng/1387535662-CHIORINO_Food_HACCP_Conveyor_belts_HP-EN.pdf
- [7] [WWW] <http://www.alas-kuul.ee/webmain.nsf/radiaalkuul1r1est!openpage>
- [8] [WWW] http://www.e-ope.ee/_download/euni_repository/file/3674/Automaatika%20alused.zip/tajurite_tphimtted.html
- [9] [WWW] http://www.allaboutcircuits.com/vol_1/chpt_9/7.html
- [10] [WWW] http://en.wikipedia.org/wiki/Instrumentation_amplifier
- [11] [WWW] <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano>
- [12] [WWW] http://www.servocity.com/html/hs5645mg_digital_torque.html#.U3p9Wfl_ukM
- [13] [WWW] <http://www.servodatabase.com/servo/hitec/hs-5065mg>
- [14] [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/40247.pdf>
- [15] [WWW] <http://www.pololu.com/blog/16/electrical-characteristics-of-servos-and-introduction-to-the-servo-control-interface>
- [16] [WWW] <http://christian.liljedahl.dk/guides/arduino-and-load-cell>

LISAD

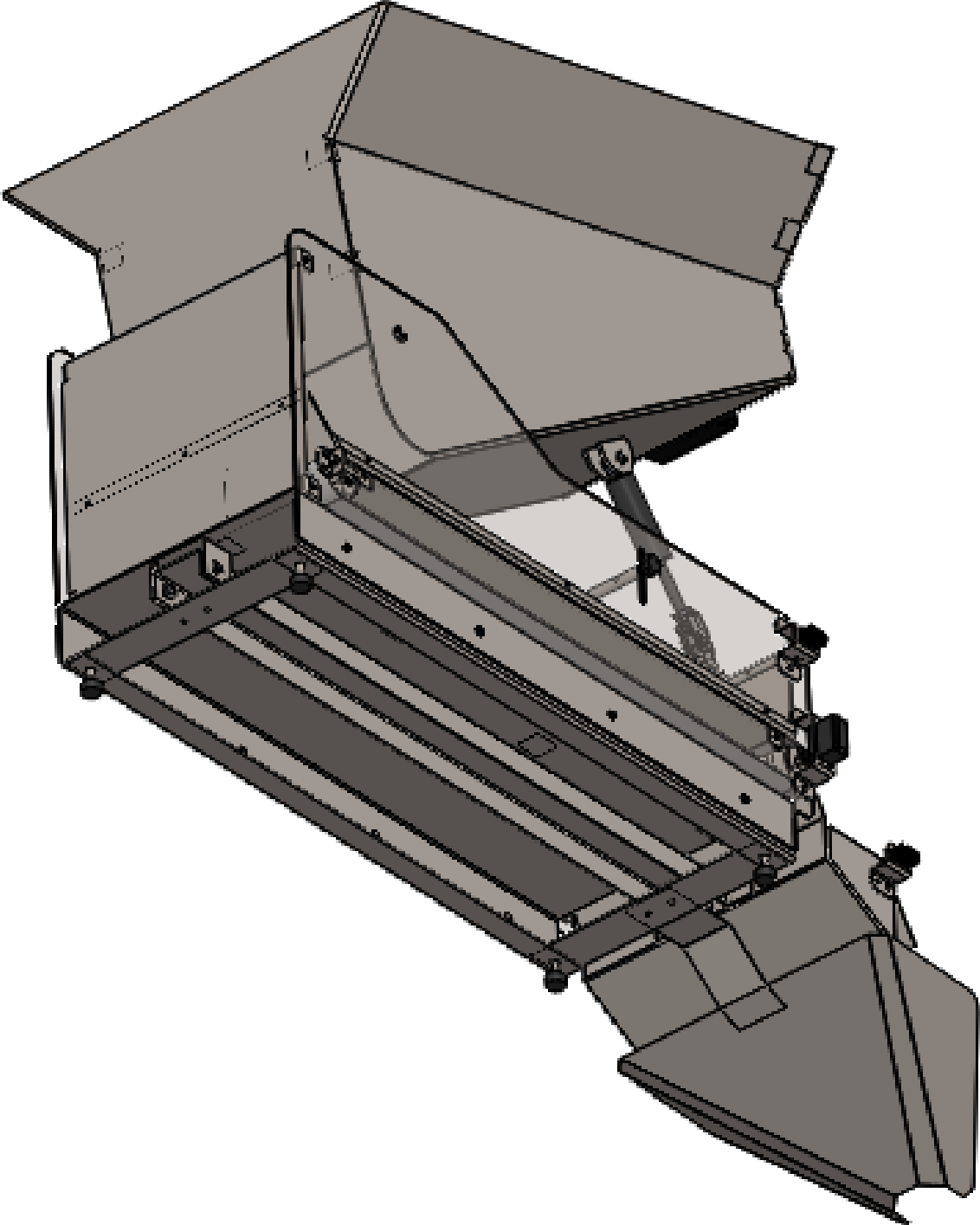
L1. Joonis seadme gabariitmõõtmetega



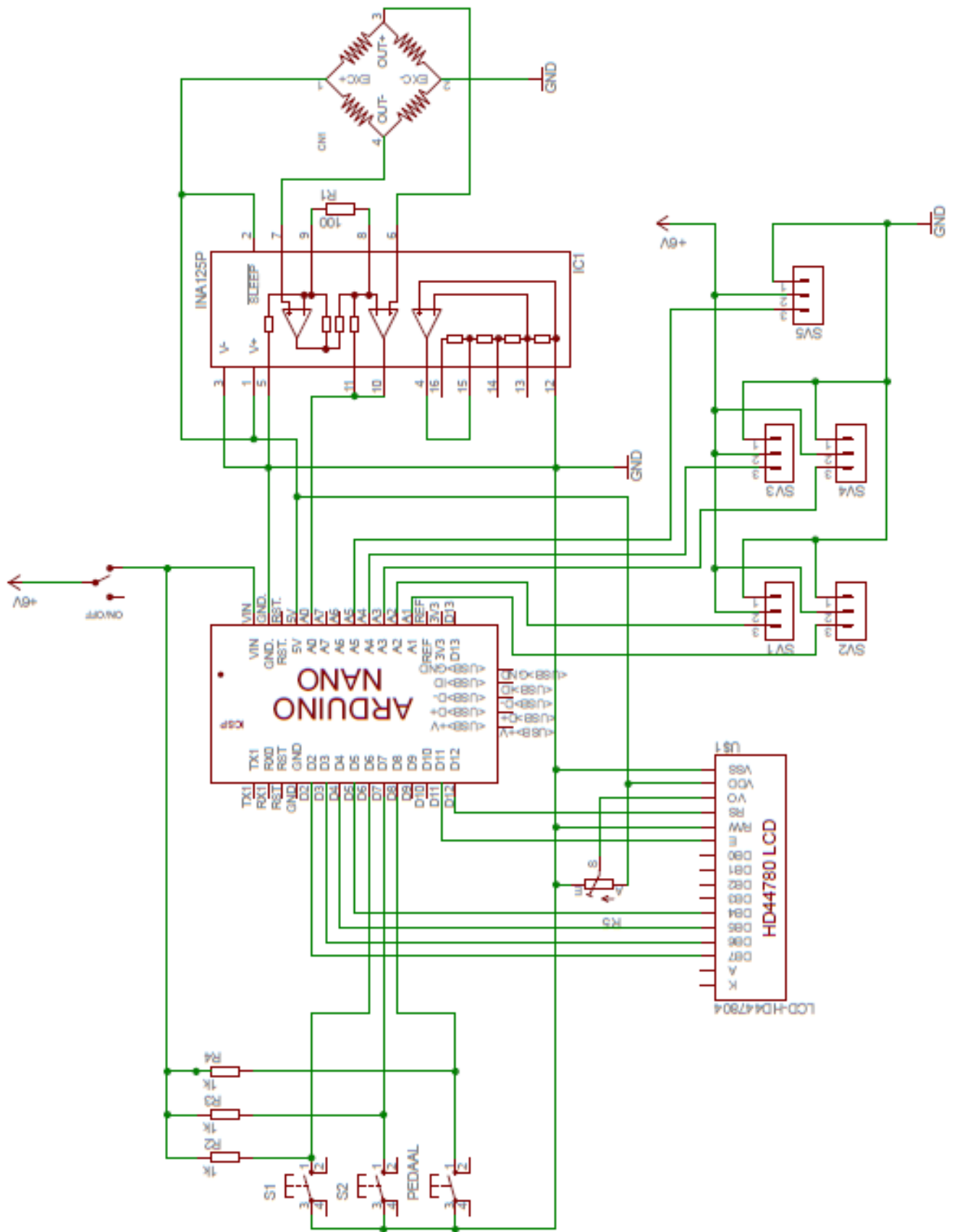
L2.1 Koostu 3D vaade 1



L2.2 Koostu 3D vaade 2



L3. Elektroonikaskeem



L4. Programmikood

```
#include <Servo.h>
#include <LiquidCrystal.h>

int seadesuurus = 500; // algselt määratakse 500 g peale
int pedaal_state = 1; // abimuutuja järjestikuste pedaalivajutuste jaoks
const int stopp = 1570; // konveieri servode seisuasendile vastav pulsilaius
const int max_kiirus = 2000; // konveieri servode max. kiirusele vastav pulsilaius
const int max_mass = 2000; // maksimaalne mass, mida kasutaja saab määrata
const int avatud = 2000; // luukide servode avatud asendile vastav pulsilaius
const int suletud = 1000; // luukide servode suletud asendile vastav pulsilaius

boolean valmis = 0; // abimuutuja, selgitamiseks kas kaalumistsükkel on läbitud
boolean vajutatud = 0; // abimuutuja, probleemide vältimiseks pedaali peal hoides

Servo konveier_s; // suur konveier
Servo konveier_v; // väike konveier
Servo luuk_s; // suur luuk
Servo luuk_v; // väike luuk
Servo luuk_n6u; // kaalumisnõu luuk

