



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

LOOGIKAKONTROLLERI INTEGREERIMINE NING IIOT RAKENDUSTE KASUTAMISE VÕIMALUSED AUTOMATISEERITUD NOATERITUSJAAMAS

INTEGRATION OF LOGICAL CONTROLLER AND POSSIBILITIES OF USING IIOT APPLICATIONS IN AN AUTOMATED KNIFE GRINDING STATION

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Karl Leibur

Üliõpilaskood 176652AAAM

Juhendaja: Anton Rassõlkin, Abiprofessor
tenuuris

Tallinn, 2021

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

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

Autor: Karl Leibur

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja: Anton Rassõlkin

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Karl Leibur

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Loogikakontrolleri integreerimine ning IIoT rakenduste kasutamise võimalused automatiseeritud noateritusjaamas,

mille juhendaja on Anton Rassõlkin,

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

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

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

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

20.12.2021

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

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

<i>Autor:</i> Karl Leibur	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Loogikakontrolleri integreerimine ning IIoT rakenduste kasutamise võimalused automatiseeritud noateritusjaamas	
<i>Kuupäev:</i> 21.12.2021	78 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> abiprofessor tenuuris Anton Rassõlkin	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i> -	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Käesoleva lõputöö eesmärk on arendada ning kaasajastada olemasolev automaatne fileerimisnugade teritusjaam. Töö raames vahetatakse välja amortiseerunud tööstusrobot, luuakse uus elektri- ja automaatikasüsteem, kontrollitakse olemasolevate tugevvooluahelate kaitselülitite sobivust, luuakse juhtsüsteem seadme käivitamiseks, luuakse teritusjaama ning andmebaasi vaheline andmevahetus ja analüüsitakse tööstusliku asjade interneti rakenduste kasutamise võimalusi. Arendatav teritusjaam on osaks OÜ Marttiini Estonia fileerimisnugade tootmisprotsessist, mille käigus antakse fileerimisteradele lõplik teravus ning kaubanduslik välimus.</p> <p>Lõputöö eesmärkide saavutamiseks kaardistatakse esmalt toote liikumine teritusjaamas ning kirjeldatakse kõikide protsessi osade tööd, tulemusena luuakse tehniline ülesanne. Seejärel teostatakse tehnilise ülesande alusel asendava tööstusroboti sobivuse analüüs. Vahetatakse välja amortiseerunud tööstusrobot. Projekteeritakse elektri- ja automaatikasüsteem valides välja vajalikud komponendid, luuakse elektriskeemid. Peale projekteerimist ja üles seadmist teostatakse juhtsüsteemi programmeerimine, seadme käivitamine ja viiakse läbi vastavuse hindamine tuginedes tehnilises ülesandes paika pandud nõuetele.</p> <p>Töö tulemusena valmib täiustatud fileerimisterade teritusjaam, mis on oluliseks osaks fileerimisnugade tootmisprotsessist.</p>	
<i>Märksõnad:</i> automatiseerimine, tööstusautomaatika, tööstusrobot, tööstuslik asjade internet.	

ABSTRACT

<i>Author:</i> Karl Leibur	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Integration of logical controller and possibilities of using IIoT applications in an automated knife grinding station	
<i>Date:</i> 21.12.2021	<i>78 pages</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Tenured Assistant Professor Anton Rassõlkin	
<i>Consultant(s):</i> -	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>The aim of this thesis is to develop and modernize the existing automated filleting knife sharpening cell. This includes replacement of a depreciated industrial robot system, creation of a new electrical- and automation system, verification of the suitability of existing circuit breakers, creation of a control system to start the device, creation of communication between the sharpening station and a database and analysis of the use of industrial internet of things applications. The developed sharpening station is part of the production process of OÜ Marttiini Estonia filleting knives, in the course of which the filleting blades are given the final sharpness and commercial appearance.</p> <p>In order to achieve the goals of the thesis, the movement of the product in the sharpening station is first mapped and the work of all parts of the process is described. As a result, a technical task is created. An analysis of the suitability of a replacement industrial robot is then performed on the basis of a technical task. The depreciated industrial robot is replaced. The electrical and automation system is designed by selecting the necessary components, wiring diagrams are created. After design and installation, control system is programmed, station is started up and the conformity assessment is performed based on the requirements set in the technical task.</p> <p>As a result of the work, an advanced fillet sharpening station will be completed, which is an important part of the filleting knife production process.</p>	
<i>Keywords:</i> automation, industrial automation, industrial robot, industrial internet of things.	

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Karl Leibur, 176652
Õppekava, peeriala: AAAM, Energiamuundus- ja juhtimissüsteemid
Juhendaja(d): Abiprofessor tenuuris, Anton Rassõlkin, 6203305
Konsultant: -
OÜ Marttiini Estonia, +372 53417716, marttiini@marttiini.fi

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Loogikakontrolleri integreerimine ning IIoT rakenduste kasutamise võimalused automatiseeritud noateritusjaamas

(inglise keeles) Integration of logical controller and possibilities of using IIoT applications in an automated knife grinding station

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Amortiseerunud ABB tööstusroboti asendamine Fanuc roboti vastu.
2. Loogikakontrolleri integreerimine automatiseeritud noateritusjaama juhtseadmeks.
3. Toite-, nõrkvoolu- ning pneumaatika skeemide loomine.
4. Andmevahetus teritusjaama ja pilveandmebaasi vahel ning tulemusnäitajate visualiseerimine Power BI keskkonnas.
5. Digitaalse kaksiku rakendamise võimaluste uurimine noateritusjaama näitel.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Taustauuringu teostamine ning teoreetiliste materjalide kogumine	25.09.20
2.	Seadmete paigaldamine ning esialgsete elektriskeemide teostus (tööjoonised)	05.10.20
3.	Loogikakontrolleri integreerimine robotsüsteemi. Sisendite/väljundite ja toite ühendamine.	09.10.20
4.	Loogikakontrolleri programmi loomine.	23.10.20
5.	Paranduste sisseviimine tööjoonistele	31.12.20
6.	Andmevahetuse võimalused tööstuskontrolleri ning Microsoft Azure andmebaasi vahel ning lahenduse välja töötamine	30.06.21
7.	Tööstuskontrolleri ja tööstusroboti kontrolleri vahelise kommunikatsiooni teostamise võimalused	31.07.21

	Digitaalse kaksiku kasutamise võimalused antud süsteemis	30.11.21
8.	Lõputöö kirjaliku osa esimese versiooni valmimine	11.12.21
9.	Paranduste sisseviimine ning lõpliku versiooni valmimine	21.12.21

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "21".12.2021a

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

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

Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/

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

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	10
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	11
SISSEJUHATUS	12
1 SÜSTEEMI EESMÄRK NING TÖÖPÕHIMÕTE	14
1.1 Lühiülevaade toodetavatest nugadest	14
1.2 Nugadele esitatavad nõuded.....	15
1.3 Noateritusjaama tehnoloogia- ja mehaanilise osa lühikirjeldus.....	16
1.3.1 Konveier	16
1.3.2 Tööstusrobot	17
1.3.3 Terituskäi.....	18
1.3.4 Käia vahatusseade	19
1.3.5 Ultrahelipesur	20
1.3.6 Lasergraveerimisjaam.....	21
2 TERITUST TEOSTAVA TÖÖSTUSROBOTI SOBIVUSE ANALÜÜS	22
2.1 Tööstusrobotite peamised omadused	22
2.2 Asendatava ABB roboti tehnilised andmed	23
2.3 Asendava Fanuc roboti tehnilised andmed	25
2.4 Asendava tööstusroboti sobivuse analüüs.....	26
3 AUTOMAATIKA PROJEKTEERIMINE	28
3.1 Automaatikasüsteemi projekteerimine	28
3.1.1 Juhtsüsteemi komponentide valik	28
3.1.2 Juhitavate seadmete plokk skeem	33
4 ELEKTRI- JA PNEUMAATIKASÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE	34
4.1 Elektrisüsteemi projekteerimine	34
4.1.1 Elektrisüsteemi üldiste komponentide kirjeldus	34
4.1.2 Nõrkvoolu toiteahela projekteerimine	35
4.1.3 Vahelduvvooluahela projekteerimine	36
4.1.4 Olemasoleva vahelduvvooluahela kirjeldamine ning kaitselülite sobivuse kontroll	36
4.2 Pneumaatika kirjeldamine	37
5 TÖÖSTUSKONTROLLERI JUHTPROGRAMM, STRUKTUUR.....	38
5.1 Programmi struktuur	38
5.2 Juhtsüsteemi kirjeldav voodiagramm	39

6 Tööstuskontrolleri andmevahetus.....	41
6.1 Tööstuskontrolleri ja tööstusroboti kontrollerivaheline suhtlus	41
6.1.1 Protsessidevaheline suhtlus – <i>socket messaging</i>	42
6.2 Andmete saatmise võimalused loogikakontrollerilt andmebaasi.....	42
6.2.1 Andmeedastusviiside lühikirjeldus.....	43
6.2.2 Andmeedastusviiside hüpoteetiline lühivõrdlus.....	45
6.3 Loogikakontrollerilt andmete edastamine SQL serverisse	46
6.3.1 SQL serveri loomine ning seadistamine.....	46
6.3.2 PLC SQL funktsioonibloki seadistamine	47
6.4 Teritusjaama kirjeldava moodsiku loomine Power BI keskkonnas	50
7 Teritusjaamas kasutatavad IoT rakendused ning digitaalse kaksiku kasutamise otstarbekus	52
7.1 Digitaalne kaksik	52
7.2 Teritusjaamal kasutatavad IIoT rakendused.....	54
KOKKUVÕTE	57
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	59
LISAD	62
LISA 1 – Teritusjaama tugev- ja nõrkvoolu elektriskeemid	63
LISA 2 – Teritusjaama pneumaatika skeem.....	75
LISA 3 – Teritusjaama olulisemate protsesside voodiagrammid.....	76

EESSÕNA

Antud magistritöö raames loodud parenduse vajadus kerkis esile ettevõttes OÜ Marttiini Estonia. Selles ettevõttes viidi läbi kõik käesoleva magistritöö raames tehtud tööd ning ka andmete kogumine.

Siinkohal sooviksin tänada ettevõtte OÜ Marttiini Estonia ning AS Rapala Eesti juhtkonda, et mulle anti luba käesoleva seadme arendusprotsessist kirjutada käesolev magistritöö.

Lisaks avaldan tänu kogu Tallinna Tehnikaülikooli personalile ja kaastudengitele, kellega olen õpingute vältel kokku puutunud. Te kõik olite abiks uute teadmiste omandamisel, läbi selle toetasite antud töö valmimist.

Olen tänulik kogu oma perekonnale, kes toetasid mind õpingute vältel ning motiveerisid õpinguid lõpetama.

Viimasena sooviksin tänada oma juhendajat, professor Anton Rassõlkinit. Tema kommentaarid ja nõuanded töö kirjutamisel olid suureks abiks.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

IFR - Rahvusvaheline Robotika Föderatsioon (ingl k International Federation of Robotics)

DT – digitaalne kaksik (ingl k digital twin)

SM – kommunikatsiooniviis sõnumite saatmiseks üle võrgu (ingl k socket messaging)

FDD – flopijam (ingl k Floppy Disk Drive)

USB – universaalne jadasiin, (ingl k Universal Serial Bus)

COM – järjestikport (ingl k communication port)

MQTT – ingl k Message Queuing Telemetry Transport

TDS – tabellaarne andmevoog (ingl k Tabular Data Stream)

OPC UA – masinast masinasse suhtlusprotokoll (ingl k Open Platform Communications Unified Architecture)

IIoT – tööstulik asjade internet (ingl k Industrial Internet of Things)

OASIS - Struktureeritud Teabestandardite Edendamise Organisatsioon (ingl k Organization for the Advancement of Structured Information Standards)

SISSEJUHATUS

Tänases kiirelt arenevas maailmas on tööstuse areng üheks olulisemaks suunaks nii valitsuste, ettevõtjate kui tarbijate huvides. Pidevalt tihenevas konkurentsisis otsitakse lahendusi kuidas tootmist efektiivistada kasutades erinevaid meetode – automatiseerimist, raiskamiste elimineerimist jne. Seeläbi võib praegust olukorda nimetada globaalselt tööstusliku tootmise võidujooksuks. Praegust tööstusvaldkonda iseloomustavateks märksõnadeks on Tööstus 4.0, Asjade Internet, tehisintellekt, digitaalne kaksik, suurandmed ja teised.

Tööstussektoris on läbi ajaloo toimunud mitmeid revolutsioone, mille tulemusena elame ajastul, mil tootmist üha enam digitaliseeritakse ning automatiseeritakse. Seda trendi näitab ka Rahvusvaheline Robotika Föderatsioon, mille andmetel installeeriti maailmas 2018. aastal 422 000 robotit ning 2019. aastal 373 000 tööstusrobotit. Vaadates pikemat ajavahemikku näitab statistika kasvutrendi antud sektoris. [2]

Illustreerimaks olukorda tööstussektoris on loodud mõõdik robotiseerimise tase, mis kirjeldab robotite arvu 10000 töötaja kohta. Näiteks 2018. aasta keskmine robotite tihedus globaalsel tasemel oli 74 robotit 10000. töötaja kohta. Euroopa keskmiseks tiheduseks on ligikaudu 99 robotjaama 10000 töötaja kohta ning Eesti on antud raportis 38. kohal 11. robotjaamaga 10000. töötaja kohta. [3]

Käesoleva magistritöö teema tekkis vajadusest uuendada nugade tootmisega tegeleva ettevõtte Marttiini Estonia OÜ noaterituse protsessi. Teritusjaama vana ABB tööstusrobot oli amortiseerunud. Sellest tulenevalt tekkis vajadus asendamaks ABB robotsüsteem uuema ja tõrkekindlama Fanuc robotsüsteemiga, mis oli Soome tehases kasutusele võtmata jäänud, kuna projekt, mille tarbeks see mõeldud oli, seisatati. Peamiseks erisuseks käesolevas töös valminud ning eelnevas amortiseerunud süsteemis on teritujaama juhtseade. Eelnevalt kasutati juhtseadmeks roboti kontrollerit, uue kontseptsiooni kohaselt on noateritusjaama juhtseadmeks tööstuslik programmeeritav loogikakontroller.

Antud projekt viidi läbi koostöös Marttiini Estonia OÜ tehniku ning tehnikajuhiga. Üheks projekti läbiviijaks oli ka käesoleva lõputöö autor. Noateritusjaam koosneb lisaks töösturobotile veel etteandekonveierist, liftist, vaha etteandeseadmest, terituskäiast ning ultrahelipesurist. Kõik süsteemi mehaanilised komponendid jäävad samaks. Süsteemis sisalduva elektri- ja automaatika projekteerimine, pneumaatika joonised, juhtsüsteemi loomine ja seadmete käivitamine välja arvatud robotkäpp on autori teha.

Magistritöö eesmärgi saavutamiseks analüüsitakse olemasolevat süsteemi, hinnatakse selle tehnilist olukorda ning seatakse tehniline ülesanne. Paika pandud ülesande toel tehakse ettepanekud, milliseid seadmeid täiendada, projekteeritakse süsteemi vahelduv- ja nõrkvoolu ahelad ning luuakse kogu juhtsüsteem noateritusjaama käivitamiseks. Viimasena veendutakse süsteemi kvaliteedis ja töökindluses kaasates tootmisspetsialistid. Töö põhiosas kirjeldatakse olemasolevaid süsteemi osasid, loodud süsteemi ning võimalikke parendusi ning arengusuundasid. Ahelaid kirjeldavad skeemid ning juhtsüsteemi loomisel koostatavad voodiagrammid tuuakse välja magistritöö lisades.

Töö erinevates etappides kasutatakse erinevaid tarkvarasid. Elektriskeemide koostamisel kasutatakse DesignSpark Electrical tarkvara. Pneumaatika skeemide koostamisel kasutatakse SMC-Pneudraw tarkvara. Tööstuskontrolleri programmeerimine viiakse läbi kasutades Siemens TIA Portal V16 tarkvara. Voodiagrammide loomiseks kasutatakse yEd Graph Editor tarkvara.

1 SÜSTEEMI EESMÄRK NING TÖÖPÕHIMÕTE

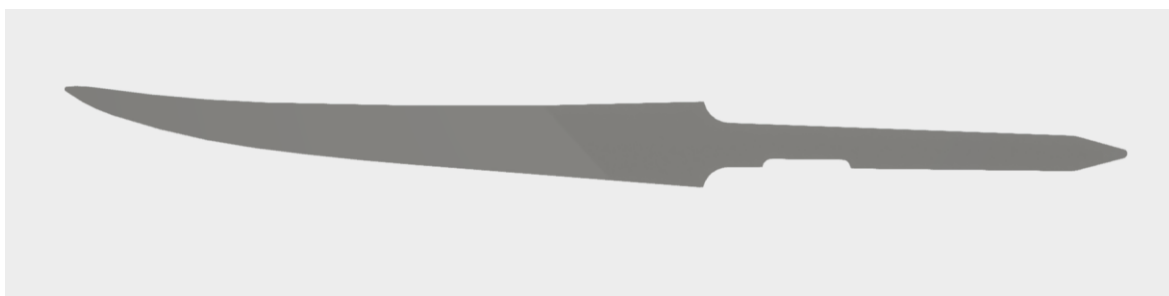
Järgnevas peatükis antakse ülevaade erinevatest teritatavatest noatüüpidest ning nende sihtotstarbest. Lisaks kirjeldatakse teritusjaama mehaanilist kontseptsiooni, millele projekteeritakse elektri- ja automaatikasüsteem. Selles peatükis välja toodud informatsiooni alusel määratakse noateritusjaamale esitatavad nõuded.

1.1 Lühiülevaade toodetavatest nugadest

Marttiini Soome alustas tegevust 1928. aastal. Algusaastatel arendati tooteid vastavalt kasutaja vajadustele. Sel ajastul toodeti vastupidavaid pussnuge.

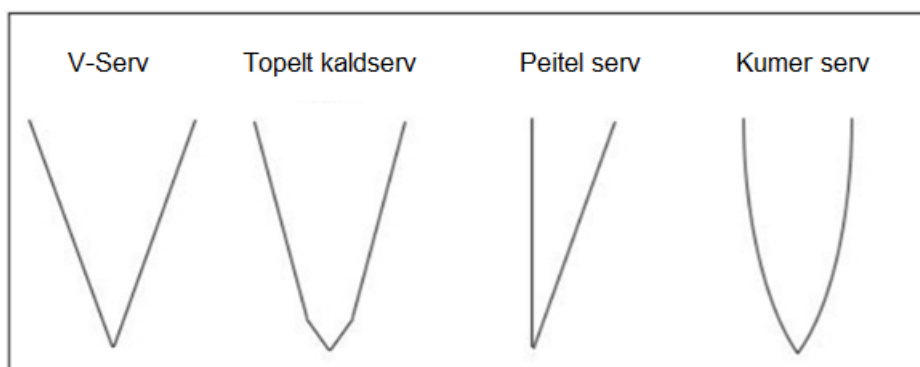
Alates 2005. aastast kuulub Marttiini Rapala VMC korporatsiooni. Tänapäevaks on tootesortiment kasvanud jõudsalt ning tootmine toimub nii Soomes kui Eestis. Sortimenti kuuluvad erinevad puss-, liigend-, jahi-, fileerimis-, disain- ning kööginoad. Tooted erinevad üksteisest lisaks funktsionaalsusele veel tera mõõtmete, tera materjali, tera pinnatöötlemise ning käepideme poolest.

Käesolevas töös käsitletakse noateritusjaama, mis on osa fileerimisnugade tootmisprotsessist. Käesolevas noateritusjaamas teritatakse 4. ja 6. tolli pikkuseid fileermisnoaterasid. Joonisel 1 on toodud 6. tollise fileerimistera 3D mudeli kujutis.



Joonis 1. 6. tollise fileerimistera.

Noateritusjaamas töödeldavad terad on olemuselt topelt kaldservaga, mille kuju on toodud joonisel 2 teiste enam levinud fileerimisterade teratüüpidega.



Joonis 2. Enam levinud kööginugade teratüüpide kujutised. [9]

1.2 Nugadele esitatavad nõuded

Fileerimisnugade puhul on tegu otseselt toiduga kokku puutuvate esemetega. Sellest tingitult on nende toodete turustamisele sätestatud nii riiklikud kui Euroopa Liidu pooled nõuded. Eestis tulenevad turustamise nõuded Eesti Vabariigi toiduseadusest ning Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrusest nr 1935/2004.

Toiduga kokkupuutuvat materjali ja eset tohib Eestis turustada, kui on tagatud järgnevad kriteeriumid [24]:

- see on toodetud head tootmistava järgides;
- sellest toitu erituv ainekogus ei ole tervisele ohtlik ega halvenda toidu omadusi;
- sellest toitu erituv ainekogus vastab kehtestatud piirangutele
- selle märgistus on nõuetekohane ning sisaldab asjakohasel juhul kasutusjuhiseid;
- selle märgistus, reklaam ja esitlus ei eksita tarbijat;
- selle jälgitavus on tagatud;
- sellega on asjakohasel juhul kaasas vastavusdeklaratsioon;
- andmed materjali- ja esemerühma kohta on majandustegevusteatega esitatud Põllumajandus- ja Toiduametile.

1.3 Noateritusjaama tehnoloogia- ja mehaanilise osa lühikirjeldus

Noateritusjaama uuendamise ja täiendamise vajadus tekkis peale ABB robotkäpa amortiseerumist. Uus noateritusjaam erineb eelnevast versioonist eelkõige uue juhtseadme integreerimise poolest, milleks on tööstuslik loogikakontroller. Lisaks paigaldatakse süsteemi Fanuc tööstusrobot. Järgnevalt kirjeldatakse teritusjaama tehnoloogilist ülesehitust, põhiprotsessi ning alamprotsesse.

Noateritusjaama võib jagada mitmeks väiksemaks osaks:

- teritusjaama teenindav konveier;
- Fanuc tööstusrobot;
- terituskäi;
- käia vahatamise seade;
- ultrahelipesuvann.

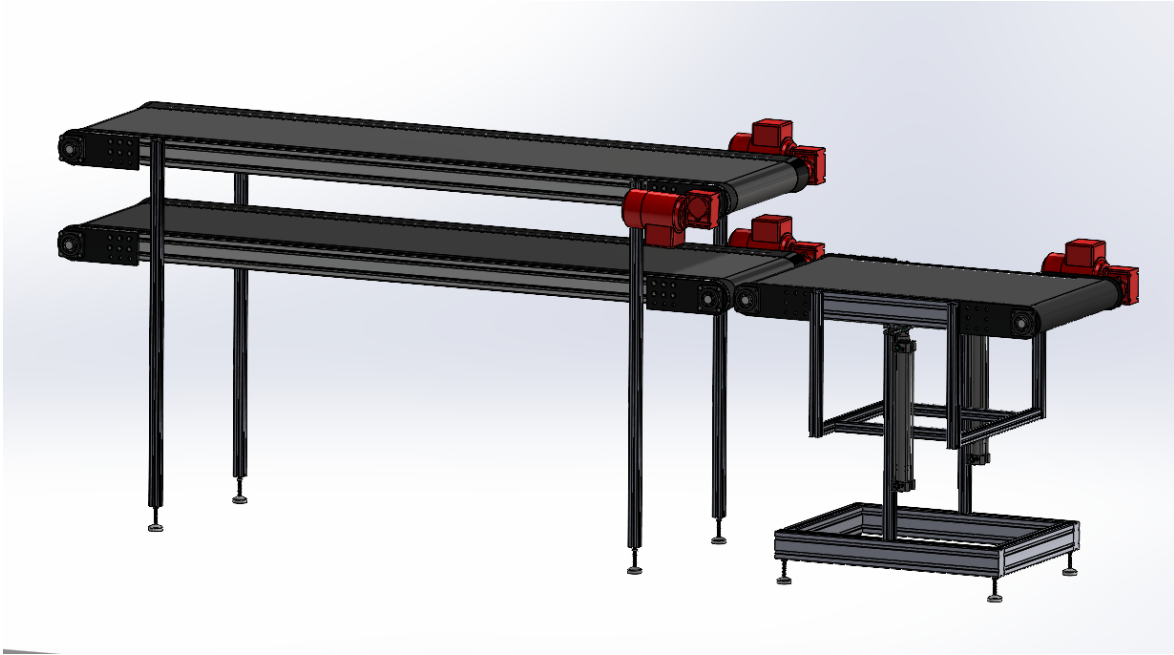
Järgnevalt vaadeldakse noateritusjaama protsesse eraldi alapeatükkides. Lisaks kirjeldatakse lühidalt noateritusjaamale järgnevat automatiseeritud lasergraveerimisjaama.

