

Examensarbete, Högskolan på Åland, Utbildningsprogrammet för Elektroteknik

SIMULERAD DRIFT WÄRTSILÄ 9L20

- Övervakning och driftsättning

Christoffer Karlsson, Fredrik Karlsson



2024:13

Datum för godkännande: 22.05.2024
Handledare: Oskar Hellstrand

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Elektroteknik
Författare:	Christoffer Karlsson, Fredrik Karlsson
Arbetets namn:	Simulerad drift Wärtsilä 9L20 - Övervakning och driftsättning
Handledare:	Oskar Hellstrand
Uppdragsgivare:	Allan Johansson

Abstrakt

I detta arbete har vi byggt ett simuleringssystem som gör det möjligt att simulera driftsättning och övervakning av en Wärtsilä 9L20 genom att påverka dess driftförhållanden. Arbetets syfte är att ge elever en möjlighet att få en realistisk uppfattning om hur en fartygsdieselmotor tas i bruk och används samt hur kringliggande system inverkar på funktionen av motorn.

Nyckelord (sökord)

Wärtsilä, Siemens, elritning, driftsättning, motor, simulering, givare

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
2024:13	1458-1531	Svenska	42 sidor

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
11.05.2024	24.05.2024	22.05.2024

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Sciences

Degree Programme:	Electrical Engineering
Author:	Christoffer Karlsson, Fredrik Karlsson
Title:	Simulated operation Wärtsilä 9L20 - Monitoring and commissioning
Academic Supervisor:	Oskar Hellstrand
Commissioned by:	Allan Johansson

Abstract
<p>In this thesis we have built a simulation system that allows commissioning and monitoring of a Wärtsilä 9L20 by influencing its operating conditions.</p> <p>The aim of this thesis is to give students an opportunity to get a realistic idea of how a marine diesel engine is commissioned and operated and also how the surrounding systems affect the operation and function of the engine.</p>

Keywords
Wärtsilä, Siemens, electrical drawing, commissioning, motor, simulation, sensor

Serial number:	ISSN:	Language:	Number of pages:
2024:13	1458-1531	Swedish	42 pages

Handed in:	Date of presentation:	Approved:
11.05.2024	24.05.2024	22.05.2024

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	6
1.1 Syfte	6
1.2 Tankegång	6
1.3 Definitioner	7
2. WÄRTSILÄ 9L20	8
2.1 Bakgrund	8
2.2 Teknisk data	9
3. SYSTEMEN KRING MOTORN	9
3.1 Smörjoljesystem	9
3.2 Bränslesystem	10
3.3 LT-vatten	10
3.4 HT-vatten	10
3.5 Startluft	10
3.6 Kontrolluft	10
4. MOTORNS EGNA ÖVERVAKNINGSSYSTEM	11
4.1 Local Control Panel - LCP	11
4.1.1 Wärtsilä Instrument Panel - WIP-11	11
4.1.2 Local Display Unit - LDU	11
4.1.3 Wärtsilä Control Panel - WCP	12
4.2 Input and output module - IOM	13
4.3 Motorns givare	14
4.3.1 Tryckgivare	14
4.3.2 Temperaturgivare	15
4.3.3 Hastighetsgivare	16
5. FJÄRRKONTROLLSKÅP	16
5.1 Fjärrstyrd kontrollpanel	16
5.1.1 PLC	18
5.1.2 Signalomvandlare	19
5.1.3 Reläer	20
5.1.4 Nätaggregat	20
5.2 Simulerade givarkretsar	20
5.2.1 Simulerade hastighetsgivare	22
5.2.2 Simulerade tryckgivare	23
5.2.3 Simulerade temperaturgivare	25
6. FJÄRRÖVERVAKNINGSSYSTEM	26
6.1 Överblicksvyer	26
6.1.1 Engine Overview	27
6.1.2 Pump Control Panel	27
6.1.3 Compressed Air System	28

6.1.4 Lube Oil System	29
6.1.6 Cooling Water System	30
6.1.7 Sea Water System	31
6.2 Programmering	31
6.2.1 Tryckhantering	32
6.2.2 Varvtalshantering	35
6.2.3 Temperaturhantering	37
7. RESULTAT	38
8. SLUTSATS	41
KÄLLFÖRTECKNING	42

1. INLEDNING

1.1 Syfte

Syftet med detta arbete är att skapa en mer verklighetsbaserad utbildningsmiljö på Wärtsilä 9L20-motorn som finns till förfogande på Ålands yrkesgymnasium. Detta genom att skapa möjligheten att kunna simulera körning av motorn samtidigt som man skall kunna simulera kringliggande system till motorn, dels för att de studerande skall få en förståelse för hur dessa system påverkar motorn samt att skapa möjligheten att även kunna felsöka och testa dessa på ett så verklighetstroget sätt som möjligt.

1.2 Tankegång

En avsikt vi hade i början av vårt arbete var att få en omfattande uppfattning av vilka larmkriterier som motorn utnyttjar och hur vi kan använda dessa för att hitta en möjlighet att simulera drift av motorn. Detta visade sig vara fördelaktigt för planeringen av vårt fristående övervakningssystem och vad som krävs för att knyta samman en fjärrstyrd panel med den fysiska motorn där motorvärden kan hanteras.

En större del av arbetets planering bestod av att hitta och införa ett lämpligt sätt att simulera givare på motorn som använder ett befintligt CAN-bussystem och hur signalerna på motorn kan användas för att bygga upp en PLC-styrd driftsekvens.

1.3 Definitioner

PLC - Programmable Logic Controller

DC - Direct Current

TIA - Totally Integrated Automation

HMI - Human Machine Interface

LCP - Local Control Panel

LDU - Local Display Unit

WIP - Wärtsilä Instrument Panel

MCM - Main Control Module

IOM - Input Output Module

CAN bus - Controller area network

LFO - Light Fuel Oil

HFO - Heavy Fuel Oil

LT - Low Temperature

HT - High Temperature

Påhängspump - En pump som drivs mekaniskt av motorn

mA - milli Ampere

PT-100 - Platina-100

NC - Normally Closed

NO - Normally Open

I/O - Input/Output

PTO - Pulse Train Output

FBD - Function Block Diagram

Ω Ohm - Enhet för resistans

2. WÄRTSILÄ 9L20

2.1 Bakgrund

Wärtsilä introducerade motorer ur sin så kallade 20-serie under tidigt 90-tal och har idag sålt över 6000 motorer världen över. Motorn i sig är en 4-takts dieselmotor som kan drivas både på LFO och HFO. Dessa motorer finns även som Dual Fuel-motorer, som betyder att de kan drivas på gas, vilket också skolans motor är byggd för att kunna drivas på (Wärtsilä, 2022). Motorn donerades till Ålands yrkesgymnasium av Wärtsilä efter att de valt att avveckla den som sin testmotor i sitt laboratorium i Vasa.



Figur 1. Wärtsilä 9L20-motorn på Ålands Sjömansskola.

2.2 Teknisk data

Kortfattad teknisk data över motorn kan ses i tabell 1.

Tabell 1. Teknisk data gällande Wärtsilä 9L20 (Wärtsilä, 2022).

Wärtsilä 20 - 9L20	
Cylinder diameter	200 mm
Slaglängd	280 mm
Cylindereffekt	200/220 kW/cyl
Hastighet	1000/1200 rpm
Vikt	11.6 t
Märkeffekt kW/1000 rpm	Märkeffekt kW/1200 rpm
1800	1980

3. SYSTEMEN KRING MOTORN

En fartygsdieselmotor är precis som vilken förbränningsmotor som helst. För att den ska fungera behövs därmed en del kringliggande system såsom bränsle, smörjning, kylning samt tillhörande övervakning över dessa som vi kommer att gå igenom nedan.

3.1 Smörjoljesystem

Det mest väsentliga systemet för en motor är smörjoljesystemet, utan smörjoljetryck kan inte motorn köras. Oljans uppgift är att smörja motorns alla rörliga delar men den har även en kylande effekt på motorn.

Smörjoljetrycket fås genom att köra en pump som drivs av en elmotor då motorn är avstängd och med hjälp av en så kallad påhängspump då motorn är i drift.

3.2 Bränslesystem

Som vilken förbränningsmotor som helst behövs någon typ av bränsle för att motorn ska kunna köras. Beroende på om motorn körs på HFO/LFO eller gas ser bränslesystemen olika ut. Vid drift på LFO och HFO används booster- och bränslepumpar för att få bränslet till motorn från tankarna.

3.3 LT-vatten

LT-vattensystem används för att kyla motorns oljesystem för sumpolja och kamaxelolja, det används dessutom för att kyla motorblocket och laddluftkylare (Wärtsilä, 2024).

3.4 HT-vatten

HT-vattensystemet används för att kyla motorns cylinderfoder, topplock och avgasventiler. Alltså används det för att kyla komponenter i motorn som utsätts för högre temperaturer än LT-vattnet.

3.5 Startluft

Det absolut vanligaste tillvägagångssättet att starta en fartygsmotor är med hjälp av startluft, med andra ord tryckluft. Startluften produceras med hjälp av startluftkompressorer som sedan lagras i stora startluftkärl och går sedan vidare till motorerna.

3.6 Kontrolluft

Kontrolluft används till olika luftstyrda ventiler och andra instrument som kan finnas på motorn. Luften produceras på samma sätt som startluften, antingen med en skild kompressor för kontrolluften eller genom startluftkompressorn med en tryckregulator mellan för att få ett annat lufttryck än startluftsystemet.

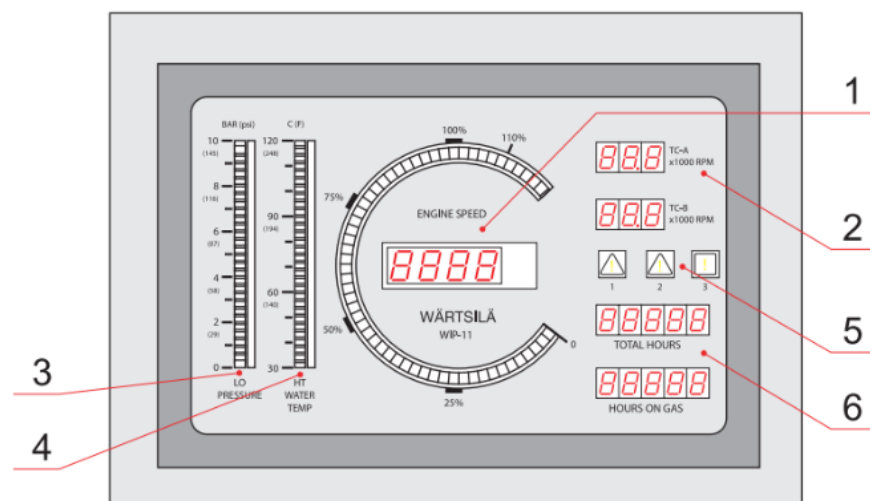
4. MOTORNS EGNA ÖVERVAKNINGSSYSTEM

4.1 Local Control Panel - LCP

Den lokala kontrollpanelen på motorn består av tre enheter, WIP, LDU-panel samt WCP. Med hjälp av dessa tre paneler kan motorn startas och stoppas samt att man kan avläsa alla möjliga olika typer av värden och signaler.

4.1.1 Wärtsilä Instrument Panel - WIP-11

Wärtsilä instrument panel är en indikeringsenhet som visar de mest kritiska värdena och statusen för maskinen.

