

# TAL TECH

6

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
EESTI MEREAKADEEMIA  
Meremajanduse keskus

Janis Lõhmus

## **Alunaut A7 FRB RIB lüliti-paneeli koostamine ja paneeli juhtimiseks vajaliku PLC programmi kirjutamine**

Lõputöö

Juhendaja: MSc, Kaarel Koppel

Kuressaare, 2021

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõikidele teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Janis Lõhmus

.....

(allkirjastatud digitaalselt, 23.05.2021)

Üliõpilase kood: 178758SDSR

Üliõpilase e-posti aadress: Janis\_Lohmus@hotmail.com

Juhendaja MSc, Kaarel Koppel:

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: /tiitel, ees- ja perekonnanimi/

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

## Sisukord

Annotatsioon.....	4
Lühendite ja sümbolite loetelu .....	4
Sissejuhatus .....	6
1 A7 RIB FRB lühituvustus .....	8
2 Sisendseadmed .....	10
3 Väljundseadmed .....	12
4 PLC kontrolleri ja vajalike komponentide valik .....	14
4.1 PLC kontrolleri .....	14
4.2 PLC kontrolleri poolt juhitavad moodulid.....	15
4.3 Seadmete juhtimiseks vajalikud lisareeled .....	21
5 Programmeerimiseks kasutatava keele valik.....	23
6 Lülitipaneel ja PLC programm .....	25
7 PLC programmi ja lülitipaneeli katsetamine .....	32
Kokkuvõte .....	36
Summary.....	37
Viidatud allikad .....	38
Lisa 1 Elektriskeem .....	40
Lisa 2 Seadmete nimekiri ja parameetrid .....	43
Lisa 3 Lülitipaneeli tööpõhimõtted .....	45
Lisa 4 Elemendid .....	54

## **Annotatsioon**

Lõputöö eesmärk on ettevõtte Alunaut projekti A7 FRB raames koostada lülitipaneel ja luua selle juhtimiseks vastav programm. Paneeli juhtimiseks peab lähtudes kliendi nõudest kasutama PLC kontrollereid ja vastav võimekus ettevõttes varasemalt puudub. Eesmärgiks võeti probleem lahendada ja koostada antud teemal lõputöö, mis annab sissejuhatuses välja toodud probleemidest ja nendele leitud lahendustest ülevaate. Paraku lükkus esimese väikelaeva valmimine edasi maikuu asemel augustikuuksse. Tekkinud olukorra põhjus oli Covid-19 pandeemia poolt põhjustatud seadmete ja materjalide tarne raskused. Seetõttu ei saa programmi väikelaeva peal katsetada ja programmi katsetamine toimub selleks valmistatud lülitipaneeliga Alunaut OÜ tootmishoones.

## Lühendite ja sümbolite loetelu

PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> Programmeeritav loogikakontroller
ABS	<i>America Bureau of shipping</i>
DNV GL	Det Norske Veritas, Germanischer Lloyd
LR	Lloyds Register
NO	<i>Normally open</i> Tavaolekus avatud
NC	<i>Normally closed</i> Tavaolekus suletud
RIB	<i>Rigid-inflatable boat</i> Jäiga põhjaga paat, parrastel täispuhutav vendrivöö
RTD	<i>Resistance temperature detector</i> Takistustermomeeter
A	<i>Current</i> Voolu mõõtühik (amper)
VDC	<i>Volts of direct current</i> Vahelduvvool
VAC	<i>Volts of alternating current</i> Alalisvool Pinge mõõtühik (volt)
SOLAS	<i>Safety of Life at Sea</i> Rahvusvaheline mereohutuse konvensioon
DI	<i>Digital input</i> Digitaalne sisend
DO	<i>Digital output</i> Digitaalne väljund
ms	Millisecond Millisekund

## Sissejuhatus

Lõputöö valmib ettevõttes Alunaut OÜ, mis tegeleb väikelaevade projekteerimise, ehitamise ja remondiga. Lõputöö teema lülitipaneeliga laeva elektriseadmete (udupasun, navigatsioonituled, mootoriruumi valgustid, pilsipump jne.) juhtimine läbi PLC kontrolleri valiti, sest selle alane teave ja eelnev kasutamise kogemus ettevõttes Alunaut puudus. Teema on huvitav ja erinevate kontrollritega seadmete juhtimine on kui mitte juba meie olevik, siis kindlasti meie tulevik.

Ettevõtte põhitoodanguks on väikelaevad pikkusega kuni 15 meetrit. Müüakse nii valmistoodangut kui ka kliendi soovist lähtuvalt eritellimusel valminud väikelaevu. Laevade korpused valmistatakse alumiiniumist. Suuremad kere detailid tellitakse laserlõikusest ettevõttest väljastpoolt, väiksemad detailid valmistatakse rootorfreesiga kohapeal. Nii kerede keevitamine, erinevad metallitööd kui ka mehaanika- ja elektritööd tehakse kõik ühes suures hallis. Enamasti toimuvad kõik väikelaevade ehitamise ja koostamise etapid kohapeal, alustades disainist ja lõpetades erinevate seadmete paigaldamise ja ühendamise. Erandiks on tööd, mille puhul puudub ettevõttes kompetents näiteks täispuhutavad vendrid RIB tüüpi paatidele. Lõputöö keskendub ühe sellise paadi juhikonsoolil asuva lülitipaneeli juhtimisele programmeeritava loogikakontrolleri abil. Selle abil saab ettevõttesse vastava kompetentsi, mis aitab kulusid kokku hoida ja loob võimalikke innovaatilisi lahendusi edaspidiste projektide tarbeks.

Laeva lülitipaneelid komplekteeritakse ja toodetakse harilikult Alunaut OÜ-s kohapeal. Lülitipaneelides kasutatakse Schneideri 10 A pöördlüliteid, millele lisatakse vastavalt vajadusele NO- või NC tüüpi kontaktorid. Lülitatavad seadmed ühendatakse otse lüliti taha, mis on siiani on olnud võimalik kahel põhjusel:

1. Alunaut OÜ poolt toodetud väikelaevades kasutatakse enamasti tarbijaid, mille voolutarve jääb alla 10 ampri.
2. Seadmete sisse ja välja lülitamiseks peavad lülitid lülitite taga asuvad kontaktori kontaktid mehaaniliselt, kas ühendama või lahutama. Olenevalt sellest kas soovitakse seadet sisse või välja lülitada. Viitega sisse/välja lülitamise vajadus varasemalt puudus.

Hollandi sõjaväele toodetavatele Alunaut A7 FRB puhul seab klient lülitipaneelile ette nõudmisi, mida varem toodetud lülitipaneelid täita ei suuda. Lubatud on kasutada ainult tagastuvaid surunuppe, mis lisaks seadmete sisse ja välja lülitamisele peavad täitma veel erinevaid funktsioone (viitega seadme välja lülitamine, pärast lüliti vabastamist seadmel toitepinget peal hoidma veel 60 sek. jne). Vahele tuleb ühendada PLC kontrolleri ja valmis kirjutada programm, mille abil lülitipaneel ja lülitatavad seadmed toimivad nii nagu vaja. Lõputöö eesmärk on luua programm ja

leida komponendid, mille abil juhtida konsoolil asuvat lülitipaneeli. Nõuded kuidas lülitused peavad toimuma on hanke tingimustes täpselt kindlaks määratud.

Eesmärgi teostamiseks tuleb:

- Määrata sisendid ja väljundid, mida on vaja PLC kontrolleri abil juhtida.
- Lähtudes eelnevast valida PLC juhtimiseks vajalik riistvara.
- Valida kasutatav PLC programmeerimise keskkond ja programmeerimiskeel.
- Lülitipaneeli süsteemi koostamine ning seda juhtiva PLC kontrolleri programmeerimine.
- Süsteemi katsetamine.

Lõputöös lülitipaneelile esitatud nõuded ja väikelaeva tehnilised parameetrid ning kirjeldus on saadud Alunaut OÜ ja Hollandi sõjaväe poolt esitatud hankedokumentidest.

## 1 A7 RIB FRB lühitutvustus



Joonis 1 A7 RIB FRB

### Väikelaeva peamised parameetrid

Pikkus 7,0 m

Laius 2,55 m

Kõrgus treileril < 4 m

Veeväljasurve. 2000 kg

Maksimum kiirus 32 sõlme

Sõiduaeg >4+ tundi

Sõidu kaugus >75+ nm

Klass LSA by LR

A7 FRB RIB (vt Joonis 1) on alumiiniumist korpusega RHIB tüüpi väikelaev. Laev on varustatud Volvo Penta D3-220 SOLAS (LSA) diisel sisemootoriga, jugakäituriks Hamilton HJ274. RIB ehitatakse Lloyd's Register klassi alla.



Väikelaev on projekteeritud ja ehitatakse ettevõttes Alunaut OÜ allhanke korras hollandi sõjaväe tarbeks. A7 RIB-e valmistatakse kokku 19 eksemplari, neist 13 lähevad sõjalaevade peale ja 6 autoveotreileritega transportimiseks.

Elektripaigaldis peab vastama järgmistele standarditele:

- IEC 60092 Elektripaigaldised laevas (*Electrical installations on ships*)
- NEN 50110 Elektrisüsteemide ja -seadmetega opereerimine (*Operation of electrical installations*).
- NEN 3140 Elektrisüsteemide ja -seadmetega opereerimine - madalpinge (*Operating electrical installations – low voltage*).

Laevaga peab saama opereerida merevees temperatuuril  $-2^{\circ}\text{C}$ ... $40^{\circ}\text{C}$  ja ilmastikutingimustes, kus tuul puhub tugevusega kuni 8 palli Beauforti skaala järgi ja lainekõrgus ulatub 6 meetrini.

Beauforti skaala on Briti hüdrograafi Francis Beauforti koostatud skaala vahemikus 0...12 tuule tugevuse hindamiseks, kus tuulevaikus on 0 ja orkaan on 12. Tuul tugevusega 8 palli võrdub tormise tuulega.[1]

## 2 Sisendseadmed

Enne PLC riistvara valiku teostamist tuleb määrata, mis seadmed on kontrolleri sisenditeks ja väljunditeks. Selleks tuleb seadmed kaardistada, leida nende olulised parameetrid ja andmetest lähtuvalt valida optimaalseim PLC riistvara. PLC kontrolleri sisenditeks on juhtnuppudega lülitipaneel, pilsivee taseme andurid, kütuseandur ja erinevad mootori küljes asuvad andurid.

### Lülitipaneel

Lülitipaneel on Alunaut OÜ oma toodang. Paneelis kasutatavate lülitite tööpinge on 24 VDC ja voolu tarbivad nad sisseehitatud valgustitega 7 mA. Lülitite poolt maksimaalne lülitatav pinge on 0,2 mA. Lülititeks on tagastuvad surunupud ja tavaolekus on kontaktid lahti ühendatud (*NO*). Lülitipaneelil asuvad 15 sisendiks kasutatavat lülitit:

- *Engine start* (mootori käivitamine)
- *Engine stop* (mootori seiskamine)
- *Accept alarm* (alarmide aktsepteerimine)
- *Alarm test* (alarmide testimine)
- *Black out* (armatuuri- ja lülitipaneeli valgustusseadmete välja lülitamine)
- *Window heater* (klaasisoojenduse sisse/välja lülitamine)
- *Bilge pump* (pilsipumba sisse/välja lülitamine pilsivee ära juhtimiseks)
- *ER. lights* (mootoriruumi valgustuse lülitamine)
- *Nav. lights* (navigatsiooni tulede sisse/välja lülitamine)
- *Horn* (pasuna sisse/välja lülitamine)
- *Battery SB* (tüürpoordi poolse aku sisse/välja lülitamine)
- *Battery PS* (pakpoordi poolse aku sisse/välja lülitamine)
- *Standby engine* (mootori süüte sisse/välja lülitamine)
- *Clutch flush* (jugakäituri läbipuhumise funktsiooni sisse/välja lülitamine)
- *Clutch forward* (jugakäituri ja käigukasti vahelise siduri sisse/välja lülitamine)

### Pilsivee taseme andur

Taseme anduri tootja on *Whale*, mudel BE003. Pilsivee taseme andur asub paadi keskosas. Andur töötab nii 12 VDC kui ka 24 VDC pingega kahe sisse ehitatud väljatransistori abil, sisemine voolu tarbimine on 0,008 A ning lisaks on anduril manuaalne testimise funktsioon. Selleks tuleb alla vajutada anduril asetsevad 2 testnuppu. BE003 nimivool on 20 A, andurit saab kasutada

pilsipumba juhtimiseks ilma releeta. Andur aktiveerituna annab sisendpinge edasi väljundpingena, mis võib olla kas 12 VDC või 24 VDC.[2]

### **Kütuseandur**

Kütuseanduriks kasutatakse mootoritootja Volvo poolt pakutavat andurit. Andur on reostaadiga andur, mille üks klemm (-) on ühendatud laeva elektrisüsteemi miinus klemmiga (0 V) ja teine klemm (S) annab edasi reostaadi poolt genereeritud takistust vahemikus 0...180  $\Omega$  . Takistus 0  $\Omega$  on ujuki kõige ülemises asendis ja 180  $\Omega$  kõige alumises asendis.[3]

