



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**MEHAANIKA TEADUSKOND  
MEHHAATROONIKAINSTITUUT**

**TERASPROFIILIDE SERVAD E TÖÖTLEMISMASINA  
POSITSIONEERIMIS- JA LIIKUMISMOODULID**

**POSITIONING AND MOVEMENT MODULES OF  
PROCESSING MACHINE FOR EDGES OF STEEL PROFILES**

Jegor Kalinin  
Mehhatroonika  
MHE40LT

Autor taotleb tehnikateaduse  
bakalaureuse akadeemilist kraadi

**TALLINN**

**2016**

## 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 ..... juhendamisel

“.....” ..... 2016 a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....” .....2016a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....” .....2016 a.

..... allkiri

TTÜ mehhatroonikainstituut  
Mehhanosüsteemide komponentide õppetool

**BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE**

2016. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Jegor Kalinin, 120800MAHB

Õppekava: MAHB09

Juhendaja: dotsent Igor Penkov

Konsultandid:

**LÕPUTÖÖ TEEMA:**

**Terasprofiilide servade töötlemismasina positsioneerimis- ja liikumismoodulid**  
**Positioning and movement modules of processing machine for edges of steel profiles**

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

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Üldist materjali kogunemine. Ülesanne püstitus.	01.03.2016
2.	Tala positsioneerimise mehhanismide töö põhimõtte	24.03.2016
3.	Mehhanismi ajam	14.04.2016
4.	Ajamite juhtimissüsteem	28.04.2016
5.	Masina tööohutus	05.05.2016
6.	Lõputöö vormistamine	16.05.2016

**Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:**

Edasiande mehhanism, liikumisajamid, ajamite juhtimine.

**Esitav graafiline materjal:**

Kaitsmistootlus esitada dekanaati hiljemalt 16.05.2016 **Lõputöö esitamise tähtaeg** 20.05.2016

**Üliõpilane** Jegor Kalinin /allkiri/ ..... kuupäev 10.03.2016

Kontakttelefon 56486873 E-mail: jegorik@gmail.com

**Juhendaja** Igor Penkov /allkiri/ ..... kuupäev 10.03.2016

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

# SISUKORD

<b>BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE</b> .....	3
<b>SISUKORD</b> .....	4
<b>JOONISTE JA TABELITE LOETELU</b> .....	5
<b>EESSÕNA</b> .....	5
<b>SISSEJUHATUS</b> .....	7
<b>PÕHIOSA</b> .....	8
<b>1. STATISTIKA</b> .....	9
<b>1.1 STATISTIKA</b> .....	9
<b>1.2 MAJANDUSLIKUD NÄITAJAD</b> .....	11
<b>2. TALA POSITSIONEERIMISE MEHHAANISMIDE TÖÖ PÕHIMÕTTE</b> .....	12
<b>2.1 SILINDRI TEOREETILISE JÕUDU ARVUTUS</b> .....	12
<b>2.2 PNEUMAATILINE OSA</b> .....	13
<b>3. ANDURID</b> .....	15
<b>4. MEHHAANISMI AJAM</b> .....	16
<b>4.1 MOOTORI VÕIMSUS</b> .....	16
<b>4.2 MOOTORI VALIK</b> .....	18
<b>5. AJAMITE JUHTIMISSÜSTEEM</b> .....	19
<b>5.1 TEGEVUSTE ALGORITM</b> .....	19
<b>5.2 KONTROLLER</b> .....	21
<b>5.3 PROGRAMMEERIMINE</b> .....	22
<b>6. MASINA TÕÕOHUTUS</b> .....	25
<b>7. CAD PROJEKT</b> .....	28
<b>KOKKUVÕTE</b> .....	30
<b>SUMMARY</b> .....	31
<b>KIRJANDUSE LOETELU</b> .....	32

## JOONISTE JA TABELITE LOETELU

Joonis 1. Masina disain.....	8
Joonis 2. Masina moodulid.....	8
Joonis 3. Talad .....	9
Joonis 4. Müüdüd H-Profiilide suurused ja kaalud.....	9
Joonis 5. Müüdüd H-Profiilide arv protsentides.....	9
Joonis 6. Müüdüd I-Profiilide suurused ja kaalud.....	9
Joonis 7. Müüdüd I-Profiilide arv protsentides.....	9
Joonis 8. U-profiil.....	10
Joonis 9. Jõudude positsioonid .....	10
Tabel 1. Näitajad 6 meetrilise tala korral.....	11
Tabel 2. Näitajad 100 profiilide tonni korral.....	11
Joonis 10. C95SDB200-250 Silinder .....	12
Joonis 11. Pealtpool silindri pneumaatiline skeem .....	13
Joonis 12. VHS40-F06.....	14
Joonis 13. AW40-F06 filter-regulaator.....	14
Joonis 14. Spacer with bracket Y500T-A .....	14
Joonis 15. SMC SY5120.....	14
Joonis 16. PNP tüübi andur .....	15
Joonis 17. Induktiivandur DW-AD-513-M18-120 .....	15
Joonis 18. Süsteemi lihtsustatud kinemaatiline skeem .....	16
Joonis 19. SEW DRE100M4 mootor-reduktor .....	18
Joonis 20. Mootori andmed .....	18
Joonis 21. Väljalülitamise skeem.....	19
Joonis 22. Sisselülitamise skeem.....	20
Joonis 23. Elektriline skeem .....	21
Joonis 24. Abipaneel.....	22
Joonis 25. Kontrolleri simulatsiooni skeem.....	23
Joonis 26. AND funktsiooni väärtused.....	23
Joonis 27. AND plokk.....	23
Joonis 28. OR funktsiooni väärtused.....	24
Joonis 29. OR plokk.....	24
Joonis 30. On-delay.....	24
Joonis 31. Ajaline diagramm .....	24
Joonis 32. Latching relay .....	24
Tabel 3. Latching relay käitumine.....	24
Joonis 33. Up and down counter.....	24
Tabel 4. Ohumärguannetes kasutatavad värvused.....	25
Joonis 34. 3D mudel eestpoolt .....	28
Joonis 35. Mudeli vaaded.....	29

## EESSÕNA

Lõputöö teema ilmus mitte juhuslikult välja, kuna Marketex Offshore Constructions ettevõttes oli vaadatud metallprofiilide teravate nurkade ümardamise tootmisliin läbi. Kuna antud projektis oli tehtud ainult riistvara ja nurkade ümardamise tehnoloogiliste meetodite analüüs, mul tekkis võimalus projekteerida mehhanismi, mis võimaldab korraldada profiilide automatiseeritud liikumist ja positsioneerimist töömoodulite sees. Teema pakkub mul huvi, sest ma võin kasutada mitte ainult neid teadmisi, mis puudutavad programmeerimist või kontrolleriga tööd, kui ka ise projekteerida seadmet, teha erinevaid arvutusi mootori ja pneumoseadmete jaoks, mille abil toimub mooduli töö.

## **SISSEJUHATUS**

Selle lõputöö eesmärgiks on potitsioneerimis- ja transporteerimismooduli loomine profiilide teravate nurkade ümardamistootmisliini jaoks. See protsess mängib olulist osa. Sellest vahetult sõltub see, kuidas toimub nurkade töötlemine, mis riistvara peab olema kasutatud ning nõutud töötlemisel võimsus eduka seadme töö jaoks.

Profiili transporteerimine teostub rullkonveieri põhimõttel rulliku abil, mis paneb seda liikuma elektromootori jõu mõjul. Ajamrullkonveier on vaieldamatult üks levinuim viis raskuste transporteerimisel metallurgiatehase valkimistsehhil ja ehitusmaterjalide ettevõttes, mille jaoks minu moodul saab asendamatuks juhul, kui toode valmistamiseks on vaja teisaldamist või positsioneerimist, mis toimub pneumosilindritega liikuvate rullikute abil.

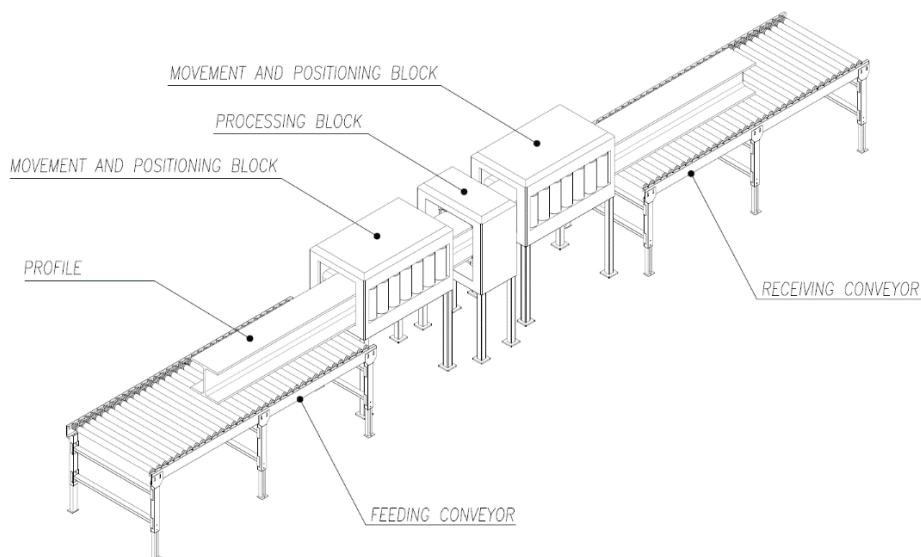
## PÕHIOOSA

Vajadus selle masina loomises on põhjustatud sellega, et profiilide teravate servade käsiümardamine võtab liiga palju aega, vajalik on kasutada spetsiaalselt väljaõppinud töolist ning inimõju mängib olulist rolli. Kui automatiseerida sellist tootmist, siis võib toota rohkem valmisproduksiooni, pakkuda seda turul ja saada kasu. Inimene, kes kirjutas magistri lõputööd Disaini ja tootearenduse erialal, pakus oma nägemust selle masina kohta. Ta esitas disaini ja põhinõuded, mis on vajalikud projekti elluviimise jaoks. See idee pakus mul huvi ning tahtsin proovida võtta selle arendusel osa. Kuna inimene esitas ainult üldist plaani otsustasin luua moodul, mis positioneerib ja transpordib erinevaid talasid. Niimodi nägi tema disain välja:



Joonis 1. Masina disain

See koosneb kahest allsüsteemist. Esimene on liikumis- ja positioneerimisplokkid, mis asuvad ääre küljes, ning töötlemisplokk keskel.



