



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonika instituut
Mehhanotehnika õppetool

MHE40LT

Alo Kuslap

LIUGEHÕÕRDESTENDI JUHTIMISSÜSTEEM
Bakalaureusetöö

Autor taotleb
tehnikateaduste bakalaureuse
akadeemilist kraadi

Tallinn
2014

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis dotsent Priit Põdra juhendamisel

“22” mai 2014 a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....”201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”201... a.

..... allkiri

BAKALAUREUSETÖÖÜLESANNE

2014 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Alo Kuslap 123475

Õppekava: MAHB02/09 - Mehhatroonika

Eriala: Mehhatroonika

Juhendaja: dotsent Priit Põdra

Konsultandid: (nimi, amet, telefon)

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

Liugehõrdestendi juhtimissüsteem
Control system for sliding friction test rig

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Juhtimissüsteem lahendused nii käsi- kui arvutijuhtimiseks	25.04.2014
2.	Liikumisparameetrite registreerimine (võimalik lisaülesanne) liikumisparameetrite anduri valik, näidu kuvamine, lugemine arvutisse	2.05.2014
3.	Arvjuhtimise paneel (võimalik lisaülesanne) Tarkvaraline juhtimispaneel	9.05.2014
4.	Koostada loodud süsteemide passid ja kasutusjuhendid	9.05.2014
5.	Lõputöö vormistamine	16.05.2014

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud

probleemid:.....
.....
.....

Täiendavad märkused ja nõuded: peab vastama kõikidele tööstuse ohutusstandarditele

Töö keel: eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt **12.05.2014**

Töö esitamise tähtaeg 22.05.2014

Üliõpilane Alo Kuslap /alkiri/ kuupäev 26.03.2014

Juhendaja dotsent Priit Põdra /alkiri/ kuupäev 26.03.2014

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. JUHTIMISSÜSTEEMI TÖÖPÕHIMÕTE	6
1.1. Juhtimissignaaliid	7
Juhtimispuldi signaaliid.....	8
1.2. Liikumisanduri valik.....	9
2. KONTROLLERI VALIK	12
2.1. Kontrolleri sisend-väljund moodulid.....	13
2.2. Juhtprogrammi põhimõtteline algoritm	15
3. SAGEDUSMUUNDURI PARAMETRITE SEADISTAMINE	17
4. KAABLID JA KILBIKOMPONENDID	21
4.1. Kilpide valik komponentidele	21
4.2. Juhtimispuldi valik	22
5. JÕUÜLEKANDE ANDMED JA ARVUTUSED.....	25
KOKKUVÕTE.....	27
SUMMARY	28
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU.....	29
LISAD	

SISSEJUHATUS

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on juhtimissüsteemi koostamine olemasolevale liugehõrdestendile mehhatroonikainstituudis. Liuguri liigutamiseks kasutatakse *Hepco PDU2* hammasrihmaga lineaarülekannet, mille ratastele antakse pöördemoment tiguülekandega vahelduvvoolumootorilt. Mootori kiiruse reguleerimiseks kasutatakse *ABB ASC350* seeria sagedusmuundurit. Olemasoleval juhtimissüsteemil puudub arvutijuhtimise lahendus ning käsijuhtimine põhineb releede ja käivitite lülitustel, mis juhendaja hinnangul võib katsetulemusi tõugetega mõjutada. Lisaks kasutatakse sagedusmuunduri juhtahelates eraldustrafoga väikepingesüsteeme, mis ei vaja jõulülitusi ning ilma nendeta saab muuta kilpide välimust kompaktsemaks ja kasutada esteetiliselt nägusaid tooteid.

Olemasolevale liugehõrdestendile pakutavas juhtimissüsteemi lahenduses lisatakse ülekandevõllile pöörlemisandur, projekteeritakse avariistopp-lülitiga juhtpult stendi ette käsijuhtimise lihtsustamiseks ning arvutijuhtimise moodul *TCP/IP* võrguühendusega *PLC* (Programmeeritava Loogikakontrolleri) baasil. Pakutavas lahenduses on valitud *WAGO 750* seeria kontroller. See on tööstusliku heakskiiduga, paindlike laiendusvõimalustega ning programmeeritav ja visualiseeritav vabavaralise originaaltarkvaraga *CodeSys* viies erinevas programmeerimiskeeles.

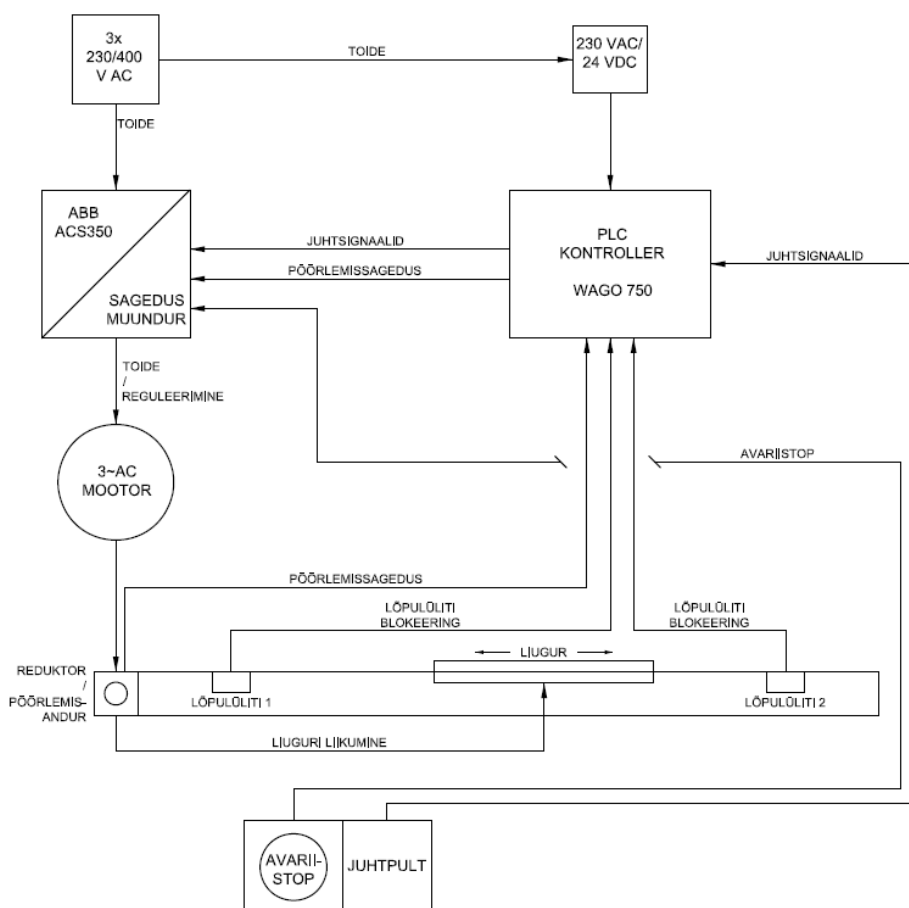
Pöörlemisanduri näidu kuvamiseks kasutatakse sagedusmuunduri displeid, signaalid edastatakse esiteks kontrollerisse ning sealt edasi muundurisse. Sel viisil on paindlikum anduri valik väljundsignaali tüübi järgi kuna mitmesuguseid kontrolleri laiendusmooduleid saab järjestikku ühendada vajaduspõhiselt ning seeläbi ka valida sagedusmuundurile sobiva väljundsignaali.

Kirjeldatavaid süsteeme kasutatakse mitmesugustes tootmisliinides ja testseadmetes, kuid iga süsteem on erilahendus ning käsitletava katsestendiga sarnase andmeid või mingisugustki juhendit ei õnnestu leida. Küll on võimalik tellida modulaarseid mehaanilisi ülekandeid koos mootoriga ja ilma, ajameid, juhtplokkide ja kindlatele toodetele sobivaid aksessuaare, kuid üldjuhul koostatakse komponentide kogum ja juhtelemendid ning süsteemi loogika spetsiifikast tulenevalt konkreetsest protsessist. Tööstuslikelt lahendustelt eeldatakse töökindlust ja turvalisust ning sellest ka kõrge hind, mis eeldab maksimaalset optimeerimist ja kitsalt sihtotstarbelisi lahendusi. Käesolev töö pakub liugehõrdestendi juhtimissüsteemile ülesehituse lähtuvalt eelnevalt nimetatud põhimõtetest.

1. JUHTIMISSÜSTEEMI TÖÖPÕHIMÕTE

Liugehõrdestendi juhtimine seisneb liuguri kontrollitud lineaarses liigutamises lõpulülite vahelise tee ulatuses. Hammasrihmale kinnitatud liugur saab siirde vahelduvvoolu elektrimootori võlli pöörlemisest reduktorilekandelt rihmarattale. Viimase võllile saab kinnitada pöörlemisanduri ning selle näidu järgi arvutada lineaarliikumise siirdeid. Mootori toide ja kiiruse reguleerimine toimub sagedusmuunduri abil, mille töökäske antakse digitaal- ja analoogsisendite kaudu PLC kontrolleri väljunditest.

Kontrolleri sisenditesse ühendatakse lõpulülite ja puldil olevate juhtlülite indikatsioonid ning liikumisandur. Seeläbi on tagatud reaalse protsessi registreerimine ning üheselt toimivad blokeeringud sõltumata käsi- või arvutijuhtimise viisist, eeldusel et programmloogika on koostatud korrektselt. Seadme funktsionaalskeem on näidatud seel 1.1.



Sele 1.1.1. Liugehõrdestendi juhtimissüsteemi funktsionaalskeem

Reaalse asukoha registreerimiseks liikumise vältel sooritatakse pärast stendi sisse lülitamist esmasele katsele eelnev kalibreerimiskäik lõpulülitite vahel nullasendi määramiseks ning selle kaudu on võimalik programmiliselt vältida liuguri liikumist lõpulülititeni.

Avariistopp turvalüliti ühendatakse otse sagedusmuunduri vastavalt programmeeritud digitaalsisendisse. Sellega tagatakse turvaline *Kat. 0 (STO)* viivitamatu või *Kat. 1 (SSI)* kontrollitud aeglustusega avariikatkestus, millega blokeeritakse mootori elektritoide vastavalt standardile *EN 61800-5-2* [1, p. 22].

1.1. Juhtimissignaaliid

Liugehõrdestendi liuguri liigutamiseks edastatakse sagedusmuunduri juhtklemmidele signaalid, mille alusel reguleerib muundur mootori pöörlemise kiirust ja suunda. Järgnevas tabelis 1.1.1. kirjeldatakse *ABB ACS350* sagedusmuunduri sisendite ja väljundite funktsioone juhtimissüsteemi ülesehitusele sobiliku konfiguratsiooni alusel.

