



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonikainstituut  
Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MHK70LT

*INDREK AVER*

**PUTLAASTPLAADI FORMEERIMISLIINI  
NIISUTUSSÜSTEEMI REKONSTRUEERIMINE**

Autor taotleb  
tehnikateaduse magistri  
akadeemilist kraadi

Tallinn  
2015

## 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 Maido Hiimaa juhendamisel

“21” mai 2015 a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“21” mai 2015 a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....” .....201... a.

..... allkiri

## **MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE**

2015 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Indrek Aver, 121912 (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava MAHM02/09  
Eriala Mehhatroonika  
Juhendaja: Teadur, Mairo Hiiemaa (amet, nimi)  
Konsultandid: Puuduvad (nimi, amet, telefon)

### **MAGISTRITÖÖ TEEMA:**

(eesti keeles) Puitlaastplaadi formeerimisliini niisutussüsteemi  
rekonstrueerimine  
(inglise keeles) Reconstruction of the Particleboard Forming Line Moisturizing  
System

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

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Olemasoleva süsteemi kirjeldamine	31.01.15
2.	Edasiarenduseks vajalike komponentide valik	15.02.15
3.	Juhtsüsteemi projekteerimine (algoritmide ning juhtprogrammi koostamine)	15.03.15
4.	Konstruksioonilahenduste leidmine	31.03.15
5.	Täiendusvõimaluste leidmine	05.04.15

**Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:** Rekonstrueerimisel lähtuda olemasoleva süsteemi ning liini analüüsist. Uute komponentide valikul ning süsteemi projekteerimisel pidada silmas majanduslikku aspekti ning süsteemi laiendusvõimalusi.

**Täiendavad märkused ja nõuded:** Puuduvad

**Töö keel:** eesti

Kaitsmistootlus esitada hiljemalt 12.05.15 **Töö esitamise tähtaeg** 22.05.15

**Üliõpilane** Indrek Aver ..... kuupäev 26.03.15

**Juhendaja** Mairo Hiiemaa ..... kuupäev 26.03.15

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

# SISUKORD

Magistritöö ülesanne .....	3
Sisukord .....	4
Eessõna .....	7
Sissejuhatus.....	8
<b>1 FORMEERIMISLIINI JA NIISUTUSSÜSTEEMI ÜLEVAADE.....</b>	<b>11</b>
1.1 Formeerimisliin .....	11
1.1.1 Formeerimisliini konstruktsioon.....	12
1.1.2 Formeerimisliini juhtimisautomaatika .....	13
1.2 Olemasolev niisutussüsteem.....	13
1.2.1 Hüdraulika üldskeem.....	14
1.2.2 Hüdraulikasüsteemi komponendid.....	15
1.2.3 Elektrisüsteemi komponendid.....	17
1.2.4 Konstruktsioon.....	18
1.2.5 Niisutussüsteemi juhtimine.....	19
<b>2 MEHAANILISE OSA PROJEKTEERIMINE.....</b>	<b>20</b>
2.1 Laastumati alumise kihi niisutamine .....	20
2.2 Laastumati ülemise kihi niisutamine .....	22
2.3 Võimalike asukohtade võrdlus ja väljavalimine .....	22
2.4 Vajalike konstruktsioonide projekteerimine.....	24
2.4.1 Laastumati ülemist poolt niisutava niisutusmasina konstruktsiooni muudatused . .....	24
2.4.2 Laastumati alumist poolt niisutava niisutusmasina konstruktsiooni muudatused . .....	26
<b>3 NIISUTUSSÜSTEEMI JUHTSÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE .....</b>	<b>28</b>
3.1 Juhtsüsteemi ülesehitus.....	28
3.2 Konveierlindi mõõtmise viisi valimine .....	30

3.2.1	Mõõtmine otsese kontaktiga .....	30
3.2.2	Kontaktivaba mõõtmine .....	32
3.2.3	Lindi kiiruse mõõtmiseks vajaliku anduri valimine .....	33
3.2.4	Lindi kiiruse mõõtja algoritm ning konstruktsioon.....	34
3.3	Plaadi paksuse kohta informatsiooni saamine .....	35
3.3.1	Plaadi paksuse mõõtja anduri valik ning konstruktsiooni valmistamine .....	37
3.4	Juhtsüsteemi sisendite ja väljundite arvu määramine.....	39
3.5	Juhtsüsteemi kontrolleri valik .....	41
3.5.1	Niisutussüsteemi juhtimine formeerimisliini kontrolleriiga .....	41
3.5.2	Eraldiseisev automaatjuhtsüsteem tööstusliku kontrolleriiga .....	42
3.5.3	Juhtsüsteemi kontrolleri lõplik valik .....	46
3.6	Toiteploki valik .....	47
3.7	Muudetud juhtsüsteemi kokkuvõtlik ülevaade .....	48
3.8	Juhtsüsteemi kontrolleri programmeerimine .....	49
3.8.1	Režiimid.....	49
3.8.2	Vedeliku voolamine .....	51
3.9	Programm.....	52
3.10	Graafiline kasutajaliides.....	53
<b>4</b>	<b>KATSETAMINE</b> .....	<b>54</b>
4.1	Katsetamine.....	54
4.2	Täiendusvõimalused.....	56
	<b>KOKKUVÕTE</b> .....	<b>58</b>
	<b>SUMMARY</b> .....	<b>61</b>
	<b>KASUTATUD KIRJANDUS</b> .....	<b>65</b>
	<b>LISAD</b> .....	<b>68</b>
	Lisa 1. Niisutusmasina komponendid.....	68
	Lisa 2. Niisutusmasina algne elektriskeem.....	69

Lisa 3. Tugijala joonised.....	70
Lisa 4. Lühema tugijala joonised .....	72
Lisa 5. Pihusti kronsteini joonised.....	73
Lisa 6. Kiirusemõõtja kinnituse joonised.....	77
Lisa 7. Anduri kinnituse joonised.....	80
Lisa 8. Niisutussüsteemi PLC programm .....	82
Lisa 9. Katsetamise PLC programm.....	90
Lisa 10. Katsetamise elektriskeem .....	93

## EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teema valis töö autor välja koostöös AS Repo Vabrikud juhtivate töötajatega ning see tuleneb antud ettevõtte reaalsest vajadusest muuta puitlaastplaatide tootmist, et suurendada toodangu mahtu ning muuta tooted kvaliteetsemaks. Kuivõrd tegemist on ettevõtte spetsiifilise magistritöö teemaga, siis andmete kogumine toimus sama ettevõtte Püssis asuvas tehases, kus asuvad formeerimisliin ning rekonstrueeritav niisutussüsteem.

Töö autor tänab AS Repo Vabrikud juhtkonda ja tootmisdirektorit Kaido Toomet võimaluse eest käsitleda AS-s Repo Vabrikud probleemi antud magistritöös. Samuti avaldab töö autor tänu juhendajale Maido Hiemaale kasulike soovitude eest magistritöö valmimisel.

## SISSEJUHATUS

Töö autor sooritas erialase praktika ettevõtte AS Repo Vabrikud Ida-Virumaal Püssis asuvas tehases. Antud ettevõtte toodab puitlaastplaate ning lamineeritud puitlaastplaate. AS Repo Vabrikud on enda hinnangul suurim kvaliteetse melamiinkattega puitlaastplaadi tootja Põhja-Euroopas ja Baltimaades nii tootmismahude kui ka tootevaliku poolest. Ettevõtte tootmismahut on viimastel aastatel olnud ligikaudu 185 000 m<sup>3</sup>. Ettevõttes töötas 2014. aasta lõpu seisuga ligikaudu 220 inimest.

Konkurents puitlaastplaatide ning lamineeritud puitlaastplaatide tootjate vahel on tihe. Konkurentsipüsimeks ja konkurentide edestamiseks on vajalik vastata klientide üha kõrgematele nõudmistele ja pidevalt tõsta toodete kvaliteeti. Seejuures tuleb arvestada viimastel aastatel valitsenud pingelise majandusolukorraga ja piiratud investeerimisvõimalustega. Eeltoodust tulenevalt seisneb magistr töö teema tähtsus selles, et formeerimisliini niisutussüsteemi eduka rekonstrueerimise korral muutub AS-is Repo Vabrikud tootmine efektiivsemaks ja tooted kvaliteetsemaks. Seeläbi suureneb ettevõtte konkurentsivõime. Lisaks kui AS Repo Vabrikud püsib konkurentsipüsime, siis suudab ettevõtte pakkuda inimestele tööd ning aitab seeläbi vähendada tööpuudust Eesti ühes kõrge töötuse määraga piirkonnas. Seega aitab ettevõtte kaudselt vähendada ka töötusega kaasnevat negatiivset sotsiaalseid mõjusid. Magistr töö teema aktuaalsus tuleneb sellest, et konkurents muutub järjest tihedamaks ja suurest majanduslangusest taastumine võtab veel aega, mis omakorda pärsib toodete tarbimist.

Üks võimalus tõsta tootmisprotsessi tootlikkust on kasutada niisutussüsteemi formeeritud puitlaastplaadi väliskihide niisutamiseks enne plaadi formeerimist (pressimist). Tänu pihustamisele saadakse kuumpressimisel aurušoki efekt. Selle tulemusel väheneb pressimisaeg ja tõuseb tootmisliini tootlikkus [34]. Lisaks väheneb vajatav vaigu kogus ja puitlaastplaadi omahind muutub odavamaks.

Käesoleval ajal AS-i Repo Vabrikud Püssi tehase formeerimisliinil ei ole puitlaastplaatide niisutussüsteemi. Ettevõtte juhtkond soovib puitlaastplaatide tootmist muuta ja hakata puitlaastplaate niisutama tulenevalt vajadusest püsida konkurentsipüsime. Formeeritud puitlaastplaatide niisutamiseks kasutatakse erinevat viisi, kuid antud ettevõtte puhul tuleb lähtuda sellest, et ettevõtte on juba soetanud endale niisutamissüsteemi Puhoses paiknenud puitlaastplaadi tehases ning täiendavate suuremahuliste investeeringute vältimiseks soovib just seda konkreetset niisutussüsteemi kasutada. Antud niisutussüsteem oli projekteeritud spetsiaalselt



Puhose tehase jaoks, arvestades nende liini mõõtmeid ja paigutust. Seega ei ole võimalik niisutussüsteemi ühendada Püssi tehase puitlaastplaadi formeerimisliiniga täpselt samamoodi.

Antud magistritöö ülesandeks on ostetud niisutamissüsteemi rekonstrueerimine AS Repo Vabrikud jaoks nii, et see on sobilik Püssi tehases olemasoleva puitlaastplaadi formeerimisliini jaoks ning töötab koostöös selle liiniga. Ettevõtte juhtkond soovib, et töö autor täiendaks niisutussüsteemi nii, et see niisutab puitlaastumatti vastavalt formeerimisliini kiirusele ja valmistatava puitlaastplaadi paksusele.

Formeerimisliini niisutussüsteemi rekonstrueerimisel on töö autori ülesanded järgmised:

- 1) määrata formeerimisliinil kohad, kus toimub puitlaastmatti niisutamine,
- 2) projekteerida konstruktsioonilahendused, millega on võimalik paigaldada niisutusmasinad välja valitud asukohtadesse ja niisutada formeerimisliinil olevat puitlaastmatti optimaalsemail viisil,
- 3) täiendada olemasolevat niisutussüsteemi nii, et niisutamine toimuks vastavalt formeerimisliini kiirusele ja valmistatava puitlaastplaadi paksusele,
- 4) projekteerida niisutussüsteemi juhtsüsteem.

Formeerimisliini niisutussüsteemi rekonstrueerimisel ja optimaalseima lahenduse valimisel lähtub töö autor alljärgnevast:

- 1) kahest peamisest olemasolevast komponendist: formeerimisliin ja niisutussüsteem,
- 2) ettevõtte hetkevajadustest ja sellega seotud nõuetest niisutussüsteemile,
- 3) töö autori poolt projekteeritav niisutussüsteemi juhtsüsteem oleks võimalikult lihtne, kuid samas võimaldaks edasiarendusi tulevikus,
- 4) uute komponentide valikul majanduslikust aspektist ja tehases paiknevatest teistest kontrolleritest tulenevatest piirangutest ja võimalustest,
- 5) ohutusest niisutussüsteemi kasutamisel.

Käesolev töö on jaotatud neljaks peatükiks. Esimeses peatükis antakse esiteks ülevaade olemasolevast formeerimisliinist ning teiseks olemasolevast niisutussüsteemist. Selles peatükis toob töö autor välja olulise informatsiooni, millega tuleb projekteerimisel arvestada ja mille alusel saab kindlaks teha niisutusmasinate võimalikud asukohad. Teises peatükis keskendub töö autor optimaalseimate niisutamise kohtade valikule ning niisutussüsteemi paigaldamiseks ja formeerimisliiniga ühendamiseks vajalike konstruktsioonide projekteerimisele. Kolmas peatükk on niisutussüsteemi juhtsüsteemi projekteerimisest. Antud peatükis käsitleb töö autor ka andurite valikut juhtsüsteemi jaoks vajaliku informatsiooni

(formeerimisliini kiirus ja puitlaastplaadi paksus) kogumiseks ja koostab vajalikud algoritmid. Neljas peatükk sisaldab ülevaadet läbiviidud katsetustest ning tehtud järeldustest. Selles peatükis tuuakse välja ka ideed niisutussüsteemi täiendusvõimalustest. Lisades on toodud töö käigus valminud konstruktsiooni komponentide tehnilised joonised, elektriskeemid ning kontrolleri programmeerimiskoodid.

Magistritöö koostamisel on kasutatud erinevaid tarkvarasid. Töö vormistati Microsoft Office tarkvarapaketti kuuluva Word tekstitöötlusprogrammiga. Tehniliste jooniste, mudelite ning tugevusanalüüsi tegemiseks kasutati raalprojekteerimise programmi SolidWorks. Töös leitudvate algoritmide seled valmisid veebipõhises skeemiredaktoris Lucidchart. Hüdraulika skeem koostati Festo FluidSIM abil. Kontrolleri programmeerimiseks kasutati Siemens TIA Portal tarkvarapaketti ning Unitronicsi Visilogic tarkvara. Elektriskeemid valmisid kasutades PC Schematic tarkvara.

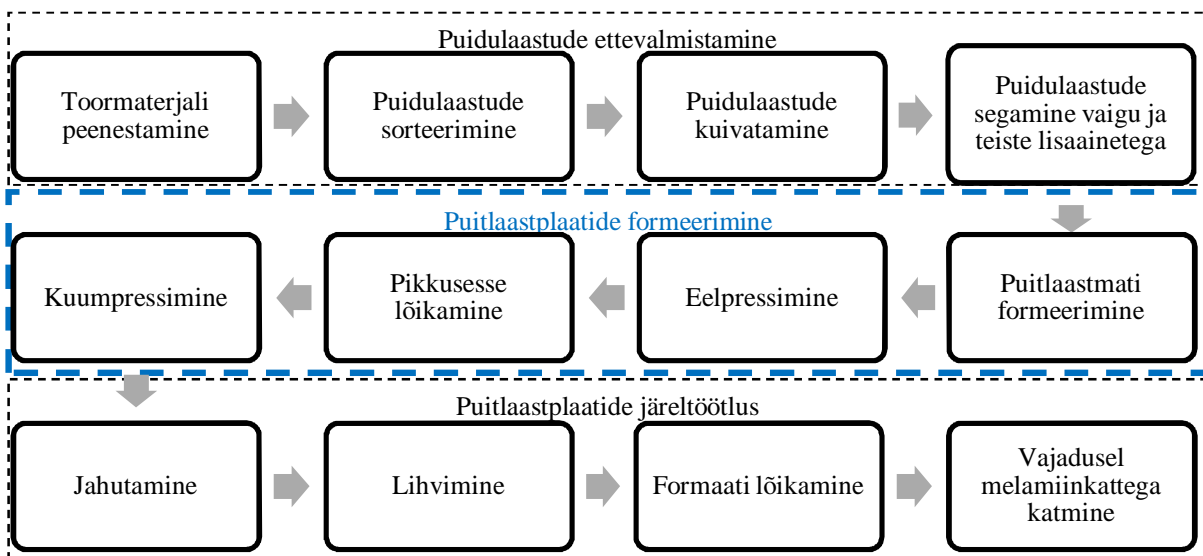
# 1 FORMEERIMISLIINI JA NIISUTUSSÜSTEEMI ÜLEVAADE

Formeerimisliini ülevaade on oluline selleks, et saada aru, kuidas formeerimisliin töötab, millised protsessid leiavad aset antud tootmisetapis ja milliseid nõudeid see seab niisutussüsteemile. Ennekõike on see vajalik, et määrata ära niisutusmasinate võimalikud asukohad ning teha kindlaks, millised nõuded need asukohad seavad konstruktsioonilahendusele. Niisutussüsteemi ülevaade annab informatsiooni ostetud niisutussüsteemi kohta. Antud ülevaate alusel saab analüüsida, mida on vaja muuta ning milliseid komponente on olemasolevale niisutussüsteemile juurde vaja.

## 1.1 Formeerimisliin

Puitlaastplaadi tootmisprotsessi võib lühidalt kokku võtta järgnevalt. Toormaterjal (põhiliselt puidulaast ning saepuru) peenestatakse, sorteeritakse, kuivatatakse ning segatakse kokku liimiga. Seejärel formeeritakse liimiga segatud puidulaastudest kolmekihiline matt. Pärast formeerimist toimub laastumati eelpressimine ning soovitud pikkusega tükkideks lõikamine. Lõigatud tükid lähevad seejärel kuumpressi, kus toimub vaigu kõvendamine ja puitlaastplaadi moodustumine. Seejärel puitlaastplaati jahutatakse, lõigatakse soovitud suurusesse ning lihvitakse. Osa toodangust kaetakse lamineerimisosakonnas melamiinkattega.

Selel 1.1 on näidatud puitlaastplaadi formeerimise järjekord üldises Püssi tehases toimivas tootmisprotsessis. Puitlaastplaatide formeerimiseks kasutatakse Püssi tehases formeerimisliini, mis koosneb erinevatest seadmetest ning mis katab kogu formeerimise protsessi alates puitlaastmatti moodustamisest kuni puitlaastplaadi kuumpressimiseni. Formeerimisliini ulatus on tähistatud seel 1.1 sinise punktiirjoonega.

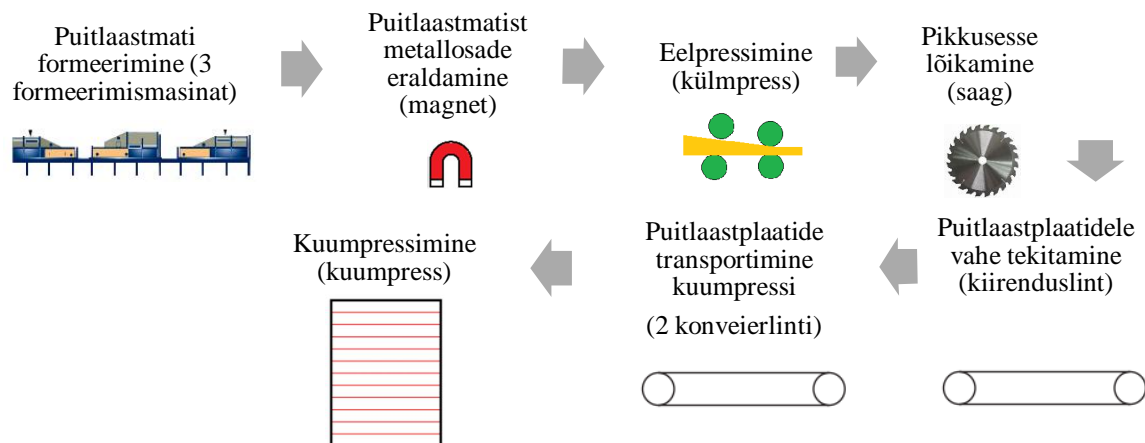


Sele 1.1. Puitlaastplaatide üldine tootmisprotsess Püssi tehases

Formeerimisliini ülevaade on oluline, sest formeerimisliin määrab ära, milliste teguritega peab arvestama niisutussüsteemi rekonstrueerimisel ja selle lisamisel formeerimisliinile. Antud alapeatükis annab töö autor esiteks ülevaate formeerimisliini konstruktsioonist ja teiseks selle juhtimisautomaatikast.

### 1.1.1 Formeerimisliini konstruktsioon

Formeerimisliin on 100 meetrit pikk. Formeerimisliini põhimõtteline skeem on toodud sele 1.2.



Sele 1.2. Formeerimisliini põhimõtteline skeem

Formeerimisliini alguses asuvad kolm Dieffenbacheri formeerimismasinat Classiformer, mis laotavad üksteise järel vaigu ja lisaainetega segatud puidulaastud liikuvale kummilindile ja nii moodustubki kolmekihiline puitlaastmatt. Formeerimismasinate järel lindi kohal asub magnet. Magneti eesmärgiks on eemalda laastumatist metallist osad, mis võivad sinna kogemata sattuda.



Sele 1.3. Dieffenbacheri formeerimismasin Classiformer

Formeerimisliin jätkub eelpressiga, kus pressitakse puitlaastmatt kokku. Eelpressimine võimaldab plaadi toorikute sisestamist kuumpressile ilma alusplaate kasutamata. Pärast eelpressimist liigub puitlaastmatt mööda kummilinti sae juurde, kus see lõigatakse sae abil sobiva pikkusega tükkideks. Seejärel liiguvad tükid teisele lindile- kiirenduslindile. Kiirenduslindi eesmärk on tekitada vahed lõigatud tükkide vahele, et neid oleks võimalik kuumpressi sisse laadida, sest laadija liikumine erinevate korruste vahel võtab aega.

Kiirenduslindile järgnevad kaks konveierlinti, mis toimetavad lõigatud puitlaastmatti tükid kuumpressi laadimismehhanismini. Kuumpressi laadimismehhanism paigutab laastuvaiba tükid kuumpressi sees olevatele korrustele, seejärel toimub kuumpressimine ning kolmekihilise plaadi formeerimine on lõppenud.

### **1.1.2 Formeerimisliini juhtimisautomaatika**

Formeerimisliini juhitakse Omroni firma tööstusliku programmeeritava kontrolleri C200HG. Tööstuslik programmeeritav kontrolleri on mikrokontrolleril baseeruv eritüübiline juhtseade, mis kasutab programmeeritavasse mälu salvestatud juhtkäske ja erinevaid funktsioone (loendamine, ajamõõtmine, aritmeetilised tehted jms) masinate või protsesside juhtimiseks [5].

Kontrolleriga on ühendatud neli 16 sisendiga digitaalsignaali sisendmoodulit, neli 16 väljundiga digitaalsignaali väljundmoodulit ning kolm 8 sisendiga analoogsignaali sisendmoodulit. Kontrolleriga on ühendatud ka puutetundlik ekraan NT20S.

Ettevõttel on tarkvara SYSWIN, millega saab kontrolleri programmeerida. Viimane Windowsi operatsioonisüsteem, millega antud programm tööle läheb, on XP.

## **1.2 Olemasolev niisutussüsteem**

Puitlaastplaatide formeerimisliinid võivad olla nii niisutussüsteemiga kui ka ilma. Püssi tehases asuval formeerimisliinil niisutussüsteem puudub. Niisutussüsteemi kasutatakse, et tõsta tootmisprotsessi tootlikkust aurušoki efekti abil. Tänu pihustamisele puitlaastplaadi pealne ja alumine kiht on niiskemad ja kuumpressimisel tekib aurušoki efekt, mille tagajärjel toimub kiiremini soojusülekanne kihtide vahel ja vaigu kõvenemistemperatuur saavutatakse kiiremini. Seetõttu saab vähendada pressimisaega ja tõuseb tootmisliini tootlikkus. Teine oluline niisutamise ja tekkiva aurušoki mõju on see, et puitlaastplaadi füüsikalised-mehaanilised omadused paranevad. Tekkiva aurušoki tõttu saavutatakse vaigu kõvenemistemperatuur kiiremini kui nominaalajal ja säästetud aja jooksul toimub vaigu

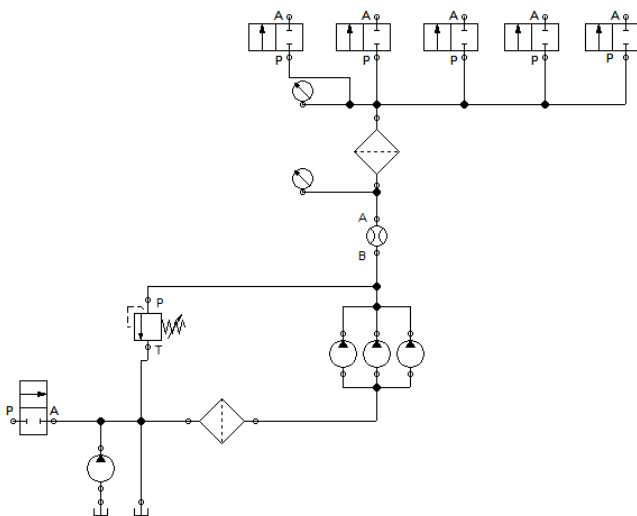
edasine kõvenemine. Selle protsessi tõttu saadakse paremaid omadusi, mis tõhusalt ületavad kehtivat standardit (EN312). Samuti saab vähendada vaigu kogust võrreldes nominaalajal kasutatava vaigu kogusega, jäädes endiselt vastavusse standardiga. [34] Seega väiksem vaigu kulu muudab odavamaks puitlaastplaadi omahinna.

Ettevõtte ostis oma formeerimisliini täiendamiseks niisutussüsteemi. See koosneb kahest identsest niisutusmasinast. Niisutussüsteemil puudub niisutamist juhtiv kontrollier. Järgnevalt antakse ülevaade niisutusmasina hüdraulikasüsteemist, konstruktsioonist ja nende olulisematest komponentidest. Samuti analüüsitakse, kuidas juhiti niisutussüsteemi tehases, kust antud niisutussüsteem osteti. Viimati nimetatut on oluline, sest see aitab määrata, millist juhtsüsteemi saab kasutada. Niisutusmasina kõik komponendid on toodud lisa 1.

### 1.2.1 Hüdraulika üldskeem

Hüdraulikasüsteemi skeem on toodud seel 1.4. Esiteks läbib veetrassist sissetulev vesi normaalselt suletud solenoidklapi. Seejärel lisatakse dosaatorpumba abil lisaaine paagist veele kleepumist vähendavat irrutusainet. Irrutusaine on vajalik seetõttu, et ilma selleta jääks ainult veega niisutatud laastumatt lindile kinni. Pärast vee segamist irrutusainega juhitakse see teise paaki. Mõlema paagi maht on 300 liitrit.

Teisest paagist liigub vedelik läbi filtri hüdropumba juurde. Pumba järel asuvad ülerõhuventiil ja vooluhulga mõõtur. Seejärel läbib pumbatav vedelik veel ühe filtri, mille nii ees kui ka järel asuvad manomeetrid. Manomeetritega saab mõõta filtris tekkivat rõhulangust ja selle suuruse järgi saab hinnata filtri mustust. Filtri läbinuna liigub vedelik viie normaalselt suletud solenoidklapini. Klappide küljes asuvad düüsid, mille abil niisutatakse laastumatti.



Sele 1.4. Hüdraulikasüsteemi skeem

## 1.2.2 Hüdraulikasüsteemi komponendid

Järgnevalt annab töö autor ülevaate niisutusmasina hüdraulikasüsteemi olulisematest komponentidest.

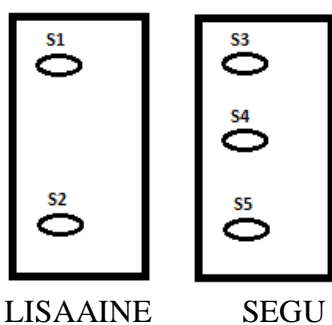
### Pump

Vedeliku pumpamiseks on kasutuses firma Doseuro pump A175 kolvi läbimõõduga 38 mm. Pumba maksimaalseks tootlikkuseks on 83 l/h [6]. Antud pumba on võimalik saada ka mitme peaga konfiguratsioonis. Niisutusmasinas on kasutusel kolme peaga kolbpump. Seetõttu on niisutusmasina maksimaalseks kogutootlikkuseks 249 l/h (4,15 l/min). Iga silindri löögimahtu on võimalik mehaaniliselt reguleerida.

### Nivooandur

Nivooandurid asuvad lisaaine ja lisaainega segatud vee paakides. Nivooandureid kasutatakse selleks, et oleks võimalik vee automaatne juurde lisamine. Lisaaine paaki ei täideta automaatselt. Seal on andurid selleks, et anda operaatorile märku, millal on paak tühi. Kõik nivooandurid on firma Bamo poolt toodetud andurid SS1.

Nivooandureid on niisutusmasinas kasutusel viis tükki. Kaks tükki asetsevad lisaaine paagis ning kolm segatud vedeliku paagis. Andurite paiknemine on toodud seel 1.5. Esimeses paagis asuvad andurid 250 (selel tähistatud S1) ja 50 (selel tähistatud S2) liitri juures. Teises paagis asuvad andurid 50 (selel tähistatud S5), 150 (selel tähistatud S4) ning 250 (selel tähistatud S3) liitri juures.



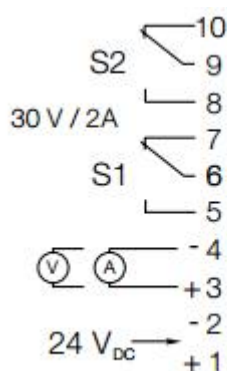
Sele 1.5. Andurite paigutus paakides

Bamo anduril SS1 on kolm ühendusklemmi: üks normaalselt avatud kontakti paar ning normaalselt suletud [4].

## Vooluhulgamõõtur

Pihustatava vedeliku vooluhulka mõõdetakse firma Koboldi vooluhulgamõõteri DF-K abil. Mõõteri mõõtmispiirkonnaks on 0,25-6 l/min.

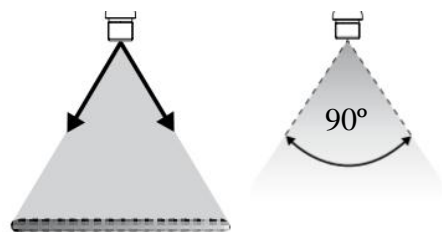
Antud mõõturil on ühendamiseks 10 viiku. Esimest kahte kasutatakse toite jaoks. Kolmas ja neljas viik on kasutusel analoog väljundiks. Võimalikud on nii pinge kui ka vooluväljundiga variant. Niisutusmasinal on kasutusel vooluväljund 0-20 mA. Ülejäänud kuus kontakti on kasutusel juhul, kui mõõturil seadistatakse maksimaalne ning minimaalne vooluhulga väärtus. Vastava väärtuse saavutamisel lülitatakse antud kontaktid ringi. Kontaktid on toodud selet 1.6.



Sele 1.6. Vooluhulgamõõteri ühendusviigid [12]

## Pihusti

Vedeliku pihustamiseks laastumatile kasutatakse Schlicki 650 seeria pihustit. Antud pihusti piserdab vedelikku laastumatile kitsa ja sirge joonena (sele 1.7), tekitades pihustatavast vedelikust veekardina. Veejoa pihustusnurgaks on 90°. Pihustit on võimalik kasutada erineva suurusega düüsidega. Kasutusel olnud düüsi läbiva vedeliku vooluhulk 3 bar rõhu juures on 0,8 l/min. Veejoa avamiseks ja sulgemiseks kasutatakse solenoidklappi.



Sele 1.7. Düüsi pihustusviisi ning pihustusnurga skeem [27]



### **1.2.3 Elektrisüsteemi komponendid**

Antud alapeatükis antakse ülevaade niisutusmasina elektrisüsteemi komponentidest. Ühe niisutusmasina algne (rekonstrueerimise eelne) elektriskeem on toodud lisas 2.

#### **Toiteahelad**

Niisutusmasina elektrikilpi tuleb sisse kolmefaasiline vahelduvvool nimipingega 230/400 V. Puhose tehases tuli niisutusmasina elektrikilpi ka alalisvoolu kaabel. Seetõttu on vajalik arvutada välja ning paigaldada elektrikilpi alalisvoolu jaoks sobilik toiteplokk.

#### **Elektrimootorid**

Niisutusmasinas on kasutusel kaks kolmefaasilist elektrimootorit. Ühte mootorit kasutatakse teise paagi vedeliku (vesi koos irrutusainega) segamiseks. Selle mootori võimsuseks on 0,12 kW. Teist mootorit, võimsusega 0,37 kW, kasutatakse hüdropumba käitamiseks.

#### **Kaitsmed**

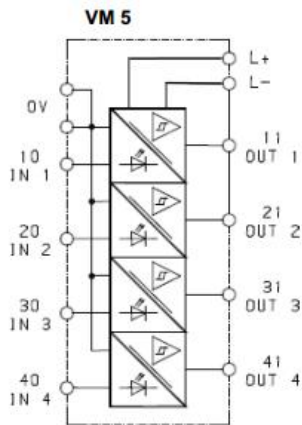
Mõlema mootori toiteahelas on kasutusel Siemens 3rv1011-ga10 kaitselülitid ülekoormuse kaitseks. Antud kaitselüliti voolutugevus, millal kaitse rakendub, on seadistatav vahemikus 4,5 kuni 6,3 A.

Pumba elektrimootoril on lisaks kaitselülitile kasutusel termistorkaitse. Termistorkaitse kaitseb pumba elektrimootorit ülekuumenemise eest. Termistor on takisti, mille takistus muutub temperatuuri muutudes. Termistorkaitse on ühendatud elektrimootori mähiste juures paikneva termistoriga.

#### **Jõuopton**

Pihustite solenoidklappide lülitamiseks kasutatakse jõuoptroni. Optron on elektroonikakomponent, mille abil kantakse elektrilist signaali ühest elektriahelast teise üle. Samal ajal on need elektriahelad üksteisest eraldatud. Eraldatus tagab, et ühes ahelas tekkivad ülepinged ei kandu teise ahelasse.

Antud niisutusmasinas kasutatakse pihustite solenoidklappide lülitamiseks firma Atr toodet VM5. VM5 korpusesse on paigaldatud neli erinevat opronit. Seel 1.8 on toodud opronide ühendusskeem. Sisenditesse 1-4 (skeemil IN 1-4) ühendatakse juhtsüsteemi väljundid, millega juhitakse solenoidklappe. L+ ning L- klemmiga ühendatakse juhitavate täiturite toiteallikas. Klemmid Out1-4 ühendatakse pihustite solenoidi positiivse toiteklemmidega.



Sele 1.8. Optroni ühendusskeem [3]

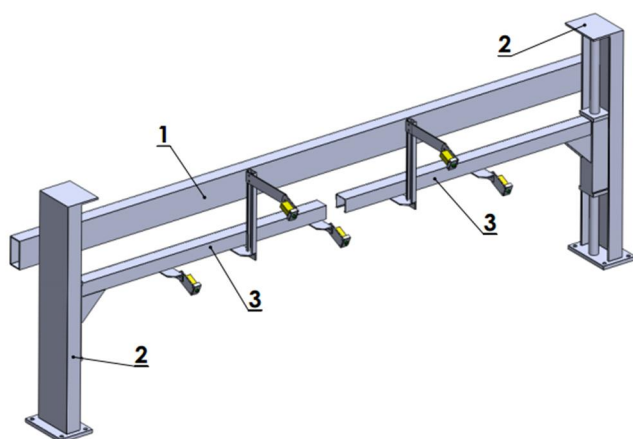
### Sagedusmuundur

Pumba elektrimootori juhtimiseks on kasutusel firma ABB sagedusmuundur ACS140. ACS140 sobib kasutamiseks 0,12 kW- 2,2 kW mootorite puhul. ACS140 sagedusmuundurit on võimalik juhtida analoogsisendiga. Selleks on olemas kaks sisendit, mida saab juhtida, kas 0-10V pingesisendiga või 0-20 mA voolusisendiga. Esimene sisend on mõeldud väljundsageduse määramiseks välise seadme poolt (näiteks potentsiomeeter, kontrolleri). Vastavalt sisendi väärtusele muudetakse juhitava mootori pinge sagedust skaalal 0-50 Hz täpsusega  $\pm 1\%$ . [2] Teine sisend on mõeldud juhtsüsteemi tagasiside ühendamiseks, kui seadeväärtuse määrab sagedusmuundur ise.

Puhose tehases oli sagedusmuundur ühendatud ainult vooluhulgamõõtuuri analoogväljundiga. Esimene sisend oli ühendamata. Sellest võib järeldada, et pihustatava vedeliku kogus ei sõltunud toodetava plaadi paksusest ega liini kiirusest.

### 1.2.4 Konstruktsioon

Niisutusmasina lihtsustatud konstruktsioon on toodud seel 1.9. Konstruktsioon koosneb kahest tugipostist (seel 1.9 tähistatud number kahega) ja neid ühendavast horisontaalsest talast (seel 1.9 number üks). Ühel niisutusmasinal on viis pihustit. Igal pihustil on kinnituskronstein. Kronsteinid kinnituvad pihustite hoidmistala külge (seel 1.9 number kolm). Hoidmistala kõrgust laastumatist saab reguleerida. Reguleerimine võimaldab pihustada laastumatti optimaalselt kõrguselt. Samuti on võimalik liigutada pihustite hoidja küljepealsesse asendisse, paralleelseks konveierliiniga. See asend tagab vajadusel ligipääsu pihustitele olukorras, kus formeerimisliin töötab.



