

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma / Automaatio- ja prosessitekniikka

Timo Maasilta

AGGREGAATTIVAUNUN AUTOMAATION TOTEUTUS

Opinnäytetyö 2014



## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University Of Applied Sciences

Energy Technology

TIMO MAASILTA

Implementation of Mobile Power Station Automation

Bachelor's Thesis

41 pages

Supervisor

Vesa Kankkunen, lecturer

Commissioned by

Hafmex Ltd

November 2014

Keywords

PLC, Siemens, Automation, aggregate

The purpose of the thesis was to design and implement automation for a mobile power station. This thesis was made for Hafmex Ltd which is specialized on measuring the wind condition for mapping possible wind farm locations. The power station is a combination of an aggregate, battery and fuel tank that are assembled on a trailer. The power station can be moved by car to places where its wind measurement devices cannot be connected to the electricity grid.

The primary goal was to implement automation so as to maintain battery charge year-round in varying Finnish weather conditions. Siemens S7-1200 series logic controller and its extension modules are used to carry out the automation. An important part of controlling the power station is a possibility to remotely control it by using SMS-messaging. An extension module for the logic controller enables tele control.

This thesis covers a presentation of the assembled equipment and their operational principles. Analogical measuring equipment, which enable automatic control of the power station, are inspected. Their operational functions are analyzed in theoretical and practical terms. This thesis also briefly discusses the basics of Siemens TIA portal, software used for programming logic controllers. The topics covered include its basic settings, project creation and structures of code. Finally, the results of the test run are analyzed and compared to theoretical data, after which suitable limits for the logic controller are discussed.

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU	2
ABSTRACT	3
LYHENTEET JA TERMIT	6
1 JOHDANTO	7
2 LAITTEISTO	8
2.1 Dieselaggregaatti	8
2.2 Esilämmitin	8
2.3 Akusto	10
2.4 Akkuvaraaja	11
2.5 Logiikkajärjestelmä	13
2.6 Virtalähde	13
2.6.1 Siemens S7-1212 DC/DC/relay -keskusyksikkö	14
2.6.2 SM 1231 analog input	15
2.6.3 Siemens CP 1242-7 telecontrol -kortti	15
2.6.4 KP300 Basic mono HMI	16
2.7 Mittalaitteet	16
2.7.1 Jännitteenmittaus	17
2.7.2 Virtamittaus	18
2.7.3 Polttoainemittaus	20
2.7.4 Lämpötilanmittaus	21
3 LOGIIKAN OHJELMOINTI	22
3.1 Ohjelman rakenne	22
3.2 Ladder logic	25
3.3 Function block diagram	25
3.4 Structured control language	26
3.5 Ohjelman luominen TIA STEP 7:lla	26
3.6 Laitekonfiguraatio TIA STEP 7:lla	28

4 LOGIIKAN KYTKENNÄT	32
4.1 Logiikan liitännät	32
4.2 Moottorin ohjaus	33
5 LOGIIKAN TESTAUS	34
5.1 Akuston kuormitus	34
5.2 Testikäyttö	34
5.3 Tulosten tarkastelu	35
6 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	39

## LYHENTEET JA TERMIT

PLC	Programmable logic controller, ohjelmoitava logiikkaohjain
FBD	Function Block Diagram; lohkokaavio, ohjelmointikieli
CPU	Central Processing Unit; keskusyksikkö
HMI	Human Machine Interface, näyttöpäätte logiikan hallintaan
OB	Organization Block, organisointilohko logiikkaohjelmassa
FB	Function Block, toimintalohko logiikkaohjelmassa
FC	Function, toiminto, logiikkaohjelman osa
DB	Data Block, lohko ohjelmassa, johon tallennetaan tietoa
TIA	Totally Integrated Automation, ohjelmointityökalu
I/O	Input / Output; tulo ja lähtöportit logiikkaohjaimella
SCL	Structured Control Language, Ohjelmointikieli logiikkaohjelmointiin

## 1 JOHDANTO

Hafmex oy on tuulivoima-alan asiantuntijayritys, joka tarjoaa palveluita tuulimittauksista tuulivoimapuiston esiselvityksiin. Tuuliolosuhteiden mitataan sekä etämittauslaitteistolla että pystytettävillä mastoilla. Etämittalaitteita on kahta eri tyyppiä, ääneen ääniaaltoon perustuva SODAR-mittalaite sekä laservalopulssiin perustuva LIDAR-mittalaite. Kaikille mittalaitteille on kuitenkin yhteistä, että ne tarvitsevat toimiakseen sähköä, ja usein tuuliolosuhteita mitataan paikoista, missä mittalaitteen yhdistäminen sähköverkkoon ei ole mahdollista.

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella mittalaitteiston sähkönsyötölle automaatio ohjelmoitavalla logiikalla. Toimintaperiaatteena on, että mittalaitteelle syötetään sähkö akustosta, jota varataan aurinkopaneelilla aina kun olosuhteet sallivat. Kun aurinkopaneeli ei pysty enää tuottamaan tarpeeksi sähköä ja akuston jännite laskee alle tietyn pisteen, käynnistää automaatio dieselaggregaatin, jolla varataan akut täyteen. Kun akut ovat varattu, sammuu aggregaatti automaattisesti. Tuuliolosuhteiden mittausta täytyy pystyä suorittamaan ympärivuotisissa olosuhteissa. Katkeamattoman sähkönsyötön varmistamiseksi myös talvipakkasilla on aggregaattiin liitetty dieselkäyttöinen esilämmitin, mikä takaa toiminnan myös ääriolosuhteissa. Lisäksi automaatiojärjestelmään kuuluu GPRS-moduli, jolla pystytään hallitsemaan sekä tarkkailemaan aggregaatin toimintaa tekstiviestien välityksellä mistä päin maailmaa tahansa. Automaatio lähettää käyttäjälle tekstiviestin vikatilanteen sattuessa, sekä tekstiviestillä pystyy tiedustelemaan laitteen tilaa ja mittaustietoja, kuten ulkolämpötilaa, polttoainetilannetta sekä aggregaatin käyntitietoja.

## 2 LAITTEISTO

Aggregaattivaunukokonaisuuteen kuuluu auton perässä vedettävän perävaunun lisäksi diesel-käyttöinen Eberspächer-esilämmitin, dieselaggregaatti, latauksensäädin, akusto, polttoainesäiliö, logiikkajärjestelmä ja latauksensäädin.

### 2.1 Dieselaggregaatti

Voimanlähteenä aggregaattivaunussa toimii Hatz 1B30 dieselkäyttöinen moottori, johon on kytketty Meccalte S16F yksivaihegeneraattori. Generaattorin maksimi näennäisteho on 6,5 VA ja hyötysuhde n. 80 %. Generaattoria pyörittävä Hatz 1B30 saavuttaa 4,5kW maksimitehon pyöriessään täydet 3'600 kierrosta minuutissa. Aggregaatissa on 45 Ah:n starttiakku 12V, jota generaattori lataa aina sen käydessä. (1.)(2.)

### 2.2 Esilämmitin

Koska aggregaattivaunu on suunniteltu toimimaan Suomen vaihtelevissa sääolosuhteissa, tarvitsee aggregaatti kylmän ilman varalle erillisen esilämmittimen. Esilämmittimeksi aggregaatille valittiin dieselkäyttöinen Eberspächer-lämmitin. Käyttövoimansa esilämmitin saa samasta säiliöstä, mistä polttoaine syötetään aggregaatillekin ja sen tuottama lämpöteho on 2200 W. Esilämmitin on ohjelmassa oletuksena säädetty käynnistymään, kun ympärillä vallitseva lämpötila laskee alle 0°C:een ja toiminta-aika on säädetty 30 minuuttiin. Molemmat arvot ovat käyttäjän säädettävissä. Käynnistyslämpötila voidaan asettaa välille -10 - 10°C ja käyntiaika 15 minuutista 99 minuuttiin. Polttoaineen lisäksi lämmitin tarvitsee 12 V:n käyttöjännitteen, joka saadaan aggregaattivaunun starttiakulta. Sähkötehon kulutus esilämmittimellä on 34 W. Lämmittimen sähkönkulutus tulee ottaa huomioon, että akun varaus ei pääse missään vaiheessa laskemaan niin pieneksi, ettei starttiakku jaksa enää käynnistää moottoria. (3.)

Eberspächerin käyttämä energia oletusasetuksella, 30 min.

$$E = P * t \quad (1)$$



Jossa:

$E$  Energia [Wh]

$P$  Teho [W]

$t$  Aika [h]

$$E = 34W * 0,5h = 17Wh$$

Esilämmitin oletusasetuksella kuluttaa jokaisella käyntikerralla 17 Wh energiaa, minkä generaattorin akkulaturin täytyy pystyä tuottamaan aina käydessään. Jos tätä energiamäärää ei saada siirrettyä akkuun generaattorin käydessä, syntyy esilämmittimen käytöstä johtuva energiavaje, mikä johtaa akun tyhjenemiseen ennen pitkää.

Starttiakkua ladataan n. 13 V:n jännitteellä ja 5A:n virralla.

$$P = U * I \quad (2)$$

Jossa:

$U$  = Jännite [V]

$I$  = Virta [I]

$P$  = Teho [W]

Latausteho:

$$P = 13V * 5A = 65W$$

Latausaika millä esilämmittimen ottama energia saadaan korvattua.

$$t = \frac{E}{P} = \frac{17Wh}{65W} = 0,26h \sim 16min$$

Vaadittu latausaika on varsin lyhyt (16min). Käytännössä aika on hieman pidempi sillä laturi ei välittömästi nosta latausvirtaa täyteen 5 A:iin. Generaattori tulee kuitenkin aina käymään reilusti pidempään kuin yllä lasketun ajan, joten esilämmittimen akunkulutuksen kanssa ei tule ongelmia, vaikka esilämmitysaika olisi oletusasetusta pidempi. (4.)

### 2.3 Akusto

Aggregaattivaunussa on 4kpl 12V/220Ah Victron Energyn valmistamia akkuja. Akut ovat suunniteltu käytettäväksi jatkuvan rasituksen alaisuuteen. Akuista on tehty kaksi kahden rinnankytketyn akun sarjaa, millä saadaan nostettua jännitettä sekä kapasiteettiä. (5.)

Akkujen kytkeminen sarjaan nostaa akuston kokonaisjännitettä, mutta kapasiteettiin ei ole vaikutusta.

$$U_1 + U_2 = U_t \quad (3)$$

Jossa:

$$U_1 = \text{Akun 1 jännite [V]}$$

$$U_2 = \text{Akun 2 jännite [V]}$$

$$U_t = \text{Kokonaisjännite [V]}$$

Akuston kokonaisjännite

$$12V + 12V = 24V$$

Sarjaankytkettyjen akkujen rinnalle on kytketty toiset kaksi sarjaankyttettyä akkua, mikä ei vaikuta akuston jännitteeseen, mutta sen kapasiteettia saadaan nostettua.

$$220Ah + 220Ah = 440Ah \quad (4)$$

Akustoon varattava energiamäärä (**kaavat 1,2**)

$$E = P * t$$

$$P = U * I$$

$$E = P * t = U * I * t = 24V * 440Ah = 10560 Wh = 10,56 kWh$$

(4.)

## 2.4 Akkuvaraaja

Akuston varaus on tärkeä osa opinnäytetyötä. Optimoimalla akkujen varaamiseen käytettävä aika, minkä aggregaatti käy, säästetään polttoainetta ja samalla pidennetään vaunun tankkausväliä. Akkuvaraajana aggregaattivaunussa käytetään Powerfinn PAC 3200 akkulaturia, joka on moderniin hakkuritekniikkaan perustuva akunvaraaja. Powerfinn PAC 3200 maksimiteho on nimensä mukaisesti 3200 W. Laturin latausvirta on säädettävissä väliltä 63,6-127A (**Kuva 1**). Tässä työssä akunlatausvirta on rajoitettu 88,9A:iin. Akunlatauksessa latausvirran suositellaan olevan n. 0,2 kertaa akuston kapasiteetti, mikä 440 Ah:n akustolla tarkoittaa 88 A:n latausvirtaa.

