

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond

Jürgen Koll 185885IACB

**Prügikastide automaatset pesusüsteemi juhtiva
loogikakontrolleri valik ja sellele loodava
tarkvara testimine**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Andres Rähni
Tehnikateaduste
magister

Tallinn 2022

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Jürgen Koll

16.05.2022

Annotatsioon

Käesolev bakalaureusetöö on kirjutatud projektist, mis valmis koostöös ettevõttega Eritehnik OÜ. Projekti eesmärk oli luua prügikastide automaatne pesusüsteem prügiautole. Bakalaureusetöö üheks eesmärgiks oli valida välja teoreetiliselt parim programmeeritav loogikakontroller selle projekti jaoks autori poolt koostatud valimist. Teiseks eesmärgiks oli kontrollerile loodavale tarkvarale koostada testimise plaan ja viia läbi tarkvara testimist.

Programmeeritavale loogikakontrollerile tarkvara valmis Bo Aaron Kooseri bakalaureusetöös pealkirjaga „Prügikasti automaatse pesusüsteemi juhtimisprogramm prügiautole“.

Prügikastide automaatset pesusüsteemi juhtima valiti Siemens LOGO! 24CE programmeeritav loogikakontroller, lisaks kasutati täiendavat sisend-väljund laiendusmoodulit Siemens LOGO! DM8 24.

Tarkvara testimise jaoks koostati 3-etapiline plaan, millest esimesed kaks etappi oli planeeritud läbi viia bakalaureusetöö käigus. Autorist mittesõltuvatel põhjustel viidi töö käigus läbi ainult üks tarkvara testimise etapp.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 27 leheküljel, kuus peatükki, neli joonist, seitse tabelit.

Abstract

Selecting a Programmable Logic Controller for an Automatic Washing System for Garbage Cans and Testing the Software Created for the System

This bachelor's thesis is written about a project, which was done in cooperation with Eritehnik OÜ. The aim of the project was to create an automatic washing system for garbage cans. One of the goals for this thesis was to select the theoretical best programmable logic controller from a selection composed by the author. The second goal for this thesis was to create a testing plan for the software which was created for the controller and to test the software.

The software for the programmable logic controller was completed in Bo Aaron Kooser's bachelor's thesis titled "Management Program for Garbage Truck Trash Bin Washing System".

The Siemens LOGO! 24CE programmable logic controller was chosen to manage the automatic washing system for garbage cans. In addition to that, the Siemens LOGO! DM8 24 additional input-output expansion module was employed.

A 3-stage plan was composed for testing the software. The first two stages were planned to be completed during writing the bachelor's thesis. For reasons beyond the control of the author, only one stage of software testing was completed.

The thesis is in Estonian and contains 27 pages of text, six chapters, four figures, seven tables.

Lühendite ja mõistete sõnastik

Arendaja	Tarkvara looja
DC	Alalisvool
PLC	<i>Programmable logic controller</i> , programmeeritav loogikakontroller
Tellijaja	Ettevõte
Testija	Tarkvara testimist läbiviiv isik

Sisukord

1 Sissejuhatus	9
1.1 Taust ja probleem.....	9
1.2 Töö eesmärk.....	10
2 Juhtiva loogikakontrolleri valik.....	11
2.1 Juhtivale seadmele määratud nõuded ja valiku kriteeriumid.....	11
2.2 Mis on PLC.....	12
3 Kolme erineva tootja PLC võrdlus	14
3.1 Tehniliste andmete võrdlus.....	14
3.2 PLC võrdluse tulemus	16
3.3 Valitud juhtiv loogikakontroller.....	16
4 PLC tarkvara testimise plaan.....	19
4.1 PLC tarkvara testimise eripärad ja meetodid.....	19
4.2 PLC tarkvara testimise plaan antud projektis	21
5 PLC tarkvara testimine.....	24
5.1 Tarkvara testimine simulatsiooni režiimis.....	24
5.2 Valmis süsteemi testimine reaalse masina peal	27
6 Kokkuvõte	28
Kasutatud kirjandus	29
Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	32

Jooniste loetelu

Joonis 1. PLC sisend – väljund arhitektuur [18]	12
Joonis 2. PLC töötükk [12]	13
Joonis 3. Siemens LOGO! 24CE kontrolleri [27].....	17
Joonis 4. Siemens LOGO! DM8 24 laiendusmoodul [28].....	17

Tabelite loetelu

Tabel 1. PLC-de tehnilised andmed [1], [6] – [8], [10], [21], [25].....	14
Tabel 2. Siemens LOGO! 24CE kontrolleri koos Siemens LOGO! DM8 24 laiendusmooduliga [8], [9]	15
Tabel 3. Siemens LOGO! 24CE kontrolleri tehnilised andmed [1], [25]	18
Tabel 4. Siemens LOGO! DM8 24 laiendusmooduli tehnilised andmed [2], [26].....	18
Tabel 5. Ühiktest pesuprogrammi kestvuse valiku kohta normaalolukorras.	25
Tabel 6. Ühiktest pesuprogrammi kestvuse valiku kohta eriolukorras.	26
Tabel 7. Süsteemist ühepesupeaga pesemine normaalolukord.	27

1 Sissejuhatus

Lõputöö valmis koostöös ettevõttega Eritehnik OÜ. Lõputöö teemaks on prügiauto peal paikneva prügikastide automaatse pesusüsteemi juhtimiseks mõeldud loogikakontrolleri teoreetiline valik ja sellele loodava tarkvara testimine. Lõputöö koosneb kahest osast, esimese osa käigus võrreldakse kolme erineva tootja programmeeritavat loogikakontrollerit ja selgitatakse välja milline kontroller antud valikust on parim valik süsteemi juhtima. Teises osas luuakse kontrollerile loodava tarkvara testimise jaoks testimisplaan ja viiakse läbi tarkvara testimine vastavalt koostatud plaanile.

Loogikakontrollerile loodav tarkvara valmib Bo Aaron Kooseri lõputöös pealkirjaga „Prügikasti automaatse pesusüsteemi juhtimisprogramm prügiautole“.

Tööd tehakse agiilsel tarkvaraarenduse meetodil ja põhiprintsiipe jälgides tsüklite kaupa ehk sprintides [30]. Iga sprint koosneb viiest peamisest osast: planeerimine, kohtumine ettevõttega, arendamine, testimine ja analüüsimine. Sprindi pikkuseks on kaks nädalat ja lõputöö käigus tehakse kokku 9 sprinti.

1.1 Taust ja probleem

Mitmetes Euroopa Liidu riikides on suvisel perioodil, kui väljas on temperatuur plusskraadides, kohustuslik pesta prügikaste. Erinevates riikides on prügikasti pesu reguleeritud vastavalt seadusandlusele erinevalt. Peamiselt pestakse ainult biojätmete prügikaste, kuid sõltuvalt riigist või piirkonnast (näiteks maakond või suur linn) on ka erisusi kus pestakse kõikide jätmete prügikaste.

