



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# AUTOMAATION MODERNISOINTI SÄLEVÄN VESIVOIMALAITOK- SELLA

TEKIJÄ/T: Pasi Räsänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Pasi Räsänen	
Työn nimi Automaation modernisointi Sälevän vesivoimalaitoksella	
Päiväys	10.4.2014
Sivumäärä/Liitteet	31/2
Ohjaaja(t) Yliopettajat Harri Heikura ja Markku Kosunen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savon Voima Oyj / Sähkötuotanto / Kunnossapitopäällikkö Juha Räsänen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena tutkia teknisiä vaihtoehtoja Sälevän vesivoimalaitoksen automaation modernisoinnin toteuttamiseksi. Tarkastelun kohteena olivat logiikat, operointipaneeli ja generaattorin magnetointisäädin. Modernisoinnin jälkeen voimalaitos tulee saada kytkettyä olemassa olevaan varakaukokäyttöjärjestelmään.</p> <p>Työ toteutettiin Savon Voima Oyj:n kunnossapitopäällikkö Juha Räsänen toimeksiantona. Työskentely tapahtui projektin toteuttamiseksi niin työaikana kuin vapaa-ajalla. Tiedonhankintaan käytettiin internetiä, kirjallisuutta ja keskusteluja eri alojen asiantuntijoiden kanssa.</p> <p>Selvitystyön tuloksena saatiin aikaiseksi toteutusmalli, jolla modernisointi voidaan toteuttaa. Mallin mukaan automaatio vaihdetaan konversiopaketilla ja magnetoinnin ohjaus tulee olemaan joko VEO G30 tai ABB Unitrol 1020-malli. Järjestelmätoimittajilta on pyydetty budjettitarjouksia automaation ja generaattorin magnetointilaitteiston modernisoimiseksi.</p> <p>Tarkoituksena oli myös löytää konsepti, jolla voidaan modernisoida myös muita Savon Voiman vesivoimalaitoksia tulevaisuudessa. Budjettitarjousten saavuttua ja niiden tarkastelun jälkeen on tarkoitus saada Sälevän vesivoimalaitoksen modernisointi vuoden 2015 budjettiin ja mahdollisesti toteutukseen kyseisen vuoden aikana.</p>	
Avainsanat automaatio, generaattorin magnetointi, vesivoima	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author(s) Pasi Räsänen			
Title of Thesis Modernization of Automation in Sälevä's Hydro Power Plant			
Date	10.4.2014	Pages/Appendices	31/2
Supervisor(s) Principal Lecturers Harri Heikura and Markku Kosunen			
Client Organisation /Partners Savon Voima Oyj / Electricity generation / Maintenance Manager Juha Räsänen			
<p>Abstract</p> <p>In this thesis the aim was to study alternatives for the modernization automation at the Sälevä's hydro power plant. It was focused on logic, operation panel and exciter controller. After modernization the power plant should be connected to the existing remote backup control system.</p> <p>The project was commissioned by Juha Räsänen, the maintenance manager of Savon Voima. Information was gathered from internet, literature and discussions with several professionals.</p> <p>In the project we got a model on how to execute modernization. Calls for offers were sent to the suppliers of automation systems.</p> <p>The purpose of this project was also to find concept that can be used in other hydro power plants' modernization. After studying the technical feasibility the purpose is to get project to the budget of the year 2015.</p>			
<p>Keywords automation, exaction of generation, hydro power</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
1.1	Savon Voima Oyj .....	5
1.2	Savon Voiman vesivoimalaitokset.....	6
1.3	Lyhenteet ja määritelmät.....	7
2	VESIVOIMALAITOKSEN TOIMINTA JA OHJAUS .....	8
2.1	Logiikkatekniikka.....	8
2.2	Kaukokäyttö .....	9
2.3	Generaattoritekniikka .....	10
2.3.1	Jännitteensäätäjä .....	11
2.4	Suomen kantaverkkoyhtiö Fingridin VJV 2013 vaatimukset .....	12
3	SÄLEVÄN VESIVOIMALAITOS.....	13
3.1	Sälevän teknistä tietoa .....	13
3.2	Sälevän ohjauslogiikka .....	14
3.2.1	Allen Bradley.....	17
3.3	Generaattorin jännitteensäätäjä .....	17
4	LOGIIKAN MODERNISOINNIN KORVAAVAT VAIHTOEHDOT .....	19
4.1	Ohjauspaneeli.....	20
5	GENERAATTORIN JÄNNITTEENSÄÄTÄJÄN KORVAAVAT VAIHTOEHDOT .....	21
5.1	ABB Unitrol 1020 magnetointisäädin.....	21
5.2	Basler DECS-250 digitaalinen magnetointisäädin .....	24
5.3	VEO G30 .....	25
6	LOGIIKAN MODERNISOINNIN TOTEUTUSVAIHTOEHDOT .....	25
6.1	Vaihto uuteen malliin .....	25
6.2	I/O-liityntöjen siirtäminen uuteen logiikkaan .....	26
6.3	Johdotusten muunnospaketti .....	28
6.4	Parhaan toteutusmallin valinta .....	30
7	YHTEENVETO JA TULEVAISUUS.....	30
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	31

## 1 JOHDANTO

Savon Voiman omistama Sälevän vesivoimalaitos on rakennettu vuonna 1988. Sen automaatiojärjestelmät alkavat olla elinkaarensa lopussa. Tässä esiselvitystyössä on tarkoitus löytää kokonaistaloudellisesti ja teknisesti toimiva modernisointipaketti logiikoiden (laitos- ja turbiinisäätäjä) ja generaattorin magnetoinnin säätölaitteen uusimiseksi.

Voimalaitos tulee saada modernisoinnin jälkeen liitettyä normaalin kaukokäyttöjärjestelmän lisäksi myös niin sanottuun varakaukokäyttöjärjestelmään, jolla työntekijät pääsevät katsomaan ja operoimaan voimalaitosta mobiililaitteella tai tietokoneella. Lisäksi modernisoinnilla parannetaan toimintavarmuutta ja varaosien saatavuutta.

### 1.1 Savon Voima Oyj

Savon Voima on perustettu 14.2.1947. Aluperäinen nimi oli Pohjois-Savon Voima Oy. Savon Voima konserniin kuuluu Savon Voima Oyj, Savon Voima Verkko Oy ja Savon Voima Salkunhallinta Oy. Konserni on 22 kunnan täysin omistaman Savon Energiaholding Oy:n tytäryhtiö.



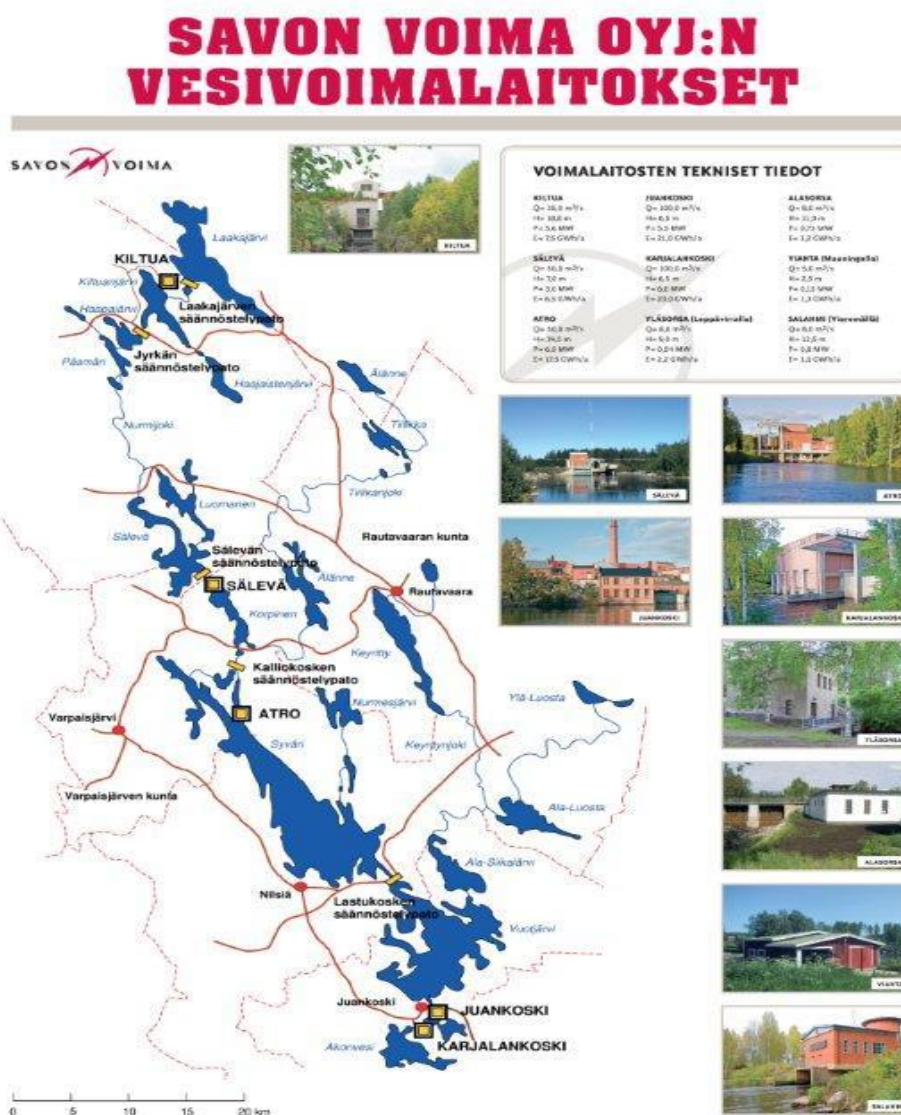
KUVA 1. Savonvoima Oyj:n konsernirakenne ja tärkeimmät osakkuudet (Savonvoima 2013)

Yhtiön liiketoimintaa ovat sähkön ja lämmön tuotanto, myynti ja jakelu sekä energia-alan asiantuntijapalvelut. Liikevaihtoa oli vuonna 2012 noin 215 miljoonaa euroa. Henkilökuntaa konsernissa on 175 henkilöä, joista valtaosa työskentelee pääkonttorilla Siilinjärven Rissalan yritysalueella.