Tabel 1.1.1. *ABB ACS350* sagedusmuunduri sisendid ja väljundid [1]

Klemmi nr.	Tähis	Kirjeldus	Signaali tüüp	Soovitud funktsioon
X1A				
1	SCR	Juhtkaabli varjeklemm	-	
2	AI1	Analoogsisend 1	(0-10) V	Pöörlemiskiiruse tagasiside andurilt
3	GND	Analoogsignaali baaspotentsiaal	0 V	
4	+10V	Alalispinge väljund	+10 VDC, max. 10 mA	Puldi potentsiomeetri toide
5	AI2	Analoogsisend 2	(0-10) V	Mootori kiiruse reguleerimine
6	GND	Analoogsignaali baaspotentsiaal	0 V	
7	AO	Analoogväljund	(0...20) mA	Mootori arvutusliku kiiruse väljundinfo
8	GND	Analoogsignaali baaspotentsiaal	0 V	
9	+24V	Alalispinge lisaväljund	+24 VDC, max. 200 mA	Avariistoppüliti toide
10	GND	Alalispingeväljundi baaspotentsiaal	0 V	
11	DCOM	Digitaalsisendite baas	24 V AC/DC -	
12	DI1	Digitaalsisend 1	24 V AC/DC +	Edaspidi pöörlemissuuna käsk
13	DI2	Digitaalsisend 2	24 V AC/DC +	Tagurpidi pöörlemissuuna käsk
14	DI3	Digitaalsisend 3	24 V AC/DC +	Reguleerimiskiiruse rakendamine
15	DI4	Digitaalsisend 4	24 V AC/DC +	Kiirenduskõverate valik
16	DI5	Digitaalsisend 5	24 V AC/DC +	Avariistopp käsk

Tabeli 1.1.1. järg

Klemmi nr.	Tähis	Kirjeldus	Signaali tüüp	Funktsioon
<i>X1B</i>				
17	<i>ROCOM</i>	Releeväljundi baas	24 V AC/DC +	
18	<i>RONC</i>	Normaalselt suletud kontakt	24 V AC/DC +	Indikatsioon – mootorile võimsust ei rakendata
19	<i>RONO</i>	Normaalselt avatud kontakt	24 V AC/DC +	Indikatsioon - muundur rakendab mootorile võimsust
20	<i>DOSRC</i>	Transistori alalispinge sisend	+24 VDC	
21	<i>DOOUT</i>	Digitaalväljund	+24 VDC, max. 100 mA	Indikatsioon - viga või häire
22	<i>DOGND</i>	Transistori baaspotentsiaal	0 V	

Sagedusmuundurile edastatakse vastavalt digitaal või analoog sisendsignaale *PLC* kontrolleri väljunditest ning väljuvad indikatsioonid suunatakse kontrolleri sisenditesse. Erandiks on avariistopp käsk 5-ndasse digitaalsisendisse, mis rakendatakse avariistopplülitiga otse juhtpuldilt turvalisuse tagamiseks. Sisendite ja väljundite baasklemmid ühendatakse kontrolleri vastavate baasidega juhtsignaalide pingeühtlustuse kindlustamiseks.

Juhtimispuldi signaalid

Käsijuhtimise idee – operaator saab valida käsi- ja arvutijuhtimise vahel ning liugurile anda liikumiskäsu valitud suunas ja kiirusega. Puldilt peab hädaolukorras olema võimalus peatada süsteem avariistopplülitiga. Selle kõige juures peab säilima lõpulülite funktsionaalsus ainult vastavas suunas liikumise blokeerimiseks ning võimalus registreerida liikumisparameetreid. Kuna liikumisparameetrite registreerimiseks on vajalik andurilt saadavaid signaale töödelda, peab selleks kasutama sobivate sisenditega kontrolleri. Sellest tulenevalt ei ole otstarbekas kasutada lisareleesid füüsilise loogikaskaemi koostamiseks, mis kompromissitu blokeeringute ja funktsionaalsuse tagamisel võib osutada mahukaks, kui kontrolleri programmiselt on selle saavutamine oluliselt lihtsam ning toimib ühel viisil olenemata käsi- või arvutijuhtimise režiimist. Lisaks peaksid puldil süttima indikatsioonituled kontrolleri töövalmiduse ning mootorile võimsuse rakendumise kohta sagedusmuundurilt. Järgnevas tabelis 1.1.2. tuuakse välja juhtpulti sisenevad ja sealt lähtuvad signaalid.

Tabel 1.1.2. Juhtimispuldi signaalid.

Suund	Funktsioon	Signaal	Vastaskontakt
Välja	Käsiasend	+24 VDC	PLC digitaalsisend
	Auto-asend	+24 VDC	PLC digitaalsisend
	Liugur vasakule	+24 VDC	PLC digitaalsisend
	Liugur paremale	+24 VDC	PLC digitaalsisend
	Kiiruse reguleerimine	(0 – 10) VDC	PLC analoogsisend
	Avariistopp	+24 VDC	Muunduri 16. klemm
Sisse	Kontroller töövalmis	+24 VDC	PLC digitaalväljund
	Muundur rakendunud	+24 VDC	PLC digitaalväljund
	Potentsiomeetri toide	+10 VDC	Muunduri 4. klemm
	Avariistopp toide	+24 VDC	Muunduri 9. klemm

Alapeatükis välja toodud signaalidele lisanduvad veel indikatsioonid lõpulülititest kontrolleri digitaalsisendisse ning liikumisanduri ühendused, mis sõltuvad konkreetsest anduri tüübist. Seejärel saab alustada PLC kontrolleri ja selle laiendusmoodulite valikuga.

1.2. Liikumisanduri valik

Mootori pöörlemise suunda ja kiirust arvutab ABB ACS350 sagedusmuundur ka ilma eraldi anduri vajaduseta voolutugevuse kaudu ning see info on arvutis registreeritav läbi kontrolleri analoogsisendi. Mõõdetud ja täpsema info saamiseks on katseseadmele vaja paigaldada liikumisandur. Liugehõõrdekate seisukohast oleks sobivaim distantandur, mis mõõdaks liuguri lineaarliikumise siirdeid. Kuna ülesandeks on pöörlemiskiiruse ja suuna registreerimine ning ülekanded lihtsate seostega teisendatavad, siis võetakse kasutusele vaid pöörlemisandur.

Soodsaim valik oleks kahejuhtmeline induktiivandur, koos võllile paigaldatava hammaskettaga, kuna see vajaks kontrolleriilt vaid ühte digitaalsisendit. Puuduseks pulsside arv pöördele on tüüpiliselt 8-16, mis ülekandeteguri 61 puhul ei taga maksimaalsel mootori kiirusel piisavat resolutsiooni ja täpsust liikumisparameetrite registreerimiseks. Mootori pöörlemiskiirusel oleks sel mõtet, kuid ainus ligipääsetav paigalduskoht oleks pikendusvardaga mootori võlli tagumisele otsale ventilaatori keskel ning vajaks mittestandardset lahendust.

Saadaval on ka integreeritud kodeerijaga (*encoder*) sarnase mootori mudel, kuid see eeldaks olemasoleva mootori väljavahetamist. Sellele lisaks on protsessi liikumisparameetritel huvipakkuv just ülekandejärgne liugurile lähim pöörlemiskiirus. Järelikult on vaja kasutada suure resolutsiooniga pöörlemisandurit. Saadaval on palju erinevaid koodereid 1 - 30000 ja

rohkema väljundpulsiga pöördele. Tabelis 1.2.1. on välja toodud erinevat tüüpi liikumisandurite omadused.

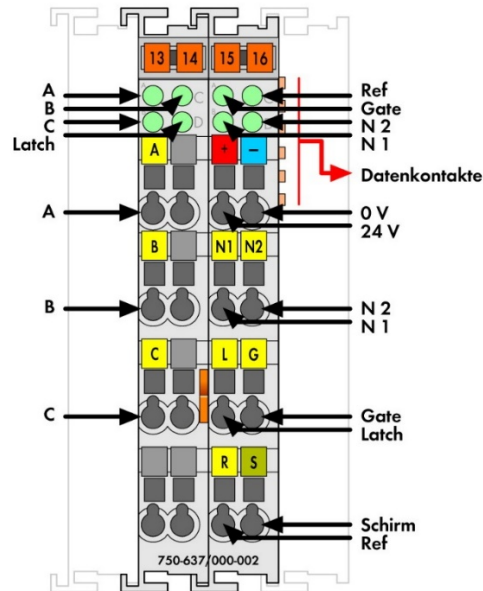
Tabel 1.2.1. Liikumisandurite võrdlus [2]

Tüüp	Paigaldus	peamine rakendusala	täpsus / resolutsioon	puudused	orienteeruv hind
Ilma andurita	muunduri arvutuslik	täpsust mitte nõudvad lahendused	teadmata	tagasisideta arvutuslik kiirus	ei vaja lisakulutusi
Optiline distantsandur	sihitud liikuvale esemele	objekti mõõteulatusse sattumise registreerimine	soodsamad ± 5 mm, laser alla 0,1 mm fookuspunktis. Kaugusega resolutsioon ja linearsus langeb	võõrobjectid mõõteulatuses tekitavad valeinfot, kiire hajumine - seadistus kindlale ulatusele.	(200 – 300) € sõltuvalt mõõteulatuses ja täpsusest
Mahtuvus- või induktiiv-andur	vajab pöörlemis-andurina magnetite või hammastega pulser-ketta paigaldamist võllile.	Pöörlemiskiiruse lugemine madala täpsusvajadusega rakendustes. Nt pumbad, ventilaatorid, autod.	kuni 16 pulssi pöördele, suure diameetriga ketta puhul rohkem. Samm alates 2 mm (anduri pea läbimõõt)	ei suuda registreerida väikesi nurgamuutusi ega pöörlemise suunda	andurid alates 25 €+ lisad
Kooderiga mootor	andur paikneb mootoris	nt spindli mootorid	sõltuvalt kooderist	registreerib mootori pöörlemiskiirust ja suunda, ülekandesuhte täpsus liini kiiruse arvutamiseks	mootori ja pöördkooderi hinna summa
Pöördkooder	Otse mõõdetavale võllile. Stopper või flants kesta pöörlemise takistamiseks.	täpne positsioneerimine, liini kiiruse mõõtmine, pöörlemissuuna teave	kuni 10 000 pulssi pöördele	vajab spetsiaalset signaalitöötluse moodulit	(150 – 300) € vaadeldavale süsteemile
Lineaar-kooder	andur paigaldatakse liugurile, vajab kõrvale mõõteulatuses magnetriba. Kontaktivaba.	väga täpne positsioneerimine ja kiiruse mõõtmine, sõltumatu keskkonnatingimustest	kuni 1 mikromeeter	kõrge hind, vajab magnetriba.	alates 400 € ilma magnetribata

Tabelist 1.2.1. nähtub, et juhtimissüsteemi liikumisanduriks sobivaim on pöördkooder, kuna võimaldab saada täpset teavet pöörlemiskiiruse ja -suuna kohta ning on paigaldatav liuguri

hammasrihma võllile. Pöörlemisanduri minimaalne resolutsioon leitakse liuguri siirde soovitud registreerimistäpsuse järgi peatükis 5, võrrandiga (5.5).

Kontrolleri poolt vajab pöördkooder eraldi spetsiaalset kaherealist sisendmoodulit, näidatud seel 1.2.1., mis omakorda tõstab lahenduse hinda, kuid lihtsustab signaalide töötlust.



