



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ATTE SINKKO

Liukukytken simulointi logiikka- ohjelmalla

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2024

TIIVISTELMÄ

Sinkko, Atte: Liukukytkimen simulointi logiikkaohjelmalla
Opinnäytetyö, AMK
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Kesäkuu 2024
Sivumäärä: 41

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa liukukytkimen simulointi logiikkaohjelmalla Kongsberg Maritimen Rauman koulutuskeskukseen, tavoitteena koulutuksen ja käyttöönoton parantaminen.

Työn teoriaosuudessa tutustaan simuloitavaan liukukyttimeen, olemassa olevaan koulutussimulaattoriin, PLC-ohjelmointiin ja simulointiin yleisesti. Työn suunnitteluosuudessa käydään läpi PLC-ohjelmointia ja toimeksiantajan aluksille valmistamaa ohjausjärjestelmää yleisesti.

Työn käytännönsuudessa hankittiin työlle tarvittavat laitteet, ohjelmoitiin logiikkaohjelma ja pohjustettiin valmiin simulaattorin asentaminen ja yhdistäminen yrityksen ohjausjärjestelmiin.

Lopputuloksena toimeksiantajan koulutuskeskukselle luotiin toimiva logiikkaan rakennettu ohjelmointi simulaatio laivan liukukytimestä, joka voidaan integroida yrityksen ohjausjärjestelmiin.

Avainsanat: Logiikkaohjelmointi, Simulointi

ABSTRACT

Sinkko, Atte: Simulation of slipping clutch with logic-based programming
Bachelor's thesis
Electrical and automation engineering
June 2024
Number of pages: 41

The purpose of this thesis was to design and implement a simulation of a slipping clutch using a logic program for the Kongsberg Maritime training center in Rauma, with the aim of improving training and implementation.

The theoretical part of the work introduces the slipping clutch simulated in the thesis, the existing training simulator, PLC programming and simulation in general. The planning section covers PLC programming and the control system manufactured by the client for their vessels in general.

In the practical part of the work, the necessary equipment was acquired, the logic program was programmed, and the installation and integration of the completed simulator with the company's control systems were prepared.

As a result, a functional logic-based programming simulation of the ship's slipping clutch was created for the client's training center, which can be integrated into the company's control systems.

Keywords: Logic-based programming, Simulation

ALKUSANAT

Haluaisin kiittää toimeksiantajaa Kongsberg Marititime Finland Oy:tä, sekä antaa erityiskiitokset työnohjaajille Jani Jalavalle ja Jari-Pekka Koskiselle. Työ haastoi omaa osaamista ja kehitti kirjoittamistaitojani, koen olevani paremmin valmis työelämään sen ansiosta.

SISÄLLYS

1 TOIMEKSIANTAJA	8
1.1 Kongsberg Gruppen	8
1.2 Kongsberg Maritime Finland oy	8
2 JOHDANTO	9
2.1 Nykytilanne	9
2.2 Työn tavoitteet ja tarkoitus	9
2.3 Työn rakenne	9
3 SIMULOINTI	10
3.1 Mitä on simulointi?	10
3.2 Tietokonesimulointi	11
4 OHJELMOITAVA LOGIIKKA	12
4.1 Mikä on Ohjelmoitava logiikka?	12
4.2 Miten Ohjelmoitava logiikka eroaa normaalista tietokoneesta?	12
4.3 Historia	12
5 KÄYTETTÄVÄT OHJELMAT	13
5.1 TIA Portal v17	13
5.2 AutoCAD	14
6 LAIVAN OHJAUSJÄRJESTELMÄT	15
6.1 Ruoripotkuri ja Aquapilot	15
6.2 Komentosilta	15
6.3 Ohjauskäskyt komentosillalta potkuriyksikölle	16
6.4 Ohjausjärjestelmän osat ja keskukset	17
7 KOULUTUSSIMULAATTORI	18
7.1 Laitteiston konfiguraatio	18
7.2 Simulaattorin käyttö koulutustilanteessa	19
8 LAITTEISTO JA SIGNAALIT	20
8.1 Logiikka	20
8.2 Moduulit	20
8.3 Tulotiedot	21
8.4 Lähtötiedot	23
9 OHJELMA	24
9.1 Ohjelman rakenne	24
9.2 Aluksen toiminnot	25
9.3 Slipping-tila	26
9.4 On/Off-tila	27

9.5 Firefight-tila.....	28
9.6 Anturi tietojen jäljitteleminen.....	29
10 TULOKSET	32
10.1 Simuloinnin toiminnan toteaminen.....	32
10.2 Slipping-tila.....	33
10.3 On/Off-tila	34
10.4 FIFO-tila	35
10.5 Pulssi.....	36
11 YHTEENVETO.....	37
11.1 Työn lopputulos	37
11.2 Työn haasteet ja oppiminen	38
LÄHTEET.....	39
LIITTEET	41

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO (EI PAKOLLINEN)

LD	Light-duty
HD	Heavy-duty
ACU	Azimuth thruster control unit
PLC	Programmable logic controller
SCL	Structured control language
LAD	Ladder diagram
FBD	Function block diagram
Hz	Hertzi

ÄLÄ POISTA TÄMÄN RIVIN ALLA OLEVAA OSANVAIHTOA.

1 TOIMEKSIANTAJA

1.1 Kongsberg Gruppen

Kongsberg Gruppen on kansainvälinen, Norjassa vuonna 1814 perustettu teknologia alan yritys, joka valmistaa korkeateknologian ratkaisuja meriteollisuuteen, puolustusteollisuuteen, ilmailuun sekä öljy ja kaasuteollisuuteen. Vuonna 2023 yrityksen liikevaihto oli 40 miljardia Norjan kruunua (NOK). Yritys työllisti 13 341 työntekijää 39 maassa. (Kongsberg Maritime, 2023)

1.2 Kongsberg Maritime Finland oy

Kongsberg Maritime Finland Oy on Kongsberg Maritimen suomen alahaara joka toimii kolmessa kaupungissa, Raumalla, Turussa ja Kokkolassa. Kongsberg maritime finland oy on perustettu vuonna 1995 ja laajeni huomattavasti, kun Kongsberg Gruppen osti Rolls-Royce Plc:n Marine-liiketoiminnan vuonna 2019. Yrityksen juuret ovat Raumalla vuonna 1945 perustettu Hollming Oy joka alkoi suunnittelemaan ja valmistamaan ruoripotkureita 1960-luvun alussa. Erinäisten vaiheiden jälkeen tämä yritys ja sen liiketoiminta myytiin aiemmin mainitulle Rolls-Roycelle.

Yritys työllistää suomessa noin 600 työntekijää, joista noin 450 Raumalla. Rauman tehtaalla valmistetaan ja suunnitellaan yrityksen tuottamia ruoripotkureita sekä suunnitellaan kansilaitteistoa. Kokkolassa valmistetaan suihkuturbiini perämoottoreita ja Turun toimistossa toimii laivojen etäoperointiratkaisuihin erikoistunut yksikkö. (Hollming, 2024; Kongsberg, 2024)

2 JOHDANTO

2.1 Nykytilanne

Kongsberg Maritime Finland Oy kouluttaa insinöörejä yrityksen laivapotkureiden huolto ja käyttöönotto tarkoitukseen yrityksen koulutuskeskuksessa Rauman satamassa. Koulutuskeskuksella on käytössään simulaattori, joka simuloi laivan potkuria, moottoria ja LD- liukukytkimen toimintaa. Ongelmana on kuitenkin simulaattorissa käytetty Aquapilotin ohjelma, joka poikkeaa oikeassa tilanteessa käytettävästä järjestelmästä, jota yritys myy ja huoltaa.

Jotta simulaattori toimisi tällä hetkellä toivotulla tavalla, on ohjelmaan ja kytkentöihin tehty muutoksia, millä simulaattori luo potkurin ja moottorin kierrosnopeudet.

2.2 Työn tavoitteet ja tarkoitus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella ja luoda mahdollinen ohjelma vastalogiikkaan ACU:ssa (Azimuth control unit eli keskus, jossa sijaitsee ohjaukselle keskeisimmät komponentit) olevalle CanMan logiikalle, joka toimisi laivan moottorin ja potkurin simulaattorina. Tarkoitus tällä on saada koulutuskeskuksessa tapahtuva koulutus mahdollisimman lähelle oikeaa tilannetta, jolloin simulaattorissa käytetty ohjelma ja kytkentä olisivat samat kuin tositilanteessa.

Työssä perehdytään Siemens Tia portal ohjelmointi ympäristöön ja toimeksiantajan valmistamaan ohjausjärjestelmään sekä aluksien moottorien, kytkimien ja potkurien toimintaan.

2.3 Työn rakenne

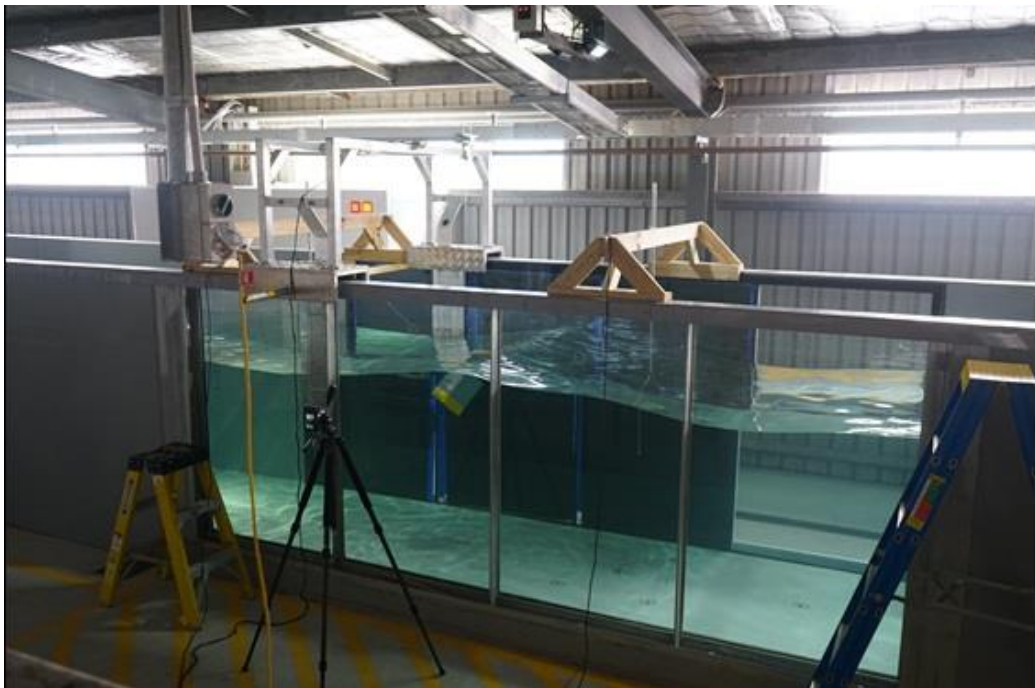
Työn teoria osuus käsittelee työssä käytettyjä ohjelmia, simulointia, laivan ohjausjärjestelmiä, laivapotkureiden toimintaa ja niiden voimansiirtoa, kohteessa

olevaa simulaattoria ja sen käyttötarkoitusta sekä työssä valmistuneen simulointi ohjelman rakennetta. Työn toinen osuus on Siemensin TIA portal ohjelmointi ympäristöllä rakennettu ohjelma, sekä toimeksiantajalle rakennettu loogikkaohjainyksikkö.