Soome jäätmemäärus kohustab hoidma jäätmemahutit heas korras ja regulaarselt puhastama. Prügikasti tuleb pesta vähemalt kord aastas ja biojätmete prügikasti tuleb pesta vähemalt kaks korda aastas [17], [19].

Ettevõtte Eritehnik OÜ, keda edaspidi nimetatakse käesoleva töö raames tellijaks, on spetsialiseerunud eriotstarbeliste sõidukite remondi- ja hoolduseteenuse pakkumisele. Lisaks tegeleb eritehnika müügiga ja vahendab Eestis jäätmekäitlustehnikat Rootsi

juhtivtootjatelt JOAB Försäljnings AB ja Botek Systems AB [11]. Ettevõtte on üle 20 aasta vana ja perioodil 2015 – 2021 oli ettevõtte keskmine maksustatav käive 1,1 miljonit eurot aastas [15].

Ettevõtte sõnutsi on antud valdkonnas kaks peamist probleemi. Esiteks enamasti kasutatakse prügikastide pesemiseks kahte erinevat masinat millest üks esmalt tühjendab ja teine seejärel peseb prügikasti. Sellise lahenduse suurim miinus on liigne ressursi kulu, mis väljendub selles, et kaks masinat ja kaks meeskonda on samal ajal hõivatud ühe töö tegemisega. Teise lahendusena on turul olemas sõidukid mis esmalt tühjendavad ja seejärel pesevad prügikasti. Sellise funktsionaalsusega sõidukeid on turul saadaval ainult mõni üksik mudel. Tellija sõnul on antud sõidukite töökindlus väga madal kuna masinad on liigselt kõrgtehnoloogilised, mis antud valdkonna töökeskkonnas töökoormusele vastu ei pea.

Ettevõtte soovib lahendada just seda teist probleemi – tulla turule sõidukiga mis esmalt tühjendab ja siis peseb prügikasti, mis oleks töökindel ja mille protsessid oleksid minimaalselt juhitud tehnoloogiliste seadmete poolt.

1.2 Töö eesmärk

Lõputööl on kolm peamist eesmärki:

1. PLC teoreetiline valik ja võrdlus.
2. Luua tarkvara testimise plaan võttes arvesse PLC tarkvara testimise eripärasid.
3. Viia läbi tarkvara testimist vastavalt plaanile.

Projekti tehakse koostöös Bo Aaron Kooseriga kelle lõputöö „Prügikasti automaatse pesusüsteemi juhtimisprogramm prügiautole“ raames valmib valitud kontrolleri jaoks tarkvara. Lõputöö lisaeesmärgiks on tarkvara testimist läbiviies garanteerida tarkvara kvaliteet ja nõuetele vastavus.

2 Juhtiva loogikakontrolleri valik

2.1 Juhtivale seadmele määratud nõuded ja valiku kriteeriumid

Tellijal üks peamisi tingimusi oli paindlikkus ja võimalus muuta projekti nõudeid ja tingimusi kuna sellise projektiga puudub neil varasem kogemus. See andis vajaduse leida võimalikult universaalne juhtiv programmeeritav loogikakontroller, kuid juba projekti algfaasis sai paika, et tuleb juhtida ainult pesusüsteemi [4].

Kõige olulisem valiku kriteerium ja tellija poolne nõue on paindlikkus juhtiva kontrolleri sisendite ja väljundite arvus. Algselt ei olnud selge kui palju andureid ja täitureid kasutusele tuleb ning tellijal oli soov omada paindlikkust ja võimaluse korral luua lisafunktsioone näiteks pesusüsteemi hooldus- ja remonttööde lihtsustamiseks.

Prügikastide automaatse pesusüsteemi loogika on suhteliselt lihtne ja ei vaja erilisi lisaprogramme ega -funktsioone. Lisaks puudub vajadus pidevatoimeliste signaalidega juhtimise järgi, mis ei määra väga kõrgeid nõudeid kontrolleri arvutusvõimekusele ja tootjapoolsetele funktsionaalsustele.

Oluliseks kriteeriumiks on töökeskkond ja temperatuur. Tuleb arvestada, et töö periood on suvel, mille tõttu võib õhutemperatuur tõusta kõrgele. Kuna sõiduk töötab väljas siis päikese käes võivad minna temperatuurid väga kõrgeks. Samas ei pea arvestama miinuskraadidega kuna pesusüsteemi talvel ei kasutata. Tellija paigutab kontrolleri sõiduki peal väliskeskkonna eest kaitstud ruumi, kuid sellegipoolest tuleb arvestada teatud niiskuse- ja tolmukindluse vajadusega.

Vajadus ekraani järgi puudub kuna pole vajadust regulaarse seadistamisvõimaluse järgi ning kontroller on paigutatud sõidukil raskesti ligipääsetavasse kohta. Lisaks ei ole planeeritud kontrollerit kasutada jälgimaks näiteks veekogust paakides ja puudub operaatorile kasulik info mille kuvamiseks läheks vaja ekraani.

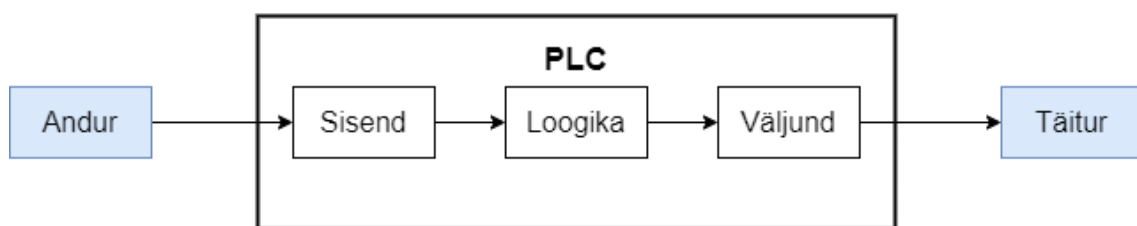
Viimase valiku kriteeriumina on oluline kontrolleri hind ja lisaseadmete, näiteks laiendusmoodul, puhul tuleb arvestada ka nende hinda.

2.2 Mis on PLC

PLC ehk programmeeritav loogikakontroller on tööstusarvuti, mis võtab vastu sisendsignaale ja vastavalt programmi loogikale juhib väljund signaale (Joonis 1). PLC-ga on võimalik ühendada analoog- ja digitaalsignaalidega andureid ja täitureid. Programmeeritavas loogikakontrolleris on kasutusel digitaalsignaali ja madalad pinged, väljaarvatud toide, sisendid ja väljundid [18].