Switch position	Battery Voltage	Battery type	Charging Current	Battery capacity	Charging curve
0	24 V	Unsealed	63,6 A	191-254 Ah	A
1	24 V	Unsealed	88,9 A	296-415 Ah	A
2	24 V	Unsealed	102 A	474-643 Ah	A
3	24 V	Unsealed	114 A	724-952 Ah	A
4	24 V	Unsealed	127 A	1 058-1 270 Ah	A
5	24 V	Sealed	63,6 A	191-254 Ah	B
6	24 V	Sealed	88,9 A	296-415 Ah	B
7	24 V	Sealed	102 A	474-643 Ah	B
8	24 V	Sealed	114 A	724-952 Ah	B
9	24 V	Sealed	127 A	1 058-1 270 Ah	B
10 = A	24 V	Sonnenschein	63,6 A	191-254 Ah	C
11 = B	24 V	Sonnenschein	88,9 A	296-415 Ah	C
12 = C	24 V	Sonnenschein	102 A	474-643 Ah	C
13 = D	24 V	Sonnenschein	114 A	724-952 Ah	C
14 = E	24 V	Sonnenschein	127 A	1 058-1 270 Ah	C
15 = F				No algorithm(Service)	

**Kuva 1.** Akkuvaraajan valittavissa olevat latausalgoritmit

Varaajasta ei kuitenkaan oteta maksimithehoa irti, vaan latausteho on säätimen avulla rajoitettu 2489 W:iin

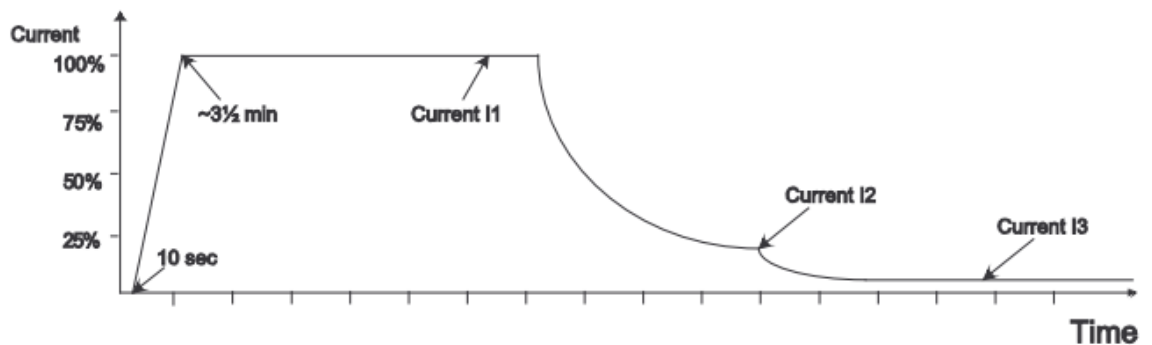
$$28V * 88,9A = 2489,2W$$

Lataustehon ja edellä lasketun akun kokonaisenergian avulla saadaan laskettua latausaika akuston varaamiselle nolavarauksesta täyteen.

$$\frac{10560Wh}{2489W} = 4,2h$$

Akun varauksen optimoimiseksi ja polttoaineen säästämiseksi akkuja ei koskaan ladata täyteen asti, eikä toisaalta myöskään käytetä täysin tyhjiksi. Loppua kohden ladattaessa latausvirta ja -teho pienenee huomattavasti ja aggregaatti käy turhaan.

(**Kuva 2**)



**Kuva 2.** Akkujen latausvirta ajan funktiona

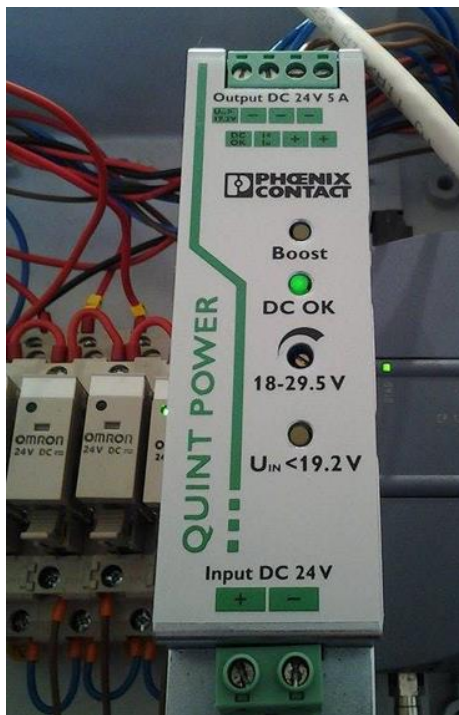
Akkujen lataus on suunniteltu niin, että 9 kertaa 10:stä akut ladataan ja lataus pysäytetään, kun latausvirta on laskenut alle 40 %:n maksimista. Akkuja ei varata siis aivan täyteen asti polttoaineen säästösyistä. Akut ovat kuitenkin välillä hyvä varata täyteen asti, joten joka 10. kerta akkuja ladataan kunnes latausvirta laskee alle 20%:n. Latauksenpysäytysarvot ovat viitteellisiä arvoja ja ne ovat ohjelmassa helposti muokattavissa. Arvot saadaan säädettyä lopullisesti kohdilleen käyttökokemuksen perusteella. (6.)(7.)

## 2.5 Logiikkajärjestelmä

Ohjelmoitavan logiikan valinnassa päädyttiin Siemens S7-1200 sarjan S7-1212 DC/DC/Relay -ohjaimen. Kyseinen logiikka valittiin, koska minulla oli aikaisempaa kokemusta samanlaisen logiikan ohjelmoinnista ja siihen oli helposti saatavilla kaikki tarvittavat laajennusosat joita työssä tullaan tarvitsemaan. Valintaan vaikutti myös logiikan hinta joka oli markkinoiden edullisin. Siemensillä oli tarjolla edullinen aloituspaketti, joka sisälsi työn tarkoitukseen täysin riittävät peruslaitteet logiikan, KP-300 HMI:n ja lisenssin TIA V12 -ohjelmaan.

## 2.6 Virtalähde

Logiikka tarvitsee toimiakseen virtalähteen. Logiikan käyttövirta on tarkoitus ottaa akustosta, missä olisi valmiiksi logiikalle sopiva 24V. Koska akuston jännite vaihtelee varaustilasta ja logiikan asetuksista riippuen n. 23 V:sta 28 V:iin, päätettiin logiikalle lisätä erillinen virtalähde, mikä stabiloi jännitteen 24V:iin. Logiikka itsessään toimisi vaihtelevasta jännitteestä huolimatta, mutta siihen liitettävät mittalaitteet antaisivat virheellisen tuloksen jännitevaihtelusta johtuen. Virtalähdettä valittaessa päädyttiin Phoenix Contactin Quint Power -virtalähteeseen.



**Kuva 3.** Phoenix contact DC-DC -virtalähde.

Virtalähteen lähtöjännite on säädettävissä 18V:sta 29,5V:iin riippumatta sisääntulojännitteen suuruudesta kunhan se ei alita 19,2V. (8.)

### 2.6.1 Siemens S7-1212 DC/DC/relay -keskusyksikkö

Työssä käytetään Siemensin valmistamaa S7-1212 DC/DC/Relay -keskusyksikköä, joka kuuluu Siemens simaticin S7-1200 -sarjaan. Ohjaimen on tarpeen mukaan mahdollista liittää monipuolisesti erilaisia laajennuskortteja tilanteissa, joissa ohjaimen sisäänrakennetut I/O-liitännät tai toiminnot eivät riitä.



**Kuva 4.** Siemens S7-1212 -sarjan logiikka (9)

S7-1212 DC/DC/Relay -ohjain pitää sisällään 8 kpl digitaalista- ja 2 kpl analogista sisääntuloja. Digitaalisia lähtöjä ohjaimessa on 6 kpl. Keskusyksikkö (CPU) toimii logiikan aivoina, missä kaikki tiedonkäsittely tapahtuu. (10.)

### 2.6.2 SM 1231 analog input

Siemensin S7-1212 DC/DC/relay logiikkaohjaimessa on kaksi sisäänrakennettua analogista tuloa. Tässä työssä tarvittiin useampia analogisia mittaustietoja, jolloin logiikan laajennus analogisella tulomoduulilla oli välttämätöntä. Päädyimme Siemensin valmistamaan SM 1231 8x13bit analog input -moduuliin. Moduulissa on 8kpl analogisia sisääntuloja, joissa viestialueet ovat valittavissa joko 4-20 mA tai 0-10V. (11.)



**Kuva 5.** SM 1231 analoginen sisääntulo laajennuskortti (12)

### 2.6.3 Siemens CP 1242-7 telecontrol -kortti

Aggregaattivaunua on tarkoitus pystyä hallitsemaan ja valvomaan tekstiviestien avulla. Siemensin 1200 -sarjaan on liitettävissä CP 1242-7, mikä mahdollistaa GPRS-tiedonsiirron GSM-verkossa.

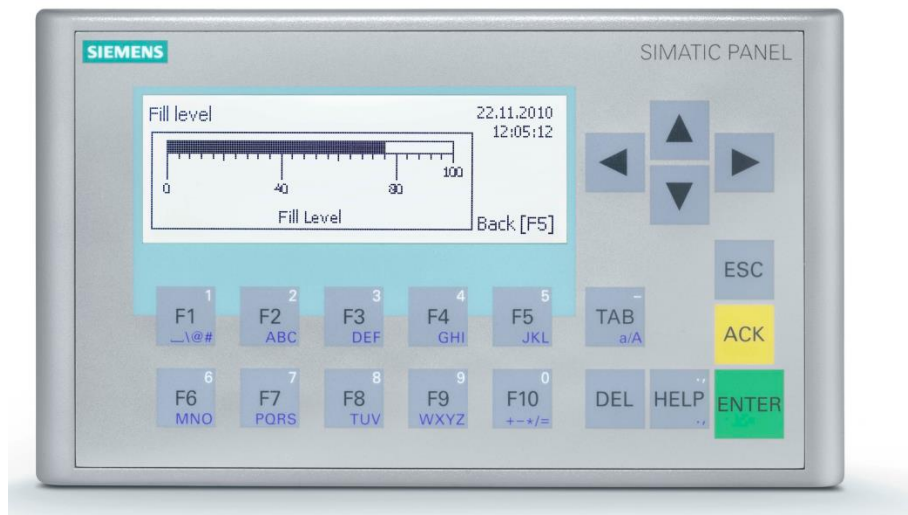


**Kuva 6.** CP-1242-7 (13)

Tässä sovelluksessa kortilta vaaditaan kykyä vastaanottaa ja lähettää tekstiviestejä, jotka mahdollistavat aggregaattivaunun tarkkailun ja hallinnan etänä. Kyseinen kortti mahdollistaisi myös logiikan etähuollon, mikä mahdollistaisi vaikka ohjelmamuutoksien lataamisen etänä logiikalle. (14.)

#### 2.6.4 KP300 Basic mono HMI

Järjestelmään asennettiin Siemensin KP300 Basic mono HMI (Human Machine Interface) minkä avulla laitteen hallinta onnistuu paikanpäällä ilman, että tietokonetta liitetään logiikkaan. KP300 kuului niin ikään CPU:n ja TIA:n ohella Siemensin aloituspakettiin. Se on Siemensin yksinkertaisimpia HMI-malleja, mutta täysin riittävä suorittamaan toiminnot jotka siltä tässä sovelluksessa vaaditaan.



**Kuva 7.** Siemens KP-300 HMI (15)

KP300:ssa on 3,6 tuumainen nestekidenäyttö sekä painikkeita, joiden taakse voidaan ohjelmoida erilaisia komentoja. Näyttöpäätte toimii 24 V jännitteellä, mikä otetaan suoraan pääakulta. Näyttö liitetään logiikkaan RJ-45 -liittimellä ja se käyttää PROFINET-väylää. (16.)

#### 2.7 Mittalaitteet

Aggregaattivaunun sähkönsyötönautomaation toiminta perustuu analogisiin mittaustietoihin. Analogiset mittatiedot liitetään logiikan analogisiin sisääntuloihin. Pääakuston jännitemittaus määrää aggregaatin ja samalla akunlatauksen



käynnistyksen. Kun akkujännite laskee alle logiikassa määritellyn tason, käynnistyy aggregaatti, jonka generaattori alkaa tuottaa sähköä latauksensäätimelle. Kylmillä ilmoilla voidaan aggregaattia lämmittää ennen sen käynnistämistä esilämmittimellä. Esilämmittimen käytön rajalämpötila määritellään logiikassa. Oletuksena työssä on 0°C.