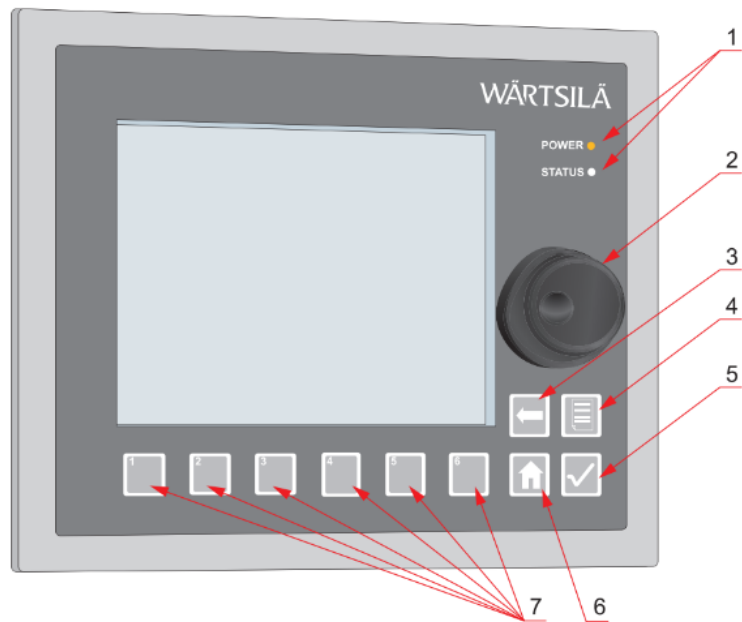


- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| 1 Engine speed | 4 HT water temperature |
| 2 Turbocharger speed | 5 System failure indication |
| 3 LO pressure | 6 Hour counters |

Figur 2. Wärtsilä instrument panel (Wärtsilä, n.d.).

4.1.2 Local Display Unit - LDU

LDU-panelen är operatörens gränssnitt mot motorns övervakningssystem, här kan man ändra på en del parametrar samt bläddra genom olika överblickar för att kunna läsa av alla de olika motorvärdena.

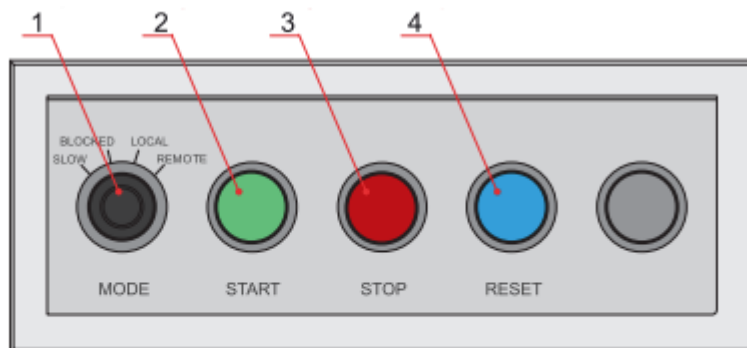


- | | |
|-------------------------|--------------------|
| 1 Power and status LEDs | 5 Accept/enter |
| 2 Rotary knob | 6 Main page |
| 3 Escape/back | 7 Dynamic function |
| 4 Alarms page | |

Figur 3. Local display unit (Wärtsilä, n.d.).

4.1.3 Wärtsilä Control Panel - WCP

Motorn är utrustad med en Wärtsilä control panel. Med hjälp av WCP:en kan motorn startas och stoppas lokalt men även återställa olika larm. Genom att använda vredet som finns på panelen kan man välja om motorn till exempel skall vara i ett blockerat läge, att det alltså inte skall vara möjligt att starta motorn. Med vredet kan man även välja om motorn ska vara i lokalt eller i fjärrstyrt läge.

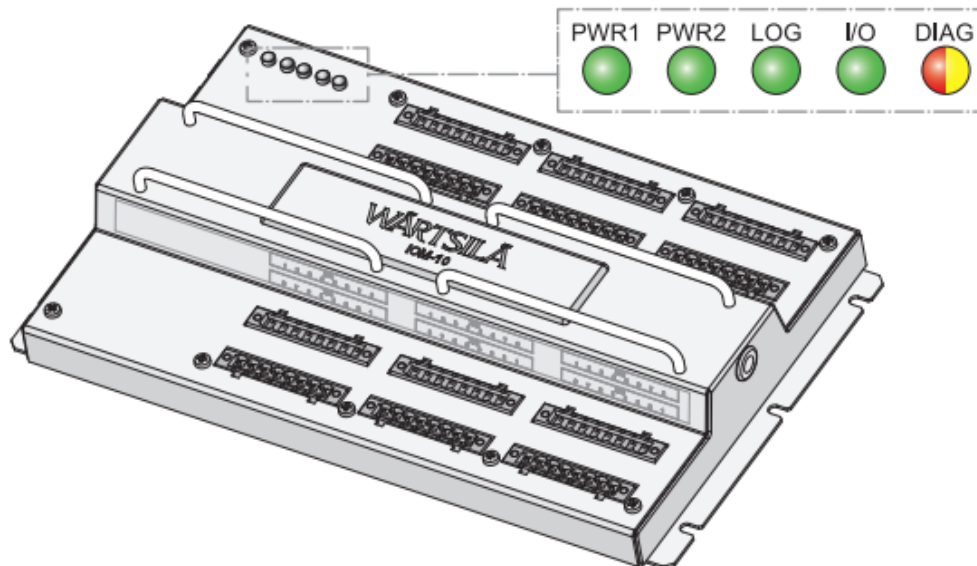


- 1 Engine mode selector switch
- 2 Start button
- 3 Stop button
- 4 Shutdown reset button

Figur 4. Wärtsilä control panel (Wärtsilä, n.d.).

4.2 Input and output module - IOM

I/O-modulen styr samt samlar in data från de analoga och de digitala kretsar som finns kring motorn, även frekvenssignaler samlas in. Modulen hanterar mätningar samt kontrollfunktioner på specifika platser av motorn där berörda sensorer samt enheter är placerade. Beroende på motortyp, antal cylindrar samt applikation varierar antalet moduler.

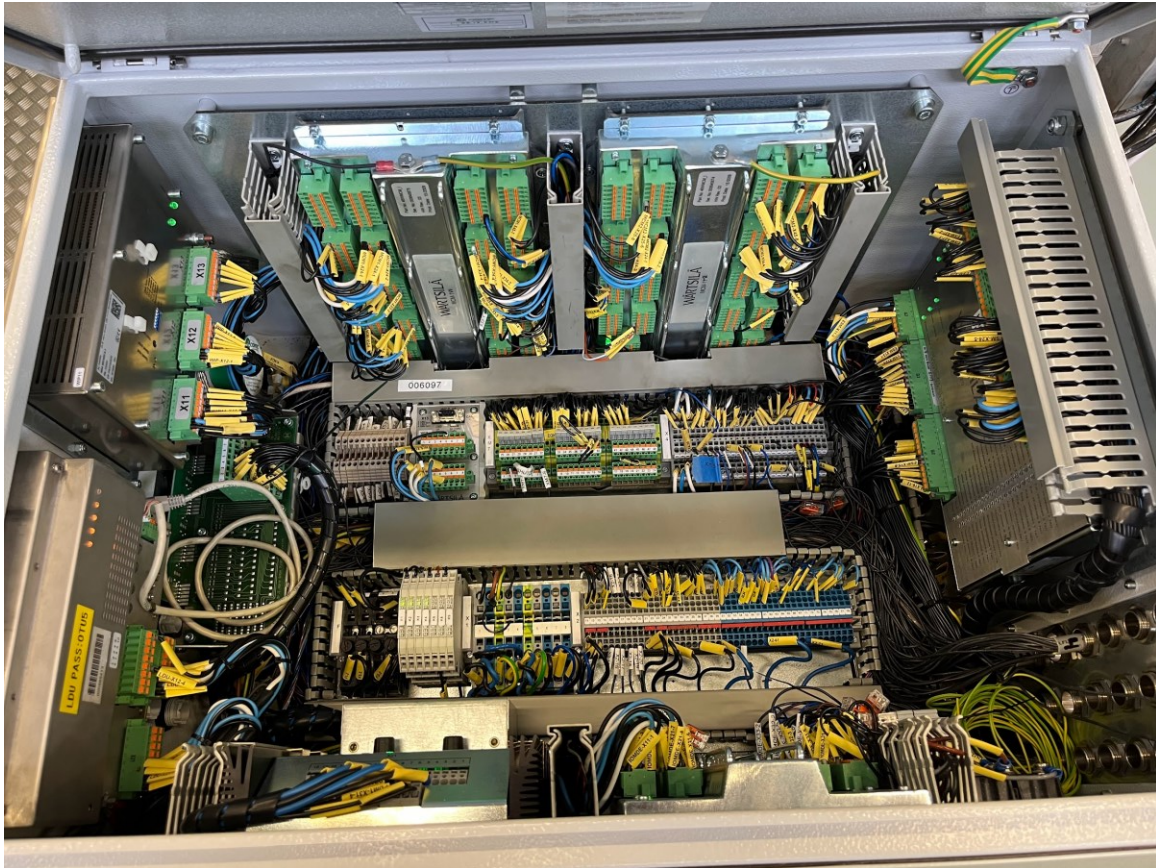


PWR1 = Power supply 1
PWR2 = Power supply 2
LOG = Power supply to logics
I/O = Power supply to I/Os
DIAG = Software status

Figur 5. Input and output module (Wärtsilä, n.d.).

De I/O-moduler vi fokuserat på har varit IOM-DE samt IOM-FE då det varit dessa som aktuella givare varit kopplade till.

En stor del av motorns moduler samt dess paneler finns monterade i motorns Main cabinet. Det är till detta skåp som vi huvudsakligen kopplat alla kablar som kommer från fjärrövervakningsskåpet (se fig 6).



Figur 6. Main cabinet på motorn.

4.3 Motorns givare

För att motorn ska fungera och reglera alla olika system som det är tänkt behövs ett stort antal med olika givare. Detta för att motorn ska kunna hålla koll på bland annat tryck, temperaturer, hastigheter samt vilket läge motorn befinner sig i för att till exempel veta när bränslet skall sprutas in i cylindrarna. Motorn har även en hel del med säkerhetsfunktioner som övervakas och regleras med hjälp av dessa givare och motorns olika tillhörande moduler.

4.3.1 Tryckgivare

Den huvudsakliga tryckmätningen som används av motorn är P/I transmitters, de känner av ett tryck som skall mätas, och representerar det trycket i form av en 4-20mA strömsignal som systemet kan använda för att läsa de olika trycken, där givaren kalibreras för ändamålets tryckspann.

Anledningen till att 4-20mA strömspannet är vanligast att använda som signal beror på att givarvärdet är mer pålitligt än till exempel 0-20mA då en konstant ström överförs, och i sin tur kan ett eventuellt avbrott eller liknande upptäckas enkelt.

Beroende på vilket tryckspann som valts för den specifika givarkretsen kan strömmen för ett visst tryck räknas ut enligt följande exempel.

$$\frac{\text{strömökning vid aktuellt tryck}}{\text{max ström} - \text{min ström}} = \frac{\text{aktuellt tryck}}{\text{max tryck} - \text{min tryck}}$$

Väljer vi exempelvis ett tryckspann mellan 0-6 bar och ett aktuellt tryck på 3 bar kan vi räkna ut vilken strömökning vi får vid valt tryck i kretsen enligt nedan.

$$\frac{X}{20mA - 4mA} = \frac{3bar}{6bar - 0bar} \rightarrow \frac{X}{16mA} = \frac{1}{2}$$

Nedan kan vi se att ökningen av strömmen i kretsen vid 3 bars tryck skulle representera 8mA.

$$X = \frac{1}{2} \cdot 16mA \rightarrow X = 8mA$$

Eftersom givaren indikerar en ström inom spannet av 4-20mA behöver vi addera strömmen vid 0 bars tryck, med andra ord adderar vi 4mA till det uträknade värdet. Vilket ger en strömsignal på

$$8mA + 4mA = 12mA$$

Detta betyder alltså att strömmen vid 3 bars tryck skulle representera 12mA vid ett tryckspann om 0-6 bar.