LiquidCrystal ekraan(12, 11, 10, 5, 4, 3, 2); // ekraani objekt

// Interpoleerimiseks vajalikud väärtused
float koormusA = 0;
float analogValA = 36;

float koormusB = 164;
float analogValB = 73;

float analogKeskmine = 0; // muutuja anduri lugemi keskmise jaoks
```

```

// Muutujad aja arvestamiseks, millal tuleb sensorilt infot lugeda.
long time = 0;
long timeBetweenReadings = 200; // mass arvutatakse iga 200 ms järel

// Sisendite sidumine muutujatega
int plussnupp = 6;
int miinusnupp = 7;
int pedaal = 8;

// LCD-ekraani ridade ja veergude arvu defineerimine
// ja portide määramine vastavalt sisenditeks ja väljunditeks
void setup()
{
    ekraan.begin(16, 2);

    // Väljundpordid
    pinMode(15, OUTPUT);
    pinMode(16, OUTPUT);
    pinMode(17, OUTPUT);
    pinMode(18, OUTPUT);
    pinMode(19, OUTPUT);

    // Sisendpordid
    pinMode(plussnupp, INPUT);
    pinMode(miinusnupp, INPUT);
    pinMode(pedaal, INPUT);

    // Servoobjektid seotakse mikrokontrolleri portidega
    konveier_s.attach(15);
    konveier_v.attach(16);
    luuk_s.attach(17);
    luuk_v.attach(18);
    luuk_n6u.attach(19);

```

```

// Konveierid seisuasendisse
konveier_s.writeMicroseconds(1565);
konveier_v.writeMicroseconds(1565);

// Luugid suletakse
luuk_s.write(suletud);
luuk_v.write(suletud);
luuk_n6u.write(suletud);

}

// Interpoleerimine
float interpolateerimine(float analogVal)
{
    return (analogVal - analogValA) * (koormusB - koormusA) / (analogValB - analogValA) +
    koormusA;
}

//Peatsükkel
void loop()
{
    if (!valmis) // tingimus on täidetud, kui kaalumistsükkel ei toimu
    {
        if ((digitalRead(plussnupp) == 0) && (seadesuurus < 2000))
        {
            seadesuurus = seadesuurus + 10;
            ekraan.print("\nSeadesuurus: ");
            ekraan.print(seadesuurus);
            delay(150);
        }
    }
}

```

```

if ((digitalRead(miinusnupp) == 0) && (seadesuurus > 0))
{
    seadesuurus = seadesuurus - 10;
    Serial.print("\nSeadesuurus: ");
    Serial.print(seadesuurus);
    delay(150);
}

// Pedaali olekule vastavad tegevused
