



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

TOOTMISE TÖÖAJA JÄLGIMISE SÜSTEEM

INDUSTRIAL WORK TIME MONITORING SYSTEM

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Fred-Georg Pääro

Üliõpilaskood: 179771EAAB

Juhendaja: Kristjan Pütsep, lektor

Tallinn, 2020

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.

“.....” 201.....

Autor: Fred-Georg Pääro

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja: Kristjan Pütsep

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Fred-Georg Pääro

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Tootmise tööaja jälgimise süsteem

Kuupäev: 20.05.2020

89 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): lektor Kristjan Pütsep

Töö konsultant (konsultandid): Ilja Petrov, Antti Airto, Tarmo Pääro

Sisu kirjeldus:

Lõputöö eesmärk on välja töötada, projekteerida ning paigaldada tööaja jälgimise süsteem mäesuusasaapaid tootvas ettevõttes VR-Koda OÜ. Süsteemile esitatud nõuded on määratud ettevõtte poolt, arvestades turul olemasolevate lahenduste puudusi konkreetse ettevõtte jaoks.

Esimeses peatükis käsitletakse tööaja jälgimise süsteemide tausta ning antakse lühike ülevaade turul pakutavate lahenduste plussidest ja miinustest konkreetse ettevõtte vajadusi arvestades. Teises peatükis esitatakse ettevõtte poolt antud nõuded süsteemile, mis olid lähtepunktiks lahenduse teostamisel. Kolmas peatükk kajastab süsteemi üldise kontseptsiooni väljatöötamist ning ühendamist tootmiseseadmetega. Neljandas peatükis projekteeritakse automaatikakilbid ning teostatakse kogu süsteemi paigaldus. Viimendas peatükis valitakse tootmiseseadmetelt sisendi saamiseks andurid ning süsteemi juhtiv tööstuslik kontrolleri, millele koostatakse vajalik programmikood. Viimane peatükk käsitleb andmete esitamist ettevõtte juhtimistasandil, milleks kasutatakse SCADA ja raporteerimistarkvara.

Lõpptulemusena valmib nõuetekohane tööaja jälgimise süsteem, mis sõltuvalt seadmest kuvab tööaega, töötusleide ja toodetud detaile. Süsteem on loodud selliselt, et see oleks maksimaalselt autonoomne.

Märksõnad: tootmise tööaja jälgimine, tootmise monitoorimine, automaatika, induktiivandur, fotoelektriline andur, tööstuslik kontrolleri, SCADA tarkvara, raporteerimistarkvara, raport.

ABSTRACT

<i>Author:</i> Fred-Georg Pääro	<i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis
<i>Title:</i> Industrial work time monitoring system	
<i>Date:</i> 20.05.2020	89 pages
<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> Lecturer Kristjan Pütsep	
<i>Consultant(s):</i> Ilja Petrov, Antti Airtto, Tarmo Pääro	
<i>Abstract:</i> <p>The aim of the graduation thesis is to develop, design and install a work time monitoring system for the company VR-Koda OÜ, which produces alpine ski boots. The requirements of the system are established by the company, taking into consideration the weaknesses of the solutions existing on the market, for the specific company.</p> <p>The first chapter treats the background of work time monitoring systems and provides a brief overview of the advantages and disadvantages of the solutions on the market, taking into consideration the needs of the specific company. The second chapter presents the requirements given by the company for the system, which were the starting ground for realising the solution. The third chapter reports on the development of the general concept of the system and its connection to the production equipment. The fourth chapter designs the automation shields and performs the installation of the entire system. The fifth chapter selects the sensors, from the production equipment, for receiving the inputs and the industrial controller that manages the system, for which is created the required programme code. The last chapter treats the presentation of data, at the level of the company management, for which is used SCADA and reporting software.</p> <p>The end result is a proper work time monitoring system that depending on the equipment, displays the operating time, work cycles and produced details. The system is designed in such a way that it is autonomous to the maximum extent.</p>	
<i>Keywords:</i> monitoring production work time, production monitoring, automation, inductive sensor, photoelectric sensor, industrial controller, SCADA software, reporting software, report.	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Tootmise tööaja jälgimise süsteem
Lõputöö teema inglise keeles:	Industrial work time monitoring system
Üliõpilane:	Fred-Georg Pääro, 179771EAAB
Eriala:	Elektroenergeetika ja mehhatroonika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Kristjan Pütsep
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	31.12.2020
Lõputöö esitamise tähtaeg:	20.05.2020

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Olemasolevad tööaja jälgimise/arvestamise süsteemid on teenusepõhised ning võrdlemisi kalli kuutasuga. Teenuse hind kujuneb seadmete arvu järgi ning võib osutada keskmiste ja suuremate ettevõtete puhul väga kulukaks. Lõputöö projekt valmib mäesuusasaapaid tootva ettevõtte tellimusena, kus kasutatakse tootmises palju erinevaid ning eritüübilisi seadmeid. Põhiliseks tootmise spetsiifikaks on õmblemine, mis moodustab kogu tootmisest umbkaudu 70%.

Teadaolevalt pole Eesti õmblusettevõtetes tööajajälgimise süsteemi, mis mõeldaks otsest tööaega tootmiseseadmeid monitoorides. Lisaks on olemasolevate teenusepakkujate puhul puudulikud ka lahendused, kuidas seda teha erinevat tüüpi õmblusseadmete puhul. Samuti on väga vähe informatsiooni selle kohta, kas ja millistes Eesti ettevõtetes kasutatakse PLC-põhist tööaja jälgimissüsteemi. Pakutavate lahenduste peamiseks murekohaks antud ettevõtte jaoks on monitooritavate andmete tüüp (palju manipuleeritud andmeid ja vähene konkreetsus), andmeedastuse kvaliteet (andmeedastus serveri ja seadmete vahel toimub läbi traadita võrgu) ning süsteemi kehv töökindlus. Lõputöö raames valmib konkreetse tootmisettevõtte põhine tööaja jälgimise süsteem. Tellija nõudmiste kohaselt ei tohi võrk sisaldada ühtegi traadita ühendust, andmed peavad olema otsesed (tööaeg, töötsükliid, toodetud detailid jne). Lahendus peab olema ettevõtte jaoks ühekordne kulutus, ei tohi sisaldada igakuiseid teenustasusid. Monitoorimisele kuuluvaid seadmeid saab liigitada info järgi: tööaeg (õmblusseadmed), töötsükliid (stantsimine) ja toodetud detailide arv (koostamisliin).

2. Töö eesmärk

Lõputöö eesmärk on luua konkreetse tootmisettevõtte põhine tööaja jälgimise süsteem koos reaalaaja andmete kuvamise ja raporteerimisega.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu

Milliseid seadmeid saaks kasutada tööaja jälgimise süsteemi juhtimiseks?

Milline peaks olema süsteemi struktuur?/Kuidas süsteem üles ehitada?

Kuidas integreerida erinevatele tootmiseseadmetele tööaja jälgimise süsteem?

Kuidas lahendada andmete reaalaajas kuvamine, salvestamine ja raporteerimine?

4. Lähteandmed

Automaatikaga tegelevad insenerid.

Automaatikaga tegelevad ja automaatikaseadmeid müüvad ettevõtted.

Võimalusel internetist leitav info varasemate analoogsete lahenduste kohta.

5. Uurimismeetodid

- Erinevad katsetused seadmetega, kuidas integreerida tööaja jälgimise süsteemi (andurid, releeväljundid, lõpulülid).
- Erinevad programmikoodi katsetused andmetöötluseks (tööaja lugemine, töösükli lugemine, protsendid).
- Prototüüplahenduste testimine üksikute seadmete peal.

6. Graafiline osa

- Elektri- ja automaatikaskeemid
- Paigutusjoonised
- Põhimõtteskeemid
- Tootejoonised
- Pildid tehtud töödest

Graafilist osa esineb töö põhiosas ning suuremad graafilised osad on paigutatud lisadesse.

7. Töö struktuur

1. Sissejuhatus
2. Tööaja jälgimise süsteemid ja taust
3. Ülesande püstitus
 - 3.1 Nõuded süsteemile
4. Tööaja jälgimise süsteemi kontseptsiooni väljatöötamine

- 4.1 Ülesehitus, struktuur ja tööpõhimõte
- 4.2 Tootmisseadmete ja tööaja jälgimise süsteemi integreerimine
- 4.3 Vahekokkuvõte
- 5. Projekteerimine
 - 5.1 Automaatikakilbid
 - 5.2 Paigaldus
 - 5.3 Vahekokkuvõte
- 6. Automaatika
 - 6.1 Andurid
 - 6.1.1 Andurite kinnitused ja paigutus
 - 6.2 Kontroller
 - 6.2.1 Valikukriteeriumid
 - 6.2.2 Programmeerimine
 - 6.3 Vahekokkuvõte
- 7. Andmete visualiseerimine ja raporteerimine
 - 7.1 SCADA tarkvara
 - 7.1.1 Valikukriteeriumid
 - 7.1.2 Visualiseerimine ja seadistused
 - 7.2 Raporteerimistarkvara
 - 7.2.1 Valikukriteeriumid
 - 7.2.2 Seadistamine ja raporti ülesehitus
 - 7.3 Vahekokkuvõte
- 8. Kokkuvõte

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Kasutatud kirjanduse allikateks on raamatud ja võrguandmebaasid.

1. D. Patel, *Introduction Practical PLC (Programmable Logic Controller) Programming*. GRIN Verlag, 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://books.google.ee/books?id=eV5ODwAAQBAJ>.
2. Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, „Beckhoff Information System“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://infosys.beckhoff.com/>.
3. G. Clarke, D. Reynders, E. Wright, *Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems*. Boston, MA: Newnes, 2014. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://books.google.ee/books?id=ENqyW8fExswC>.

4. T. Lehtla, *Andurid*, Tallinn: Elektrialamite ja jõuelektronika instituut, 1996. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.ene.ttu.ee/elektrialamid/oppeinfo/materjal/AAR3340/Andurid.pdf>.
5. J. Andrews, *Lab Manual for Andrews' A Guide to IT Technical Support, 9th Edition*. Boston, MA: Cengage Learning, 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://books.google.ee/books?id=OS66CwAAQBAJ>.

9. Lõputöö konsultandid

Ilja Petrov – Automaatika (Kontroller) Beckhoff Eesti [Beckhoff Automation OÜ]

Antti Airto – Automaatika (kontroller) Beckhoff Soome [Beckhoff Automation Oy]

Tarmo Pääro – Tööaja jälgimise süsteemi kontseptsiooni välja töötamine

10. Töö etapid ja ajakava

- Automaatika kilpide ja sidevõrgu paigaldus (01.02.2020)
- Lõputöö ülesanne esitatud (03.03.2020)
- Andurite paigaldus lõpetatud (03.03.2020)
- Juhtmistamine objektile lõpetatud (20.03.2020)
- Projekti valmimine ettevõttes (05.05.2020)
- Kirjaliku lõputöö valmimine peatükkidena:
 - 1-3 (20.03.2020)
 - 4-5 (03.04.2020)
 - 6-7 (17.04.2020)
 - 8 (24.04.2020)
- Kirjaliku lõputöö esimene variant saadetud juhendajale läbivaatamiseks (01.05.2020)
- Kirjaliku lõputöö lõplik variant saadetud juhendajale läbivaatamiseks (11.05.2020)
- Lõputöö (kõidetud ja elektroonne versioon) esitatud (20.05.2020 kell 15.00)

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	3
ABSTRACT.....	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	5
EESSÕNA	11
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	12
SISSEJUHATUS	13
1. TÖÖAJA JÄLGIMISE SÜSTEEMID JA TAUST.....	14
2. ÜLESANDE PÜSTITUS.....	17
2.1 Nõuded süsteemile	18
3. TÖÖAJA JÄLGIMISE SÜSTEEMI KONTSEPTSIOONI VÄLJATÖÖTAMINE.....	19
3.1 Ülesehitus, struktuur ja tööpõhimõte	19
3.2 Tootmisseadmete ja tööaja jälgimise süsteemi integreerimine	21
3.3 Vahekokkuvõte	24
4. PROJEKTEERIMINE.....	25
4.1 Automaatikakilbid	25
4.2 Paigaldus	27
4.2.1 Automaatikakilpide elektritoide	27
4.2.2 Kontroll- ja andmesidekaabli paigaldus.....	28
4.2.3 Monitooritavate seadmete ühendamise	30
4.3 Vahekokkuvõte	32
5. AUTOMAATIKA.....	33
5.1 Andurid	33
5.1.1 Induktiivandur	33
5.1.2 Fotoelektriline andur	35
5.1.3 Andurite kinnitused ja paigutus.....	37

5.2	Kontroller	40
5.2.1	Valikukriteeriumid	40
5.2.2	Programmeerimine	42
5.3	Vahekokkuvõte	45
6.	ANDMETE VISUALISEERIMINE JA RAPORTEERIMINE	46
6.1	SCADA tarkvara	46
6.1.1	Valikukriteeriumid	46
6.1.2	Visualiseerimine ja seadistused	48
6.2	Raporteerimistarkvara	51
6.2.1	Valikukriteeriumid	51
6.2.2	Seadistamine ja raporti ülesehitus	52
6.3	Vahekokkuvõte	54
	KOKKUVÕTE	55
	SUMMARY	58
	KASUTATUD KIRJANDUS	61
	LISAD	63
	Lisa 1 Elektri- ja automaatikasüsteemi paigutus	64
	Lisa 2 Automaatikaskeemid	67
	Lisa 3 Automaatikakilbid	79
	Lisa 4 Koostamisliini funktsiooniploki kood.....	81
	Lisa 5 Stantsseadmete funktsiooniploki kood	82
	Lisa 6 Õmblusseadmete funktsiooniploki kood.....	83
	Lisa 7 Päevaraport.....	84
	Lisa 8 Nädalaraport	86
	Lisa 9 Kuuraport	88

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema tekkis reaalsest vajadusest monitoorida tööaega mäesuusasaapaid tootvas ettevõttes VR-Koda OÜ. Kuna varasemalt katsetatud teenusepakkuja lahendus töö osaliseks monitoorimiseks antud ettevõtte vajadusi ei rahuldanud, tuli ettepanek valmistada tööaja jälgimise süsteem konkreetse ettevõtte spetsiifikat arvestades. Lahenduse funktsionaalsus ja nõuded määrati ettevõtte poolt. Süsteemi väljatöötamiseks läbi viidud katsed ning süsteemi paigaldus toimusid samuti antud ettevõttes.

Töö koostamine ning lahenduse väljatöötamine toimus Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi lektori Kristjan Pütsepa juhendamisel. Töö koostamise erinevates etappides saadud nõuannete ja soovitude eest soovin omalt poolt tänada: Beckhoff Automation OÜ, Klinkmann Eesti AS, Viru Elektribandus AS ja VR-Koda OÜ.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

AC	vahelduvvool
ADS	<i>Automation Device Specification</i> , Beckhoff tootja loodud suhtlusprotokoll
C10	C-tunnusjoonega automaatkaitselüliti (nimivooluga 10 A)
DC	alalisvool
HMI	<i>Human Machine Interface</i> , kasutajaliides
LED	Light-Emitting Diode, valgusdiod
NC	<i>normally closed contact</i> , normaalselt suletud kontakt
NO	<i>normally open contact</i> , normaalselt avatud kontakt
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> , programmeeritav loogikakontroller, tööstuslik kontroller
PVC	polüvinüülkloriid
S _a	induktiivanduri töötsoon
S _n	induktiivanduri nimitajukaugus
S _r	induktiivanduri reaalne tajukaugus
S _u	induktiivanduri tegelik tajukaugus
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> , tehniliste protsesside jälgimise süsteem (tarkvara)
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol / Internet Protocol</i> , kirjelduslik raamistik arvutivõrgu protokollile
VDC	alalispinge

SISSEJUHATUS

Tänapäeva tööstuse kiire areng on endaga kaasa toonud olukorra, kus tootmisettevõtetes rakendatakse aina rohkem erinevaid automatiseeritud lahendusi. Nende eesmärk on töötajate töötingimuste ohutumaks ja mugavamaks muutmise, kasutades selleks erinevaid automatiseeritud lahendusi, nagu näiteks pakkimisrobot. Teisalt rakendatakse automatiseeritud lahendusi tootmise ja sellega seonduvate andmete kogumiseks ja raporteerimiseks vajalikul viisil. Sisuliselt on tegemist kahe erineva suunaga, mis omavad mõlemad tänapäeva tööstuses olulist rolli. Teatavasti on andmemahat ajas devalveeruv väärtus ning andmete tähtsus tervikuna muudkui kasvab.

Rääkides konkreetset tööaja monitoorimisest on turul mitmeid teenusepakkujaid, kes tööaja jälgimise/arvestamise süsteemi mingis formaadis pakuvad. Paraku on pakutavate lahenduste juures teatavad puudused ja miinused, mistõttu ei rahulda need kõigi ettevõtete vajadusi. Nii juhtus ka mäesuusaasaapaid tootva ettevõttega VR-Koda OÜ, kelle tootmisest suurema osa moodustab õmblemine. Ettevõttel tekkis vajadus seadmete optimaalseks kasutamiseks rakendada tööaja monitoorimist. Peamised miinuskohad pakutavate lahenduste juures antud ettevõtte jaoks on monitooritavate andmete tüüp (palju manipuleeritud andmeid ja vähene konkreetus), andmeedastuse kvaliteet (andmeedastus serveri ja seadmete vahel toimub läbi traadita võrgu) ja süsteemi kasutamise keerukus. Erinevatele tehnilistele murekohtadele ja keerukustele lisaks on üheks negatiivseks pooleks kindlasti ka taoliste lahenduste hind. Harilikult on tegemist teenusepõhise lahendusega, mille hind kujuneb seadmete arvu järgi. Keskmiste ja suurte ettevõtete puhul, kus seadmeid on palju, võib see osutada üpris kulukaks.

Antud lõputöö eesmärk on välja töötada ja ka realselt üles seada tööaja jälgimise süsteem konkreetse ettevõtte (VR-Koda OÜ) jaoks. Seejuures tuleb arvestada selle ettevõtte tootmisspetsiifikat ning nende vajadusi. Oluline on läbi kaaluda süsteemi töökindlus, et tagada selle tõrgeteta töö. Samuti peab süsteemil olema laienemisvõimalus, arvestades et tulevikus võib lisanduda veel erinevaid tootmiseseadmeid. Süsteem peab olema paindlik ja mugav kasutada ning see ei tohi endaga kaasa tuua püsikulusid. Väljatöötatava lahenduse juures on uuenduslik asjaolu, et teadaolevalt pole Eestis mitte üheski õmblusettevõttes tööajajälgimissüsteemi, mis mõeldaks otsest tööaega tootmiseseadmeid monitoorides. Antud töö raames on monitooritavateks seadmeteks erinevad õmblusseadmed, stantsseadmed ja koostamisliin. Esmalt rakendatakse monitoorimist testperioodiks 12 seadmele ning seejärel laiendatakse süsteemi kogu ettevõtte ulatuses.

1. TÖÖAJA JÄLGIMISE SÜSTEEMID JA TAUST

Tehnoloogia kiire areng on toonud endaga kaasa tööstuse digitaliseerimise. Tööstussektorid võtavad kasutusele aina rohkem erinevaid andmete kogumise, analüüsimise ja raporteerimise viise, et muuta tootmist efektiivsemaks ning ülevaatlikumaks. Erineva tootmisinfo kogumine aitab analüüsida ettevõtte tootmisvõimekust, leida kitsaskohti ning planeerida tootmist üldiselt.

Tööaja jälgimise süsteemi võib kirjeldada kui tervikut, mille eesmärk on mõõta töö tegemist iseloomustavaid suuruseid. Nendeks suurusteks võivad olla näiteks tööaeg, detaili valmistamiseks kuluv aeg, toodetud detailide/toodete arv jms. Tootmisest ülevaatliku pildi saamiseks on erinevate tootmisettevõtete puhul vaja erinevaid tootmist iseloomustavaid suursi monitoorida ning nendelt saadud andmeid ülevaatlikult esitada ja analüüsida. Kõikide tootmisettevõtete ülesehitus, töökorraldus ja vajadused on erinevad ning seetõttu on nõudlus erinevate monitooritavate andmete ja monitoorimise lahenduste jaoks. Lisaks andmete kogumisele, peavad tööaja jälgimise süsteemid võimaldama nende andmete kuvamist ja raporteerimist ettevõttele sobival viisil. Raport peab andma selge ülevaate kogutud infost näiteks ühe vahetuse, nädala või kuu põhjal. Kuvamise eesmärgiks on andmete reaajas jälgimine.

Turul olevate teenusepakujate lahendused hõlmavad endas enamasti mingit tüüpi veebiplatvormil põhinevat keskkonda, mille abil on võimalik monitooritud andmeid kuvada ja erineval viisil analüüsida. Tihti kaasneb sellega väga suur ajakulu, et seda keskkonda hallata. Andmete analüüsimiseks ja raporteerimiseks on palju viise, kuid need ei võta alati arvesse tootmisettevõtte spetsiifikat. See tähendab eelkõige seda, et pakutavad lahendused on universaalsed ning ettevõttepoolsed modifikatsioonid keskkonnas on võrdlemisi piiratud. Sama kehtib reaajas andmete kuvamise kohta ekraanil. Teenusega on kaasas varem loodud valmislahendused, mis ei pruugi konkreetse ettevõtte puhul tootmisest ülevaatlikku pilti edastada. Pakutakse küll võimalust luua ettevõttele oma kuvamise viis, kuid see on tasuline teenus.

Rääkides mitte-automatiseeritud tööpinkidest ehk pinkidest, mille opereerijateks on inimesed, võib lisanduda andmesisestusele ka teine pool. Lisaks tööandjapoolsetele toimingutele keskkonnas, nõuavad paljud lahendused ka töötaja poolseid sisestusi. Nimelt lisatakse tööpingi juurde kasutajaliides, mis annab töötajale võimaluse sisestada andmeid tootmisprotsessi kohta. Näiteks võimaldab see alustada töökäsku, põhjendada katkestusi, kinnitada töökäsku ja sisestada praagi koguseid. Kõik see nõuab töölise pidevat sekkumist ning ka täpsust andmete sisestamisel, et kogutav informatsioon oleks õige. Keskmiste ja suuremate ettevõtete puhul kujuneb sellise süsteemi hind paratamatult väga suureks, kui arvestada seda, et iga pink vajab eraldi kasutajaliidest.

Automaatselt kogutavad andmed saadakse tootmiseseadmetelt erinevate väljundite ja andurite kaudu. Näiteks kasutatakse tsüklite loendamiseks tihtipeale lõpulüliti releeväljundit, seadme tööaja mõõtmiseks vooluandureid ning detailide/toodete lugemiseks optilisi andureid ehk fototajureid. Tootmiseseadmelt kogutava info puhul tuleb arvestada, et kõik tootmiseseadmed on ülesehituselt erinevad ning iga seadme jaoks ei pruugi standardlahendus sobida.

Teine turul olev tüüplahendus on kiibi- või sõrmejälje põhine tööaja arvestamise süsteem. See on laiemalt levinud ning moodustab suurema osa kogu turust. Sellisel juhul paigaldatakse näiteks ettevõtte sissepääsu juurde terminal, kus iga töötaja ennast tööpäeva alguses ja lõpus registreerib. Nii on võimalik näha inimeste tööl viibimise aega ja selle põhjal analüüsi teha. Lisaks on võimalus paigaldada igale tootmiseseadmele terminal, mille abil töötaja registreerib ennast seadme põhiselt töö alustamisel. Antud meetod on küll töökindel, kuid töötaja jaoks ebamugav ning tööandja jaoks ebatäpne.

Oluliseks näitajaks tootmise monitoorimisel on OEE (*Overall Equipment Performance*) ehk üldine seadmete efektiivsus. OEE lahutab tootmiseseadme jõudluse kolmeks eraldimõõdetavaks komponendiks: kättesaadavus, efektiivsus ja kvaliteet (1.1). Iga komponent iseloomustab tootmise aspekti, mida saab tootmise parandamiseks jälgida [1]. Paljude turul olevate teenusepakkujate puhul on põhiliseks võtmenäitajaks just OEE. OEE annab väga ülevaatlilikult edasi seadme põhise info ühe muutujana, kuid selle rakendamine kõikide seadmete puhul on keerukas. Automatiseeritud tööpinkide puhul, mis suudavad ise praaki tuvastada, on selle kasutamine igal juhul põhjendatud. Mitte-automatiseeritud tööpinkide puhul nõuab OEE arvutamine väga suurel määral tööliste tähelepanu ja aega, sisestades kasutajaliidese kaudu pidevalt andmeid. See omakorda vähendab reaalse töö tegemiseks olemasolevat aega ning hajutab tähelepanu.

$$\text{OEE} = \text{Kättesaadavus} \cdot \text{Efektiivsus} \cdot \text{Kvaliteet} \quad (1.1)$$

Kokkuvõtvalt võib öelda, et tänapäeval on turul väga palju erinevaid teenusepakkujaid tööaja ja tootmise üldiseks monitoorimiseks. Pakutavate lahenduste suureks miinuseks on lõpptarbija muudatusvõimaluste vähesus. Olemasolevate lahenduste puhul jääb küsitavaks automatiseerituse tase, kui arvestada, et enamik süsteeme nõuavad mõlema osapoole, nii töötaja kui ka tööandja, pidevat sekkumist. Seetõttu kannatab andmete täpsus ja kasutusmugavus. Enamik süsteeme on üles ehitatud üldise tootmismudeli järgi ning nende efektiivne rakendamine erinevate tootmisettevõtete puhul on raske ja kulukas. Kasutatava tööaja ja tootmise monitoorimise tüübi sobivus sõltub paljuski tootmise ülesehitusest ja seadmete spetsiifikast. Olemasolevad lahendused on suurel määral universaalse ülesehitusega, kuid kõigi tootmisettevõtete vajadusi need ei rahulda.

Järgnevas tabelis (tabel 1.1) on välja toodud mõningate turul olevate teenusepakkujate lahenduste plussid ja miinused. Tabel on koostatud, arvestades VR-Koda OÜ vajadusi ja nõudmisi tööaja monitoorimise süsteemile.

Tabel 1.1 Turul olemasolevate teenusepakkujate lahenduste plussid ja miinused

Teenusepakkuja	Plussid	Miinused
GlobalReader OÜ	<ul style="list-style-type: none"> • Universaalsed lahendused paljude seadmete monitoorimiseks • Võimekas veebiplatvormil põhinev tarkvara 	<ul style="list-style-type: none"> • Suure seadmete arvu puhul kõrged kuutasud • Tehnilised rikked ja vähene tehniline tugi • Andmete kogumine sisaldab töötaja poolseid sisestusi • Traadita andmeedastus • Vähene automatiseeritus
Taltech Mehaanika ja tööstustehnika instituut (DIMUSA)	<ul style="list-style-type: none"> • Võimekas süsteem paljude funktsioonidega • Traadiga ja traadita andmeedastus 	<ul style="list-style-type: none"> • Vajab kasutajaliidest töökohtadel • Andmete kogumine sisaldab töötajapoolseid sisestusi
WEMPLY OÜ	<ul style="list-style-type: none"> • Tarkvara ühilduvus paljude raamatupidamistarkvaradega 	<ul style="list-style-type: none"> • Töötaja monitoorimine toimub läbi kiibisüsteemi, puudub otsene seadmete monitoorimine • Võimalus lisada kasutajaliideseid töökohtadele, andmete kogumine sisaldab töötajapoolseid sisestusi • Traadita andmeedastus • Vähene automatiseeritus
Besel-Alarm OÜ	<ul style="list-style-type: none"> • Traadiga andmeside 	<ul style="list-style-type: none"> • Töötaja monitoorimine toimub läbi kiibisüsteemi, puudub otsene seadmete monitoorimine • Vähene automatiseeritus
Tehnoloogia rakenduskeskus OÜ (TERAKE)	<ul style="list-style-type: none"> • Lihtne paigaldus 	<ul style="list-style-type: none"> • Mobiilne lahendus töötajapoolsete sisestustega, puudub otsene seadmete monitoorimine • Traadita andmeedastus • Vähene automatiseeritus

2. ÜLESANDE PÜSTITUS

Ettevõtte VR-Koda OÜ tegeleb mäesuusasaabaste tootmisega alates aastast 1992. Tootmiskompleks paikneb vanades Kurtna mõisa abihoonetes, mis on ehitatud 18. sajandil. Hooneid on aastate jooksul palju ümber ehitatud ja kohandatud vastavalt tootmisvajadusele. Seetõttu kätkeb hoonete kompleks endas väga palju erinevaid süsteeme ja lahendusi eri aegadest, mis esitab ka uute süsteemide loomisele teatud väljakutsed. Enamus osa tootmisest moodustavad õmblusseadmed, lisaks kasutatakse erinevaid stantsseadmeid ja koostamisliini.