3 SIMULOINTI

3.1 Mitä on simulointi?

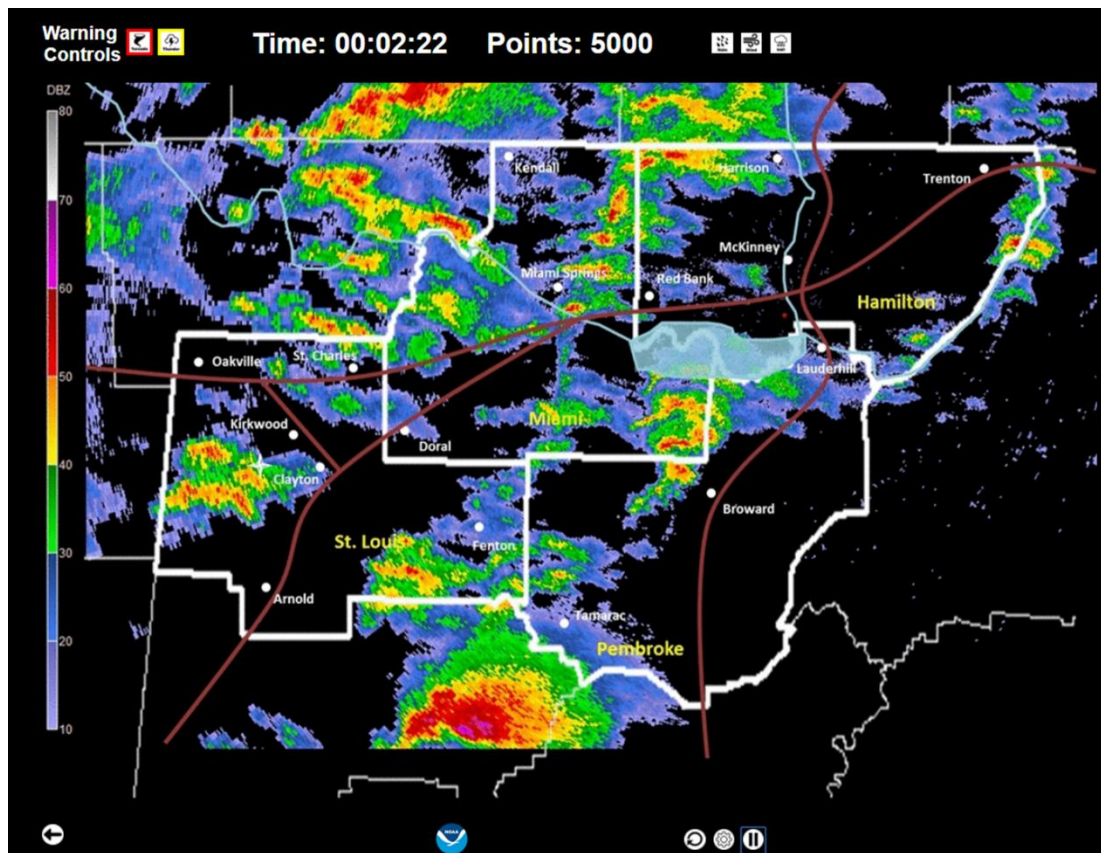
Simulointi on jonkin prosessin, toiminnan tai asian jäljittelyä, joka voisi tapahtua oikeassa elämässä. Käytännössä simulaatio on mallinnus asiasta, jota simuloidaan. Simulaation voi toteuttaa monella tapaa esim. jos halutaan simuloida aaltojen vaikutusta laivoihin, voidaan vesialtaaseen luoda aallokko (ks. kuva 6.) ja ajaa siellä oikeiden alusten miniatyyriverisioita jotka on suhteutettu aaltojen kokoon. Tällaisesta simulaatiosta voidaan saada elintärkeää tietoa aluksen käyttäytymisestä kovassa aallokossa.



Kuva 1. Kauko-ohjatun sukellusrobotin testaus aalto simulaattorissa (The University of western australia, 2024)

3.2 Tietokonesimulointi

Tietokonesimulointi on tietokone ohjelmalla tehty mallinnus kohteena olevasta asiasta. Esimerkiksi sääilmiöistä tehdyt mallinukset, joilla ennustetaan säätä, ovat myös simulaatioita. Tällaiset simulaatiot rakennetaan siten, että ohjelmaan syötetään arvoja esimerkiksi tutkan hankkimista tiedoista ja ohjelma tuottaa simulaation halutusta sääilmiöstä (Kuva 2). Tätä simulaatiota tutkien voidaan arvata sääolosuhteet tietyillä alueilla.



Kuva 2. Säätutkan antamien tietojen mukaan tehty simulaatio sääennustusta varten (NOAA, 2018)

Tässä työssä simuloidaan laivan moottoria, kytkintä ja potkuria. Annettavina arvoina toimivat kaasukahvan asento ja muut kytkimen ja moottorin vaikuttavat toiminnot. Simuloinnin tavoite on luoda uskottava arvo propellin nopeudelle, suhteessa annettuun komentoon.

4 OHJELMOITAVA LOGIIKKA

4.1 Mikä on Ohjelmoitava logiikka?

Ohjelmoitava logiikka eli PLC on teollisuus ympäristöön suunniteltu tietokone, joka mahdollistaa tietokoneen monipuolisen käytön teollisuuden rankoissa olosuhteissa. Käytännössä se on yksinkertaistettu versio normaalista tietokoneesta, mihin on lisäksi asennettu valmiit tulo ja lähtö portit. Logiikka ohjaimet on yleensä suunniteltu siten, että ohjelmaa olisi yksinkertaista luoda ja lukea.

4.2 Miten Ohjelmoitava logiikka eroaa normaalista tietokoneesta?

Missä normaali koti- tai työkäytössä oleva tietokone eli PC (Personal computer) on optimoitu graafiseen työhön ja tarkkoihin matemaattisiin laskutoimituksiin, on ohjelmoitavat logiikat optimoitu toistuvaan suoritukseen ja laite ohjaukseen. Ohjelmoitavat logiikat on myös suunniteltu kestäämään teollisuudessa syntyvät ympäristö haitat kuten värinä, lämpötilan ääriolosuhteet, kosteus ja sähkömagneettiset häiriöt. (Bolton, 2009, s.3)

4.3 Historia

Ennen ohjelmoitavan logiikan keksimistä automaatio-ohjaukset teollisuudessa tapahtuivat lähinnä sähkörele ohjauksilla. Amerikkalainen General Motors aloitti 1960 luvun loppupuolella etsimään korvaajaa monimutkaisille releohjauksille. Laitteen tavoitteena oli kilpailla hinnassa, luotettavuudessa ja muokattavuudessa. Laitteen piti olla myös helposti ohjelmoitava sekä ohjelmaa piti olla helppo muokata jälkeenpäin. Vuonna 1969 valmistui ensimmäinen Ohjelmoitava logiikka MODICON eli "modular digital controller" jonka ohjelmointi kielenä käytettiin "Tikapuulogiikkaa" (Ladder diagram). Kyseinen kieli valikoitui, koska se pohjautui jo sähköasentajille tuttuihin rele kytkentäkuviin. (Bolton, 2009, s.4; Hanssen, 2015, s.25)

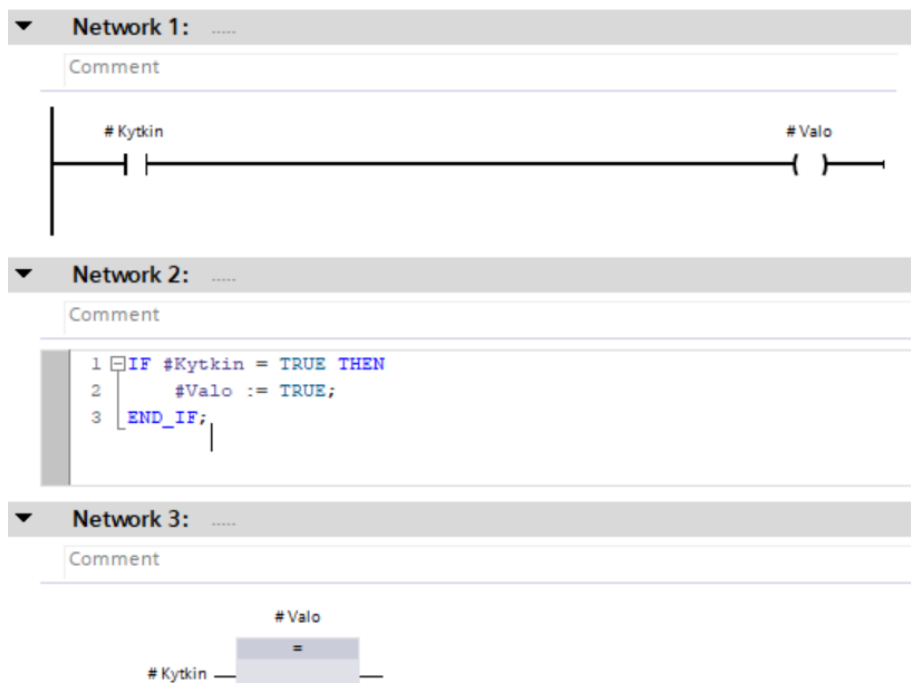
5 KÄYTETTÄVÄT OHJELMAT

5.1 TIA Portal v17

Työssä käytettyä Siemensin logiikka ohjainta ohjelmoidaan käyttäen TIA Portal ohjelmointiympäristöä. Siemensin tuotteet valikoituivat työhön, koska toimeksiantajan tuotteissa käytetään ajoittain samaa logiikkaa ja niitä oli valmiiksi toimeksiantajan varastossa. Siemens on myös tuttu ympäristö, jota ei erikseen tarvinnut opetella käyttämään.