Sele 1.9. Lihtsustatud konstruktsiooni mudel

### 1.2.5 Niisutussüsteemi juhtimine

Niisutussüsteemi juhtsüsteemi ülesandeks on kahe niisutusmasina juhtimine. Ettevõtte poolt ostetud niisutusmasinatega ei olnud kaasas kontrolleriit, mis juhiks niisutusmasinaid. Seega juhtsüsteem puudub ning töö autoril tuleb see projekteerida.

Kahest niisutusmasinast moodustuvat niisutussüsteemi juhiti Puhose tehases kasutades Siemens S5 seeria kontrolleriit. Niisutusmasina töö juhtimiseks paikneb niisutusmasina elektrikilbis Siemensi andmesidemoodul ET200U. ET200U külge lisatakse vajalik arv sisendite ja väljundite mooduleid. ET200U ühendatakse peakontrolleriga kasutades Profibus andmesidevõrku. [32]. Kasutuses olnud ET200U mooduli mudeliks oli 318-8MB12. Sellise mudeli numbriga andmesidemoodulit on võimalik ühendada uuemate S7 kontrolleriitega [33]. ET200U mooduliga olid ühendatud ainult digitaalsed sisend- ning väljundmoodulid. Vabu sisendeid oli kaks. Analoozmooduleid kasutusel ei olnud.

## 2 MEHAANILISE OSA PROJEKTEERIMINE

Muudatused, mida on vaja teha niisutusmasinate konstruktsioonis, sõltuvad sellest, kuhu formeerimisliini osasse niisutusmasinad paigaldatakse. Seejuures tuleb arvestada, et niisutusmasinad peavad niisutama laastumatti mõlemalt poolt. Järgnevalt analüüsitakse niisutusmasinate võimalikke asukohti ja niisutusviise, et määrata sobivaimad asukohad laastumati niisutamiseks. Määratud asukohtade järgi toimub vajalike konstruktsioonide projekteerimine.

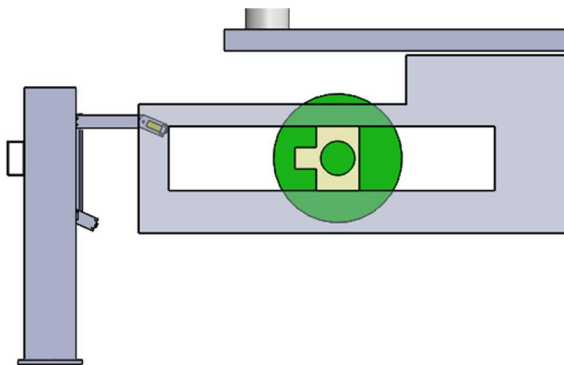
### 2.1 Laastumati alumise kihi niisutamine

Laastumati alumise kihi niisutamiseks on kaks varianti – kas kasta linti või pihustada laastumatti altpoolt.

Lindi niisutamiseks on ainsaks sobilikuks kohaks formeerimisliini algus, enne formeerimismasinaid. Formeerimismasin laotaks seejärel laastud niisutatud lindile. Formeerimisliini algus on toodud seel 2.1. Liini algus koos sinna juurde paigutatud niisutusmasinaga on toodud mudelina seel 2.2.



Sele 2.1. Formeerimisliini algus



Sele 2.2. Formeerimisliini ja niisutusmasina mudel

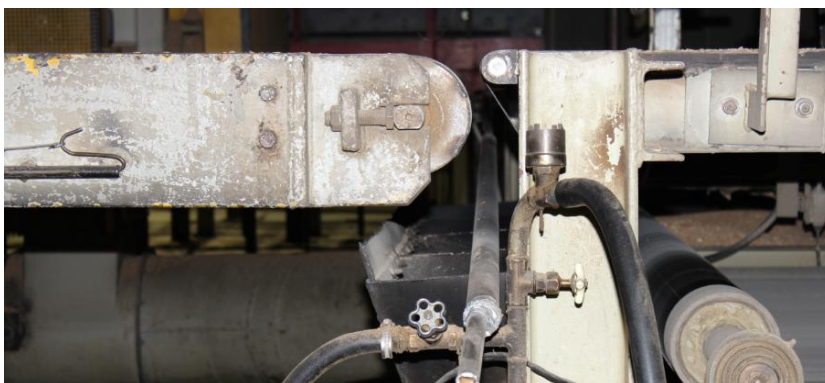
Selelt 2.1 on näha, et vajalik oleks linti pikendada, et lindil oleks piisavas koguses vaba horisontaalset pinda. Hetkel on horisontaalset osa vähe ja seetõttu ei jääks pihustatav vedelik lindile püsima. Formeerimisliini on võimalik pikendada 35 cm võrra, sest hetkel ei ole kasutusel maksimaalne liini pikkus. Selelt 2.2 selgub, et hetkel ei ulatuks pihustid linti pihustama, sest olemasolev konstruktsioon on liiga madal. Liiga madalal asetsev niisutusmasina konstruktsioon takistab lisaks ka pihustite hoidmistala liikumist küljepealsesse asendisse (lindiga risti olevast asendist paralleelseks). Liigutades niisutusmasina raami sobilikule kõrgusele ning kaugusele, jäävad pihustid lindist liiga kaugemale. Seetõttu tuleks projekteerida raamile sobiva kõrgusega jalad ja ka sobiva pikkusega pihustite kronstein.

Teise variandina oleks võimalik pihustada laastumatti altpoolt. Laastumatti altpoolt pihustamise näide on toodud seel 2.3. See on Haarla automaatikafirma poolt pakutav lahendus.



Sele 2.3. Laastumatti altpoolt pihustamine [9]

Laastumatti saaks altpoolt pihustada konveierlintide vahekohtades, kus eelpressitud plaat liigub ühelt lindilt teisele. Selelt 2.4 nähtub, et üleminekukohad on liinil kitsad.



Sele 2.4. Üleminekukoht ühelt lindilt teisele

Pihustamise võimaldamiseks peaks ühte kolmest formeerimisliini lindist lühendama ning seeläbi suurendama vahet üleminekukohas. Kõige suurem juba olemasolev vahe on viimase konveierlindi ja kuumpressi laadimismehhanismi vahel. Seetõttu oleks see ilmselt sobivaim koht vahe suurendamiseks. Samas võib suurem vahe põhjustada laastumati purunemise. Sellel põhjusel tuleks läbi viia katsetusi, kas vedeliku pihustamiseks vajaliku vahemiku juures säilib laastumati terviklikkus.

## 2.2 Laastumati ülemise kihi niisutamine

Laastumati ülemist kihti saab niisutada, kas formeerimismasinat järgselt ja enne eelpressimist või pärast eelpressimist asuval ühel kolmest järgnevast lindist (kiirenduslint ja kaks konveierlinti). Kui niisutada pärast laastumati formeerimist, kuid enne eelpressimist, siis toimuks niisutamine pidevalt, sest laastumatt on selles formeerimisliini osas üks tervik. Kui niisutada ühel kolmest eelpressimise ja tükkideks saagimise järgsel lindil, siis peaks niisutamine toimuma ainult laastumati tüki möödumisel niisutusmasinast. Sellega välditaks lindi liigset märgumist ning sellest tulenevat liigset laastumati niisutamist altpoolt. See tähendab, et süsteemi peaks lisama anduri, mis jälgib eelpressitud plaadi saabumist.

## 2.3 Võimalike asukohtade võrdlus ja väljavahimine

Alapeatükkides 2.1 ja 2.2 välja toodud võimalike niisutusmasinate asukohad koos võrdlustega on esitatud kokkuvõtlikes tabelites 2.1 ja 2.2. Vajatava vooluhulga leidmiseks on lähtutud valemist 2.1. Plaadi paksuseks on võetud maksimaalse toodetava plaadi paksus 25 mm ning vajaminev niisutusmäär 65 g/m<sup>2</sup>.

$$\text{Niisutusmäär} = \frac{Q}{B \cdot v}, \quad (2.1)$$

kus  $Q$  – vedeliku vooluhulk,  
 $B$  – laastumati laius,  
 $v$  – laastumati liikumise kiirus.

Tabel 2.1. Laastumati alumise poole niisutamise võimalikud asukohad

Niisutusviis	Asukoht	Liini kiirus $v/(m/s)$	Vajatav vooluhulk $Q/(l/min)$	Vajalikud tegevused
Lindi niisutamine	Formeerimisliini alguses	0,2	1,2	Lindi pikendamine. Projekteerida uued pihustite kronsteinid ja raami tugijalad.
Altpoolt pihustamine	Konveierlindi ning kuumpressi vahel	0,3	2,2	Lisaanduri paigaldamine plaadi tuvastamiseks. Konveierlindi lühendamine ja testimine, kas eelpressitud puitlaastplaat talub suuremat vahet liini üleminekul.

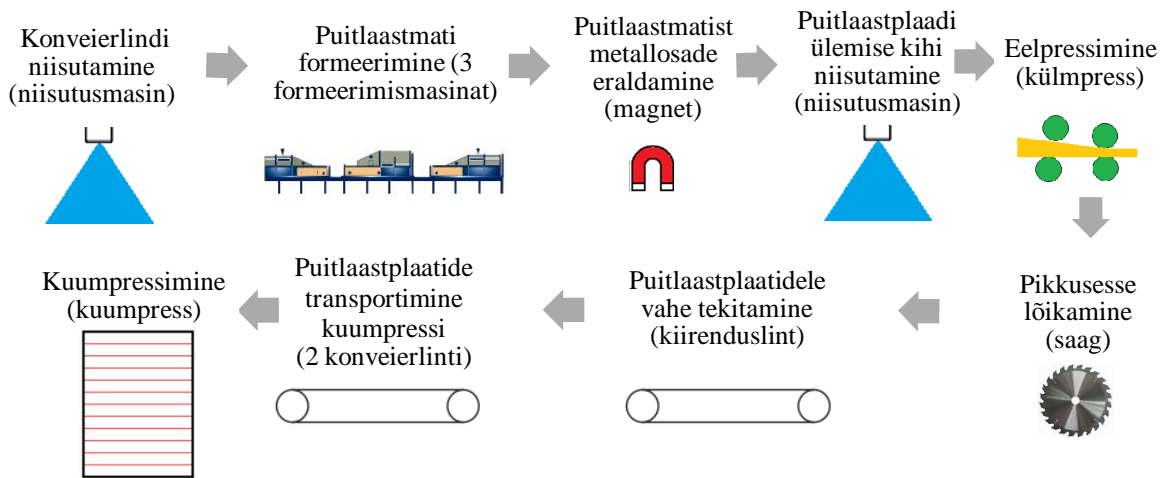
Alumise kihi niisutamiseks sobivaks asukohaks on formeerimisliini algus või viimase konveierlindi ning kuumpressi laadimismehhanismi vahel. Töö autor leiab, et paremaks variandiks on formeerimisliini algus. Suurendatud vahega üleminekukohas niisutades eksisteerib suur risk, et eelpressitud plaadid võivad katki minna. Lisaks on valitud asukoha eelisteks väiksem vajatav vooluhulk ja asjaolu, et linti on vajalikus ulatuses võimalik lihtsasti pikendada. Lindi pikendamist võimaldab olemasolev formeerimisliini raam.

Tabel 2.2. Laastumati ülemise poole niisutamise võimalikud asukohad

Asukoht	Liini kiirus $v/(m/s)$	Vajatav vooluhulk $Q/(l/min)$	Vajalikud tegevused
Enne eelpressi	0,2	1,2	Projekteerida ja valmistada uued tugijalad. Trepp eemaldada formeerimisliinilt.
Kiirenduslindi juures	1,1	8,2	Projekteerida ja valmistada uued tugijalad. Lisaanduri lisamine plaadi tuvastamiseks.
Konveierlindi juures	0,3	2,2	Projekteerida ja valmistada uued tugijalad. Lisaanduri lisamine plaadi tuvastamiseks.

Kolmest võimalikust algselt väljavalitud asukohast üks asukoht ei sobi üldse. Nimelt kiirenduslindi juurde ei saa niisutusmasinat paigutada, sest seal on vajatav vooluhulk nii suur, et ületab pumba maksimaalset tootlikkust. Eelpressile eelnev asukoht ei vaja lisaandurit plaadi tuvastamiseks, sest seal liigub terviklik laastumatt. Samuti on antud asukohas vajatav vooluhulk väiksem võrreldes konveierlindi juures niisutamiselega. Tulenevalt eeltoodust valitakse laastumati pealmise kihi niisutamiseks liini osa pärast formeerimismasinaid ning enne eelpressi.

Ülevaade formeerimisliinist pärast niisutusmasinate paigutamist valitud asukohtadesse on toodud seel 2.5.



Sele 2.5. Formeerimisliini üldskeem pihustamise asukohtadega

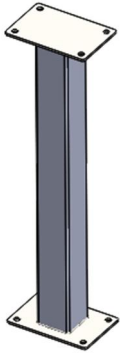
## 2.4 Vajalike konstruktsioonide projekteerimine

Selles alapeatükis annab töö autor ülevaate valitud niisutusmasinate asukohtadest tulenevate vajalike konstruktsioonide projekteerimisest.

### 2.4.1 Laastumati ülemist poolt niisutava niisutusmasina konstruktsiooni muudatused

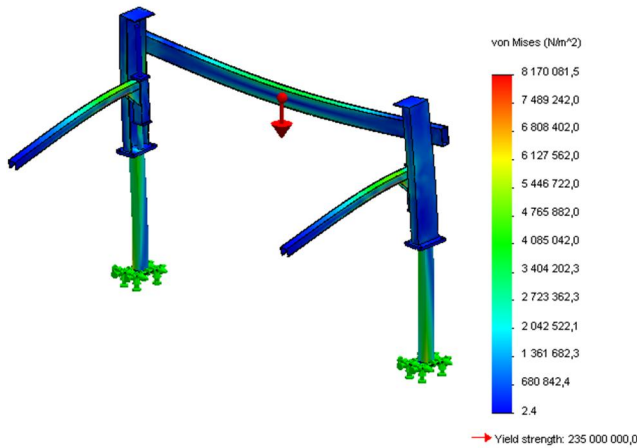
Niisutusmasina esialgse konstruktsiooni ülevaade on toodud alajaotises 1.2.4. Vastavalt alapeatükis 2.3 tehtud analüüsile tuleb töö autoril projekteerida olemasolevale niisutusmasina raamile uued tugijalad. Tugijalgade eesmärgiks on tõsta olemasolev raam sobivale kõrgusele. Projekteeritud tugijalad peavad olema piisavalt tugevad ning tagama raami jäikuse. Projekteeritud tugijalg on toodud seel 2.6. Tugijalg on koostatud keevisliite abil kahest plaadist ning ruudukujulise ristlõikega terasprofiilist. Tugijala kõrguseks on 1 116 mm.





### Sele 2.6. Tugijala mudel

Programmi SolidWorks Simulation keskkonnas katsetati projekteeritud tugijalga. Pihustite hoidmistala seati simuleerimisel hooldusasendisse. See asend on tugijalale rohkem koormav kui tööasend.



### Sele 2.7. Tugevusanalüüs

Tugevusanalüüsist selgus, et projekteeritud tugijalad on piisavalt tugevad ning tagavad konstruktsiooni jäikuse. Kuna tegemist oli lihtsustatud konstruktsiooniga, siis ei olnud mudelis kõiki tugijalga mõjutavaid koormusi. Kogu konstruktsioonis oli simuleerimisel maksimaalseks pinge väärtuseks 8,2 MPa, tugijalal 6,0 MPa. Seetõttu võib väita, et tegeliku koormuste all on projekteeritud tugijalad piisavalt tugevad ja tagavad konstruktsiooni jäikuse.

Valmistatud tugijalg on toodud seel 2.8. Formeerimisliinile paigaldatud niisutusmasin on nähtav seel 2.9. Tugijala tehnilised joonised on toodud lisa 3.



Sele 2.8. Valmistatud tugijalg



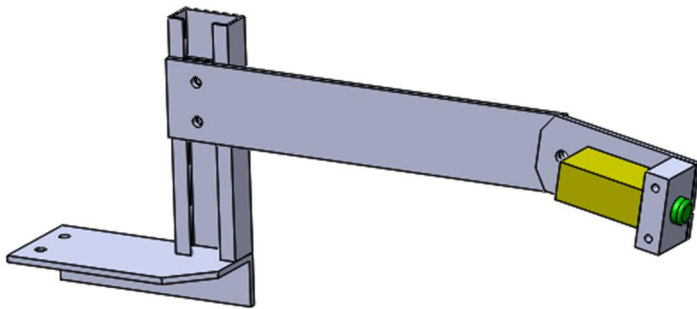
Sele 2.9. Laastumati ülemist poolt niisutav niisutusmasin paigaldatuna formeerimisliinile

#### **2.4.2 Laastumati alumist poolt niisutava niisutusmasina konstruktsiooni muudatused**

Laastumati ülemist ja alumist poolt niisutavate niisutusmasinate esialgne konstruktsioon on ühesugune (ülevaade alapeatükis 1.2.4). Vastavalt alapeatükis 2.3 tehtud analüüsile tuleb esiteks töö autoril projekteerida olemasolevale niisutusmasina raamile uued tugijalad. Tugijalgade eesmärgiks on tõsta olemasolev raam sobivale kõrgusele, et pihusteid hoidev tala saaks liikuda töasendist hooldusasendisse ning pihustid asetseksid piisavalt kõrgel, et vedelikku saaks pihustada lindi peale. Samadel põhjustel tuleb lisaks paigutada niisutusmasina konstruktsioon õigele kaugusele formeerimisliini algusest.

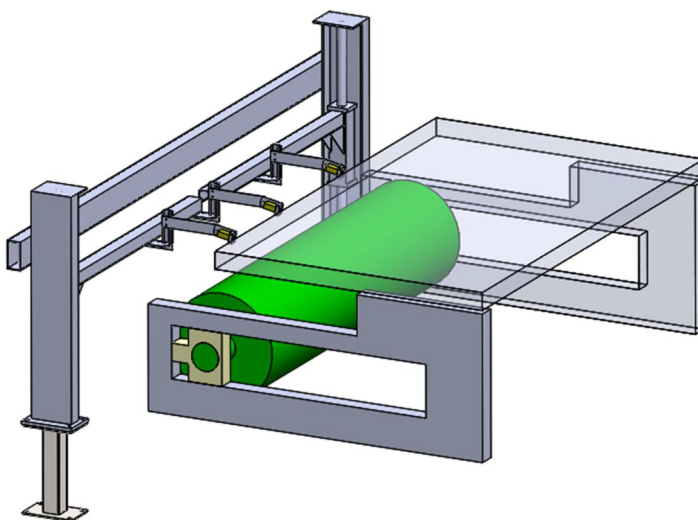
Laastumati alumist poolt niisutava niisutusmasina tugijalad on vaja teha lühemad, kui ülemist poolt niisutava masina omad. Seetõttu võib ilma tugevusanalüüsi läbi viimata väita, et formeerimisliini algusesse paigutatava niisutusmasina tugijalad võib valmistada sarnased eelnevalt projekteeritud tugijalale. Ainsaks muutuseks on keskmise ruutristlõikega profiili lühem pikkus. Tugijala tehniline joonis on toodud lisas 4.

Kuivõrd niisutusmasina konstruktsioon tuleb paigutada formeerimisliini algusest kaugemale, siis tuleb töö autoril projekteerida uute mõõtmetega pihustite kinnitus kronsteinid. Uute kronsteinidega ulataksid pihustid piisavalt kaugemale, et niisutada linti. Sobilikuks kauguseks niisutusmasina tugiposti ning formeerimisliini konstruktsiooni vahel osutus seel 2.2 toodud mudeli järgi 230 mm. Tuginedes suurenenud vahekaugusele projekteeris töö autor uue pihusti kronsteini, mis on stiililt sarnane vanade kronsteinidega. Muudetud pihusti kronstein on toodud seel 2.10, tehnilised joonised lisas 4.



Sele 2.10. Töö autori poolt projekteeritud pihusti hoidmise konstruktsioon

Seel 2.11 on paigaldatud formeerimisliini algusesse niisutusmasin koos töö autori poolt projekteeritud tugijalgade ja pihustite hoidjatega. Seelt nähtub, et niisutusmasin on piisavalt kõrgel ja pihustid asetsevad formeerimisliinile piisavalt lähedal, et saaks linti niisutada. Uus niisutusmasina kõrgus võimaldab liigutada pihusteid hoidva tala hooldusasendisse (paralleelseks lindiga) ilma, et formeerimisliini konstruktsioon seda takistaks.



Sele 2.11. Rekonstrueeritud niisutusmasin formeerimisliini alguses

### **3 NIISUTUSSÜSTEEMI JUHTSÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE**

Esialgusel niisutussüsteemil puudub juhtsüsteem ja seetõttu tuleb see töö autoril projekteerida. Eelmises tehases kasutatud juhtsüsteemist andis töö autor ülevaate alapeatükis 1.2.5. Antud informatsioon on kasulik, kuid lisaks tuleb projekteerimisel arvestada Püssi tehases olemasolevate seadmetega ja ettevõtte juhtkonna soovidega. Soovitud niisutussüsteem ei pihusta konstantselt ühepalju vedelikku laastumatile, vaid võtab automaatselt arvesse, kui paksu puitlaastplaati parajasti toodetakse ning kui suur on liini kiirus. Antud peatükk on jaotatud kaheksasse ossa. Esiteks analüüsib töö autor, milline peaks olema juhtsüsteemi ülesehitus. Järgnevas kahes alapeatükis käsitleb töö autor andurite valikut juhtsüsteemi jaoks vajaliku informatsiooni (formeerimisliini kiirus ja puitlaastplaadi paksus) kogumiseks. Seejärel tehakse valik kontrolleri osas. Samuti koostab töö autor niisutusmasinate juhtimiseks vajalikud algoritmid ning programmi koos kasutajaliidesega.

#### **3.1 Juhtsüsteemi ülesehitus**

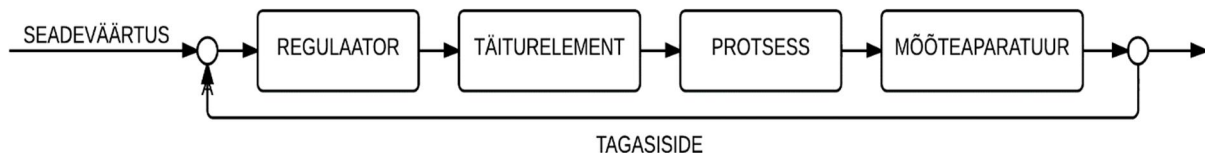
Juhtsüsteemi puhul on kõige olulisem otsustada, millist tüüpi süsteemi kasutada. Automaatjuhtsüsteeme on kahte tüüpi – avatud kontuuriga süsteemid ning suletud kontuuriga süsteemid.

Avatud kontuuriga süsteemides juhitakse protsessi eelnevalt määratud matemaatilise mudeli järgi, kontrollimata, kas juhitava protsessi tulemused vastavad soovitutele. Sellist tüüpi juhtimine sobib lihtsamatele ning ebatäpsetele süsteemidele, sest protsessi tulemustele avaldavad mõju ka häiringud.

Suletud kontuuriga süsteemides juhitakse protsessi kontrollides tulemuse vastavust etteantud kriteeriumitele. Teisisõnu võib öelda, et süsteemis toimub tagasiside tulemuste kohta. Suletud kontuuriga süsteemis juhitakse protsessi vea järgi ehk sõltuvalt erinevusest protsessi tegeliku ja soovitud tulemuse vahel. [19]

Niisutusmasina juhtimiseks on vajalik suletud kontuuriga juhtimine, sest vooluhulka peab kontrollima ning korrigeerima vastavalt toodetava puitlaastplaadi paksusele ja liini kiirusele. Avatud kontuuriga juhtimine osutuks liiga ebatäpseks. Seega projekteerib töö autor suletud kontuuriga automaatjuhtsüsteemi.

Üldine suletud süsteemi komponentide skeem on toodud seel 3.1.



Sele 3.1 Suletud automaatjuhtsüsteemi komponentide skeem

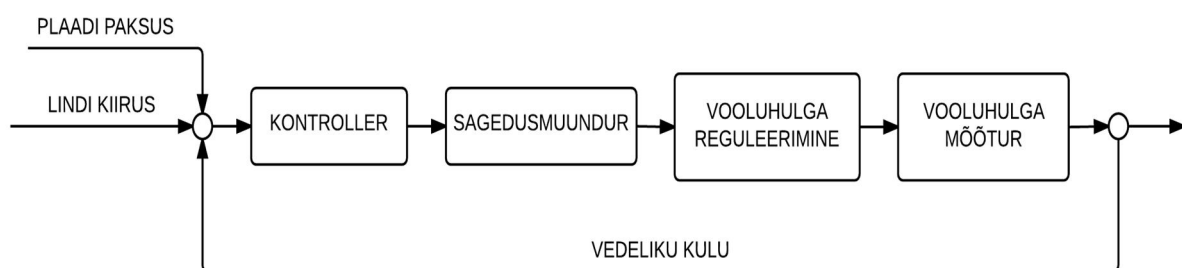
Süsteemi antakse sisendina seadeväärtus regulaatorile. Regulaator on automaatjuhtimissüsteemi otsustav element, mis moodustab seadesuuruse ja tagasiside erinevuse alusel juhttoime. Tööstuslikele kontrolleriitele on regulaatorid sisse ehitatud. Nendes arvutab mikroprotsessor sobiva juhttoime suuruse mõõteaparatuurilt saadava informatsiooni alusel.

Täiturelement on automaatjuhtimissüsteemi osa, mis võimendab ja muudab juhttoime juhitavale seadmele vastuvõetavaks.

Protsess on üldistatult seade, mida üldse soovitakse juhtida. See on ainuke osa automaatjuhtimissüsteemist, mille parameetreid ei saa muuta. Seetõttu moodustab see juhtimissüsteemi aluse, mille ümber ehitatakse süsteem.

Mõõteaparatuuri vajatakse juhtsüsteemi parameetrite kohta informatsiooni saamiseks. Mõõtmisele kuuluvad kõik parameetrid, mis on vajalikud protsessi edukaks juhtimiseks. [19]

Töö autor koostas analoogse skeemi niisutussüsteemi juhtsüsteemi komponentide kohta. Antud skeem on toodud seel 3.2.



Sele 3.2 Niisutussüsteemi suletud automaatjuhtsüsteemi komponentide skeem

Projekteeritavas automaatjuhtsüsteemis regulaatori ülesannet täitvale kontrolleriile antakse kolm sisendit: puitlaastplaadi paksus, konveierlinde (ehk liini) kiirus ning vedeliku vooluhulk. Vastavalt nendele kolmele sisendile arvutab kontrolleri välja sobiva juhttoime, mis edastatakse täiturelemendile. Täiturelemendiks on töö autori süsteemis sagedusmuundur. Sagedusmuundur muudab vastavalt juhttoimele pumba mootori toitepinge sagedust. Selle

tulemusena reguleeritakse pihustatava vee vooluhulka, mis on juhtsüsteemi jaoks protsessiks. Tagasiside saadakse tänu vooluhulgamõõturile.

Protsessi juhitakse vea järgi ehk sõltuvalt erinevusest protsessi tegeliku ja soovitud tulemuse vahel. Niisutussüsteemi puhul on oluline vooluhulga korrigeerimine vastavalt liini kiirusele ning puitlaastplaadi paksusele. Soovitud tulemus ehk pihustatava vedeliku vooluhulk leitakse valemi 2.1 abil.

Algsed niisutusmäärad, millega katsetamist alustada, on antud tabelis 3.1. Andmed on soovitatud Masawa OY automaatikafirma poolt. Antud määrad on mõeldud puitlaastplaadi klassi P2 jaoks. Vastavalt Euroopa standardile EN312 tähistab P2 puitlaastplaati, mis on kasutatav sisekonstruktsioonides (kaasa arvatud mööbel) kuivades tingimustes. [23] Püssi tehases toodetakse selliseid puitlaastplaate, seega on need niisutusmäärad sobivaimad katsetamiste alustamiseks.

Tabel 3.1 Soovituslikud niisutamismäärad P2 puitlaastplaadile

<b>Plaadi paksus s/mm</b>	<b>Niisutusmäär (g/m<sup>2</sup>)</b>
10-12	25-30
15-19	40-50
22-28	60-70

## **3.2 Konveierlindi mõõtmise viisi valimine**

Liini kiirus leitakse konveierlindi kiiruse järgi. Konveierlindi kiiruse leidmiseks on kaks viisi. Mõõtmine saab toimub kas otsese kontaktiga või kontaktivabalt. Seejuures on mõlema variandi korral võimalik kasutada erinevaid lahendusi. Esimeses kahes alapunktis annab töö autor ülevaate võimalikest mõõtmisviisidest ja vastavatest anduritest ning nende eelistest ja puudustest. Kolmandas alapeatükis töö autor võrdleb neid ja valib välja sobivaima arvestades Püssi tehase olusid ning lahenduse maksumust.

### **3.2.1 Mõõtmine otsese kontaktiga**

Lindi kiiruse otsesel mõõtmisel kasutatakse tavaliselt pöörleval rattal põhinevat seadet. Seadme ratas toetub vastu konveierlinti. Liikuv lint paneb ratta pöörlema ning teades pöördenurga muutust ajaühikus on võimalik leida lindi liikumise kiirus. Seade võib olla ostetud valmislahendusena või olla ise koostatud.

Üheks ning kõige populaarsemaks võimaluseks lindi kiiruse mõõtmisel otsese kontakti puhul on kasutada enkoodrit. Enkooder on seade, mis on mõeldud pöördenurga või sirgjoonelise liikumise muutuse mõõtmiseks [25].

Enkoodri ühendamine juhtsüsteemiga on lihtne. Ühendamiseks ei ole vaja analoog-digitaalmuunduri kasutamist, sest enkooderi väljund on digitaalformaadis [20].

Optilist enkoodrit saab kasutada temperatuurivahemikus  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  kui  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Optilise enkoodri töökindlust mõjutavad tolm ning mustus, mis kogunevad korpuse sees paiknevale kettale. Kui ketas määrdub, tuleb terve enkooder välja vahetada. Optilised enkoodrid on tundlikud ka vibratsioonile ning valgust tekitav LED võib läbi põleda [35]. Lisaks mõjutavad edastatava informatsiooni kvaliteedile enkoodrit ümbritsev elektromagnetiline müra ja voolu kõikumised [20].

Enkooderiga lindi kiirusemõõtjat saab osta valmislahendusena või ise sobivatest komponentidest kokku panna. Näitena valis töö autor Encoder Products Company lindi kiiruse mõõtja TR-1. Seda seadet on võimalik tellida IP65 kaitseklassiga, mis tähendab, et seade on tolmukindel ja kaitstud ka suunatud veejoa eest [36]. Encoder Products Company lindi kiiruse mõõtja TR-1 hind on 260 eurot.

Ise kiirusemõõtja valmistamiseks pakuvad suuremad enkoodrite tootjad võimalust osta enkoodritele sobilikke rattaid ja vahemuhve, millega rattad enkoodri külge kinnitada. Samuti pakuvad tootjad ka enkoodri kinnitamiseks erinevaid kinnituskronsteine. Sobiliku kronsteini puudumisel tuleb see ise ehitada.

Enkoodri kasutamise eeliseks on hea täpsus, sest võlli ühe täispöörde kohta edastatakse palju impulsse. Tüüpilisemad väärtused on 512, 1 000, 1 024 ja 2 048 impulssi pöörde kohta. Võimalikud on ka kõrgemad väärtused. Puuduseks võib lugeda detailide kulumist liikumise tõttu.

Teiseks võimaluseks lindi kiiruse mõõtmiseks otsese kontaktiga on resolveri kasutamine. Resolver on kõrgsageduslik pöördtrafo, mille sekundaarpoole trafodes indutseeritud signaali järgi on võimalik määrata võlli asend ja sellest omakorda tuletada võlli pöörlemise kiirus [19].

Resolverid on mõeldud töötama rasketes tingimustes. Seetõttu on suurimaks puuduseks kõrge hind. Näiteks Amateki firma resolver 1986B maksab ligikaudu 2000 eurot.

### 3.2.2 Kontaktivaba mõõtmine

Kontaktivabade mõõtmisviiside puhul mõõdetakse tavaliselt linti liigutava võlli pöörlemise nurkkiirust. Teades võlli pöörlemise nurkkiirust, saab leida valemi 3.1 abil lindi liikumise kiiruse.

$$v = \omega \cdot r , \quad (3.1)$$

kus  $v$  – lindi liikumise kiirus,

$\omega$  – võlli pöörlemise nurkkiirus,

$r$  – võlli raadius.

Võlli pöörlemiskiiruse leidmiseks on kolm põhilist meetodit: magnetiline, optiline ning induktiivne.

Magnetvälja tuvastamiseks kasutatakse põhiliselt kas Halli andurit või magnettakistusel põhinevat andurit. Halli anduri töö põhineb Halli efektil, mis seisneb elektrivälja tekkimises magnetväljas asetsevas vooluga juhis [15]. Halli anduri eelisteks on pikk kasutusiga, liikuvate osade puudumine, lai töötemperatuuri vahemik (-40 °C kuni +150 °C). Lisaks on Halli anduri eeliseks see, et ta ei ole tundlik tolmu- ja vibratsioonile [11]. Halli andureid saab kasutada kiirete protsesside juures [10].

Puudusena võib välja tuua tema kaugustundlikkuse. Halli anduri optimaalne tööpiirkond jääb 20 mm sisse. See tähendab, et andur peab mõõdetava võlli hammasrattale paiknema küllaltki lähedal, mis võib hakata segama hooldustöid.

Magnettakistusel põhineval anduril on tugevam väljundsignaal kui Halli anduril. Seetõttu omab magnettakistuse andur paremat signaali ning müra suhet [26]. Võrreldes Halli anduriga on võimalik magnettakistuse andur paigutada tuvastatavast objektist kaugemale. Lisaks saab magnettakistusel põhinevat andurit kasutada temperatuuride puhul, mis jäävad väljapoole Halli anduri poolt lubatavat [1].

Induktiivandurid põhinevad induktiivsuse sõltuvusel süsteemi magnetilisest takistusest. Induktiivandurite peamiseks eeliseks on kontaktide puudumine, küllalt kõrge tundlikkus ja ehituse lihtsus. Anduri puuduseks on madal resolutsioon.

Kontaktivaba mõõtmise puhul on kõige enam kasutatavad andurid Halli efektil põhinevad. Eelkõige eelistatakse Halli andurit tema töökindluse tõttu tolmu- ja niisketes tingimustes.



Mõõtmisel otsese kontaktita on kõigi nimetatud andurite puuduseks väikene täpsus. Impulsside arv ühe pöörde kohta sõltub hammasratta hammaste arvust või hammasrattale/võllile kinnitatud püsिमagnetite arvust. Võrreldes enkoodrilt saadava informatsiooniga on antud meetod ebatäpne.

### 3.2.3 Lindi kiiruse mõõtmiseks vajaliku anduri valimine

Sobiva anduri valikul lähtub töö autor alapeatükkides 3.2.1 ja 3.2.2 välja toodud andurite omadustest, nende eelistest ja puudustest ning maksumusest. Töö autor valis välja iga tüübi hulgast ühe konkreetse mudeli. Tabelis 3.2 on võrreldud kokkuvõtvalt igat tüüpi andurit.

Tabel 3.2 Kokkuvõttev andurite võrdlustabel

Tüüp	Mõõtmisviis	Mudel	Suurimad eelised	Suurimad puudused	Hind
Resolver	Otsese kontaktiga	Amatek 1968B	Vastupidav, töökindel	Hind	2000 €
Enkooder	Otsese kontaktiga	Kiiruse-mõõtja TR-1	Täpsus	Hind, tülikas kinnitamine	240 €
Enkooder	Otsese kontaktiga	Enda lahendus	Täpsus	Vajalik lisakonstruktsioon	150 €
Halli	Kontaktivaba	Honeywell 1GT101DC	Keskkonna tingimustele vähetundlik, hind	Ebatäpne	26 €
Magnettakistuse	Kontaktivaba	Honeywell SR4P3-A1	Hind	Vajalik püsिमagnet kinnitada võllile/hammasrattale, ebatäpne	31 €
Induktiiv	Kontaktivaba	Allen Bradley 872C	Ei vaja püsिमagnetit	Ebatäpne	30 €

Tabelist 3.2 nähtub, et Halli, induktiiv ja magnettakistuse andurite eeliseks on nende odavus. Oluline on, et magnettakistusel põhineva anduri jaoks on vajalik pöörlevale võllile kinnitada püsिमagnet, samal ajal, kui Halli ja induktiivanduri puhul piisab ferromagnetilisest materjalist. Näiteks saab anduri paigutada mõne võlli hammasratta juurde. Nende kolme anduri suurimaks miinuseks on ebatäpsus, mis tuleneb sellest, et formeerimisliini lint liigub aeglaselt ja seetõttu on impulsside arv ühe pöörde kohta väike. Resolver jääb valikust välja kõrge hinna tõttu. Enkooderil põhinevat valmiseadet töö autor ei vali, sest eksisteerib võimalus, et selle kinnitamine olemasolevale formeerimisliinile võib osutuda tülikamaks, kui kohe enda lahendus luua. Seega lõplikuks valikuks osutub optiline inkrementaalenkooder töö

autori poolt projekteeritud kinnituslahendusega. Enkoodriks valitakse Kübler Miniature Optic 2400, mis edastab 1 024 impulssi ühe täispöörde kohta.