Joonis 2. Masina moodulid

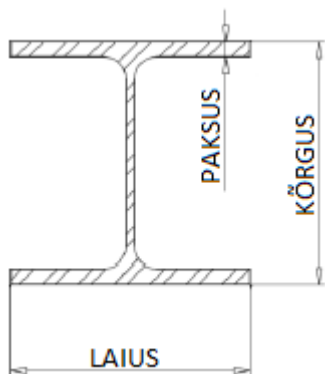


# 1. STATISTIKA

## 1.1 STATISTIKA

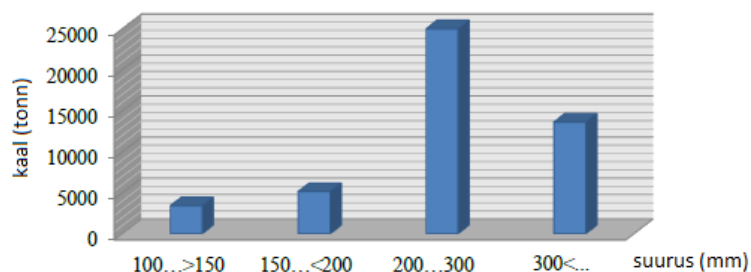
Arvestades andmetega, mis oli saadud statistilisest analüüsist aastast 2010 kuni 2015, peamist müügiosa kujundavad järgmised profiilid:

Talad (HEA, HEB, IPE, IPN jne.):

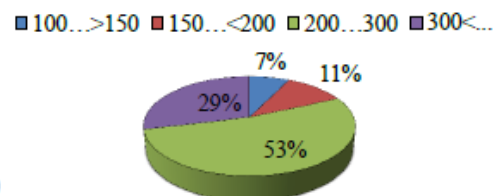


Joonis 3. Talad

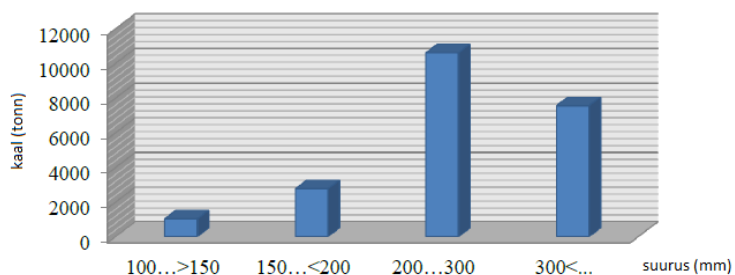
- Minimaalne kõrgus või laius - 100 mm
- Maksimaalne kõrgus või laius - 300 mm



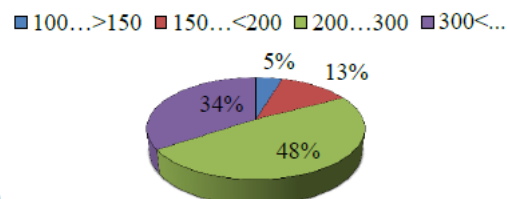
Joonis 4. Müüdüd H-Profiilide suurused ja kaalud



Joonis 5. Müüdüd H-Profiilide arv protsentides

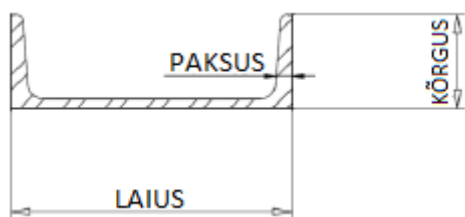


Joonis 6. Müüdüd I-Profiilide suurused ja kaalud



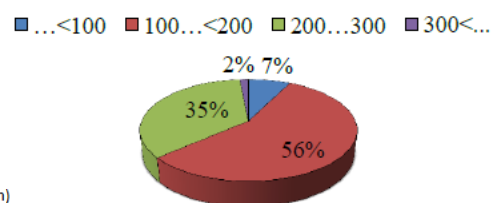
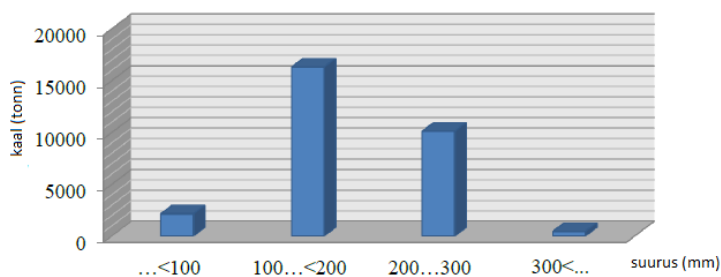
Joonis 7. Müüdüd I-Profiilide arv protsentides

Karpraud/U-profiil (UPE, UPN jne.):



Joonis 8. U-profiil

- Minimaalne kõrgus või laius - 100 mm
- Maksimaalne kõrgus või laius - 300 mm



Joonis 8. Müüdnud U-Profiilide suurused ja kaalud

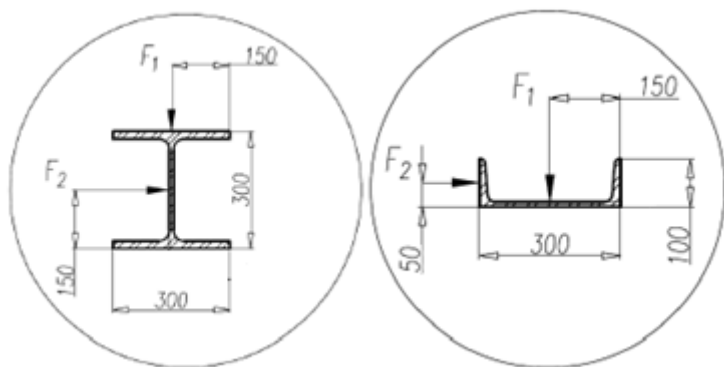
Joonis 9. Müüdnud U-Profiilide arv protsentides

Ühised:

- Minimaalne paksus - 4 mm
- Maksimaalne paksus - 35 mm

Neid andmeid arvesse võttes, positsioneerimismoodul peab fikseerida erinevaid talasid suurustega 100 kuni 300 mm ja paksusega 4 kuni 35 mm. Minimaalne ja maksimaalne profiili pikkus on vastavalt võrdsed 6 ja 12 m.

Positsioneerimissüsteem on jagatud kaheks osaks: vertikaalne ja horisontaalne. Nad hoiavad tala õigetpidi rakendatud jõudude abil.



Joonis 9. Jõudude positsioonid

## 1.2 MAJANDUSLIKUD NÄITAJAD

Projekti põhjendus peab olema alati toetatud majandusliku faktoriga. Seda tegi projekti autor, kus on näidatud selle efektiivsuse näituriid võrreldes teiste töötlemisviisidega HEB300 tala jaoks pikkusega 6 meetrit. Teisteks viisideks on käsitöötlemine (K) ja abrasiivne tehnoloogia (A).

(M) tähendab seda projekti ja kompaaniat, kus see masina oli projekteeritud (Marketex Offshore Construction).

Kirjeldus	Ühikud	K	A	M
Töötlemiskiirus	Meetrit minutis	2	12	12
Servid ühel läbimisel	Arv	1	4	8
Töötlemisaeg	Minutid	24	1	0,5
Maksumäär	Euro tunnis	25	22	22
Kulud	Euro	10	0,4	0,2

Table 1. Näitajad 6 meetrilise tala korral

On ka olemas näitajate võrdlus 100 tonni profiilide korral.

Kirjeldus	Ühikud	K	A	M
Töötlemiskiirus	Meetrit minutis	2	12	12
Servid ühel läbimisel	Arv	1	4	8
Töötlemisaeg	Tunnid	56,93	2,372	1,186
Maksumäär	Euro tunnis	25	22	22
Kulud	Euro	1423,3	52,2	26,1

Table 2. Näitajad 100 profiilide tonni korral

Antud tabelid näitavad, et töötlemiseks kuluv aeg selle projekti jaoks on umbes 50 korda vähem, kui käsitöötlemine ning 2 korda vähem, kui abrasiivne tehnoloogia. Need andmed on selle masina vajaduse tõendiks.

## 2. TALA POSITSIONEERIMISE MEHHAANISMIDE TÖÖ PÕHIMÕTTE

### 2.1 SILINDRI TEOREETILISE JÕUDU ARVUTUS

Jõud mõjub pneumaatiliste silindrite abil, mille otsas on kinnitatud raamiosa, kus on paigaldatud rullikud, et profiil edasi takistamatult liiguks laagri järgi.

Silindri teoreetilist jõudu saab arvestada järgmiste valemitega:

$F = P * A$ , kus  $F$  on jõud (N),  $P$  on rõhk(MPa);

$A = \frac{\pi*d^2}{4}$ , kus  $A$  on pindala (mm<sup>2</sup>),  $d$  on silindri läbimõõt.

Hõõrdumise jõud, mis tekkib paaril teras-teras, on samasugune nagu jõud, mis tekkib profiili transporditamisel mootori abil ning on arvestatud "Mootori võimsuse" osakonnas:

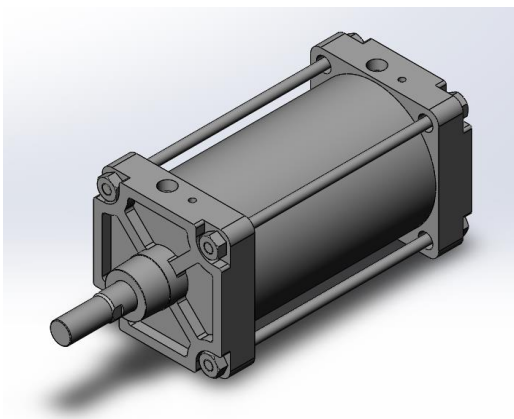
$$F = 10375 \text{ N}$$

Nominaalne koormus peab olema umbes 70% tavalise silindri liikumiseks ja umbes 50% aeglase liikumiseks. Nagu põhireegel, SMC kasutab kolonn rõhuga 0.5 MPa. Seepärast jagame vajalikku jõudu 0.7 ja saame umbes 14821 N.