### **Volvo mootori gaasiklapi asendi andur**

Volvo gaasiklapi asendi anduri ülesanne on edastada gaasihoova asend takistuse signaali abil. Anduri tootjaks on BOSCH, nimipingega 5 VDC ja oma ehituselt on ta 3 juhtmega potentsiomeeter. Mõõdetava takistuse vahemik 710...1380 $\Omega$ . Anduri poolt edastatav takistus muundatakse PLC kontrolleriiga Volvo mootori ajule sobilikuks signaaliks vahemikus 0...5 VDC.[3]

### **3 Väljundseadmed**

Väljundseadmeteks on seadmed, mille juhtimiseks kasutatakse PLC kontrolleri, Nendeks seadmeteks on: udupasun, pealülitid, Volvo mootori starter, käigukasti küljes olevad solenoidid, valgustus jne. Väljundseadmete kirjeldused on toodud alljärgnevalt:

#### **Pealülitid**

Pealülitid on kaugjuhitavad ühe poolusega (1P) lülitid. Tellija poolt oli nõutud, et lüliteid peab saama, kas kumbagi eraldi või mõlemat koos sisse lülitada. Pealülitiks kasutatakse Bluesea PN7700 lülitit, mis ümberlülitamise hetkel tarbib lüliti maksimaalselt voolu kuni 7 A. Seda maksimaalselt 20 ms jooksul, tavaolekus lüliti voolu ei tarbi. Maksimaalne lubatud vool mida lüliti pikaajaliselt vastu peab on 500 A, lühiajaliselt kuni 700 A.[4]

#### **Udupasun**

Udupasunaks on Marco Hurricane pasun. Voolu tarbib pasun 17 A ja töötab pingel 12 VDC. Välja antav heli valjus on 120 dB. Heli võimendamiseks on pasunale sisse ehitatud õhukompressor ja heli tekitamiseks juhitakse kokku surutud õhk trompetisse.[5]

#### **Navigatsiooni tuled**

Navigatsiooni tuled on Hella Naviled Pro seeria tuled. Navigatsiooni tuled töötavad pingel vahemikus 9...33 VDC, antud paadi puhul on toitepingeks 12 VDC. Voolu tarbimine on nendel tuledel kokku < 0,36 mA( tüürpoordi signaaltuli <0,14 mA, pakpoordi signaaltuli <0,14 mA ja mastis asuv ringtuli <0,08 mA) ja maksimaalne lubatud kaitse 5 A.[6]

#### **Mootoriruumi valgustus**

Mootoriruumi valgustamiseks kasutatakse Hella valgusteid. Valgustid töötavad 12 VDC toitepingega ja kogu võimsusega 20 vatti ning voolu tarbimine seega ca 1,7 A.[7]

#### **Pilsipump**

Pilsipump on Rulemate LP900S, mis tarbib voolu täisvõimsusel 7,5 A. Vajadus sellise pumba järgi tagas tellija nõue, et pump peab olema võimeline pumpama pilsivett võimsusega minimaalselt 40 liitrit minutis. Selle pumba jõudluseks on 45 liitrit minutis, nimipinge on pumbal 12 VDC.[8]

## **Klaasisoojendus**

Klaasisoojendusena kasutatakse spetsiaalset läbipaistvat kilet, mille nimipinge on 12 VDC ja võimsus 40 vatti.

## **Alarntuled lüliti paneelis**

Alarntuled on lüliti paneelis 3 erineva nimipingega:

- 24 VDC (kütuse taseme- ja pilsanduri alarntuli),
- 115 VAC (kaivool ühendatud- ja mootori eelsoojendi märgutuli).

## **Volvo käigukasti solenoidid**

Volvo käigukasti solenoididega juhitakse käigukasti väljundvõlli pöörlemissuunda. Sisendpinge on 12 VDC ja oma olemuselt on solenoidklapp nagu lüliti, kas sees või väljas. Solenoide juhib PLC kontrolleri läbi sisend lülite „Clutch forward“ ja „Clutch flush.“ Solenoidklapp tarbib voolu 1,65 A.

## **Volvo AKI moodul**

Volvo AKI (*Analogue Key Interface*) moodul on loodud selleks, et ei peaks läbi lõikama mootori ja süüteluku vahelist juhtmekimpu kui soovitakse tehase süütelukk asendada mingi muu seadmetega (lülitid, erinevate tootjate süütelukud jne.), vastasel juhul kaotab mootorile antav tehasepoolne garantii kehtivuse. Moodul ühendatakse süüteluku asemele vastavasse mootorijuhtmestikku kuuluvasse pistikupesasse. Volvo AKI töötab 12 VDC toitepingega ja väljundsignaalideks mootori juhtmoodulile on:

- Süüde sisse (+15)
- Starteri järgi ühendamine
- Mootori seiskamine.[3]

## 4 PLC kontrolleri ja vajalike komponentide valik

Pakutavate kontrolleri vahel jäid valikusse Siemensi ja Wago kontrolleri. Valikul osutus määravaks varasem kogemus. Wago programmeerimine põhineb CodeSys keskkonnal, mis on laialdaselt kasutusel, seega on muu tootja riistvaraga ühendamine lihtne. Samas Siemens programmeerimiskeskkond TIA on Siemensi oma suletud süsteem. Wago 750-seeriasse kuuluvad spetsiaalselt merel laevadel kasutamiseks mõeldud kontrolleri ja moodulid. Enamus Wago 750-seeria komponentidest on ABS, DNV GL ja LR-i poolt heaks kiidetud. Wago kontrolleri miinuseks antud projekti juures on nimipinge 24 VDC. Alunaut A7 seadmed on valdavalt toitepingega 12 VDC, väikeste eranditega (kaldavoolu süsteem 115VAC ja mõningad navigatsiooniseadmed 24 VDC. Kõike seda arvesse võttes osutus valituks Wago kontrolleri. Wago kontrolleri ja moodulite valimisel lähtutakse sisend- ja väljundseadmete koondtabelist (vt Lisa 2).

### 4.1 PLC kontrolleri



Joonis 2 PFC-100 kontrolleri[9]

Lüliti paneeli poolt juhitud seadmete hulk on väike ja puudub vajadus väga võimsa kontrolleri järele ja valiti PFC-100 kontrolleri (vt Joonis 2). Valiku puhul oli määrav seadme kompaktsus ja loomulikult hind. Seadmel on kaks *etherneti* pesa, nende kaudu saab seadet programmeerida või ühendada teise kontrolleri. Lisaks on olemas *MicroSD* kaardi pesa, mille kaudu saab teha tarkvara uuendusi. Seadmel asuva DIP (*dual in-line package*) lüliti saab määrata seadme IP-aadressi. DIP lüliti on pakettlüliti, kus mehaaniliste lülititega juhatakse elektrilisi lüliteid.

Programmeerimine IEC 61131-3 kaudu:

- Programmeeritav e!cockpitist
- Ühendub otse Wago 750-seeria moodulitega

- Hooldusvaba

PFC-100 tähtsamad parameetrid:

- Protsessor Cortex A8, taktsagedusega 600 MHz
- Põhimälu (RAM) 256 MB
- Vahemälu (*flash*) 256 MB
- Programmimälu 10 MB
- Maksimaalne moodulite arv(ilma laiendita) 64
- Toitepinge 24 VDC
- Süsteemi poolt tarbitav maksimaalne vool 700 mA
- Lubatud temperatuur töötamisel 0...55°C
- Seadme kaitseaste IP20.[9]

## 4.2 PLC kontrolleri poolt juhitud moodulid

Moodulid kuuluvad Wago 750-seeriasse ja omavad erinevate laeva registrite heakskiitu. Moodulid on väga kompaktsed – laius 12 mm ja kinnituvad DIN lati külge. Moodulite valimisel lähtuti lülitavate seadmete karakteristikast ja lülitite olulisematest parameetritest:

- Sisend väljund seadme signaali tüüp
- Lülitatavate seadmete voolu tarbimine
- Lülitatav pinge

Moodulid tootavad alalisvoolu pingel 5 VDC, millega varustab neid kontrolleri mooduli küljel asuvate otse kontaktide kaudu. Kõikide moodulite kaitseaste on IP20. IP-kaitseaste (*Ingress Protection*) on IEC 60529 standardiga kindlaks määratud kaitseastme numbriline suurus, mis iseloomustab elektriseadme kaitseastet välismõjude eest. [10]

### Toitemoodul 24 VDC/10A (750-602)

Kontrolleri ja moodulite toide on eraldiseisev. Toitemooduli (vt Joonis 3) ülesandeks on varustada kõiki järgnevaid omavahel ühendatud mooduleid toitepingega. Seejuures tuleb silmas pidada, et mooduli nimivoolu 10 ampri ei tohi ületada. Kui selline olukord peaks tekkima, tuleb kasutada vahe toitemoodulit.

Mooduli parameetrid:

- Maksimaalne lubatud vool 10 A
- Rakenduspinge 24 VDC[11]



Joonis 3 toitemoodul 750-602[11]

### **16-kanaliga digitaal sisendmoodul; 24 VDC; 3ms (750-1405)**

Digitaalseid sisendeid Wago moodulil 750-1405 (vt Joonis 4) on kokku 15. Seega jääb veel üks varuks, mida saab ootamatute olukordade tekkimisel (viimasel hetkel lisanduv seade vms.) kasutada.



Joonis 4 16-kanaliga digitaalne sisendmoodul 750-1405[12]

Mooduli peamised parameetrid:

- Digitaalseid sisendeid (DI) 16
- Rakendus pinge 24 VDC
- Lülitatav poolus (+)
- Sisseehitatud lühise kaitse
- Lülitatav suurim lubatud voolu suurus 2,4 mA.[11]



### **16-kanaliga digitaal väljundmoodul; 24 VDC; 0.5 A (750-1504)**

Digitaalsete väljundite on moodulil (vt Joonis 5) kokku 16, kuid kõik neist käiku ei lähe ja mõni väljund jääb siiski reservi. Antud mooduli valiti, sest lubatud on 0,5 A kontakti kohta, mille abil saab signaallambid ühendada otse mooduli taha, ilma vahe releesid kasutamata. Antud väikelaeva puhul on konsoolis seadmete mahutamiseks saadaolev ruumala piiratud ja 16 kanaliga moodulid aitavad ruumi kokku hoida.



Joonis 5 16-kanaliga digitaalne väljundmoodul 750-1504[13]

Projekti jaoks olulised parameetrid:

- Digitaalsete väljundite (DO) 16
- Rakendus pingeline 24 VDC
- Lülitav suurim lubatud voolu suurus kontakti kohta 0,5 A.
- Lülitav poolus (+)
- Lühise kaitse[12]

### **4- kanaliga analoog sisenditega moodul RTD, seadistatav (750-450)**

Tegu on 4 kanaliga analoog sisend mooduliga (vt joonis 6), kuhu võib otse ühendada nii takistusel põhinevaid temperatuuriandureid ja potentsiomeetreid, mis võivad olla kahe-, kolme-, või nelja juhtmega. Antud projekti puhul on vaja ühendada mooduliga kahe juhtmega kütuseandur ja kolme juhtmega käigukangi asendi andur.



Joonis 6 4-kanaliga analoog sisendmoodul 750-450[14]

Olulised parameetrid:

- Saab ühendada korraga erinevaid analoog signaali edastavaid andureid. Iga andur ise kanalisse.
- Suur täpsus
- Voolu tarbimine 85 mA. [13]

### **2- kanaliga analoog väljundmoodul ( 750-550)**

750-550 on analoog moodul (vt joonis 7), mis edastab mootori juhtploki PLC kontrolleri saadud signaali vahemikus 0...10 VDC. Moodulit on vaja, et liiga kõrgete mootori pööretega ei muudetak스 käigukasti väljundvõlli pöörlemissuunda.

Vajalikud parameetrid:

- Signaali tüüp – pinge (V)
- Pinge signaali tüüp 0...10 VDC
- Voolu tarbimine 65 mA.[14]



Joonis 7 2-kanaliga analoog väljundmoodul 750-550[14]

### **8-kanaliga digitaal väljundmoodul; 12 VDC; 1 A (753-534)**

8 kanaliga väljundmoodulit (vt joonis 8) kasutatakse 12 VDC seadmete juhtimiseks. Nendeks seadmeteks on Volvo käigukasti solenoidklapid, pilsipump, udupasun, navigatsiooni tuled, mootoriruumi valgustus ja Volvo starter ja -süüteluku moodul.

Parameetrid:

- Juhitava pinge tüüp on kas 5 VDC või 12 VDC.
- Suurim lubatud pinge kanali kohta on 1 A.
- Mooduli voolu tarbimine 25 mA.
- Jõukontaktidele suurim lubatud vool on 10 A.



Joonis 8 8-kanaliga digitaal väljundmoodul (753-534) [15]

### **4-kanaliga digitaal sisendmoodul; 120/230 VAC (753-440)**

4 kanaliga digitaal sisendmoodul (vt Joonis 9) 120/230 VAC on vajalik kaivoolu- ja mootori eelsoojenduse märgutulede juhtimiseks. Tegemist on väljundmooduliga, mis tähendab, et eraldi 120 VAC toitemoodulit sinna ette vaja ei lähe.