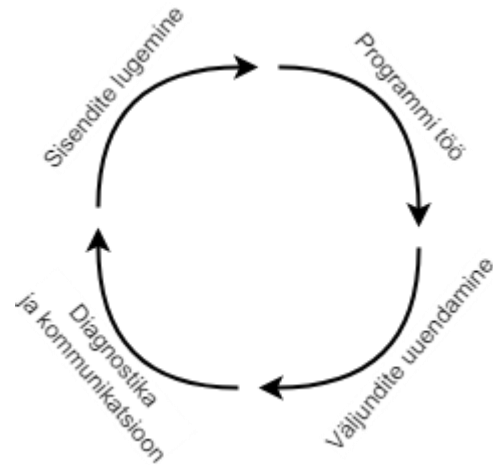
PLC ajalugu algab 1960ndatel kui General Motors hakkab otsima lahendust varasemalt kasutusel olnud relee põhiste automaatika juhtsüsteemidele. Relee põhised juhtsüsteemid olid väga suured, keerulised, kallid ja neil puudus paindlikkus [18]. Esimene PLC valmis 1968. aastal, kuid PLC arendus sai hoo sisse 1970ndatel kui kontrollereid hakkasid arendama ja said valmis ka teised tootjad nagu näiteks General Electric ja Omron [23].

Kontrollerid on arendatud töötama eriti kõrgete või madalate temperatuuridega keskkonnas, mitte mõjutuma elektrimürale ja vastu pidama vibratsioonidele. PLC peamiseks eelisteks tööstuses on kasutusmugavus, väga hea reageerimiskiirus ning töökindlus. Samuti on neid lihtne programmeerida ja ühendada automaatika süsteemiga [12].



Joonis 1. PLC sisend – väljund arhitektuur [18]

PLC töösükkel koosneb neljast etapist ja algab sisendite skaneerimisega ja lugemisega. Seejärel käivitatakse programm ja kui programm on täide viidud ning lõpetanud siis uuendatakse väljundite staatuseid. Viimase sammuna tsüklis on PLC enda diagnostika ja andmeside ülesannete täitmine, pärast seda algab tsükkel algusest (Joonis 2) [12].



Joonis 2. PLC töösükkel [12]

3 Kolme erineva tootja PLC võrdlus

Käesolevas peatükis võrreldakse kolme erineva tootja programmeeritavat loogikakontrollerit eesmärgiga välja valida antud projekti jaoks teoreetiliselt parim kontroller. Lõpptulemus peab selgitama välja kas projektis kasutatud Siemens LOGO! 24CE kontroller oli hea valik.

Võrdlemiseks valitud tehniliste andmete valimisel võeti arvesse projekti eripära ja valiti kriteeriumid mis on kõige olulisemad antud projekti puhul. Võrdlusesse on valitud kontrollerid, mis vastavad tellijapoolsetele nõuetele.

Esimene kontroller on projektis kasutusel olev Siemens LOGO! 24CE. Teine võrdlusesse võetud kontroller on tootjalt Mitsubishi ja sarnaselt Siemensi kontrollerile on valitud baasmudel ALPHA, täpsemalt AL2-24MR-D. Kolmas võrdluses osalev PLC on tootja Delta Electronics DVP seeriast, täpsemalt DVP20SX211R. Delta kontrolleri soovitus tuli tellijalt kellel oli infot, et varasemalt on sarnast projekti Delta Electronics kontrolleriga tehtud.

3.1 Tehniliste andmete võrdlus

	Siemens LOGO! 24CE	Mitsubishi AL2-24MR-D	Delta Electronics DVP20SX211R
Sisendid (millest analoog sisendid)	8 (4)	15 (8)	12 (4)
Väljundid	4 (transistor)	9 (relee)	8 (relee)
Toitepinge	24V DC	24V DC	24V DC
Programmi mälu	400 plokki	200 plokki	16K sõna
Tsükli aeg	< 0.1 ms/funktsioon	10 ms	-
Ekraan	Jah	Jah	Ei
Töötamis keskkonna temperatuur	- 20 °C kuni + 55 °C	- 25 °C kuni + 55 °C	0 °C kuni + 55 °C
Võimalus lisada sisendeid/väljundeid	Jah	Jah	Jah
Kaitseaste	IP20	IP20	-
Hind	134.60 €	266.00 €	338.91 €

Tabel 1. PLC-de tehnilised andmed [1], [6] – [8], [10], [21], [25]

Programmeeritavate loogikakontrollerite tehnilisi andmeid võrreldes tulevad välja peamised erinevused sisendite ja väljundite arvus – kas väljundid on relee või transistori põhised, programmi mälu ja hind (Tabel 1). Väiksed erinevused esinevad ka

töökeskkonna temperatuuris. Siiski, kuna pesusüsteemi ei kasutata miinuskraadidega siis antud erinevus ei ole määrav.

Lisaks puudub selge erinevus tsükli aja ja ekraani olemasolus kuna antud süsteemis ei ole nii väiksed ooteajad määravad ja kuna puudub vajadus ekraani järgi siis selle olemasolu ei saa nimetada puuduseks.

Suurimad vahed on sisendite ja väljundite koguarvus ning sisendite puhul analoogsisendite arvus. Kõige suurem sisendite ja väljundite koguarv on Mitsubishi kontrollerial, sellele järgneb Delta Electronics kontrollerial ja kõige vähem on Siemens kontrollerial. Analoogsisendite arv ei ole määrav kuna projekti esialgse arenduse käigus ei ole kasutusel analoogsignaale.

Väljundite puhul on vahe ka selles, kas on tegemist relee või transistori põhise lülitusega. Võrreldes relee ja transistori omadusi antud projekti raames siis relee peamiseks eeliseks on väga madal takistus. Siiski, releed on aeglasemad kui transistorid. Teised erinevused nagu näiteks relee parem vastupidavus kõrgele pingele ja voolu tugevusele ning transistori omadus käituda analoogseadmena ei ole antud projekti raames määravad [3].

Programmi mälu saab võrrelda omavahel ainult Siemensi ja Mitsubishi kontrollerial kuna tehnilistes andmetes on kasutatud sama ühikut. Selles võrdluses on parem valik Siemens kuna programmi mälu on suurem ja võimaldab laadida kontrollerrisse suuremat programmi. Antud hetkel ei ole see veel määrav, kuid tuleviku arendus võimaluste suhtes on see kasulik.

Viimaseks erinevuseks on hind. Tabelites 1 ja 2 on välja toodud käibemaksuvabad hinnad. Selgus, et kõige soodsam valik on Siemens ja kõige kallim Delta Electronics. Hindade erinevused on nii suured, et kui lisada Siemensi kontrollerialle üks lisa sisendite ja -väljundite moodul jääb Siemensi kontrollerial ikkagi kõige soodsamaks (Tabel 2).

Sisendite arv koos lisamooduliga	12
Väljundite arv koos lisamooduliga	8
Hind koos lisamooduliga	197.74 €

Tabel 2. Siemens LOGO! 24CE kontrollerial koos Siemens LOGO! DM8 24 laiendusmooduliga [8], [9]

3.2 PLC võrdluse tulemus

Kolme erineva tootja PLC võrdluse tulemusel saab järeldada, et baasmudelid mis vastavad antud projekti tingimustele ja nõuetele, on tehniliselt väga sarnased ja suuri erinevusi nende vahel ei esine. Olulised vahed on sisendite ja väljundite arvus ning hinnas.