Leian sobivat silindrit SMC kataloogist järgmiste andmetega:

- Nominaalne silindri läbimõõt  $d = 200$  mm;
- Kolvivarre läbimõõt  $D = 50$  mm;
- Silindri jõud rõhul 0,5 MPa sisse- ja väljatõmbamisel vastavalt on 15700 ja 14800 N;

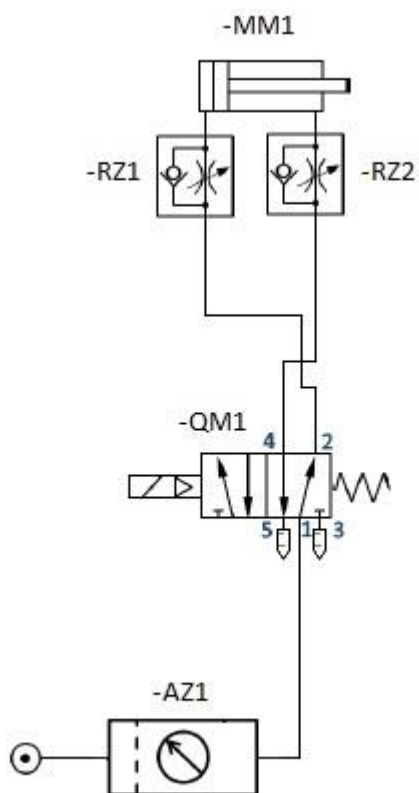
Võtan silindrit C95SDB500, mille maksimaalne kolvikäik on 2000 mm ja kolvivarre läbimõõt on 40 mm. Tegutsev rõhk on 0,05 – 1 MPa. Pordi suurus on G 3/4, varda otsase keere M36x2 ja silindri kiirus on 50 kuni 500 mm/s. Silindri läbimõõt jaab samaks. Nii kolvikäik, kui ka töö rõhk võetakse varuga ning ei kasuta täielikku süsteemi potentsiaali.



Joonis 10. C95SDB200-250 Silinder

## 2.2 PNEUMAATILINE OSA

Kuna mooduli realiseerimise jaoks on vaja silindri miinusasendit algasendiks, saame niisugust pneumaatilist skeemi.



Joonis 11. Pealtpool silindri pneumaatiline skeem

Märkide tähistused:

- AZ - õhuettevalmistusplokid
- QM – voolu suunamine/lülitamine: sulgurventiilid, suunaventiilid
- RZ – ühesuunalised drosselid, kiirväljalaskeklapid
- MM – hüdro- ja pneumotäiturid

Suruõhu ettevalmistusseadmed ühendatakse ühte plokki, mida nimetatakse õhuettevalmistusplokiks. Õhu ettevalmistusploki moodustavad reeglina: õhufilter, rõhuregulaator ja õliti vajadusel. Antud juhul ei ole niisugust vajadust. Õhuettevalmistusploki ruumi säätmiseks võib kasutada ka filtri ning rõhuregulaatori kombinatsiooni – filterregulaatorit. Peale selle õhuettevalmistusplokki peab olema paigaldatud ka ventiil masina seiskamiseks ning jääkrõhu väljalaskmiseks. SMC kataloogi järgi valin VHS40-F06 ventiili G  $\frac{3}{4}$  portiga tööõhuga 0,1 - 1

MPa ning AW40-F06 filterregulaatorit sama pordiga ja lubatud rõhuvahemikuga 0,05 - 0,85 MPa, mis ka sobib selle süsteemi jaoks. Tihend nende eraldamiseks on Y500T-A.



Joonis 12. VHS40-F06



Joonis 13. AW40-F06 filter-regulaator



Joonis 14. Spacer with bracket Y500T-A

Drosseleid kasutatakse läbivoolava õhu vooluhulga reguleerimisel, näiteks pneumaatilise täituri liikumiskiiruse ja pöörlemissageduse vähendamiseks. Tihtipeale paigaldatakse drosselid otse täituri portidesse. Silindri kolvi liikumiskiiruste reguleerimiseks mõlemas suunas paigaldatakse vastuklapiga drosselid silindri mõlemasse tööporti. Suruõhk pääseb vabalt silindrisse läbi vastuklappide ning voolab välja drosselite kaudu.

Suunaventiilide funktsioon on muuta õhuvoolu suunda muutes sisend- ja väljundavade ühendusskeeme. Suunaventiilide ülesanneteks pneumosüsteemis on: täituri juhtimine, pneumosignaali andmine, loogikafunktsioonide realiseerimine. Skeemis kasutatakse monostabiilne normaalselt avatud 5/2 suunaventiil elektromagnet õhkvõimendusega. Number ühe all on rõhuallika port, 2 ja 4 on tööpordid, 3 ja 5 on väljalaskepordid (kusjuures pordi 2 oma on 3, pordi 4 oma on 5). Oli valitud SY5120 SMC kataloogist. Töörõhk on vahemikus 0,15 – 0,7 MPa.



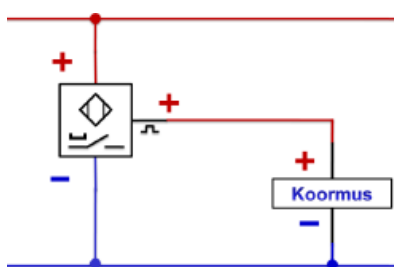
Joonis 15. SMC SY5120

### 3. ANDURID

Anduriks valisin induktiivandurit. Induktiivanduri tundlikuks elemendiks on pool L, mis on ühendatud kondensaatoriga C. Koos nad moodustavad võnkumiskontuuri, mis resoneerub sagedusel  $F_0$ . Need võnkumised tekitavad anduri ette vahelduvat magnetvälja.

Kui anduri vahelduva magnetvälja sisse satub metallist ese, siis selles indutseerivad pöörisvoolud. Pöörisvoolud indutseerivad lisakoormust võnkumiskontuurile, mida on võimalik mõõta. Seega, induktiivandurit saab kasutada metallide ära tundmiseks. Anduri tundlikkus (rakendumiskaugus objektist) sõltub objekti materjalist.

Kuna koormus asub allpoolmainitud skeemi järgi, kasutame PNP tüüpi andurid.



Joonis 16. PNP tüüpi andur



Joonis 17. Induktiivandur DW-AD-513-M18-120

Antud anduril on järgmised omadused:

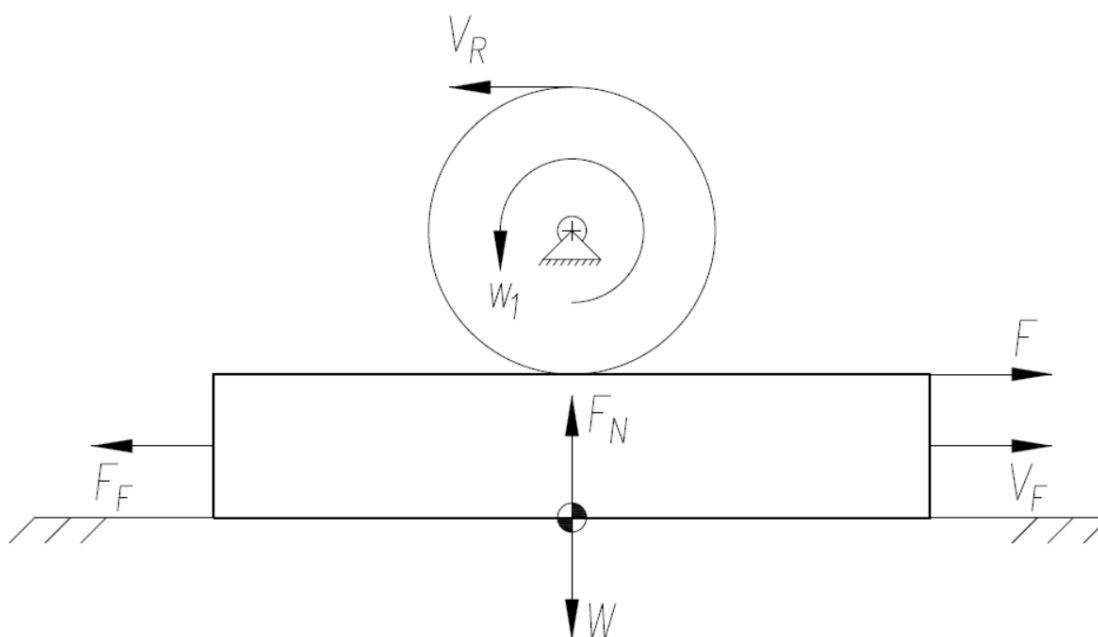
- Rakenduse tüüp: Pikk tunnistuskaugus
- Tunnistuskaugus: 20 mm
- Väljundi tüüp: NO
- Polaarsus: PNP
- Toitepinge: 10 ... 30 VDC
- Koormusvool:  $\leq 200$  mA
- Lülitussagedus:  $\leq 200$  Hz
- Kliimatilised tingimused:  $-25 \dots +70$  °C
- Kaitseklass: IP 67
- Korpuse materjal: Kroomitud messing

## 4. MEHCHANISMI AJAM

Tala transporteerimine teostatakse ajamirullkonveieriga. See on mõeldud suuregabariidiliste raskuste nihkumiseks ning laseb paigutada neid ümber nii horisontaalses tasandis, mis on kasutatud minu lõputöös, kui ka ajada üles väikse nurga all ning tagada alalist liikumiskiirust. Niisuguse konveieri eeliseks on: võimalus töötada kõrge õhuniiskuse, happesuse ja aluselise ruumides (agressiivsetes keskkondades); konstruktsiooni ülikandejõud; reversiivliikumise võimalus. Tavaliselt iga konveieri rullik (või 1-2 rulliku üle) saab sunduslikult pöörlemist otse elektromootorist või hammas-, kett- ja rihmajamist. Raskused liiguvad hõõrdumisjõu pärast, mis tekib rulliku ja raskuse pindade vahel. Ma kavatsen kasutada mootorit, mis on seotud otse ühe rullikuga.