Asiakkaina on noin 112 400 sähkönkäyttöpaikkaa ja 2800 kaukolämpöliittymää. Investointeja yhtiö tekee vuosittain noin 40 miljoonalla eurolla, ollen näin merkittävä alueellinen työllistäjä.

## 1.2 Savon Voiman vesivoimalaitokset

Savon Voima omistaa yhdeksän vesivoimalaitosta, jotka sijaitsevat kuvan 2 mukaisesti eri puolilla Savoaa. Kuvassa ei näy Salahmia, joka on Vieremällä, Viantaa Maaningalla ja Sorsakosken kahta voimalaitosta Leppävirralla.



KUVA 2. Savon Voiman vesivoimalaitokset (Savon Voiman kuva-arkisto)

Taulukossa 1 on Savon Voiman vesivoimalaitosten tekniset tiedot vuodelta 2013. Viimeisimmäksi saneerattuja laitoksia ovat Atro ja Karjalankoski, joissa molemmissa vaihdettiin juoksupyörä. Sen seurauksena voimalaitosten teho nousi ja hyötysuhde parani. Vuonna 2014 on Kiltuan saneerausvuoro.

TAULUKKO 1. Vesivoimalaitosten tekniset tiedot vuonna 2013

Vesivoimalaitos	Virtaama m <sup>3</sup> /s	Putouskorkeus m	Teho MW	Energia MWh/a
Alasorsa	8	11	0,75	3200
Atro	50	14,5	7,2	19400
Juankoski	100	6,5	5,5	20000
Karjalankoski	100	6,5	6	23100
Kiltua	35	18,8	5,6	7500
Salahmi	8	12,5	0,8	3000
Sälevä	50	7	3,0	6500
Vianta	5	2,5	0,14	800
Yläsorsa	8	9	0,54	2200
Yhteensä			29,53	85700

### 1.3 Lyhenteet ja määritelmät

**Johtopyörä:** Toimii tilavuusvirran säätimenä turbiinille ja pistää veden virtaamaan optimaalisesti juoksupyörälle, lyhenne **JOP**

**Juoksupyörä:** Päätehtävä on vääntömomentin kehittäminen generaattorille, lyhenne **JUP**

**Vauhtipyörä:** Lisää hitausmomenttia pyörivään laitteeseen

**Ryntäyskierrosluku:** Suurin sallittu kierrosluku kun generaattorilta häviää kuorma äkillisesti, esimerkiksi katkaisijan avauduttua.

**SCADA** eli *Supervisory Control And Data Acquisition*: Valvomo-ohjelmisto, jota tarvitaan operaattorin ja ohjausjärjestelmän välisen kommunikoinnin toteuttamiseksi.

**PLC** eli *Programmable Logic Controller*: Itsenäinen automaatiojärjestelmä.

## 2 VESIVOIMALAITOKSEN TOIMINTA JA OHJAUS

Vesivoimalaitoksen on normaalioloissa toimittava ilman miehitystä. Laitoksen toimintojen on kuitenkin oltava jatkuvasti valvottuja ja hälytysjärjestelmän on pystyttävä informoimaan häiriöstä, joten tämä edellyttää hyvin toimivaa kaukokäyttö- ja ohjausmahdollisuutta. (Määttänen ym. 1978)

### 2.1 Logiikkatekniikka

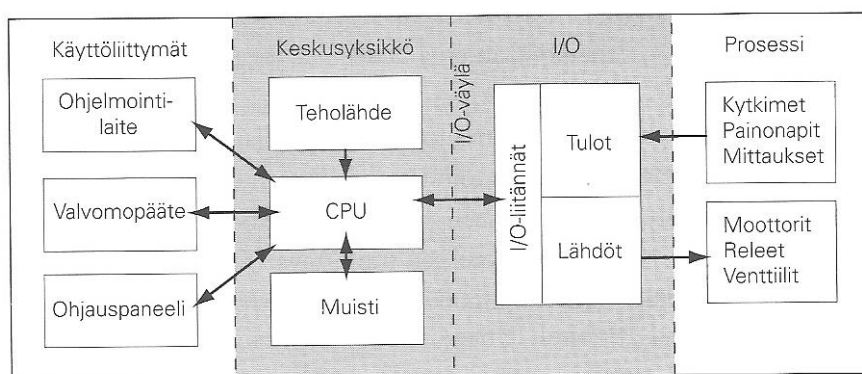
Ohjelmoitava logiikka on itsenäisesti toimiva automaatiojärjestelmä. Se hoitaa omaa tehtäväänsä logiikalle ladatun sovellusohjelmansa mukaisesti. Logiikka liittyy prosessiin prosessiliityntäyksiköiden kautta.

Prosessiliityntäyksiköitä, joita tavallisesti käytetään ovat:

- Binäärinen lähtöyksikkö, jonka avulla toteutetaan on/off- ohjauksia
- Binäärinen tuloyksikkö, jonka avulla tutkitaan prosessin rajakytkimien tilaa
- Analoginen lähtöyksikkö, jolla standardiviestin avulla ohjataan esimerkiksi venttiileitä
- Analoginen tuloyksikkö, välittää mittauslähettimiltä tulevat mittausviestit logiikalle

Vesivoimalaitoksilla standardiviesti on pääsääntöisesti 4-20 mA virtaviesti. Tulokortin tulee valvoa, jos viesti menee alle 4mA tai yli 20 mA. Yli 20 mA valvonta on PLC 5-logiikalla vaikeaa ja on aiheuttanut toimintahäiriöitä.

Myös lähtöviesti on samanlainen paitsi turbiiniohjauksissa, joissa käytetään  $\pm 10$  V jänniteviestiä, jolla ohjataan venttiileitä, jotka ohjaavat johtopyörän ja juoksupyörän asentoa. Valvomopäätä sijaitsee käyttökeskuksessa, josta vesivoimalaitoksia pääsääntöisesti operoidaan. Kommunikaation toteuttamisen hoitaa SCADA -ohjelmisto. (KIPPO ym. 2008)



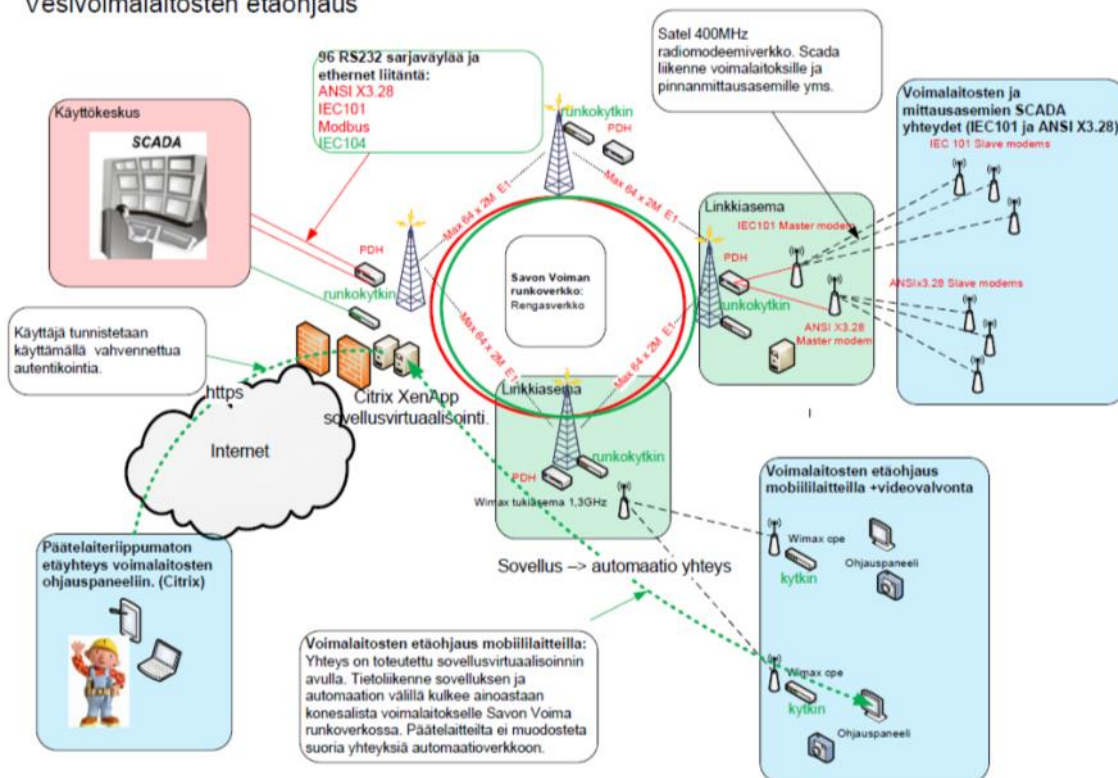
KUVA 3. Ohjelmoitavan logiikan rakenne (KIPPO ym. 2008)



## 2.2 Kaukokäyttö

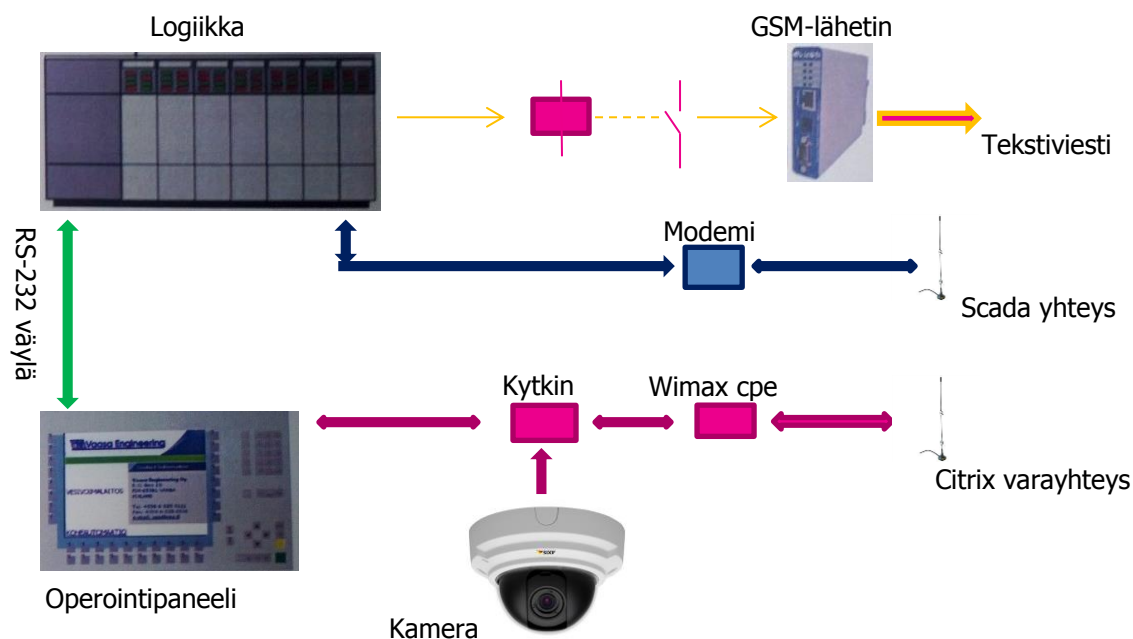
Kaukokäyttöliitynnässä käytetään protokollaa SCADA kaukokäyttöliityntä IEC 61870-5-104 (tai tarvittaessa IEC 101 tai Ansi). Kaikki hälytykset ovat aikaleimattuja, kun ne siirretään logiikalta kaukokäyttöön.