Autori hinnangul on antud projekti puhul teoreetiliselt parim valik Siemens LOGO! 24CE PLC, sest projekti puhul on oluline paindlikkus sisendite ja väljundite arvus. Samuti on oluliseks faktoriks, et antud kontrolleri on soodsaim valik ka siis kui tuleb lisada vähemalt üks lissisendite ja väljundite moodul. Lisaks langeb valikust Delta Electronics-i kontrolleri, kuna sellel on väga kõrge hind ja sellel puuduvad suured eelised, mis kompenseeriks kõrget hinda. Siemensi ja Mitsubishi omavahelises võrdluses jääb Siemensi PLC eelistatuma enda suurema programmi mäluga, mis annab võimaluse tarkvara edasisteks arendusteks ja lisafunktsionaalsuste lisamiseks.

3.3 Valitud juhtiv loogikakontroller

Projekti tegemiseks valiti juhtivaks programmeeritavaks loogikakontrolleriks tootja Siemens mudel LOGO! 24CE ekraaniga (Joonis 3). Valik sai tehtud jaanuarikuus ja kontrolleri valiku otsustavaks teguriks sai tarneaeg, kuna see kontrolleri oli ainus sobiv mudel, mille tarneaeg jäi projektil nõutud vahemikku.

Siemens LOGO! 24CE ekraaniga mudel vastab kõigile tellija poolsetele nõuetele. Samade tehniliste andmetega mudelit toodab Siemens ka ilma ekraanita. Ekraan ei olnud antud projekti puhul vajalik, ning ilma ekraanita mudelit ei olnud samuti saadaval.

Siemens LOGO! 24CE on Siemensi tootevalikus olevate PLC-de seas üks lihtsaim tooteseeria, mille võimekus vastab prügikastide automaatse pesusüsteemi juhtimise nõuetele. Olulise mugavusena on antud tooteseerial võimalus kasutada sisend-väljund laiendusmoodulit (Joonis 4), mille abil on võimalik ületada projektis kasutatavate sisendite ja väljundite arvu mitmekordselt.

Kontrolleri mudel sobib kasutamiseks mugavalt veoauto peal, kuna kontrolleri toitepinge on 24V DC, mis ühtlasi on ka veoautodes kasutusel oleva elektrisüsteemi pinge.



Joonis 3. Siemens LOGO! 24CE kontrolleri [27]



Joonis 4. Siemens LOGO! DM8 24 laiendusmodul [28]

Järgnevas tabelis on välja toodud PLC olulisemad tehnilised andmed:

Sisendid (millest analoog sisendid)	8 (4)
Väljundid	4 (transistor)
Toitepinge	24V DC
Tsükli aeg	< 0.1 ms/funktsioon
Ekraan	Jah
Töötamis keskkonna temperatuur	– 20 °C kuni + 55 °C
Hoiustamis temperatuur	– 40 °C kuni + 70 °C
Kaitseaste	IP20

Tabel 3. Siemens LOGO! 24CE kontrolleri tehnilised andmed [1], [25]

Järgnevas tabelis on välja toodud PLC selle projekti puhul olulisemad tehnilised andmed:

Digitaal sisendid	4
Digitaal väljundid	4 (transistor)
Toitepinge	24V DC
Töötamis keskkonna temperatuur	– 20 °C kuni + 55 °C
Kaitseaste	IP20

Tabel 4. Siemens LOGO! DM8 24 laiendusmoduli tehnilised andmed [2], [26]

4 PLC tarkvara testimise plaan

4.1 PLC tarkvara testimise eripärad ja meetodid

Selle töö raames on tarkvara testimise eesmärgiks leida ennetavalt üles veada, mis on tekkinud tarkvara arenduse käigus ja kontrollida, kas programm täidab tellija poolt määratud tingimusi.

Loogikakontrolleri tarkvara testimisel võib esineda mitmeid probleeme ja ohtusid mida klassikalise tarkvaraarenduse puhul enamasti ei esine. Suurimaks probleemiks on vajaliku riistvara olemasolu ja võimalus reaalse töötava automaatikasüsteemi peal testida. Lisaks on tugevalt piiritletud testimisvõimalused ka arenduskeskkondade ja simulaatorite poolt.

PLC tarkvara testimiseks on kolm peamist meetodit: testida lihtsalt PLC-d, kasutada simulaatorit või ühendada PLC automaatika süsteemi külge ja testida süsteemi tööd [16]. Esimene meetod testida lihtsalt PLC-d sobib rakendusspetsiifilistele kontrolleritele mis on seadistatud ja arendatud kindlat ülesannet tegema. Selle mooduse kasutamiseks pingestatakse järjest sisendeid ja kontrollitakse, kas tuleb õige väljund [16]. Teine meetod kasutada simulaatorit sobib igale programmeeritavale loogikakontrollerile. Selle jaoks saab kasutada simulaatorprogramme – nii programmeerimistarkvarasse sisseehitatud kui ka eraldiseisvaid simulaatoreid. Lisaks saab ühendada PLC sisendite külge nupud ja väljundite külge tuled ning vajutades nuppe saab kontrollida tuled süttimist [16]. Kolmas meetod on ühendada PLC juhitava süsteemi külge ja seejärel testida. Antud meetod on kõige ohtlikum nii tootele, juhitalvarele kui ka inimestele.

Tavaliselt arendatakse PLC tarkvara kohas, kus reaalne automaatikasüsteem ja riistvara ei hakka kunagi paiknema. Sageli pole ka täielikult komplekteeritud riistvara peal võimalik tarkvara testida enne süsteemi kasutuselevõttu. Sellel võib olla erinevaid põhjuseid – näiteks automaatikasüsteemi riistvara alles komplekteeritakse ja seadmeid pannakse püsti või süsteem on kasutusel kuni viimase hetkeni kui vahetatakse juhtiv seade välja [14].

Sõltuvalt programmeerimiskeelest ja arenduskeskkonnast, mida PLC tarkvara arenduseks kasutatakse, on nõrkused ja puudused erinevad. Arenduskeskkonnast tingitud piiritletud testimisvõimekused on rohkem olulised keeruliste tarkvaraliste lahenduste puhul, kus üksteisest sõltuvaid andureid ja täitureid on kümneid või rohkem.

Lisaks on PLC tarkvara on võimalik testida simulaatorit kasutades. Osades arenduskeskkondades on simulaatori funktsionaalsus juba sisse programmeeritud, kuid osadel tuleb kasutada välist simulaatorit kuhu esmalt peab laadima arendatava tarkvara programmi.