1.3.1 Konveier

Robotit teenindav konveier on kahetasapinnaline. Ülemine konveieriliin on etteandeliin, mille kaudu tuuakse spetsiaalne noaterade rest lifti peale. Liftil tühjendatakse rest robotkäpa poolt ükshaaval teradest ning seejärel laskub lift tühja restiga konveieri alumise liiniga samale tasapinnale. Tühi rest viiakse tagasi teenindusalasse, kus operaator täidab resti uute teritamata nugadega ning tõstab selle ülemisele konveieri tasapinnale. Nii ette- kui mahalaadimisliin mahutavad maksimaalselt 4 resti.

Konveieri etteandeliini ajamiseks on kaks asünkroonmootorit, mis on ühendatud ühise võlli kaudu. Alumisel tühjendusliinil on üks asünkroonmootor ning üks lõpulüliti. Lift paikneb konveierist eraldi raamil ning koosneb ühest revertsitavast asünkroonmootorist, kahest identsest pneumosilindrist, resti lukustist (pneumosilinder), kahest lõpulülitist ning kahest induktiivandurist. Konveier ning tõstuk on toodud 3D mudelina joonisel 3.

Üks rest mahutab kuni 100 tera. Sellega on võimalik teritusjaama töös hoida olenevalt tera suurusest vähemalt 1,5 tundi.



Joonis 3. Noateritusjaama konveiersüsteemi 3D mudel.

1.3.2 Tööstusrobot

Tööstuslikku robotit defineeritakse standardi EN 775 järgi kui automaatselt juhitud, ümberprogrammeeritavat, multifunktsionaalset, mitme vabadusastmega manipulaatorit sisaldavat masinat, mis on kas paikselt või mobiilselt installeeritud automatiseeritud tootmissüsteemidesse. [11]

Tänapäeva tööstusroboteid iseloomustavad [11]:

- Programmeeritavus erinevates keeltes ning keskkondades;
- Võimalus määratleda positsioone, koordinaatsüsteeme, liikumistrajektoori parameetreid ning korrata tegevust suure täpsusega;
- Tööstuskontrollerite võime kontrollida sisendeid ning väljundeid, töödelda informatsiooni, teostada andmesidet teiste seadmetega läbi erinevate andmesidekanalite, koordineerida robotite liikumist teiste seadmetega ning olla integreeritud arvuti- ning tööstussüsteemidesse.

Noateritusjaama keskseadmeks on tera teisaldav ning teritusoperatsiooni läbi viiv tööstusrobot Fanuc M6iB. Robotil on pneumaatiline haarats koos induktiivanduriga ning see on loodud haarama ühte tera korraga.

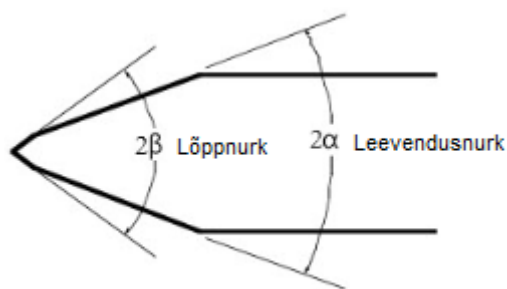
Resti liftile jõudmisel liigub robot resti kohale ja haarab täidetud resti pesast tera. Universaalse haaratsi küljes oleva induktiivanduri kaudu saab roboti kontrolleri tagasiside, kas haaratsi vahel on tera või mitte. Õnnestunud haarde järel liigutakse terituskäiani ning tehakse teritusoperatsioon identselt tera mõlemal küljel. Teritusoperatsioon on vastavalt tera pikkusele erinev nii programmiselt kui ajaliselt. Operaator määrab, millist tera töödeldakse, valides roboti õpetuspuldilt vastava programmi. Robot ise tera tüüpi ei tuvasta.

Teritamise järel viib robot tera ultrahelipesuri küljes oleva pneumohaaratsi vahele. Haaratsi kokku surumise järel vabastab robot tera oma haaratsist ning liigub lifti kohale uue tera järele.

100. tera töötlemise järel annab roboti kontrolleri väljundsignaali loogikakontrollerile, millele vastavalt tuuakse tühi rest tagasi teenindusalasse ning uute teradega rest liigutatakse liftile.

1.3.3 Terituskäi

Tera valmistatakse spetsiaalsest metallist, mis on lehtmaterjali kujul. Lehtmaterjalist lõigatud terale antakse eelnevalt lintlihvmasinal kuju ning selle üks serv töödeldakse CNC teritusseadmel kiilukujuliseks. Lisaks töödeldakse CNC seadmel tera lõppnurk. Peale geomeetria andmist liigub tera edasi terituskäiale. Terituskäial töödeldakse robotkäpaga tera lõikeserva (lõppnurka) mõlemalt küljelt. Antud protsessis on tööriistaks terituskäiale kinnitatud viltketas. Protsessi kirjeldab alltoodud joonis 4.



Joonis 4. Topelt kaldservaga tera. [10]

Joonisel 4 kujutatud teratüübil on kaks spetsiifilist teritusnurka. Suurema pinna teritusnurk on α , mida kutsutakse ka tagumiseks kaldservaks või leevendusnurgaks ning lõppnurk nimetusega β . [10]

Olenevalt tera tüübist on kaldservade teritusnurgad erinevad. Alltoodud tabelis 1.1 on lisaks fileerimisteradele välja toodud teritusnurgad.

Tabel 1.1. Erinevate kahekordsete kaldservadega terade teritusnurgad. [10]

Tera	2α	2β
Raseerimisterad, °	11-12	15-19
Köögi- ja fileermisnugade terad, °	3-10	20-30
Tarbenugade terad, °	13-20	30
Hakkimisnugade terad, °		30-60
Puidupeitlite terad, °	20-25	25-30

Lõpptulemusena eraldub tera lõppnurga terituskäial töötlemisel eelneval CNC töötlusprotsessil tekkiv jääkmaterjal, tera saavutab lõpliku teravuse ning pind jääb puhas ning särav.

Antud teritusjaama terituskäia tehnilised andmed on toodud alljärgnevas tabelis 1.2.

Tabel 1.2. Terituskäia tehnilised andmed nimeplaadilt.

Parameeter	Väärtus
Pinge, V	400
Voolutugevus, A	5,4
Võimsus, kW	2,2
Pöörlemiskiirus, r/min	1500
Sagedus, Hz	50
Faaside arv	3

1.3.4 Käia vahatusseade

Tera teritamiseks kasutatakse käial vildist ketast. Selleks, et viltketas üleliigselt ei kuluks ning tera pind jääks särav, vahatatakse ketast teatud arvu terituste järel. Lisaks tagab vaha kasutamine teritusel töödeldava pinna läike.

Käia viltketta vahatamise samm sõltub tera pikkusest. Mida lühemat tera töödeldakse, seda lühem on ajaliselt kontakt viltketta ja tera vahel. Eesmärgiks on saada kvaliteedile vastav tera, mida ei oleks vaja hilisemalt töödelda.

Käia vahatamise seade on aastaid tagasi Soome tehases valmistatud. Seadme valmistamisel on eesmärgiks olnud pikk eluiga ning töökindlus. Seade koosneb seitsmest erinevast pneumosilindrist, kuuest induktiivandurist pneumosilindrite

positsioneerimiseks, hüdroöli reservuaarist, hüdropumbast ning pneumosilindreid juhtivast suruõhu releeblokest.

1.3.5 Ultrahelipesur

Peale tera teritust puhastatakse tera vahajääkidest. Selleks kasutatakse ultrahelipesurit, mille pesuvahendi temperatuur on vahemikus 60-70 °C. Temperatuuri ja ultraheli poolt põhjustatud kavitatsiooni koostoimel eemalduvad tera pinnalt jäägid ning rasv.

Peale teritust asetab robotkäpp tera ultrahelipesuri korpuse külge monteeritud pneumohaaratsi vahele. Tera haaramise järgselt uputatakse tera pesuvanni ligikaudu 10. sekundiks. Seejärel liigub haarats tõstukil paiknevale restile ning alustab uut tsükli. Ultrahelipesuvann on kahte automaatset jaama siduv punkt. Teritusjaamast antakse tera pesuvanni puhastamise ning peale pesu haarab tera automaatsesse lasergraveerimisjaama kuuluv manipulaator. Lasergraveerimisjaama manipulaator haarab pesuvanni haaratsist pestud tera, positsioneerib selle asetada rakisesse ning seejärel asetab tera laserit läbivale konveierile.

Järgnevalt tuuakse välja tabelis 1.3 ultrahelipesuri tehnilised omadused.

Tabel 1.3. Kasutatav Finnsonic M120I ultrahelipesuri tootjapoolsed andmed. [25]

Tehniline informatsioon	Väärtus
Välismõõdud, mm	760x460x720
Ultraheli võmsus nom/max, W	1200/1400
Ultraheli sagedus, kHz	30
Küttevõimsus, W	4000
Pinge, V/Sagedus, Hz	400/230/50
Ühenduskoormus, W	5200

1.3.6 Lasergraveerimisjaam

Peale teritusjaama läbimist graveeritakse teradele logod. Peale tera pesu ultrahelipesuvannis, graveeritakse ettevõtte logo tera ühele küljele. Selleks kasutatakse lasergraveerimisjaama, mis koosneb Nachi manipulaatorist, konveierist, millel terad graveeritakse ning konveieri kohal asetsevast lasergraveerijast.

Manipulaator haarab pesuvanni rakisest tera, kuivatab selle liikudes läbi spetsiaalse õhudüüsidega tunneli, positioneerib tera enne konveierile asetamist spetsiaalsele rakisele asetades ning vaakumhaaratsiga haarab tera ning asetab selle konveierile. Konveieril asetsevad induktiivandurid tuvastada tera suuruse ning olenevalt tera tüübist graveeritakse automaatselt vastava suurusega logo. Peale graveerimist kukuvad terad konveieri lindilt otse kasti.

2 TERITUST TEOSTAVA TÖÖSTUSROBOTI SOBIVUSE ANALÜÜS

2.1 Tööstusrobotite peamised omadused

Tööstuslike robotite all peetakse silmas mitmelülilisi manipulaatoreid. Manipulaatori lülide arv määrab mitme telje suhtes on manipulaator võimeline end ruumis pöörama. Mida rohkem vabadusastmeid manipulaatoril on, seda rohkem erinevaid asendeid see suudab sisse võtta. Tänapäeval on saadaval 3. kuni 7. liigendiga manipulaatoreid. Alljärgnevas tabelis 2.1 tuuakse välja tänapäeva tööstusrobotite tähtsamad tehnilised näitajad [11].

Tabel 2.1 Tööstusrobotite peamised tehnilised näitajad [11]

Parameeter	Arvväärtus
Vabadusastmete arv	3-7
Kiirus, m/s	≤ 20 (keskmine 1-5)
Korratavuse täpsus, mm	0...1000
Tõstekaal, kg	1...1000
Resolutsioon, mm	0,001...0,5
Kiirendus, m/s ²	≤ 10 (keskmine 3-4)
Keskmine eluiga, a	12

Tööstusrobotite tootjaid on maailmas palju. Enam levinud liigendiliste tööstusrobotite tootjateks on Fanuc, KUKA, Universal Robots, Motoman ja teised. Osa neist valmistatakse ka Euroopas [12].

Kuna erinevaid tootjaid on palju ning robotite mudelid veel enam, tuleks panna paika kriteeriumid, millest tööstusroboti valimisel lähtuda. Järgnevalt tuuakse välja peamised aspektid, mille alusel tööstuslike roboteid hinnata [13]:

- Manipulaatori haardeulatus ja maksimaalne lubatud koormus;
- Paindlikkus, ehk mitme telje suhtes on vaja manipulaatoril liikumisi teha operatsiooni läbi viimiseks;
- Kiirus;
- Mõõdud ning paigaldusviis;
- Hooldusvälba pikkus, parandatavus ning varuosade saadavus;

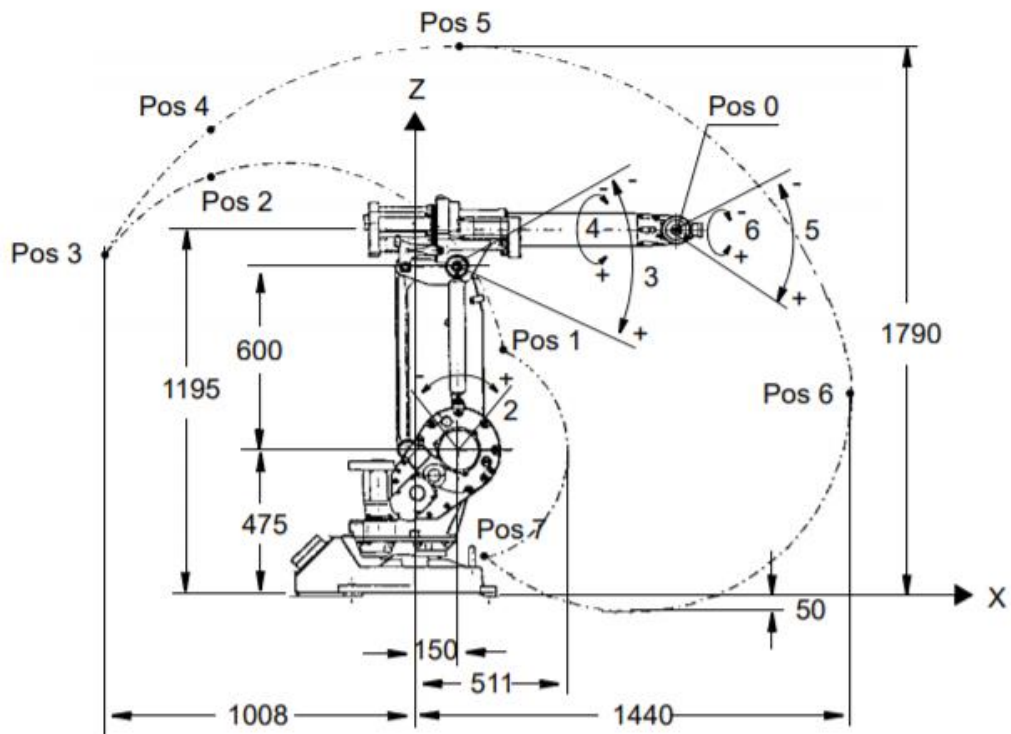
Kontrollerite puhul tuuakse antud juhul välja tootja poolt tagatud andmevahetuse võimalused. Kontrolleri mõõtmeid ei peeta antud juhul oluliseks.

Ettevõtte omab Fanuc tööstusrobotit, mida plaaniti kasutada lõpetamata jäänud projektis. Sellest tulenevalt on ettevõtte soov kasutada olemasolevat robotit käsitletavas noateritusjaamas. Seetõttu ei võrrelda käesolevas töös turul pakutavaid eri tootjate tööstusroboteid. Noateritusjaama paigaldatava Fanuc tööstusroboti sobivust hinnatakse eelnevalt samasse jaama kuulunud ABB roboti andmetele tuginedes. Eesmärk on asendada ABB robot vähemalt samaväärsel tööstusrobotiga nii, et teritusjaam ei vajaks protsessi muudatusi. Oluline on, et sisalduvate seadmete paigutust ei peaks muutma, välja kujunenud protsesse ei peaks kohandama sobivaks tulenevalt manipulaatori eripäradest ning tsükli-aeg ei pikeneks.

2.2 Asendatava ABB roboti tehnilised andmed

Amortiseerunud robotsüsteem koosneb ABB IRB1400 M98 manipulaatorist ning ABB S4 kontrollerist. IRB 1400 manipulaatori peamiseks kasutusvaldkondadeks tootja andmetel on kaarkeevitus, montaaž, liimimine/tihendamine, teiste seadmete teenindamine ning materjalide käitlemine.

ABB IRB1400 M98 puhul on tegemist tööstusrobotiga, millel on 6 telge. Manipulaatori haardeulatus on 1,44 m ning teisaldatav mass kuni 5 kg. Ühesuunalise asendikorduse täpsus on 0,05 mm, rajatäpsus 0,45-1,0 mm ja rajakorduse täpsuseks 0,14-0,25 mm. Manipulaatoril kulub vähemalt 0,2 mm täpsusega positsioneerimisele 35 mm pikkusel lineaarsel rajal 0,2-0,35 s ning 350 mm pikkusel lineaarsel rajal 0,45-0,6 s. Manipulaatori maksimaalne joonkiirus on 2,1 m/s ning selle mass 225 kg. Roboti liikumisulatus on toodud joonisel 5. [14]



Joonis 5. ABB IRB 1400 liikumisulatust kirjeldav joonis. [15]

Selleks, et võrrelda manipulaatoreid tuuakse järgnevalt tabelis 2.2 välja ABB IRB 1400 liikumisulatus ning liikumiskiirus telgede kaupa.

Tabel 2.2 ABB IRB 1400 liikumisulatus ning kiirus telgede lõikes [15].

Telg	Liikumisulatus (pöörlemisel), °	Liikumiskiirus, °/s
1	+/- 170	120
2	+20 kuni -100	120
3	+70 kuni -150	120
4	+150 kuni -150	280
5	+115 kuni -115	280
6	+/- 300	280

Kuna ABB S4 kontrolleri pärineb 1990. aastatest, puuduvad nimetatud kontrolleriil tänapäeval tavapärased võimalused. Sellegipoolest tuuakse järgnevalt välja tootjapoolsed andmevahetuse võimalused. Kontrolleri on varustatud floopiajamiga (FDD), mille abil on võimalik manipulaatori programme salvestada diskettidele. Selle iganenud tehnoloogia asendamiseks pakub tootja ajastukohasemat USB lisamoodulit. Lisaks FDD-le on kontrolleri varustatud kahe järjestikpordiga (COM). COM pordid erinevad üksteisest

andmevahetuse standardite poolest. Antud juhul toetatakse RS-232 ja RS-422 kommunikatsioonistandardeid. Kontrollerile on võimalik lisada ka Ethernet võrgumoodul [26].

2.3 Asendava Fanuc roboti tehnilised andmed

Fanuc tööstusrobot koosneb M-6iB manipulaatorist ning R-J3iB kontrollerist. M-6iB manipulaatori peamiseks kasutusvaldkondadeks tootja andmetel on seadmete teenindamine, materjalide käitlemine, montaaž, haaramine ja pakkimine, materjali eemaldamine.

M-6iB manipulaator on 6. teljeline. Haardeulatus kuni 1,37 m ning maksimaalne teisaldatav mass 6 kg. Tehnilisel spetsifikatsioonil on välja toodud manipulaatori korratavuseks +/- 0,08 mm. Roboti mass on 138 kg. [27]

Fanuc R-J3iB kontroller on varustatud viie järjestikpordiga. Port P1 on reserveeritud roboti juhtpuldiga ühendamiseks vastavalt RS-422 standardile. Pordi P2, P3 ja P4 kaudu on võimalik ühendada kontrolleriga iga RS-232 standardit järgiva seadme. Port P5 on samuti vaba ühendamaks kontrolleri seadmega RS-422 või RS-232 standardi alusel. Järgnevalt tuuakse tabelis 2.3 välja Fanuc M-6iB manipulaatori liikumisulatus ning liikumiskiirus telgede kaupa. [27]

Tabel 2.3 Fanuc M-6iB liikumisulatus ning kiirus telgede lõikes [27]

Telg	Liikumisulatus (pöörlemisel), °	Liikumiskiirus, °/s
1	+/- 170	150
2	+160 kuni -90	160
3	+145 kuni -170	170
4	+/- 190	400
5	+/- 140	400
6	+/- 360	520

2.4 Asendava tööstusroboti sobivuse analüüs

Järgnevalt tuuakse välja peamised erinevused peatükkides 2.1 ja 2.2 välja toodud robotite vahel. Mõlemal juhul on tegemist 6. telje suhtes liikuvate liigenditega manipulaatoritega. Mõlema manipulaatori maksimaalselt lubatavast teisaldatavast massist piisab vajaliku protsessi läbi viimiseks. Haaratsi kaal on alla 1 kg ning tera kaal ei ületa 0,1 kg. Fanuc manipulaatori haardeulatus on 7 cm lühem võrreldes ABB seadmega, kuid see ei ole antud juhul määrav. Haardeulatus on antud tootmisjaama teiste seadmete paigalduse suhtes piisav. Korratavuse täpsust siinkohal kriteeriumina kahe manipulaatori võrdlemisel välja ei tooda, kuna see jääb mõlemal seadmel alla 0,1 mm, mis loetakse antud käsitluses piisavaks.

Liikumisulatuse ning liikumiskiiruse võrdluseks on mõlema manipulaatori tootjapoolsed andmed välja toodud tabelis 2.4.

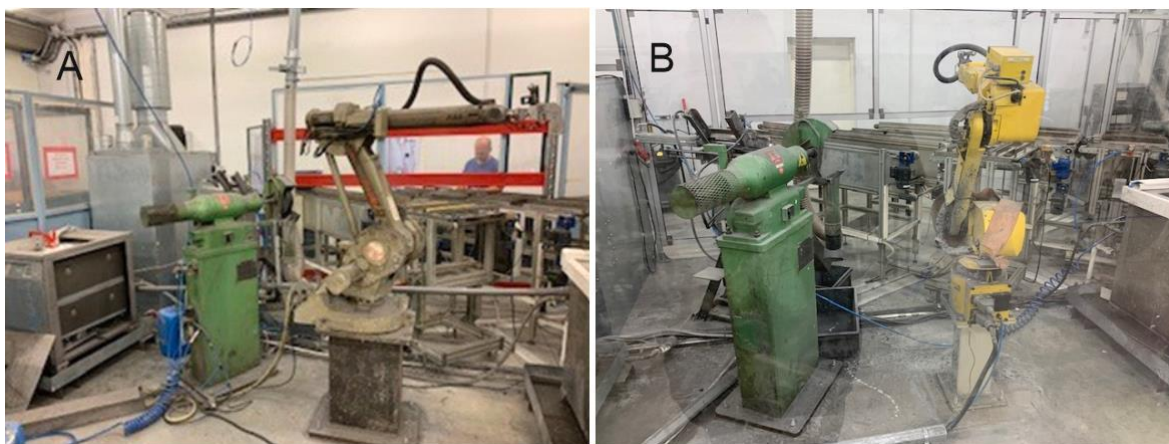
Tabel 2.4 ABB IRB 1400 ja Fanuc M-6iB liikumisulatused ning liikumiskiirused telgede lõikes.

Telg	ABB liikumisulatus, °	Fanuc liikumisulatus, °	ABB liikumiskiirus, °/s	Fanuc liikumiskiirus, °/s
1	+/- 170	+/- 170	120	150
2	+20 kuni -100	+160 kuni -90	120	160
3	+70 kuni -150	+145 kuni -170	120	170
4	+150 kuni -150	+/- 190	280	400
5	+115 kuni -115	+/- 140	280	400
6	+/- 300	+/- 360	280	520

Toetudes tabelis 2.4 toodud tulemustele saab järeldada, et Fanuc manipulaatori liikumisulatus on suurem ABB manipulaatoriga võrreldes. Esimese telje liikumisulatus on kahel robotil võrdne ning ülejäänud viiel teljel on Fanuc manipulaatori liikumisulatus suurem. Kuna liikumisulatuse kriteerium on asendaval robotil täidetud ning installeeritakse robot sarnaselt eelneva ABB robotiga, ei peeta oluliseks läbi viia eelnevat singulaarsuse kontrolli.