Vajalikud parameetrid:

- Signaal pinge 120 VAC
- Voolu tarbimine 15 mA
- Jõukontaktidele suurim lubatud vool 10 A.[17]



Joonis 9 4-kanaliga sisendmoodul 120VAC (753-440)[17]

### **Toitemoodul; 24 V/5 ... 15 VDC (750-623)**

Toitemoodul (vt Joonis 10) on vajalik moodulile 753-534 vajaliku 12 VDC pinget tekitamiseks. Toitemoodul vajab eelprogrammeerimist, sest edastavat pinget saab reguleerida vahemikus 5...15 VDC.

Olulised parameetrid:

- Väljundvool 0.5 A
- Väljundpinge 5;8;10;12;15 VDC



Joonis 10 Toitemoodul 5...15VDC (750-623)

[16]

### **Lõpumoodul 750-600**

Kõige lõppu paigaldatakse alati lõpumoodul (Vt joonis 11). Mooduli eesmärk on sulgeda moodulite vahel olev andme edastuse ahel ja seeläbi tagada korrektne andmevoog.



Joonis 11 Lõpumoodul (750-600)[17]

### 4.3 Seadmete juhtimiseks vajalikud lisareleed

Kontrolleriga lülitatavate seadmete voolu tarbimine on enamjuhtudel suurem kui moodulite poolt lubatud nimivool ja seetõttu tuleb kasutada moodulite ja seadmete vahel releesid. Relee on elektriliselt juhitud lüliti, mis koosneb mähisest ja vähemalt ühest kontaktipaarist. Kui mähis pingestatakse tekib elektriväli, mille toimele kontaktid kas ühendatakse või lahutatakse teineteisest.

#### 4 kanaliga relee väljundmoodul (750-515)

Moodul 750-515 (vt Joonis 12) töötab toitepingega 24 VDC ja ümberlülituskontaktid on PLC-st elektriliselt isoleeritud. See tähendab, et relee kontaktidega saab lülitada pinget, mis erineb mooduli nimipingest. Moodulit kasutatakse kaugjuhitavate pealülitite sisse- ja välja lülitamiseks.



Joonis 12 4-kanaliga relee (750-515)[18]

Olulised parameetrid:

- Ümberlülitavad kontaktid on PLC-st isoleeritud
- Maksimaalne lülitatav pinge on 230 VAC ja 30 VDC
- Maksimaalne lubatud vool 2 amprit (A)
- Voolu tarbimine maksimaalselt 95 mA. [18]

#### Relee moodul nimipingega 12 VDC (788-311)

Releed kasutatakse navigatsiooni tulede, mootoriruumi valgustuse ja käigukasti solenoidide lülitamisel.

Olulised parameetrid:

- Nimivool 8 A
- Ümberlülitatavate kontaktidega

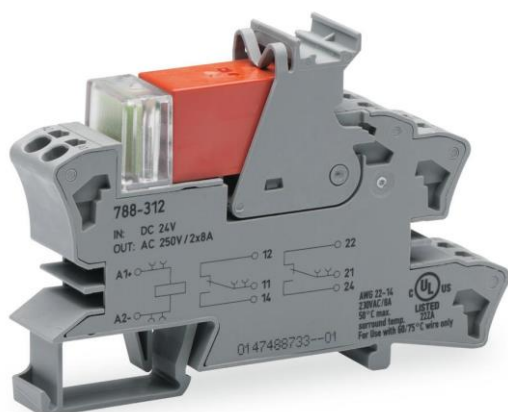
- Mähis ja kontaktid üksteisest isoleeritud.[19]

### Relee moodul nimipingega 24 VDC (788-312)

Releed kasutatakse klaasisoojenduse lülitamisel.

Olulised parameetrid:

- Lubatud suurim nimivool 8 A
- Ümberlülitatavate kontaktidega
- Mähis ja kontaktid üksteisest isoleeritud.[20]



Joonis 13 Relee moodul (788-312) [20]

### 24V/30A relee

Udupasunale on vaja võimsamat releed kui 16 amprit, sest tema maksimaalne voolu tarbimine on 18 A ja Wago nii võimsat releed ei paku. Valiti Kaconi 25 A relee[21], mille eeliseks on DIN-latil paigaldamise võimalus ja mähise toitepingest isoleeritud kontaktid.

## 5 Programmeerimiseks kasutatava keele valik

Wago kontrolleri programmeerimiseks e!cockpit (Wago poolt loodud tarkvara) keskkonnas on võimalik kasutada IEC 61131-3 standardile vastavaid programmeerimiskeeli. IEC 61131-3 standard tehti üldsusele avalikuks esmakordselt märtsis 1993. Standardit on uuendatud veel kaks korda, viimati aastal 2013, mis on ka hetkel kehtiv. Standardit järgivad peaaegu kõik suuremad PLC tootjad (Wago, Schneider, Siemens jne.). Standardi alla kuuluvad järgnevad programmeerimiskeeled:

- *Structured text* (ST)
- *Function Block Diagram* (FBD)
- *Ladder Diagram* (LD)
- *Instruction List* (IL)
- *Sequential Function Chart* (SFC)[22]

### **Structured text (ST)**

Struktureeritud tekst on kõrge tasemeline programmeerimiskeel, hea omandada inimestel, kellel on kogemusi C või C++ programmeerimiskeeltega. ST kõige suuremaks tugevuseks on aritmeetilised tehted, numbrite töötlemine ja struktureeritud andme tüübid. Redelloogikaga võrreldes on vabadust programmi kirjutamisel rohkem. Programmi sisendeid ja väljundeid juhitakse tekstipõhiste käskudega.[23]

### **Funktsiooni plokkskeem *Function Block Diagram* (FBD)**

FBD kuulub graafiliste programmeerimiskeelte hulka, sarnaselt redelloogikale ja FBD-le. Kõiki redelloogika elemente saab kasutada FBD-s. Signaali juhtimiseks kasutatakse loogilisi tehteid tegevaid funktsiooniplokke.[23]

### **Redel loogika *Ladder diagram* (LD)**

Loogikakontrollerite programmeerimine redelloogikaga on enim levinud viis maailmas. Selleks on 3 peamist põhjust:[23]

- Kasutusel olnud juba väga kaua.
- Programmeerimise keel on graafiline.
- Keelt on üsna lihtne omandada.

Valmis kirjutatud programmi on lihtne lugeda, sest ta baseerub traditsioonilistel elektriskeemidel (relee skeemidel). Üheks suureks plussiks on veel see, et enamuse loogika kontrollite tootjaid võimaldavad integreerida redelloogikasse ka teisi programmeerimiskeeli näiteks FBD ja ST.

Redelloogika puhul asetsevad sisendid alati vasakul ja väljundid paremal. Nende vahel on nii-öelda redelipulgad, mida mööda liigub signaal sisendist väljundisse.[21]

### **Lausete nimekiri *Instruction List (IL)***

Lausete nimekiri on üks esimesi programmeerimiskeeli, oma olemuselt tekstipõhine programmeerimiskeel, mis on võrreldes ST-ga palju lihtsam. Programmi juhitakse hüppekäskude ja funktsiooni kutsete abil, oma olemuselt väga sarnane programmeerimiskeelega *Assembly*, mida kasutatakse mikroprotsessorite juhtimiseks.[24]

### **Järjestikuste funktsioonide tabel *Sequential Function chart (SFC)***

Viimane IEC 61131-3 standardile vastav graafiline programmeerimisliides. Programmeerimisliides on tihedalt seotud prantsuse standardiga *Grafcet*. SFC koosneb kolmest osast:

1. Sammud (*Steps*)
2. Üleminekud (*Transitions*)
3. Tegevused (*Actions*)

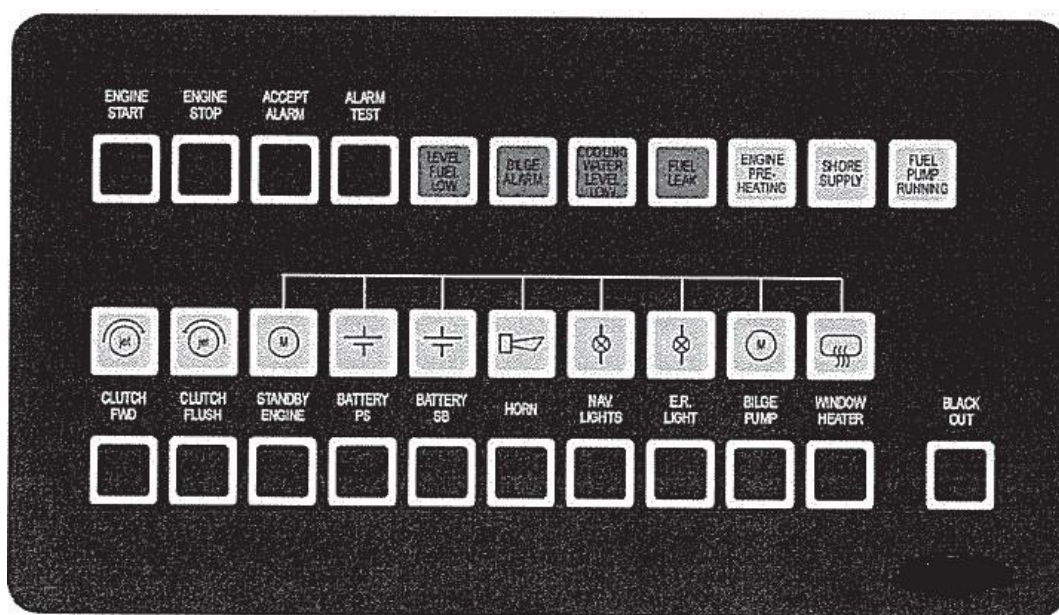
SFC suureks eeliseks on võimalus ära kasutada varasemalt programmi kirjeldamiseks koostatud vooskeeme või olekudiagramme, sest ülesehituselt on ta nendega väga sarnane.[24]

Programmeerimiskeele valikul sai määravaks lõputöö autori varasem kogemus programmeerimiskeelega ja pikk tööstaaž elektrikuna. Valiti redelloogika, sest tingmärgid on sarnased elektriskeemidel olevatega, mis teeb programmi kirjutamise ja hilisema skeemide lugemise lihtsamaks.



## 6 Lülitipaneel ja PLC programm

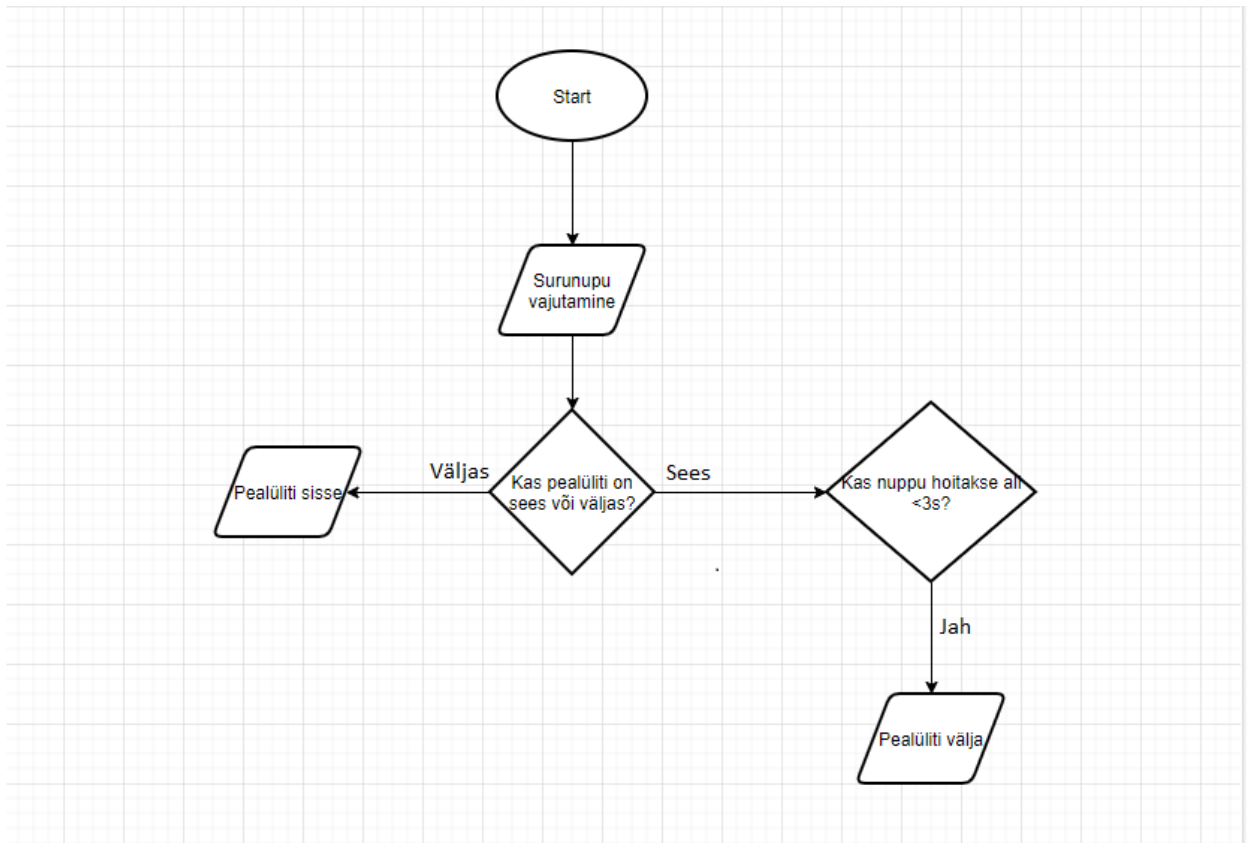
Lülitipaneeli jaoks vajalik programm tuleb koostada hanke tingimustes ette antud nõuete kohaselt. Ette on antud paneelis olevate nuppude paigutus, muuta võib nende kuju. Seadmete lülitamiseks kasutatakse surunuppe ja sisse lülitatud seadmetega koos süttivad vastavad märgutuled. Samuti süttivad paneelis häiresse läinud seadmete puhul vastavad alarmtuled. Iga lüliti puhul on ette antud ka seadmete sisse ja väljalülitamiseks tehtavad vajalikud toimingud.