Tulenevalt eelmises peatükis välja toodud puudustest olemasolevate lahenduste juures antud ettevõtte jaoks, on käesoleva lõputöö eesmärk välja töötada ja reaalselt paigaldada konkreetse tootmisettevõtte põhine tööaja monitoorimise süsteem. Lahendus peab võimaldama andmete reaajas jälgimist, raporteerimist ja arhiveerimist. Süsteem peab olema laiendatav, juhul kui tekib vajadus lisada uusi seadmeid. Samuti tuleb silmas pidada lahenduse universaalsust, et oleks võimalik lisada võimalikult palju eritüübilisi seadmeid sarnasel viisil. Selleks tuleb leida tööaja monitoorimise süsteemi tootmiseseadmetega integreerimiseks optimaalne viis, seda nii lahenduse töökindluselt, lihtsuselt ja kulutustelt. Tagada tuleb süsteemi üldine töökindlus ning kasutamise mugavus. Ettevõtte soovi kohaselt peab süsteem olema maksimaalselt autonoomne, see tähendab, et süsteem ei vaja toimimiseks kasutaja poolt pidevaid seadistusi ja konfigureerimist. Lahendus ei tohi sisaldada igakuiseid teenustasusid. Esmalt ühendatakse testperioodiks süsteemiga 12 seadet ning hiljem laiendatakse süsteemi kogu ettevõtte ulatuses. Testperioodil kõrvaldatakse kõik võimalikud puudujäägid.

Kogutavad andmed peavad olema ülevaatlikult kuvatud kogu tööpäeva jooksul eraldiseisval ekraanil. Andmed peavad olema otsesed. See tähendab, et kui mõõdetakse tööaega, siis primaarseks kuvatavaks infoks on aeg. Lihtsustamiseks reaajas andmete jälgimist, peab olema lisatud ka reaajas protsentarvutus sõltuvana töötatud ajast ja tööpäeva senisest kestvusest. Sama kehtib teiste monitooritavate näitajate kohta, nagu näiteks töötsükli ja toodetud detailid. Andmete raporteerimine peab toimuma iga tööpäeva järel digitaalselt faili kujul ning kuu lõpus nii paber kandjal kui ka failina. Andmed peavad olema arhiveeritud vähemalt kolm kuud.

Järgnevas alapeatükis on välja toodud tellija nõudmised süsteemi üldistele ja tehnilistele omadustele. Samuti on välja toodud nõuded andmete kohta.

2.1 Nõuded süsteemile

Tööaja jälgimise süsteemi loomiseks anti ettevõtte poolt esmalt üldised nõuded ja juhised, mis olid lähtepunktiks süsteemi väljatöötamisel. Kogu protsessi vältel toimus suhtlus ettevõttega, mille käigus valminud lahendusi muudeti ja parandati, et jõuda kõiki osapooli rahuldava lõpptulemuseni. Allpool on välja toodud ettevõttelt saadud nõudmised süsteemile.

Ettevõtte poolt kehtestatud üldised nõuded süsteemile

- Tööaja jälgimise süsteem peab olema töökindel
- Süsteem peab olema paindlik
- Süsteem peab olema maksimaalselt autonoomne
- Kasutamine peab olema mugav ja vähe aega nõudev
- Paigaldatavad seadmed ja andurid ei tohi segada seadme ja sellega töötava operaatore tööd ning seadme hooldamist
- Ei tohi sisaldada igakuiseid teenustasusid

Ettevõtte poolt saadud tehnilised nõuded süsteemile

- Ei tohi sisaldada traadita andmesidevõrke
- Kohene laienemisvõimalus kuni 40 seadmele, tulevikus ka rohkem
- Võimalus liita kolme tüüpi seadmeid:
 - Ajapõhine monitoorimine – õmblusseadmed
 - Tsükli põhine monitoorimine – stantsseadmed
 - Toodetud detailide põhine monitoorimine – koostamisliin
- Tulevikus võimalus lisada veel eri tüüpi seadmeid

Ettevõtte poolt saadud nõuded andmete kuvamiseks, töötlemiseks ja hoiustamiseks

- Reaalajas andmete kuvamine
- Päeva ja kuu lõpus andmete raporteerimine
- Andmete säilitamine vähemalt kolm kuud
- Põhilised monitooritavad andmetüübid:
 - Tööaeg
 - Töotsüklid
 - Detailide arv
 - Nendest tulenevad protsentarvutused

3. TÖÖAJA JÄLGIMISE SÜSTEEMI KONTSEPTSIOONI

VÄLJATÖÖTAMINE

Tööaja jälgimise süsteemi väljatöötamisel tuleb arvesse võtta kõiki ettevõtte poolt esitatud nõudeid. Süsteemi nõuetekohase funktsionaalsuse tagamiseks tuleb lahendada erinevad ülesehituslikud ja tehnilised aspektid. Paika tuleb panna süsteemi struktuur, kasutatavad seadmed ja nende paiknemine tootmiskompleksis. Välja tuleb töötada lahendused, kuidas integreerida tööaja jälgimise süsteem erinevatele tootmisseadmetele ehk kuidas tootmisseadmetelt infot koguda. Selle kõige juures tuleb arvestada ka töökindluse ja materiaalsete kulutustega. Lahendada tuleb andmeedastuse ning andmete kuvamise ja raporteerimise osa.

Järgnevas kahes peatükis käsitletakse süsteemi üldise ülesehituse väljatöötamist ning selle integreerimist erinevatele tootmisseadmetele.

3.1 Ülesehitus, struktuur ja tööpõhimõte

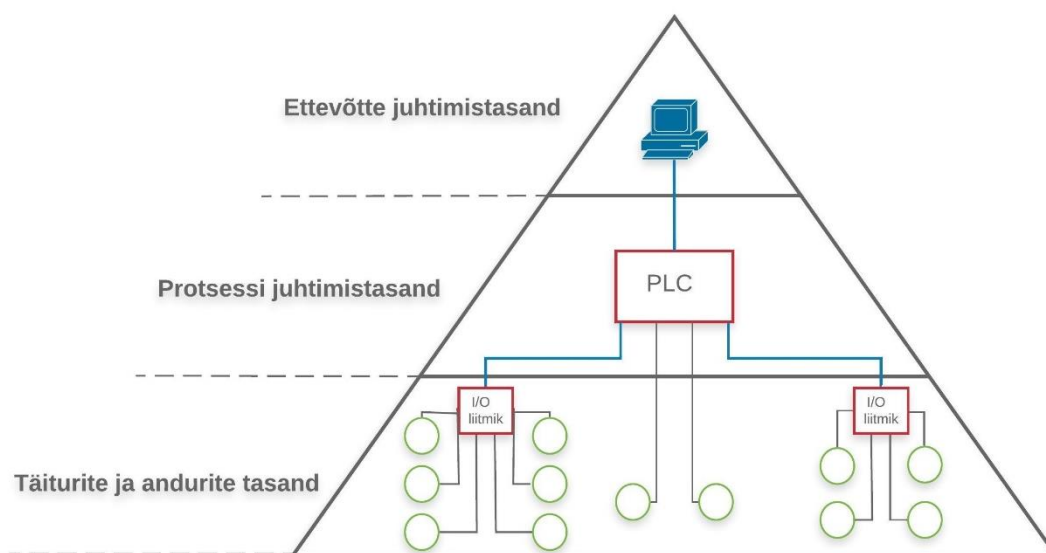
Antud süsteemi loomiseks peab selle ülesehitus põhinema ühel kesksel seadmel, mille ülesandeks on andmete kogumine, vajalike arvutuste tegemine ning nende edastamine. Sellist seadet võib nimetada süsteemi keskseadmeks. Sellisel juhul on tagatud süsteemi lihtsus ning töökindlus (sõltub keskseadmest). Rääkides tööstuslikust rakendusest, on parim valik selleks programmeeritav loogikakontroller (PLC – *Programmable Logic Controller*). Programmeeritav loogikakontroller on spetsiaalne tööstuslik juhtseade, mis asendab vanema põlvkonna releelülitusi. Selle ülesandeks on pidev sisendite monitoorimine, tehes nende olekute põhjal otsuseid vastavalt loodud programmile ning juhtides seeläbi väljundeid [2]. Enamasti kasutatakse neid tööstuslike protsesside juhtimisel ja automatiseerimisel. Rakendusi, kus kontrollerit kasutatakse ainult informatsiooni kogumiseks, on võrdlemisi vähe ning lahendusi, kus neid kasutatakse tööaja arvestamiseks, on minimaalselt. Tulenevalt kontrollerite klassikalistest rakendustest (protsesside juhtimine), omavad nad kõiki vajaminevaid omadusi ka tööaja monitoorimise süsteemi juhtimiseks. Tööstuskontrollerid võimaldavad lugeda sadu või isegi tuhandeid sisendeid ning töödelda ja edastada saadud andmeid. Seega on just tööstuskontroller antud rakenduse jaoks sobiv keskseade.

Tööstuskontrolleriga lahenduse puhul on süsteemi ülesehitamiseks mitmeid variante, kuidas andmeid koguda ja neid esitada. Sisendite ühendamiseks on kaks põhilist varianti, kas koguda kõik anduritelt ja releedelt saadud signaalid otse kontrollerisse või kasutada hajutatud sisendite ja väljundite meetodit. Sellisel juhul kogutakse andmed hajutatud sisend-väljundmoodulite liitmike

abil, mis edastavad signaalid läbi ühe andmesidekaabli kontrolleriile. Signaalide kontrollerrisse kogumise viis sõltub tootmiskompleksi ehitusest ja tootmisseadmete omavahelisest paigutusest. Kui vahemaad on suured, siis oleks mõistlik kasutada eelmainitud liitmikke. Sellisel juhul väheneb signaalkaablite kulu ning paigaldamiseks kuluv aeg. Nii nagu signaalide kogumiseks on kaks varianti, on ka andmete kuvamiseks mitmeid võimalusi. Näiteks saab kontrolleri külge ühendada lihtsa kasutajaliidese – HMI (*Human Machine Interface*). HMI on seade, mis on liideseks inimese ja protsessi vahel. HMI kuvab kasutajale protsessi kohta käivat informatsiooni ja võimaldab teha muudatusi. Sellise kasutajaliidese programmeerimine on tavaliselt otseselt seotud kontrollerris oleva programmiga ning seda tehakse ühise tarkvara abil. Alternatiivne lahendus oleks kontrolleri ühendamine arvutiga, kasutades andmete kuvamiseks veebiserveril põhinevat tarkvara. Tehniliselt kõige keerukam, kuid kasutajale enim võimalusi andev variant oleks kontrolleri ühendamine SCADA tarkvaraga. Nimetus SCADA on lühend ingliskeelsele tähendusele „*Supervisory Control and Data Acquisition*“. SCADA süsteem koosneb riistvarast ja tarkvarast. Riistvaraks on automaatikaseadmed, mis juhivad protsesse andurite ja täiturite abil. Tarkvara kuvab kogutud info ja laseb operaatoril teha distantsilt muudatusi protsessi juhtimises ja sellega seotud muutujates [3]. Põhiliseks vaheks SCADA tarkvara ja teiste variantide vahel on süsteemi võimekus. SCADA lisaks süsteemile paindlikkust ning annaks tootmisettevõttele tuleviku väljavaates alustala, millele teisi automatiseeritud lahendusi luua. Andmete raporteerimist on võimalik lahendada nii SCADA tarkvara kui ka eraldiseisva programmi abil. Jälgides tuleviku trendi, kus andmete ja nende analüüsimise vajadus aina suureneb, kasutatakse tihti selleks eraldiseivat raporteerimistarkvara. Tootjad pakuvad tarkvaralisi lahendusi, mis võimaldavad andmeid koguda mitmest erinevast allikast ning genereerida nendest just kasutajale sobivad raportid.

Konsulterides mitmete automaatika teenuseid pakkuvate ettevõtete, automaatikainseneride ning projekti tellinud ettevõttega, pandi paika süsteemi lõplik ülesehitus. Antud projekti raames on kasutatud tööstuslikku kontrolleri, mis on ühendatud SCADA tarkvaraga kasutajamugavuse ja võimaluste lisamiseks. Tulenevalt hoone arhitektuurist, on signaalide kogumiseks kasutatud lisaks kontrolleriile kaht hajutatud sisend-väljundliitmikku, mis edastavad signaalid kontrolleriile. Kontrolleri omakorda edastab kogutud ja töödeldud andmed operaatorarvutile, mille ülesandeks on kasutajale andmete kuvamine SCADA tarkvara vahendusel ning nende raporteerimine vastavalt tellija tingimustele. Andmete raporteerimiseks kasutatakse eraldiseisvat tarkvara. Kogu andmetöötlus toimub kontrollerris, et vähendada eri süsteemi osades võimalike tekkivate vigade arvu. Andmeside tõrgeteta tööks kasutatakse kogu süsteemi ulatuses ainult traadiga andmesidet.

Struktuuri poolest saab süsteemi jagada kolmeks erinevaks osaks ehk tasandiks (joonis 3.1). Esimene tasand on nii-öelda ettevõtte juhtimistasand, mis sisaldab endas andmete kuvamise, raporteerimise ja arhiveerimise osa. Riistvaraks antud tasandis on operaatorarvuti, mille peal jookseb SCADA ja raporteerimistarkvara. Teiseks tasandiks süsteemis on protsessi juhtimistasand, mida antud rakenduses võib nimetada ka süsteemi juhtimistasandiks, mida teostab kontrolleri. Kolmandaks on täiturite ja andurite ehk väljatasand, kus paiknevad monitooritavad seadmed (joonisel roheline ring) ning selleks vajalikud andurid. Andmeside ühendused on kuvatud siniste joontena ning kontrollkaabli omad hallide joontena. Kontrollkaabli all mõeldakse kaablit, mis ühendab omavahel kontrolleri/liitmikke ja tootmisel paiknevaid andureid ning releeväljundeid.



Joonis 3.1 Tööaja jälgimise süsteemi üldine struktuurskeem. PLC – tööstuslik kontrolleri, I/O liitmik – hajutatud sisend-väljundmoodulite liitmik, roheline ring – monitooritav seade

3.2 Tootmisel seadmete ja tööaja jälgimise süsteemi integreerimine

Tööaja jälgimise süsteemi jaoks tootmisel seadmetelt vajalike signaalide kogumiseks on palju erinevaid variante. Tellija soovi kohaselt oli primaarseks soovitud informatsiooniliseks seadmete reaalne tööaeg ehk kui palju neid kasutatakse. Ainsateks erisusteks olid stantsimiseelad, mille puhul on oluliseks näitajaks töösükli ehk löökide arv ning koostamisliini puhul toodetud detailide arv. Lähtuvalt sellest on vaja kõikide eritüübiliste seadmete jaoks leida võimalus, kuidas vajaminevaid andmeid koguda. Oluline on tagada seejuures töökindlus, hooldatavus ja universaalsus. Selleks et leida igale seadmetüübile sobiv lahendus, tuleb esmalt selgeks teha nende

ehitus ja tööpõhimõte. Parima võimaliku variandi leidmiseks tuleks iga seadmetüübi jaoks leida mitu andmete kogumise viisi. Seejärel saab katsetamise ja analüüsimise teel välja valida parima võimaliku lahenduse. Andurite ja releeväljundite puhul tuleb tagada, et nende esmase seisukorra hindamine (töötab või mitte) saab toimuda visuaalselt. Näiteks releeväljundite puhul peab releemähis olema läbipaistva korpusega, et veenduda, kas mähis tõmbub või mitte. Kasutatavad andurid võiksid omada signaallampi, et veenduda nende olekus.

Kõige keerukamateks seadmeteks, millelt andmeid koguda, osutuvad õmblusseadmed. Väljatöötamise protsessi käigus oli kokku viis erinevat lahendust, kuidas vajalikku signaali ehk seadme tööaega mõõta. Esimene ja kõige lihtsam lahendus oleks olnud seadme mõnele liikuvale osale mehhaanilise lüliti lisamine, eeldades, et lüliti asend muutub õmblemise alustamisel ja lõpetamisel. Õmblusmasina töö juhtimine toimub läbi laua all asetseva pedaali ning see oli ka ainus võimalik koht, kuhu lüliti paigaldada, nii et see ei jääks segama seadme töötamist ja selle hooldamist. Kuna tegu on tööstuslike õmblusseadmetega, siis on valdavalt enamusel mehhaanilised pedaalid. Seetõttu oli ainsaks võimaluseks kasutada teekonnalüliti. Paraku oli sellise lahenduse puhul täpsus ebapiisav. Juhtus olukordi, kui seade hakkas õmblema, kuid lüliti asend ei muutunud ning vastupidi õmbluse lõpetamisel. Peamiseks põhjuseks selle juures oli juhtpedaali pikk liikumisulatus.

Teisteks põhilisteks katsetatud lahendusteks olid seadmelt endalt saadavate elektriliste signaalide mõõtmine. Neid variante oli kokku kolm. Suurem osa kasutatavatest õmblusseadmetest töötavad põhimõttel, et seadme käivitamisel hakkab elektrimootor pöörlema ning õmblust alustades antakse pinge mootori küljes olevale elektrilisele sidurile. Sidur töötab ülekandemehhanismina mootori ja õmblusseadme vahel, kus sidurile antud pinge väärtusest sõltub õmblemise kiirus. Võimalus oli mõõta sidurile antavat pinget spetsiaalse kontrolleri mooduliga, mis on ette nähtud teatud vahemikes pinge mõõtmiseks. Selle lahenduse puhul oli probleemiks pinge häiretest tulenev ebatapsus. Kuna seadme juhtimine toimub lineaarselt, siis on raske eristada kohta, millal seade töö alustab või lõpetab. Seda eelkõige seetõttu, et pinge väärtuste erinevused olid väga väikesed ning sisaldasid endas häiringuid. Järgnevas proovitud lahenduseks oli õmblusseadme pedaali pistikust (pistik mis on mõeldud juhuks, kui kasutatakse elektrilist pedaali) pinge signaali kasutamine läbi relee. Õmblemist alustades võib pedaali pistiku otstelt mõõta pinget 12 volti. Kasutades seda pinget relee juhtimiseks, saab täpselt teada, millal seade töö alustas. Suurematel kiirustel antud pistiku otstel aga pinge väheneb ning sellest ei piisa enam releemähise suletud asendis hoidmiseks. Viimaseks elektrilise signaali mõõtmise variandiks oli seadme voolutarbe mõõtmine vooluanduriga. Tehes läbi mitu mõõtmist, selgus, et sisse lülitatud seadme tarbitava

voolu ja õblemist alustanud seadme tarbitava voolu vahe on äärmiselt väike (10–50 mA). Sellises suuruses voolutarbe erinevuse mõõtmine on võimalik, kuid täpsuse aspekt jääb siiski kriitiliseks. Süsteemi väljatöötamise ajal ei õnnestunud leida sobiva täpsuse ja mõistliku maksumusega vooluandurit. Antud lahendus on väga universaalne ning lihtsasti teostatav, seetõttu jääb see variant tulevikus kindlasti proovimiseks sobiva anduri leidmisel.

Viimaseks sisendsignaali saamise meetodiks oli induktiivanduri kasutamine õmblusseadme liikuvate osade tuvastamiseks. Tulenevalt eelnevate lahenduste täpsuse probleemidest tuli leida usaldusväärsem ja töökindlam viis seadme töötamist tuvastada. Induktiivanduri kasutamisel puudub seadme ja mõõteahela vahel otsene kontakt nagu on lülitel ja elektriliste signaalide mõõtmisel. See omakorda vähendab rikestest ja häiringutest tekkivate valesignaalide tõenäosust. Induktiivanduri kasutamiseks on mõõteahelasse lisatud relee, mis saab juhtsignaali andurilt. Relee omakorda annab signaali kontrollerrisse. Pidades silmas tellija nõudmisi, tuli induktiivandurile leida sobiv koht, kus see ei segaks seadme ega selle taga töötava operaatori tööd ning seadme hooldamist. Anduri üldine tööpõhimõte, tehnilised andmed ja paigalduskohad on välja toodud automaatika peatüki andurite alapeatükis.

Stantsimisseadmete puhul sai töötüklite arvu lugemiseks ära kasutada juba seadmel olemasolevat lõpulüliti. Lõpulüliti ahelasse on lisatud relee, mida juhitakse lõpulüliti signaaliga, mis omakorda annab sisendi kontrollerrile. Koostamisliini puhul, kus oluliseks näitajaks oli toodetud detailide arv, oli töös kaks võimalikku monitoorimise viisi. Koostamisliini ülesandeks on mäesuusasaabastele talla detaili liimimine. Liin koosneb konveierist, talla materjali ja liimi soojendamiseks vajalikust ahjust ning pressist, mis kinnitab talla saapa külge. Üheks võimaluseks oli kasutada pressiseadme lõpulüliti, et tuvastada töötüklid ja seeläbi toodetud detailide arv. Probleemseks osutusid juhud, mil talla detail ei kinnitunud saapa külge ühe töötükliga ning seda tuli korrata. Sellisel juhul oli töötüklite ja toodetud detailide arv erinev. Lähtuvalt sellest tuli välja töötada täpsem viis detailide loendamiseks. Töötades läbi erinevaid variante, selgus, et parim võimalik lahendus oleks fototajurite kasutamine konveieril. Paigaldades fototajuri saatja ja vastuvõtja erinevatele konveieri külgedele, mille vahelt detailid läbi liiguvad, on võimalik toodetud ühikute hulk kokku lugeda. Lisaks on koostamisliinile paigaldatud relee, mis saab juhtsignaali konveieri mootorilt ning edastab signaali kontrollerrile. Relee eesmärgiks on koostamisliini tööaja monitoorimiseks vajaliku signaali saamine. Fototajuri tööpõhimõte ja paigutus on põhjalikumalt käsitletud automaatika peatüki andurite alapeatükis.

3.3 Vahekokkuvõte

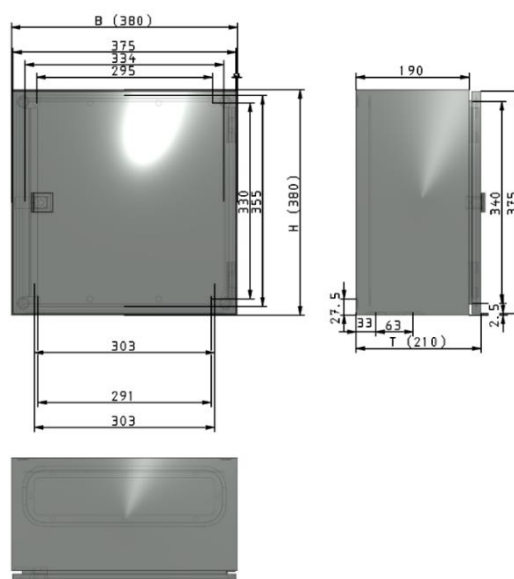
Tööaja jälgimise süsteemi väljatöötamise osas sai paika lahenduse üldine kontseptsioon ja selle integreerimise võimalused erinevatele tootmiseseadmetele. Paika on pandud süsteemi struktuur, milleks on ühel kesksel seadmel põhinev ülesehitus. Keskseadmeks on tööstuslik kontrolleri, mille ülesandeks on signaalide kogumine, töötlemine ja edastamine. Kontrolleri on omakorda ühendatud operaatorarvutis oleva SCADA tarkvaraga, mis kuvab kasutajale reaalajas infot. Raporteerimiseks on kasutatud eraldiseisvat tarkvara, mis annab kasutajale rohkem valikuvõimalusi nii sisendallikate kui ka erinevate raportite näol. Kõikide monitooritavate seadmete puhul on kasutatud digisignaale ehk releesid ja andureid, mille väljund on kas tõene või väär. Vältimaks kontrollkaabli kulu ja selle paigaldamiseks kuluvat aega, on kasutatud lisaks kontrolleri kaht hajutatud sisend-väljundmoodulite liitmikku, mis edastavad signaalid ühe andmesidekaabli abil kontrolleri.

4. PROJEKTEERIMINE

Projekteerimise osa käsitleb lähemalt automaatikakilpide ehitust ning nendest paiknevaid seadmeid ja paigutust. Koostatakse automaatikaskeemid ning kilpide hoones paiknemise joonised. Paigalduse osas lahendatakse kilpide elektritoitega seotud küsimused. Paigaldatakse kogu süsteemi jaoks vajaminevad kontroll- ja andmesidekaablid. Tootmiseseadmete süsteemiga ühendamiseks lisatakse selleks vajaminevad komponendid ning tehakse ühendused.

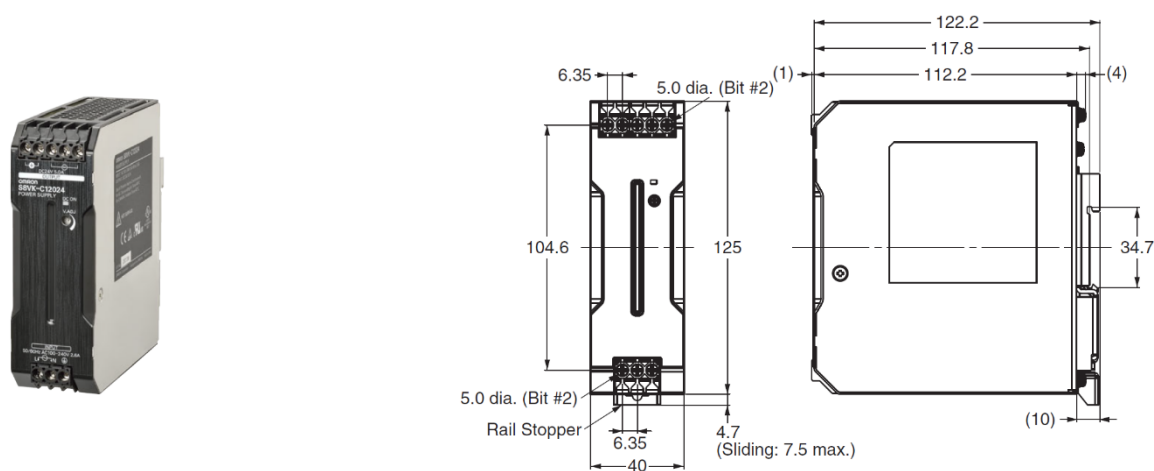
4.1 Automaatikakilbid

Tulenevalt tootmiskompleksi ehitusest on tööaja jälgimise süsteemi struktuur üles ehitatud kolme kilbi põhiselt, kuhu seadmetelt mõõdetavad signaalid kogutakse. Automaatika peakilbis (AK) paikneb kontroller ning kahes automaatika jaotuskilbis (AK1 ja AK2) hajutatud sisendväljundmoodulite liitmikud. Automaatikakilpide paigutust hoones võib näha lisa 1 toodud joonistel (joonis 1 ja joonis 2). Automaatikakilpidena on kasutatud Rittal tootja metallkilpe koos monteerimisplaadiga (joonis 4.1). Kõik kolm kilpi on seadmete ja nende ühenduste poolest enamjaolt identsed. Seetõttu on ka kilbid mõõtmete poolest sama suured (380 mm x 380 mm x 210 mm). Mõõtmete valimisel tuli leida võimalikult kompaktne kilp vajalike seadmete mahutamiseks. Samas tuli silmas pidada tuleviku perspektiivis laiendamise valmidust. Kaablite kilpi viimiseks on kasutatud läbiviigutihendit, et teha paigaldus lihtsamaks ning vältida tolmu ja teiste osakeste sattumist kilpi.



Joonis 4.1 Metallkilp 380 mm x 380 mm x 210 mm [4]

Kontrolleri ja liitmike toiteallikaks on valitud Omroni 24 VDC (5 A) toiteplokid väljundvõimsusega 120 W (joonis 4.2). Toiteploki puhul on tegemist AC/DC muunduriga ehk alaldiga, mis muundab vahelduvpinge alalispingeks. Alaldamiseks kasutatakse ühesuunalise juhtivusega pooljuhtseadiseid, nagu pooljuhtdiodid ja türistorid. Alaldeid, mis on koostatud diodide baasil, nimetatakse mittetüüritavateks. Türistoride baasil alaldeid nimetatakse tüüritavateks, sest nende väljundpinge on reguleeritav [5]. Antud juhul on tegu tüüritava ehk reguleeritava väljundpingega toiteploki. Toiteploki dimensioneerimisel tuli arvestada konkreetsetes kilbis paiknevate seadmete ja sisend-/väljundlülituse võimsustarbiga. Toiteplokk on teadlikult üle dimensioneeritud, et tagada tulevikus vajaminevate sisendite ja väljundite lisamise võimalus.



