

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sami Haaranen

SÄHKÖN PÖRSSIHINTOIHIN POHJAUTUVA SÄHKÖNKULUTUKSEN OH-
JAUSOHJELMA OHJELMOITAVAAN LOGIIKKAAN

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2014



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2014
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä

Sami Haaranen

Nimeke

Sähkön pörssihintoihin pohjautuva sähkönkulutuksenohjausohjelma ohjelmoitavaan logiikkaan

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksen oli luoda ohjelmoitavaan logiikkaan ohjelma, jonka päätarkoitus on ohjata sähkönkulutusta tuntihintojen perusteella. Ohjelma ohjaa kulutusta niille vuorokauden tunneille, jolloin sähkö on halvinta. Mitä suurempi osa kokonaiskulutuksesta saadaan painotettua halvimmille tunneille, sitä suurempi on taloudellinen hyöty.

Ohjelma luotiin IEC61131-standardin mukaisella Codesys-ohjelmointiohjelmistolla. Päätarkoituksen lisäksi ohjelmaan sisällytettiin myös muita hyödyllisiä lisäominaisuuksia kuten esimerkiksi sähköhintahälytyksiä.

Luotu ohjelma toimi itsessään niin kuin oli suunniteltu, mutta se vaatii vielä jatkokehitystyötä, jotta siitä saataisiin itsekseen toimiva järjestelmä. Tuloksista voidaan nähdä, että ohjelman avulla voitaisiin säästää huomattavia summia rahaa sähkölaskussa.

Kieli

suomi

Sivuja 32

Asiasanat

ohjelmoitava logiikka, sähkönkulutuksen ohjaaminen, sähköpörssi



THESIS
April 2014
Degree Programme in Electrical Engineering

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
Tel. +358 13 260 6800

Author

Sami Haaranen

Title

Programmable Logic Controller Program for Controlling Consumption of Electricity Based on Market Prices of Electrical Energy

Abstract

The purpose of this study was to create a program for a programmable logic controller the main function of which is to control the consumption of electrical energy based on hourly prices. The program directs consumption to those hours when electrical power is the cheapest. The bigger the portion of the total consumption directed to the cheapest hours is, the greater the financial benefits are.

The program was created by the IEC 61131 Development System Codesys. In addition to the main function, the program includes other useful extra functions such as power's market price alarms.

In itself, the program functioned as planned, but it still demands some development work in order to achieve an unaidedly functioning system. The results indicate that significant amounts of money could be saved in electricity bills by using the program.

Language

Pages 32

Finnish

Keywords

programmable logic controller, control of consumption of electrical energy, power market

Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Sähköpörssi	5
2.1	Fyysinen sähkökauppa	6
2.2	Sähköjohdannaiset.....	7
3	Etäluettavat sähkömittarit.....	8
4	Sähköpörssiin pohjautuvat sähkö sopimukset.....	8
5	Ohjelmoitava logiikka	9
5.1	Rakenne ja ohjelmointi	9
5.2	IEC61131-standardi	10
6	Codesys-ohjelmointiohjelmisto.....	12
7	Ohjelman suunnittelu	13
8	Ohjelman toteutus.....	14
8.1	Sähkön tuntihintojen asetus	14
8.2	Tuntien järjestäminen halvimasta kalleimpaan.....	15
8.3	Järjestelmän kellonaika	16
8.4	Lähtöjen päälläolotarve	17
8.5	Lähtöjen ohjaus	19
8.6	Kuluvan tunnin sähkönhinta	20
8.7	Sähkönhintahälytykset	21
8.8	Lähtöjen ohjaus manuaalisesti	22
8.9	Käyttöliittymä	22
9	Tulokset	24
9.1	PKS Spot -sopimus ja kulutuksenohjausohjelma.....	25
9.2	PKS Oiva plus Yksiaika ja Päivä-Yö -sopimukset	27
9.3	Ohjelmalla saatava taloudellinen hyöty	29
10	Pohdinta.....	31
	Lähteet.....	32

1 Johdanto

Etäluettavien sähkömittareiden myötä sähköpörssiin pohjautuva sähkön hinnoittelu on tullut myös henkilöasiakkaiden saataville. Tällaisessa sähkösopimuksessa sähkön hinta määräytyy jokaiselle tunnille erikseen kysynnän ja tarjonnan mukaisesti.