Sele 1.2.1. Wago Incremental encoder moodul 750-637 [3]

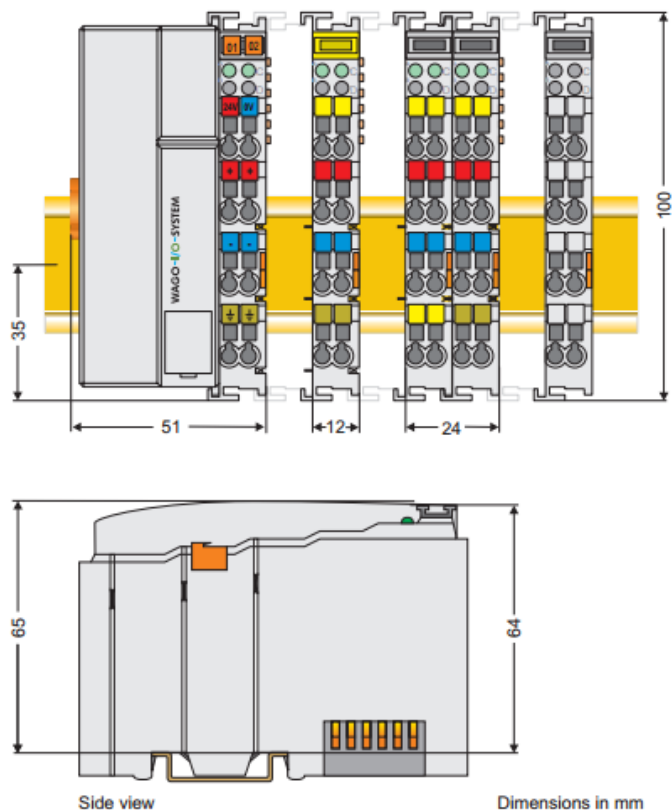
Nimetatud sisendmooduli ja olemasoleva stendiga sobib mistahes otse õõnesavaga 14 mm rihmaratta võllile paigaldatav 5 V TTL (transistor transistor loogika) signaaliväljundiga suhtelise positsioneerimisega pöördkooder (*rotary incremental encoder*). Konkreetse näitena SICK DFS60E-BGAC01000 [4].

2. KONTROLLERI VALIK

Kontrolleri funktsioon juhtimissüsteemis on sagedusmuunduri juhtimine selleks arvutist või käsiasendis puldist saadavate käskude alusel. Samaaegselt on oluline liikumisandurilt ja hiljem lisatavalt liugehõõrdeandurilt saadava info töötlemine. Kontrolleri valikul on kaks põhilist lähteprobleemi:

1. Seadme ühenduvus personaalarvutiga katse- ja liikumisparameetrite registreerimiseks ning arvutijuhtimiseks;
2. Piisav arv sobilikke sisend- ja väljundpunkte eelnevas peatükis koostatud signaalide vastuvõtmiseks, väljastamiseks ning töötlemiseks.

Tööstuslike kontrollerite valik on väga lai, kuid üldistades kattuvad tuntud tootjate seadmed riistvaraliste omaduste poolest, arvestamata siinkohal erinõuetega rakendusi ja ülikiireid protsesse. Hinnatase sõltub konkreetsest tellimusest ning kliendisuhetest edasimüüjatega. Sellest tulenevalt võiks valida mistahes tööstusliku *PLC* kontrolleri, mille omadused täidavad eeltoodud kahe lähteprobleemi tingimusi.



Sele 1.2.1. Wago 750 seeria gabariitmõõdud

Käesolevas töös osutub autori tööalasele kokkupuutele programmeeritavate kontrollritega valituks *WAGO PLC - ETHERNET TCP/IP 750-873* oma kompaktse disaini, väga hea hinna ja kvaliteedi suhte ning vabavaral põhineva programmeerimistarkvara tõttu. Kontrolleri ja laiendusmoodulite mõõdud on näidatud seel 1.2.1. Lisaväärtust annab võimalus soovi korral liita süsteemile spetsiaalne kasutajaliidese puutepaneel ning nutitelefonid aplikaatsioonid, mis varasemalt tööstusautomaatikasse puutunud ei ole.

Wago *TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)* põhine kontrolleri ühendatakse arvuti võrgukaardiga standardse *RJ-45* pistikutega *CAT5* võrgukaabli abil. Programmeerimiseks on võimalik kasutada viit programmeerimiskeelt originaaltarkvaraga *WAGO I/O PRO*, mille abil koostatakse veebipõhine kasutajaliides [5]. Kasutajaliides on ligipääsetav veebilehitseja põhiselt *IP*-aadressi sisestamisega aadressiribale.

WAGO 750 seeria on modulaarne kontrolleri süsteem – laiendusmoodulite tüübid ja nende arv koostatakse laiast tootevalikust vajalike sisend-väljundpunktide katmiseks. Hiljem saab kontrolleri neid juurde lisada, kokku kuni 64 laiendusmoodulit [6, p. 17]. Seega hilisem mõõtesüsteemi anduri liitmine kontrolleri süsteemiga ei valmista raskusi olenemata selle väljundsignaali tüübist.

2.1. Kontrolleri sisend-väljund moodulid

Modulaarse *PLC* eeliseks on see, et süsteemi ehitamisel saab valida laiendusmoodulid vaid esialgu planeeritavate sisendite ja väljundite põhjal ning mõningate lisapunktide hilisem lisamine ei nõua liigselt lisaruumi ega suuri kulutusi. Peatükis 1 koostatud juhtimissüsteemi komponentide signaalide alusel koostatud tabel 2.1.1. kõrvutab need kontrolleri sisend- ja väljundpunktidega.

Tabel 2.1.1. PLC sisend-väljundklemmid

Tähis	Selgitus	Funktsioon	Signaal	Ühenduspunkt
<i>IEI</i>	Juurdekasvuga pöördkooderi sisendmoodul	Liuguri hammasrihmaratta pöörlemiskiiruse registreerimine	<i>TTL</i>	Pöördkooder
<i>AI1</i>	Analoogsisend 1	Kiiruse seadesuurus käsiasendis	(0 – 10) V	Potentsiomeetri väljund juhtpuldil
<i>AI2</i>	Analoogsisend 2	RESERV	(0 – 10) V	-
<i>AO1</i>	Analoogväljund 1	Pöörlemiskiiruse edastamine sagedusmuundurile ekraanil kuvamiseks	(0 – 10) V	Sagedusmuunduri 1. klemm - <i>AI1</i>
<i>AO2</i>	Analoogväljund 2	Mootori kiiruse reguleerimine	(0 – 10) V	Sagedusmuunduri 5. klemm - <i>AI2</i>
<i>DI1</i>	Digitaalsisend 1	Lõpulüliti 1 rakendumine	+24 VDC	Lõpulüliti 1
<i>DI2</i>	Digitaalsisend 2	Lõpulüliti 2 rakendumine	+24 VDC	Lõpulüliti 2
<i>DI3</i>	Digitaalsisend 3	Lüliti juhtpuldil käsiasendis	+24 VDC	Juhtpult, lüliti 1, positsioon 1
<i>DI4</i>	Digitaalsisend 4	Lüliti juhtpuldil auto-asendis	+24 VDC	Juhtpult, lüliti 1, positsioon 3
<i>DI5</i>	Digitaalsisend 5	Lüliti juhtpuldil käsk liuguri liikumiseks vasakule	+24 VDC	Juhtpult, lüliti 2, positsioon 1
<i>DI6</i>	Digitaalsisend 6	Lüliti juhtpuldil käsk liuguri liikumiseks paremale	+24 VDC	Juhtpult, lüliti 2, positsioon 3
<i>DI7</i>	Digitaalsisend 7	Sagedusmuunduri häire/viga	+24 VDC	Sagedusmuunduri 21. klemm <i>DOOUT</i>
<i>DI8</i>	Digitaalsisend 8	Sagedusmuunduri töösignaal	+24 VDC	Sagedusmuunduri 19. klemm <i>RONO</i>
<i>DO1</i>	Digitaalväljund 1	Sagedusmuundurile käsk edaspidi pöörlemiseks	+24 VDC	Sagedusmuunduri 12. klemm <i>DI1</i>
<i>DO2</i>	Digitaalväljund 2	Sagedusmuundurile käsk tagurpidi pöörlemiseks	+24 VDC	Sagedusmuunduri 13. klemm <i>DI2</i>
<i>DO3</i>	Digitaalväljund 3	Sagedusmuunduri tööloaba, reguleerimiskiiruse rakendamine	+24 VDC	Sagedusmuunduri 14. klemm <i>DI3</i>
<i>DO4</i>	Digitaalväljund 4	Kiirenduskõverate valik	+24 VDC	Sagedusmuunduri 15. klemm <i>DI4</i>
<i>DO5</i>	Digitaalväljund 5	Indikatsioon juhtpuldile kontrolleri töövalmis	+24 VDC	Indikatsioonituli juhtpuldil lülitis 1.
<i>DO6</i>	Digitaalväljund 6	Indikatsioon juhtpuldile muunduri võimsus rakendunud mootorile	+24 VDC	Indikatsioonituli juhtpuldil lülitis 2.

Tabelis 2.1.1. välja toodud vajalike sisend- ja väljundpunktide alusel saab valida sobivad laiendusmoodulid. Nendeks on (nimetus – tootekood):

- Juurdekasvuga pöördkooderi liides; 24 V / 32 bit - 750-637/000-002 [7]
- 2-kanaliga analoogsisendi moodul; (0-10) V; *Single-ended* - 750-467 [8]
- 2-kanaliga analoogväljundi moodul; (0-10) V - 750-550 [9]
- 8-kanaliga digitaalsisendi moodul; 24 VDC - 750-1416 [10]
- 8-kanaliga digitaalväljundi moodul; 24 VDC - 750-1515 [11]

Nagu peatükk 2. alguses mainitud, erinevate tootjate valikus *PLC* seeriad, mis on põhimõtteliselt sarnased. Sisendite ja väljundite funktsioonid ja kogused on töös käsitleva juhtimissüsteemi ülesehituses sõltumatud konkreetse kontrolleri valikust, kinni tuleb pidada analoogsignaalide tüübist, kuna need on sagedusmuunduri parameetritega kooskõlastatud.

2.2. Juhtprogrammi põhimõtteline algoritm

PLC tüüpi kontrolleri vajab sisendite ja väljunditega opereerimiseks juhtprogrammi. Kuna bakalaureusetöö maht ei võimalda käsitleda kontrolleri programmeerimist muudele eelduseks olevatele teemadele põhjalikult, on siinkohal toodud autori põhimõtteline nägemus juhtprogrammi ülesehitusest.

PROGRAMMI ÜLESEHITUS

- Kontrollitakse kas kontrolleri on olnud ilma toiteta

Kui kontrolleri toide on välja lülitatud puudub võimalus võllil paikneva kooderi lugemi salvestamiseks. Selle tulemusena ei pruugi stendi kelk olla viimasel teadaoleval positsioonil ning ootamatuste vältimiseks peaks programmi käivitamine algama vaikeväärtustega. Juhul, kui süsteem laetakse algväärtustega peab uuesti määrama stendi liuguri asendi minimaalse ja maksimaalse võimaliku väärtuse lineaarteljel.