### 3.2.4 Lindi kiiruse mõõtja algoritm ning konstruktsioon

Töö autor valis lindi kiiruse mõõtmiseks Kübleri optilise inkrementaalenkooderi Miniature Optic 2400. Töö autor projekteerib vajaliku kinnituskonstruktsiooni ise. Lisaks koostab töö autor kiiruse mõõtmiseks sobiva algoritmi.

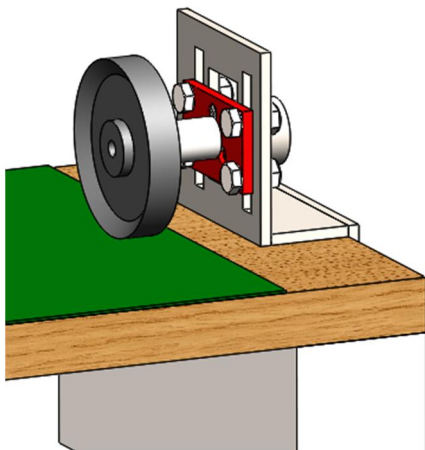
Valitud enkooder on mõõtmiselt väikene ja mõeldud eelkõige rakenduste jaoks, kus võllile mõjuvad väikesed radiaalsed jõud. Maksimaalne võllile lubatav radiaalne jõud on 10 N. Võlli teljesuunaline maksimaalne lubatud jõud on 20 N [14].

Vähendamaks võllile rakenduvat radiaalset jõudu kasutab töö autor enkoodri võlli ning mõõteratta ühendamiseks vahemuhvi. Vahemuhv kujutab endast keerdvedru, mis kõrvaldab radiaalsed jõud. Radiaalsed jõud tekivad ratta ning enkoodri telgede erinevate nurkade all paiknemisest. Vahemuhv on toodud seel 3.3.



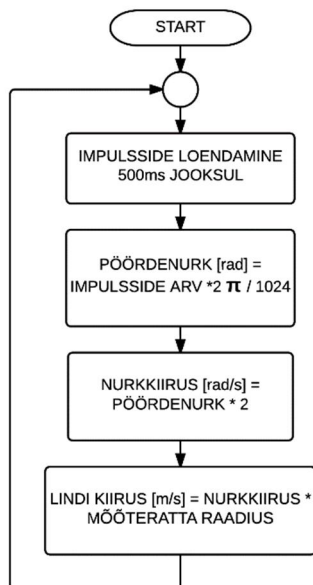
Sele 3.3 Vahemuhv [13]

Seel 3.4 on kujutatud töö autori poolt projekteeritud kiirusemõõtja kinnituse lahendus. Ratas kinnitub enkoodri külge muhvi abil. Enkooder on kinnitatud väikese metallplaadi külge kolme kruviga. Plaat on tähistatud mudelil punase värviga. Plaat kinnitub poltliitega rakise külge, mis võimaldab tal translatoorselt liikuda. Rakis kinnitub liini serva külge poltliitega. Tehnilised joonised, mille põhjal kinnituse lahendus valmistati on toodud lisa 6.



Sele 3.4. Enkooder liini külge kinnitatuna mudelina ja reaalselt

Selel 3.5 on toodud töö autori poolt koostatud kiiruse saamise algoritm. Kontrolleri käivitamisel loetakse sisendisse saabuvate impulsside arv 500 ms jooksul. Seejärel arvutatakse pöördenurk, teades mitmele radiaanile vastab üks impulss. Tulemuse peab korrutama kahega, et saaks tulemusena mitu radiaani võll pööras ühes sekundis. Lindi kiiruse saamiseks peab nurkkiiruse korrutama mõõteratta raadiusega.



Sele 3.5 Lindi kiiruse saamise algoritm

### 3.3 Plaadi paksuse kohta informatsiooni saamine

Toodetava puitlaastplaadi paksuse kohta informatsiooni saamiseks peab mõõtma laastumati paksust ja sellest tuletama toodetava plaadi paksuse. Toodetavat plaati saaks mõõta alles pärast viimast töötlusoperatsiooni- lihvimise lõppu. Esimene pressitais plaate jääksid sellisel

juhul niisutamata, sest juhtsüsteemis ei ole teada plaadi paksus. Seetõttu ei ole see variant sobiv ning mõõtma peab laastumatti.

Laastumatti võib mõõta nii enne kui ka pärast eelpressimist. Sobivam on mõõta eelpressimise järgselt, sest siis on laastumatti pealmine kiht siledam ja mõõtmine seetõttu täpsem.

Plaadi paksuse teada saamiseks on sarnaselt liini kiiruse saamisele kaks võimalust: kas otsese kontaktiga või kontaktivaba mõõtmisega.

Otsese kontaktiga mõõtmisel kasutatakse mõõtetulemuse saamiseks seadet, mis puudutab seadmest mööduvat plaati. AS-is Repo Vabrikud on kasutusel selline mõõtesüsteem, GreCon DMR5000. See seade mõõdab liinil plaadi paksust pärast kuumpressi. Seadme töö põhineb korpuses liikuvatel vööliilidel, mida nihutab mööduv plaat. Vööli liikumise suurust mõõdetakse korpuses paikneva optilise süsteemi abil. Väliskeskkonna tingimused mõõtmist ei sega, sest optika on kaitstud tolmu ning kuumuse eest. Otsese kontaktiga mõõtmisviiside puhul on puuduseks liikuvate detailide olemasolu, mis võivad pikemaajalise eksploatatsiooni käigus mõjuda mõõtetäpsusele halvasti. Selel 3.6 on toodud mõõtmisüsteemi näide.



Sele 3.6. GreCon DMR5000 mõõtesüsteem [8]

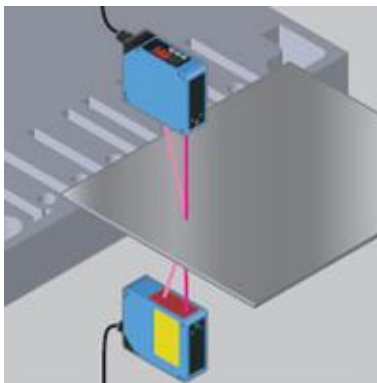
Niisutusmasina jaoks peaks lisama Greconi süsteemi mõõteseadme liini osale, kus liigub eelpressitud laastumatt. Kuna seade on mõeldud kasutamiseks kuumpressi läbinud plaadiga, siis võib mõõtepea lõhkuda laastumatti. Seetõttu nõuaks seade mitmeid modifikatsioone või eritellimuse alusel valmistatavat toodet. Suurendama peaks mõõtepea ratta läbimõõtu ning vähendama jõudu, millega surutakse mõõtepead mõõdetava objekti vastu. Samuti peaks viima läbi mitmeid katsetusi, et leida sobilik mõõtepea läbimõõt ning jõu suurus.

Kontaktivabalt saab mõõta plaadi paksust kas ultraheli või lasermõõtjat. Ultraheli kaugusmõõdik tuvastab objekti kauguse, mõõtes helilaine objektilt tagasipeegeldumise aega.

Helilaine sagedusena kasutatakse ultraheli sageduse piirkonda. See tagab kontsentreerituma helilaine suuna, sest kõrgema sagedusega helilaine hajub keskkonnas vähem [28].

Ultraheli kaugusmõõdiku puudusena võib välja tuua temperatuuri mõju mõõtmisele. Näiteks Pepperl+Fuchsi ultrahelianduri UB250-F12-I-V15 puhul on selleks  $\pm 1,5\%$  maksimaalse mõõtepiirkonna absoluutväärtusest ehk 3,75 mm [21]. Eeliseks võib lugeda anduri väiksemat tundlikust tolmu, kui seda on laseranduri puhul.

Lasermõõtjaga mõõtmiseks kasutatakse optilist triangulatsiooni meetodit. Meetod põhineb mõõdetava objekti kaugusest tuleneva tagasipeegelduva kiire paiknemiskohast valgustundlikul elemendil. Lasermõõtjate tööd ei sega niiskus ega veeaur. Samuti on nad suhteliselt immuunsed temperatuuri muutusele.



Sele 3.7. Laserandurid mõõtmis plaadi paksust [29]

Täpsema tulemuse saavutamiseks on võimalik paigutada andurid kahele poole nagu on toodud näitena seel 3.7.

### **3.3.1 Plaadi paksuse mõõtja anduri valik ning konstruktsiooni valmistamine**

Plaadi paksuse mõõtja jaoks vajaliku anduri valiku tehnilised kriteeriumid on alljärgnevad:

- 1) Toodevate puitlaastplaatide paksused on vahemikus 10 kuni 25 mm. Eelpressitud laastumatti paksus on ligikaudu 2,2 korda paksem. Võttes arvesse väikest varu arvestada anduri tööpiirkonna valikul laastumati paksusega 15-60 mm.
- 2) Toodevate erinevate puitlaastplaatide minimaalne paksuse vahe on 1 mm. Laastumati paksus erineb sellisel juhul minimaalselt 2,2 mm. Seetõttu peab andur olema vähemalt 1 mm resolutsiooniga.

Sobiva anduri valikul lähtub töö autor ülalnimetatud kriteeriumitest ja alapeatükis 3.3 välja toodud eri tüüpi andurite omadustest, nende eelistest ja puudustest. Töö autor valis välja

konkreetsed erinevate mõõtmisviisidega andurite mudelid. Tabelis 3.3 on võrreldud kokkuvõtvalt igat tüüpi andurit.

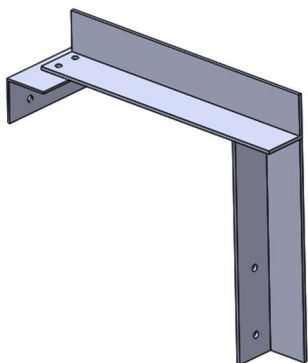
Tabel 3.3 Andurite võrdlus

Meetod	Otsene	Ultraheli	Laser
Andur	GreCon DMR5000	Pepperl+Fuchs UB250-F12-I-V15	SICK DT20-N244B
Hind	3600 €	300 €	640 €
Mõõtmistule- muse korratavus	Ei ole toodud andmelehel.	$\leq 2,5$ mm	0,5 mm
Resolutsioon	0,01 mm	0,13 mm	0,2 mm
Eelised	Väliskeskond ei mõjuta mõõtmist.	Tolmule vähem tundlikum kui laser.	Niiskus ja veeaur ei sega tööd.
Puudused	Kallis. Lõhub tõenäoliselt laastumatti. Mõõtepea tuleks ümber teha.	Võib vajada perioodilist puhastamist.	Võib vajada pidevat suruõhku tolmu tõttu.

Tabelist 3.3 on näha, et Greconi firma mõõtja oleks kõige täpsem ning töökindlam. Laastumatti mõõtmiseks viis töö autor läbi esialgse katsetuse. Katsetamise käigus selgus, et otsese kontaktiga mõõtmiseks eelpressitud laastumatt ei sobi. Laastumatt purunes olulisel määral. Greconi mõõtesüsteemi ehitust peaks oluliselt muutma, et selle saaks kasutusele võtta. Seetõttu võib lugeda selle variandi ebasobivaks, sest töömaht oleks oluliselt suurem võrreldes teiste variantidega.

Ultraheli- ja laserkaugusmõõdikut võrreldes osutub paremaks laser. Lasermõõdiku hind on küll kallim, kuid laserandur suudab tagada nõutavat täpsust. Ultrahelimumõõdiku tulemus võib sama distantse mõõtmisel olla kuni 2,5 mm erinev. Samuti võib temperatuuri mõjutada mõõtetulemust 3,75 mm ulatuses. Tehases mängib temperatuur rolli, sest talvel on suures, vähe köetavas hoones külm. Suvel on aga puuduliku ventilatsiooni ning kuumade seadmete tõttu hoones väga palav. Neile asjaoludele tuginedes valitakse kasutamiseks lasermõõdik Sick DT20-N244B.

Valitud lasermõõdiku kinnitamiseks formeerimisliinile koostas töö autor konstruktsiooni mudeli, mis on toodud seel 3.8. Konstruktsioon koosneb kahest osast. Esimene osa kinnitatakse formeerimisliini külge. Teise osaga kinnitatakse andur. Kaks osa ühendatakse omavahel poltliitega. Valmis ning formeerimisliini külge kinnitatud konstruktsioon on toodud seel 3.9.



Sele 3.8. Puitlaastplaadi paksuse mõõtja kinnituse konstruktsioon



Sele 3.9. Paksuse mõõtja valmislahendus kinnitatuna formeerimisliini külge

### 3.4 Juhtsüsteemi sisendite ja väljundite arvu määramine

Juhtsüsteemi riistvara valikut alustatakse süsteemi sisendite ja väljundite arvu määramisega. Enne rekonstrueerimist on mõlema niisutusmasina elektrikilpidel viis nuppu- mõlema mootori käivitamiseks ja seiskamiseks ning avarii-stop. Rekonstrueeritud niisutussüsteemil tuleb töö autoril lisada sinna lüliti režiimi määramiseks. Lüliti võimaldab seadme juhtimise lülitada automaatsele või lokaalsele režiimile. Automaatsel režiimil juhitakse niisutusmasinaid vastavalt anduritest tulevale informatsioonile. Lokaalsel režiimil käivitab ja juhib niisutussüsteemi operaator.

Ühe niisutusmasina sisendid on toodud tabelis 3.4 ja väljundid tabelis 3.5. Niisutussüsteemi kuuluvad kaks niisutusmasinat on sarnased ja seetõttu on teise niisutusmasina sisendid ja väljundid põhimõtteliselt samad. Teisel niisutusmasinal ei ole ainult enkoodri ja plaadi paksuse anduriga seotud sisendeid.

Tabel 3.4. Niisutusmasina sisendid

Sisend	Signaali tüüp	Funktsioon
1	Digitaalne	Lisaaaine paagi alumine nivooandur
2	Digitaalne	Lisaaaine paagi ülemine nivooandur
3	Digitaalne	Põhipaagi alumine nivooandur
4	Digitaalne	Põhipaagi keskmine nivooandur
5	Digitaalne	Põhipaagi ülemine nivooandur
6	Digitaalne	Pumba käivitus nupp
7	Digitaalne	Pumba peatamise nupp
8	Digitaalne	Segamismootori käivitus nupp
9	Digitaalne	Segamismootori seiskamise nupp
10	Digitaalne	Pumba automaatkaitse informatsioon
11	Digitaalne	Segamispumba mootori automaatkaitse informatsioon
12	Digitaalne	Avarii-stop
13	Digitaalne	Pumba mootori ülekuumenemise informatsioon
14	Digitaalne	Enkoodri väljundkanal A
15	Digitaalne	Enkoodri väljundkanal B
16	Digitaalne	Režiimi lüliti
17	Analoog ( 4-20 mA)	Vooluhulga andur
18	Analoog ( 4-20 mA)	Plaadi paksuse andur

Tabel 3.5. Niisutusmasina väljundid

Väljund	Signaali tüüp	Funktsioon
1	Digitaalne	Pumba mootori kontaktori lülitus
2	Digitaalne	Segamispumba mootori kontaktori lülitus
3	Digitaalne	Veetoru ventiili juhtimine
4	Digitaalne	Esimese pihusti solenoidi juhtimine
5	Digitaalne	Teise pihusti solenoidi juhtimine
6	Digitaalne	Kolmanda pihusti solenoidi juhtimine
7	Digitaalne	Neljanda pihusti solenoidi juhtimine
8	Digitaalne	Viienda pihusti solenoidi juhtimine
9	Digitaalne	Läbi sagedusmuunduri pumba käivitamine/peatamine
10	Analoog (4-20 mA)	Seadesuurus sagedusmuundurile

Tabelitest on näha, et ühe niisutusmasina jaoks on vaja kuusteist digitaalset ning kaks analoogsisendit. Väljundeid on üheksa digitaalset ning üks analoogsignaali.



## 3.5 Juhtsüsteemi kontrolleri valik

Juhtsüsteemi kõige olulisem komponent on kontrolleri. Kuivõrd niisutussüsteemi ostes oli kontrolleri puudu, siis järgnevalt vaadeldakse kolme võimalust, kuidas oleks võimalik niisutussüsteemi juhtida. Välja tuuakse iga variandi eelised ja puudused arvestades Püssi tehase tingimusi. Seejuures lähtutakse komponentide valikul alapeatükis 3.4 välja toodud sisendite ning väljundite arvust. Sisendite ning väljundite arv korrutatakse kahega, sest niisutusmasinaid on niisutussüsteemis kaks. Lisaks võtab kontrolleri valikul töö autor arvesse alljärgnevat nõudmist:

- 1) niisutussüsteemi saab juhtida operaatorpaneelilt operaatori ruumist,
- 2) kaughaldus võimekuse olemasolu,
- 3) võimaldab ületehaselist SCADA (ingl k *Supervisory Control and Data Acquisition*) süsteemi loomist teiste kontrolleritega.

Lõpliku kontrolleri valiku teeb töö autor alapunktis 3.5.4.

### 3.5.1 Niisutussüsteemi juhtimine formeerimisliini kontrolleri

Esimeseks variandiks on niisutusmasinate juhtimine formeerimisliini tööd juhtiva Omroni kontrolleri

#### Eelised

Olemasolevas süsteemis on olemas juhtpaneel, mis paikneb operaatori ruumis. Lisaks on kontrolleri analoogsisendite moodulis piisav arv vabu sisendeid. Seetõttu ei tuleks neid komponente hankida.

#### Puudused

Suurim puudus antud variandi juures on Omroni kontrolleri vanus. Nimelt alustati Omroni C200HG kontrolleri tootmist 1996. aastal [18] ja Repo Vabrikute formeerimisliinile lisati kontrolleri 1999. aastal. Järelikult on antud kontrolleri 16 aastat vana. Nii vanale kontrolleri peab komponente ostma järelturult. Hetkel on veel võimalik järelturult uusi kontrolleri komponente osta, kuid tulenevalt kontrolleri vanusest on komponentidel kõrge hind. Samuti tekib küsimus, kas tasub investeerida riistvarasse, mis on ligikaudu 19 aastat vana. Esiteks aja möödudes muutub komponentide ostmine järjest probleemsemaks. Teiseks ei saa kontrolleri luua kaasaegseid lahendusi, näiteks kaughaldus/ SCADA süsteemi üle interneti. Kolmandaks, pidades silmas kontrolleri vähest võimekust on tulevikus teiste kontrolleritega integreerimine keeruline. Samuti võivad tekkida probleemid tootjapoolse tugiteenustega

niivõrd vana kontrolleri puhul. Märkimisväärne on ka asjaolu, et tehase kontrolleri töötab tehases pidevalt 24 tundi ööpäevas ning tagavara kontrolleri puudub. Seetõttu saaks loodavat programmi testida ainult tehase remondipäevadel. Sellest tulenevalt võtaks kogu testimise faas pikalt aega. Samuti oleks seotud antud kontrolleri kasutamine suurema riskiga. Nimelt kontrolleri katki minekul tehnilise vea tõttu oleks häiritud terve formeerimisliini töö ning tehas seiskuks.

### Vajalikud komponendid

Olemasolevale Omroni kontrolleri on vaja juurde osta digitaalsisendite moodul C200H-ID212 (16 sisendit), digitaalväljundite moodul C200H-OC222 (12 relee väljundit) ning C200H-DA001 analoogväljundi moodul.

Tabelis 3.6 on välja toodud vajalike moodulite hinnad. Kogumaksumuseks antud variandi puhul oleks 1609 eurot.

Tabel 3.6. Omroni kontrolleriil baseeruva juhtsüsteemi maksumus

Komponendi nimetus	Mudeli nr	Hind	Kogus	Summa
16 sisendiga moodul	C200H-ID212	194 €	2	388 €
12 väljundiga relee moodul	C200H-OC222	247 €	2	494 €
Analoogväljund moodul	C200H-DA001	727 €	1	727 €
				∑ 1609 €

### 3.5.2 Eraldiseisev automaatjuhtsüsteem tööstusliku kontrolleriiga

Teine variant on ehitada automaatjuhtsüsteem uue tööstusliku kontrolleri baasil. Kuivõrd juhtsüsteemi komponentide kulu sõltub olulisel määral tootjast, siis vaadeldakse kahe erineva tootja kontrolleri. Esimesena Siemensi S7-300 kontrolleri ja teisena väiketootja Unitronicsi V130 kontrolleri.

#### Siemensi S7-300 kontrolleri

S7-300 on moodulkontroller. Moodulkontrolleri osad nagu näiteks protsessor, toiteplokk, signaalimoodulid paiknevad eraldi korpustes. Moodulkontrolleri osad paigutatakse DIN-liistule või spetsiaalse kujuga kinnitusliistule. Moodulid suhtlevad protsessoriga läbi sisese siinisüsteemi. Siinisüsteemi pesade arv on limiteeritud, kuid on laiendatav kasutades spetsiaalseid siinisüsteemi moduleid. Seetõttu saab moodulkontrolleri koostada erinevatest moodulitest lähtudes automatiseeritava masina või protsessi nõudmistest. [17]

Moodulkontroller on võimsam ja omab rohkem funktsioone kui kompaktne kontroller.

S7-300 kontrollerit on võimalik saada mitmes eri konfiguratsioonis. Käesoleva töö jaoks on valitud mudel 315-2 PN/DB, millel on nii Profineti kui ka Profibusi liides.



Sele 3.10. Siemens S7-300 moodulkontroller [30]

### **Eelised**

Peamine eelis on kontrolleri kaasaegne tarkvara ja riistvara, mis pakuvad laialdaselt võimalusi. Siemensi tarkvara on mõeldud suurte SCADA süsteemide loomiseks. Seetõttu saab tulevikus teiste kontrolleritega ning seadmetega lihtsasti ühenduda. Oluline eelis on seegi, et Siemens S7 toetab maailma populaarseimat tööväljavõrku Profibusi. Profibus võimaldab andmesidet erinevate tootjate poolt tehtud seadmete vahel ilma spetsiaalsete adapteriteta. Profibusi on võimalik kasutada kõrge kiirusega rakendustes ja komposiitandmevahetuses [24].

Profibusi seadmeid oli 2013. aasta lõpuks maailmas kasutusel 47,4 miljonit ning need muutuvad järjest populaarsemaks [22]. Samuti on antud kontrolleril olemas Profineti liides. Profinet on tööstusautomaatika andmesidevõrgu standard, mis baseerub Ethernetil.

Teiseks oluliseks eeliseks on niisutusmasinate elektrikilpides paiknevate ET200U andmesidemoodulitega ühendamise võimalus. Valides Siemensi kontrolleri oleks võimalik kasutada juba olemasolevaid digitaalsignaali sisend- ja väljundmooduleid. Lisada tuleks ainult analoogmoodulid ning enkoodri moodul.

Kolmandaks S7 kontrolleri eeliseks on komponentide hea kättesaadavus ning tootjapoolne hea kasutajatugi.

Neljandaks eeliseks oleks tänu Profineti liidesele ja tehases paiknevatele võrgukaablitele lihtne kaughaldus võimaluse tekitamine. Tehase kontoris paiknevad juhtivtöötajad oleksid paremini kursis tehases toimuvaga ja saaksid teha kiiremini vajalikke otsuseid.

## Puudused

ET200U andmesidemooduli vanuse tõttu on signaalimoodulite hinnad kõrged.

## Vajalikud komponendid ja nende maksumus

Vajalike komponentide loetelu ja maksumus on toodud tabelis 3.7.

Tabel 3.7. Siemens S7-300 kontrollerial baseeruva juhtsüsteemi maksumus

Komponendi nimetus	Mudeli nr	Hind	Kogus	Summa
CPU 315-2 PN/DB	6ES7315-2EH14-0AB0	1900 €	1	1900 €
Analoog sisend moodul	6ES5-464-8ME11	240 €	2	480 €
Analoog väljund moodul	6ES5-470-8MC11	530 €	2	824 €
Enkoodri moodul	6ES5-385-8MB11	524 €	1	523 €
Operaatorpaneel	6AV6647-0AC11-3AX0	585 €	1	585 €
				$\Sigma$ 4313 €

## Vision V130

Vision 130 (toodud seel 3.11) on operaatorpaneeliga kompaktnel kontrollener. Kompaktses kontrolleras on kõik kontrolleri moodulid paigaldatud ühte korpusesse. Kompaktsel kontrolleral on kindel sisendite ja väljundite arv. Seda arvu on võimalik laiendada spetsiaalsete laiendusmoodulite abil [17]. Maksimaalne sisendite ja väljundite arv, mida Unitronics V130 toetab on 128 [38]. Operaatorpaneeli osaks on 2,4-tolline ekraan ning 20 programmeeritavat klahvi.



Sele 3.11. Unitronics V130 [39]

Üheks kontrolleri valiku tingimuseks oli, et operaatorpaneel peab paiknema formeerimismasina operaatori ruumis. Seetõttu tuleks kontrolleri paigaldada sinna ning sisend- väljundmoodulid niisutusmasinate elektrikilpidesse. Juhtimissüsteemi saab laiendada ning

sisend-väljundmoduleid paigaldada kaugemale kontrollerrist kasutades kontrollersidevõrku (edaspidi CAN ingl k *Controller Area Network*). CAN on andmete reaajaliseks edastamiseks kiirusega kuni 1 Mbit/s. CANi eeliseks on väga head veaparanduse võimalused andmesides. [24]

CANi kasutamiseks andmete edastamisel on Untronicsil olemas moodul EX-RC1, mis lisatakse CANi siinile. Mooduli külge ühendatakse eraldi korpustes paiknevad sisend- ning väljundmoodulid. Maksimaalne kaugus kontrollerrist mooduliteni on 1 000 m ning võrgus on lubatud kuni 60 sõlmpunkti [37].

### Eelised

Peamine eelis Untronicsi kontrollerrite puhul on riistvara madal hind. Riistvara hinda toob veelgi allapoole fakt, et operaatorpaneel on kontrollerrisse sisse ehitatud. Teiseks eeliseks on, et kontrollerrile on võimalik lisada Profibusi moodul.

Samuti on eeliseks, et kogu vajaminev tarkvara kontrolleri kasutamiseks on tasuta saadaval. Üheks pakutavaks programmiks on Untronicsi OPC/DDE tarkvara. See tarkvara võimaldab andmevahetust programmidega, mis toetavad DDE protokollit [16].

### Puudused

Untronicsi OPC/DDE tarkvara võimaldab andmevahetust kontrolleri ja SCADA süsteemi vahel. Untronics ise ei paku SCADA süsteemi loomiseks tarkvara. Seetõttu tuleks osta lisaks SCADA tarkvara.

### Vajalikud komponendid ja nende maksumus

Vajalike komponentide loetelu ja maksumus on toodud tabelis 3.8.

Tabel 3.8. Untronics V130 kontrollerril baseeruva juhtsüsteemi maksumus

Komponendi nimetus	Mudeli nr	Hind	Kogus	Summa
Kontrollerr V130	V13033TR20	735 €	1	735 €
CAN moodul	V10017CAN	104 €	1	104 €
Ethernet pordi moodul	V10017ET2	178 €	1	178 €
Laiendusadapter CanBUS	EXRC1	334 €	2	668 €
16 sisendiga moodul	IODI16	149 €	2	298 €
16 väljundiga moodul	IORO16	315 €	2	630 €
Analoog sisend/väljund	IOAI4AO2	218 €	1	218 €
Profibusi moodul	V100-17-PB1	70 €	1	70 €
				∑ 2901 €

### 3.5.3 Juhtsüsteemi kontrolleri lõplik valik

Juhtsüsteemi kontrolleri osas lõpliku valiku tegemisel tuleb arvestada lisaks eelnevalt välja toodud variantide eelistele ja puudustele ka teiste tehases paiknevate kontrolleritega. Seetõttu on mõistlik lahendada juhtsüsteemi valik selliselt, et tulevikus oleks suur osa kontrolleritest võimalikult hõlpsasti üheks terviksüsteemiks ühendada ning luua ühine SCADA süsteem.

Tabelis 3.9 on toodud tehase teisi seadmeid juhtivad kontrollid ning milliseid tööväljavõrkude liideseid nad omavad.

Tabel 3.9. Tehases paiknevad kontrollid

Juhitav seade	Kontroller	Toetatav tööväljavõrk
Formeerimismasinad	Omron C200HG	DeviceNet
Lihvimismasin	Siemens S7-300	Profibus
Lihvtolmu tagastusseade	Siemens S7-300	
Kuivatid	Siemens S7-300	Profibus
Liimi valmistamine	Omron CJ2M	Ethernet/IP
Koostootmisjaam	Siemens S7-300	Profibus, Profinet

Tabelist 3.9 on näha, et tehases on ülekaalus Siemensi kontrollid. Valides niisutussüsteemi juhtimiseks Siemensi kontrolleri, kasutatakse tehases järjest rohkem sama tootja seadmeid. Seega tekiks tehases kohapeal suurem pädevus ühe firma seadmete kasutamisel.

Kolmel Siemensi kontrollil neljast on olemas Profibusi ning ühel Profineti tugi. Seetõttu oleks võimalik neli kontrollit hõlpsasti ühendada Profibusi tööväljavõrku. Profineti võimalus koostootmisjaama kontrollil võimaldab kontrolleri ühendada ületehaselise kohtvõrguga. Selliselt ühendades on suhteliselt hõlpsasti loodud kontrollite võrk, kus ühe kontrolleri kaudu saab pärida informatsiooni neljast kontrollist. Profineti ja Ethernet/IP vaheliseks andmevahetuseks peab paigaldama kahe võrgu vahele lüüsi (ingl k *gateway*).

Tuginedes alapeatükis 3.5 väljatoodud eelistele ning arvestades tehases paiknevate teiste kontrolleritega osutub valituks Siemensi kontroll S7-300, CPU 315-2 PN/DP. Antud kontrolleri mudelil on nii Profineti kui ka Profibusi liides. Sellise valiku suurimaks eeliseks on lihtne SCADA süsteemi loomine. Samuti pakuvad nii Profibusi kui Profineti liides laialdaselt võimalusi tulevikuks. Samuti saab selle kontrolleri ühendada niisutusmasinatega minimaalsete elektrimontaaži töödega, sest olemasolevad ühendused jäävad kasutusse. Teiste

variantide puhul tuleks ühendused ringi teha. Unitronicsi kontrolleri jäi valikust kõrvale seetõttu, et tema ühildamine ühtsesse SCADA süsteemi on keerukam ning kulukam. Formeerimisliini Omroni kontrolleri jäi valimata tema vanuse tõttu. Tõenäoliselt tuleb see kontrolleri lähitulevikus ümber vahetada mõne uuema vastu. Valides niisutusmasina juhtimiseks S7-300 moodulkontrolleri, siis on võimalik tulevikus vajadusel terve formeerimisliini juhtimine üle viia sellesse kontrolleri. Selleks tuleb lisada vajalik arv signaalimoduleid. Seetõttu on hetkel õigustatud ka kõige kalleim investeering, mida nõuab S7-300 kontrolleri.

### 3.6 Toiteploki valik

Niisutussüsteemi toiteploki valikuks on koostatud tabel 3.10. Tabelis on toodud niisutussüsteemi elektrikomponendid ning nende võimsus. Komponendid, mille võimsus on alla 1 W, ei ole tabelis välja toodud.

Tabel 3.10 Elektrikomponentide võimsused

Komponent	Võimsus <i>P/W</i>	Kogus	Võimsus kokku <i>P/W</i>
Solenoidklapp	12	12	144
Vooluhulgamõõtur	5	2	10
Kontaktor	3,5	4	14
PLC	18	1	18
PLC signaalimoduleid	48	2	96
Laserandur	2	1	2
			$\Sigma$ 284 W

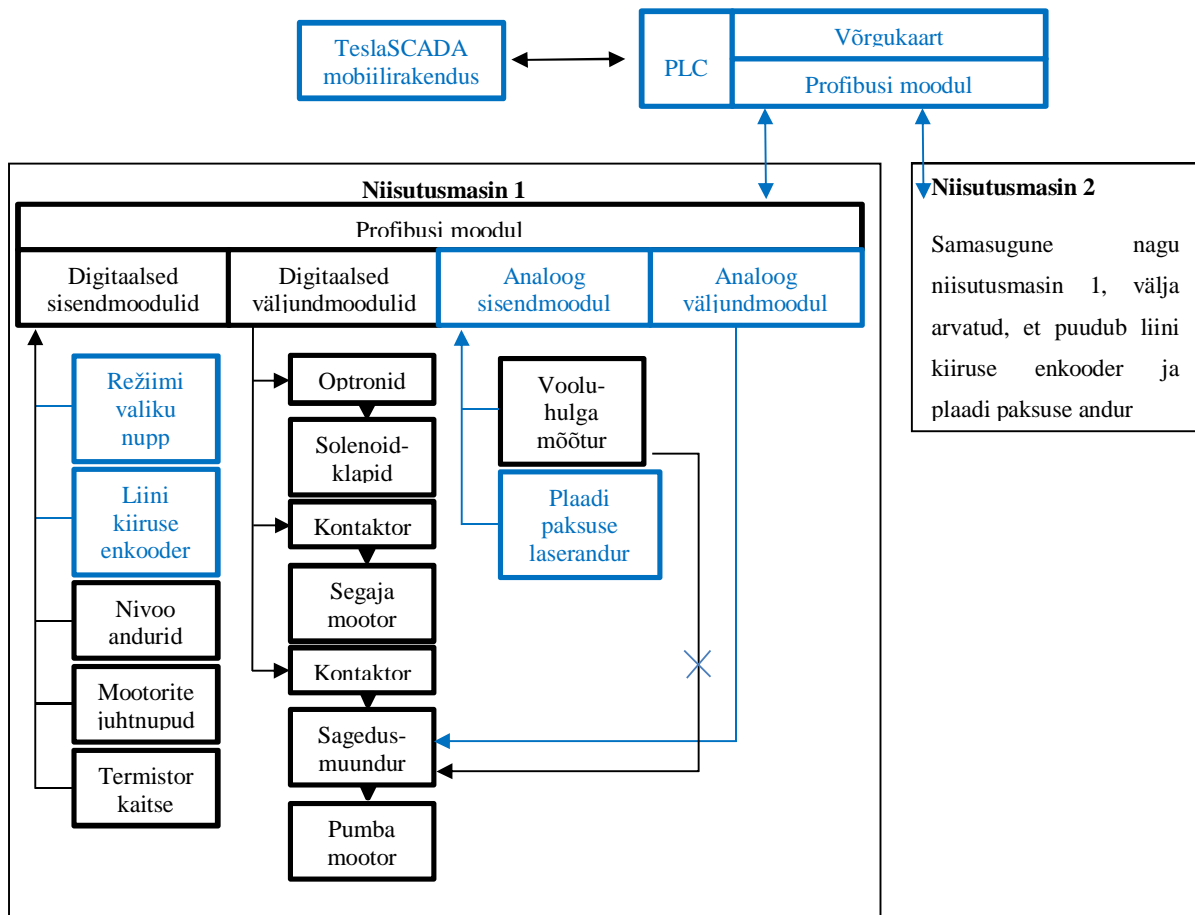
Lähtudes koguvõimsusest valib töö autor niisutussüsteemile toiteploki Siemens 6EP1336-2BA10 toiteploki, mille maksimaalne väljundvõimsus on 480 W.



Sele 3.12. Siemens 6EP1336-2BA10 toiteplokk [31]

### 3.7 Muudetud juhtsüsteemi kokkuvõtlik ülevaade

Niisutussüsteemi rekonstrueeritud juhtsüsteem on toodud seel 3.13. Seel on tähistatud sinise värviga uued lisatud osad. Mustaga on tähistatud algselt olemas olnud komponendid. Seelt on näha, et kogu süsteemi juhib võrgukaardiga ning Profibusi liidesega tööstuslik kontrolleri. Kontrolleri on niisutusmasinatega ühendatud Profibusi tööväljavõrgu abil. Niisutusmasinatele lisati nii sisend- kui ka analoogsignaali moodulid. Juhtsüsteemile on sisendiks vooluhulgamõõduri ja laseranduri signaalid. Väljundiks on niisutamise seadeväärtuse signaal sagedusmuundurile. Olemasoleva digitaalsisendmooduli külge ühendati režiimi valiku nupp ning liini kiiruse enkooder. Niisutussüsteemi tööd on võimalik juhtida ka TeslaScada rakenduse abil valmistatud graafilise kasutajaliidese vahendusel.