### 4.1 MOOTORI VÕIMSUS

Transporteerimis- ja positsioneerimistehnoloogia skeem loob kinemaatilist skeemi, mis peab olema määratud erinevate faktoritega. Joonis illustreerib lihtsustatud kinemaatilise süsteemi skeemi.



Joonis 18. Süsteemi lihtsustatud kinemaatiline skeem

Objekt libiseb pinnal kiirusega  $V_F$  jõu  $F$  abil, mis on rakendatud pöörleva rullikuga  $W_1$  nurkkiirusega. Pindade hõõrumine takestab liikumist ning selleks, et liigutada objekti, rakendatud jõud  $F$  peab olema  $F_F$  hõõrdumisjõu suurem. Amontoni-Kuloni seaduse järgi, libisemise korral hõõrdumisjõud  $F_F$  on võrdeline kehale mõjuva survejõuga  $F_N$ . Peamiseks hõõrdumiskarastikuks on hõõrdumiskoeffitsient  $\mu$ , mis on määratud materjalidega, millest on tehtud mõjustavate kehade pinnad. Teras-teras paari jaoks kuival hõõrdumisel kasutatakse



koefitsient 0,5. Survejõud  $F_N$  on võrdeline gravitatsioonijõuga  $W$ , või objekti massiga vaba langemise kiirendusel  $g$ .

Arvestuse näidel kasutatakse tala HEM. Materjal on teras S275JR. Selle mass on 176,3 kg/m, siis, kui võtta maksimaalset tala suurust arvesse, siis 12-meetrilise profiili umbkaudne mass on:

$$m_{\max} = 176,3 * 12 = 2115 \text{ kg.}$$

$$F = F_F = \mu * F_N = 0,5 * 20750 \text{ N} = 10375 \text{ N}$$

$$F_N = W = m * g = 2115 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 20750 \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}^2} = 20750 \text{ N}$$

Töö  $A$ , mis on nõutud objekti transpordamiseks, on määratud rakendatud  $F$  jõu ja läbitud kaugusega  $S$ . Kui objekti kiirendus  $a$  muutub ajas, siis vajava kiiruse saavutamiseks töö võtab kinemaatilise energia kuju. Mehhanismi- või masinavõimsus  $N$  on töö  $A$  suhtumine ajasse  $t$ , mille jooksul see oli tehtud.

$$A = F * s = m * a * \frac{V_1^2 - V_0^2}{2a} = \frac{V_1^2 - V_0^2}{2} = \frac{m * V_1^2 - m * V_0^2}{2} = \frac{m * V_F^2}{2}$$

$$A = \frac{2115 \text{ kg} * (0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 42,3 \text{ J}$$

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F * s}{t} = F * V = F * V_F$$

$$N = 10375 \text{ N} * 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2.075 \text{ kW}$$

$F = m * a$  – üldine jõuvõrrand Njuutoni teise seaduse järgi

$$s = \frac{V_1^2 - V_0^2}{2a} \text{ – läbitud kaugus}$$

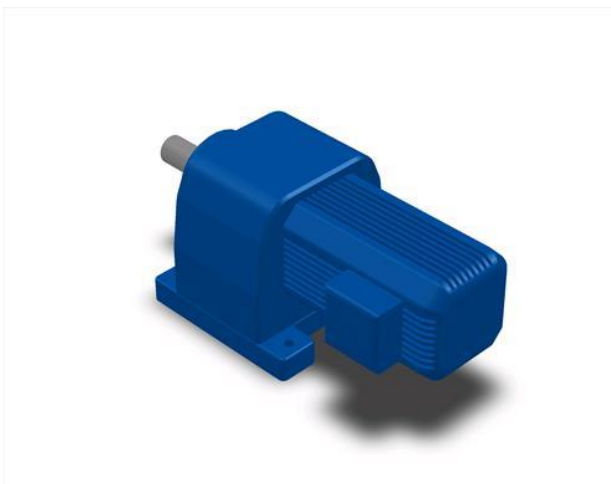
$V_1 = V_F = 12 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  – minimaalne nõutud protsessikiirus, mis on määratud analüüsiga

$V_0 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  – objekti algikiirus

## 4.2 MOOTORI VALIK

Kuna profiilie transporteerimiseks nõutud võimsus ei ületa 3 kW, võib kasutada mootor-reduktorit. See on agregaat, mis kujutab endast ühes plokkis elektromootori ja reduktori kombinatsiooni. On laialt kasutatakse tööstusalades elektriajami elemendiks. Eelisteks võib märkida:

- Kõrge efektiivsus,
- lihtne hooldus,
- kompaktsus,
- lihtsustatud montaaž.



Joonis 19. SEW DRE100M4 mootor-reduktor

Valime mudelit DRE100M4 (IE2 kõrge efektiivsusega):

2.2 kW / 50 Hz	DRE100M4
$M_N$ [Nm]	14.7
$n_N$ [rpm]	1425
$M_A/M_N$	3.3
$M_H/M_N$	2.7
$I_N$ [A]	4.6
$I_A/I_N$	6.4
$\cos \varphi$	0.8
$\eta$ 75% A [%]	86.7
$\eta$ 100% A [%]	85.4
$\eta$ 75% B [%]	87.5
$\eta$ 100% B [%]	86.4
$J_{Mot}$ [ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ]	56
$J_{BMot}$ [ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ]	62
$J_{Mot+JZ}$ [ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ]	191
$m_{Mot}$ [kg]	26
$m_{BMot}$ [kg]	32
$Z_{0BGE}$ [1/h]	8000
S1 temp. [K]	45

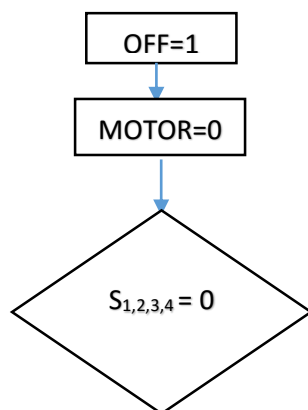
Joonis 20. Mootori andmed

## 5. AJAMITE JUHTIMISSÜSTEEM

### 5.1 TEGEVUSTE ALGORITM

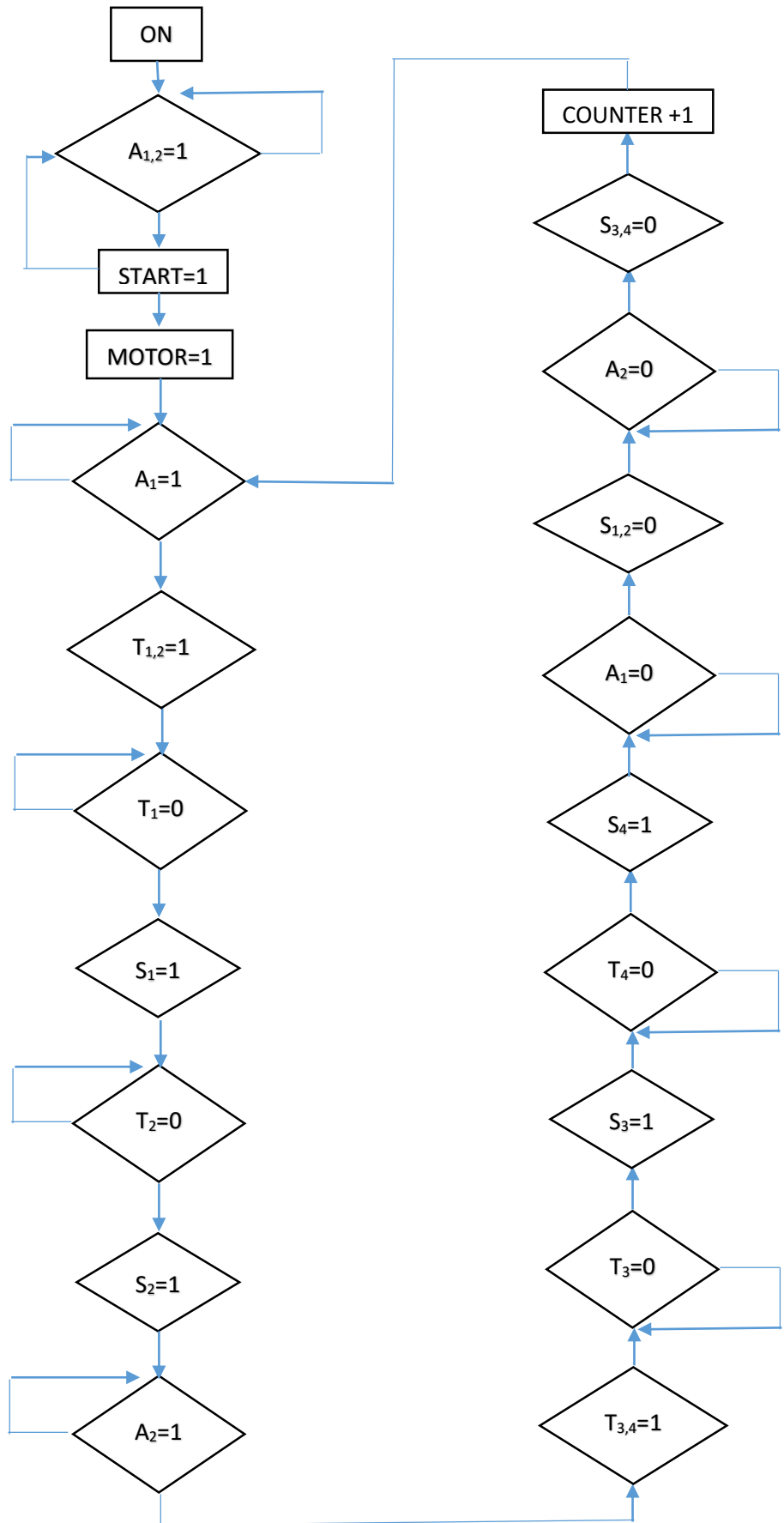
Moodul lülitakse sisse. Toimub andurite kontroll, kas töötavad nad või mitte. Surume START nupu alla. Hakkab töötama mootor-reduktor, mis keerab profiilide transpordidivat rullikut. Alustab kahe esimeste taimerite lugemine, niipea kui esimene andur tunneb metalli ära. Kohe pärast esimest taimeri lõpetust algab liikumist esimene tala vasakult positsioneeriv silinder ja pärast teist taimeri lõpetust hakkab liikuma esimene pealtpoolt positsioneeriv silinder. Edasi tala läheb teise anduri mööda, andur jälle tunneb metalli ära ja alustab kahe teiste taimerite lugemine. Pärast nende lõpetust samamoodi liiguvad teised vasakult ja pealtpool positsioneerivad silindrid. Kui profiililõpp käis esimese anduri mööda, siis andur juba ei tunne metalli ning tema signaal muutub nulliks. Kui kontrolleri saab nulli, lähevad esimese mooduli silindrid oma lähtasendisse. Sama asi toimub teise anduriga, kui profiililõpp on käinud tema mööda ning teise mooduli silindrid ka lähevad oma lähtasendisse. Pärast teise anduri signaali nulliks muudatust hakkab töötama lugeja, mis arvutab valmisprofiilide arvu. Tema algsumma on null, siis pärast iga edasist profiili lisandub summile üks. Selle peal tsükkel lõppeb ja kontrolleri ootab uut esimese anduri signaali, et tuleb järgmine talu.