- Süsteemi kalibreerimine

Sagedusmuundurile konstantse keskmisest madalama analoogsignaali ning vastavasuunalise töökäsu andmisega liigutatakse stendi kelk paremale. Lõpulüliti rakendumisel fikseeritakse asendi maksimaalne väärtus. Liikumine peatatakse ning pöörlemiskooderiga loetud pöörete arvu tähistav muutuja võrdsustatakse nulliga. Teise piirväärtuse leidmiseks antakse muundurile vastandsuunaline töökäsk vasaku lõpulüliti

rakendumiseni. Võlli pöörete arv salvestatakse ning kalkuleeritakse kelgu liikumise distants, parem ja vasak maksimaalne positsioon ning liikumisulatuse keskpunkt. Vastavad väärtused määratakse protsessis kasutatavatele muutujatele.

- Kontrollitakse kas juhtpuldi nupp on seatud käsi- või automaatrežiimile

Süsteemi automaatrežiimil toimub kogu protsessi juhtimine automaatselt vastavalt kasutajaliidesesse sisestatud väärtustele. Lõpulülite signaalidega blokeeritakse programmiselt vastavas suunas muundurile töökäsu andmine. Blokeeringute vältimiseks kasutatakse rajaväärtusi liikumistsüklite ulatuse piiramiseks.

- Käsijuhtimine

Vedrutagastuva juhtnupu pööramisel vastupäeva juhitakse sagedusmuundurit kelgu liigutamiseks vasakule. Pööramisel päripäeva liigub süsteem paremale. Rajaväärtuse saavutamisel või lõpulüliti rakendumisel tühistatakse samasuunaline töökäsk ning liuguri liigutamist lubatakse vaid teises suunas kuni blokeeringu eelduste katkemiseni.

- Automaatjuhtimine

Juhtprotsessi parameetrite sisestamiseks avatakse kasutajaliideses vastav lehekülg. Võimalikeks parameetriteks võiksid olla vasaku ja parema maksimaalse siirde väärtus keskpunktist ning töötsüklite arv. Lisaks määratakse ka liikuvmehhanismi kiirused lõiguti ja kiirendused üleminekul.

Käivituskäsu andmisel juhitakse muundurit vastavas suunas kuni saavutatakse kelgu positsioon stendi keskpunktis. Algasendi fikseerimisel alustatakse protsessitsüklitega mille parameetrid on võrdsed kasutaja sisestatud väärtustega. Mehhanismi liigutatakse paremale ja vasakule eelnevalt määratud rajades soovitud arv tsükleid.

Kõik mõõdetavad suurused salvestatakse kontrolleri mällu maatriksitena ning kuvatakse jooksvalt kasutajaliideses trendide või tabelitena. Andmed salvestatakse soovi korral välisesse faili näiteks analüüsimiseks statistikapaketis.

Wago kontrolleri programmeerimise abivahendeid, näiteid ja treeningmaterjale on saadaval *Wago* kodulehel ning on külluslikult leitavad otsingumootorite abiga. Juhtimissüsteemi kontrolleri programmeerimine ja visualiseerimine võiks olla mõne programmeerimis- või automaatikaalase ainetöö või kursusetöö teemaks.

Juhtimisalgoritmi voodiagramm on toodud LISA 1-s.

3. SAGEDUSMUUNDURI PARAMEETRITE SEADISTAMINE

Liugehõrdestendi juhtimissüsteemi eesmärgikohase ning eelnevates peatükkides kirjeldatud tööpõhimõttele vastava toimimise eelduseks on sagedusmuunduri konfigureerimine selleks sobilike väärtustega. Stendi juhtimissüsteemis kasutatava *ABB ACS350* parameetrite seadistamise protseduur on kirjeldatud seadme kasutusjuhendis [12, p. 63].

Järgnevalt on toodud sagedusmuunduri parameetrid, mille väärtused erinevad vaikimisi väärtustest. Esimese sammuna on vajalik tehaseseadete taastamine, parameetrikombinatsiooni *ABB STANDARD* makro valimisega. Muudatused tabelis 3.1. määravad kasutatava mootori nimiväärtused ning tabelis 3.2. sagedusmuunduri juhtsisendite ja –väljundite konfiguratsiooni. Parameetrite väärtused on valitud lähtuvalt olemasoleva stendi andmetest ning juhtimisalgoritmi ülesehitusest tuginedes autori kogemustele sagedusmuundurite juhtimisel ventilatsiooniautomaatikas.

Tabel 3.1. Mootori seaded sagedusmuunduri parameetrites [12, pp. 238-241]

Parameetri number	Nimetus	Kirjeldus	Väärtus	Märkused
			vaikimisi / uus	
99	<i>START-UP DATA</i>	Keele valik. Mootori seadete defineerimine.		
9902	<i>APPLIC MACRO</i>	Eelseadistatud parameetrikombinatsioonid	1	<i>ABB STANDARD</i>
9904	<i>MOTOR CTRL MODE</i>	Mootori juhtimisrežiim	3 / 1	Vektorjuhtimine kiiruse järgi
9905	<i>MOTOR NOM VOLT</i>	Mootori nimipinge (V)	400	*nimiplaadilt
9906	<i>MOTOR NOM CURR</i>	Mootori nimivool (A)	0,86Δ/0,5Y	*nimiplaadilt
9907	<i>MOTOR NOM FREQ</i>	Mootori nimisagedus (Hz)	50	*nimiplaadilt
9908	<i>MOTOR NOM SPEED</i>	Mootori nimikiirus (min ⁻¹)	1310	*nimiplaadilt
9909	<i>MOTOR NOM POWER</i>	Mootori nimivõimsus (kW)	0,11	*nimiplaadilt

Tabel 3.2. Sagedusmuunduri seaded juhtklemmidele [12, pp. 159-189]

Parameetri number	Nimetus	Kirjeldus	Väärtus	Märkused
			vaikimisi / uus	
10	<i>START/STOP/DIR</i>	sisendallikad väliseks käivitamiseks, peatamiseks ja suuna valikuks		
1001	<i>EXT1 COMMANDS</i>	Määrab pöörlemissuuna ja start/stopp sisendid väliselt juhtseadmelt <i>EXT1</i>	2 / 9	<i>D11</i> - FW start; <i>D12</i> -REV start
1010	<i>JOGGING SEL</i>	Määrab sisendi kiiruse reguleerimise loa saamiseks	- / 3	<i>D13</i> = 0 - OFF; <i>D13</i> = 1 - ON
11	<i>REFERENCE SELECT</i>	Välise reguleerimissignaali seaded		
1102	<i>EXT1/EXT2 SEL</i>	Määrava sisendi valik	0 / 7	<i>EXT2</i>
1104	<i>REF1 MIN</i>	Minimaalse pöörlemiskiiruse vaste <i>A11</i> analoogsisendi miinimumile parameeter 1301 (min ⁻¹)	0	
1105	<i>REF1 MAX</i>	Maksimaalse pöörlemiskiiruse vaste <i>A11</i> analoogsisendi maksimumile p-1302 (min ⁻¹)	21	rihmaratta max pöörlemiskiirus (min ⁻¹)
1107	<i>REF2 MIN</i>	Minimaalse pöörlemiskiiruse vaste <i>A12</i> analoogsisendi miinimumile parameeter 1304 (%)	0	% mootori nimikiirusest
1108	<i>REF2 MAX</i>	Maksimaalse pöörlemiskiiruse vaste <i>A12</i> analoogsisendi maksimumile parameeter 1305 (%)	100	% mootori nimikiirusest
12	<i>CONSTANT SPEEDS</i>	Eelmääratud kiiruste valik ja väärtused		
1201	<i>CONST SPEED SEL</i>	Sisend, mis käivitab eelmääratud kiiruse	9 / 0	Ei kasutata
13	<i>ANALOGUE INPUTS</i>	Analoogsisendsignaali töötlemine		
1301	<i>MINIMUM A11</i>	Protsent signaali ulatusest, mis vastab parameetrile 1104 <i>REF1 MIN</i>	0	
1302	<i>MAXIMUM A11</i>	Protsent signaali ulatusest, mis vastab parameetrile 1105 <i>REF1 MAX</i>	98	100% = 21,5 min ⁻¹
1304	<i>MINIMUM A12</i>	Protsent signaali ulatusest, mis vastab parameetrile 1107 <i>REF2 MIN</i>	1	
1305	<i>MAXIMUM A12</i>	Protsent signaali ulatusest, mis vastab parameetrile 1108 <i>REF2 MAX</i>	100	

Tabeli 3.2. Järg

Parameetri number	Nimetus	Kirjeldus	Väärtus	Märkused
			vaikimisi / uus	
14	<i>RELAY OUTPUTS</i>	Releeväljundist saadava indikatsiooni sisu		
1401	<i>RELAY OUTPUT 1</i>	Relee rakendub, kui staatus vastab seadistusele	3 / 2	Muundur käitab mootorit (run), häireid ei ole
18	<i>FREQ IN & TRAN OUT</i>	Sagedussisendi ja transistorväljundi signaali töötlemine		
1805	<i>DO SIGNAL</i>	Digitaalväljundi signaali tüüp.	3 / 16	Viga või häire
20	<i>LIMITS</i>	Muunduri tööpiirangud.		
2001	<i>MINIMUM SPEED</i>	Minimaalne lubatud mootori pöörlemiskiiruse absoluutväärtus (min^{-1})	0	Vajadusel piirata
2002	<i>MAXIMUM SPEED</i>	Maksimaalne lubatud mootori pöörlemiskiiruse absoluutväärtus (min^{-1})	1310	Vt. mootori nimiplaat
2003	<i>MAX CURRENT</i>	Määrab maksimaalse lubatud voolugevuse mootorile (A)	1,5 Δ /0,9Y	1,8*I _{2N}
21	<i>START/STOP</i>	Mootori käivituse ja peatamise režiimid		
2101	<i>START FUNCTION</i>	Käivitusrežiim DC MAGN: eelmagnetiseerimine algväände tõstmiseks	1 / 2	seisukoormuse ületamiseks
2102	<i>STOP FUNCTION</i>	Seiskamisrežiimi valik - RAMP	1 / 2	kontrollitud pidurdus
2103	<i>DC MAGN TIME</i>	Mootori eelmagnetiseerimise aeg (s)	0,3	0 - 10 s
2109	<i>EMERG STOP SEL</i>	Välise avariistopp signaali sisend	0 / -5	Avariistopp lüliti -> DI5=0
22	<i>ACCEL/DECEL</i>	Kiirenduse ja aeglustuse ajad		
2201	<i>ACC/DEC 1/2 SEL</i>	Valik kiirenduskõvera paaride 1 ja 2 vahel	-4	DI4=0 - paar 2; DI4=1 - paar 1
2202	<i>ACCELER TIME 1</i>	Kiirenduse aeg seisult maksimaalse kiiruseni (s)	5 / *	*vajadusel
2203	<i>DECELER TIME 1</i>	Aeglustuse aeg maksimaalselt kiiruselt peatumiseni (s)	5 / *	*vajadusel
2205	<i>ACCELER TIME 2</i>	Kiirenduse aeg seisult maksimaalse kiiruseni (s) - kehtib reguleerimissignaale	60 / 0	maksimaalne kiirendus seadesuuruseni
2206	<i>DECELER TIME 2</i>	Aeglustuse aeg maksimaalselt kiiruselt peatumiseni (s) - kehtib reguleerimissignaale	60 / 0	maksimaalne aeglustus seadesuuruseni

Pöörlemisanduri näidu kuvamiseks kasutatakse muunduri ekraani, mis tuleb vastavalt seadistada. Tabelis 3.3. on toodud parameetrite väärtused, millega määrata anduri näidu sisend, formaat ja ühik ning kõigi seadete talletamine ja kaitse.