Joonis 4.2 Toiteplokk Omron 24 VDC (5 A) 120 W [6]

Kilbi toitekaabli ja toiteploki vahele on lisatud kaitselüliti C10. Kilpide projekteerimisel on planeeritud neile nii sisendite kui ka väljundite võimekus. See tähendab, et igasse kilpi on paigaldatud 24 V-, 0 V- ning kaitsemaanduse riviklemmid kontrollkaabli varjestuseks. Kasutatud riviklemmid on krüvimehhanismiga ja võimaldavad ühendada 0–2,5 mm² ristlõikega kaableid (joonis 4.3). Klemmide ühendamiseks on spetsiaalsed 10 poolusega sildklemmid.



Joonis 4.3 Schneider Electric 0–2,5 mm² riviklemm [7]

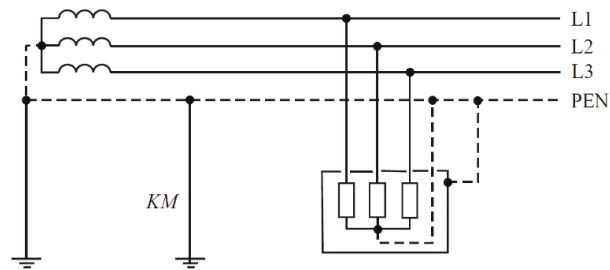
Täiendavalt on kilpides 230 V väljundi võimalus, juhuks kui tulevikus tekib selleks vajadus. Kõigi 230 V ühenduste puhul on kasutatud 1,5 mm² ning 24 V puhul 0,75 mm² ühesoonest kaablit. Ühendusteks on kasutatud kogu süsteemi ulatuses kaablihülse, isolatsioonita varjestusejuhid on kaetud termokahaneva rüüga ning kontrollkaabli sooned kilpides on tähistatud vastava tootmiseseadme tähisega. Kaablite korrapäraseks paigutuseks on kilpides kattega kaabliteed.

Seadmed ja ühenduskomponendid on kilpides paigaldatud kahele paralleelsele DIN-liistule, jättes seadmete vahele piisava ruumi vajaliku jahutuse tarbeks. Seadmete paigutusel kilbis on silmas peetud, et ühendused paikneksid võimalikult loogiliselt ning ühenduskaablid oleksid minimaalse pikkusega. Seadmed on jagatud kahele DIN-liistule nii, et kontrolleri/liitmik ja nende moodulid on ühel liistul ning toiteplokk, riviklemmid ja kaitselüliti teisel liistul. Selline paigutus teeb kontrollkaabli ühendamise kontrolleri sisend-/väljundterminalidega ja riviklemmidega lihtsamaks. Automaatikaskeeme võib näha lisas 2 ja pilte valminud kilpidest lisas 3. Piltidelt võib näha, et DIN-liistul, kus asuvad kontrolleri või liitmikud, on piisavalt ruumi lisamoodulite jaoks tulevikus.

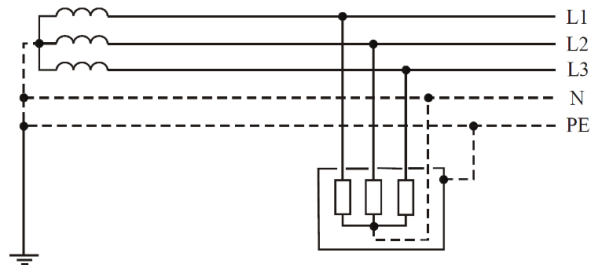
4.2 Paigaldus

4.2.1 Automaatikakilpide elektritoide

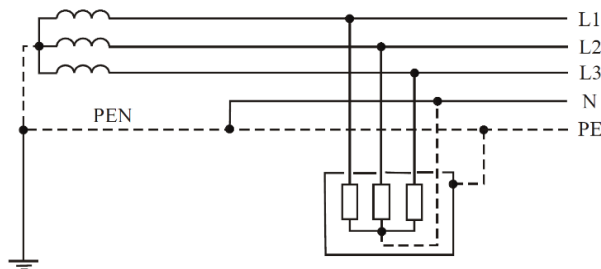
Kõik automaatikakilbid saavad elektritoite erinevatest elektrikilpidest. Automaatika peakilp (AK) saab toite katlaruumis asuvast alajaotuskilbist (AJK1), automaatika jaotuskilp (AK1) köögis asuvast peajaotuskilbist (PJK) ning teise korruse automaatika jaotuskilp (AK2) kõrval asetsevast alajaotuskilbist (AJK2). Kilpide asukohti võib näha lisas 1 olevatelt joonistelt. Kilpide elektritoite paigaldamisel tuli silmas pidada kaht asjaolu. Nimelt lülitatakse ettevõtte teatud osades pärast tööpäeva lõppu automaatselt elektritoide välja. Seetõttu tuli valida toiteallikad, kus oleks see ööpäev läbi tagatud. Juhistikusüsteemiks kogu hoonekompleksi ulatuses on TN-C ehk ühise kaitse- ja neutraaljuhiga süsteem (PEN) (joonis 4.4). Juhistikeks nimetatakse juhtide (juhtmed, kaablid, latid) omavahel kokkuühendatud kogumit [8]. Lähtuvalt uuest standardist TN-S (joonis 4.5), kus kaitse- ehk maandusjuht ja neutraaljuht on eraldatud, tuli teha selleks üleminek, ühendades mõlemad toiteallikapoolses osas neutraaljuhiga. Sellisel juhul on tegu TN-C-S juhistikusüsteemiga (joonis 4.6). Toiteallika kilpidesse on paigaldatud eraldiseisev kaitselüliti C10 automaatikakilpide tarbeks. See annab konkreetse elektripaigaldise jaoks võimaluse voolu välja lülitada nii toiteallika- kui ka automaatikakilbist. Toitekaabliks on kasutatud 3 x 1,5 mm² paigalduskaablit.



Joonis 4.4 TN-C juhistikusüsteem [8]



Joonis 4.5 TN-S juhistikusüsteem [8]



Joonis 4.6 TN-C-S juhistikusüsteem [8]

4.2.2 Kontroll- ja andmesidekaabli paigaldus

Vältimaks elektriväljadest tekkivaid häiringuid kontroll- ja andmesidekaablites, on kogu süsteemis kasutatud varjestatud kaableid. Andmesidekaabliks on Legrand tootja F/UTP CAT6 tüüpi võrgukaabel, millel on fooliumvarjestus. Ühendusteks on RJ45 tööriistavabad modulaarpistikud. Kaabli ühendused pistikutega on tehtud T568B värvikoodi järgi (tabel 4.1).

Tabel 4.1 Võrgukaabli ühenduste värvikood T568B [9]

Kaablijuhi number	100BASE-TX signaali ID	T568B värvikood
1	TX+	valge/oranž
2	TX-	oranž
3	RX+	valge/roheline

Tabel 4.1 järg

Kaablijuhi number	100BASE-TX signaali ID	T568B värvikood
4	-	sinine
5	-	valge/sinine
6	RX-	roheline
7	-	valge/pruun
8	-	pruun

Andmesidekaabel ühendab omavahel kontrolleri ja liitmikke ning kontrolleri ja operaatorarvutit. Paigaldamisel on jälgitud, et andmesidekaabel paikneks võimalusel alati toitekaablitest eemal.

Tootmiseseadmetelt vajaliku info (olekuinfo, kas on töös või mitte) kogumiseks on kasutatud TKD tootja ÖPVC-OZ-CY 2 x 0,75 mm² varjestatud kontrollkaablit (joonis 4.7). Polüvinüülkloriidist (PVC) isolatsiooniga vasest sooni ümbritseb kaitsekile, mille ümber on omakorda vasest punutis varjestuseks. Kaablit ümbritseb elastne PVC mantel, mis annab sellele head paindumisomadused ning vastupidavuse.



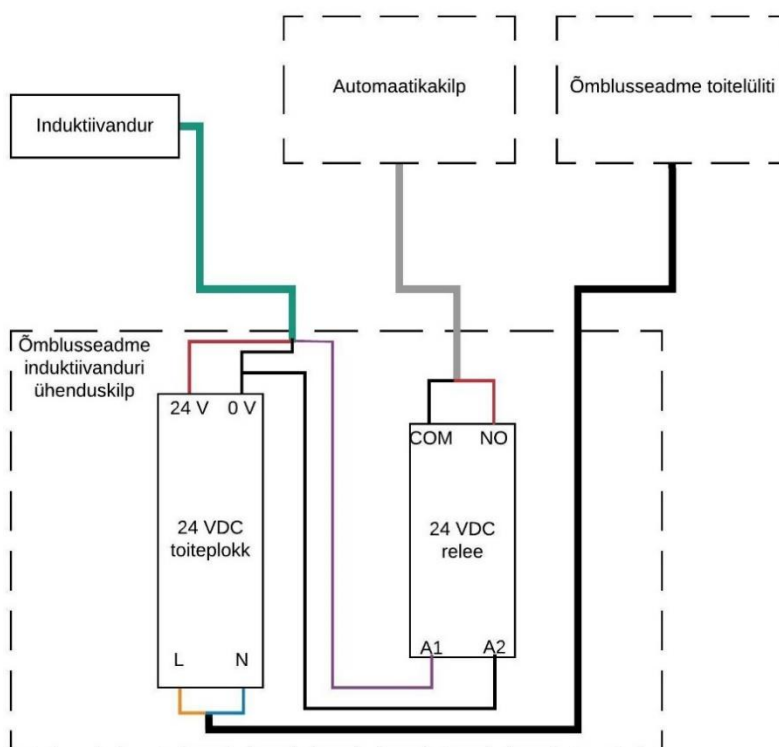
Joonis 4.7 ÖPVC-OZ-CY kontrollkaabli näidis [10]

Koostamisliini ja stantsseadmete ühendamisel on kasutatud kaablite paigaldamiseks nii kaabliredeleid kui ka -torusid. Kaabliredeleid kasutatakse peamagistraalide puhul, kuhu hiljem planeeritakse lisada täiendavaid kontrollkaableid uute seadmete ühendamisel. Torusid kasutatakse peamagistraalset iga seadmeni viival lõigul. Seadme kohal tuuakse kaabel alla läbi kaablikõri. Õmblusseadmed on ruumides paigutatud teineteisele lähemale ning seetõttu on kontrollkaablite paigaldamiseks kasutatud ainult kaabliredeleid, mis on keermelattide abil lakke kinnitatud. Õmblusseadmete puhul tuleb ette olukordi, kus seadmeid paigutatakse ümber ning seetõttu peab saama kaabliühendused lihtsasti lahti ühendada. Selleks on kasutatud keermega pistikühendust kaabliredelist alla seadmeni väljuval kaablilõigul. Kaabliredelite paigutust võib näha lisas 1 olevatel joonistel.

4.2.3 Monitooritavate seadmete ühendamine

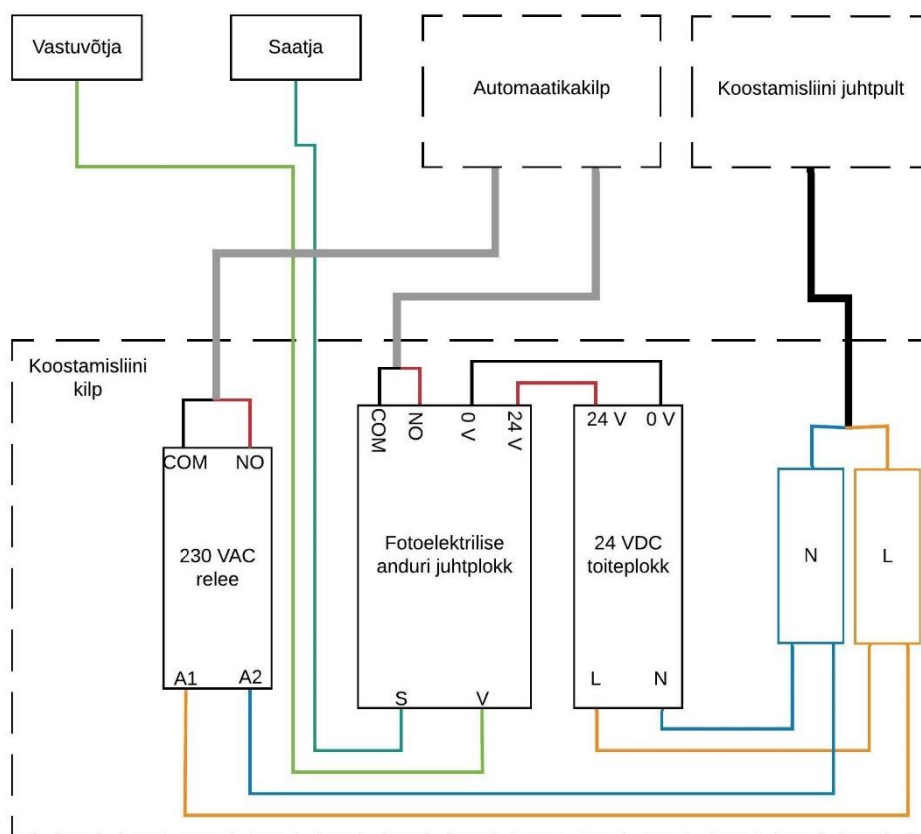
Monitooritavate seadmete ühendamine oli kõigi kolme seadmetüübi jaoks erinev. Ühenduse poolest lihtsaimaks osutusid stantsseadmed, mille puhul löökide arvu ehk töötsüklite lugemine toimus läbi relee, mida omakorda juhtis juba seadmel olemasolev lõpulüliti. Kõigi kolme seadme puhul olid lüliti ühendused leitavad tootjapoolse dokumentatsiooni abil. Töötsüklite lugemiseks tuli seadme kilpi paigaldada täiendav relee, mille juhtsignaali pinge vastaks lõpulüliti väljundpingele (24 V). Kontrollkaabli vaskpunitisest varjestus on ühendatud seadme kaitsemaandusega.

Õmbusseadmete puhul, kus oleku saamiseks kasutatakse induktiivandurit, nõudis paigaldamine rohkem täiendavaid komponente ja seetõttu polnud võimalik neid mahutada seadme küljes olemasolevatesse korpustesse. Selleks tuli seadme tööpinna alla lisada väike kilp, mis ei segaks operaatori tööd ning seadme hooldamist. Kilpi paigaldati induktiivanduri tööks vajalik 24 V alalisvoolutoide, relee kontrolleri sisendi lülitamiseks ning vajalikud ühendused kontrollkaabli ja anduri ühendamiseks. Induktiivanduri toiteplokk saab vahelduvvoolutoite seadme käivituslüliti alt. Peamiseks põhjuseks sellisel lahendusel on see, et andurile ei jääks elektritoide peale ajal, millal seadet tegelikult ei kasutata. Koos toiteplokkile tuleva toitejuhtmega tuleb kilpi seadme toiteallika kaitsemaandus, mida kasutatakse kontrollkaabli varjestuseks. Õmbusseadmele induktiivanduri ühendamise põhimõtteskeem on välja toodud joonisel 4.8.



Joonis 4.8 Õmbusseadmele induktiivanduri paigaldamise põhimõtteskeem. roheline joon – induktiivanduri kaabel, hall joon – kontrollkaabel, must (lai) joon – elektritoite paigalduskaabel

Koostamisliini puhul kasutati olulise informatsiooni saamiseks releed, mille abil on võimalik määrata liini tööaega ning fototajurit, mis võimaldas lugeda toodetud detailide arvu. Nende komponentide paigaldamiseks liinil sobivat kohta ei olnud. Seega tuli lisada täiendav kilp, mille esipaneel oleks läbipaistev. Läbipaistva paneeliga kilbi vajadus tulenes tingimusest, et süsteemi komponentide seisukord peab olema visuaalselt tuvastatav. Sellisel juhul on võimalik näha, kas fototajuri juhtploki signaallamp vilgub sisendi saamisel ning kas releemähis tõmbub seadme käivitamisel. Kilpi on paigaldatud rele liini tööaja mõõtmiseks, fototajuri juhtplokk ning selle toiteallikaks 24 V alalisvoolutoiteplokk. Vahelduvvoolu elektritoide on kilpi toodud kõrval asuvas liini juhtpuldist ning kasutatud on sarnast põhimõtet nagu õmblusseadmete puhul. See tähendab, et komponendid saavad elektritoite ainult siis, kui liin on käivitatud. Koos toitejuhtmega tuleb juhtpuldist liini toiteallika kaitsemaandus kontrollkaablite varjestuseks. Koostamisliini fotoelektrilise anduri ja rele ühendamise põhimõtteskeem on välja toodud joonisel 4.9.



Joonis 4.9 Koostamisliini fotoelektrilise anduri ja rele ühendamise põhimõtteskeem. Hall joon – kontrollkaabel, must (lai) joon – elektritoite paigalduskaabel, S – fotoelektrilise anduri saatja ühendus, V – fotoelektrilise anduri vastuvõtja ühendus

4.3 Vahekokkuvõte

Projekteerimise etapis on välja toodud automaatikakilpide ülesehitus ja koostatud automaatikaskeemid (lisa 2). Välja on valitud kõik kilpide komponendid ning kasutatud toiteseadmed ja ühendustarvikud. Paika on pandud nende paiknemine kilpides. Tootmiseadmetele on paigaldatud vajaminevad releed ja andurite tööks vajalikud toiteplokid ning ühendused. Paigaldamise osas on jälgitud ettevõtte nõudeid ja üldiseid paigalduseeskirjasid, et kõik vastaks nõuetele. Kogu süsteemi ulatuses on kontroll- ja andmesidekaablina kasutatud varjestusega kaableid, vältimaks elektriväljadest tekkivaid häiringuid signaalides. Kaablite paigalduseks on kasutatud kaabliredeleid ja -torusid, kaitsmaks neid vigastuste eest.

5. AUTOMAATIKA

Automaatika peatükk käsitleb tööaja jälgimise süsteemis kasutatud andureid, nende tööpõhimõtet, ehitust, tehnilisi andmeid ja valikukriteeriumeid. Lisaks tuuakse välja kontrolleri valikukriteeriumid ning tööaja jälgimise süsteemi jaoks vajaliku kontrolleri programmikoodi põhiosad.

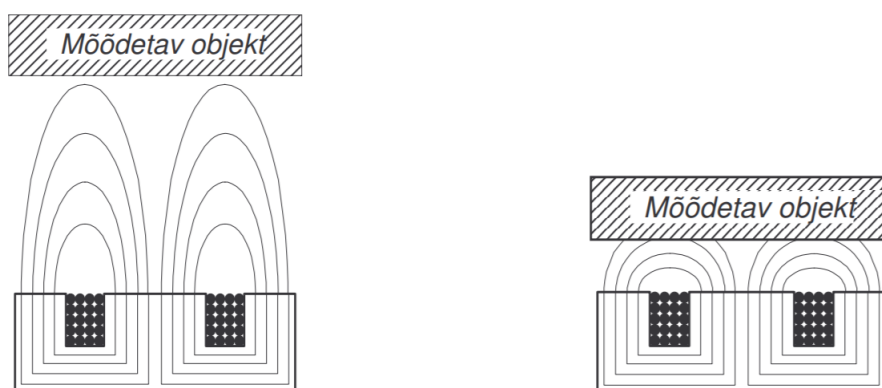
5.1 Andurid

5.1.1 Induktiivandur

Õmblusseadmetelt vajamineva sisendi saamiseks kasutatakse induktiivandureid. Induktiivandur on mõeldud metallobjektide tuvastamiseks ning ta ei vaja seejuures füüsilist kontakti. Anduri käitumine ehk tunnetamiskaugus sõltub materjalist, mida tuvastatakse, nagu näiteks raud, vask või alumiinium. Induktiivanduri põhilised eelised on järgmised [11]:

- kiire reageerimisaeg
- suur temperatuuritaluvus vahemik
- töökindlus
- vastupidavus ja tugev ehitus
- lihtne kasutatavus

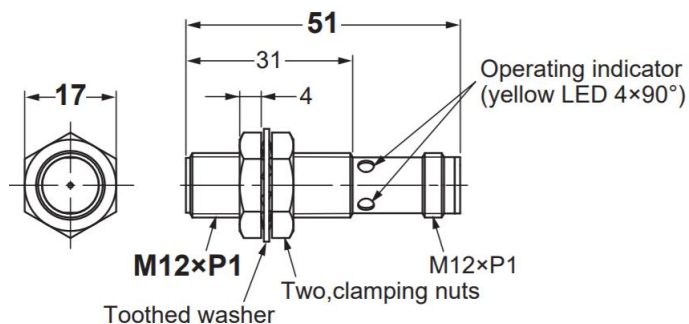
Induktiivanduri tajur põhineb kõrgsagedusgeneraatoril ehk ostsillaatoril, mille töö sõltub tuvastatava objekti kaugusest. Kui metallobjekt satub anduri mähiste magnetvälja mõjupiirkonda, siis selles indutseeritud voolud tekitavad generaatorile lisakoormuse, mida on võimalik tuvastada (joonis 5.1). Lisakoormuse tõttu võib võnkumiste genereerimine katkeda ning rakendub signaalmuunduri juhtlülitus. Vastavalt ühendusele väljastatakse kas loogiline „0“ või loogiline „1“ signaal, mis vastavad normaalselt avatud (NO) või suletud (NC) kontaktidele [12].



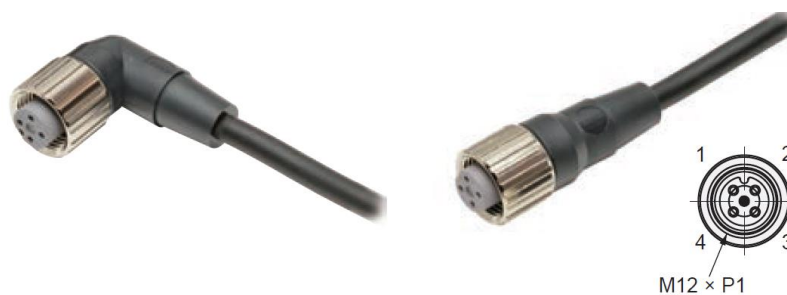
Joonis 5.1 Induktiivanduri tööpõhimõte [12]

Induktiivanduri tajukauguse määratlemisel kasutatakse nelja erinevat terminit: nimitajukaugus (S_n), reaalne tajukaugus (S_r), tegelik tajukaugus (S_u) ja töötsoon (S_a). Rääkides reaalsest anduri rakendusest, on oluline arvestada just töötsooniga, mis on 0...81% nimitajukaugusest (S_n). See on anduri töötsoon ja vastab piirkonnale, kus metallobjekti tuvastamine on tagatud, kuigi keskkonna temperatuur ja toitepinge võivad muutuda [12].

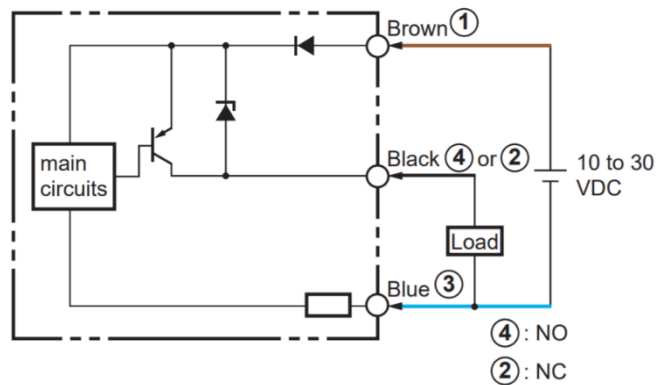
Antud süsteemi puhul on kasutatud Omron tootja lühema kerepikkusega varjestatud induktiivandureid (joonis 5.2). Peamisteks valikukriteeriumiteks olid anduri töötsooni ulatus, mõõtmed, töökindlus ja hind. Töötsooni ulatus sõltub enamasti anduri läbimõõdust, sama hinnaklassi andurite puhul kasvab töötsooni ulatus koos kere läbimõõduga. Valitud anduri kere läbimõõt on 12 mm, mis on piisava töötsooniga (tabel 5.1) ning võimalikult väikeste mõõtmetega andur sobivas hinnaklassis. Selleks et lihtsustada seadme hooldamist, on valitud andur, millel on keermega lahti ühendatav pistikühendus. Samuti teeb see hõlpsamaks vajadusel anduri vahetamise. Sõltuvalt õmblusseadmest ja anduri paigutusest on kasutatud kaht erinevat tüüpi ühenduskaablit, sirge pistiku otsaga ja 90-kraadise nurgaga (joonis 5.3). Ühenduskaabli pikkuseks on 2 meetrit. Anduri kere tagumises osas on LED signaalituli, mille abil saab visuaalselt veenduda anduri olekus ja töökorras. Andurite toiteks on valitud 24 V (1 A) alalisvoolutoiteplokid väljundvõimsusega 24 W.



Joonis 5.2 Omron M12 induktiivanduri tehniline joonis [13]



Joonis 5.3 Induktiivanduri ühenduskaablid [13]



Joonis 5.4 Induktiivanduri NO (N/O) ja NC (N/C) ühendusskeem [13]

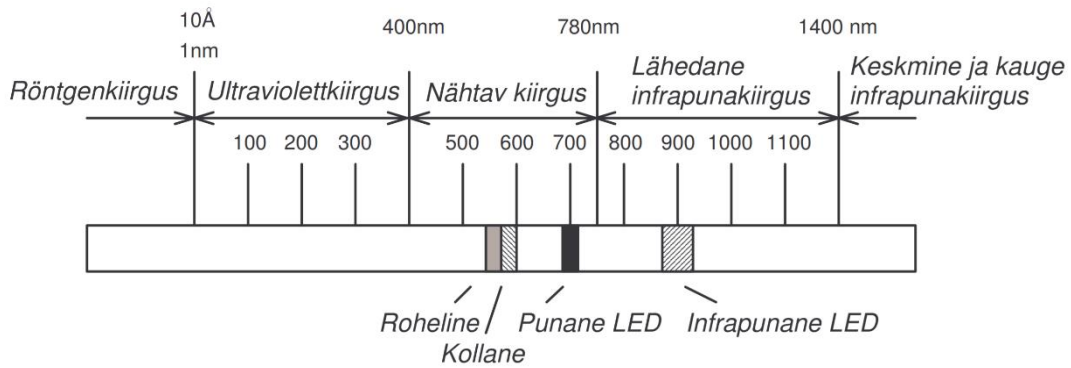
Anduri ühendused on tehtud joonisel 5.4 näidatud skeemi järgi, kasutades NO ehk normaalselt avatud väljundit. Kontrolleri sisendi lülitustoimeks vajalik rele on paigaldatud joonisel oleva *load* tingmärgi kohale, ühendades kaablihood 3 ja 4. Järgnevas tabelis (tabel 5.1) on välja toodud induktiivanduri tehnilised andmed.

Tabel 5.1 Omroni induktiivanduri tehnilised näitajad [13]

Näitaja	Suurus
Nimitajukaugus	4 mm ± 10%
Töötsoon	0–3.2 mm
Toitepinge	0–30 VDC
Voolutarve	10 mA max
Väljundi tüüp	PNP avatud kollektor
Väljundi koormusvool	200 mA max
Töörežiim	NO, NC
Keskkonna temperatuur	–25 °C – 70 °C

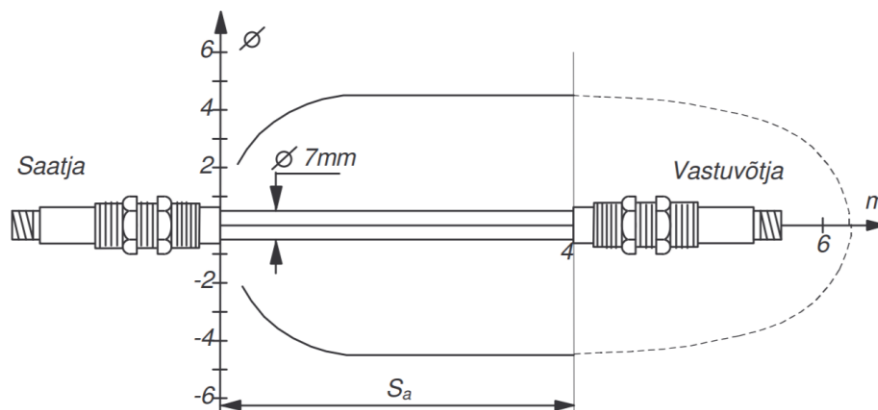
5.1.2 Fotoelektriline andur

Koostamisliini toodetud detailide lugemiseks on kasutatud optilise infoedastuse meetodit ning selle tuvastamiseks fotoelektrilist andurit. Optiline infoedastus koosneb tavaliselt valgusvoo allikast (*transmitter*), optilisest ülekandekanalist ning valgusvoo vastuvõtjast (*receiver*). Valgusvoog tekitatakse anduris valgusdioidiga (LED). Valgusvoo vastuvõtuks kasutatakse fotodioode ja fototransistore. Valgusdioid on pooljuhtelement, mis elektrivoolu läbimisel tekitab optilist kiirgust. See võib sõltuvalt lainepikkusest olla kas nähtavas või mitted nähtavas spektrialas (joonis 5.5). Eri lainepikkustel kasutatakse erinevaid valgusdioode ja fototransistore [12].