Käesolevas projektis kasutatakse tarkvara arenduseks Siemens LOGO! Soft Comfort V8 arenduskeskkonda, mis võimaldab lihtsasti ilma suurema eelneva kogemusega luua PLC tarkvara. LOGO! Soft Comfort sisaldab erinevaid tööriistu tarkvara testimiseks ja simulaatorit, mille kasutamiseks puudub vajadus omada reaalselt kontrolleri [29].

Jaapani päritoluga elektroonikatootja Omron tootevalikus on mitmeid erinevaid programmeeritavaid loogikakontrollereid ja tarkvaraarenduse programme. Nende valikus on lihtsaim tarkvaraarenduse programm CX-One, mis võimaldab lihtsasti ilma suurema eelneva kogemusega luua PLC tarkvara ning sisaldab endas simulaatorit [5]. Suurema funktsionaalsusega ja keerulisemate PLC tarkvarade arenduse jaoks on neil eraldi programm CX-Programmer. Selles programmis ei ole sisseehitatud simulaatorit ning simuleerimiseks ja testimiseks tuleb kasutada eraldi simulaatorprogrammi CX-Simulator [22], [32].

PLC tarkvara testimisega kaasnevad ka erinevad ohud nii automaatikaseadmetele, täituretele kui ka keskkonnale. Kui tarkvaras esineb täiturete juhtimises vigu siis võib esineda mootori, pumpade või teiste seadmete ülekoormusest tingitud rikkeid. Rikked võivad olla näiteks ülekuumenemine ja mehhaaniline purunemine. Samuti, kui puudub andur mis peab andma signaali, et on aeg protsess lõpetada või tarkvaras pole anduri puudumise või riknemisega arvestatud, võib esineda toote ja mehhanismi purunemist.

Tarkvara on alati vaja testida enne kasutuselevõttu reaalses keskkonnas ja reaalse seadmetega. Testides tuleb arvestada, et kaasneb ka oht inimestele – alates testi läbiviijast kuni kolmandate isikuteni, kes testimise juures viibivad. Kui tarkvaras esineb puuduseid või tarkvaras esineva vea tõttu käitub automaatikasüsteem ettearvamatult võivad sattuda

ohutu läheduses viibivad inimesed, keda ohustavad näiteks elektrivool või kõrge rõhk [14]. Antud projekti puhul võivad ohustajateks olla kõrgsurvepesurid ja kuum vesi.

4.2 PLC tarkvara testimise plaan antud projektis

Käesoleva projekti tarkvara testimist alustatakse kohe tarkvara arenduse algfaasis, kuna see annab võimaluse testida tarkvara põhjalikumalt ja seeläbi leida üles rohkem vigu. Lõpptulemusena saadakse valmis kvaliteetne tarkvara.

Prügikastide automaatse pesusüsteemi tarkvara testimine on jaotatud kolme suuremasse etappi:

1. Tarkvara testimine simulatsiooni režiimi kasutades.
2. Valmis süsteemi testimine reaalse masina peal enne kasutuselevõttu.
3. Sõiduki kasutamine igapäevatoos ja testandmete kogumine.

Esimene etapp, milleks on tarkvara testimine simulatsiooni režiimi kasutades, on kõigist kolmest etapist kõige olulisem ja ohutum. See etapp on planeeritud toimuma paralleelselt tarkvara arendusega ja teste viiakse läbi regulaarselt. Esimeses etapis viiakse läbi ühiktestimist ja integratsiooni testimist.

Ühiktestimine on tarkvaraarenduse üks põhitalasid ja algfaase, mille käigus viiakse läbi testid tarkvara konkreetsetele komponentidele. Testimise eesmärgiks on veenduda, et iga tarkvara osa töötab korrektselt [24].

Järgmise sammuna esimeses etapis viiakse läbi integratsiooni testimine, kus keskendutakse tarkvara kui terviku testimisele. Integratsiooni testimises ühendatakse eelnevalt testitud üksikud programmi osad üheks tervikuks ja kontrollitakse osade omavahelist koostööd. Selle sammu eesmärgiks on veenduda, et eelnevalt testitud üksik tarkvara osa töötab korrektselt ka teiste temast sõltuvate osadega koos [13], [24], [31].

Tarkvara simulatsiooni režiimis testimine on tänu väga madalatele riskidele kõige turvalisem ja soodsam lahendus, kuna puudub vajadus kasutada riistvara ja valmis automaatikasüsteemi. Lisaks tarkvaras esinevate vigade võimalikult varajane avastamine lihtsustab nende likvideerimist ja aitab vähendada hilisema tarkvara parandusega kaasnevat lisakulusid töö tellijale.

Esimese etapi lõpptulemus peab olema valmis kasutamiseks pesusüsteemi peal ning ei tohi sisaldada puuduseid ega vigu, mis võivad kahjustada riistvara või tekitada mõnel muul viisil ohtlike olukordi. Etapp oli planeeritud kestma jaanuari lõpust kuni aprilli alguseni.

PLC tarkvara testimise teises etapis viiakse testid läbi juba komplekteeritud ja valmis seadistatud riistvara peal ehk valmis prügikastide pesusüsteemiga sõiduki peal. Antud etapp on kõige ohtlikum kuna loodud tarkvara käivitatakse esmakordselt päris süsteemi peal ja tarkvaras esinev puudus või viga võib kahjustada riistavara, sõidukit või vigastada testimise juures viibivaid isikuid.

See etapp sarnaneb klassikalise tarkvaraarenduse juures kõige rohkem süsteemi testimisele ja tarkvara kliendile üleandmise testimisele. Selle testimise sammu käigus testib klient ehk töö tellija, kas tarkvara vastab nõuetele ja vajadustele ning kas programm täidab oma ülesannet korrektselt [24].

Antud projekti puhul teise tarkvara testimise etapi käigus veendutakse koos tellijaga, et riistvara ja tarkvara töötavad koos korrektselt. Vajadusel viiakse läbi tarkvara silumist ja kohandatakse erinevate protsesside kestvusi, mis on juhitud taimerite abil.

Teise etapi lõppeesmärgiks on töötava automaatikasüsteemi valmimine, mida on operaatoril mugav kasutada ning mille pesuprogrammide pikkused on seadistatud võimalikult optimaalselt, mis tagavad prügikasti puhtaks saamise ja veesäästliku kasutamise. Etapi läbiviimine on planeeritud vahemikku aprilli algus kuni mai kolmas nädal.

Kolmandas etapis on valmis tarkvara prügiauto peal pesusüsteemis kasutusel reaalses töökeskkonnas. Selle etapi eesmärgiks on saada tagasisidet, mille käigus saab toote tarkvara edasi arendada ja kohandada kasutajasõbralikumaks. Lisaks soovitakse selles etapis üles leida vead ja tarkvaralised puudused, mis esinevad suure töökoormuse juures, mida on keeruline simulatsioonis või testkeskkonnas üles leida.