Sele 3.13. Niisutussüsteemi rekonstrueeritud juhtsüsteem



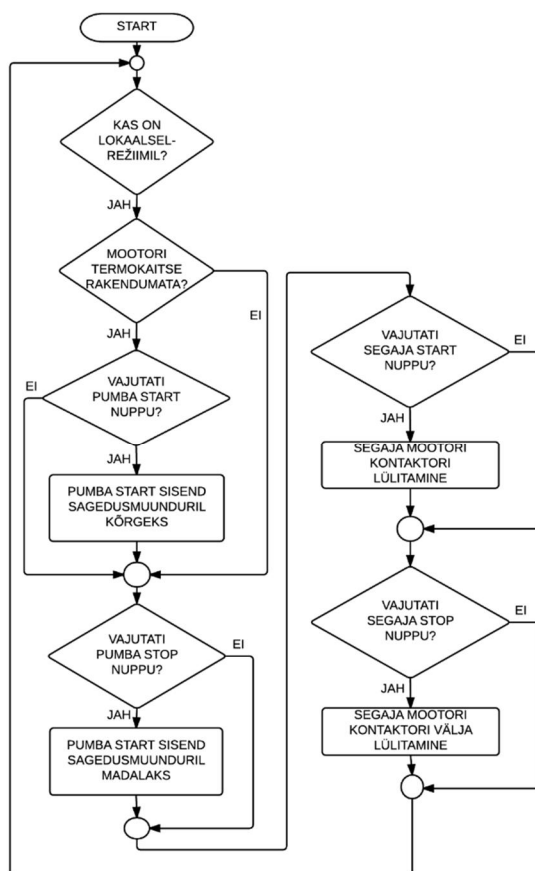
## 3.8 Juhtsüsteemi kontrolleri programmeerimine

Antud alapeatükis annab töö autor ülevaate enda poolt koostatud juhtimisrežiimide ja vedeliku voolamise programmide algoritmidest.

### 3.8.1 Režiimid

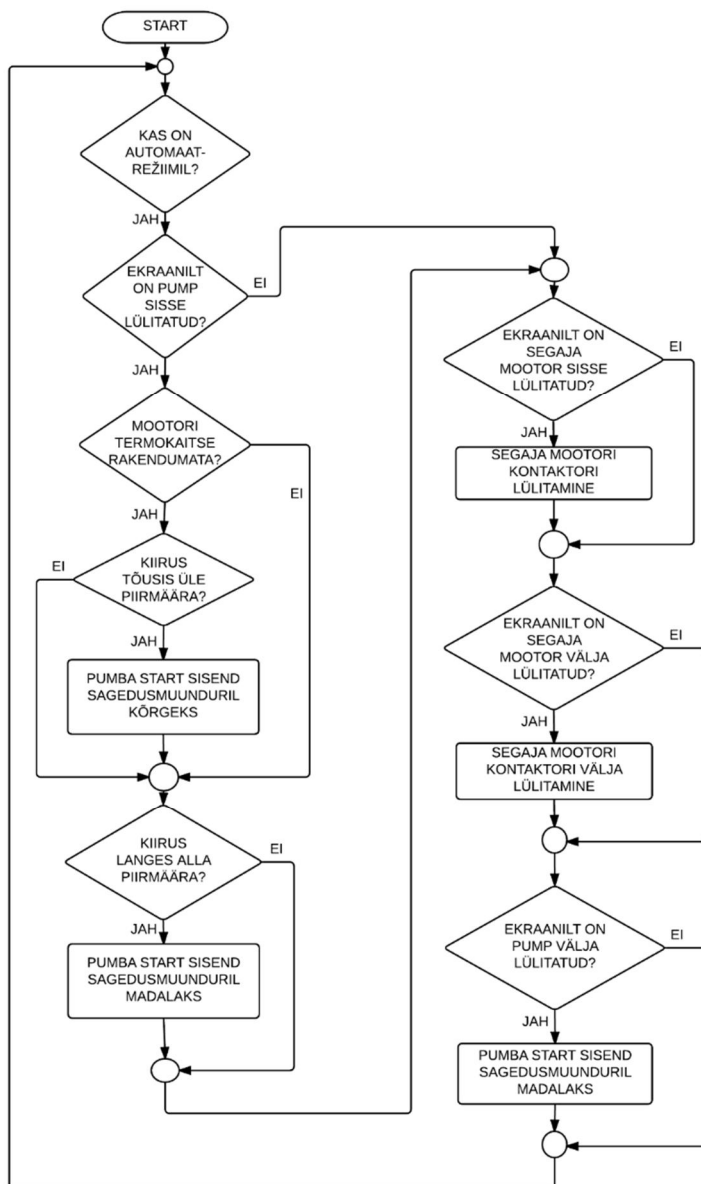
Loodaval niisutussüsteemil saab olema kaks töörežiimi- automaatne ja lokaalne juhtimine. Režiimi vahetamine toimub niisutusmasina juhtkilbile paigaldatud lüliti abil. Niisutusmasinad võivad töötada korraga ka erinevates töörežiimides.

Lokaalse juhtimise korral juhib operaator niisutusmasinat elektrikilbilt. See režiim ei võta arvesse piserdatava vedeliku vooluhulga määramisel liini kiirust ja toodetava puitlaastplaadi paksust. Lokaalne juhtimine on vajalik hooldustööde ning seadmete korrasoleku testimiseks. Näitena võib tuua olukorra, kus pihusti düüs on ummistunud võõrkeha sattumisel pihustatava vedeliku hulka. Sellises olukorras saab operaator düüsi puhastada ja vahetult niisutusmasina juures olles käivitada seadme kontrollimaks, kas probleem sai kõrvaldatud. Selel 3.14 on toodud kontrolleri programmi algoritmi see osa, mis käib lokaalse režiimi alla.



Sele 3.14. Lokaalse režiimi algoritm

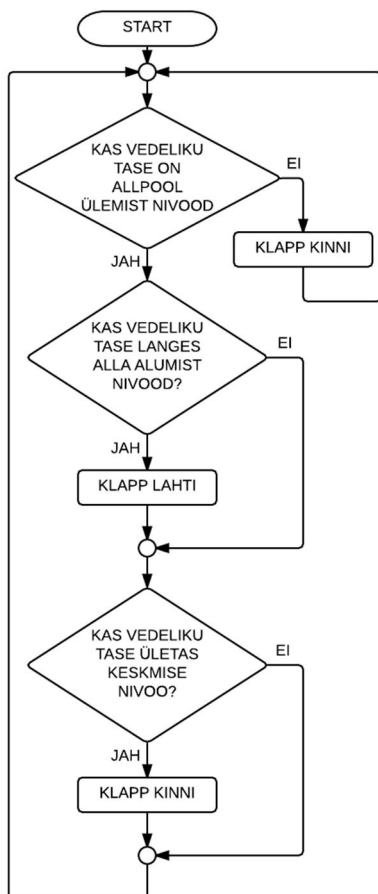
Automaatrežiimil toimub juhtimine operaatorpaneelilt. Operaator lülitab ekraanilt sisse nii vedeliku segaja mootori kui ka hüdropumba mootori. Kui liini kiirus langeb mingil põhjusel alla piirmäära, siis lülitakse hüdropump välja. Vaikimisi seatud piirmääraks on 0,1 m/s. Kiiruse suurenemisel üle piirmäära lülitatakse hüdropump automaatselt taas sisse. Selline algoritm tagab, et liini seiskumisel ei uputata seisvat formeerimisliini üle. Samuti ei pihustata laastumatti formeerimisliini täiskiiruse saavutamisele eelnenud ajal. Selel 3.15 on toodud automaatrežiimi algoritm.



Sele 3.15 Automaatrežiimi algoritm

### 3.8.2 Vedeliku voolamine

Niisutusmasinate hüdraulikasüsteemi ja selle komponentide ülevaade on toodud alapunktides 1.2.1 ja 1.2.2. Niisutamiseks vajaliku vedeliku (vesi segatuna irrutusainega) tase hoitakse paagis alumise ja keskmise nivooanduri vahel. Ülemine andur jäetakse ohutuse tagamiseks. Ülemine andur ühendatakse elektrisüsteemi normaalselt suletud variandis. See tähendab, et andur rakendumata olekus (vedelik allpool andurit) juhib signaali. Vedeliku nivoo jõudmisel ülemise andurini katkestatakse ühendus ja suletakse vee pealevooluklapp. Samamoodi suletakse vee pealevooluklapp juhtme katkemisel. Ühendades anduri kontaktid normaalselt avatud variandis, tooks juhtme katkemine kaasa signaali puudumise kontrolleri sisendis vee jõudmisel andurini. Vedelik voolaks seetõttu üle paagi serva. Keskmise ja alumise anduri kontaktid on ühendatud normaalselt avatud variandis. Selel 3.16 on toodud vedeliku taseme hoidmise algoritm.

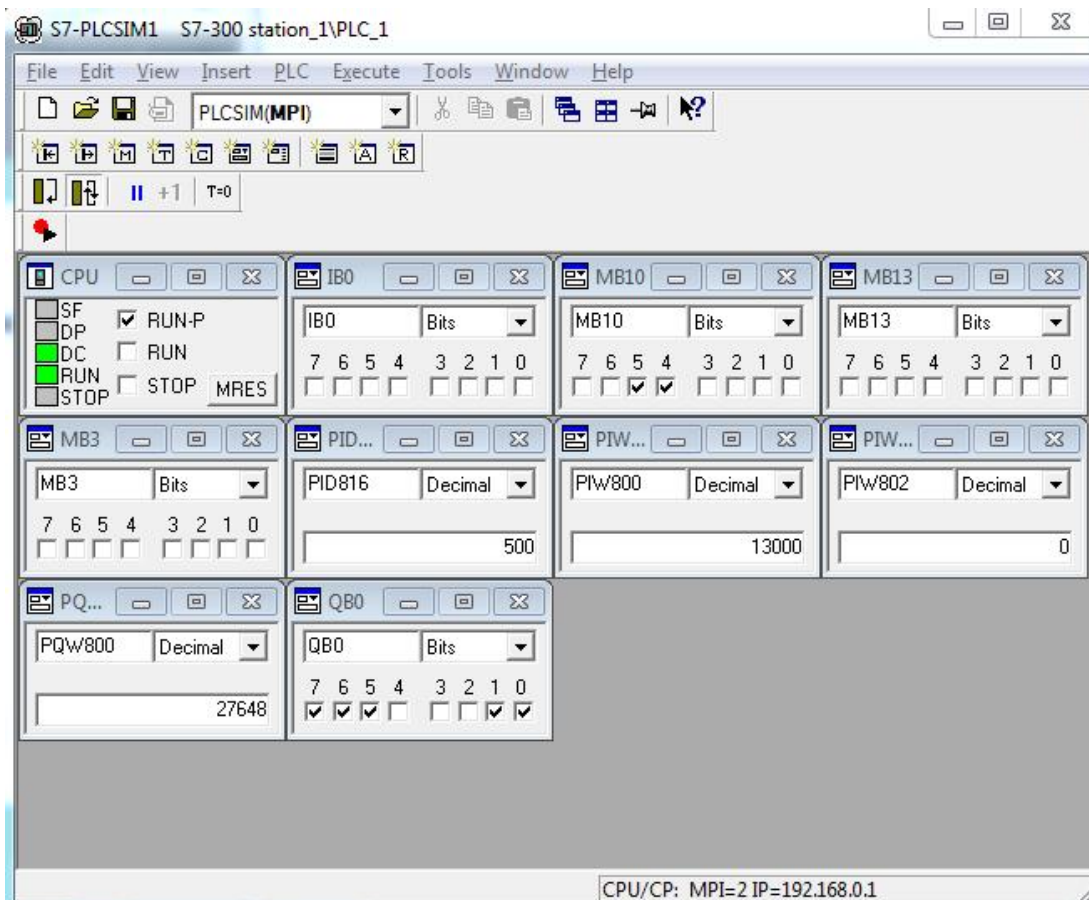


Sele 3.16. Paagis vedeliku taseme hoidmise algoritm

### 3.9 Programm

Töö autor koostas niisutussüsteemi programmi tuginedes seledel 3.14 ja 3.15 toodud töörežiimide algoritmidele. Programmi koostamiseks kasutas töö autor Siemensi tarkvarapaketti TIA Portal. Koostatud programm on toodud lisa 8. Põhiprogrammis toimuvad tsüklilised katkestused iga 100 ms tagant. Iga katkestusega arvutatakse välja uus juhttoime väärtus, mis edastatakse sagedusmuundurile.

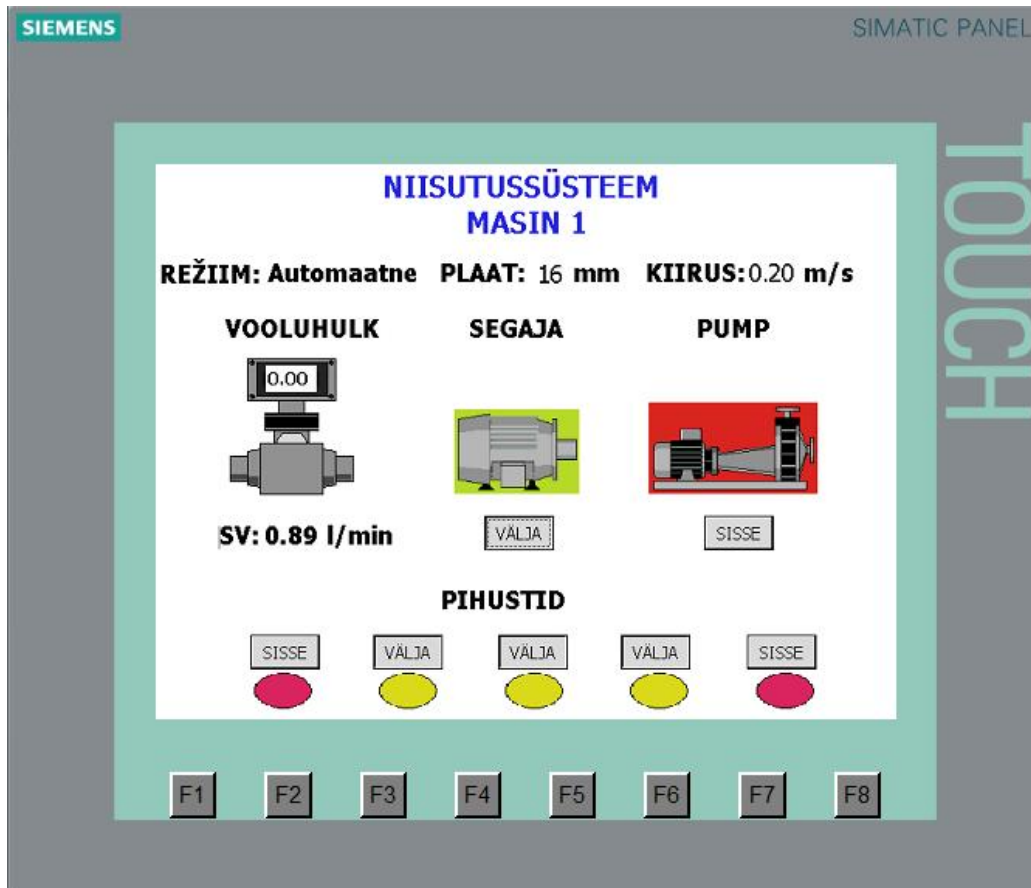
Samas pakettis on olemas ka kontrollrite simuleerimise tarkvara PLCSIM. Antud tarkvaraga katsetas töö autor niisutussüsteemi juhtprogrammi. Näide programmi simuleerimisest on toodud seel 3.17. Sisenditena antakse käsitsi ette väärtused liini kiiruse ning plaadi paksuse määramiseks. Liini kiiruse määramiseks kirjutatakse enkoondri impulsside arv kümnendarvuna sisendaadressile PID816. Analoogsisendisse aadressiga PIW800 kirjutatakse plaadi paksust mõõtvat anduri analoogväljundi väärtus. Vastavalt neile kahele väärtusele arvutatakse PID regulaatori abil välja juhttoime sagedusmuunduri juhtimiseks. Juhttoime analoogväljundi väärtus kirjutatakse aadressile PQW800. Programmi simuleerides ja erinevaid töörežiime katsetades õnnestus töö autoril luua korrektselt töötav juhtimissüsteem.



Sele 3.17. PLCSIM simuleerimise keskkond

### 3.10 Graafiline kasutajaliides

Selel 3.18 on toodud operaatorpaneeli jaoks loodud kasutajaliides. Operaatorile kuvatakse informatsioon töörežiimi, plaadi paksuse ning liini kiiruse kohta. Samuti näeb operaator hetke pihustatava vedeliku vooluhulka ning seadeväärtust. Operaatoril on võimalus lülitada sisse segaja mootorit ning hüdropumba mootorit. Kõik pihustid on eraldi juhitavad.

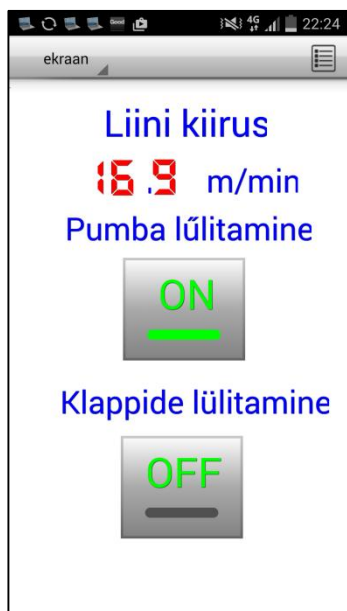


Sele 3.18. Operaatorpaneeli kasutajaliides

## 4 KATSETAMINE

### 4.1 Katsetamine

Niisutusmasina tehnilise seisukorra ning võimekuse hindamiseks viis töö autor läbi katsetused ühe niisutusmasinaga. Niisutusmasina juhtimiseks paigaldati ajutiselt niisutusmasina elektrikilpi laboris paikneva seadme Unitronicsi V130 kontrolleri. Kontrollerial puudus niisutussüsteemi juhtimiseks vajalik analoogväljund ja seetõttu toimus sagedusmuunduri juhtimine kilbile paigaldatud potentsiomeetriga. Selle abil sai muuta hüdropumba mootori sagedust. Katsetusperioodi iseloomustab alati sage seadme lülitamine. Mugavamaks lülitamiseks vajab töö autor võimalust käivitada niisutusmasin mobiiltelefoni abil. See võimaldas niisutamise sisse lülitada ise seadmest eemal paiknedes. Seadme juhtimiseks valmistas töö autor programmi kasutades mobiiltelefoni rakendust TeslaModbusScada. See rakendus võimaldab informatsiooni vahetust kontrolleri ning mobiiltelefoni vahel kasutades Modbusi TCP/IP protokollit. Kasutajaliideselt on näha liini liikumise kiirus ning võimalus lülitada nii pumba käima kui juhtida klappe. Valminud kasutajaliidese ekraanitõmmis on toodud selal 4.1, kontrolleri programm lisas 9 ning katsetamiseks koostatud elektriskeem on toodud lisas 10.



Sele 4.1. Ekraanitõmmis niisutusmasina rakendusest

Kasutajaliides oli vajalik optimaalsete pihustite asendite leidmiseks. Tulevikus hõlbustab kasutajaliides formeerimisliini operatori tööd. Mitut klappide või pumba sisse- ja

väljalülitamist nõudva probleemi (näiteks düüsi ummistumine, pihusti lekkimine) puhul ei pea ta kõndima juhtkilbi juurde. Operaator saab seda teha mugavalt pihustite juures.

Katseskeemi alusel planeeris töö autor alljärgnevat:

- 1) kontrollida niisutusmasina ja selle komponentide toimimist,
- 2) kontrollida liini kiiruse mõõtmise algoritmi toimimist,
- 3) seada paika pihustite veejoad,
- 4) kontrollida mahutite täitmise algoritmi korrektsust,
- 5) määrata optimaalne irrotusaine sisaldus.

Katsetamise tulemusena selgus, et niisutusmasin tervikuna töötab, kuid niisutamisel esineb puudusi. Esimese probleemina ei teki pihustamisel ilusat peenikest veekardinat. Olemasolevad pihustite düüsid on liiga suure läbimõõduga. Tekib liiga suur rõhulang ning vedeliku piisad on liiga suured. Teiseks suureks probleemiks on laastumati liigne niisutamine. Laastumati sise- ning väliskihide niiskusesisalduse kõikumise tõttu ei suuda kuumpress kogu niiskust välja aurutada. Liigsuure niiskussisalduse tõttu tekkisid ühe katsetuse käigus puitlaastplaati väikesed praod. Praod sai likvideeritud edukalt lihvimisoperatsiooni käigus. Lisaks vajavad osad pihustite solenoidklapid puhastust või väljavahetust, sest niisutusmasina pikast seismisest on tekkinud klapi sees tahked osad, mis ummistavad düüse.

Täiendavalt selgus katsetustest, et mahutite täitmise ning kiiruse mõõtmise algoritmid on korrektselt koostatud ning komponendid töötavad. Samuti tuvastas töö autor, et optimaalne lisatava irrotusaine sisaldus pritsitavas vedelikus on 1%. Väiksema kogusega hakkas laastumatt lindi külge kleepuma.

Eeltoodud katsetuste tulemuste alusel muutis töö autor niisutussüsteemi. Sisse viidud muudatused on järgmised:

- 1) olemasolevad düüsid asendati poole väiksema läbilaskevõimega düüsidega. Varasemalt oli läbilaskevõime 0,8 l kolme baarise surve juures. Uutel düüsidel on sama rõhu juures läbilaskevõime 0,4 l. Nii on vedeliku piisad oluliselt väiksemad ja laastumatt niiskub ühtlasemalt.
- 2) Pihustite klappe puhastati, et ei tekiks ummistusi.
- 3) Pihustite arvu vähendati kolmeni, et vältida liigniisutamist. Kolm pihustit on piisav, et katta laastuvaiba ristlõige vedelikuga.

## 4.2 Täiendusvõimalused

AS-i Repo Vabrikute puitlaastplaadi tootmise toormaterjaliks on 50% ulatuses enda tehases ümarpalgist raiutud hakkepuit. 25% toormaterjalist moodustab sisseostetud hakkepuit ning 25% moodustab sisseostetud saepuru. Enda raiutud hakkepuit on optimaalseima laastu suuruse ning parima niiskussisaldusega. Sisseostetav toormaterjal on väga kõikuva niiskusega. Seetõttu võib laastumatt olla erineva niiskussisaldusega. Laastumatti täiendavalt niisutades võib tekkida olukord, kus liigset niiskust ei jõuta kuumpressimisel välja aurutada ning liiga tugev aurulöök tekitab praod puitlaastplaadi pinnakihi. Selline probleem esines ühel katsetuskorral. Nimetatud probleemi ennetamiseks saaks niisutussüsteemi täiendada nii, et pihustatava vedeliku koguse määramisel võetaks arvesse ka puidulaastude formeerimiseelset niiskussisaldust. Selleks oleks vaja paigaldada spetsiaalsed puidulaastu niiskusemõõtjad enne, kui puidulaast segatakse vaiguga. Üks selline mõõtja on toodud selel 4.2. Niiskusemõõtjad oleks vaja paigutada nii sisekihi laastu konveierile kui ka väliskihi omale. Niisutussüsteemi juhtsüsteemi jaoks vajalikud piirmäärad tuleks seada empiirilisel.

Töö koostamise ajal pragude tekkimine väga suur probleem ei ole. Tulenevalt kuumpressi kvaliteediprobleemidest lihvitakse puitlaastplaadi kahelt poolt kokku maha ligikaudu 1,5 mm. Katsetamise käigus tekkinud praod kadusid lihvimisel. Samas on tehases kaalumisel kuumpressi renoveerimine. Renoveerimise käigus uuendatakse pressplaate. Uute pressplaatidega oleks puitlaastplaatide kvaliteet parem ja seega ei oleks enam vajadust teha paksemat puitlaastplaati ning hiljem oluliselt plaati õhemaks lihvida. Sellisel juhul ei oleks ka liigsest niiskusest tekkivad praod lubatavad, sest hilisem vähene lihvimine ei tarvitse pragusid likvideerida. Tulenevalt eeltoodust tuleb kuumapressi renoveerimisel niisutussüsteemi täiendada ja paigalda laastu niiskusemõõtjad.



Sele 4.2. Electronic Wood Systemsi puidulaastu niiskusemõõtja MT-Scan [7]



Teiseks täiendusvõimaluseks oleks paigaldada ühe vooluhulgamõõtja asemel kolm, iga pihusti ette üks. Katsetamise käigus tekkis olukord, kus pihusti düüs ummistus ja masin töötas pikalt ummistunud düüsiga. Ummistunud düüs segas niisutamise tööd sedavõrd, et ligikaudu veerand laastumatist jäi niisutamata. Mõõtes pidevalt igat pihustit läbivat vooluhulka saaks operaator koheselt teada, kui tekib probleem mõne düüsiga. Samuti on võimalik kolme vooluhulgamõõturi abil hinnata düüside erinevat kulumisastet ning seeläbi tagada kvaliteetne ja ühtlane niisutus.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö tulenes AS-i Repo Vabrikud juhtkonna soovist tõsta puitlaastplaatide tootmise kvaliteeti ja mahtu. Üheks võimaluseks nende eesmärkide saavutamiseks on täiendada olemasolevat formeerimisliini lisades sellele niisutusmasinad. Niisutusmasinad peavad niisutama puitlaastplaadi väliskihte enne plaadi formeerimist (kuumpressimist). Kuumpressimisel tekib lisaniiskusest aurošoki efekt, mille tagajärjel toimub kiiremini soojusülekanne plaadi sees, vaigu kõvenemistemperatuur saavutatakse kiiremini ning vaigu vajatakse vähem. Seetõttu tagab niisutussüsteem väiksema kuumpressimisaja, tõuseb liini tootlikkus ning väheneb vajatava vaigu kogus.

AS Repo Vabrikud ostis Puhoses paiknenud puitlaastplaatide tehaselt niisutussüsteemi. Antud magistritöö ülesandeks on ostetud niisutamissüsteemi rekonstrueerimine AS Repo Vabrikud jaoks. Ettevõtte poolne soov oli, et täiendatud süsteem niisutaks puitlaastplaadi väliskihte sõltuvalt formeerimisliini kiirusest ning toodetava plaadi paksusest.

Lõputöö jaotati neljaks suureks osaks. Esimeses osas anti ülevaade olemasolevast formeerimisliinist ning ostetud niisutussüsteemist. Formeerimisliini puhul anti ülevaade kõigist osadest, mis tehases selle liini koosseisu kuuluvad. Sellest ülevaatest järeldusid võimalikud kohad, kuhu oli võimalik niisutusmasinad paigutada. Rekonstrueeritav niisutussüsteem koosneb kahest ühesugusest niisutusmasinast. Üks masin on mõeldud plaadi ühe väliskihi niisutamiseks. Niisutussüsteemil puudus ostes niisutusprotsessi juhtiv kontrolleri. Seetõttu tuli töö käigus projekteerida uus juhtsüsteem. Niisutamiseks kasutatakse vett, millele lisatakse irutusainet. Irrutusainet on vajalik lisada, et niisutatud plaat ei kleepuks kummilindi külge. Hüdraulikasüsteemi keskseks komponendiks on kolmepealine kolbpump. Pumba tööd juhitakse sagedusmuunduri abil. Ühel niisutusmasinal on viis pihustit, mida juhitakse solenoidklappidega. Hüdraulikasüsteemi kuulub ka vooluhulgamõõtur. Puhose tehases hoiti pihustatav vooluhulk konstantsena. Niisutusmasina raam koosneb kahest tugipostist ning neid ühendavast horisontaalsest talast. Mõlema tugiposti küljes on pihustite kinnitustala, mille kõrgus liinist on reguleeritav.

Lõputöö teiseks osaks oli niisutussüsteemi sobivasse asukohta paigaldamiseks vajalike konstruktsiooniliste osade projekteerimine. Töös võrreldi mõlema niisutusmasina sobilikke asukohti. Laastumati ülemise kihi niisutamiseks on parim koht pärast formeerimismasinaid ning enne eelpressi. Sellesse asukohta paigaldamiseks tuli projekteerida raamile tugijalad.

Projekteerimisel lähtuti, et jalad tõstaksid raami piisavale kõrgusele ning tagaksid konstruktsiooni jäikuse. Laastumati alumise kihi niisutamiseks osutus parimaks kohaks formeerimisliini algus. Formeerimisliini alguses saab niisutada laastumatti transportivat kummilinti. Seejärel laotavad formeerimismasinad vaiguga segatud laastud niiskele lindile ning niiskus imbub alumisse kihti. Liini otsa paigaldamiseks tuli projekteerida uued tugijalad ja pihusti kinnituskronsteinid.

Kolmandas töö peatükis projekteeriti niisutussüsteemile juhtsüsteem. Ettevõtte seadis tingimuseks, et niisutama peab vastavalt liini kiirusele ning toodetava plaadi paksusele. Selleks projekteeriti suletud kontuuriga süsteem, kus tagasiside saadakse vooluhulgamõõturist. Liini kiiruse kohta informatsiooni saamiseks võrreldi nii puutevabasid kui ka kontaktiga mõõtmisviise. Parimaks valikuks osutus enda poolt loodud mõõterattal ning enkoodril baseeruv seade. Enkoodri edastatud impulsside ning mõõteratta läbimõõdu järgi leitakse liini liikumise kiirus. Seadme jaoks projekteeriti liinile kinnituv rakis. Enkooderiks valiti Kübler Miniature Optic 2400. Seadme jaoks oli vajalik veel mõõteratas ning pöörlemise ülekandmiseks rattalt enkoodrile vahemuuhv. Toodetava plaadi paksuse teadasaamiseks võrreldi samuti kontakti vajavaid ja kontaktivabu mõõtmisviise. Valituks osutus lasermõõtja Sick DT20-N244B. Anduri kinnitamiseks liinile projekteeris töö autor konstruktsiooni. Niisutussüsteemi kontrolleri valikuks loetleti ära niisutussüsteemi sisendid ning väljundid. Nende arvule tuginedes võrreldi erinevate võimalike variantide maksumust. Teise olulise kriteeriumina vaadeldi muid tehases paiknevaid kontrollereid, et oleks võimalikult lihtne luua tulevikus ühtset SCADA süsteemi. Tehases oli kõige rohkem Siemens S7 kontrollereid. Tuginedes teistele kontrolleritele ja Siemens S7-300 poolt pakutavatele võimalustele valiti niisutussüsteemi juhtimiseks S7-300, CPU 315-2 PN/DP kontrolleri. See kontrolleri omab nii Profineti kui ka Profibus-i liidest. Juhtsüsteemi rekonstrueerimise maksumuseks on ligikaudu 5100 eurot.

Niisutussüsteemi juhtimiseks koostas töö autor kontrolleri programmi. Niisutusmasin saab töötada kahes erinevas režiimis- automaatne ja lokaalne. Automaatsel režiimil juhitakse pihustamist vastavalt liini kiirusele ja plaadi paksusele. Samuti on seatud programmis liini kiirusele piirväärtus, millest alla poole langedes lülitatakse pump välja. See tagab, et seisvat liini ei uputataks üle. Lokaalsel režiimil ei juhita pumpa automaatselt. Lokaalne režiim on mõeldud hooldustöödeks ning seadmete korrasoleku testimiseks. Selles režiimis juhib seadme tööd kilbil paiknevate nuppudega ning sagedusmuunduriga seadme juures paiknev operaator. Töö autor koostas programmi kasutades Siemensi tarkvarapaketti TIA Portal. Sama

tarkvarapaketti kuuluva programmi PLCSIM abil simuleeriti kontrolleri tööd ning saadi töötav juhtprogramm. Samuti programmeeris töö autor operaatorpaneeli kasutajaliidese ning simuleeris selle koostööd kontrolleriiga.

Töö neljandas osas viidi läbi katsetused ühe niisutusmasina tehnilise seisukorra ning sobilikkuse hindamiseks. Katsetuste läbiviimiseks juhiti masinat kasutades ajutiselt tehase laboris paikneva seadme Unitronicsi kontrolleriit. Mugavamaks katsetamiseks tekkis vajadus seadet sisse ja välja lülitada paiknedes seadme juhtkilbist eemal olles. Selleks koostas töö autor TeslaModbusScada rakendusega mobiiltelefonile kasutajaliidese. Katsetamise käigus selgus, et kasutusel olnud pihustid omavad liiga suure läbimõõduga düüse ning viis pihustit on liiga palju. Vähendades pihustite arvu kolmele ning düüsi suuruse 0,8 mm pealt 0,4 mm peale muutus surve hüdraulikasüsteemis suuremaks. Suurem surve tagas väiksemad piisad ja ühtlasema niisutuse. Samuti selgus, et osad solenoidklapid vajavad väljavahetamist. Optimaalseks irrutusaine koguseks osutus 1%. Ühel katsetamise korral tekkisid plaadile pärast kuumpressimist väikesed praod. Hilisematest laborianalüüsides selgus, et puidulaastud olid liiga suure niiskusega ning kuumpress ei jõudnud sujuvalt liigset niiskust välja aurutada. Tekkinud liiga suur aurulöök rikkus plaadi väliskihi. Hetkel ei põhjusta väikesed praod plaaditootmisel probleeme, sest plaate toodetakse olulise paksuse varuga. Tekkinud praod eemaldati lihvimisoperatsiooni käigus. Esinenud probleemist kasvas välja ka niisutussüsteemi täiendusvõimaluse idee. Probleemi ennetamiseks on vaja paigaldada spetsiaalsed puidulaastu niiskusemõõtjad tootmisliinile enne formeerimismasinaid. Nende mõõtjate abil saaks pihustatava vedeliku vooluhulga seadeväärtuse arvutamisel arvestada ka laastude eelneva niiskusega. Teine täiendusvõimalus on lisada iga düüsi ette vooluhulgamõõtur, et tuvastada, kui mõni düüs korralikult ei tööta.

Töö autor täitis töö alguses püstitatud ülesande- niisutussüsteemi rekonstrueerimine AS Repo Vabrikud jaoks. Rekonstrueeritud niisutussüsteem sobib tehase formeerimisliiniga ja on võimeline niisutama toodetavat puitlaastplaati vastavalt liini kiirusele ning toodetava plaadi paksusele. Lisaks tuvastas töö autor kaks niisutussüsteemi täiendusvõimalust.

## SUMMARY

AS Repo Vabrikud is a particleboard manufacturing company. The company has a factory in Püssi. The competition in this industry is fierce. In order to stay in competition the companies have to constantly seek for possibilities how to increase products quality and production quantity. One possibility to achieve those goals is to use moisturizing system in the manufacturing process. The idea is to moisturize particleboard outer layers before the particleboard is compressed with a hot press machine. When compressing the particleboard with extra moisture content a process called steam shock takes place. The steam shock treatment is used to increase the speed of heat transfer. Due to quicker heat transfer the resin hardening temperature is gained quicker. Therefore, the resin content in the particleboard can be reduced. The steam shock treatment also gives better mechanical-physical properties of the particleboard. Thus, the quality of the particleboard improves.

In general there are two types of particleboard forming lines: forming lines with the moisturizing system and forming lines without the moisturizing system. AS Repo Vabrikud had forming line without the moisturizing system. The management decided to enhance the forming line and add the moisturizing system. AS Repo Vabrikud bought a used moisturizing system from particleboard manufacturing company located in Puhos, Finland. The moisturizing system was designed specifically for that factory taking into account the size and positions of different machines, which are part of the forming line. Therefore, the moisturizing system cannot be added to the AS Repo Vabrikud forming line without any modifications.

The aim of the master thesis is to reconstruct the moisturizing system for AS Repo Vabrikud so that it would be suitable for the company's forming line. The management's special condition was that the amount of solution sprayed on the particleboard layers would depend on the forming line's conveyor speed and the thickness of the produced particleboards. In order to reconstruct the moisturizing system the author has to fulfill the following assignments: determine the best locations for the moisturizing machines; design constructional parts, which would allow placing the moisturizing machines in the predetermined locations and moisturize in the most optimal way; enhance the moisturizing system so that the sprayed solution amount depends on the forming line's conveyor speed and the thickness of the produced particleboards; design the control system for the moisturizing system.

The thesis is divided into four chapters. The first chapter gave an overview of the forming line and the purchased moisturizing system. All the parts of the forming line were introduced. Based on the forming line overview the author identified the potential locations where the moisturizing machines could be installed. Later in the second chapter the locations were analyzed in detail. The purchased moisturizing system consists of two separate moisturizing machines. One machine is meant for moisturizing one side of the particleboard. The purchased moisturizing system did not have a controlling device. Therefore the author had to design new control system. For spraying a solution is used, which is made of water and release agent. The release agent is needed to prevent the moistened woodchip matt from sticking to the conveyor belt. The central part of the hydraulic system is a piston type metering pump with three pistons. The pump is controlled with a variable-frequency drive. One moisturizing machine has five spraying nozzles. The flow rate of the sprayed solution is measured with paddle wheel flowmeter. In the Puhos factory the flow rate was held constant. The main frame of the moisturizing machine consists of two vertical support posts and a horizontal beam connecting those two posts. Both of the posts have smaller beams for the nozzles. The height of these smaller beams can be adjusted.