Võrreldes manipulaatorite liikumiskiiruseid tuleb välja, et Fanuci iga telje kiirus on suurem ABB manipulaatori vastava telje kiirusest. Seega Fanuc töösturobot täidab peatükis 2 seatud kriteeriumid ABB tööstusroboti asendamiseks.

Joonisel 6 on kujutatud teritusjaama enne ja pärast tööstusroboti vahetust.



Joonis 6. Teritusjaam vana manipulaatoriga (A) ning uue manipulaatoriga (B).

3 AUTOMAATIKA PROJEKTEERIMINE

Antud peatükis kirjeldatakse modifitseeritava tootmisraku automaatikasüsteemi projekteerimist. Järgnevalt tuuakse välja süsteemis sisalduvad automaatikakomponendid ning põhjendatakse peamiste komponentide valikut. Lisaks kirjeldatakse valitud juhitavat tehnoloogiat ning luuakse juhtsüsteemi kirjeldav plokkskeem. Teritusjaama nõrk- ja tugevvoolu elektriskeemid tuuakse välja Lisas 1.

3.1 Automaatikasüsteemi projekteerimine

Automaatikasüsteemi projekteerimine on oluline määramaks kõik süsteemis sisalduvad automaatikakomponendid, mille abil teostatakse automatiseeritud noa teritusprotsess. Valitavate komponentide hulka kuuluvad puuduolevad andurid pneumotäiturite positsioonide määramiseks, tööstuskontroller ning sellega seonduv. Olemasolevaid täitureid ja andureid ei põhjendata, kuna pole võimalik valikukriteeriumeid kirjeldada ning lisaks on tegu standardsete komponentidega. Nendeks on pneumaatilised täiturid, pneumoklapid, induktiivandurid ning lõpulülid. Antud töö raames ei projekteerita teritusjaamale turvaahelat, mis hõlmaks turvavärvaid ja -kardinaid. Turvasüsteemi loomist loetakse eraldiseisvaks projektiks.

3.1.1 Juhtsüsteemi komponentide valik

Automaatikasüsteemi toimivuse tagamiseks on väga oluline automaatikasüsteemi projekteerimise etapis määrata süsteemi sobivad komponendid. Kõige olulisem on valida süsteemi kriteeriumeid arvesse võttes sobiv tööstuskontroller – PLC.

PLC on lühend kontrollerile, millega tähistatakse arvutit, mis on seotud töomasina andurite ja täituritega ning mis on kohandatud teatud tüüpi juhtimisülesannete jaoks. Lihtne PLC koosneb: [6]

- Toitemoodulist (PS) – varustab PLCd toitepingega, mis saadakse 120/230 V vahelduvvooluvõrgust või 24 V alalisvooluvõrgust;

- Keskjuhtimismoodulist (CPU) – PLC aju, mis töötleb automatiseeritud protsessi või masina juhtimisprogrammi, mis on salvestatud sisseehitatud programmimälusse. Peale juhtimisprogrammi töötlemist määrab CPU teiste PLCs olevate moodulite parameetreid, haldab andmesidet programmeerimisseadmega, PLC laiendusmoodulitega, teiste PLCdega ja/või teiste seadmetega nagu näiteks operaatoripaneel. Keskjuhtimismoodul võib omada eraldi toitesisendit, mälulaienduspesa (SD kaardi jaoks) ja andmesideliidest;
- Signaalimooduli(te)st (SM) – on sisend-väljundmoodulid digitaal- ja analoogsignaalide jaoks, mis tulevad anduritest kontrollerrisse või lähevad sealt lülititesse, täituritesse ja teistesse seadmetesse. Signaalimoodul teisendab saabuvad signaalid niisuguse vormi, mida PLC suudab töödelda ning toimetab vastupidiselt väljuvate signaalidega.

Vastavalt standardi IEC 61131 järgi defineeritakse PLC-d kui digitaalselt toimivat elektroonilist süsteemi, mis on mõeldud kasutamiseks tööstuslikus keskkonnas, mis kasutab kasutaja juhiste ja funktsioonide nagu loogika, järjestus, ajastus, loendus ja aritmeetika salvestamiseks programmeeritavat mälu ning kontrollib läbi digitaal- või analoogsisendite ja -väljundite mitmesuguseid masinaid või protsesse. Nii PLC kui ka sellega seotud välisseadmed on projekteeritud nii, et neid saab hõlpsasti integreerida tööstusliku juhtimissüsteemi ning neid saab kergelt kasutada kavandatud funktsioonide teostamiseks. [5]

Tööstuskontrolleri valikul rakenduse juhtimiseks võetakse aluseks vajalike sisendite ning väljundite kogus ning funktsionaalsus. Alljärgnevalt tuuakse välja peamised kriteeriumid, mida kontrolleri valikul arvestada: [16]

- lähteülesandest tulenevad nõuded;
- protsessist tulenevad nõuded;
- vajaminevate sisendite ja väljundite arv;
- sisendite ja väljundite tüüp (analoog / digitaal);
- protsessori kiirus – ühe programmi tsükli läbimise aeg;
- sisemälu maht;
- elektrilised parameetrid – toide, sisendite ning väljundite toide;
- andmeside – mil viisil lahendatakse andmevahetus erinevate süsteemi osade vahel;
- tarkvara – kättesaadavus ning kasutaja kogemus;
- kasutajaliides;
- füüsiline keskkond – millised keskkonnategurid mõjutavad seadme tööd (temperatuur, tolm, jne)

Sisendite hulga määravad ära andurid ning roboti kontrolleriist väljuvad digitaalsed signaalid. Väljundite arvu määravad pneumotäiturid ning roboti kontrolleriile antavad digitaalsed signaalid. Käesoleva süsteemi puhul kasutatakse 24 V DC digitaalseid sisendeid ning väljundeid. Tabelis 3.1 tuuakse välja kõik protsessi sisendid ja väljundid (I/O punktid).

Tabel 3.1. Teritusjaama protsesside I/O punktid.

Tähis	Kirjeldus	DO	DI
START	Start lüliti kilbil		1
STOP	Stop lüliti kilbil		1
RESET	Reset lüliti kilbil		1
Z1.1_S1_OK	Induktiivandur vaha etteandesilindril, alg		1
iZ1.1_S2_LOW	Induktiivandur vaha etteandesilindril, keskmine		1
Z1.1_S3_EMPTY	Induktiivandur vaha etteandesilindril, lõpp		1
Z5.1_S4_DOWN	Tõstuki asendi induktiivandur, all		1
Z5.1_S5_UP	Tõstuki asendi induktiivandur, üleval		1
Z7_S6_BACK	Induktiivandur vahatamise silindril, silinder taga		1
CONVEYOR_S7	Lõpulüliti tõstuki küljel		1
CONVEYOR_S8	Lõpulüliti tõstukil		1
LIFT_S9	Lõpulüliti ülemisel konveieril		1
AIR_S11	Suruõhulüliti		1
FANUC_EMPTY	Robotilt signaal, rest tühi		1
FANUC_VAX	Robotilt signaal, ketas poolerida		1
SAFETY_M1	Käia turvalüliti		1
MPS_M1	Käia mootorikaitselüliti		1
MFB_M1	Käia tagasiside		1
WORK	Süsteemi oleku indikaator kilbil	1	
ALARM	Alarmi indikaator kilbil	1	
Y1	Pneumorelee, vahatuubi etteande silindri tagastumine	1	
Y2	Pneumorelee, vaha lukusti	1	
Y3	Pneumorelee, uue vaha sisse kukutamine	1	
Y4	Pneumorelee, restilukk	1	
Y5	Pneumorelee, tõstuki juhtimine	1	
Y6	Pneumorelee, vahatuubi etteandmine (hüdropump)	1	
Y7	Pneumorelee, ketta vahatamine	1	
M1_WORK	Käi tööle	1	
M2.1_M2.2_WORK	Konveieri ülemise liini mootorid	1	

M3_WORK	Konveieri alumise liini mootor	1	
M4_WORK_UP	Tõstuki mootor, peale	1	
M4_WORK_DOWN	Tõstuki mootor, maha	1	
FANUC_WORK	Signaal robotile, rest kohal	1	

Tuginedes tabelis 3.1 toodud I/O punktidele on digitaalsete sisendite minimaalne arv on 18 ning väljundite minimaalne arv on 15. Analoogsignaalide käsitlemist antud juhul ette ei nähta, seega nende arv ei ole oluline.

Süsteemi loomisel peab arvestama asjaolu, et tulevikus plaanitakse roboti töötundide ning veateadete info edastada võrgus paiknevasse andmebaasi läbi tööstuskontrolleri. Eelnevalt on ettevõtte kasutanud Microsoft Azure teenuseid andmehalduseks, seega peab antud juhul saama andmed nimetatud andmebaasi, et kogu info talletataks ühes kohas. See tähendab, et kontroller peab võimaldama andmebaasile sobiva andmesideprotokolli alusel suhtlust. Kommunikatsioonivõimalusi uuritakse antud töö järgnevates peatükkides.

Tööstuskontrolleri valikut kitsendab lisaks asjaolu, et ettevõtte soov on kasutada Siemens tööstuskontrollerit. Kuna senised projektid on ettevõttes läbi viidud Siemens kontrolleritel ning tarkvara vajalike muudatuste tegemiseks on olemas. Samuti on Siemens toodete kättesaadavusega rahule jäänud. Siemens pakub peamiselt kahte erinevat S7 seeriasse kuuluvat kontrolleri mudelit. Nendeks on S7-1200 ning S7-1500. Alljärgnevas tabelis 3.2 tuuakse välja peamised erinevused kahe nimetatud tööstuskontrolleri mudeli vahel.

Tabel 3.2 Siemens S7-1200 ning S7-1500 tööstuskontrollerite peamised erinevused. [17]

Parameeter	S7-1200	S7-1500
Kasutusvaldkond	Madala- ning keskmise tasemega juhtsüsteem	Keskmise- ning kõrge tasemega juhtsüsteem
Juhtsüsteemi suurus	Väike kuni keskmine	Keskmine kuni suur
Hind alates (CPU)	177,47 €	1258,14 €

Arvestades süsteemile seatud nõudeid ning tabelis 3.1 välja toodud hindasid, valitakse automaatikat juhtivaks seadmeks Siemens S7 - 1200 seeria tööstuskontroller. Valitud seeriat kirjeldab tootja kui kompaktselt kontrollerit madala- ning keskmise tasemega juhtsüsteemi loomiseks. Kõige sobivamaks S7-1200 seeria kontrolleritest osutuks antud juhul CPU 1214C DC/DC/DC 14DI/10DO/2AI. Valitud kontrollerit kirjeldav oluline tehniline info on välja toodud alljärgnevas tabelis 3.3.

Tabel 3.3 CPU 1214C peamised tehnilised andmed. [28]

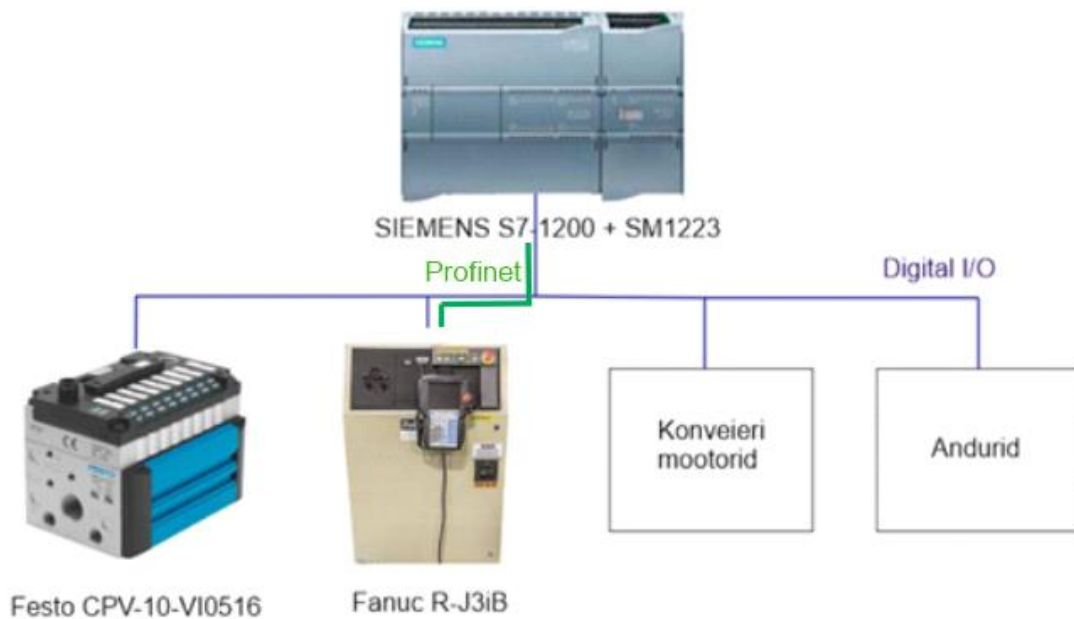
Lubatud toitepinge (DC), V	20,4-28,8
Maksimaalne voolutarve, A	1,5
Töömälu, KB	50
Sisemälu (andmete hoiustamiseks), MB	4
Maksimaalne laiendmoodulite arv <ul style="list-style-type: none"> • Andmeside moodul • Signaalimoodul • Lisamoodul 	<p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">1</p> <p style="text-align: center;">8</p>
Digitaalsed sisendid ja väljundid	14 sisseehitatud digitaalset sisendit (sealhulgas 6 <i>High Speed Counting</i>); 10 sisseehitatud digitaalset väljundit (sealhulgas 4 <i>Pulse-Train-Output</i>)
Analoog sisendid ja väljundid	2 sisseehitatud analoogsisendit
Andmeside	PROFINET, Ethernet, MODBUS

Vajaminevateks sisendite ja väljundite minimaalseks arvuks on määratud vastavalt 18 ja 15. Valitud kontrolleri sisseehitatud sisendite ja väljundite arvust ei piisa. Vajaliku koguse sisendite ja väljundite tagamiseks lisatakse kontrolleri laiendmoodul. Lisatavaks laiendmooduliks valitakse Siemens SM 1223 DC/DC. Antud laiendmooduli kasutuselevõtt lisab juhtsüsteemi 8 digitaalset sisendit ning 8 digitaalset väljundit.

Kasutajaliidese lisamist antud süsteemi puhul ei peeta otstarbekaks. Vajaduse tekkimisel tulevikus on võimalik see hõlpsalt juhtsüsteemi integreerida, vajalikud andmesidekanalid on selleks tagatud.

3.1.2 Juhitavate seadmete plokk skeem

Teades süsteemi kuuluvaid juhitavaid seadmeid ning juhtseadet on võimalik kirjeldada seadmeid hierarhiliselt plokk skeemil vastavalt seadmete juhtimise meetodile. Järgnevalt tuuakse välja eelnevalt valitud automaatikasüsteemi komponendid ning andmevahetusmeetodid, seda kirjeldab joonis 7. Antud joonisele tuginedes viiakse järgnevates peatükkides läbi tugev- ning nõrkvoolusüsteemide projekteerimine, pneumaatika kirjeldamine ning juhtsüsteemi loomine.



Joonis 7. Juhitavate seadmete ning tehnoloogia plokk skeem.

4 ELEKTRI- JA PNEUMAATIKASÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE

Antud peatükk käsitleb modifitseeritava tootmisraku elektrisüsteemi projekteerimist, olemasoleva elektrisüsteemi kirjeldamist ning olemasolevat pneumaatikasüsteemi. Järgnevalt tuuakse välja süsteemis sisalduvad elektrikomponendid ning põhjendatakse peamiste komponentide valikut. Lisaks kirjeldatakse olemasolevaid elektri ahelaid ning kontrollitakse ahelate kaitsmete valiku sobivust. Vastavalt valitud komponentide tehnilistele parameetritele projekteeritakse tugev- ja nõrkvoolu osa ning luuakse elektriskeemid süsteemi loodava täiendava elektriosa kohta. Lisaks kirjeldatakse eraldi alapeatükis süsteemis kasutatavaid pneumaatika komponente, sealhulgas täitureid ning pneumaatilisi klappe.

4.1 Elektrisüsteemi projekteerimine

Peale automaatikasüsteemi komponentide määramist alustatakse elektrisüsteemi projekteerimisega. Elektrisüsteem koosneb nii nõrkvooluahelast kui vahelduvvoolu toiteahelast. Elektrisüsteemi projekteerimist alustatakse nõrkvooluahela projekteerimisest. Nõrkvoolu osa koosneb antud süsteemis 24 V alalisvooluahelast. Seejärel projekteeritakse vahelduvvoolu toiteahel.

Vahelduvvoolu toiteahel säilib suures osas olemasolevana. Antud juhul kontrollitakse olemasolevate ahelate sobivust läbi kaitseaparaatide sobivuse hindamise vastavalt koormustele ning projekteeritakse toiteahel antud töö raames valminud automaatikale. Elektrisüsteemi projekteerimisel lähtutakse Eesti Vabariigis kehtivale standardile EVS-EN 60204-1:2018 (MASINATE OHUTUS, Masinate elektriseadmed, Osa 1: Üldnõuded). Projekteeritud vahelduvvoolu toiteahela elektriskeemid on toodud Lisas 1.

4.1.1 Elektrisüsteemi üldiste komponentide kirjeldus

Antud elektrisüsteemi loomisel kasutatakse ühtselt vasest juhte. Juhtide värvid valitakse vastavalt standardis IEC 60757 välja toodule. Nimetatud standardit järgitakse ainult käesolevas töös projekteeritavate ja loodavate elektrisüsteemi juhtide puhul. Olemasolevaid ahelaid ei muudeta. Järgnevalt on kirjeldatud juhtide värve tuginedes IEC 60757 standardile: [29]

- vahelduv- ja alalisvoolu jõuahelad – must;
- vahelduvvoolu juhtimisahelad – punane;
- alalisvoolu juhtimisahelad – tumesinine;
- erandlikud ahelad – oranž.

Neutraaljuhi tunnuseks kasutatakse helesinise isolatsiooniga juhti. Kaitsejuhi puhul kasutatakse kollarohelist juhti. Nimetatud värvikombinatsioon on reserveeritud üksnes kaitsejuhi ja kaitse-potentiaaliühtlustusjuhi jaoks. Ahelate omavahelisteks ühendusteks kasutatakse spetsiaalseid ühendusklemme.

4.1.2 Nõrkvoolu toiteahela projekteerimine

Käsitletava süsteemi nõrkvooluahelates kasutatakse ühtselt 24 V alalisvoolutoidet. Alalisvooluahela ülesandeks on juhtsüsteemi toitega varustamine ning andurite toite tagamine. Järgnevalt tuuakse tabelis 4.1 välja seadmed, mis kuuluvad nõrkvoolusüsteemi.

Tabel 4.1 Nõrkvoolusüsteemi kuuluvad komponendid ning nende poolt tarbitav vool

Komponendi tootekood	Kommentaar	Tarbitav vool, A	Kogus, tk
CPU 1214C DC/DC/DC 14DI/10DO/2AI	Siemens tööstuskontroller	1,6	1
JetNet 3008	Profinet kommutaator	0,125	1
CPV-10-VI0516	Pneumo releeblokk	2	1

Lisaks tabelis 4.1 toodud tarvititele vajavad toidet kõik süsteemi kuuluvad andurid. Andurite voolu hulga leidmiseks lähtutakse sellest, et ühe anduri keskmine tarbitava voolu hulk on 0,01 A. Süsteemis on kokku 6 induktiivandurit. Seega loetakse andurite poolt tarbitavaks vooluhulgaks 0,06 A. Kogu projekteeritava nõrkvoolu osa poolt tarbitava voolu hulk on ligikaudu 3,8 A.

Teades alalisvoolukomponentide poolt tarbitavat koguvoolu valitakse ahelasse sobiv toiteallikas. Toetudes varasemale kogemusele Weidmülleri toodetega valitakse alalisvoolu toiteallikaks Weidmüller PRO ECO 240W 24 V/10 A toiteplokk. Arvestades vajaminevat vooluhulka on toiteplokk valitud piisava varuga, et vajadusel oleks võimalik süsteemi lisada alalisvoolu seadmeid.

4.1.3 Vahelduvvooluahela projekteerimine

Teades süsteemi kuuluvaid komponente ja vahelduvvoolu toidet vajavaid seadmeid, alustatakse vahelduvvoolu toiteahela projekteerimist. Antud süsteemi kuuluvad vahelduvvoolu toidet vajavad seadmed on välja toodud alljärgnevas tabelis 4.2. Tabelis on välja toodud seadmed, nende poolt tarbitavad vooluhulgad ning vastavalt tarbitavale vooluhulgale leitud soovituslik kaitselüliti.

Tabel 4.2 Vahelduvvoolu toiteahela seadmed ning nende poolt tarbitavad vooluhulgad

Komponendi tootekood	Kommentaar	Tarbitav vooluhulk, A	Soovituslik kaitselüliti
1469490000	24 V DC toiteplokk	1,23	C 6 A
123175	Terituskäi	4,5	C 16 A

Tuginedes tabelis 4.2 toodud infole määratakse elektrikiilbi sisendtoiteahelaks 3-faasiline vahelduvvoolu toide. Kiilpi siseneva toitekaabli otsad ühendatakse kindlatesse terminalidesse, mis on markeeritud vastavalt IEC 60445 standardile – L1, L2, L3, N, PE.

4.1.4 Olemasoleva vahelduvvooluahela kirjeldamine ning kaitselülite sobivuse kontroll

Teritusjaamas olemasolev vahelduvvooluahel koosneb tööstusroboti toitest, konveieri ning noaresti lifti ajamite toitest. Järgnevalt tuuakse välja ahelate tarbijad ning nende ees olevate kaitselülite tunnusuurused. Lisaks tuuakse välja soovitusliku karakteristikuga kaitselülid igale tarbijale.

Tabel 4.3 Olemasoleva vahelduvvoolu toiteahela seadmed ning nende poolt tarbitavad vooluhulgad.

Seade	Kommentaar	Tarbitav vooluhulk, A	Kaitselüliti	Soovituslik kaitselüliti
Fanuc R-J3iB	Robotsüsteem	3,6	B 16 A	B 16 A
Moves MS 56B-4	Konveieri ajamid 4 tk	0,74	C 6 A	C 6 A
Finnsonic M120I	Ultrahelipesur	7,8	C 16 A	C 16 A

4.2 Pneumaatika kirjeldamine

Käsitletava teritusjaama pneumosüsteemi peamisteks komponentideks on peatrassi rõhuandur, releeblokk ning täiturid. Rõhuanduriga kontrollitakse suruõhu olemasolu süsteemis. Kõik süsteemi ühendatud täiturid on kahepoolse toimega ning omavad amortisaatoreid. Pneumotäitureid juhitakse tööstuskontrolleri väljunditega läbi Festo releebloki. Täiturite juhtimiseks on hõivatud tööstuskontrolleri 7 digitaalset väljundit. Täiturite positsioneerimiseks kasutatakse induktiivandureid. Lisaks suruõhule kasutatakse süsteemis silindri Y1.1 juhtimiseks hüdraulikat. Autori hinnangul ei ole see otstarbekas ning pakub välja järgmise sammuna ühtlustada vahatamissüsteemi. Seejuures kaotada vahatamissüsteemist hüdraulika osa ning läbi selle lihtsustada vahatamiseseadme juhtahelat ning seeläbi töökindlust. Pneumosüsteemi kirjeldav skeem on välja toodud lisas 2.

5 TÖÖSTUSKONTROLLERI JUHTPROGRAMM, STRUKTUUR

Peale teritusjaama integreeritava tööstuskontrolleriga seonduva automaatika- ja elektrisüsteemi koostamist, alustatakse juhtprogrammi loomisega. Juhtprogrammi loomisel alustatakse programmi osade tutvustamise ja põhiosa struktuuri kirjeldamisega. Juhtprogrammi kirjeldamise järel luuakse kogu süsteemi tööloogikat kirjeldavad voodiagrammid, mille alusel programmeeritakse vastav juhtprogramm tööstuskontrolleril. Peamiste protsesside voodiagrammid on toodud Lisas 3.