## Vesivoimalaitosten etäohjaus



KUVA 4. Vesivoimalaitosten etäohjaus (Savon Voiman arkisto, Janne Pollari)

Varakaukokäyttöyhteys koostuu voimalaitoksilla olevista operointipäätteistä ja reitittimestä. Operointipaneelissa on Ethernet-liityntä ja näytön kauko-ohjaamisen mahdollistava SmartServer ohjelma. Lisäksi voimalaitoksilla on erillinen GSM-modeemi, jolla saadaan lähetettyä tarvittaessa vakimuotoinen tekstiviestihälytys ("voimalaitos hälyttää") puhelimeen. Käyttäjä voi operoida voimalaitosta melkein millä tahansa älypuhelimella tai tietokoneella Citrix-sovelluksen avulla.

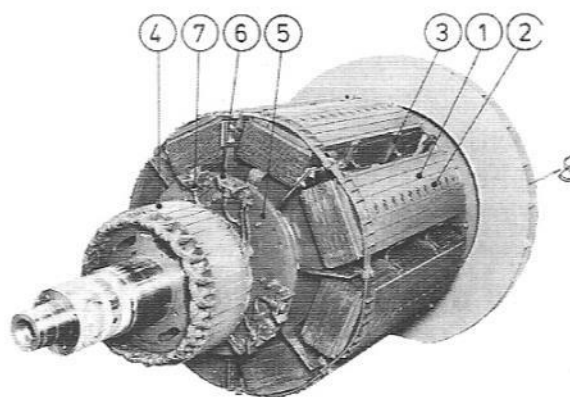


KUVA 5. Vesivoimalaitoksen kaukokäyttöyhteykskaavio

### 2.3 Generaattoritekniikka

Generaattori on laite, joka muuntaa voimakoneen aiheuttaman vääntömomentin sähköenergiaksi. Tahtigeneraattori on yleisimmin käytetty konetyyppi sähkön tuotannossa. On myös olemassa epätahtigeneraattoreita (Asynkroni), mutta ne ovat eri asia.

Tahtikoneen nimi tulee siitä, että sen roottori (pyöräjä) pyörii täsmälleen samalla nopeudella staattorin (seisoja) synnyttämän pyörivän magneettikentän kanssa. Tahtigeneraattori täytyy magnetoida tasasähkövirralla, joka syötetään roottorin käämitykseen. Magnetoimisvirtaa säätämällä saadaan generaattorin jännite muuttumaan. Silloin kun generaattorin tuottama jännite on yhtä suuri kuin koneen nimellinen jännite, magnetoimisvirran määrää kutsutaan tyhjäkäynnin **perusmagnetoinniksi**. Magnetointimenetelmiä on olemassa kaksi kappaletta, harjallinen ja harjaton. Keskityn tässä työssä pelkästään harjattomaan versioon.



Harjattoman tahtigeneraattorin roottori.

- |                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 1. Magneettinapa.              | 5. Diodien kannatinrakenne.   |
| 2. Navan kiinnitysruuvi.       | 6. Diodien jäähdytyslementti. |
| 3. Napakäämin tuki.            | 7. Diodi.                     |
| 4. Magnetointikoneen roottori. | 8. Tuuletin.                  |

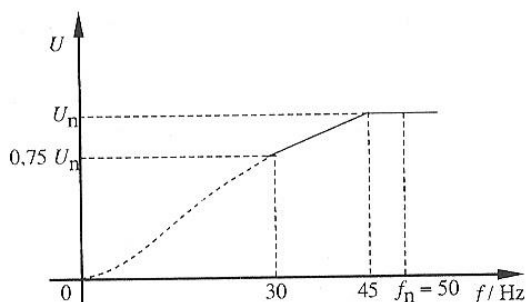
KUVA 6. Harjattoman tahtigeneraattorin roottori (Aura ym. 1996)

### 2.3.1 Jänniteensäätäjä

Generaattorin jänniteensäätäjän tehtävät ovat:

- Herättää generaattori käynnistyksessä
- Magnetoida generaattoria sopivasti myös oikosulkutilanteessa
- Pientää liitinjännitettä taajuuden laskiessa
- Pitää liitinjännite vakiona yksittäiskäytössä
- Säättää generaattoria niin, että mahdollinen rinnakkaiskäyttö muiden generaattoreiden kanssa on mahdollinen.

Herätys tapahtuu siten, että herätin generaattorin yksi napa on varustettu kestopagneetilla. Kestomagneetin pyöriessä generaattorin staattoriin indusoituu jännite, joka aiheuttaa magneetivirran napakäämiin ja herättää koneen. Toinen vaihtoehto on, että generaattorin akselin päähän on sijoitettu erillinen kestopagneettigeneraattori eli PMG, josta säätäjä saa toimintasähkönsä. Oikosulkumagnetointi tarkoittaa sitä, että jänniteensäätäjän on kyettävä pitämään generaattorin virta riittävän suurena, jotta oikosulkusuojaus toimii selektiivisesti. Tapauksessa, jossa generaattoria joudutaan käyttämään alinopeudella, voivat sitä kuormittavat sähkölaitteet vaurioitua. Sen estämiseksi on jänniteensäätäjässä oltava jännitteen alitaajuusrajoituspiiri, joka pienentää generaattorin jännitettä taajuuden laskiessa.



KUVA 7. Generaattorin jännite taajuuden muuttuessa (Aura ym. 1996)

## 2.4 Suomen kantaverkkoyhtiö Fingridin VJV 2013 vaatimukset

VJV on lyhenne sanoista Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. Järjestelmäteknisten vaatimusten asettamisella pyritään varmistamaan, että:

- Voimalaitos kestää sähköjärjestelmässä esiintyvät jännite- ja taajuusvaihtelut.
- Voimalaitos tukee sähköjärjestelmän toimintaa häiriötilanteiden yhteydessä sekä toimii luotettavasti niiden aikana ja niiden jälkeen.
- Voimalaitos ei verkossa ollessaan aiheuta haittaa muille sähköjärjestelmään kytketyille laitteille.
- Liittymispisteen verkonhaltijalla ja Fingridillä on käytössään sähköjärjestelmän ja sen käytön suunnitteluun sekä käyttövarmuuden ylläpitoon tarvittavat tiedot voimalaitoksesta.

Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset koskevat niitä Suomen sähköjärjestelmään kytkettyjä tai kytkettäviä voimalaitoksia, joiden mitoitusteho on vähintään 0,5 MW. Vaatimukset eroavat voimantuotantomuodon, voimalaitoksen mitoitustehon ja maantieteellisen sijainnin perusteella.

(Fingrid 2014)

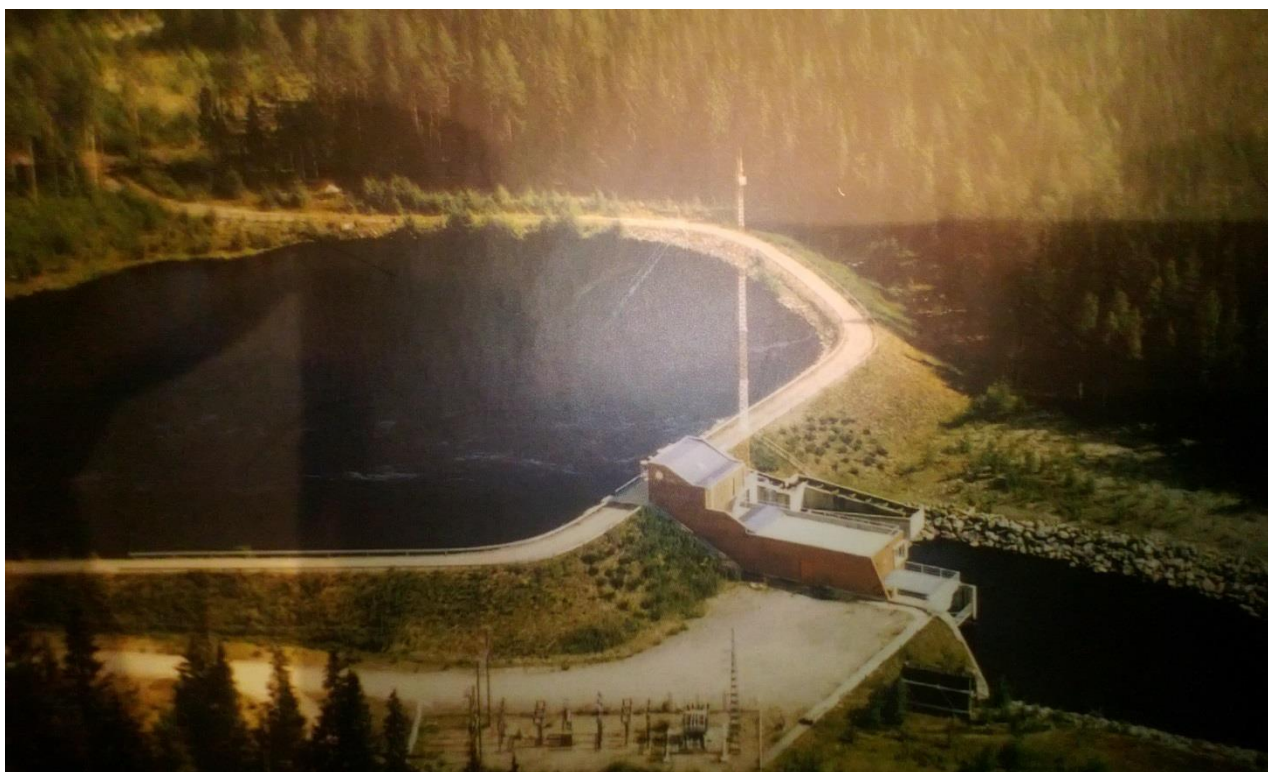
TAULUKKO 2. Voimalaitosten teholuokitus (Fingrid 2014)