### 2.7.1 Jännitteenmittaus

Työssä jännitettä mitataan sekä pääakustosta että aggregaatin starttiakulta. Pääakuston jännite on 24 V ja starttiakun 12 V. Jännitetietoa mitattaessa ei tarvita erillistä lähetintä viestin viemiseksi logiikkaan. Logiikan analogiset sisääntulokanavat voidaan säätää tunnistamaan 0-10 V. Tässä työssä molemmat mitattavat jännitearvot ylittävät 10 V kattojännitteen, joten jännitteitä jouduttiin pudottamaan jännitteenjakomenetelmällä.

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} * U_T = U_R \quad (5)$$

Jossa:

$R_1 \& R_2$  = Vastuksien resistanssiarvot [ $\Omega$ ]

$U_t$  = Kokonaisjännite [V]

$U_r$  = Vastuksen yli vaikuttava jännite [V]

Starttiakun jännite pudotettiin käyttämällä kahden vastuksen jännitteenjakomenetelmää. Vastuksiksi valittiin kaksi identtistä 1,5 k $\Omega$  vastusta, jolloin jännite kaavan mukaan puolittuu.

esim. Mittausviesti, kun starttiakun jännite on 12V

$$\frac{1,5 \text{ k}\Omega}{1,5 \text{ k}\Omega + 1,5 \text{ k}\Omega} * 12 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

Pääakuston jännitteenjako toimii vastaavasti. Jako on vain suoritettu kolmella vastuksella, jolloin vastusjännite putoaa kolmasosaan kokonaisjännitteestä. Jännitteenjako huomioidaan ohjelmassa kertomalla mittausrvo starttiakun tapauksessa kahdella, ja pääakunjännite kolmella. Jännitemittauksen tarkkuuteen vaikuttaa käytettyjen vastusten toleranssi. Työssä käytettiin 10 %:n toleranssiluokassa olevia perusvastuksia. Oppilaitoksen yleismittareilla mitattuna, eroavaisuuksia käytettyjen vastusten vastusarvojen välillä ei juuri ollut, joten vastusten tarkkuus todettiin riittäväksi tähän projektiin. Jännitteiden mittaukseen on valittu suuret vastukset, etteivät mittaukset turhaan kuluttaisi akkujen kapasiteettia.

Starttiakun jännitemittauksen vaatima teho:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (6)$$

$$P = \frac{12V^2}{1,5k\Omega + 1,5k\Omega} = 48mW$$

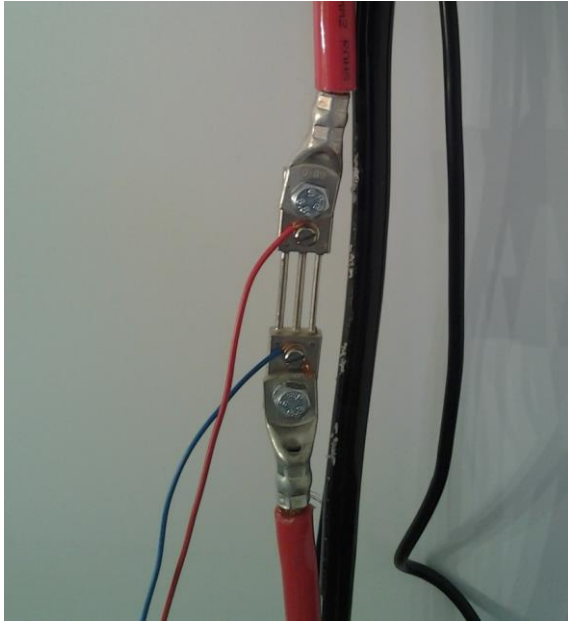
Pääakuston jännitemittauksen vaatima teho:

$$P = \frac{24V^2}{1,5k\Omega + 1,5k\Omega + 1,5k\Omega} = 128mW$$

(4.)

## 2.7.2 Virtamittaus

Akuston latauksen ollessa käynnissä latausvirran suuruutta mitataan shunttivastuksen avulla.



**Kuva 8.** Shunttivastus liitettynä akkujohtoon.

Työssä käytetty shunttivastus on arvoltaan 100 A/60 mV. Merkinnät tarkoittavat, että 100 A:n latausvirralla vastuksen yli vaikuttaa 60 mV:n jännite. Tästä saadaan laskettua ohmin lain avulla shunttivastuksen resistanssi.

$$U = I * R \quad (7)$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{60\text{mV}}{100\text{A}} = 0,6\text{m}\Omega$$

Jossa:

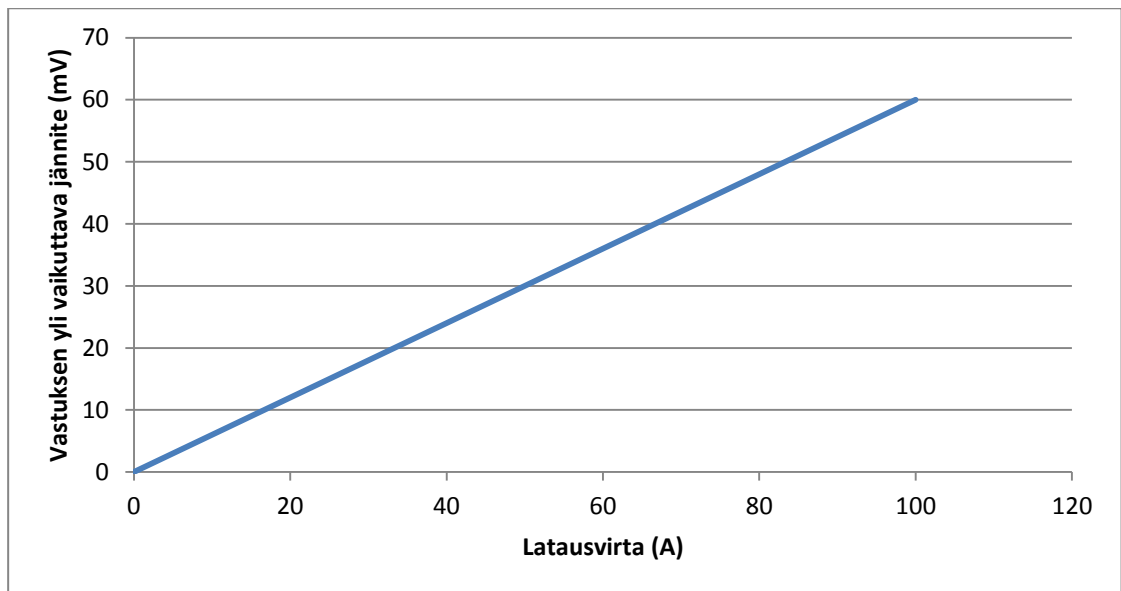
$U$  = Jännite [V]

$R$  = Vastus [ $\Omega$ ]

$I$  = Virta [A]

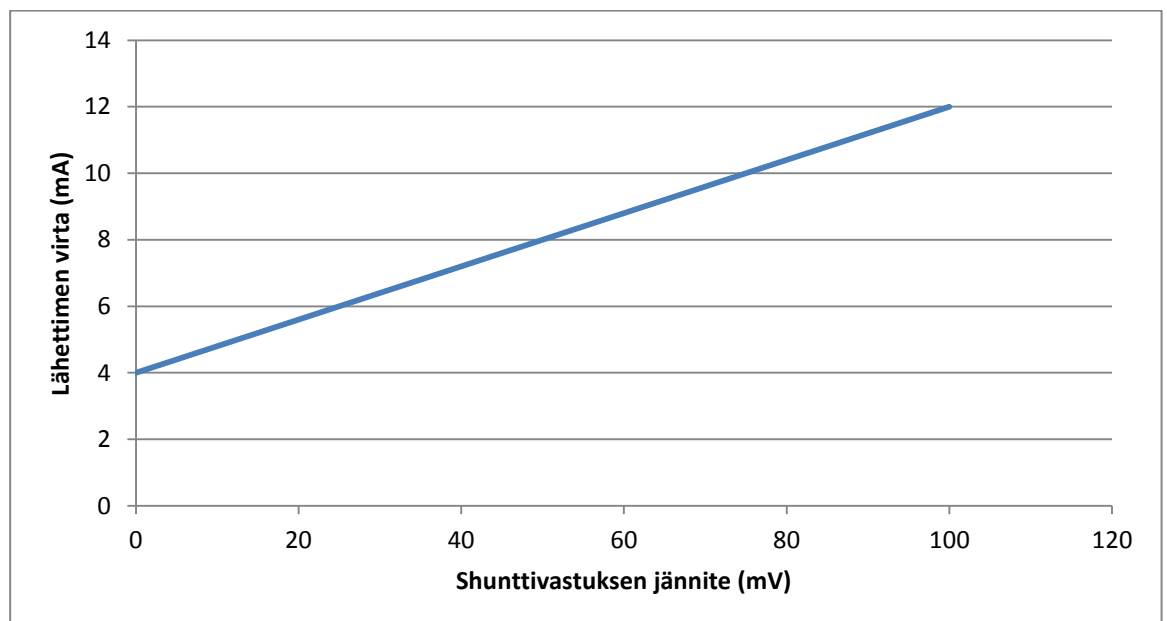
Latausvirtaa mitattaessa tarkasteltava suure on vastuksen yli vaikuttava jännite.

Jännite muuttuu lineaarisesti virran suhteen ohmin lain mukaan. (**Taulukko 1**) (4.)



**Taulukko 1.** Shunttivastuksen jännite latausvirran funktiona.

Shunttivastus on liitetty INOR IPAQ-H lähettimeen, joka on konfiguroitu lähettämään 4-20mA virtaviesti 0-100mV jännitealueella. (**Taulukko 2**)

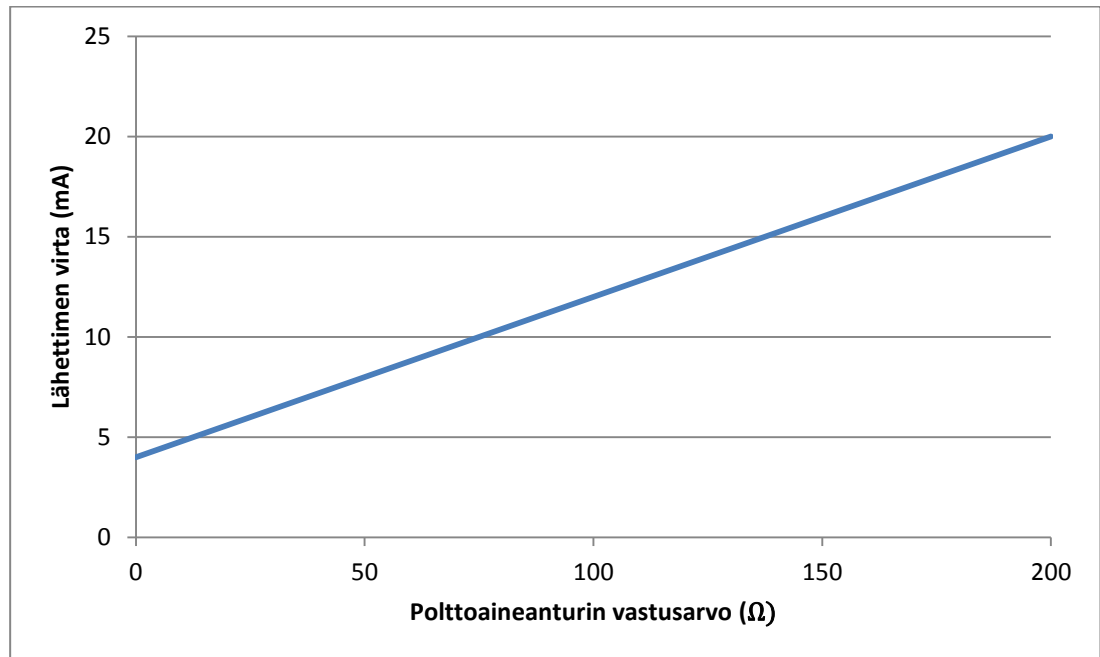


**Taulukko 2.** Lähettimen virta shunttivastuksen jännitteen funktiona.

### 2.7.3 Polttoainemittaus

Polttoainemäärän mittaus perustuu polttoainesäiliön sisällä pinnankorkeuden mukana kelluvan kohon liikkeeseen. Koho liikkuu nestein pinnan mukana sen noustessa ja laskiessa. Koho liikkuessaan liikuttaa liukuvastuksen hilaa, joka muuttaa kohon

mukana vastuksen resistanssiarvoa. Polttoainesäiliön mukana ei tullut mitään dokumentteja tai ohjekirjaa polttoainemittarin raja-arvoista, joten irrotin mittariosan tankista ja mittasin vastusarvot kohon ala-, ja yläasennossa. Vastusarvoksi ala-asennossa saatiin  $8 \Omega$  ja yläasennossa  $190 \Omega$ . INOR IPAQ-H lähetin on kalibroitu lähettämään 4-20mA virtaviesti vastusalueella 0-200 $\Omega$  (Taulukko 3).