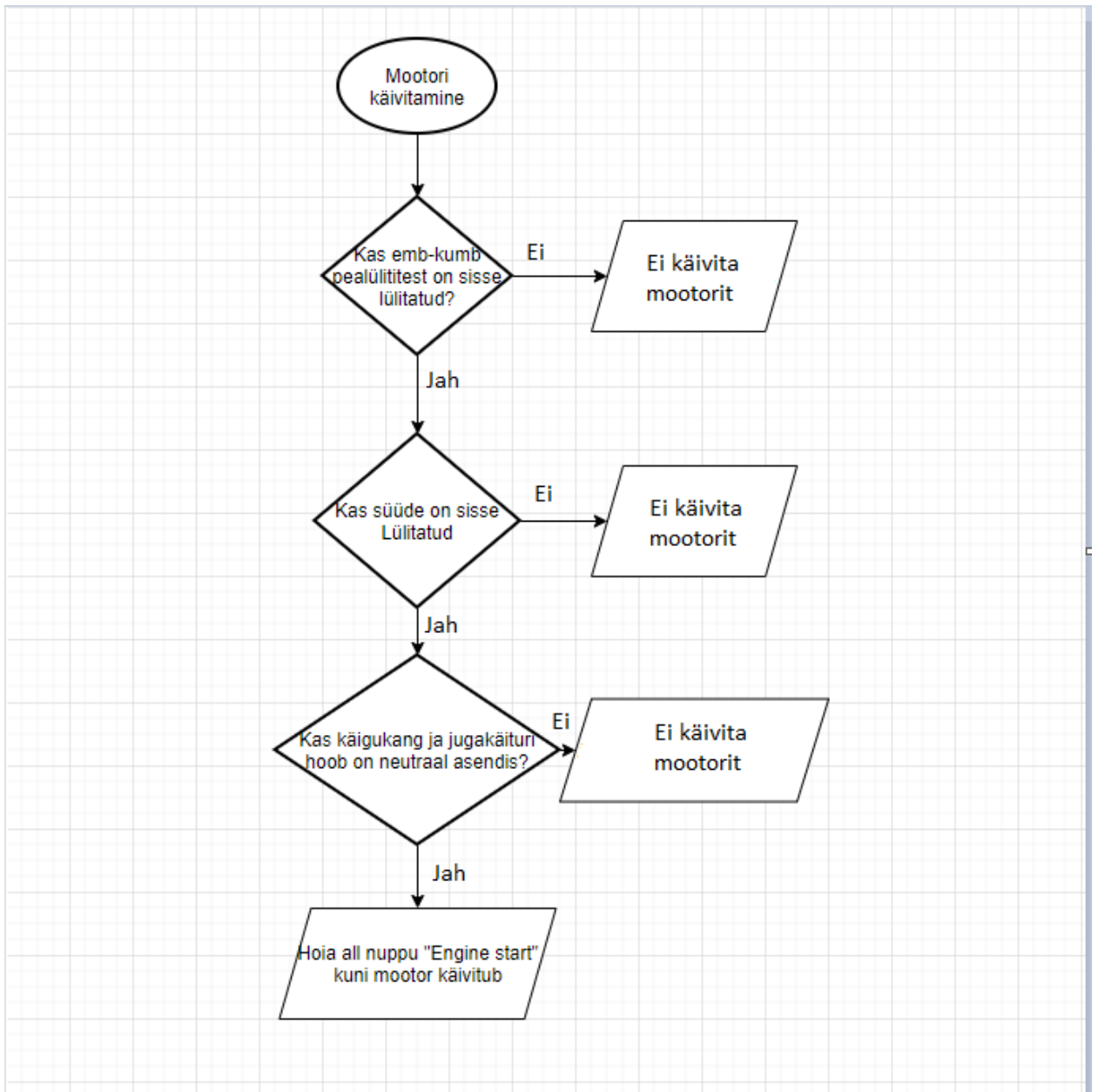
Joonis 14 Lülitipaneeli nuppude ja märgutulede paigutus

Lülitipaneelis asuvad nupud ja märgutuled peavad vastama kaitseastmele IP67 st., et seade peab olema tolmukindel ja jääma veekindlaks ka 1 meetri sügavusel vees. Lülitid peavad olema tähistatud inglise keelsete tekstidega, mis on hästi loetavad ka distantsilt.

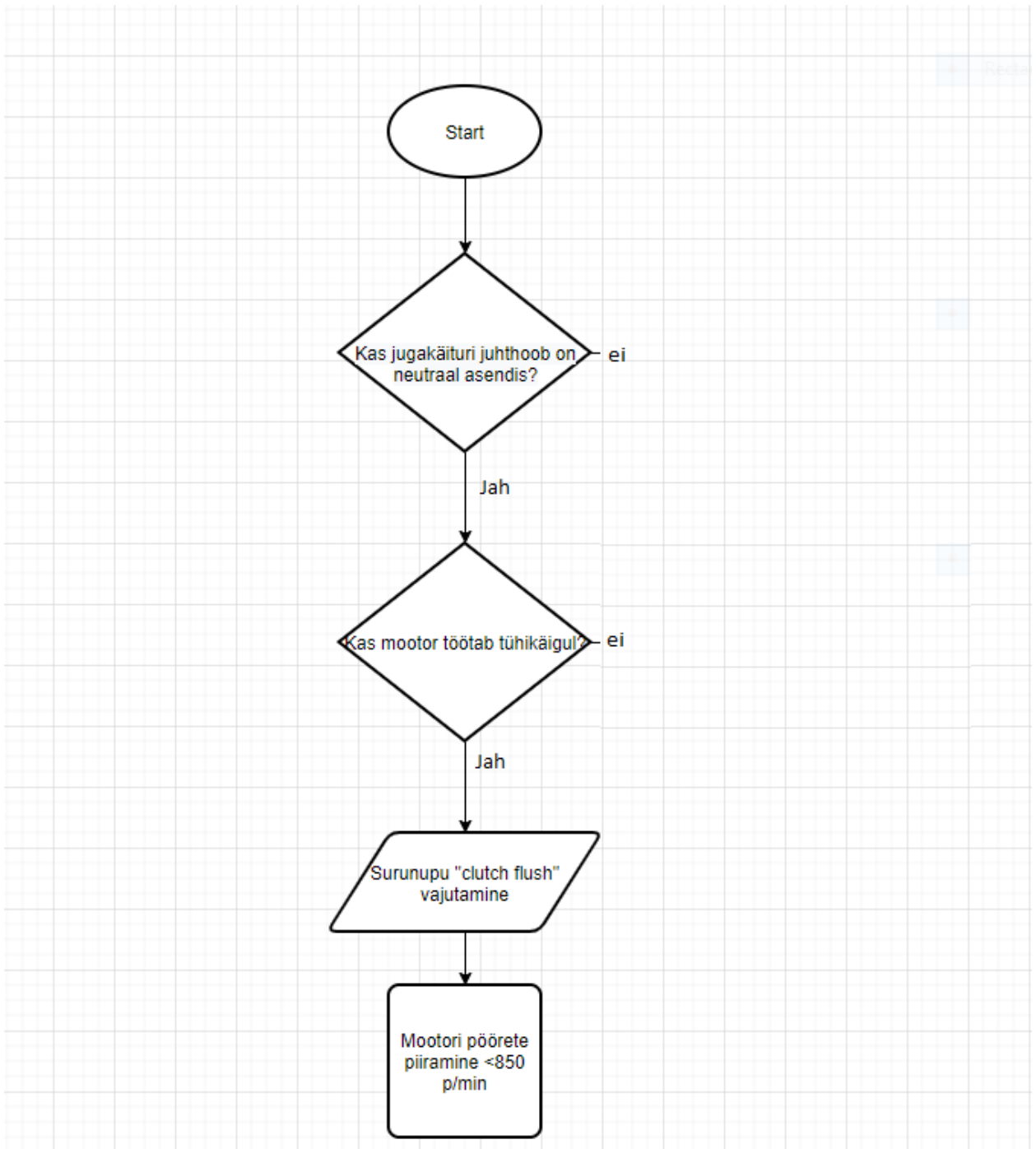
Lülituste tööpõhimõtted on käesolevas töös selgitatud voodiagrammide abil. Voodiagrammiga antakse edasi PLC-s toimuv lülitusprotsess graafiliselt. Järgnevalt on esitatud lülituste voodiagrammid:



Joonis 15 Pealülitite vooskeem



Joonis 16 Mootori käivitamise voodiagramm



Joonis 17 jugakäituri "läbipuhumise diagramm"

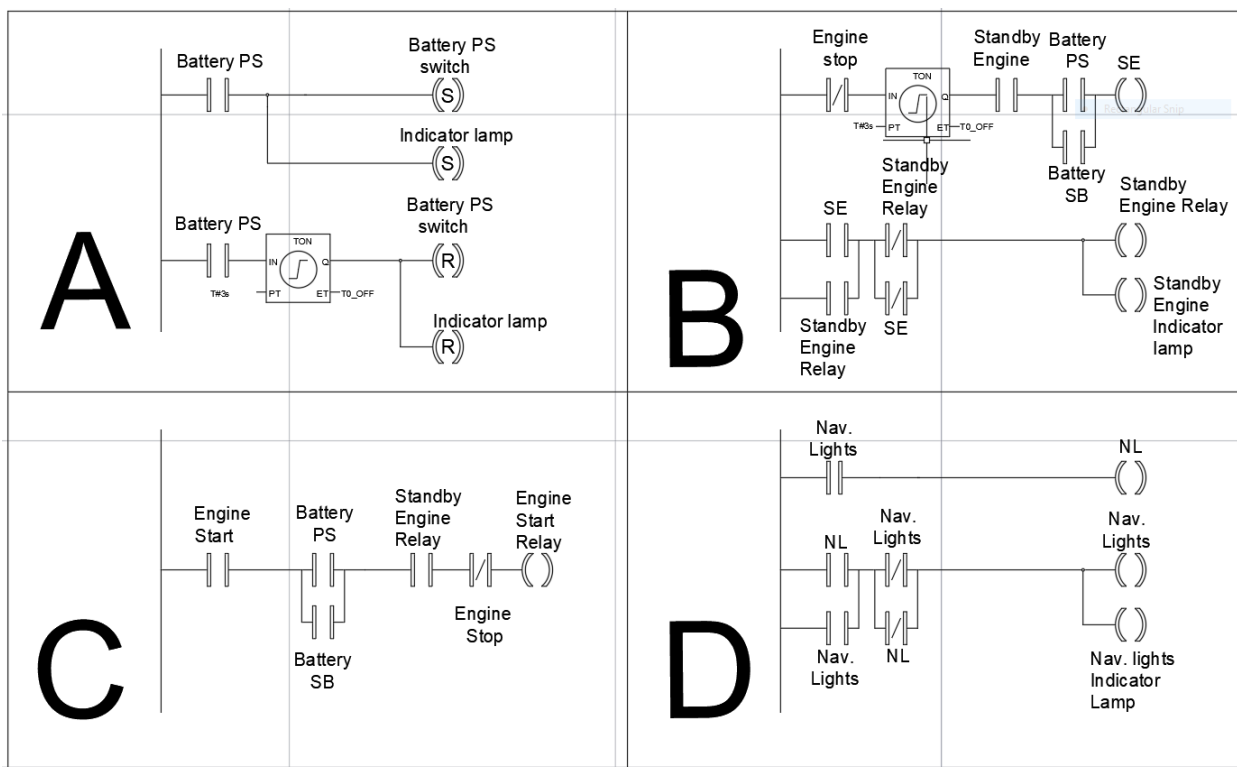
Voodiagrammidele lisaks on lülitipaneeli poolt tehtavate lülituste seletamiseks loodud tabel, mis on välja toodud lõputöö Lisa 3 all. Kuvatõmmistel kasutatud tingmärkide tähendus on saadaval Lisas 4.

## Akude pealülitid

Akude juhtimiseks kasutatakse kahte pealülitit. Võimalikud lülitamise viisid: Aku 1, Aku 2 või mõlemad korraga. Pealüliti sisse lülitamiseks tuleb vajutada paneelis olevat lülitit „Battery PS“ või „Battery SB“ kuni süttib nende kohal asetsev märgutuli. Pealüliti väljalülitamiseks tuleb vastavat nuppu all hoida 3 sekundit. Lülitusviisi iseloomustab Joonis 18 (A).