Projektis valitud juhtiva loogikakontrolleri tarkvara võimaldab lisada programmi andmete logimise funktsiooni. See võimaldab salvestada erinevate funktsioonplokkide ja mälu väärtuseid. Andmelogi salvestatakse mälukaardile CSV faili [20]. Hetkel ei ole

tarkvarasse seda funktsionaalsust planeeritud luua, kuid tellija soovil on võimalik see lisada [4].

Kolmas testimise etapp on töö tellijal plaanis läbi viia Soomes perioodil juunist kuni oktoobrini või kuni püsivate miinuskraadide saabumiseni.

5 PLC tarkvara testimine

Prügiautole integreeritud prügikastide automaatse pesusüsteemi testimise plaan näeb ette esmalt PLC tarkvara testimist simulatsiooni režiimis, seejärel testimist valmis pesusüsteemi peal ja lõpuks testimist sõidukit kasutades igapäevaselt prügikaste tühjendades ja pestes. Plaani kohaselt pidi käesoleva töö valmimise hetkeks olema läbi viidud PLC tarkvara testimise esimesed kaks etappi.

Testimise teise etapi läbiviimise kõige olulisemaks eelduseks on valmis sõiduk, millele on paigaldatud prügikastide automaatne pesusüsteem. Ettevõtte hinnangul on kõige suurem risk sõiduki ja pesusüsteemi mittetähtaegne valmimine. Selle riski peamised mõjutajad on mitmed erinevad geopoliitilised riskid ja kriisid. Covid-19 viirusest tingitud pikad tarneajad [35] ja ülemaailmne kiibipuudus [33] on tegurid millega tellija oskas arvestada juba projekti alguses, kuid selle aasta veebruarist lisandus juurde kolmas suur mõjutaja: Ukraina – Venemaa sõda [34], mis on tellija töö plaane mõjutanud tugevalt.

5.1 Tarkvara testimine simulatsiooni režiimis

Prügikastide automaatset pesusüsteemi juhtivat tarkvara arendati agiilset arendusmeetodit kasutades. Agiilse arendusmeetodi üheks tunnuseks on iga tsükli ehk sprindi jooksul tehtud arenduse testimine [30]. Antud projektis esimene sprint testimist ei sisaldanud, testima hakati alates teisest sprindist. Simulatsiooni režiimis tehti kokku 8 testimist.

Testimine oli korraldatud selliselt, et arendaja laadis iga sprindi teise nädala kolmapäevaks valminud programmi osa Google Drive pilvekeskkonda. Seejärel viis testija läbi vastava programmi osa testimist, mille alusel koostas tagasiside, kus tõi välja leitud vead või tarkvara puudused.

Testimisel kasutati näidistestide meetodit [14] ja viidi läbi erinevaid testjuhtusid, mis olid välja mõeldud testija poolt. Testjuhud ja näidistestid olid läbi arutatud ja analüüsitud koos

tellijaga, et simuleerida võimalikult palju erinevaid stsenaariume ja olukordi, mis võivad esineda operaatoril masinat kasutades ja tööd tehes. Lisaks loodi teste, mis simuleerisid olukordi, kus mõni andur ei tööta või puudub signaal. Selliste testide eesmärgiks oli veenduda süsteemi turvalisuses ja kasutusohutuses olukordades, kus võib esineda tehnilisi rikkeid.

Kõik testid olid kirjeldatud tabeli kujul, kus oli välja toodud kõik testimiseks vajalikud parameetrid. Tabelites 5, 6 ja 7 on välja toodud näidisenäidise kolm testi mida tarkvara testimiseks kasutati. Integratsiooni ja süsteemitestide juures oli ka kirjeldus oodatavast süsteemi käitumisest, et oleks lihtsam testida kogu protsessi korrektset toimimist. Iga testi juurde oli märgitud, kas tegemist on normaalolukorraga või eriolukorraga. Lisaks oli kirjeldatud lähteandmed sisendite näol ja oodatavad lõppseisud väljundites.

Tarkvara testimise esimese etapi suurimaks probleemiks osutus tellijapoolsete nõuete ja tingimuste muutumine korduvalt mitme sprindi jooksul. See tekitas lisatööd nii tarkvara arendajale kui ka testijale, kuna juba valmis saadud programmi osa tuli ümber teha ja uuesti läbi testida. Õnneks suurimad nõuete muutumised toimusid ära esimeste sprintide jooksul, kui peamiselt toimusid ainult ühiktestimised.

Esimese kolme testimise käigus viidi läbi ainult ühiktestimised (Tabel 5 ja 6). Enamus teste said positiivse tulemuse ja töötasid testija hinnangul korrektselt. Vead, mis testija ühiktestide läbiviies leidis olid sellised, mis võimaldasid teatud olukordadel minna mööda kontrollfunktsioonist. Kontrollfunktsioon oleks pidanud keelama protsessil käivituda ehk testija suutis protsessi käivitada ka olukorras, kus see ei oleks tohtinud olla võimalik. Lisaks esines olukordi, kus taimer, mis pidi kontrollima näiteks veepumba tööaega, ei käivitunud iga kord korrektselt. Juhtus ka olukordi, kus mingil põhjusel pesu jäeti pooleli ja alustati kõike algusest ning taimer ei käivitunud uuesti algusest.

Kirjeldus	Pesu programmi keskuse valik - lühike pesu. Normaalolukord.	
Eriolukord	-	
Sisendid	Lühike pesu	Aktiivne
	Pikk pesu	Mitteaktiivne
	Pesupead all induktiivandur	Aktiivne
	Start nupp	Vajutatud
Oodatav tulemus väljundis/väljundites	Pesupead all induktiivanduri LED	Aktiivne
	Veepump	Aktiivne 7 sekundit

Tabel 5. Ühiktest pesuprogrammi kestvuse valiku kohta normaalolukorras.

Kirjeldus	Pesu programmi kestvuse valik - lühike pesu. Eriolukord.	
Eriolukord	Pesupead all induktiivandur ei anna signaali.	
Sisendid	Lühike pesu	Aktiivne
	Pikk pesu	Mitteaktiivne
	Pesupead all induktiivandur ei anna signaali.	Mitteaktiivne
	Start nupp	Vajutatud
Oodatav tulemus väljundis/väljundites	Pesupead all induktiivanduri LED	Mitteaktiivne
	Veepump	Mitteaktiivne

Tabel 6. Ühiktest pesuprogrammi kestvuse valiku kohta eriolukorras.

Järgmiste sprintide testid koosnesid peamiselt integratsiooni testidest, mille eesmärgiks oli tuvastada, kas kõik programmi osad hakkavad koos korrektselt tööle. Suurima vea leidis testija kuuenda sprindi jooksul läbi viidud testide käigus. Testija leidis olukorra, kus reoveepump käivitus ka siis, kui realselt pesu polnud toimunud ja reovett mida ära pumbata ei olnud. Sellel hetkel oli veel arvestatud, et kasutusel on tavaline veepump, kuhu õhku sisse tõmmata ei tohi, kuid see probleem sai lahendatud hilisema tellijapoolse muudatusega, kui tavaline veepump asendati suruõhul töötava süsteemiga [4].