**Taulukko 3.** Lähettimen virta polttoaineanturin vastusarvon funktiona

#### 2.7.4 Lämpötilanmittaus

Aggregaattivaunussa lämpötilaa mitataan kahdesta eri paikasta. Toinen lämpötilaantureista on sijoitettu aggregaatille varattuun koteloituun tilaan, ja toinen anturi mittaa vaunun ulkopuolista lämpötilaa. Molemmat anturit ovat tyypiltään Pt100 -antureita, joiden toiminta perustuu resistanssin muutokseen ympärillä vallitsevan lämpötilan muuttuessa. Pt100 -anturin ominaisresistanssi on  $100 \Omega$ ,  $0^\circ\text{C}$ :ssa.

Käytettävät anturit ovat luokkaa Pt100-C, joten niiden resistanssinmuutos lämpötilan suhteen on  $0,0035 \Omega/^\circ\text{C}$ . Lämpötilamittauksissa käytettävät INOR IPAQ-H -lähetimet asetettiin sopiviksi Suomen lämpötilaolosuhteisiin, välille  $-50^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}$ . (17.)

### 3 LOGIIKAN OHJELMOINTI

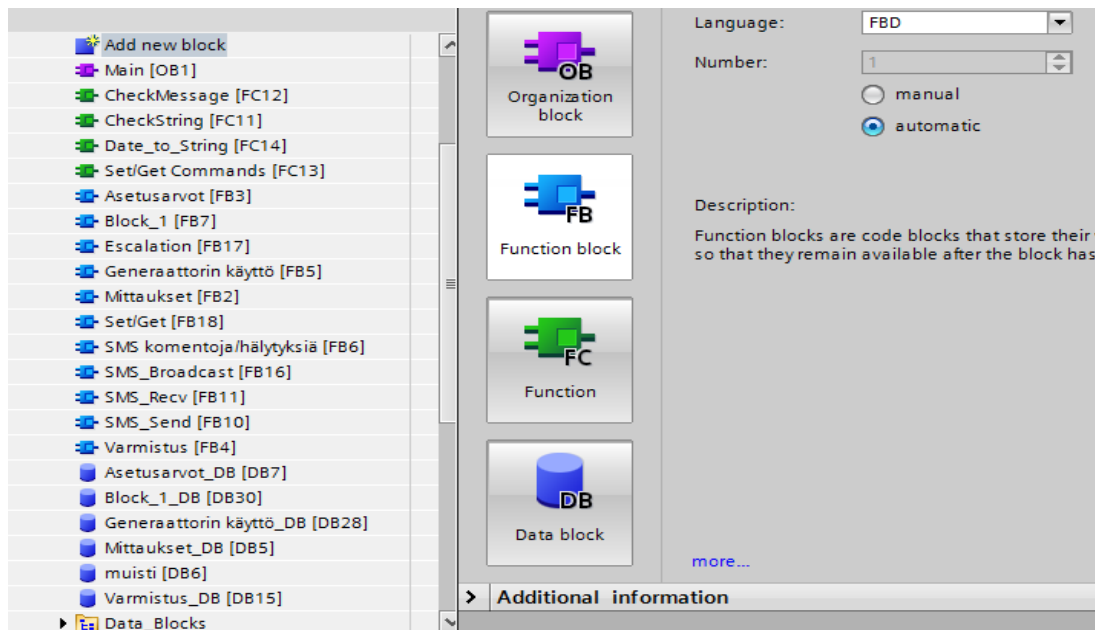
Siemensin logiikoita ohjelmoidaan STEP 7 -nimisellä ohjelmalla, joka kuuluu mukana tulleeseen TIA (totally integrated automation) kokonaisuuteen. TIA pitää sisällään myös WinCC -ohjelman, jonka avulla voidaan ohjelmoida HMI:tä. Ohjelmointi voidaan suorittaa kolmella eri ohjelmointikielellä. LAD (ladder diagram) ja FBD (function block diagram) ovat molemmat graafisia esitysmuotoja jotka ovat selkeytensä vuoksi yleisimpiä esitystapoja. Kolmas tapa ohjelmoida logiikkaa on SCL (structured control language), joka on tekstipohjainen komentoihin perustuva ohjelmointikieli. SCL:llä käytetään varsinkin pitkiä merkkijonojen kanssa, joiden käsittely muilla ohjelmointitavoilla on hankalaa.

Tässä työssä pääohjelma on ohjelmoitu FBD kielellä, jonka lisäksi tekstiviestikomennoissa on käytetty SCL-kieltä. (9.)

#### 3.1 Ohjelman rakenne

TIA:n STEP 7:ssa käyttäjällä on valittavissa neljä erilaista lohkovaihtoehtoa, joita yhdistelemällä muodostetaan ohjelma. Käytettävissä olevat lohkot ovat:

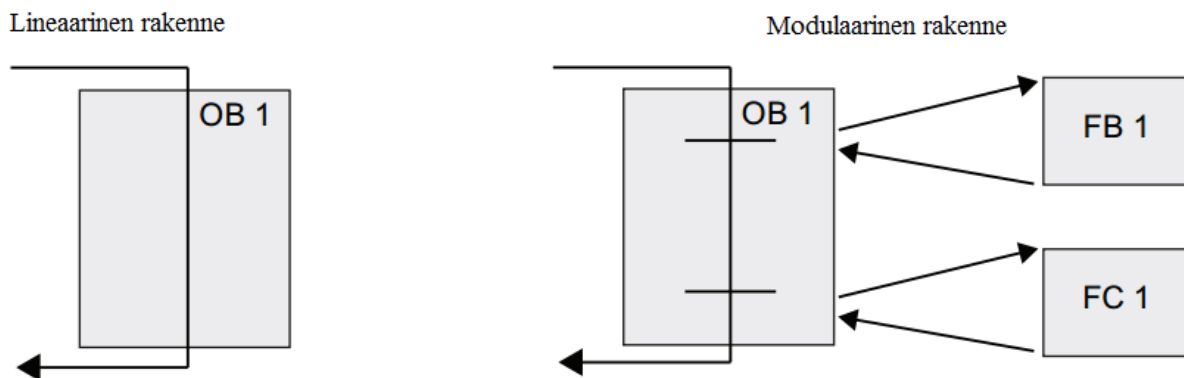
- Organisation block (OB), joka pitää sisällään ohjelman rungon. OB:t toimivat ikään kuin ohjelman sisällysluettelona, mistä pääsee helposti käsiksi ohjelman eri kohtiin. Ohjelmaan voidaan lisätä useampia OB:ita suorittamaan esimerkiksi käynnistys- tai keskeytyskomentoja.
- Function (FC) sisältää yleensä yksittäisen komennon tai toiminnon perustuen input -tietoihin. FC käyttää väliaikaista muistia, mihin tieto tallennetaan laskutoimituksia varten. Muisti pyyhkiytyy, kun ohjelma on käynyt FC:n läpi.
- Function block (FB) toimii kuten functiot, mutta niillä on omat data blockit mihin tieto tallentuu, mistä se ei häviä ohjelman käytyä FB:n läpi. STEP 7 luo automaattisesti function blockeihin viittaavat data blockit, function blockeja luodessa
- Data block (DB) on tietopankki mihin voidaan tallentaa, ja mistä voidaan käyttää tallennettua tietoa, missä vaiheessa ohjelmaa tahansa. Data blockeihin ei kirjoiteta ohjelmaa, vaan niihin säilötään mittaus- ja tilatietoja muista ohjelmalohkoista.



**Kuva 9.** Käytettävissä olevat lohkot (OB,FB,FC,DB) ja niiden symbolit.

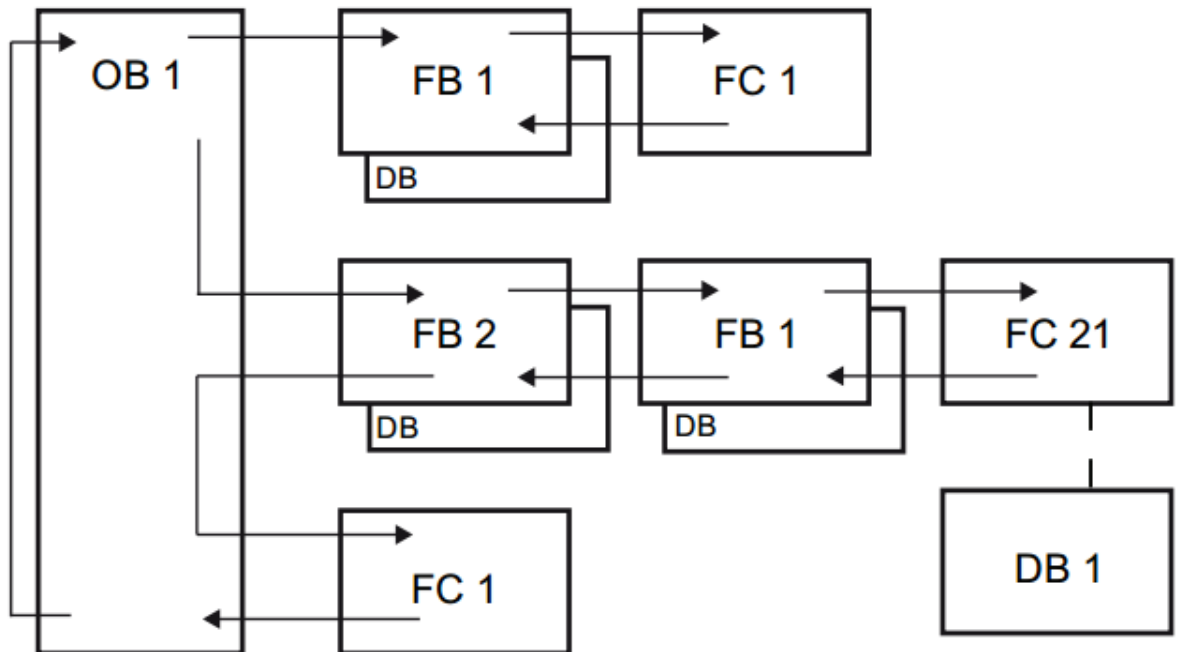
Ohjelmaa kirjoitettaessa voidaan valita joko lineaarinen tai modulaarinen rakenne. Linearisessa rakenteessa ohjelma kirjoitetaan yhteen ohjelmasykliin (program cycle (OB)). Lineaarista ohjelmointia käytetään yleensä lyhyissä ja yksinkertaisissa ohjelmissa.

Monimutkaisemmat ohjelmat tehdään yleensä modulaarista rakennetta käyttäen. Modulaarisessa rakenteessa, eri aliohjelmat (FB, FC) suorittavat määrättyjä komentoja joita kutsutaan pääohjelmasta. Ohjelma siis pilkotaan pienempiin kokonaisuuksiin, joka tekee siitä selkeämmän ja yksinkertaisemmän ymmärtää. Lisäksi hyvin suunniteltu ohjelma on helposti muokattavissa, kun sen osia voidaan poistaa tai päivittää uusilla lohkoilla.



**Kuva 10.** Lineaarisen ja modulaarisen ohjelmarakenteen eroavaisuudet.

Ohjelma etenee ylhäältä alaspäin kutsuen ja suorittaen aliohjelmat järjestyksessä. Aliohjelmista voidaan kutsua toisia aliohjelmiä. Tätä kutsutaan sisäkkäin sijoitteluksi (nesting)



**Kuva 11.** Modulaarinen ohjelmarakenne jossa pääohjelmasta kutsutaan aliohjelmiä. Nuoli osoittaa ohjelman kulkureitin. Sisäkkäin sijoittelun syvyys ohjelmassa on kolme kerrosta. (Pääohjelma (OB) + kolme kerrosta aliohjelmiä (FB/FC)). Data blockeja ei lasketa omaksi kerroksekseen, vaan ne toimivat lohkojen rinnalla.