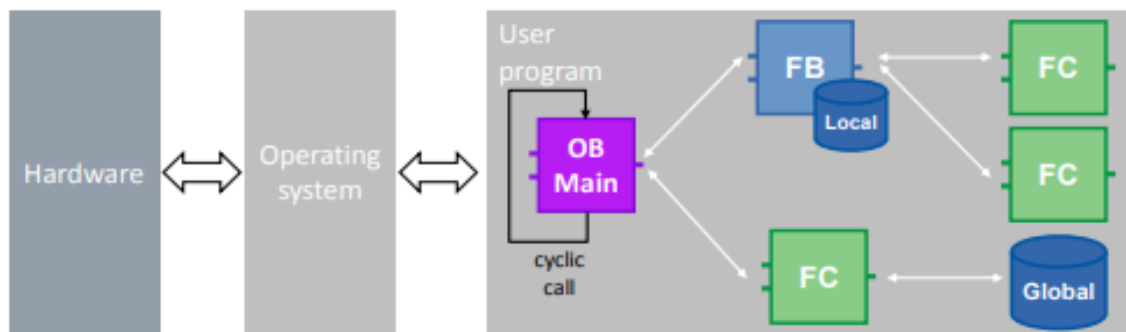
5.1 Programmi struktuur

Seadme juhtprogrammi loomisel lähtutakse standardist EVS-EN 61131-3:2013. Antud standardi kohaselt kutsutakse plokkide, millest programm luuakse, programmi korralduslikeks plokkideks (POU). Siemens TIA Portali tarkvaras jaotatakse POUd järgmiselt [6]:

- funktsioon (FC) – POU, millel saab olla omastatud parameetreid aga millel puuduvad staatilised muutujad (puudub mälu). Kui sisendparameetrid ei muutu, ei muutu ka väljundi väärtus [6];
- funktsiooniplokk (FB) – funktsiooniplokile on omistatud sisemine mäluala – *instance data block* (DB). Funktsiooniploki väljund sõltub sisemistest ja välistest muutujatest, mida salvestatakse programmi põhiprogrammi tsükli käigus [6];
- organisatoorne plokk (OB) – tsükliliselt tööstuskontrolleri poolt jooksutatav põhiprogramm, mis on liides kasutaja poolt loodud programmi ja tööstuskontrolli operatsioonisüsteemi vahel [6].

Ülaltoodud plokkide kasutamisel luuakse programmeerija poolt seadme juhtprogramm. Seadme juhtprogrammi ülesandeks on loodud plokkide abil teostada soovitud ülesannet. Kasutaja poolt loodud programmi käivitatakse alati tsükliliselt operatsioonisüsteemi poolt. Põhiline osa programmist kirjutatakse organisatoorse ploki (OB) sisse. Seejärel kutsutakse OBs esile erinevaid funktsioone ja funktsiooni plokkide. Funktsioonidel ning funktsiooniplokkidel on igaljuhul kindlalt programmeeritud ülesanne, mida tuleb teostada. OB ülesandeks on edastada kogu programmi ühe tsükli käigus kogutud info tööstuskontrolleri operatsioonisüsteemile, mis seejärel lülitab vajalikke väljundeid ja vahetab andmeid võrgus olevate teiste seadmetega. Täpsemalt annab

ülevaate tööpõhimõttest SIMATIC kontrollrite programmi kõrgema taseme struktuuri kirjeldav alljärgnev joonis 8. [7]



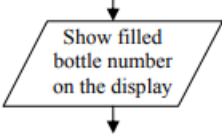
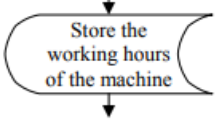
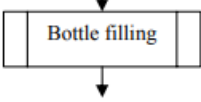

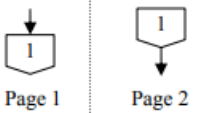
Joonis 8. SIMATIC kontrollrite kõrgema taseme struktuuri põhimõtteskeem [7]

5.2 Juhtsüsteemi kirjeldav voodiagramm

Üheks väga oluliseks sammuks enne juhtsüsteemi programmi kirjutamise alustamist on luua kogu juhtsüsteemi kirjeldav voodiagramm. Voodiagrammi ülesandeks on luua visuaalne kirjeldus toimuvatest protsessidest. Tabel 5.1 kirjeldab sümboleid, mida voodiagrammi loomisel kasutatakse [6].

Tabel 5.1 Põhilised voodiagrammis kasutatavad sümbolid [6]

Sümboli nimetus	Sümbol	Kirjeldus
Algus- või lõpp-punkt		Kasutatakse voodiagrammi alustamisel ja lõpetamisel. „START“ alustab ja „END“ lõpetab protsessi.
Protsess		Kirjeldab elemendi sisse kirjutatud protsessi.
Otsus		Selle ploki sees tuuakse välja tingimus, mille täitumisel protsess liigub edasi järgmisesse sammu.
Paus		Ooteaeg, enne kui liigutakse järgmisesse protsessi sammu.

Andmed		Kirjeldab andmete sisestamist / väljutamist protsessivoost.
Andmete salvestamine		Kirjeldab protsessi käigus tekkivate andmete salvestamist.
Eeldefineeritud protsess		Kirjeldab teise voodiagrammi osana kirjeldatud protsessi.
Ühenduslülid		Kirjeldab voodiagrammis samal lehel ühest asukohast teise liikumist.
Viide teisele lehele		Antud plokke kasutatakse ühet lehelt teise liikumiseks. Tavaliselt markeeritud numbritega.

Antud lõputöös kirjeldatakse voodiagrammina oluliste protsesside töövoogusid:

- teritusjaama põhiprogramm;
- resti vahetus;
- roboti põhiprogramm;

Nimetatud voodiagrammid on toodud lisa 3. Roboti tööaja pärimist ning andmebaasi edastamise funktsioonide voodiagramme antud juhul ei looda, sest tegemist on andmetöötuse, mitte loogikavooga. Lisaks ei ole vahatusseadme protsesside kirjeldamine voodiagrammidena vajalik, kuna tegu on lihtsate tingimuste kontrollimisega. Voodiagrammidele tuginedes luuakse teritusjaama käivitamiseks vajaminev juhtloogika kasutades selleks Siemens TIA Portal programmeerimistarkvara.

6 Tööstuskontrolleri andmevahetus

Peale automaatika osa valmimist vaadeldakse andmevahetuse võimalusi nii PLC ja roboti kui PLC ja võrguandmebaasi vahel. Ettevõttepoolne soov on näha teritusjaama igapäevast tootlikust läbi teritatud terade arvu ning tööaja. Selleks, et saada andmebaasi teritusjaama roboti tööaja andmed, tuleb pärida roboti kontrollerilt info ning edastada see võrguandmebaasi. Ettevõttepoolseks kriteeriumiks on, et andmeid uuendataks vähemalt üks kord ööpäeva jooksul.

Järgnevides alapeatükkides kirjeldatakse erinevaid võimalusi tööstuskontrolleri andmevahetuse teostamiseks nii tööstusroboti kontrolleri kui võrguandmebaasi vahel.

6.1 Tööstuskontrolleri ja tööstusroboti kontrollerivaheline suhtlus

PLC ja roboti kontrolleri andmevahetuse lahendamiseks küsiti Fanuc kasutajatoelt, millised lahendused on roboti kontrolleri poolt toetatud. Andmevahetuse teostamiseks toodi Fanuc kasutajatoe poolt välja kaks võimalikku kommunikatsiooniviisi:

- *Explicit messaging* (EM);
- *Socket messaging* (SM).

Explicit messaging põhineb Ethernet/IP protokollil. Antud protokollil järgi suhtlemiseks on vaja roboti poolt Ethernet/IP adapterit ning PLC Ethernet/IP protokollil tuge.

Socket messaging põhineb TCP/IP võrguprotokollil. Siemens S7 seeria toetab TCP/IP võrguprotokollil, seega täiendavat riistvara antud juhul vaja ei lähe.

Siemens S7 seeria ei toeta Ethernet/IP protokollil. Seega *Explicit messaging* kommunikatsiooniviisi ei saa ilma täiendavate seadmeteta rakendada. Antud info põhjal otsustatakse lahendada andmevahetus TCP/IP võrguprotokollil kaudu. Järgnevalt kirjeldatakse valitud meetodit.

6.1.1 Protsessidevaheline suhtlus – *socket messaging*

SM võimaldab võrgus oleva roboti ning välise seadme vahelist andmevahetust. Tüüpiline SM rakendus on KAREL programmil töötava roboti protsessi info saatmine välise arvuti monitoorimisprogrammi. SM kasutab TCP/IP protokollil algandmete või andmete, mis on töötlemata kujul ülekandmiseks üle kogu võrgu. Käsud ning meetodid, mida SM puhul kasutatakse andmete ülekandeks on osa TCP/IP protokollist. [8]

Socket messaging baseerub TCP/IP protokollil. Andmevahetuses on kaks osapoolt: klient ja server. Antud käsitluses on serveriks robot ja kliendiks tööstuskontrolleris olev programm. Klient saadab serveri IP aadressile soovi ühenduse loomiseks koos kindla serveripoolse porti numbriga, mille kaudu andmesidet soovitakse luua. Sõnumi aktsepteerimisel serveri poolt luuakse ühendus kliendiga. Kogu andmeside toimub läbi määratud porti numbri. Sel juhul saadetakse kõik sõnumid kokkulepitud porti ning neid ka kuulatakse sealt.

Socket messaging puhul tuleb roboti kontrolleris konfiguratsioon serveri ja kliendi sildid (*tag*). Sildid seadistatakse selleks, et neid roboti kontrolleri programmis KAREL esile kutsuda. Sildid sisaldavad infot, millist serveripoolset porti andmevahetuseks kasutatakse, protokollil nime, kliendi IP-aadressi, süsteemi muutujaid jne. [8]

6.2 Andmete saatmise võimalused loogikakontrollerilt andmebaasi

Tööstuskontroller loendab roboti poolt teritatud terad roboti kontrollerilt saadava signaali alusel. Iga vastav digitaalne sisendsignaal võrdub 10. teritatud teraga roboti poolt. Saadud terade arv edastatakse võrguandmebaasi iga kord kui robotilt sisendisse tulev signaal on kõrge, s.t iga 10. tera järel. Saadud andmete alusel luuakse Power BI keskkonnas ülevaate andev raport, mis seotakse tootmises kasutatavate mõõdikutega. Seejuures on oluline, et andmevahetus tööstusvõrgus on turvaline. Andmevahetuse teostamiseks Siemens S7-1200 ja andmebaasi vahel on mitmeid erinevaid lahendusviise. Järgnevalt tuuakse välja kolm enam levinud võimalust andmete PLC-st andmebaasi transportimiseks:

- MQTT (*Message Queing Telemetry Transport*) transordiprotokoll andmevahetuseks Azure IoT Hub'iga;
- TDS (*Tabular Data Stream*);
- OPC UA.

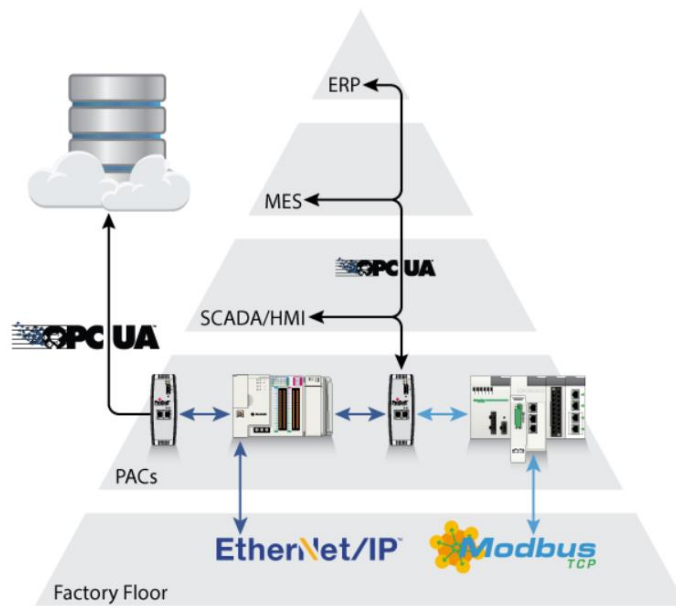
Valitud andmeedastuslahendusi kirjeldatakse täpsemalt alljärgnevas alapeatükis.

6.2.1 Andmeedastusviiside lühikirjeldus

Järgnevalt kirjeldatakse peatükis 6.2 välja toodud kolme andmete transportimise lahendust tööstuskontrolleri ja andmebaasi vahel:

- MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) on klient/server avalda/telli tüüpi sõnumside. MQTT on adapteeritud ning avaldatud OASIS standardina. See on kergekaaluline protokoll, mille omadusteks on madal keerukus, madal võimsus ning väikese jalajäljega rakendused, madal üldkulu ning see on sobilik kasutamiseks piiratud sõlmedega võrgus. Protokoll töötab üle TCP/IP internetiprotokollistiku (port 1883 ja port 8883 TLS/SSL puhul). MQTT klient, mis võib olla publisher või subscriber, avaldab või kuulab alati konkreetset teemat (topic). Keskserver, tuntud kui maakler, võtab klientidelt vastu tellimusi teemadel, võtab vastu klientidelt sõnumeid ning edastab need vastavalt klientide tellimustele nendest huvitunud klientidele. MQTT teemad on hierarhilised vastavalt failiteede vormile, näiteks hoov/rohi/niiskus. MQTT ühendus olemuselt on alati ühe kliendi ja maakleri vahel, ükski klient ei ole ühendatud otse teise kliendiga. MQTT keskendub usaldusväärsele sõnumivahetusele, seetõttu see sisaldab erinevaid kvaliteedi tasemeid (QoS - *Quality of Service*). Tase 0 – edasta sõnum kõige rohkem üks kord, tase 1 – edasta sõnum vähemalt üks kord ning tase 2 – sõnum saadetakse täpselt üks kord. Kui klient otsustab kasutada püsivat ühendust, salvestab maakler edastamata sõnumid kliendi ühenduse katkemisel ning salvestatud sõnumid edastatakse kliendile kohe peale ühenduse taastamist. [18]
- TDS – (*Tabular Data Stream*) on rakenduskihi protokoll andmete edastamiseks andmebaasi serveri ning kliendi vahel. TDS kujundati 1980. alguses Sybase Inc poolt Sybase SQL Serveri relatsiooniandmebaasi jaoks ning hilisemalt arendas Microsoft selle Microsoft SQL serveri kasutamiseks. Microsofti spetsifikatsioonide kohaselt on TDS protokoll kirjeldatud kui rakenduskihi päring/vastus protokoll, mis võimaldab suhelda andmebaasi serveriga ning lubab autentimist ja kanali krüpteerimist. Lisaks kirjeldab protokoll SQL päringute spetsifikatsiooni, sealhulgas mass sisestamine, salvestatud protseduuri või kasutaja määratud funktsiooni kutsumine, andmete tagastamine ning tehinguhalduri taotlusi. [19]
- OPC UA – (*Open Platform Communications Unified Architecture*) on masinalt masinale suhtlus-/teabeprotokoll, mis on määratletud OPC Foundation poolt. OPC UA on laiendatava, platvormist sõltumatu standardiga, mis võimaldab

turvalist infovahetust tööstussüsteemides. 2008. aastal välja antud arhitektuur, mis reguleerib ja haldab koostalitlusvõime standardit, protokolle ja andmeside spetsifikatsioone peamiselt tööstuse automatiseerimisel. OPC UA eesmärk on parandada riistvaraseadmete ning ettevõtte planeerimise ja automatiseerimise tarkvara koostalitlusvõimet pakkudes tööstusettevõtetele raamistikku erinevate tehnoloogiate lähendamiseks. OPC UA toetab komponentide vahelist suhtlust tööstusorganisatsioonides viiel tasemel: ettevõtte, juhtimine, operatsioonid, kontroll ning tootjapõhised seadmed. Seadmed avaldavad oma andmeid OPC UA kaudu, mis võimaldab edastada selle teabe võrgu kaudu tavalisi veebiteenusleid kasutavasse rakendusse. Andmete edastamiseks kasutatakse IP põhiseid protokolle ja objektipöördusprotokolli (SOAP – Simple Object Access Protocol). OPC UA põhineb SOA kliendi-serveri suhtlusraamistikul. OPC UA koosneb OPC UA serveritest ning OPC UA klientidest. OPC UA arhitektuur on kujutatud joonisel 9. [20]



Joonis 9. OPC UA arhitektuur. [30]

6.2.2 Andmevahetussuviside hüpooteiline lühivõrdlus

Kokkuvõtvalt on alapeatükis 6.2 välja toodud andmevahetuse teostamise lahendused antud käsitluses realiseeritavad. Järgnevas tabelis tuuakse välja kirjeldatud andmevahetussuviside peamised omadused.

Tabel 6.2. Andmevahetussuviside peamised omadused.

	MQTT	SQL	OPC UA
Arhitektuur	Klient-Maakler	Klient-Server	Klient-Server
Võrguprotokoll	TCP/IP	TCP/IP	TCP/IP
Transpordi protokoll	MQTT	TDS	OPC UA TCP
Turvalisus	Madal - avalik, SSL andmete krüpteerimiseks	Sisse logimine, seadmed samas alamvõrgus	Kõrge, sertifikaadiga autentimine serveri ja kliendi vahel
Kommentaari	Azure IoT Hub keerukas seadistamine, tasulised funktsioonid	MS SQL serverist andmed Azure SQL edastada	OPC UA serverist andmed Azure pilve

MQTT puhul on teoreetiliselt võimalik luua otseühendus kontrolleri ja Azure IoT Hub'i vahel, kuid lahenduste uurimise järel tuleb tõdeda, et Siemens poolt loodud teek LMQTT ei tööta Azure IoT Hub puhul. Seega tuleb programmeerida individuaalne MQTT kliendi funktsiooniblokk või kasutada teist maaklerit, mis edastab andmed Azure IoT Hub'i, näiteks Node-Red või Mosquitto.

OPC UA puhul on tegemist mitmetasandilise seadmete suhtlusega, mis sobib hästi andmete vahetamiseks nii SCADA rakendusse kui anduritelt andmete saamiseks. Siemens S7-1200 puhul on võimalik konfigurereida PLC töötama OPC UA serverina protsessori versioonist 4.4 alates. Azure poolel on vaja installida OPC Publisher pakett ning seejärel ühenduse parameetrid seadistada.

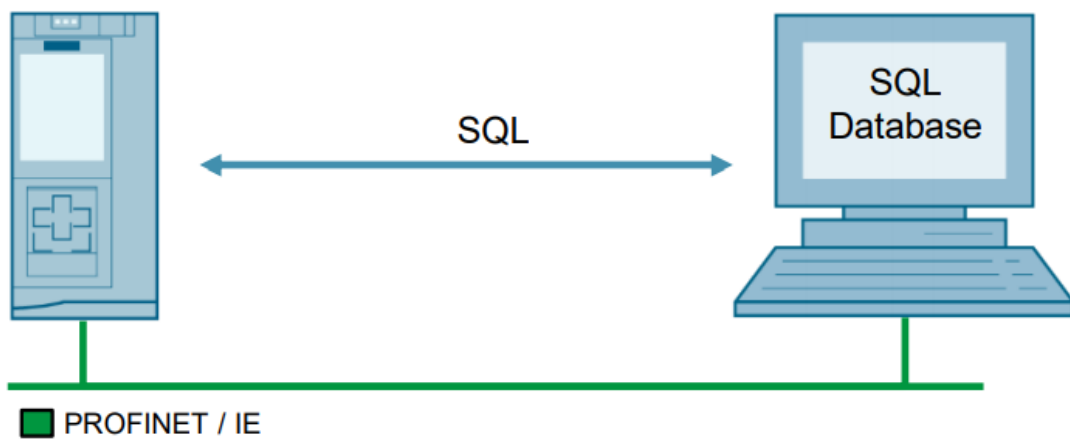
TDS protokollide puhul on olemas Siemensi SQL funktsiooni pakett koos juhendiga, mis võimaldab hõlpsalt SQL serverisse sisse logida ning andmebaasist andmeid lugeda või neid andmebaasi talletamiseks saata.

Põhinedes erinevate lahenduste kirjeldustele ning omadustele valitakse antud juhul PLC-lt serverisse andmete edastamiseks TDS protokoll Microsoft SQL serveriga. Antud valiku kasuks otsustati, sest PLC seadistamiseks on olemas Siemensi poolne

juhendmaterjal ning serveri seadistamine on lihtsakoeline. Lisaks puudub vajadus PLC avalikku võrkku ühendamiseks, mis maandab turvariske.

6.3 Loogikakontrollerilt andmete edastamine SQL serverisse

Andmete edastamise võimaluste uurimise tulemusel otsustati kasutada Microsoft SQL serveri lahendust andmete võrku saamiseks. Andmebaasi ülesseadmiseks vajalik võrguühendusega arvuti on teritusjaama läheduses olemas, seeläbi ei vajata lisaseadmeid. Joonis 10 kujutab SQL andmebaasi ja PLC vahelist ühendust.



Joonis 10. PLC ja SQL andmevahetuse tehnoloogia. [21]

Andmevahetuse piiranguteks on maksimaalne ühe käsklusega saadetav/vastu võetav bittide arv, mis on 8192 bitti. Teiseks, funktsiooniblokki võib ühe Microsoft SQL serveri kohta välja kutsuda mitte rohkem kui üks kord.

Serveri ja PLC vahelise ühenduse loomist alustatakse arvuti ning serveri seadistamisega. Seejärel PLC seadistamise ning programmi loomisega.

6.3.1 SQL serveri loomine ning seadistamine

Järgnevalt kirjeldatakse samm sammult SQL serveri konfigureerimist andmevahetuseks teritusjaama PLC-ga. SQL serveri üles seadmine kohalikku arvutisse koosneb kahest etapist – serveri konfigureerimisest ning haldusvahendi sätestamisest.

SQL serveri konfigureerimine:

1. SQLEXPRESS serveri konfigureerimine - TCP/IP protokoll lubamine;

2. Arvuti IP aadressi määramine – 192.168.100.62;
3. SQLEXPRESS TCP/IP protokoll täpsem seadistamine – IP3 aktiveerimine ning arvuti IP aadressi määramine, TCP pordi määramine vastavalt Siemens juhendile (1433);
4. Serveri taaskäivitamine.

SQL serveri haldusvahendi konfigureerimine:

1. Turvalisuse sätete muutmine – autentimise võimaldamine nii SQL serveri kui Windows kasutaja kaudu;
2. Uue kasutaja loomine SQL serveri autentimisega – kasutajanime ja parooli määramine, parooli muutmine järgmisel sisse logimisel deaktiveeritud;
3. Uue andmebaasi loomine – S7PLCSQL;
4. Tabeli loomine S7PLCSQL veergude pealkirjade ning sisestatavate andmete andmetüübi (täisarvud) määramine;
5. Kuupäeva veeru lisamine tabelisse ajajoone loomiseks;
6. Loodud kasutaja turvalisuse sätete ning õiguste muutmine loodud andmebaasi tarbeks (ühenda, kontrolli, sisesta, uuenda, vaata);
7. Arvuti tule müüri erandi loomine – pordi 1433 avamine.