Tässä opinnäytetyössä luotiin ohjelmoitavaan logiikkaan ohjelma, jonka päätarkoitus on ohjata sähkönkulutusta sähköpörssin tuntihintojen perusteella. Ohjelma pyrkii ohjaamaan kulutusta niille tunneille, jolloin sähkö on halvinta. Mitä suurempi osa kokonaiskulutuksesta saadaan painotettua halvimille tunneille, sitä suurempi on taloudellinen hyöty. Ohjattavien kulutuslaitteiden täytyy olla sellaisia, että sähkön käyttäjälle ei ole merkitystä, mihin aikaan vuorokaudesta laitteet ovat päällä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ohjauksen piiriin voidaan asentaa lähinnä eri lämmityslaitteita tai -laitteistoja, kuten varaava lattialämmitys ja lämminvesivaraaja.

Idea opinnäytetyön aiheeseen tuli eräältä Karelia-ammattikorkeakoulun sähkötekniikan opettajalta. Alun perin ajatuksena oli itsekseen toimiva järjestelmä, joka hakisi sähkön tuntikohtaiset hintatiedot automaattisesti internetistä ja ohjaisi sitten kulutusta niiden mukaan. Asiaa tutkittuani selvisi kuitenkin, että hintatietojen automaattinen haku vaatisi liian paljon tietotekniikan hallintaa. Käytännössä olisi pitänyt tehdä myös tietokoneohjelma, joka olisi hoitanut hintatietojen haun internetistä ja vienyt ne automaatiolaitteistoon. Siksi tämä opinnäytetyö rajattiin koskemaan vain ohjelmoitavan logiikan ohjelmaa, johon hintatiedot tyydyttiin syöttämään käsin.

2 Sähköpörssi

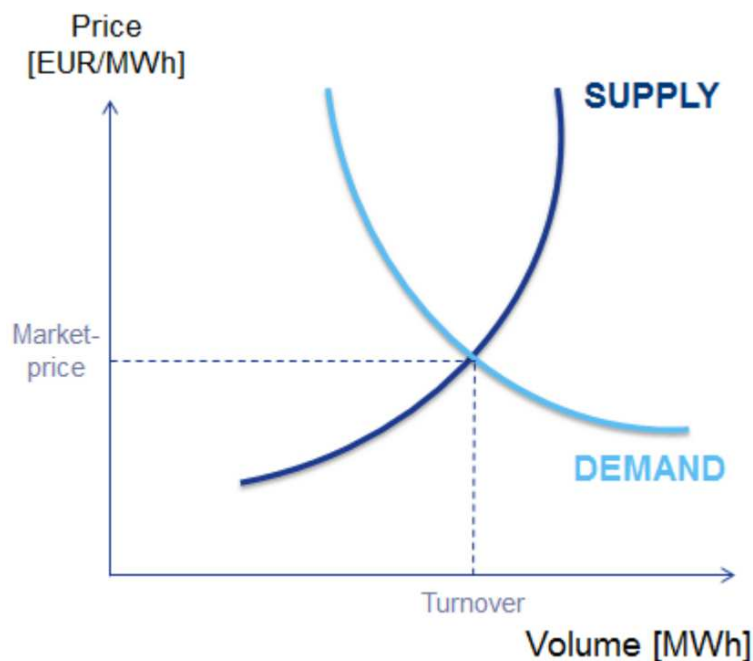
Suomen, Ruotsin, Norjan, Tanskan, Viron, Liettuan ja Latvian kantaverkkoyhtiöt omistavat yhdessä Pohjoismaat ja Baltian kattavan sähköpörssin Nord Pool Spot AS:n. Nord Pool on pörssi, jossa käydään kauppaa arvopapereiden sijasta sähköllä. Nord Poolissa on pääpiirteittäin kahdenlaisia tuotteita: fyysistä sähkökauppaa ja sähköjohdannaisia [1.]