In the second chapter of the thesis new constructional parts are designed. At first, different potential locations identified for placing the moisturizing machines were compared to choose the best location for spraying. Secondly, new parts were designed considering the characteristics of the chosen locations. The best location for spraying the upper layer is between the last forming machine and the cold press machine. To install the moisturizing machine to this location, frame support legs were designed and manufactured. Two aspects were taken into account. First aspect was that the legs would lift the frame up to the needed height. Second aspect was that the designed legs had to guarantee the stiffness and stability of the whole frame. The best location for moisturizing the lower layer of the woodchip matt is in the beginning of the forming line. In this location solution would be sprayed on the forming line conveyor belt. This way the forming machines would lay woodchip matt onto the belt after spraying. The solution would dampen the lower layer of the matt. To place the moisturizing machine in the beginning of the forming line new support legs and nozzle fixing brackets were designed.

In the third chapter a control system was designed. The control system had to alter the spraying flow rate depending of the conveyer speed and particleboard thickness. A closed loop control system was designed to achieve it. In order to choose the best option for

measuring the conveyor speed, the author compared solutions which need direct contact and which do not need direct contact. Based on the comparison, the best solution was to create a new measuring device, which uses measuring wheel and incremental encoder. The conveyor speed can be calculated by knowing the frequency of the encoder output impulses and the radius of the measuring wheel. A steel bracket was designed to fix the device on the forming line. Kübler Miniature Optic 2400 was the encoder chosen for the device. To transmit measuring wheel rotation onto the encoder a shaft bellows coupling was used. In order to get information of the particleboard thickness various measuring solutions, some of which need and others do not need direct contact, were considered. The board thickness is derived from measuring the woodchip matt on the forming line conveyor belt with laser distance sensor Sick DT20-N244B. To set up the sensor on the conveyor, a sensor hanger was designed. To design the control system, all the inputs and output were identified. Based on these necessary components were identified for different control system solutions. This allowed calculating the investment costs for the different control system solutions. In choosing the best solution also all the controllers of the factory were taken into consideration. The reason is that in the future it should be possible to easily create SCADA system for the whole factory. Siemens S7-300 is the most popular controller in the factory. Based on the other controllers and the opportunities, which a modern S7-300 controller offers, S7 was the controller chosen for the control system. The exact model chosen was 315-2 PN/DP. This model has Profinet and Profibus interfaces.

For controlling the moisturizing system, the author wrote a program. The control of the spraying can be in two different modes- in automatic or in local control. In automatic mode, the needed flow rate is calculated based on the conveyor speed and board thickness. The spraying starts when the conveyor has achieved minimal threshold speed. Threshold speed ensures that spraying is turned off when conveyor is accelerating and when conveyor stops in the case of some accident. Local control mode is meant for maintenance works and testing of the equipment. In this mode operator controls the machine with buttons attached to the control enclosure. The controller program was made using Siemens TIA Portal software suite. The created program was simulated using PLCSIM, which is part of TIA Portal. A user interface was also created and simulated to test its correct co-operation with the controller program.

In the fourth chapter of the thesis tests were carried out to assess the technical state of moisturizing machine. For carrying out the tests a temporary control system was built based on a Unitronics controller borrowed from another device. In order to make testing and future

maintenance work more convenient a smartphone user interface was created. User interface was built using TeslaModbusScada application. Several tests were performed with different raw materials. The tests showed that five nozzles are too much and that nozzles had too big orifices. Reducing the number of nozzles down to three and using nozzles with 0,4 mm orifices instead of 0,8 mm lead to increase in pressure of the hydraulic system of 2 bars. Higher pressure provided smaller liquid drops and more uniform spraying. During the test optimal release agent content in the solution was determined. The solution has to contain 1% of release agent.

During one test notable cracks appeared on the particleboard outer layers. Laboratory reports of the raw material from that day showed that material had quite high moisture content. When moisturizing machine added extra moisture to the woodchips a too powerful vaporization process took place. That process caused cracks on the particleboard outer layers. At the moment these cracks do not cause quality concerns, because they were removed in the particleboard grinding phase. Each board is formatted 11-15 mm thicker than the nominal thickness. This extra thickness is needed, because of the hot press machine quality problems. This occurred problem gave to the thesis author one possibility how to enhance the moisturizing system. A special woodchips moisture analyzer should be used to gather information about the woodchips moisture content before adding additional moisture with the moisturizing system and mixing with the resin. This information could be used in the controller program, when the necessary flowrate is calculated. In addition, the moisturizing system should be enhanced by adding flow sensor before each nozzle. This helps to identify if the nozzles are working properly and have no blockages.

To conclude, the author achieved the purpose of the thesis, which was reconstructing the moisturizing system for AS Repo Vabrikud. The system fits to the existing forming line and is capable of spraying the particleboard in production according to the forming line conveyor speed and board thickness. In addition, two enhancement possibilities were identified.



## KASUTATUD KIRJANDUS

1. A Case Study: MR vs. Hall Effect for Position Sensing [WWW]  
[http://www.sensormag.com/sensors/electric-magnetic/a-case-study-mr-vs-hall-effect-position-sensing-704?page\\_id=1](http://www.sensormag.com/sensors/electric-magnetic/a-case-study-mr-vs-hall-effect-position-sensing-704?page_id=1) (15.03.2015)
2. ABB ACS140 kasutusjuhend [WWW]  
[http://www09.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/f3643664c8657dd5c2256f1700347fe6/\\$file/EN\\_ACS140\\_UM\\_C.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/f3643664c8657dd5c2256f1700347fe6/$file/EN_ACS140_UM_C.pdf) (25.04.2015)
3. atr VM5 andmeleht [WWW]  
[http://www.atr.de/userfiles/files/datasheets/Optokoppler\\_vm5.pdf](http://www.atr.de/userfiles/files/datasheets/Optokoppler_vm5.pdf) (02.02.2015)
4. Bamo SS1 nivooanduri andmeleht [WWW] [http://www.bamo.de/cbx/\\_ftp/su2130.pdf](http://www.bamo.de/cbx/_ftp/su2130.pdf)  
(10.01.2015)
5. Bolton, W. Programmable logic controllers : an introduction. 3rd ed. Oxford :  
Newnes, 2003.
6. Doseuro kataloog [WWW] [http://www.doseuro.com/download/3\\_en.pdf](http://www.doseuro.com/download/3_en.pdf) (10.01.2015)
7. Electronic Wood System koduleht [WWW] [http://www.electronic-wood-systems.com/\\_images/386.jpg](http://www.electronic-wood-systems.com/_images/386.jpg) (18.01.2015)
8. Greconi koduleht [WWW] <http://www.grecon.com/typo3temp/pics/5ab6c8caa4.jpg>  
(30.04.2015)
9. Haarla Panel Spray System presentatsioon [CD-ROM]
10. Hall Effect Sensing and Application [WWW]  
[http://sensing.honeywell.com/index.php?ci\\_id=47847](http://sensing.honeywell.com/index.php?ci_id=47847) ( 19.03.2015)
11. Hall Effect Sensors and Magnetoresistance [WWW]  
<http://academic.udayton.edu/markpatterson/ECT459/HallEffect.pdf> (10.03.2015)
12. Koboldi vooluhulgamõõduri DF seeria kataloog [WWW]  
[http://www.koboldmessring.com/fileadmin/koboldfiles/pdf/gb/s4gb\\_df.pdf](http://www.koboldmessring.com/fileadmin/koboldfiles/pdf/gb/s4gb_df.pdf)  
(10.01.2015)
13. Kübleri kodulehekülg [WWW] <http://kuebler.exportpages.com/picture/169da5c2-2ee8-4df9-900a-843116b29492.jpg> (01.04.2015)
14. Kübler Miniature Optic 2400 andmeleht [WWW] [https://www.kuebler.com/pdf?2400-2420\\_en.pdf](https://www.kuebler.com/pdf?2400-2420_en.pdf) (01.04.2015)
15. Lehtla, T. Andurid. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikool, 1996.
16. Microsoft Developer Nerwork kodulehekülg [WWW] <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms648774.aspx> (1.02.2015)

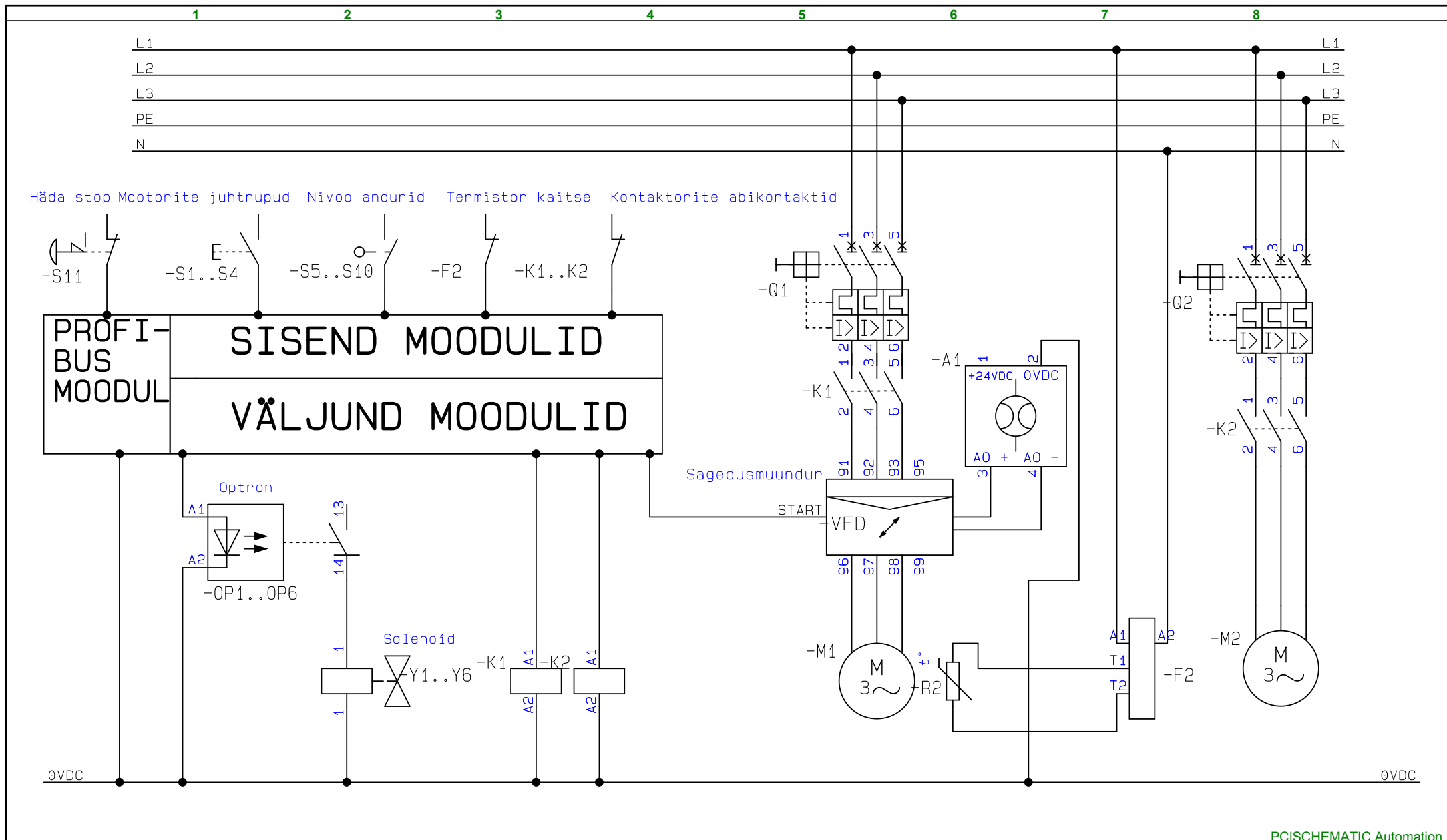
17. Müür, M., Pettai, E., Lepiksoo, U. Programmeeritavad kontrollid tööstusautomaatikas. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2011.
18. myOmroni kodulehekülj [WWW]  
<http://www.myomron.com/index.php?action=kb&article=1340> (8.12.2014)
19. Naadel, R. Automaatjuhtimise alused [WWW]  
<http://www.ene.ttu.ee/Elektriamid/oppeinfo/materjal/AAR0020/Raamat.pdf>  
(3.02.2015)
20. Nyce, D. Linear position sensors : theory and application. Hoboken : Wiley, 2004.
21. Pepperl-Fuchsi UB250-F12-I-V15 ultrahelianduri andmeleht [WWW]  
[http://files.pepperl-fuchs.com/selector\\_files/navi/productInfo/edb/193653\\_eng.pdf](http://files.pepperl-fuchs.com/selector_files/navi/productInfo/edb/193653_eng.pdf)  
(30.04.2015)
22. Profibusi ühingu koduleht [WWW]  
<http://www.profibus.com/technology/profibus/overview/> (3.03.2015)
23. Puitlaastplaadid. Spetsifikaadid: Eesti standard EVS-EN 312:2010
24. Rashidov, A., Jordanov, S. Tööstuslikud võrgud ja liidesed automatiseerimissüsteemis. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2011
25. Regtien, P. Sensors for mechatronics. Amsterdam : Elsevier, 2012.
26. Rotational Speed Sensors: Application note [WWW]  
[http://www.nxp.com/documents/application\\_note/AN98087.pdf](http://www.nxp.com/documents/application_note/AN98087.pdf) (9.12.2014)
27. Schlick 650-655 seeria kataloog [WWW] [http://www.duesenschlick.de/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Informationsmaterial/21\\_FlatJet.pdf](http://www.duesenschlick.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Informationsmaterial/21_FlatJet.pdf)  
(25.04.2015)
28. Sell, R., Leini, M., Salong, P. Mikrokontrollerid ja praktiline robotika. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2010.
29. Sicki kodulehekülj [WWW] [http://www.sick.com/us/en-us/home/solutions/applications/Pages/optical\\_gauging.aspx](http://www.sick.com/us/en-us/home/solutions/applications/Pages/optical_gauging.aspx) (19.01.2015)
30. Siemens S7-300 315-2 PN/DB tooteinfo lehekülj [WWW]  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7315-2EH14-0AB0> (03.04.2015)
31. Siemens 6EP1336-2BA10 toiteploki tooteinfo lehekülj [WWW]  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6EP1336-2BA10>  
(03.04.2015)
32. Siemens Simatic ET200U kasutusjuhend [WWW]  
<http://usedplcs.co.uk/manuals/siemens/S5/ET200UEN.PDF> (20.03.2015)

33. Siemensi kasutajatoe foorum [WWW]  
<https://support.industry.siemens.com/tf/ww/en/posts/s7-400-and-et200u/46450/?page=0&pageSize=10%20-%20post178848> ( 02.02.2015)
34. Šumigin, D. Puitlaastplaadid: konspekt [WWW]  
[http://www.kk.ttu.ee/puit/Puitlaastplaatide\\_konspekt\\_final.pdf](http://www.kk.ttu.ee/puit/Puitlaastplaatide_konspekt_final.pdf) (22.04.2015)
35. The Advantages of Capacitive vs Optical Encoders [WWW]  
<http://www.cui.com/catalog/resource/the-advantages-of-capacitive-vs-optical-encoders.pdf> (20.02.2015)
36. TR-1 enkoodri andmeleht [WWW] [http://www.encoder.com/literature/datasheet-tr1.pdf?\\_\\_hstc=107297245.005311f79e07e8790cab1c7dc2a510d.1429992771601.1429992771601.1429992771601.1&\\_\\_hssc=107297245.1.1429992771602&\\_\\_hsfp=1093034495](http://www.encoder.com/literature/datasheet-tr1.pdf?__hstc=107297245.005311f79e07e8790cab1c7dc2a510d.1429992771601.1429992771601.1429992771601.1&__hssc=107297245.1.1429992771602&__hsfp=1093034495) (03.03.2015)
37. Unitronicsi EX-RC1 mooduli andmeleht [WWW]  
[http://www.unitronics.com/Downloads/Support/IO%20and%20COM%20Modules/IO%20Expansions/EX-RC1\\_SPEC\\_05-08.pdf](http://www.unitronics.com/Downloads/Support/IO%20and%20COM%20Modules/IO%20Expansions/EX-RC1_SPEC_05-08.pdf) (03.03.2015)
38. Unitronicsi V130 kontrolleri seeria andmeleht [WWW]  
<http://www.unitronics.com/docs/pdf/full-series-comparison-table.pdf?sfvrsn=0>  
(03.03.2015)
39. Unitronicsi V130 toote infoleht [WWW] <http://www.unitronics.com/plc-hmi/plc-vision-enhanced/v130-> (13.01.2015)

## LISAD

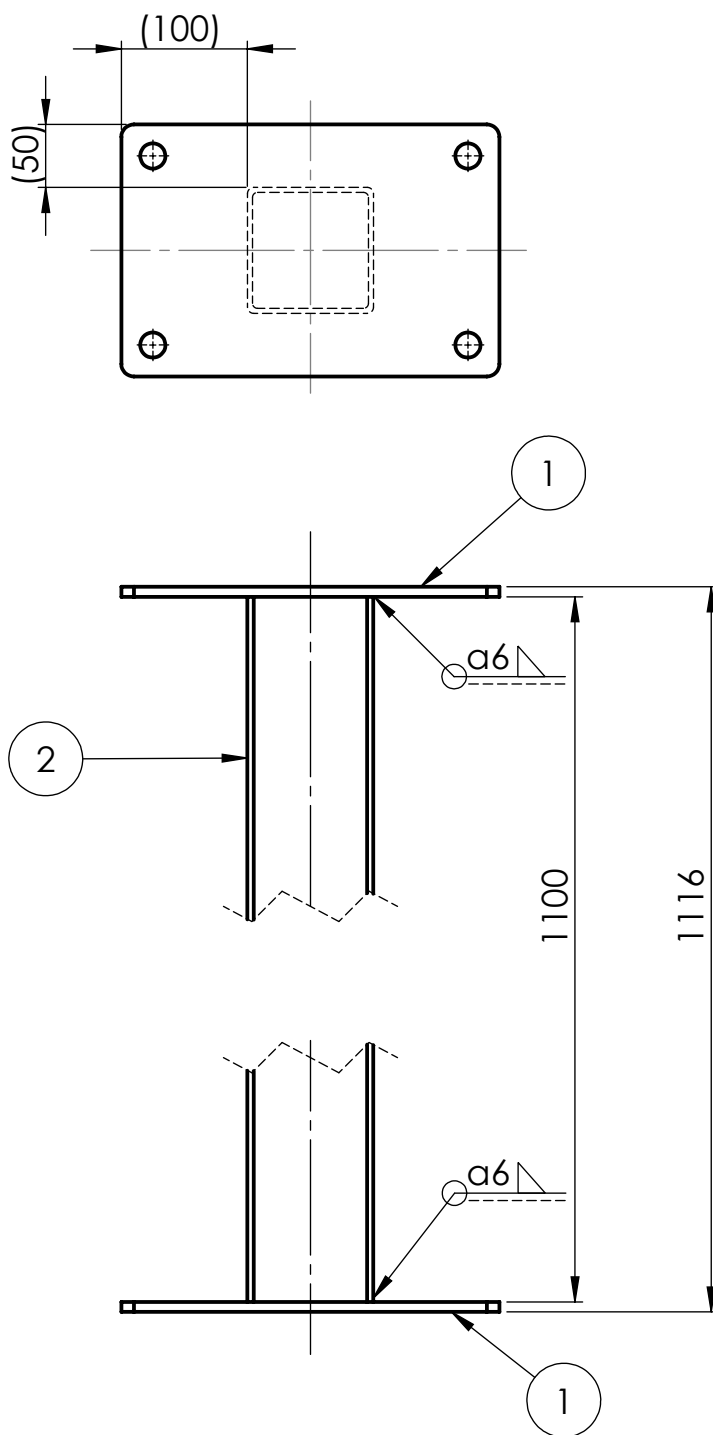
### Lisa 1. Niisutusmasina komponendid

Komponent	Mark/ mudel/ muu täpsustav info	Kogus
Paak	300 l	2
Solenoid klapp	Baureihe 40 - tüüp 40; 2/2 klapp	6
Veefilter	500 µm	2
Nivooandur	Bamo SS1	5
Sagedusmuundur	ABB ACS140	1
Doseerimispump	Dosatron DI16	1
Pump	Doseuro A175	1
Vooluhulgamõõtur	Kobold DF-K	1
Pihusti	Schlick 650- 0,8 mm düüs	5
Pumba elektrimootor	0,37 kW	1
Segaja elektrimootor	0,12 kW	1
Mootori kaitselüliti	Siemens 3rv1011-ga10	2
Kontaktor	Siemens 3rt1015-1bb42	2
Termistorkaitse	3rn1010-1cm00	1
Jõuoptron	atr VM5	2
Profibusi sidemoodul	ET200U 318-8mb12	1
Digitaal sisendite moodul	6es5-431-8ma11	2
Digitaal väljundite moodul	6es5-451-8ma11	2

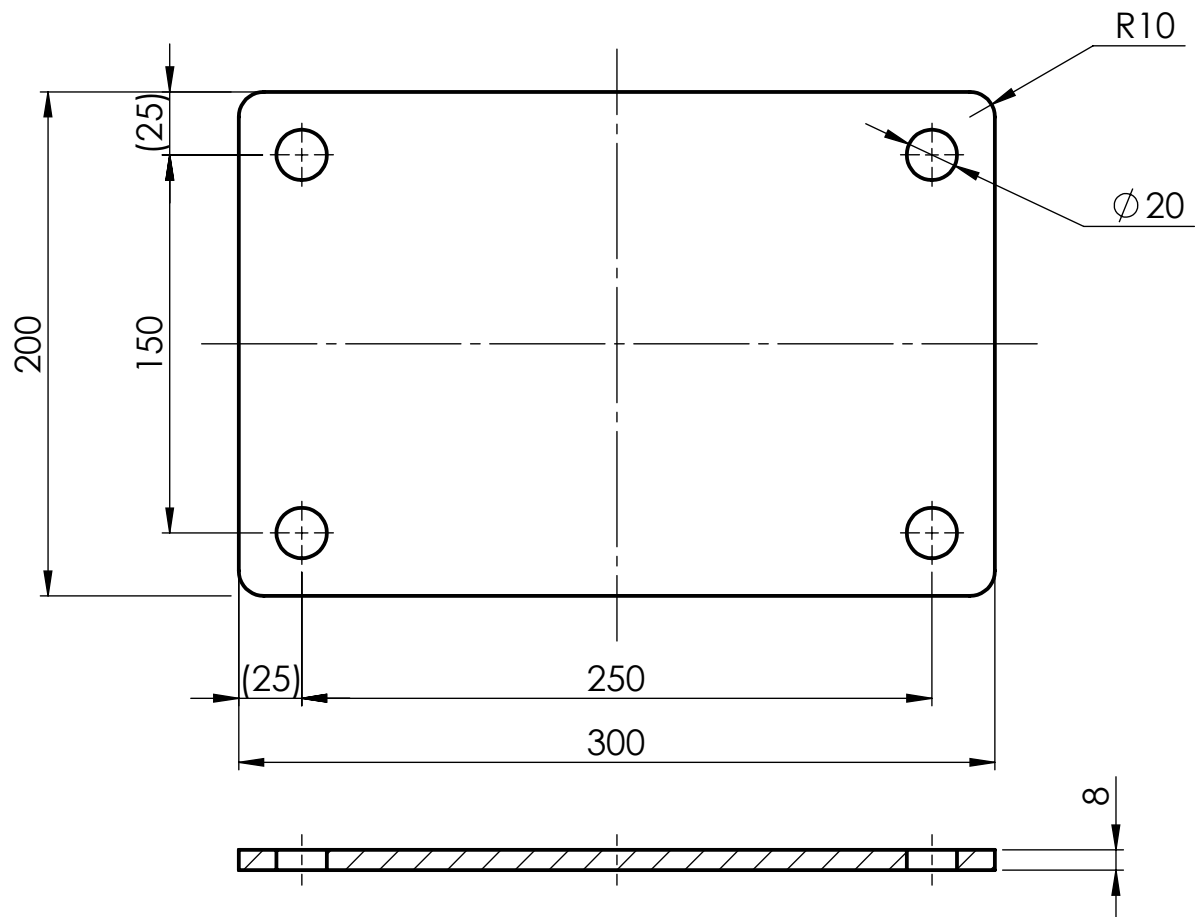


Project title: Lisa 2 Niisutusmasina algne elektriskeem	Project no.:	Project rev.:	Page	69
Customer: AS Repo Vabrikud	DCC:		Scale:	1:1
Page title:	Drawing no.:	Page rev.:	Previous page:	
Filename: Lisa2- Elektriskeem	Constructor (project/page/ver	Last printed: 21.05.2015	Next page:	
Page ref.:	Appr. (date/sign.)	Last correction: 21.05.2015	Number of pages:	1

DETAILI NR	DETAIL	LISAINFO/MÕÕTMED	KOGUS
1	Tugijala plaat	300x200x8	2
2	Profiilteras	ruutprofiil 100x100x4x485	1

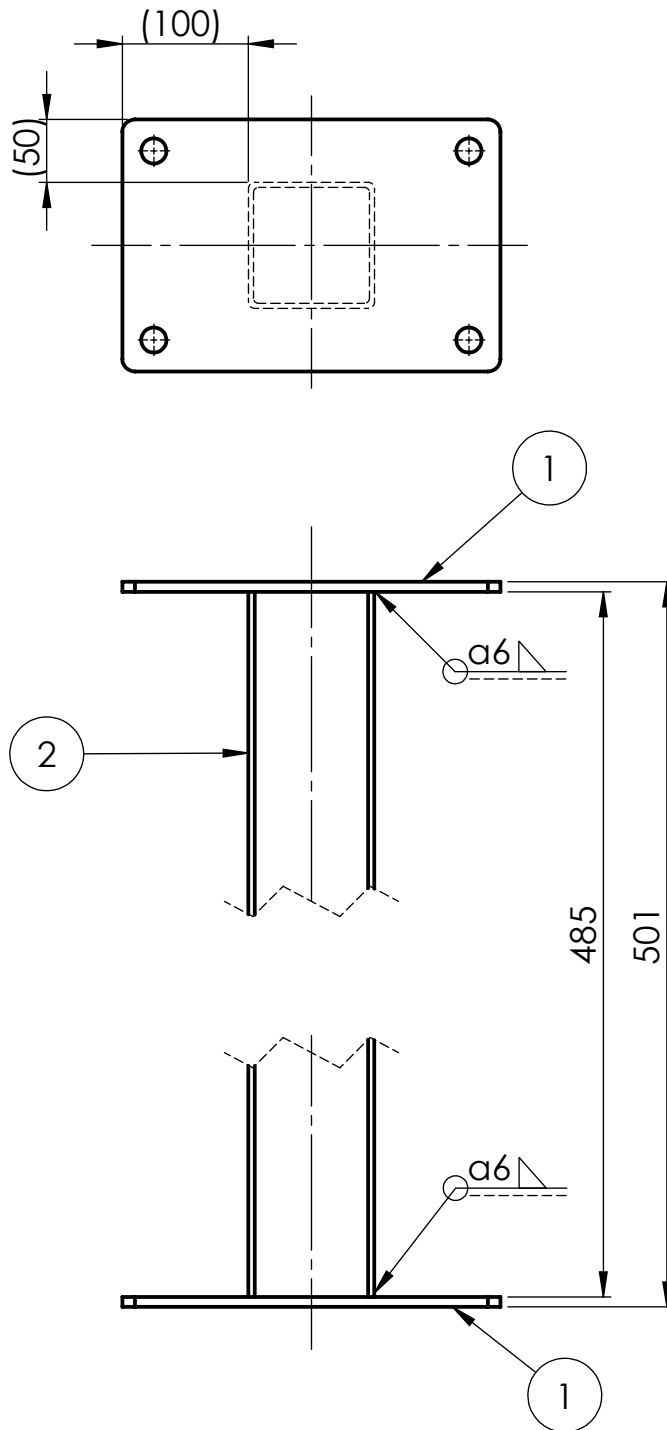


	Materjal: S235JR	Märkimata piirhälbed: H14, h14, ±IT14/2	Mass:	Mõõt: 1:6
Teostas	Indrek Aver	Nimetus: <b>Lisa 3-Tugijalg</b>	Faili nimetus:	
Kontrollis				
Kinnitas				
<b>TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL</b>		Leht: 1/2	Tähis:	Formaat: A4



	<i>Materjal:</i> S235JR		<i>Märkimata piirhälbed:</i> H14, h14, $\pm IT14/2$		<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:3
	<i>Teostas</i>	Indrek Aver	<i>Nimetus:</i>  <h1 style="text-align: center;">Tugijala plaat</h1>		<i>Faili nimetus:</i>	
<i>Kontrollis</i>						
<i>Kinnitas</i>						
<b>TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL</b>		<i>Leht:</i> 2/2	<i>Tähis:</i>		<i>Formaat:</i> A4	

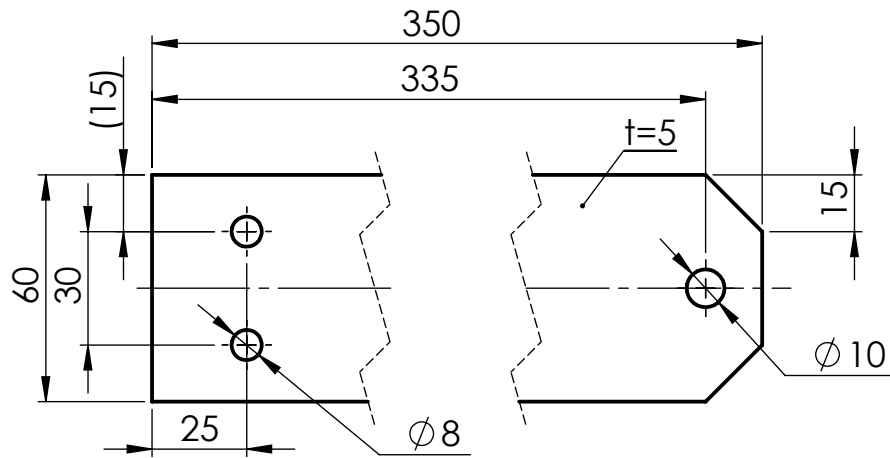
DETAILI NR	DETAIL	LISAINFO/MÕÕTMED	KOGUS
1	Tugijala plaat	300x200x8	2
2	Profiilteras	ruutprofiil 100x100x4x485	1



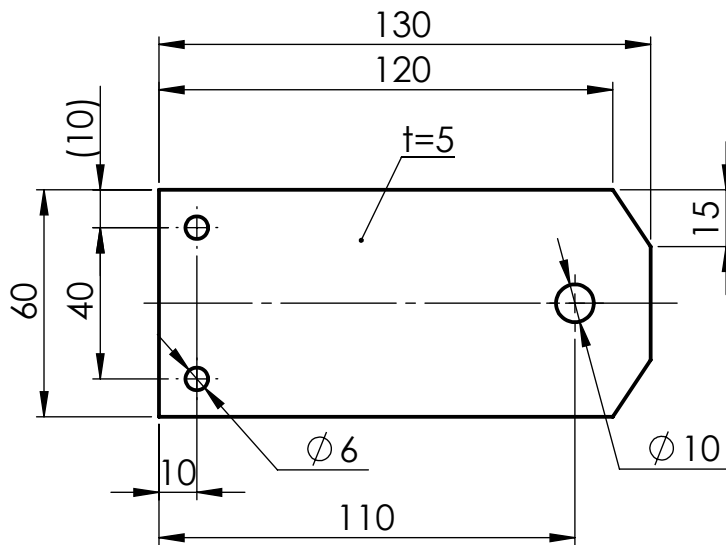
	Materjal: S235JR	Märkimata piirhälbed: H14, h14, ±IT14/2	Mass:	Mõõt: 1:6
Teostas	Indrek Aver	Nimetus:	Faili nimetus:	
Kontrollis		Lisa 4- Väike tugijalg		
Kinnitas				
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL		Leht: 1	Tähis:	Formaat: A4



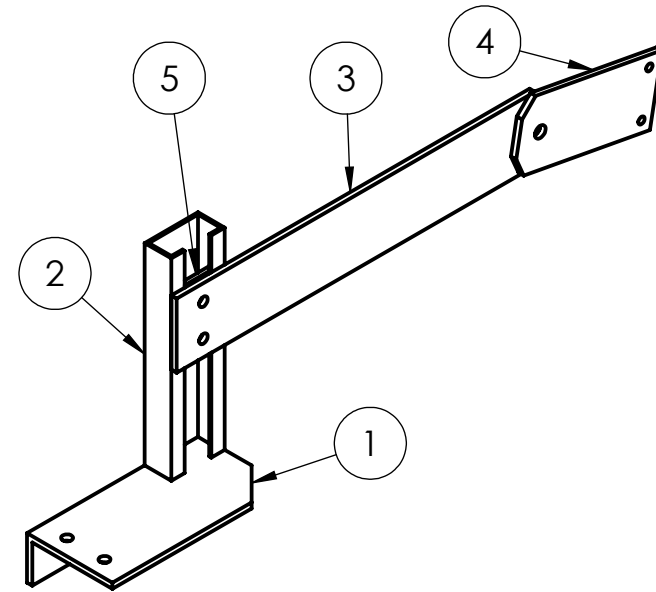
**Detail pos. 3**



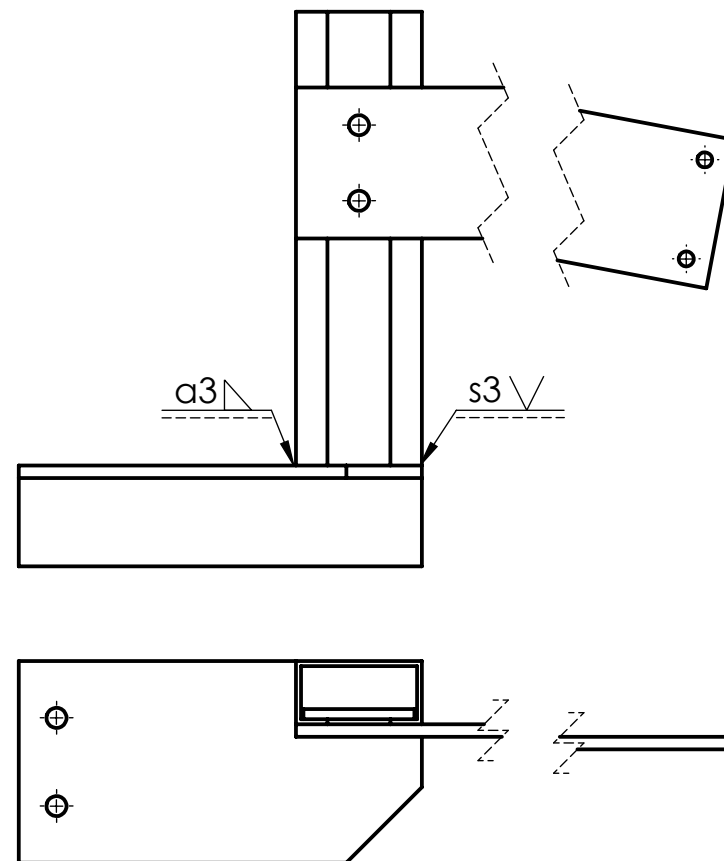
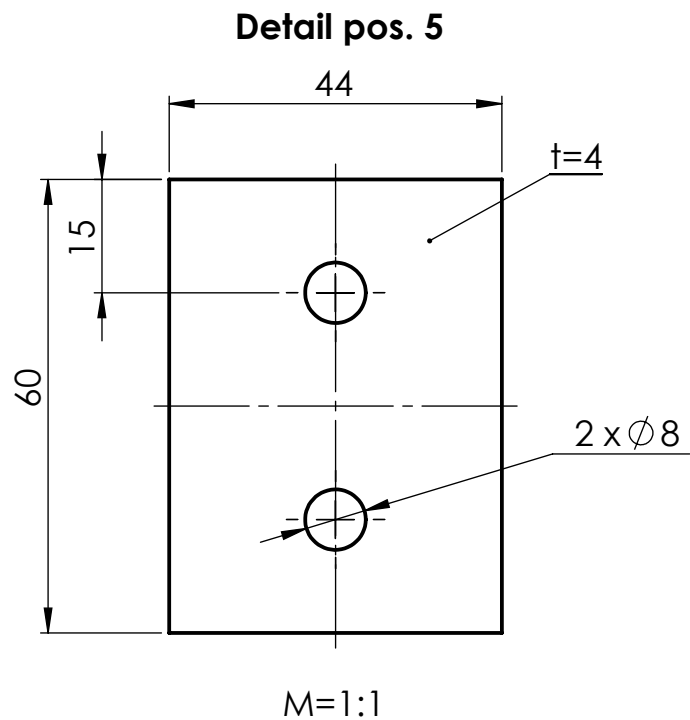
**Detail pos. 4**