Tabel 3.3. Sagedusmuunduri ekraani seaded pöörlemisanduri info kuvamiseks ja parameetrite salvestamine [12, pp. 171, 205, 206, 238]

Parameetri number	Nimetus	Kirjeldus	Väärtus	Märkused
			algne / uus	
34	<i>PANEL DISPLAY</i>	Kuvatavate signaalide valik muunduri ekraanil		
3401	<i>SIGNAL1 PARAM</i>	Esimese signaali allikas muunduri ekraanil	103 / 111	Pöörlemisanduri signaal <i>A12</i>
3404	<i>OUTPUT 1 DSP FORM</i>	Kuvatava väärtuse formaat	9 / 2	+/- 0,00
3405	<i>OUTPUT 1 UNIT</i>	Kuvatav ühik	3 / 7	min ⁻¹
16	<i>SYSTEM CONTROLS</i>	Tööluba, parameetrite lukustamine jms.		
1602	<i>PARAMETER LOCK</i>	Lukustuse staatus. Võimaldab kaitsta seadeid.	1 / 0	lukustamine pärast seadistamist
1603	<i>PASS CODE</i>	Pääsukood.	358	
1604	<i>FAULT RESET SEL</i>	Vea tühistamise allikas 0 = muunduri nupud (<i>keypad</i>)	0 / 7	välise stopp-käsu abil. <i>D11 = D12</i>
1607	<i>PARAM SAVE</i>	Parameetrite väärtused salvestatakse püsivalt	1	1 - > 0: Salvestatud
99	<i>START-UP DATA</i>	Parameetrikombinatsiooni salvestamine ja lugemine		
9902	<i>APPLIC MACRO</i>	Eelseadistatud parameetrikombinatsioonid - <i>USER S1 SAVE</i>	-1	seadete salvestamine kasutajale 1
9902	<i>APPLIC MACRO</i>	Eelseadistatud parameetrikombinatsioonid - <i>USER S1 LOAD</i>	0	kasutaja 1 seadete valik

Eelnevates tabelites toodud väärtuste omistamisega vastavatele sagedusmuunduri parameetritele programmeeritakse sagedusmuunduri sisendid, väljundid ja töörežiimid vastavusse juhtimissüsteemi ülesehitusega. Mootori seadete määramine tagab sobiliku kiiruse ning elektrilised karakteristikud ohutuks katsestendi käitamiseks.

4. KAABLIID JA KILBIKOMPONENDID

Selles peatükis valitakse vajalikud kaablid, kilbikomponendid, automaatkaitseülilid ning toiteplokk kontrolleriile. Kilbi sisendil peab olema pealüliti, mis katkestab toite kogu ülejäänud süsteemis. Automaatkaitseüliliteid vajavad sagedusmuundur, kontrolleri toiteplokk ning pistikupesa kilbis.

ABB ACS350 sagedusmuunduri kasutusjuhendi järgi valitakse sellele sobiv kaitseüliti ja kaablid muunduri toiteks ning mootorini. Soovituslik faasijuhtme ning ka maandussoone ristlõikepindala kolmefaasilise *RO* gabariidiga muunduri toiteks on $2,5 \text{ mm}^2$ ning automaatkaitseüliti *C10*. Mootori toitekaabel muundurist peaks raadiohäiringute vältimiseks olema 360° varjestatud ning sümmeetrilise paigutusega juhtme ristlõikepindalaga $0,75 \text{ mm}^2$. [12, pp. 32, 294]

Juhtimiskaabliteks on analoogsignaalide puhul parimad topeltvarjega keerutatud soonepaaridega kaablid, näiteks *JAMAK*, digitaalsignaalide puhul piisab äärmisel juhul ühekordsest varjest [12, pp. 34, 35]. Kuna käsitletavas juhtimissüsteemis on kasutusel nii analoog- kui digitaalsignaalid, siis kindel on kasutada üht tüüpi parimate omadustega kaablit ning esteetika ja hea montaaži tava huvides vaid üht pigem liigsete soontega kaablit, kui mitut peenemat automaatikakilbi ja juhtpuldi ning kilbi ja sagedusmuunduri vahele. Sobiv valik on *Draka JAMAK ARM 8 x (2+1) x 0,5* keerutatud ja varjestatud, nummerdatud ning maandatud juhtme paaridega kaabel [13].

Lõpülilitel ja üldiselt ka pöörlemisanduritel on kaabel tootja poolt ühendatud. Andurite kaablite paremaks kinnitamiseks stendile on hea lahendus nende peitmine *HEPCO* karkassisoontesse ning katmine soonekatetega, tootekood *1-242-1037* [14, p. 6].

4.1. Kilpide valik komponentidele

Juhendaja soovist katsestendi olemasolevat suurt halli metallkasti asendada väiksema ning nägusamaga, valiti komponentidele minimaalselt vajamineva ruumi järgi läbipaistva kaanega ümaranurgalised plastkilbid. Jõukilp eraldi *DIN*-mõõdus piluga vahekatteplaadiga ning kontrolleri kõrgema profiili tõttu automaatikakilp ilma selleta. Näitena minimaalsetest kilbi mõõtudest kasutatakse *Hensel Mi* plastkilpide mõõte ja jooniseid [15].

Sagedusmuunduri paigaldamiseks kilpidest välja, on soovitatav kasutada *IP*-astme ja turvalisuse tõstmiseks seinakinnituseks mõeldud katet *MULI-RI Wall Mount Cover* [16]. Kilpide ja muunduri paigaldamiseks olemasoleva kilbi asemele alumiiniumkarkassidele saab kasutada näiteks standardse mõõduga (800 x 600) mm metallkilbi põhjaplaati. Võimalik paigutus näidatud LISA 2-s.

4.2. Juhtimispuldi valik

Käsijuhtimise idee – operaator saab valida käsi- ja arvutijuhtimise vahel ning liugurile anda liikumiskäsu valitud suunas ja kiirusega.

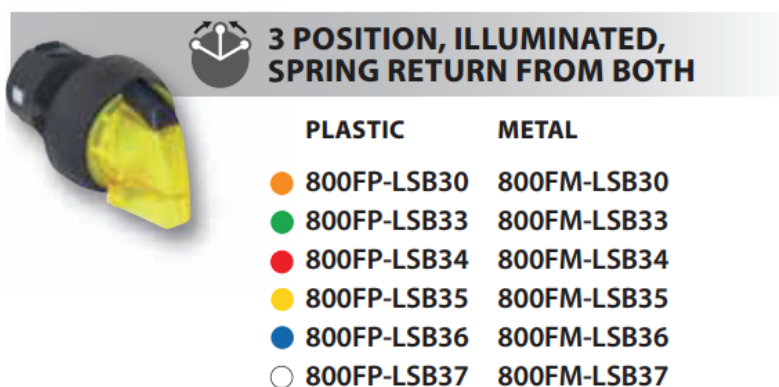
Puldil peab olema pöördlüüti käsiaseendi, autoaseendi ja keskmises asendis puldi toitekatkestuse valikuks; tagastuv neutraalasendiga pöördlüüti vasakule ja paremale liikumise tööloa andmiseks ning potentsiomeeter kiiruse valimiseks. Lisaks indikatsioonituled: kontrolleri töövalmis, muunduri töösignaal ning viimaks fikseeruv punane avariistopp lüüti. Kuna tööstuslikud puldid valmistatakse erilahendusena, ei saa loota täpselt sobiva valmistoote olemasolule ning selleks tuleb sobiv lahendus projekteerida. Tabelis 4.2.1. on toodud tööstuslike juhtnuppude valiku analüüs.

Tabel 4.2.1. Juhtnuppude valiku analüüs

Puldi juhtnuppude ava mõõt	Eelised	Puudused
< 16 mm	Kompaktsed.	<ul style="list-style-type: none"> • Jooteühendused • Avariistopplüütid suurema mõõduga.
16 mm	Klemm- või jooteühendustega.	<ul style="list-style-type: none"> • Pöördlüütid tuledeta • Eeldab eraldi indikaatorlampe • Disain vananenud.
22 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Kõige levinumad, laia toote- ja disainivalikuga; • Klemmühendustega; • Pooluste arvu laiendatavus; • Modulaarsed karbid vastavalt soovitud lülitite kogusele. 	Kompromiss juhtpuldi kompaktsuse arvelt.
Suuremad	Ei ole otstarbekas	

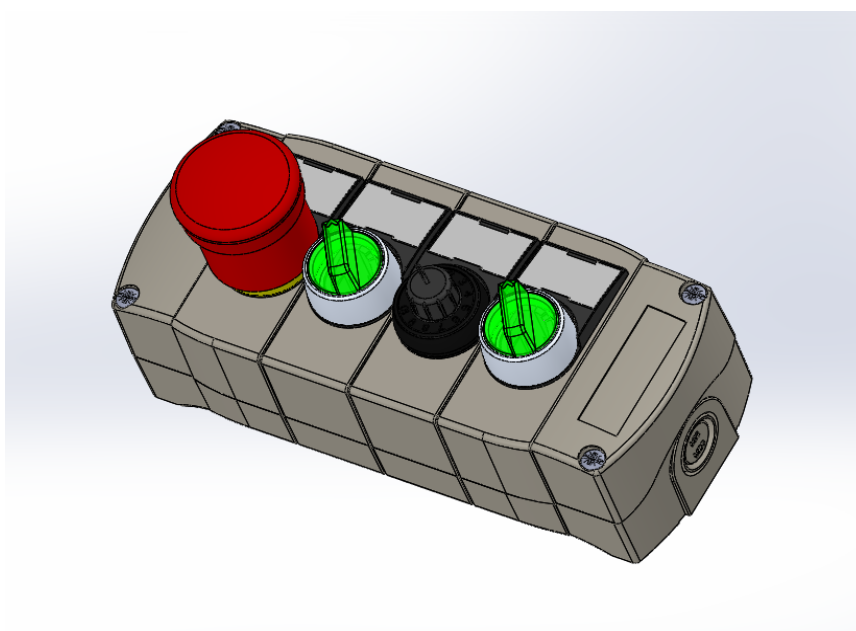
Standardsetest tööstuskomponentidest on levinumad kilbi uksele või juhtpaneelile pressitavasse 22 mm läbimõõduga avasse paigaldatavad tuled ja lüütid. Nendest kaasaegse ja nägusa välimusega on kirkad lüütid integreeritud *LED*- tulega. Seel 4.2.1. on näidatud vedrutagastuv

juhtnupp, mis sobiks käsijuhtimises suuna valikuks. Indikatsioonideks kasutatakse pöördlülititesse integreeritud tulesid,