6.3.2 PLC SQL funktsioonibloki seadistamine

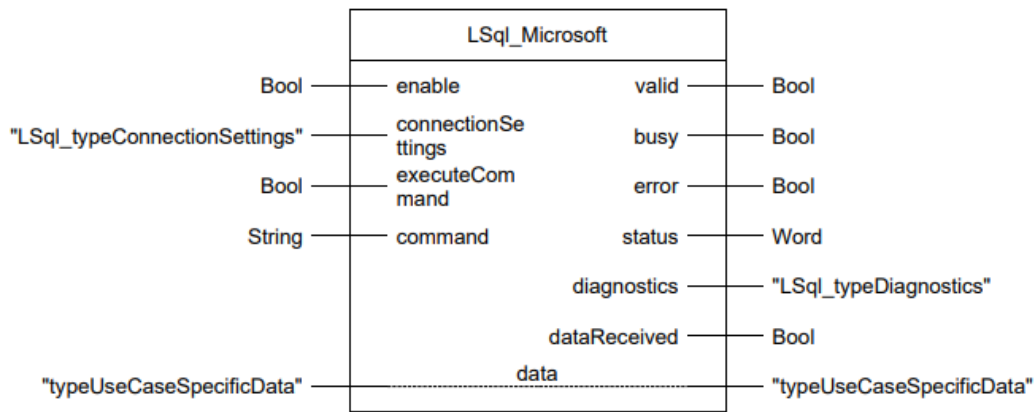
Siemens TIA tarkvaras kasutatakse Siemensi funktsiooniblokki „LSql_Microsoft“, mis emuleerib TDS protokollit. See võimaldab järgmisi toiminguid:

- Logimine Microsoft SQL serveri andmebaasi;
- SQL juhiste edastamine;
- Retsept loetud andmetele.

Funktsioonibloki juurde kuuluvad veel järgmised abiplokid:

- „LSql_typeConnectionSettings“ – TCP/IP parameetrite sätestamine;
- „typeUseCaseSpecificData“ – serverist päritud andmete sätestamine;
- „LSql_typeDiagnostics“ – diagnostika, veakoodid.

Järgnev joonis 11 kirjeldab käsitletava funktsioonibloki liidesed ning seotud andmetüübid.



Joonis 11. LSqL_Microsoft funktsioonibloki kirjeldus. [21]

Järgnevalt tuuakse tabelis 6.3 välja käsitletava funktsioonibloki ning abiblokkide seadistamist vajavad parameetrid.

Tabel 6.3. Microsoft SQL funktsioonibloki ning abiblokkide seadistatavad sätted.

Funktsiooniblokk	Parameeter	Andmetüüp	Kommentaar
Lsql_typeConnectionSettings	interfaceSettings		Serveri IP aadressi ja porti määramine
Lsql_typeLoginInformation	userName	Tekstmuutuja	Kasutajanimi
Lsql_typeLoginInformation	Password	Tekstmuutuja	Parool
Lsql_typeLoginInformation	ServerName	Tekstmuutuja	Serveri nimi
Lsql_typeLoginInformation	databaseName	Tekstmuutuja	Andmebaasi nimi
sqlCommands	command	Tekstmuutuja	SQL käsk, täidetakse kui executeCommand = TRUE
LSqL_Microsoft	enable	Loogikamuutuja	TRUE: luba funktsioonibloki funktsionaalsus
LSqL_Microsoft	ExecuteCommand	Loogikamuutuja	Käivita SQL käsk 1 kord
typeUseCaseSpecificData	Data	Baitide massiiv	Andmed

Kuna kasutatav funktsiooniblokk on loodud vaikumisi S7-1500 kontrolleri jaoks, tuleb muuta serveri ja kontrolleri vaheliste andmete andmepaketi tüüp. Vaikumisi on „data” parameeter sätestatud struktuurina. S7-1200 kontrolleri puhul peab antud parameeter

olema kirjeldatud baitide massiivina. Antud muudatust puudutav koodilõik Lsql funktsioonibloki programmist on järgnev:

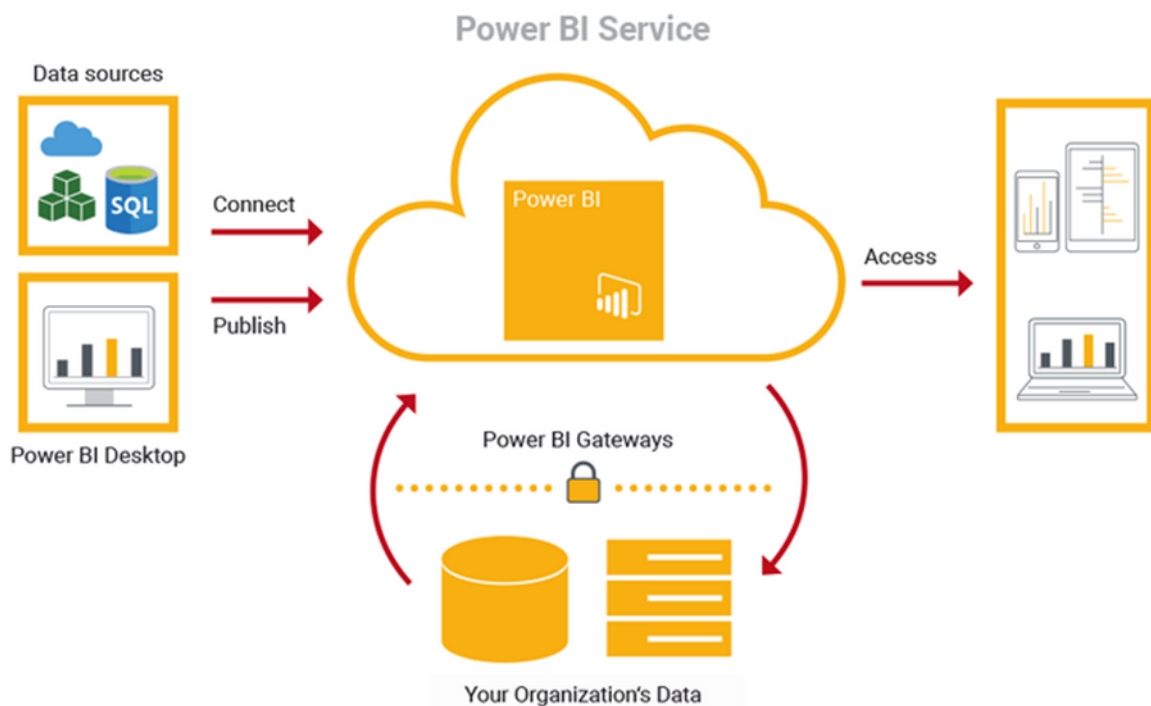
REGION Initialize functionality:

```
#instTcon(REQ := FALSE,
          ID := #connectionSettings.interfaceSettings.ID,
          CONNECT := #connectionSettings.interfaceSettings);
#instTrcv(EN_R := FALSE,
          ID := #connectionSettings.interfaceSettings.ID,
          DATA := #data.bytes);
#instTdiscon(REQ := FALSE,
             ID := #connectionSettings.interfaceSettings.ID);
#instTsend(REQ := FALSE,
           ID := #connectionSettings.interfaceSettings.ID,
           LEN := DINT_TO_UINT(#statPreLoginLen),
           DATA := #statPreLogin);
          END_REGION
```

6.4 Teritusjaama kirjeldava mõõdiku loomine Power BI keskkonnas

Selleks, et saada ülevaade teritusjaama tootlikusest, luuakse PLC-lt serverisse saadetud andmete alusel teritusjaama mõõdik. Siiani on sisestatud tootmistarkvarasse teritusjaama minevate terade arv ning sealt järgmisesse etappi jõudnud terade arv. Kuid kuna andmeid sisestavad inimesed on teritusjaama tööd kirjeldavad andmed tihti moonutatud – andmeid ei sisestata korrektselt või kogutakse andmeid ning sisestatakse tagant järele. Võttes aluseks teritusjaama PLC-lt serverisse saadetud info on teritusjaama mõõdik alati asjakohane.

Kuna PLC-lt ei saadeta andmeid otse Azure pilveandmebaasi on vajalik luua pääsutee võrgust andmete saamiseks kohalikus võrgus paiknevas serverist. Selleks tuleb seadistada andmelüüs (*data gateway*). Power BI pilveteenuse rakendust kirjeldab alljärgnev joonis 12.



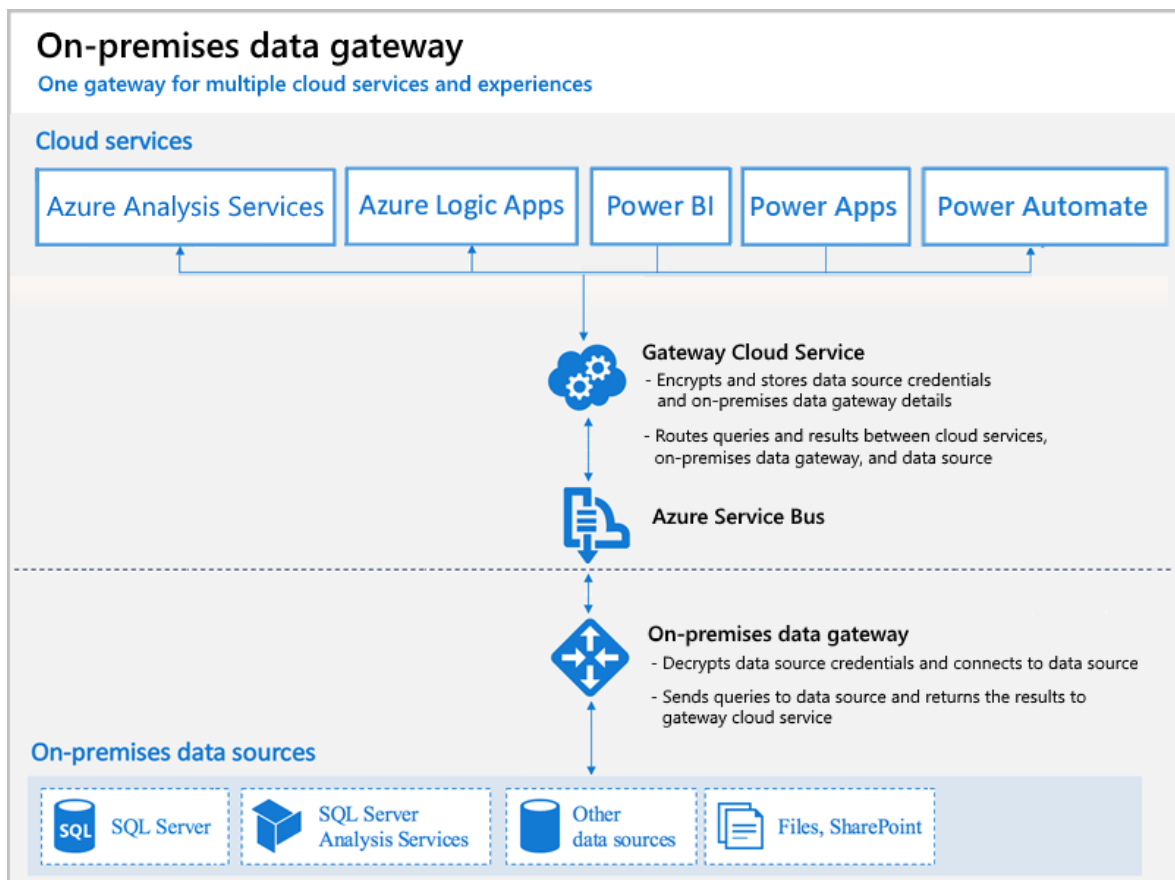
Joonis 12. Power BI pilveteenus. [31]

Andmelüüs toimib sillana, et pakkuda kiiret ja turvalist andmeedastust kohapealsete andmete (andmed, mis ei ole pilveandmebaasis) ja mitme Microsofti pilveteenuse vahel. Lüüsi kasutades saavad organisatsioonid hoida andmebaase ja muid andmeallikaid oma kohapealsetes võrkudes, kuid kasutada neid kohapealseid andmeid pilveteenustes turvaliselt. Lüüs hõlbustab kiiret ja turvalist kulissidetagust suhtlust. See suhtlus liigub

pilves olevalt kasutajalt kohapealsesse andmeallikasse ja seejärel tagasi pilve. Andmelüüse on kolme eri tüüpi: [22]

- kohapealne andmelüüs (*on-premises data gateway*);
- kohapealne personaalne andmelüüs (*on-premises data gateway personal mode*);
- virtuaalvõrgu andmelüüs (*virtual network data gateway*).

Kolme variandi hulgast osutus sobivaimaks kohapealne personaalne andmelüüs, mis on mõeldud kasutamiseks just Power BI-ga. Selle ühendusviisi puhul ühendatakse kohalikus võrgus paiknev andmebaas läbi andmelüüsi Power BI pilveteenusega. Serveri ja pilveteenuse ühendus on kirjeldatud joonisel 13.



Joonis 13. Kohapealse andmelüüsi kirjeldus. [22]

Selleks, et kasutaja saaks pilveteenuste kaudu andmeid üles seatud andmebaasist, tuleb luua serverisse andmete lugemisõigusega kasutaja. Loodud kohapealsele andmelüüsi kaudu luuakse pilveteenuse ning kohapealse andmebaasi vaheline ühendusstring, mida uuendatakse automaatselt vastavalt kasutaja vajadustele. Antud juhul piisab, kui andmeid uuendatakse iga päev 1 kord.

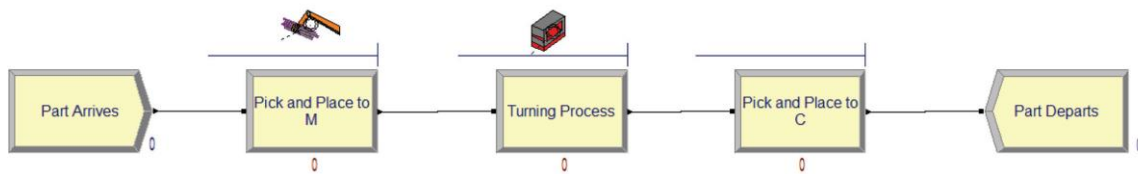
7 Teritusjaamas kasutatavad IoT rakendused ning digitaalse kaksiku kasutamise otstarbekus

Antud peatükis käsitletakse enam levinud IIoT rakendusi tööstussektoris, kirjeldatakse neid ning hinnatakse nende rakendamise lisandväärtust käesoleva süsteemi puhul. Lisaks uuritakse digitaalse kaksiku kontseptsiooni ning rakendamise võimalusi antud süsteemis.

7.1 Digitaalne kaksik

Digitaalse kaksiku kontseptsioon pärineb Tööstus 4.0 paradigmast digitaliseerimise ja simuleerimise sambast. NASA alustas virtuaalsete koopiade kasutamist 1957. aastal. Tööstus 4.0 tähenduses anti digitaalse kaksiku mõiste välja 2014. aastal, milles defineeritakse seda kui üks-ühele skaalat, täpne virtuaalne koopia realselt eksisteerivale vahendile. Erinevalt tavapärasele simuleerimisele söödetakse digitaalset kaksikut reaalsete andmetega ning tihti ühendatakse reaalsete sensoritega või kasutatakse ajalooliste andmetega. Lisaks, võimaldab see digitaalset esitust tehase toe rekonfigureerimiseks ja juhtimise protsessidest läbi simulatsiooni, viiakse läbi analüüsid simulatsiooni tulemuste ja optimeerimise protsessidest vastavalt sisendinfole. Seevastu simulatsioon vajab ettevalmistusi, mis koosnevad erinevatest faktoritest loomaks paikapidava mudeli edasiseks rakendamiseks reaalse tootmisvooga. [4]

Simuleeritav mudel ei tähenda tingimata 3D visuaalset mudelit, peamine on protsessivoogude ning selle taga oleva informatsioonil. Taolise mudeli loomiseks kasutatakse erinevaid lähenemisi. Joonisel 14 on kujutatud voo moduleerimist ning Joonisel 15 3D visualiseerimist. Joonistel on kujutatud tööstusroboti ja CNC masina protsessi voo simulatsiooni kahel eri viisil. Joonisel 14 on simulatsiooni kujutatud protsessi tasemel ning joonisel 15 visuaalse süsteemi tasemel, mida on võimalik juhtida protsessi taseme sisendiga. Mõlemad näited on laialdaselt kasutatavad digitaalsed kaksikud. [4]

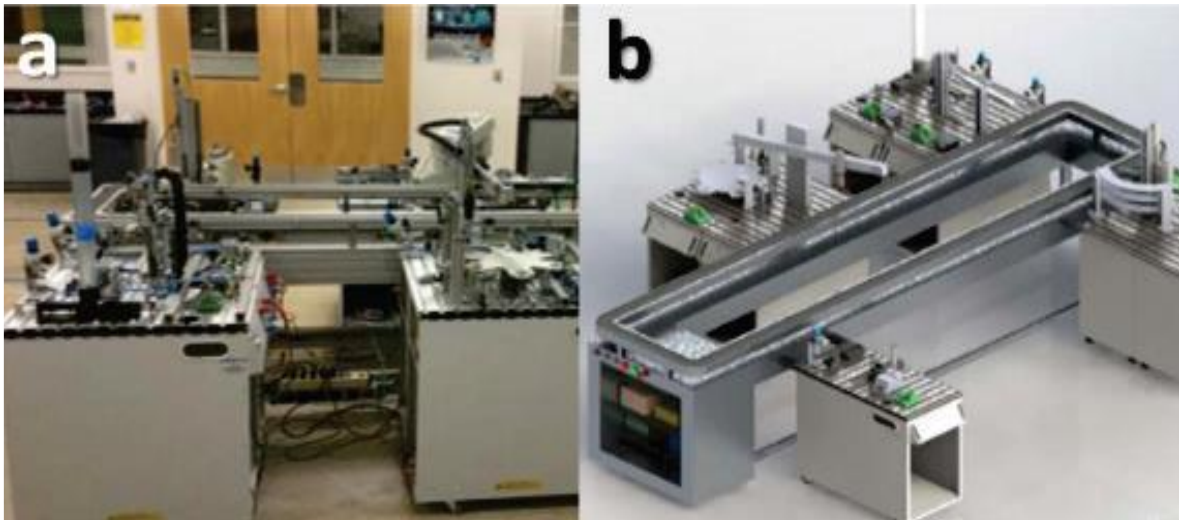


Joonis 14. Protsessi voo simulatsiooni plaan tööstusroboti ja CNC seadme näitel. [4]



Joonis 15. Protsessi visualiseerimise näide konveieri, tööstusroboti ning CNC seadmega [4]

Digitaalne kaksik on kasutusel kasuliku vahendina paigutuse disainimisel ning tehase uuendamise visualiseerimisel enne reaalsel rakendamist. Väidetakse, et digitaalset kaksikut on võimalik kasutada ka teisiti, lubades võrguühendusel täielikku tootmissüsteemi juhtimise kontrolli ning rekonfigureerimist. Veel enam, lisades virtuaalreaalsuse vahendeid digitaalse kaksiku simulatsiooni kaugjuhtimisel läbi võrgu, lisab see ohutust ning tagab rohkem võimalusi töötamiseks ohtlikes keskkondades ning kaugjuhtimisel üldiselt. See on üks peamistest eesmärkidest, võimaldades täpset reaalsajas sünkroniseerimist digitaalse kaksiku ning selle algallika vahel Tööstusliku Virtuaalse ja Täiendatud Reaalsuse Laboratooriumis (IVAR Lab). Joonisel 16 on kujutatud näidet reaalsel tootmissüsteemil põhinevat digitaalse kaksiku simulatsiooni. [4]



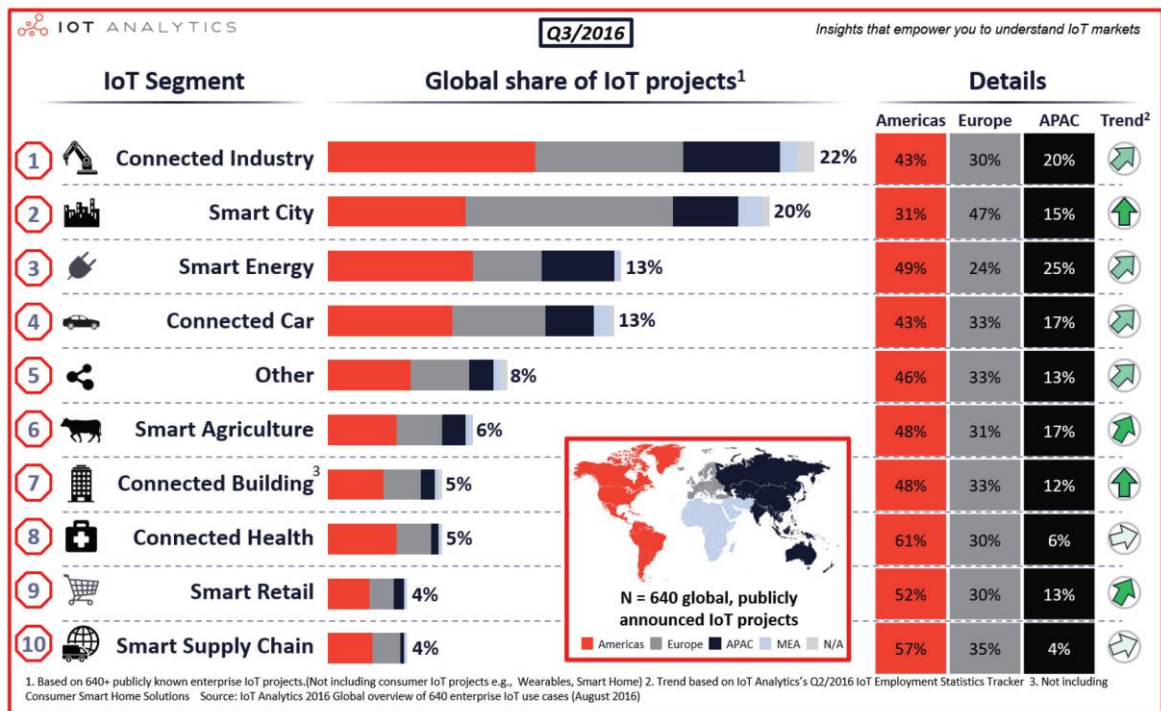
Joonis 16. Digitaalse kaksiku näide Festo FMS süsteemil – a) reaalne, b) digitaalne [4]

Joonisel 16 on näha, et kõiki reaalse süsteemi komponente, mööblit ning kõiki ümbritsevaid objekte on võimalik üle kanda digitaalsesse esitusse väga hea kvaliteediga [4].

Antud projekti käsitluses ei nähta suurt kasu teritusjaama 3D mudelil põhineva digitaalse kaksiku loomisel. Seda seetõttu, et teritusjaam ei vaja võimalust läbi võrguühenduse süsteemi juhtimist ega rekonfigureerimist. Terad, mida antud süsteemil töödeldakse on mahutooted, mis ei nõua tihedat sekkumist konfigureerimiseks. Juhul, kui tera töötusprotsess vajab täpsemat häälestust peab selle igal juhul äbi viima kohapealne operaator kasutades roboti juhtpulti. Lisaks digitaalse kaksiku 3D mudeli ülesseadmine on väga ajamahukas, eriti esmakordsel kokkupuutel.