4.3.2 Temperaturgivare

Typen av temperaturgivare som vi har arbetat med på motorn är PT-100 givare, dessa givare används för att mäta temperaturer under 150°C (Wärtsilä, 2008). Benämningen PT-100 berättar att givarmaterialet är platina och att utgångsresistansen är 100Ω vid 0°C. Givaren är noggrann och fungerar genom att känna av resistansförändringar i givarmaterialet vid temperaturförändringar. Det finns även typen termoelementgivare på motorn, dessa används främst vid mätning av avgastemperaturgivare där temperaturerna överstiger förmågan av PT-100 givaren.

4.3.3 Hastighetsgivare

Hastighetsgivarna som används på motorn är induktiva givare. Den här typen av givare bygger på att ett magnetfält genereras och sluter en kontakt då ett metallobjekt påverkar givaren. På motorn används de för att mäta varvtalet på svänghjulet, kamaxeln samt på turbinen. Motorvarvtalet mäts bland annat genom två givare som känner av när kamaxeln roterar, en primär och en sekundär givare.

Då kamaxeln roterar aktiveras givaren periodiskt, ju snabbare rotation desto högre frekvens genereras av givaren. Denna frekvens konverteras till motorns varvtal i WIP.

Turbinvarvtalet genereras på samma sätt som motorvarvtalet men givaren är då istället monterad vid turbinen och varvtalet visas på WIP samt LDU-panelen. Utöver dessa sitter två hastighetsgivare monterade på motorns svänghjul, dessa givare används för att visa varvtalet på motorns LDU-panel.

5. FJÄRRKONTROLLSKÅP

5.1 Fjärrstyrd kontrollpanel

För att fjärrstyrt kunna hantera motorns olika värden och drift har vi installerat ett fristående skåp med tillhörande dator och skärm, vilket agerar som vår HMI till PLC:n. Denna fjärrpanel har till uppgift att verka som motorns "kontrollrum". Skåpet vi använt oss av är ett Kongsbergsskåp från skolans gamla maskinrumssimulator.



Figur 7. Fjärrkontrollskåp med tillhörande övervakningsskärm.

Mellan fjärrkontrollskåpet och motorns Main Cabinet har vi dragit kablar och kopplat in dessa för att kunna komma åt och påverka motorns egna övervakningssystem.

Genom användning av en PLC och kringliggande komponenter i skåpet (se fig. 8) kan vi med hjälp av den programmerade HMI:n köra motorn och göra olika driftändringar på motorns olika system.

Tillhörande ritningar för fjärrkontrollskåpet har gjorts i designprogrammet AutoCAD (se bilaga 1) för att förenkla felsökning eller vid eventuell utökning av systemet.



Figur 8. PLC med kringliggande komponenter.

5.1.1 PLC

PLC:n som vi har använt är en Siemens S7 1215 DC/DC/DC som hör till deras 1200-serie. Anslutet till PLC:n har vi även två analoga tilläggsmoduler av modell SM 1232 AQ, samt en digital tilläggsmodul av modell SM 1223 DI/DQ. Syftet med tilläggsmodulerna är helt enkelt enbart för att utöka antalet analoga samt digitala utgångar.

PLC:n matas med 24VDC som finns tillgänglig i skåpet via ett nätaggregat. Matningen till de digitala ingångarna samt de digitala utgångarna på PLC:n matas med 24VDC från motorns Main cabinet. De digitala utgångarna på PLC:ns tilläggsmodul matas med spänningen från nätaggregatet.

Orsaken till att matningen till PLC:ns digitala tilläggsmodul skiljer sig från PLC:ns är att de digitala in- och utgångarna på PLC:n som matas från motorn delvis är kopplade direkt till motorn och att vi därför ville använda samma spänningskälla som för motorn på dessa.

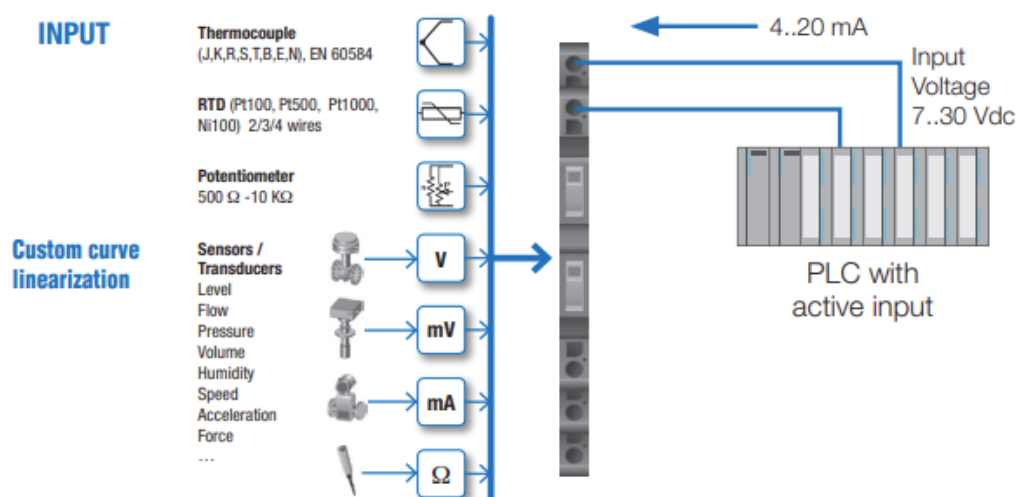
Programmering av PLC:n och design av gränssnitt för tillhörande datorskärm har vi gjort i Siemens TIA portal. Start av motorn sker från PLC:n genom att uppfylla kriterierna för motorns start.

5.1.2 Signalomvandlare

Vi har använt Seneca K121 analog/analog signalomvandlare på de PLC-styrda signaler som är analoga. Detta har vi gjort för att isolera PLC:ns aktiva utgångar från motorns aktiva ingångar i syfte att hindra extern spänning från att påverka motorns CAN-bussystem och för att säkerställa drift.

Dessa signalomvandlare har vi anslutit till motorns mest väsentliga driftvärden och anledningen till att användningen av den här typen av omvandlare är gynnsam beror på att analoga in- och utgångar från PLC:n kan justeras inom ett spann på 4-20mA.

I databladet för signalomvandlaren kan vi se ett exempel på hur omvandlaren kan användas och hur dessa vanligtvis också kopplas. Det framgår även att man på omvandlarens ingång har någon typ av givare inkopplad som genererar en strömsignal på 4-20mA beroende på vad man har för tryck eller temperatur etc. Denna signal skickas sedan ut på omvandlarens utgång som man sedan kan koppla till en ingång på till exempel en PLC för att sedan kunna avläsa värdet från givaren.



Figur 9. Exempel på tillämpning från datablad, Seneca K121 (Seneca, 2020).

För att signalomvandlarna skall fungera för vårt ändamål, där vi vill ha möjligheten att simulera önskade tryck för givarkretsarna, har vi kopplat de analoga utgångarna från PLC:n till signalomvandlarnas ingångar. Signalomvandlarnas utgångar är sedan kopplade till motorns olika aktiva ingångar för de olika givarkretsarna. Detta betyder att vi i praktiken med hjälp av PLC:n kan skicka ut en strömsignal på 4-20mA till signalomvandlaren som i sin tur ändrar strömmen som går i givarkretsen. På detta sätt kan vi simulera önskade tryck för enskilda givarkretsar (Seneca, 2020).

5.1.3 Reläer

För att delvis styra de simulerade givarkretsarna har vi använt oss av en serie med reläer av modell Wago 857-serie "Mellanrelä Wago 1 DC 24V 6A". Dessa reläer styrs från de digitala utgångarna som finns tillgängliga på PLC:n samt på den digitala tilläggsmodulen. Kontakterna på reläerna sluter sedan någon av de simulerade givarkretsarna samtidigt som de bryter ursprungskretsen för att uppnå normala driftvärden på önskad krets.

En del av reläerna används dessutom tillsammans med signalomvandlarna för att kunna förebygga för hög amplitud av strömsimuleringar som ser till att motorn får verklighetsbaserad data inom ramarna för givarna (4-20mA).

5.1.4 Nätaggregat

I vårt fjärrkontrollskåp har vi monterat ett nätaggregat av modell Mean Well DRP-240-24. Den används för att förse skåpet med 24VDC. Spänningen används av PLC:n, dess digitala tilläggsmodul samt en del av reläerna.

5.2 Simulerade givarkretsar

Vid arbetets början valde vi ut lämpliga givare som tillsammans bildar en realistisk simulatormiljö. I underrubrikerna nedan kan man se vilka givare vi valt att simulera samt vilka spann signalerna skall motsvara för de olika givarkretsarna.

En viktig aspekt för oss var att behålla originalfunktionerna för givarna så att de kan användas och testas oberoende från vårt simuleringssystem. För att kunna åstadkomma detta är samtliga tryck- och temperatur givarkretsar omkopplade från originalutförande, där de var inkopplade rakt på motorns I/O-moduler, till att gå genom vårt system där de nu kopplats genom mellanreläer på dess NC-kontakter.

Syftet med detta är att hålla originalkretsarna slutna vid spänningslöst tillstånd. De simulerade kretsarna har kopplats in på reläernas NO-kontakter. Detta betyder att givarna fungerar som vanligt, för att kunna användas i testningssyfte av studerande och med simuleringssystemet spänningssatt samt respektive givare simulerad via programvaran får vi ett önskat simuleringsvärde.

Något vi tog i beaktande under arbetets gång var kabelresistansen som uppstår i kablaget mellan motorns moduler och vårt fjärrkontrollskåp och hur detta skulle påverka våra givarkretsar. Kablaget mellan modulerna och skåpet uppgick till 9 meter, vilket resulterade i en totallängd om 18 meter per givarkrets. Detta på grund av att det går en kabel från berörd modul på motorn till fjärrkontrollskåpet, samt en kabel tillbaka till motorn.

Resistansen för kablarna kan enkelt räknas ut enligt formeln nedan.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Där ρ är resistiviteten i $\Omega mm^2/m$, l för längden på kabeln i meter och A vilket är arean på kabeln i mm^2 .

Kablarna vi använt är av koppar, vilket har en resistivitet på $0,018 \Omega mm^2/m$ och har en area om $0,75 mm^2$. Läger vi in dessa värden i vår formel kan vi räkna ut kabelresistansen för varje givarkrets.

$$R = \frac{(0,018 \Omega mm^2 \cdot 18 \text{ meter})}{0,75 mm^2} = 0,432 \Omega$$

Jämför vi till exempel detta resultat med resistanstabellen (se tabell 4) där vi kan avläsa vilken resistans en PT-100 givare har vid olika temperaturer, kan vi räkna ut vilken missvisning kabelresistansen kommer att ha på temperaturindikeringen för varje givarkrets.

Enligt tabell 4 genererar PT-100 givaren 100Ω vid $0^\circ C$ och $138,51 \Omega$ vid $100^\circ C$. Med hjälp av detta kan vi räkna ut hur mycket resistansen ökar för varje grad.

$$\frac{(138,51 \Omega - 100 \Omega)}{100^\circ C} = 0,3851 \Omega / ^\circ C$$

Enligt uträkningen tidigare säger det oss att resistansen skulle öka med $0,3851\Omega$ per $^{\circ}\text{C}$, vilket betyder att missvisningen av temperaturen på grund av vår kabelresistans skulle innebära en felvisning enligt nedan.

$$\frac{0,432\Omega}{0,3851\Omega} = 1,21^{\circ}\text{C}$$

Den uträknade missvisningen av temperaturen stämmer överens med den verkliga visningen som sedan kunde avläsas på motorns LDU-panel.