Teholuokka	Voimalaitoksen mitoitusteho $P_{\max}$
Teholuokka 1	Voimalaitoksen mitoitusteho on vähintään 0,5 MW mutta alle 10 MW. $0,5 \text{ MW} \leq P_{\max} < 10 \text{ MW}$
Teholuokka 2	Voimalaitoksen mitoitusteho on vähintään 10 MW mutta alle 25 MW. $10 \text{ MW} \leq P_{\max} < 25 \text{ MW}$
Teholuokka 3	Voimalaitoksen mitoitusteho on vähintään 25 MW ja alle 100 MW. $25 \text{ MW} \leq P_{\max} < 100 \text{ MW}$
Teholuokka 4	1) Voimalaitoksen mitoitusteho on vähintään 100 MW ( $P_{\max} \geq 100 \text{ MW}$ ) tai 2) Voimalaitoksen mitoitusteho on vähintään 10 MW ja laitos liittyy Lapissa Valajaskosken ja Pirttikosken 220 kV:n sähköasemien Isoniemen ja Kokkosnivan johtolähtöjen takana sijaitsevaan sähköverkkoon.

### 3 SÄLEVÄN VESIVOIMALAITOS

Voimalaitoksen rakentaminen alkoi Itäkosken kylässä korkeimman hallinto-oikeuden luvalla 8.4.1987 monia vuosia kestäneen oikeustaistelun tuloksena. Valtakunnan verkkoon laitos kytkettiin ensimmäisen kerran 3.11.1988. Kaupallinen tuotanto voimalaitoksella alkoi 25.11.1988. Laitoksen on suunnitellut Insinööritoimisto Oy Vesirakentajat. Turbiinitoimittajaksi valikoitui monien tarjousten joukosta kotimainen Tampella Oy, joka nykyisin tunnetaan monien vaiheiden jälkeen Andritz Hydro Oy:nä. Generaattorin toimitti ruotsalainen ASEA. Prosessisähköistyksen ja automaatiojärjestelmän toimitti Strömberg Oy. (Pulkka 2006)

Sälevän voimalaitoksen keskimääräinen putouskorkeus on 7,3 m ja rakennusvirtaamaksi valittiin 50 kuutiometriä sekunnissa, joka on sama kuin alapuolella sijaitsevan Atron voimalaitoksen. Tämä mitoitus mahdollistaa molempien voimalaitosten ajon yhtä aikaa, eikä voimalaitosten välissä olevan korpisen järven pinnanvuorokausivaihtelu ole kovin suuri. (Pulkka 2006.)



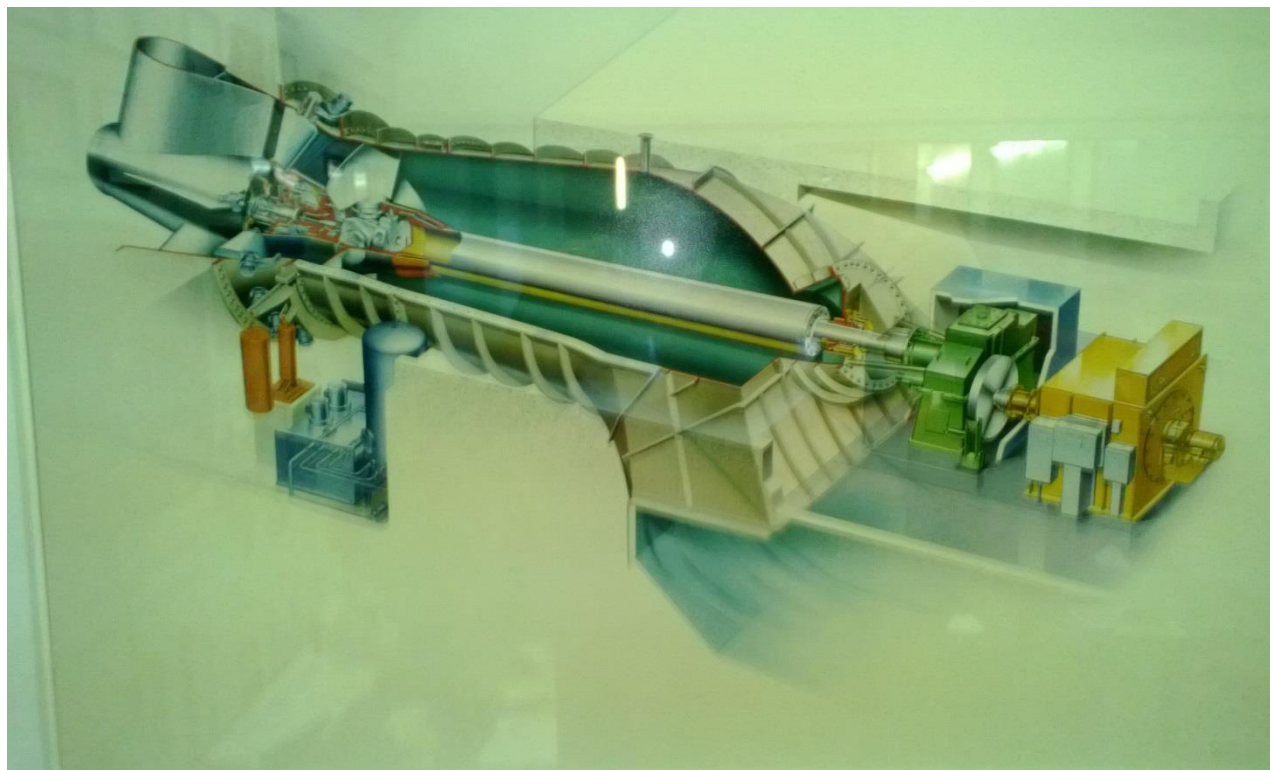
KUVA 8. Sälevän vesivoimalaitoksen ilmakekuva (Pulkka 2006)

#### 3.1 Sälevän teknistä tietoa

Sälevän vesivoimalaitoksen turbiinityyppi on putkiturbiini ja tarkennettuna vaaka-akselinen Kaplan, joka tarkoittaa että sekä johtopyörä että juoksupyörä ovat säädettäviä (Määttänen ym. 1978). Taakutehoksi Tampella on luvannut 3285 kW. Pyörimisnopeus turbiiniakselilla on 133,3 kierrosta minuutissa.

Generaattori on niin sanottu harjaton kone, jonka tekniikasta on kerrottu myöhemmin. Generaattorin teho on 3950 kVA ja jännite 6300 V. Pyörimisnopeus on 600 kierrosta minuutissa. Pyörimisnopeuksista johtuen tarvitaan väliin vaihdelaatikko, joka on Santasalo Oy:n toimittama. Vaihteen ja generaattorin väliin on sijoitettu vauhtipyörä, joka hidastaa ryntäyskierroslukua häiriötilanteessa.

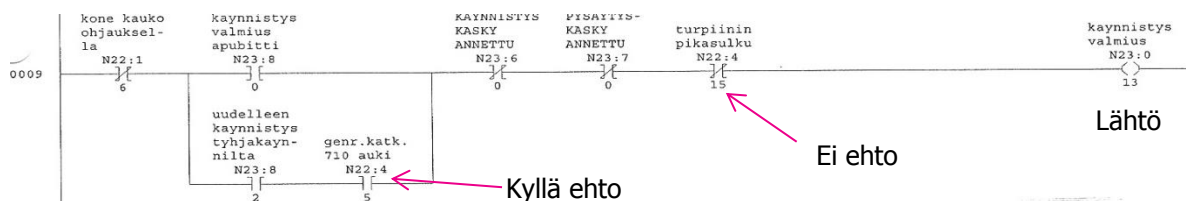
Turbiinin johtopyörän ja juoksupyörän ohjaukseen tarvittavan hydraulipaineen tuottaa hydraulikoneikko, joka on varustettu painekellolla. Painekello on varastona äkillisten kuormituksen vaihtelujen varalta. Työpaine on noin 45 baria.