Viimase kahe sprindi testimises viidi läbi terve tarkvara testimine ehk süsteemitestimine (Tabel 7), kus testiti valmis tarkvara korrektset nõuetele vastavalt töötamist. Selles etapis muutus ka testimine lihtsamaks, kuna tellijapoolse otsusega oli ära kaotud funktsioon, mis oleks võimaldanud minna teatud kontrollfunktsioonidest mööda. Funktsioon asendati lihtsate märguande tulukestega, millega kuvatakse kasutajale infot andurite korrasolekust [4].

Kirjeldus	Ühe pesupeaga pikk pesu. Normaalolukord. Süsteemitestimine	
Eriolukord	-	
Oodatav süsteemi käitumine	Pärast start nupu vajutust, algab pesupeade alla liigutamine. Alla tööasendisse jõudes algab pesu, kestab vastavalt pika pesu ajale (15sekundit). Pärast seda liigutatakse pesupead üles. Ujuv andur annab signaali, klapp sõidab ette, suruõhk läheb peale 4 sekundiks, klapp sõidab ära ja pesu on lõppenud (tsükkel on alguses tagasi).	
Sisendid	Lühike pesu	Mitteaktiivne
	Pikk pesu	Aktiivne
	Üks pesupea	Aktiivne
	Mõlemad pesupead	Mitteaktiivne
	Pesupead üleval induktiivandur	Aktiivne
	Pesupead üleval induktiivanduri LED	Aktiivne
	Kamm üleval induktiivandur	Aktiivne
	Kamm üleval induktiivandur LED	Aktiivne
	Start nupp	Vajutatud
Oodatav lõpptulemus väljundites	Lühike pesu	Mitteaktiivne
	Pikk pesu	Aktiivne
	Üks pesupea	Aktiivne
	Mõlemad pesupead	Mitteaktiivne
	Pesupead üleval induktiivandur	Aktiivne
	Pesupead üleval induktiivanduri LED	Aktiivne
	Kamm üleval induktiivandur	Aktiivne
	Kamm üleval induktiivanduri LED	Aktiivne

Tabel 7. Süsteemitest ühepesupeaga pesemine normaalolukord.

Üheksanda ehk viimase sprindi testimise tulemus oli positiivne ja süsteemitestimine oli edukas. Tarkvara vastas tellija nõuetele ja tarkvaras ei esinenud vigu ega puudusi. Testija hinnangul on valminud tarkvara versioon ohutu ja valmis kasutamiseks testimise teises etapis.

5.2 Valmis süsteemi testimine reaalse masina peal

Planeeritud PLC tarkvara testimise teine etapp nägi ette valmis tarkvara esmast testimist valmis sõidukil, millele on integreeritud prügikastide automaatne pesusüsteem. Selle etapi käigus tuli veenduda tarkvara korrektses töötamises riistvaraga ja läbi viia viimased tarkvara silumised ja protsesside optimeerimised.

Plaani kohaselt pidi etapp algama aprillis, kuid seoses sõiduki ja prügikastide automaatse pesusüsteemi mittetähtaegse valmimisega ei olnud võimalik teist testimise etappi plaanijärgsel ajal läbi viia. Tellija on öelnud, et süsteemi ei ole võimalik valmis saada käesoleva lõputöö tähtajaks. Viimaste andmete kohaselt saab sõiduk valmis ning on võimalik testimise teist etappi alustada suve keskpaigast.

6 Kokkuvõte

Lõputöö andis ülevaate prügikastide automaatset pesusüsteemi juhtiva loogikakontrolleri valikust ja sellele loodava tarkvara testimisest. Töö esimeses pooles anti teoreetiline ülevaade PLC-st ja keskenduti PLC valikule, mis sobiks juhtima prügiauto külge integreeritud prügikastide automaatset pesusüsteemi. Teises pooles kirjeldati PLC tarkvara testimise eripärasid ja sellega kaasnevaid probleeme. Loodi tarkvara testimise plaan ja viidi läbi pesusüsteemile loodava tarkvara testimine vastavalt plaanile.

Lõputöö käigus täideti kaks peamist eesmärki – valiti välja teoreetiliselt parim programmeeritav loogikakontroller ja koostati tarkvara testimise plaan. Kolmas eesmärk oli viia läbi tarkvara testimist, mis täideti osaliselt, kuna autorist mittesõltuvatel põhjustel ei valminud pesusüsteem tähtaegselt, mille pärast ei saanud läbi viia reaalse süsteemi peal testimist vastavalt plaanile.

Lisaks täideti tööle seatud lisaeesmärk – valmis PLC tarkvara, mis simulaatoril läbiviidud testimise põhjal vastab tellija nõuetele ja on valmis testimiseks reaalse süsteemi peal.

Lõputöös läbiviidud kontrollerite võrdluses osutus parimaks Siemens LOGO! 24CE programmeeritav loogikakontroller. Tehniliste andmete poolest olid võrdlusesse valitud kontrollerid väga sarnased, kuid otsustavaks määrajaks oli hind.

Lõputöö käigus koostati PLC tarkvara testimise plaan, mis koosnes kolmest etapist. Esimene etapp nägi ette tarkvara testimist simulaatorit kasutades, mille jaoks kasutati Siemensi tarkvara LOGO! Soft Comfort V8. Tarkvara testimise teises etapis tuli läbi viia süsteemitestimine reaalse pesusüsteemi peal enne masina kasutuselevõttu. Kolmandaks etapiks planeeriti prototüüp sõiduki kasutamiseks igapäevatöös ja testandmete kogumine.