Nupu STOP alla surumisel mootor lülitakse välja, kõik neli silindrid lähevad oma lähtasendisse.



Joonis 21. Väljalülitamise skeem

A – ANDURID  
 T – TAIMERID  
 S – SILINDRID



Joonis 22. Sisselülitamise skeem

## 5.2 KONTROLLER

Kontroller peab sisaldama 6 sisendit ja 6 väljundit. Kuna oli otsustatud kasutada LOGO! 230RC kontrollerit, lisatakse laiendusmoodul LOGO! DM8 230R, milles on lisaks 4 sisendit ja 4 väljundit.

Sisendid:

i1 – Start nupp (S1)

i2 – Stopp nupp (S2)

i3 – Andur 1 (B1)

i4 – Andur 2 (B2)

i5 – Mootori edasiliikumise nupp (S3)

i6 – Mootori tagasiliikumise nupp (S4)

Väljundid:

Q1 – Mootor edaspidi

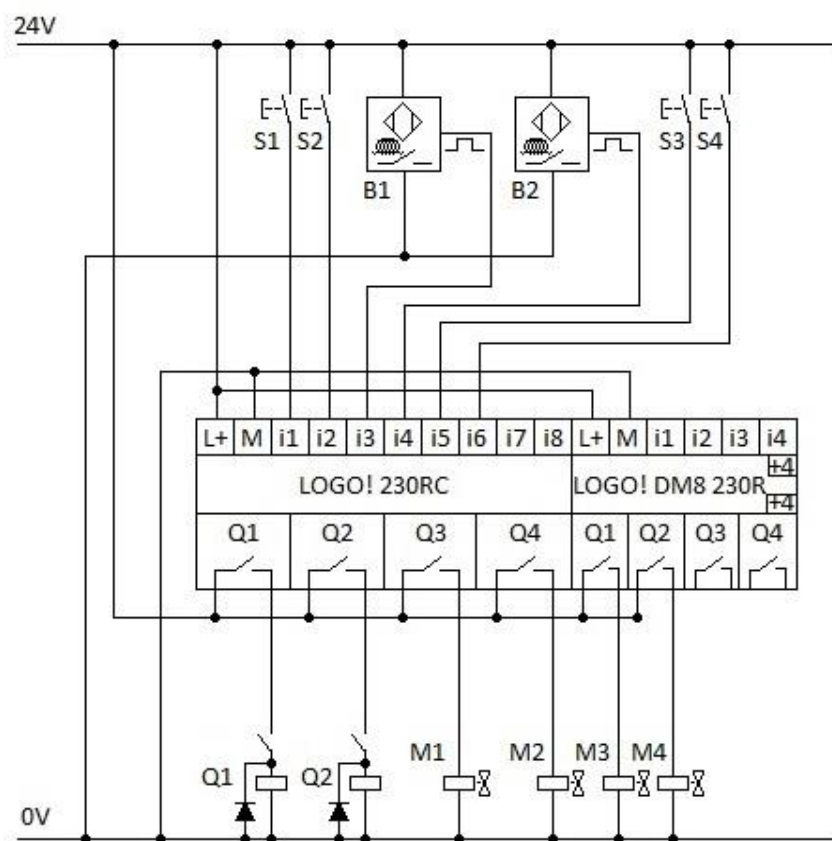
Q2 – Mootor tagurpidi

Q3 – Vasak silinder moodul 1

Q4 – Ülaltpoolt silinder moodul 1

Q5 - Vasak silinder moodul 2

Q6 - Ülaltpoolt silinder moodul 2



Joonis 23. Elektriline skeem

Skeemil kasutatakse 2 diodi kontaktide kaitse jaoks ülekoormuse eest. Lihtsalt panin neid skeemi peale õiges kohas ja suunas, kuna minu teadmised ei anna võimalust korralikult valida vajalikut seadet. Aga nad on ikka väga olulised ohutu kasutamise jaoks.

### 5.3 PROGRAMMEERIMINE

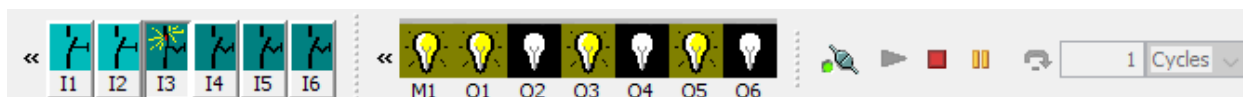
On olemas kaks võimalust LOGO! kontrolleri jaoks: programmi sisestamine otse seadmes või selle loomine arvuti kasutades.

Programmi sisestamine otse seadmes käsisisendeid kasutades tähendab seda, et LOGO! moodul võib olla vaevatult programmeeritud LCD ja kuue nuppude abil. Nuppu vajutades, kasutajad on varustatud menüüga, mis võimaldab programmi sisendamist või kustutamist, erinevate parameetrite muutmine, jne. Programm on näidatud ekraani peal funktsiooni plokkdiagrammiga.

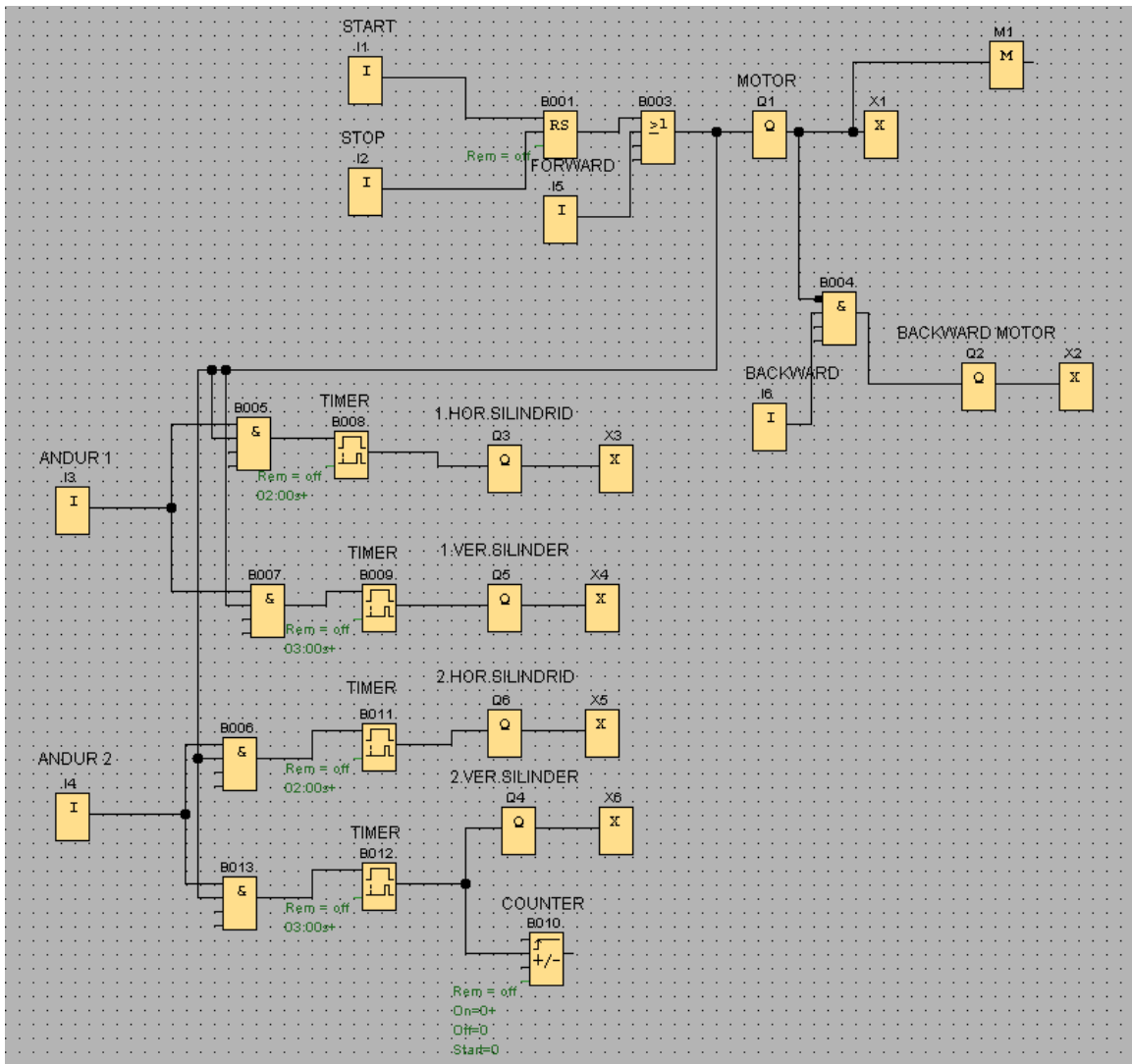
Tegu on seotud PLC programmeerimisega. Loogikaoperatsioonid, taimerid, loendajad, jne on näidatud ristkujuliste plokkina. Ainult üks plokk võib ekraanil korraga olla, plokkide valik on võimalik nooleklahvide abil. Programmi loomine arvutil võimaldab täieliku programme kujutist ekraanil. Kasutades generatsiooni ja simulatsiooni testi, valmis programm võib olla andud LOGO! mooduli kaabli üle.