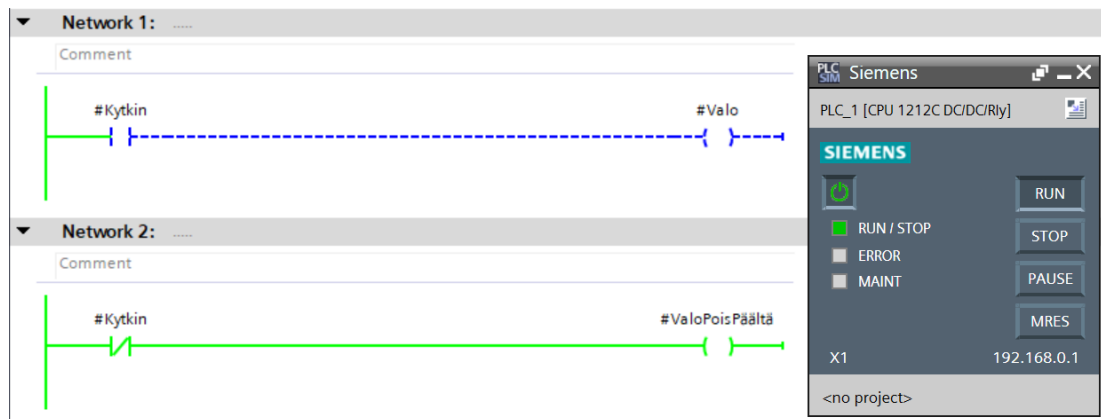
TIA eli "Totally integrated automation" on Siemensin oma ympäristö yrityksen tuotteiden ohjelmointia varten. Kyseinen ympäristö tukee kaikkia siemensin S7 tuoteperheen tuotteita. Ohjelmassa voidaan konfiguroida, ohjelmoida, testata ja diagnosoida laitteet.

Ympäristö myös tukee monia eri ohjelmointi kieliiä mitä voidaan käyttää ympäristön sisällä laitteiden ohjelmoimiseen (kuvassa 3. graafiset ohjelmointi kielet).



Kuva 3. Kuvassa näkyy yksinkertainen valon ohjausohjelma kolmella kielellä. Ylhäältä alaspäin: LAD, SCL ja FBD.

Ympäristössä pystyy myös testaamaan ohjelmaa, lataamalla sen Siemensin tarjoamalle S7-plcsim simulointiohjelmaan, joka toimii logiikan simulaattorina. Tämä helpottaa huomattavasti vian etsinässä ja ohjelman testauksessa, kehitys vaiheessa.



Kuva 4. Esimerkki ohjelman simuloinnista S7-plcsimin kanssa. Kun kytkin on pois päältä, ohjelma saa tiedon vihreällä korostettuun “ValoPoisPäältä” tietoon.

5.2 AutoCAD

AutoCAD on yhdysvaltalaisen Autodesk, Inc. valmistama CAD- ohjelma (Computer assisted drawing). Ensimmäinen versio AutoCAD:istä on julkaistu jo vuonna 1982.

Kongsberg Maritime Finland Oy:ssä AutoCAD:ia käytetään sähkökuvien, pneumatiikkakuvien ja hydraulikkakuvien piirtämiseen ja suunnitteluun, joten se oli luontainen valinta sähkökuvien piirtämiseen laitejärjestelmälle. Esimerkki Autocadissä piirretystä piirikaaviosta liitteessä 1.

6 LAIVAN OHJAUSJÄRJESTELMÄT

6.1 Ruoripotkuri ja Aquapilot

Ruoripotkuri tai atsimuuttipotkuri on potkuri joka pystyy pyörimään oman pystyakselinsa ympäri, näin korvaten peräsimen tarpeen aluksissa. Kongsberg Maritime Finland Oy valmistaa Aquapilot-ohjausjärjestelmää yrityksen potkurilaitteille, joka käyttää takaisinkytkentä menetelmää laitteiden ohjaukseen. Takaisinkytkennällä tarkoitetaan syötetyn signaalin ja laitteelta takaisin saadun signaalin vertailua signaalin lähteessä, joka on tässä tapauksessa Aquapilotin ACU.

6.2 Komentosilta

Laivan ohjaaminen tapahtuu komentosillalta, josta on paras näkyvyys aluksen ympäristöstä. Komentosilta voi aluksen konfiguraatiosta ja potkureiden määrästä koostua monestakin operointiasemasta. Aluksilla on yleensä vähintään kaksi operointiasemaa, jotka on kahdennettu, eli ne ovat redundanttisia luokien vaatimuksien mukaan. Jos aluksella tapahtuu onnettomuus ja toinen operointiasema ja sen järjestelmät ovat tämän takia poissa käytöstä, täytyy toisen operointiaseman olla toiminnassa. (Marine offshore Bureau Veritas, 2024, s. 356)

Tällöin toinen operointiasema on pois käytöstä turvallisuussyistä ja asemalta aluksen haltuunotto onnistuu vain kuittauksella alkuperäisestä operointiasemasta.



Kuva 5. Operointiasema.

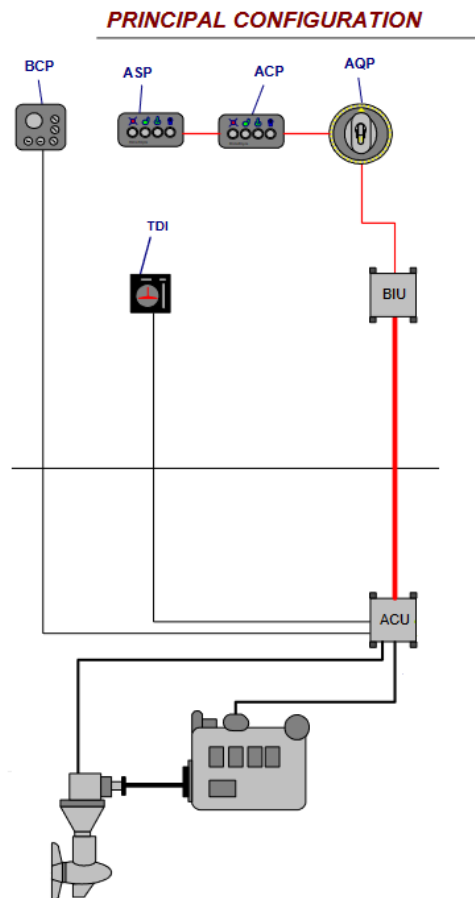
6.3 Ohjauskäskyt komentosillalta potkuriyksikölle

Komentosillalta konehuoneeseen voi olla isoimmissa aluksissa satoja metrejä välimatkaa. Jotta käskyt menisivät luotettavasti perille, tarvitsee komentosillan ja konehuoneen väliin rakentaa ns. kenttäväylä, jota pitkin signaalit kulkevat. Esimerkkinä tällaisesta väylästä on teollisuudessa käytetty sarjaliikenneprotokolla Modbus joka mahdollistaa signaalien kulun yksinkertaisemmalla kaapeloinnilla lähettäen ohjauksen datan 8-bittisenä tietona kohteeseen.

Yleensä kaapelointiin käytetään erillistä sarjaporttia tai nykyään yleisemmin käytettyä TCP/IP protokollaa ethernet kaapelin muodossa.

Käytännössä kapteenin komento kahvalla siirtyy komentosillalta olevalta Bridge interface unit:ilta kenttäväylää pitkin laivan konehuoneessa sijaitsevaan

ACU:hun jossa siellä oleva logiikkaohjain vastaanottaa tiedon ja tekee ohjaukset laitteeseen.



Kuva 6. Esimerkki konfiguraatiosta. (Kongsberg Maritime Finland Oy, 2023)

6.4 Ohjausjärjestelmän osat ja keskukset

Azimuth Thruster Control Unit eli ACU on ohjauskeskus mikä sijaitsee aluksen konehuoneessa ja ohjaa aluksen moottoria, kytkintä ja potkurin asentoa. ACU sisältää pari erillistä I/O moduulia ja Canman logiikkakontrollerin, joka ohjaa yksittäistä potkuriyksikköä. Jokaista potkuriyksikköä kohden on siis yksi ACU.

Bridge Interface Unit eli BIU on komentosillalla sijaitseva keskus, johon kytketään operointiaseman komentolaitteet, josta ne kulkeutuvat kenttäväylää pitkin ACU:lle. Komentolaitteita ovat esimerkiksi ohjauskahva ja laitetta suoran operoivat painonapit (ACP ja ASP).

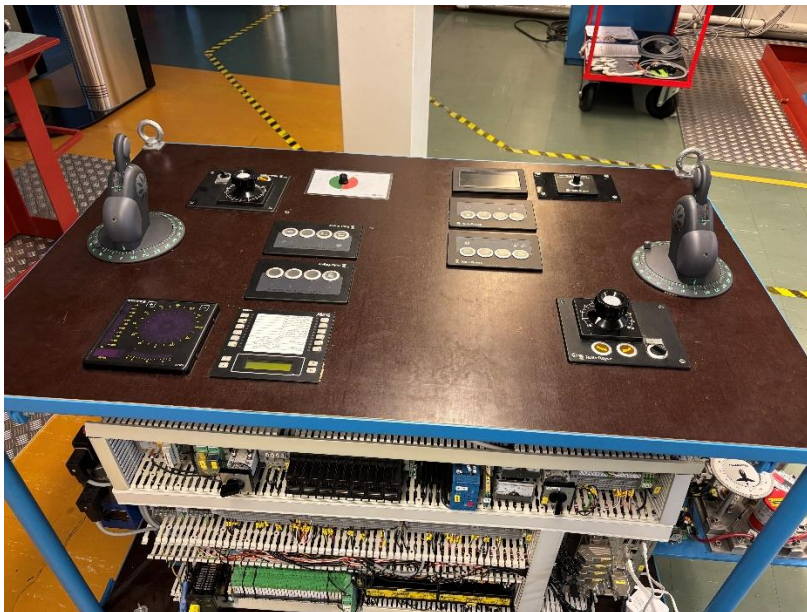
BCP eli backup panel on varapaneeli ohjaukselle ongelma ja virhe tilanteita varten. Kuten kuvassa 6. näkyy, menee komento BCP:ltä suoraan ACU:lle.

TDI eli Thrust Direction Indicator osoittaa komentosillalla laitteen eli potkurin suuntaa ja nopeutta.

7 KOULUTUSSIMULAATTORI

7.1 Laitteiston konfiguraatio

Tällä hetkellä koulutussimulaattori on liikutettava pöytä, minkä pintaan on tehty komentosillan kahden eripäädyn operointipöydän ohjausjärjestelmät, siis eteen ja taakse.



Kuva 7. Koulutussimulaattorin komentopöytä.

Simulaattori koostuu täysin samoista ohjauslaitteista kuin toimitettavat “pulpetit”. Simulaattorin pöydän alle on myös rakennettu ACU:n komponentit ja kytkennät. Simulaattori ja ACU kytkennät ovat lähtökohtaisesti samat, mutta eroavaisuuksia löytyy. Esimerkiksi voiteluventtiileille lähtevät signaalit puuttuvat

osittain kytkennöistä, joten niitä ei voida simuloida luotettavasti nykyisellä konfiguraatiolla.



Kuva 8. Koulutussimulaattorin kytkennät pöytään asennettuna.

7.2 Simulaattorin käyttö koulutustilanteessa

Simulaattoria käytetään koulutuksen kuvitteellisissa tilanteissa, missä aluksen ohjausjärjestelmän komponentteihin on tullut vikaa. Yleensä “vika” on koulutajan vaihtama tiedettävästi rikki oleva komponentti tai väärin tehty kytkentä. Tällöin koulutettavien tehtävänä on etsiä vika, korjata se tai asentaa mahdollisesti ehjä komponentti tilalle.