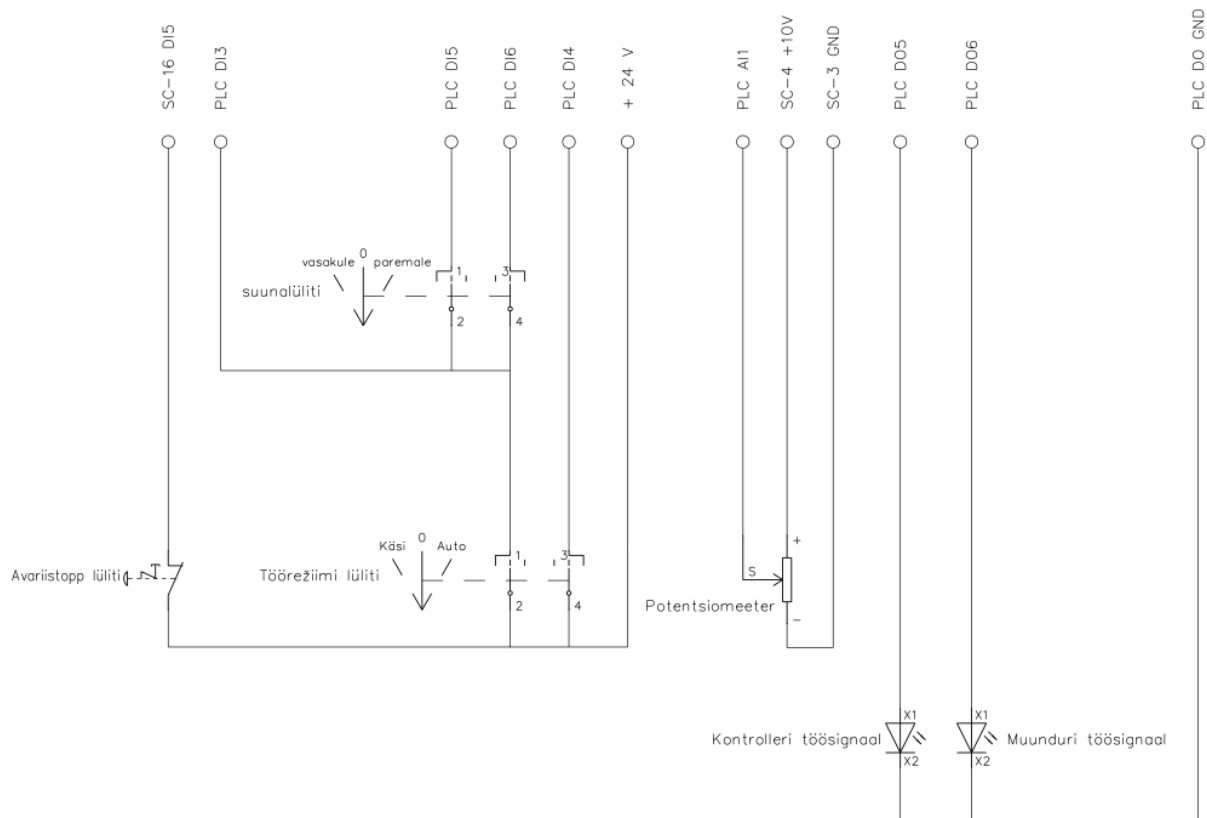


Sele 4.2.1. Allen Bradley vedrutagastuv juhtnupp värvivalikuga [17, p. 7]

Juhtpuldiks sobib neljale lülitile mõeldud Allen Bradley plastkarp 800F-4P või muu tootja analoog, kuhu kinnituvad normaalselt suletud kontaktiga avariistopp lüliti 800FD-MT44X02; kirgas LED valgustuse ja kolme positsiooniga Käsi-0-Auto juhtseadme valiku nupp 800FP-LSM37, potentsiomeeter 800FP-POT ning kirgas LED valgustiga kolmepositsiooniline vedrutagastuv lüliti 800FP-LSB37 käsiasendi liikumissuuna valikuks. Lülitite kraele paigaldatakse sildiplaadid 800F-12WE100 funktsiooni ja asendite tähistamiseks, lisaks vajavad nupud adapterit 800F-ALP kontaktide ja tule paigaldamiseks. Selel 4.2.2. on näidatud vaade puldi koostu kolmemõõtmelisest mudelist ning selel 4.2.3. juhtimispuldi elektriline skeem.



Sele 4.2.2. Juhtimispuldi mudeli vaade.



Sele 4.2.3. Juhtimispuldi elektriline skeem

Puldi skeem on koostatud nii, et indikatsioonituled süttiksid vastava signaali korral sõltumata lülite asendist, et mitte varjata reaalselt olukorda. Suunalüliti saab toite vaid juhul, kui eelnevalt on valitud käsiasend töörežiimi lülilil. Tähistega *SC-x* on skeemil märgitud sagedusmuunduri juhtimisühendused, kus *x* tähistab vastava klemmi järjekorranumbrit. Kaablite koguse vähendamise eesmärgil kasutatakse puldil vaid üht kaablit juhtimiskilbini, millelt sagedusmuundurile suunduvad sooned ühendatakse kilbisiseselt sellesuunalise kaabliga.

Täpsed ja põhjalikud juhised komponentide paigaldamiseks on toodud vastava seadme kasutusjuhendis. Käsijuhtimispuldi kasutusjuhend on esitatud LISA 3-s ning juhtimissüsteemi komponentide passid LISA 4-s.

5. JÕUÜLEKANDE ANDMED JA ARVUTUSED

Mootori andmed nimiplaadilt:

Tootja ja tüüp:	<i>Neri Motori T56C4</i>	Nimivool:	0,50 A
Nimipinge:	400 V AC	Võimsus:	0,11 kW
Nominaalne			
Pöörlemissagedus:	1310 min ⁻¹		

Mootori andmed kataloogist [18, p. 80]:

Väändemoment:	$C_n = 0,80 \text{ Nm}$	$C_{max} = 1,84 \text{ Nm}$
Algvääne:	$C_a = 1,76 \text{ Nm}$	

Tiguülekande parameetrid:

Tootja ja tüüp: *HYDROMEC B030FB07COMB3* [19, p. 1_5]

Ülekandetegur: $i = 61$ Väändemoment: $M = 19 \text{ Nm}$

Liuguri rihmaratta maksimaalne pöörlemiskiirus arvutatakse seosest

$$n = \frac{N}{i} = \frac{1310}{61} = 21,48 \text{ p/min} \quad (5.1)$$

kus n – rihmaratta pöörlemiskiirus, min⁻¹

N – mootori nimikiirus, min⁻¹

i – reduktori ülekandetegur

Liuguri lineaarliikumise kiiruse leidmiseks kasutatakse seoseid

$$V = \omega \cdot R \quad (5.2)$$

ja
$$\omega = (n \cdot 2\pi)/60 \quad (5.3)$$

kus V – punkti lineaarliikumise kiirus ketta serval, mm/s

ω – nurkkiirus, rad/s

R – ketta (rihmaratta) raadius, 15,3 mm

Liuguri lineaarliikumise maksimaalne kiirus avaldub seoste (5.3) ja (5.2) põhjal avaldisest

$$V = \frac{n \cdot 2\pi \cdot R}{60} = \frac{21,48 \cdot 2\pi \cdot 15,3}{60} = 34,42 \text{ mm/s} \quad (5.4)$$

Ühe täispöördega liugurile antav siire avaldub rihmaratta ümbermõõdust $2\pi R = 2\pi \cdot 15,3 = 96,13$ mm. Seega pöörlemisanduri minimaalne pulsside arv täispöördele P_{min} leitakse

$$P_{min} = \frac{2\pi \cdot R}{\delta} \quad (5.5)$$

kus δ – minimaalne registreeritav liuguri siire, mm

Näiteks: Kui soovitud siirde registreerimise täpsus on $\delta = 0,1$ mm, siis pöörlemisanduri resolutsioon peaks ületama $P_{min} = 96,13/0,1 = 961,3$. Lähim standardarvuline pulsitiheus pöördele oleks 1000.

KOKKUVÕTE

Liugehõrdestendi juhtimise keskseks elemendiks on *ABB ACS350* sagedusmuundur, mis on ainus otseselt juhitud seade süsteemis. Lähtudes soovist vältida lahenduses olemasolevat releloogikat ning vajadusest registreerida reaalse liikumise kiirust olenemata käsi- või arvutijuhtimise viisist, otsustati kasutusele võtta kontrolleri, milles lahendada kõigi nii juhtimiskui tagasisidesignaali töötlemine programmiliselt. Kaasaegses protsessijuhtimises on vältimatu programmeeritava loogikakontrolleri kasutamine, kui on oluline sisend- ja väljundparameetrite omavahelise sõltuvuse analüüs ning sujuv määratletud reguleerimine.

Bakalaureusetöö esimeses peatükis püstitati koostatava juhtimissüsteemi tööpõhimõte. Vastavalt sellele määratleti sagedusmuunduri ja juhtpuldi juhtimisignaalid, mille alusel koostati kontrolleri piisav riistvaraline konfiguratsioon. Liikumisanduri valik põhines erinevate anduri tüüpide võrdlusel ja eesmärgikohasel integreeritavusel käsitletava liugehõrdestendiga. Sobivaimaks osutus liuguri rihmaratta võllile paigaldatav pöördkooder.

Eeldused kontrolleri valiku tegemiseks said juhtisignaalide määramisega täidetud. Lähtuvalt arvutiühenduse vajadusest ja kokku arvestatud sisenditest-väljunditest peeti sobivaks *WAGO ETHERNET TCP/IP 750* seeria modulaarne programmeeritav loogikakontroller oma laiendusvõimaluste, kompaktsed disaini ning väga hea hinna ja kvaliteedi suhte tõttu. Seejärel esitati juhtloogika põhimõttelise ülesehituse näide programmi koostamiseks kontrolleri jaoks.

Kolmandas peatükis koostatud sagedusmuunduri tehaseseadest erinevate parameetriväärtuste seadistamisega tagatakse seadme sobivus mootori omadustega ning kooskõla esimeses peatükis koostatud juhtisignaalidega. Bakalaureusetöö viimases osas kirjeldati komponentide paigutust katsestendile. Välja toodi käsijuhtimispuldi valiku ning selle projekteerimise põhimõtted. Lõpetuseks esitati mootori ja ülekanne nimiaandmed ning töös kasutatud arvutused.

Bakalaureusetöö maht ei võimaldanud liugehõrdestendi juhtimissüsteemi täielikult koos programmeerimise ja kasutajaliidesega lahendada. Tulenevalt sellest, et ka käsijuhtimine oli projekteeritud sõltuvaks kontrolleri juhtprogrammist, jäi koostatud lahendus poolikuks. Sellegi poolest esitati kõik muud olulised juhtimissüsteemi parameetrid, lahendati riistvaralised küsimused ja esitati põhimõttelise juhtprogrammi ülesehitus, mille eeskujul saaks koostada toimiva tarkvaralise lahenduse näiteks ainetöö raames. Liites selle käesoleva tööga, saaks kokku kõigile juhtimissüsteemile püstitatud ülesannetele vastava tervikliku lahenduse.