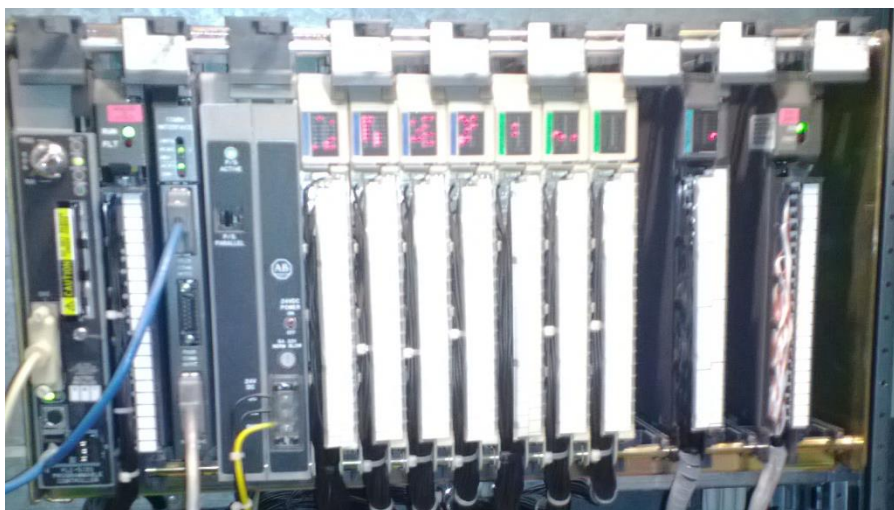
KUVA 9. Sälevän vesivoimalaitoksen poikkileikkaus (Pulka 2006)

### 3.2 Sälevän ohjauslogiikka

Ohjausautomaatio koostuu kahdesta logiikkayksiköstä, laitosautomaatiosta ja turbiinisäätäjästä. Molemmat ovat Allen Bradley'n valmistamia, mallia PLC 5. Liitteessä 1 on esimerkki logiikkaohjelmasta. Kuvassa 10 oleva ohjelmapätkä on tyypillinen vesivoimalaitoksen käynnistyssekvenssi.



KUVA 10. Logiikkaohjelma



KUVA 11. Sälevän laitosautomaatiologiikka

**Laitosautomaatio** koostuu seuraavista korteista:

- |   |                           |              |       |
|---|---------------------------|--------------|-------|
| ▪ | Proessori keskusyksikkö   | PLC5/20 1785 |       |
| ▪ | Analogia sisääntulo       | 1771-IFE     | 2 kpl |
| ▪ | Kaukokäyttöliityntäkortti | 1785-KE      |       |
| ▪ | Virtalähde                | 1771-P5      |       |
| ▪ | Digitaalinen input        | 10200        | 5 kpl |
| ▪ | Digitaalinen output       | 10201        | 3 kpl |

Input / output laajuus

- Analogia Tulot 32 kpl,
  - PT 100 mittaukset (16 kpl) tulee logiikalle milliampeeriviesteinä
- Binääri Tulot 160 kpl  
Lähdöt 96 kpl

**Turbiinisäätäjän** kortit ovat:

- |   |                         |              |       |
|---|-------------------------|--------------|-------|
| ▪ | Proessori keskusyksikkö | PLC5/20 1785 |       |
| ▪ | Analogia sisääntulo     | 1771-IFE     | 2 kpl |
| ▪ | Analogia ulostulo       | 1771-OFE 1   |       |
| ▪ | Virtalähde              | 1771-P5      |       |
| ▪ | Digitaalinen input      | 10200        | 2 kpl |
| ▪ | Digitaalinen output     | 10201        | 2 kpl |

Input / output laajuus

- Analogia Tulot 16 kpl  
Lähdöt 4 kpl, jännite ohjaus  $\pm 10$  V
- Binääri Tulot 64 kpl  
Lähdöt 64 kpl

TAULUKKO 3. Sälevän logiikoiden kehikon korttisijoittelu

LAITOSAUTOMAATIO PLC5																
	# 0				# 1				# 2				# 3			
	0	2	4	6	0	2	4	6	0	2	4	6	0	2	4	6
A1	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7
PLC 5 /20	1771-IFE	1785-KE	1771-P5		INPUT 10200	INPUT 10200	INPUT 10200	INPUT 10200	OUTPUT 10201	OUTPUT 10201	OUTPUT 10201		INPUT 10200	1771-IFE		
A 1.0			A 1.3 24 Vdc													
A 1.1																
A 1.2																
A 1.5																
A 1.6																
A 1.7																
A 1.8																
A 1.9																
A 1.10																
A 1.11																
A 1.12																
A 1.13																
A 1.14																

TURBIINI SÄÄTÄJÄ PLC 5																
	# 0				# 1				# 2				# 3			
	0	2	4	6	0	2	4	6	0	2	4	6	0	2	4	6
A1	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7
PLC 5 /20	1771-IFE	1771-OFE1	1771-P5		INPUT 10200	INPUT 10200	OUTPUT 10201	OUTPUT 10201	OUTPUT 10201		1771-IFE					
A 1.0			A 1.3 24 Vdc													
A 1.1																
A 1.2																
A 1.5																
A 1.6																
A 1.7																
A 1.8																
A 1.9																
A 1.10																

Voimalaitoksen ohjaus toimii paikallisesti ohjaustaulusta tai kaukokäytöllä Toivalan käyttökeskuksesta SCADA-ohjelman välityksellä. Molemmat logiikat on liitetty toisiinsa väylällä, joka löytyy keskusyksiköstä sisäänrakennettuna. Kaukokäyttöliikenne liikennöi Comm Control -kortin välityksellä. Paikallisenä näyttö- ja ohjauspaneelina on Siemens OP270 -mallinen paneeli.





KUVA 12. OP-paneeli

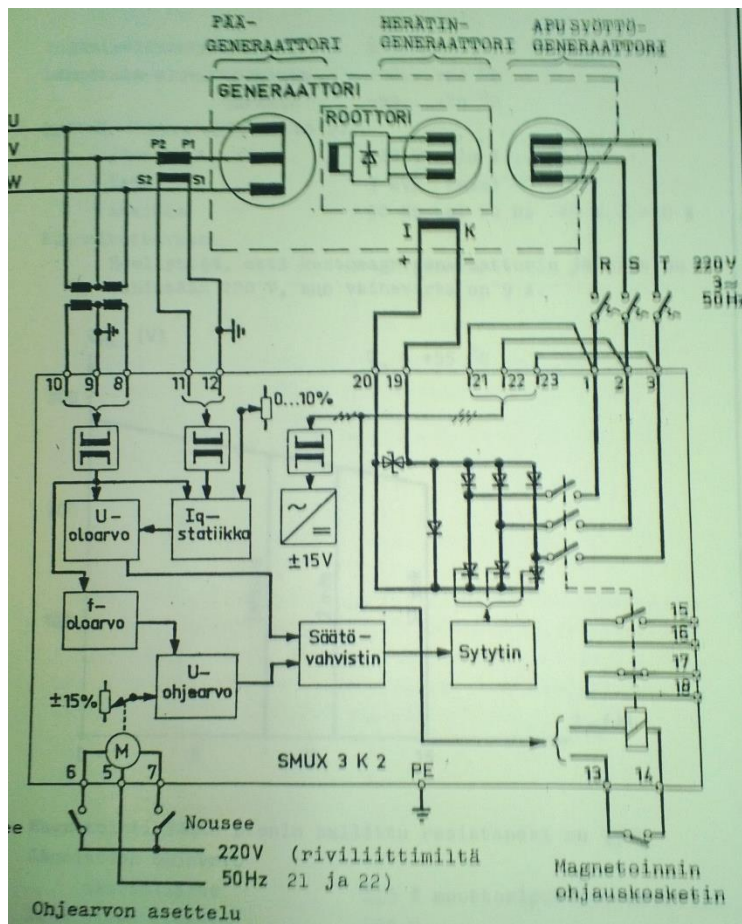
Laitteisto toimii tällä hetkellä hyvin ja se on ollut toimintavarma, mutta logiikan kortit ovat jo vanhoja ja varaosien saatavuus on rajallista. Viimeisimmässä turbiinisäädön ohjauksen päivityksessä huomattiin, että analogiakorttien häiriösuodatus ja mitta-alueet eivät riitä nykypäivän tarpeisiin, koska anturitekniikka kenttälaitteissa on kehittynyt huomattavasti. Ohjauspaneeli ei mahdollista uuden varakaukokäyttöyhteyden käyttöönottoa, koska siitä puuttuu Ethernet-väyläliityntäominaisuus.

### 3.2.1 Allen Bradley

Yhdysvaltalainen logiikkajärjestelmien valmistaja Allen Bradley on maailman suurimpia. Tämän PLC5-mallin erikoisuus on, että kaikki keskusyksiköt käyttävät samaa 1771 Universal I/O järjestelmää, johon kuuluu noin sata erilaista yksikköä. Ohjelmointi on amerikkalaistyylissä, eli toiminnot määritellään relekaavioilla. (Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry, 1991)

### 3.3 Generaattorin jännitteensäätäjä

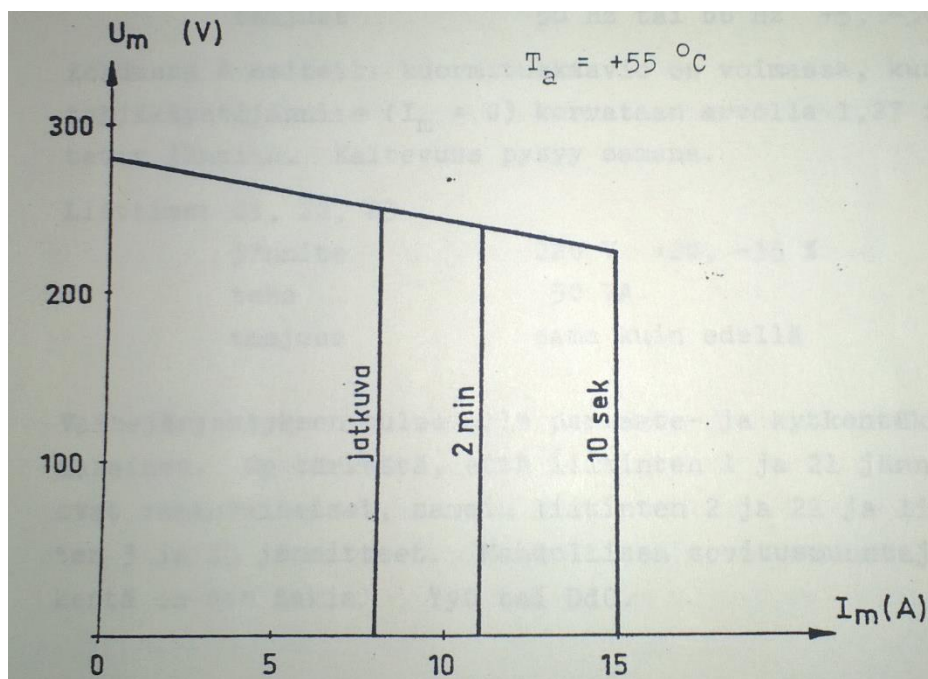
Jännitteensäätölaitteisto on sijoitettu yhteen teräslevyrakenteiseen kojekaappiin. Magnetointiteho otetaan kestopagneettigeneraattorista. Säättäjän mahdollisesti vikaantuessa voidaan syöttö ottaa laitoksen omakäyttöverkosta. Magnetoinnin asettelu tapahtuu tämän jälkeen käsin kaapin oveen asennettua säätömuuntajaa käyttäen. Normaalikäytössä jännitteen ohjearvo asetellaan moottoripotentiometrillä syöttämällä sähköä apukoskettimilla kuvassa 13 näkyvän kytkennän liittimille 6 tai 7. Jännitteensäätäjän kuormitettavuus ominaisuudet ilmenee kuvasta 13.