Joonis 5.5 Optilise kiirguse spekter [12]

Läbiviire süsteeme iseloomustab neile omane töötsoon (joonis 5.6). Valgusvoo vastuvõtja võimalik asukoht valgusallika (diodi) kiirgustsoonis peab olema töötsoonis (S_a). Kriipsjoonega on näidatud optilise süsteemi võimalik rakendatav tajukaugus. Iga objekt, mis läbib seda tsooni, katkestab valgusvoo ning muudab anduri väljundsignaali [12].



Joonis 5.6 Läbiviirega süsteemi töötsoon [12]

Koostamisliini toodetud detailide lugemiseks on kasutatud Optex tootja fotoelektrilist andurite süsteemi OS-12C [14]. Tegu on läbiviire põhimõttel töötavate anduritega. Peamisteks valikukriteeriumiteks olid andurisüsteemi töökindlus, paigaldamise lihtsus ja maksumus. Optex tootja on pikaajsete automaatikaandurite tootmiskogemusega ettevõtte, kelle üheks põhivaldkonnaks on just fotoelektriliste andurite tootmine ja arendamine. Komplektis on kaks paari andureid (2 saatjat ja 2 vastuvõtjat), kuid konkreetse rakenduse puhul on kasutatud ainult üht paari. Andurite töö juhtimiseks on eraldiseisev juhtplokk, millel paiknevad andurite (saatja ja vastuvõtja) ühendused ning toite- ja releeväljundiühendused. Juhtplokk võimaldab kaht töörežiimi – NO ja NC. Antud süsteemi puhul on kasutatud NO töörežiimi, mis annab signaali otse kontrolleri sisendisse, kui side saatja ja vastuvõtja vahel katkeb. Nimitajukauguseks juhtplokkil on seadistatud

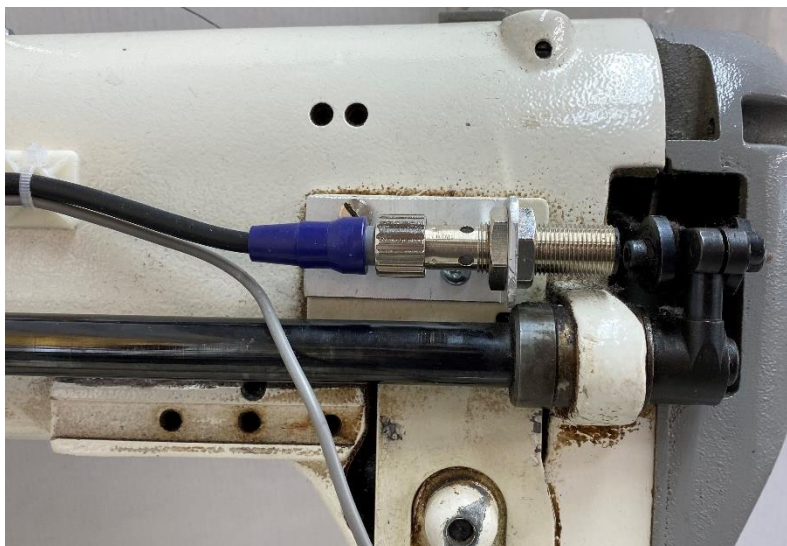
0–2 m. Juhtploki toiteks on kasutatud 24 V (1,5 A) alalisvoolutoiteplokki väljundvõimsusega 36 W. Fotoelektrilise andurisüsteemi tehnilised näitajad on välja toodud tabelis 5.2.

Tabel 5.2 Optex fotoelektrilise andurisüsteemi tehnilised näitajad [14]

Näitaja	Suurus
Nimitajukaugus	Seadistatav, 0–2 m, 2–5 m, 5–10 m
Tuvastamise meetod	Punktist punkti, lähedane infrapunakiirgus
Toitepinge	12–24 V AC/DC
Voolutarve	135 mA max.
Väljundi kontakt	Ümberlülitav relee (50 V)
Väljundi koormusvool	0,3 A
Töörežiim	NO, NC
Reageerimisaeg	0,1 s
Keskkonna temperatuur	–20 °C – 55 °C

5.1.3 Andurite kinnitused ja paigutus

Õmblusseadmetel on andurite paigaldamiseks kasutatud erinevaid kohti sõltuvalt seadmetüübist ja ehitusest. Seadmete tootjaks on PFAFF, kuid see ei sea piiranguid, kasutamaks sama lahendust teiste tootjate seadmete puhul. Andurite paigaldamiseks on vaja leida sobiv liikuv osa, mis annaks sisendsignaali töötamise ajal. PFAFF seerialtel 491 ja 591 on andurid paigaldatud seadme tagumisele (operaatori poolt vaadates) küljele. Nii ei sega need operaatori tööd ning on kaitstud võimalike töö käigus tekkivate löökide eest. PFAFF 491 (joonis 5.7) puhul on kasutatud anduri sisendsignaali saamiseks õmblusseadme veovõlli nookurit, mis õmblemise ajal horisontaalteljes edasi-tagasi liigub. Nookuri liikumisulatuseks on umbkaudu 10–12 mm. Andur on paigaldatud nii, et seadme mittetöötamisel (mitteõmblemisel), ei ole nookur anduri töötsoonis, vaid jääb sellest kõrvale. Õmblemist alustades hakkab nookur liikuma ning annab andurile sisendsignaali. Sellise lahenduse eelduseks oli asjaolu, et nookur jääb seisma alati ühes ja samas algasendis, kui seade õmblemise lõpetab ning see oli ka tagatud. Anduri paigaldamiseks on valmistatud alumiiniumprofiilist vinklid.



Joonis 5.7 PFAFF 491 induktiivanduri paigutus

PFAFF 591 (joonis 5.8) puhul on kasutatud analoogset lahendust, kuid tulenevalt uuemast mudeliseeriast paikneb nookur seadme korpuse sees, mida katab metallist kate. Anduri paigaldamiseks on tehtud metallkattele auk, mis teeb ka paigalduse lihtsamaks, st puudub vajadus kinnituste loomiseks.



Joonis 5.8 PFAFF 591 induktiivanduri paigutus

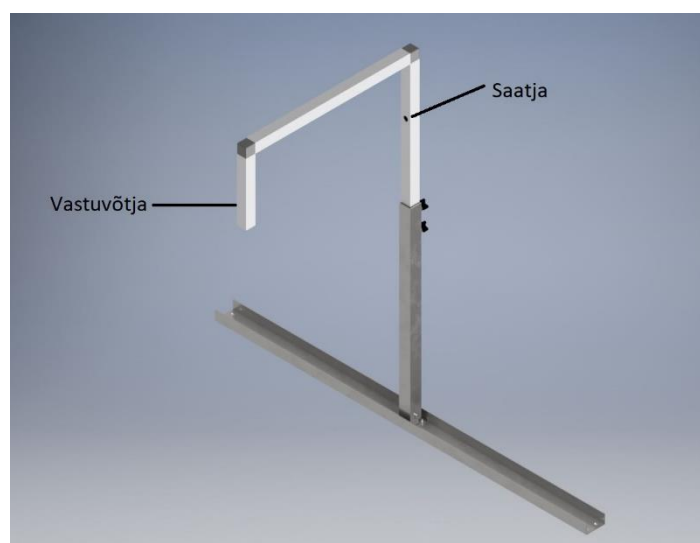
PFAFF 418 ja 918 (joonis 5.9) puhul on andur kinnitatud seadme paremale küljele (operaatori poolt vaadates), korpusest väljaulatava veovõlli juurde. Anduri ots on suunatud võlli poole ning sisendsignaali saamiseks on paigaldatud võlli peale kinnituv alumiiniumflants, millel on üks keermestatud ava. Avasse on paigaldatud polt, mis ulatub flantsi pinnast 4 mm välja, andes andurile sisendsignaali. Antud lahenduse eelduseks oli see, et veovõlli pöörlemiskiirus juba seadme aeglasel töökiirusel on piisav mõistliku sagedusega signaali saamiseks. Samuti on oluline tagada flantsi õige pöördenurk võllil, et vältida olukorda, kus seadme seiskumisel jääb flantsi pinnast väljaulatav polt

täpselt anduri ette ning annab ka mittetöötamisel „tõese“ sisendsignaali. Kuna seade on ehitatud nii, et õblemist lõpetades jääb tööorgan (nõel) alati ülemisse asendisse ning nõela liikumine on otseselt seotud veovõlliga, siis on võimalik flantsi pöördnurk võllil katsetamise teel paika panna.



Joonis 5.9 PFAFF 418 induktiivanduri paigutus

Koostamisliinile fotoelektriliste andurite paigaldamiseks tuli valmistada spetsiaalne konstruktsioon (joonis 5.10). Konstruktsiooni alustala kinnitub otstest konveierliinil olemasolevate talade külge. Anduripaari saatja ja vastuvõtja on paigaldatud vastakuti ning nende vahel olevast alast liiguvad konveieril olevad mäesuusasaapad läbi. Tulenevalt saabaste erinevatest suurusnumbritest on konstruktsioonile lisatud kõrguse reguleerimisvõimalus, kuigi tõenäoliselt selleks vajadus puudub (st leitakse ühine sobiv kõrgus kõigi suurusnumbrite jaoks). Saatja ja vastuvõtja omavaheline kaugus on 50 cm.



Joonis 5.10 Koostamisliini fotoelektriliste andurite paigalduskonstruktsioon

5.2 Kontroller

Programmeeritav loogikakontroller (PLC) ehk kontroller kannab väljatöötatud lahenduse puhul süsteemi keskset rolli. Kontrolleri ülesanneteks on nii andmete kogumine tootmiseseadmetelt, andmete töötlemine sobivale kujule kui ka nende edastamine operaatorarvutisse. Kogu andmetöötlus tehakse kontrolleris just seetõttu, et tõsta süsteemi töökindlust ja vähendada keerukust. Samuti vähendab see vea tekkimisel selle otsimiseks kuluvat aega. Teostades kogu andmetöötluse sellisel viisil, tõstab see kontrolleri spetsifikatsioonile esitatud nõudeid. Kontrolleri valikukriteeriumid on täpsemalt välja toodud järgnevas punktis.

5.2.1 Valikukriteeriumid

Kontrolleri valimisel on silmas peetud järgmisi näitajaid.

- Sisendite/väljundite arv ja nende laiendamisvõimalus
- Kommunikatsioonivõimalused
- Jõudlus ja mälu
- Programmeerimiskeeled ja -keskkond

Konkreetses süsteemi puhul on maksimaalne sisendite hulk ligikaudu 40, juhul kui süsteem on laiendatud kogu tootmisettevõtte ulatuses. Lisaks tuleb tagada tulevikus tekkivate uute seadmete ühendamise võimalus, st kontrolleri sisendite/väljundite arv peab olema vajadusel suurendatav. Kommunikatsiooni osas on kriteeriumiteks andmeedastuse kvaliteet ja kommunikatsioonivõrgu paindlikkus, mis peab olema lihtsasti hallatav ja laiendatav. Jõudlus ja mälu määravad kontrolleri võimekuse. Kontroller peab olema võimeline töötleva (teostama arvutusi) mitmeid muutujaid iga sisendi kohta, kasutades keerukaid funktsioone ja tehteid. Oluliseks näitajaks kontrolleri jõudluse osas on minimaalne töötüsüklaeg ehk aeg, mille jooksul kontroller loeb kõikide sisendite olekud, täidab programmikoodi ning uuendab väljundite olekud. Programmeerimiskeelte ja -keskkonna valik sõltub enamasti programmeerija eelistustest. Rohkemate programmeerimiskeelte võimekusega keskkonnad ja kontrollerid annavad programmeerijale valikuvõimalusi ning lisavad paindlikust programmikoodi loomisel ja nende osade ühendamisel.

Lähtudes eelnevatest kriteeriumitest on valitud süsteemi juhtimiseks Beckhoff Automation tootja CX5100 seeria kontroller CX5140. CX5140 puhul on tegu tööstusliku ning väga võimeka kontrolleriga, mis on mõeldud suurte protsesside juhtimiseks. Kontrolleri tellimisel on see võimalik

konfigureerida vastavalt vajadusele. Näiteks saab valida operatsioonisüsteemi, välmälu, kommunikatsiooniliideseid jne. Suureks eeliseks Beckhoff kontrolleri puhul antud süsteemi raames oli sisendite ja väljundite laiendamise põhimõte. Kontrolleri enda küljes ühtegi sisendit ja väljundit ei ole, nende lisamiseks kasutatakse kontrolleri külge kinnituvaid kompaktsid mooduleid (terminal). Moodulite valik on väga lai nii sisendite/väljundite arvu, tüübi kui ka ühenduse topoloogia poolest. Andmesideks kasutab Beckhoff tööstuslikku Etherneti (EtherCAT). Suhtlusprotokollina arendaja arvuti või näiteks teise kontrolleri vahel kasutab Beckhoff enda loodud protokoll ADS (*Automation Device Specification*), mis toimib TCP/IP baasil [15]. Jõudluse poolest on kontrolleri valitud teadlikult võimekam, kui antud süsteem seda nõuab (tabel 5.3). Seda eelkõige seetõttu, et vältida tulevikus kontrolleri väljavahetamise vajadust, kui tekib nõudlus süsteemi laiendamiseks või uute automatiseeritud lahenduste juhtimiseks. Sama kehtib ka kontrolleri mälu konfiguratsiooni kohta. Pakutavate programmeerimiskeelte poolest on Beckhoffi programmeerimiskeskond TwinCAT üks juhtivaid. Kokku on valikus 6 erinevat programmeerimiskeelt. Valitud kontrolleri spetsifikatsioon on näha allpool tabelis (tabel 5.3).

Tabel 5.3 Beckhoff CX5140 kontrolleri konfiguratsioon [16]

Näitaja	Suurus
Mudel	CX5140-0115
Protsessor	Intel Atom, 1.91 GHz
Tuumade arv	4
Välmälu	8 GB
Põhimälu	4 GB DDR3 RAM
Pordid	2 x RJ45, 1 x DVI-I, 4 x USB 2.0
Operatsioonisüsteem	Windows Embedded Compact 7
Juhtarkvara	TwinCAT 3 runtime (XAR)
Toide	24 VDC
Mõõdud (laius x kõrgus x sügavus)	142 mm x 100 mm x 92 mm

Andmete kogumiseks kontrolleri eemal on kasutatud Beckhoff EK1100 hajutatud sisend-väljundmoodulite liitmikke. EK1100 võimaldab enda külge liita erinevaid mooduleid ning tänu EtherCAT andmesidele käsitleb kontrolleri neid kui enda külge ühendatud mooduleid. Lisaks annab seade võimaluse andmesidevõrku tulevikus lihtsasti pikendada, ühendades järgneva liitmiku

andmesidekaabli eelneva liitmiku väljundisse. Lisamoodulite abil on võimalik luua ka ringtopoloogial põhinevat andmesidevõrku, et tõsta süsteemi töökindlust. Sisend- ja väljundmooduliteks kasutatakse identseid moduleid kontrolleri külge kinnituvatega [17].

5.2.2 Programmeerimine

Kontrolleri programmeerimisel on kasutatud kontrolleri tootja tarkvara (TwinCAT 3.1 – eXtended Automation Engineering) [18]. Litsentseerimisel kasutab Beckhoff Automation tavapärasest erinevat meetodit. Programmeerimistarkvara täisversioon on tasuta alla laaditav ning ei vaja käivitamiseks tasulist litsentsi. Programmeerides saab kasutada kõiki pakutavaid funktsioone, millest osad on tasulised. Tasuliste funktsioonide puhul on võimalik genereerida 7-päevane proovilitsents. Selline hinnastamise meetod annab võimaluse katsetada erinevaid funktsioone ja lahendusi programmikoodi loomisel. Alles viimases etapis, kui sobiv variant on leitud ning soovitakse programmi kontrolleri peal pidevalt käitada, saab soetada vajaminevad litsentsid. Sellisel juhul pole ka eraldiseisvate litsentside maksumused väga suured. Tööaja jälgimise süsteemi programmikoodi loomisel on kasutatud kokku nelja tasulist litsentsi. Programmikoodi koostamisel ja kontrolleri seadistamisel tekkinud küsimuste korral on kasutatud Beckhoff Automation võrguandmebaasi [19] ning Eesti ja Soome Beckhoff Automation esinduste tehnilise toe abi.

Programmikoodi koostamisel on kombineeritud kahte programmeerimiskeelt – funktsionaalplokkiskeem (*FBD – Functional block diagram*) ja struktuurtekst (*ST – Structured text*). Põhiprogrammi (*MAIN*) koostamiseks on kasutatud funktsionaalplokkiskeemi esitlust, kus kõik väljakutsutavad funktsiooniplokid on lisatud graafiliste plokkidena erinevatesse alamvõrkudesse (*Network*). Funktsiooniplokkide koostamisel on kasutatud struktuurteksti. Antud ülesehituse plussideks on põhiprogrammi (*MAIN*) hea jälgitavus ja funktsiooniplokkide mugav koostamine struktuurtekstina, mis tuleneb programmeerija eelistusest. Põhiprogrammis olevad funktsiooniplokid saab ülesande poolest jaotada administratiivseteks ja andmetöötluslikeks. Administratiivsed plokid vastutavad süsteemi üldise toimimise eest ning andmetöötlusplokid seadmetelt tulevatest sisenditest saadava informatsiooni töötlemise eest. Muutujate jagamiseks funktsiooniplokkide vahel on loodud globaalsete muutujate nimistu (*GVL – Global Variable List*). Lisaks teeb globaalsete muutujate kasutamine lihtsamaks SCADA tarkvara ja kontrolleri muutujate ühendamise. Raporteerimistarkvara ja kontrolleri ühendamiseks on kasutatud Modbus TCP/IP jadaside protokolliga, kus kontrolleri on alamseade ja arvuti ülemseade. Modbus TCP/IP puhul on tegu klient/server suhtlusprotokolliga, mis toimib üle standardse internetiprotokollistiku Ethernet võrku ühendatud seadmete vahel [20]. Vältimaks kohalikus võrgus tekkivaid ühendusprobleeme, on nii kontrolleri kui ka arvuti seadistatud staatiline IP-aadress.

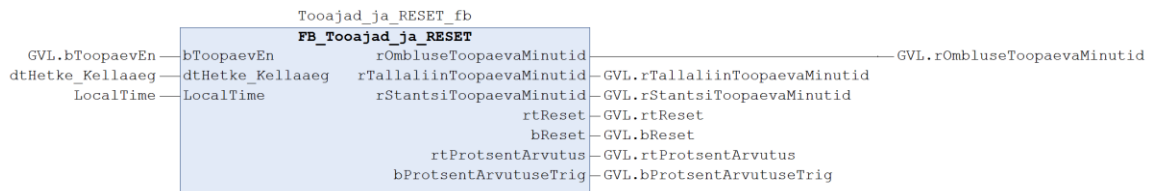
Järgnevas tabelis (tabel 5.4) on välja toodud põhiprogrammis kasutatud tootjapoolsed funktsiooniplokid, varasemalt nimetatud kui administratiivsed funktsiooniplokid. Osad nendest on tasulised ehk vajavad pidevaks kasutamiseks litsentsi.

Tabel 5.4 Põhiprogrammis kasutatud tootjapoolsete funktsiooniplokkide lühikirjeldus

Funktsiooniplokk	Ülesanne	Sisend	Väljund
FB_LocalSystemTime	Pärib ühendatud arvutilt hetke kellaaega	ühendatud arvuti TwinCAT süsteemi võrguaadress (<i>sNetID</i>)	Hetke kellaaeg
FB_WeeklyTimeSwitch	käitab nädalapäevade ja kellaaegade järgi tõeväärtuse tüüpi muutujat, mis tähistab tööaega (tööpäeva algusest lõpuni)	Sisse- ja väljalülitamisaeg (tööpäeva algus ja lõpp) Soovitud päevad, millal lülitus toimub (tööpäevad)	Tõeväärtuse tüüpi muutuja, mis tähistab, kas hetkel on tööpäev või mitte
FB_S_UPS_CX51x0	oluliste andmete salvestamine toitepinge katkemise korral	Defineeritud püsivad muutujad, mida soovitakse salvestada	Taaskäivitamisel laaditakse mälust salvestatud andmed

Järgnevalt on käsitletud spetsiaalselt antud süsteemi jaoks loodud funktsiooniplokke, milles on kasutatud programmeerimises tuntud funktsioone (nt loendurid, taimerid, trigerid jne). Lisaks on nendesse integreeritud struktuurteksti vormis funktsiooniplokke, mis on konkreetse ploki põhised.

FB_Tooajad_ ja_RESET funktsiooniploki ülesandeks on reaajas jooksvate tööminutite (loetakse tööpäeva algusest kuni lõpuni) lugemine, mis on sisenditeks seadmeid monitoorivatele funktsiooniplokkidele. Tööminutite põhjal teostatakse protsendarvutusi (töötatud minutite ja kogu tööpäeva minutite suhe) igale seadmele vastavas funktsiooniplokkis. Näiteks kasutavad kõik õmblusseadmeid monitoorivad funktsiooniplokkid sisendina GVL.rOmbLuseToopaevaMinutid (joonis 5.11) muutujat. Seetõttu pole otstarbekas tööminutiteid iga seadme puhul eraldi lugeda, vaid seda tehakse ühes funktsiooniplokkis. Tulenevalt erinevatest pausiaegadest seadmegruppide puhul, on kasutatud kolme tööminutite muutujat: õmblusseadmete, stantsseadmete ja koostamisliini tööminutid (joonisel tähistatud rTallaliiniToopaevaMinutid tulenevalt ettevõttepoolsest seadme tähistusest). Lisaks juhib antud plokk protsendarvutusteks ja andmete nullimiseks vajalikke tõeäärtuse andmetüüpe ning trigereid. Antud süsteemi kontekstis võib funktsiooniploki nimetada samuti administratiivseks.



Joonis 5.11 FB_Tooajad_ja_RESET funktsiooniplokk väljakutsutuna põhiprogrammis

FB_Tallaliin (lisa 4) (nimetus „Tallaliin“ tuleneb ettevõttepoolsest seadme tähistusest) funktsiooniplokkis teostatakse koostamisliinilt kogutud andmete lugemine ja töötlemine. Toodetud mäesuusasaabaste paaride lugemiseks kasutatakse loenduri funktsiooni, mille sisendiks on fotoelektrilise anduri tõusva signaali front. Koostamisliini töö- ja pausiaja lugemiseks kasutatakse kahte identset funktsiooniplokki, mis saavad sisendi kahelt tõeväärtuse tüüpi muutujalt (koostamisliinile paigaldatud relee ja tööpäeva tähistav muutuja). Väljunditeks on summeeritud ajad ning tsüklite arv. Tootmisvõimsuse kuvamiseks arvutatakse toodetud paaride arv tunnis, st toodetud paaride ning töötundide arvu jagatis alates tööpäeva algusest kuni vastava hetkeni. Töötatud aja ja kogu tööaja suhte leidmiseks teostatakse kahel viisil protsentarvutust, nii reaajas kui ka tööpäeva lõppedes. Peamine põhjus selleks on pausiaegade varieerumine tööpäevade lõikes. Reaajas protsenti kuvatakse SCADA tarkvara vahendusel tööpäeva jooksul, mis annab üldise, kuid mitte statistiliselt täpse ülevaate (pausiajad arvestatakse tööaja sisse). Protsentarvutuse aluseks, mis teostatakse peale tööpäeva lõppu, on puhas tööaeg (pausiajad maha arvestatud). Kõikide andmete nullimine toimub kuupäeva vahetumisel.

FB_stants (lisa 5) funktsiooniplokkis teostatakse stantsseadmetelt kogutud andmete lugemine ja töötlemine. Funktsiooniploki tähtsaimaks väljundiks antud seadmete puhul on töötsüklite arv, mis annab tööprotsessist kõige parema ülevaate. Lisaks monitooritakse pausiaega ning tehakse protsentarvutused reaajas ja tööpäeva lõpus. Pausiaja lugemiseks on kasutatud analoogset funktsiooniploki nagu koostamisliini (FB_Tallaliin) puhul, kuid rakendatud on seda teisiti. Pausiaja lugemist alustatakse kindla määratud viite järel pärast viimast töötsükli, mis hiljem pausiajale juurde liidetakse, juhul kui ei toimu uut töötsükli. Uue töötsükli toimudes enne määratud viite lõppu käsitletakse seda kui tööaega. Selle peamiseks põhjuseks on töö eripäradest tulenev teenindusaeg kahe töötsükli vahel (materjali kohendamine, detailide teisaldamine, jääkide eemaldamine jne). Protsentarvutused tehakse tehtud töötsüklite ja ettevõtte poolt määratud normi alusel ($2 \text{ töötsükli/minutis} = 100\%$). Andmed nullitakse kuupäeva vahetumisel.

FB_OmlusSeade (lisa 6) funktsiooniplokkis toimub õmblusseadmetelt kogutud andmete lugemine ja töötlemine. Antud funktsiooniploki kõige olulisemaks väljundiks on töötatud aeg minutites, mille summeerimiseks kasutatakse sama funktsiooniplokki nagu eelneva kahe seadmetüübi puhul.

Tulenevalt kasutatud sisendi (seadme liikuvaid osi tuvastatakse induktiivanduri abil) pulseerivast signaalist, on töö- ja pausiaega summeerivate funktsioonide vahel kasutatud taimerit, mida võib nimetada ka filtriiks. Filter töötab põhimõttel, et kui „tõese“ signaali kadumise järel möödub määratud viiteaeg, alustatakse pausiaja lugemist ning möödunud viide liidetakse pausiajale juurde. Juhul kui „tõene“ sisendsignaali tuleb enne määratud viite lõppu, käsitletakse seda kui tööaega. Katsetuste tulemusena selgus, et piisavaks viiteks on umbkaudu üks sekund, kuid ettevõtte soovi kohaselt on viiteks seadistatud esialgu kolm sekundit. Nõude põhjuseks oli soov arvestada tööaja sisse töötükli vältel tehtavad protseduurid (detaili pööramine, kontrollimine jne). Lisaks soovitakse katsetada, kas tööaega lugeva funktsiooniploki tsükli arvu muutujat (nTooTsuklid) on võimalik ära kasutada toodetud detailide lugemisel. Sõltuvalt operatsioonist erineb ühe detaili valmistamiseks kuluv aeg suurel määral. Toodetud detailide arvestamiseks sellisel viisil tuleb erinevaid operatsioone tegevate seadmete puhul normeerida keskmine kahe töötükli vaheline viide. Detailide lugemine sellisel viisil on võimalik, kuid täpsus pole alati garanteeritud. Seetõttu jääb antud lahenduse kasutamine hetkel lahtiseks ning selgub testimise käigus. Töötatud minutite ja kogu tööpäeva minutite suhte arvutamisel kasutatakse sarnast põhimõtet nagu eelnevas kahes funktsiooniplokis. Päeva jooksul kasutatakse ülevaatliku pildi andmiseks reaajas protsendi arvutamist (pausiaeg on tööaja sisse arvestatud) ning tööpäeva lõppedes teostatakse täpne protsentarvutus (pausiajad maha arvestatud). Andmete nullimine toimub identselt eelnevate funktsiooniplokkidega.

5.3 Vahekokkuvõte

Tootmise tööaja jälgimise süsteemi sisenditeks kasutatud andurite valik on tehtud töökindluse ja maksumuse alusel. Andurite ja nende juurde kuuluvate komponentide valimisel on silmas peetud rikete tuvastamise lihtsustamist. Andurite paigutusel on jälgitud, et need ei segaks seadme ja operaatori tööd ning samal ajal oleksid võimalikult nähtaval kohal, veendumaks nende töökorras. Kontrolleri valiku tähtsaimaks kriteeriumiks oli jõudlus, mis on teadlikult üledimensioneeritud, katmaks tulevikus tekkivaid süsteemi laiendamise ja uute automatiseeritud lahenduste vajadusi. Kontrolleri programmikood on loodud, arvestades ettevõtte poolt esitatud nõudeid andmetele ning nende formaatidele. Kontrolleri osas on tehtud kõik ettevalmistused, ühendamiseks seda SCADA ja raporteerimistarkvaraga.