SUMMARY

The central and the only directly controllable element of the control system of sliding friction test rig in this case is an *ABB ACS350* asynchronous motor drive. To avoid using the currently built hard-wired logic and based on the need to collect actual speed data in the system, a controller was decided to use by which the processing of all control and feedback signals would be solved in a computer program. Utilization of programmable logic controllers is inevitable in modern process control, especially if it is intended to adjust and analyse the relation of input and output parameters.

The operation principle of the control system to be designed was established in the first chapter of this thesis. The control signals of the motor drive and hand control unit were put together accordingly and the sufficient hardware capabilities were determined from there. The selection of a motion sensor was based on comparing different types of sensors and their suitability to be integrated into the regarded sliding friction test rig. A rotary incremental encoder to be placed on the shaft of the slider pulley was chosen to be most fit for the task intended.

Following the definition of control signals the prerequisites of controller selection were met. Based on the need of PC-connectivity and the previously determined number of inputs and outputs, *WAGO ETHERNET TCP/IP 750-series* modular programmable logic controller was deemed suitable for its expansion capabilities, compact design and good value.

The accordance of the motor drive parameters to the control signals defined in the first chapter and proper motor operation can be achieved by configuring the drive parameters values different from factory settings as composed in chapter three. The installation of components to the test rig was described in the last part of the thesis and the principals the design of an appropriate hand control unit. Finally the nominal parameters of the motor and the transmission were brought out and also the calculation formulae used in the thesis.

The required volume of the thesis proved to be insufficient for compiling the complete solution for the control system of sliding friction test rig with programming and a computer interface. The solution offered in this thesis is therefore partial, due to hand operation being dependant on controller programming. In spite of that, all other control system parameters were described, hardware selection was completed and a theoretical algorithm for controller program was offered by the lines of which a working software solution could be made. By adding the latter to the solution offered in this thesis, a complete control system would be formed concluding all the objectives set for the control system of the sliding friction test rig.

KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- [1 ABB Global, [Võrgumaterjal]. Available:
] [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/7532c44d2abe431bc12578620045c2ba/\\$file/EN_TechnicalguideNo10_REVD.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/7532c44d2abe431bc12578620045c2ba/$file/EN_TechnicalguideNo10_REVD.pdf). [Kasutatud 18 05 2014].
- [2 ELFA, „Elfa Elektroonika,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] https://www.elfa.se/elfa3~ee_et/elfa/init.do?toc=18996&name=Andurid. [Kasutatud 19 05 2014].
- [3 WAGO, „Wago online catalog,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] https://eshop.wago.com/JPBC/0_5StartPage.jsp;jsessionid=51483FE2F271ED286E467C6F71BE75BE?supplierAID=750-637%2F000-002&catalogID=WAGO01&zone=7. [Kasutatud 18 05 2014].
- [4 SICK, „Incremental Encoders,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.mysick.com/PDF/Create.aspx?ProductID=71606&Culture=en-US>. [Kasutatud 19 05 2014].
- [5 WAGO, „WAGO Software,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <http://www.wago.us/products/software/overview/>. [Kasutatud 19 05 2014].
- [6 WAGO, „WAGO-I/O- SYSTEM 750,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] http://www.wago.com/wagoweb/documentation/750/eng_manu/system/m0750xxxx_xxxx_xxxx_0en.pdf. [Kasutatud 19 05 2014].
- [7 WAGO, „750-637 incremental encoder interface,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] https://eshop.wago.com/JPBC/singleview/getFile.hbc?fName=00221870_0.pdf&oFName=d07500637_00000000_0en.pdf. [Kasutatud 19 05 2014].

[8 WAGO, „2-channel analog input module 750-467,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] https://eshop.wago.com/JPBC/singleview/getFile.hbc?fName=00221624_0.pdf&oFName=d07500467_00000000_0en.pdf.

[9 WAGO, „2-channel analog output module 750-550,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] https://eshop.wago.com/JPBC/singleview/getFile.hbc?fName=00221756_0.pdf&oFName=d07500550_00000000_0en.pdf. [Kasutatud 19 05 2014].

[1 WAGO, „8-channel digital input module 750-1416,“ [Võrgumaterjal]. Available:
0] https://eshop.wago.com/JPBC/singleview/getFile.hbc?fName=00254448_0.pdf&oFName=m07501416_00000000_0en.pdf. [Kasutatud 19 05 2014].

[1 WAGO, „8-channel digital output module 750-1515,“ [Võrgumaterjal]. Available:
1] https://eshop.wago.com/JPBC/singleview/getFile.hbc?fName=00222107_0.pdf&oFName=d07501515_00000000_0en.pdf. [Kasutatud 19 05 2014].

[1 ABB Global, 30 07 2007. [Võrgumaterjal]. Available:
2] [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/2cf5b5aabb5777a9c125733d00407394/\\$file/en_acs350%20um_d.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/2cf5b5aabb5777a9c125733d00407394/$file/en_acs350%20um_d.pdf). [Kasutatud 18 05 2014].

[1 AS Draka Keila Cables, „JAMAK ARM,“ [Võrgumaterjal]. Available:
3] <http://www.drakakeila.ee/public/product/JAMAK%20ARM%20EST.pdf>. [Kasutatud 19 05 2014].

[1 HEPCO, „PDU2,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.hepcotion.com/en/view-pg-4>
4] 21-view-21. [Kasutatud 21 05 2014].

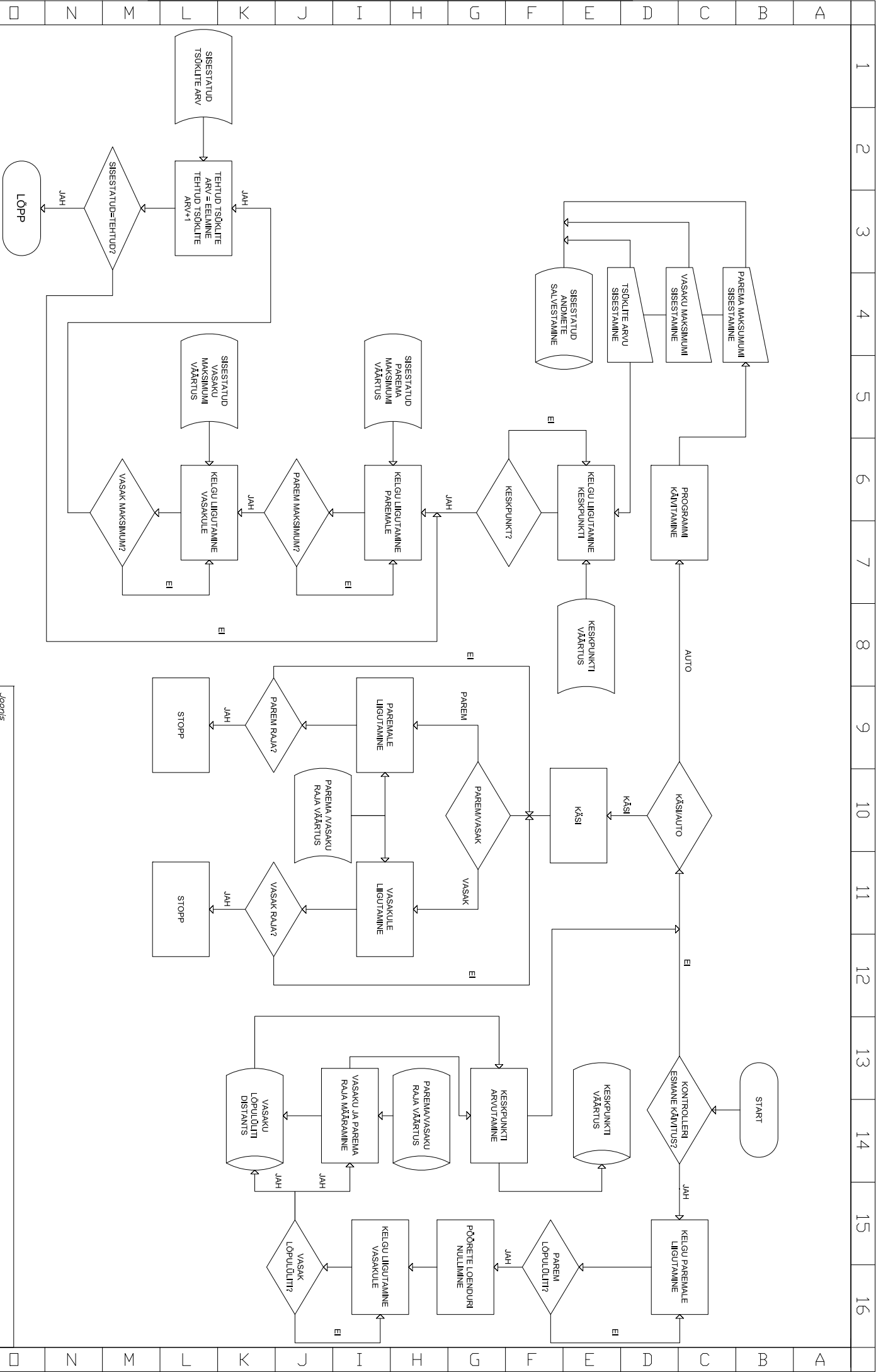
[1 Hensel, [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.hensel-](http://www.hensel-5)
5] [electric.de/en/produkte/index.php?IdTreeGroup=2155](http://www.hensel-electric.de/en/produkte/index.php?IdTreeGroup=2155). [Kasutatud 21 05 2014].

[1 ABB, „MUL1-R1,“ [Võrgumaterjal]. Available:
6] [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b1d04ef1c2b3040dc12576a80048e24f/\\$file/mul1_r1_reve_edited_all%20languages.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b1d04ef1c2b3040dc12576a80048e24f/$file/mul1_r1_reve_edited_all%20languages.pdf). [Kasutatud 24 04 2014].

[1 Rockwell Automation, [Võrgumaterjal]. Available:
7] http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/br/800f-br001_-en-p.pdf. [Kasutatud 18 05 2014].

[1 Neri Motori, „Neri Motori s.r.l,“ [Võrgumaterjal]. Available:
8] http://www.nerimotori.com/cgi-bin/pdf/cat_gen_mod.c.2011_rev.0_11_11.pdf.
[Kasutatud 18 05 2014].