KUVA 13. Magneetointisäätäjän kytkentäkaavio (Strömberg 1985)

Säätäjän ominaisarvoja:

- Syöttöjännite 220V +20 % ...-35 %
- Teho 3000 VA
- Taajuus 50 Hz +5 % ... -30 %



KUVA 14. Jännitesäätäjän kuormitettavuuskäyrä. (Strömberg 1985)

Jännitteen ohjeolarvo on 100 V, asettelu moottoripotentiometrillä  $\pm 15$  %.

Virran oloarvo on 1 A

Staattinen tarkkuus on  $\pm 1$  %

Laitteisto toimii hyvin, mutta sen jännitteensäätäjän tyyppiä Strömberg SMUX 3 K- piirikorttien saatavuus varaosiksi on erittäin hankalaa, jopa mahdotonta. Tästä syystä sen uusiminen on hyvin ajankohtaista. Myös Kiltuan ja Juankosken vesivoimalaitoksilla on samanlainen uusimistarve, joten tässä yhteydessä on mahdollista laittaa samankaltainen säätäjä joka paikkaan.

#### 4 LOGIIKAN MODERNISOINNIN KORVAAVAT VAIHTOEHDOT

Savon Voiman kaikilla vesivoimalaitoksilla on Allen Bradleyn logiikat ja tarvittavat ohjelmointilaitteet sekä kattava varaosavarasto kysyisen valmistajan malleihin. Tarkastelen siis vain tämän valmistajan vaihtoehtoja korvaamaan vanhat logiikat. Vaihtoehdot ovat tyypiltään ControlLogix ja CompactLogix. Valmistaja luokittelee ControlLogixin suureksi- ja CompactLogixin pieneksi ohjausjärjestelmäksi. Molemmissa toimii sama RSLogix 5000-ohjelmointiohjelma, jollainen on asennettuna voimalaitoksella olevaan ohjelmointilaitteeseen.



KUVA 15. ControlLogix kuvassa vasemmalla ja CompactLogix oikealla (Allen Bradley 2010)

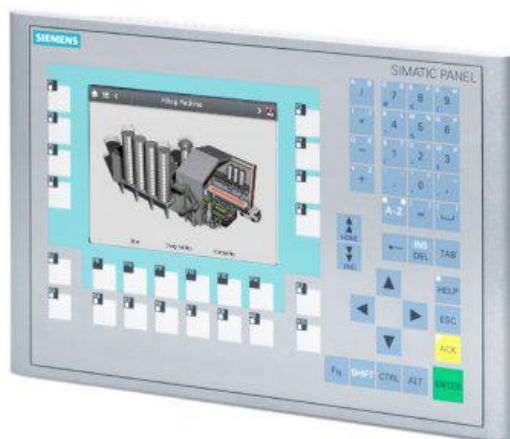
TAULUKKO 4. Logiikoiden tekninen vertailu (Rockwellautomation 2010)

	ControlLogix	CompactLogix
Turvataso	SIL 2, Pld	Sil 3, Ple
Laitteiston vikasietoisuus	Kyllä	Ei
Ulostulokortin kytkentä	Kyllä	Kyllä
Maksimi muistin määrä	32 MB	3 MB
Kommunikointi	EtherNet/IP ControlNet DeviceNet Data Highway Plus Remote I/O SynchLink FOUNDATION Fieldbus Hart Third-party process and device network	EtherNet/IP ControlNet DeviceNet
Sisäänrakennettu kommunikointiportti	USB	Sarja RS 232
Ohjelmointi	RSLogix 5000	
Ohjelmointitavat	Ladder Logic Structured Text Function Block Sequential Function Chart	
Käyttölämpötila	0° - 60° C	

#### 4.1 Ohjauspaneeli

Automaatiojärjestelmän ohjaus- ja hälytyspäättteenä voidaan käyttää Siemensin valmistamaa 6" tai 10" kokoista OP277-operointipäätettä, joita on yleisesti käytössä Savon Voiman vesivoimalaitoksilla. Järjestelmässä hälytysnäytöt on rakennettu mainittuun OP277-päätteeseen ja siihen on lisätty tilaajan käyttöä helpottavia toimintoja.

Hälytysriviltä on näytölle valittavissa HELP-ikkuna, jossa vian tai häiriön selvittämisen helpottamiseksi on I/O-liitynnän liityntätiedot sekä hälytyskohtaista opastavaa tietoa häiriöstä. Operointipanelista löytyy myös Ethernet-liityntä, joka mahdollistaa sen liittämisen niin sanottuun varakaukojärjestelmään.



KUVA 16. Operointipaneeli Siemens OP277

## 5 GENERAATTORIN JÄNNITTEENSÄÄTÄJÄN KORVAAVAT VAIHTOEHDOT

Tässä luvussa esitellään ja vertaillaan Savon Voiman vesivoimalaitoksille saneerauksien yhteydessä tarjottuja jännitteensäätäjiä. Basler-jännitteensäätäjä on käytössä Sorsakosken vesivoimalaitoksilla. Vaasa Engineeringin kehittämä malli G30 ja ABB:n Unitrol säätäjiä ei Savon Voiman vesivoimalaitoksella ole ennestään käytössä.

### 5.1 ABB Unitrol 1020 magnetointisäädin

ABB Unitrol 1020 on perustason magnetointilaitte, jonka edeltäjä Unitrol 1000 oli luotettavan ja yksinkertaisen säätäjän maineessa. UNITROL 1020 käy ominaisuuksiensa puolesta myös muille Savon Voiman vesivoimalaitoksille, joissa on niin sanottu harjaton generaattori ja erillisen magnetointimuuntajan kanssa melkein kaikille vesivoimalaitoksille.

Seuraavassa on lueteltu magnetoinninsäätäjän toimintoja

Generaattorijännitteen ylösajologiikka

- Nostaa generaattorijännitteen hidastetusti nimelliseen käynnistyssekvenssin ohjeen mukaisesti

Generaattorin pysäytysautomaatiikka

- Generaattoria pysäytettäessä säätäjä ohjaa loistehon minimiin. Generaattorikatkaisijan avautuessa ohjaa säätäjä generaattorin nimellismagnetoinnille.

Jännitteensäätö AVR

- Generaattorin perusohjaus tapahtuu napajännitteen säädöllä. Säätö tukee verkkoa maksimissaan kattomagnetoinnilla. Säädön tarkkuus on 0,5 %, säätäjätyyppi PID.

Virtasäätö FCR

- Jännitteensäädön, yms. vikaantuessa yksikanavainen järjestelmä siirtyy virtasäätötilaan, jossa se jatkaa magnetointia viimeisellä järkevällä vakiovirralla.

Normaalisti virtasäätöä käytetään käyttöönotossa magnetoinnin asetusten tarkastamiseen. Säätö on PI-tyyppinen.

Loisteho- tai tehokerroinsäätö voidaan aktivoida magnetoinninsäätäjistä ja ohjetta voidaan antaa esimerkiksi milliampeeri (4-20 mA) signaalilla tai jännitepulsseilla. AVR ei ole tällöin toiminnassa.

#### Tahtikoneen suojaukset ja rajoittimet

- Alitaajuusrajoitin
  - Laite rajoittaa tahtikoneen magnetointia taajuuden funktiona siten, ettei tahtikone tai blokkimuuntaja kyllästy.
- Magneointivirranrajoitin
  - Kolmiportainen rajoitin, joka rajoittaa roottorivirtaa. Rajoitin sallii kattomagnetoinnin käytön 10 s ajan, jonka jälkeen magneointi palaa nimelliseen maksimivirtaan. Toipumisajan kuluttua on maksimikattomagneointi jälleen käytössä.
- Alimagneointirajoitin
  - Laite rajoittaa magneointivirran minimiarvon siten, että kone pysyy tahdissa.
- Staattorivirranrajoitin
  - Toimiessaan laite rajoittaa loistehotuotantoa ja näin pienentää staattorivirtaa. Se vaikuttaa rajoittamalla käämityksen ja käämin pään lämpötilaa.
- Loisvirtastatiikka
  - Loisvirtastatiikka huomioi rinnankäyviä tahtikoneita ja estää loistehovirtauksen koneiden välillä säätämällä loisteho-ohjetta sisäisesti.

#### Tyristorisillan suojaus

- Sillan lämpötilan valvonta
  - Sillan yllämmöstä saadaan hälytystieto.

#### Säätäjän suojaus

- Säätäjän toiminnan itsevalvonta
  - Säätäjä sisältää oman toimintansa itsevalvonnan, joka laitteistosta ja tasosta riippuen vaihtaa kanavaa tai aiheuttaa joko hälytyksen tai laukaisun.
  - Itsevalvonta kattaa säätäjän ohjelmiston toiminnan sekä I/O:n, prosessorin ja säätäjän teholähteet.
- Jännitemuuntajien valvonta
  - Jännitemuuntajatiedon hävitessä, siirtyy säätäjä automaattisäädöltä käsiasäädölle ja jatkaa vakiomagneointivirran ajoa.

#### Säätäjän lisäsäädöt

- Loistehosäätö
  - Säätäjä voidaan kytkeä laitoksen loistehosäätöjärjestelmään joko väylän kautta tai milliampeerisignaalilla. Loistehosäätö pitää loistehon annetuissa rajoissa.