## Mootori opereerimine

Mootori käivitamise eelduseks on, et üks pealülititest on sisse lülitatud. Esmalt tuleb vajutada nuppu „standby engine“ (vt Joonis 18 B). Järgnevalt hoida all nuppu „Engine start,“ kuni mootor käivitub. Mootori seiskamiseks tuleb vajutada nuppu „Engine stop“ ja seda all hoida 3 sekundit.



Joonis 18 Põhimõtteskeem PLC programmi lõigust

## Navigatsioonituled

Navigatsioonitulede sisse lülitamiseks vajutada nuppu „Nav lights,“ väljalülitamiseks tuleb nuppu vajutada uuesti (vt Joonis 18 D). Sarnaselt lülitatakse ka mootoriruumi valgustust ja klaasisoojendust.

## Udupasun

Udupasun rakendub ainult siis kui nuppu on alla vajutatud. Nupu vabastades sireen vaikib.

## **Mootoriruumi valgustus**

Vajutades lüliti „*E.R lights*“ mootoriruumi valgustus süttib, uuesti vajutades valgustus kustub.

## **„Blackout“ lüliti**

Öövaatlusseadmeid kasutades või soov märkamatuks jääda tagab vajaduse kiiresti laevas välja lülitada valgust andvad seadmed ja märgutuled. „*Blackout*“ lüliti 3 sekundit all hoides vastav funktsioon rakendub, kergelt nuppu uuesti vajutades taastub normaalolukord.

## **Jugakäituri juhtimine**

Jugakäituri juhitakse lüliti paneeli nuppude „*Clutch flush*“ ja „*Clutch forward*“ kaudu. „*Clutch flush*“ abil saab jugakäituri läbi puhuda eemaldamaks käituri imipoolile tekkinud ummistuse. „*Clutch forward*“ nupuga lubatakse käituri abil väikelaeva edaspidine liikumine. Sisuliselt lülitatakse käigukastis olevaid solenoid klappe. Solenoid on ühekihiline silinderjas traatpool [16] Juhtides solenoidklapi poolile elektrivoolu, tekitatakse klapi ümber magnetväli, mille abil klappi liigutatakse.

## **Pilsipumba juhtimine**

Pilsipump töötab nii manuaal- kui automaat režiimis. Manuaalselt saab pumpa käitada kui hoitakse all nuppu „*Bilge pump*.“ Peale nupu vabastamist jääb pump veel tööle üheks minutiks.

## **Alarmid**

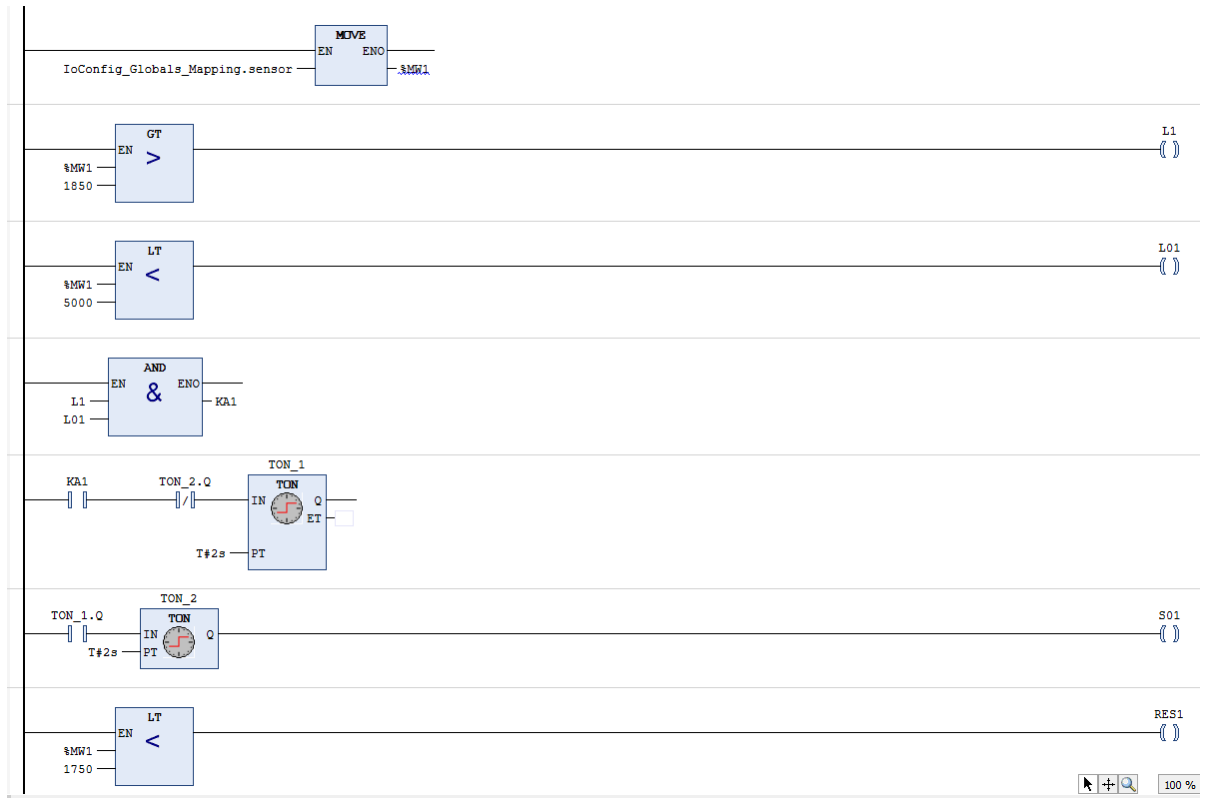
Alarmitulesid on kokku 6:

- *Fuel level low*
- *Bilge alarm*
- *Shore supply*
- *Engine preheating*

Nõuded märgutuledele:

- Vajutades nuppu „*Alarm test*“ märgutuled hakkavad vilkuma ja summer teeb häält. Järgnevalt vajutades nuppu „*Accept alarm*“ summer jääb vaik ja tuled kustuvad.
- Alarmi esinedes hakkab vastav tuli vilkuma ja summer tööle. Vajutades nuppu „*Accept alarm*“ summer kustub ja alarmituli jääb konstantselt põlema. Vea kõrvaldamisel tuli kustub.

Nii töötavad pilsialarm kui ka madala kütusetaseme alarm. Joonisel 23 ja Joonisel 24 on välja toodud programmi loogik madala kütusetaseme alarmi näol.



Joonis 19 Kuvatõmmis kütusetase madal. Osa 1

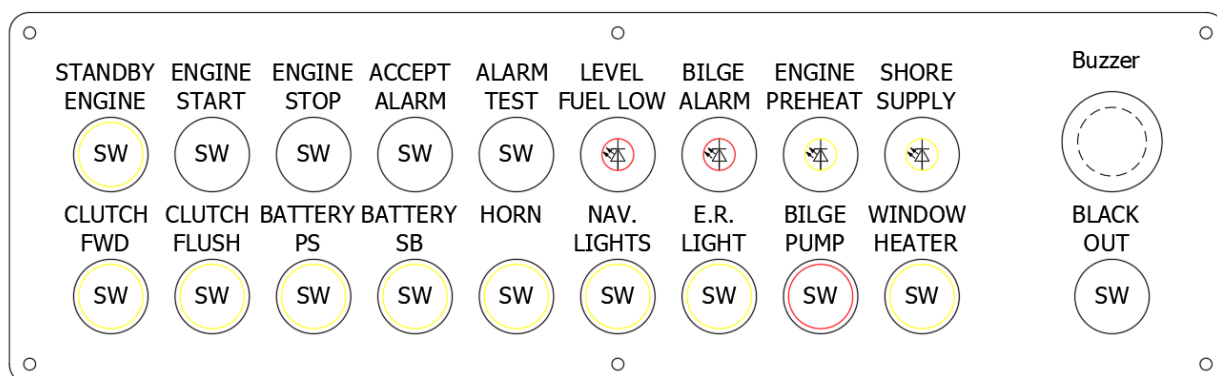


Joonis 20 Kütusetase madal osa 2

## 7 PLC programmi ja lülitipaneeli katsetamine

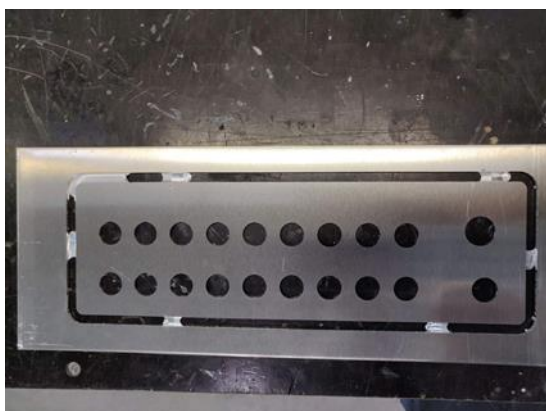
### Lülitipaneeli koostamine

Lülitipaneeli koostamine algas lülitipaneeli disainimisest. Selleks valmistati joonis, mille joonestamiseks antud projekti puhul kasutati programmi Autocad. Joonis salvestati kahes formaadis - .cad ja .dxf. Cad formaadis joonist kasutati paneeli koostamisel referentsina, dxf formaadis joonist freespingis lülitipaneeli väljalõikamiseks.



Joonis 21 Lülitipaneeli 2D joonis

Freespingist tulnud toorikule (vt Joonis 18) tehti pinnatöötlus, peale mida lisati paneelile lülitid, märgutuled ja summer. Tegu on asenduspaneeliga, mis A7 FRB originaalpaneelist, mille kaotas Smartpost, erineb pinnatöötluste poolest. Alunaut A7 FRB lülitipaneelis kasutatakse musta värvi anodeeritud alumiiniumist valmistatud lülitipaneeli.



Joonis 22 Roorfreesiga freesitud toorik

Lülitipaneelis kasutatakse lüliteid (vt Joonis 19), kuhu järgi ühendatakse juhtmed jootmise teel (vt Joonis 20). Valgustusega surunupud on 4 juhtmega ja ilma valgustusega surunupud on 2 juhtmega. Kasutatavad juhtmed on nummerdatud, et oleks väiksem võimalus neid omavahel segamini ajada.





Joonis 23 Lülitipaneelis kasutatavad surunupud

Juhtmete ühendamiseks surunuppude klemmidega kasutatakse jootmistemperatuuri reguleerimist võimaldavat jootejaama, sest tavaline jootekolb peale vooluvõrku ühendamist kuumeneb maksimaalse võimaliku temperatuurini ja reguleerida temperatuuri ei ole võimalik. Igal jootetinal on aga tootja poolt ette antud töötlemistemperatuur s.o temperatuurivahemik, kus saadakse parimate omadustega joode. Jootetinaiks valiti Würth elektroonikatina nr. 1, mis koosneb 60% tinast ja 40% pliiist. Valitud jootetina on väga hästi voolav, pehme ja madala sulamistemperatuuriga. Jootetina valikust lähtudes valiti jootmistemperatuuriks 280 °C.



Joonis 24 Lülitipaneeli tagumine külg

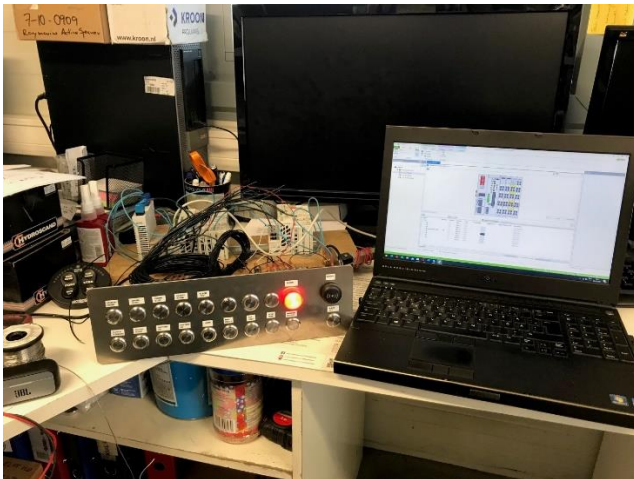
Väikelaeval kasutatava lülitipaneelis olevate lülitite kohale graveeritakse lülitite nimed. Test versiooni puhul on nimed lülitipaneelile kantud teipimismasinaga (vt Joonis 21).



Joonis 25 Asenduspaneel valmis kujul

### Lülitipaneeli katsetamine

Lülitipaneeli katsetamine (vt Joonis 31, Joonis 32) toimub ettevõtte tootmishoones. Paneeli tööd katsetatakse Tallinna Tehnikaülikooli poolt saadud kontrolleri ja moodulite abil.



Joonis 26 Programmi katsetamine

Katsetuse käigus ei saanud kontrollida programmi osa, mis hõlmab endas 115 VAC märgutulesid, klaasisoojendust ja Volvo mootoriga seotud lülitisi, sest need seadmed ei jõudnud Covid-19 poolt põhjustatud tarneraskuste tõttu õigeks ajaks kohale.