Modulaarisen ohjelmoinnin etuja ohjelman selkeyttämisen lisäksi ovat:

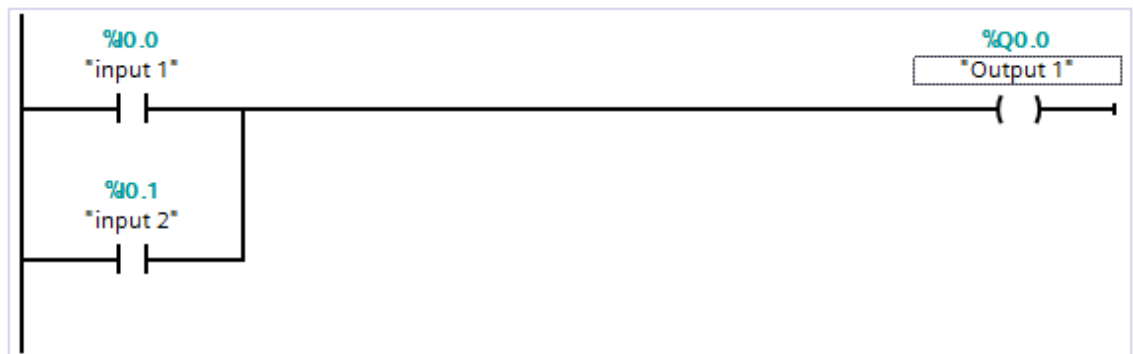
- Moduuleiden monikäyttöisyys, moduuleita voidaan käyttää uudelleen eri vaiheissa ohjelmaa. Kuten kuvassa (**Kuva 11**) FB 1 esiintyy kahdessa eri ohjelman kohdassa.
- Ohjelman osat voidaan ohjelmoida suorittamaan tietyn funktion, jolloin osien editointi ja hallinta helpottuu, sekä osia voidaan poistaa tai lisätä helposti ohjelmaan.
- Ohjelman toiminnan testaus, ja virheenetsintä on nopeampaa, kun ohjelma rakennetaan moduuli kerrallaan. Tällöin ohjelman toimintakin voidaan testata moduuli kerrallaan.



Tässä työssä on käytetty moduulista rakennetta ohjelman monimutkaisuudesta johtuen. Ohjelman syvyys on kaksi kerrosta ja se koostuu yhdestä OB:sta, 11 FB:stä ja 4 FC:stä. (10.)

### 3.2 Ladder logic

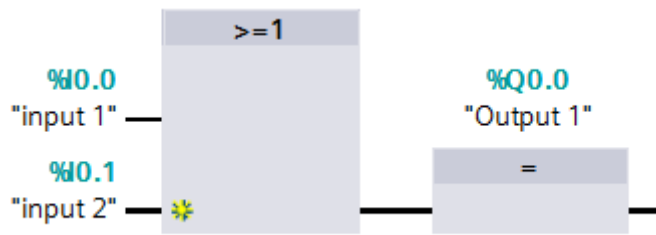
Ladder logic, eli tikapuulogiikka on oletusasetuksena STEP 7:n ohjelmointikielistä. Tikapuukaavio perustuu graafiseen esitysmuotoon, jossa logiikasta muodostetaan ikään kuin sähköisiä piirikaavioita. (18.)



**Kuva 12.** Esimerkki Ladder-ohjelmointikielillä toteutetusta ohjelmasta. Kumman tahansa inputeista saavuttaessa tilan 1 kytkeytyy Output 1 päälle.

### 3.3 Function block diagram

Function block diagram (FBD) on niin ikään graafinen ohjelmointikieli, joka perustuu Boolean algebraan. Tässä työssä on pääosin käytetty FBD -lohkokaavioita esitystavan selkeyden ja aikaisemman kokemuksen takia.



**Kuva 13.** FBD-ohjelmoinnilla toteutettu boolean algebran OR-operaatio. Kumman tahansa inputeista saavuttaessa arvon 1, saavuttaa output 1 tilan 1.

### 3.4 Structured control language

Kolmas kieli ohjelmoida logiikoita on SCL, eli Structured Control Language. Kahdesta aiemmasta poiketen se on PASCAL:iin pohjautuva tekstimuotoinen ohjelmointikieli. SCL kielessä käytetään PASCAL:sta tuttuja IF-THEN-ELSE rakenteita.

```

0091 END_IF;
0092
0093 #Pos :=FIND(IN1:=#Data, IN2:='jännite=');
0094 IF #Pos <> 0 THEN
0095     #Found := True;
0096     "muisti".jännitebitti:= TRUE;
0097     #Pos := #Pos + LEN('jännite');
0098     #Temp :=RIGHT(IN:=#Data, L:=(LEN(#Data)- #Pos));
0099     #Value :=STRING_TO_REAL(#Temp);
0100     "SMS_jännite" := #Value;
0101
0102     #Msg := CONCAT(IN1:=#Msg, IN2:='Kaynnistysjännite:');
0103     #Msg := CONCAT(IN1:=#Msg, IN2:=REAL_TO_STRING(#Value));
0104     #Msg := CONCAT(IN1:=#Msg, IN2:=' V');

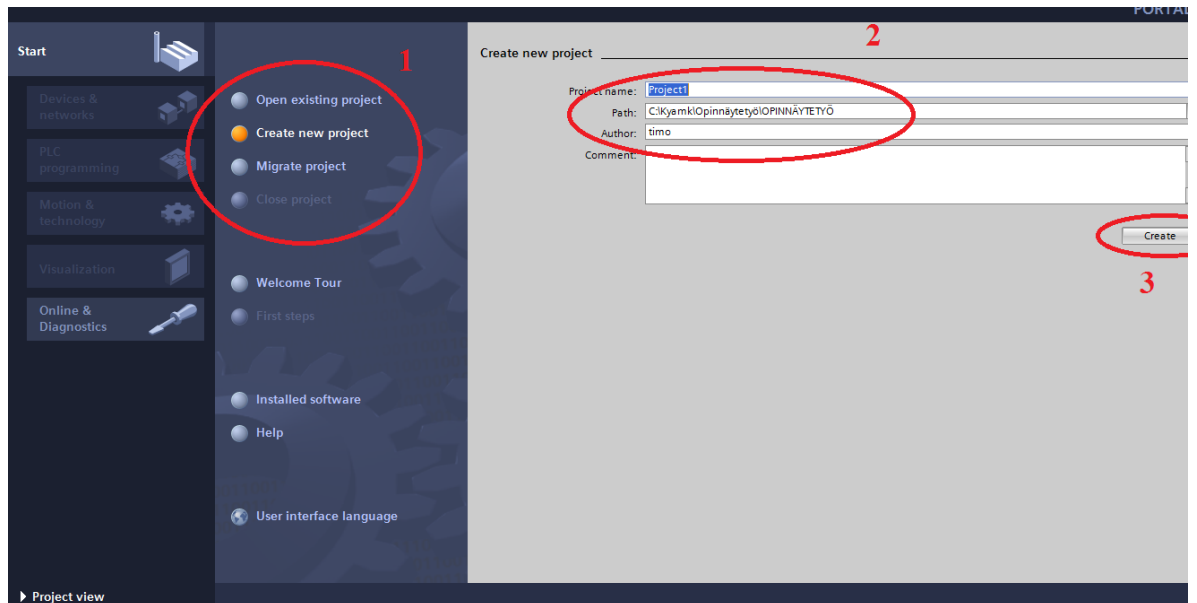
```

**Kuva 14.** Esimerkki SCL-ohjelmasta. Ohjelmassa asetetaan jännitearvo SMS-viestillä. Ohjelma lähettää varmistuksena asetetun jännitearvon paluuviestillä.

### 3.5 Ohjelman luominen TIA STEP 7:lla

Ohjelman käynnistyttyä ensimmäisenä avautuu Project view -ikkuna (**Kuva 15**), jossa luodaan uusi projekti klikkaamalla kohdan 1 Create new project -valikkoa. Kohdassa

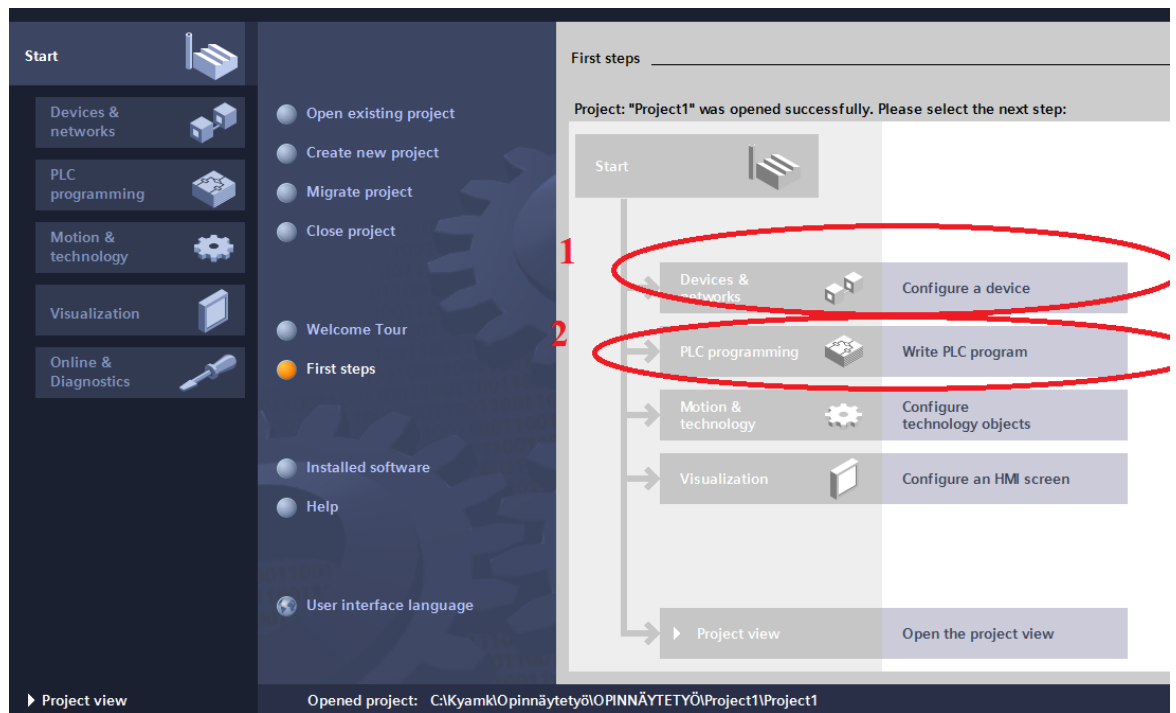
2 annetaan projektille nimi, sekä polku mihin se halutaan tallentaa. Painamalla Create -nappia kohdassa 3, ohjelma luo uuden projektin haluttuun polkuun.



**Kuva 15.** Projektin luominen TIA portalilla

Kun projekti on luotu, aukeaa kuvan (**Kuva 16**) mukainen valikko. Sama valikko aukeaa myös jos edelliseltä ruudulta valitsee avattavaksi jo aiemmin luodun projektin, kohdasta Open existing project (**Kuva 1****Kuva 15**).

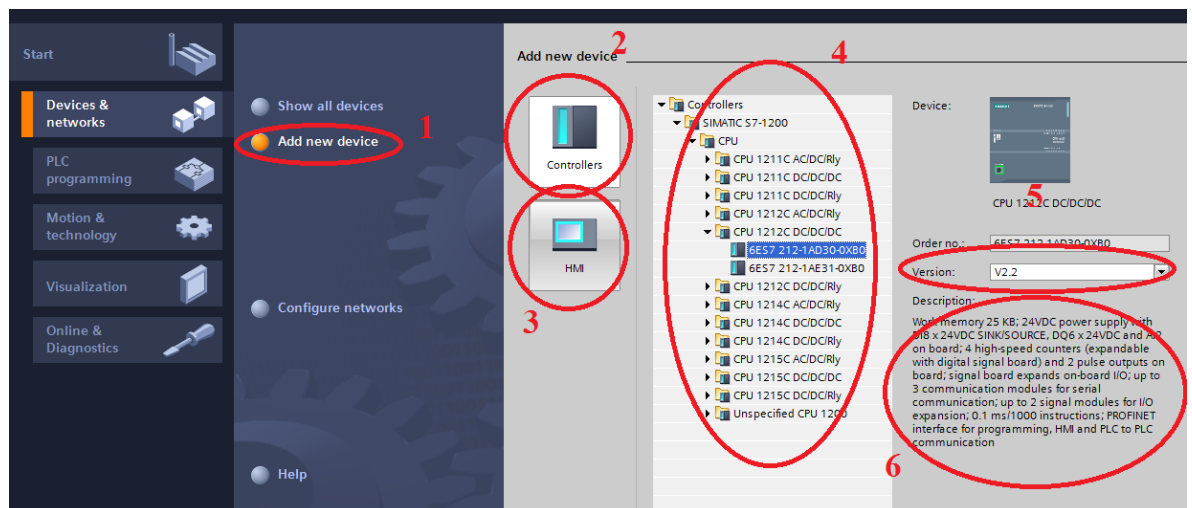
Kuvan (**Kuva 16**) valikosta päästään tekemään laitekonfiguraatit klikkaamalla kohtaa 1 Configure a device. Jos projekti on jo aikaisemmin luotu ja sen muokkaamista jatketaan, on laitekonfigurointi todennäköisesti jo tehty, ja voidaan jatkaa suoraan kohtaan 2 Write PLC program.