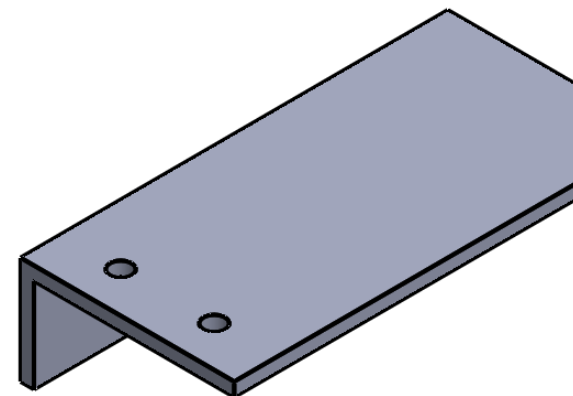
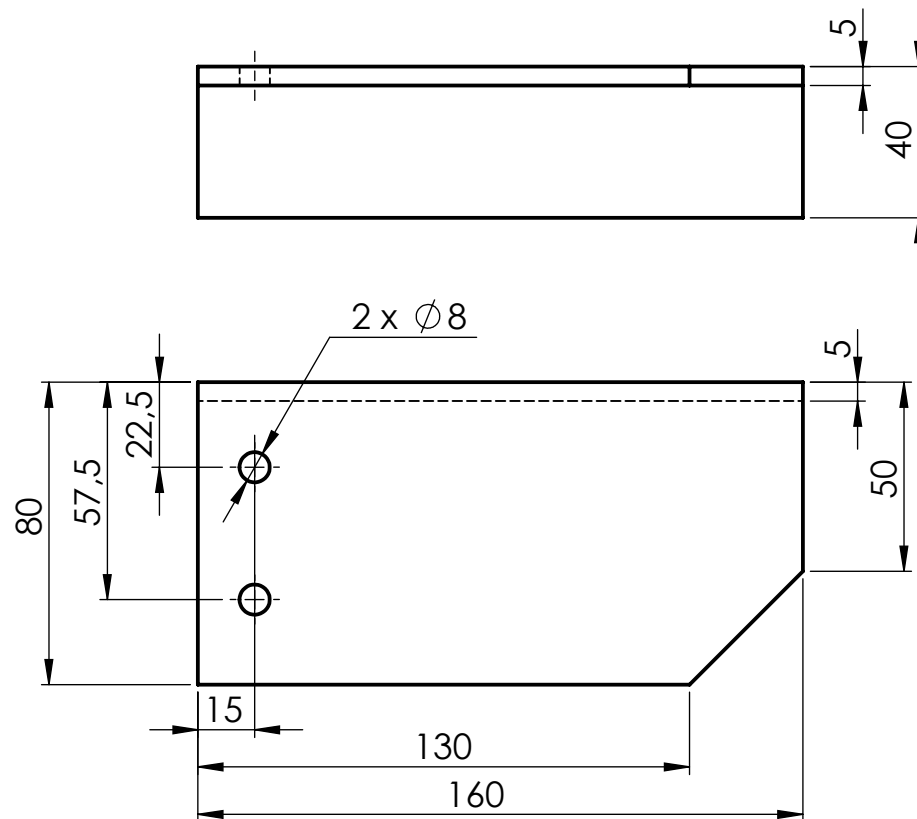
DETAILI NR	DETAIL	KOGUS
1	Kinniti 1	1
2	Kinniti profiil	1
3	Detail 3	1
4	Detail 4	1
5	Detail 5	1

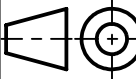


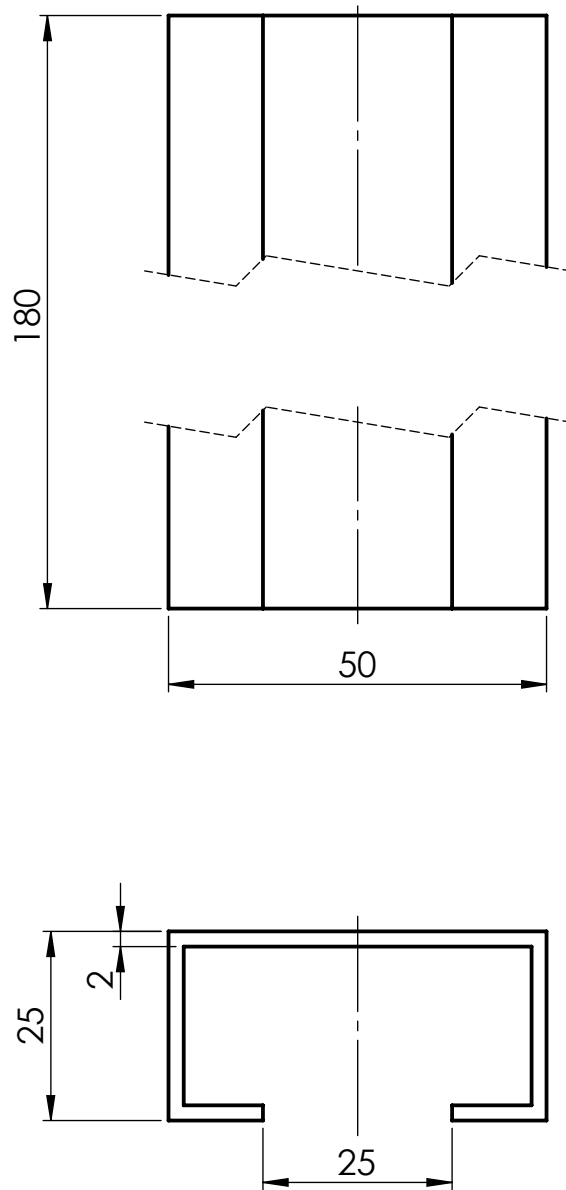
	<i>Materjal:</i> S235JR		<i>Märkimata piirhälbed:</i> H14, h14, ±IT14/2		<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:5
	<i>Teostas</i> Indrek Aver	<i>Nimetus:</i> Lisa 5- Pihusti kinniti		<i>Faili nimetus:</i>		
<i>Kontrollis</i>	<i>Kinnitas</i>		<i>Leht:</i> 1/4	<i>Tähis:</i>		<i>Formaat:</i> A4
<b>TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL</b>						



	<i>Materjal:</i> S235JR		<i>Märkimata pürhälbed:</i> H14, h14, $\pm IT14/2$		<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:3
	<i>Teostas</i> Indrek Aver	<i>Nimetus:</i> Lisa 5- Pihusti kinniti		<i>Faili nimetus:</i>		
<i>Kontrollis</i>						
<i>Kinnitas</i>						
<b>TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL</b>		<i>Leht:</i> 2/4	<i>Tähis:</i>			<i>Formaat:</i> A4

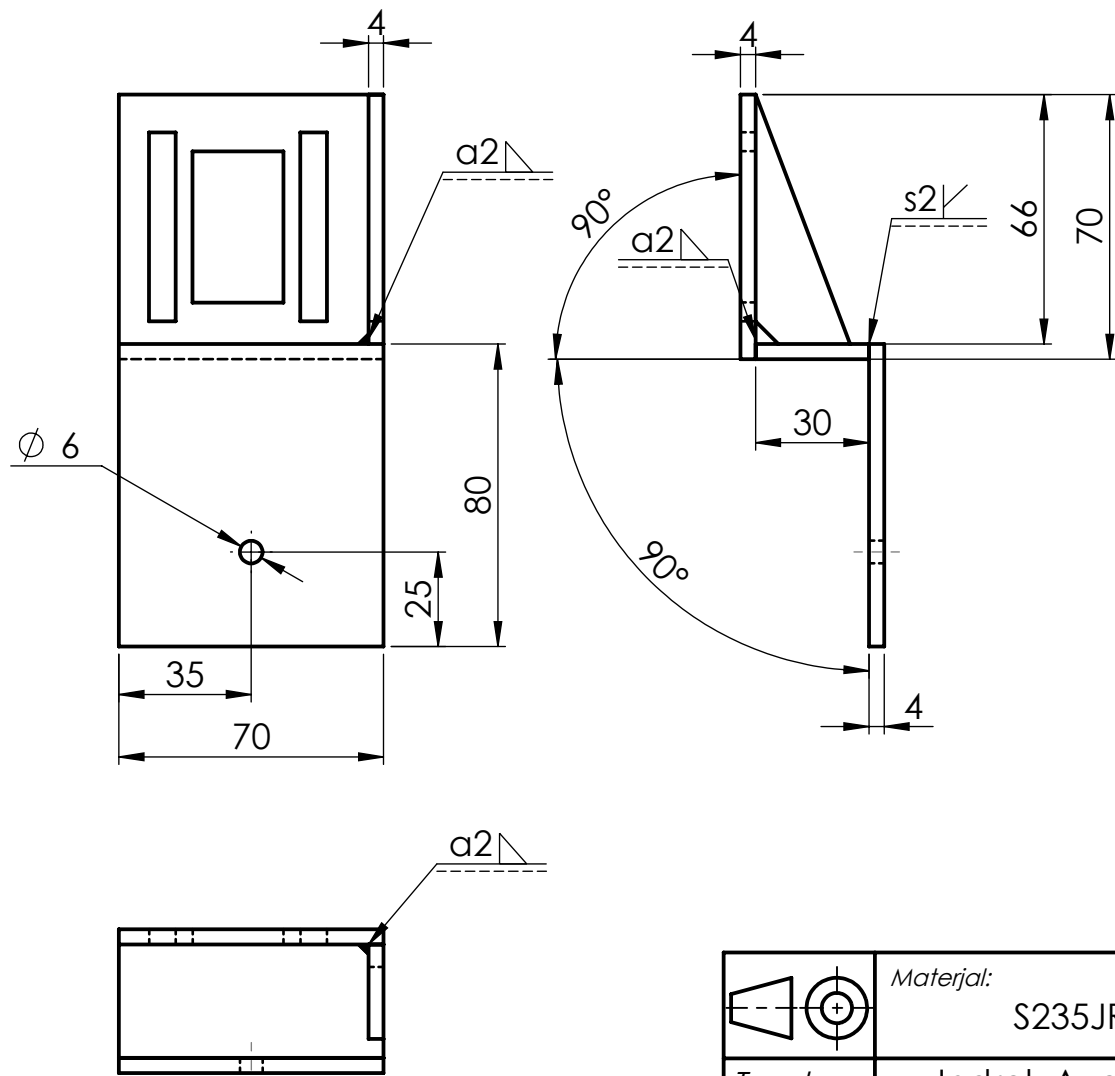


	<i>Materjal:</i> S235JR		<i>Märkimata piirhälbed:</i> H14, h14, $\pm IT14/2$	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:2
	<i>Teostas</i> Indrek Aver	<i>Nimetus:</i>  Kinniti 1	<i>Faili nimetus:</i>		
	<i>Kontrollis</i>  				
<i>Kinnitas</i>	<b>TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL</b>		<i>Leht:</i> 3/4	<i>Tähis:</i>	<i>Formaat:</i> A4

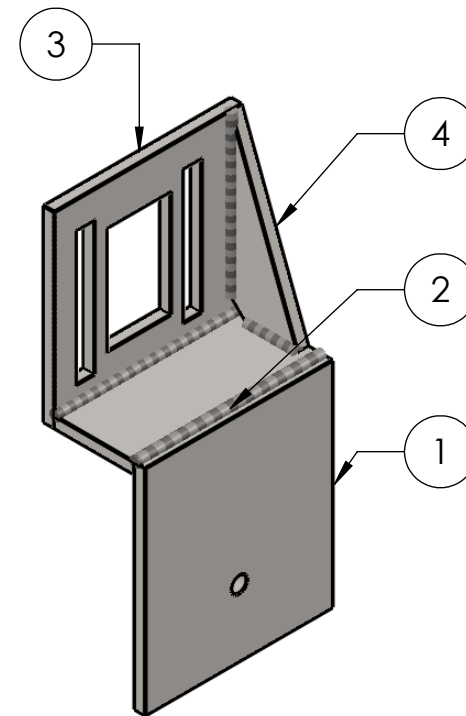


MÄRKUS: lehtmatali paksum 2 mm

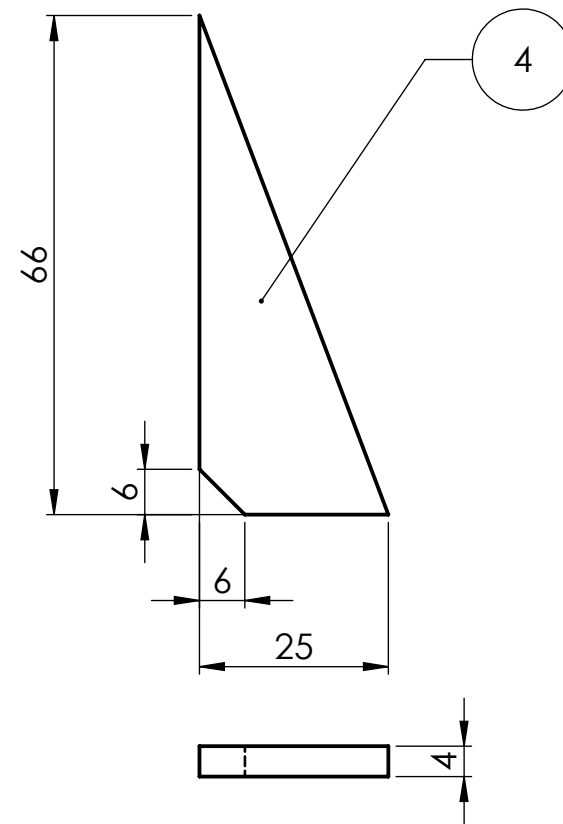
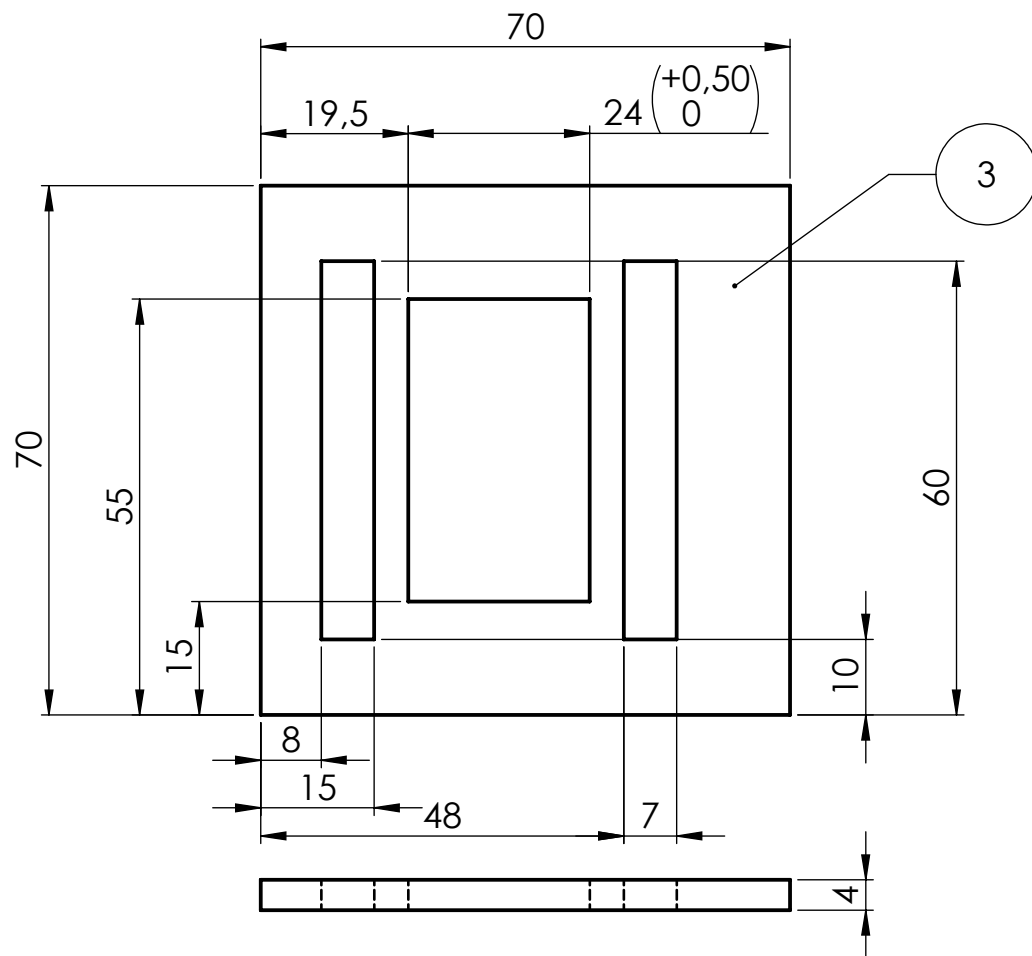
	<i>Materjal:</i> S235JR		<i>Märkimata piirhälbed:</i> H14, h14, $\pm IT14/2$	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:1
	<i>Teostas</i> Indrek Aver	<i>Nimetus:</i> Kinniti profiil		<i>Faali nimetus:</i>	
<i>Kontrollis</i>	<i>Kinnitas</i>		<i>Leht:</i> 4/4	<i>Tähis:</i>	<i>Formaat:</i> A4
<b>TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL</b>					



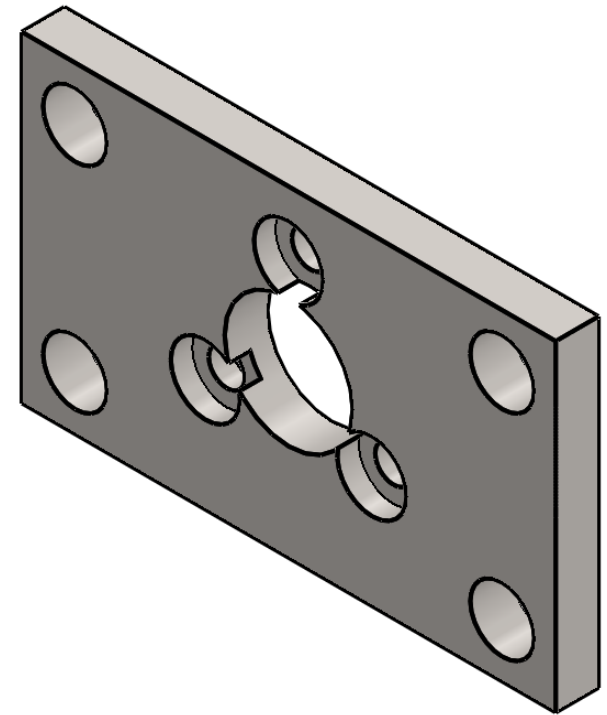
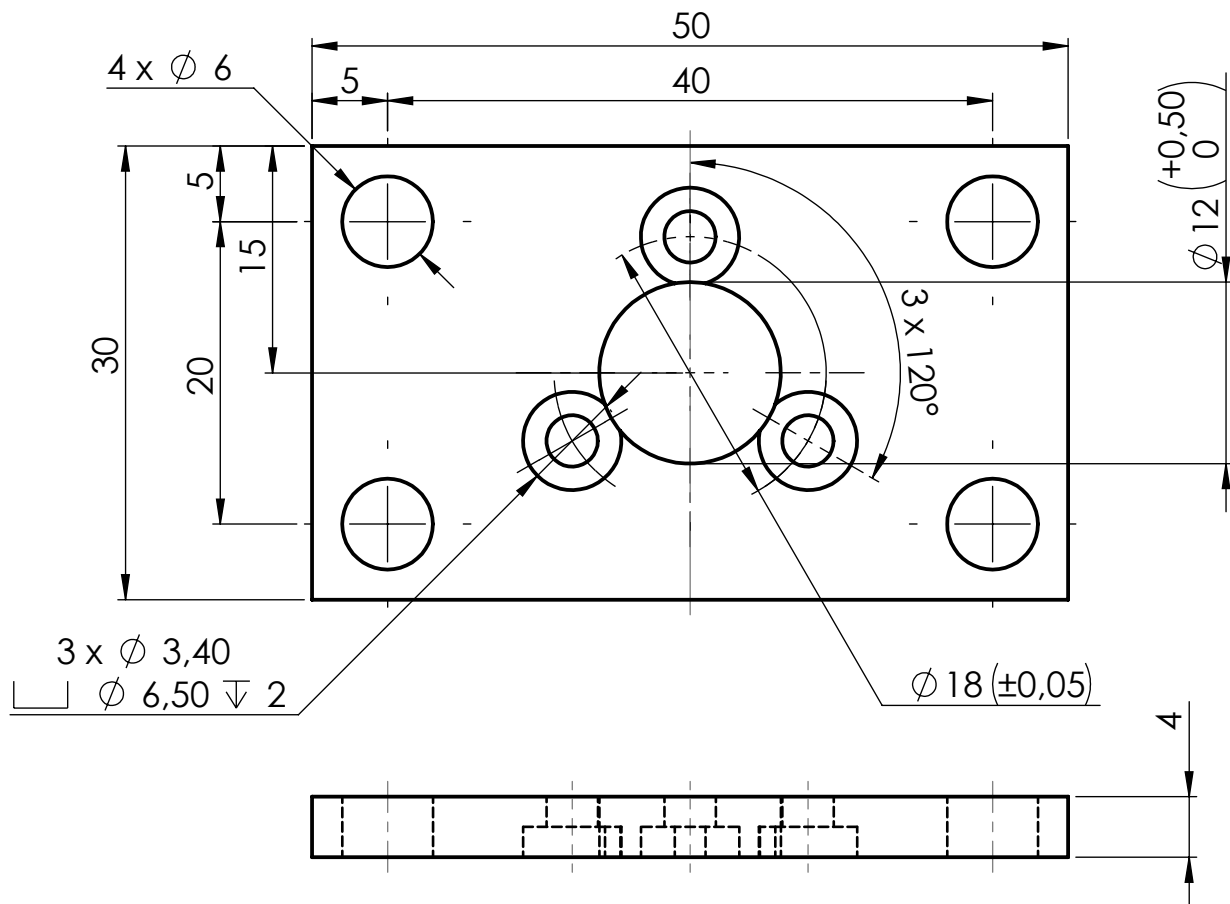
DETAILI NR	Detail	MÕÕT	Kogus
1	plaat 1	70x80x4	1
2	plaat 2	70x30x4	1
3	plaat 3	70x70x4	1
4	plaat 4		1

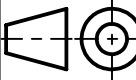


	Materjal:	S235JR	Märkimata piirhälbed:	H14, h14, ±IT14/2	Mass:	Mõõt:
	Teostas	Indrek Aver	Nimetus:	Lisa 6- Kronstein	Faili nimetus:	1:2
Kontrollis						
Kinnitas						
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL		Leht:	Tähis:	Formaat:	1/3 A4	

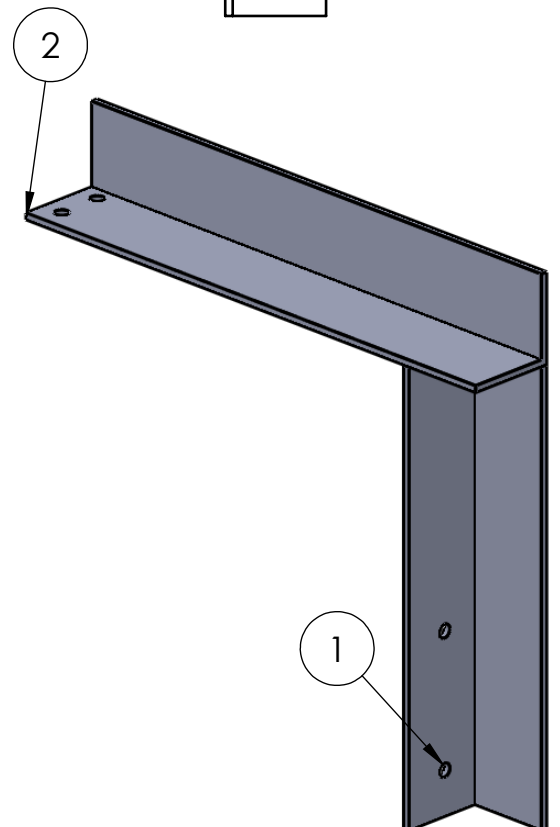
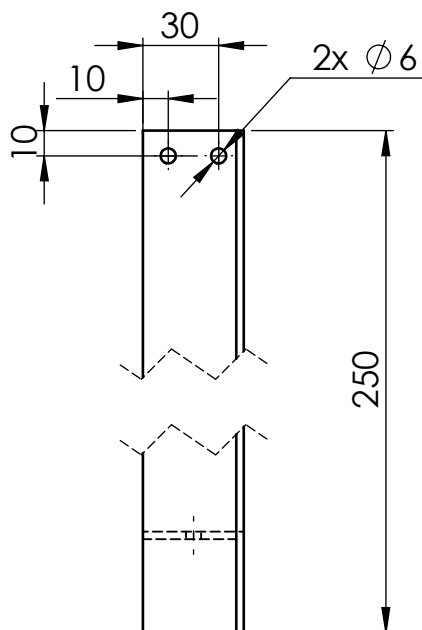
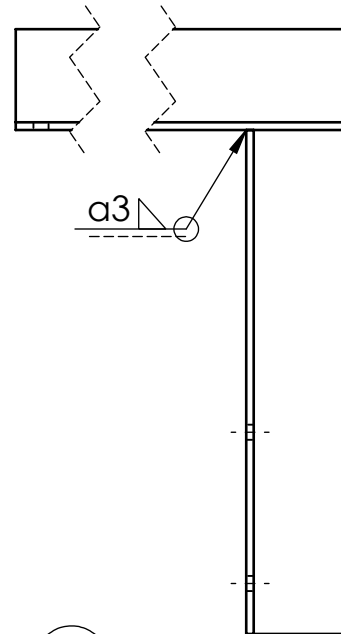
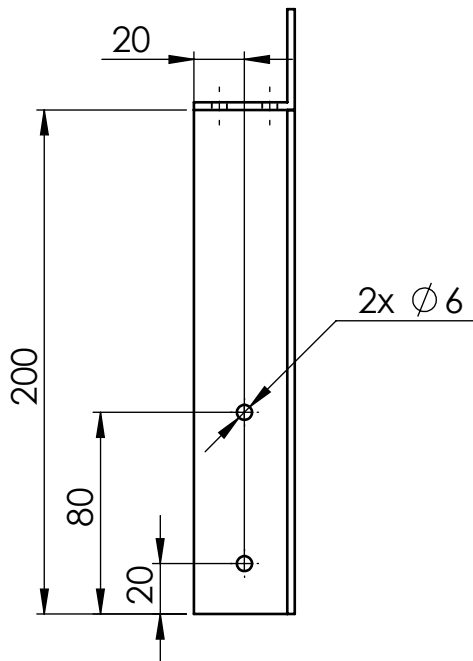


	<i>Materjal:</i> S235JR		<i>Märkimata pürhälbed:</i> H14, h14, $\pm IT14/2$		<i>Mass:</i>	<i>Mööd:</i> 1:2
	<i>Teostas</i> Indrek Aver	<i>Nimetus:</i> Lisa 6- Kronstein		<i>Faili nimetus:</i>		
	<i>Kontrollis</i>  <i>Kinnitas</i>	<i>Leht:</i> 2/3		<i>Tähis:</i>		<i>Formaat:</i> A4
<b>TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL</b>						



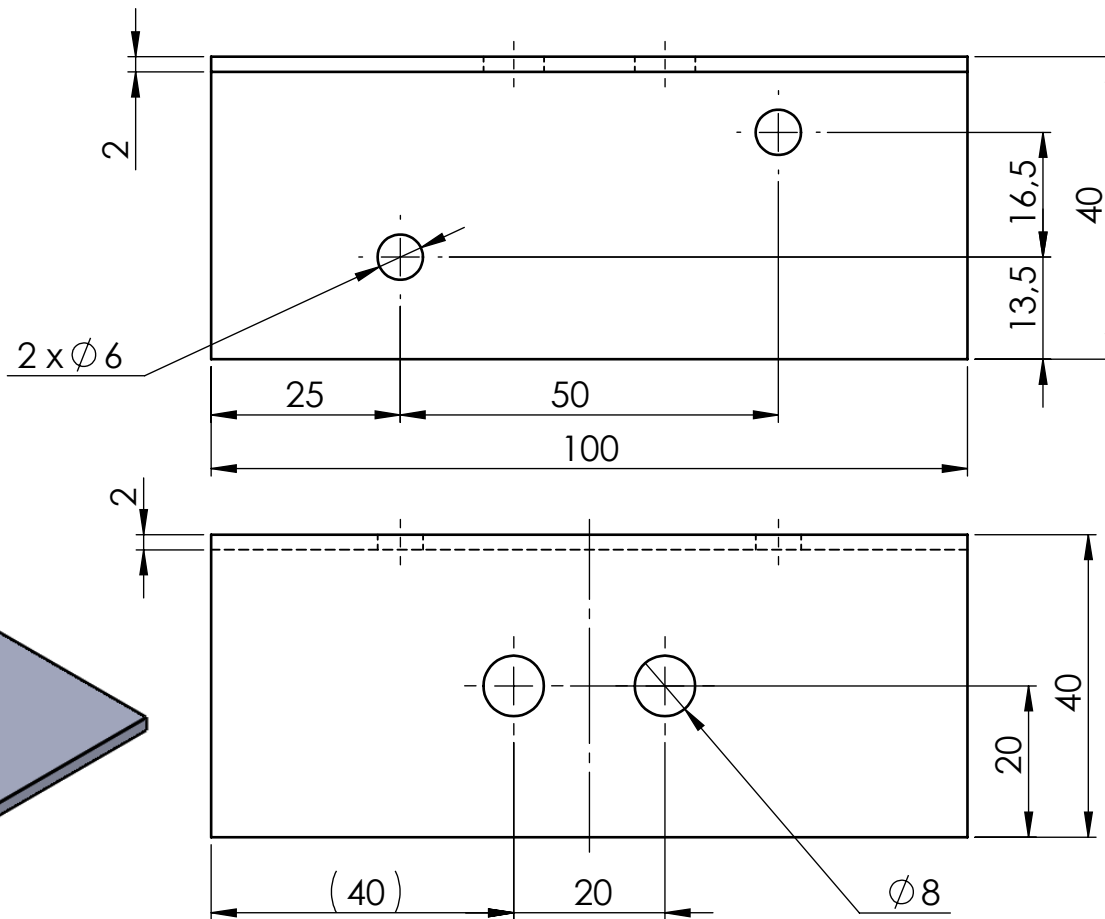
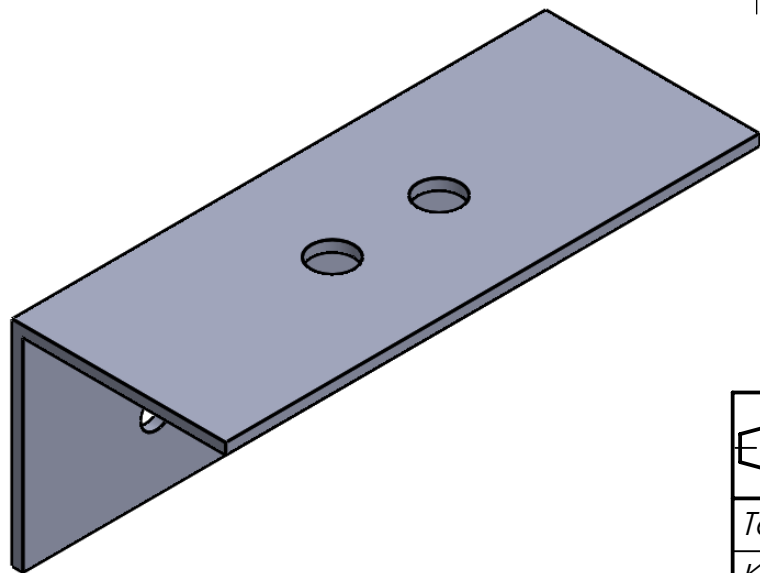
	<i>Materjal:</i> S235JR		<i>Märkimata piirhälbed:</i> H14, h14, $\pm IT14/2$		<i>Mass:</i>	<i>Mööd:</i> 2:1
	<i>Teostas</i> Indrek Aver	<i>Nimetus:</i> <b>Enkoodri plaat</b>		<i>Faili nimetus:</i>		
	<i>Kontrollis</i>					
<i>Kinnitas</i>	<b>TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL</b>		<i>Leht:</i> 3/3	<i>Tähis:</i>	<i>Formaat:</i> A4	

DETAILI NR	DETAIL	LISAINFO/MÕÕTMED	KOGUS
1	alumine nurkraud	võrdkülgne nurkraud 40x40x3x200	1
2	ülemine nurkraud	võrdkülgne nurkraud 40x40x3x250	1



	Materjal: S235JR	Märkimata piirhälbed: H14, h14, ±IT14/2	Mass:	Mõõt: 1:3
Teostas	Indrek Aver	Nimetus:	Faili nimetus:	
Kontrollis		Lisa 7- Anduri hoidja		
Kinnitas				
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL		Leht: 1/2	Tähis:	Formaat: A4





	<i>Materjal:</i> S235JR		<i>Märkimata pürhälbed:</i> H14, h14, $\pm IT14/2$		<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:1
	<i>Teostas</i> Indrek Aver	<i>Nimetus:</i> Anduri kinnitus		<i>Faili nimetus:</i>		
	<i>Kontrollis</i>					
<i>Kinnitus</i>	<b>TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL</b>		<i>Leht:</i> 2/2	<i>Tähis:</i>	<i>Formaat:</i> A4	

## Lisa 8. Niisutussüsteemi PLC programm / PLC\_1 [CPU 314C-2 PN/DP] / Program blocks

### Main [OB1]

#### Main Properties

##### General

<b>Name</b>	Main	<b>Number</b>	1	<b>Type</b>	OB
-------------	------	---------------	---	-------------	----

<b>Language</b>	LAD
-----------------	-----

##### Information

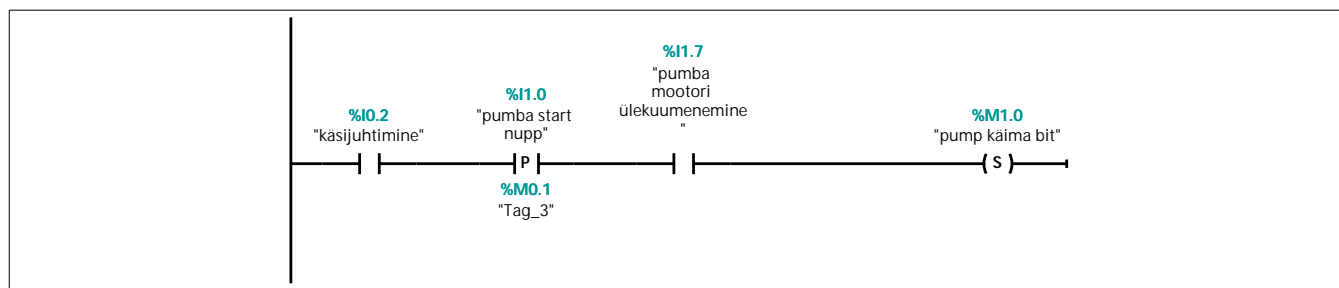
<b>Title</b>	Peaprogramm	<b>Author</b>	Indrek Aver	<b>Comment</b>	
--------------	-------------	---------------	-------------	----------------	--

<b>Family</b>		<b>Version</b>	0.1	<b>User-defined ID</b>	
---------------	--	----------------	-----	------------------------	--

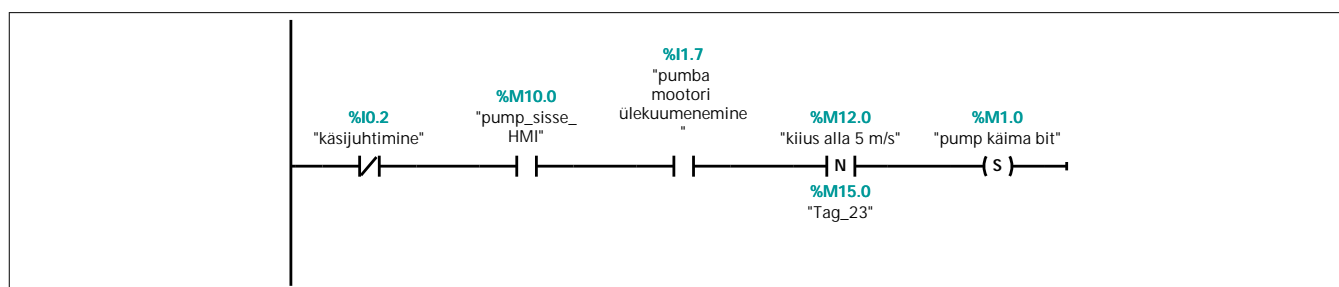
Name	Data type	Offset
▼ Temp		
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0
OB1_SCAN_1	Byte	1.0
OB1_PRIORITY	Byte	2.0
OB1_OB_NUMBR	Byte	3.0
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0

### Network 1: Pumba käivitus

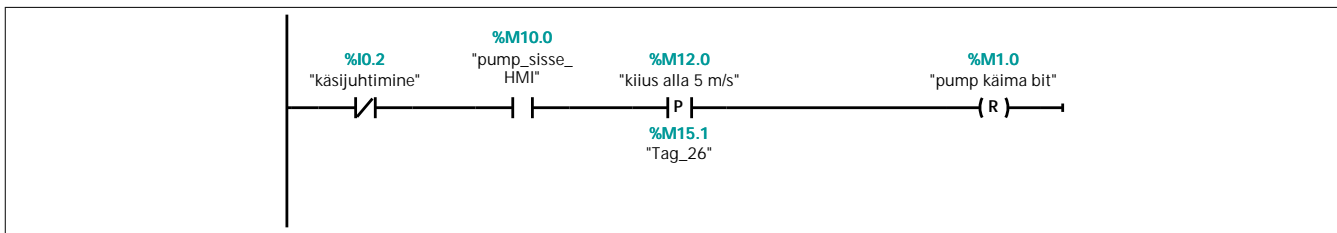
Pumba käivitus. Võimalik ainult siis, kui termokaitse ei ole rakendunud ( NC)