Joonis 27 Navigatsioonitulede lülitamine

„Paneeli katsetati lülituste manuaalse testimise abil. Operaator vajutas käsitsi lülitit ning seejärel uuriti e!Cockpiti kontrolleri programmi tööd reaalajas, kas lülitit vajutusele järgnesid ettenähtud loogilised lülitused. Katsetused näitasid, et programm toimib vastavalt lähteülesandes määratud tingimustele - paneeli lülitused toimisid ettenähtud ajavahemiku sees ning märgutuled jt. seadmeid juhtivad signaalid rakendusid vastavalt ettenähtud nõuetele.

## Kokkuvõte

Lõputöö eesmärk oli kirjutada PLC kontrolleri programmeerimiseks, mille abil sai surunuppudega juhtida keerukaid lülitusi ja seadmed nii, nagu A7 RHIB väikelaeva tellijad soovisid. Töö tulemusena programm valmis ja selle toimimist kontrolliti lülitipaneeliga katsetamise teel.

Eesmärgi täitmiseks tuli esmalt kaardistada kontrolleri poolt juhitavad sisendid ja väljundseadmed ning kogutud andmete põhjal määrata vaja minev riistvara (PLC kontrolleri ja moodulid). PLC kontrolleri juhitavate moodulite valimisel, olid määravateks kriteeriumiteks lülituse iseloom, signaali tüüp, lülitatav pinge ja lülitatavate seadmete arv. Mooduleid, mille vahel valida oli üle 500, sealhulgas sarnaseid mooduleid oli omajagu, määravaks sai hind (mida odavam, seda parem). Programmeerimiskeskonnaks valiti Wago poolt loodud Codesys keskkonnal põhinev e!cockpit. Wago kasuks rääkis eelkõige see, et nende poolt loodud 750-seeria moodulid ja kontrolleri on muu hulgas loodud merel kasutamiseks. Samuti on nad *Lloyds Register*'i poolt sertifitseeritud.

Programmi kirjutamiseks valiti sobiv programmeerimiskeel. Eeltingimuseks oli nõue, et see peab vastama standardile IEC 61131-3. Valituks osutus redelloogika, seda seetõttu, et standardi IEC 61131-3 alla kuuluvatest programmeerimiskeeltest on ta kõige lihtsamini omandatav, eriti kui on olemas varasem kokkupuude elektri valdkonnaga.

Programmi katsetamiseks tuli disainida ja komplekteerida lülitipaneel ja koostada PLC süsteem. Lülitipaneeli abil sai juhtida kontrolleri ja kontrollida nii loodud PLC süsteemi kui ka programmi toimimist.

Katsetused näitasid, et programm toimus vastavalt lähteülesandes määratud tingimustele.

Uurimistöö käigus tehtud töö annab ettevõttele pädevuse edaspidistes projektides kasutada lõputöös loodud lahendust ka järgnevates projektides.

## Summary

### **Alunaut A7 FRB RIB assembling the switchpanel and writing PLC programm to control the switchpanel.**

The company was interested in supporting the work of this thesis to obtaining new knowledge for using PLC based solutions in the future. To achieve it following tasks have been set up:

- Define the inputs and outputs to be controlled by the PLC controller
- Based on the above, select the hardware required for PLC
- Select the PLC programming environment and programming language to be used.
- Assembly of the switch panel system and programming of the PLC controller controlling it.
- To test the written program

As a result software for programming e!cockpit was chosen, mainly because Wago PLC and modules were used. Ladder logic was chosen for writing the PLC program, which biggest advantage was simplicity – easy to learn and follow.

Wago 750-series modules and controller were chosen. 750-series is developed to be used at sea among other things.

The written program was tested with a switchboard assembled and designed by the author.

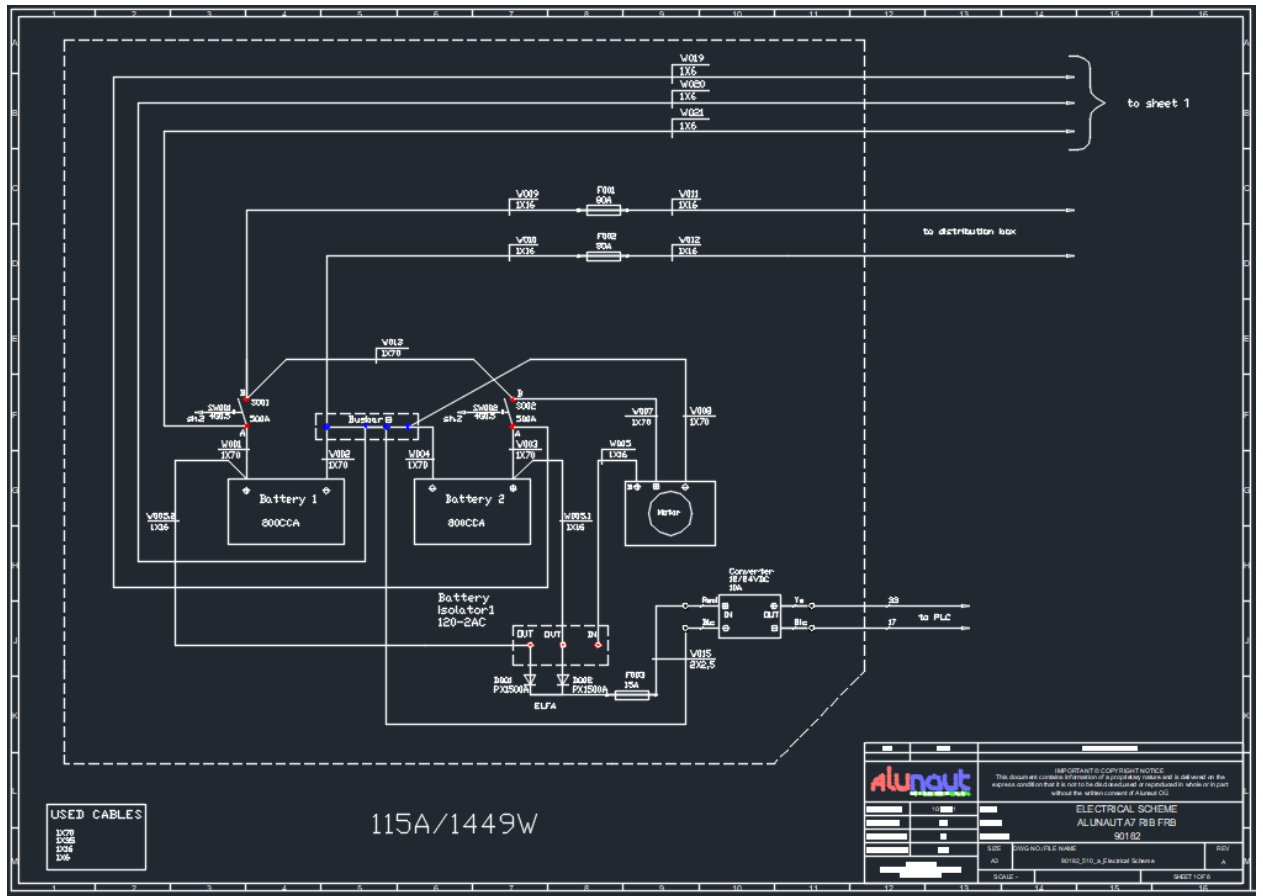
It was concluded that tasks to achieve the result were accomplished, a well-working program was created. The company has now one more way to link the switch panel with devices used in small craft.

## Viidatud allikad

- [1] Ü. Kaevats, Toim, *Eesti entsüklopeedia. 9: Sun - Türg*. Tallinn: Eesti Entsüklopeediakirjastus, 1996.
- [2] „WHALE field sensor bilge switches BE9003 / BE9006“, *Toplicht*. <https://www.toplicht.de/en/shop/technik-fuer-die-maschinenanlage/pumpe-und-impeller/impellerpumpe/pumpenschalter-whale-sensor-be9003-be9006> (vaadatud apr 26, 2021).
- [3] „Volvo EVC-E3\_E4 installation manual“. AB Volvo Penta, 2019.
- [4] „ML-RBS Remote Battery Switch with Manual Control - 12V DC 500A - Blue Sea Systems“. [https://www.blueseas.com/products/7700/ML-RBS\\_Remote\\_Battery\\_Switch\\_with\\_Manual\\_Control\\_-\\_12V\\_DC\\_500A](https://www.blueseas.com/products/7700/ML-RBS_Remote_Battery_Switch_with_Manual_Control_-_12V_DC_500A) (vaadatud apr 26, 2021).
- [5] „HURRICANE electropneumatic white horn 12 V“. <https://www.osculati.com/en/11045-21.454.12/hurricane-electropneumatic-white-horn-12-v> (vaadatud apr 26, 2021).
- [6] „2 NM NaviLED PRO Port Navigation Lamp - Navigation Lamps, Port - Hella Marine“. <https://www.hellamarine.com/en/products/navigation-lamps/port/2-nm-naviled-pro-port-led-navigation-lamp.html> (vaadatud mai 20, 2021).
- [7] „LED Surface Strip Lamps - Interior / Exterior Lamps, Strip Lighting - Hella Marine“. <https://www.hellamarine.com/en/products/interior-exterior-lamps/strip-lighting/led-surface-strip-lamps.html> (vaadatud mai 20, 2021).
- [8] „bilge-pump-lopro-lp900s-automatic.pdf“. Vaadatud: mai 20, 2021. [Online]. Available at: <https://www.xylem.com/siteassets/brand/rule/resources/manual/bilge-pump-lopro-lp900s-automatic.pdf>
- [9] „Controller PFC100 (750-8100) | WAGO“. <https://www.wago.com/global/plcs-%E2%80%93-controllers/controller-pfc100/p/750-8100> (vaadatud apr 25, 2021).
- [10] „EVS-EN 60529:2001+A2:2014“, *EVS*. <https://www.evs.ee/et/evs-en-60529-2001+a2-2014> (vaadatud mai 20, 2021).
- [11] „16-channel digital input (750-1405) | WAGO“. <https://www.wago.com/global/16-channel-digital-input/p/750-1405> (vaadatud apr 27, 2021).
- [12] „16-channel digital output (750-1504) | WAGO“. <https://www.wago.com/global/16-channel-digital-output/p/750-1504> (vaadatud apr 27, 2021).
- [13] „4-channel analog input (750-450) | WAGO“. <https://www.wago.com/global/4-channel-analog-input/p/750-450> (vaadatud apr 27, 2021).
- [14] „2-channel analog output (750-550) | WAGO“. <https://www.wago.com/global/2-channel-analog-input/p/750-550> (vaadatud apr 27, 2021).
- [15] „8-channel digital output (753-534) | WAGO“. <https://www.wago.com/global/i-o-systems/8-channel-digital-output/p/753-534> (vaadatud mai 20, 2021).
- [16] „Power Supply (750-623) | WAGO“. <https://www.wago.com/global/i-o-systems/power-supply/p/750-623> (vaadatud mai 20, 2021).
- [17] „End Module (750-600) | WAGO“. <https://www.wago.com/global/i-o-systems/end-module/p/750-600> (vaadatud mai 23, 2021).
- [18] „4-channel relay output (750-515) | WAGO“. <https://www.wago.com/global/4-channel-relay-output/p/750-515> (vaadatud apr 27, 2021).
- [19] „Relay module (788-311) | WAGO“. <https://www.wago.com/global/relay-and-optocoupler-modules/relay-module/p/788-311> (vaadatud mai 20, 2021).
- [20] „Relay module (788-312) | WAGO“. <https://www.wago.com/global/relay-and-optocoupler-modules/relay-module/p/788-312> (vaadatud mai 20, 2021).