**Kuva 16.** Avattu projekti

Valitsemalla kohta 2 Configure a device -valikko aukeaa laitekonfigurointi-ikkuna (Kuva 17).

### 3.6 Laittekonfiguraatio TIA STEP 7:lla

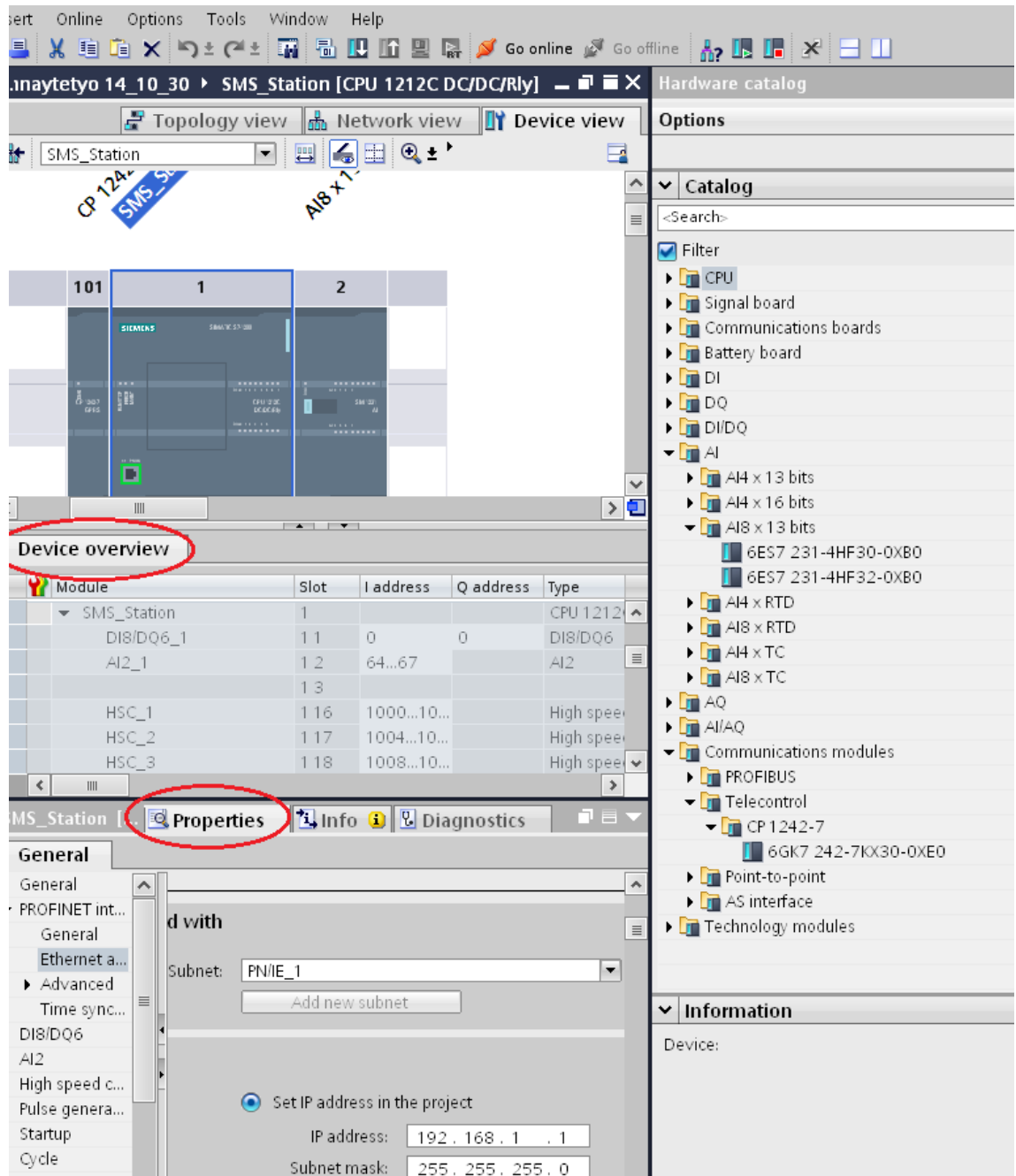


**Kuva 17.** Laitteen konfigurointi

Jos projektiin ei ole aikaisemmin asetettu laitteita, valitaan kohta 1 Add new device, ja etsitään luettelosta oikea CPU eli logiikkaohjain (kohta 4). Logiikkaohjainta valitessa on tärkeää, että se valitaan oikealla sarja- ja versionumerolla (kohta 5). Sarja- ja

versionumeron löytää yleensä fyysisen laitteen kyljestä, tai sen päällä olevan läpän alta. Kohdassa kuusi on yhteenvedo logiikan ominaisuuksista.

Jos projektiin kuuluu HMI, voidaan se valita painamalla kohtaa 3, ja valitsemalla avautuvasta valikosta oikea malli.



**Kuva 18.** Device configuration -valikko

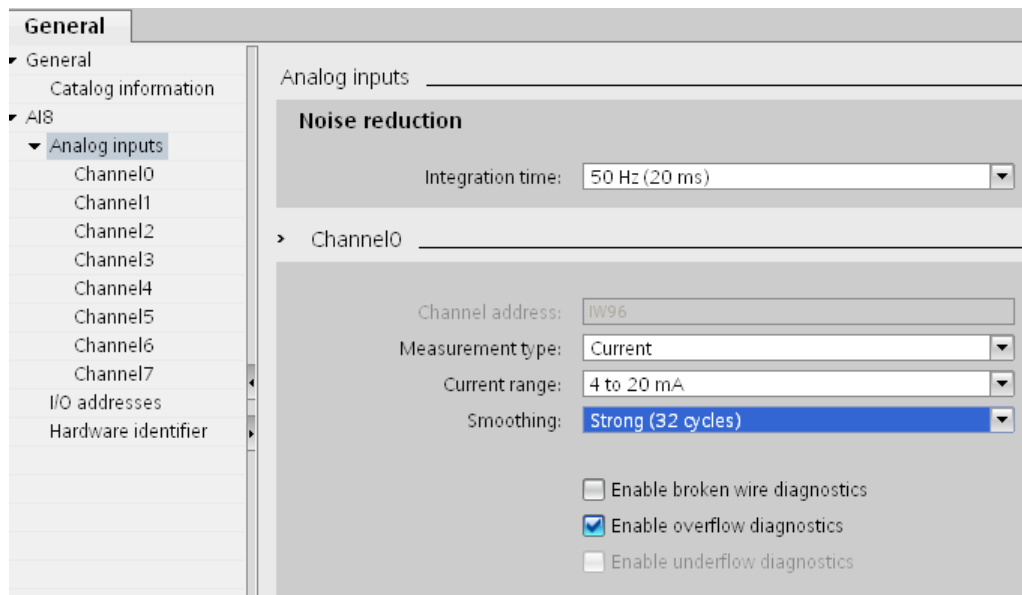
Kun oikea CPU on valittu, avautuu Device configuration -ikkuna (**Kuva 18**). Tältä välilehdeltä voidaan logiikkaohjaimen rinnalle tarvittaessa lisätä laajennusosia. Tässä työssä CPU:ta laajennettiin SM1231 -analogisella tulokortilla, sekä CP1242-7

telecontrol -kortilla. Kortit saadaan lisättyä ohjelmaan kaksoisklikkaamalla niitä kuvan oikealla reunalla sijaitsevasta valikosta. Kortit ilmestyvä näytölle automaattisesti oikeille paikoilleen CPU:n viereen, aivan kuin osat ovat liitetty toisiinsa todellisuudessakin. Samalta Device configuration -sivulta löytyvät välilehdet Device overview sekä Properties.

Ylemmältä, Device overview -välilehdeltä löytyvät ohjelman automaattisesti määrittelemät I/O-porttien osoitetiedot. Osoitepaikkojen numerointia voidaan halutessa muokata mieleiseksi, mutta yleensä niiden muokkaaminen ei ole tarpeellista.

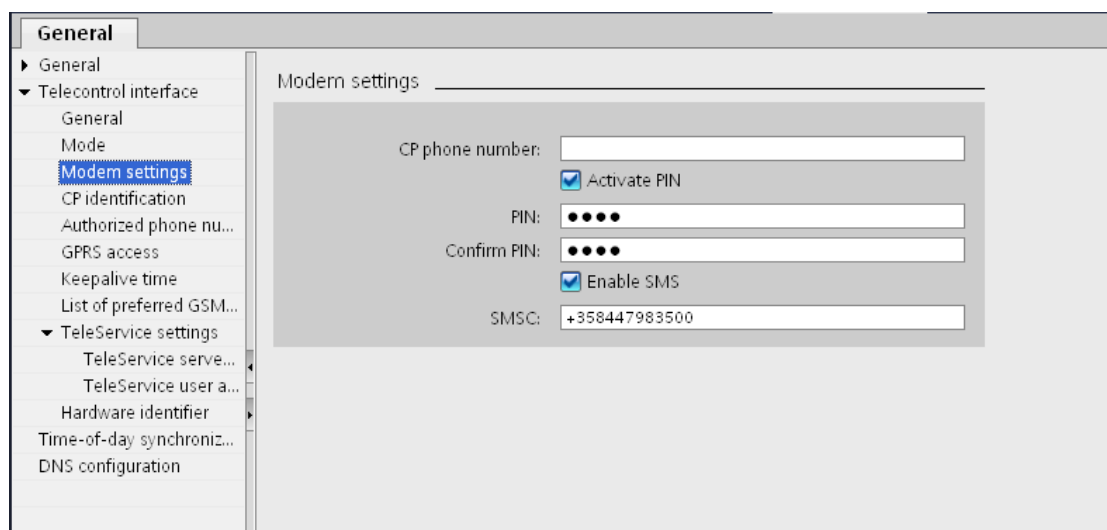
Properties -välilehdellä määritellään asetukset CPU:lle sekä laajennuskorteille. Asetuksia määritettäessä, kuvan (**Kuva 18**) yläreunan logiikasta aktivoidaan se laite mille asetukset halutaan määritellä. Kuvassa on aktivoituna CPU. Aktivoinnin tunnistaa logiikan ympärillä olevasta sinisestä kehyksestä. CPU:lle asetettavia tärkeitä asetuksia ovat IP -asetukset, sekä aliverkon peitteen asetukset. Logiikassa on käytössä IPV4-protokolla, jossa IP-osoite määritellään neljällä kolmen numeron sarjalla. Osoitteen tulee olla kolmelta ensimmäiseltä numerosarjalta sama kuin verkkokortille on asetettu. Viimeisessä numerosarjassa täytyvät olla eri luvut. Päällekkäisistä numeroista aiheutuu ristiriitoja verkkoon, eivätkä laitteet kykene kommunikoimaan keskenään. (20.)

Analogisen sisääntulokortin asetuksia pääsee muokkaamaan aktivoimalla sitä esittävän mallin. Tärkeitä asetuksia ovat lähinnä viestialueet, mitkä millekin kortin kanavalle halutaan tuoda, vaihtoehtoina ovat joko jännite tai virta. Jännitealueita on valittavissa: 0-10 V (tyypillisin), 0-5 V tai 0-2,5 V. Virtaviesti vaihtoehdot ovat: 4-20 mA tai 0-20 mA. Ko. mallissa kanavat olivat valittava jommallekummalle viestialueelle pareittain, eli jos kanavan yksi valitsi virtaviestille, niin myös kanava kaksi oli virtaviestiä varten.