2.1 Fyysinen sähkökauppa

Kauppaa käydään Elspot- ja Elbas-markkinoilla. Elspot-markkinoilla toimijat jättävät joka päivä kello 13:een (Suomen aikaa) mennessä seuraavan päivän omat osto- ja/tai myyntitarjouksensa. Tarjouksissa toimijat ilmoittavat tuntiakohtaisesti, kuinka suuren määrän sähköä he ovat valmiita ostamaan tai myymään milläkin hinnalla. Tarjoukset jätetään toisten osapuolten tarjouksia tietämättä. Toimija ei voi sekä myydä että ostaa sähköä saman tunnin aikana. [2.]

Tarjosten perusteella lasketaan kysynnän ja tarjonnan lain mukaisesti tuntiakohtaiset systeemihinnat (kuva 1). Systeemihinnan laskennassa ei oteta huomioon mahdollisia siirtokapasiteettirajoituksia. Jos siirtotarve on pienempi kuin käytettävissä oleva siirtokapasiteetti, niin systeemihinta on sama kaikilla hinta-alueilla. Mikäli siirtotarve on suurempi kuin siirtokapasiteetti, muodostuu systeemihinnasta poikkeavia aluehintoja. Tästä johtuen sähkön hinnat voivat esimerkiksi Suomessa ja Ruotsissa olla erisuuruiset, vaikka kuulumme samaan sähköpörssiin. [2.]

Noin 84 % Pohjoismaiden ja Baltian sähköntarpeesta ostetaan Elspot-markkinoilta [2]. Elspot-markkinat määrittävät sähkön tuntiakohtaiset hinnat sähköpörssiin pohjautuvissa sähkösopimuksissa.



Kuva 1. Systeemihinnan muodostuminen [2].

Elbas on jälkimarkkinapaikka Elspotille. Elbas-markkinat auttaa pitämään sähköntuotannon ja -kulutuksen koko ajan yhtä suurina. Kaupankäynti on jatkuva-aikaista ja ostosekä myyntitarjouksia voidaan jättää aina tuntia ennen kohdetuntia. Sähkön tuntihinnat voivat vaihdella päivän aikana. Toimija voi ostaa ja myydä sähköä saman tunnin aikana. [3.]

2.2 Sähköjohdannaiset

Johdannaismarkkinoilla ei varsinaisesti tehdä kauppaa fyysisellä sähköllä vaan sopimuksilla ostaa tai myydä sähköä tulevaisuudessa ennalta määrättyyn hintaan. Tuotteita on kolmenlaisia: futuureja, forwardeja ja optioita. [4.]

Futuurit ja forwardit ovat sopimuksia sähkön ostamisesta tai myymisestä kiinteään ennalta sovittuun hintaan sovittu määrä tietynä ajanhetkenä tulevaisuudessa. Futuureissa sopimuskausi on päivä tai viikko, forwardeissa kuukausi, vuosineljännes tai vuosi. Nämä sopimukset sitovat sekä ostajaa että myyjää, mutta niihin ei liity suoraa velvollisuutta fyysisen sähkön toimittamiseen, vaan ainoastaan raha liikkuu osapuolten välillä. [4.]

Optiot ovat muuten samanlaisia sopimuksia, mutta ne velvoittavat vain option myyjää, minkä takia option ostaja maksaa myyjälle premion korvaukseksi myyjän ottamasta riskistä. Optioita on kahta tyyppiä: osto-optioita ja myyntioptioita. Option ostajalla on oikeus päättää toteutushetkellä, ostaako/myykö sopimuksessa ilmoitetun sähkömäärän. Optiosopimusten oikeuksia ja velvollisuuksia on havainnollistettu kuvassa 2 [4.]

	Ostaja (premio -)	Myyjä (premio +)
Osto-optio (Call)	Oikeus ostaa kohde-etuus	Velvollisuus myydä kohde-etuus
Myynti-optio (Put)	Oikeus myydä kohde-etuus	Velvollisuus ostaa kohde-etuus

Kuva 2. Optiosopimusten oikeudet ja velvollisuudet [4].

3 Etäluettavat sähkömittarit

Perinteisesti kotitalouksilla ja pienyrityksillä on ollut sähkömittari, jonka mittauslukeman selvittäminen edellyttää, että verkkoyhtiö lähettää jonkun lukemaan mittaria. Yleensä tällainen mittari luetaan kerran vuodessa.