if ((digitalRead(pedaal) == 0) && !vajutatud)
{
    vajutatud = true;
    if (pedaal_state == 1)
    {
        luuk_n6u.writeMicroseconds (avatud); //kaalumisnõu avamine
    }
    if (pedaal_state == 2)
    {
        luuk_n6u.write(suletud); //kaalumisnõu sulgemine
    }
    if (pedaal_state == 3)
    {
        valmis = true; // kaalumistsükli alustamine
    }
    pedaal_state ++;
}

if ((digitalRead(pedaal) == 1) & vajutatud)
{
    vajutatud = false;
}

```

```

// Kaalumistsükkel
if(valmis == true)
{
// Konveieri luukide avamine ja kaalumisnõu sulgemine
luuk_s.writeMicroseconds (avatud);
luuk_v.writeMicroseconds (avatud);
luuk_nõu.writeMicroseconds (suletud);

// Sensori info salvestamine ja keskmisega korrutamine
float analogValue = analogRead(0);
analogKeskmine = analogKeskmine*0.99 + analogValue*0.01;

if(millis() > time + timeBetweenReadings) // kontrollib, kas on aeg võrrelda koormust
seadesuurusega
{

float koormus = interpolateerimine(analogKeskmine); // kaalutava nõu massi leidmine
float kiirus = map(koormus, 0, seadesuurus, max_kiirus, stopp); // muutuja, mis vastavalt
massile määrab pulsilaiuse servo kiiruse juhtimiseks

// Konveierite ja luukide juhtimine vastavalt nõu massile
if(koormus >= (0.9*seadesuurus)) // kontrollib, kas tuleb lõpetada suure konveieri töö
{
konveier_s.writeMicroseconds(stopp);
luuk_s.writeMicroseconds (suletud);
}
}

```

```

else
{
    if(koormus >= seadesuurus) // kontrollib, kas tuleb lõpetada väikese konveieri töö
    {
        konveier_v.writeMicroseconds(stopp);
        luuk_v.writeMicroseconds (suletud);
        valmis = false; // kaalumistsükli lõpp
        pedaal_state = 1; // pedaali oleku seadmine
    }
    else
    {
        konveier_v.writeMicroseconds(kiirus);
    }

    konveier_s.writeMicroseconds(kiirus);
    konveier_v.writeMicroseconds(kiirus);
}
// Printimine
ekraan.print("\nSeadesuurus: ");
ekraan.print(seadesuurus);

ekraan.setCursor(0, 1); // reavahetus

ekraan.print("\nToote mass: ");
ekraan.print(koormus);

time = millis();
}
}

delay(1);

}

```