### Network 2: Käsijuhtimine väljas-> HMI pealt sees->kiirus üle 6 m/min -> ei ole ülekuumenenud-> pump tööle

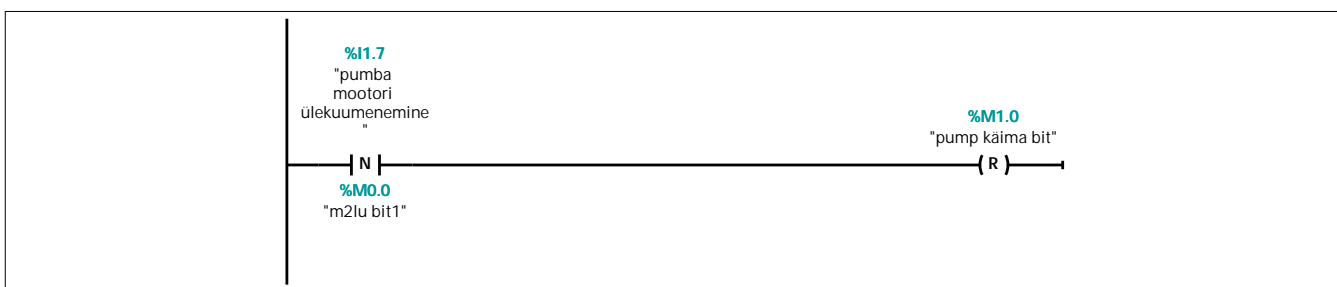


### Network 3: Käsijuhtimine väljas-> HMI pealt sees->kiirus langeb alla 6 m/min-> pump välja



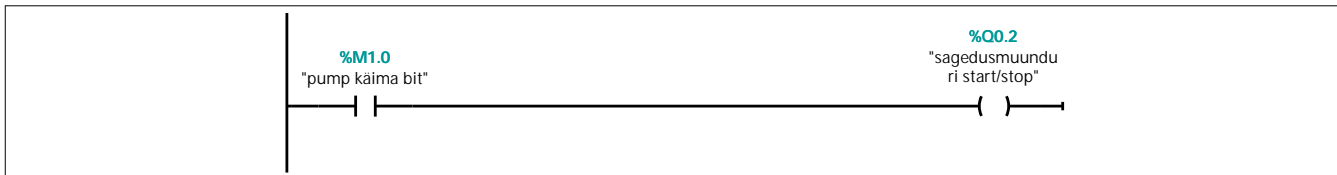
### Network 4: Ülekuumenemise korral pump seisma (lülitab välja sagedusmuunduri START sisendi)

ülekuumenemise korral pump seisma (lülitab välja sagedusmuunduri START sisendi)



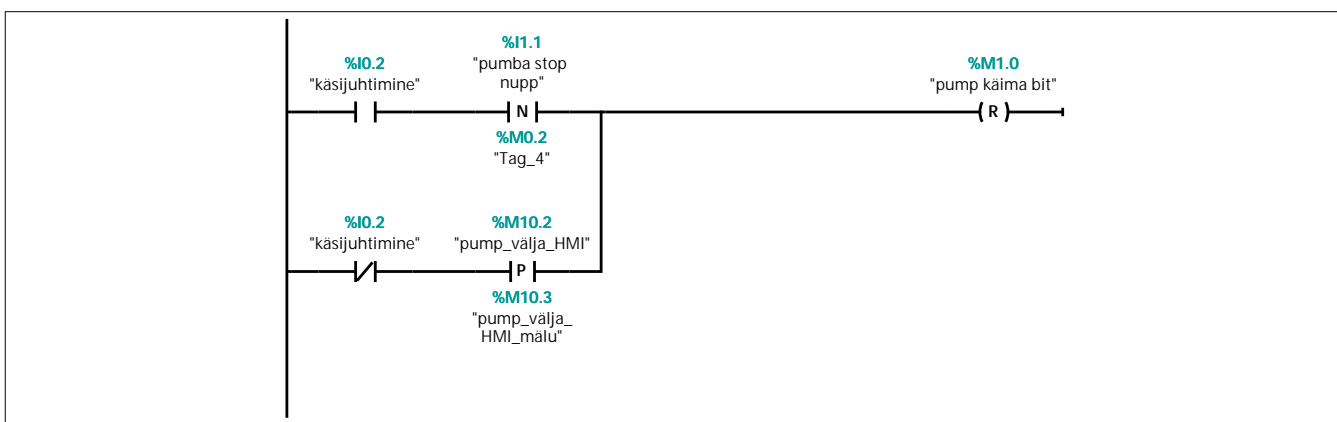
### Network 5: Sagedusmuunduri juhtimine ( m0.4 kõrge-> pump sees)

sagedusmuunduri juhtimine ( m0.4 kõrge-> pump sees)



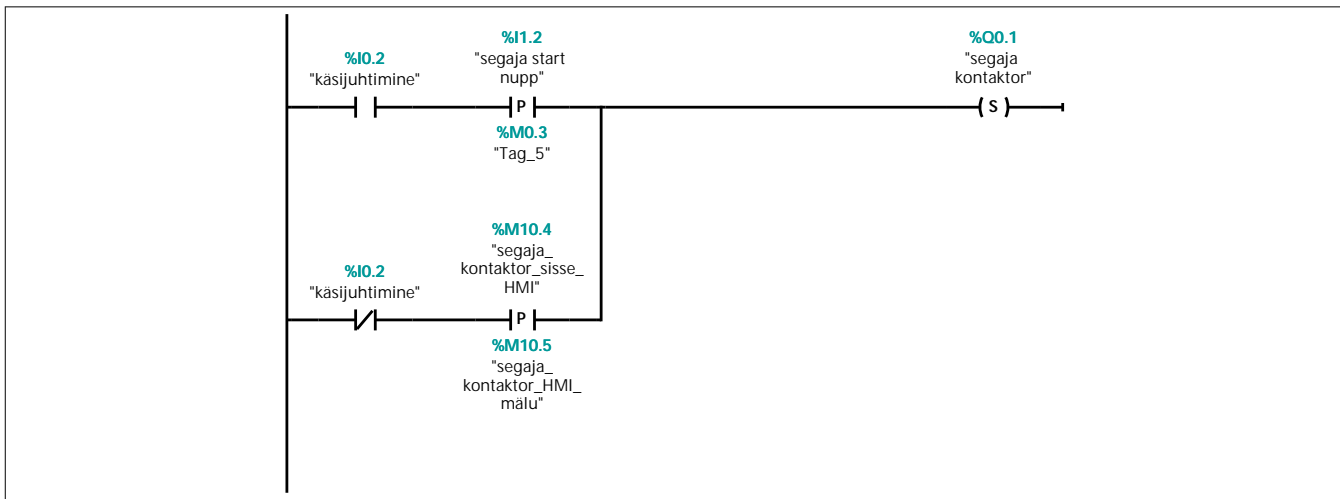
### Network 6: Pump välja

pump välja



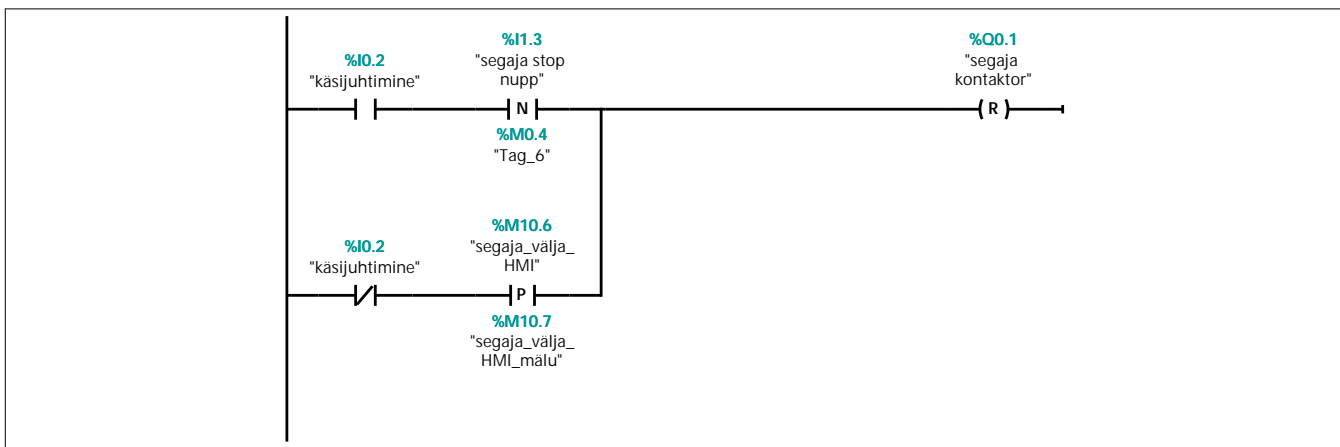
### Network 7: Kontaktor sisse

kontaktor sisse

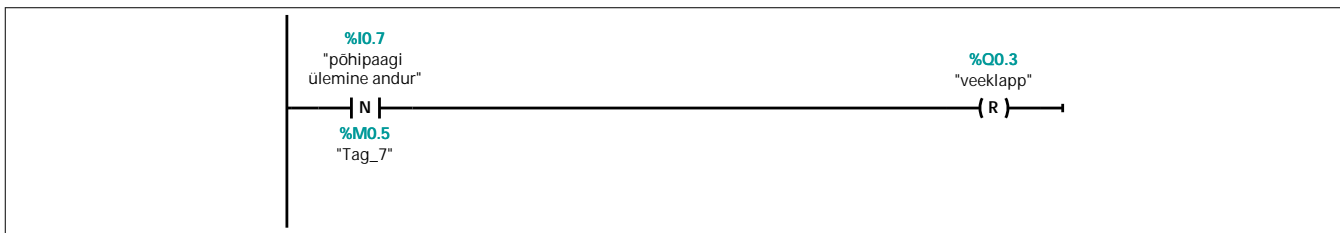


### Network 8: Segaja välja

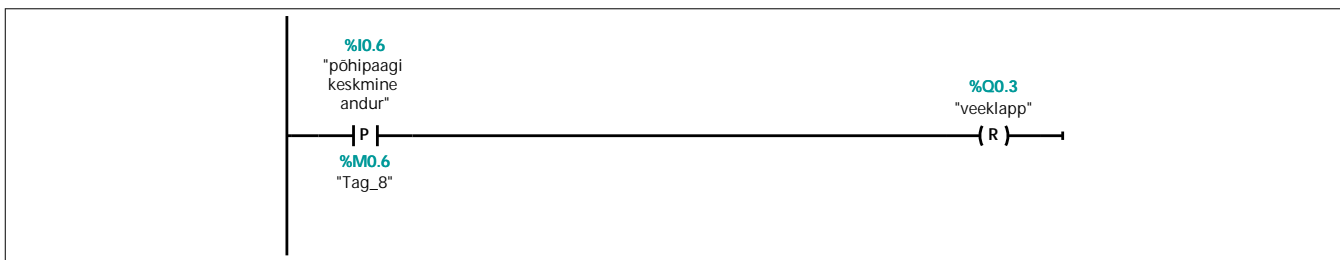
segamismootor välja



### Network 9: Vee pealelase

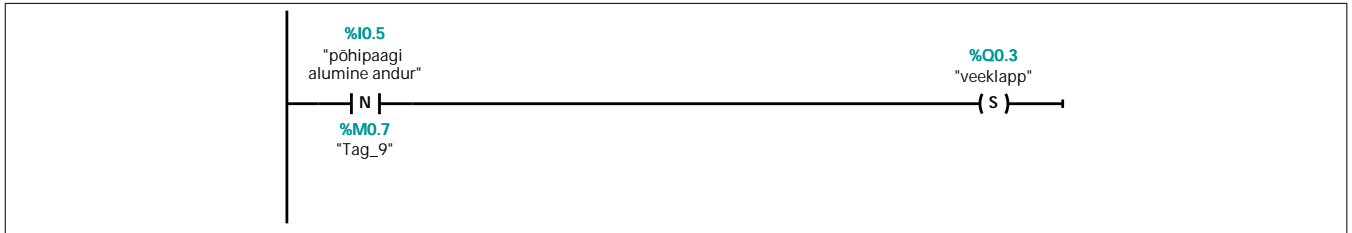


### Network 10: Keskmine andur lülitab välja veeklapi

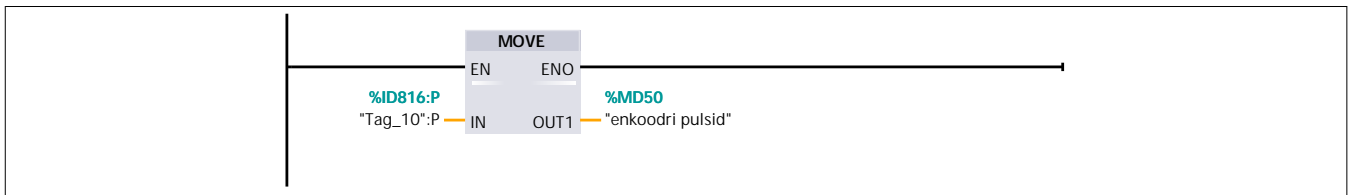


### Network 11: Alumine andur lülitab sisse veetoru klapi

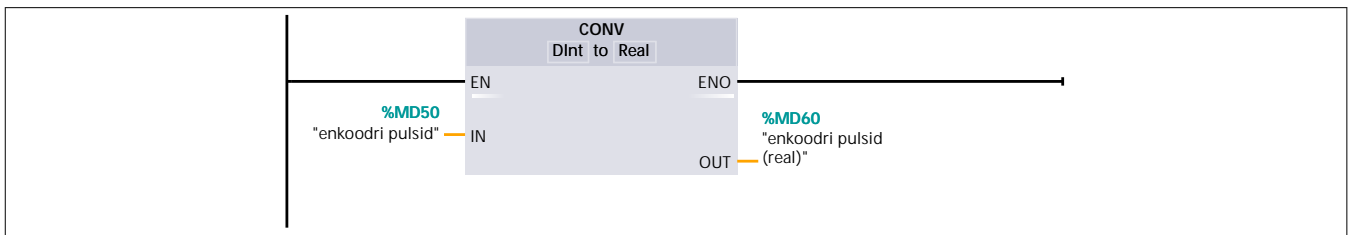
Alumine andur lülitab sisse veetoru klapi



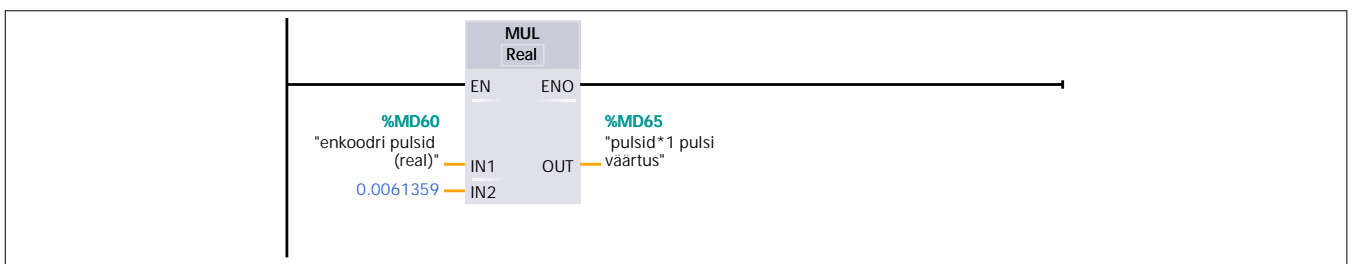
### Network 12: Enkoodri sisend



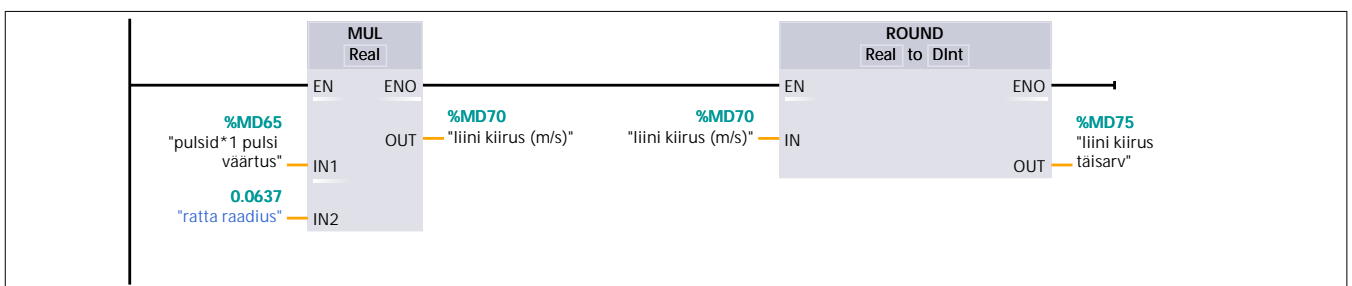
### Network 13: Enkoodri impulsside konverteerimine (int->real)



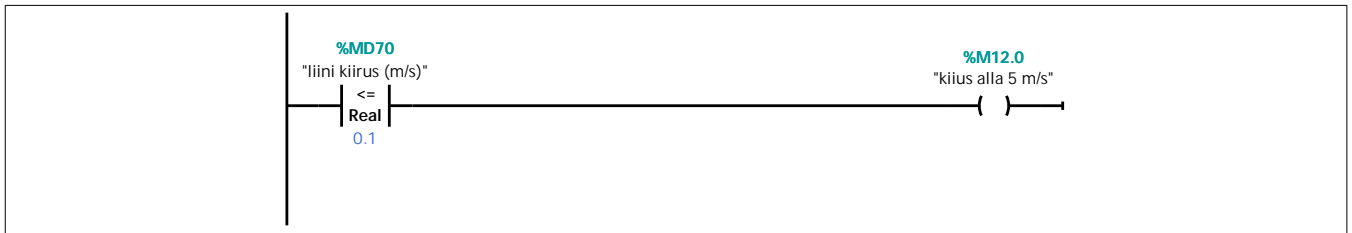
### Network 14: Pöördenuurga leidmine



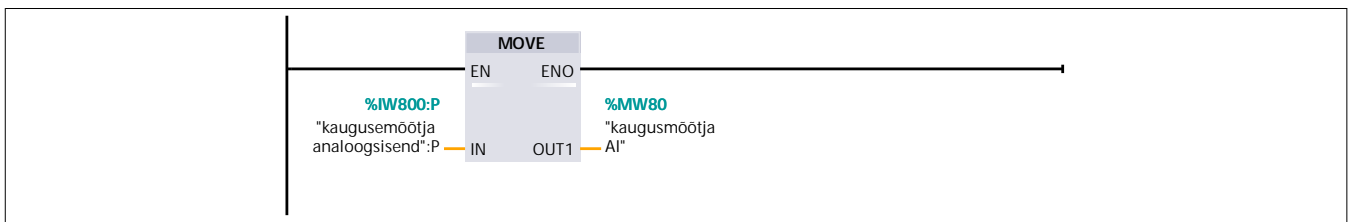
### Network 15: Liini kiiruse arvutus



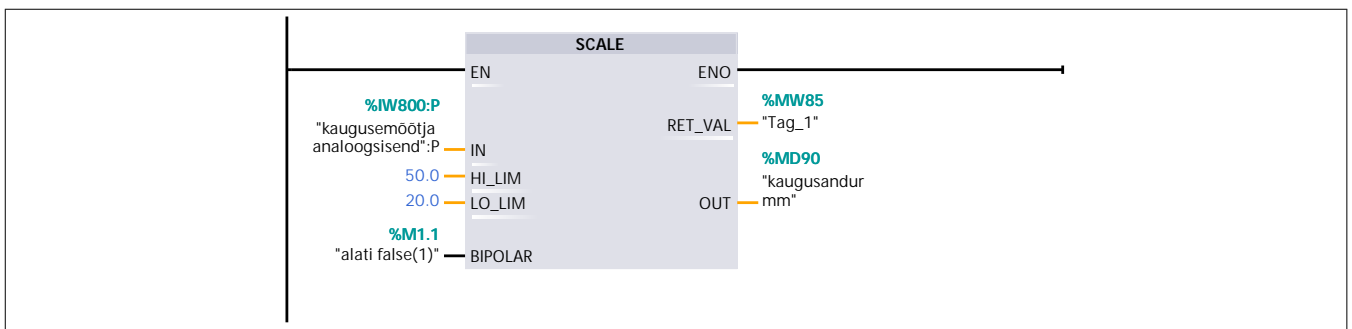
### Network 16: Liini kiirus alla 6 m/min



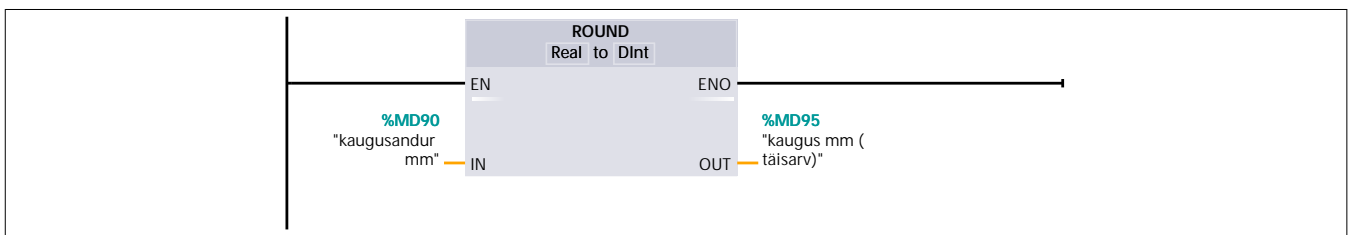
### Network 17: Vaiba paksuse mõõtja



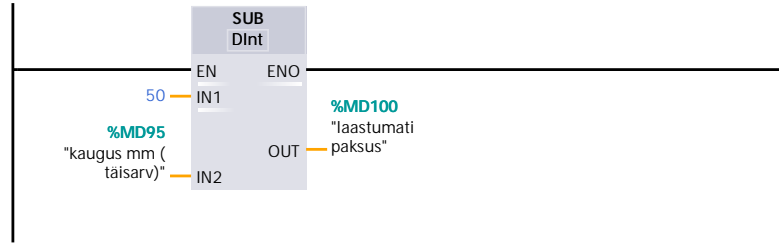
### Network 18: Kaugusanduri scale



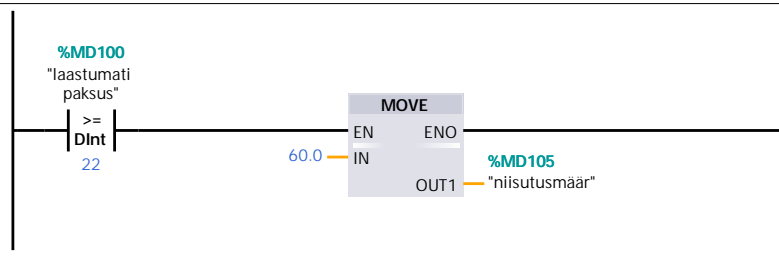
### Network 19: Kaugusanduri real->dint



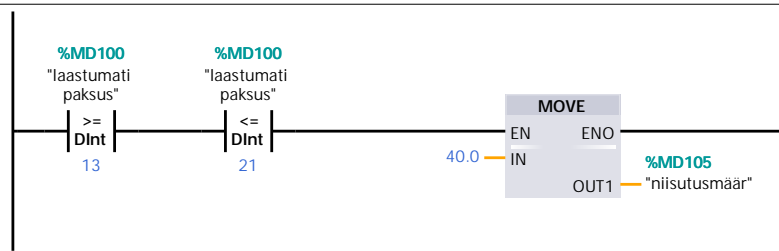
### Network 20: Laastumati paksuse arvutamine



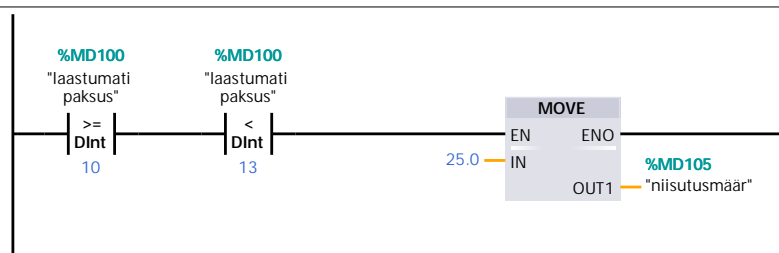
### Network 21: Niisutusmäär seadmine



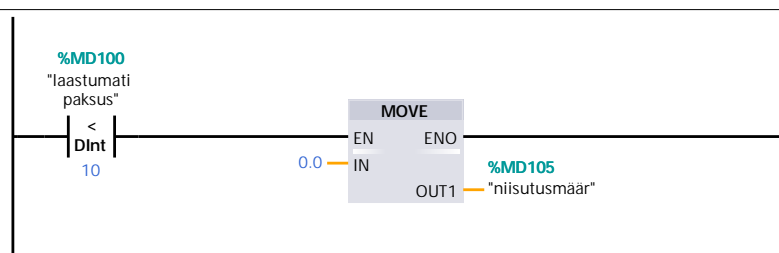
### Network 22: Niisutusmäär seadmine



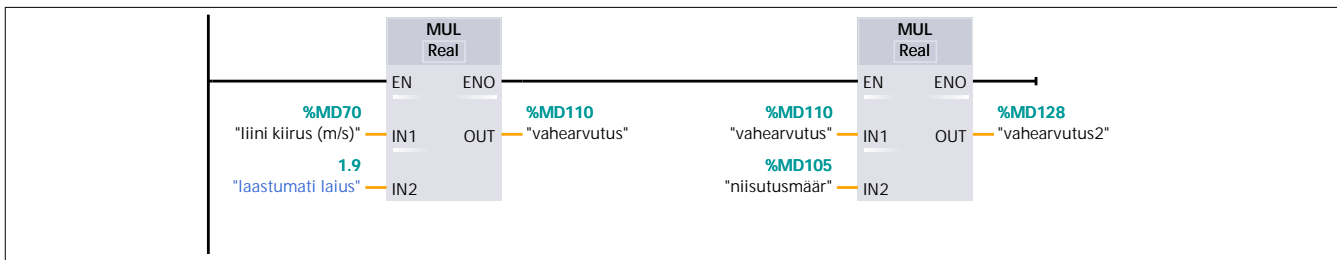
### Network 23: Niisutusmäär seadmine



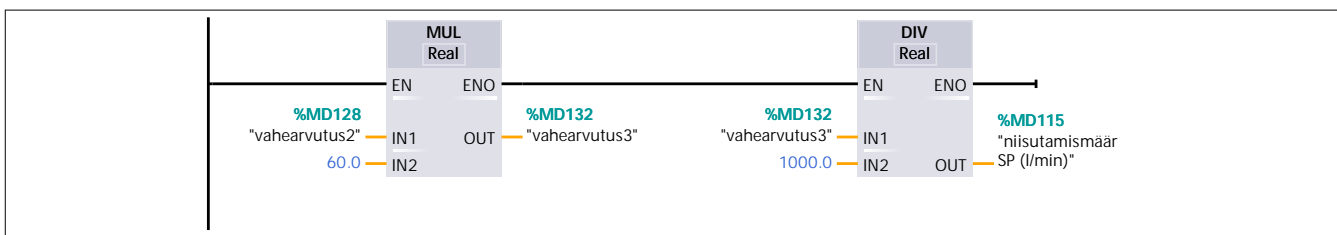
### Network 24: Niisutusmäär seadmine



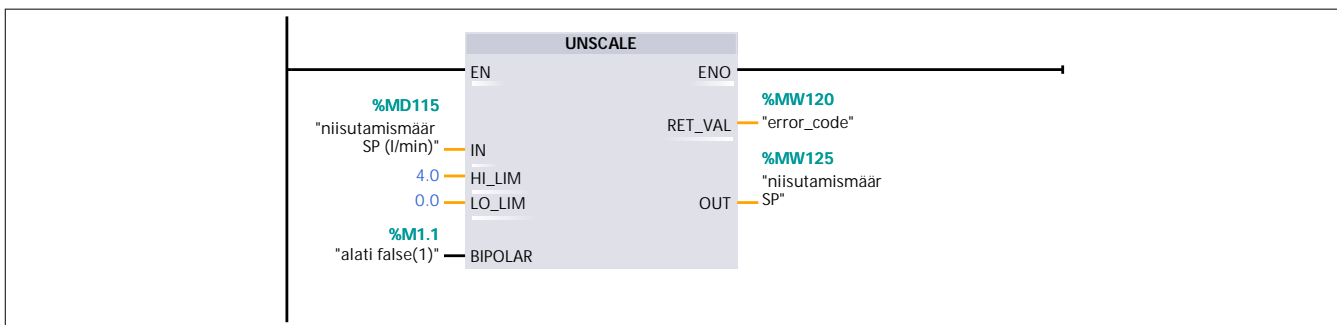
### Network 25: Veekoguse arvutamine



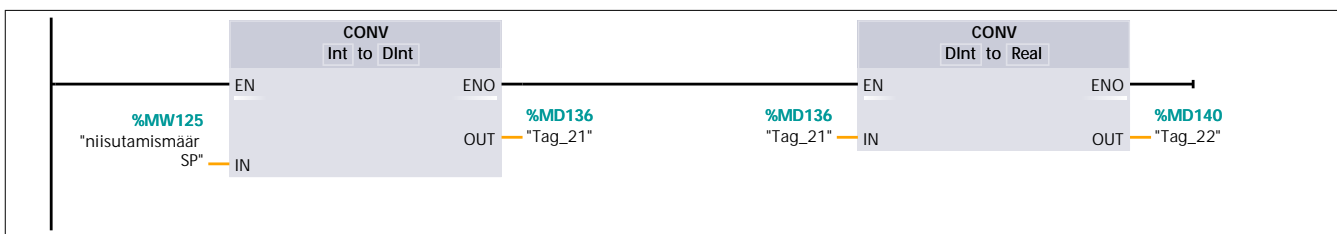
### Network 26: Veekoguse arvutamine



### Network 27: Niisuskoguse unscale

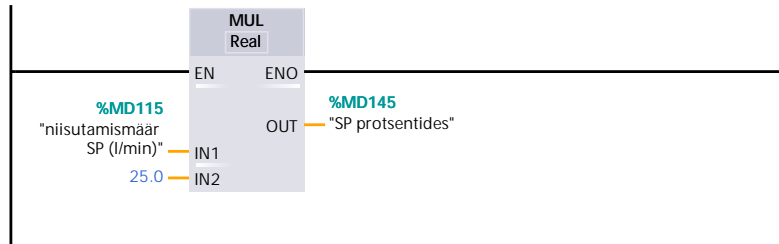


### Network 28: Niisutuskogus SP int->real

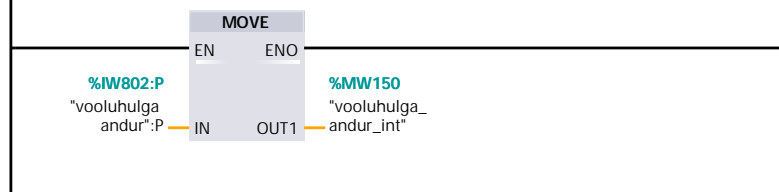


### Network 29: Niisutuskoguse SP protsendideks PID regulaatori jaoks

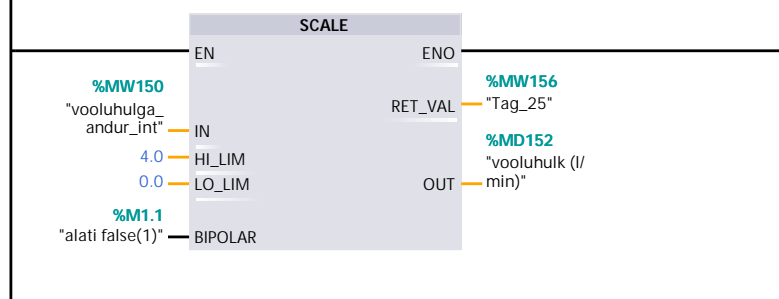




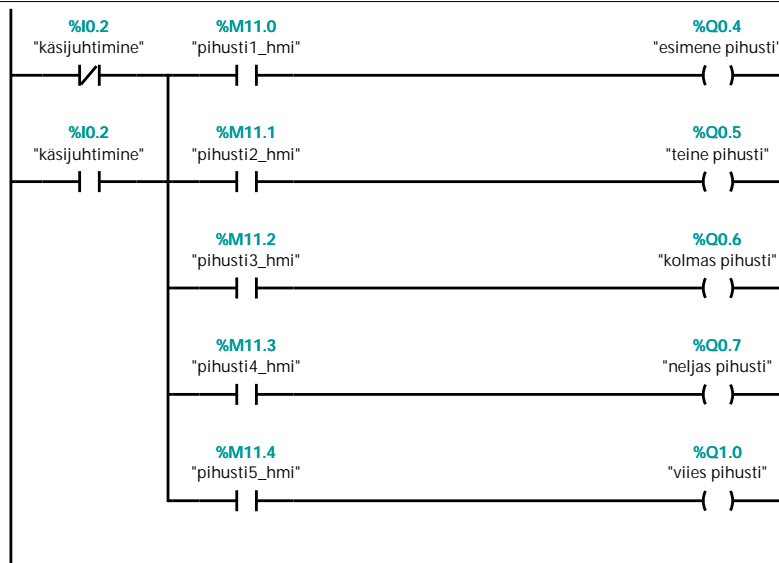
### Network 30: Vooluhulga andur word->int