7.2 Teritusjaamal kasutatavad IIoT rakendused

Tööstuslik asjade internet on üks kümnest parimast IoT rakendusest. Seda väidet toetab joonis 17, kus on kujutatud turu jaotus. IIoT on osa Tööstus 4.0 paradigmast ning põhineb IoT sobitamisel tootmiskeskonnast lähtuvate tööstuslike vajadustega ohutuse ja töökindlusega seotud nõuetel. [4]



Joonis 17. IoT peamised harud. [23]

Enam levinud IIoT rakendusteks on: [4]

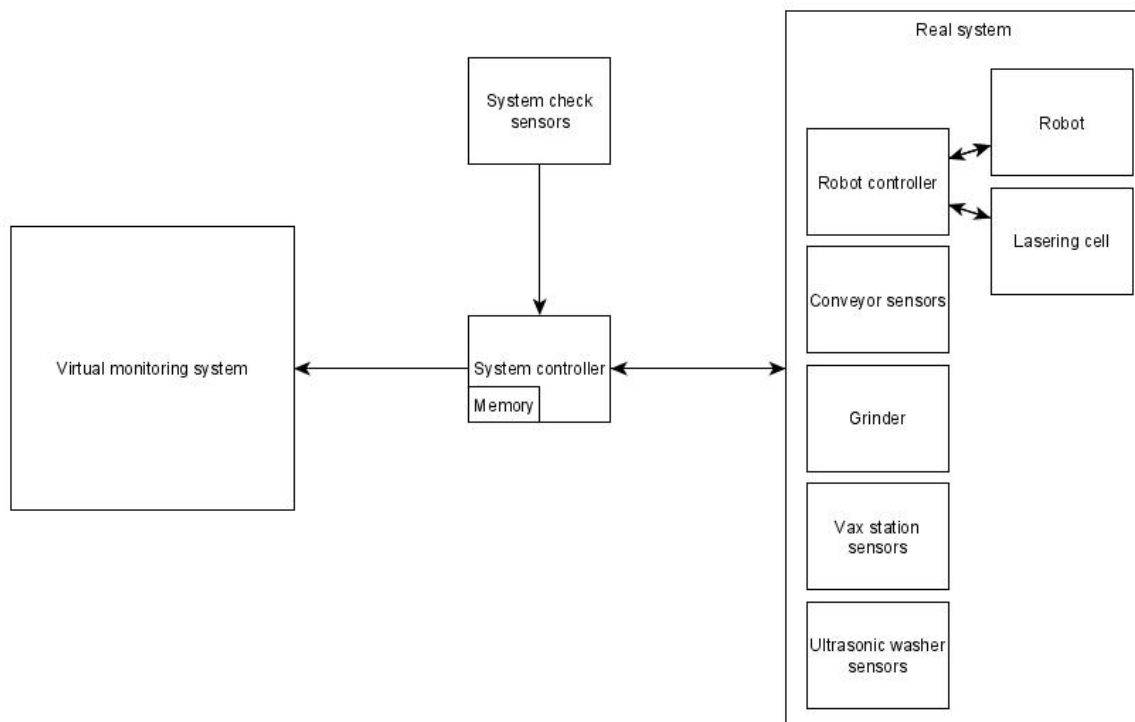
- tootmisliini kaug- ja kohalik monitooring / ennustav hooldus;
- ühtne tehase telemeetria – andmevoog erinevatelt ühendatud seadmetelt kogu tehases on teisendatud ühte formaati keskmises kihis;
- häirete ja ohutuse kontroll/hooldus kaugjuhtimisel – IoT anduritelt saadud andmetele tuginedes võimalik teha autonoomseid otsuseid seadmete taaskäivitamiseks;
- tsentraliseeritud juhtimine pilvepõhisel analüüsil – andmete salvestamine ühtsesse andmebaasi. Juurdepääsetavus kõikjalt ning võimalus andmete põhjal arvutusi ning analüüse läbi viia;
- tööjõu jälgimine / Logistika – kaamerad ja muud kaardistamise tehnoloogiad marsruutide loomiseks, tööjõu jälgimiseks, viivituste analüüsiks tootmisprotsessis.

Antud käsitluses pakub enim väärtust eelnevalt välja toodud rakendus – monitooring ja ennustav hooldus. Teritusjaama tööd on võimalik monitoorida läbi kõikide süsteemis paiknevate andurite või vajadusel neid lisades. Peamised monitoorimiseks vajalikud signaalid on välja toodud tabelist 7.1. Seeläbi on võimalik operaatoril saada ülevaade olukorrast süsteemis ilma, et oleks otsest vajadust füüsiliselt seadme juurde minna. Lisaks saadud tootmise efektiivsust kirjeldavad andmed talletatakse ning tulemused on võimalik siduda hoolduse planeerimisega. Pärast mõnda hooldusprotseduuri on IoT süsteemi analüüsi tööriist suuteline ennustama järgmise hooldusseansi.

Tabel 7.1. Teritusjaama monitoorimiseks vajaminevad olemasolevad ning puuduolevad signaalid.

Kirjeldus	Süsteemis sisalduv	Signaal
Robot RUN/STOP	JAH	FANUC_WORK
Süsteem häires	JAH	ALARM
Sissetulevate toodete reservi olek	EI	-
Vaha reservi olek	EI	-
Ultrahelipesuvanni vedeliku nivoo	EI	-
Töödeldud toodete kogus	JAH	BLADE_COUNT
Manipulaatori reaalne tööaeg	EI	-
Käi ON/OFF	JAH	MFB_M1

Kõik tabelis 7.1 välja toodud signaalid on võimalik edastada süsteemikeskselt PLC-lt võrku süsteemi monitoorimiseks. Selleks, et saada soovitud ülevaade teritusjaamast tuleb süsteemi lisada andureid, mis annavad tagasisidet puudolevatest osadest. Järgneval joonisel 18 on toodud teritusjaama monitoorimise mudel. Kõikidelt süsteemi osadelt ning nende koosseisu kuuluvate andurite väärtused on üle kantud süsteemi kontrollerisse. Kontroller edastab valitud väärtused võrku ning võrgus on andmed kättesaadavad operaatorile.



Joonis 18. Teritusjaama monitoorimise mudel.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on integreerida olemasolevasse automaatsesse noateritusjaama keskne juhtseade – loogikakontroller ning vahetada välja amortiseerunud tööstusrobot. Selle käigus koostada elektri- ja automaatikasüsteem, valida sobivad komponendid ja luua juhtsüsteem fileerimisnugade teritusjaamale ettevõttes OÜ Marttiini Estonia. Teritusjaama arendamise eesmärgiks oli loogikakontrolleril põhineva juhtsüsteemi loomine, seejuures roboti kontrolleri osakaalu vähendamine kogu süsteemi juhtahelas ning süsteemi tõrkekindluse tõstmine. Läbi uue juhtsüsteemi on teritusjaama seadmete ning protsesside diagnoosimine hõlpsam, kuna roboti kontrolleriga töötamine eeldab eelnevat kogemust ja teadmisi.

Töö esimese sammuna kaardistati toote liikumine teritusjaamas ning kirjeldati kõikide protsessi osade tööd. Kogutud info alusel loodi tehniline ülesanne, mille loomisel lähtuti ettevõtte vajadustest ning sisemistest standarditest.

Peale tehnilise ülesande loomist alustati robotkäpa asendamise ettevalmistustega. Selleks vaadeldi amortiseerunud robotkäpa tehnilisi parameetreid ning võrreldi neid olemasoleva Fanuc robotiga. Analüüsi tulemusena sai selgeks kas olemasolev robot sobib amortiseerunud roboti asemele. Peale kinnituse saamist asendati robot tööjaamas.

Järgmise sammuna projekteeriti uue juhtsüsteemi elektri- ja automaatikasüsteem. Automaatikasüsteemi osana valiti kõik vajalikud komponendid ning elektrisüsteemi osana projekteeriti vajalikud nõrk- ja tugevvoolu ahelaid kirjeldavad elektriskeemid. Valitud komponente kasutades ja tuginedes loodud skeemidele, koostati kogu seadme elektri- ja automaatikaosa. Olemasolevate tugevvoolu ahelate sobivust hinnati läbi kaitselülitite karakteristikute kontrolli.

Juhtsüsteemi loomist alustati voodiagrammide loomisega ning seejärel kirjutati voodiagrammide alusel programm Siemens tööstuskontrollerisse. Juhtsüsteemi testimist ning roboti programmeerimist viidi läbi ühiselt autori ning Marttiini tehnikaosakonna koostöös.

Peale süsteemi käitamist alustati andmevahetuse lahenduste uurimisega, eesmärgiga saada roboti tööaega ning tootlikust kirjeldav info Power BI raportile. Toodi välja PLC ja roboti kontrolleri ning PLC ja andmebaasi vahelise andmevahetuse loomise võimalused.

Viimase sammuna vaadeldi enam levinud IIoT rakendusi ning analüüsi välja toodud rakenduste otstarbekust ning rakendamisevõimalusi käsitletavas süsteemis. Leiti, et enim väärtust lisaks süsteemi võrguülene monitooring, mis hõlbustaks operaatori tööd antud teritusjaamas ning looks võimaluse siduda tootlikuse hoolduste planeerimisega. Lisaks toodi välja, millised on käesoleva süsteemi puudujäägid soovitud tasemel võrgumonitoringu teostamiseks ning hinnati realiseeritavust.

Käesolev töö ei täida täies mahus sätestatud põhieesmärke. Üheks eesmärgiks oli saada teritusjaama tootlikust ning efektiivsust kirjeldavad andmed otse PLC-lt Azure pilveandmebaasi, kuhu soovitakse koguda andmeid kõikidest tootmisinformatsiooni sisaldavatest andmeallikatest ning nendele tuginedes luua tootmist kirjeldavaid moodsikuid. Vaatamata sellele loodi ühendus Power BI pilverakenduse ning kohalikus võrgus paikneva Microsoft SQL serveri vahel, kuhu saadetakse PLC-lt andmed teritatud terade kogustega. Lisaks ei täidetud eesmärki PLC ja roboti kommunikatsiooni loomisel. Teoreetiline lahendusviis on teada ning järgmise sammuna tuleb asuda andmevahetust testima. Vaatamata tagasilöökidele viis autor end töö käigus kurssi tänapäevaste IIoT võimalustega ning selle abil kujunes tuleviku teritusjaama idee, mille kohaselt on süsteem võrgu kaudu monitooritav ning mõõdetav.

Kogu lõputöö raames teostatud tööde ja analüüside tulemusena sai ettevõtte võtta kasutusele täiustatud fileerimisterade teritusjaama, mis on oluliseks osaks fileerimisnugade tootmisprotsessis.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

[1] International Federation of Robotics, „IFR presents World Robotics 2021 reports“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ifr.org/news/world-robotics-survey-industrial-robots-are-conquering-the-world/>. [Kasutatud 02.08.2021]

[2] International Federation of Robotics, „IFR Press Conference“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://ifr.org/downloads/press2018/Presentation_WR_2020.pdf. [Kasutatud 02.08.2021]

[3] KOSE A, TEPLJAKOV A, „Real-time localization and visualization of a sound source for virtual reality applications“, Journal of Communications Software and System (14/1, 112-120)

[4] Vladimir K, „Novel Digital Twin Development Methodology for the Robot Cell Connectivity in a Smart Industry Environment“, 2019.

[5] EESTI STANDARD, EVS-EN 61131-1:2003, Programmable controllers Part 1: General information. – Eesti Standardikeskus, 2003, - 19 p.

[6] E. P. U. L. Margus Müür, „Application of PLC in Industrial Automation“, Tallinn: ISBN, 2011.

[7] SIEMENS, „Programming Guideline for S7-1200/1500 (TIA Portal),“ 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/90885040/81318674_Programming_guideline_DOC_v16_en.pdf?download=true. [Kasutatud 30.01.2021].

[8] FANUC Robotics SYSTEM, „R-J3iB Controller Internet Options Setup and Operations Manual,“ 2001.

[9] Ward C, „Knife Maintenance and Sharpening,“ A Service of the eGullet Society for Culinary Arts & Letters, 2003. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://forums.egullet.org/topic/26036-knife-maintenance-and-sharpening/>. [Kasutatud 02.10.2021].

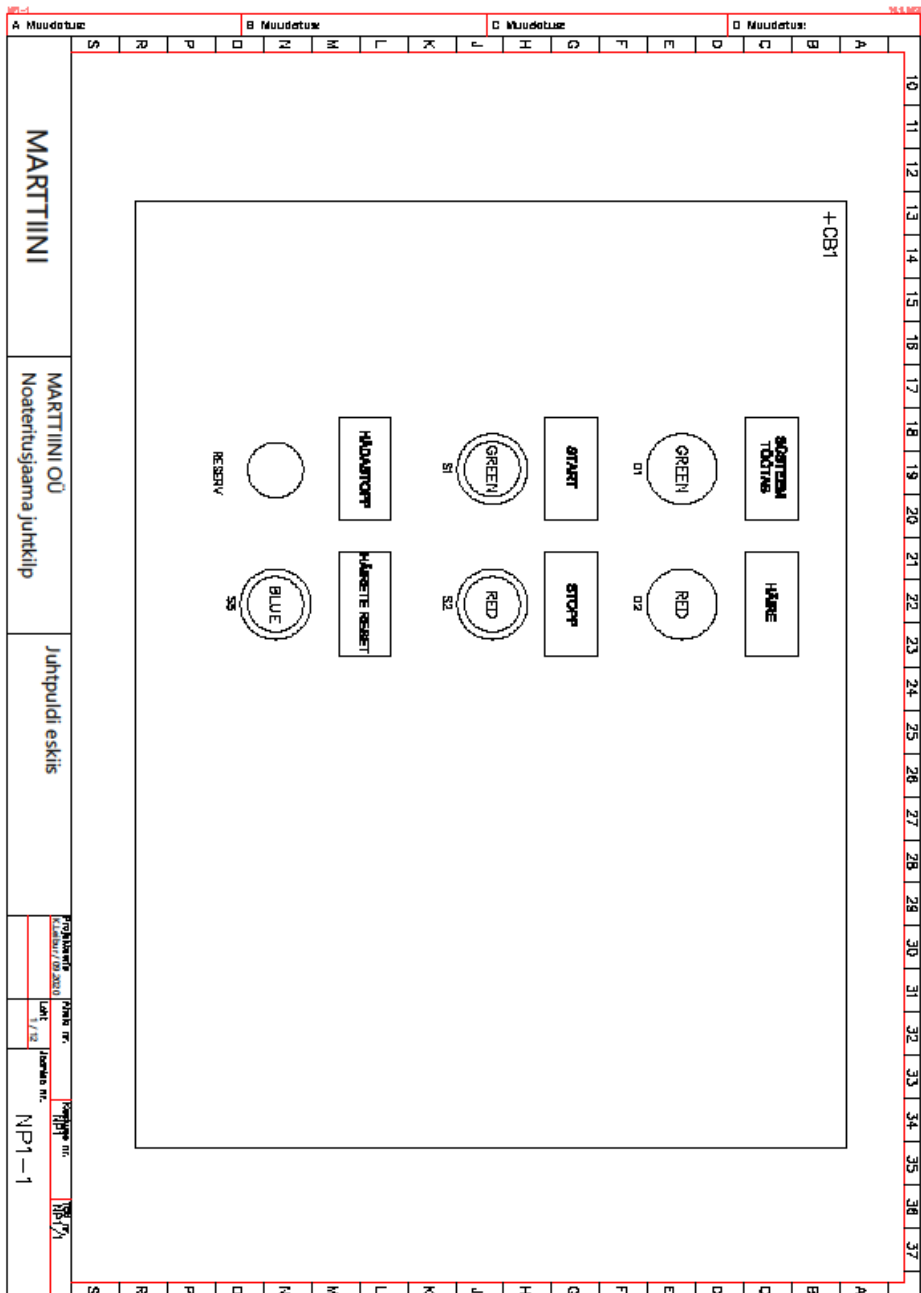
[10] Verhoeven J. D, „Experiments on Knife Sharpening,“ Department of Materials Science and Engineering Iowa State University, 2004. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.relentlessknives.com/newsletter_files/KnifeShExps.pdf. [Kasutatud 02.10.2021].

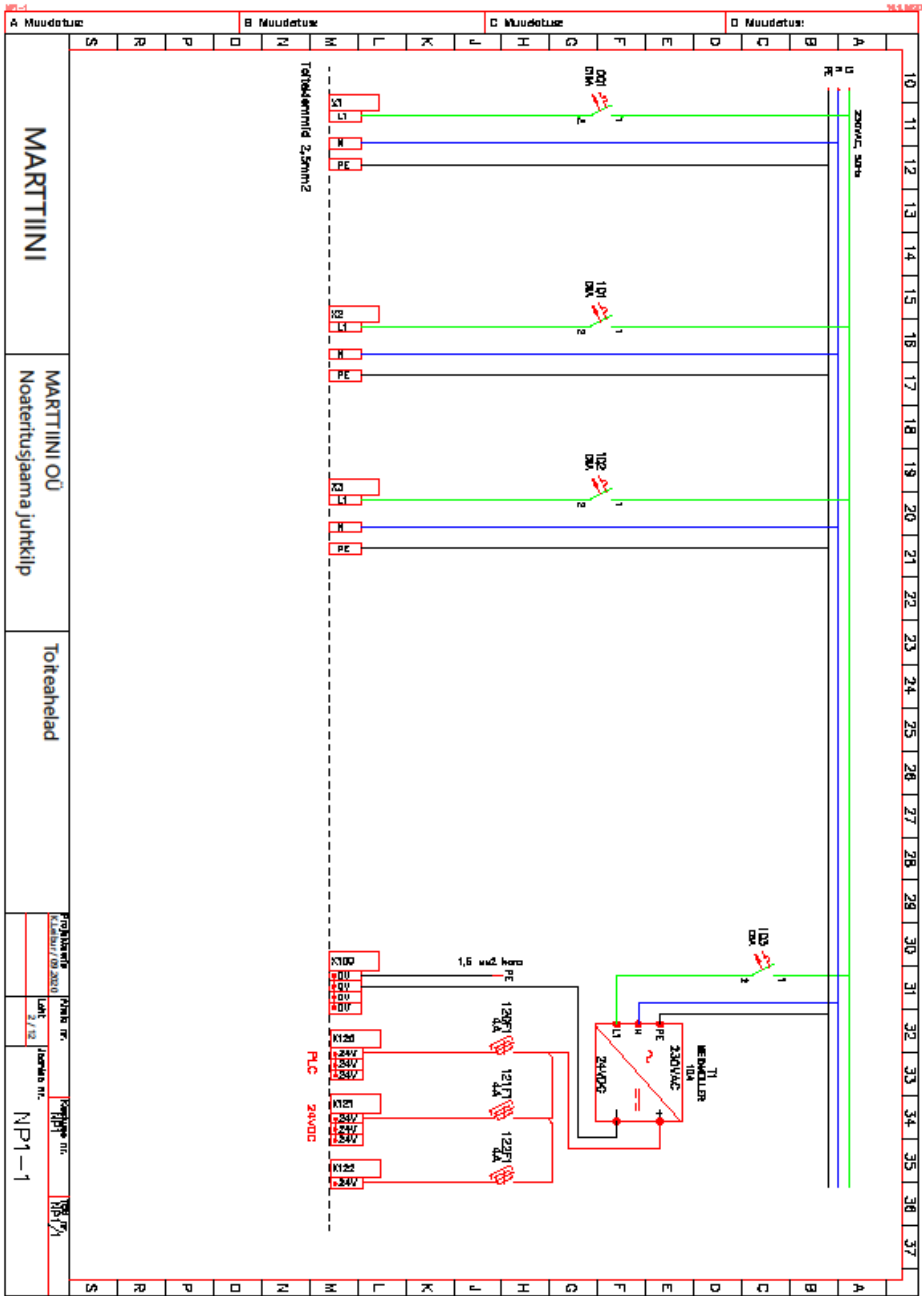
- [11] Tallinna Tehnikakõrgkool, „Täiturid – tööstusrobotid,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.tthk.ee/MEH/Taiturid_13.html#rob. [Kasutatud 06.02.2021].
- [12] RobotWorx, „Articulated Robots - More Axes Equal More Possibilities,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.robots.com/articles/articulated-robots-more-axes-equal-more-possibilities>. [Kasutatud 06.02.2021].
- [13] Tardif K, „ Robots: How to Choose the Right One,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.automationworld.com/factory/robotics/article/21133266/robots-how-to-choose-the-right-one>. [Kasutatud 07.02.2021].
- [14] ABB, ABB IRB 1400 Industrial Robot, [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://library.e.abb.com/public/99bb3fb8ff6495cfc1257b130056d120/IRB1400_R3-US%2002_05.pdf. [Kasutatud 13.02.2021].
- [15] ABB. Articulated robot product specification,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://library.e.abb.com/public/21c32e5bcd2708c5c12576cb00528e5d/3HAC9376-1_revE_en_library.pdf. [Kasutatud 13.02.2021].
- [16] „PLC Manual – PLC selection criteria,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.plcmanual.com/plc-selection-criteria>. [Kasutatud 06.03.2020].
- [17] SIEMENS, „Comparison list for S7-300, S7-400, S7-1200, S7-1500,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://plc4good.org.ua/files/02_materials/webinar/s7_1500_compare_table_int_memo_en_US.pdf. [Kasutatud 07.03.2021].
- [18] O. Sadie, I. Ngom, C. Lishou, „ Lightweight Security Scheme for MQTT/MQTT-SN Protocol,“ 2019, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8939177>. [Kasutatud 08.11.2021].
- [19] „Tabular Data Stream“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.idera.com/glossary/tabular-data-stream>. [Kasutatud 27.11.2021].
- [20] „IT Explained – OPC UA,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.paessler.com/it-explained/opc-ua>. [Kasutatud 27.11.2021].
- [21] SIEMENS, „Connecting a S7-1500 to a SQL Database,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109779336/connecting-a-s7-1200-s7-1500-to-a-sql-database-?dti=0&lc=en-WW>. [Kasutatud 28.11.2021].

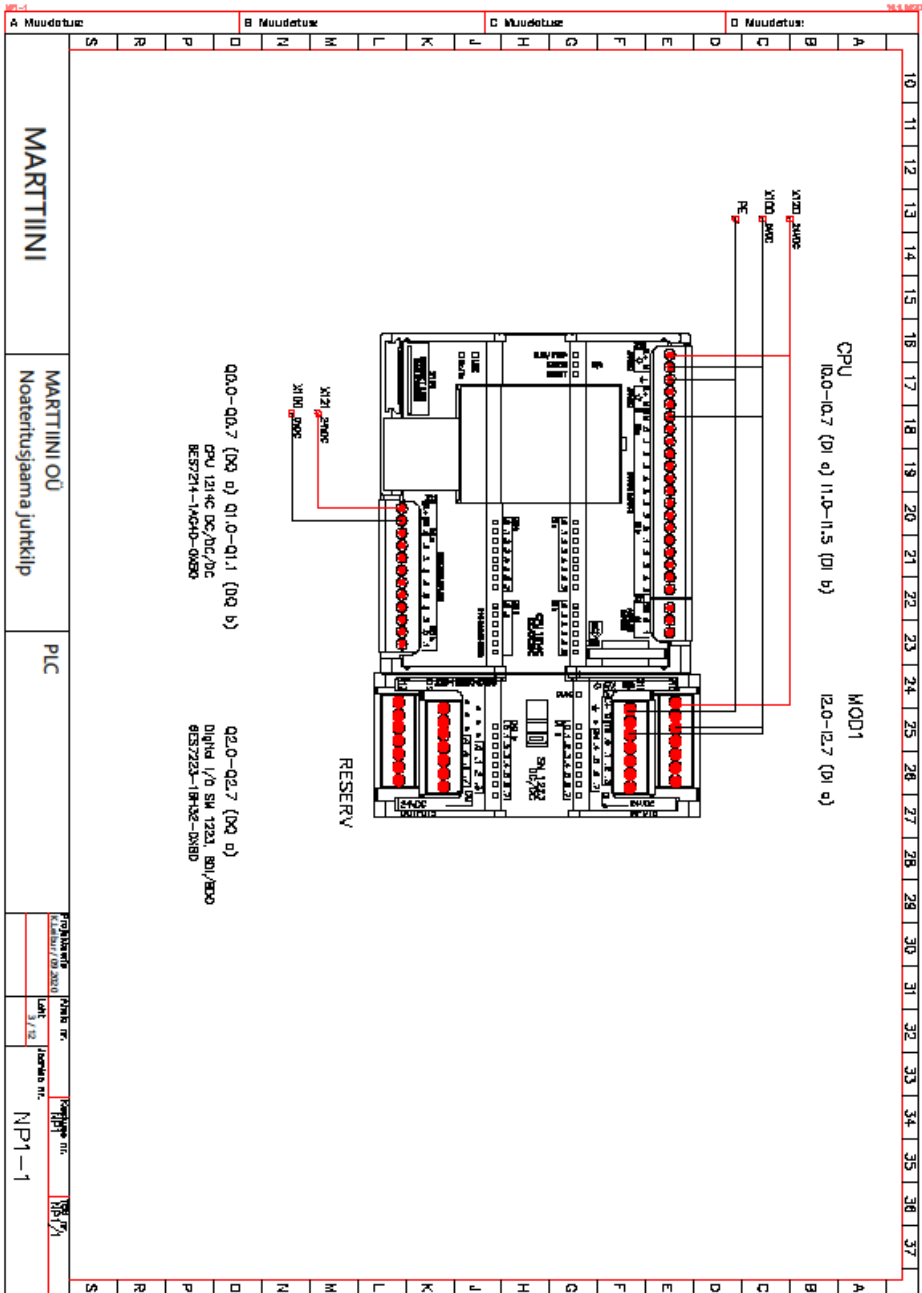
- [22] „On-premises data gateway architecture,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://docs.microsoft.com/en-us/data-integration/gateway/service-gateway-onprem-indepth>. [Kasutatud 28.11.2021].
- [23] J. Bartje, „The top 10 IoT application areas – based on real IoT project,” IoT Analytics - Market Insight for the Internet of Things, 2016.
- [24] Maaeluministeerium, Toiduga kokkupuutuvad materjalid ja esemed, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.agri.ee/et/eesmargid-tegevused/toiduohutus/keemiline-ohutus/toiduga-kokkupuutuvad-materjalid-ja-esemed>. [Kasutatud 12.11.2021].
- [25] „Finnsonic MI ultrasonic cleaning units, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.finnsonic.com/eng/products/ultrasoniccleaners/getfile.php?file=487>. [Kasutatud 13.11.2021].
- [26] ABB, Product On-line Manual: IRB 1400, 1998
- [27] Fanuc, „M-6iB Series,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.motioncontrolsrobotics.com/downloads/techdocs/M6_RJ3iB.pdf. [Kasutatud 11.09.2021].
- [28] SIEMENS, SIMATIC S7-1200 technical data, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/481697?pdtd=td&dl=en&lc=en-SA>. [Kasutatud 12.09.2020].
- [29] MASINATE OHUTUS, Masinate elektriseadmed, Osa 1: Üldnõuded (EVS-EN 60204-1:2018), EESTI STANDARDIKESKUS.
- [30] „OPC UA Gateway to the IIoT,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://prosoft-technology.com/Landing-Pages/OPC-UA>. [Kasutatud 27.11.2021].
- [31] „Linux Server & Power BI Gateway: a practical case,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://big2smart.com/the-power-bi-gateway-a-practical-case/> pilt. [Kasutatud 06.12.2021].