Denna missvisning av temperaturen anser vi som försumbar i detta syfte då missvisningen är så pass liten inom de temperaturspannen vi jobbar med samt att det inom denna miljö inte har någon större betydelse, men bör tas i beaktande i andra tillämpningar genom att till exempel hålla längden på kablagen för givarna konsekventa.

5.2.1 Simulerade hastighetsgivare

De hastighetsgivare som vi simulerat är styrda från tre olika digitala PLC-utgångar. För att åstadkomma rätt signalform har vi utnyttjat Siemens TIA inbyggda pulsgeneratorer (PTO) för att få korrekt frekvensinmatning på motorns insignaler. Vi valde att simulera tre olika hastighetssignaler då dessa visas lokalt på LDU- och WIP-panelerna, alla med olika frekvenssignaler (se tabell 2).

Genom att seriekoppla 4-20mA styrsignalen till motorns bränsleregulator med en av PLC:ns analoga ingångar kan vi med hjälp av detta reglera motorns varvtal. På detta vis kan vi få ett reglerbart varvtal med hjälp av styrning från PLC:n.

Funktionen för detta är att motorn internt vet vad den har för varvtal genom avläsning av hastighetsgivarna och sedan ett referensvarvtal som den strävar efter att hålla. I praktiken fungerar detta genom att MCM-modulen ökar eller sänker styrsignalen till bränsleregulatorn, vilket i sin tur leder till att mer eller mindre bränsle tillförs till motorn som leder till ökat eller sänkt varvtal.

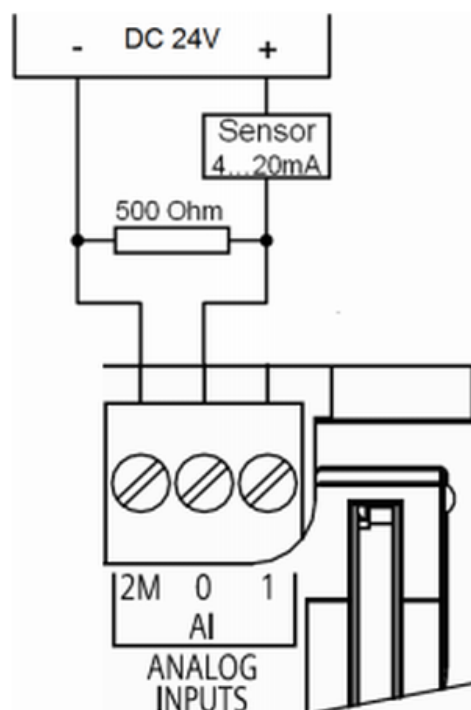
Detta simuleras genom att vi programmerat en varvtalsstyrning i TIA där vi implementerat en rampfunktion som stegvis ökar eller sänker varvtalet på motorn, beroende på om börvärdet för varvtalet är högt eller lågt. Styrsignalen som skickas från motorn påverkar sedan börvärdet för varvtalet som ständigt ändras beroende på vad motorn har för referensvarvtal.

På detta sätt får vi en mer verklighetstrogen körning av motorn istället för att använda ett fast varvtalet. Vid start ökar varvtalet rampartat från stillastående till önskat varvtalet samt vid ett stopp så sjunker varvtalet relativt sakta tills motorn slutligen “står helt stilla”.

Tabell 2. Simulerade varvtaletssignaler med motsvarande hastigheter.

Sensor	Simulerad insignal	Rotationshastighet
Speed Sensor LDU	0-2400 Hz	0-1200 RPM
Speed Sensor WIP	0-293 Hz	0-1200 RPM
Speed Sensor Turbo	0-1090 Hz	0-32300 RPM

Då PLC:ns analoga ingångar är låsta internt för avläsning av 0-10V fick vi parallellkoppla ett motstånd enligt figur 10 nedan för att kunna avläsa bränsleregulatorns 4-20mA styrsignal. Detta i enlighet med anvisningar från Siemens supportsida (Siemens, 2013).



Figur 10. Kopplingsschema för omkopplingen av analoga ingångarna.

5.2.2 Simulerade tryckgivare

När vi valde ut vilka tryckgivare som skulle simuleras valde vi ut de vi tyckte var väsentliga för drift. Vi ville också att man skulle kunna reglera trycket efterhand för att kunna bygga

olika scenarion i övningssyfte som till exempel tryckfall vid pumphaveri eller smutsiga filter. Här har de tidigare nämnda signalomvandlarna använts för simulering av trycken.

Ursprungskretsarna för tryckgivarna är omkopplade via reläernas NC-kontakter och signalomvandlarna till dess NO-kontakter, vilket betyder att verkligt tryck för samtliga givare visas på motorns LDU-panel då reläerna är opåverkade.

Vid simulering av trycken drar reläerna och dess NC-kontakter öppnas och NO-kontakterna sluts. Detta betyder att vi nu kan simulera önskade tryck med hjälp av att skicka 4-20mA signaler från PLC:n till signalomvandlarna, som i sin tur reglerar 4-20mA signalerna i berörda givarkretsar (se tabell 3).

På detta sätt är tryckgivarna bortkopplade under simuleringen av trycken och kan inte påverka strömsignalerna. Alternativet att parallellkoppla signalomvandlarna med tryckgivarna hade varit möjligt om lägsta strömsignal på signalomvandlarna hade kunnat reglerats till 0mA istället för 4mA. På det viset hade tryckgivarna varit inkopplade hela tiden men för att få ett korrekt avläst värde vid en eventuell provtryckning av givare hade de simulerade trycken oavsett behövt vara 0 bar.

Med andra ord hade det i slutändan inte gjort någon skillnad om vi kopplat det på något annat sätt än vi valt att göra, delvis hade det nämnda alternativet inte fungerat med de signalomvandlarna vi valt att använda på grund av deras begränsade strömområde.

Tabell 3. De simulerade tryckgivarna och de motsvarande värdena till motorn.

Sensor	Simulerad insignal till signalomvandlaren	Tryck
Starting Air Pressure	0-20 mA	0-16 bar
Control Air Pressure	0-20 mA	0-40 bar
Lube Oil Pressure	4-20 mA	0-10 bar
Lube Oil Pressure WIP	2200 Ω	6 bar
Fuel Oil Pressure	4-20 mA	0-16 bar

Charge Air Pressure	4-20 mA	0-6 bar
LT Water Pressure	4-20 mA	0-6 bar
HT Water Pressure	4-20 mA	0-6 bar

5.2.3 Simulerade temperaturgivare

Även för temperaturgivarnas del på motorn valde vi att använda de vi tyckte var mest väsentliga. För att spara in på kostnader av komponenter i arbetet valde vi att simulera dessa temperaturgivare med resistanser, där implementeringen av de simulerade kretsarna skett genom att påverka mellanreläernas NC- och NO-kontakter.

Vid spänningslöst tillstånd är ursprungskretsarna opåverkade och går genom reläernas NC-kontakter, vilket betyder att verklig temperatur visas på motorns LDU-panel. Vid simulering av önskade temperaturer bryts ursprungskretsarna genom att reläerna drar och NO-kontakterna sluts istället för NC-kontakterna. Då detta sker kopplas resistanser in seriellt med PT-100 givarna, vilket resulterar i att vi får simulerade temperaturökningar på berörda givarkretsar.

Då alla de temperaturpåverkande givarkretsar vi valt att simulera består av PT-100 givare så har vi enkelt läst av en resistanstabell för PT-100 givare (se tabell 4) och valt resistanser efter de temperaturer vi strävat efter att uppnå i de olika givarkretsarna (se tabell 5).

Nackdelen med att simulera temperaturerna på detta vis är att vi inte har möjlighet att reglera temperaturen utan att behöva byta ut resistansen.

Tabell 4. Tabell som ger resistansen på en PT-100 givare vid en viss temperatur (Thermocouple Instruments, 1999).

-100.00	60.26	59.85	59.44	59.04	58.63	58.23	57.82	57.41	57.01	56.60	-100.00
-90.00	64.30	63.90	63.49	63.09	62.68	62.28	61.88	61.47	61.07	60.66	-90.00
-80.00	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.31	65.91	65.51	65.11	64.70	-80.00
-70.00	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73	-70.00
-60.00	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73	-60.00
-50.00	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.12	76.73	-50.00
-40.00	84.27	83.87	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70	-40.00
-30.00	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67	-30.00
-20.00	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62	-20.00
-10.00	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.55	-10.00
0.00	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48	0.00
0.00	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	0.00
10.00	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	10.00
20.00	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	20.00
30.00	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	30.00
40.00	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	40.00
50.00	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	50.00
60.00	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	60.00
70.00	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	70.00
80.00	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	80.00
90.00	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	90.00
100.00	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	100.00

Tabell 5. Simulerad temperatur per krets.

Sensor	Simulerad insignal	Temperatur
Lube Oil Temperature	15Ω	61°C
Fuel Oil Temperature	10Ω	47°C
Charge Air Temperature	10Ω	47°C
LT Water Temperature	10Ω	47°C
HT Water Temperature	18Ω	68°C
HT Water Temperature, WIP	18Ω	68°C

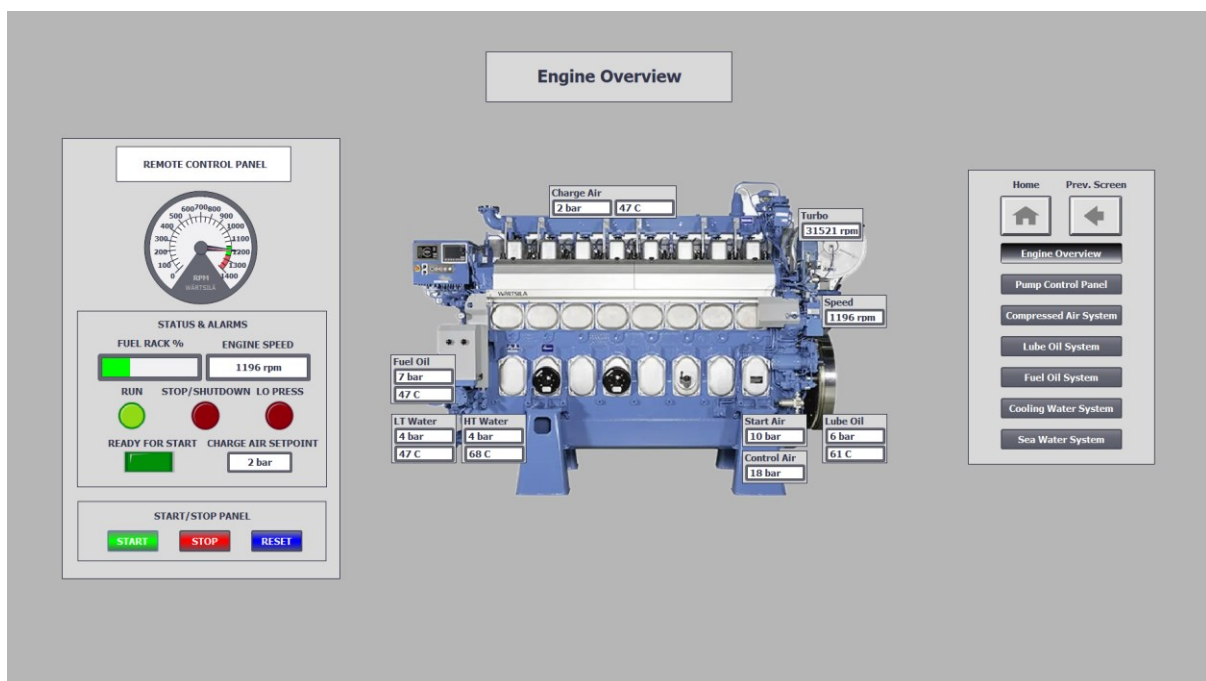
6. FJÄRRÖVERVAKNINGSSYSTEM

6.1 Överblicksvyer

Simuleringssystemet som vi har skapat är byggt i syfte att efterlikna ett modernt övervakningssystem. I skapandet av fjärrpanelens olika överblicksvyer har vi fått inspiration från Högskolan på Ålands maskinrumssimulator, där det är möjligt att simulera realistiska fartygssystem. För att rita överblicksvyerna har vi använt oss av Autodesk's programvara AutoCAD och sedan implementerat vyerna i TIA-portalen. I de olika överblicksvyerna på HMI-skärmen har vi olika sidor som representerar motorn och eventuella kringliggande system.