Valtioneuvosto päätti 1.3.2009 voimaantulleessa asetuksessa, että Suomi ottaa koko maassa käyttöön etäluettavat tuntikulutuksen mittaavat sähkömittarit. Asetuksessa sähköverkonhaltijat veloitettiin ilmoittamaan asiakkailleen näiden tuntikohtaiset sähkömittarilukemat ilman erillistä maksua. Tavoitteen mukaan verkkoyhtiöiden oli vaihdettava etäluettavat sähkömittarit 80 prosentille asiakkaistaan viimeistään vuoden 2013 loppuun mennessä. [5.]

Etäluettavat sähkömittarit luovat internetin tai sähköverkon avulla yhteyden keskitettyihin mittareiden luentajärjestelmään, jossa tiedot jatkokäsitellään ja toimitetaan sähköyhtiöille [6]. Älykkäiden mittareiden ja etäluennan avulla sähkökäyttäjät voivat katsoa tuntikohtaisia sähkönkulutustietojaan internetistä. Yleensä kulutustiedot luetaan kerran päivässä ja ovat asiakkaan katseltavissa seuraavana päivänä. Tämä antaa kuluttajille mahdollisuuden tarkkailla yksityiskohtaisemmin sähkönkäyttöään ja säästää energiakustannuksissa. [7.] Mittareiden etäominaisuuksiin ei kuulu pelkästään tietojen luku vaan niiden avulla sähköyhtiöt voivat myös kytkeä sähköjakelun sekä päälle että pois käymättä paikalla [6].

Suurin muutos asiakkaille on tapahtunut laskutuksessa. Aikaisemmin sähkölasku on perustunut arvioon ja vuotuisen tasaukseen, mutta etäluettavien mittareiden myötä on voitu siirtyä todellisen kulutuksen mukaiseen laskutukseen. [6.]

4 Sähköpörssiin pohjautuvat sähkö sopimukset

Aiemmin sähköpörssiin pohjautuvat sähkö sopimukset ovat olleet vain yritysten saatavilla, mutta etäluettavien tuntimittareiden myötä niitä tarjotaan nykyään myös yksityisasiakkaille. Yleensä sähkö hinnoitellaan näissä sopimuksissa tuntikohtaisesti Nord Poolin Elspot-markkinoiden Suomen aluehintaan pohjautuen. Markkinahintoihin lisätään

arvonlisävero ja välityspalkkio (30–45 snt/kWh). Lisäksi sopimukseen kuuluu kuukausittainen perusmaksu (3–4 €). [8; 9.] Jotkut yhtiöt tarjoavat sopimuksia, joissa sähkönhinta määräytyy Elspot-markkinoiden edellisen kuukauden keskihinnan mukaisesti [10].

Tuntikohtaisessa hinnoittelussa sähkökäyttäjä voi pienentää sähkölaskuaan siirtämällä sähkökulutustaan kalleimmilta tunneilta halvemmille tunneille, vaikka kokonaiskulutus pysyisikin ennallaan. Sähkö on kalleinta silloin, kun kulutus on suurinta ja päinvastoin, joten pörssisähkösopimuksen hankkineiden sähkökäyttäjien säästötoimenpiteet auttavat samalla alentamaan valtakunnallisia kulutus- ja hintapiikkejä. Samalla riski valtakunnallisen sähköjärjestelmän tehopulasta pienenee. [7.] Hinnan määräytyessä edellisen kuukauden keskihinnan mukaisesti sähkökäyttäjä voi pienentää sähkölaskuaan ainoastaan kokonaiskulutustaan vähentämällä.

5 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka (Programmable Logic Controller, PLC) kehitettiin Yhdysvaltain autoteollisuuden piirissä 1960-luvun lopulla, kun tarvittiin relelogiikkaa joustavampi järjestelmä. Nimensä mukaisesti järjestelmällä toteutettiin loogisia toimintoja ja laitteet olivat ohjelmoitavia. [11, s. 6.] Yhdellä logiikalla voitiin korvata lukuisia aiemmin käytettyjä releitä ja ajastimia.