Kuna mul ei olnud võimalust proovida sisestada programmi mooduli peal, valisin mina selle viisi. Programmeerimiseks kasutatakse LOGO!Soft Comfort tarkvara. Sellega võib teha generatsiooni, simulatsiooni ja online testi, dokumentatsiooni. Mul oli demo versioon, aga see üldse ei mõju programmi töövõimet. Kõik vajalikud elemendid asuvad käepäraselt ja vaistlikult. Pärast programmi koostamist minu tegevuste algoritmi abil pidin testida selle korrektsust ja töövõimet. Selle tegemiseks vajutasin simulatsiooni nuppu. See lubab lülituma sisendsignaali üle. Programm reageerib simuleeritud sisensignaalidele täpselt nii, kui see oleks reaalses seadmes. Topeltklõps elemendile annab seadistuse võimalust. Näiteks viivitust taimeris või nuppuliik sisendite parameetrites.

Paneel skeemi all näitab sisendeid, mille signaal on kas 1 või 0. Sama asi on väljundite signaalidega. On ka povernupp ja nupud simulatsiooni kontrollimiseks: start, stop, pause ja stepping mode. Peale selle seal võib näha tsüklite arv ühe sammuga.



Joonis 24. Abipaneel

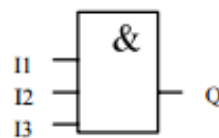


Joonis 25. Kontrolleri simulatsiooni skeem

AND ploki juhul väljundiks on 1 ainult siis, kui kõikidel sisenditel on väärtuseks 1.

I1	I2	I3	Q
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Joonis 26. AND funktsiooni väärtused

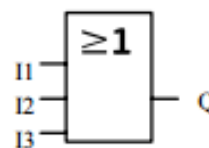


Joonis 27. AND plokk

Ploki nimeks on OR, sest selle väärtus on 1 siis, kui vähemalt ühe sisendi väärtuseks on 1. Kas I1 või I2 või I3 sisendil on suletud olek.

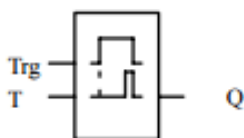
I1	I2	I3	Q
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Joonis 28. OR funktsiooni väärtused



Joonis 29. OR plokk

Viiivitusel (On-delay) on Trg (Trigger) sisend ja T parameeter. Trg käivitab taimerit, aga T on aeg, mille pärast väljund Q on lülitatud sisse.

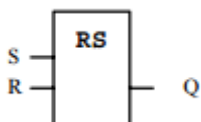


Joonis 30. On-delay



Joonis 31. Ajaline diagramm

Väga tihti on vaja, et vooluring oleks alati lülitatud sisse. Selle jaoks kasutatakse Latching relay. On olemas sisendid S ja R. Paneme Q väljundi väärtuseks 1 sisendi S (Set) abil. Teeme R (Reset) sisendiga väljundi väärtuseks 0. Kui S ja R on 1 samal ajal, siis väljundiks on 1.



Joonis 32. Latching relay

S	R	Q	Märkus
0	0		Väljund jääb samaks
0	1	0	Reset
1	0	1	Set
1	1	0	Reset

Table 3. Latching relay käitumine

Up and down counter'il on 3 sisendid ja 1 parameeter. R sisend teeb sisearvu ja väljundi väärtuseks 0. Counter loeb muutusi 0 olekust 1 olekule Cnt sisendi abil. Kui Dir sisend on 0, siis counter loeb üles ning loeb alla, kui Dir on 1. Par parameeter määrab väärtust. Kui counter'i arv on võrdne või suurem, kui see parameeter, siis väljundiks on Set.



Joonis 33. Up and down counter



## 6. MASINA TÖÖOHUTUS

Tööohutusena mõistetakse töökorraldusabinõude ja tehnikavahendite süsteemi sellise töökeskkonna seisundi saavutamiseks, mis võimaldab töötajal teha tööd oma tervist ohtu seadmata. Kolm peamist tööõnnetuste põhjust on järgmised:

- hooldamata töövahend ja töövahendi vale kasutamine,
- sobimatud töötingimused, näiteks korratus töökohal, halb valgustus,
- töötajate puudulik juhendamine ja väljaõpe, sh vähene töökogemus, mis on kõige kriitilisem just uue tööga või tööfaasiga alustamise ajal.

Need on ainult mõned tegurid, mis võivad kaasa aidata tööõnnetuse toimumisele. Tööohutuse tagamisel on oluline toimunud töö- õnnetused ja ohuolukorrad juhtkonnaga läbi rääkida ning leida viis, kuidas ohtlikku olukorda lahendada või ennetada. Sel moel saab juhtunud õnnetuste arvu, raskusastet, vigastuste liiki ja põhjuseid üldistada ning tööõnnetusi ennetada.

Ohumärguannete ja -märgistuse eesmärk on ohutegurile tähelepanu juhtida. Sellisel juhul on töötajad ohust teadlikud ning oskavad olla ohuteguri mõjupiirkonnas tähelepanelikumad. Ohumärguanne on vastavalt olukorrale kasutatav märgistus, märk või värvus, valgusmärguanne või helisignaal ning suuline või käemärguanne, mis osutab teatud esemele, tegevusele või olukorrale ning tagab vajaliku ohutusteabe või tegevusjuhise. Kui töökohas on ohualad, paigaldatakse ohutusmärk ala sissepääsu juurde, ohuallikale eriomase ohu korral aga ohuallika juurde. Ohutusmärke paigaldatakse tuleb arvestada maksimaalset äratundmiskaugust sõltuvalt märgi suurusest. Samuti tuleb arvestada valgustusega, vaatenurga ja kõrgusega.

Värvus	Otstarve	Käitumisjuhised
Punane	Keelumärguanne	Ohtlik käitumine
	Hoiatus ohu eest	Seiskamine, sulgemine, väljalülitamise varuseadis, ohualalt lahkumise korraldus
	Tuletõrjevahendid	Tunnus ja asukoht
Kollane/oranž	Hoiatusmärguanne	Ole ettevaatlik, võta tarvitusele ettevaatusabinõud, uuri olukorda
Sinine	Kohustusmärguanne	Eriomane kohustuslik käitumine või tegevus, isikukaitsevahendi kandmise kohustus
Roheline	Evakuatsiooni- ja esmaabimärgid	Uksed, liikumisteed, väljapääsud
		Esmaabivahendi tunnus ja asukoht
	Ohtu ei ole	Normaalne olukord taastunud

Table 4. Ohumärguannetes kasutatavad värvused

Mõnedele töövahenditele (näiteks pressimismasinad, lõikurid, teritajad jne) on ette nähtud kaitseseadised, kaitsmaks töötaja kehaosi (eelkõige käsi). Kuna minu seadmes kasutatakse liikuvad silindrid ja nendest väljav piisavalt suur survejõud, on oluline, et kaitseseadis:

- ei takistaks töötamist;
- ei takistaks töövahendi järelevalve teostamist;
- oleks olemas kõikides kohtades, kus kokkupuude liikuvate osadega võib kaasa tuua inimese vigastamise;
- oleks piisavalt tugev, et taluda sellele rakendatavat suurimat koormust.

Paljud vigastused leiavad aset just töövahendite läbivaatuse, parandamise või hooldamise käigus, kui need ootamatult sisse lülitatakse. Seda liiki töid ei tohiks alustada enne, kui töövahend on seiskunud ja selle käivitamiskoht on lukustatud.

Nupud operatsioonide teostamiseks peavad olema disainitud ja paigaldatud nii, et oleks välditud nende juhuslik taaskäivitamine. Väljalülitamise nupud peavad olema kergesti juurdepääsetavad ja märgistatud punase värvusega.

Elekter võib põhjustada õnnetusi ja tuleohtlikke olukordi. Isegi kokkupuude mõne esemega, mis tavaolukorras voolu ei juhi, võib põhjustada tõsiseid õnnetusi, kui isolatsioon ei ole korrektne. Elektrivool võib tekitada ka põletusi. Kui juhtmete isolatsioon on vigastatud ja tekib lühiühendus, võib eralduda tugevat soojust, mille tagajärjel võib süttida tulekahju. Elektrikahjustused on tihti tingitud ohutusseadmete hooldamata või kontrollimata jätmisest või sellest, et ei järgita kindlaksmääratud ohutusnõudeid. Elektriseadmeid tohivad hooldada ainult väljaõppinud elektrikud.

Elektertoitel töövahendite puhul on õnnetuse vältimiseks vajalik tagada, et need oleksid heas töökorras. Elektrit juhtivad osad peavad olema korraliku isolatsiooniga ning mootori raamistik ja korpus tuleb maandada. Lahtisi kaableid ei tohi töökeskkonnas olla, töövahendite juhtmed ja kaablid tuleb kinnitada seinale.