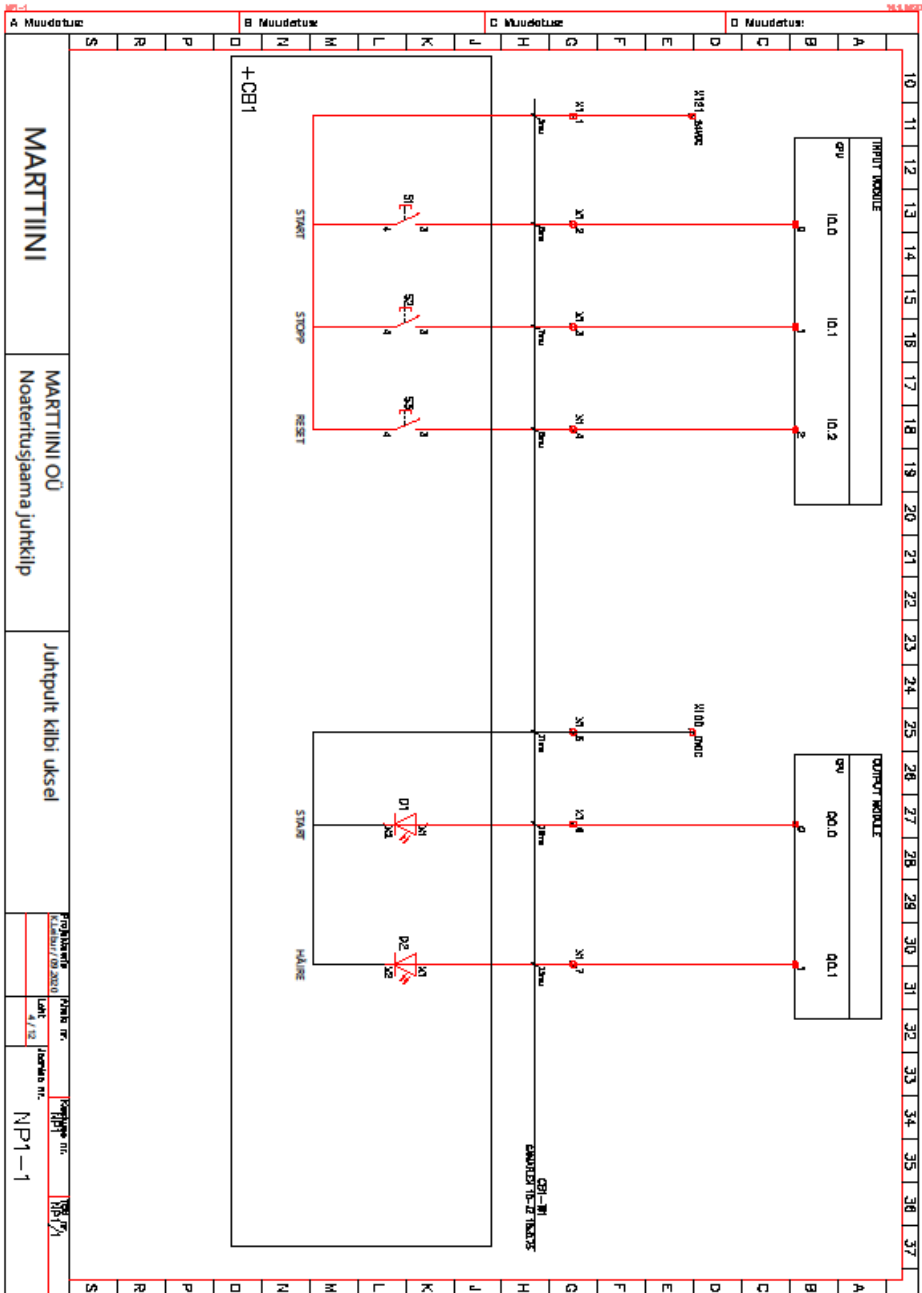
LISAD

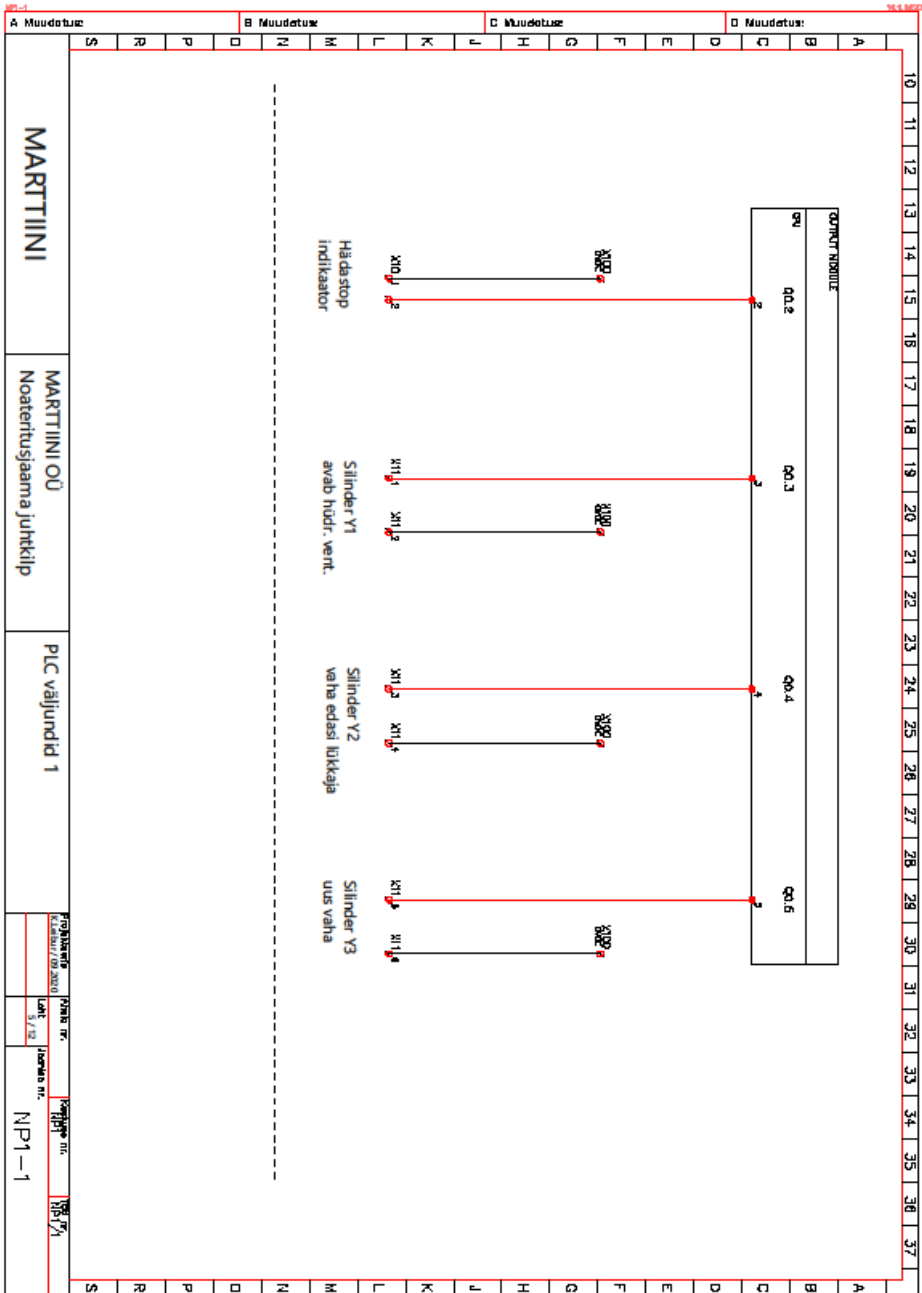
LISA 1 – Teritusjaama tugev- ja nõrkvoolu elektriskeemid