6. ANDMETE VISUALISEERIMINE JA RAPORTEERIMINE

Tööaja jälgimise süsteemi väljundiks on seadmetelt kogutud andmed. Tagamaks tööaegadest ja tootmisprotsessist võimalikult head ülevaadet, kuvatakse reaalajas andmed kontoris oleval ekraanil. Koondandmete esitamine toimub raportite põhjal, mille periood on seadistatud vastavalt ettevõtte nõudmistele (päevaraport, kuuraport). Andmete kuvamiseks ekraanil kasutatakse SCADA tarkvara ning andmete raporteerimine toimub spetsiaalse raporteerimistarkvara vahendusel. Visualiseerimise ja raporteerimise osas on jälgitud ettevõtte nõuet, et süsteem peab olema maksimaalselt autonoomne.

6.1 SCADA tarkvara

SCADA tarkvara kasutatakse protsesside juhtimisel ja jälgimisel. See võimaldab operaatoril distantsilt jälgida kõigi ühendatud sisendite ja väljundite olekuid ning protsessi muutujate väärtusi. Klassikalise SCADA süsteemi ülesandeks on protsessi ülevaatlik kuvamine ning operaatori teavitamine rikete ja kõrvalekallete korral. Rikete ilmnmisel saab operaator teha vajalikud muudatused.

SCADA tarkvarasid saab jaotada patenteeritud (mõeldud kasutamiseks ainult kindla tootja seadmetega) ja avatud tarkvaradeks. Patenteeritud tarkvarade põhiliseks probleemiks on suur sõltuvus süsteemi tootjast. Seetõttu on populaarsust kogunud just avatud tarkvarade tootjad, kelle lahendused võimaldavad ühendada erinevate tootjate seadmeid samasse süsteemi [3].

SCADA tarkvarade põhilised komponendid antud süsteemi loomiseks on [3]:

- kasutajaliides
- alarmid
- trendid
- skaleerimine
- andmebaas

6.1.1 Valikukriteeriumid

Tööaja jälgimise süsteemi puhul ei ole SCADA tarkvarale esitatud väga kõrgeid nõudmisi. Antud lahenduse juures on SCADA põhilisteks ülesanneteks sisenditest saadava info numbrite ja

trendidena kuvamine, vajadusel nende skaleerimine ja ümardamine. Andmete kuvamisel on oluline graafikute ja diagrammide seadistamise paindlikkus. Trendide puhul peab olema tagatud arhiveerimine, et näha eelnevate tööpäevade graafikuid vähemalt kolm kuud tagasi. Tarkvara peab olema avatud ehk võimaldama ühildamist erinevate tootjate seadmetega. Eelistatud on lahendused, mis pakuvad ühildumist otse kontrolleri (Beckhoff ADS) protokolliga, et vähendada kontrolleriist saadavate muutujate ja tarkvara ühendamiseks kuluvat aega. Tarkvara kasutamine peab olema mugav nii projekti loojale kui ka lõppkasutajale.

SCADA tarkvara valikukriteeriumid:

- ühilduvus süsteemi osadega (kontroller)
- andmete kuvamise viisid (trendid, graafikud)
- kasutajamugavus (projekti loomine ja kasutamine)
- töökindlus
- maksumus

Lähtudes eelnevatest valikukriteeriumitest, on SCADA tarkvaraks valitud Mitsubishi Adroit Process Suite (MAPS 4.0) [21]. MAPS SCADA puhul on tegemist võimeka tarkvarga, mis täidab kõik antud süsteemi jaoks vajalikud kriteeriumid. Valiku tegemisel osutus otsustavaks aspektiks tarkvaralitsentsi hind, mis on konkurentidega võrreldes tunduvalt soodsam. Hinnastamisel kasutab tootja levinud meetodit, kus litsentsi hind sõltub muutujate arvust. Konkreetse süsteemi jaoks on vaja kõige väiksemat pakutavat paketti ehk 250 muutujaga litsentsi.

Tarkvarapakett koosneb neljast programmist:

- MAPS Config Editor
- MAPS Designer
- MAPS Operator
- MAPS Server

MAPS Config Editor on kogu SCADA süsteemi seadistamist hõlmav programm. Seal luuakse ning seadistatakse server, mille ülesandeks on SCADA süsteemi käitamine ning andmevahetus kontrolleriiga. Serveri käivitamiseks kasutatakse MAPS Server programmi, mida on võimalik

käivitada nii rakenduse kui ka teenusena, sõltuvalt sellest, kas tegu on arendaja või operaatori arvutiga. MAPS Designeris toimub kogu projekti loomine (graafiline kasutajaliides ja muutujate lisamine). MAPS Operator on lõppkasutaja ehk operaatori jaoks, kus käivitatakse loodud projekt.

Süsteemi väljatöötamise ajal on võimalik kasutada tarkvarapaketti demoversioonis, mis on piiratud kahe tunniga. Seejärel saab serveri (MAPS Server) taaskäivitada ning uue demolitsentsi genereerida. MAPSi tarkvara toetab Beckhoff tootja protokoll (Beckhoff ADS), mis teeb kontrolleri ja SCADA süsteemi ühendamise mugavamaks. Defineerides vajaminevad muutujad kontrolleri programmis globaalsete muutujatena, saab need tervikuna importida SCADA tarkvarasse aadresse kasutamata. Andmete kuvamisel on palju erinevaid võimalusi nii graafikute ja diagrammide kui ka graafiliste näidikute näol. Trendide jaoks vajalike muutujate puhul on võimalik seadistada arhiveerimise ajaline piirang ning tingimused, mille põhjal muutuja väärtus salvestatakse. Graafilise kasutajaliidese loomise teeb lihtsaks mugav ja ülevaatlik tarkvarakeskkond (MAPS Designer).

6.1.2 Visualiseerimine ja seadistused

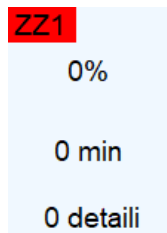
Visualiseerimisel ehk SCADA projekti loomisel on järgitud täpselt ettevõtte nõudmisi graafilise kasutajaliidese ülesehitusele, tehes tagasiside põhjal parandusi ning täiendusi. Graafilise kasutajaliidese loomisel olid võtmesõnadeks ülevaatlikkus ja kasutusmugavus. Katsetuste käigus prooviti mitmed erinevaid ülesehituse viise, millest parimaks osutus lahendus, kus menüü paikneb staatiliselt kasutajaliidese alumises ääres ning kuvatav info vahetub vastavalt valitud menüü jaotisele (joonis 6.1).



Joonis 6.1 SCADA kasutajaliidese avakuva

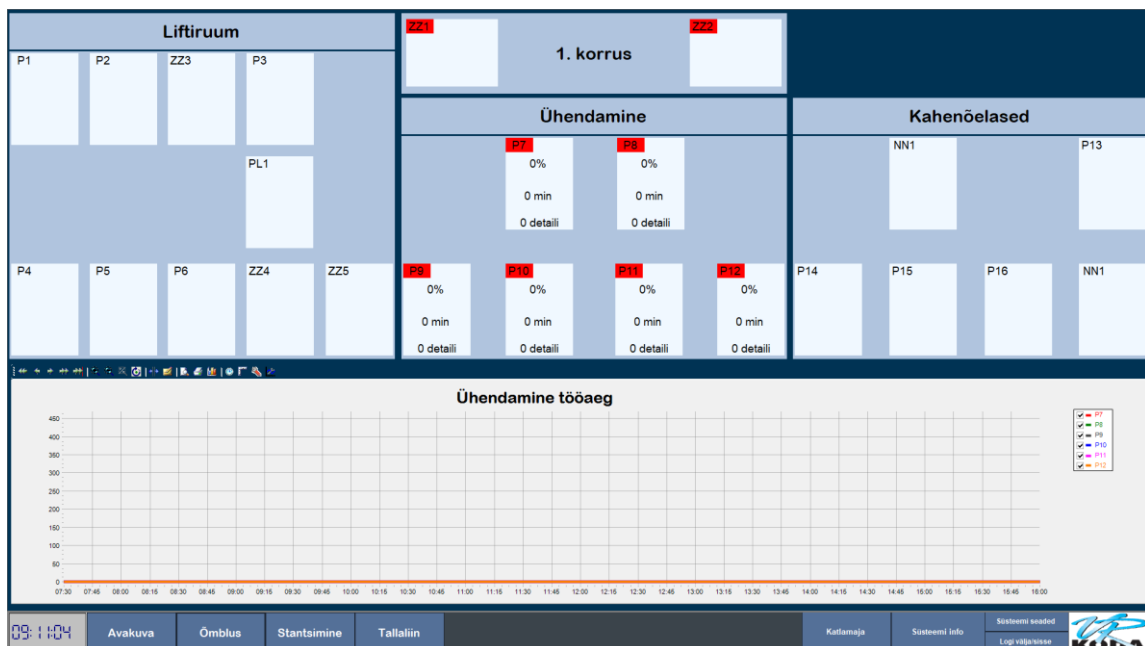
Menüü koosneb seitsmest jaotusest ja sisse/välja logimise valikust. Süsteemi põhikuvad (avakuva, õmblus, stantsimine, tallaliin) on paigutatud menüü vasakule poolele. Menüü paremale poolele on paigutatud süsteemi info ja seaded ning kasutajaliidese sisse/välja logimist võimaldav jaotis (joonis 6.1). Süsteemi seaded võimaldavad teha muudatusi kontrolleri programmi muutujates, mis on seotud tööaja arvestamisega. Näiteks tööpäeva algus- ja lõpuaja muutmine, seadmete monitoorimisel kasutatavad konstandid (kahe õmblustsükli vaheline viide, kahe stantsimistsükli vaheline viide), kasutajaliidese välimus jne. Süsteemi info sisaldab endas süsteemi lühikirjeldust ja ülevaatlikku arhitektuuri koos põhikomponentidega. Lisaks on süsteemi liidetud tootmiskompleksi pelletikatla veebipõhine juhtimis- ja monitoorimiskrakendus, mis paikneb katlamaja menüüvaliku all.

Avakuva menüüjaotis on kasutajaliidese põhikuvaks, mis laetakse automaatselt MAPS Operatori programmi käivitamisel (joonis 6.1). Antud kuva eesmärgiks on kogu tootmiskompleksi monitooritavate seadmete põhiinfo võimalikult ülevaatlikult kuvamine, et näha kõikide seadmete andmeid ühel kuval. Seadmete paigutus on paika pandud vastavalt tellija soovile imiteerida hoone arhitektuurilist ehitust ning seadmete paigutust ruumides. Seadmed on ruumide/gruppide kaupa paigutatud erinevatele paneelidele. Esimesel korrusel paiknevad tootmiseseadmed on kujutatud kuva ülemises osas (1. korrus, stantsimine, tallaliin). Teise korruse seadmed on jagatud kolme erinevasse tööruumi (liftiruum, ühendamine, kahenõelased). Ruumide ja seadmete tähistamise puhul on kasutatud ettevõttes aastate jooksul tekkinud nimetusi. Õmblusseadmed on kuvatud hallide kastidena, mis on markeeritud seadmetüübitähise ja järjekorranumbriga, näiteks ZZ1 (joonis 6.2). Seadet kujutav kast sisaldab endas andmeid seadme tööaja ja toodetud detailide kohta. Seadme tööaega kuvatakse nii protsendina (töötatud minutite ja tööpäeva kestuse suhe konkreetsel ajahetkel) kui ka minutites. Toodetud detailide hulka kuvatakse hetkel testimise eesmärgil ning selle hilisem kasutus sõltub tulemustest. Kogu kuval olevate seadmete tööaegadest parema ülevaate saamiseks kasutatakse seadme märgistuse taustal värvipõhist kasti. Kasti värvi juhtimine toimub protsendist tulenevate vahemike põhjal (punane [0–50%], oranž [50–80%], roheline [80–100%]). Identset lahendust on kasutatud ka stantseseadmete puhul (joonis 6.1). Stantseseadmete töötuskiirte arvu kuvamiseks kasutatakse digitaalset numbripaneeli, mille all kuvatakse numbriliselt protsent (sõltuvalt löökide arvust minutis) ning pausiaeg. Tallaliini ehk koostamisliini jaoks on põhikuval välja toodud kõik monitooritavad andmed. Testperioodiks süsteemiga ühendatavad õmblusseadmed omavad joonisel (joonis 6.1) punast tausta seadme märgistusel, ülejäänud õmblusseadmed ühendatakse peale testperioodi lõppu.



Joonis 6.2 Õmbusseadme kujutis

Õmbluskuval on kujutatud kõik õmbusseadmed ning nende tööminutite graafikud (joonis 6.3). Graafik on seadistatud kuvama õmbusseadme tööminutite summat tööpäeva algusest lõpuni. Ühel graafikul kuvatakse korraga kõigi samas tööruumis olevate seadmete tööminutid. Graafikud vahetuvad, klõpsates vastava tööruumi või selle tähise peale. Graafikute kuvamiseks on seadistatud kõikide seadmete tööminutite logimine, mida säilitatakse kolme kuu ulatuses. Logimise sageduseks on määratud üks kord minutis. Graafiku tööriistariba võimaldab valida kuupäeva ning ajavahemiku, mille tulemusi soovitakse näha.



Joonis 6.3 SCADA kasutajaliidese õmbluskuva

Stantsimise ja **tallaliini** kavad on ülesehituselt sarnased õmbluse kuvale. Stantsimise puhul kuvatakse graafikul tehtud töötsükli summa ning tallaliinil (koostamisliin) kõik monitooritavad näitajad (toodetud paaride arv, protsent, tööaeg, pausiaeg, paaride arv tunnis).

Vältimaks kasutajapoolseid tegevusi, on SCADA ja raporteerimistarkvara käitav arvuti seadistatud graafiku alusel käivituma ja sulguma tööpäevadel. MAPS Operatori programm avatakse automaatselt täisekraani vaates pärast arvuti käivitumist. SCADA toimimiseks käivitatakse MAPS Server teenusena. Kogu protsess toimub inimese vahetu osavõtuta.

6.2 Raporteerimistarkvara

Tööstuses kasutatavate raporteerimistarkvarade ülesandeks on protsessidest kokkuvõtva ülevaate andmine raporti vahendusel. Informatsiooni kogumiseks raportitesse kasutatakse tavaliselt tarkvara ja kontrolleri omavahelist ühendust või andmebaase, kuhu on salvestatud protsessi ilmestavad muutujad teiste süsteemiosade poolt. Luues ühenduse tarkvara ja informatsiooni allika vahel, on võimalik täpselt paika panna, milliseid andmeid soovitakse raporteerida ning millisel kujul seda tehakse.

6.2.1 Valikukriteeriumid

Raporteerimistarkvara ülesandeks antud süsteemi loomisel on andmete ülevaatlik ja struktuurne jäädvustamine tootmisprotsessi kulgemise ja tööaegade analüüsimiseks ettevõtte juhtimistasandil. Süsteemi loomisel oli oluline kasutada kontrolleri ja raporteerimistarkvara omavahelist otseühendust avatud suhtlusprotokolli alusel. Otseühendus nende kahe süsteemiosa vahel tõstab töökindlust ning lihtsustab seadistamist. Raportite koostamisel oli oluline nende konfigureerimise paindlikkus ning andmetöötuse võimalused. Raportite genereerimine peab olema automaatne.

Raporteerimistarkvara valiku põhikriteeriumid:

- raportite kujundamise paindlikkus
- erinevate sisendallikate kasutamise võimalus
- kasutusmugavus ja autonoomsus
- maksumus

Lähtuvalt eespool toodud kriteeriumitest ja vajadustest, on raporteerimistarkvaraks valitud Ocean Data Systemi poolt pakutav Dream Report [22]. Dream Reporti puhul on tegu tunnustatud raporteerimistarkvaraga, mida kasutavad paljud suurtööstused. Tema eelisteks on suur sisendallikate valik, laialdased seadistusvõimalused ning lihtne raportite loomine. Tarkvara koosneb kahest programmist: Dream Report Studio ja Runtime Management Console. Dream Report Studios luuakse ühendused sisendallikatega, seadistatakse muutujate logimise perioodid ning koostatakse vajalikud raportid. Runtime Management Console'i kasutatakse raportite genereerimiseks kas automaatselt varem määratud aja alusel või manuaalselt vajaduse korral. Muutujate logimiseks peab Runtime Management Console olema alati käivitatud. Tarkvara hinnastamine toimub

muutujate arvu põhiselt. Testperioodil on kasutatud tasuta demolitsentsi, mis võimaldab kogu tarkvara funktsionaalsuse kasutamist 10 muutujaga.

6.2.2 Seadistamine ja raporti ülesehitus

Raportite koostamiseks on esmalt loodud Dream Report Studios kontrolleri ja tarkvara vaheline ühendus kasutades Modbus TCP/IP protokoll. Muutujad on päritud kontrolleri poolt määratud Modbus TCP/IP protokoll standardadresseerimise järgi. Skaneeritud muutujatest on loodud ühine grupp, mida Dream Report logib määratud päevadel ja ajavahemikel (tööpäevadel 07.30–16.00). Andmete logimiseks käivitatakse Runtime Management Console automaatselt teenusena arvuti käivitamisel. Dream Reporti logifailid ja raportid salvestatakse operaatorarvuti lisakõvakettale, mis on mõeldud ainult andmete hoiustamiseks. Lisaks ettevõtte poolt nõutud päeva- ja kuuraportile on testperioodiks koostatud nädalaraport, mis on ülesehituselt sarnane kuuraportiga. Kõikide raportite koostamisel on jälgitud, et need oleksid maksimaalselt ülevaatlilikud ning sisaldaksid ainult esmatähtsat infot tööaegade ja töösükli kohta. Kõik raportid on ülesehituselt jagatud kaheks osaks – tabel ja graafikud. Rapportite päised on varustatud raporti genereerimise kuupäeva ja kellaajaga, raporti nimetuse ning firma logoga. Rapportid genereeritakse PDF-formaadis digitaalsel kujul, välja arvatud kuuraport, mille puhul kasutatakse lisaks automaatse printimise funktsiooni. Faili nimetusteks on seadistatud vastava raporti nimi koos raporteeritavaid andmeid iseloomustava ajatähisega (kuupäev/nädala number/kuu).

Päevaraport (lisa 7) genereeritakse digitaalsel kujul automaatselt tööpäeva lõppedes kell 16.00. Raporti ülemises osas paikneva tabeli eesmärgiks on edasi anda kokkuvõtavad tulemused kogu tööpäeva jooksul tehtud tööminutitest ja -tsüklistest summana. Juurde on lisatud protsent, mis tuleneb vastavalt ettevõtte poolt normeeritud suurustest antud näitajatele. Iga seadme esimese ja viimase tööminuti/töösükli aja nägemiseks on tabelisse lisatud kaks veergu – esimene minut/tsükkel ja viimane minut/tsükkel. See annab võimaluse näha, millal tööpäeva tegelikult alustati ning lõpetati. Päevaraporti joongraafikutel on kuvatud tööminutite ja -tsükli summa kasvamine päeva jooksul. Paremaks tulemuste võrdlemiseks on graafikud koostatud seadmegrupid alusel. Graafiku horisontaaltelg on fikseeritud kuvama andmeid alates 7.30 kuni 16.00 ning vertikaaltelg skaleeritakse automaatselt vastavalt andmetele. Lisas 7 oleval raportil võib näha stantsseadmete töösükli ja õmblusseadmete tööminutite graafikutel hälbeid. Viga tuleneb kontrolleri ja operaatorarvuti vahelise Modbus TCP/IP suhtluse seadistusest teatud muutujate puhul. Osade muutujate graafikud on päevade lõikes alati korrektsed ning teiste puhul esineb hüppeid muutuja väärtuses. See tähendab, et vea esinemine on korduv samade sisendite puhul, mis annab omakorda kindlust, et viga ei ole kontrolleri programmis (sama seadmegrupi seadmetel

on identne programmikood) ning andmeside üldises kvaliteedis (vead esinevad alati samade muutujate puhul). Tõrke kõrvaldamine toimub koostöös Dream Report raporteerimis tarkvara tehnilise toega, kuid lõputöö valmimise hetkeks see veel ei õnnestunud.

Nädalaraport (lisa 8) genereeritakse iga tööädala reedel kell 16.00. Raport on ülesehituselt sarnane päevaraportiga. Tabelis tuuakse välja nädala summaarsed tööminutid ja -tsüklid, nendest tulenev protsent ning maksimaalne minutite/tsüklite arv ühel päeval ehk parima päeva lõpptulemus. Nädala summaarsete tulemuste saamiseks kasutatakse dünaamilist andmefiltrit, mis võimaldab liita iga üksiku päeva lõpptulemused. Graafikud on grupeeritud seadmegruppide järgi ning andmete esitamiseks kasutatakse tulpdiagramme, kus iga seadme summaarne minutite/tsüklite arv on toodud välja vastava päeva all. Graafiku horisontaaltelg on fikseeritud esmaspäevast reedeni ning vertikaaltelje jaoks kasutatakse automaatset skaleerimist vastavalt andmetele.

Kuuraport (lisa 9) genereeritakse iga kuu esimesel kuupäeval kell 16.00, mis sisaldab endas eelmise kuu kokkuvõtvaid tulemusi. Tabelis kuvatakse kogu kuu summaarne tööminutite ja -tsüklite arv ning parima päeva tulemus ehk maksimum. Kuu summaarsete lõpptulemuste saamiseks kasutatakse sarnast andmefiltrit nagu nädalaraportil. Stantsseadmed ja koostamisliin (tallaliin) omavad kõik eraldiseisvaid graafikuid, kus seadme summaarne töötsüklite/tööminutite arv kuvatakse vastava päeva all tulbana. Tulenevalt ettevõtte õmblusseadmete arvukusest, pole mõistlik neid kõiki eraldi graafikutel kuvada. Seetõttu grupeeritakse õmblusseadmed loogiliste gruppideni ühistele graafikutele maksimaalselt kuue kaupa, kus iga seadme tulemusi kuvatakse joondiagrammina. Kõikidel graafikutel on horisontaalteljel kasutatud vastava kuu nädalapäevade numbreid (1–7). Nädalavahetused ehk kuues ja seitsmes päev on spetsiaalselt sisse jäetud, eristamaks tööädalate vahetumist. Õmblusseadmete graafikul (lisa 9 joonis 2) võib näha, et joondiagrammi puhul on nädalavahetused raskesti eristatavad. See tuleneb joondiagrammi eripärast, mis ühendab andmete puudumisel viimase ja järgmise teadaoleva väärtuse. Selle vältimiseks on võimalik kasutada programmeeritavaid tingimusi andmete töötlemisel asendades puuduvad väärtused nulliga. Lühikese testperioodi tõttu seda lõputöö valmimise hetkeks teha ei jõutud. Vertikaaltelje puhul kasutatakse automaatset skaleerimist vastavalt andmetele. Lisas 9 olev kuuraport ei sisalda terve kuu andmeid, sest lõputöö valmimise hetkeks oli süsteem töötanud vähem kui kuu aega.

6.3 Vahekokkuvõte

Andmete visualiseerimise ja raporteerimise osas on lahendatud kogu süsteemi väljundi ehk andmete kuvamine ettevõtte juhtimistasandil. Visualiseerimislahenduse väljatöötamisel on palju erinevaid alternatiive nii ülesehitusele kui ka andmete paigutamisel kuvadele. SCADA tarkvara kasutamine lisab selles osas palju paindlikkust, andes võimaluse teha ise muudatusi, kui selleks vajadus tekib. Sama kehtib ka raporteerimistarkvara kohta, kus raportite kujundust ja andmete paigutust saab muuta vastavalt soovile. Süsteemi kasutamise käigus selgub vajadus tehtavatele muudatustele ning parandustele. Testperioodil kasutatakse SCADA ja raporteerimistarkvara demolitsentse ning peale seda soetatakse vajaminevad täisfunktsionaalsusega litsentsid. Lisaks lahendatakse kontrolleri ja raporteerimistarkvara vahelise suhtluse seadistuse probleem, mis põhjustas päevaraporti graafikutel nähtavad hälbed ning raportitele lisatakse uute süsteemiga liidetavate seadmete muutujad.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärk oli tootmise tööaja jälgimise süsteemi väljatöötamine, projekteerimine ja paigaldamine mäesuusasaapaid tootvas ettevõttes VR-Koda OÜ. Lähtuvalt ettevõtte tootmisspetsiifikast ja nõuetest tööaja jälgimise süsteemile, ei õnnestunud turult leida sobivat lahendust. Olemasolevad lahendused on väga laialt rakendatavad, kuid omavad konkreetse ettevõtte jaoks teatavaid miinuskohti. Põhilisteks miinusteks on jälgitavate andmete tüüp ning esitusvorm, andmeedastuse kvaliteet ja süsteemi kasutamise keerukus. Samuti nõuavad paljud lahendused lisaks tööandjapoolsetele sisestustele ka pidevaid töötaja sisestusi andmete kogumiseks, mis vähendab tähelepanu ja sõltuvalt süsteemist kannatab selle all ka andmete täpsus. Lähtudes puudujääkidest pakutavate lahenduste juures antud ettevõttele, pandi paika nõuded süsteemile ning andmetele.

Töötaja jälgimise süsteemi kontseptsiooni väljatöötamise etapis pandi paika süsteemi üldine ülesehitus, mis põhines ühel kesksel seadmel, milleks oli tööstuslik kontrollier. Seadmete monitoorimiseks vajaminevate sisendite ühendamisel on kasutatud lisaks kontrollierile kahte hajutatud sisend/väljund moodulit. Ettevõtte juhtimistasandil andmete kuvamiseks on kasutatud SCADA tarkvara, mis annab eeldused paindliku ja võimeka kasutajaliidese loomiseks. Andmete raporteerimiseks kasutatakse eraldiseisvat tarkvara. Ettevõtte juhtimistasandipoolne osa toimub kõik ühes operaatorarvutis. Töökindla andmeside tagamiseks on kogu süsteemi ulatuses kasutatud traadiga andmesidet. Tootmiseseadmete integreerimisel töötaja jälgimise süsteemiga prooviti mitmeid variante, mille tulemusel selgus iga seadme jaoks sobivaim lahendus. Kõikide sisenditena on kasutatud digisignaale, mille väärtus saab olla kas tõene või väär. Õmblusseadmete monitoorimiseks kasutatakse induktiivandureid, stantseseadmete puhul olemasolevate lõpulülitite väljundeid ning koostamisliinil töötaja lugemiseks releed. Lisaks on koostamisliinile paigaldatud fotoelektriline andur, mille ülesandeks on toodetud detailide lugemine. Seadmete integreerimisel jäi tulevikuks katsetada vooluanduriga monitoorimise lahendust, kuna väljatöötamise protsessis ei õnnestunud leida sobivat andurit sobivas hinnaklassis.

Projekteerimise etapis töötati välja automaatikakilpide ehitus ning valiti vajalikud komponendid. Koostati kogu süsteemi automaatikaskeemid ning pandi paika kilpide paiknemine tootmiskompleksis. Süsteemi paigaldusel on jälgitud nii ettevõttepoolseid nõudeid kui ka üldiseid paigalduseeskirjasid. Kõigi kolme automaatikakilbi elektritoide saadakse erinevatest tootmishoones paiknevatest elektrikilpidest. Kontroll- ja andmesidekaablite puhul on kasutatud varjestust, vältimaks elektriväljadest tekkivaid häiringuid signaalides. Kaablite kaitseks ja paremaks organiseerimiseks on paigaldusel kasutatud kaabliredeleid ja -torusid. Tootmiseseadmete

ühendamiseks süsteemiga on loodud kõik vajalikud toite- ja signaaliühendused ning paigaldatud täiendavad komponendid (releed, toiteplokid, fotoelektrilise anduri juhtplokk).

Automaatika peatükis on käsitletud lähemalt tööaja jälgimise süsteemis kasutatud andureid, nende tööpõhimõtet ja valikukriteeriumeid. Andurite valikul on lähtutud nende sobivusest, töökindlusest ja maksumusest. Andurite kinnitamiseks tootmiseseadmetele on valmistatud vajaminevad kinnitused ja konstruktsioonid. Andurite paigutusel on jälgitud, et need annaksid sobiva sisendi ning ei segaks samal ajal operaatori tööd ega seadme hooldamist. Süsteemi juhtimiseks on valitud Beckhoffi tööstuslik kontrolleri, mille mugav programmeerimiskeskkond andis eeldused tööaja jälgimise süsteemi programmikoodi loomiseks. Kontrolleri seadistamisel tehakse ettevalmistused, et ühendada seda SCADA ja raporteerimise tarkvaraga.