Töövahendi kasutamine – sellega töötamine, selle käivitamine, seiskamine, transport, teisaldamine, paigaldamine, parandamine, seadistamine, hooldus ja puhastamine – ei tohi ohustada töövahendi kasutaja ega teiste isikute tervist ning töö- ja elukeskkonda. Seadme liikuvad või teravad osad, valgustuse puudused, kukkumis- ja elektrilöögioht ning muud samalaadsed ohutegurid peavad olema välditud või viidud võimalikult madalale tasemele.

#### Üldnõuded:

- tööülesannet tohib asuda täitma alles siis , kui selleks on teada ohutud tövõtted,
- ohutusnõuete rikkumine võib põhjustada õnnetuse,
- mitte kasutada tööriistu ega seadmeid, mille käsitsemine ei ole ohutu,
- töökoht peab olema küllaldaselt valgustatud,
- masinale lubatakse iseseisvalt tööle isikuid, kes on vähemalt 18 aastat vanad ja saanud vastava väljaõppe,
- töökoht peab kahjulike ainete olemasolul olema varustatud ventilatsioonisüsteemiga, mis tagab sanitaarnormidele vastava õhuvahetuse ja kahjulike ainete eemaldamise töötsoonist,
- töötaja peab tundma ohutuid tövõtteid, käesolevat juhendit ja asutuse sisekorra eeskirju,
- töötaja on kohustatud kandma normidega ettenähtud tööriideid ja kasutama isikukaitsevahendeid.

#### Enne tööd:

- korrastada tööriistad. Nöörida või siduda kinni varrukasuud, kinnitada rippuvad rõivaosad, panna juuksed kinni või peakatte alla,
- koristada töökohalt kõik mittevajalik ja tööd segav,
- kontrollida masina korrasolekut:
  - kas liikuvate ja pöörlevate osade kaitsed on omal kohal ja kinnitatud,
  - kas töökohal valgustus on terve,
  - kas masinasse ei ole jäänud eelmisest vahetusest esemeid, detaile, seadmeid ja töövahendeid.

#### Töö ajal:

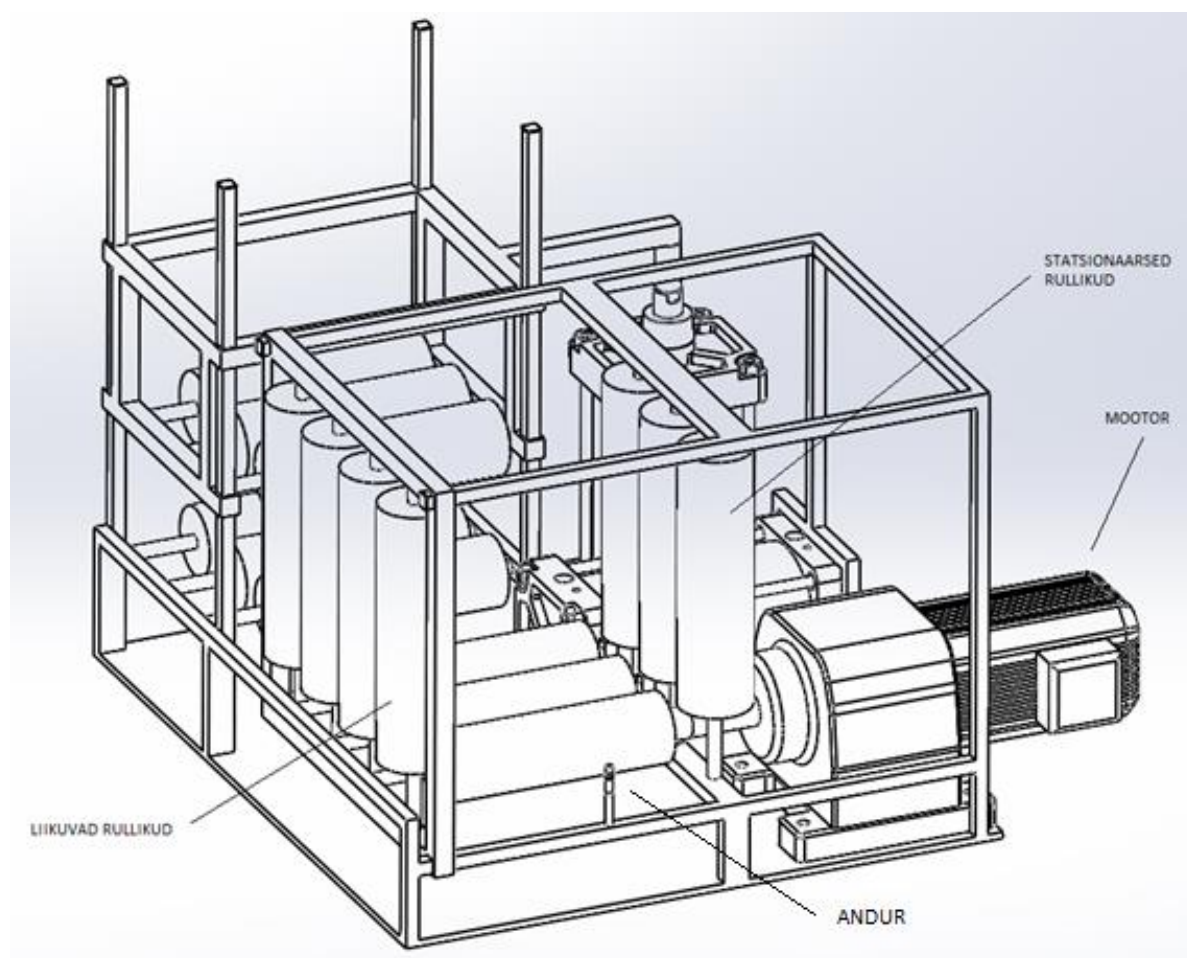
- ei tohi ummistada läbikäike. Laduda valmistooteid korralikult ettenähtud kohale,
- peata masin kui katkestad töö, kui katkeb elektrivool, masina reguleerimise ajal, kui masin ei allu kontrollile, kui masina märgutuled annavad märku rikkest masinas.

#### Peale töö lõpetamist:

- lülitada masinat, lisaseadmed ja muud kasutatud elektritarvikud vooluvõrgust välja ning korrastada töökoht,
- teatada kõigist töö ajal tekkinud häiretest ja puudustest.

## 7. CAD PROJEKT

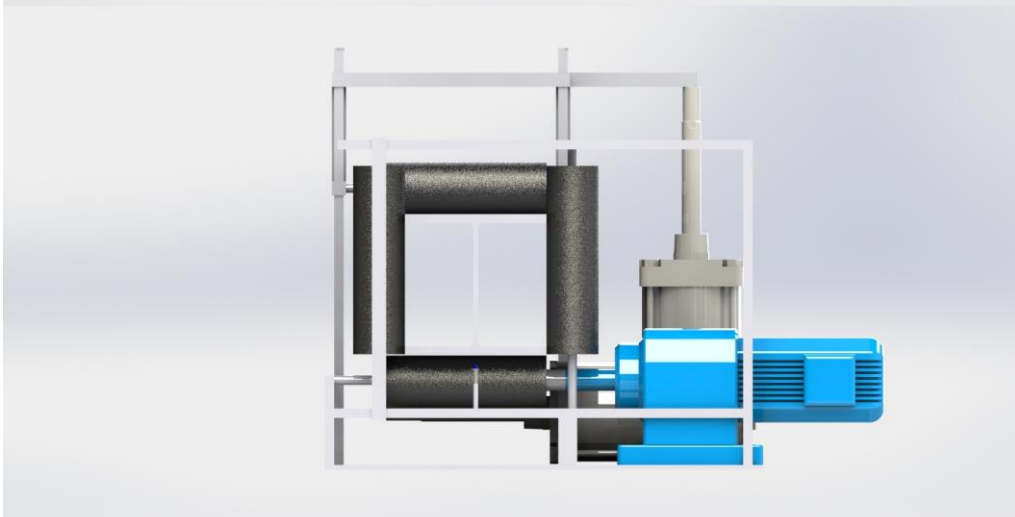
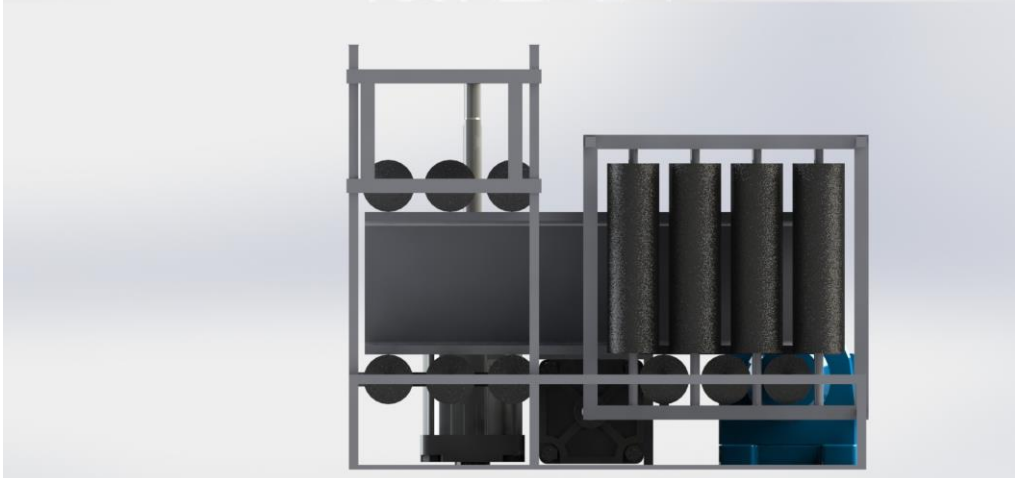
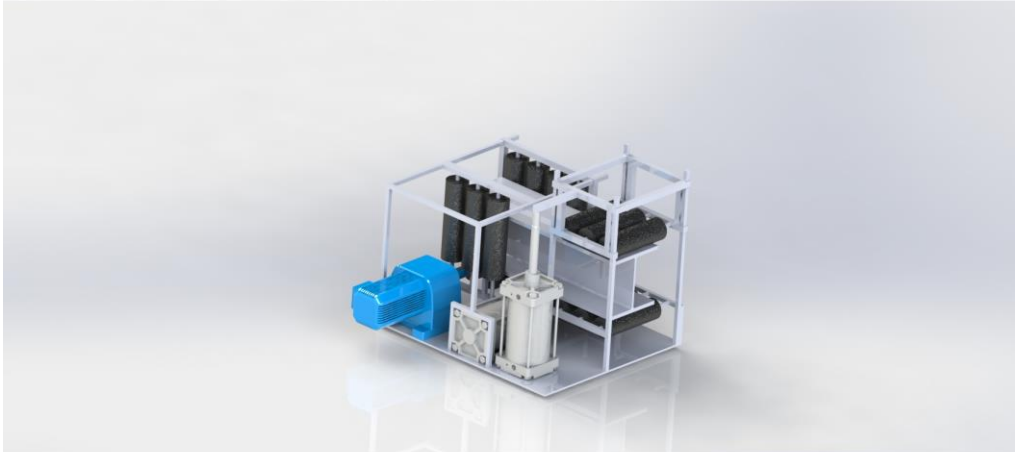
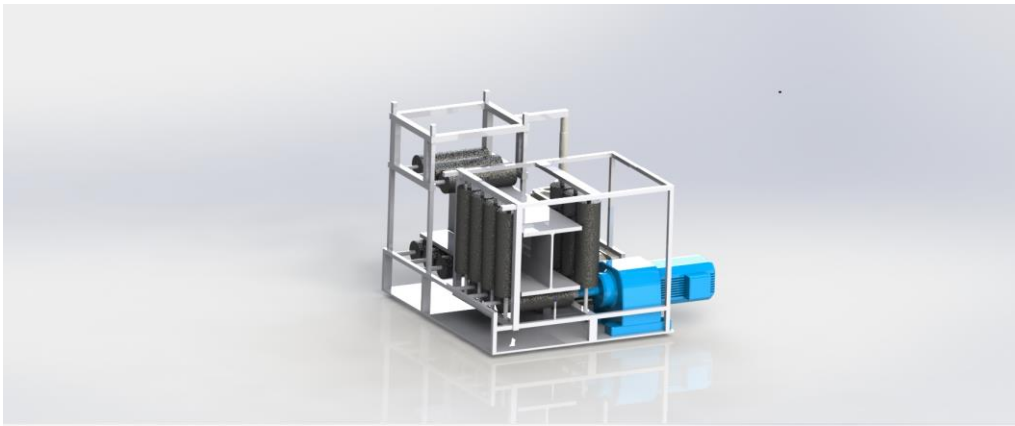
Kasutades SolidWorks 2016 tarkvara koostasid projekteriva mooduli raami 3D mudelit. Raamil paikneb mootor, mis vahetult annab esimesele rullikule pöörlemist. Raami alguses asub induktiivandur talade ära tundmiseks. On olemas statsionaarsed rullikud ja liikuvad rullikud. Liikuvad rullikud silindri jõu mõjul suruvad tala statsionaarse rullikute juurde ning niimoodi fikseerivad ja positioneerivad selle asendit. Kuna kolvikäik valitud silindrites on 250 mm, aga erinevus maksimaalse ja minimaalse profiili suuruse vahel on 200 mm (maksimaalne tala suurus on 300 mm, minimaalne on 100 mm), siis on varu ning talad võivad takistamatult seal liikuda, kui silindrid on algasendis.