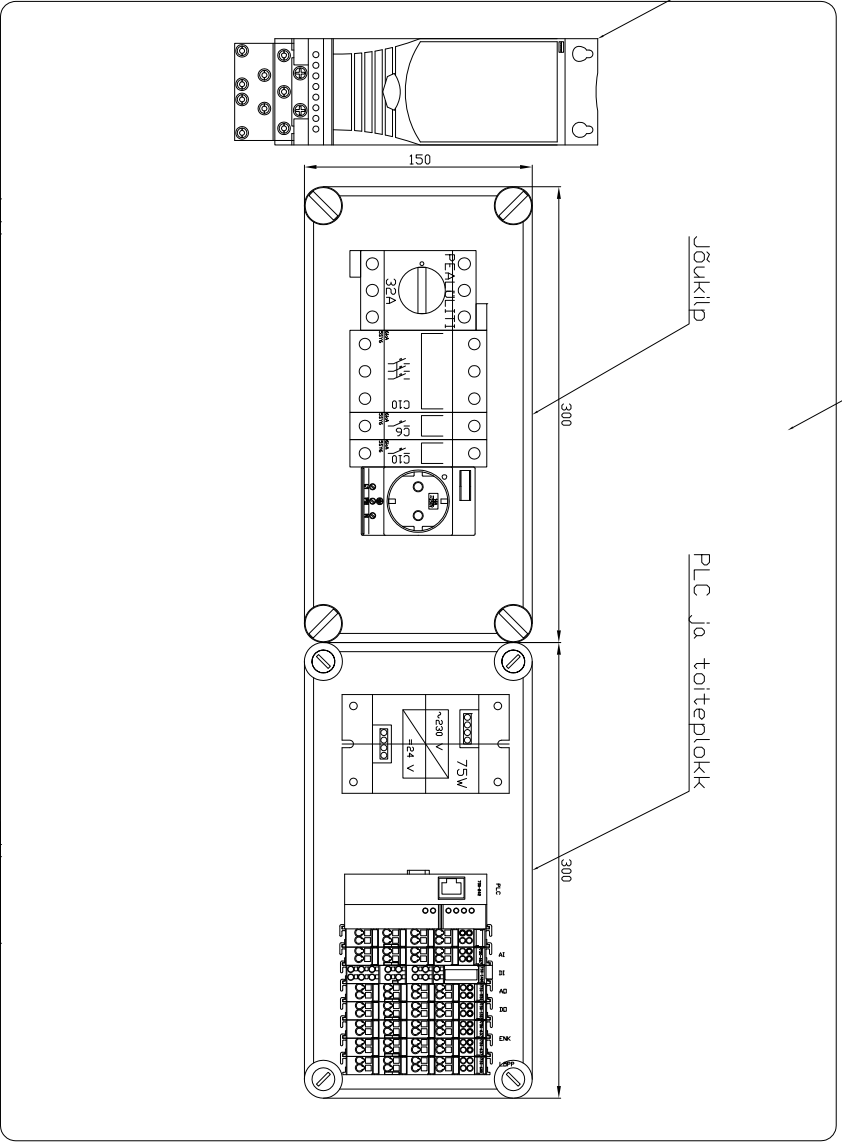
[1 HYDRO-MEC, „Hydromec Catalogue,“ 2011. [Võrgumaterjal]. Available:
9] http://www.nerimotori.com/cgi-bin/pdf/cat_gen_mod.c.2011_rev.0_11_11.pdf.
[Kasutatud 18 05 2014].



P	Q	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<p>Loonis</p> <p>LIIGEHÄRRDESTENDI JUHTIMISSüsteem - LISA 1</p> <p>Juhimisalgoritmi voodiagramm</p> <p>Loonistaja Aio Kuslap</p> <p>Loonise Kuupäev 15.05.14</p> <p>Mõõdud VABA</p> <p>Formaat A4</p> <p>Leht/Lehti 1 / 1</p>															

	P	Q	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
	P	Q	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A

Metallist aluspõhjalplaadid
standardmõõt 750 x 550



Sagedusmuundur

Jõuklip

PLC ja toiteplokk

Katsesteni aluslaud

Joonis
LIIGEHÄRRDESTENDI JUHTIMISSüsteem - LISA 2
Klipide ja muunduri paigutus
Loonestas
Aio Kuslap

Loomise kuupäev
15.05.14

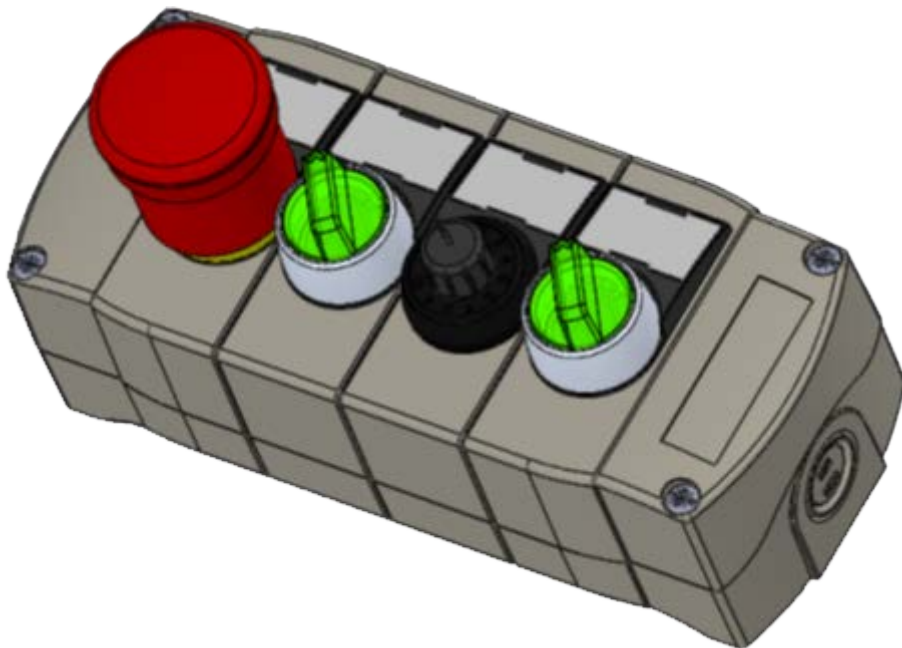
Õigustaja
VABA

Formaat
A4

Leht/Lehti
1 / 1

LIUGEHÕÕRDESTENDI JUHTIMISSÜSTEEM

JUHTPULDI KASUTUSJUHEND

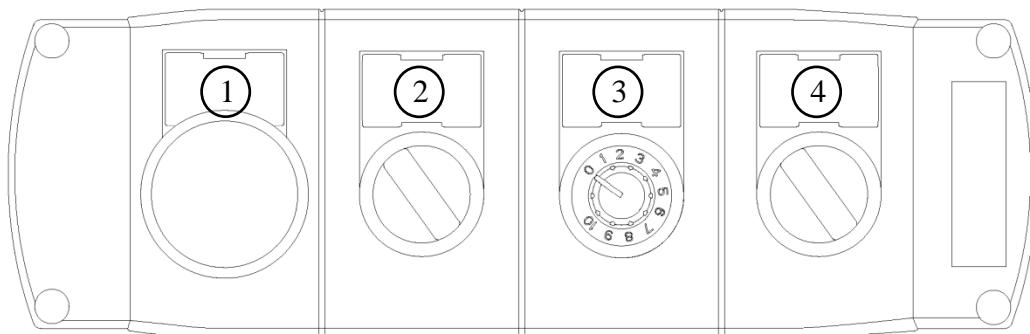


SISSEJUHATUS

Käesoleva kasutusjuhendi eesmärk on anda ülevaade kavandatava liugehõõrgestendi juhtimispuldi funktsioonidest. Antud süsteem on mõeldud eelkõige käsijuhtimisfunktsiooni võimaldamiseks. Kompaktne lahendus lubab kasutajal mugavalt valida režiime ning edastada käsklusi juhtkontrollerisse. Juhtimispuldi kasutusjuhendi eeldusteks on juhtimissignaale konfiguratsiooni ja sagedusmuunduri parameetrite seadistamine vastavalt bakalaureusetööle ning kontrolleri korrektne programmeerimine juhtprogrammi põhimõttelise algoritmi eeskujul.

1. PULDI EHITUS

Juhtpult koosneb *Allen Bradley 800F-4P* plastkarbist kuhu, kinnituvad normaalselt suletud kontaktiga avariistopp lüliti; kirkas *LED* valgustuse ja kolme positsiooniga automaatse või käsirežiimi valiku nupp, potentsiomeeter ning kirkas *LED* valgustiga kolmepositsiooniline vedrutagastav lüliti käsiasendi liikumissuuna valikuks. Lülitite kraedel on sildiplaadid *800F-12WE100* funktsiooni ja asendite tähistamiseks.



Sele 1.1. Juhtpuldi pealtvaade

Tabel 1.1. Juhtnuppude funktsioonid ja andmed

NUMBER	FUNKTSIOON	Tootja	Tootekood
1	Hädastopp	<i>Allen Bradley</i>	<i>800FD-MT44X02</i>
2	Automaatse või käsirežiimi valmine		<i>800FP-LSM37</i>
3	Potentsiomeeter		<i>800FP-POT</i>
4	Mehhanismi liigutamine vasakule või paremale		<i>800FP-LSB37</i>

2. PULDI TÖÖPÕHIMÖTTE SELGITUS

2.1. Hädastopp

Nupu vajutamisel üks kõik millisel ajahetkel peatatakse süsteemi liikumine. Signaal on ühendatud sagedusmuundurisse ning vastav sisend on programmeeritud normaalselt suletud olekusse – tänu sellele peatub süsteem ka juhul kui ühendus hädastoppnupu ning muunduri vahel peaks katkema.

Tegemist on fikseeruva lülitiga. Tagastamiseks on vaja nupu keeramine päripäeva. Süsteemi töö ei jätku automaatselt vaid edasised protsessid toimuvad vastava juhtnupu lülitamisel või kasutajaliidest kätse andmisel. Hädastoppnupu signaali toimumise aeg fikseeritakse kontrolleriis ning salvestatakse logisse.

2.2. Automaatrežiim / käsirežiim

Nupuga on võimalik aktiveerida käsijuhtimise režiim. Keerates pöördlülitit vastavasse asendisse peatatakse kontrolleri juhtprogrammid. Edasine mehhanismi liigutamine on võimalik vaid puldi abi. Automaatses režiimis on tarvilik juhtparameetrite sisestamine kasutajaliidest.

2.3. Potentsiomeeter

Pööratav nupp võimaldab käsijuhtimise režiimis reguleerida sujuvalt mehhanismi liikumise kiirust. Vastupäeva keerates süsteem aeglustub, päripäeva kiireneb.

2.4. Vasakule / paremale

Kolmeasendiline vedrutagastuv juhtnupp lubab režiimi valimise lülitit käsiasendis liigutada stendi mehhanismi soovitud suunas potentsiomeetriga valitud kiirusel. Nupu vabastamisel tagastub see null-asendisse ning süsteem peatub.

3. JUHTPULDI TULEDE OLEKUD

3.1. Automaatse / käsirežiimi lüliti

Kui puldi automaatse või käsirežiimi lüliti on kummasegi positsiooni sisse lülitatud ja kontroller on töövalmis, süttib LED- indikaator nimetatud lülitis.

3.2. Vasakule / paremale

Kui sagedusmuundurile antakse töökäsk ning süsteemis puuduvad vastuolud annab sagedusmuundur juhtpuldile tagasisidena oleku indikatsiooni mis süttib lülitis *LED* indikaator.