**Kuva 19.** Analogisen sisääntulokortin asetukset

CP 1242-7 tekstiviestilaajennuskortin asetuksia pääsee muokkaamaan aktivoimalla sitä esittävän mallin (**Kuva 17**). Tärkeitä asetusarvoja ovat kuvassa (**Kuva 19**) näkyvät PIN ja SMSC -asetukset. PIN-asetuksiin syötetään SIM-kortin PIN-koodi kahteen kertaan, ja SMSC -kenttään liittymän tekstiviestikeskuksen numero.

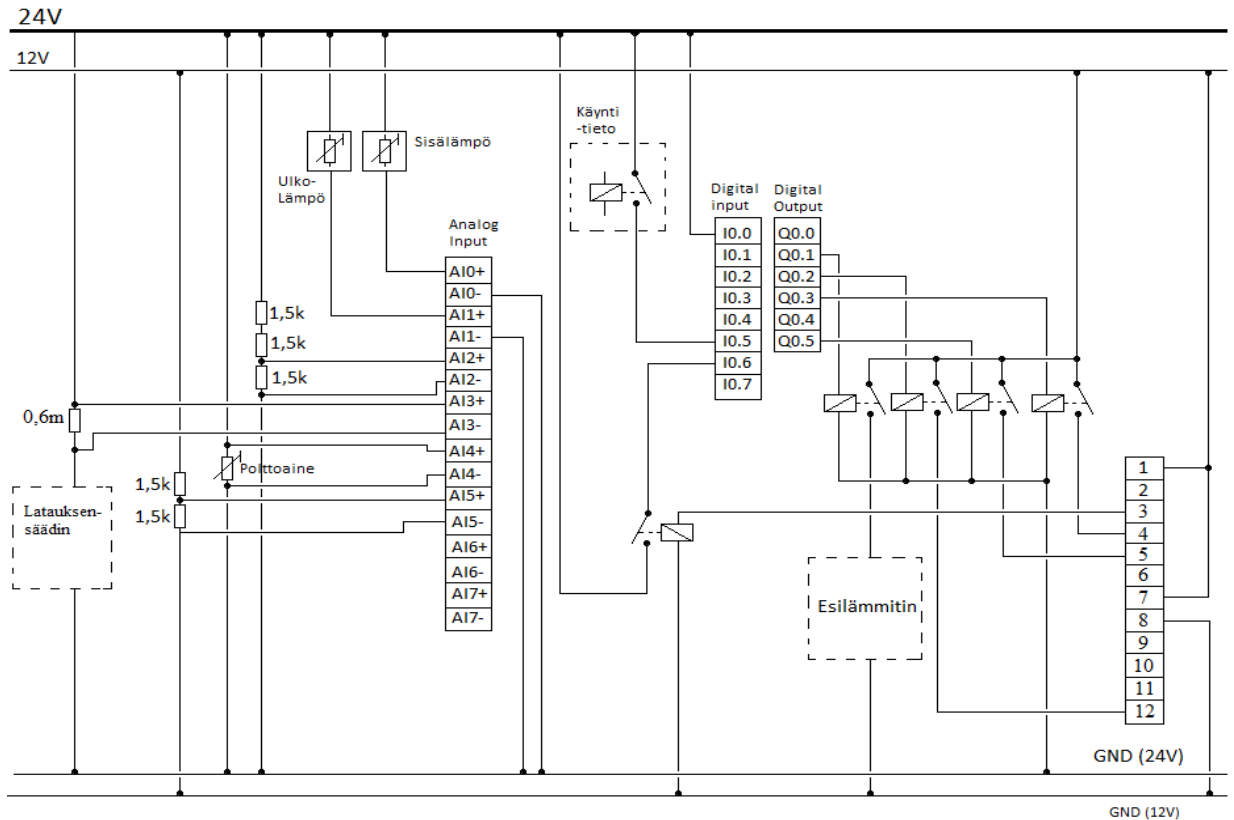


**Kuva 20.** CP 1242-7 asetukset

Kuvan vasemmassa reunassa näkyvästä authorized phone numbers -valikosta aukeaa ikkuna, mihin voidaan asettaa numerot, joista laitetta pystyy hallitaan. Jättämällä kaikki kentät tyhjiksi tekstiviestihallinta voidaan suorittaa mistä tahansa puhelinliittymästä. Alkuasetukset suoritettua voidaan aloittaa logiikan ohjelmointi, mitä käsiteltiin jo kohdassa 3.3. (1.) (3.)

## 4 LOGIIKAN KYTKENNÄT

Logiikka ja sitä ympäröivä sähköistys on jaettu kytkentäjännitteen mukaan kahteen toisistaan erilliseen virtapiiriin. Pääkustolta (+24V) otetaan logiikan käyttöjännitteen lisäksi myös jännite analogisia mittauksia varten. Starttiakun (+12V) jännitteellä suoritetaan moottorinohjaustoiminnot. Virtapiirit ovat täysin erotetut toisistaan, myös maapotentiaalit ovat erillisiä maavirtojen välttämiseksi.



**Kuva 21.** Logiikan ja mittalaitteiden sähköiset kytkennät

### 4.1 Logiikan liitännät

Logiikka, sen laajennusosat, releet ja lähettimet ovat kaikki kiinnitetty DIN-kiskoon ja kisko tukevasti ruuveilla kytkentäkotelon pohjalle. Logiikassa ja laajennuskorteissa on sivuilla liittimet, jotka luovat väylän toistensa välille. Laajennuskorttien liittäminen yhteen onnistuu helposti, asettamalla ne vain paikoilleen. Mitään asetuksia ei tarvitse logiikalle erikseen asettaa, vaan se tunnistaa kortit automaattisesti.



## 4.2 Moottorin ohjaus

Hatz -moottorille on oma 12 nastainen liitin, jolla suoritetaan moottorin ohjaus.

Liittimen nastat ovat numeroitu ja kytketty kuvan (**Kuva 22**) mukaisesti

Laturi +12V	Latauksen merkkiv	Öljynpaineen antu	Generaattorin käyr	Fuel sol	-	Käyttöjännite +12	GND				Lämpötilasensori	Hehku
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

**Kuva 22.** Generaattorin ohjauksen nastat

1. Laturi +12V: Generaattorin käynnistyessä, jännite nastassa yksi kohoaa n. +14v:iin. Nasta 1 kytketään käyttöjännitteeseen, eli akun positiiviseen napaan, nastaan nro. 7.
2. Latauksen merkkivalo: Latauksen käynnistyessä, nastan 2 jännite nousee 12V:iin. Nastaan voidaan kytkeä merkkivalo, joka antaa visuaalisen signaalin käyttäjälle, akunlatauksen käynnissä olon merkiksi. Nasta 2 on jätetty kytkemättä tässä sovelluksessa.
3. Öljynpaine: Nasta kadottaa yhteyden maahan öljynpaineen kohotessa, käynnistyksen yhteydessä. Nastassa vaikuttaa normaalisti 12 V jännite.
4. Käynnistys: Starttireleelle syötetään 12 V jännite kunnes moottori on käynnistynyt.
5. Fuel Sol 12 V: Polttoaineensyötön solenoidi. Tarvitsee 12 V jännitteen moottorin käydessä.
6. -
7. +12V: Käyttöjännite kytkettynä starttiakun positiiviseen napaan.
8. 0 V: Akun nollopotentiaali, laitteen runko on kytketty nastaan 8.
9. -
10. -
11. Lämpötila sensori: Nastaan kytkeytyy 12 V:n jännite moottorin ylikuumentessa.
12. Hehku, hehkun nastaan kytketään ennen moottorin käynnistämistä 12 V jännite. Hehkun pulssinpituus on logiikalla säädetty 9 s:iin . Hehkun ohjauksessa käytetään relettä, jottei logiikan 24V jännite sekoittuisi moottorinohjauksessa käytettävän 12V kanssa. (11.)

## 5 LOGIIKAN TESTAUS

Logiikkasuunnittelun lähtökohtana oli saada venytettyä aggregaattivaunun huoltoväli mahdollisimman pitkäksi. Huolellisella logiikkasuunnittelulla huoltovälin pituuden määrää polttoainesäiliön tilavuus, sekä akkuihin kytkettävän kuorman suuruus. Latauksen pysäytysvirran suuruudella on suuri rooli polttoaineenkulutuksen suhteen. Kun akut alkavat lähestyä täyttä varausta, putoaa latauksensäätimen virta huomattavasti pienemmäksi, jolloin aggregaatti käy huonommalla hyötysuhteella. **(Kuva 23)** Akut ovat hyvä kuitenkin aina välillä ladata täyteen varaukseen, joten logiikka on ohjelmoitu varaamaan akut joka kymmenennellä kerralla täyteen.

### 5.1 Akuston kuormitus

Aggregaattivaunu on pääasiassa suunniteltu SOLAR -tuulimittauslaitteelle, jonka ottama teho on n. 100 W. Vaunua voidaan käyttää myös muihin sovelluksiin, jolloin kuorma voi olla kuinka suuri tahansa. Aggregaatin toimintaa testatessa akustoa kuormitetaan kuormalla, mikä kuluttaa akkukapasiteettia. Akkukapasiteetin laskeminen tarkoittaa käytännössä akkujännitteen laskua. Kuormitustilanteessa akkujännite alkaa pikkuhiljaa laskea. Kun jännite on laskenut alle asetetun kynnysjännitteen, käynnistyy moottori automaattisesti, käynnistäen samalla akuston latauksen. Kuormana testikäytössä käytettiin sarjaan ja rinnankytkettyjä auton ajovaloja, joita voitiin lisätä ja irrottaa kytkennästä saaden vaihtelua kuorman suuruuteen. Maksimikuormaksi kytkennällä saatiin 280W. Johdonsuojana käytetään 30 A sulaketta. Näin ollen suurin kuorma mitä akustolle voidaan kytkeä, saadaan laskemalla kaavan 2 mukaan:

$$P = U * I = 24V * 30A = 720W$$

### 5.2 Testikäyttö

Käytännön testit aloitettiin kytkemällä akustoon täysi 280W kuorma. Logiikka ohjelmoitiin lähettämään aina tekstiviestin aggregaatin käynnistyessä, sekä sen sammussa, mikä helpotti käytön valvontaa. Tekstiviesteissä näkyi generaattorin

käytön kellonajat minuutin tarkkuudella. Tekstiviestien avulla oli helppo kirjata ylös aggregaatin käynnissäolo- ja kuormitusajat. (**Taulukko 4**)

### 5.3 Tulosten tarkastelu

Generaattorin käyntiaika asettui ensimmäisten käyntikertojen jälkeen n. 1h 25min:iin. Käytön jälkeen pystyttiin kuormittamaan akkuja keskimäärin 5h 45min, kunnes generaattori taas käynnistyi. Taulukossa näkyy selvästi yksi muista mittauksista poikkeava tulos (mittaus nro.13), joka johtuu logiikan ohjelmasta, jossa joka 10 latauskerralla ladataan akut täyteen. Taulukon testeissä akunlatauksen pysäytysvirtana käytettiin 40 A, ja generaattorin käynnistymisen kynnysjännitteenä oli 24 V.