6.1.1 Engine Overview

För att få en sammansatt bild på motorn har vi lagt en översikt av motorn där de aktuella driftvärdena visas. På HMI-sidan Engine overview finns även viss larmövervakning och befintlig status på motorn. Det är på den här vyn som start och stopp av motorn sker, det finns även möjlighet att återställa aktiva alarm som förhindrar startsekvensen.

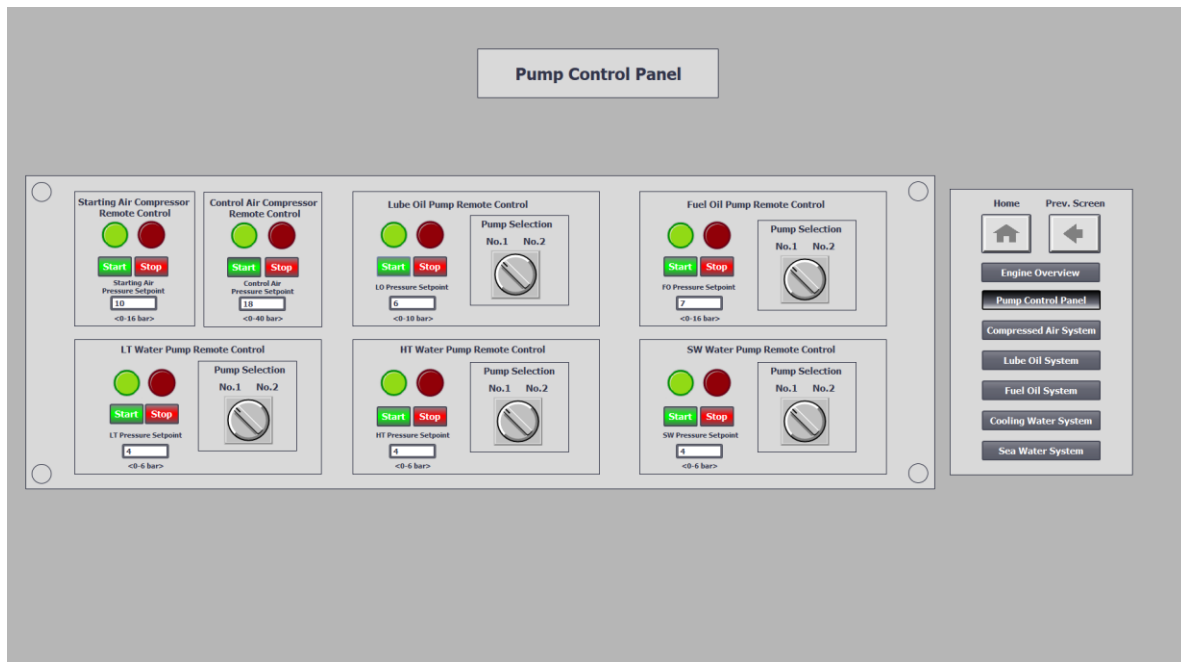


Figur 11. Engine Overview med övervakning på larm samt start av motorn.

6.1.2 Pump Control Panel

På vyn Pump control panel illustreras de pumpar och kompressorer som håller de kringliggande systemen trycksatta, möjligheten finns här att starta och stoppa valfritt de

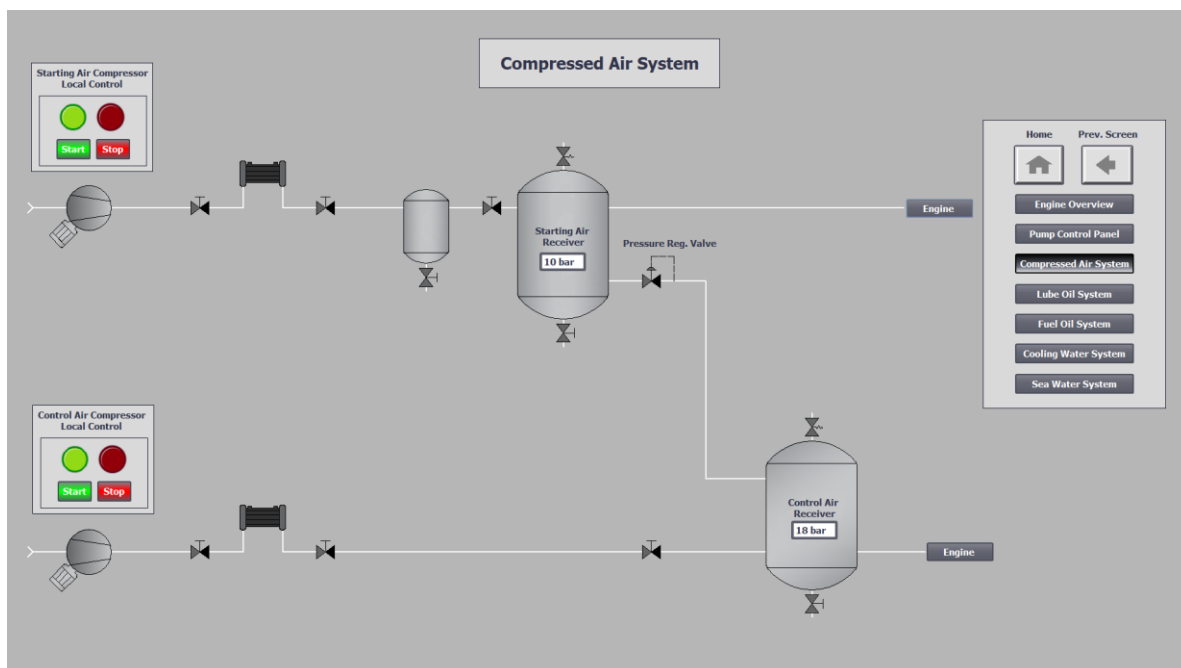
förbrukare man vill påverka. Det finns också möjlighet att välja vilken av pumparna man vill påverka inom en viss pumphet.



Figur 12. Pump control panel med start- och stoppanel för alla förbrukare.

6.1.3 Compressed Air System

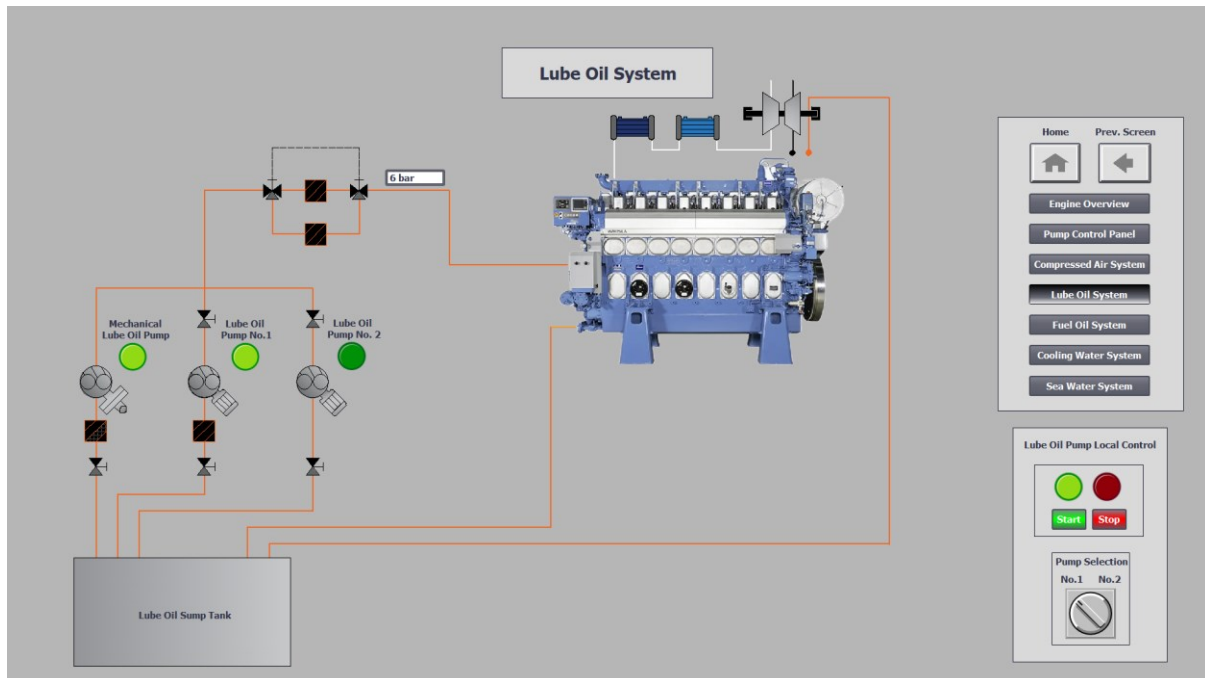
Compressed air system illustrerar en mer lokal vy av hur startluft- och kontrolluftsystemen kan vara uppbyggda (se fig. 13), där finns varsin kompressor samt tryckkärl där befintligt tryck kan avläsas. Enskilt start och stopp av förbrukarna finns också på den här vyn. Start- och stoppmöjlighet finns på denna vy utöver Pump Control Panel.



Figur 13. Compressed air system.

6.1.4 Lube Oil System

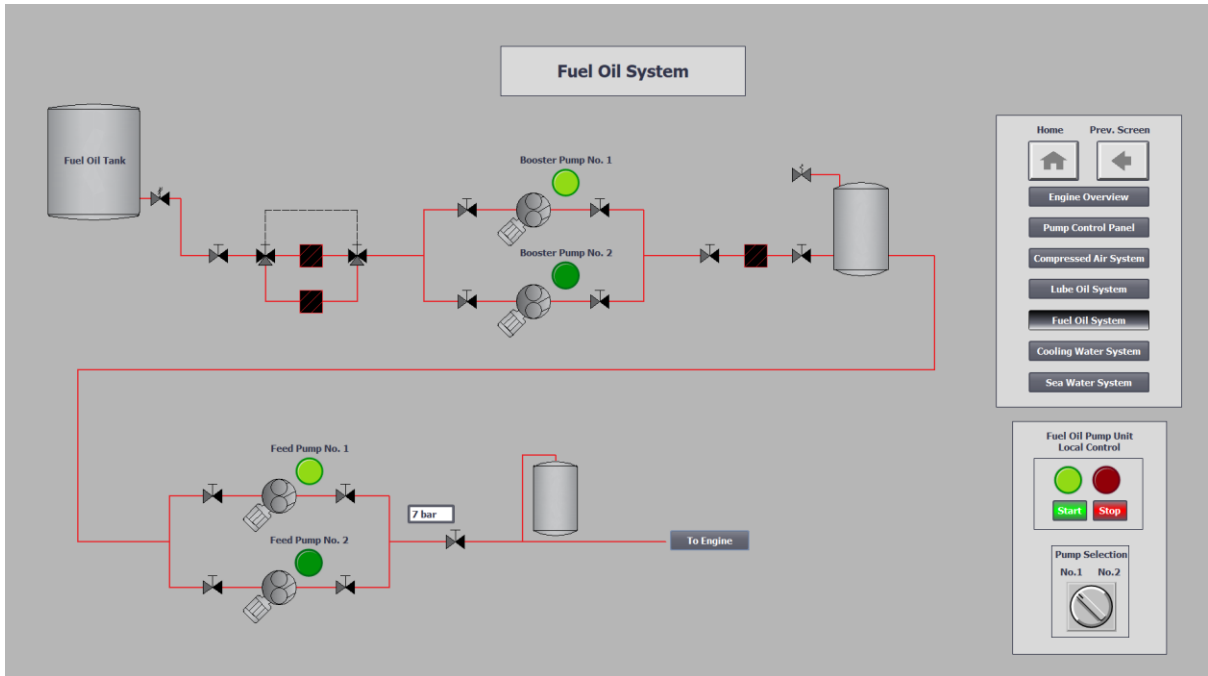
Lube oil system visar motorns smörjoljesystem där man kan se hela oljesystemet och dess uppbyggnad med sumptank, elektriska pumpar, mekanisk påhängspump och tillhörande filter i systemet. Turbinen och tillhörande oljesmörjning finns också illustrerade. Det finns även här möjlighet att starta och stoppa valfri pump genom dess enskilda startpanel.