Laitetta voidaan myös käyttää käyttöönoton opastuksessa, jolloin ACU:n ohjelman parametrit asetetaan huoltomanuaalin ohjeiden mukaan.

8 LAITTEISTO JA SIGNAALIT

8.1 Logiikka

Tässä työssä käytettiin Siemensin valmistamaa S7-1212c dc/dc/rly logiikka ohjainta simulointiin. Logiikka on reletoiminnalla varustettu, joten se fyysisesti sulkee tai avaa virtapiirin. Tämä aiheutti ongelman, sillä aluksen potkurissa ja moottorissa sijaitsevat kierroslukuanturit syöttävät pulssia ACU:lle, koska pulssi on nopeaa (n.1950-5400Hz) ei fyysinen rele pysty tuottamaan niin nopeaa pulssia. Ohjelma tarvitsi myös analogi lähdön, jota logiikkaohjaimessa ei ole.



Kuva 9. Työssä käytetty logiikka ja sen lisämoduulit.

8.2 Moduulit

Jotta ohjelma saataisiin toimimaan logiikassa, tarvittiin ylimääräisiä moduuleita. Näitä hankittiin kolme. Digitaalinen lähtö- kortti, analoginen lähtö- moduuli ja tulo/lähtö moduuli.

Koska logiikka yksinään ei pysty luomaan pulssia, hankittiin digitaalinen lähtö moduuli SB 1222. Kyseinen moduuli mahdollistaa pulssit 200kHz asti.

Myös analoginen lähtö moduuli SM 1232 asennettiin työhön, jotta analoginen signaali liukuventtiilille olisi mahdollinen.

8.3 Tulotiedot

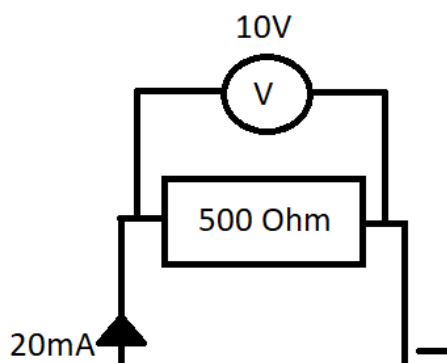
Logiikalle syötetään 11 digitaalista ja 2 analogista tulotietoa koulutussimulaattorista (Taulukko 1). Digitaaliset tulo tiedot ovat tyyppiä "Bool" eli niillä on kaksi tilaa: Päällä tai pois päältä. Kun digitaaliseen tuloporttiin syötetään jännitettä, se aktivoituu ja menee tilaan "TRUE". Kun tuloporttiin tuleva jännite katkeaa, se deaktivoituu ja tila muuttuu "FALSE" tilaan.

Koska laitetta ohjaava kaasukahva antaa komentotiedon milliampeereina (4...20mA) ja logiikka pystyy lukemaan vain jännitetuloa (-10v...10v) voidaan käyttää ohmin-lakia apuna. Kun syötetään 16mA signaalia 500Ω vastukseen, saadaan vastuksen yli mitattua jännitettä. Tämä jännite voidaan myös todeta Ohmin lain kaavalla

$$U = R * I$$

jossa U on jännite, R on vastus ja I virta. Saadaan laskutoimitus

$$500\Omega * 16mA = 8V$$



Kuva 10. Vastukselta voidaan lukea syötettyä virtaa vastaava jännitearvo

Koulutus-simulaattorissa on myös liukuventtiili jolle laite syöttää PWM tietoa, jonka mukaan venttiili sulkeutuu ja avautuu. PWM-signaali voidaan myös mitata suoraan jännitteenä 0-24V. Koska logiikka ei pysty lukemaan näin korkeaa jännitettä tarvittiin jännitteen jakaja (Katso kuva 11). Kuvassa syötetään PWM-

signaalin jännite liittimeen #1 ja liitin #3 on kytketty maahan. Logiikan analogi tuloon menevä jännite saadaan liittimestä #2.

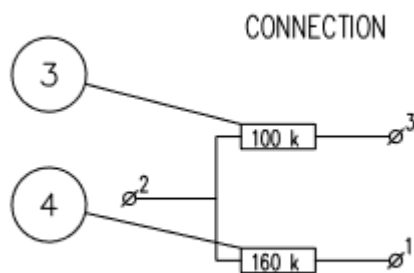
Jännitejakajalla saatu jännite voidaan todeta kaavalla

$$V_{out} = V_{in} * R1 / (R1 + R2)$$

Jossa V_{out} on lähtevä jännite, V_{in} on syötetty jännite, $R1$ on ensimmäinen vastus ja $R2$ toinen vastus.

Jos syötetty jännite on 20V ja vastukset kuvan 9. mukaiset, saadaan jännitejakajalla tulokseksi 7,69V jännite.

$$20V * 100\,000\Omega / (100\,000\Omega + 160\,000\Omega) = 7,69V$$



Kuva 11. Jännitejakaja

Taulukko 1. Ohjelman tulotiedot

Nimi	Tyyppi	Osoite	Kommentti
i_fireFight	Bool	I0.0	Tulipalo pumppu aktivoitu
i_clutchDisengageRequest	Bool	I0.1	Kytkimen avaus pyyntö
i_clutchControlValve	Bool	I0.4	Kytkin On/Off tai slipping
i_clutchEngaged	Bool	I0.5	Kytkin aktivoitu
i_clutchDisengaged	Bool	I0.6	Kytkin auki
i_clutchEngagePrevention	Bool	I0.7	Kytkimen esto
i_readyForFiFi	Bool	I8.0	Kytetään manuaalisesti painonapilta
i_valveY363_On	Bool	I8.1	Voitelu venttiili päällä

i_valveY369_On	Bool	I8.2	Voitelu venttiili päällä
i_valveY363_Off	Bool	I8.3	Voitelu venttiili kiinni
i_valveY369_Off	Bool	I8.4	Voitelu venttiili kiinni
Throttle	Int	IW64	Jännitekomento kahvalta
painePWM	Int	IW66	Jännitekomento venttiililtä

8.4 Lähtötiedot

Ohjelman lähtötiedot voidaan nähdä alla olevasta taulukko 2. lähtötiedoissa on vastaavia "Bool" tyyppisiä portteja, jotka ovat myös joko päällä tai pois päältä. Analogisen lähtötiedon portti paineventtiilille sijaitsee analogimoduulissa ja se syöttää jännitettä (0...10V). Lähtötietojen erikoisuus ja suurin ero on pulssi lähdöissä. Näillä ei ole ohjelmassa samalla tavalla sijoitettu osoitetta, vaan osoite saadaan pulssi generaattorin konfiguraatiosta. Tähän perehdytään tarkemmin kappaleessa 9.6 Anturi tietojen jäljitteleminen.

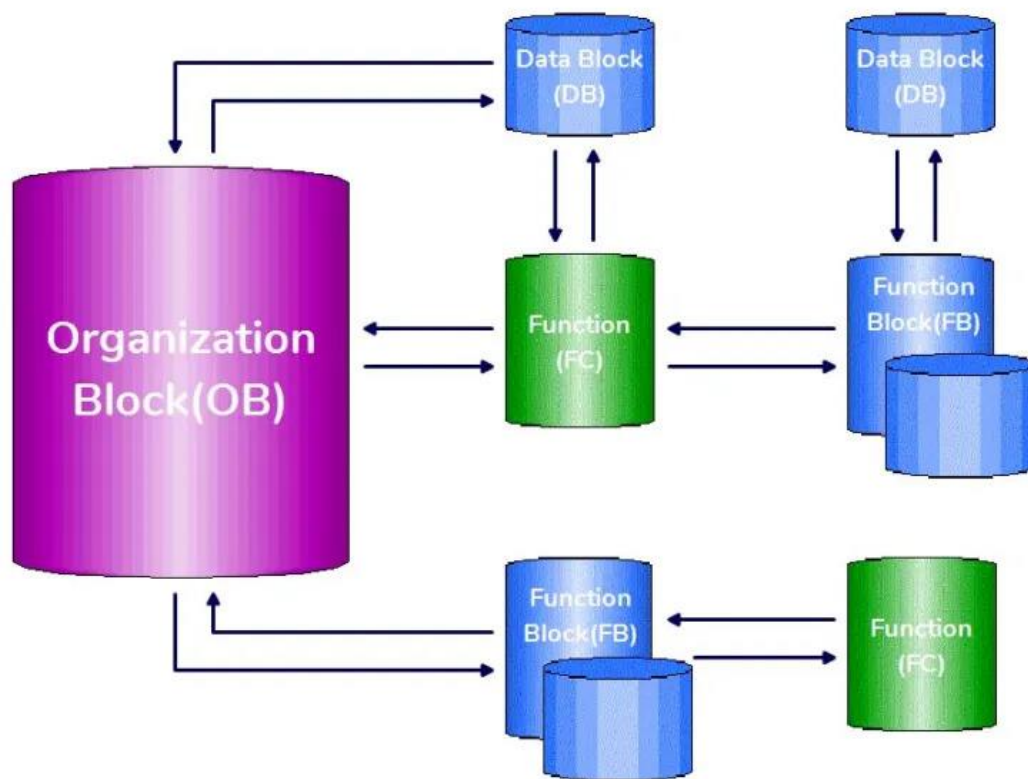
Taulukko 2. Ohjelman lähtötiedot

Nimi	Tyyppi	Osoite	Kommentti
o_clutchEngaged	Bool	Q8.0	Kytkin aktivoitu
o_clutchDisengaged	Bool	Q8.1	Kytkin auki
o_readyForFIFl	Bool	Q8.2	Ohjelma valmis FIFl:iin
o_firePumpEngaged	Bool	Q8.3	FIFl pumppu aktivoitu
o_fifiModeSelected	Bool	Q8.4	FIFl valittu
o_paineVenttiili	Int	QW112	Venttiilin jännitekomento
RPMpulseEngine	Pulse	Q4.0	"Moottorianturi" pulssi
RPMpulseProp	Pulse	Q4.2	"Potkurianturi" pulssi