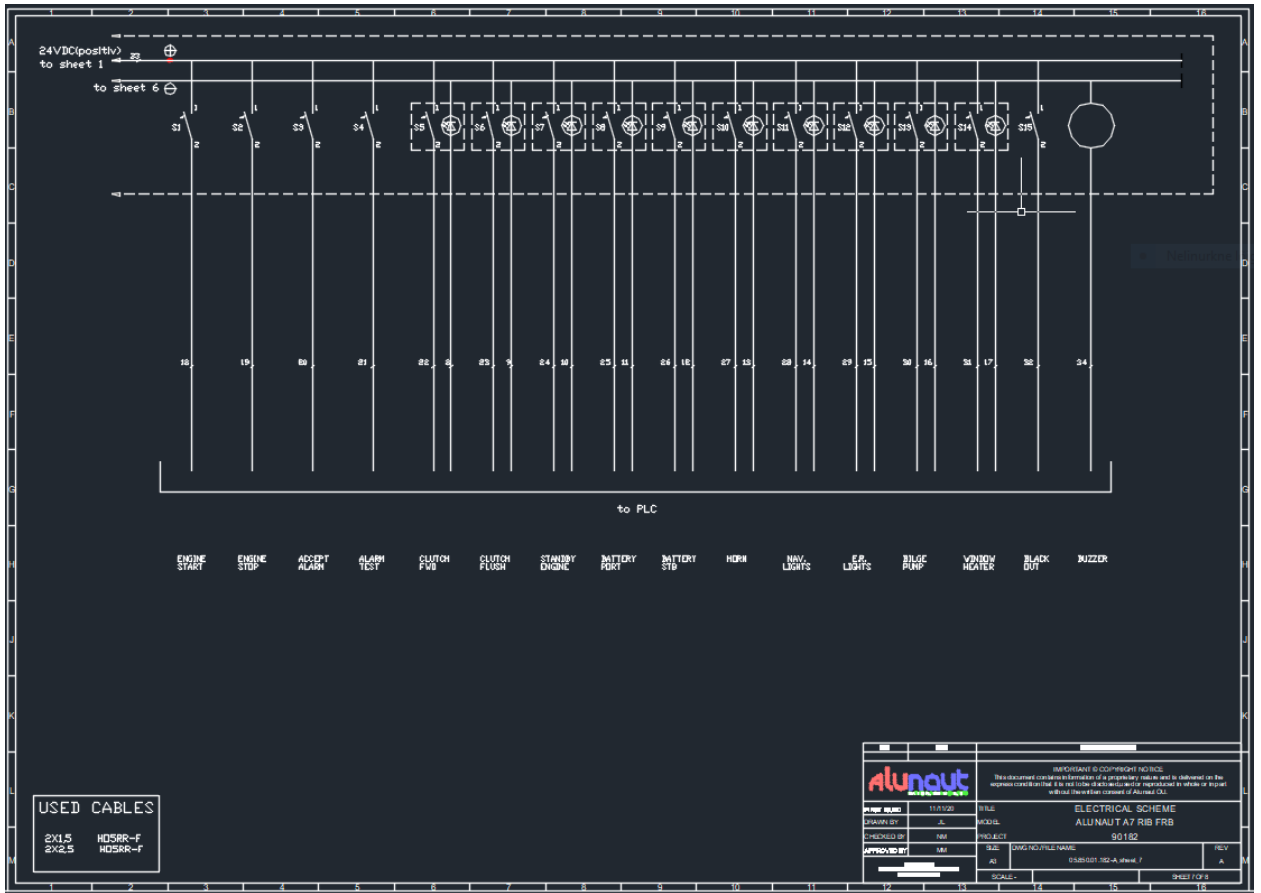
- [21] „HR730.pdf“. Vaadatud: mai 23, 2021. [Online]. Available at: <https://shop.industrialemart.com/pdf/HR730.pdf>
- [22] „e!COCKPIT (2759-101/1110-3000) | WAGO“. [https://www.wago.com/global/software/e-cockpit/p/2759-101\\_1110-3000](https://www.wago.com/global/software/e-cockpit/p/2759-101_1110-3000) (vaadatud märts 28, 2021).
- [23] D. H. Hanssen, *Programmable logic controllers: a practical approach to IEC 61131-3 using CODESYS*. Chichester, UK ; Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2015.
- [24] K.-H. John ja M. Tiegelkamp, *IEC 61131-3: programming industrial automation systems: concepts and programming languages, requirements for programming systems, aids to decision-making tools*. 2001. Vaadatud: märts 28, 2021. [Online]. Available at: <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3100176>

# Lisa 1 Elektriskeem

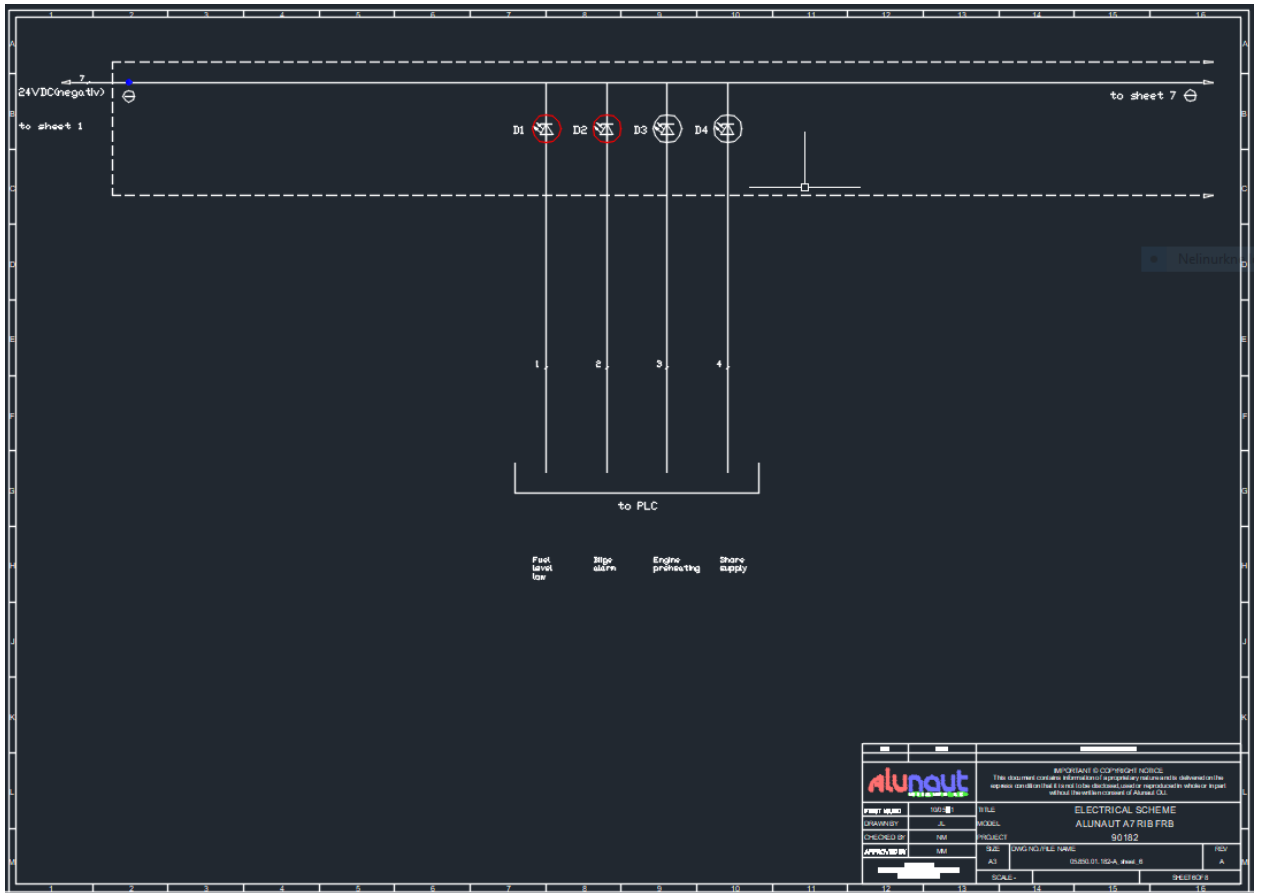


Joonis 28 Põhiskeem A7 RHB





Joonis 29 Lülitpaneeli elektriskeem



Joonis 30 Lülitipaneeli alarmtulede skeem

## Lisa 2 Seadmete nimekiri ja parameetrid

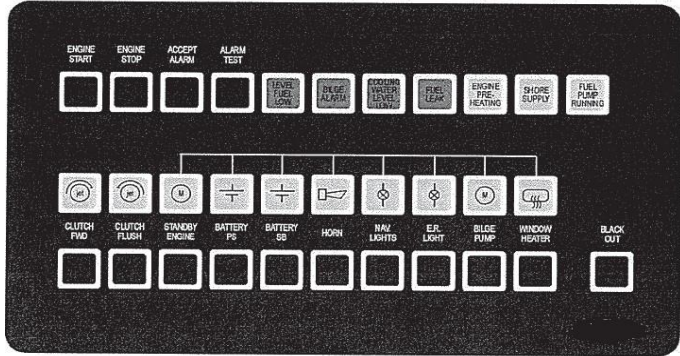
PLC kontrolleri poolt juhitavad seadmete karakteristikud

Jrk nr.	Seade	Nimetus	Sisend/väljund	Signaali tüüp	Pinge (U)	Voolu tarbimine	Relee vajadus	Moodul
1	Lüliti	<i>Engine start</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
2	Lüliti	<i>Engine stop</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
3	Lüliti	<i>Accept alarm</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
4	üliti	<i>Alarm test</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
5	Lüliti	<i>Black out Window heater</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
6	Lüliti	<i>Bilge pump</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
7	Lüliti	<i>ER. Light Nav. Lights</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
9	Lüliti	<i>Lights</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
10	Lüliti	<i>Horn</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
11	Lüliti	<i>Battery SB</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
12	Lüliti	<i>Battery PS Standby engine</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
13	Lüliti	<i>Clutch flush</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
14	Lüliti	<i>Clutch FWD</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1405
15	Lüliti	<i>Wema fuel sensor</i>	Sisend	Analoog (Ω)	#	#	ei	750-450
16	Andur	<i>Whale field sensor</i>	Sisend	Digitaal (0;1)	24V	#	ei	750-1405
17	Andur	<i>Shore supply</i>	Sisend	pinge (V)	115VAC	<1A	ei	753-440
18	andur	<i>Engine preheating</i>	Sisend	pinge (V)	115VAC	<1A	ei	753-440
19	andur		Sisend	Analoog (Ω)	5V	#	ei	750-450
20	Potentsiomeeter Peamasina starter	Bosch	Sisend	Digitaal (0;1)	12V	0...24mA	ei	753-534
21		Volvo	väljund					

22	Süüde sisse rele	Volvo	väljund	Digitaal (0;1)	12V	0...24mA	ei	753-534
23	Pealüliti SB	Bluesea 7700	väljund	Digitaal (0;1)	12V	1A	ei	750-515
24	Pealüliti PS	Bluesea 7700	väljund	Digitaal (0;1)	12V	1A	ei	750-515
25	Udupasun	Marco Hurricane	väljund	Digitaal (0;1)	12V	18A	jah	750-1504
26	Nav. Lights	Hella Pro seeria	väljund	Digitaal (0;1)	12V	< 1 A	jah	750-534
27	E.R. lights	Hella	väljund	Digitaal (0;1)	12V	< 2 A	jah	753-534
28	Bilge pump	Rulemate	väljund	Digitaal (0;1)	12V	7,5A	jah	753-534
29	Window heater	#	väljund	Digitaal (0;1)	12V/24V	#	jah	750-1504
30	Black out	#	väljund	Digitaal (0;1)	24V	0.5A	ei	750-515
31	Summer	EROUND	väljund	Digitaal (0;1)	24V	10 mA	ei	750-1504
32	Lamp	<i>Fuel level low</i>	väljund	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1504
33	Lamp	<i>Bilge Alarm</i>	väljund	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1504
34	Lamp	<i>Engine pre heating</i>	väljund	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1504
35	Lamp	<i>Shore supply</i>	väljund	Digitaal (0;1)	24V	0...24 mA	ei	750-1504
36	solenoid1	Volvo	väljund	Digitaal (0;1)	12V	1,65A	Ei	753-534
37	solenoid2	Volvo	väljund	Digitaal (0;1)	12V	1,65A	Ei	753-534

## Lisa 3 Lüliti-paneeli tööpõhimõtted

Tabel 1 Lüliti-paneeli juhtimine

Annex F juhtpaneeli kavand ja tööpõhimõte	Funktsioon	Eeltingimus	Tegevus	Indikaator
				
<b>Pealülitid</b>				
<p>Hoia all lüliti ("Battery PS" või "Battery SB") kuni süttib märgutuli. Pealüliti on sisse lülitatud. Süsteemi käivitamine võib võtta aega.</p>	<p>Elektrisüsteemi käivitamine</p>	<p>Aku peab olema laetud</p>	<p>"Battery PS" või "Battery SB" lüliti tuleb vajutada elektrisüsteemi pingestamiseks. Lüliti tuleb vajutada kuni indikaatorlamp süttib.</p>	<p>Vastav aku indikaatorlamp süttib</p>
<p>Kui 1 akulüliti on sisse lülitatud, siis teise lüliti saab sisse lülitada juhul kui aku 1-ga esineb süsteemi käivitamisel probleeme</p>	<p>Mõlema aku ühendamine elektrisüsteemi</p>	<p>Vähemalt üks aku indikaatorlamp peab põlema</p>	<p>Kui üks aku grupp on süsteemi ühendatud, siis teise saab lisada muljades soovitud lüliti</p>	<p>Vastav aku indikaatorlamp süttib</p>
<p>Süsteemi desaktiveerimine</p>	<p>Elektrisüsteemi välja lülitamine</p>	<p>Vähemalt 1 aku</p>	<p>Vastavat lüliti tuleb all hoida</p>	<p>1. Aku indikaatorlamp</p>

		indikaatorlamp peab põlema.	kuni indikaatorlamp kustub	kustub. 2. Kõik 12/24 pingel töötavad elektriseadmed on välja lülitatud
Kui on vaja süsteem deaktiveerida, siis tuleb akulülitid välja lülitada. Aku(d), mis on süsteemi ühendatud, saab välja lülitades, hoides lüliti all kauem kui 3 sekundit kuni märgutuled kustuvad.	Elektrisüsteemi lülitamine ühe aku grupi peale	Mõlemad aku indikaatorlamp id peavad olema sisse lülitatud.	Ühte "Battery" lüliti tuleb all hoida kuni märgutuli kustub	Soovitud aku indikaatorlamp peab kustuma
<b>Mootori juhtimine</b>				
Mootori süüte sisse lülitamiseks (vähemalt üks "Battery" lüliti peab olema sisse lülitatud) vajuta lüliti "standby engine."	Mootorile süüte signaali andmine	Vähemalt 1 aku indikaatorlamp peab põlema.	Vajuta lüliti "Standby engine" soovitud operatsiooni käivitamiseks.	"Standby engine" indikaatorlamp süttib.
Mootori käivitamiseks vajuta lüliti "Start Engine" Enne käivitamist kontrolli: Vähemalt üks aku pealülititest on sees Mootori süüde on sisse lülitatud Gaasi hoob on neutraalasendis "N" Vajuta "Start engine" lüliti	Mootori käivitamine	1. "Standby engine " lüliti on sees. 2. Gaasihoob peab olema asendis "N" 3. Jugakäituri hoob peab olema asendis "N"	Mootori käivitamiseks vajuta nuppu "Start engine"	Mootor tõstab pöördeid kuni tühikäigul