Andmete kuvamiseks ettevõtte juhtimistasandil on kasutatud MAPS 4.0 SCADA tarkvara, mis võimaldab paindliku kasutajaliidese loomist ning hilisemaid muudatusi kuvadel. SCADA tarkvara kasutamine annab ettevõttele tulevikuks alustala, millele rajada ka teisi automatiseeritud lahendusi. Näiteks on süsteemiga liidetud tootmishoones töötava pelletikatla veebipõhine juhtimis- ja monitoorimiskeskkond. Tööaja jälgimise süsteemi kuvade loomisel on silmas peetud lihtsuse ja minimaalsuse printsiipi, et andmed oleksid võimalikult ülevaatlikud. Andmete raporteerimiseks on kasutatud Dream Reporti raporteerimistarkvara, mille abil on loodud kolm erinevat raportit: päevaraport, nädalaraport ja kuuraport. SCADA ja raporteerimistarkvara käitav operaatorarvuti on seadistatud automaatselt käivituma ja sulguma tööpäevadel. Sama kehtib vajaminevate programmide ning raportite genereerimise kohta. Kogu seadistus on loodud autonoomsuse põhimõttel, et süsteem saaks toimida ilma kasutajapoolsete toiminguteta. Kontrolleri ja raporteerimistarkvara vahelise suhtluse seadistusest tekkinud probleem, mis kajastus päevaraportidel, lahendatakse testperioodil koostöös tarkvarapakkuja tehnilise toega.

Süsteemi loomisel kasutatud seadmed ja tarkvarad annavad võimaluse seda tulevikus lihtsasti laiendada ja edasi arendada. Kogu lahenduse ülesehitusel on jälgitud ettevõttepoolseid nõudeid. Valminud süsteemi kasutamisel puuduvad püsikulud. Andmed on otsesed nii reaalajas kuvadel kui ka raportitel. Põhilisteks monitooritavateks näitajateks on tööaeg, töötsükliid ning toodetud detailid. Ülesehituse kõigis etappides on jälgitud töökindlust ning kasutamise lihtsust. Hetkel on süsteemiga liidetud 12 tootmiseseadet ning testperioodi lõppedes laiendatakse seda kogu tootmisettevõtte ulatuses. Tööaja jälgimise süsteemi rakendamine ettevõttes VR-Koda OÜ on juba võrdlemisi lühikese perioodi jooksul andnud positiivseid tulemusi. Nimelt on lisaks paremale ülevaatele tootmisest ja tootmiseseadmete tööaegadest ettevõtte juhtimistasandil, ka töötajatel informatsioon enda tööpäevade ja efektiivsuse kohta. Juhtkonna tagasiside töötajatele lisab

motivatsiooni ning annab reaalse ülevaate iga inimese panusest. Edaspidi keskendutakse süsteemi laiendamisele ja edasiarendamisele, mis hõlmab endas ka vooluanduriga lahenduse katsetamist.

SUMMARY

The aim of the current graduation thesis was the development, design and installation of a work time monitoring system for the alpine ski boot producing company, VR-Koda OÜ. It was not possible to find a suitable solution from the market, due to the company's production specifics and requirements for the work time monitoring system. Existing solutions are very widely applied, but possess certain negative aspects for the specific company. The main drawbacks are the type of data to be monitored and the format of presentation, quality of data transmission and the complexity of use of the system. Many solutions, in addition to the inputs on the side of the employer, also require constant inputs by the employee to collect data, which reduces attention and depending on the system, the exactness of data is also negatively impacted. The requirements of the system and data were established, approached from the shortcomings of the solutions offered to the given company.

The overall architecture of the system was established, during the development phase of the concept of the work time monitoring system, which was based on one of the central devices, the industrial controller. Two, dispersed input/output module connectors, have been used in addition to the controller, when connecting the inputs required for monitoring the equipment. SCADA software has been used, to display the data at the management level of the company, which provides the prerequisites for creating a flexible and capable user interface. The reporting of data uses separate software. The management level part of the company, all takes place in one operator computer. Wired data communication has been used throughout the system, to ensure reliable data communication. Numerous options were tested for the integration of production equipment, with the work time monitoring system, which resulted in the most appropriate solution, for each device. Digital signals have been used as all inputs, the value of which can be either true or false. The sewing equipment is monitored with Inductive sensors, stamping equipment with the outputs of already existing end switches and the work time on the assembly line, is read by a relay. A photoelectric sensor has additionally been installed, on the assembly line, which has the task of counting the produced parts. A future test for the integration of devices remains, which is a monitoring solution, with current sensors. It was not possible to find, during the development process, a suitable sensor at a suitable price level.

The construction of the automation shields was developed in the design phase and the required components were selected. Automation schemes of the entire system were compiled and the location of the shields, in the production complex was established. The installation of the system has taken into consideration, both the company's requirements and general installation rules. The

electrical supply of all three automation shields is obtained from different electric cabinets, located in the production building. The control and data communication cables, use shielding, to prevent interference in signals, caused by electric fields. Cable ladders and pipes have been used, for protection and the better organisation of cables. All necessary power and signal connections have been created, as well as all additional components (relays, power supply units, photoelectric sensor control unit), have been installed, for connecting the production equipment with the system.

The automation chapter has treated in greater detail, the sensors used in the work time monitoring system, their operating principles and selection criteria. The choice of sensors has been approached from their suitability, reliability and cost. The required fittings and structures, needed for connecting the production equipment to the sensors, have been produced. The sensor layout has taken into consideration that they provide the appropriate input and at the same time do not interfere with the operator's work or servicing of the equipment. A Beckhoff industrial controller has been selected to manage the system, which has a convenient programming environment that provided the prerequisites for the creation of a programme code, for the work time monitoring system. The controller set up, includes the preparations for its connection to the SCADA and reporting software.

The display of data on the company's managerial level, uses the MAPS 4.0 SCADA software, which allows for the creation of a flexible user interface and later changes in displays. The use of SCADA software provides the company with a building block for the future, on which to build other automated solutions. The system has for example, been connected with the management and monitoring application of the pellet boiler, in the production building. The creation of the displays of the work time monitoring system, have taken into consideration the principles of simplicity and minimality, so that the data is as concise as possible. The Dream Report reporting software, has been used for the reporting of data, which has been used to assist in the creation of three different reports: daily, weekly and monthly reports. The operator computer running the SCADA and reporting software, has been set to automatically start up and shut down on work days. The same applies to the generation of the required programmes and reports. The entire settings have been created on the principle of autonomy, so that the system can function without user actions. The problem caused by the communication configuration, between the controller and the reporting software, which was reflected in the daily reports, will be resolved during the test period, in cooperation with the technical support of the software provider.

The equipment and software used in the creation of the system, provide an opportunity for the future, to easily expand and further develop it. The build-up of the entire solution has taken into consideration the company's requirements. There are no fixed costs when using the completed

system. The data are direct, both in real-time displays and on reports. The principle monitoring indicators are the work time, cycles of operation and the details produced. All phases of the build-up take into consideration reliability and ease of use. There are currently 12 production devices connected with the system and by the end of the test period, it will be expanded to the entire extent of the production company. The implementation of the work time monitoring system, in the company VR-Koda OÜ, has already in a fairly short period, given positive results. Employees namely, also have more information about their work days and efficiency, in addition to a better overview on the managerial level of the company, on production and the work time of production equipment. Management feedback to employees adds motivation and gives a realistic overview of the contribution of each person. The focus for the future, will be on expanding and further developing the system, which includes the testing of a current sensor solution.

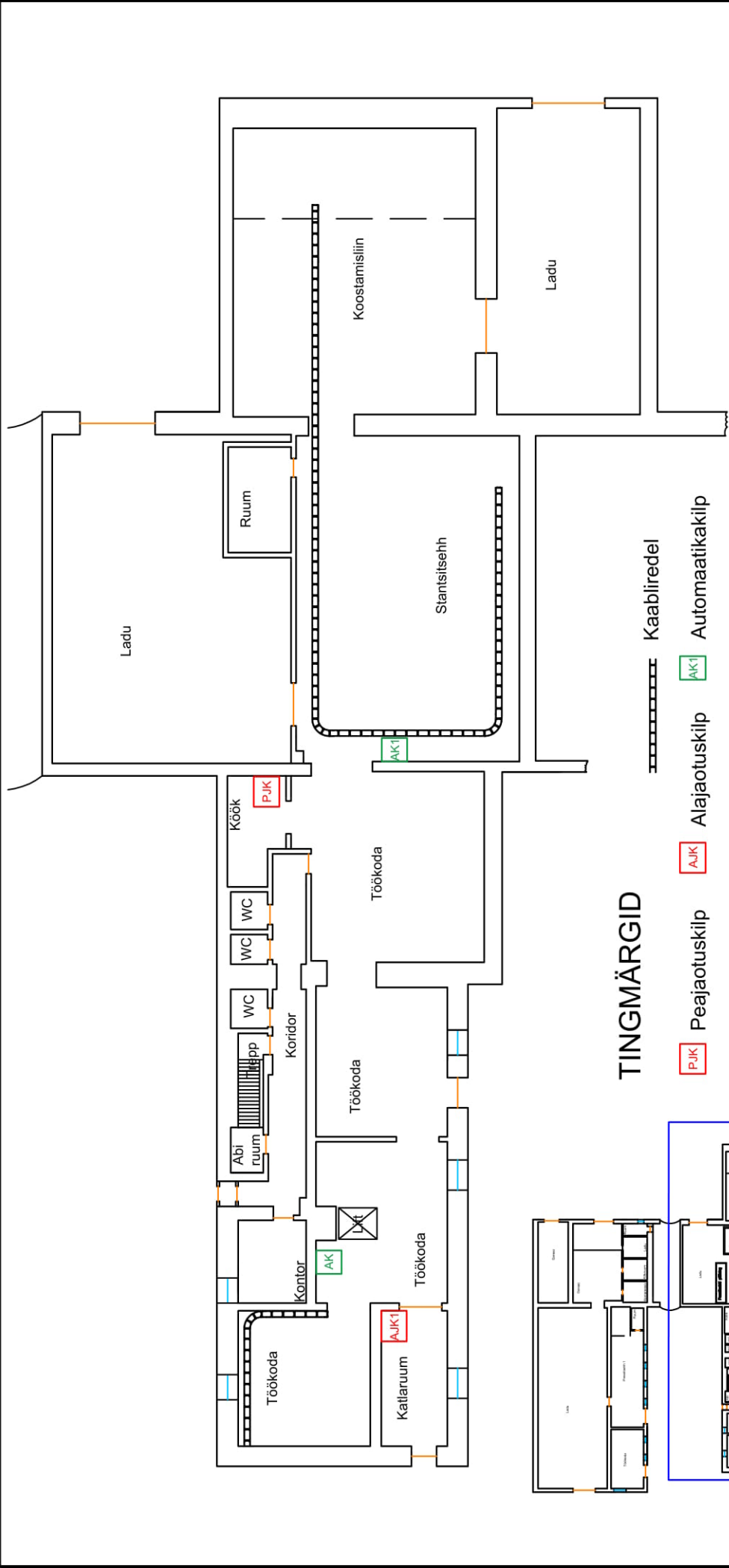
KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] D. H. Stamatis, *The OEE Primer: Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability and Maintainability*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://books.google.ee/books?id=8i7NBQAAQBAJ>. [Kasutatud 14. 03. 2020].
- [2] D. Patel, *Introduction Practical PLC (Programmable Logic Controller) Programming*. GRIN Verlag, 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://books.google.ee/books?id=eV5ODwAAQBAJ>. [Kasutatud 16. 03. 2020].
- [3] G. Clarke, D. Reynders, E. Wright, *Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems*. Boston, MA: Newnes, 2014. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://books.google.ee/books?id=ENqyW8fExswC>. [Kasutatud 19. 03. 2020].
- [4] Rittal GmbH & Co. KG, „Compact enclosures AE: Model No. AE 1380.500“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.rittal.com/com-en/product/show/variantdetail.action?categoryPath=/PG0001/PG0002SCHRANK1/PG0021SCHRANK1/PRO0023SCHRANK&productID=1380500>. [Kasutatud 22. 03. 2020].
- [5] V. Vodovozov, R. Jansikene, Jõupooljuhtmuundurid, Tallinn: Elektriaramite ja jõuelektronika instituut, 2006. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.ene.ttu.ee/elektriaramid/oppeinfo/materjal/IN660/J6UELEKTROONIKA.pdf>. [Kasutatud 19. 03. 2020].
- [6] Omron Corporation, „Switch Mode Power Supply,“ S8VK-C12024 andmeleht, 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/e2b_d116-e1_1_6_csm1012652.pdf?id=3203. [Kasutatud 21. 03. 2020].
- [7] Schneider Electric, „Screw terminal: NSYTRV22“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.se.com/ww/en/product/NSYTRV22/screw-terminal%2C-feed-through%2C-2-points%2C-2%2C5mm%C2%B2-%2C-grey/>. [Kasutatud 21. 03. 2020].
- [8] M. Meldorf, H. Tammoja, Ü. Treufeldt ja J. Kilter, Jaotusvõrgud, Tallinn: TalTech Kirjastus, 2007.
- [9] J. Andrews, *Lab Manual for Andrews' A Guide to IT Technical Support, 9th Edition*. Boston, MA: Cengage Learning, 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://books.google.ee/books?id=OS66CwAAQBAJ>. [Kasutatud 21. 03. 2020].
- [10] TKD KABEL GmbH, „PVC-control cables,“ ÖPVC-JZ/OZ-CY andmeleht, 2006. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.tkd-kabel.de/datenblaetter/01/01.01.06.pdf>. [Kasutatud 02. 04. 2020].

- [11] W. Y. Du, *Resistive, Capacitive, Inductive, and Magnetic Sensor Technologies*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2014. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://books.google.ee/books?id=iZnLBQAAQBAJ>. [Kasutatud 02. 04. 2020].
- [12] T. Lehtla, *Andurid*, Tallinn: Elektrialamite ja jõuelektroonika instituut, 1996. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.ene.ttu.ee/elektrialamid/oppeinfo/materjal/AAR3340/Andurid.pdf>. [Kasutatud 06. 04. 2020].
- [13] Omron Corporation, „Cylindrical Proximity Sensor,“ E2B andmeleht, 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/e2b_d116-e1_1_6_csm1012652.pdf?id=3203. [Kasutatud 10. 04. 2020].
- [14] Optex Group, „Safety Beam Switch,“ OS-12C andmeleht, 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.ot-inc.com/resources/os12c_spec.pdf. [Kasutatud 11. 04. 2020].
- [15] Beckhoff Automation OÜ, „TwinCAT 3 Basic – Routes and ADS,“ koolitusmaterjal.
- [16] Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, „CX5140“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.beckhoff.com/CX5140/>. [Kasutatud 15. 04. 2020].
- [17] Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, „EK1100“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.beckhoff.com/EK1100/>. [Kasutatud 15. 04. 2020].
- [18] Beckhoff Automation, *TwinCAT 3.1 – eXtended Automation Engineering*, ver. 3.1.4022.32. Verl, Saksamaa: Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. [Tarkvara]. Saadaval: <https://www.beckhoff.com/english.asp?download/tc3-download-xae.htm>. [Kasutatud 03. 01. 2020].
- [19] Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, „Beckhoff Information System“. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://infosys.beckhoff.com/>. [Kasutatud 20. 04. 2020].
- [20] Modbus Organization, „Modbus messaging on TCP/IP implementation guide,“ 2006. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf. [Kasutatud 22. 04. 2020].
- [21] Adroit Technologies, *Mitsubishi Adroit Process Suite (MAPS)*, ver. 4.0.4.1. Johannesburg: South Africa, Lõuna-Aafrika Vabariik: Adroit Technologies Headquarters. [Tarkvara]. Saadaval: <https://adroittech.co.za/downloads-accordion/>. [Kasutatud 28. 01. 2020].
- [22] Ocean Data Systems, *Dream Report*, ver. 5. Wayland, MA, USA: Ocean Data Systems Ltd. [Tarkvara]. Saadaval: <https://dreamreport.net/downloads/>. [Kasutatud 10. 02. 2020].

LISAD

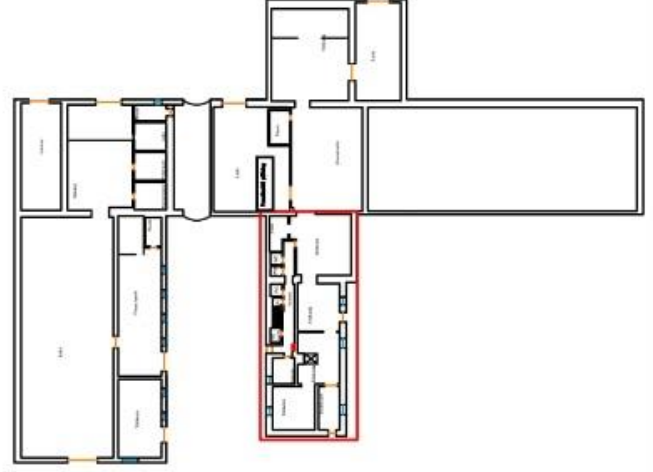
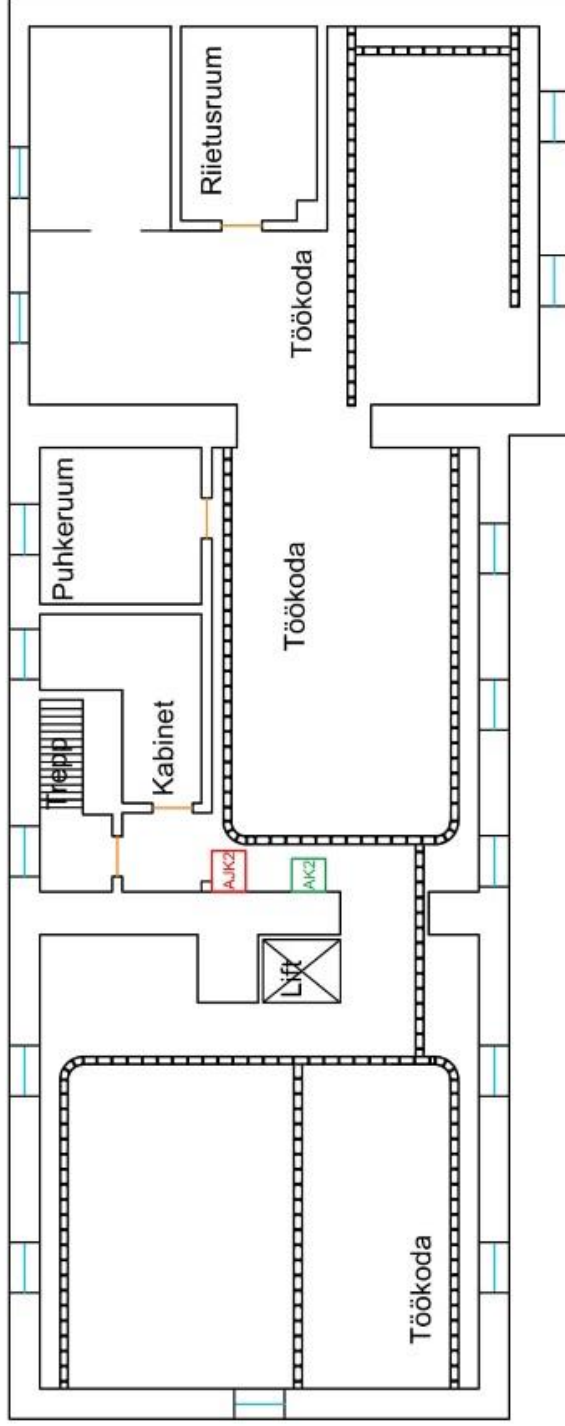
Lisa 1 Elektri- ja automaatikasüsteemi paigutus



TINGMÄRGID

- PJK Peajaotuskilp
- AJK Alajaotuskilp
- AK Automaatikakilp
- Kaabliredel

TTÜ INSENERITEADUSKOND	Bakalaureusetöö
Koostaja: Fred-Georg Pääro	1 / 2 Leht / Lehti:
Juhendaja: Kristjan Pütsep	Elektri- ja automaatikasüsteemi paigutus 1. korrus
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	Tootmise tööaja jälgimise süsteem

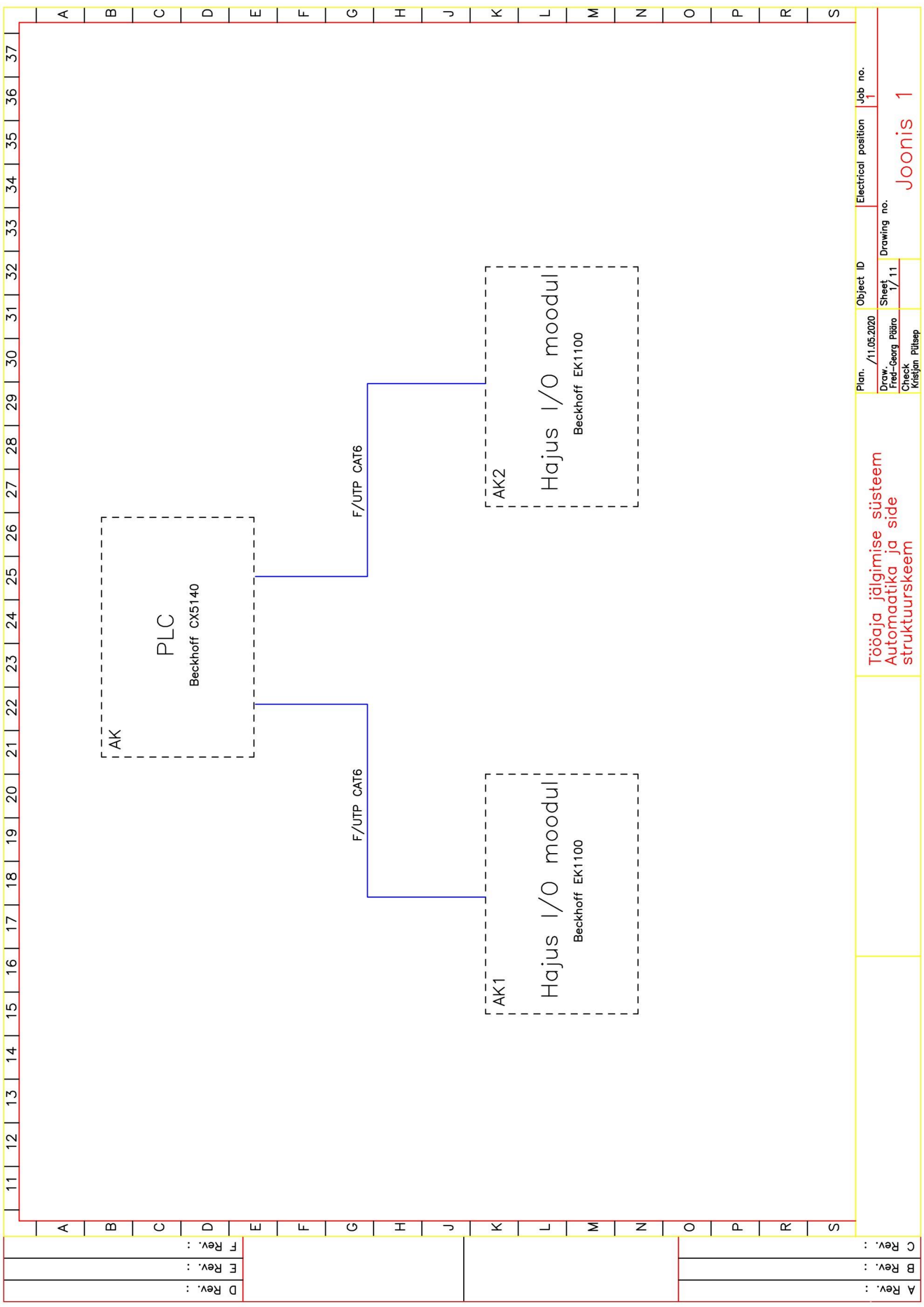


TINGMÄRGID

- AJK Alajaotuskiilp
- AK Automaatikakilp
- Kaabliredel

TTÜ INSENERITEADUSKOND	Bakalaureusetöö
Koostaja: Fred-Georg Pääro	2 / 2
Juhendaja: Kristjan Pütsep	Elektri- ja automaatikasüsteemi paigutus 2. korrus
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	Tootmise tööaja jälgimise süsteem

Lisa 2 Automaatikaskeemid



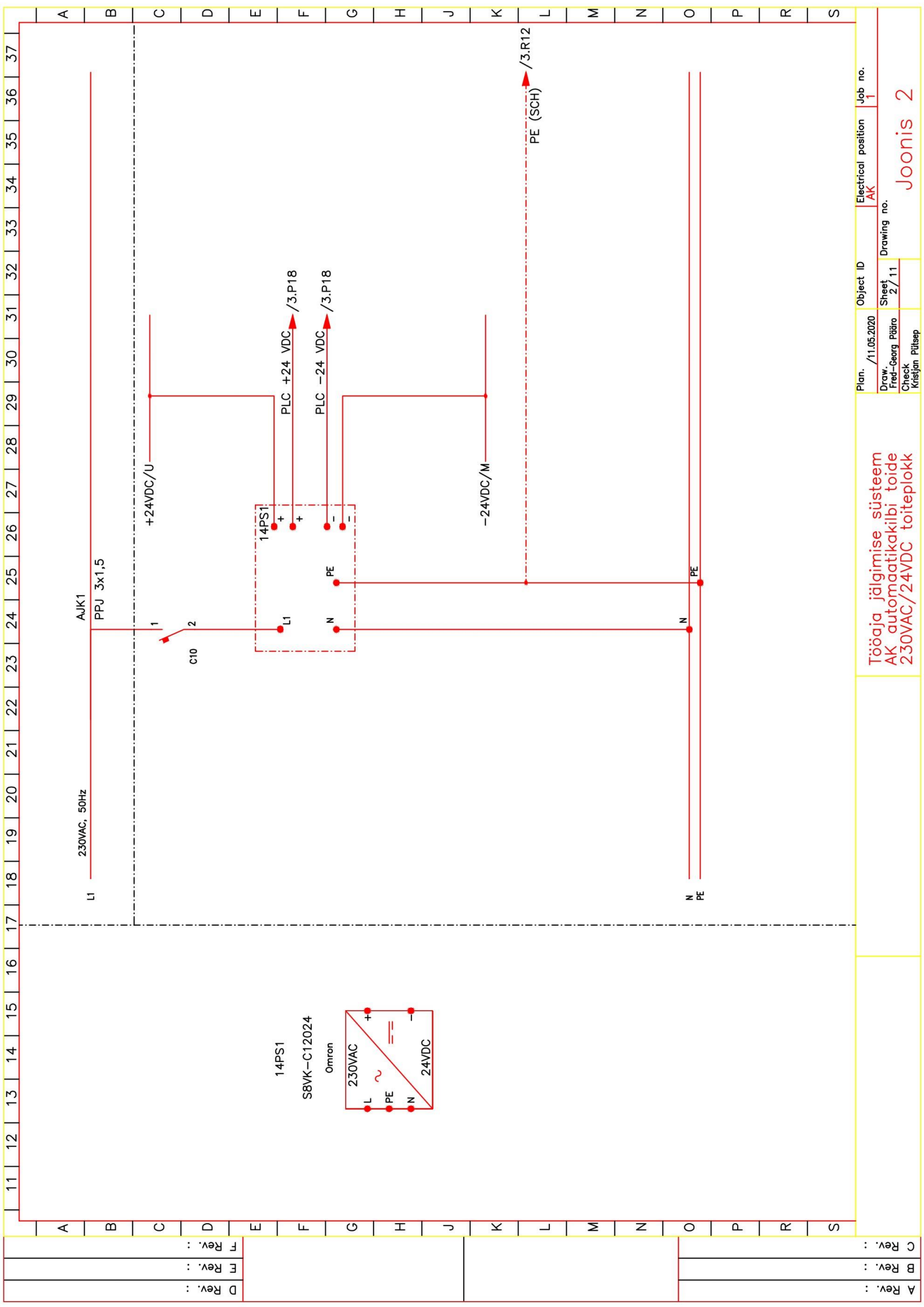
D Rev. :
 E Rev. :
 F Rev. :

A Rev. :
 B Rev. :
 C Rev. :

Tööaja jälgimise süsteem
 Automaatika ja side
 struktuurskeem

Plan.	/11.05.2020	Object ID	Electrical position	Job no.
Draw.	Fred-Georg Pääro	Sheet	Drawing no.	
Check	Krisjan Põlsep	1/11		

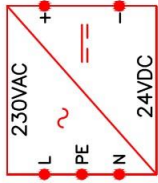
Joonis 1



14PS1

S8VK-C12024

Omron



A Rev. :

B Rev. :

C Rev. :

D Rev. :

E Rev. :

F Rev. :

Töötaja jälgimise süsteem
 AK automaatikakilbi toide
 230VAC/24VDC toiteplokk

Plan. /11.05.2020

Draw. Fred-Georg Pääro

Check Krisjan Põltsap

Object ID

Sheet 2/11

Drawing no.