Joonis 34. 3D mudel eestpoolt

Seade tagapoolt on sama lugu ja süsteem, mis positioneerib tala, aga kinnitusrullikud asuvad üleval pool. Kõik rullikud on paigaldatud nii, et mitte segada üksteist ja mitte puudutada. Liikuva raami liikumiseks võib kasutada laagreid.

Allpool on esitatud mooduli visualiseerimine. Näite jaoks oli valitud HEB300 tala, mille suurused on maksimaalsed mooduli funktsionaalsuseks.. Selle kõrgus ja laius on 300 mm ning paksus on 11 mm tala keskel ja 19 mm peal- ja allpool.



Joonis 35. Mudeli vaaded

## KOKKUVÕTE

See lõputöö on keskendatud terasprofiilide servade töötlemismasina positsioneerimis- ja liikumismoodulitele. Selle masina projekt oli esindatud Marketex Offshore Constructions ettevõtte töötajana, kes osutas tähelepanu vajadusele uuendamise ja operatsioonite optimeerimisega seotud töötlemisviisides. Ta pakus disainitud süsteemi, arvestades kättesaadavate masinatega kõige edukaim osi ja põhilised parameetrid, mis on vaja freesimistöötlemisviisi funktsionaalsuse jaoks. Seoses sellega, et kontseptil peab olema liikumis ja positsioneerimis moodul, otsustasin projekteerida seda.

On tehtud arvutused nõutud selleks, et valida vajalikke komponente. On koostatud elektrilise ja pneumaatilise süsteemide skeemid. Põhjalikuma mooduli arusaamise jaoks on kirjeldatud tegevuste algoritm. Esitatud programm kontrolleri LOGO! 230RC jaoks põhineb PLC programmeerimisel, mis võimaldab mooduli tööprotsessi juhtida. Induktiivandureid kasutades moodul leiab tala sees ja alustab panna seda teatud viisil vajutades rullikutega. Raam koos rullikutega liigub silindrite jõude abil ja on paigaldatud selle otsas.

Niisuguste masina liikideks peab olema tehtud ka masina tööohutuse reeglid, sest tootmine on alati seotud ohtlike olukordadega, kus inimesed võivad saada vigastada. Isegi kui masin on kontrollitud teisest kohast, see võib olla mitte ainult füüsiline oht ühes kohas töötavate inimeste tervisele, kui ka müra, vibratsiooni jne negatiivne mõju.

Põhi on varastatud mootor-reduktori profiilide rullikutega transporteerimiseks, 2 suure läbimõõduga silindrite ja eraldatud raamidega rullikutega horisontaalse ja vertikaalse positsioneerimise jaoks. Ülejaanud ruum võib olla kasutatud kontrollpaneeli projekteerimiseks, kontrolleri, juhtmete, toite- ja rõhuallikate ning teiste elektriliste või pneumaatiliste elementide paigaldamiseks.

Kokkuvõtteks on oluline märgata, et pakutud moodul on tehtud mitte kõigi profiilide jaoks ning esindab kuidas masinaosa võiks töötada. Allsüsteem profiilide teravate nurkade ümardamiseks on ka puuduv masinaosa ja ei olnud veel esitatud. See on põhjuseks, miks on raske öelda, kas minu idee näitab kuidas täpselt tootmisliin peab olema kujundatud. Vaatamata sellele ma pakkusin oma transporteerimis ja positsioneerimis mooduli nägemist selle masina jaoks kasutades vajalikke parameetreid, sest mulle tundub, et selliste liiki huvitavad kontseptid, mis aitavad arendada tootmist, on alustamist väärt!

## SUMMARY

The thesis focused on the movement and positioning module of machine of rounding of sharp edges on specific profile types. This machine project had been presented by worker of the company Marketex Offshore Constructions which drew attention to the need of renewing and optimising operations connected to the processing method. He offered designed system, considering the most successful parts of the available machinery, and basic parameters required for functionality of milling processing method. Due to the fact that concept had to have movement and positioning module, I decided to project it.

Were done calculations required to select necessary components. Schemes of electrical and pneumatic systems were made. For a more in-depth understanding of module was done description of action algorithm. Presented program for controller LOGO! 230RC based on PLC programming that allows to control working process of module. Using inductive sensors module detects beam inside and starts to put it in a particular way by pressing with rollers. Frame with rollers is moving with power of cylinder and fixed on the end of it.

For this kind of machines should be also done rules of safety because manufacturing is always connected with dangerous situations where people could get injured. Even if machine is controlled from other place, it can be not only physical threat to people working in same place, but also negative influence of noise, vibration etc.

Workframe is equipped with motor reducer for movement of profiles by roller, 2 large bore cylinders and separate frames with rollers for horizontal and vertical positioning. The remaining space could be used for designing control panel, installing controller, wires, supply and other electrical or pneumatic elements.

In conclusion it is important to notice that the proposed module is made not for all types of profiles and represents how the part of machine could work. Subsystem for rounding of sharp edges on profiles is also missing part of machine and had not been represented yet. That is the reason why it is hard to say if my idea shows how exactly the production line has to be designed. Despite this fact I offered my vision of movement and positioning module for this machine using main necessary parameters because I think such kinds of interesting concepts that help to develop manufacturing are worth to be started!

## KIRJANDUSE LOETELU

1. Pneumoseadmed: SMC Product Overview kataloog
2. Kontroller: Uwe Graune, Mike Thielert, Ludwig Wenzl „LOGO! Practical Training“
3. Pneumaatika I MES0080 õppematerjalid
4. Tööohutuse seadus: <https://www.riigiteataja.ee/akt/13188833>
5. Tööohutus: [https://www.sm.ee/sites/default/files/content-editors/Ministeerium\\_kontaktid/Valjaanded/tookeskkonna\\_kasiraamat.pdf](https://www.sm.ee/sites/default/files/content-editors/Ministeerium_kontaktid/Valjaanded/tookeskkonna_kasiraamat.pdf)
6. Tööohutus: <http://opiobjektid.tptlive.ee/Trykitehnoloogia/tohutus.html>
7. Mootor: <http://www.seweurodrive.com/>
8. Andur: [http://www.standel.ee/tooted?product\\_id=1037&category\\_id=517#tab1](http://www.standel.ee/tooted?product_id=1037&category_id=517#tab1)
9. Silindrid: [http://smc138.valuehost.ru/c5/\\_c95.pdf](http://smc138.valuehost.ru/c5/_c95.pdf)
10. Magistritöö „Profiilidel teravate servade ümardamiseks tootmisliini konstruktsiooni ja teostatavusuuring”, K. Andreitsük
11. LOGO:  
[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/342/19623342/att\\_84037/v1/logo\\_e\\_96.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/342/19623342/att_84037/v1/logo_e_96.pdf)