Mittaus	Kuorma (W)	Generaattorin Käynnistysaika	Generaattorin Sattumisaika	käyntiaika	kuormitus aika	Kuormituksen käyttämä Energia (kWh)
1	280	16:22:00	21:39:00	5:17:00		
2	280	2:06:00	5:04:00	2:58:00	4:27:00	1,25
3	280	11:47:00	13:46:00	1:59:00	6:43:00	1,88
4	280	19:56:00	21:47:00	1:51:00	6:10:00	1,73
5	280	3:44:00	5:21:00	1:37:00	5:57:00	1,67
6	280	11:01:00	12:30:00	1:29:00	5:40:00	1,59
7	280	18:09:00	19:41:00	1:32:00	5:39:00	1,58
8	280	1:30:00	3:02:00	1:32:00	5:49:00	1,63
9	280	8:54:00	10:21:00	1:27:00	5:52:00	1,64
10	280	16:07:00	17:23:00	1:16:00	5:46:00	1,61
11	280	23:14:00	0:35:00	1:21:00	5:51:00	1,64
12	280	5:56:00	7:13:00	1:17:00	5:21:00	1,50
13	280	12:16:00	18:47:00	6:31:00	5:03:00	1,41
14	280	3:02:00	4:31:00	1:29:00	8:15:00	2,31
15	280	10:38:00	12:06:00	1:28:00	6:07:00	1,71
16	280	17:58:00	19:20:00	1:22:00	5:52:00	1,64
17	280	1:02:00	2:25:00	1:23:00	5:42:00	1,60
18	280	8:07:00	9:28:00	1:21:00	5:42:00	1,60
19	280	14:59:00	16:17:00	1:18:00	5:31:00	1,54

**Taulukko 4.** Generaattorin testitulokset 280 W kuormalla

Taulukosta voidaan päätellä (**Taulukko 4**), että 24 V kynnysjännitteellä akuston kapasiteetista saadaan vain pieni osa käyttöön. Aikaisemmin (2.3) Akuston kapasiteetiksi laskettiin 10,56 kWh. Taulukon mukaan siitä saatiin hyödynnettyä vain n. 1,6 kWh, kunnes aggregaatti jännitteenputoamisen myötä taas käynnistyi.

$$\frac{1,6kWh}{10,56kWh} \sim 15\%$$

Prosentuaalisesti akuston kapasiteetistä saatiin hyödynnettyä vain n. 15%. Toisaalta akustoa ei missään vaiheessa varattu aivan täyteen vaan aggregaatti pysäytettiin virran alittaessa 40A kynnysvirran ja mittauksella nro. 14 virran alittaessa 20 A virran. Jälkimmäisessä latausaika nousi n. 1,5 h:sta 6,5 h:iin ja kuormitusaika 5,5 h:sta 8 h 15 min:iin. Näillä tiedoilla saadaan laskettua suuntaa-antavia arvoja, millä raja-arvoilla aggregaatti kannattaa pysäyttää.

Lasketaan ensin miten latausaikojen ja kuormitusenergioiden suhteet kasvoivat.

$$\frac{t_{lataus\ 20A}}{t_{lataus\ 40A}} = \textit{Latausajaikojen suhde}$$

$$\frac{6,5h}{1,5h} = 4,33$$

Lasketaan kuormitusajan kasvu

$$\frac{t_{kuormitus\ 20A}}{t_{kuormitus\ 40A}} = \textit{Kuormitusaikojen suhde}$$

$$\frac{8,25h}{5,5h} = 1,5$$

Kuormituksessa käytetty energia saadaan luettua taulukosta (**Taulukko 4**). Käytetty energiamäärä nousi n. 1,6 kWh:sta 2,3 kWh:iin.

$$\frac{E_{20A}}{E_{40A}} = \textit{Energoiden suhde}$$

$$\frac{2,3kWh}{1,6kWh} = 1,44$$

Näin ollen latausaika yli nelinkertaistui, millä saatiin kuormitusaika ja siinä käytettävä energiamäärä nousemaan vain n. 1,5 kertaiseksi.



**Kuva 23.** 1B30 moottorin ominaiskäyrät (2,5).

Käyrän mukaan (**Kuva 19**) paras hyötysuhde saadaan moottorista irti, kun ulostuloteho on reilut 3kW. Moottorin käyttöoppaassa suositellaan, ettei sitä kuormiteta jatkuvasti pienellä kuormalla, vaan mieluummin isolla kuormalla lyhyemmän aikaa. Täydellä latausvirralla tehoksi laskettiin aikaisemmin n.2,5 kW (2.4 Akkuvaraaja) ja generaattorin hyötysuhteeksi todettiin n.80 % (2.1 Dieselaggregaatti). Näillä tiedoilla saadaan laskettua moottorin teho (kaava 2):

$$P = \frac{2,5kW}{0,8} = 3,125kW$$

Laskettu 3,125 kW osuu hyvin polttoaineenkulutus käyrän aallonpohjalle. (**Kuva 23**, sininen käyrä, polttoaineen kulutus tehon funktiona) Näin ollen aggregaattia käytettäessä täydellä latausteholla saadaan polttoaineesta eniten energiaa muutettua sähköenergiaksi.

Säiden kylmetessä akkujen ominaisuudet muuttuivat huomattavasti. Varsinkin niiden jännitteen putoaminen nopeutui dramaattisesti. Akkuja alettiin kuormittaa pienemmällä 60 W kuormalla, ja aggregaatin käynnistysjännitettä sekä latauksen katkaisuvirta -arvoja muutettiin. Nollakelillä sopiviksi arvoiksi valikoituivat 23 V ja 35 A. Nollakeliä kylmemmässä ei akkuja päästy testaamaan, joten näin parhaaksi

ohjelmoida molemmat arvot tekstiviestillä muutettaviksi, jolloin ne saadaan asetettua etänä sopiviksi kaikissa sääolosuhteissa. (4.)

## 6 YHTEENVETO

Etukäteen työlle asetetut tavoitteet saavutettiin kiitettävästi, tosin aikataulussa ei pysytty laisinkaan vaan työn valmistuminen lykkääntyi noin vuodella. Työn valmistumiseen vaikutti osien toimitusten viivästymiset, aggregaatissa ilmenneet tekniset viat ja toimeksiantajan sekä minun omat kiireet. Loppujen lopuksi työn venymisen ansiosta, laitteen testiosuus venyi huomattavasti alkuperäistä suunnitelmaa pidemmäksi, jonka ansiosta logiikka saatiin säädettyä oikeille asetusarvoille sekä siihen saatiin ohjelmoitua ominaisuuksia, mitkä helpottavat laitteen käyttöä sekä valvontaa, kuten esimerkiksi tekstiviesteillä säädettävät raja-arvot, niin käynnistysjännitteelle kuin katkaisuvirroille.

Ohjelman suunnittelu tuotti huomattavasti enemmän päänvaivaa, sekä työkuormaa mitä olin etukäteen ajatellut. Työn aikana aikana ilmeni paljon pieniä asioita, mitä ei etukäteen osannut ajatella, mutta mitkä kuitenkin piti ottaa ohjelmassa huomioon taatakseen aggregaattivaunun täydellisen toiminnan. Koska työ on tehty asiakkaalle ja sen käyttäjä voi olla kuka tahansa, oli tärkeätä ottaa ohjelmassa huomioon, että käyttäjälle ei anneta mahdollisuutta omalla toiminnallaan vahingoittaa työtä, tai syöttää järjettömiä asetusarvoja, vaan tällaisissa tilanteissa ohjelma asettaa automaattisesti etukäteen spesifioidut oletusasetukset päälle.

Työn ylivoimaisesti haastavin osuus oli tekstiviestiohjauksen liittäminen ohjelmaan, jonka toteuttaminen veikin suurimman osan työn parissa vietetystä ohjelmointiajasta. Tekstiviestiohjaus toisaalta helpotti huomattavasti työn toiminnan seurantaan, koska sen pystyi tekemään kotisohvalta tekstiviestien välityksellä. Aggregaattivaunun käyttäjälle tekstiviestiohjaus tulee tuomaan suurta helpotusta vaunun hallintaan ja huoltoon liittyvissä asioissa, sekä antaa varmuuden, että kaikki on sähkönsyötön puolesta kunnossa.

## LÄHTEET

1. Meccalte S16F technical specification. Saatavilla:  
<http://pdf.directindustry.com/pdf/meccalte/s16f-2poles/58473-78130.html>  
[viitattu 7.12.2014]
2. Hatz 1B30 technical specification. Saatavilla: [http://www.hatz-diesel.com/uploads/tx\\_hatzproducts/TB\\_1B\\_70252829\\_EN.pdf](http://www.hatz-diesel.com/uploads/tx_hatzproducts/TB_1B_70252829_EN.pdf) [viitattu 27.11.2014]
3. Eberspächer technical description and product data record (CD)
4. Opetushallitus, sähkötekniikan perusteita. Saatavilla:  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/sahkotekniikka\\_b12\\_sahkotekniikan\\_perusteita.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/sahkotekniikka_b12_sahkotekniikan_perusteita.html) [viitattu 3.12.2014]
5. Victron energy AMG battery manual. Saatavilla:  
<http://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-EN.pdf> [Viitattu 8.10.2014]
6. Powerfinn PAC 3200 system manual. Saatavilla:  
[http://www.powerfinn.fi/\\_file/46232/PAP3200\\_EN\\_1.pdf](http://www.powerfinn.fi/_file/46232/PAP3200_EN_1.pdf) [viitattu 8.10.2014]
7. Powerfinn PAC 3200 technical details. Saatavilla:  
<http://www.powerfinn.fi/3200> [viitattu 27.11.2014]
8. Phoenix power DC/DC supplies. Saatavilla:  
[https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?ldmy&urile=wcm:path:/usen/web/main/products/subcategory\\_pages/dc-dc\\_converters\\_p-22-05/3009ca02-36c3-426d-943d-c58e376262c9](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?ldmy&urile=wcm:path:/usen/web/main/products/subcategory_pages/dc-dc_converters_p-22-05/3009ca02-36c3-426d-943d-c58e376262c9) [viitattu 27.11.2014]
9. Siemens S7-1212 -kuva. Saatavilla:  
[http://www.conrad.com/medias/global/ce/1000\\_1999/1900/1970/1974/197403\\_RB\\_00\\_FB.EPS\\_1000.jpg](http://www.conrad.com/medias/global/ce/1000_1999/1900/1970/1974/197403_RB_00_FB.EPS_1000.jpg) [Viitattu 10.12.2014]

10. Siemens SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller manual. Saatavilla:  
<https://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objID=34612486&subtype=133300> [viitattu 27.11.2013]
11. Siemens SIMATIC S7 S7-1200, SM1231 analogeingabe datenblatt. Saatavilla:  
<https://eb.automation.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7231-4HF32-0XB0> [Viitattu 27.11.2013]
12. Siemens SM 1231 -kuva. Saatavilla:  
[http://www.conrad.com/medias/global/ce/1000\\_1999/1900/1970/1977/197733\\_LB\\_00\\_FB.EPS\\_1000.jpg](http://www.conrad.com/medias/global/ce/1000_1999/1900/1970/1977/197733_LB_00_FB.EPS_1000.jpg) [viitattu 10.12.2014]
13. Siemens CP1242-7 -kuva. Saatavilla:  
[http://cache.automation.siemens.com/dnl/Dc/Dc0MjAwNjEA\\_6GK72427KX300XE0\\_MLFB/P\\_IK10\\_XX\\_01409i.jpg](http://cache.automation.siemens.com/dnl/Dc/Dc0MjAwNjEA_6GK72427KX300XE0_MLFB/P_IK10_XX_01409i.jpg) [viitattu 10.12.2014]
14. Siemens CP-1242-7, manual. Saatavilla:  
[https://a248.e.akamai.net/cache.automation.siemens.com/dnl/DE/DExODMwOQAA\\_61029644\\_HB/BA\\_CP-1242-7\\_76.pdf](https://a248.e.akamai.net/cache.automation.siemens.com/dnl/DE/DExODMwOQAA_61029644_HB/BA_CP-1242-7_76.pdf) [viitattu 27.11.2013]
15. Siemens KP300 HMI -kuva. Saatavilla  
[https://support.automation.siemens.com/dnl/jQ/jQyNDM3MwAA\\_49864804\\_Akt/KP300weiss.jpg](https://support.automation.siemens.com/dnl/jQ/jQyNDM3MwAA_49864804_Akt/KP300weiss.jpg) [viitattu 10.12.2014]
16. Siemens KP300 basic HMI manual. Saatavilla:  
<https://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&objId=48333824&nodeid0=28426379&load=content&lang=en&siteid=cseus&aktprim=0&objaction=csview&extranet=standard&viewreg=WW> [viitattu 8.10.2014]



17. SKS lämpötilasensorit. Saatavilla:

[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/sahkotekniikka\\_b12\\_sahkotekniikan\\_perusteita.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/sahkotekniikka_b12_sahkotekniikan_perusteita.html) [viitattu 3.12.2014]

18. Edward W. Kamen *Industrial Controls and Manufacturing*, Kappale 8 *Ladder Logic Diagrams and PLC Implementations*

19. Internet addressing and routing first steps. Saatavilla:

<http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=348253&seqNum=7>  
[Viitattu 7.12.2014]

20. Matti Rintala, TCP/IP -protokollat. Saatavilla:

[http://koti.mbnet.fi/mrin/paattotyö/tcp\\_ip.html](http://koti.mbnet.fi/mrin/paattotyö/tcp_ip.html) [Viitattu 10.12.2014]