9 OHJELMA

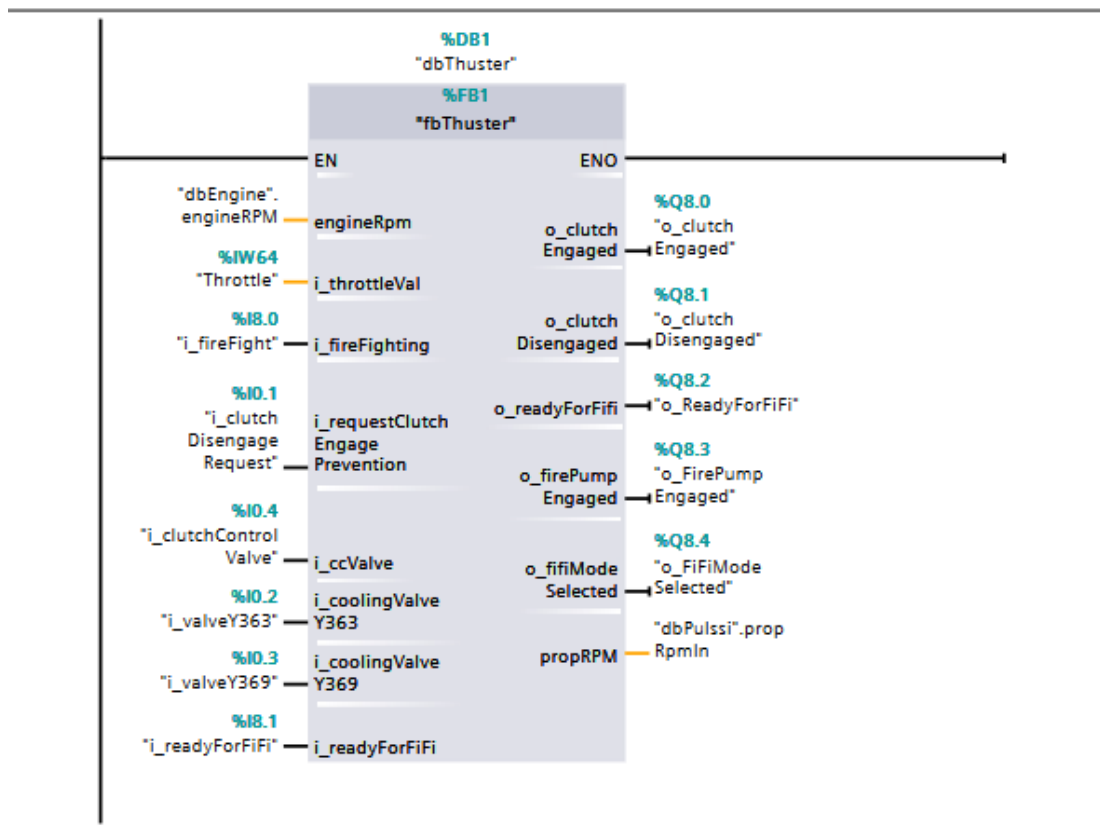
9.1 Ohjelman rakenne

Siemensin ohjelmointi ympäristössä ohjelma jakautuu tärkeyden mukaan Organization blockkeihin (OB). Prioriteetin saa ohjelmassa pienimmän luvun omaava Organization block. Tässä työssä on vain yksi OB käytössä, OB1 eli "Main". OB1 sisällä olevaa ohjelmaa suoritetaan jatkuvasti 1ms taajuudella.



Kuva 12. Siemens PLC ohjelmointi blockkien rakenne. (Instrumentationblog, 2024)

Ohjelma on jaettu kolmeen osaan: Potkuri, moottori ja pulssi, joka luo anturi tietoa. Nämä ohjelmat on tehty omiin function blockkeihin, jotka nimensä mukaisesti suorittavat sisään rakennettua funktiota. Function blockin sisään rakennettua ohjelmaa voidaan käyttää moneen otteeseen. Jos simulaattoriin halutaan jälkikäteen lisätä toinen potkuri/moottori yhdistelmä, voidaan mainiin sijoittaa ohjelmaan tarvittavat function blockit ja näille sijoitettavat tulo/lähtötiedot (Kuva 13).



Kuva 13. Function block OB1 (main) rakenteen sisällä.

9.2 Aluksen toiminnot

Simulaattori toimii eri toiminnoissa ns. modeissa riippuen kytkimen asennosta ja ohjauspaneelin komennoista. Toimintoja on kolme: Slipping-tila, On/Off-tila ja Firefight-tila. Näistä Slipping-tilaa ja On/Off-tilaa käytetään normaali ajossa ja Firefight-tilaa vain, kun tulipalo pumppua pyöritetään moottorin avustuksella. Nämä tilat ovat keskeinen osa kytkimen toimintaa, joten niiden ohjelmointi simulointiin oli tärkeä osa työtä. Eri tilojen toimintaa avataan enemmän niille omistetuissa alaotsikoissa sekä miten ne on ohjelmoitu toimimaan ohjelma rakenteen sisään.

9.3 Slipping-tila

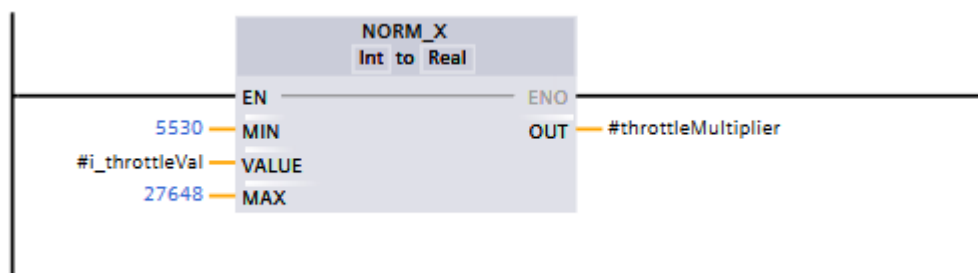
Slipping-tila eli liukukytkin toiminto on perusperiaate liukukytkimen toiminnassa aluksissa. Se mahdollistaa aluksen ohjaamisen ja liikkumisen hitailla potkuri nopeuksilla, joita tarvitaan esimerkiksi satama-alueilla.

Liukukytkimen toiminta-alue on kaasukahvan komento 0-30%, oikeassa tilanteessa kaasukahvan ja kytkimen asento tai tehon tuotto potkurilla ei ole lineaarinen, mutta simulaation ohjelmassa tämä on tarkoituksella jätetty lineaariseksi, jotta ohjelma olisi yksinkertaisempi ja jotta koulutuskäytössä kytkintä olisi helpompi demonstroida eri asteilla.

Käytännössä kun kaasukahva on alle 30% komennossa, moottorin kierrokset pysyvät tyhjäkäynnillä eli noin 650 kierrosta/minuutti ja laivan nopeutta ohjataan liukukytkimen asennolla. Jos kahvan asento on n.15% tulkitsee ohjelma että kytkin on noin puolessa välissä sulkeutumista ja täten potkurin nopeus on puolet mitä se olisi kahvan ollessa 30% asennossa.

Ohjelmassa tämä toteutetaan siten, että sisään tuleva analogi tieto kahvan komennosta jaetaan alueelle 0.0-1.0. Tähän on käytetty valmista ohjelma blockia "NOMR_X" joka näkyy kuvassa 14.

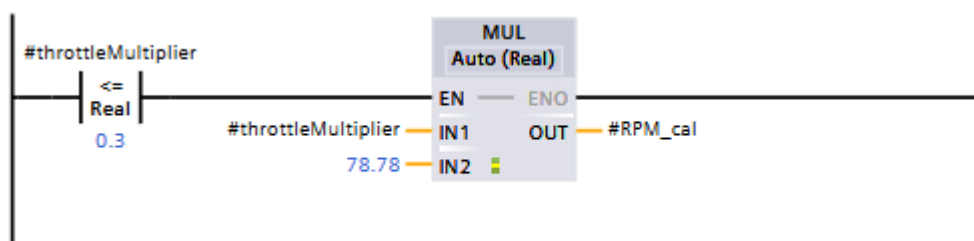
Tässä valmiissa ohjelmablockissa määritellään tulotiedon minimi arvo ja haluttu maksimi arvo. Koska tässä tilanteessa analogi arvon tulotiedon minimi on 5530, asetetaan se minimi arvoksi, joka vastaa lopputuloksena nollaa.



Kuva 14. Sisään tuleva arvo "i_throttleVal" on minimissään 5530 ja maksimis-
saan 27648 (4-20mA)

NORM_X:stä saatu arvo "throttleMultiplier" täten kertoo kaasukahvan asennon reaailukuna. Koska liukukytkimen yläraja normaali tilanteessa on 30% voidaan ohjelmassa käyttää "throttleMultiplierin" arvoa 0.3 raja-arvona liukukytkimen ohjelmassa.

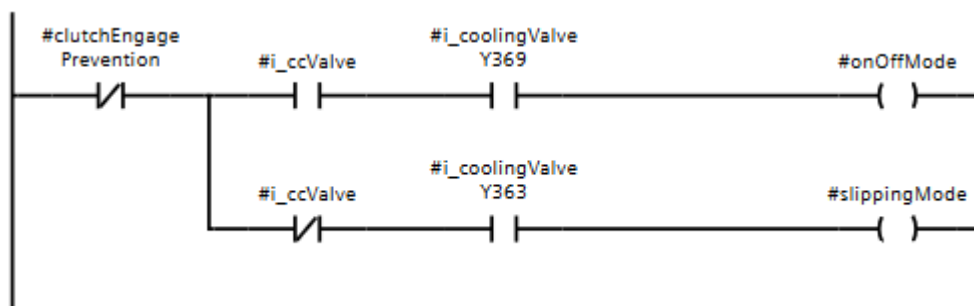
Kun "throttleMultiplier" arvo on alle 0.3 käytetään kuvassa 15. näkyvää ohjelman osaa, joka antaa muuttujalle "RPM_cal" slipping tilan potkurin nopeuden.



Kuva 15. "throttleMultiplier" kerrotaan arvolla 78.78 joka on moottorin tyhjäkäynti nopeus 650 kierrosta/minuutti jaettuna vaihdesuhteella (8.25)

9.4 On/Off-tila

On/Off-tilassa aluksen kytkin toimii nimensä mukaisesti päälle/pois päältä periaatteella. Käytännössä tämä tila aktivoituu normaali käytössä, kun kaasukahvalla lähestytään 30% syöttöä. Tämän tilan pystyy myös aktivoimaan suoraan ohjauspaneelista nappia painamalla, jolloin kytkin joko sulkeutuu tai avautuu.



Kuva 16. Vasta logiikalta tulevat tulo tiedot määrittelevät kytkimen toiminnon, pois lukien FiFi-tila.

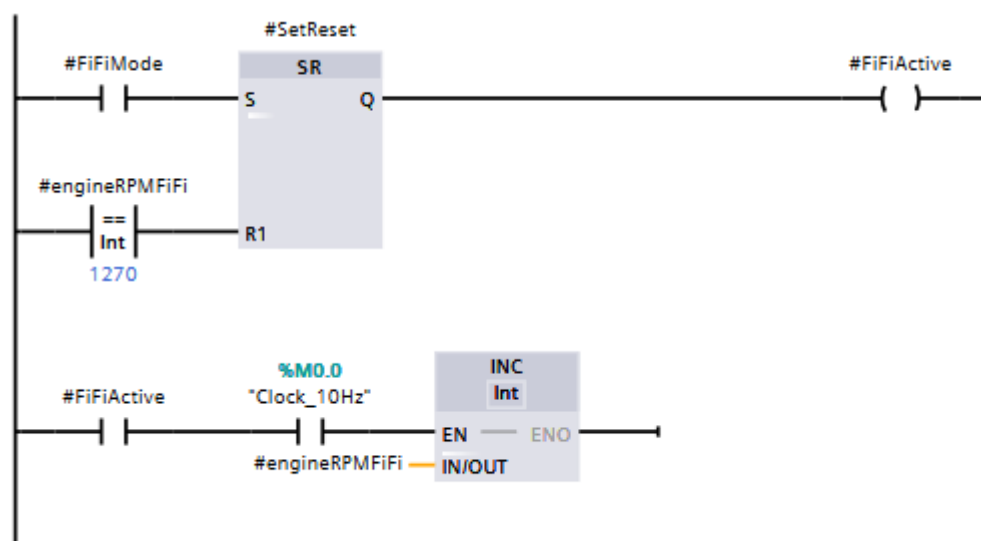
9.5 Firefight-tila

Firefight tai FIFI-tila on nimensä mukaan tulipalon sammutus tilanteissa käytetty toiminto. Tämä toiminto kytkee aluksen moottoriin liitetyn FIFI- pumpun kytkimen ja rajaa moottorin kierrosluvun 1270 kierrosta/minuutti.