- Loistehosäätö on ohjelmallisesti valittava toiminto. AVR ei ole toiminnassa loistehosäädön kanssa.
- Tehokerroinsäätö
  - Säätäjässä on valmiina ohjelmalohko myös tehokerroinsäädölle, joka voidaan haluttaessa aktivoida. AVR ei ole toiminnassa tehokerroinsäädön kanssa.
- Lois- / pätövirtastatiikka
  - Staattorivirta muuttaa jännitteensäätäjän ohjetta joko positiiviseen tai negatiiviseen suuntaan ja estää rinnankäytiltä generaattoreilta ”loistehonvaihdon”.



KUVA 17. ABB Unitrol 1020-jännitteensäädin (ABB 2010)

Ohjelmakokonaisuudet ilmenevät kuvasta 18. Yleisimmin käytetty on Basic-versio. Lisäominaisuutena tähän magnetoinninsäätäjään on mahdollisuus saada Power system stabilizer (PSS)-ominaisuus. PSS parantaa generaattorin vakautta toiminta-alueen yläpäässä. (ABB 2010)

## Available software packages:

	Software function	UNITROL 1010	UNITROL 1020
<b>LIGHT</b>	AVR/FCR/PF/VAR	LIGHT	BASIC + SYNCHRONIZATION
	Limiters		
	Soft start		
	Voltage matching		
<b>BASIC</b> (Configurable SW)	Modbus TCP	BASIC	BASIC + SYNCHRONIZATION
	Rotating diode monitoring		
	Input for closed loop control		
	VDC mode		
	Dual channel/monitoring		
<b>FULL</b> (Configurable SW)	Synchronization	FULL	FULL + PSS
	Event logger		
	Data logger		
	Real-time clock		
<b>OPTION</b>	Power system stabilizer (PSS)		

KUVA 18. Unitrol 1020 ominaisuusvaihtoehdot (ABB 2010)

## 5.2 Basler DECS-250 digitaalinen magnetointisäädin

Sorsakosken voimalaitoksilla on käytössä Baslerin pienempi malli. DECS-250-mallissa ominaisuudet ovat riittävät niin Sälevälle kuin muillekin Savon Voiman vesivoimalaitoksille. Toiminnot ja suojusominaisuudet ovat yhtenevät ABB:n mallin kanssa. Lähin valmistajan edustaja löytyy Ranskasta.



KUVA 19. Basler DECS-250 (Basler 2012)



## 5.3 VEO G30

VEO G30 on Vaasa Engineeringin tehtaalla valmistettu magnetoinninsäätäjä, jossa on 5,7” kosketusnäyttö suomenkielisellä käyttöliittymällä. Säätäjässä on mahdollisuus kahdennettuun tehonsyöttöön, eli vaihtosähkö- ja tasasähkösyöttö voi olla rinnakkain. Laitteisto koostuu erillisestä ohjauslogiikka-, teholähde-, kommunikointi- ja näyttöpaneeliyksiköstä. Laitteisto täyttää Fingridin asettamat VJV 2013 vaatimukset.

Laitteiston ominaisuuksia ovat seuraavat:

- Laitteisto koostuu monesta yksiköstä.
- AVR on perussäätönä eikä tipu pois päältä, kun konetta ajetaan loisteho- tai Cos F-säädöllä.
- G30 on logiikkapohjainen, varustettuna 5,7” kosketusnäytöllä, joka kertoo suomeksi laitteen toiminnasta. Lisäksi laitteen dokumentaatio on suomenkielinen.
- Käsisäädöllä G30 säätäjässä on kaikki rajoittimet toiminnassa ja kone on näin suojattuna käsisäädölläkin ajettaessa.

## 6 LOGIIKAN MODERNISOINNIN TOTEUTUSVAIHTOEHDOT

Esittelyssä on kolme vaihtoehtoista mallia logiikan vaihto-operaation toteuttamiseksi. Vesivoimalaitoksille paljon automaatiosovelluksia tehnyt Jorma Miettinen JM-Automaatio Oy:stä on toteuttanut vaihtoehdot *vaihto uuteen malliin* ja *I/O-liityntöjen siirtäminen* niin Suomessa kuin Ruotsissa sijaitseville vesivoimalaitoksille.

### 6.1 Vaihto uuteen malliin

Olemassa oleva logiikka puretaan kaikkine johdotuksineen pois. Uusi korvaava logiikka kiinnitetään vanhan paikalle ja I/O-liitynnät johdotetaan uudelleen riviliittimiltä korttien johdotussovittimelle. I/O-liityntämäärä tulee pienenevän, mutta lopullista liityntöjen määrää on mahdotonta määritellä ennen lopullista suunnittelua.

Järjestelmä voisi koostua seuraavanlaisista yksiköistä:

- Korttikehikko (Rack 1756-A17, 1-2 kpl)
- Kehikonteholähde (Power 1756-PB75, 1-2 kpl)
- Ethernet-väyläkortti (Ethernet 1756-ENBT, 1 kpl)
- IEC kommunikointi (IEC-com MVI56-104S, 1kpl)
- Prosessori (Processor 1756-L61, 1 kpl)
- DI 288 kpl (DI-input 1756-IB32, 9 kpl)
- DO 96 kpl (DO-output 1756-OB32, 3 kpl)
- AI 32 kpl (AI-input 1756-IF16, 2 kpl)
- AO 4 kpl (AO-output 1756-OF4, 1 kpl)
- Pt100 24 kpl (pt100-input 1756-IR6I, 4 kpl tai Flex I/O 1794-IR8, 4 kpl)



KUVA 20. Control Logix-logiikka ja johdotussovittimet (VEO)

## 6.2 I/O-liityntöjen siirtäminen uuteen logiikkaan

Vanhoista logiikoista siirretään I/O-liitynnät erillisellä kommunikointikortilla uuteen logiikkaan, jolloin vanhoista kehikoista voidaan poistaa prosessori- ja kommunikointikortit, jotka on merkitty taulukoon 5 punaisella.

TAULUKKO 5. Logiikan korttimuutokset modernisoinnissa

		LAITOSAUTOMAATIO PLC5																									
		# 0				# 1				# 2				# 3													
		0	2	4	6	0	2	4	6	0	2	4	6	0	2	4	6										
		1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7										
A1	PLC 5 /20	A 1.0 1785-LT				A 1.3 24 Vdc				1771-P5				A 1.3 24 Vdc													
	A 1.1																	1771-IFE	A 1.2	1785-KE	A1.5	INPUT 10200	A1.6	INPUT 10200	A1.7	INPUT 10200	A1.8

		TURBIINI SÄÄTÄJÄ PLC 5																									
		# 0				# 1				# 2				# 3													
		0	2	4	6	0	2	4	6	0	2	4	6	0	2	4	6										
		1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7										
A1	PLC 5 /20	A 1.0 1785-LT				A 1.3 24 Vdc				1771-P5				A 1.3 24 Vdc													
	A 1.1																	1771-IFE	A 1.2	1771-OFE1	A1.5	INPUT 10200	A1.6	INPUT 10200	A1.7	OUTPUT 10201	A1.8

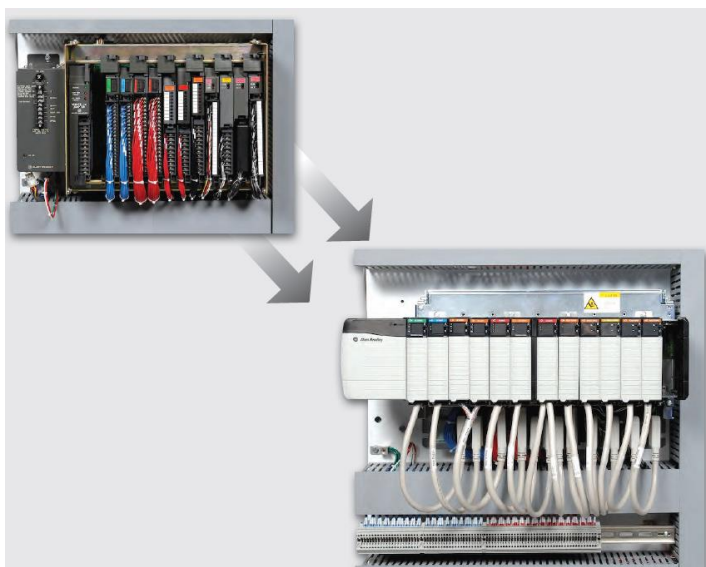
Kehikkoon täytyy lisätä kortti 1771-ASB/A PLC-5 Remote I/O Adapter Module, joka mahdollistaa I/O-tietojen siirron uudelle logiikalle.



KUVA 21. Remote I/O Adapter Module (Rockwellautomation 2010)

### 6.3 Johdotusten muunnospaketti

I/O-muunnosmoduli mahdollistaa nopean ja tehokkaan tavan muuntaa PLC 5-järjestelmä Control-Logix-logiikkaan.



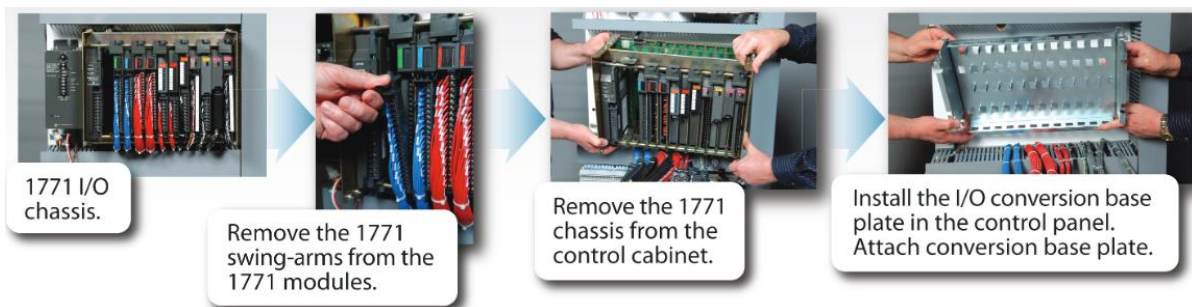
KUVA 22. Järjestelmän muunnos (Allen Bradley 2010)

Riskiä johdotusvirheisiin ei ole, sillä vanha logiikan johdotus käy suoraan uuden järjestelmän muunnoskappaleeseen. Uuden järjestelmän kaapelit ovat valmiita paketteja siirtämään tietoa Control Logixin korteille.