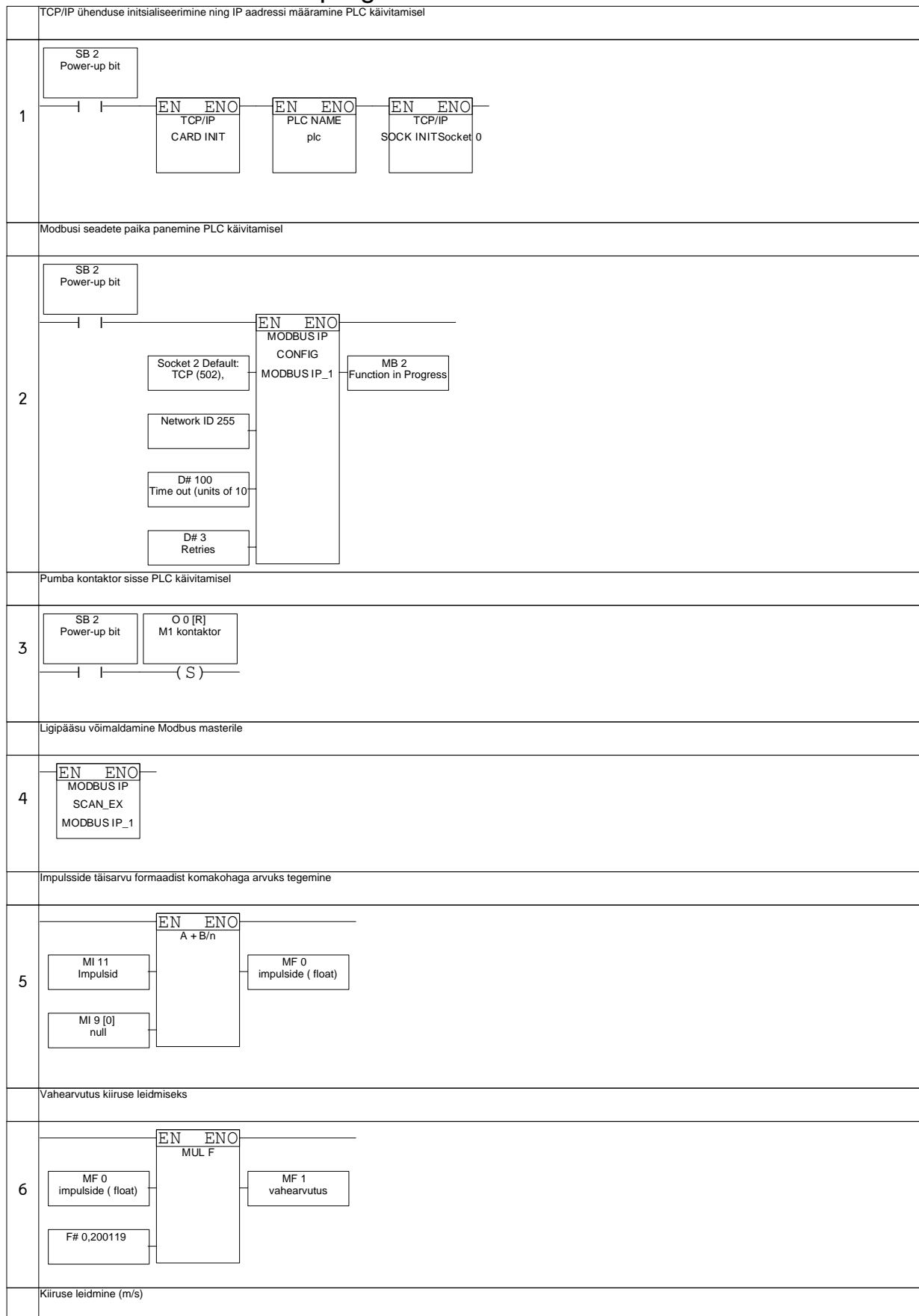
### Network 31: Vooluhulga anduri scale

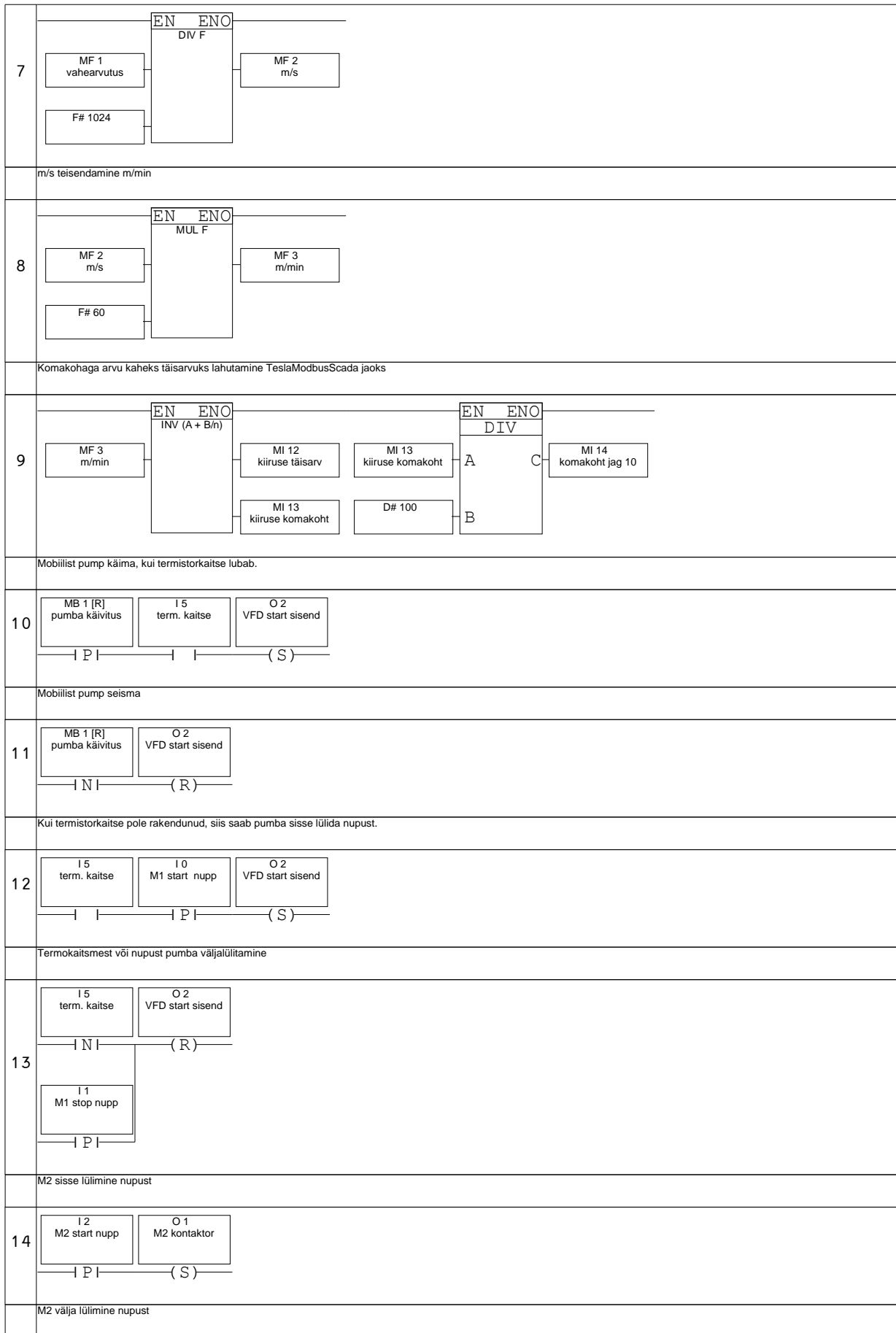


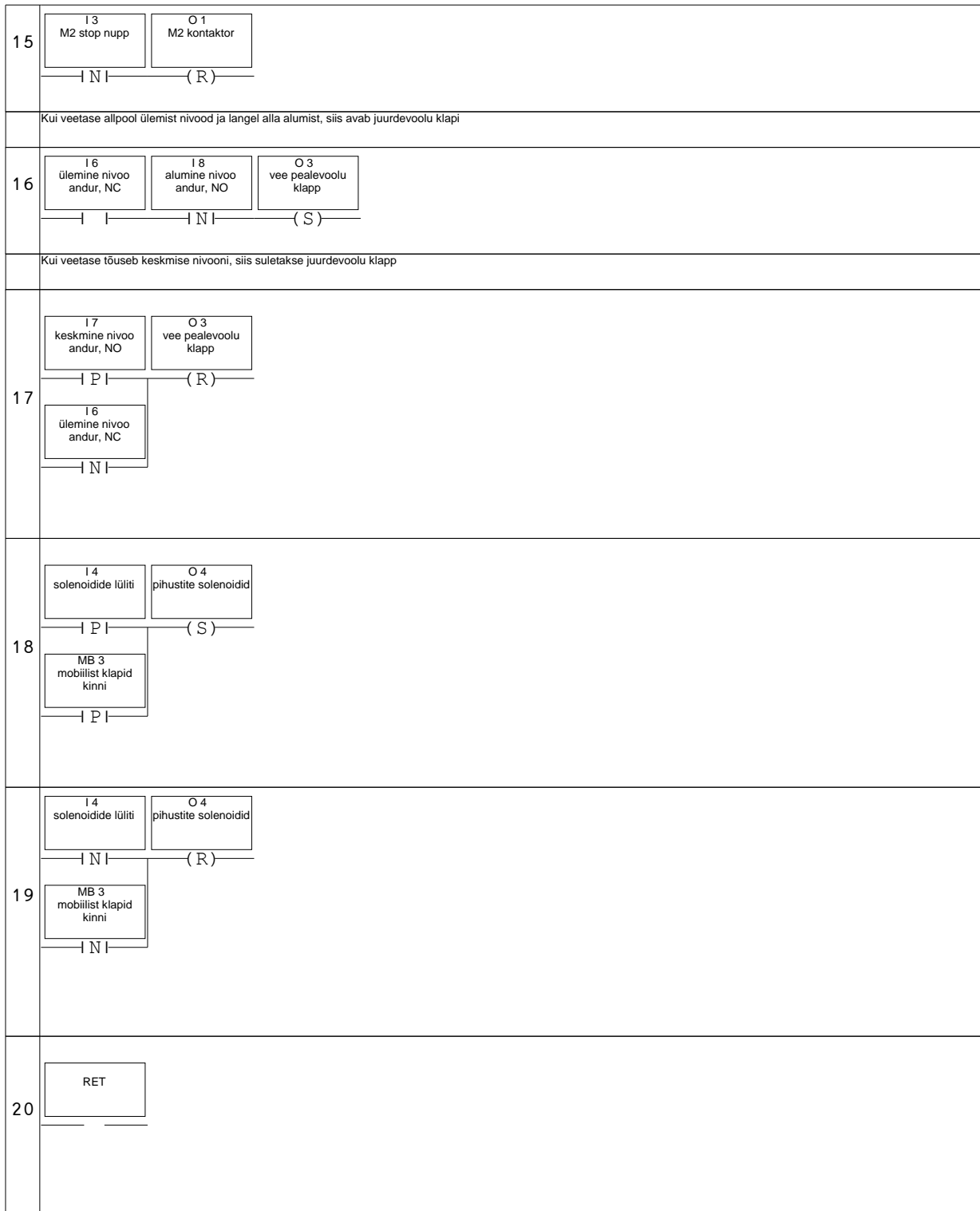
### Network 32: Pihustite lülitamine



# Lisa 9. Katsetamise PLC programm





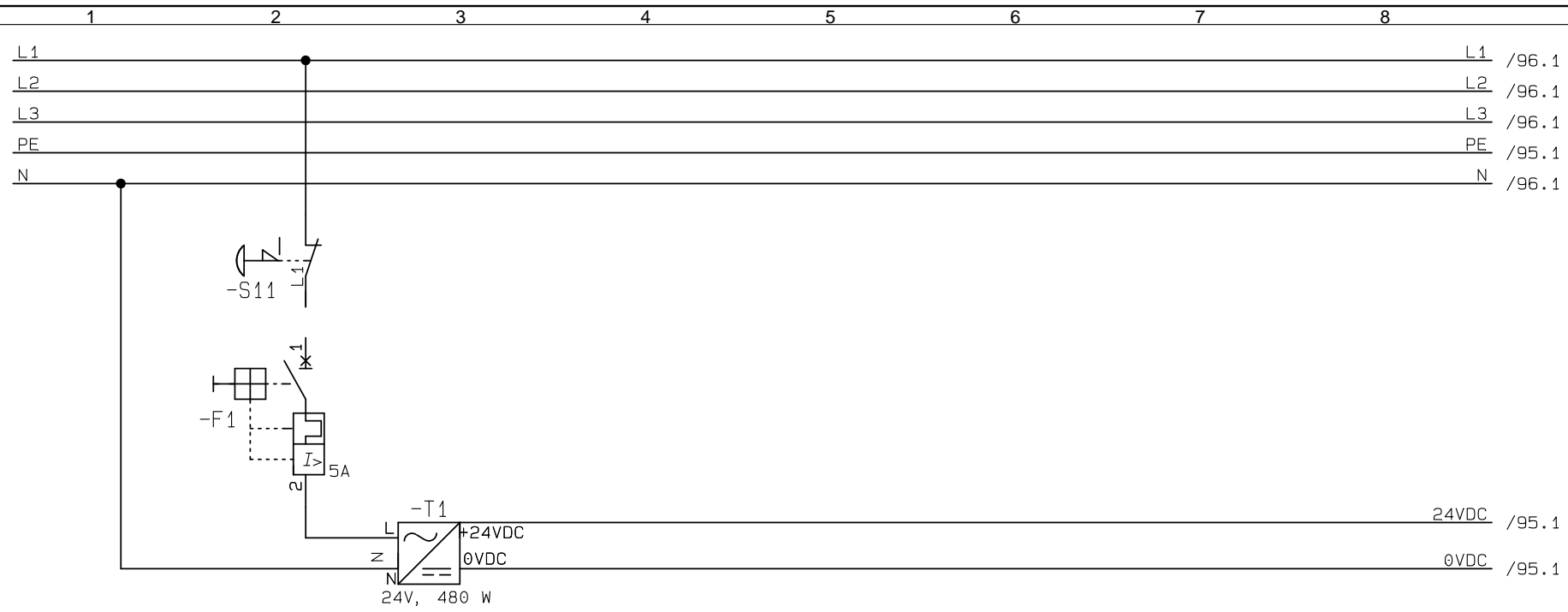


# Katsetamise elektriskeem

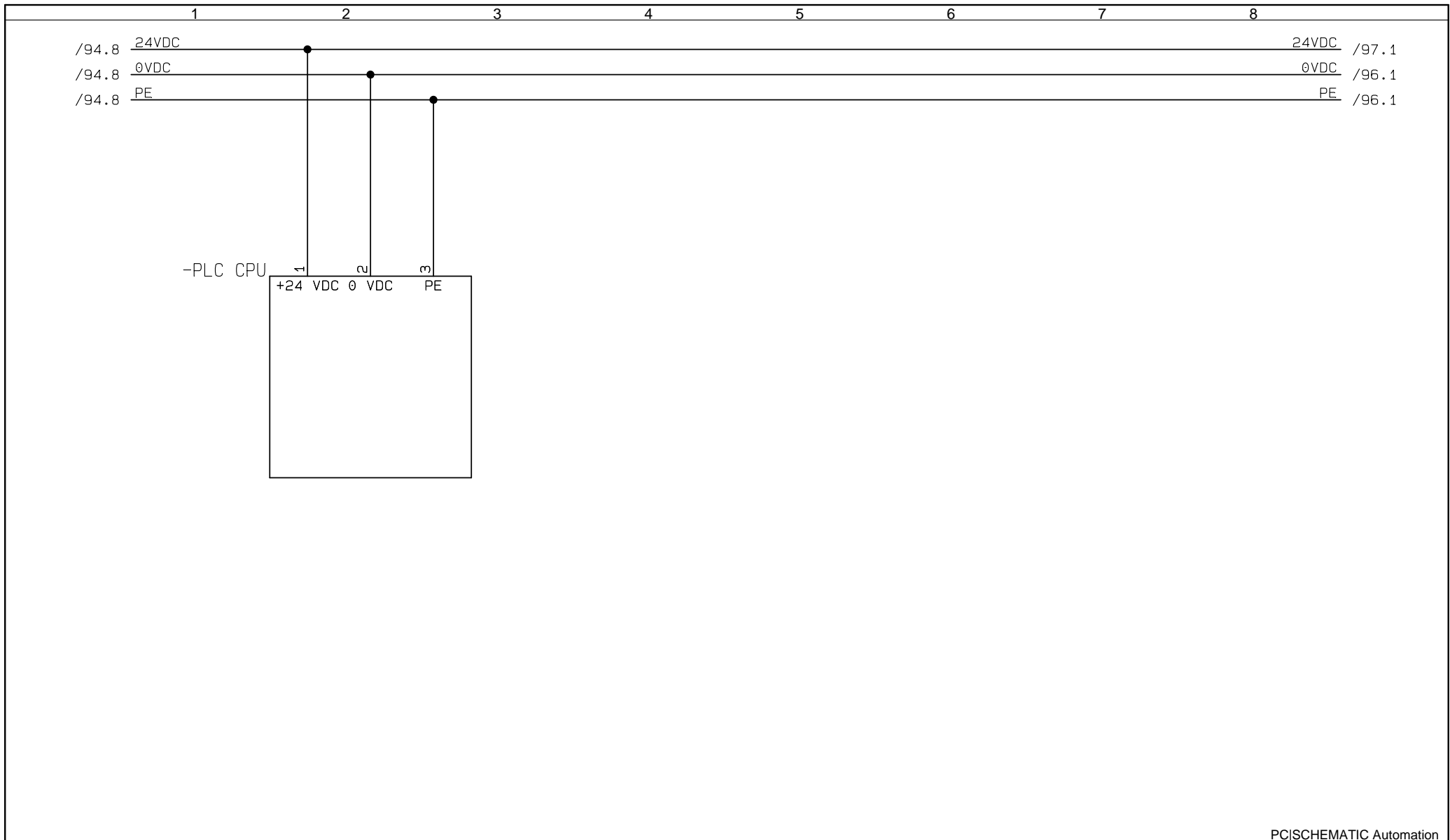
PC|SCHEMATIC Automation

**REPO VABRIKUD**

Project title: Lisa 10. Katsetamise elektriskeem	Project no.:	Project rev.:	Page	93
Customer:	DCC:		Scale:	1:1
Page title: Tiitelleht	Drawing no.:	Page rev.:	Previous page:	
Filename: lisa 10	Constructor (project/page)	Last printed: 21.05.2015	Next page:	94
Page ref.:	Appr. (date/sign.)	Last correction: 21.05.2015	Number of pages:	8



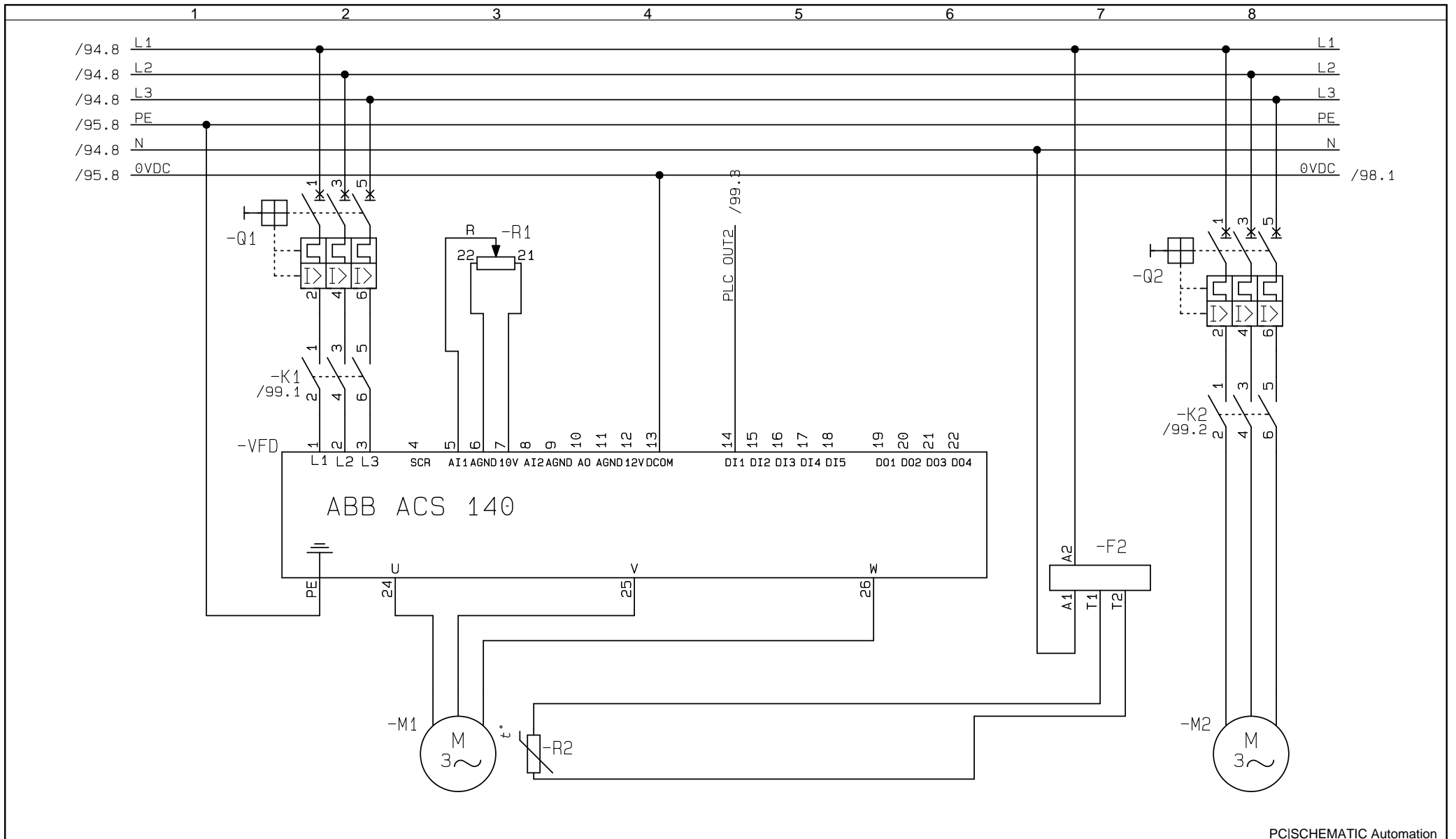
Project title: Lisa 10. Katsetamise elektriskeem	Project no.:	Project rev.:	Page	94
Customer:	DCC:		Scale:	1:1
Page title: Toiteskeem	Drawing no.:	Page rev.:	Previous page:	93
Filename: lisa 10	Constructor (project/page) /Aver	Last printed: 21.05.2015	Next page:	95
Page ref.:	Appr. (date/sign.)	Last correction: 21.05.2015	Number of pages:	8



PC|SCHEMATIC Automation

**REPO VABRIKUD**

Project title: Lisa 10. Katsetamise elektriskeem	Project no.:	Project rev.:	Page	95
Customer:	DCC:		Scale:	1:1
Page title: PLC toide	Drawing no.:	Page rev.:	Previous page:	94
Filename: lisa 10	Constructor (project/page)	Last printed: 21.05.2015	Next page:	96
Page ref.:	Appr. (date/sign.)	Last correction: 21.05.2015	Number of pages:	8

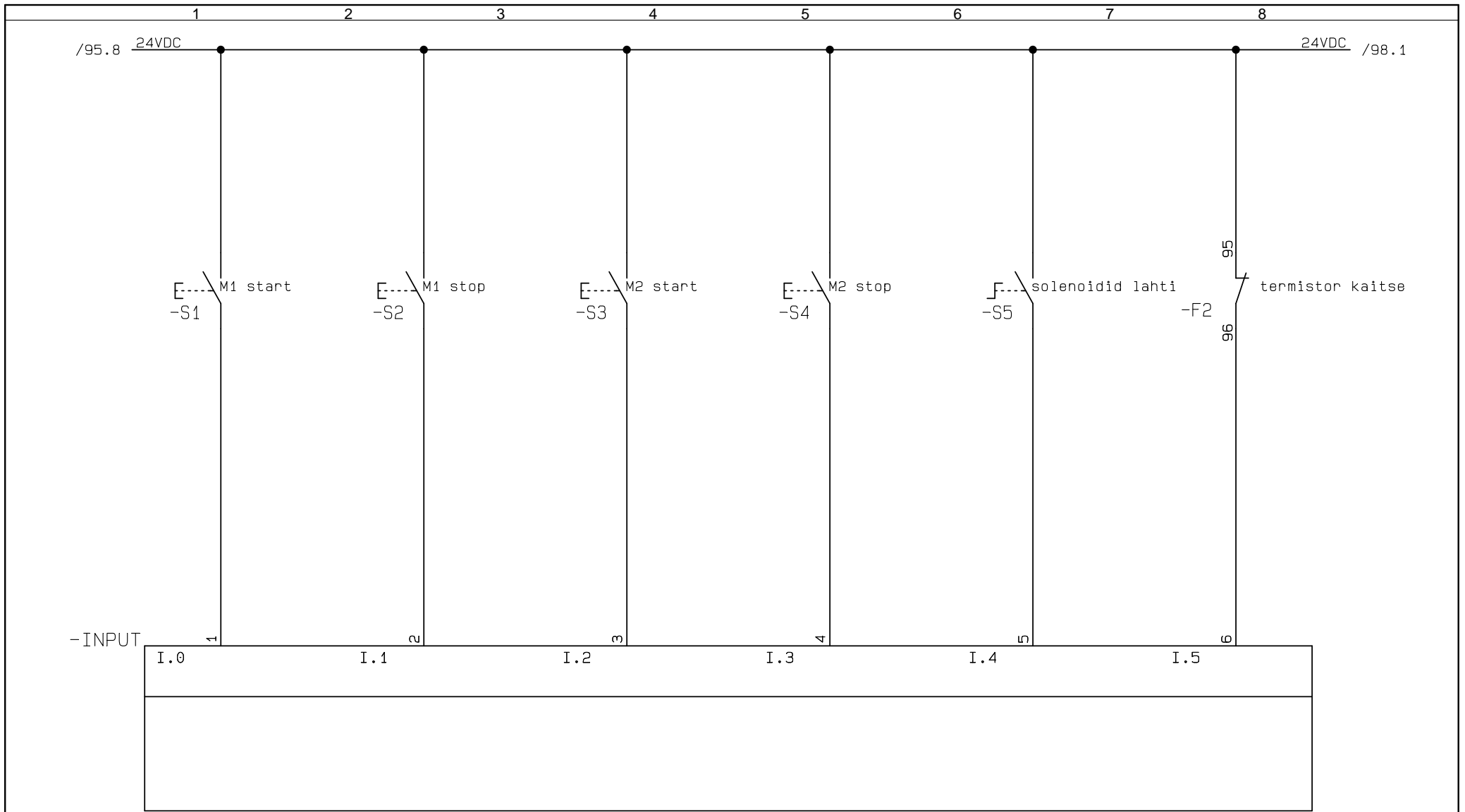


PC|SCHEMATIC Automation

**REPO VABRIKUD**

Project title: Lisa 10. Katsetamise elektriskeem	Project no.:	Project rev.:	Page
Customer:	DCC:		Scale: 1:1
Page title: Mootorid	Drawing no.:	Page rev.:	Previous page: 95
Filename: lisa 10	Constructor (project/page)	Last printed: 21.05.2015	Next page: 97
Page ref.:	Appr. (date/sign.)	Last correction: 21.05.2015	Number of pages: 8

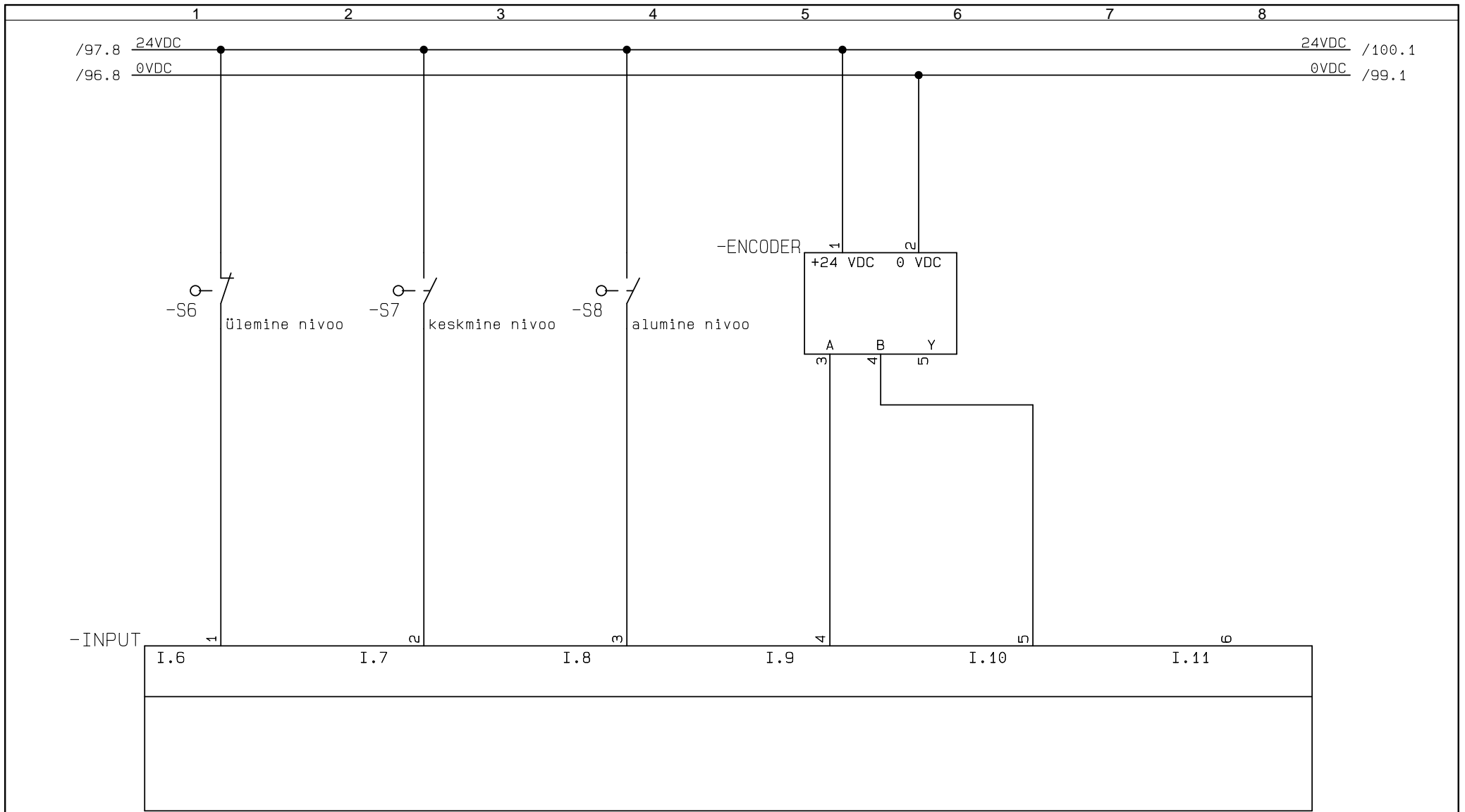




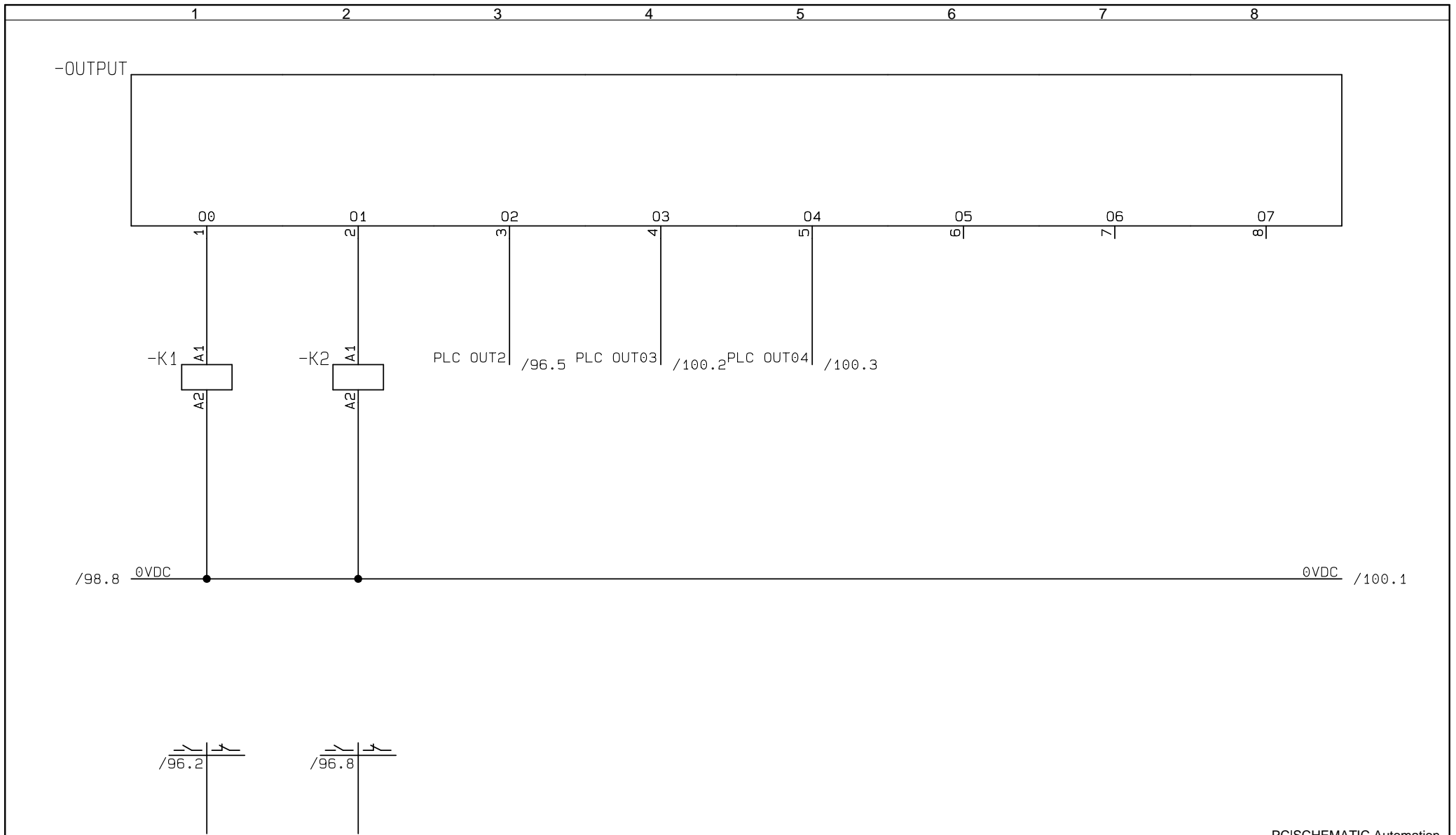
PC|SCHEMATIC Automation

**REPO VABRIKUD**

Project title: Lisa 10. Katsetamise elektriskeem	Project no.:	Project rev.:	Page
Customer:	DCC:		Scale: 1:1
Page title: PLC sisendid	Drawing no.:	Page rev.:	Previous page: 96
Filename: lisa 10	Constructor (project/page)	Last printed: 21.05.2015	Next page: 98
Page ref.:	Appr. (date/sign.)	Last correction: 21.05.2015	Number of pages: 8



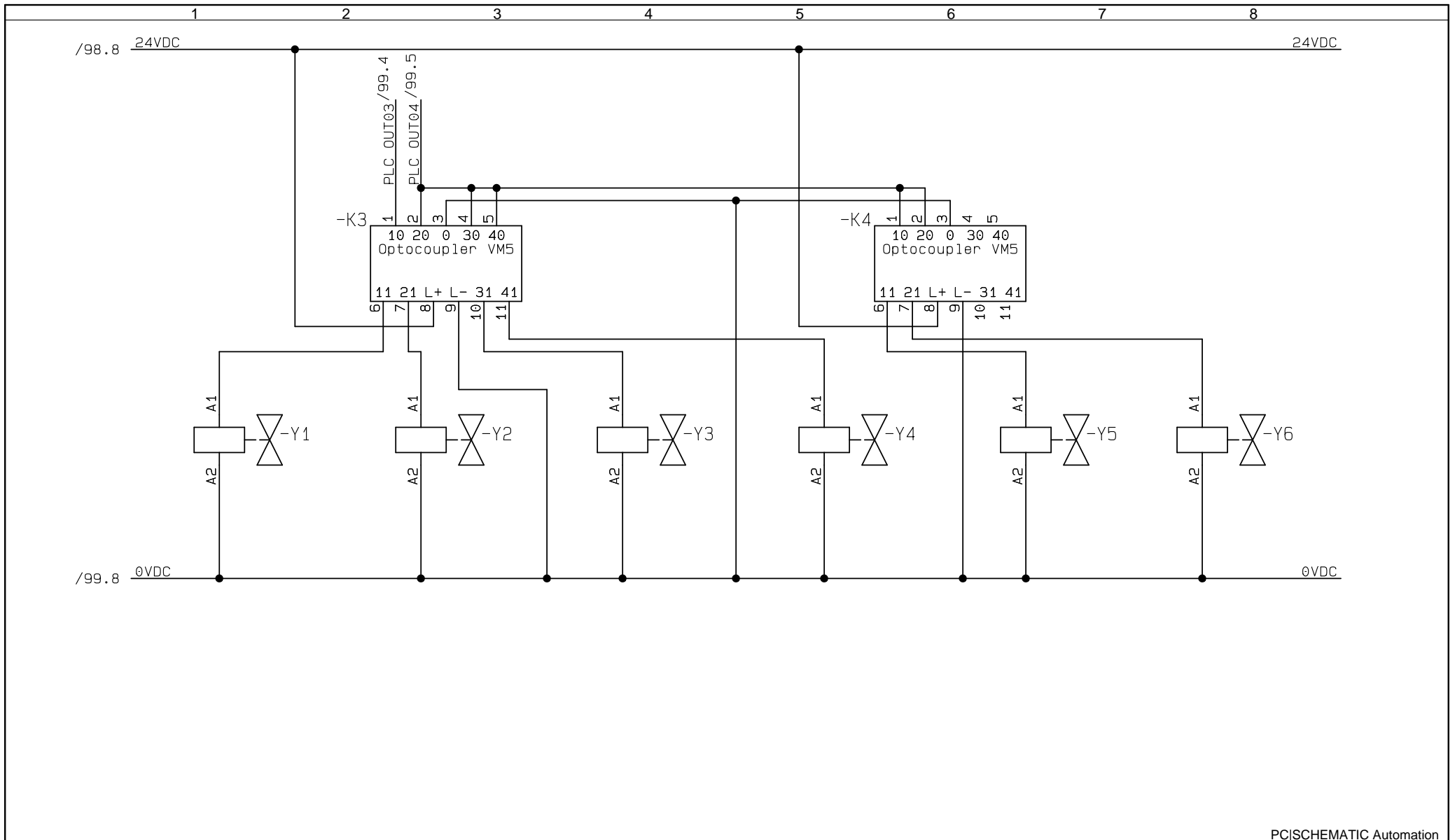
Project title: Lisa 10. Katsetamise elektriskeem	Project no.:	Project rev.:	Page	98
Customer:	DCC:		Scale:	1:1
Page title: PLC sisendid	Drawing no.:	Page rev.:	Previous page:	97
Filename: lisa 10	Constructor (project/page)	Last printed: 21.05.2015	Next page:	99
Page ref.:	Appr. (date/sign.)	Last correction: 21.05.2015	Number of pages:	8



PC|SCHEMATIC Automation

**REPO VABRIKUD**

Project title: Lisa 10. Katsetamise elektriskeem	Project no.:	Project rev.:	Page	99
Customer:	DCC:		Scale:	1:1
Page title: PLC väljundid	Drawing no.:	Page rev.:	Previous page:	98
Filename: lisa 10	Constructor (project/page)	Last printed: 21.05.2015	Next page:	100
Page ref.:	Appr. (date/sign.)	Last correction: 21.05.2015	Number of pages:	8



Project title: Lisa 10. Katsetamise elektriskeem	Project no.:	Project rev.:	Page	100
Customer:	DCC:		Scale:	1:1
Page title: Solenoidide lülitus	Drawing no.:	Page rev.:	Previous page:	99
Filename: katseskeem5- solenoidid leht-8	Constructor (project/page)	Last printed: 21.05.2015	Next page:	
Page ref.:	Appr. (date/sign.)	Last correction: 21.05.2015	Number of pages:	8