Kun firefight aktivoituu ja moottori alkaa pyörimään tasaisella nopeudella, siirtyy kytkin slipping tilaan, jolloin liukualue on kahvalla koko 0-100% komento. Tällöin alus pystyy samalla liikkumaan rajatulla nopeudella, vaikka moottori pyörittää FIFI- pumppua.

Ohjelmassa tämä toiminto yliajaa muut toiminnot, mutta sen voi aktivoida vasta komennon ollessa kaasukahvalla 0%. Koska vastalogiikka ohjaa aktivointi lupaa ohjauspaneelin painonapeille, ei tähän ohjelmaan tarvinnut erikseen rakentaa estoja aktivoinnille.

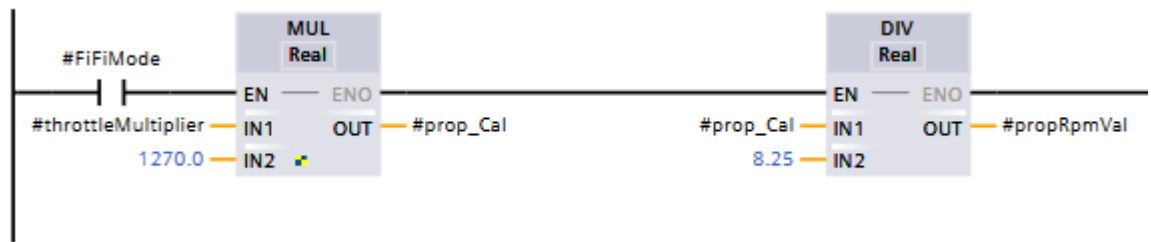
Kun FIFI-tila kytketään päälle, aktivoidaan kuva 17. näkyvä ohjelman osa. Logiikkaan sisään rakennettu pulssi aktivoi 10Hz taajuudella "INC" blockkia joka nostaa moottorin "kierroslukua" yhdellä arvolla joka pulssi. Kierrokset kasvavat tasaisesti moottorissa, kunnes se saavuttaa arvon 1270.



Kuva 17. Firefight-tilan moottorin kierrosluku hallinta.

Potkurin nopeuden käsittely (Kuva 18.) on vastaava kuin slipping-tilassa. Toisin kuin normaalissa slipping-tilassa missä ohjelma katkeaa, kun komento

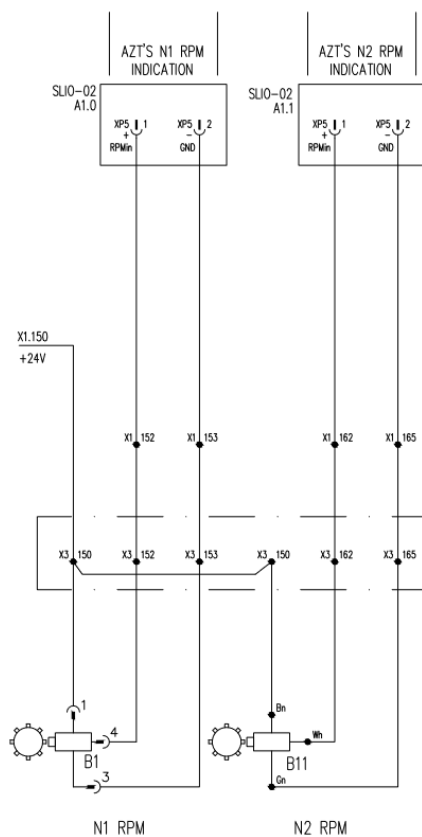
ylittää 30%. FIFI-tilassa käytetään samaa nopeus käsittelyn koodia koko ajan, kunnes FIFI-tila sammutetaan.



Kuva 18. Fifi-tila potkurin nopeus käsittely.

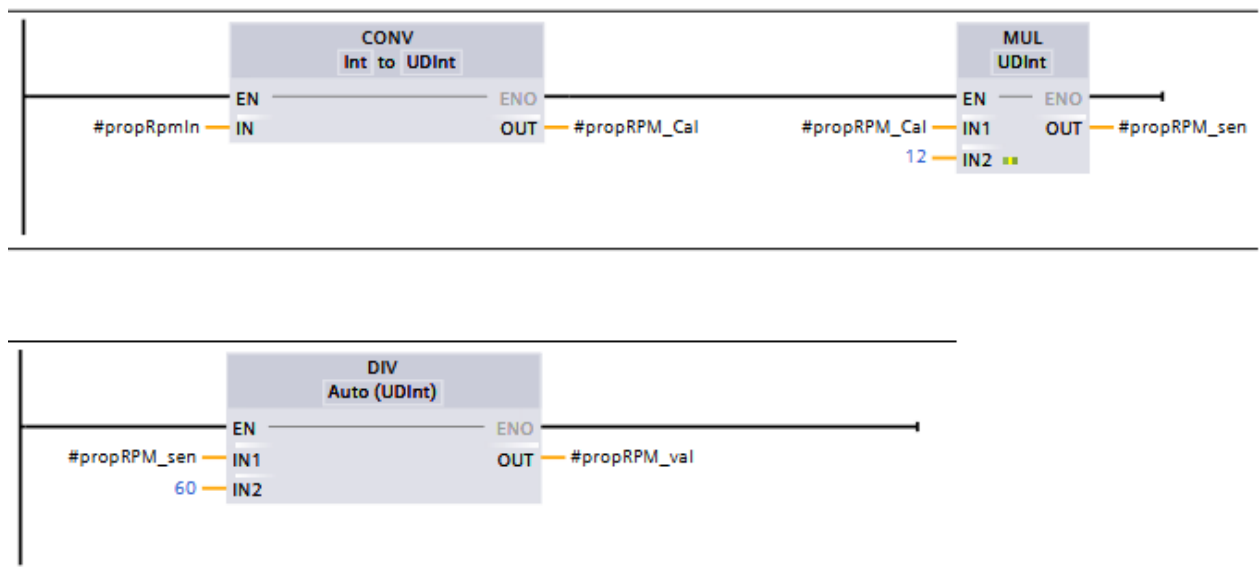
9.6 Anturi tietojen jäljitteleminen

Aluksen logiikka laskee potkurin ja moottorin akseleihin kiinnitetyillä induktio-antureilta. Nämä anturit aktivoituvat sijoituksesta riippuen joko 3 kertaa per kierros (Moottori) tai 12 kertaa per kierros (Potkuri). Tämä pulssi on suoraan kytketty logiikkaan (Kuva 19).



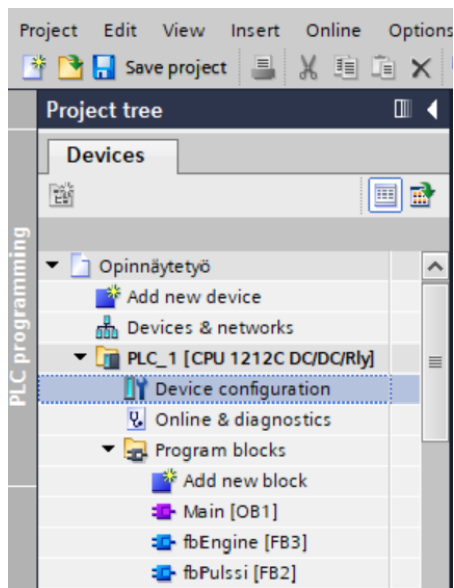
Kuva 19. RPM-anturien piirikaavio. Moottorin anturi on N1 ja potkurin N2 (Kongsberg Maritime Finland Oy, 2023)

Vastaavan pulssin luomiseen ohjelmassa käytettiin PTO- toimintoa eli "Pulse Train Output". Tätä toimintoa käyttäen voidaan syöttää CTRL_PTO blockkiin haluttua pulssia per sekunti. Kuvassa 20. näemme että "anturilta" eli tässä tapauksessa fbProp:ilta tuleva nopeus arvo kerrotaan pulssi nopeudella ja jaetaan sitten sekunneiksi.

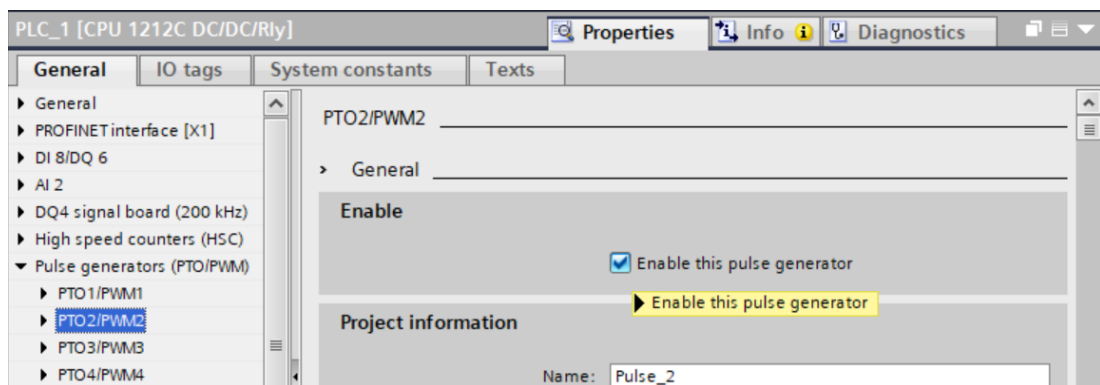


Kuva 20. fbThrusterin antaman kierrosluvun muuttaminen pulssin taajuu-
deksi.