Mootori seiskamiseks tuleb all hoida lülitit " <i>Stop Engine</i> " vähemalt 3 sekundit.	Mootori seiskamine	Mootor töötab tühikäigul	Vajuta lülitit " <i>Engine stop</i> " vähemalt 3 sekundit.	Mootor sureb välja.
<b>Navigatsiooni tuled</b>				
Navigatsiooni tulesid poordis, pakpoordis ja mastis lülitatakse sisse lülitit " <i>Nav lights</i> " vajutamise	Navigatsiooni tuled sisse lülitamine	Vähemalt 1 aku indikaatorlamp peab põlema.	Vajuta lülitit " <i>Nav lights</i> " nav. tuled sisse lülitamiseks	Indikaatorituli süttib ja navigatsioonituled hakkavad põlema.
Välja lülitamiseks vajuta lülitit uuesti	Navigatsiooni tuled välja lülitamine	Navigatsiooni tuled ja vastav indikaatorlamp põlevad	Vajuta lülitit " <i>Nav lights</i> " nav. tuled välja lülitamiseks	Indikaatorlamp süttib ja navigatsioonituled kustuvad.
<b>Pasun</b>				
Lülitades nuppu " <i>Horn</i> " teeb pasun häält, nupu vabastamisel hääl vaibub.	Pasuna sisse lülitamine	Vähemalt 1 aku indikaatorlamp peab põlema.	Vajuta nuppu " <i>Horn</i> " pasuna aktiveerimiseks	Pasun teeb häält
	Pasuna välja lülitamine	Pasun teeb häält ja nupp " <i>Horn</i> " on alla vajutatud	Desaktiveerimis nupp vabasta nupp " <i>Horn</i> "	Pasun vaikib
<b>E.R. Light</b>				
Lülitiga " <i>E.R. Light</i> " lülitatakse sisse mootoriruumi valgustid	Mootoriruumi valgustite sisse lülitamine	Vähemalt 1 aku indikaatorlamp peab põlema.	Vajuta surunuppu " <i>E.R. Light</i> " mootoriruumi valgustite põlema panemiseks	Mootoriruumi valgustid ja vastav indikaatorlamp süttivad

Välja lülitamiseks vajuta lüliti uuesti	Mootoriruumi valgustite välja lülitamine	Mootoriruumi valgustid ja vastav indikaator tuli on sisse lülitatud	Vajuta surunuppu "E.R. Light" mootoriruumi valgustite põlema panemiseks	Mootoriruumi valgustid ja vastav indikaatorlamp kustuvad
<b>Pilsipump</b>				
Pilsipump ei tööta automaatselt ja seda peab lülitama käsitsi vajutades surunuppu "Bilge pump"	Automaatrežiimi l töötamine	Vähemalt 1 aku indikaatorlamp peab põlema.	Pilsipump lülitab ennast automaatselt tööle kui pilsivee tase pilsis on kõrgem kui pilsipumba korpusesse integreeritud pilsivee taseme lüliti lubatud piirväärtus	Pilsipumba lüliti asuv indikaatorlamp süttib kuni pilsivee tasapind alaneb allapoole automaatlüliti poolt lubatud piirväärtust ja pump seiskub.
Välja lülitamiseks vajuta lüliti uuesti	Manuaalrežiimil töötamine	Vähemalt 1 aku indikaatorlamp peab põlema.	Pilsipumba rakendamiseks vajuta ja hoia all nuppu "Bilge pump"	Indikaatorlamp süttib ja pilsipump hakkab tööle
Pilsipump lülitab ennast automaatselt välja 1 minuti pärast	Manuaalrežiimil pumba välja lülitamine	Surunupp "Bilge pump" on alla vajutatud	Pilsipumba desaktiveerimiseks vabasta nupp "Bilge pump"	Indikaatorlamp ja pilsipump lülituvad välja
<b>Pilsialarm</b>				
Alarmi korral hakkab vastav märgutuli vilkuma	Kõrge pilsivee tase mootoriruumis	1. Vähemalt 1 aku indikaatorlamp	Pilsivee tase tõuseb üle pilsipumba lüliti	Summer töötab ja pilsialarmi



		peab põlema. 2. Pilsivee tase on ületanud pumba aktiveerimislüliti poolt lubatud piirväärtuse.	lubatud ülemise piirväärtuse	indikaatorlamp vilgub
Alarmi korral jäävad tuled vilkuma kuni on vajutatud nuppu "Accept alarm," peale mida jääb alarmtuli pidevalt põlema, kuniks viga on kõrvaldatud	Pilsialarmi teadvustamine	Pilsivee alarmtuli vilgub ja summer teeb häält	Alarmi teadvustamiseks vajuta lülitit "Accept alarm"	Summer vaikib, alarmlamp jääb pidevalt põlema ajani mil pilsivee tase alaneb allapoole pilsialarmi rakendumise väärtust.
<b>Kütuse taseme alarm</b>				
	Kütusetase on kütusepaagis madal	Vähemalt 1 aku indikaatorlamp peab põlema.	Kütusetase langeb allapoole lubatud väärtust	Summer töötab ja pilsialarmi indikaatorlamp vilgub
	Madala kütusetaseme teadvustamine	Summer teeb häält ja alarmlamp vilgub	Alarmi teadvustamiseks vajuta lülitit "Accept alarm"	Summer vaikib, alarmlamp jääb pidevalt põlema ajani mil kütusetasapind tõuseb lubatud väärtusest kõrgemale
<b>Alarmide testimine</b>				

Vajutades "Test alarm" nuppu summer teeb häält ja alarmtuled hakkavad vilkuma. Kui vajutatakse „Accept alarm,“ siis tuled kustuvad ja summer vaikib.	Alarmide testimine	Vähemalt 1 aku indikaatorlamp peab põlema.	Alarmide funktsioneerimise kontrollimiseks vajuta nuppu "Alarm test"	Alarmlambid hakkavad vilkuma ja summer teeb häält
Kui alarm aktsepteeritakse alarmtuled kustuvad ja summer vaikib.	Alarmide testi lõpetamine	"Alarm test" funktsioon on rakendatud	Vajuta surunuppu "Accept alarm" alarmide testi lõpetamiseks	Alarmide märgutuled kustuvad ja summer vaikib
<b>Alarmide aktsepteerimine</b>				
Kui alarm on aktsepteeritud "Accept alarm" nupuga siis vastavad märgutule enam ei vilgu vaid jäävad pidevalt põlema ja akustiline alarm vaikib	Alarmi teadvustamine	Summer teeb häält ja alarmlamp vilgub	Vajuta "Accept alarm" nuppu, alarmi teadvustamiseks	Summer vaikib ja vastavad alarmlambid jäävad põlema vea kõrvaldamiseni
<b>Mootor</b>				
Ilma sidurita on mootori pöörete arv piiratud 1500 p/min	Mootori pöörete tõstmise kui sidurit pole rakendatud	1. Mootor töötab tühikäigul 2. Sidur on ühendamata	Gaashoova abil pöörete tõstmise on piiratud 1500 pöördeni minutis.	Mootori pöörded ei tõuse üle 1500 p/min.
"Clutch FWD" siduri sisse lülitamine	Siduri ühendamine	1.Mootor töötab tühikäigul	Vajuta "Clutch forward" nuppu	märgutuli "Clutch forward" märgutuli süttib ja sidur rakendub

		2. Sidur ei ole järgi ühendatud		
"Clutch FWD" siduri välja lülitamine	Siduri lahti ühendamine	1. "Clutch FWD" indikaatorlamp põleb 2. mootor töötab tühikäigul 3. jugapaiskur on "neutraal" asendis	Vajuta "Clutch forward" nuppu	"Clutch FWD" indikaator lamp kustub ja sidur ühendub lahti
<b>Jugapaiskuri "läbipuhumine"</b>				
"Clutch Flush" nuppu saab kasutada kui gaasihoob on neutraal asendis ja mootor töötab. Kui mootori pöörded tõusevad kõrgemale kui 850 p/min, siis ühendub sidur lahti.	"Läbipuhumise" funktsiooni rakendamine	1. Sidur on lahti ühendatud 2. mootor töötab tühikäigul 3. jugapaiskur on neutraal asendis	Vajuta nuppu "Clutch Flush," et muuta jugapaiskuri tiiviku suunda vabastamiseks paiskuri tiiviku ja -sissevõtu prahist	Sidur rakendub muutes pöörlemissuunda ja võimaldades paiskuril töötata tagurpidi. Nii saab vabastada paiskuri tiiviku ja -sissevõtu prahist. Märkus!: Mootori pöörded ei tõuse üle 850 p/min.
	"Läbipuhumise" funktsiooni lõpetamine	"Clutch Flush" nupp on alla vajutatud	Vabasta "Clutch flush" nupp	Sidur ühendub lahti. Taastub normaal olukord.
<b>Klaasisoojendus</b>				
Klaasisoojendus	Näidikute paneeli akna	Vähemalt 1 aku	Näidikupaneeli akna soojendamiseks	Vastav indikaatorlamp süttib ja

	soojenduse sisse lülitamine	indikaatorlamp peab põlema.	lülka " <i>Window heater</i> " nupp sisse	klaasisoojendus hakkab tööle.
" <i>Window heater</i> " lülitiga lülitatakse klaasisoojendus sisse/välja	Näidikute paneeli akna soojenduse välja lülitamine	" <i>Window heater</i> " märgutuli peab põlema	Vajuta " <i>Window heater</i> " nuppu, et klaasisoojendus välja lülitada	Vastav indikaatorlamp kustub ja klaasisoojendus lülitub välja.
<b>Black out</b>				
" <i>Black out</i> " surunoppu tuleb all hoida 3 sekundit, et rakendus " <i>Black out</i> " funktsioon. Vajutades lülitit lühidalt uuesti lülitatakse valgustid uuesti sisse	" <i>Black out</i> " funktsiooni sisse lülitamine	Vähemalt 1 aku indikaatorlamp peab põlema.	Hoida all surunoppu vähemalt 3 sekundit funktsiooni rakendamiseks	Kõik navigatsiooni tuled, lülitipaneeli märgutuled ja summer lülitatakse välja
" <i>Black out</i> " lülitit lülitab välja kõik tuled, kaasa arvatud lülitipaneeli valgustid ja märgutuled	" <i>Black out</i> " funktsiooni välja lülitamine	" <i>Black out</i> " funktsioon on sisse lülitatud	Vajuta " <i>Black out</i> " nuppu funktsiooni välja lülitamiseks	Kõik navigatsiooni tuled, lülitipaneeli märgutuled ja summer lülitatakse uuesti sisse
<b>Mootori eelsoojendus</b>				
Eelsoojenduse märgutuli süttib kui kaldavool on järgi ühendatud. Eelsoojendus lülitub automaatselt välja kui mootor on soojenenud soovitud temperatuurini	Mootori eelsoojendus	" <i>Shore power</i> " märgutuli on sisse lülitatud	Mootori eelsoojendus aktiveeritakse kui mootori temperatuur on alla soovitud väärtuse ja deaktiveeritakse kui mootor on saavutanud	" <i>Engine preheat</i> " indikaatorlamp põleb kui eelsoojendus on sisse lülitatud

			soovitud temperatuuri	
<b>Kaldavool</b>				
Kui kaldavool on ühendatud, siis aktiveerub ka "Shore supply" märgutuli	Kaldavool	Kaldavoolu kaabel on ühendatud	115VAC kaldavoolu toide on saadaval	" <i>Shore power</i> " indikaatorlamp süttib

## Lisa 4 Elemendid

-  Võrk (*Network*)
-  NO kontaktor (*Contact*)
-  NC kontaktor (*Negated contact*)
-  Paralleelne NO kontaktor (*Parallel contact*)
-  Paralleelne NC kontaktor (*Parallel negated contact*)
-  Mähise Pool (*Coil*)
-  Mähise lukustus (*Set coil*)
-  Mähise sulgur (*Reset coil*)
-  Taimer viivitusega sisse (*TON*)
-  Taimer viivitusega välja (*TOF*)
-  funktsiooni plokk liiguta (*MOVE*)
-  Hargnemispunkt (*Branch*)
-  Domineeriva lähtestamisega funktsiooni plokk (*RS*)
-  binaarne valija (*SEL*)
-  Ja (*AND*)
-  Või (*OR*)
-  Väiksem kui (*LT*)
-  Suurem kui (*GT*)[17]

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Janis Lõhmus

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Alunaut A7 FRB RIB lülitipaneeli koostamine ja paneeli juhtimiseks vajaliku PLC programmi kirjutamine“,

mille juhendaja on Kaarel Koppel,

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

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

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

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

---

23.05.2020

---

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