Electrical position

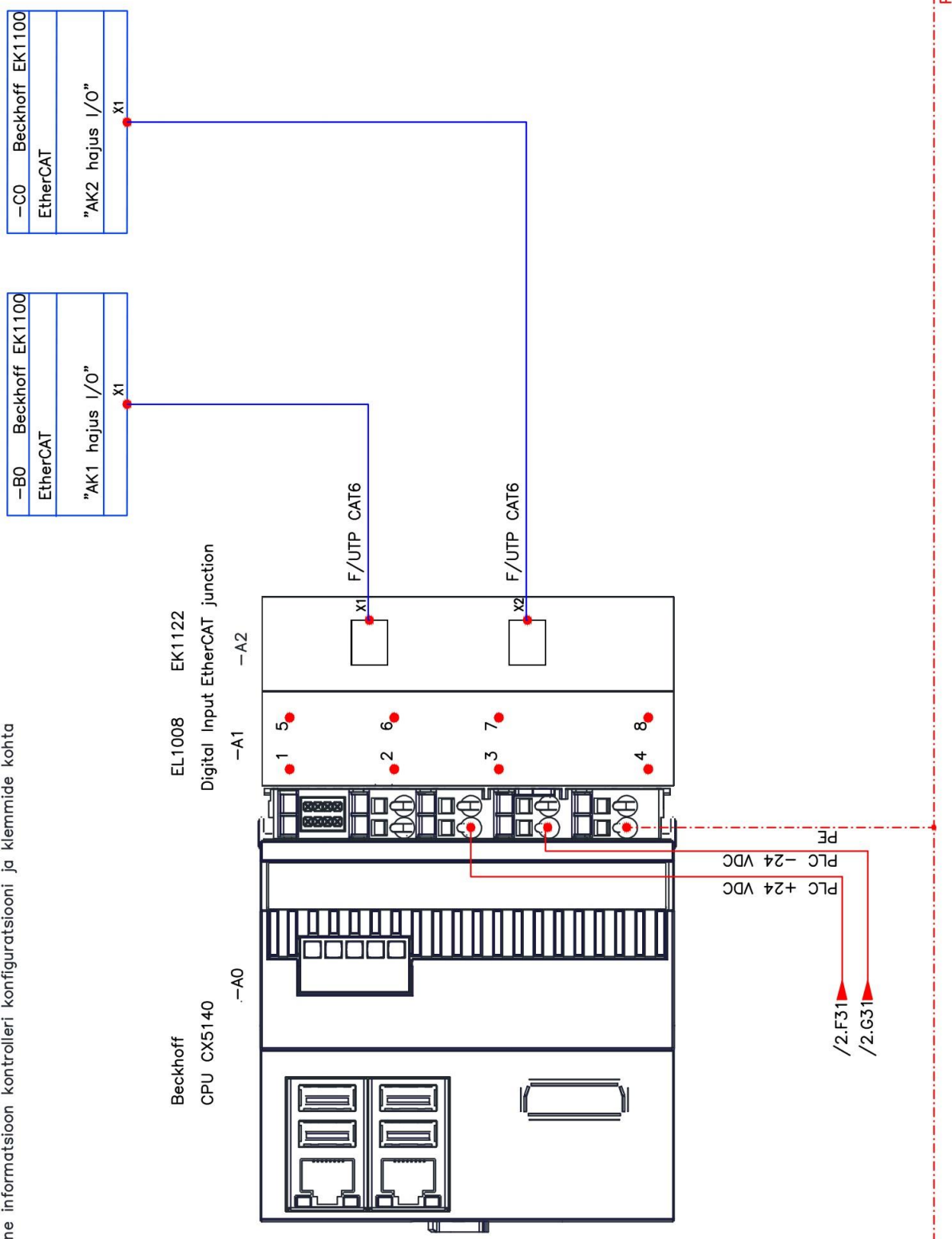
AK

Job no.

1

Joonis 2

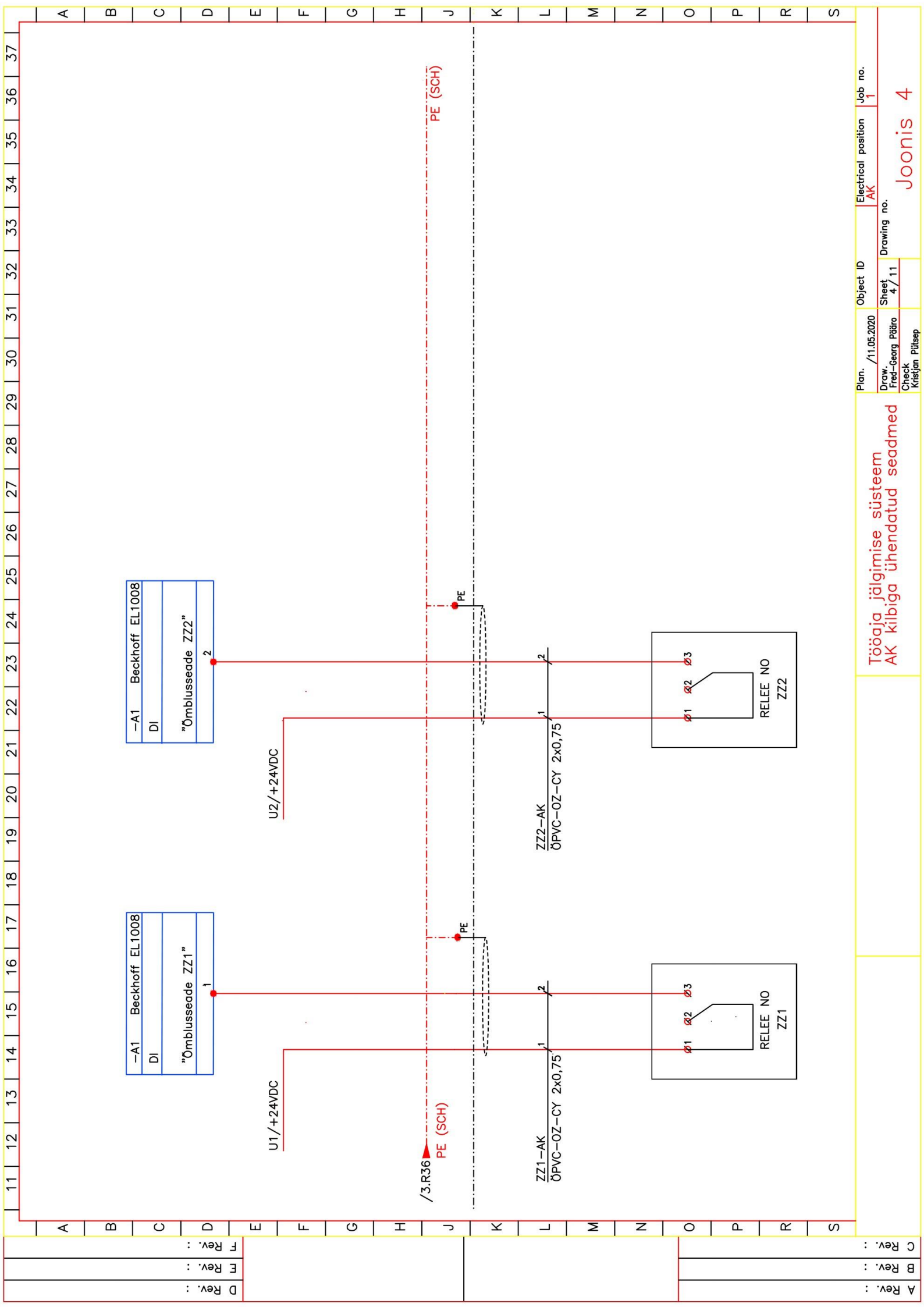
Tehniline informatsioon kontrolleri konfiguratsiooni ja klemmide kohta



-B0	Beckhoff EK1100
	EtherCAT
	"AK1 hajus I/O"
	X1

-C0	Beckhoff EK1100
	EtherCAT
	"AK2 hajus I/O"
	X1

A Rev. :		Object ID	AK	Electrical position	Job no.
B Rev. :		Plan.	/11.05.2020	Sheet	3/11
C Rev. :		Draw.	Fred-Georg Päär	Drawing no.	
		Check	Krisjan Pitsap		
Tööaja jälgimise süsteem Kontrolleri konfiguratsioon Beckhoff CPU CX5140					
Joonis 3					

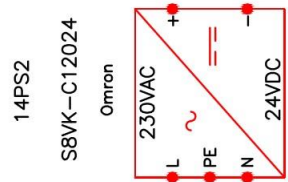
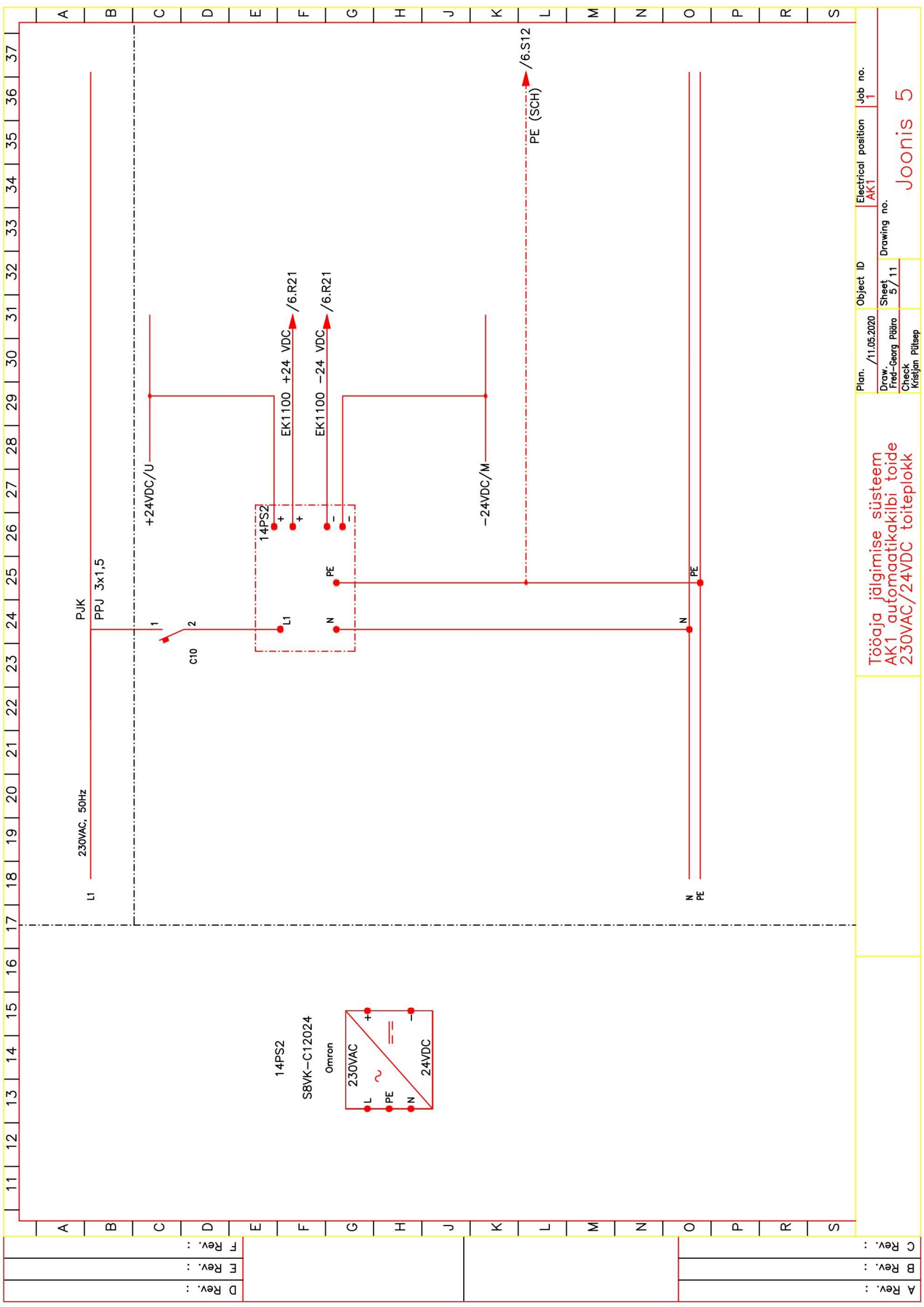


A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	

D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	

Plan. /11.05.2020	Object ID	Electrical position	Job no.
Draw. Fred-Georg Päära	AK	AK	1
Check Krisjan Pitsap	Sheet 4/11	Drawing no.	

Tööaja jälgimise süsteem
AK kilbiga ühendatud seadmed



Plan.	/11.05.2020	Object ID	AK1	Electrical position	Job no.
Draw.	Fred-Georg Pääro	Sheet	5/11	Drawing no.	
Check	Krisjan Põlsep				

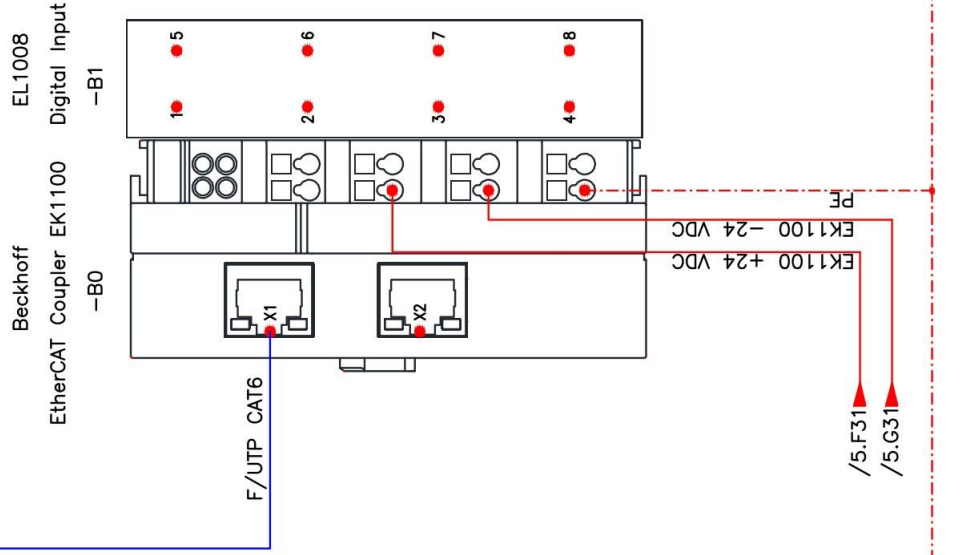
Töötaja jälgimise süsteem
AK1 automaatikakilbi toide
230VAC/24VDC toiteplokk

A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	

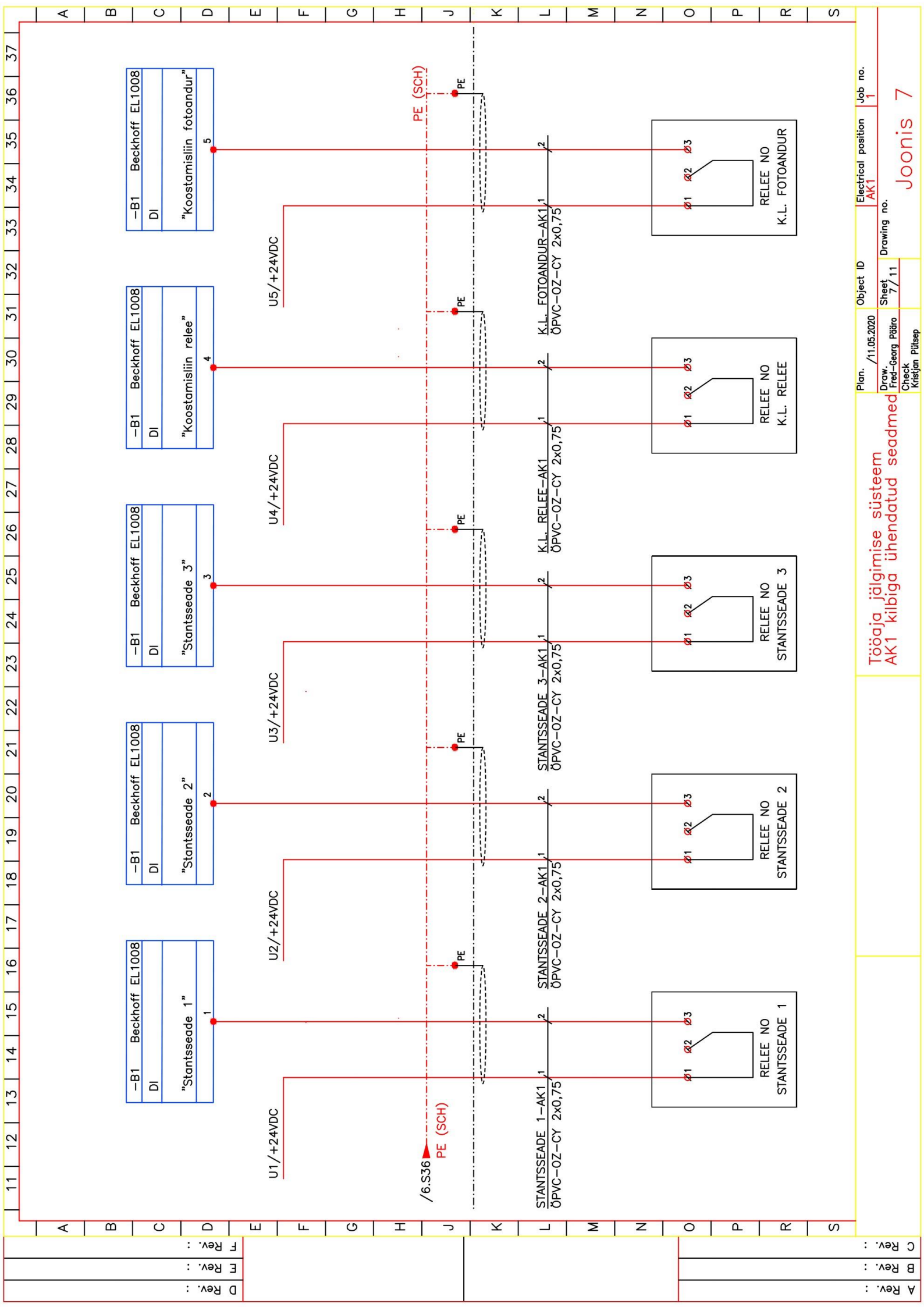
D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	

Tehniline informatsioon AK1 kilbis paikneva hajutatud sisend/väljund mooduli konfiguratsiooni ja klemmide kohta

-A2	Beckhoff EK1122
	EtherCAT
	"AK1 hajus I/O"
	X1



A Rev. :		Object ID	AK1	Electrical position	Job no.
B Rev. :		Plan.	/11.05.2020	Sheet	6/11
C Rev. :		Draw.	Fred-Georg Päärä	Drawing no.	
		Check	Krisjan Pitsap		
Tööaja jälgimise süsteem AK1 hajus I/O konfiguratsioon Beckhoff EK1100					
Joonis 6					



D Rev.:
F Rev.:
F Rev.:

A Rev.:
B Rev.:
C Rev.:

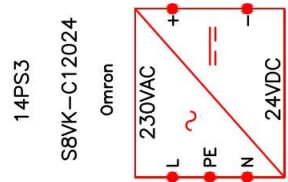
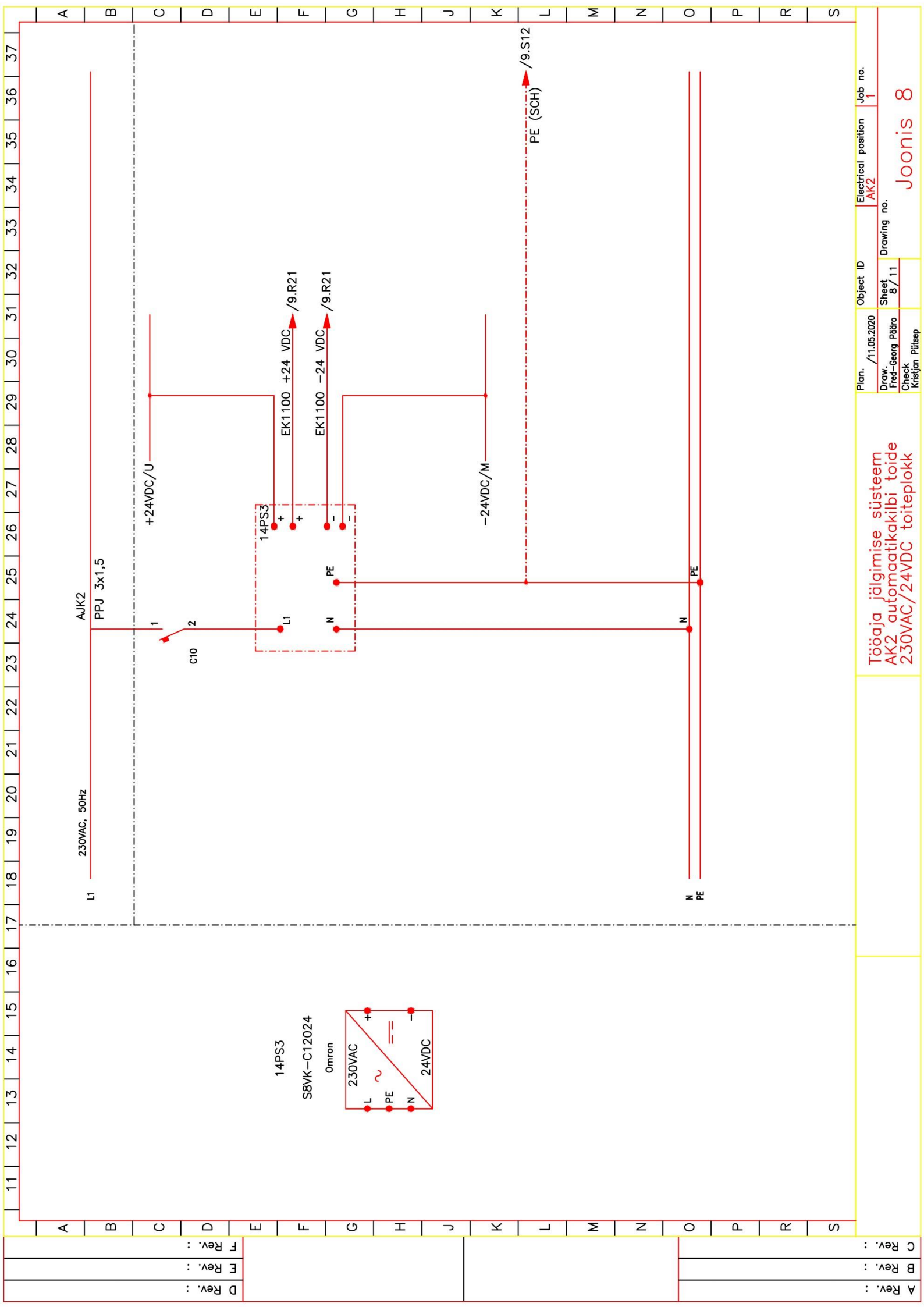
Töötaja jälgimise süsteem
AK1 kilbiga ühendatud seadmed

Plan. /11.05.2020
Draw. Fred-Georg Päär
Check Krisjan Pitsap

Object ID AK1
Sheet 7/11
Drawing no.

Electrical position Job no.

Joonis 7



A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	
D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	

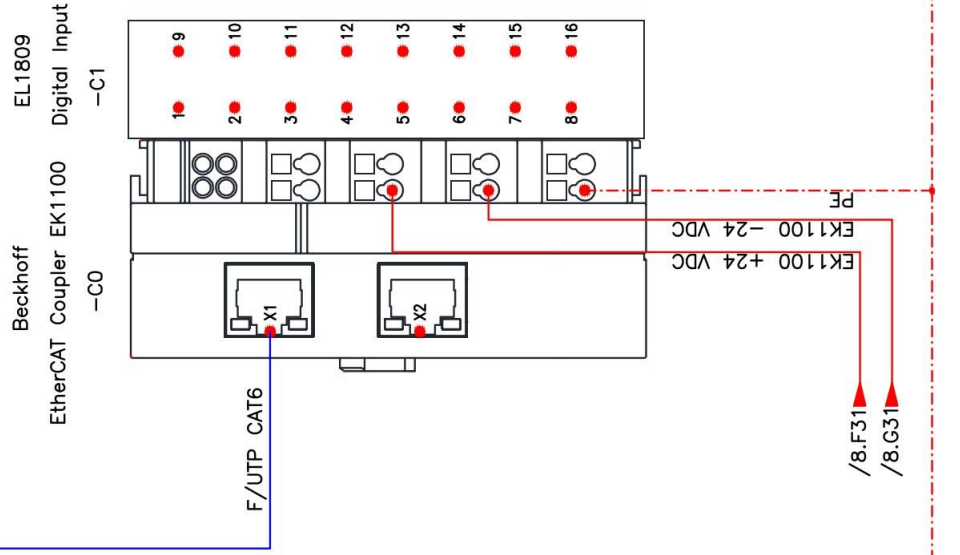
Plan. /11.05.2020	Object ID	Electrical position	Job no.
Draw. Fred-Georg Pääro	AK2	AK2	1
Check Krisjan Pitssep	Sheet 8/11	Drawing no.	