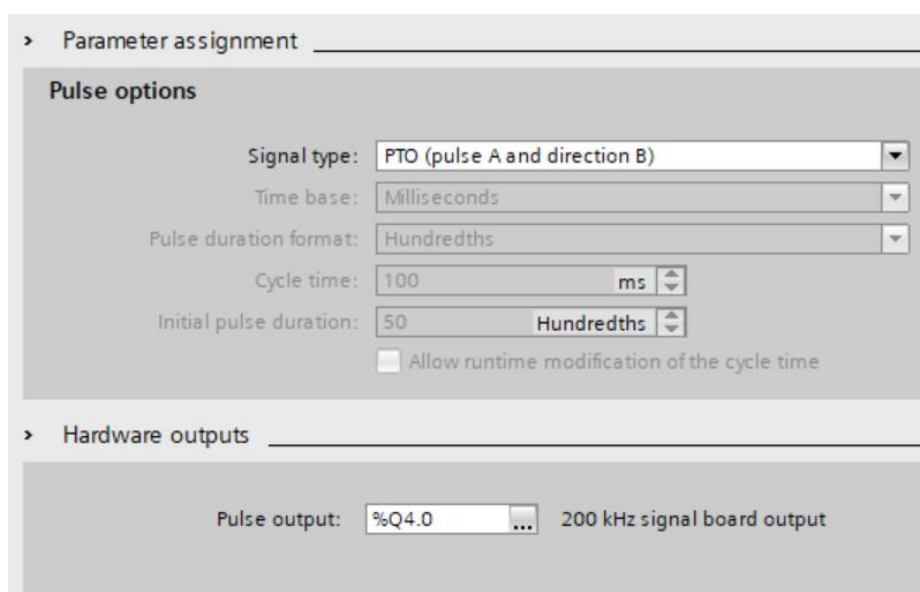
Kun on saatu oikea taajuus, voidaan luoda pulssi laitteelle. Jotta laite logiikka pystyisi luomaan pulssia, tarvitsee se aktivoida laitteen konfiguroinnista. (Kuvat 21, 22 ja 23.)



Kuva 21. Laite konfigurointiin navigointi.

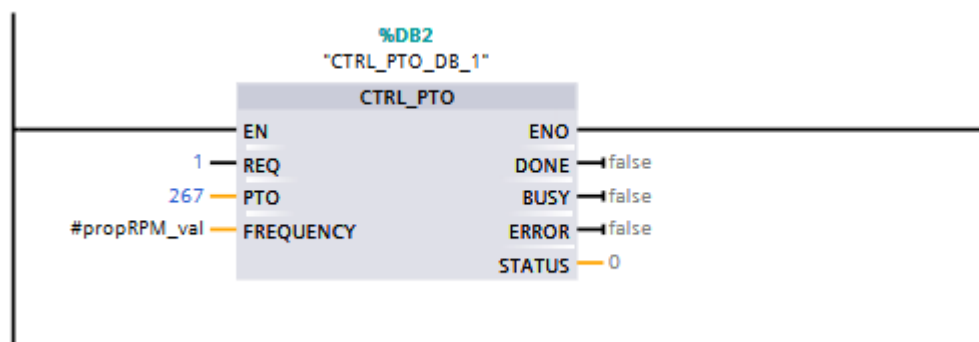


Kuva 22. PTO:n aktivoiminen laitteen ominaisuuksista (properties).



Kuva 23. PTO:n parametrit pulssin tuottamista varten.

Kun laite on konfiguroitu, voidaan ohjelmassa käyttää PTO:ta. Alla olevassa kuvassa 24. näkyy PTO:n käyttö ohjelman sisällä. Kun kuvassa näkyvä parametri REQ saa arvon "1", se asettaa pulssi generaattori tuottamaan FREQUENCYÄ vastaavaa pulssia. PTO parametri on laitteen ominaisuuksista aikaisemmin aktivoitu pulssi generaattori, jonka osoitteen löytää laitteen "system constants" eli laitteiston vakio osoitteista. Tässä tapauksessa osoite "267" vastaa laitteen toista pulssi generaattoria eli PTO2. Aikaisemmin kuvassa 23. asetettiin PTO2 lähtöosoitteeksi "%Q4.0".



Kuva 24. Pulssin luominen ohjelmassa.

10 TULOKSET

10.1 Simuloinnin toiminnan toteaminen

Simulointia voidaan testata ilman fyysistä laite kokonaisuutta PLCSIM:in avulla. Kun ohjelma ladataan käynnissä olevalle PLCSIM:ille, voidaan valittuja tulotietoja "pakottaa" halutuiksi arvoiksi. Pakottaminen tapahtuu TIA portalin sisään rakennetulla Watch tablella eli katselu taulukolla. Watch tablea käytetään ohjelman testaukseen, ongelmien diagnosointiin ja tarkkailuun. Sillä pysyy tarkkailemaan haluttuja tietoja ja tarvittaessa asettaa niille arvoja manuaalisesti. Tällä tavalla testaamisella on rajoituksensa esim. korkeataajuisen

pulssin testaaminen on tällä tavoin mahdotonta, koska sen nopeus on ihmis-silmälle liian korkea ja Siemensin PLCSIM ei tue pulssi generaattoreita. Jotta pulssi voidaan todeta, tarvitsee logiikkaohjain kytkeä laitteeseen joka lukee pulssia.

10.2 Slipping-tila

Slipping tilan toimiminen voidaan todeta asettamalla syötön Clutch control-valvelta nolla tilaan milloin Slipping control ohjaa potkurin nopeutta. Komento kaa-sukahvalta asetetaan 0% tilaan jolloin syöttö analogitulolle on 2 voltia eli arvona 5530 (Kuva 25).

	i	Name	Address	Display format	Monitor value
1		"Throttle"	%IW64	DEC+/-	5530
2		"i_fireFight"	%IO.0	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE
3		"dbEngine".engineRPM		DEC+/-	650
4		"dbThuster".propRPM		DEC+/-	38
5		"i_clutchControlValve"	%IO.4	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE
6		"i_valveY363_On"	%I8.1	Bool	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
7		"i_valveY363_Off"	%I8.3	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE
8		"i_valveY369_On"	%I8.2	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE
9		"i_valveY369_Off"	%I8.4	Bool	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE

Kuva 25. Slipping-tila, komento 0%.

Vastaavasti kuvassa 26. slipping-tila lähestyy kytkimen täyttä aktivointia ja kierrosluvun suhde on lähes 1:1 suljettuun kytkimeen verrattuna.

	i	Name	Address	Display format	Monitor value
1		"Throttle"	%IW64	DEC+/-	11900
2		"i_fireFight"	%IO.0	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE
3		"dbEngine".engineRPM		DEC+/-	650
4		"dbThuster".propRPM		DEC+/-	76
5		"i_clutchControlValve"	%IO.4	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE
6		"i_valveY363_On"	%I8.1	Bool	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
7		"i_valveY363_Off"	%I8.3	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE
8		"i_valveY369_On"	%I8.2	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE
9		"i_valveY369_Off"	%I8.4	Bool	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE

Kuva 26. Slipping-tila, komento 28,8%.

10.3 On/Off-tila

Kytkimen ollessa suljettuna, aktivoituvat venttiilit Y369 ja clutch control. Venttiili Y363 sulkeutuu. Clutch control aktivoituu 30% komennolla ja kytkin on kokonaan suljettu. On/Off tilassa moottorin ja potkurin suhde on 1:8.25 jossa yhteen täyteen potkurin kierrokseen tarvitaan 8.25 moottorin täyttä kierrosta.

	i	Name	Address	Display format	Monitor value
1		"Throttle"	%IW64	DEC+/-	12166
2		"i_fireFight"	%I0.0	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE
3		"dbEngine".engineRPM		DEC+/-	650
4		"dbThuster".propRPM		DEC+/-	78
5		"i_clutchControlValve"	%I0.4	Bool	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
6		"i_valveY363_On"	%I8.1	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE
7		"i_valveY363_Off"	%I8.3	Bool	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
8		"i_valveY369_On"	%I8.2	Bool	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
9		"i_valveY369_Off"	%I8.4	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE

Kuva 27. Clutch engaged, komento 30%.

Moottorin ja potkurin suhde ei muutu kierrosten kasvaessa. Tämä voidaan todeta vertaamalla kuvan 27. kierroslukuja kuvan 28. lukuihin, jossa moottorin nopeus on korkeimmillaan.

	i	Name	Address	Display format	Monitor value
1		"Throttle"	%IW64	DEC+/-	27648
2		"i_fireFight"	%I0.0	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE
3		"dbEngine".engineRPM		DEC+/-	1800
4		"dbThuster".propRPM		DEC+/-	218
5		"i_clutchControlValve"	%I0.4	Bool	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
6		"i_valveY363_On"	%I8.1	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE
7		"i_valveY363_Off"	%I8.3	Bool	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
8		"i_valveY369_On"	%I8.2	Bool	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
9		"i_valveY369_Off"	%I8.4	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE

Kuva 28. Clutch engaged, komento 100%.

10.4 FIFO-tila

FIFO tilassa venttiilit Y363, Y369 ja clutch control ovat poissa päältä (Kuva 29). FIFO tilassa suurin osa moottorin tehosta menee palopumpulle, joten potkurin kierrokset ovat huomattavasti pienemmät vastaavalla moottorin teholla. Tyhjäkäynnillä moottori pyörii korkeammalla kierrosnopeudella, joten potkurin kierrokset ovat vastaavasti korkeammat.

	i	Name	Address	Display format	Monitor value
1		"Throttle"	%IW64	DEC+/-	5530
2		"i_fireFight"	%I0.0	Bool	TRUE
3		"dbEngine".engineRPM		DEC+/-	1270
4		"dbThuster".propRPM		DEC+/-	63
5		"i_clutchControlValve"	%I0.4	Bool	FALSE
6		"i_valveY363_On"	%I8.1	Bool	FALSE
7		"i_valveY363_Off"	%I8.3	Bool	TRUE
8		"i_valveY369_On"	%I8.2	Bool	FALSE
9		"i_valveY369_Off"	%I8.4	Bool	TRUE

Kuva 29. FIFO, komento 0%.

Täydellä komennolla potkurin kierrosluku on FIFO tilassa vain noin 149 kierrosta/minuutti (Kuva 30).