Kasutatud kirjandus

- [1] *6ED1052-1CC08-0BA1, LOGO! 24CE*, Siemens AG, 2021. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.industry-mobile-support.siemens-info.com/#/en/product/6ED1052-1CC08-0BA1/technicaldata> Kasutatud: 04.05.2022
- [2] *6ED1055-1CB00-0BA2, LOGO! DM8 24*, Siemens AG, 2021. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.industry-mobile-support.siemens-info.com/#/en/product/6ED1055-1CB00-0BA2/technicaldata> Kasutatud 04.05.2022
- [3] Arrow Electronics Inc., *Relays vs. Transistors: Choosing the Best Tool for the Job*, 2018. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/relays-vs-transistors-choosing-the-best-tool-for-the-job> Kasutatud 04.05.2022
- [4] B.A.Kooser, „Prügikasti automaatse pesusüsteemi juhtimisprogramm prügiautole”, [Bakalaureusetöö], Infotehnoloogia teaduskond, TalTech, Tallinn, Eesti, 2022. [Online].
- [5] *CX-ONE V4, One software is all you need*, OMRON EUROPE B.V., The Netherlands. [Online]. Loetud aadressil: https://assets.omron.eu/downloads/brochure/en/v9/cx-one_brochure_en.pdf Kasutatud: 18.04.2022
- [6] *DELTA_IA-PLC_DVP_TP_C_EN_20170321, Delta Programmable Logic Controller DVP Series*, Delta Electronics Inc., 2017. [Online]. Loetud aadressil: https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Delta%20PDFs/DVP_CAT.pdf Kasutatud 04.05.2022
- [7] Digi-Key Electronics, *DVP20SX211R*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.digikey.ee/en/products/detail/delta-electronics-industrial-automation/DVP20SX211R/9862101> Kasutatud: 04.05.2022
- [8] Distrelec Schweiz AG, *6ED1052-1CC08-0BA1 - Logic Module with Display 8DI (4D/A) 4DO 24V LOGO! 8.3, Siemens*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.elfadistrelec.ee/et/logic-module-with-display-8di-4d-4do-24v-logo-siemens-6ed1052-1cc08-0ba1/p/30200722?queryFromSuggest=true#> Kasutatud: 04.05.2022
- [9] Distrelec Schweiz AG, *6ED1055-1CB00-0BA2 - LOGO! 8 DM8 24 Expansion Module 4 Digital / 4 Transistor, Siemens*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.elfadistrelec.ee/et/logo-dm8-24-expansion-module-digital-transistor-siemens-6ed1055-1cb00-0ba2/p/11095448?queryFromSuggest=true> Kasutatud: 04.05.2022
- [10] Distrelec Schweiz AG, *AL2-24MR-D - Alpha XI Base Unit 8AI 15DI 2HS 9DO 24VDC*, Mitsubishi Electric, 2022. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.elfadistrelec.ee/et/alpha-xi-base-unit-8ai-15di-2hs-9do-24vdc-mitsubishi-electric-al2-24mr/p/12571175> Kasutatud: 04.05.2022
- [11] Eritehnik OÜ, *SPECIALTRUCK.EE*, 2020. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.specialtruck.ee/> Kasutatud: 18.04.2022
- [12] F. Petruzella, **PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS**, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2017.

- [13] GeeksforGeeks, *Software Engineering | Integration Testing*, 2019. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.geeksforgeeks.org/software-engineering-integration-testing/> Kasutatud: 18.04.2022
- [14] I. Ploompuu, „Praktilised meetodid programmeeritava loogikakontrolleri tarkvara testimiseks“ [Magistritöö], Infotehnoloogia teaduskond, TalTech, Tallinn, Eesti, 2015. [Online]. Loetud aadressil: <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/61b54900-aa2a-4d75-87ca-0d96b0fae163>
- [15] Inforegister, *ERITEHNIK OÜ*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.inforegister.ee/10554580-ERITEHNIK-OU> Kasutatud: 18.04.2022
- [16] J. W. Webb ja R. A. Reis, *Programmable logic controllers : principles and applications*, 4th ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall Inc., 1999.
- [17] Jätehuoltomääräykset Lounais-Suomessa, Lounais-Suomen jätehuoltolautakunta (27.4.2017). 27§. [Online]. Loetud aadressil: https://www.lsjh.fi/wp-content/uploads/jatehuoltomaaraykset-27.4.2017-fin_uusi.pdf Kasutatud: 18.04.2022
- [18] K. Kamel ja E. Kamel, *Programmable logic controllers : industrial control*. United States of America: McGraw-Hill Education, 2014.
- [19] Kainuun jätehuollon kuntayhtymä, *Jätehuoltomääräykset*, 2018. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.ekokymppi.fi/tietopankki/jatehuoltomaaraykset.html> Kasutatud: 18.04.2022
- [20] *LOGO!Soft Comfort V8.3.1*, LOGO!Soft Comfort Online Help, Siemens AG, 2022. [Online]. Loetud aadressil: https://support.industry.siemens.com/dl/dl-media/807/100782807/att_1066579/v2/153568113035_en-US/en-US/index.html# Kasutatud: 04.05.2022
- [21] Mitsubishi Electric Corporation, *AL2-24MR-D*. [Online]. Loetud aadressil: https://se.mitsubishielectric.com/fa/se_en/products/cnt/sac/alpha2-main-unit/al2-24mr-d.html#tab-blftbdbcff971f9343a Kasutatud 04.05.2022
- [22] OMRON Corporation, *CX-Simulator*, 2021. [Online]. Loetud aadressil: <https://industrial.omron.eu/en/products/cx-simulator> Kasutatud: 18.04.2022
- [23] PLCdev, *PLC Timeline*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: http://www.plcdev.com/plc_timeline Kasutatud: 02.05.2022
- [24] Segue Technologies Inc, *The Four Levels of Software Testing*, 2015. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.seguetech.com/the-four-levels-of-software-testing/> Kasutatud: 18.04.2022
- [25] Siemens AG, *LOGO! Basic Modules*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-basic-modules.html> Kasutatud: 04.05.2022
- [26] Siemens AG, *LOGO! Expansion Modules*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-expansion-modules.html> Kasutatud 04.05.2022
- [27] Siemens AG, *P_ST70_XX_06811i*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: https://www.automation.siemens.com/bilddb/ivariant/ST70/P_ST70_XX_06811i.jpg Kasutatud: 05.05.2022
- [28] Siemens AG, *P_ST70_XX_06813i*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: https://www.automation.siemens.com/bilddb/ivariant/ST70/P_ST70_XX_06813i.jpg Kasutatud 05.05.2022

- [29] Siemens, *LOGO! Software*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-software.html> Kasutatud: 02.05.2022
- [30] TechTarget, *Agile Software Development*, 2019. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/definition/agile-software-development> Kasutatud: 19.04.2022
- [31] TechTarget, *integration testing or integration and testing (I&T)*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/definition/integration-testing> Kasutatud: 18.04.2022
- [32] *W446-E1-21, SYSMAC CX-Programmer Ver. 9.*, Operation manual, OMRON Corporation, 2019. [Online]. Loetud aadressil: https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v6/w446_cx-programmer_operation_manual_en.pdf Kasutatud: 18.04.2022
- [33] Wikipedia, *2020-present global chip shortage*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: https://en.wikipedia.org/wiki/2020%E2%80%93present_global_chip_shortage Kasutatud: 04.05.2022
- [34] Wikipedia, *2022 Russian invasion of Ukraine*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: https://en.wikipedia.org/wiki/2022_Russian_invasion_of_Ukraine Kasutatud 04.05.2022
- [35] Wikipedia, *Shortages related to the COVID-19 pandemic*, 2022. [Online]. Loetud aadressil: https://en.wikipedia.org/wiki/Shortages_related_to_the_COVID-19_pandemic Kasutatud: 04.05.2022

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Jürgen Koll

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Prügikastide automaatset pesusüsteemi juhtiva loogikakontrolleri valik ja sellele loodava tarkvara testimine“, mille juhendaja on Andres Rähni
 - 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.

16.05.2022

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 tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.