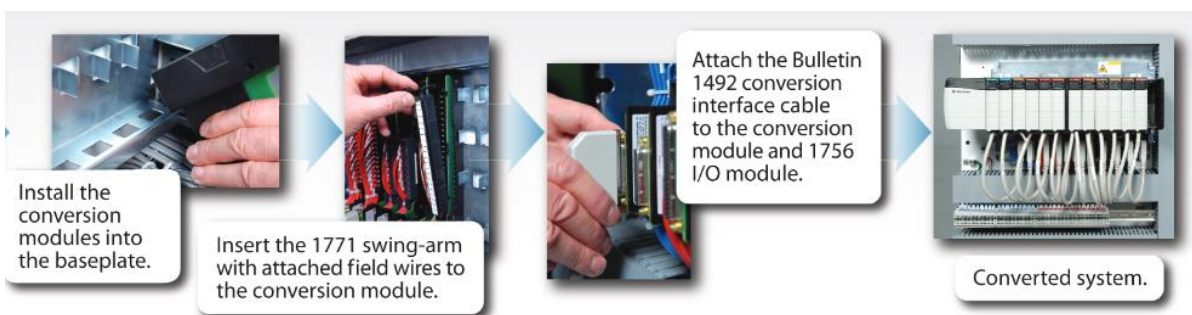
KUVA 23. Johdotuksen muunnoskappale ja kaapeli muunnoskappaleelta logiikalle. (Allen Bradley 2010)

Projekti alkaa siitä, että ensin irroitetaan korteille menevät johdotuskammat. Seuraavaksi poistetaan vanha logiikkakehikko ja korvataan se uudella asennusalustalla.



KUVA 24. Logiikan vaihtokaavio (Rockwellautomation 2010)

Asennusalustalle asennetaan johdotuksen muutosmoduli, johon kytketään vanhalla logiikalla olleet johdotuskammat. Uuden logiikan johdotus voidaan nyt kytkeä muutoskappaleeseen.



KUVA 25. Vaihtokaavio logiikkakorttien muunnoskappaleesta (Rockwellautomation 2010)

#### 6.4 Parhaan toteutusmallin valinta

Johdotusten muunnospaketti on mielestäni paras vaihtoehto logiikan modernisoinnin toteuttamiseksi. Vaihto-operaatio on toteutettavissa nopeasti, joten voimalaitoksen tuotantokeskeytysaika jää lyhyeksi. Johdotusten muutokset jäävät lähes olemattomaksi, joten virhekytkentämahdollisuutta ei käytännössä ole olemassa. Ohjelmointityö on kaikilla vaihtoehdoilla samanlainen. Laitehankintojen hinta on johdotusten muunnospakettissa korkein, mutta vaihdossa ja käyttöönotossa säästetty aika kompensoi tätä.

### 7 YHTEENVETO JA TULEVAISUUS

Sälevän vesivoimalaitoksen automaation modernisointiin tulen tämän selvityksen pohjalta esittämään, että logiikan uusintaan käytetään Allen Bradley'n ControlLogixia. Vaihto-operaatiossa olisi järkevintä käyttää muunnospakettia PLC5 → ControlLogix. Operointipaneelina suosittelisin Siemens 277 -mallia, sillä tämä malli on käytössä lähes kaikilla vesivoimalaitoksilla. Siemens 277 -malli mahdollistaa voimalaitoksen liittämisen varakaukokäyttäjärjestelmään.

Generaattorin magnetoinninsäätävävaihtoehdot ABB ja VEO G30 ovat molemmat toimivia vaihtoehtoja korvaamaan vanha Strömberg SMUX 3 K-magnetoinninohjain. Näistä vaihtoehdoista ratkaisu tehtänee vasta, kun laitetoimittajien kanssa on käyty tekniset neuvottelut ja saatu heiltä tarjoukset. Tämän projekti jatkuu siten, että seuraavaksi kysellään automaatiotoimittajilta budjettitarjoukset toteuttamisesta. Tarjousten perusteella on tavoitteena esittää vuoden 2015 budjettiin voimalaitoksen modernisointia.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ABB. UNITROL® 1000 automatic voltage regulators. Manual . 2008

ALLEN BRADLEY. Bulletin 1492 I/O Wiring Conversion Systems PLC-5 1771 to ControlLogix 1756 Selection Guide. 2010

AURA Lauri, Tonteri Antti J. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. WSOY 1996

KIPPO Asko K, Tikka Aimo. Automaatiotekniikan perusteita. Edita Publishing 2008.

MÄÄTTÄNEN Matti, Koskinen Matti, Pulkkinen Pertti, Soini Martti, Silvan Heikki 1978. Vesivoimalaitokset. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, julkaisu 45-78.

PULKKA Arvi 2006. VESI ON VOIMAA, Savolaisia voimatarinoita. Savon Voima Oyj

SUOMEN SÄHKÖURAKOITSIJALIITTO ry, Ohjelmoitava logiikka. 1991

[http://www.FINGRID.fi/fi/ajankohtaista/Ajankohtaista%20liitteet/Ajankohtaisten%20liitteet/2014/20140108\\_VJV2013\\_uudet\\_vaatimukset.pdf](http://www.FINGRID.fi/fi/ajankohtaista/Ajankohtaista%20liitteet/Ajankohtaisten%20liitteet/2014/20140108_VJV2013_uudet_vaatimukset.pdf) 1.2.2014

<http://ab.rockwellautomation.com/> 15.1.2014

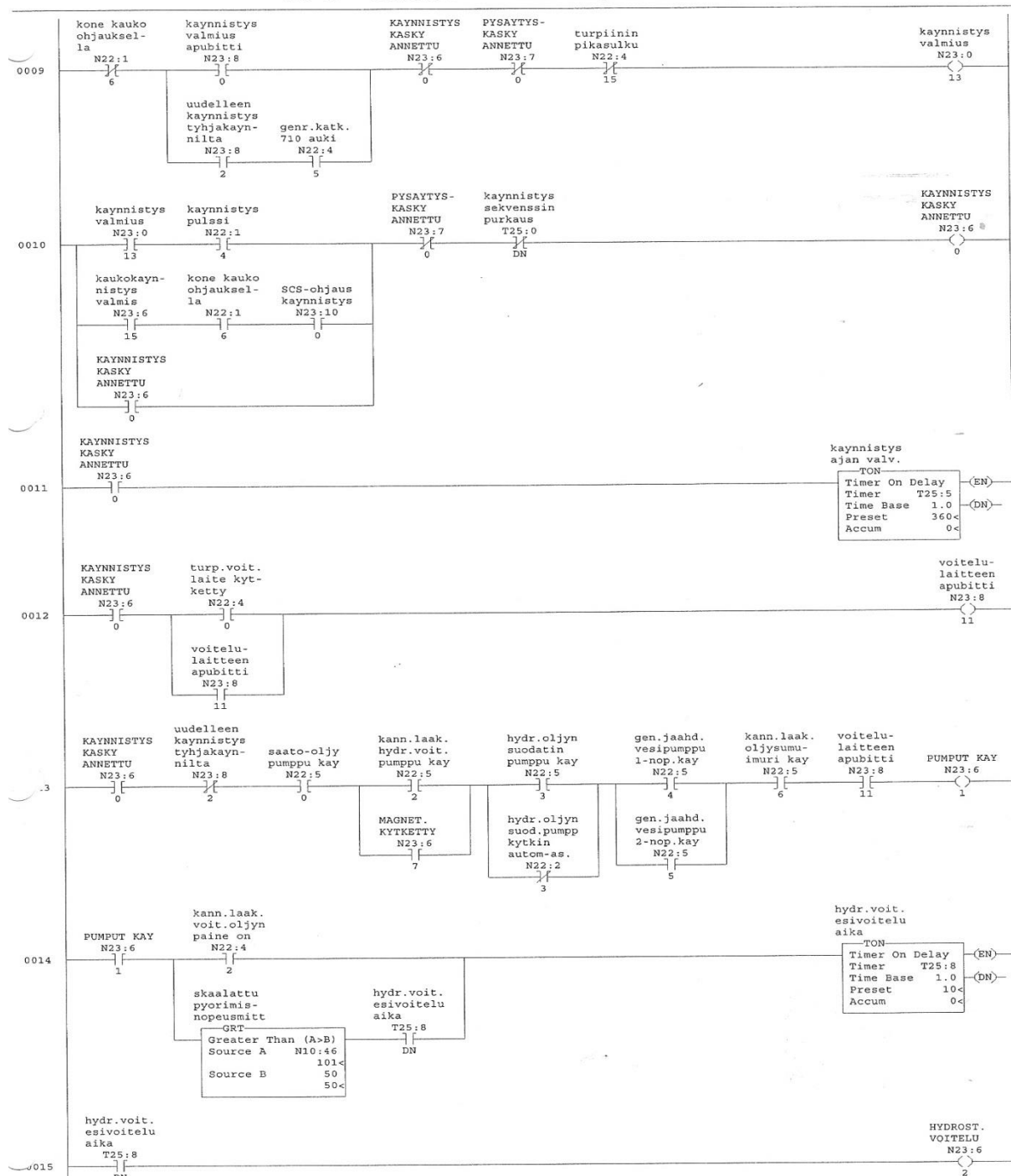
<https://www.basler.com/Products/Voltage-Regulators/Exciter-Field-Current-Ratings/0-15A/DECS-250-Digital-Excitation-Control-System-2/> 22.2.2014

<http://www.savonvoima.fi> 1.1.2014

LIITE 1. Vesivoimalaitoksen käynnistyssekvenssiohjelma

KARJAL11

LAD 12 - OHJAUKSET --- Total Rungs in File = 98





KARJAL11

LAD 12 - OHJAUKSET --- Total Rungs in File = 98