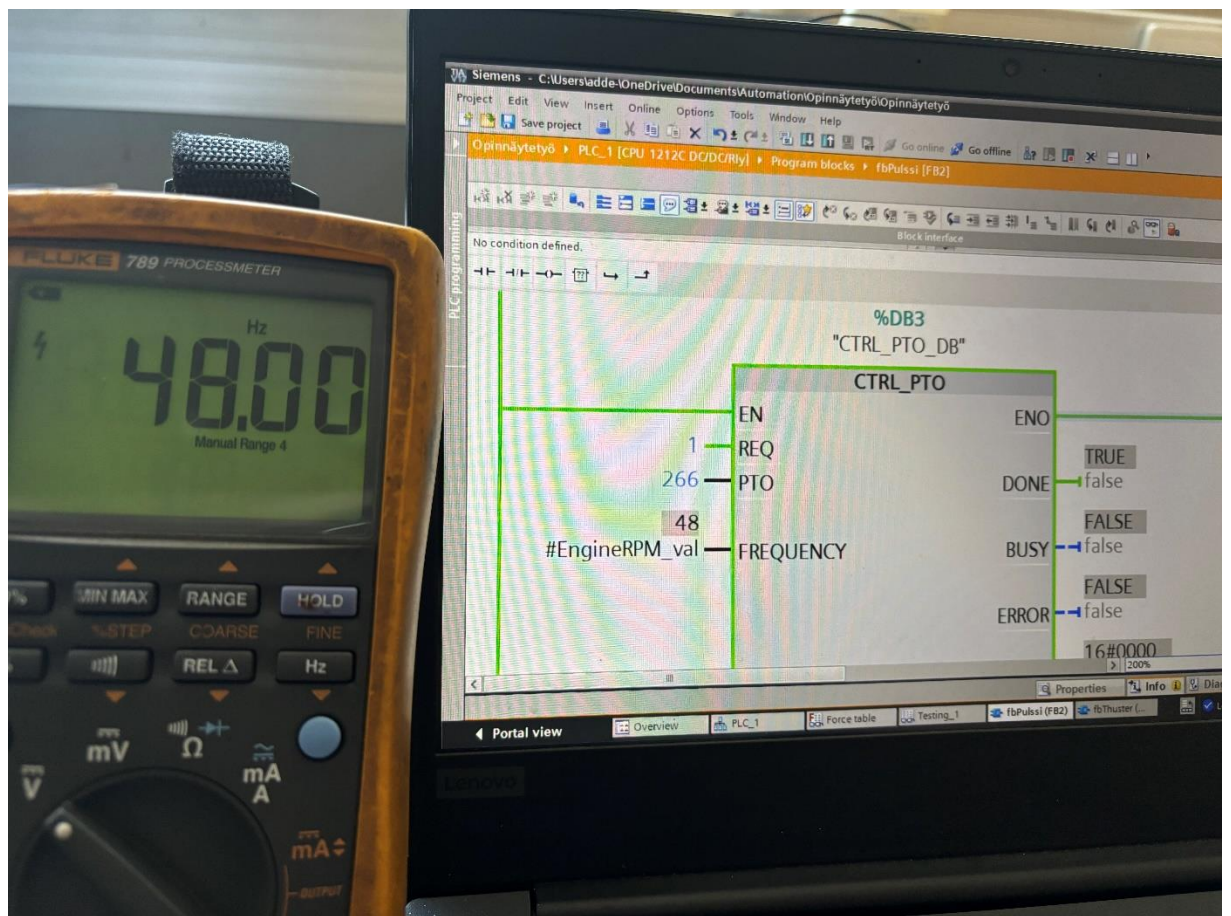
	i	Name	Address	Display format	Monitor value
1		"Throttle"	%IW64	DEC+/-	27648
2		"i_fireFight"	%I0.0	Bool	TRUE
3		"dbEngine".engineRPM		DEC+/-	1270
4		"dbThuster".propRPM		DEC+/-	149
5		"i_clutchControlValve"	%I0.4	Bool	FALSE
6		"i_valveY363_On"	%I8.1	Bool	FALSE
7		"i_valveY363_Off"	%I8.3	Bool	TRUE
8		"i_valveY369_On"	%I8.2	Bool	FALSE
9		"i_valveY369_Off"	%I8.4	Bool	TRUE

Kuva 30. FIFO, komento 100%.

10.5 Pulssi

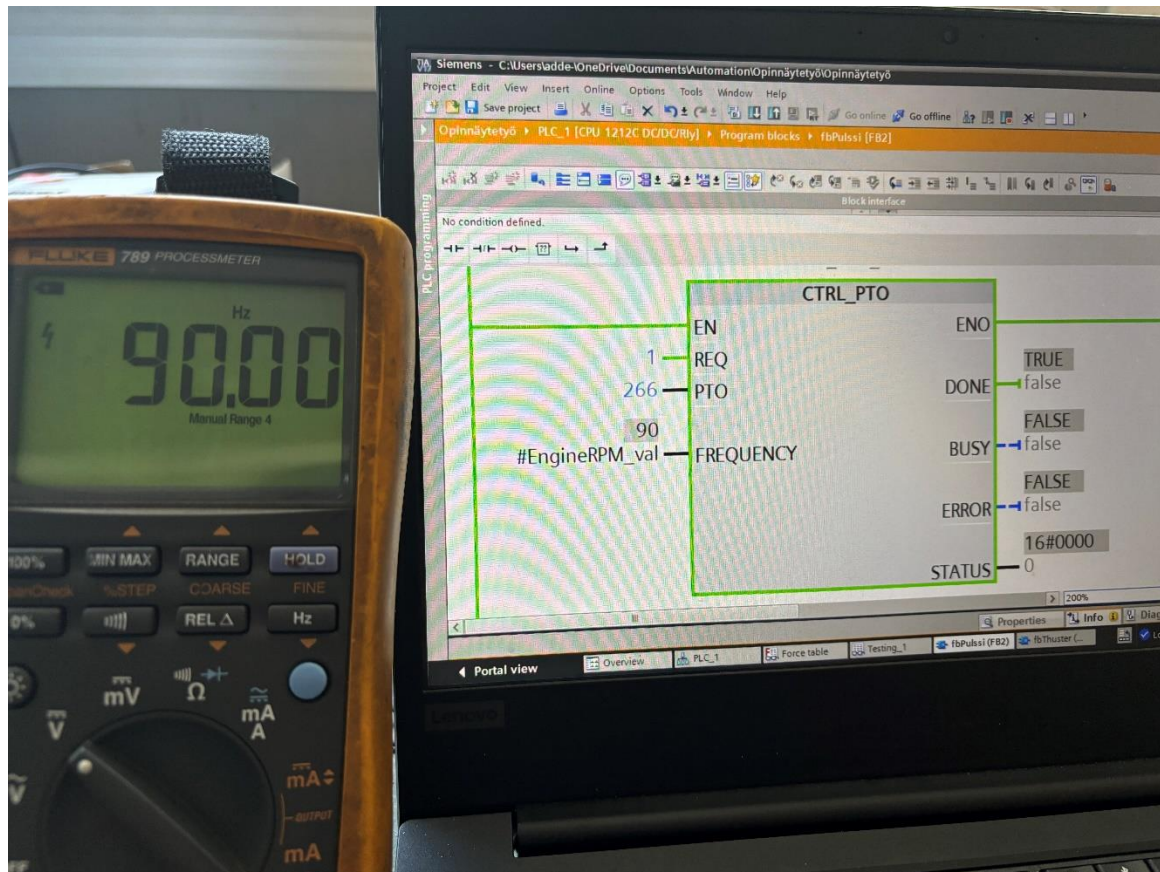
Pulssin toteamiseksi käytettiin Fluken 789 mA-kalibraattoria, jonka positiivinen napa kytkettiin pulssia syöttävään lähtöporttiin (Q4.0) ja negatiivinen napa laitteen I/O moduulissa sijaitsevaan GND porttiin (maa).

Pulssi testattiin kahdella nopeudella (Kuva 31). Aluksi nopeus oli noin 50% maksimista, eli moottorin nopeus on noin 960-970 kierrosta/minuutti.



Kuva 31. Pulssin taajuus ohjelmassa sekä mittarissa komennon ollessa noin puoli teholla.

Pulssi testattiin myös maksiminopeudella eli 1800 kierrosta/minuutti, jolloin pulssin taajuus on 90Hz (Kuva 32).



Kuva 32. Pulssin taajuus ohjelmassa sekä mittarissa täydellä teholla.

11 YHTEENVETO

11.1 Työn lopputulos

Alun perin työtä hahmotellessa toimeksiantajan kanssa, suunnitelma oli aluksi vain tutkia vastalogiikan käyttämistä liukukytkimen simulointiin. Pienen tutkimisen jälkeen työ laajeni ohjelmapihjan rakentamiseen. Lopullinen tavoite oli PLC-ohjelma joka vastaa koulutussimulaattorin nopeus ja kytkimen hallinta

komentoihin ja luo uskottavat kierroslukemat takaisin koulutussimulaattorille. Omasta mielestä tähän tavoitteeseen päästiin ja ohjelma vastaa tätä tavoitetta.

11.2 Työn haasteet ja oppiminen

Kirjoittaminen itselle on koko opiskeluajan ollut ns. pakkopulla, jota en mielellään tehnyt. Kuitenkin tämän työnaikana totesin sen tulevan ihan luonnostaan ja ajoittain se oli jopa hauskaa.

Oppimiseen liittyvää osaamista työstä kertyi PLC-ohjelmoinnista, tiedonhausta ja toimeksiantajan laitteista sekä heidän ohjausjärjestelmistään.

Siemensin ympäristö oli ennen tätä työtä itselle tuttu jo ammattikoulu ajoilta, mutta silti työssä käytetyt pulssi generaattorit olivat itselle lähes tuntemattomia työkaluja ennen työtä. Myös toimeksiantajan ohjelmointijärjestelmistä saatu osaaminen on oman työuran kannalta tärkeää osaamista, sillä jatkan työsuhteessa toimeksiantajalla ja jatkan tässä aloitettua työtä.

Suurin haaste itselle työssä oli oikeanlainen aikatauluttaminen. Työn aikataulu venyi sekä omista ja itsestä riippumattomista syistä liian pitkäksi. Työn loppuun vieminen vaati itseltä parempaa aikataulun hallintaa ja itsekuria. Suurin virhe jonka tein työtä tehdessä, oli aloittaa kirjoittaminen myöhään. Tämä hankaloitti sekä kirjoittamista, että muistiinpanojen käyttöä ja ohjelman käyttöönottoa.

LÄHTEET

W, Bolton. (2009). Programmable logic controllers (fifth edition). Oxford : Newnes.

Bureau Veritas Marine & Offshore. (2022). Rules for the Classification of Steel Ships NR467. Part C: Machinery, Electricity, Automation and Fire Protection. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/nr467-rules-classification-steel-ships>

Dag H, Hanssen. (2015) Programmable logic controllers : a practical approach to IEC 61131-3 using CODESYS (first edition). Wiley.

Hollming Oy. Haettu 30.4.2024 osoitteesta

<https://www.hollming.fi/fin/yritys/historia/15>

[Kuva ohjelmarakenteesta]. Instrumentationblog. Siemens PLC programming blocks. Haettu 8.5.2024 osoitteesta

<https://instrumentationblog.com/siemens-plc-programming-blocks/>

Kongsberg Maritime. Haettu 30.4.2024 osoitteesta

<https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/who-we-are-kongsberg-maritime/Our-history/>

Kongsberg Maritime. (2023). Kongsberg Annual & Sustainability Report 2023

Kongsberg Maritime Finland Oy. (2023). AQP Service manual 22S000613 514-U551

[Kuva sääsimulaatiosta]. National Oceanic and Atmospheric Administration. (1.3.2018). Severe weather meteorology simulation puts people in 'The HotSeat'

<https://www.noaa.gov/education/stories/severe-weather-meteorology-simulation-puts-people-in-hotseat/>

[Kuva kauko-ohjatun sukellusrobotin testaus aalto simulaattorissa]. The University of Western Australia. Haettu 17.5.2024 osoitteesta

<https://www.uwa.edu.au/facilities/coel-labs/large-scale-wave-flume/>

LIITTEET

Liite 1. Autocadillä piirretty piirikaavio.