Tööaja jälgimise süsteem
AK2 automaatikakilbi toide
230VAC/24VDC toiteplokk

Joonis 8

Tehniline informatsioon AK2 kilbis paikneva hajutatud sisend/väljund mooduli konfiguratsiooni ja klemmide kohta

-A2	Beckhoff EK1122
	EtherCAT
	"AK2 hajus I/O"
	x2



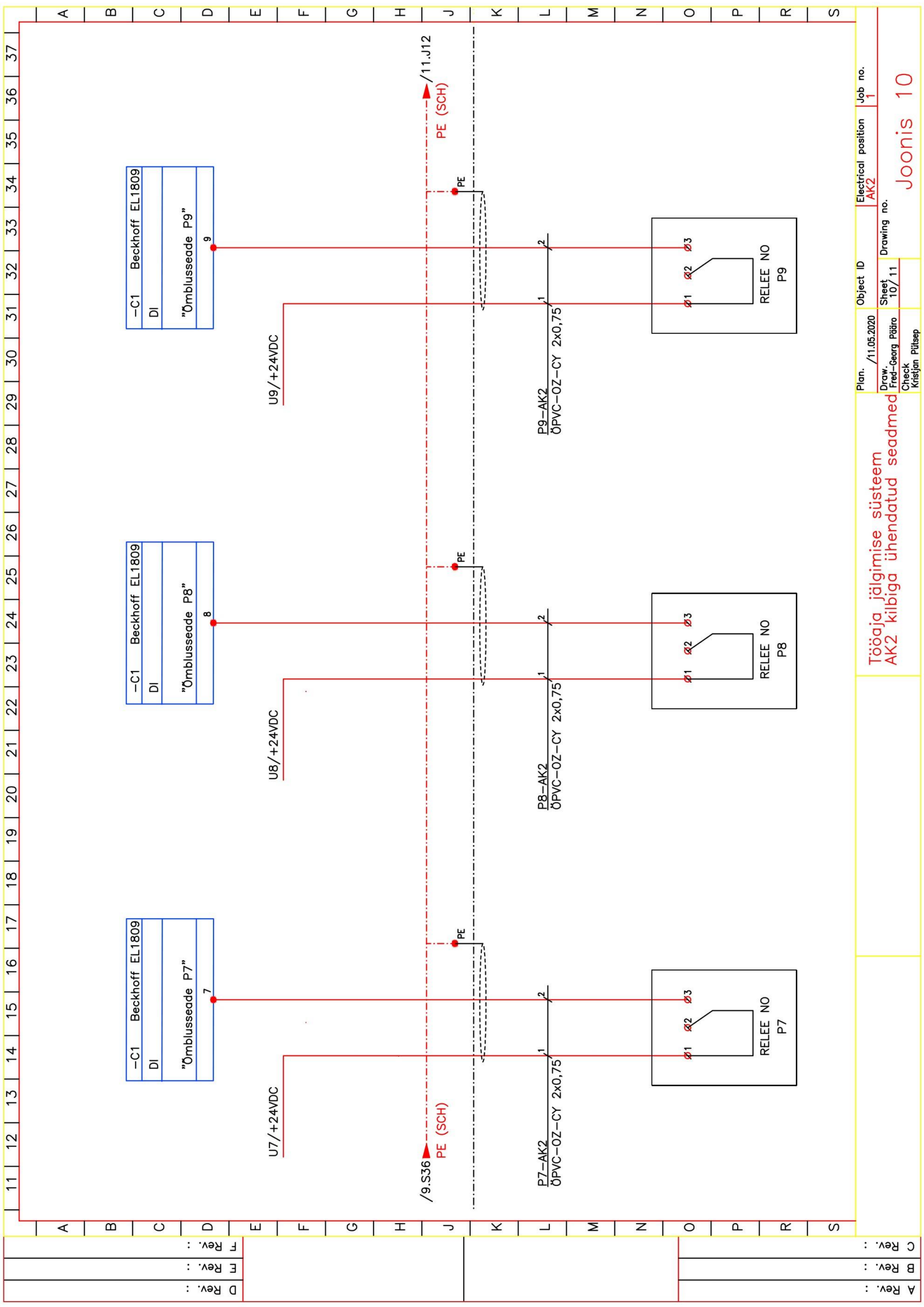
/8.L36 PE (SCH)

PE (SCH) /10.J12

A Rev. :
B Rev. :
C Rev. :

Tööaja jälgimise süsteem
AK2 hajus I/O konfiguratsioon
Beckhoff EK1100

Plan.	/11.05.2020	Object ID	AK2	Electrical position	Job no.
Draw.	Fred-Georg Pärtel	Sheet	9/11	Drawing no.	
Check	Krisjan Pitsap				Joonis 9



D Rev. :
F Rev. :
F Rev. :

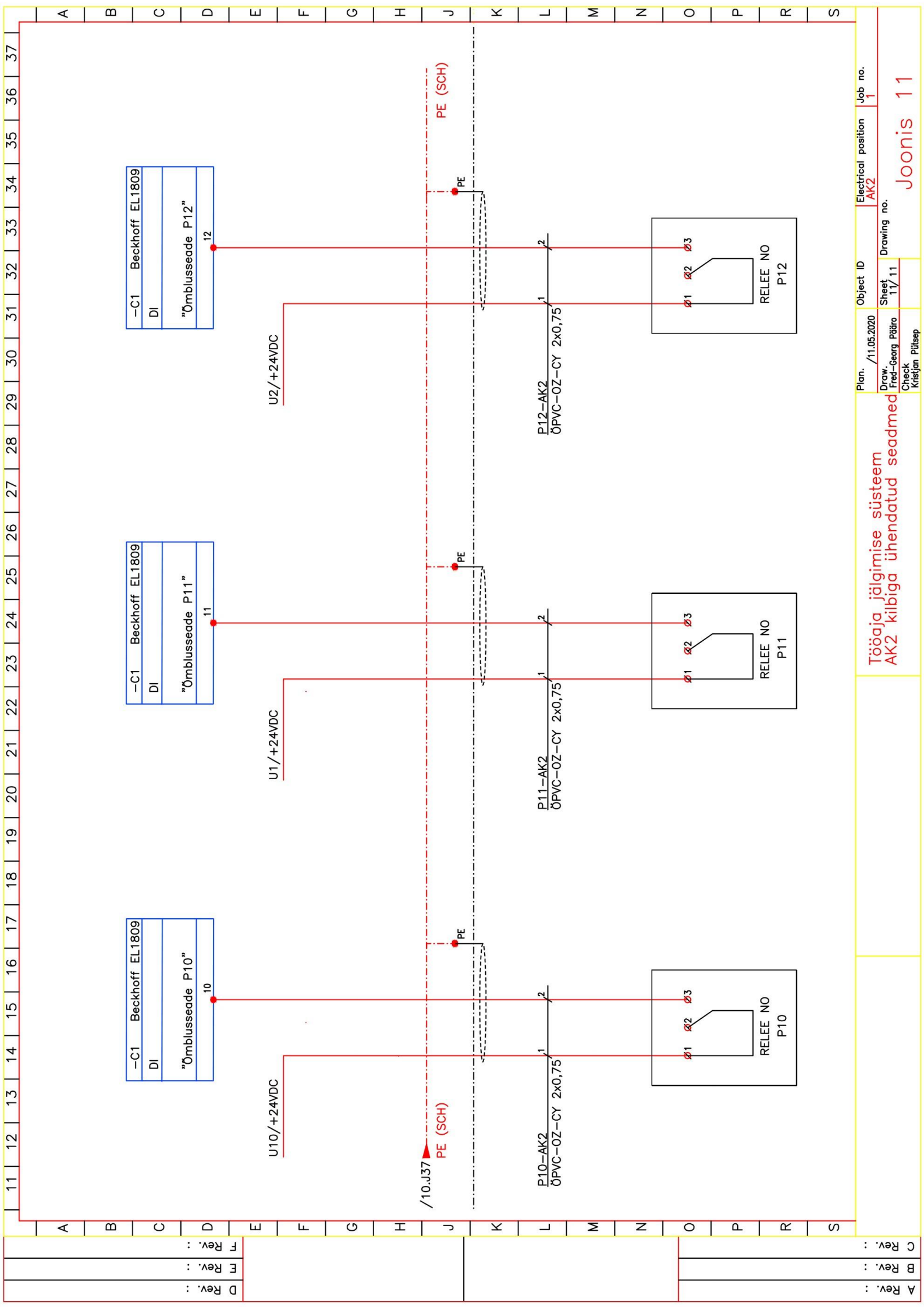
A Rev. :
B Rev. :
C Rev. :

Töötaja jälgimise süsteem
AK2 kilbiga ühendatud seadmed

Plan. /11.05.2020
Draw. Fred-Georg Päär
Sheet 10/11
Check Krisjan Pitsap

Object ID
Electrical position AK2
Drawing no.

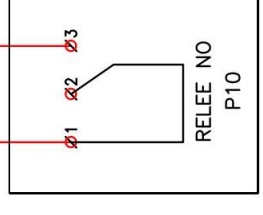
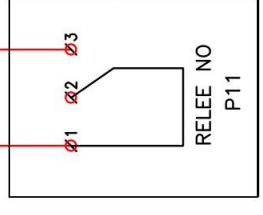
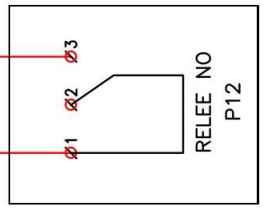
Job no.
Joonis 10



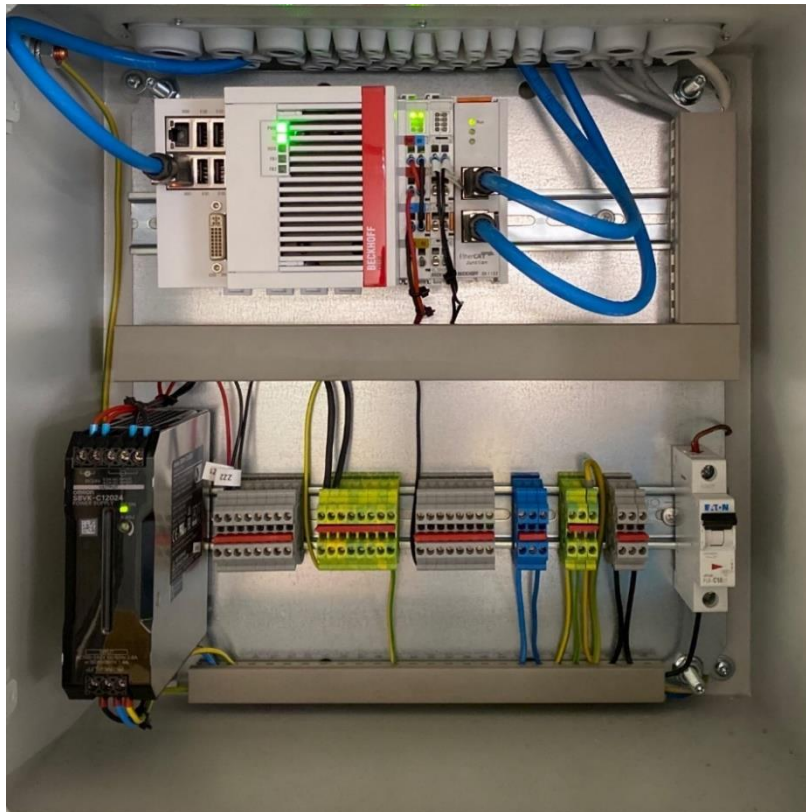
-C1	Beckhoff EL1809
DI	
"Õmblusseade P12"	
12	

-C1	Beckhoff EL1809
DI	
"Õmblusseade P11"	
11	

-C1	Beckhoff EL1809
DI	
"Õmblusseade P10"	
10	



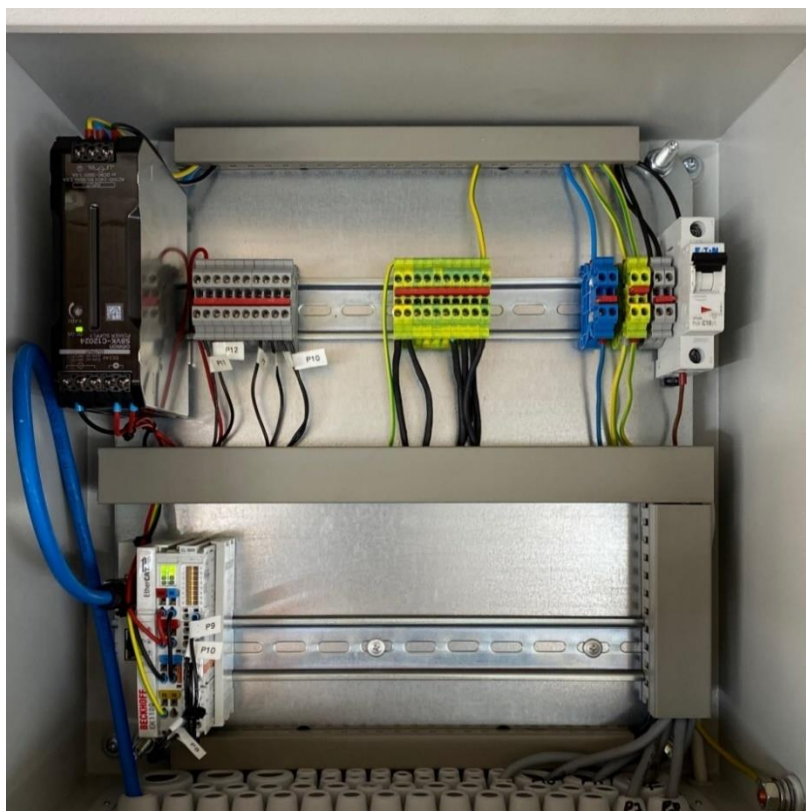
A Rev. :
B Rev. :
C Rev. :
F Rev. :
F Rev. :
D Rev. :



Joonis 1 Automaatikakilp (AK)



Joonis 2 Automaatikakilp (AK1)



Joonis 3 Automaatikilp (AK2)

Lisa 4 Koostamisliini funktsiooniploki kood

```
//Toodete tuvastamine konveieril
IF bToopaevEn THEN
    trSaabasLiinil(CLK:=bFotoelektrilineAndur);
END_IF
//Saabaste(detailide) ja paaride lugemine
fbSaapaidKokku(CU:=trSaabasLiinil.Q,RESET:=bReset);
rSaapaidKokku:=WORD_TO_REAL(fbSaapaidKokku.CV);
rSaapa_paare_kokku:=rSaapaidKokku / 2;

//Tööaja lugemine (Sisendid: aja monitoorimise relee, bToopaevEn (tööpäev)
Väljund: töötatud aeg, töötsükklite arv)
fbTooaeg_tallaliin(
    bIn:= bAjaLugemisRelee AND bToopaevEn,
    bReset:= rtReset.Q,
    tUsageTime=> tTooAeg,
    nStarts=> nTooTsuklid_tallaliin);

tTooaeg_tallaliin:=tTooAeg; //Töötatud aeg
rTooaeg_tallaliin:=TIME_TO_REAL(tTooAeg)/60000; //Aja teisendamine minutiteks

//Pausiaja lugemine (Sisendid: aja monitoorimise relee, bToopaevEn (tööpäev)
Väljund: pauside aeg, pausitsükklite arv)
fbPausiaeg_tallaliin(
    bIn:= NOT bAjaLugemisRelee AND bToopaevEn,
    bReset:= rtReset.Q,
    tUsageTime=> tPausiAeg,
    nStarts=> nPausiTsuklid_tallaliin);

tPausiaeg_tallaliin:=tPausiAeg; //pauside aeg
rPausiaeg_tallaliin:=TIME_TO_REAL(tPausiAeg)/60000; //Aja teisendamine minutiteks

//Saapa paaride arv tunnis
rTootundideArv:=TIME_TO_REAL(tTooAeg)/3600000;
IF rTootundideArv > 0 THEN
    rSaapaidTunnis:=rSaapa_paare_kokku/rTootundideArv;
END_IF

//Protsent arvutus reaajas (töötatud_aeg/tööpäeva_kestvus * 100 %)
IF rToopaevaMinutid > 0 THEN
    Protsent_ajast_tallaliin:=(rTooaeg_tallaliin/rToopaevaMinutid)*100;
END_IF
//Protsendi arvutamine peale tööpäeva lõppu
IF rtProtsentArvutus.Q THEN
    rKoguPaevaProtsent_ajast_tallaliin:=(rTooaeg_tallaliin/450)*100;
END_IF
//Andmete nullimine
IF rtReset.Q THEN
    Protsent_ajast_tallaliin:=0;
    rKoguPaevaProtsent_ajast_tallaliin:=0;
END_IF
```

Lisa 5 Statsseadmete funktsiooniploki kood

```
//Kasutatakse tööpäeva alguse tuvastamiseks
trToopaevaAlgas(CLK:=bToopaevEn);
//Löögi (töötükli) tuvastamine
IF bToopaevEn THEN
    fbLoogiRTrig(CLK:=bLoogiAndur_stants); //Tuvastab löögi tõusva frondi
END_IF

//Loendur Löökide summeerimiseks
fbLookideCounter(CU:=fbLoogiRTrig.Q,RESET:=bReset); //Summeerib kõik tehtud
löögid (töötükli)
wLookideKoguSumma_stants:=fbLookideCounter.CV; //Löökide (töötükli) summa

//Maksimaalne kahe löögi (töötükli) vaheline aeg, mille järel hakatakse lugema
pausiaega ehk viide
tSeadistatav2LoogiVahelineAeg:=REAL_TO_TIME(r2LoogiVahelineAeg*1000);

//taimer 2 löögi (töötükli) vahelise aja lugemiseks
fb2LoogiVahe(IN:= NOT bLoogiAndur_stants,PT:=tSeadistatav2LoogiVahelineAeg);

//Annab sisendi pausiaja lugemisele
IF bLoogiAndur_stants THEN
    bStantsimineOFF :=FALSE;
    ELSIF fb2LoogiVahe.Q THEN
        bStantsimineOFF :=TRUE;
END_IF

//Loeb pausiaega
fbPausiajaLuegja_stants(
    bIn:= bStantsimineOFF AND bToopaevEn,
    bReset:= rtReset.Q,
    tUsageTime=> Pausiaeg,
    nStarts=> nPausideArv);

//Enne pausiaja lugemise alustamist oleva viite liitmine funktsiooniploki
väljundile
IF trToopaevaAlgas.Q AND bStantsimineOFF THEN
    abimuutujaPaus:=1; //Väldib olukorda kus tööpäeva alguses tekiks nPausideArv
muutujast ajanihe
END_IF
tPausiAegKokku_stants :=Pausiaeg + ((nPausideArv-abimuutujaPaus) *
t2LoogiVahelineAeg);
rPausiAegKokku_stants:=TIME_TO_REAL(tPausiAegKokku_stants)/60000;

//konverteerib löökide loenduri väärtuse REAL-tüüpi muutujaks
rCounterV22rtus:= WORD_TO_REAL(fbLookideCounter.CV);

//Reaalajas protsendi arvutamine (tehtud löögid/ettevõtte poolne norm[2
lööki/minut])
IF bToopaevEn AND rStantsiToopaevaMinutid >0 THEN
    rProtsent_stants:=(rCounterV22rtus/rStantsiToopaevaMinutid)*50;
END_IF

//Protsendi arvutamine peale tööpäeva lõppu (tehtud löögid/ettevõtte poolne norm
tehtud löökidele) [norm: 2 lööki/minut] kasutatakse ainult andmete
raporteerimisel
IF rtProtsentArvutus.Q THEN
    rKoguPaevaProtsent_lookidest_stants:=(rCounterV22rtus/460)*50;
END_IF

//Andmete nullimine
IF rtReset.Q THEN
    abimuutujaPaus :=0;
    rProtsent_stants:=0;
    rKoguPaevaProtsent_lookidest_stants:=0;
END_IF
```

Lisa 6 Õmblusseadmete funktsiooniploki kood

```
//Kasutatakse tööpäeva alguse tuvastamiseks
trToopaevaAlgas(CLK:=bToopaevEn);
//Seadistatav kahe õmblustsükli vaheline viide
tKaheOmblusTsukliVahelineAeg:=REAL_TO_TIME(rKaheOmblusTsukliVahelineAeg*1000);
//Filtrina töötav taimer töö- ja pausiaja lugemis funktsiooniplokkidele
fb2TsukkliVahe(IN:= bOmblus_vana,PT:=tKaheOmblusTsukliVahelineAeg);
fb2TsukkliVahe.ET;
//Tõeväärtus tüüpi muutujate juhtimine töö- ja pausiaja lugemise
funktsiooniplokkidele
IF fb2TsukkliVahe.Q THEN
    bOmblemineON :=TRUE;
    bOmblemineOFF :=FALSE;
    ELIF NOT fb2TsukkliVahe.Q THEN
        bOmblemineON :=FALSE;
        bOmblemineOFF :=TRUE;
END_IF
//Tööaja lugemine
fbTooajaLugeja_omblus(
    bIn:= bOmblemineON AND bToopaevEn,
    bReset:= rtReset.Q,
    tUsageTime=> tTooaeag,
    nStarts=> nTooTsuklid);
//Pausiaja lugemine
fbPausiajaLugeja_omblus(
    bIn:= bOmblemineOFF AND bToopaevEn,
    bReset:= rtReset.Q,
    tUsageTime=> tPausiaeg,
    nStarts=> nPausiTsuklid);

//Väldib olukorda, kus tööpäeva alguses tekiks nPausiTsuklid muutujast ajanihe
IF trToopaevaAlgas.Q AND bOmblemineOFF THEN
    abimuutujaToo:=1;
    abimuutujaPaus:=1;
END_IF

//Töö- ja pausiajast viite liitmine(pausiaeg) ja lahutamine(tööaeg) vastavalt
tsükli arvu arvule
tTooaeag_omblus:=tTooaeag - ((nPausiTsuklid-abimuutujaToo) *
tKaheOmblusTsukliVahelineAeg);
tPausiaeg_omblus:=tPausiaeg + ((nPausiTsuklid-abimuutujaPaus) *
tKaheOmblusTsukliVahelineAeg);

//Tööaja konverteerimine REAL-tüüpi muutuja minutiteks
rTooaeag_omblus:=TIME_TO_REAL(tTooaeag_omblus)/60000;

//Reaalajas protsendi arvutamine
IF rToopaevaMinutid > 0 THEN
    Protsent_ajast_omblus:=(rTooaeag_omblus/rToopaevaMinutid)*100;
END_IF
//Protsendi arvutamine peale tööpäeva lõppu
IF rtProtsentArvutus.Q THEN
    rKoguPaevaProtsent_omblus:=(rTooaeag_omblus/460)*100;
END_IF

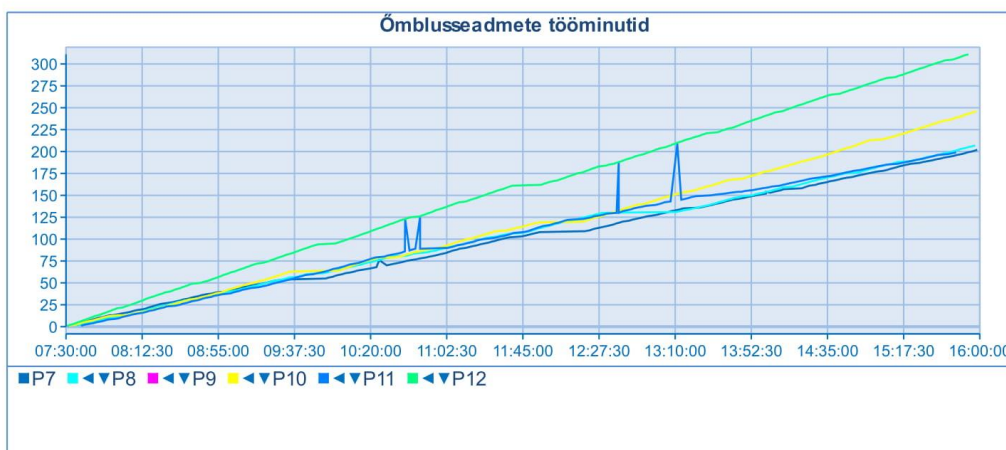
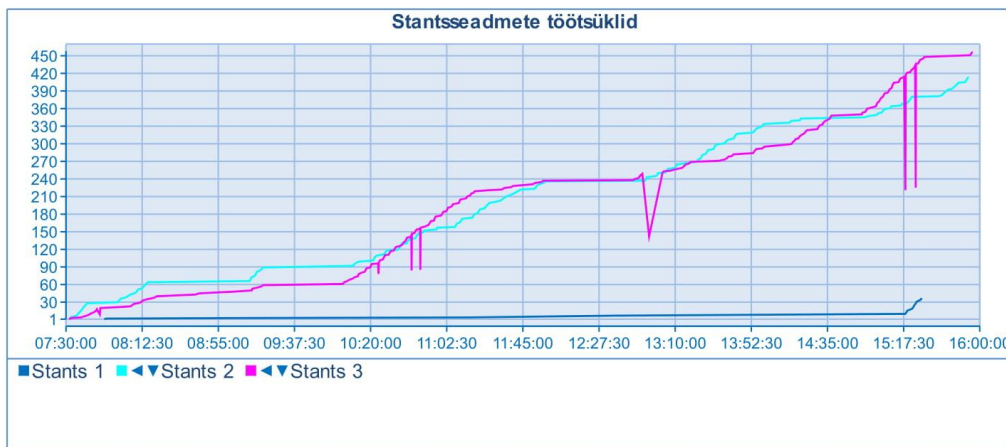
//Andmete nullimine
IF rtReset.Q THEN
    tTooaeag_omblus:=T#0H0M0S;
    abimuutujaToo:=0;
    abimuutujaPaus:=0;
    Protsent_ajast_omblus:=0;
    rKoguPaevaProtsent_omblus:=0;
END_IF
```

15/05/2020 16:00:00

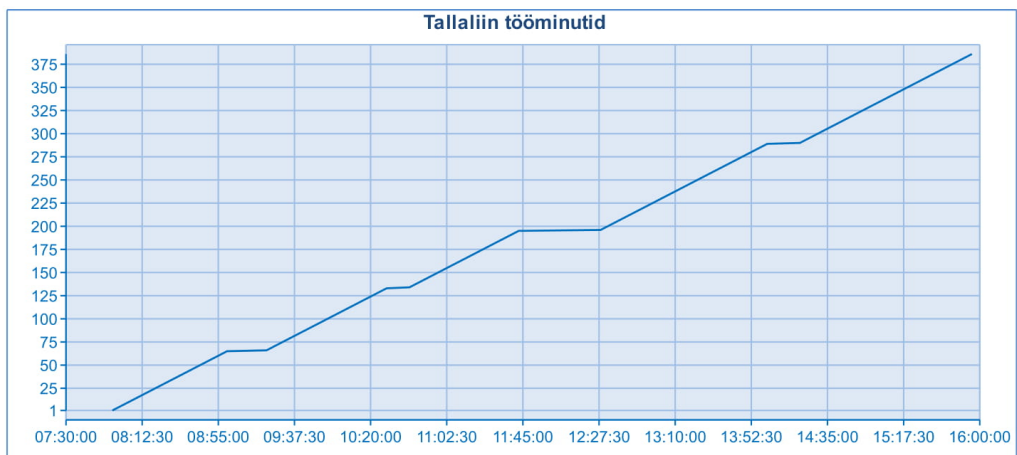


Päevaraport

Seade	Töötsükliid	Protsent	Esimene tsükkel	Viimane tsükkel
Stants 1	38	4.1 %	15/05/2020 07:51:20	15/05/2020 15:27:42
Stants 2	416	45.2 %	15/05/2020 07:31:58	15/05/2020 15:54:07
Stants 3	458	49.8 %	15/05/2020 07:31:45	15/05/2020 15:56:04
Seade	Tööminutid	Protsent	Esimene minut	Viimane minut
P7	202	43.9 %	15/05/2020 07:31:04	15/05/2020 15:58:34
P8	207	45.0 %	15/05/2020 07:36:03	15/05/2020 15:57:35
P9	N/A	N/A	N/A	N/A
P10	246	53.5 %	15/05/2020 07:31:15	15/05/2020 15:58:03
P11	199	43.3 %	15/05/2020 07:38:20	15/05/2020 15:47:01
P12	311	67.6 %	15/05/2020 07:30:37	15/05/2020 15:53:39
Tallaliin	386	85.8 %	15/05/2020 07:55:52	15/05/2020 15:55:36



Joonis 1 Päevaraport lehekül 1

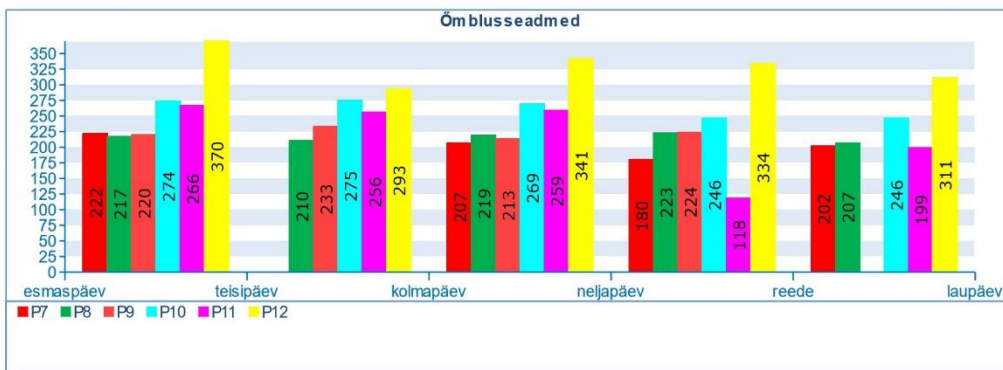
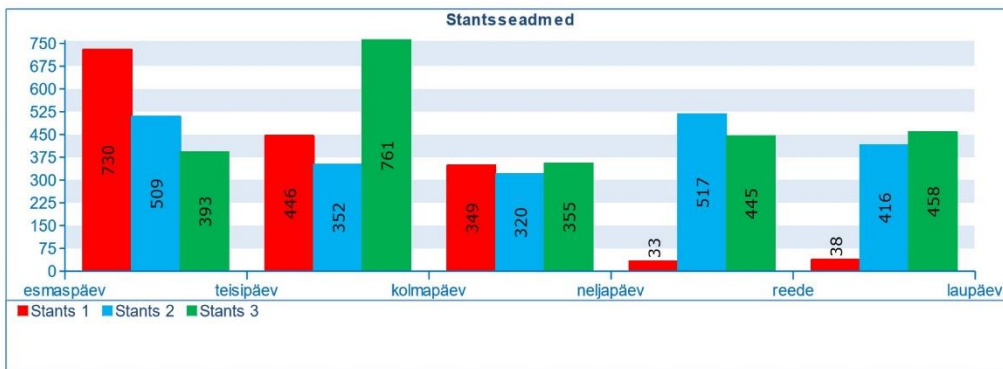


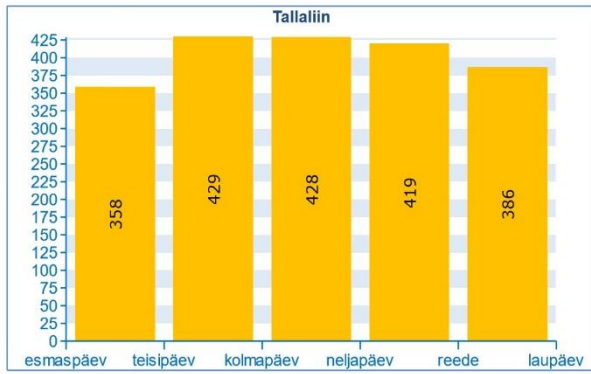
19/05/2020 14:24:47



Nädalaraport

Seade	Töötüklid	Protsent	Maksimum
Stants 1	1596	34.7 %	730
Stants 2	2114	46.0 %	517
Stants 3	2412	52.4 %	761
Seade	Tööminutid	Protsent	Maksimum
P7	811	35.3 %	222
P8	1076	46.8 %	223
P9	890	38.7 %	233
P10	1310	57.0 %	275
P11	1098	47.7 %	266
P12	1649	71.7 %	370
Tallaliin	2020	89.8 %	429





19/05/2020 14:21:01



Kuuraport

Seade	Töotsükliid	Maksimum
Stants 1	3479	730
Stants 2	3807	517
Stants 3	5097	833
Seade	Tööminutid	Maksimum
P7	1513	222
P8	1922	223
P9	1818	265
P10	2286	275
P11	2001	266
P12	2662	370
Tallaliin	3428	429