Figur 14. Lube oil system.

6.1.5 Fuel Oil System

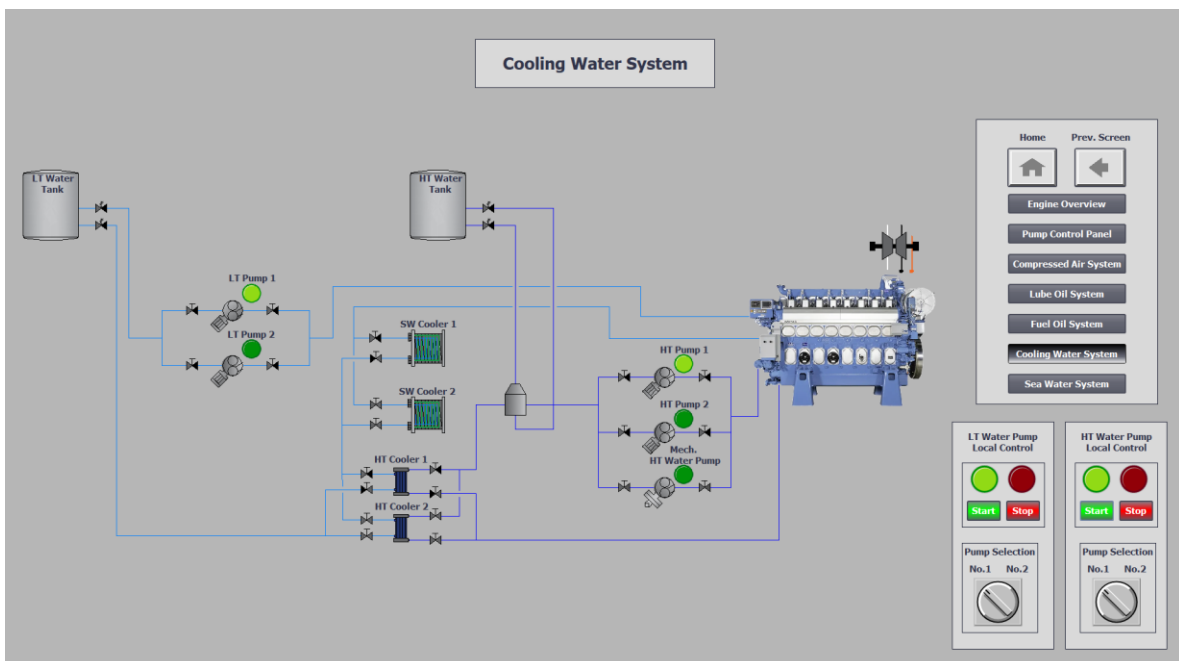
Fuel oil system visar hur motorns bränslesystem kan se ut, där finns booster- och feedpumpar som man kan övervaka samt starta och stoppa individuellt genom dess enskilda startpanel utöver Pump Control Panel.



Figur 15. Fuel oil system.

6.1.6 Cooling Water System

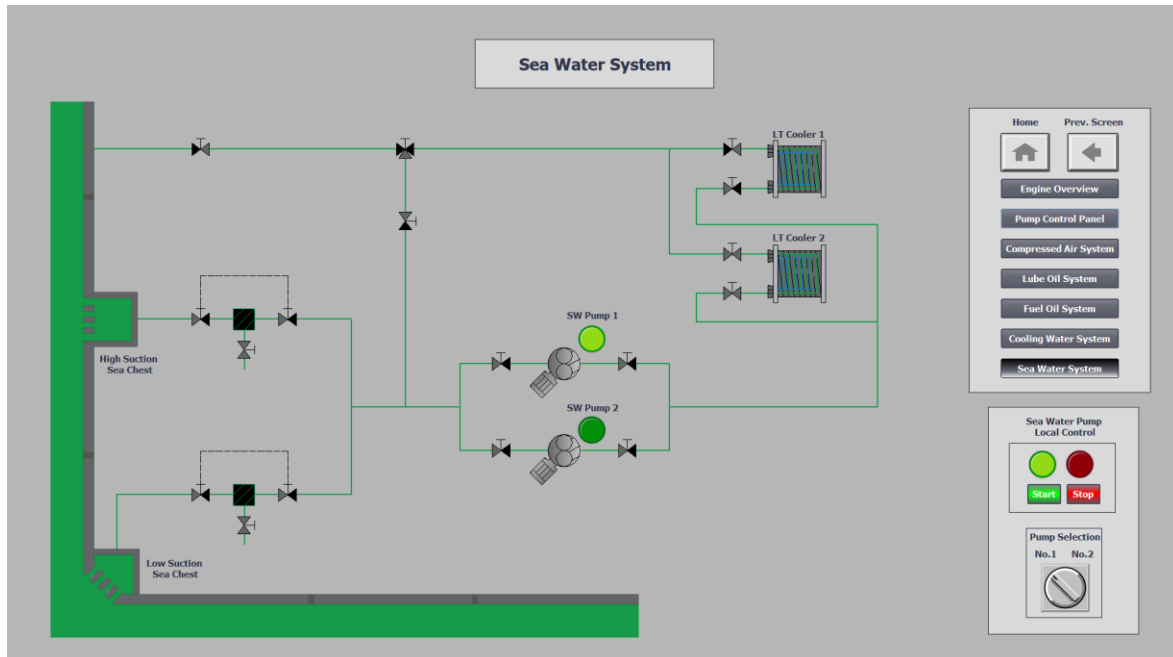
På överblicksvyn Cooling water system illustreras motorns LT- och HT-vattensystem, även på denna vy kan man övervaka och påverka individuella pumpar.



Figur 16. Cooling water system.

6.1.7 Sea Water System

För att knyta ihop det simulerade fartygssystemet har vi även gjort ett sjövattnesystem med tillhörande vy som illustrerar sjövattpumpar och kylare till LT-vattnet. Här finns som de andra vyerna start- och stoppanel för pumparna lokalt förutom på Pump control panel.



Figur 17. Sea water system.

6.2 Programmering

För att hantera och simulera motorns driftvärden och olika tillstånd har vi programmerat ett system som hanterar värden och sekvenser som sker vid drift av motorn. Själva programmeringen har vi gjort i Siemens TIA med det grafiska programmeringsspråket FBD.

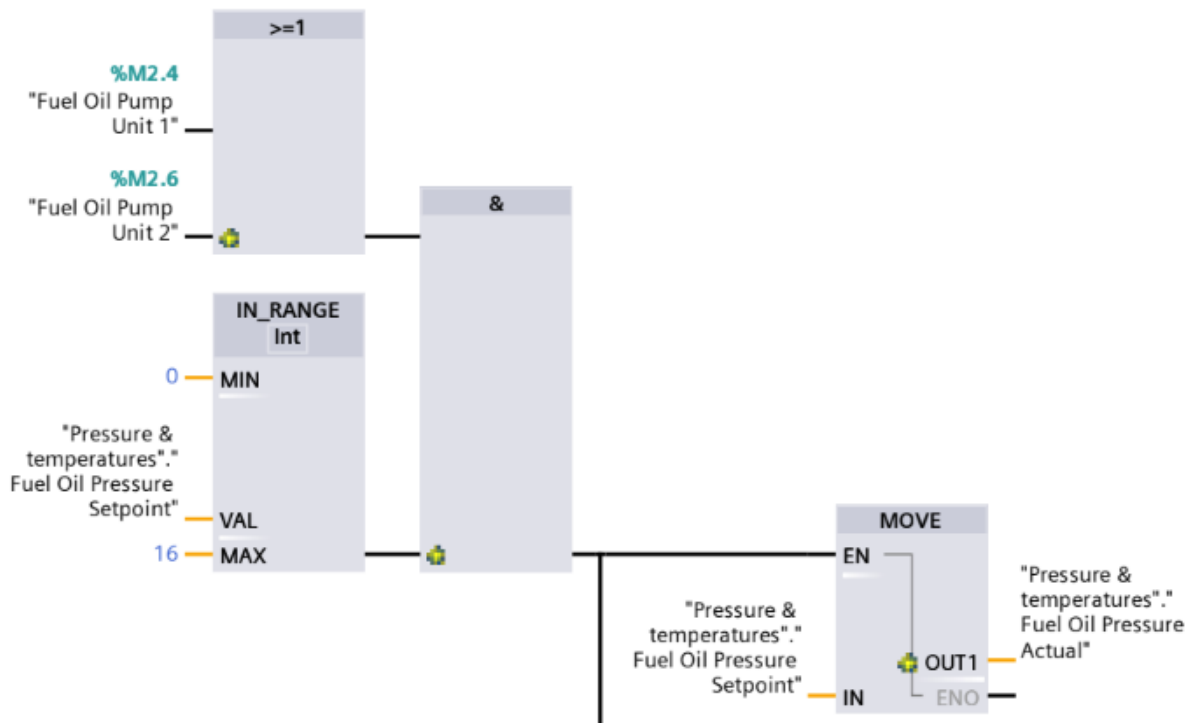
För att efterlikna ett realistiskt system har vi lagt in kriterier i programmeringen där en konstant övervakning görs av programmet för att se till att det finns tillräckligt startlufttryck för att dra igång motorn, att det finns kontinuerligt smörjoljetryck, tillräcklig mängd bränsle och att det finns tillräckligt kontrollufttryck.

Om någon av dessa värden skulle avvika från normalt vid dess behov i sekvensen reagerar programmet på detta och stoppar motorn, eller vid start så förhindrar programmet detta. Det finns även implementerat i programmet att lokalt kunna starta och stoppa motorn på motorns lokala panelen.

PLC:n tar in signalerna från motorn och aktiverar startsekvensen vid begäran av användaren om tidigare nämnda kriterier är uppfyllda.

6.2.1 Tryckhantering

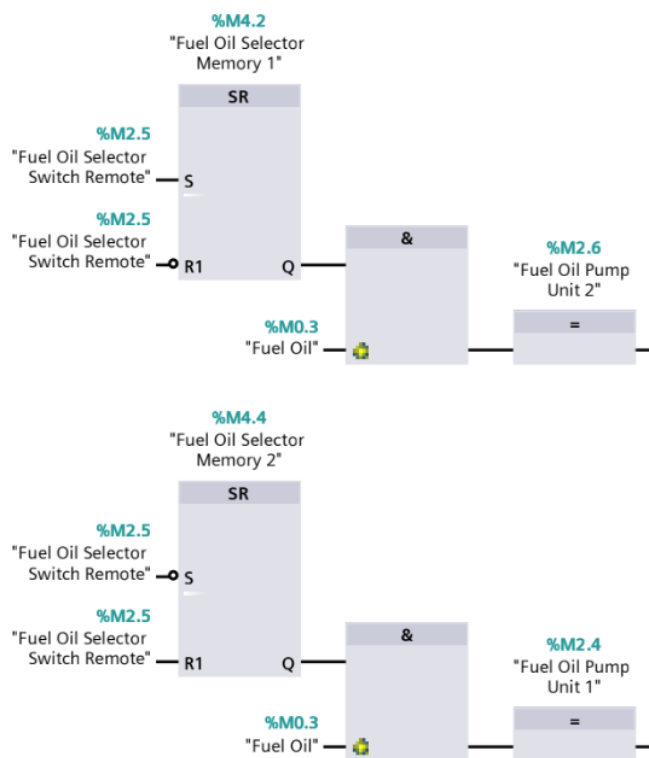
Börvärdet som användaren matar in via HMI:n lagras i ett eget datablock för varje enskilt system, till exempel "Fuel Oil Pressure Setpoint". Detta skickas sedan till ingången på ett IN_RANGE-block (se fig. 18), som styr vilket tryckspann berörd givarkrets kommer att ha sett från fjärrövervakningssystemet. Blocket har även en indirekt funktion att förhindra att man som användare skall kunna ge "overkliga" eller "orimliga" värden för kretsarna.



Figur 18. Kriterium Logik för att en tryck-parameter ska aktiveras.

Då ett börvärde angetts inom det godkända spannet samt att någon av pumparna för berört system aktiverats uppfylls kriterierna för nästkommande AND-block (se fig. 18), som fungerar enligt principen att blocket aktiveras då alla dess ingångar är påverkade.

Start av pumparna sker genom att man med hjälp av ett vred på HMI:n väljer vilken av pumparna för valt system man vill köra samt trycker på startknappen. Beroende på vilken av pumparna som aktiverats så påverkar detta olika block (se fig. 19) och minnesceller i programmet. Detta för att kunna indikera på HMI:n vilken pump som valts och är igång.

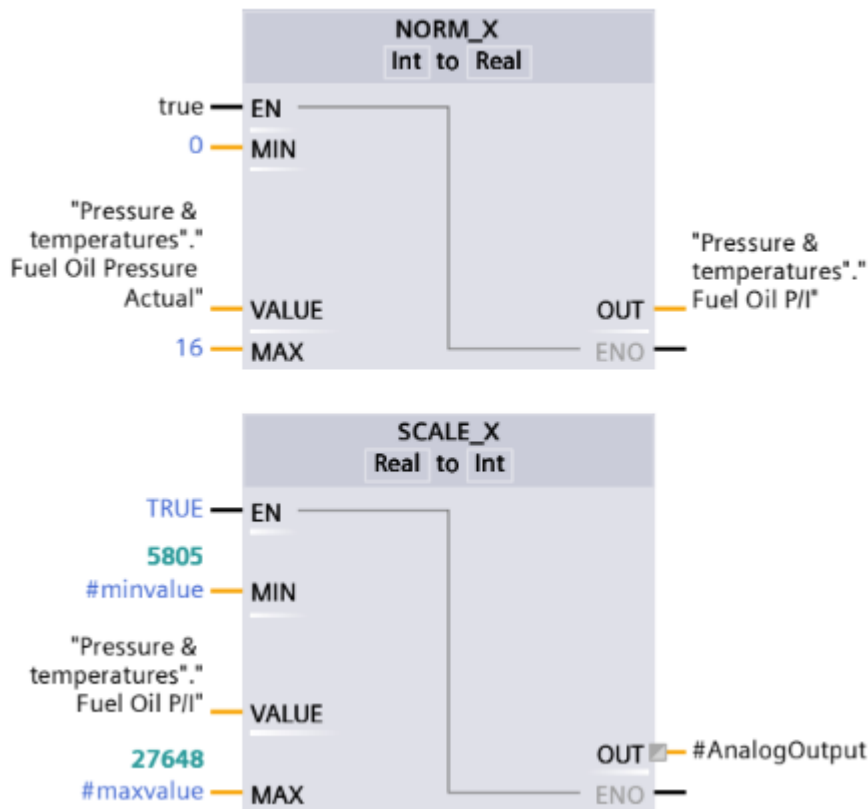


Figur 19. Program för val av pumphet.

Då AND-blockets kriterier uppfyllts aktiveras PLC-utgångarna för reläerna som styr signalomvandlaren samt temperaturen för kretsen. AND-blocket aktiverar även ett MOVE-block som skickar vidare det lagrade börvärdet i till exempel “Fuel Oil Pressure Setpoint” till ett nytt datablock med namnet “Fuel Oil Pressure Actual” i detta exempel.

Det är sedan värdet från det datablocket som visas som aktuellt tryck i fjärrövervakningssystemet, samt den datan vi skalar om med hjälp av ett NORM_X-block samt ett SCALE_X-block för att sedan skickas vidare till berörd signalomvandlare.

Syftet med NORM_X-blocket (se fig. 20) är att normalisera värdet och begränsa detta inom ett valt område. Blocket konverterar vår indata från “Int”- till ett “Real”-värde som sedan skickas vidare till SCALE_X-blocket (se fig. 20).



Figur 20. NORM_X- samt SCALE_X-funktionsblock.

SCALE_X-blocket skalar om vårt valda tryck på till exempel 0-16 till ett spann på 5805-27648 bit till de signalomvandlarna som är kopplade till de analoga tilläggsmodulerna, samt 0-27648 bit för de två signalomvandlarna som är kopplade till analoga utgångarna direkt på PLC:n.

För att få skalan på våra tryck i fjärrövervakningssystemet att stämma överens med de 4-20mA signaler som PLC:n skickar till motorn via signalomvandlarna, skickade vi ut max strömsignal (20mA) på vardera krets för att sedan läsa av vad varje givarkrets indikerade för max tryck på motorns LDU-panel. Samtliga kretsar indikerade 0 bar vid 4 mA. Med hjälp av detta kunde vi enkelt konfigurera samma tryckskala i fjärrövervakningssystemet.

6.2.2 Varvtalshantering

Som vi nämnt tidigare regleras motorns varvtal med hjälp av rampfunktioner i programmet. Den inkommande styrsignalen på 4-20mA från bränsleregulatorn till PLC:n tas in i programmet inom ett spann på 5805-27648 bit. Styrsignalen är en pådragsbegäran som dynamiskt förändras beroende på differensen mellan varvtalsreferensen och befintligt varvtal, detta betyder att signalen kommer ha hög bränslebegäran vid stor differens i varvtal och minska ju mindre differensen blir.

För att förenkla hanteringen av varvtalet programmeringsmässigt valde vi att reglera detta genom att sätta två gränser för styrsignalen. Om signalen är under ett valt värde så skall motorvarvtalet minska och om signalen är över det valda värdet så skall det bli en ökning av varvtalet.

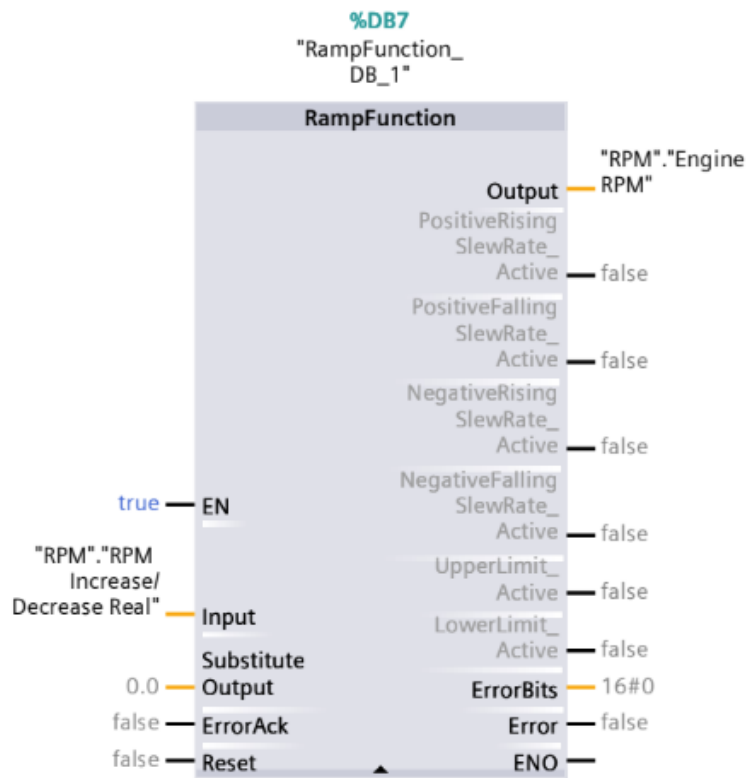
Ökning och sänkning av varvtalet i programmet sker med hjälp av olika funktionsblock. De block som används är COMPARE-, MOVE- samt RAMP-block (se fig. 21). COMPARE-blocken har till uppgift att jämföra om styrsignalen är större eller mindre än de förutbestämde värdena i programmet. Då dessa villkor uppfylls genom att styrsignalen antingen blir högre eller lägre än de förutbestämde värdena, aktiveras dessa block.



Figur 21. COMPARE-, AND- och MOVE_block för ökning av varvtalet.

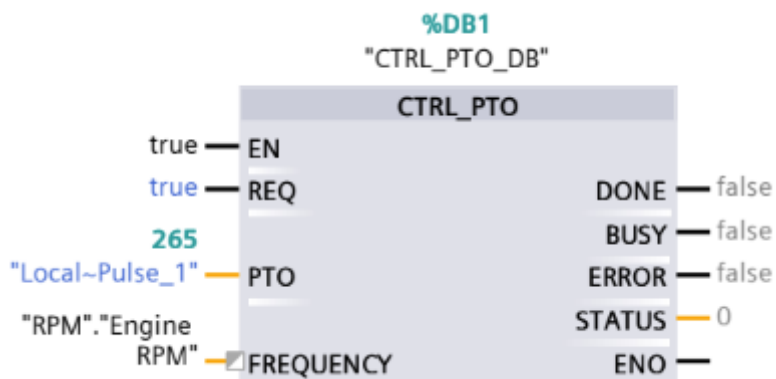
Beroende på vilket av COMPARE-blocken som aktiveras, så aktiveras därefter antingen MOVE-blocket för ökningen av varvtalet eller det för minskning av varvtalet. Det MOVE-blocken gör sist och slutligen är att de ändrar börvärdet till RAMP-blocket.

RAMP-blocket (se fig. 22) får alltså ett tilldelat börvärde i ett datablock som det hela tiden jobbar emot att försöka nå, det så kallade ärvärdet. Då blocket nått sitt tilldelade börvärde, sjunker eller ökar styrsignalen från bränsleregulatorn beroende på fall.



Figur 22. RAMP-block för reglering av motorvarvtal.

RAMP-blockets ärvärde som även det lagras i ett datablock skickas kontinuerligt ut på blockets utgång som sedan skickas vidare till PTO-blocket (se fig. 23). PTO:n skickar sedan ut detta värde i form av en frekvens på PLC:ns ena digitala utgång till motorn.



Figur 23. PTO-block för motorns varvtal.

Med denna reglering ligger börvärdet och skiftar hela tiden istället för att ha ett fast referensvarvtal att jobba med. Detta på grund av att det inte fanns någon sådan signal att ta från motorn. På detta vis fås en rampartad ökning och sänkning av varvtalet samt att det följer det varvtal som motorn internt har som referensvarvtal på grund av den varierande styrsignalen.

Vid själva startmomentet av motorn sker ingen ökning av styrsignalen från bränsleregulatorn. Detta tror vi är på grund av att motorn aldrig börjar rotera med hjälp av startluften och därav aldrig vill skjuta in bränsle i cylindrarna.

För att kringgå detta sätter vi ett fast börvärde för varvtalet med hjälp av ett MOVE-block under de första sekunderna så att motorn känner av att den börjar rotera likt som om den skulle startats med startluft. Detta gör att vi sedan får en ökning på bränsleregulatorns styrsignal och programmet sköter resten av regleringen på egen hand.

6.2.3 Temperaturhantering

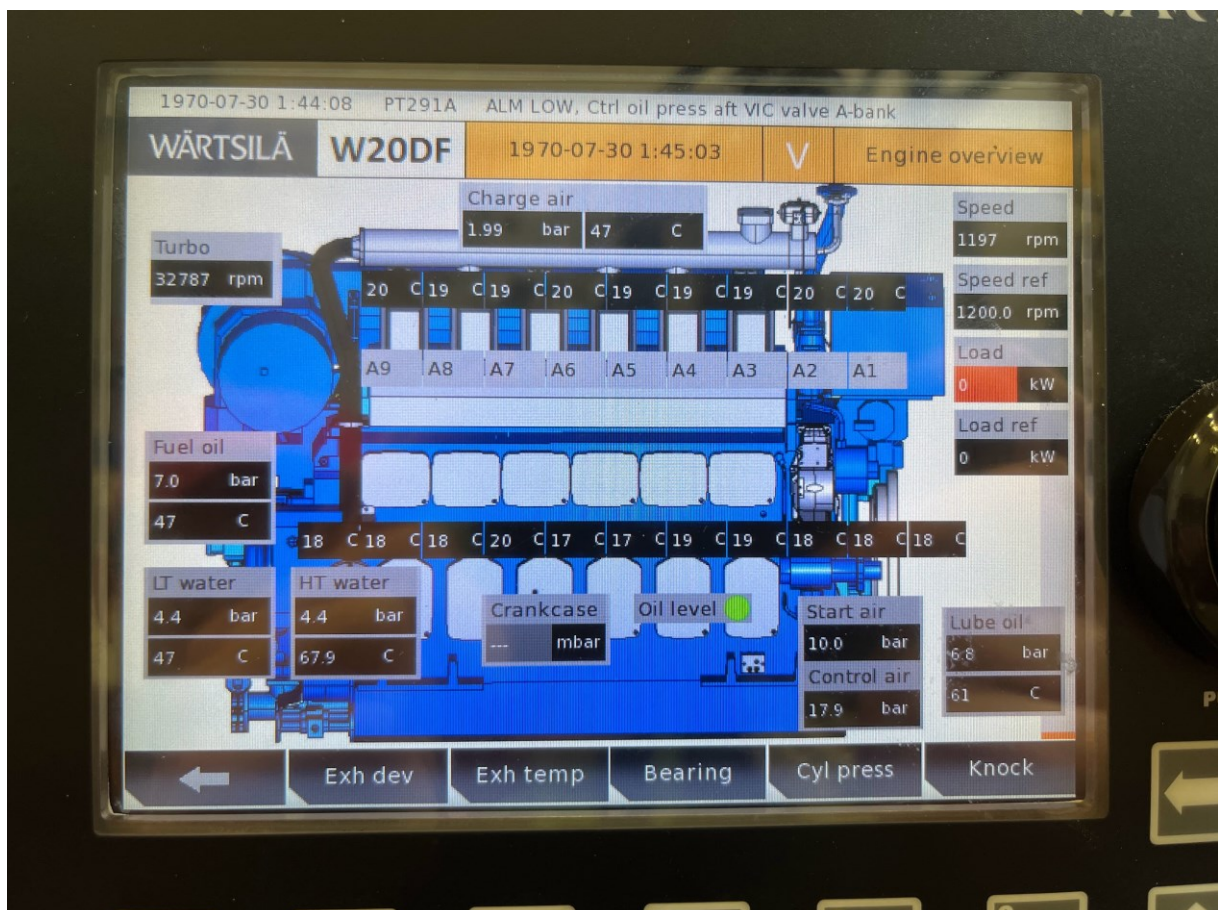
Eftersom temperaturerna kring motorns system hanteras på ett mera passivt sätt än tidigare nämnda värden blev därför också programmeringen av dessa mycket enklare. Då temperaturerna simuleras med vanliga resistanser som kopplas in på givarkretsarna med hjälp av reläer som i sin tur styrs av PLC:ns digitala utgångar. Utgångarna från PLC:n aktiveras i samband med att pumparna för berört system startas och inaktiveras vid stopp av pump.

7. RESULTAT

Efter att programmeringen slutförts kunde motorn testas och driftsättas. För att starta motorn krävs som tidigare nämnt smörjoljetryck, bränsletryck, startluft och kontrolluft. Man kan då navigera till Pump control panel eller de lokala systemvyerna för att starta lämpliga förbrukare, som leder till att tryck- och temperatursimuleringen för de valda förbrukarna sker. Efter att kriterierna uppfyllts kan man på Engine overview-vyn starta motorn.

I körande tillstånd av motorn (se fig. 24 och 25), så kan man lokalt på LDU-panelen se motorns tillstånd där bland annat driftvärden simuleras enligt önskemål, här ses även befintligt varvtal 1197 RPM som följer motorns egna varvtalsbegäran på 1200 RPM.

Efter att vi implementerat vårt system för simulering har vi kompletterat motorns ritningar (se bilaga 2) med vår utbyggnad av systemet så att de kan enkelt användas för att i framtiden expandera eller justera systemet enligt önskan.

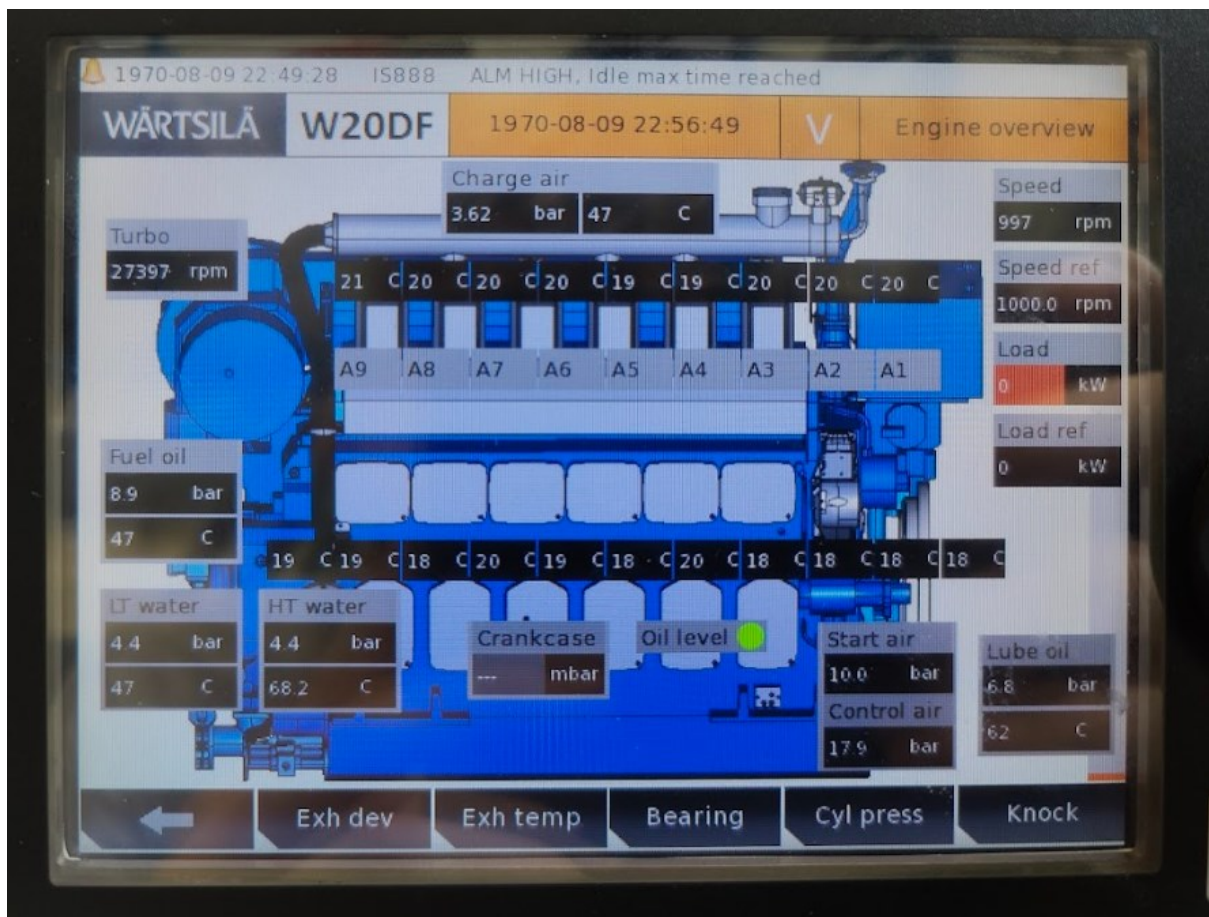


Figur 24. Motorn i körande tillstånd med varvtalsbegäran 1200 RPM på LDU-panelen.



Figur 25. Motorn i körande tillstånd vid 1200 RPM på WIP-panelen.

Efter en stund sänker motorn sin varvtalsbegäran till 1000 RPM, regulatorn motsvarar den nya varvtalsbegäran och reglerar varvtalet till det nya referensvarvtalet (se fig. 26).



Figur 26. Motorn med sänkt varvtalsbegäran till 1000 RPM på LDU-panelen, samt reglerat varvtal beroende på referensen.

8. SLUTSATS

Syftet med arbetet var att bygga ett simuleringssystem som i sin tur skulle utöka utbildningsmöjligheterna som fanns att utnyttja från motorn. Ett stort moment i vårt arbete var att implementera lämpliga alternativ för att simulera motorns typer av givare, och hur man genom programmering bygger startsekvensen som krävs för att kunna efterlikna drift av motorn.

Efter att vi slutfört vårt arbete känner vi att vi lyckats med vårt mål. Vi har åstadkommit en mer realistisk utbildningsmiljö som tillåter en fristående motor att användas i syfte att simulera hur de implementeras på fartyg och hur de beter sig vid drift, samt hur deras kringliggande system kan användas ihop, vilket ger en helhetsbild av ett fartygssystem. Det går nu även att göra mer realistiska larmtest där driftkritiska larm såsom shutdown och nödstoppfunktioner för motorn kan testats enkelt då den är driftsatt. Även inhiberade larm är nu upplåsta för mer realistisk testning då motorn körs.

KÄLLFÖRTECKNING

Seneca. (2020, October). *K121 ISOLATED 2-WIRE (LOOP POWERED) UNIVERSAL TRANSMITTER, ATEX ZONE 2*. Seneca.it.

https://www.seneca.it/media/3321/ds_k121_october-2020-eng_r1.pdf

Siemens. (2013, January 23). *How can the CPU analog inputs of the SIMATIC S7-1200 also measure currents of 0-20mA?* SiePortal.

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/67396370/how-can-the-cpu-analog-inputs-of-the-simatic-s7-1200-also-measure-currents-of-0-20ma-?dti=0&lc=en-FI>

Thermocouple Instruments. (1999). *PT100 Resistance Table*. yumpu.com.

<https://www.yumpu.com/cs/document/read/50179337/pt100-resistance-table>

Wärtsilä. (n.d.). *Wärtsilä 20DF Engine O&MM*.

Wärtsilä. (2008). *Sensortechnics*.

Wärtsilä. (2022). *Wärtsilä 20*.

https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/brochure-o-e-w20.pdf?utm_source=engines&utm_medium=dieselenines&utm_term=w20&utm_content=brochure&utm_campaign=mp-engines-and-generating-sets-brochures

Wärtsilä. (2024). Central Cooling Water System. In *Wartsila Encyclopedia of Marine and Energy Technology*.

<https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/central-cooling-water-system>