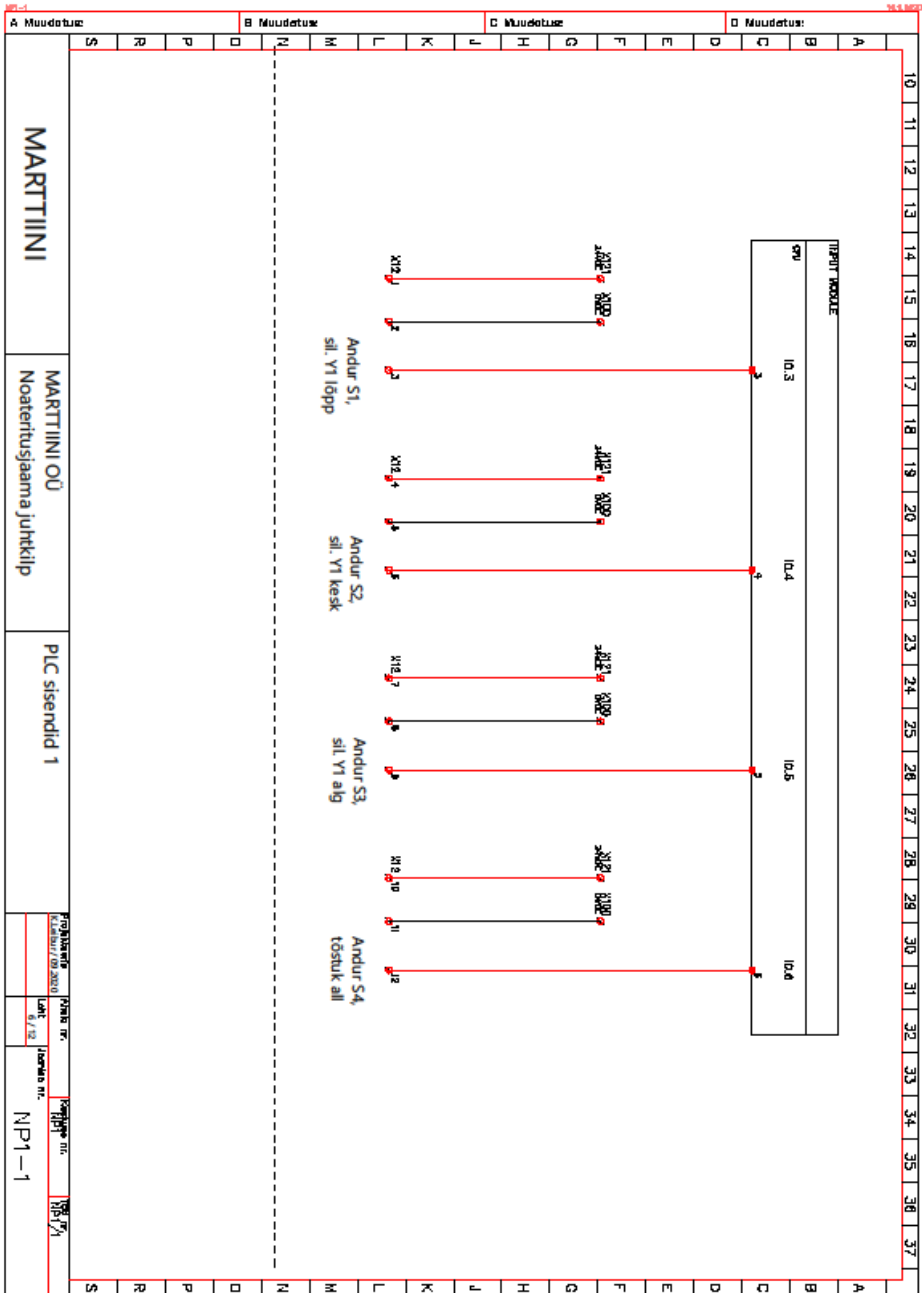


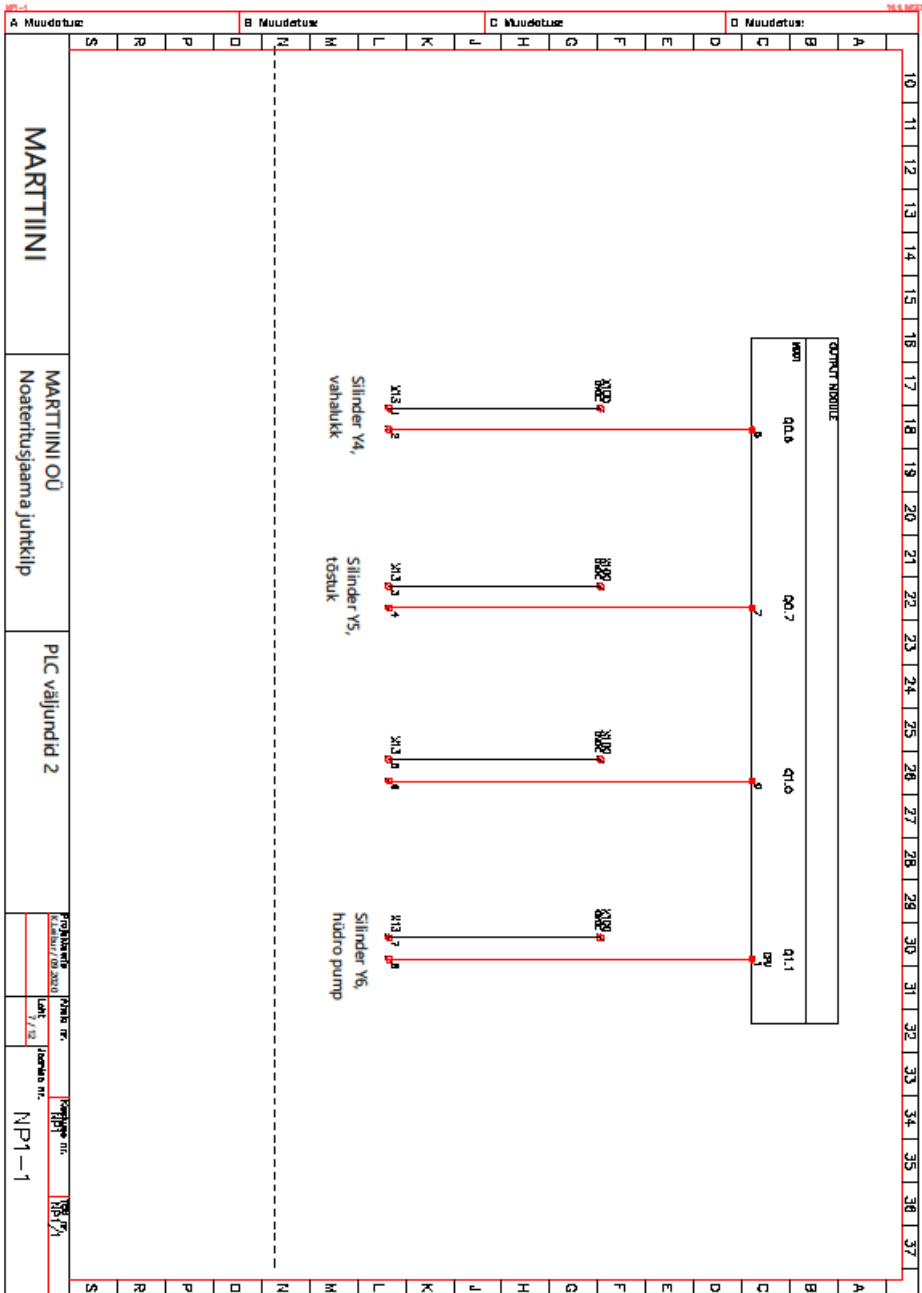


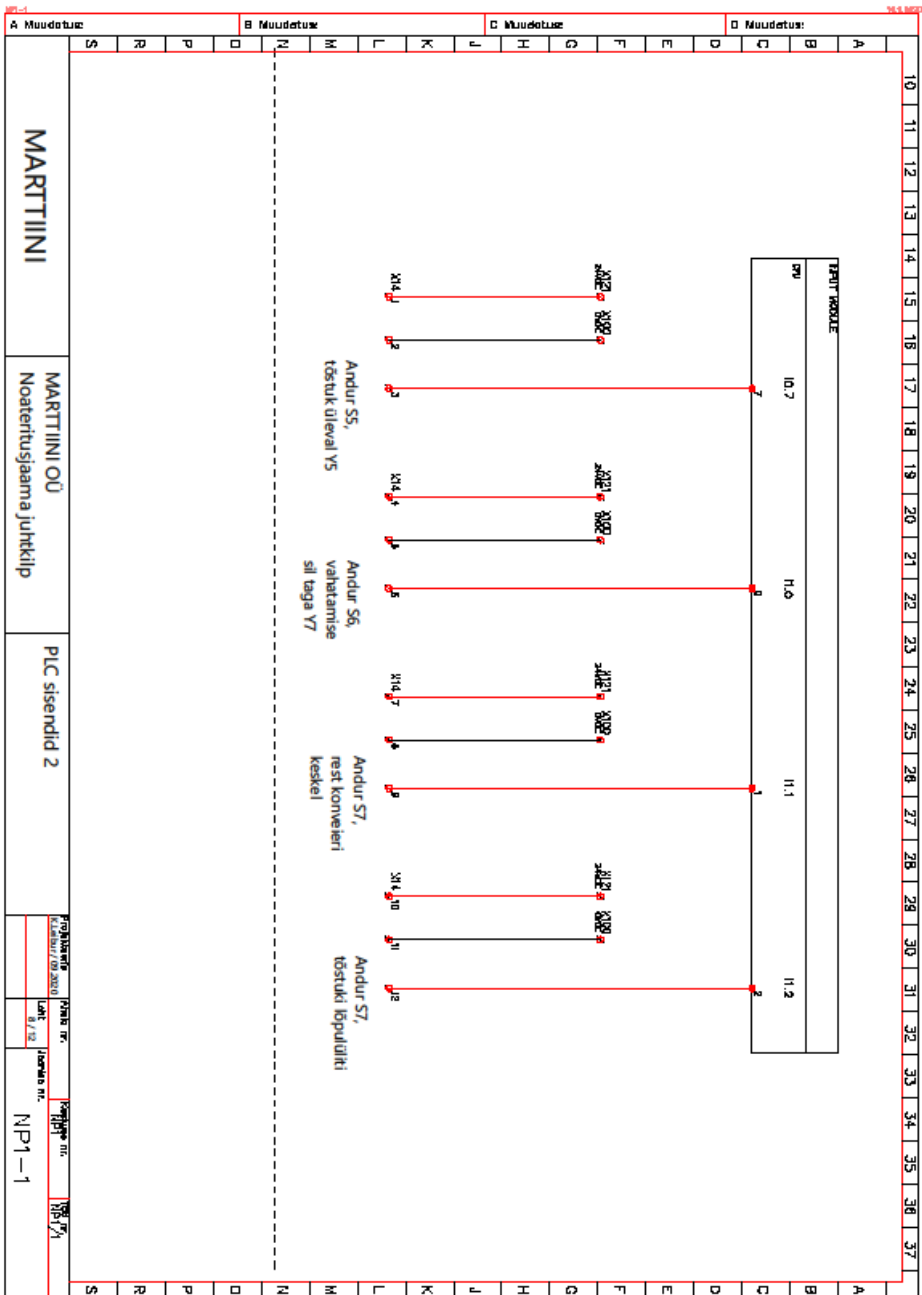










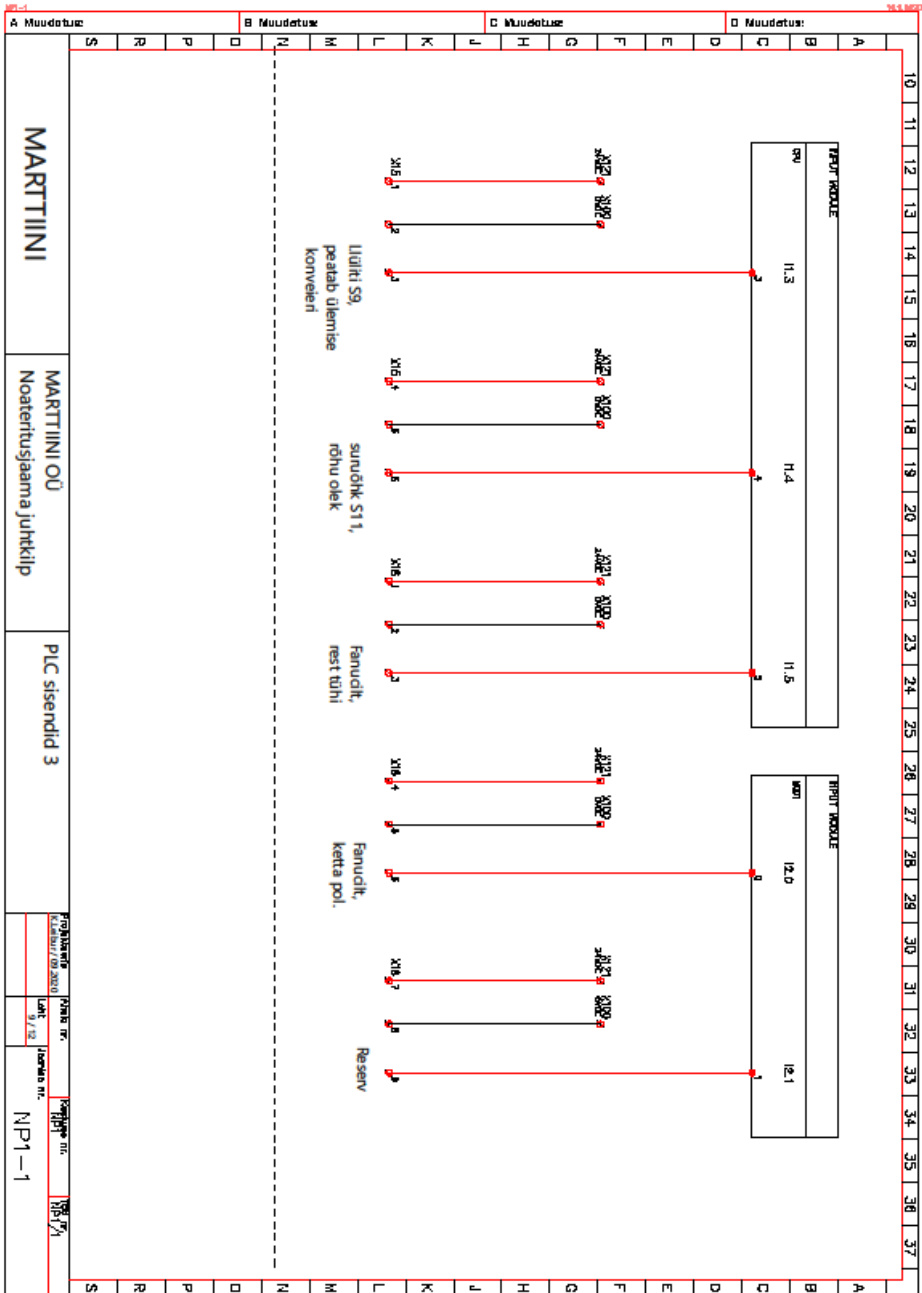


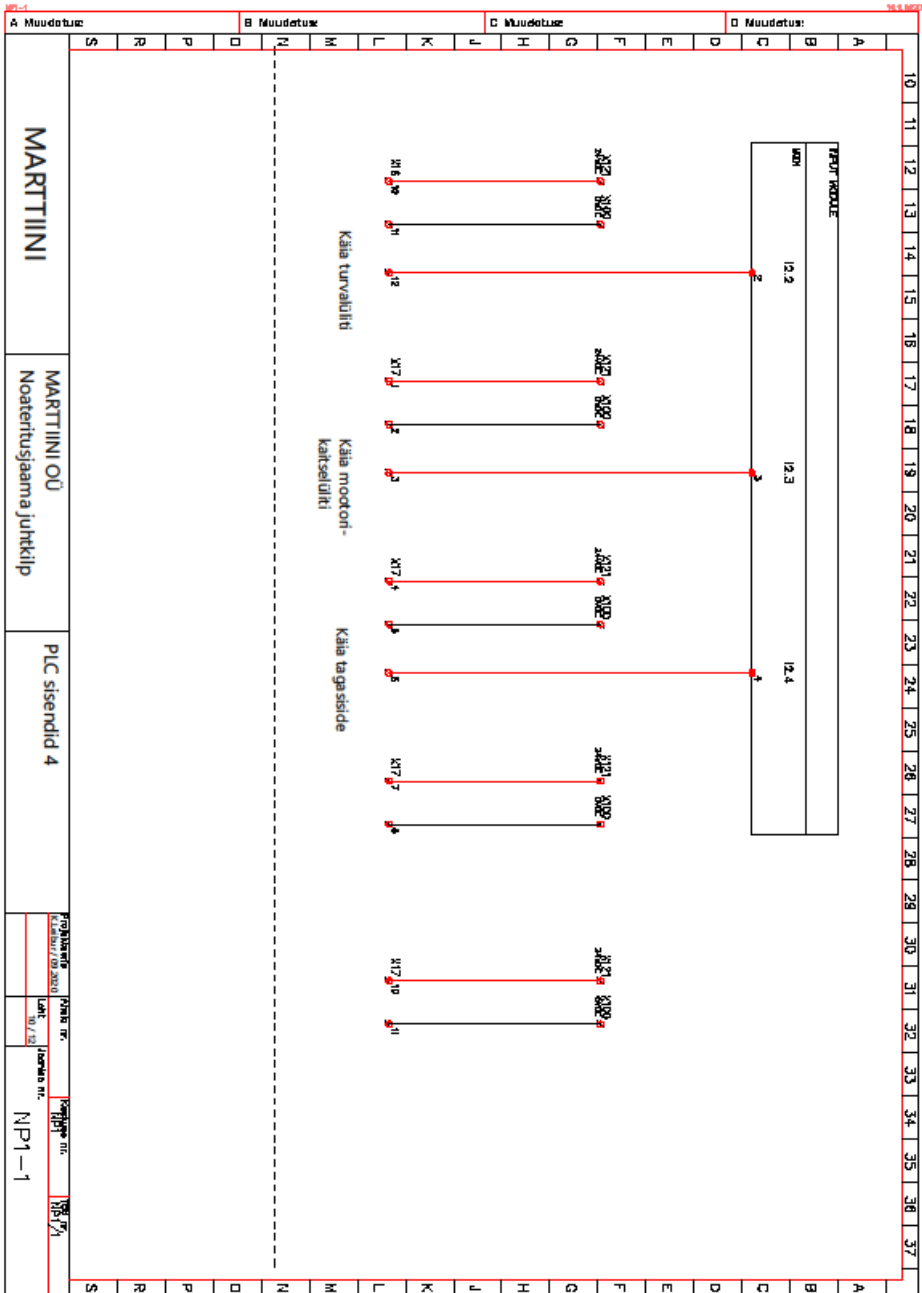
MARTTIINI

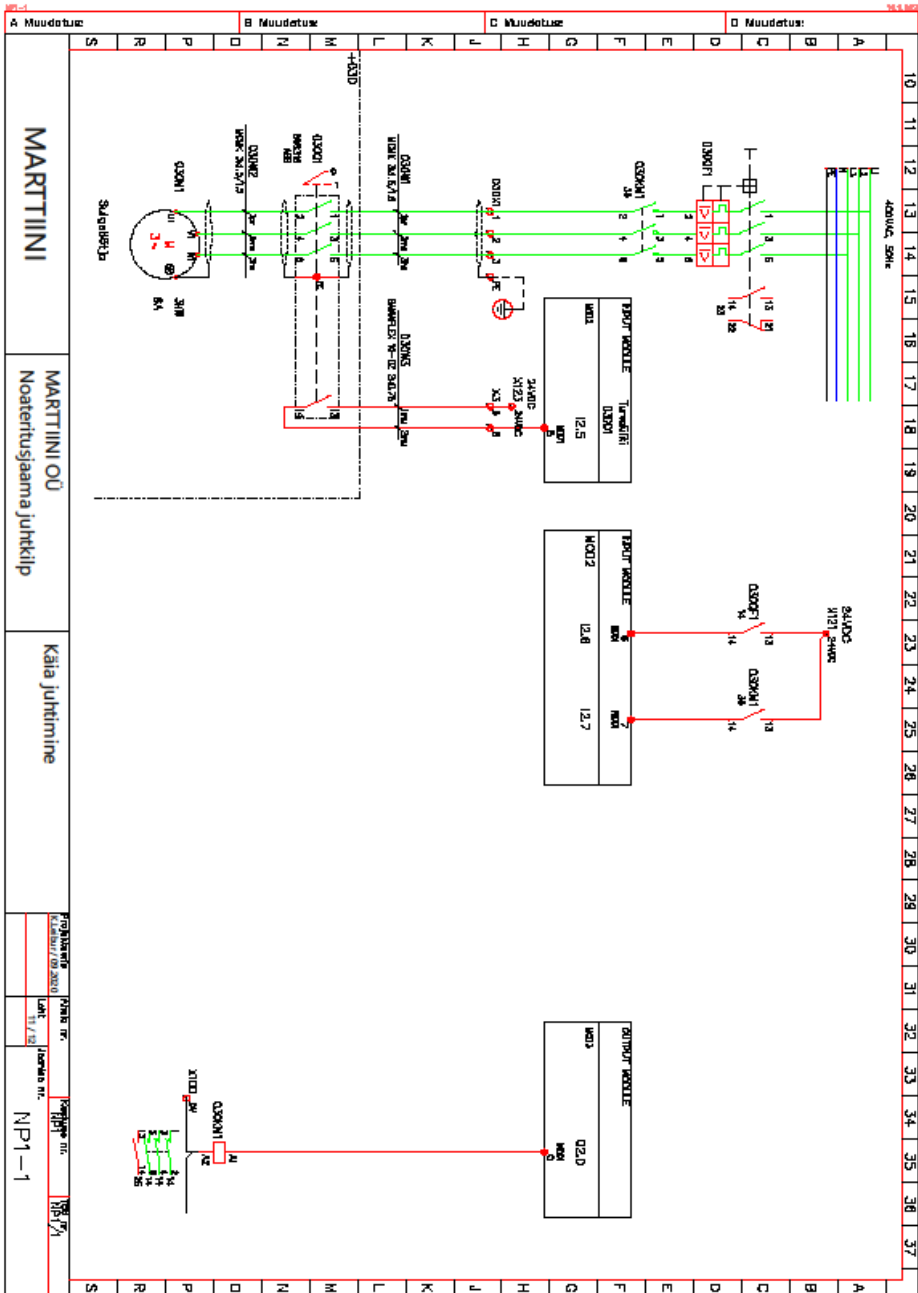
MARTTIINI OÜ
Noaertustsaama juhtklip

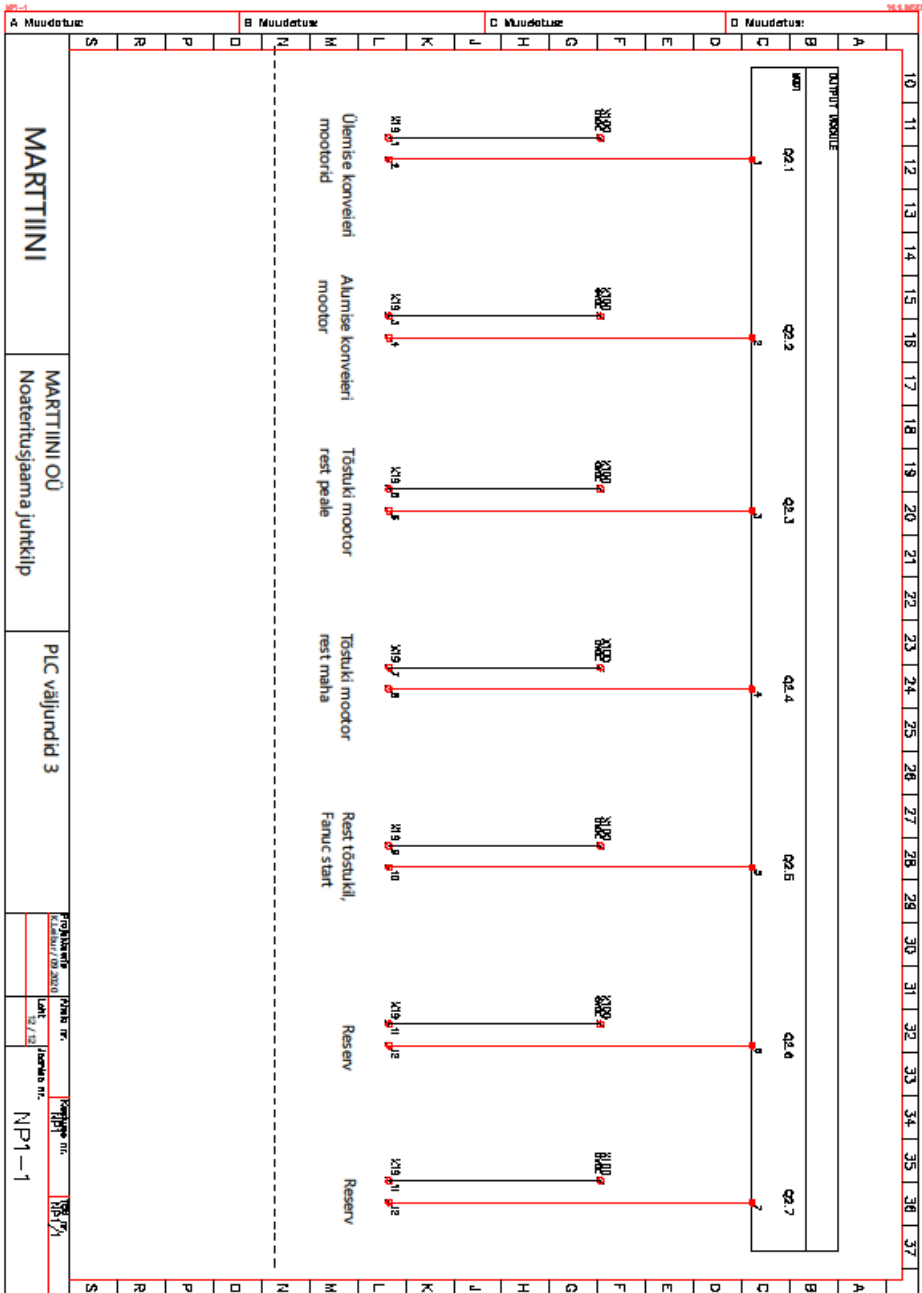
PLC sisendid 2

PROJEKTOOR
KOHALDUS
LAHT. 8.1.12
KOHALDUS nr.
NP1-1

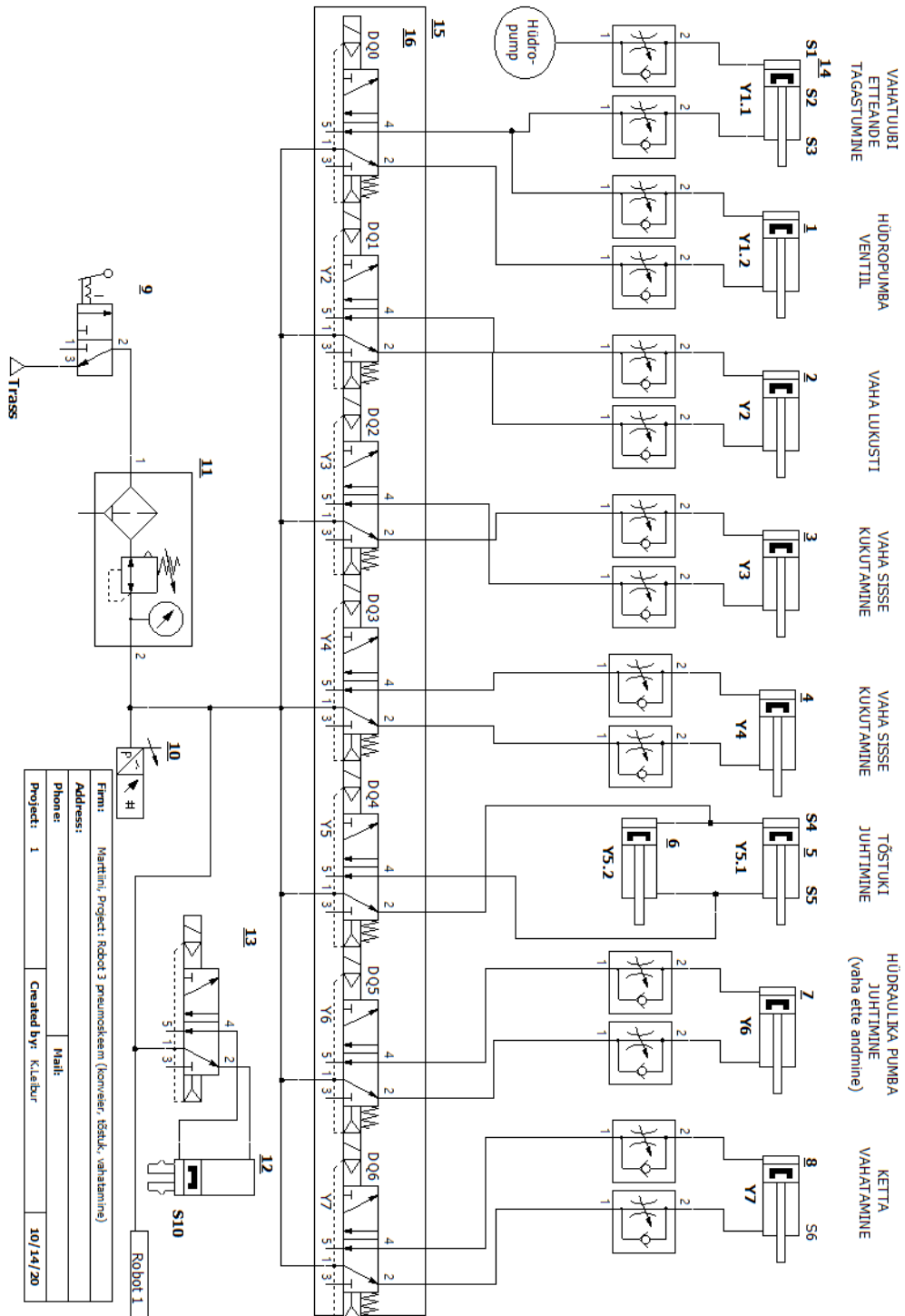






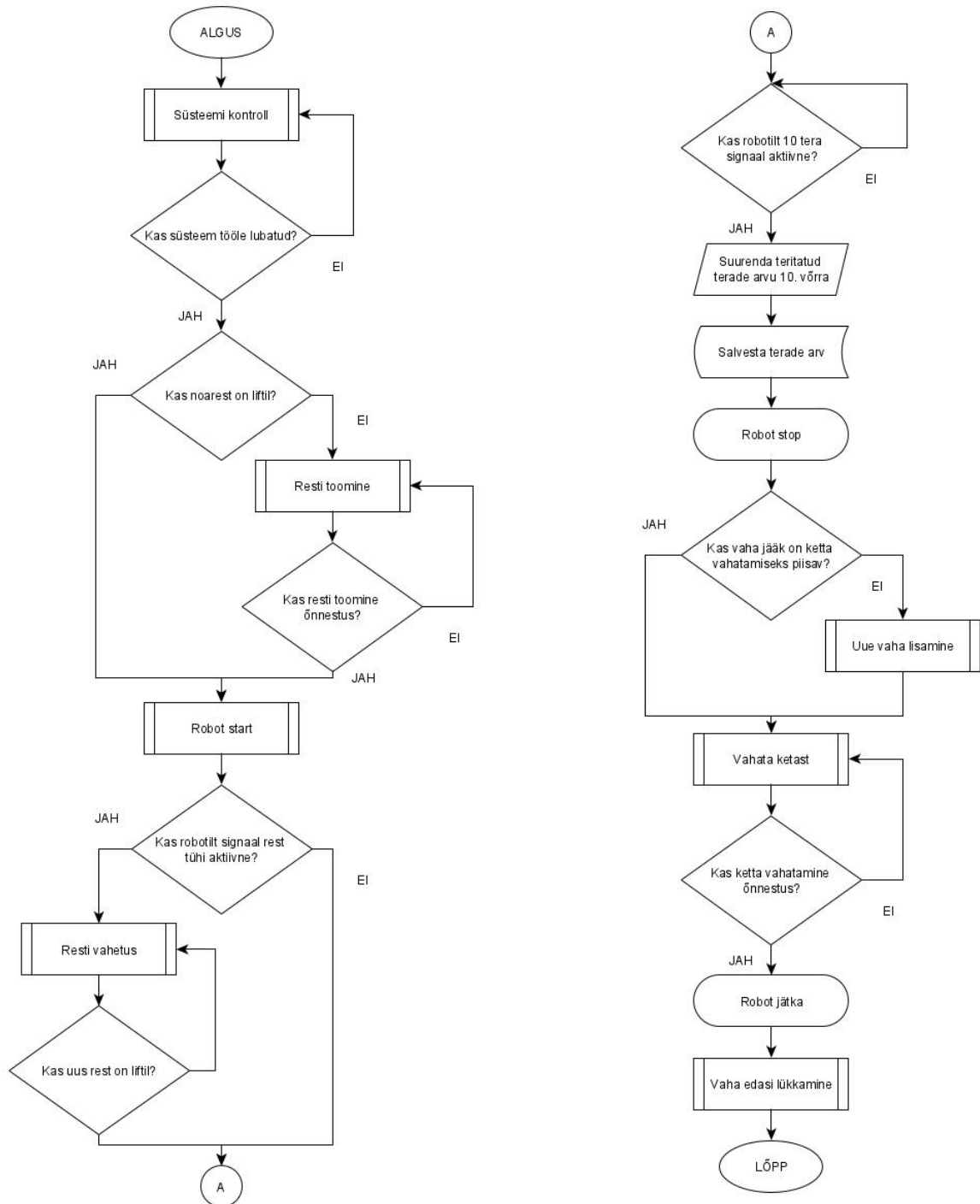


LISA 2 – Teritusjaama pneumaatika skeem

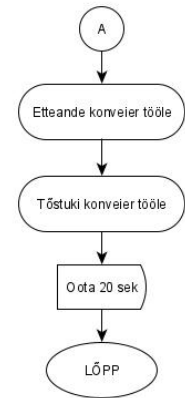
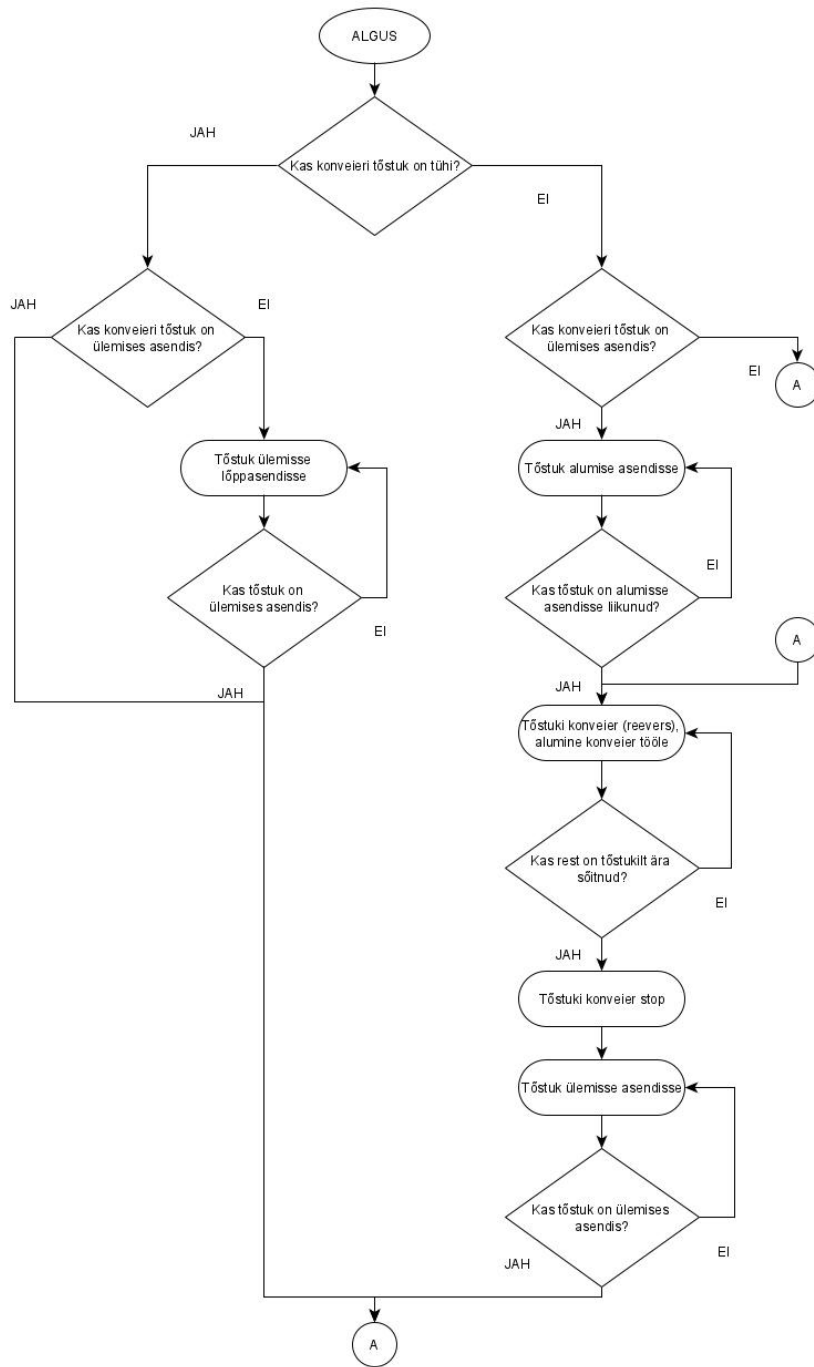


LISA 3 – Teritusjaama olulisemate protsesside voodiagrammid

L3.1 Põhiprogramm:



L3.2 Süsteemi kontroll:



L3.3 Roboti programm:

