



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tuomo Raitanen

**DIESEL-GENERAATTORIN  
KÄYNNISTYSAUTOMATIikka**

Tekniikka  
2016

## **ALKUSANAT**

Tämä opinnäytetyö on tehty Technobothnia laboratoriolle opetuskäyttöön. Päättötyön valvojana on toiminut sähkö- ja automaatiotekniikan koulutuspäällikkö Juha Nieminen. Saimme apua monissa eri tilanteissa laboratorioinsinööri Arto Hänniseltä. Työn alkuvaiheissa mukana olivat myös kaksi sähkötekniikan opiskelijaa kolmannelta vuosiluokalta.

Projektissa työparinani työskenteli belgialainen vaihto-oppilas Lander Boeckx, jonka kanssa työskentely opetti minulle monia uusia asioita.

Haluan kiittää kaikkia tähän projektiin osallistuneita henkilöitä tuesta ja avusta.

Tuomo Raitanen

31.5.2016

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Tuomo Raitanen
Opinnäytetyön nimi	Diesel generaattorin käynnistysautomaatiikka
Vuosi	2016
Kieli	suomi
Sivumäärä	65 + 4 liitettä
Ohjaaja	Juha Nieminen

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja käyttöönottaa dieselvaravoimalaitosjärjestelmä Technobothnia laboratorioon. Tämä dieselvaravoimalaitos liitettäisiin laboratoriossa sijaitsevaan isompaan varavoimajärjestelmään, jossa on mukana myös muita voiman lähteitä, kuten aurinkopaneeleja. Tätä koko järjestelmää voitaisiin siten käyttää opetuskäytössä koulun opiskelijoille.

Diesel-generaattorin osuus on siis osa isompaa kokonaisuutta, jossa monet eri opiskelijat ovat ja tulevat olemaan mukana rakentamassa tätä järjestelmää. Järjestelmää ovat myös suunnitelleet ja rakentaneet laboratorioinsinöörit sekä VEO.

Tähän opinnäytetyön osuuteen kuului pääosin diesel-generaattorin automatisointi. Eri mittausten kytkentä, lisääminen ohjelmaan sekä eri ohjaustapojen toteuttaminen. Generaattoria tulee myös ohjata kahdesta eri paneelista, joihin tuli luoda omat ohjelmat sekä määrittää, kuinka paneelit toimivat keskenään. Myös käynnistyssekvenssin luonti sekä nopeuden säätäminen olivat projektin tavoitteita. Lopuksi kaiken tehdyn työn dokumentointi ja piirustusten luominen olivat suurimmat saavuttamamme työn tulokset.

Mielestäni projekti onnistui hyvin. Generaattorin mittaukset ja ohjaukset saatiin toimimaan oikealla tavalla, kahdelta eri paneelilta. Myös nopeuden säätö ja piirustukset saatiin valmiiksi, kun ohjaukset paneeleilta olivat valmiina.

## ABSTRACT

Author	Tuomo Raitanen
Title	Automation of a Diesel Generator
Year	2016
Language	Finnish
Pages	65 + 4 Appendices
Name of Supervisor	Juha Nieminen

---

The task of this thesis was to plan and implement a diesel reserve power station for the Technobothnia laboratory. This diesel engine-generator system would be added to a larger reserve power station system in Technobothnia, which includes other power sources, for example solar panels. The reserve power station could be then used for teaching the students who study in Technobothnia.

The project was a part of a larger project in which many students, laboratory engineers and VEO have been working. There might still be some work for other students in this project in the future.

The main task for us was to do the automatization of a diesel generator. The biggest aims were to wire different measurements, add them to our program and do the manual and automatic controls. We also had to create two panel control places and define how the panels work with each other. One task was also to find out how to control the speed of the engine and finally do the documentation and the drawings

I myself think that the project was a success. We got the measurements and controls of the generator working properly. The generator can now be controlled from two different panels also. After the panel controls started working, we got the speed control and drawings done.

---

Keywords: Reserve power station, engine-generator, Technobothnia, automatization

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA – JA TAULUKKOLUETTELO

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

1	JOHDANTO.....	11
2	JÄRJESTELMÄ.....	12
	2.1 Dieselmoottori.....	13
	2.2 Kolmivaihegeneraattori.....	14
	2.3 Starttimoottori.....	16
	2.4 Ohjauskaappi.....	16
	2.5 Ohjauspaneeli.....	17
3	OHJAUKSET JA OHJELMOINTI.....	19
	3.1 Paikallisojtaus .....	20
	3.2 Paneeliohjaukset .....	21
	3.2.1 Paneelien lukitukset .....	21
	3.2.2 Manuaaliojtaus .....	22
	3.2.3 Sekvenssi.....	23
	3.2.4 Automaattiojtaus .....	26
	3.3 Hehkutus .....	27
	3.4 Polttoaineen syöttö.....	32
	3.5 Nopeuden säätäminen .....	37
	3.6 Paneelin käyttöliittymän suunnittelu - WinCC.....	41
4	MITTAUKSET.....	43
	4.1 Signaalilähetin.....	43
	4.2 Taajuusmuunnin.....	44
	4.3 Liitäntämoduuli.....	45
	4.4 Lähettimien asetukset - MekuWIN.....	46
	4.5 Mitta-anturit .....	47
	4.5.1 Momenttimittaus .....	47
	4.5.2 Nopeusmittaus.....	49

4.5.3	Lämpötilamittaukset.....	49
4.5.4	Öljynpaineen mittaus .....	50
4.6	Mittaukset paneelissa .....	51
5	KAUKO-OHJAUS .....	53
6	PIIRUSTUKSET .....	55
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	61
7.1	Arviointi projektin vaiheista .....	61
7.2	Aikataulussa pysyminen .....	61
7.3	Projektin tulosten hyödyntäminen ja arviointi.....	61
7.4	Projektin jatkuminen ja keskeiset uudet ideat.....	62
7.5	Johtopäätökset.....	62
	LÄHTEET.....	63
	LIITTEET	

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1</b> Järjestelmän kytkentäkuva.....	12
<b>Kuva 2</b> Dieselmoottorin sytytyksen toiminta /1/.....	13
<b>Kuva 3</b> Projektin dieselmoottori ja generaattori.....	14
<b>Kuva 4</b> Generaattorin magnetointi /2/ .....	15
<b>Kuva 5</b> MECC ALTE T16F-160-generaattorin tekniset tiedot /3/.....	15
<b>Kuva 6</b> Järjestelmän kokoonpano, lukuun ottamatta kauko-ohjausta .....	17
<b>Kuva 7</b> KTP600 Basic Color PN-paneeli /4/.....	18
<b>Kuva 8</b> Generaattorin kolme eri ohjaustapaa .....	19
<b>Kuva 9</b> Paikallishjauksen hehku- ja startti-painikkeet, sekä nokkavalintakytkin .....	20
<b>Kuva 10</b> Paneelin päänäyttö .....	21
<b>Kuva 11</b> Manuaaliohjauksen näyttö .....	23
<b>Kuva 12</b> Automaattiohjausta varten suunniteltu sekvenssi.....	24
<b>Kuva 13</b> Sekvenssin STANDBY-tila .....	25
<b>Kuva 14</b> Automaattiohjauksen näyttö .....	26
<b>Kuva 15</b> Hehkutuslohkon lukitukset .....	28
<b>Kuva 16</b> Hehkutuslohkon automaattinen aukiajo .....	29
<b>Kuva 17</b> Hehkutuslohkon automaattinen kiinniajo.....	30
<b>Kuva 18</b> Hehkutuksen ohjaus ja rajat.....	31
<b>Kuva 19</b> Polttoainepumpun lohkon lukitukset .....	33
<b>Kuva 20</b> Polttoainepumpun lohkon käynnistys automaattitilassa.....	34
<b>Kuva 21</b> Polttoainepumpun lohkon pysäytys automaattitilassa .....	35
<b>Kuva 22</b> Polttoainepumpun ohjaus ja sen indikointi.....	36
<b>Kuva 23</b> Starttimoottorin ohjaus Step7-ohjelmassa .....	36
<b>Kuva 24</b> Starttimoottorin kontrollerin kuva liitynnöistä /5/ .....	38
<b>Kuva 25</b> Nopeussäädön, PID-säädin Step7-ohjelmassa.....	39
<b>Kuva 26</b> Nopeuden säädön paneelinäyttö .....	40
<b>Kuva 27</b> Paneelin käyttöliittymän suunnitteluohjelman WinCC:n projektipuu...	41
<b>Kuva 28</b> Nokeval 6740-lähetin ja sen eri tyyppiset liitännät /6/ .....	43
<b>Kuva 29</b> Pt100, lämpöpari ja magneettisensorin kytkentä lähettimeen /6/ .....	43
<b>Kuva 30</b> PNP-kytkentä, nopeusanturin kytkentä taajuusmuuntimeen /7/.....	44

<b>Kuva 31</b> Nokeval 6420-taajuusmuuntimen eri tyyppiset liittynät /7/.....	44
<b>Kuva 32</b> Datum Electronics 400150-liitäntämoduulin liittännät /8/ .....	45
<b>Kuva 33</b> Vasemmalla Nokeval 6740 asetukset, oikealla Nokeval 6420 asetukset. .....	46
<b>Kuva 34</b> Momenttianturin kytkentä.....	47
<b>Kuva 35</b> Datum Electronics M420-momentin mitta-anturi /9/ .....	48
<b>Kuva 36</b> Nopeusmittauksen anturi ja sen kytkentä taajuusmuuntimeen /10/.....	49
<b>Kuva 37</b> Lämpöparin kytkentä Nokeval 6740-lähettimeen.....	50
<b>Kuva 38</b> 3-johtiminen PT100-anturin kytkentäkuva /11/.....	50
<b>Kuva 39</b> Paneelin mittausnäyttö .....	51
<b>Kuva 40</b> Paneelin vertailunäyttö .....	52
<b>Kuva 41</b> Kauko-ohjauskaapin ovi ja siinä olevat kytkimet ja mittarit .....	53
<b>Kuva 42</b> Tahdistettaessa käytettävä synkronoskooppi /12/.....	54
<b>Kuva 43</b> Ohjaukset .....	56
<b>Kuva 44</b> Kytkennät.....	57
<b>Kuva 45</b> Logiikan inputit .....	58
<b>Kuva 46</b> Mittaukset .....	59
<b>Kuva 47</b> Lähettimien inputit.....	60



## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Aiemmin tehdyt kytkentäkuvat

**LIITE 2.** Uudet kytkentäkuvat

**LIITE 3.** STEP7- ja WinCC-ohjelma

**LIITE 4.** Manuaalit

**LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT**

VEO	–	Vaasan Energia Oy
PLC	–	Programmable Logic Controller
mA	–	milli ampeeri
V	–	voltti
LEP3	–	Technobothnia laboratorion sähköosasto
°C	–	celsius aste
rpm	–	revolutions per minute – kierrosta minuutissa
px	–	pixel - pikseli
man	–	manuaali
auto	–	automaatti

## 1 JOHDANTO

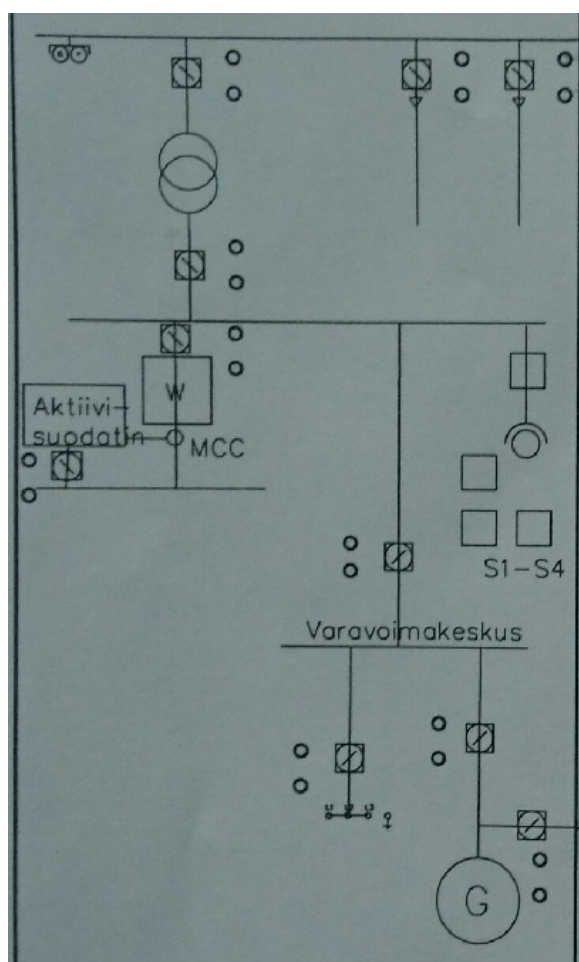
Tämän opinnäytetyön aiheena oli varavoimalaitoksen suunnittelu ja käyttöönotto. Tehtävänäimme oli toteuttaa generaattorin automatisointi ja liittää se osaksi Technobothniaan suunnitteilla olevaan varavoimalaitokseen, jota voitaisiin käyttää laboratoriossa työskentelevien opiskelijoiden opetuksessa tulevaisuudessa.

Entiset konetekniikan opiskelijat olivat asentaneet opinnäytetyönä dieselmoottori-generaattorin, jota käytimme tässä kyseisessä järjestelmässä. Dieselmoottori on peräisin toisesta opiskelijatyöstä, jossa dieselmoottorilla varustettu pikkuauto muunnettiin sähköautoksi. Tämän lisäksi VEO oli asentanut ohjauskaapin ja sen sisällön moottorin viereen. Tämä kokonaisuus tuli siten liittää osaksi isompaa varavoimajärjestelmää, johon kuuluu mm. aurinkopaneeleita.

Opinnäytetyön suurimmat tavoitteet olivat moottori-generaattorin automatisoinnin suunnittelu ja sen toteuttaminen, johon kuului mittaukset, ohjaukset, kytkennät ja piirustukset. Olen pyrkinyt tekemään tämän opinnäytetyöni siten, että tätä voidaan käyttää eräänlaisena ohjeena tai manuaalina, kun työtä jatketaan tai jotain muutoksia halutaan tehdä järjestelmään.

## 2 JÄRJESTELMÄ

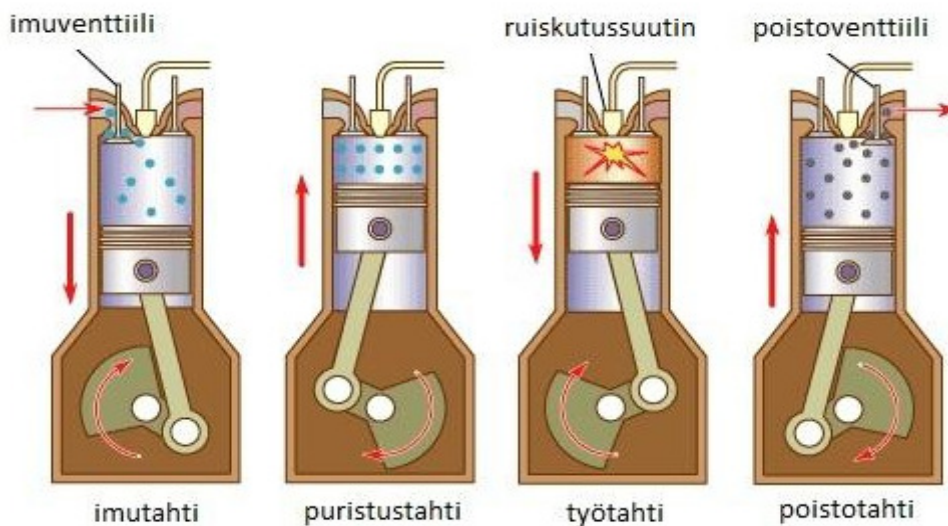
Projektin tärkeimpiä osia on dieselmoottori, joka pyörittää vaihtovirtageneraattoria. Kuvasta 1 nähdään generaattori, joka on yhteydessä varavoimakeskukseen. Dieselmoottoria voidaan ohjata joko käsiajolla moottorin vieressä olevasta ohjauspainikkeista tai automaation avulla kahdesta eri paikasta. Moottorin vieressä sijaitsevassa ohjauskaapissa sekä LEP3-tilassa sijaitsevassa kaapissa on omat PLC:t sekä verkkokytkimet. Verkkokytkimet ovat yhteydessä valokuitukaapelilla, joten generaattorin ohjaaminen onnistuu myös kauko-ohjauskaapilta. Kumpaankin ohjauspaikkaan on liitettyä omat ohjauspaneelit, joihin suunnittelimme ja teimme ohjelmat generaattorin ohjaamista varten. Tekemämme varavoimageneraattori tullaan kytkemään osaksi varavoimakeskusta.



**Kuva 1** Järjestelmän kytkentäkuva

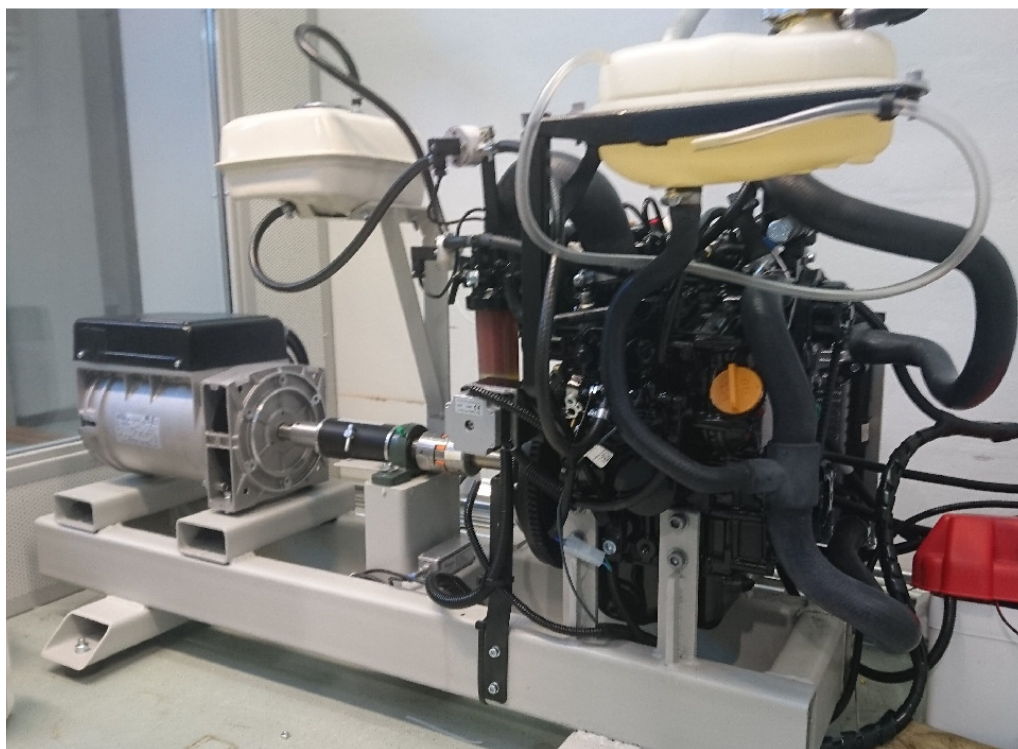
## 2.1 Dieselmoottori

Dieselmoottori on polttomoottori, jossa sylinteriin tuotu ilma puristetaan noin 1/20 osaan sen alkuperäisestä tilavuudesta. Tämä aiheuttaa suuren lämpötilan nousun. Kun polttoainetta syötetään kuumaa ilmaa sisältävään sylinteriin kovalla paineella, saadaan polttoaine syttymään. Sylinterin lämpötilaa saadaan myös kasvatettua hehkutuksella, missä virtaa johdetaan vastukseen, joka kuumenee voimakkaasti (**Kuva 2**).



**Kuva 2** Dieselmoottorin sytytyksen toiminta /1/

Työssä käytettiin Yanmarin valmistamaa vesijäähdytteistä dieselmoottoria. Moottorin nimellinen pyörimisnopeus on 3200rpm ja se tuottaa 5,5Kw. Moottori on alun perin suunniteltu mopoautolle, jonka koulun muut oppilaat ovat muuntaneet sähköautoksi aikaisemmin omana opinnäytetyönään. Kuvassa 3 käytetty moottori-generaattori.



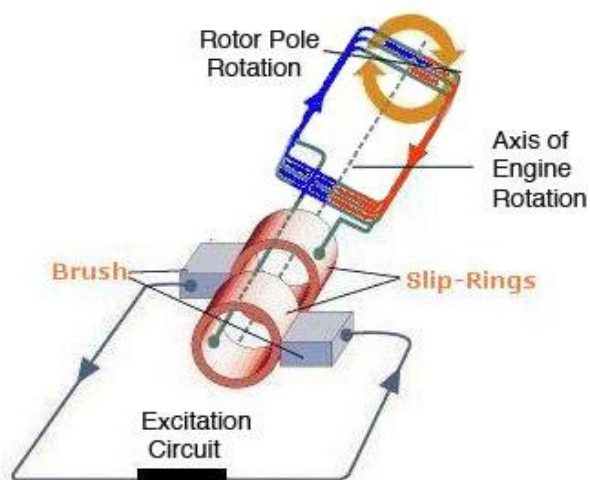
**Kuva 3** Projektin dieselmoottori ja generaattori

## 2.2 Kolmivaihegeneraattori

Generaattorin tehtävänä on muuttaa mekaaninen energia sähköiseksi energiaksi. Vaihtovirtageneraattoreita on kahta eri vaihtoehtoa, tahtigeneraattori sekä epätahtigeneraattori.

Projektissa käytettiin tahtigeneraattoria, joka pyörii samassa tahdissa koneen sisällä olevan magneettikentän sekä syöttävän verkon kanssa. Tahtigeneraattorin pätötehoa säädetään voimakoneella ja induktiivista sekä kapasitiivista loistehoa säädetään magnetoinnin avulla.

Magnetointi saa generaattorin tuottamaan jännitettä. Magnetoinnissa roottorikäimitykselle tuodaan hiiliharjojen kautta tasavirta, joka synnyttää generaattorin ilmaväliin magneettikentän, joka taas indusoi jännitteen staattorikäimitykseen. Kuva 4 selittää generaattorin magnetointiin liittyviä osia.



**Kuva 4** Generaattorin magnetointi /2/

Projektin generaattorina käytettiin MECC ALTE:n valmistamaa T16F-sarjan kaksinapaista, harjallista kolmivaihegeneraattoria, jonka jännitteen säätö tapahtuu komppoundikäälityksessä. Generaattori on sisänapageneraattori, jota käytetään yleisesti tämänkaltaisissa pienemmissä varavoimalaitoksissa. Generaattorin tekniset tiedot nähtävissä kuvassa 5.

POWER 230/400 V at 3000 RPM - 50 Hz											
Type	CL. H ( $\Delta T=125^{\circ}\text{C}$ )						CL. F ( $\Delta T=105^{\circ}\text{C}$ )		CL. H ( $\Delta T=125^{\circ}\text{C}$ )		T.H.D. %
	THREE-PHASE		MOTOR STARTING CAPABILITY KVA	EFFICIENCY			THREE-PHASE		SINGLE-PHASE		
	KVA	KW $\cos \phi 0,8$		2/4 %	3/4 %	4/4 %	KVA	KW $\cos \phi 0,8$	KVA $\cos \phi 1$	MOTOR STARTING CAPABILITY KVA	
T16F-130	6	4,8	20	75,5	79,5	79,8	5,5	4,4	4	16	< 5
T16F-160	7,5	6	26	78	82,5	82	6,8	5,4	5	19,5	< 5

3000 RPM 230/400V - 50Hz											
Type	Three-phase power KVA	Stator $\Omega$	Rotor $\Omega$	Auxiliary winding $\Omega$	Compound regulator		Air volume $\text{m}^3/\text{min}$	Noise		Weight Kg	Single-phase power kVA
					Rating $\Omega$	Excitation $\Omega$		7m dBA	1m dBA		
T16F-160	7,5	1,15	22,5	6,23	0,115	1,57	3,4	60	78	34,5	5

**Kuva 5** MECC ALTE T16F-160-generaattorin tekniset tiedot /3/

### 2.3 Starttimoottori

Starttimoottori on tasavirtamoottori, jonka tehtävänä on pyörittää moottoria, kunnes se pystyy pyörimään omatoimisesti. Starttimoottorin yhteydessä käytetään myös induktiivista anturia, josta saadaan indikointi starttimoottorin tilasta sekä se toimii tarvittaessa eräänlaisena hätä-/seislaitteena. Starttimoottoria ohjataan kontrollerilla, joka sijaitsee erillisessä laatikossa moottorin ja ohjauskaapin läheisyydessä.

Starttimoottoria käynnistettäessä virtaa johdetaan solenoidille, joka luo sen sisälle magneettikentän. Magneettikenttä asettaa solenoidin ja roottorikäämin välissä olevan vivun avulla roottorikäämissä olevan rataspyörän moottorin vauhtipyörän kehälle. Tämän jälkeen virta kulkee roottorikäämille ja käämien sekä magneettikentän vaikutuksesta moottori alkaa pyöriä.

Starttimoottorilla pystytään myös ohjaamaan moottorin pyörimisnopeutta sekä muuttamaan pyörimissuuntaa. Moottorin pyörimissuuntaa ja pyörimisnopeutta ohjataan releiden K204 ja K205 avulla. Nopeuden säädöstä kerrotaan myöhemmin tarkemmin.

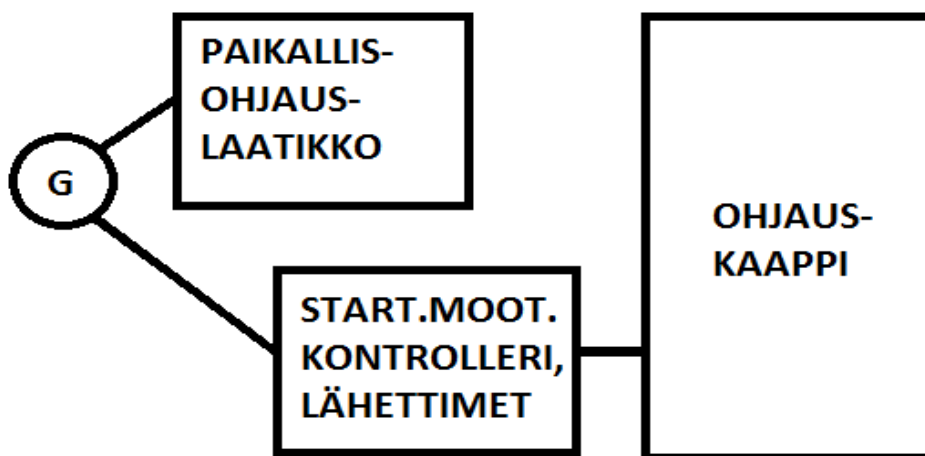
### 2.4 Ohjauskaappi

Ohjauskaappi sisältää Siemensin S7-300 PLC: n, 7 kontaktoria, verkkokytkimen, sulakkeita, riviliittimiä, vikavirtasuojia, muuntajan sekä kaapin ovessa on pääkytkin. SIMATIC S7-300 PLC: n komponentit: CPU314C-2PN/DP, DI8xDC24V, AI5/A02x12Bit, DI16/DO16xDC24V, AI 8x13Bit. Verkkokytkin on yhteydessä PLC: n ja paneelin kanssa Ethernet-kaapeilla ja kauko-ohjauspaneeliin se on yhteydessä kuitukaapelilla. Tietokoneella saa helposti yhteyden PLC:hen kytkeytymällä pelkästään verkkokytkimeen. Kauko-ohjauskaapissa on oma verkkokytkin, PLC sekä muuta, esimerkiksi verkkoon tahdistamiseen tarvittavia komponentteja.



Ohjauskaapin ulkopuolella on erillinen laatikko, joka sisältää Nokevalin lähettimen, taajuusmuuntimen, momentin mittauksen muuntimen sekä starttimoottorin kontrollerin. Muuntimet muuntavat sensoreilta tulevat mittatiedot 0-10V viestiksi PLC:lle, joka skaalaa sen haluttuun muotoon paneelista luettavaksi.

Näiden kahden lisäksi moottorin vierestä löytyy paikallisohjauslaatikko, josta myöhemmin tarkemmin. Järjestelmän kokoonpano kuvitettuna kuvassa 6.



**Kuva 6** Järjestelmän kokoonpano, lukuun ottamatta kauko-ohjausta

## 2.5 Ohjauspaneeli

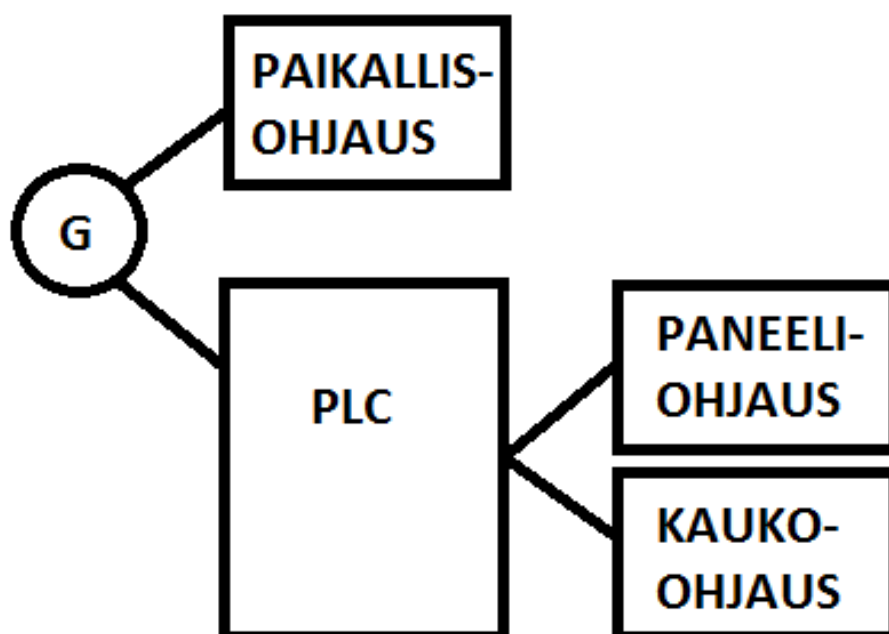
Paikallisohjauksen lisäksi moottoria ohjataan Siemensin KTP600-sarjan paneelilla, johon suunniteltiin käyttöliittymä WinCC flexible-ohjelmalla. Tätä paneelia päädyttiin käyttämään projektissa, sillä ohjelma tehtiin Siemensin Step7-ohjelmalla ja KTP600-sarjan paneelit tukevat Step7-ohjelmaa. Siemensin uusimpiin HMI paneeleihin, joka oli valmiiksi asennettuna ohjauskaapinoveen olisi tarvinnut ohjelma tehdä TIAPortal-ohjelmistolla. KTP600-paneeli käyttää 24V virtalähdettä ja ohjelmointi tapahtuu Ethernet-kaapelilla, joka on yhteydessä ohjelmointitietokoneeseen PLC:n kautta. KTP600 paneeliin kuuluu kosketusnäytön lisäksi 6 erillistä painiketta, jotka voidaan ohjelmoida tekemään oma tehtävänsä kullakin eri näkymällä. Paneelin näyttö on 5,7 tuumaa ja sen resoluutio on 320x240 px. Kuvasta 7 nähdään paneelin ulkonäkö.



**Kuva 7** KTP600 Basic Color PN-paneeli /4/

### 3 OHJAUKSET JA OHJELMOINTI

Moottoria voidaan ohjata kolmella eri tapaa: paikallisohjauksella, paneelista manuaalisesti tai paneelista automaattisesti. Paneeliohjauksia voidaan käyttää joko moottorin vieressä sijaitsevasta ohjauspaneelista tai LEP3-tilassa olevasta kauko-ohjauspaneelista. Ohjauspaikat selitetty kuvallisesti kuvassa 8. Seuraavaksi käydään läpi nämä eri ohjaustavat sekä toimilaitteet, joita ohjataan, jotta moottori saadaan käyntiin.



**Kuva 8** Generaattorin kolme eri ohjaustapaa

### 3.1 Paikallisohjaus

Paikallisohjausta voidaan käyttää moottorin äänieristettyyn seinään kiinnitetystä laatikosta, jonka kannesta löytyy hehku- ja startti-painikkeet, sekä nokkakytkin ohjauspaikan valintaan. Nokkakytkimestä voidaan valita kolme eri tilaa: K,0 tai A (**Kuva 9**). K käsiajoasennossa moottoria voidaan ohjata juuri näillä kyseisillä napeilla. A-asento on tarkoitettu paneeliohjaukselle.



**Kuva 9** Paikallisohjauksen hehku- ja startti-painikkeet, sekä nokkavalintakytkin

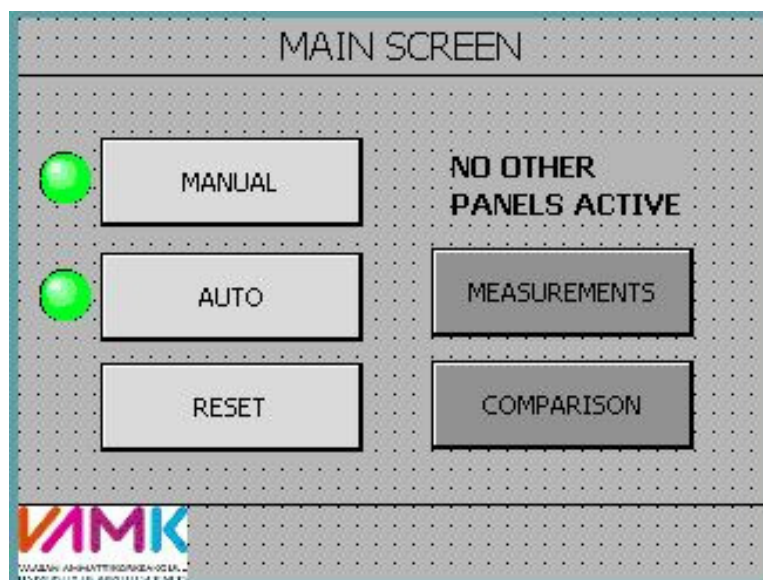
Moottorin käynnistäminen paikallisohjauksella:

1. Asetetaan nokkakytkin K asentoon, pakokaasuimuri käynnistyy.
2. Painetaan hehkua muutaman sekunnin ajan.
3. Painetaan startti-painiketta.
4. Moottori pysäytetään vaihtamalla nokkakytkimen asento 0, tällöin myös pakokaasuimuri sammuu. Tästä syystä nokkakytkimen asento tulee vaihtaa sammutuksen jälkeen takaisin K-asentoon, jotta pakokaasuimuri käynnistyy ja imee loput pakokaasut pois putkistosta. Pakokaasuimuria tulee pitää käynnissä noin minuutin ajan.

Nokkakytkimen 0-asennolla katkaistaan ohjauskaapista tuleva syöttö, eikä tällöin moottoria voida ajaa myöskään käsiajolla. Tämä myös sitä varten, jos moottoriin joudutaan tekemään huoltotyötä.

## 3.2 Paneeliohjaukset

Ohjattaessa generaattoria paneelista, ensimmäiseksi paneelista tulee valita haluttu ohjaustapa. MANUAL manuaaliohjaus tai AUTO automaattiohjaus (**Kuva 10**). Kummatkin näistä moodeista ovat käytettävissä kummassakin paneelissa ja ohjelmassa ne on erotettu paneelin 1 ja 2 manuaali- ja auto-ohjauksiin. Näiden ohjaustapojen ero on siinä, että manuaalissa käyttäjän tulee hallita kaikkia käynnistysprosessiin kuuluvia toimilaitteita, kun taas automaattiohjaus tekee kaikki tarvittavat toiminnot saadessaan vain starttikäskyn. Ensimmäisenä perehdytään manuaaliohjaukseen.



**Kuva 10** Paneelin päänäyttö

### 3.2.1 Paneelien lukitukset

Generaattoria voidaan ohjata kahdelta eri paneelilta, tästä johtuen paneelien välillä piti myös luoda käyttölukot. Jos generaattoria ohjataan toisesta paneelista, niin toisella paneelilla ei saa ohjata generaattoria samanaikaisesti. Lukitus on kuitenkin suunniteltu siten, että moottoritilan viereisellä paneelilla 1 on korkeampi prioriteetti näistä kahdesta paneelista. Tämä tarkoittaa sitä, että jos generaattoria

ohjataan kauko-ohjauspaneelilta eli paneelilta 2, voidaan paneelilla 1 ottaa moottorin ohjaus hallintaan.

Jos paneeli 1 on käytössä, paneelilta 2 ei voida tehdä muuta kuin seurata moottorin mittatietoja, kunnes paneelin 1 käyttäjä on pysäyttänyt moottorin ja ns. kirjautunut ulos painamalla RESET-nappia paneelilta. Paneelin 1 RESET-napilla voidaan myös kirjautua ulos paneelilta 2. Kumpikin paneeli sisältää indikoinnin, jos generaattoria ohjataan jo toiselta paneelilta. Paneelilta näkee myös, jos generaattoria ei ohjata kummaltakaan näytöltä.

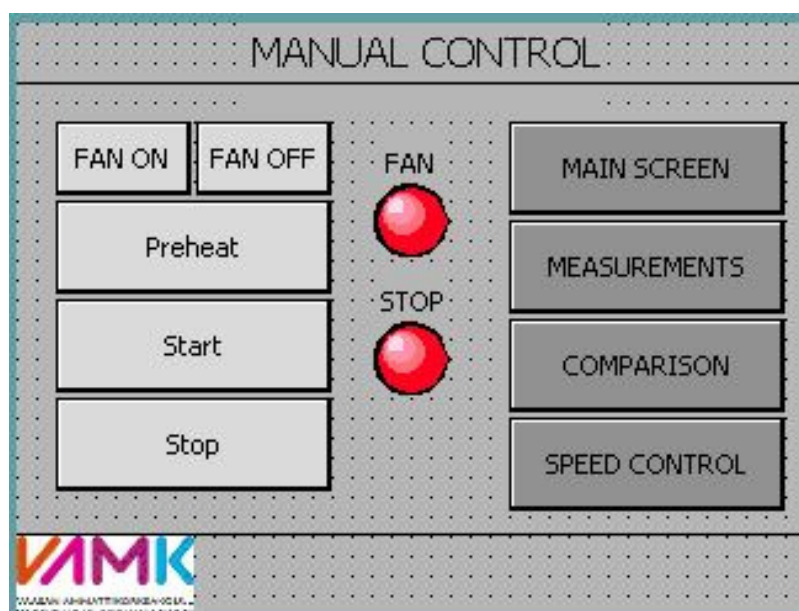
### **3.2.2 Manuaaliohjaus**

Moottorin ohjaamiseksi tulee ohjata pakokaasuimuria, hehkutusta, polttoaineen syöttöä. Ennen kuin paneeliohjauksia voidaan käyttää, paikallisohjauslaatikon nokkakytkin on asetettava asentoon A. Polttoaineen syöttö ja moottorin pysäytys ovat kytketty toimimaan saman releen taakse, jossa kontaktori K201 vetää startin yhteydessä, jolloin moottori saa polttoainetta. Moottorin pysäytys taas on toteutettu siten, että kontaktori K201 vapautuu ja polttoaineen syöttö moottorille katkeaa.

Hehkutus tapahtuu kontaktorin K202 avulla, sen tulee vetää muutaman sekunnin ajaksi ja sen jälkeen vapautua. Starttimoottoria ohjaavalla kontaktorilla K203 on samanlainen toiminta kuin hehkulla. Starttimoottorin käynnistyskomennon tullessa PLC:ltä, hehkutusta ohjaavan kontaktorin tulee vetää noin 3 sekunnin ajaksi, jonka jälkeen sen tulee vapautua moottorin alkaessa pyöriä itsestään. Pakokaasuimuria ohjataan kontaktorilla K206. Imuri tulee käynnistää viimeistään hehkutuksen yhteydessä ja sammua minuutin kuluttua moottorin pysäytyksestä.

Moottorin käynnistäminen manuaaliohjauksella, kuvassa 11 manuaaliohjauksen näyttö:

1. Paikalliohjauslaatikon nokkakytin asetetaan A-asentoon.
2. Käynnistetään pakokaasuimuri FAN ON-painikkeesta.
3. Suoritetaan hehkutus PREHEAT-painikkeella.
4. Käynnistetään moottori START-painikkeella.
5. Pysäytetään moottori STOP-painikkeella.
6. Sammutetaan imuri n. minuutin kuluttua pysäytyksestä FAN OFF-painikkeella.



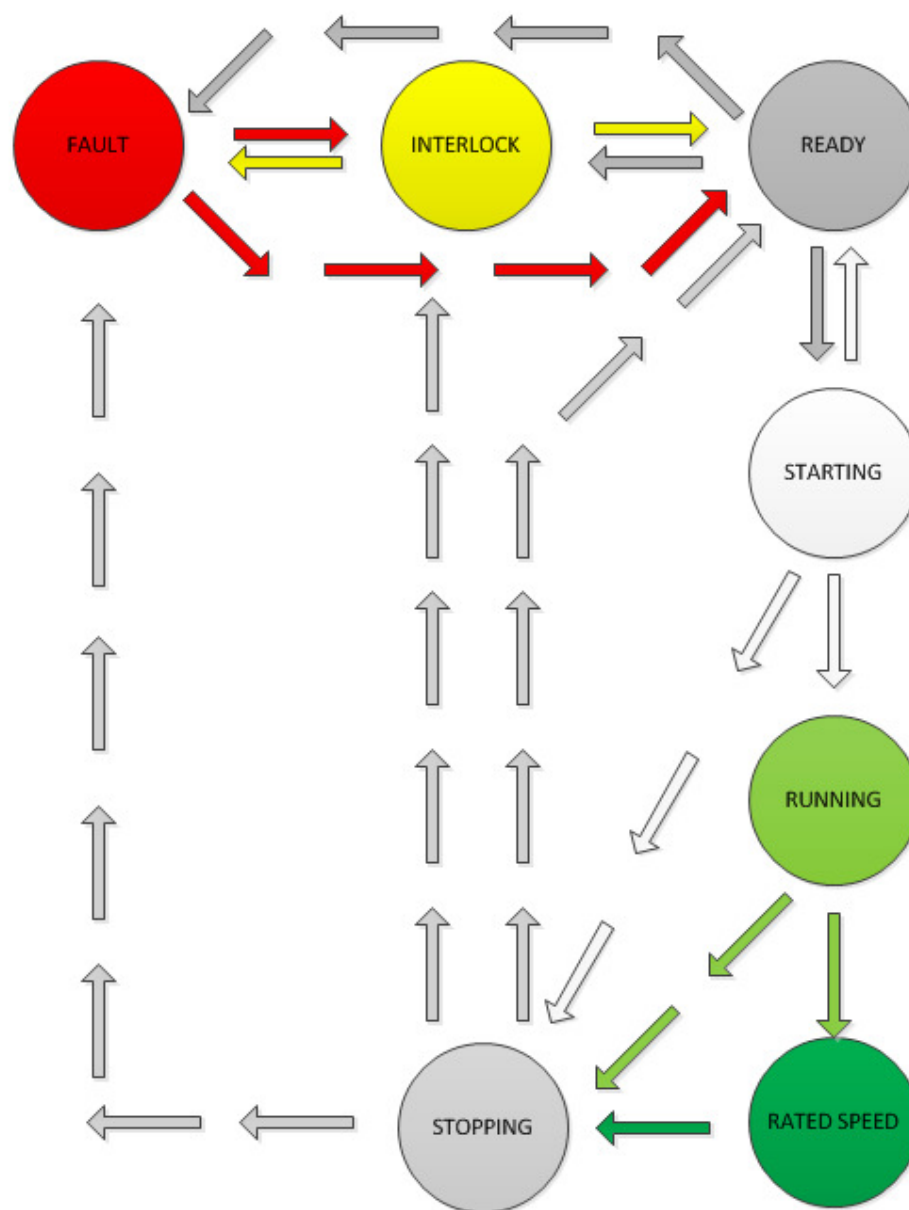
**Kuva 11** Manuaaliohjauksen näyttö

### 3.2.3 Sekvenssi

Kun manuaaliohjaukset saatiin valmiiksi, sekvenssin rakentaminen voitiin aloittaa. Sekvenssillä tarkoitetaan toimintaketjua, joka koostuu useista eri askelista tai tiloista. Nämä tilat ovat yhteydessä toisiinsa ja jokaisessa tilassa tapahtuu yksi tai useampi toiminta. Ennen kuin sekvenssissä siirrytään seuraavaan tilaan, tiettyjen siirtymäehtojen tulee toteutua. Sekvenssillä saadaan se aikaan, että haluttu toiminto saadaan suoritettua juuri oikeaan aikaan pelkän automaation

avulla. Systemin ollessa toimintakunnossa, eikä moottoria käytetä, sekvenssi on READY-tilassa. Kuvassa 12 on esitetty tehdyn ohjelman sekvenssi.

Sekvenssin normaali toiminta: READY -> STARTING -> RUNNING -> RATER SPEED -> STOPPING -> READY. Jos ohjelma kuitenkin havaitsee vian tai lukituksen, se siirtyy FAULT- tai INTERLOCK-tilaan. Jos vika tai lukitus havaitaan moottorin käydessä, sekvenssi ohjataan ensiksi STOPPING-tilaan, ennen siirtymistä FAULT- tai INTERLOCK-tiloihin.



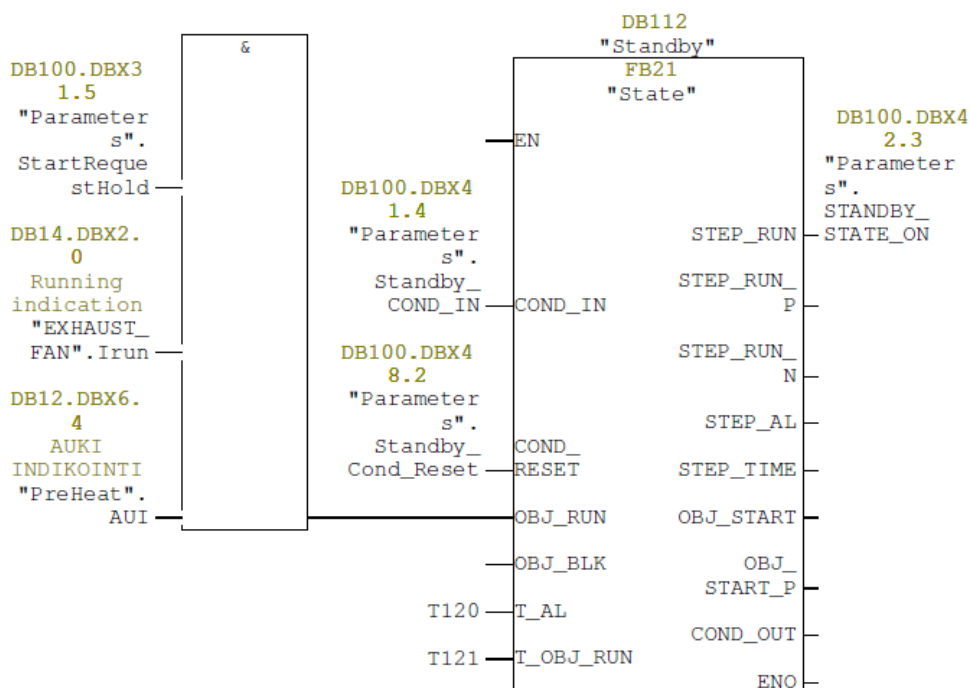
**Kuva 12** Automaatiohjausta varten suunniteltu sekvenssi



Kuvassa 13 on esimerkki yhdestä tilasta. Esimerkkinä käytetään STANDBY-tilaa. Tärkeimmät kohdat lohossa, joihin kirjoitettiin tässä projektissa, olivat: COND\_IN, COND\_RESET, OBJ\_RUN ja STEP\_RUN.

COND\_IN-kohtaan tulee kirjoittaa siirtymäehdot, jotka tehtiin erilliseen funktioon, koska ehtojen määrä eri tiloissa olivat hyvin suuria. Jokaiselle tilalle tehtiin oma osoite siirtymäehdoista datablockiin, joka linkitettiin itse tilaan. COND\_RESET-kohtaan kirjoitetaan mikä tai mitkä asiat saavat tilan resetoitumaan, mitä tarvitaan, kun halutaan siirtyä tilasta seuraavaan, sillä vain yksi tila saa olla aktiivisena kerrallaan.

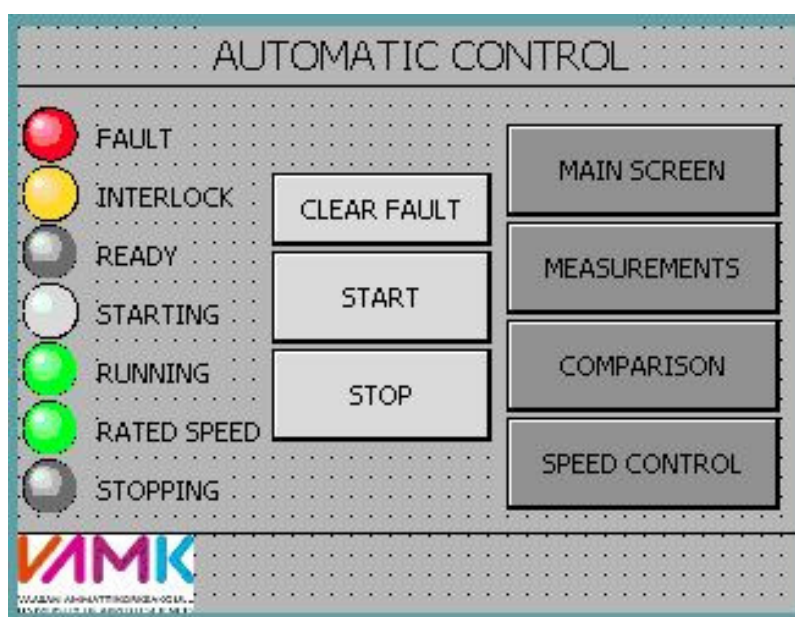
Lohkon OBJ\_START kirjoitetaan toimilaitteisiin, joita halutaan ohjata kyseisen tilan aktivoiduttua. Esimerkiksi hehkutus suoritetaan, kun STANDBY-tila on aktiivinen ja käynnistyskomento on annettu. OBJ\_RUN kohtaan kirjoitetaan tilan tekemien toimintojen indikoinnit, jotta tiedetään, että ne ovat tapahtuneet ja voidaan siirtyä seuraavaan tilaan. STEP\_RUN kohtaan kirjoitetaan osoite, joka indikoi tilan olevan aktiivisena.



**Kuva 13** Sekvenssin STANDBY-tila

### 3.2.4 Automaattiohjaus

Automaattiohjauksen käynnistäminen alkaa ohjauspaikan valinnalla, jotta sekvenssiä voidaan käyttää, tulee valita Auto-ohjaus (**Kuva 14**). Tämän jälkeen käynnistäminen aloitetaan antamalla START-komento, jolloin STANDBY-tila aktivoituu, ellei mikään vika tai lukitus ole päällä. Kun kaikki siirtymäehdot seuraavaan tilaan ovat toteutuneet, ohjelma jatkaa siirtymistä seuraavaan tilaan. Moottorin pysäytys tulee tehdä paneelista painamalla STOP.



**Kuva 14** Automaattiohjauksen näyttö

Jokaisella tilalla on oma merkkivalonsa, jotta paneelilta pystytään seuraamaan missä vaiheessa sekvenssiä liikutaan. Vika aktivoituu esimerkiksi, jos pakokaasuimuri ei ole käynnistynyt ennen moottorin käynnistystä. Jos indikointia ei tule ja sekvenssi siirtyy tilaan, jossa polttoainepumppu ohjataan käyntiin, moottorin käynnistys keskeytetään ja ohjelma siirtyy sekvenssissä FAULT-tilaan. Vika voidaan kuitata CLEAR FAULT-painikkeella paneelista, jonka jälkeen moottoria voidaan alkaa käynnistää uudelleen.

Lukitus aktivoituu esimerkiksi, jos moottorin jäähdytysveden lämpötila nousee yli 90 C asteen. Tällöin systeemin toimilaitteet menevät lukitustilaan, kunnes jäähdytysveden lämpötila on laskenut tarpeeksi. Ohjelma siirtyy lämpötilan noustessa liian korkealle INTERLOCK-tilaan ja pysyy siellä, kunnes lämpötila on laskenut. Moottorin käynnistäminen ei onnistu ennen lukitusten poistumista.

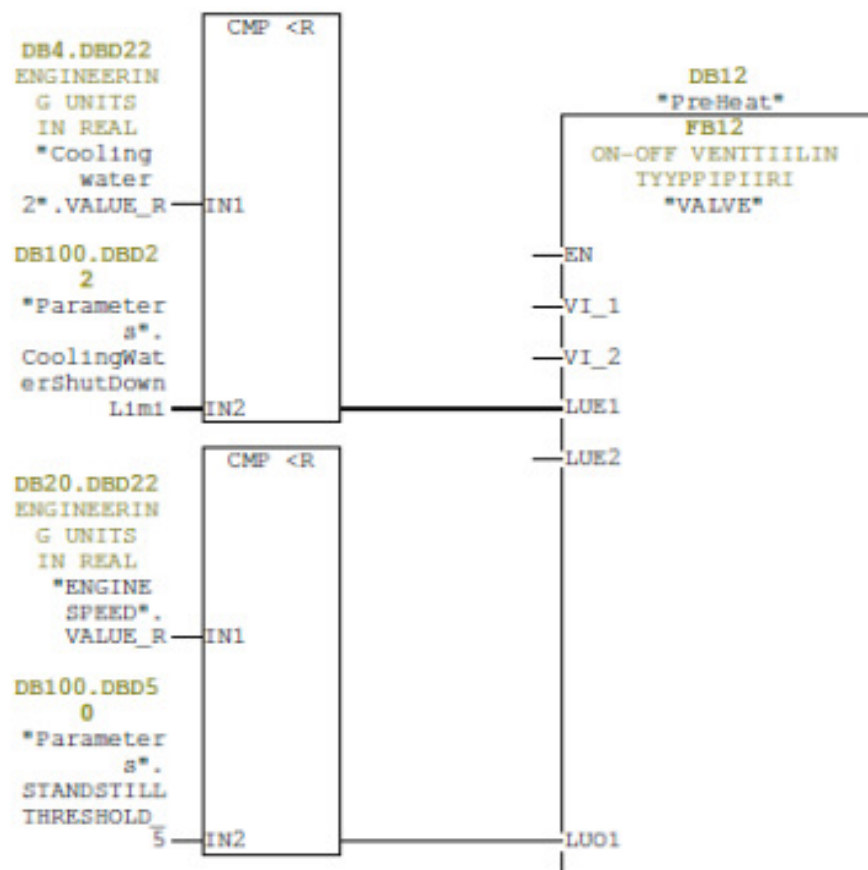
### **3.3 Hehkutus**

Hehkutuksella on tärkeä rooli dieselmoottorin käynnistämässä. Tällä taataan, että itsesyttymiseen tarvittava lämpötila saadaan riittävän korkeaksi palotilassa.

Lohkoilla tulee olla lukituksia, jotka aktivoituvat mahdollisten ongelmien ilmetessä, jotta vältetään suurimmilta vahingoilta. Käytössä olevat lohkot sisältävät eri tyyppisiä lukituksia. Lukitusten ollessa kunnossa, niiden tulee antaa bitti 1, jolloin blokki havaitsee lukitusten olevan kunnossa. Kuvassa 15 nähdään hehtutuslohkon lukitukset.

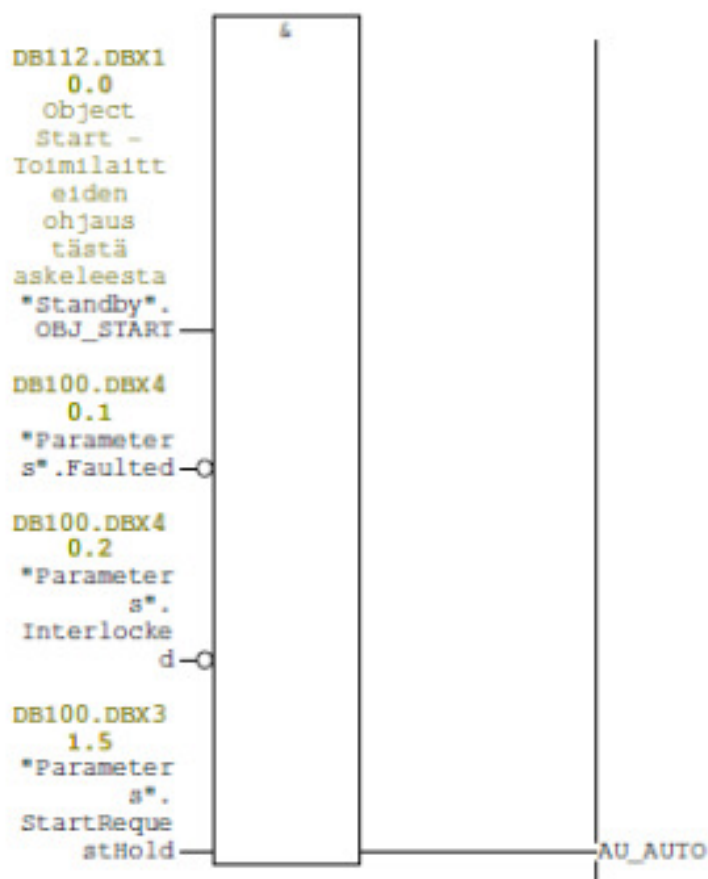
LUE1 tarkoittaa ehdotonta lukitusta, jota ei voida ohittaa. Tähän lukitusryhmään kuuluu jäähdytysveden lämpötila, missä käytetty komparaattori huomaa, jos jäähdytysveden lämpötila nousee yli parametrin CoolingWaterShutDownLimit, mikä on 90 °C. Jos siis lämpötilan arvo nousee yli 90 °C komparaattori muuttuu arvosta 1 arvoon 0 ja blokki aktivoi lukituksen.

LUO1 tarkoittaa ohitettavaa lukitusta, joka voidaan ohittaa tiettyjen ehtojen toteutuessa. Tähän lukitusryhmään hehkutuslohkossa kuuluu nopeus, joka ei saa olla suurempi kuin 0 rpm.



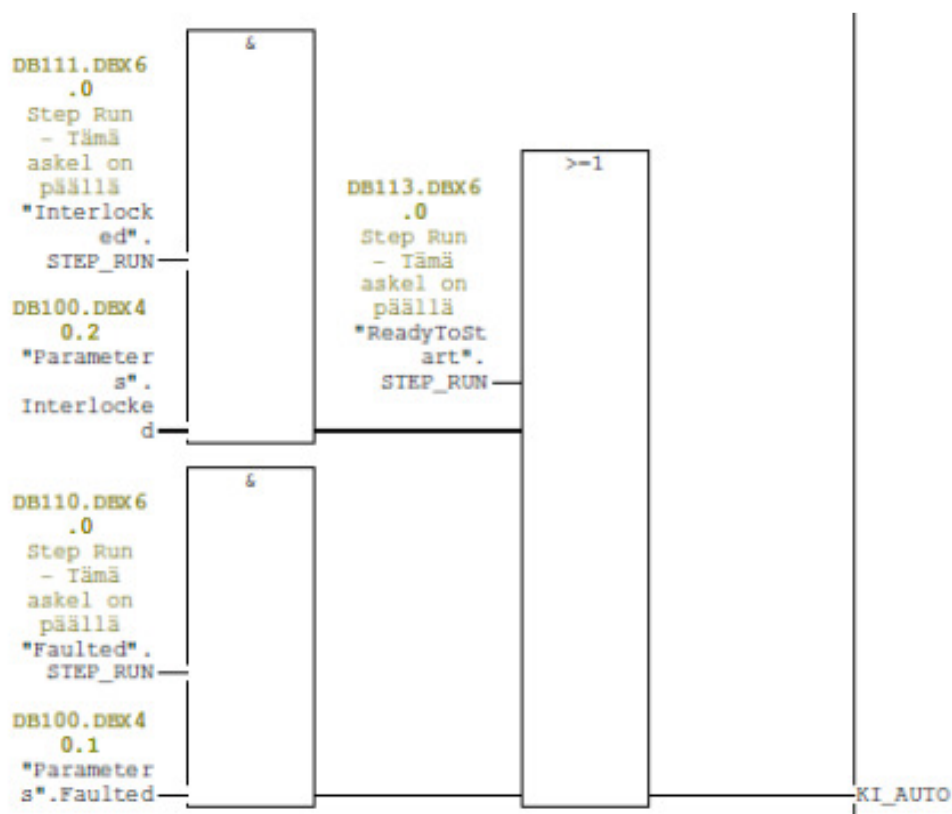
**Kuva 15** Hehkutuslohkon lukitukset

Hehkutuslohkolla ohjataan kontaktoria K202, joka vetää ollessaan aukiasennossa. AU\_AUTO-lohkossa tarkoittaa automaattiohjauksessa käytettävää aukiohjauskomentoa. Jotta lohko saa komennon suorittaa hehkutuksen automaattiohjauksessa, seuraavien ehtojen tulee toteutua (**Kuva 16**). Ensimmäiseksi mikään lukitus tai vika ei saa olla päällä, toiseksi moottorin starttauspyyntö on annettu ja kolmanneksi sekvenssi on suorittamassa tilan STANDBY toimintoja. Normaalitylanteessa aloitetaan moottorin käynnistäminen hehkutuksella, sekvenssin ollessa STANDBY-tilassa, antamalla käynnistyskäsky START-napilla paneelista.



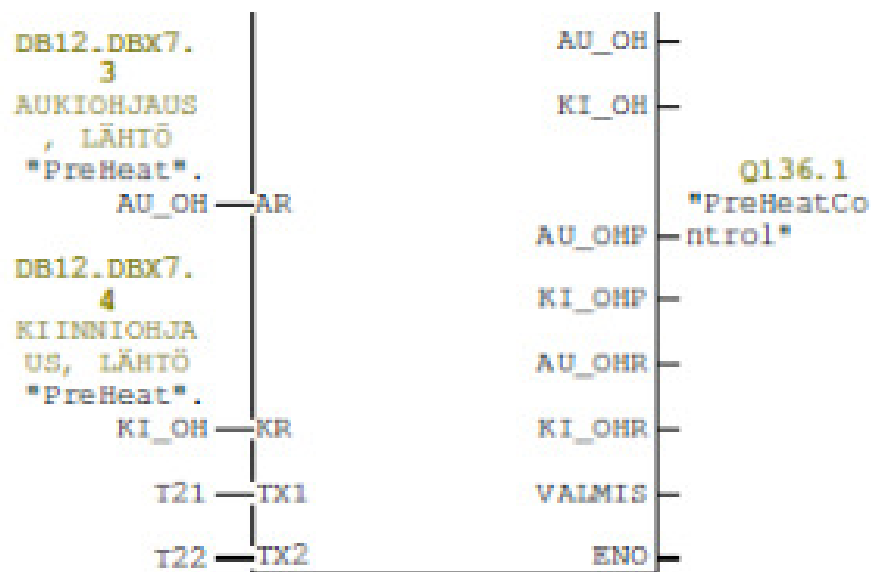
**Kuva 16** Hehkutuslohkon automaattinen aukiajo

KI-AUTOLla ohjataan kontaktori K202 kiinni automaattiohjauksessa. Ohjelmassa kontaktori vapauttaa kolmella eri tapaa (**Kuva 17**). Ensimmäiseksi ReadyToStart käynnistyy, joka tulee siis Standby-tilan jälkeen. Toisena vaihtoehtona on, että lukitus tai vika aktivoituu ja siten tarvittava tila aktivoituu. Normaalitilanteessa hehkutus loppuu ReadyToStart-tilan aktivoituessa.



**Kuva 17** Hehkutuslohkon automaattinen kiinniajo

Manuaaliohjausta käytettäessä annetaan lohkolle komento kontaktorin ohjauksesta AR- ja KR-paikkoihin (**Kuva 18**). AR tarkoittaa auki rajaa ja KR kiinni rajaa. Manuaaliajossa hehkutus on ohjelmoitu loppumaan, kun starttimoottorin kontaktori K203 vetää. AU\_OHP paikkaan kirjoitettiin osoite, johon kontaktori on kytketty PLC:ssä. AU\_OHP tarkoittaa aukiohjauspulssia, sillä komennot halutaan antaa pulssimaisesti.



**Kuva 18** Hehkutuksen ohjaus ja rajat

### 3.4 Polttoaineen syöttö

Seuraavana käydään läpi projektin tärkeimmän toimilaitteen ohjauslohko. FuelPump-lohkolla hallitaan kontaktoria K201, joka vetäessään ohjaa polttoainepumpun käyntiin, jolloin moottori saa polttoainetta. Tämä sama kontaktori toimii myös moottorin pysäytyksessä, sillä kontaktorin vapautuessa polttoainepumppu sulkeutuu ja polttoaineen syötön lakatessa moottori pysähtyy.

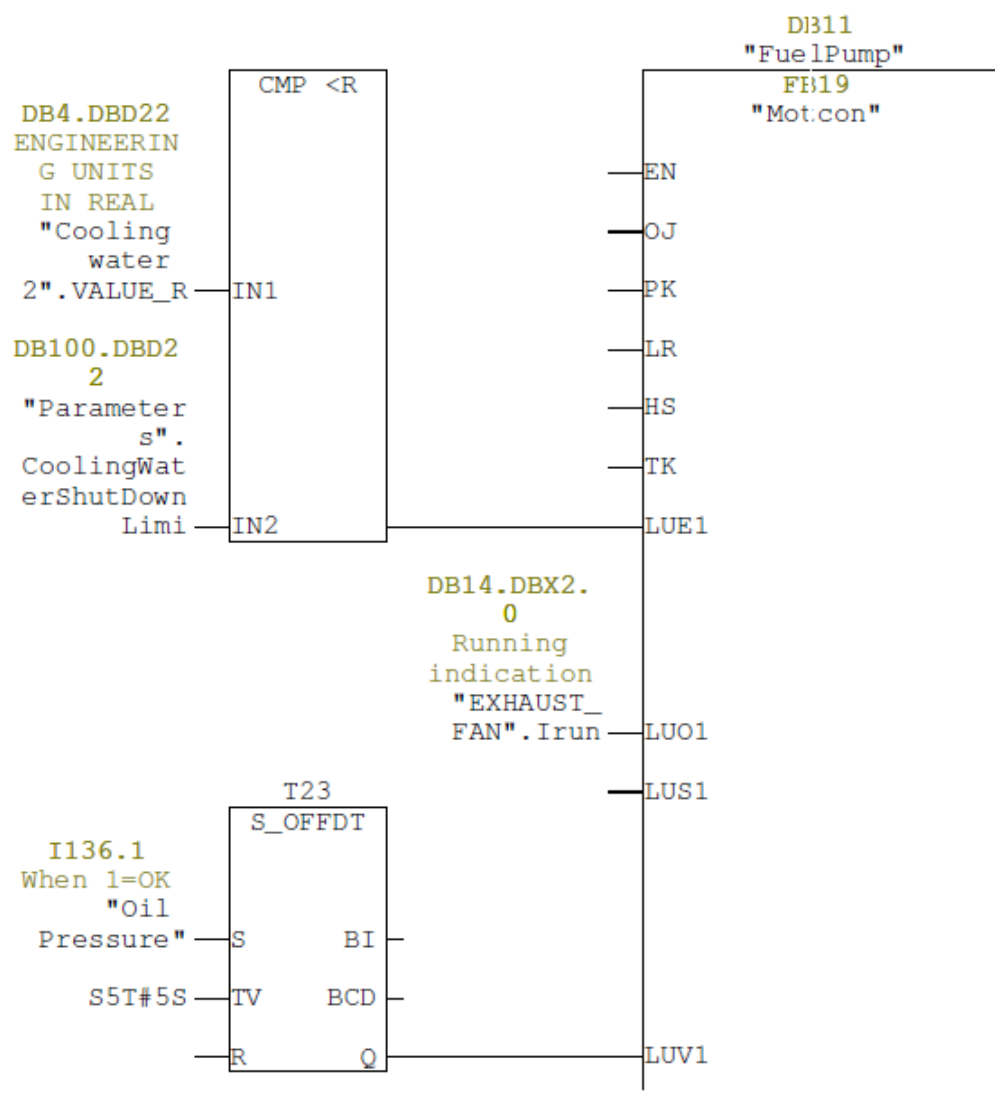
Ensimmäisenä käydään läpi polttoainepumpun lohkon lukitukset. Ehdottomassa lukituksessa on sama jäähdytysveden tarkkailu kuin hehkutuksen lohkossa. Sillä tätä mittausta tulee seurata koko käynnistyksen ajan, eikä jäähdytysveden lämpötila saa nousta yli 90 °C.

Ohitettavasta lukituksesta löytyy pakokaasuimurin indikointi, sillä kun moottori käynnistetään, imurin on oltava päällä.

Tässä lohkossa käytetään myös viivästettyä lukitusta (LUV1). Viivästetty lukitus toimii siten, että lohkon ollessa käyttössä ohjelmassa, se odottaa tietyn ajan ennen kuin se huomioi viivästetyssä lukituksessa olevat asiat. Tätä aikaa voidaan muuttaa helposti lohkon datablokista.

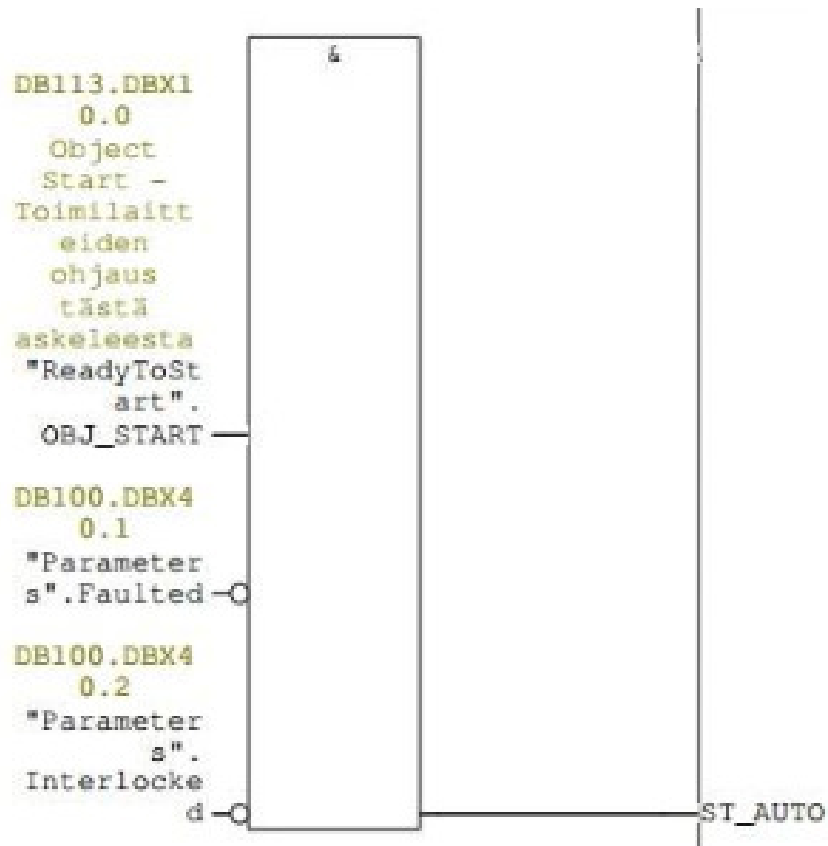
Projektissa käytetty öljynpaineenmittaus lisättiin tähän lukituskohtaan. Öljynpainemittauksen viesti vaihtelee pitkään moottorin käynnistyttyä 1 ja 0 arvoissa. Tästä johtuen seuraavanlaista ratkaisua käytetään lukituksessa. Jos ajastin saa yli viiden sekunnin kestävän arvon 0 mittauksesta moottorin käynnistyksen jälkeen, se muuttaa LUV1 tulevan bitin arvoon 0 ja lohko menee lukitustilaan. Kuvasta 19 nähdään polttoainepumpun lukitukset.





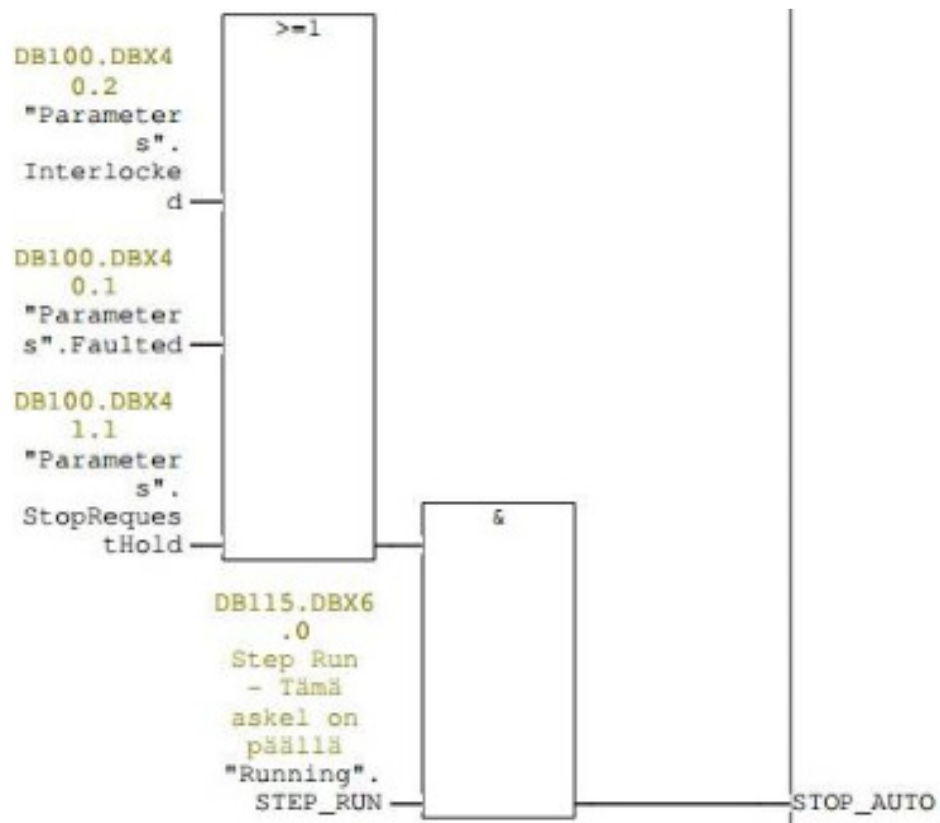
**Kuva 19** Polttoainepumpun lohkon lukitukset

Polttoainepumpun automaattikäynnistys saadaan aikaan, kun mikään vika tai lukitus ei ole päällä ja sekvenssin tilan ReadyToStart toimintoa ollaan suorittamassa (**Kuva 20**).



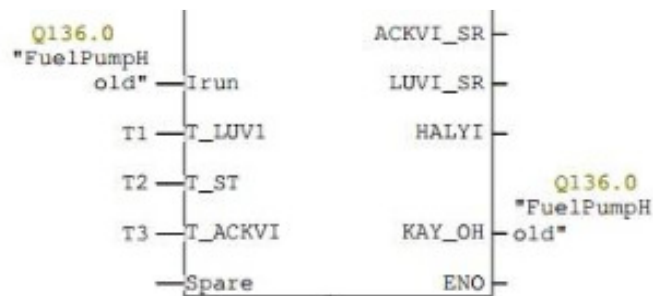
**Kuva 20** Polttoainepumpun lohkon käynnistys automaattitilassa

Lohkon automaattinen pysäytys saadaan aikaan, kun pysäytyskäsky annetaan tai ohjelma antaa tiedon lukituksesta tai viasta. Joku näistä kolmesta vaihtoehdosta ja sen lisäksi sekvenssi on tilassa, jossa moottori on käynnissä eli ReadyToStart, Starting, Running tai Stopping. Kuvassa 21 esimerkki automaattisesta pysäytyksestä Running tilan ollessa aktiivisena.



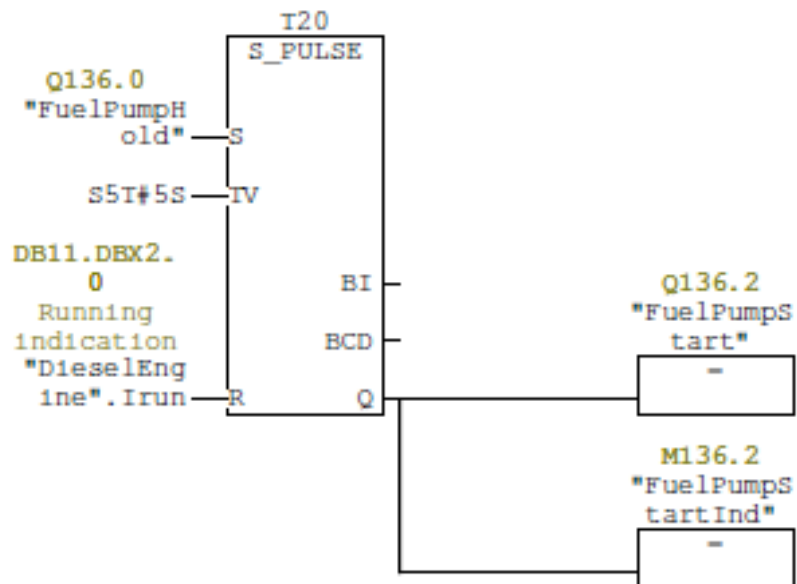
**Kuva 21** Polttoainepumpun lohkon pysäytys automaattitilassa

Tällä loholla ohjataan relettä K201, joka on kytketty PLC:n osoitteeseen Q136.0. Moottorin käynti-indikointi Irun saadaan samasta osoitteesta (**Kuva 22**).



**Kuva 22** Polttoainepumpun ohjaus ja sen indikointi

Viimeisenä ohjataan kontaktoria K203, jolla ohjataan starttimoottori käyntiin. Ajastimen Set aktivoituu, kun se saa arvon 1 polttoainepumpulta, jolloin kontaktori K203 vetää ja starttimoottori auttaa dieselmoottorin käyntiin. Ajastin laskee viisi sekuntia käskyn saatuaan ja viiden sekunnin kuluttua kontaktori vapautuu ja starttimoottori sammuu. Polttoainepumpun käynti-indikointi resetoit tässä käytetyn ajastimen (**Kuva 23**).



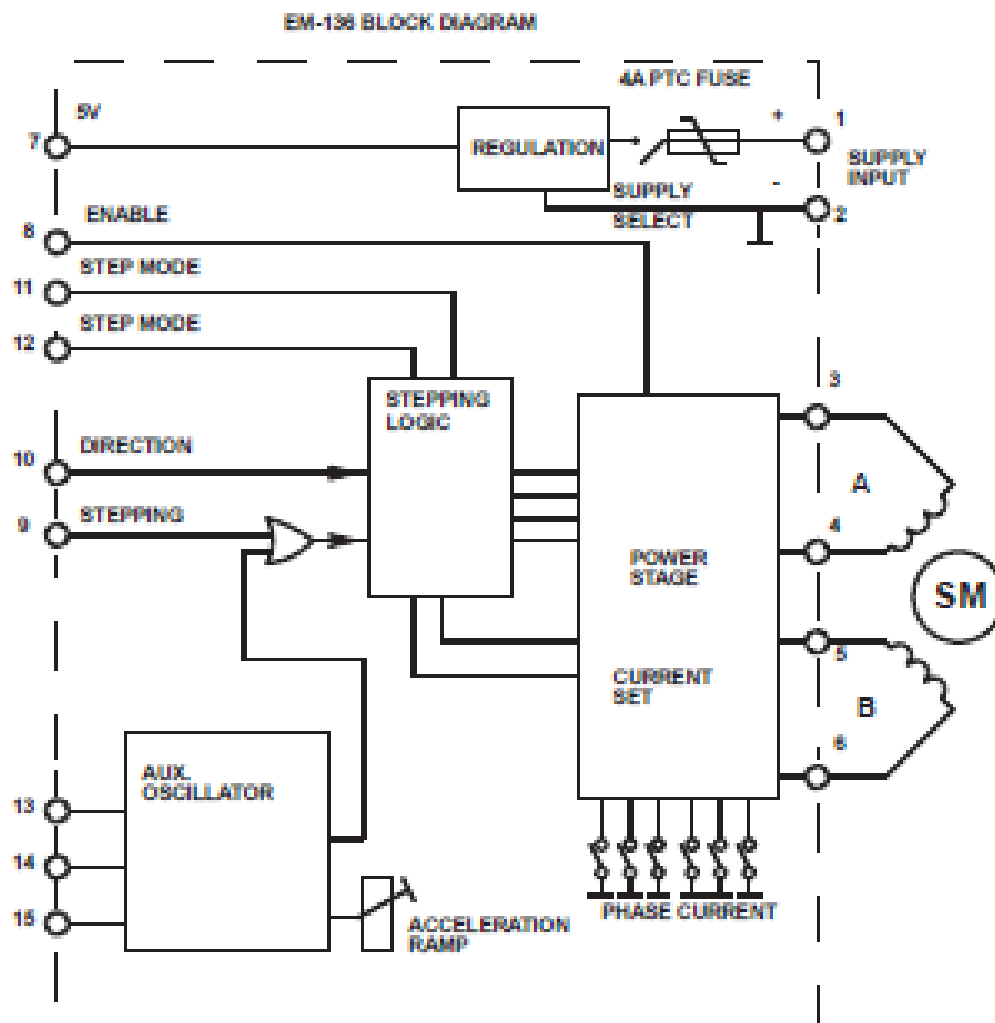
**Kuva 23** Starttimoottorin ohjaus Step7-ohjelmassa

### 3.5 Nopeuden säätäminen

Moottorin pyörimisnopeuden säätäminen toteutetaan starttimoottorilla. Starttimoottorin kontrolleriin tehtiin tarvittavat kytkennät, jotta halutut asetukset saatiin käyttöön. Kontrolleri sisältä kuusi pientä asetuskytkintä, joista asetettiin 2., 3., 5. ja 6. kytkimen ON asentoon, jotta saadaan asetettua starttimoottorin käyttövirraksi 3,5A. Kontrolleri sisältä myös 5 voltin jännitelähteen, joka kytkettiin syöttämään liittimiä 13 (aux. osc in 3) ja 15 (aux. osc in 1). Tällä asetuksella saadaan kontrollerin käyttämään 3000 Hz:n taajuutta, jonka huomattiin olevan sopivan nopea pyörimisnopeus starttimoottorille (**Kuva 24**). Asetusten asettelun jälkeen, tarvittavaa nopeussäädintä alettiin suunnittelemaan STEP7-ohjelmassa.

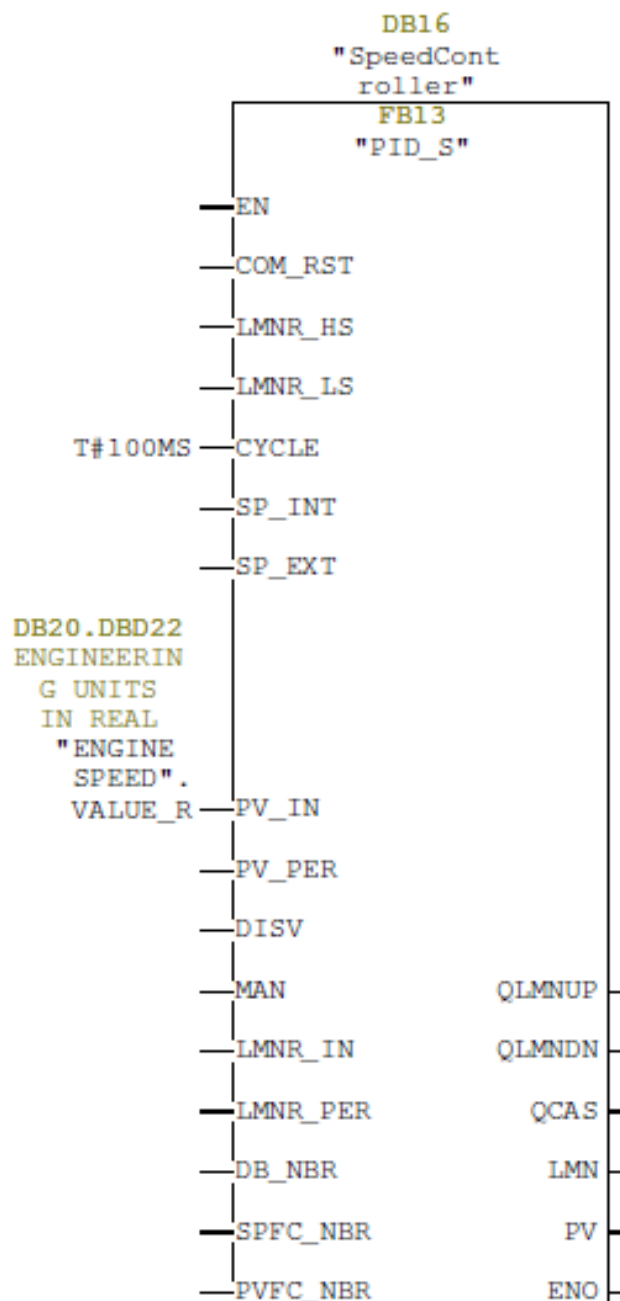
Nopeuden säätämiseen käytetään kahta kontaktoria K204 ja K205. Kontraktorilla K204 määrätään starttimoottorin pyörimissuunta. Kontaktorilla K205 määrätään pyörimisnopeus. Nopeuden kasvattaminen tapahtuu, kun kontaktori K205 vetää. Nopeuden pienentäminen onnistuu, kun kontaktorin K205 lisäksi kontaktori K204 vetää, jolloin suunnanmuutos aktivoituu starttimoottorin kontrollerista. Tällöin starttimoottori alkaa pienentämään moottorin kaasua.

Kummaltakin kontaktorilta tulee kaksi johdinta kontrollerille. Molempien kontaktorien miinusjohtimet on kytketty kontrollerin 5 V jännitelähteeseen. Suunnanmuutosta hallitsevan kontaktorin plusjohdin on kytketty kontrollerin liittimeen numero 10 ja nopeuden säädön kontaktorin plusjohdin on kytketty liittimeen numero 8. Portti numero 8 on kontrollerin ENABLE, jota tarvitaan aina nopeutta muutettaessa.



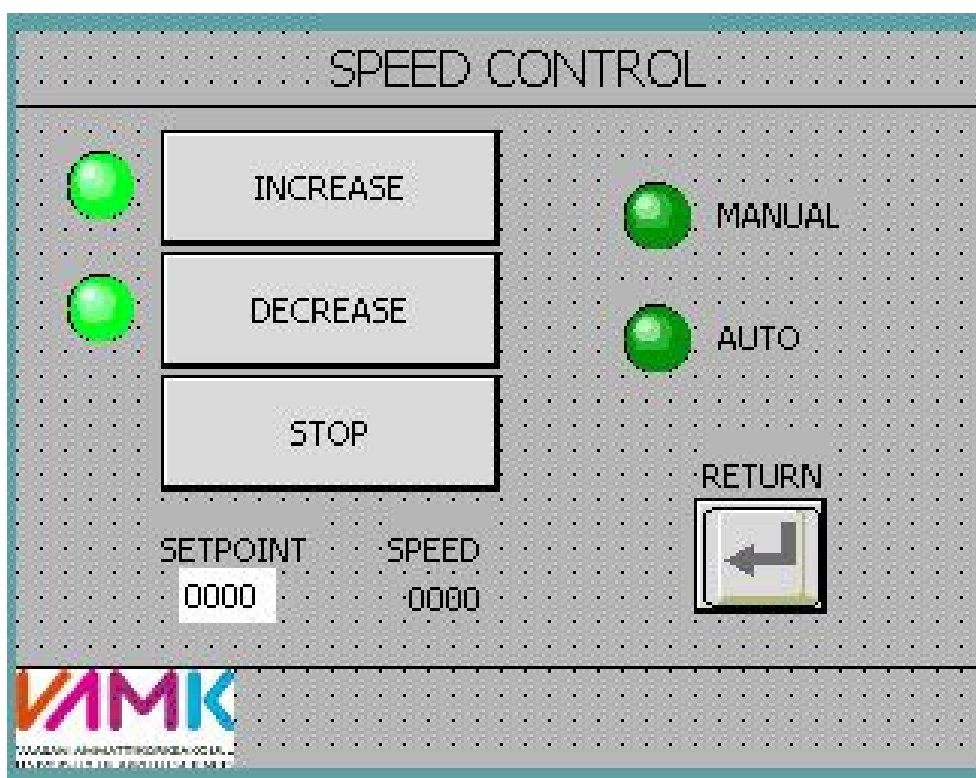
**Kuva 24** Starttimoottorin kontrollerin kuva liitännöistä /5/

Nopeuden säätämiseen ohjelmassa käytetään PID-säädintä (**Kuva 25**). PID-säädin koostuu kolmesta toiminnasta. P-toiminnasta, joka muodostaa ohjauksen erosuureesta, I-toiminnasta, joka muodostaa erosuureen aikaintegraalista sekä D-toiminnasta, joka muodostaa ohjauksen erosuureen derivaatasta eli muutosnopeudesta.



**Kuva 25** Nopeussäädön, PID-säädin Step7-ohjelmassa

Ohjelmassa PID-säädin saa reaaliaikaisen nopeuden mittaustiedon asennetusta anturista, jonka jälkeen haluttu nopeuden arvo syötetään säätimelle paneeliohjauksen kautta. Tämän jälkeen säätimelle annetaan käsky kasvattaa tai pienentää nopeutta haluttuun arvoon. Paneeliin lisätyillä INCREASE- ja DECREASE-napeilla annetaan käskyjä säätimelle, jotka välittyvät ohjelman kautta starttimoottorin kontrollerille. INCREASE tarkoittaa tässä tapauksessa, että K205 vetää ja moottorin nopeus lähtee kasvamaan. DECREASE tarkoittaa sitä, että molemmat K204 ja K205 kontaktorit vetävät ja moottorin nopeus lähtee pienentymään. Kuvassa 26 esitetty paneelin nopeuden säädön näyttö.

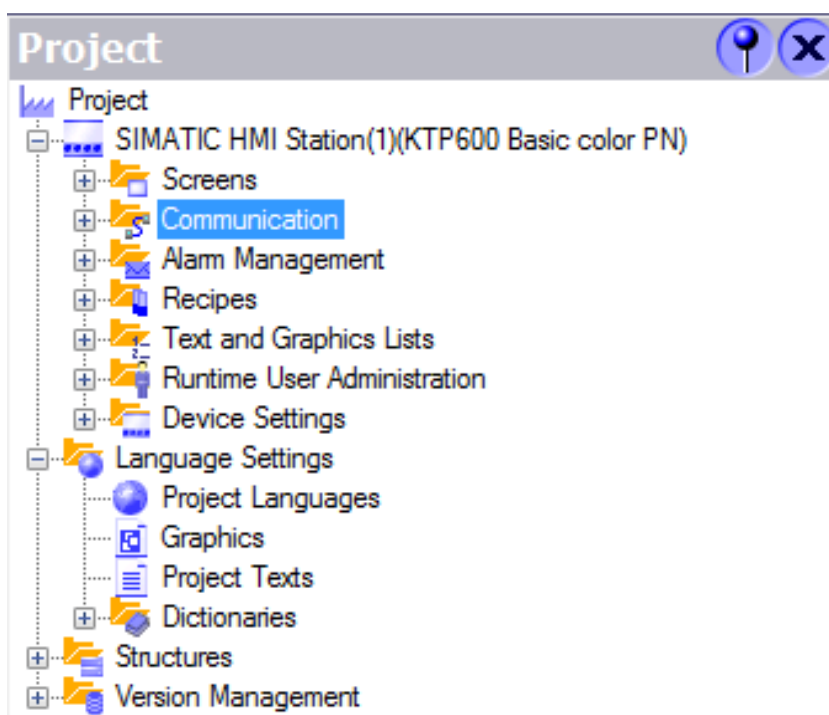


**Kuva 26** Nopeuden säädön paneelinäyttö



### 3.6 Paneelin käyttöliittymän suunnittelu - WinCC

WinCC-ohjelmalla voidaan luoda sisältöä Siemensin paneeleille. Paneelinäkymän suunnittelu aloitettiin lisäämällä projekti ohjelmaan. Projektipuusta (**Kuva 27**) lisättiin ensimmäisenä näyttö, johon voidaan lisätä kuvioita, tekstiä, I/O-kenttiä, nappeja, kytkimiä tai kuvaajia. Lähes kaikkia edellä mainittuja objekteja käytettiin joissain kohdin paneelinnäkymän suunnittelua. Näyttöihin pystyi myös lisäämään omia kuvatiedostoja, jolloin haluttu kuva tuli siirtää WinCC:n omaan kuvakansioon ennen kuvan varsinaista lisäämistä näyttöön.



**Kuva 27** Paneelin käyttöliittymän suunnitteluohjelman WinCC:n projektipuun

Esimerkiksi mittausnäytön luomisessa ensimmäisenä lisättiin uusi näyttö. Tämän jälkeen halutut objektit lisättiin näytölle, kuten otsikko, valikkonapit sekä reaaliaikaiset mittatiedot. Mittatietojen siirtäminen ruudulle sujui helposti etsimällä vain halutun mittauksen oikea osoite listalta.

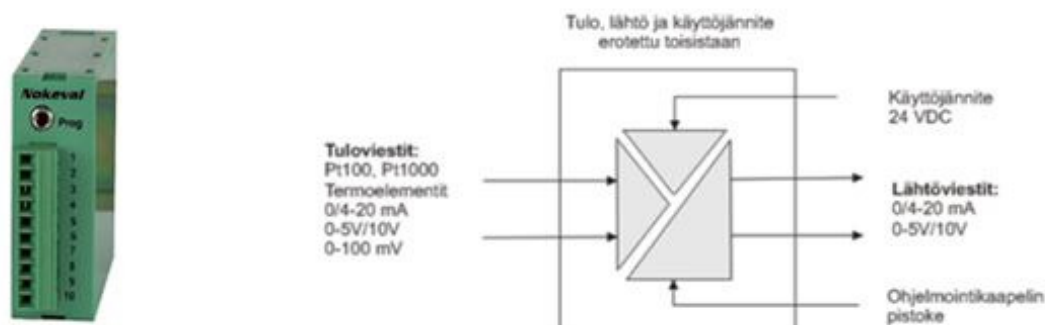
Nappien luomisessa tärkeimmät asiat olivat nimen antaminen ja halutun toiminnon asettaminen. Nappeja voitiin ohjelmoida vaihtamaan tietty näyttönäkymä tai ohjelmoida se aktivoimaan tai sammuttamaan joku bitti. Jos haluttiin lisätä joitain bitteihin liittyviä komentoja, ohjelmasta löysi helposti Step7-ohjelman datablokkit, joissa ohjattavat bitit olivat. Näyttöihin lisättiin myös indikaatiovaloja eri tilanteita varten, esimerkiksi valot ilmaisevat mitä ohjaustapaa käytetään ja sekvenssissä indikaatiovalot kertovat missä vaiheessa sekvenssiä liikutaan.

Kun tarvittavat komennot ja mittaustiedot oli lisätty ohjelmassa näyttönäkymiin, projekti tuli tallentaa ja aloittaa siirto Transfer-painikkeen avulla paneeliin.

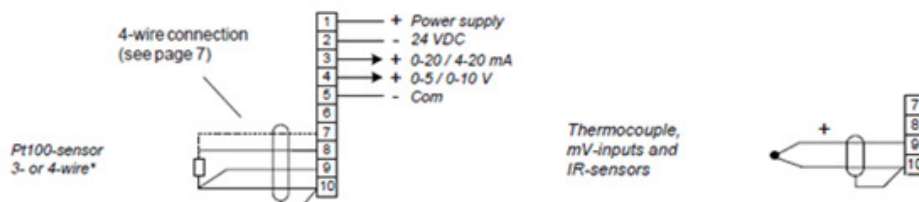
## 4 MITTAUKSET

### 4.1 Signaalilähetin

Työssä käytetään Nokevalin valmistamaa 6740-lähetintä. Kuvasta 28 nähdään Nokeval 6740 tulo- ja lähtöviestit sekä muut liitännät eli se sisältää lähes kaikki yleisimmät anturitulot. Signaalilähetintä voidaan myös käyttää galvaanisena erottimena. Eri tuloja voi olla: K-tyyppin infrapuna-anturi, mA, mV, Ohmi, Pt100, Pt1000, termoelementit tai V. Sen mittausnopeus on 4 mittausta / s. Lähtönä voidaan käyttää V tai mA. Projektin kaikki mittaukset, kierrosnopeusmittausta lukuun ottamatta, on yhdistetty tähän lähettimeen. Lähettimen ohjelmointi tapahtui USB-kaapelin avulla tietokoneella MekuWIN-ohjelmalla. Kuvasta 33 nähdään, että muunnin saa anturilta tiedon 25,7 C ja se muuntaa sen 0-10V viestiksi eli PLC saa mittatiedon 2,57V, jonka se muuttaa takaisin lämpötilamuotoon paneeleille. Kuvassa 29 esitetty käytettyjen antureiden kytkentätavat.



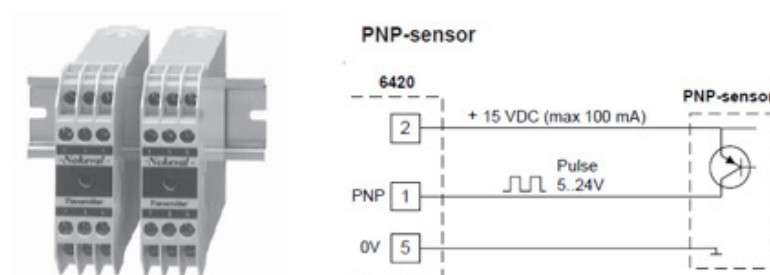
**Kuva 28** Nokeval 6740-lähetin ja sen eri tyyppiset liitännät /6/



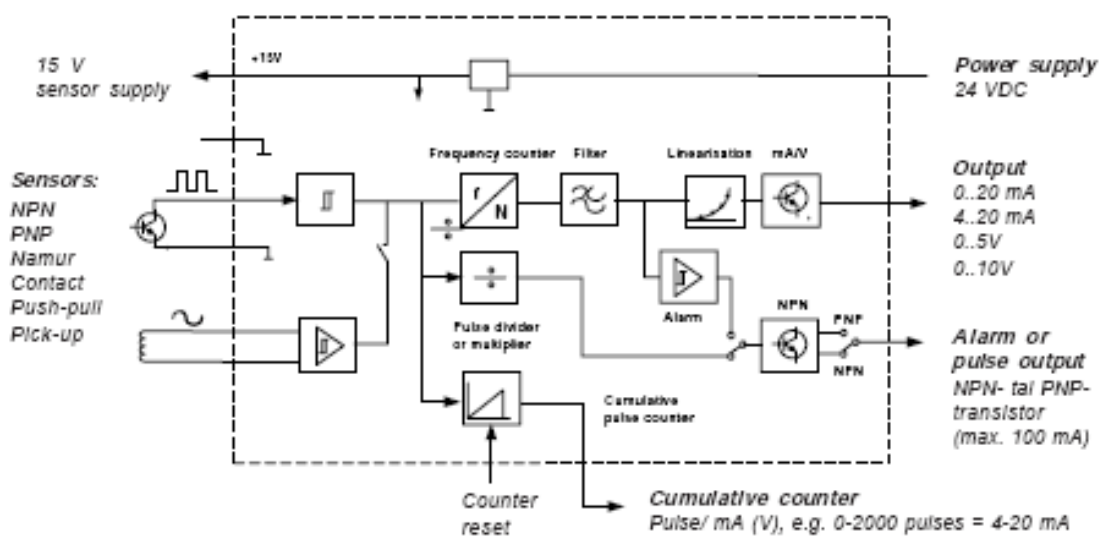
**Kuva 29** Pt100, lämpöpari ja magneettisensorin kytkentä lähettimeen /6/

## 4.2 Taajuusmuunnin

Nopeuden mittaamiseen käytettiin Nokeval 6420-taajuusmuunninta (**Kuva 30**). Se on suunniteltu pulsseja antaville antureille, joiden tulotaajuus halutaan muuttaa analogilähdöksi 0...20 mA / 4...20 mA tai 0-5V / 0-10V. Muuntimessa on laaja taajuusalue 0.0003Hz...20 kHz, tämän ansiosta se soveltuu myös pieniä pulssitaajuuksia antaville antureille. Tuloja voi olla: Hz, Namur, NPN, Pickup, PNP, pulssianturit ja sulkeutuva kosketin. Lähtöinä NPN, PNP, V sekä mA. Muuntimen ohjelmointi toteutetaan samalla MekuWIN- ohjelmalla millä Nokeval 6740 ohjelmoitiin, asetukset nähdään kuvasta 33. Kuvasta 31 nähdään Nokeval 6420-taajuusmuuntimen kytkennät.



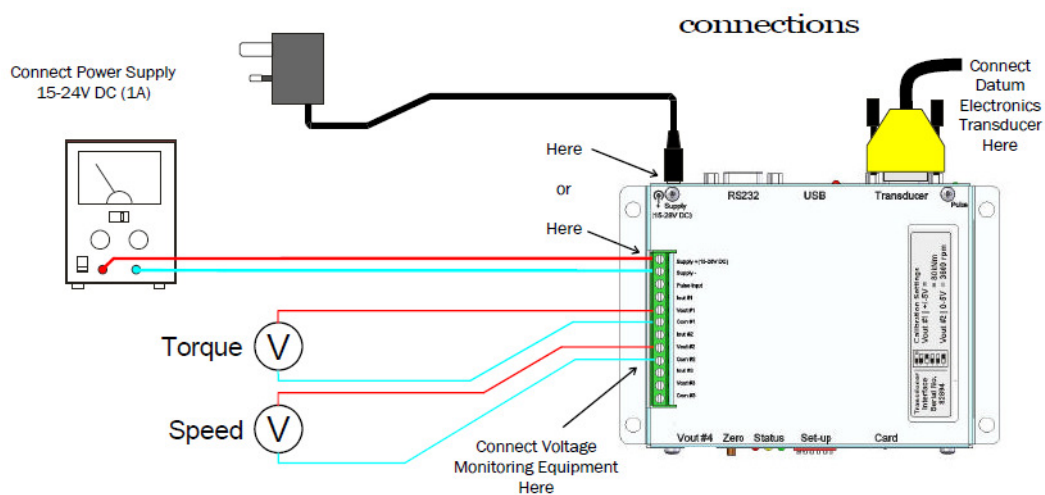
**Kuva 30** PNP-kytkentä, nopeusanturin kytkentä taajuusmuuntimeen /7/



**Kuva 31** Nokeval 6420-taajuusmuuntimen eri tyyppiset liittynät /7/

### 4.3 Liitäntämoduuli

Momentin mittaustieto tuodaan anturilta Datum Electronicsin valmistamaan liitäntämoduuliin Transducer Connection-portin kautta. Laitteen toisella lyhyellä reunalla sijaitsee vihreät virta ja analogia ulostuloliitännät, johon kytkettiin 24V tasajännitesyöttö. Ulostuloliitännöistä lähtee myös kaksi johdinta PLC:lle momentin mittatietoa varten (**Kuva 32**). Laitteessa on kuusi pientä asetuskytkintä, joista valittiin tarvittavat asetukset.

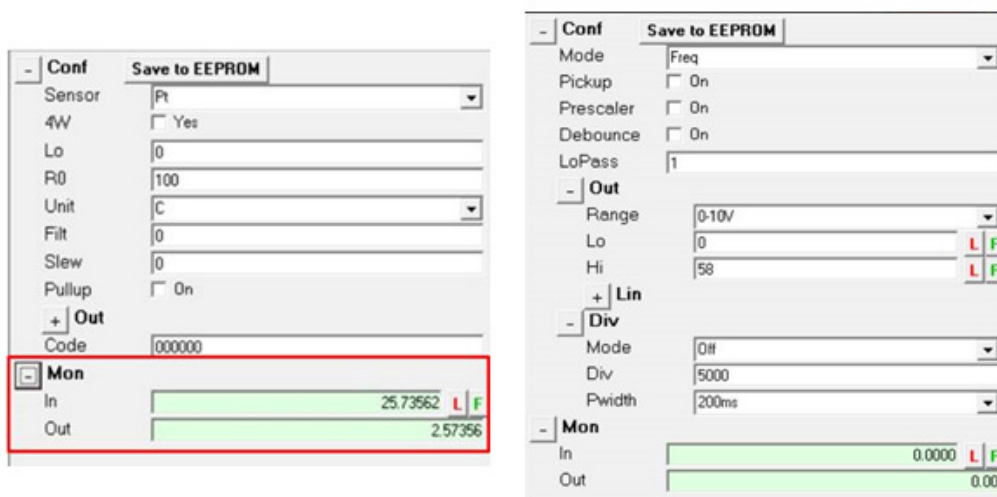


**Kuva 32** Datum Electronics 400150-liitäntämoduulin liitännät /8/

#### 4.4 Lähettimien asetukset - MekuWIN

MekuWIN-ohjelmistoa käytettiin Nokevalin lähettimen ja taajuusmuuntimen ohjelmointiin. PC liitettiin laitteisiin USB-kaapelin ja sovittimen avulla. Ohjelman auettaessa, se hakee kytketyn laitteen nimen, joka valitaan valikosta ja yhdistetään DIRECT-painikkeella. Tämän jälkeen päästään laitteen asetuksiin käsiksi. Nokeval 6740-lähettimen tärkeimmät asetukset ovat sensorin tyyppi, ylä- ja alaraja sekä mitatun arvon yksikkö.

Taajuusmuuntimen asetuksista tärkein oli moodi, halutaanko käyttää laskuria vai taajuutta kierroksien laskemiseen. Taajuus valittiin näistä vaihtoehdoista, jonka jälkeen taajuuden ylä- ja alarajan sekä ulostuloviestin tyyppi tuli valita.

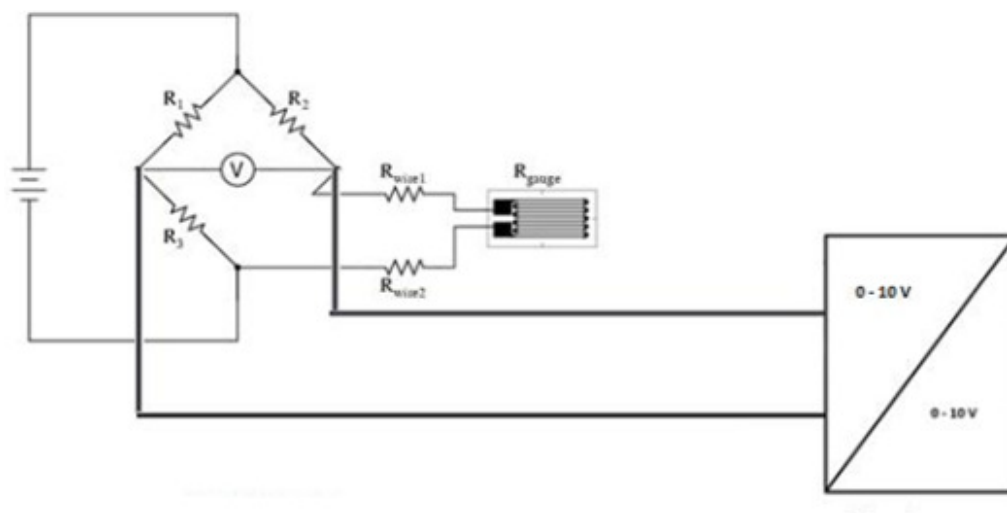


**Kuva 33** Vasemmalla Nokeval 6740 asetukset, oikealla Nokeval 6420 asetukset.

## 4.5 Mitta-anturit

### 4.5.1 Momenttimittaus

Momenttimittauksessa käytetään Datum Electronicsin M420-sarjan momenttianturia. Sen toiminta perustuu Wheatstonen siltaan kytkettyjen venymäliuskojen pituuden muutokseen. Akselissa tapahtuvat muutokset ovat yleensä hyvin pieniä, mutta venymäliuskojen avulla nämä muutokset voidaan havaita. Muuttuva momentti vaikuttaa akseliin, jolloin venymäliuskat venyvät ja liuskojen resistanssi kasvaa (**Kuva 34**).



**Kuva 34** Momenttianturin kytkentä

Mittatieto muutetaan heti digitaaliseksi venymäliuskojen läheisyydessä, jolloin vältetään suurimmilta ulkoisilta häiriöiltä. Momenttianturin mittaustiedot viedään liitäntämoduuliin, josta saadaan momentin mittaustieto PLC:lle.

Työssä käytetty M420-S1-malli, mittaa momenttia 0.1-50 Nm. Mittaustiheys on 100sps ja mittausten tarkkuus 0,1%. Kuvassa 35 momentin mitta-anturi.

Moottorin tuottama momentti, jotta kyseistä momenttianturia voidaan käyttää:

$$P = 7,6 \text{ kW} \quad n = 3200 \text{ rpm}$$

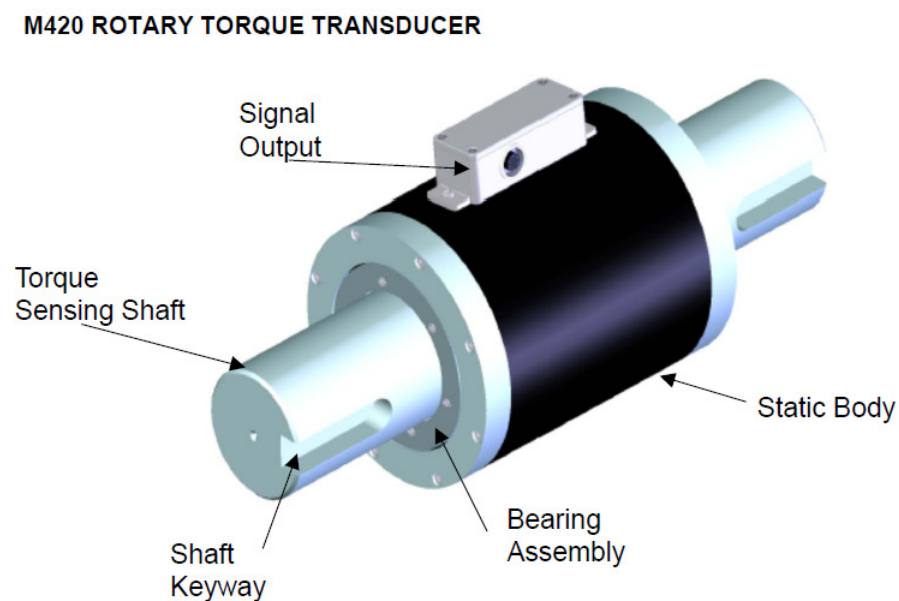
$$f = \frac{n}{60s} \quad \Rightarrow \quad f = \frac{3200 \text{ rpm}}{60s} = 53,333 \text{ Hz}$$

$$P = M * \omega \quad \Rightarrow \quad M = \frac{P}{\omega} \quad \Rightarrow \quad M = \frac{P}{2 * \pi * f}$$

$$M = \frac{7600W}{2 * \pi * 53,333\text{Hz}} = 22,68 \text{ Nm}$$

Kun saatuun tulokseen lisätään vielä turvallisuuskerroin, tulokseksi saadaan:

$$M = 22,68 \text{ Nm} * 1,5 = 34,02 \text{ Nm}$$

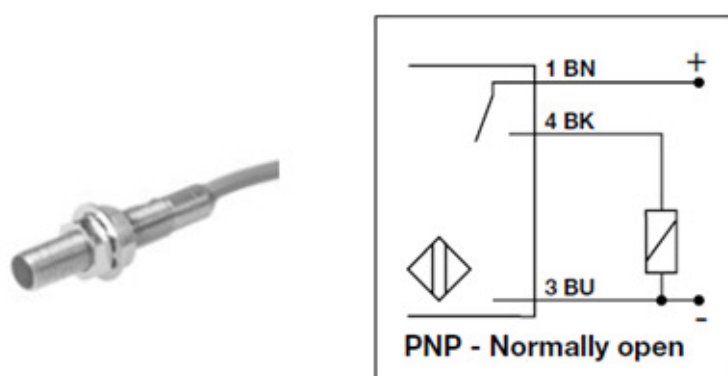


**Kuva 35** Datum Electronics M420-momentin mitta-anturi /9/



### 4.5.2 Nopeusmittaus

Nopeuden mittaamiseen käytettiin Carlo Gavazzin valmistamaa induktiivista anturia, se on kolmijohtiminen metallinen anturi. Tämä on ainoa mittausta, joka on kytketty Nokeval 6420-pulssimuuntimeen. Anturi laskee moottorin kierroksia moottorin vauhtipyörältä, jossa on kaksi täplää, joiden perusteella pulssimuunnin laskee kierrosnopeuden. Anturi on kytketty PNP-kytkennällä pulssimuuntimeen kuvan 36 mukaisesti, + ja – ovat kytkettynä muuntimeen.

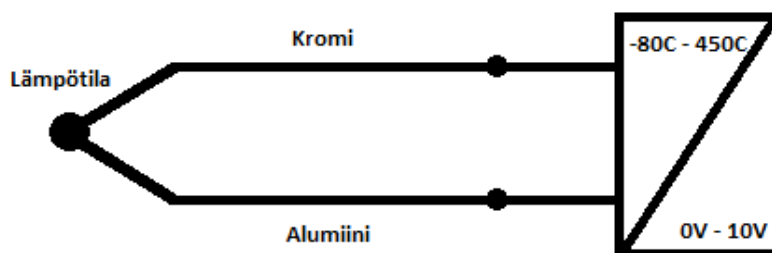


**Kuva 36** Nopeusmittauksen anturi ja sen kytkentä taajuusmuuntimeen /10/

### 4.5.3 Lämpötilamittaukset

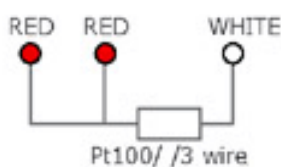
Järjestelmä sisältää viisi eri lämpötilamittausta, öljyn, jäähdytysveden, paluujäähdytysveden, sisäänmenoilman ja ulostuloilman lämpötilamittaukset.

Pakokaasun mittauksessa on käytetty lämpöparia. Lämpöparia käytettiin sen takia, että sitä voidaan käyttää tarpeeksi laajalla lämpötila-alueella. Työssä käytettiin Kn-tyypin lämpöparia, jonka mittaalue on -80 – 450 C. Anturi on vakaa korkeilla lämpötiloilla, joita voidaan olettaa pakokaasumittauksen ollessa kyseessä. Anturi on tehty kromista ja alumiinista (**Kuva 37**).



**Kuva 37** Lämpöparin kytkentä Nokeval 6740-lähettimeen

Kolmijohtimista Pt100-anturia käytetään sisääntuloilman, jäähdytysveden ja paluujäähdytysveden lämpötilan mittaukseen. Pt100 valittiin näihin mittaustarkoituksiin, koska se on helppokäyttöinen. Sen antama mittatieto on lineaarinen jännitteen kanssa, esim. 12 C  $\rightarrow$  1,2V. Pt100 sopi vain näihin mittaushetkeisiin, sillä missään niistä lämpötila ei oletettavasti nouse yli 100 C asteen (**Kuva 38**). Kaikki lämpötilojen mittaukset on kytketty Nokeval 6740-signaalimuuntimeen.



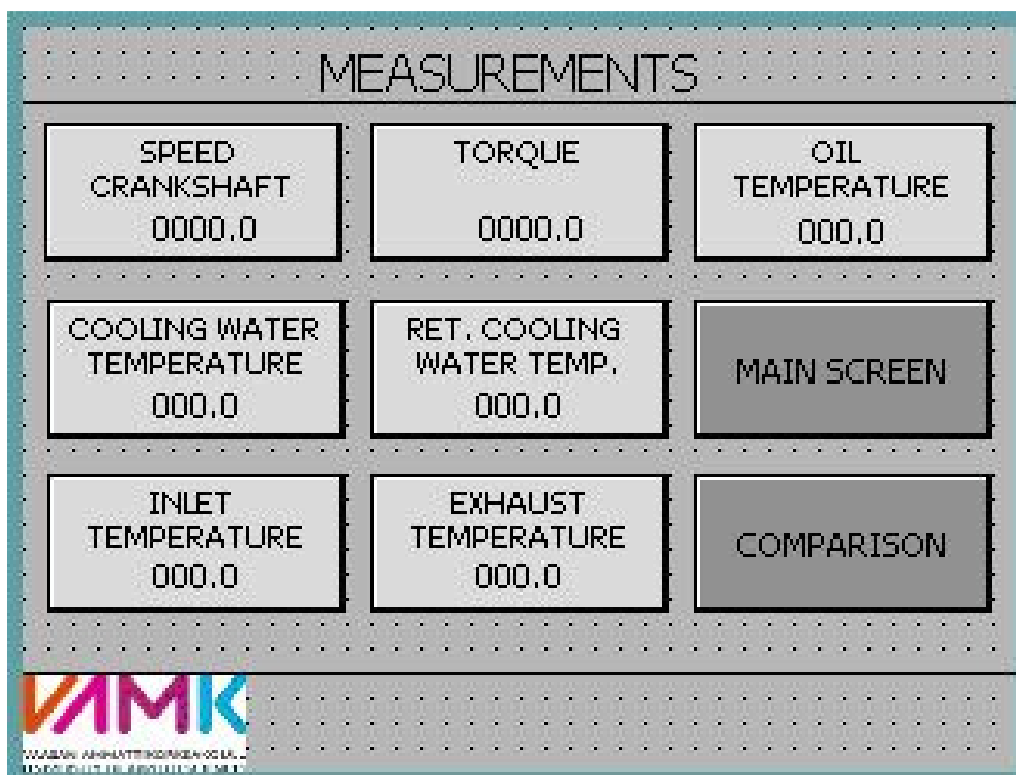
**Kuva 38** 3-johtiminen PT100-anturin kytkentäkuva /11/

#### 4.5.4 Öljynpaineen mittaus

Öljynpaineen mittaamiseen käytetään magneettista anturia, joka on kytketty digitaalituloon PLC:llä. Anturi antaa tiedon 1 tai 0, ennen moottorin käynnistystä arvo on 0. Moottorin käynnistyttyä anturin arvo vaihtelee nopeasti, kunnes moottori on lämmennyt täysin. Jos moottori käy ja anturi antaa arvoa 0 pitkän aikaa, jokin on pielessä ja moottori sammuu muutaman sekunnin kuluttua. Moottorin lämmettyä, anturi antaa arvon 1 moottorin käydessä.

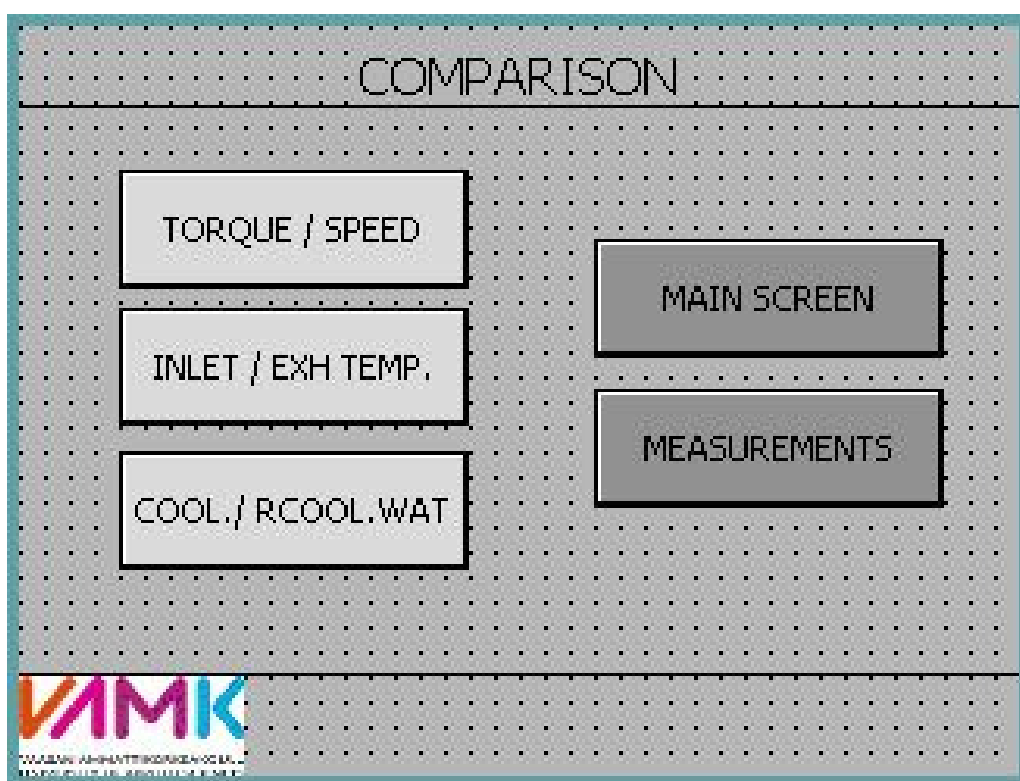
#### 4.6 Mittaukset paneelissa

Järjestelmä sisältää 7 eri mittausta, momentti-, nopeus- sekä erilaisia lämpötilamittauksia. Sensoreiden tiedot välitetään lähettimien ja muuntajien kautta PLC:lle, jossa mitatut arvot skaalataan sopiviksi. Mittausten lisääminen WinCC-ohjelmaan oli nopeaa ja yksinkertaista. Ensiksi tuli lisätä IO-kenttä näytölle, etsiä asetuksista kohta Tag, josta IO-kenttä hakee tietoa. Tähän kohtaan lisättiin osoite Step7-ohjelman datablokista, joka kertoo REAL-muodossa mitta-arvon. IO-kentän asetuksista pystyi myös säätämään skaalan millä mitta-arvo vaihteli. Mittatietoja voidaan lukea paneelikäyttöliittymästä, josta nähdään reaaliaikainen arvo sekä jokaisen mittauksen oma käyrä kolmen minuutin ajalta painamalla haluttua mittausta näytöstä. Kuvassa 39 kuva paneelin mittausnäytöstä.



**Kuva 39** Paneelin mittausnäyttö

Mittausnäytöllä näkyy reaaliaikaiset mittatiedot jokaisesta mittauksesta. Painamalla haluttua mittatietoa, pystyy näkemään ohjelman luoman käyrän, joka perustuu mitattuihin arvoihin. Paneeli sisältää myös vertailunäytön, joka sisältää kolme eri painiketta. Momentti-nopeus-vertailu, sisääntuloilma-pakokaasuvertailu sekä sisäänmeno-ulostulovertailu. Näin pystytään helposti seuraamaan moottorin käynnissä ollessa erilaisia muuttuvia arvoja. Kuvassa 40 kuva paneelin vertailunäytöstä.

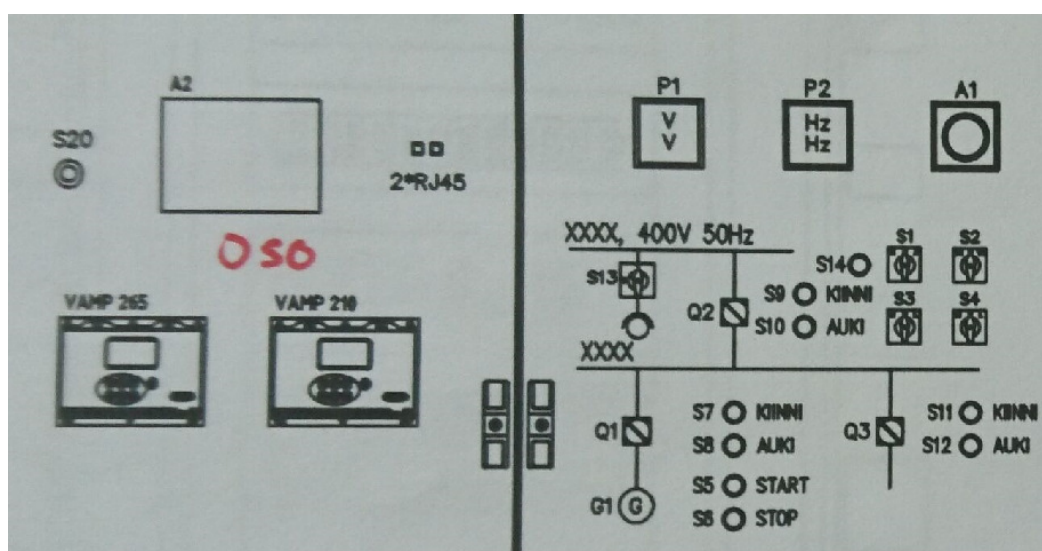


**Kuva 40** Paneelin vertailunäyttö

## 5 KAUKO-OHJAUS

Diesel-generaattorin käynnistys ja ohjaus tehtiin myös toimimaan kauko-ohjauksikäytössä. Tehtyä dieseljärjestelmää ei olla yhdistetty vielä kauko-ohjaukseen, mutta ohjelmat ovat valmiita ladattavaksi myös sinne. Kuvassa 41 varavoimajärjestelmän oven laitteisto.

Kauko-ohjauskaappi sisältää oman PLC:n joka on valokuidulla yhteydessä moottoritalan viereiseen ohjauskaappiin verkkokytkimien välityksellä. Kauko-ohjauskaappiin kuuluu myös luonnollisesti oma paneelinsa, johon suunniteltiin lähes samanlainen ohjelma kuin toiseen paneeliin.



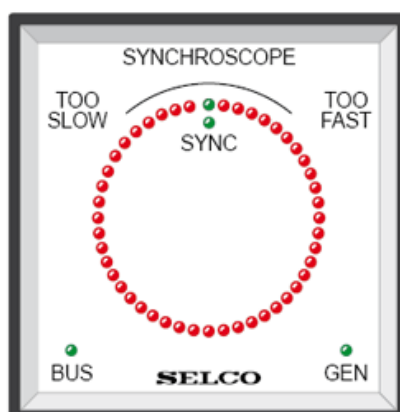
**Kuva 41** Kauko-ohjauskaapin ovi ja siinä olevat kytkimet ja mittarit

S1: Tahdistustavan valinta	S13: Verkon jännitemittaus
S2: Tahdistettava katkaisija	S14: Tahdistuksen käynnistys/pysäytys
S3: Taajuuden asettelu	S20: Häätä-seis-painike
S4: Jännitteen asettelu	P1: Kaksoisjännitemittari
S5: Dieselin käynnistys	P2: Kaksoistaajuusmittari
S6: Dieselin pysäytys	A1: Tahdistuksen valvoja

Tahtikone on kytkettävä jännitteelliseen verkkoon siten, ettei siitä aiheudu suuria virtasäyksiä. Tämä voidaan toteuttaa verkkoon tahdistamisella. Tahdistamisella tarkoitetaan sitä, että tiettyjen ehtojen on toteuduttava ennen koneen kytkemistä verkkoon. Tahdistusehdot:

- sama taajuus
- yhtä suuret jännitteet
- vaihesiirto
- vaihejärjestys.

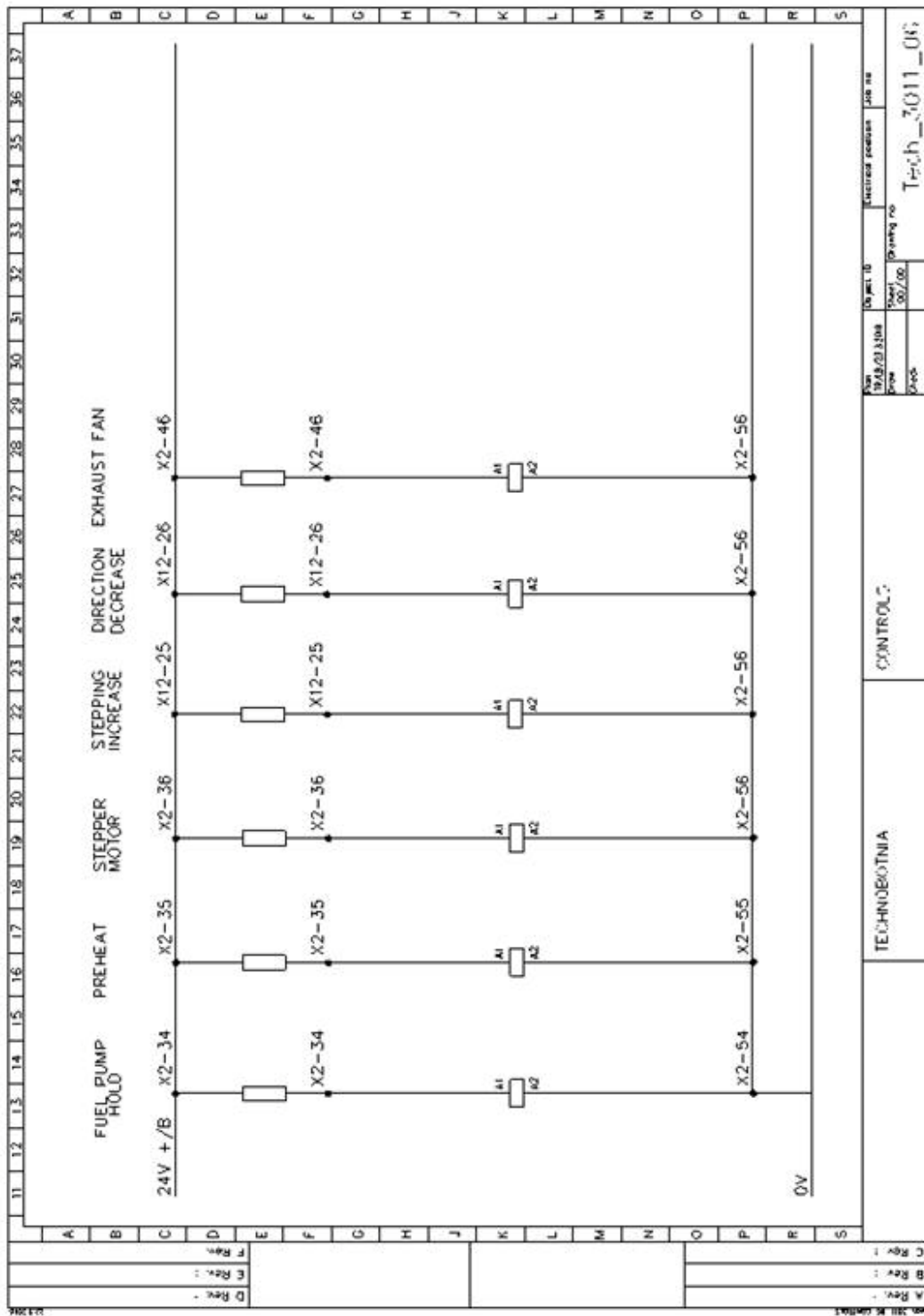
Taajuutta voidaan säätää generaattoria pyörittävän voimakoneen nopeutta muuttamalla ja jännitettä voidaan säätää generaattorin magnetoimisvirralla. Vaikka jännitteet olisivat yhtä suuret ja saman taajuiset, niiden välillä on vakiona pysyvä vaihesiirto. Tahdistuskytkimen napojen välillä on tehollisarvoltaan vakio jännite, joka voidaan selvittää nollavolttimittarilla. Oikea kytkentähetki nähdään synkronoskoopin avulla, jossa on pyörivä osoitin. Osoittimen pyörimissuunta riippuu generaattorin taajuudesta verrattuna verkon taajuuteen eli se pysyy paikoillaan, kun generaattorin ja verkon taajuudet ovat samat. Osoittimen pysyessä pystysuorassa paikoillaan, generaattorin ja verkon jännitteet ovat myös saman suuriset (**Kuva 42**).



**Kuva 42** Tahdistettaessa käytettävä synkronoskooppi /12/

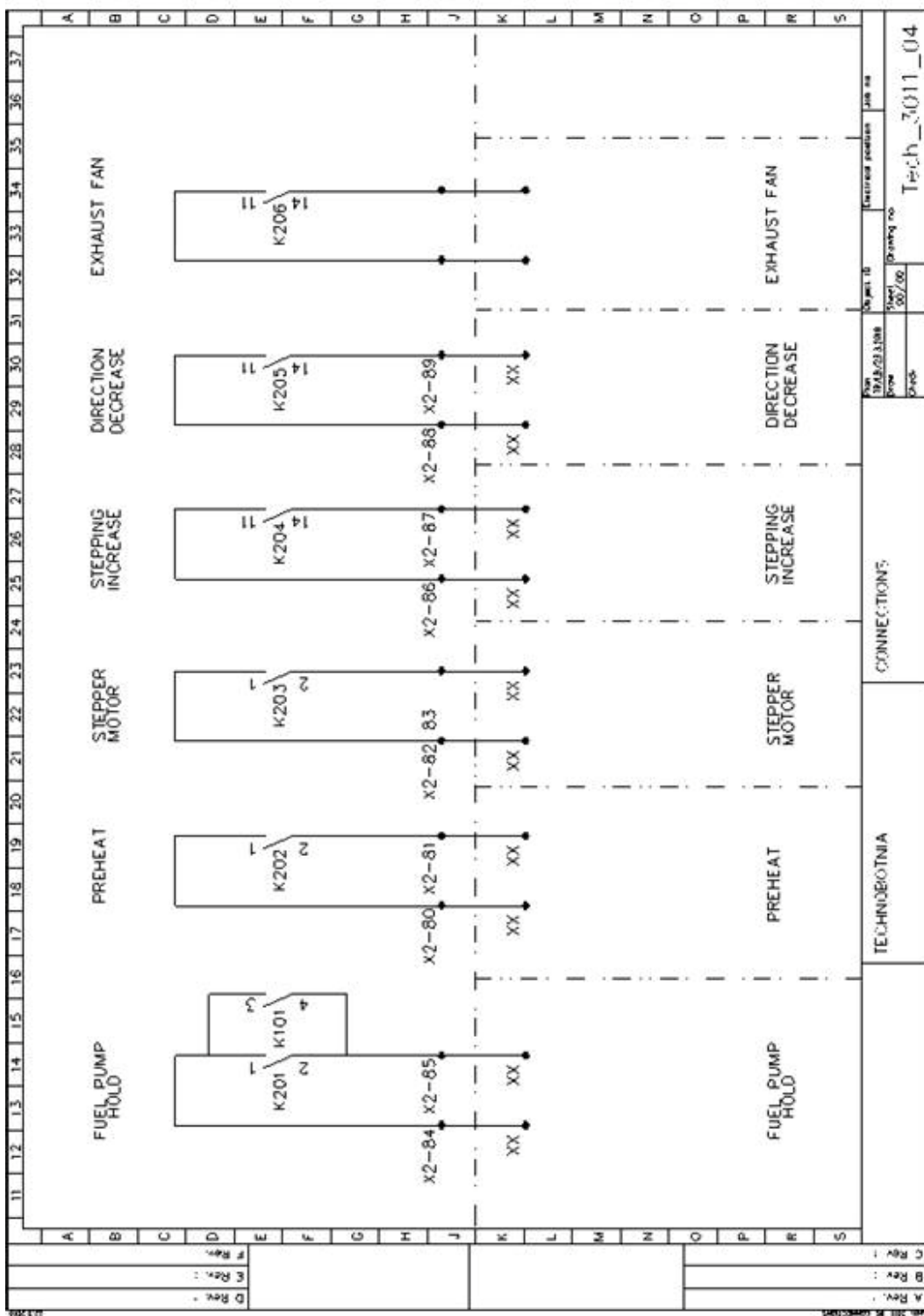
## 6 PIIRUSTUKSET

Projektin alettua, VEOn piirtämiä kytkentäkuvia silloisista kytkennöistä käytettiin apuna. Joihinkin piirustuksiin tehtiin kuitenkin lisäyksiä, joten viisi kuvaa piirrettiin uudestaan. Kytkentäkuvien piirto toteutettiin CADS Planner-sovelluksella, jonka käyttö on tullut tutuksi koulun kursseilta aiemmilta vuosilta. Uudet kuvat ovat lisättyjen mitta-antureiden sekä niiden lähettimien ja muuntajien kytkentäkuvia. Joukosta löytyy myös uusi piirros kontaktoreista.

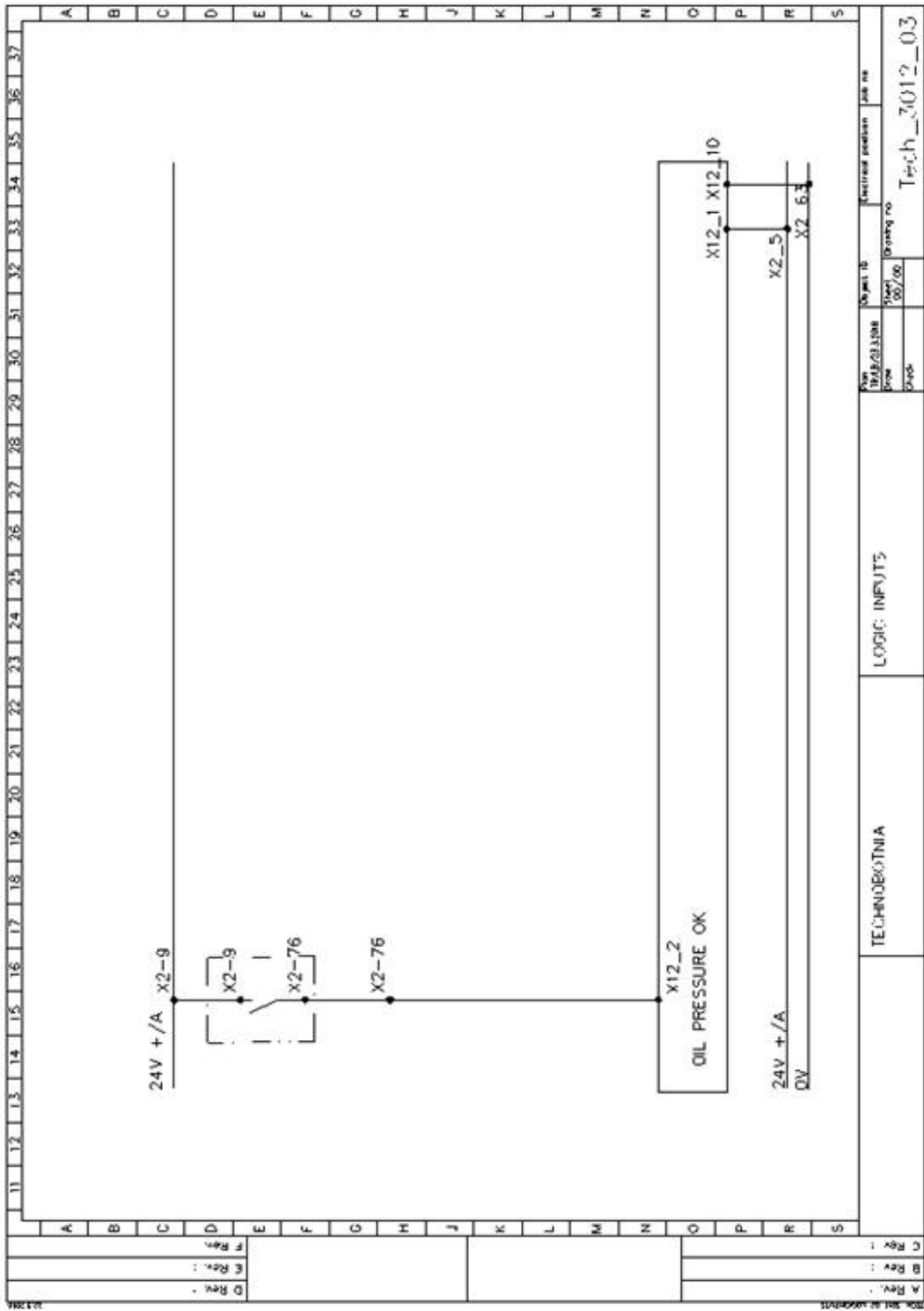


Kuva 43 Ohjaukset

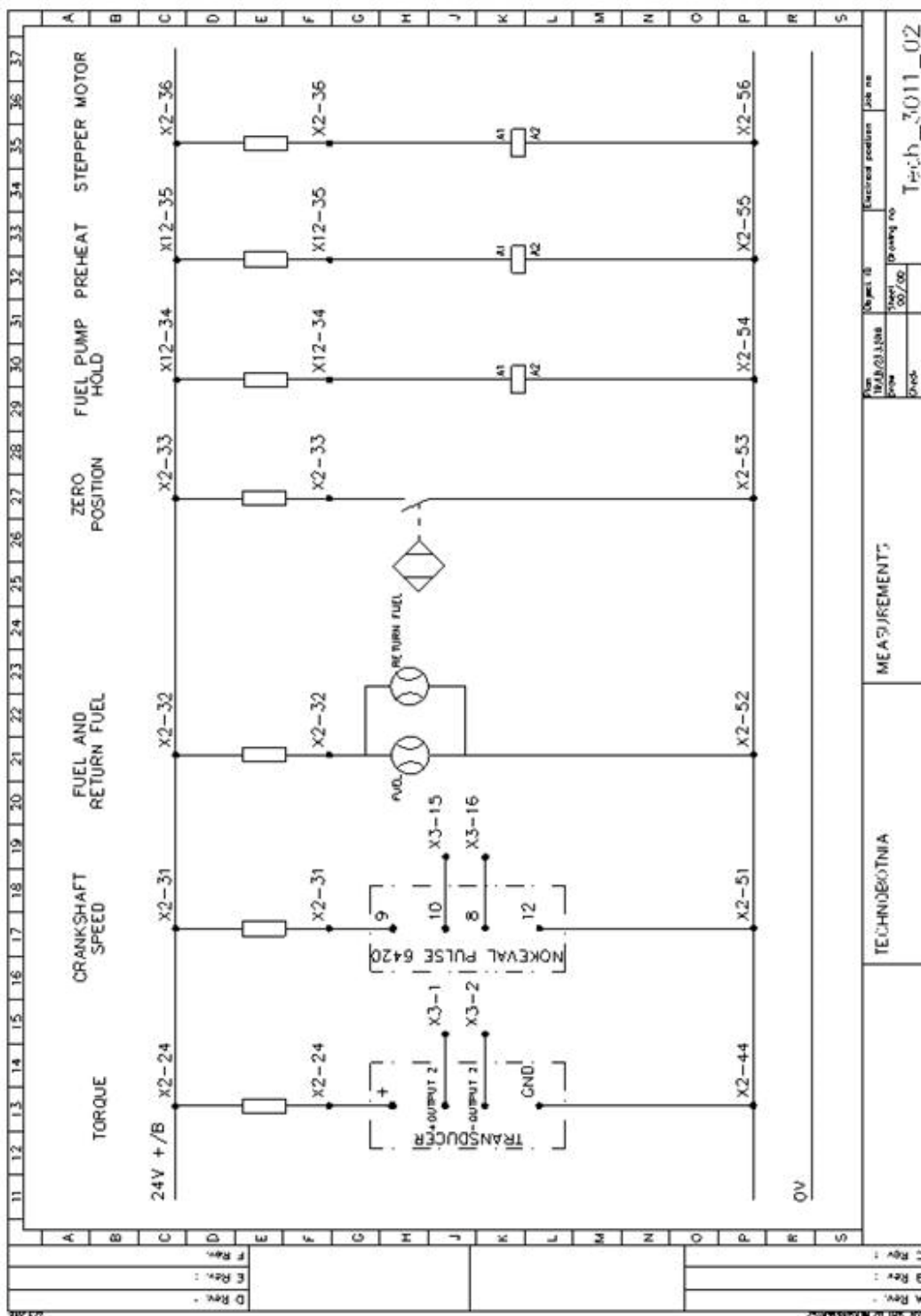




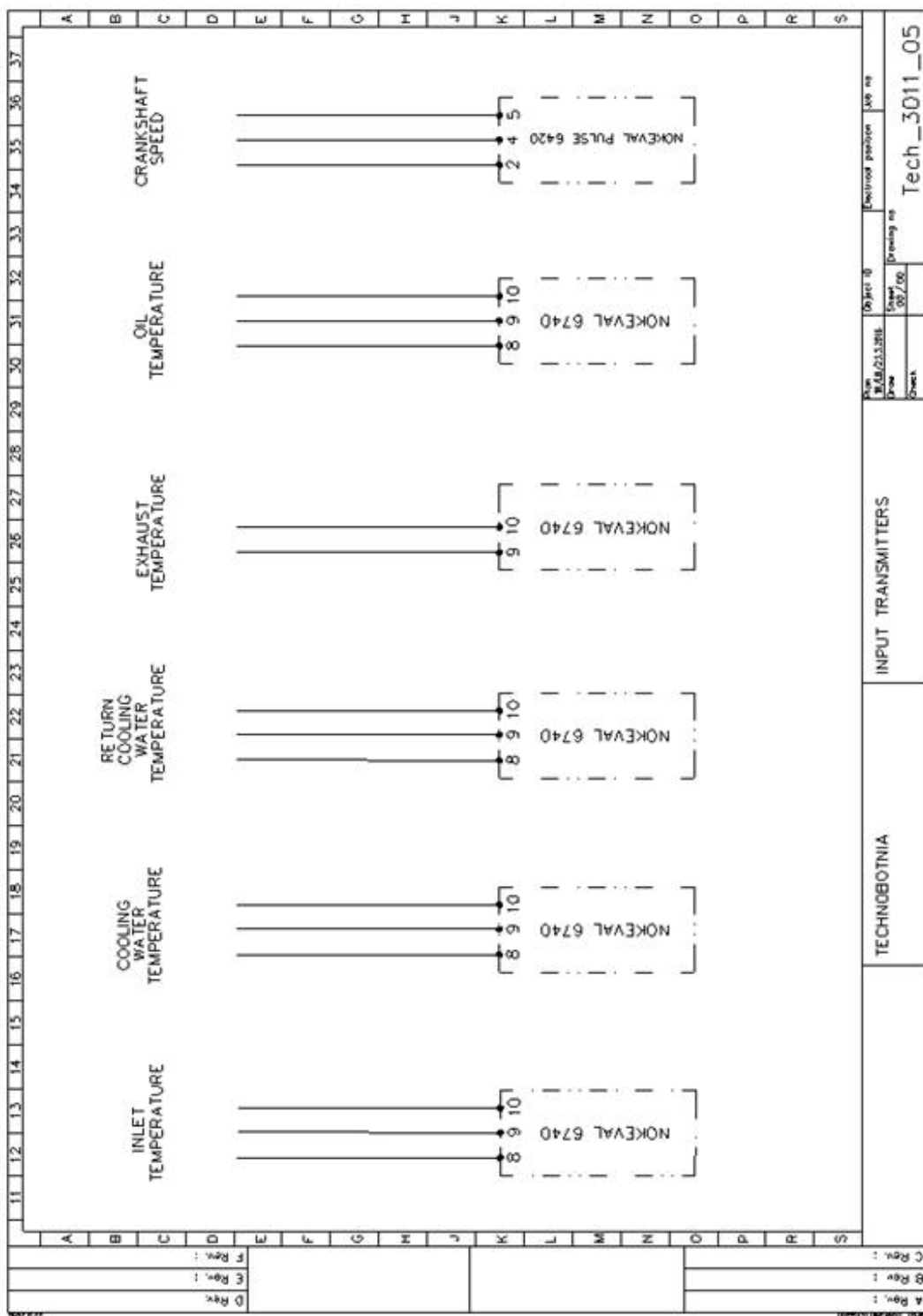
Kuva 44 Kytkenät



Kuva 45 Logiikan inputit



Kuva 46 Mittaukset



Kuva 47 Lähettimien inputit

## **7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA**

### **7.1 Arviointi projektin vaiheista**

Aloittaessani projektin omalta osaltani, lähes kaikki tarvittavat kytkennät oli tehty. Kahta mittausta lukuun ottamatta, kaikki muut ohjaukset ja mittaukset olivat kytketty PLC: n ja lisätty skaalaukset sekä osoitteet Step7-ohjelmaan.

Momenttimittauksen liitäntämoduulin asetuksia aseteltaessa liitäntämoduulin USB-portti vaurioitui, joten jatkoimme projektin loppuun ilman tätä liitäntämoduulia. Uusi liitäntämoduuli on tilattu ja se tullaan asentamaan myöhemmin takaisin.

Suurin osa ajasta kului ohjelmointiin sekä myös paneelin käyttöliittymän toteutukseen. Myös projektin loppuvaiheessa aikaa kului nopeussäädön tekemiseen. Piirustusten tekeminen sujui nopeasti.

### **7.2 Aikataulussa pysyminen**

Aikataulu tällä projektille tiedettiin jo alusta asti olevan tiukka. Ohjelmointi vei yllättävän paljon aikaa, mutta taas toisaalta ohjelman toimivuus on kaikkein tärkein asia tässä opinnäytetyössä.

Työpäivät opinnäytetyön parissa olivat joka viikonpäivä n. 7-9 tunnin päiviä laboratorion. Jokaiselle päivälle löytyi aina jotain tekemistä.

### **7.3 Projektin tulosten hyödyntäminen ja arviointi**

Projektista suoriuduttiin kiitettävästi, ohjaukset saatiin toimimaan halutulla tavalla. Mittaukset antavat oikean tiedon, lukitukset toimivat niin paneeleissa kuin toimilaitteissa ja järjestelmän kytkentäkuvat on piirretty. Dieselgeneraattori on nyt valmiina kytkettäväksi varavoimajärjestelmään ja siten myös sähköverkkoon.

#### **7.4 Projektin jatkuminen ja keskeiset uudet ideat**

Tekemämme projekti on osa isompaa kokonaisuutta, jossa riittää vielä työtä myös muille opiskelijoille tai alan ammattilaisille. Varavoimajärjestelmään voidaan tulevaisuudessa kytkeä monia erilaisia energian tuotantotapoja, jolloin pystytään entistä paremmin tutkimaan näiden tuotantolähteiden ja tapojen tehokkuutta.

Pidin työn aihetta varsin hyvänä opinnäytetyönä, sillä tässä pääsi käsiksi käytännön tekemiseen ja insinöörimäiseen suunnittelu- ja tutkimustyöhön. Toivon, että koulu pyrkisi myös jatkossa tarjoamaan muillekin opiskelijoille mahdollisuuden tehdä opinnäytetyön koululle.

#### **7.5 Johtopäätökset**

Aihe oli mielestäni hyvin mielenkiintoinen ja pidin kovasti työskentelystä sen parissa. Aiheen käytännönläheisyys ja itsenäinen työskentely, vaikkakin tiiminä olivat asioita, jotka olivat mielestäni tärkeitä oppimisen kannalta.

Toivon, että tehtyä järjestelmää tultaisiin käyttämään monilla eri aloilla Technobothnian opiskelijoiden hyväksi opetuskäytössä ja, että siitä olisi jotain hyötyä opetuksessa.

## LÄHTEET

### Manuaalit:

MECC ALTE T16F, 2011. Viitattu 4.5.2016.

[http://www.lambregt.com/files/s/106/file/man\\_t16f\\_rev03.pdf](http://www.lambregt.com/files/s/106/file/man_t16f_rev03.pdf)

[http://www.meccalte.com/send\\_file.php?fileid=T16F%20202poli%20specifiche](http://www.meccalte.com/send_file.php?fileid=T16F%20202poli%20specifiche)

EM-136 STEPPER MOTOR MICROSTEPPING CONTROLLER UNIT 12-45V  
0.5-4A. Viitattu 4.5.2016.

[http://electromen.com/files/7313/7811/0053/EN\\_em-136.pdf](http://electromen.com/files/7313/7811/0053/EN_em-136.pdf)

NOKEVAL MANUAL Programmable signal converter 6740, 2012. Viitattu  
5.5.2016.

[http://www.nokeval.com/pdf/manuals/en/6740\\_V1.2-1.4\\_2012-10-10\\_manual\\_EN.pdf](http://www.nokeval.com/pdf/manuals/en/6740_V1.2-1.4_2012-10-10_manual_EN.pdf)

NOKEVAL MANUAL f/I Pulse converter 6420. Viitattu 5.5.2016.

[http://www.nokeval.com/pdf/manuals/en/6420\\_V1.2\\_manual.pdf](http://www.nokeval.com/pdf/manuals/en/6420_V1.2_manual.pdf)

DATUM ELECTRONICS MANUAL M420 rotary torque transducers, 2007.

Viitattu 5.5.2016.

<http://www.datum-electronics.co.uk/media/js/upload/uploads/m420-rotary-torque-transducer.pdf>

[http://marmatek.com/wp-content/uploads/2014/03/Datum\\_M420\\_Datasheet.pdf](http://marmatek.com/wp-content/uploads/2014/03/Datum_M420_Datasheet.pdf)

DATUM ELECTRONICS REFERENCE GUIDE, controls & set-up options, Part  
No. 400150 / 400154 - Transducer Interface. Viitattu 5.5.2016.

<http://www.maftec.it/download.php?file=./data/repository/c5374a266d/400150UniversalInterfaceReferenceSheet.pdf>

SIEMENS SIMATIC HMI KTP400 Basic, KTP600 Basic, KTP1000 Basic,  
TP1500 Basic - Operating Instructions, 2009. Viitattu 5.5.2016.  
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0dba/0900766b80dbaa93.pdf>

### Tietolähteet:

Verkkonen, V. 2014. VAMK. Sähkömoottorikäytöt: Tahtikoneet. Viitattu 18.5.2016.

Verkkonen, V. 2014. VAMK. Sähkömoottorikäytöt: Sähkökoneiden perusteita ja Tasasähkökoneet. Viitattu 18.5.2016.

Häsä, S. 2009. Generaattorisuojauksen uusinta. Espoo. Teknillinen korkeakoulu: Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta. Viitattu 18.5.2016.  
<http://lib.tkk.fi/Dipl/2009/urn100125.pdf>

### Kuvalähteet:

/1/ Kannisto, R. 2012. Biodieselin valmistus. Turku. Turun ammattikorkeakoulu: Bio- ja elintarviketekniikka, Laboratoriotekniikka. Viitattu 17.5.2016.  
<http://docplayer.fi/docs-images/25/6918868/images/11-0.jpg>

/2/ Holt, G. 2009. Portable Generators in Motion Picture Production. Viitattu 17.5.2016  
[http://www.screenlightandgrip.com/images/generators/gen\\_excitation\\_circuit.jpg](http://www.screenlightandgrip.com/images/generators/gen_excitation_circuit.jpg)

/3/ MECC ALTE T16F Manual. Viitattu 17.5.2016



- /4/ SIEMENS SIMATIC HMI, HMI device KTP400 Basic, KTP600 Basic, KTP1000 Basic, TP1500 Basic – Operating Instructions. 2009. Viitattu 5.5.2016.  
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0dba/0900766b80dbaa93.pdf>
- /5/ EM-136 STEPPER MOTOR MICROSTEPPING CONTROLLER UNIT 12-45V 0.5-4A. Viitattu 17.5.2016.
- /6/ NOKEVAL MANUAL Programmable signal converter 6740. Viitattu 5.5.2016.
- /7/ NOKEVAL MANUAL f/I Pulse converter 6420. Viitattu 5.5.2016.
- /8/ DATUM ELECTRONICS REFERENCE GUIDE, controls & set-up options, Part No. 400150 / 400154 - Transducer Interface. Viitattu 5.5.2016.
- /9/ DATUM ELECTRONICS MANUAL M420 rotary torque transducers. Viitattu 5.5.2016.
- /10/ Inductive sensors. Viitattu 5.5.2016.  
[https://www.almassria.com/collections/inductive-sensors/inductive-sensors-output\\_pnp-no+inductive-sensors-connection\\_cable](https://www.almassria.com/collections/inductive-sensors/inductive-sensors-output_pnp-no+inductive-sensors-connection_cable). Viitattu 4.5.2016
- /11/ How they work, Sensorland. Viitattu 5.5.2016.  
<http://www.sensorland.com/HowPics/Temp-01.gif>
- /12/ Synchroscope M8100, DSF Technologies. Viitattu 24.5.2016.  
[http://www.dsf-technologies.com/upload/produits/produits\\_76.gif](http://www.dsf-technologies.com/upload/produits/produits_76.gif)