5.1 Rakenne ja ohjelmointi

Ohjelmoitava logiikka on mikroprosessoripohjainen laite, joka koostuu keskusyksiköstä, muistista, tulo- ja lähtöyksiköistä ja jännitelähteestä. Tuloyksiköt soveltuvat kenttäsignaalit mikroprosessorille sopiviksi. Lähtöyksiköt vahvistavat ja soveltavat mikroprosessorin antamat signaalit sellaisiksi, että niillä voidaan ohjata toimilaitteita. Logiikan toteuttamat ohjelmakäskyt tallennetaan logiikan muistiin yksinkertaisina käskyinä tai symboleilla. Ohjelmoitavan logiikan eräänlaisina aivoina toimii keskusyksikkö, joka suorittaa muistiin tallennettua ohjelmaa määrävälein tai niin nopeasti kuin pystyy. Jännitelähde muodostaa logiikan tarvitsemat jännitteet. [11, s. 9–10.]

Logiikan ohjelmointi voidaan tehdä joko ohjelmointilaitteella tai tietokoneella ja ohjelmointiohjelmistolla. Yleisin ja usein halvin tapa on hankkia kannettava tietokone ja asentaa siihen ohjelmointiohjelmisto. [11, s. 30.]

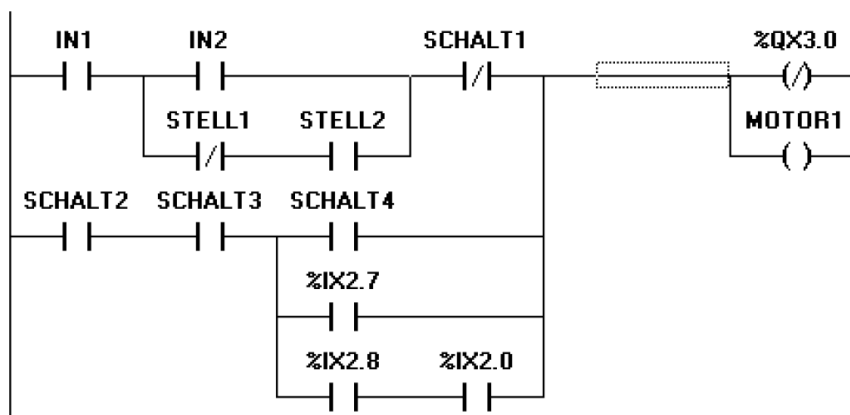
5.2 IEC61131-standardi

Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio (IEC) on laatinut standardisarjan IEC61131, jonka tarkoituksena on yhtenäistää logiikkaympäristöä. Standardisarjan osa 3 käsittelee ohjelmointikieliä ja sen tarkoitus on vähentää ohjelmointitapojen kirjavuutta. Standardi määrittelee seuraavat ohjelmointikielien (kuvat 3–7): [11, s. 30.]

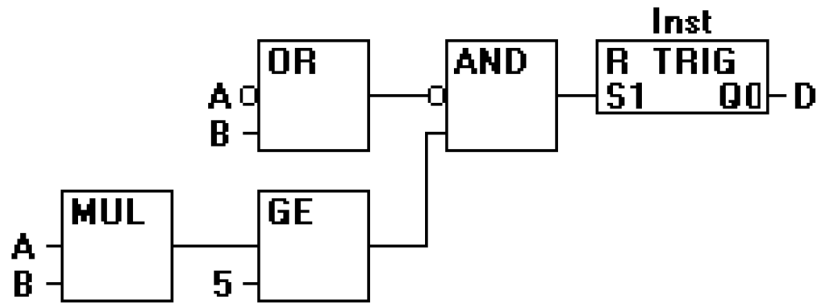
- käskylista, Instruction list, IL
- kosketinkaavio, Ladder Diagram, LD
- toimilohkokaavio, Function Block Diagram, FBD
- lausekieli, Structured Text, ST
- sekvenssikaavio, Sequential Function Chart, SFC

```
LD 17
ST lint (* Kommentar *)
GE 5
JMPC next
LD idword
EQ istruct.sdword
STN test
next:
```

Kuva 3. Esimerkki Instruction list -ohjelmointitavasta [12].



Kuva 4. Esimerkki Ladder Diagram -ohjelmointitavasta [12].



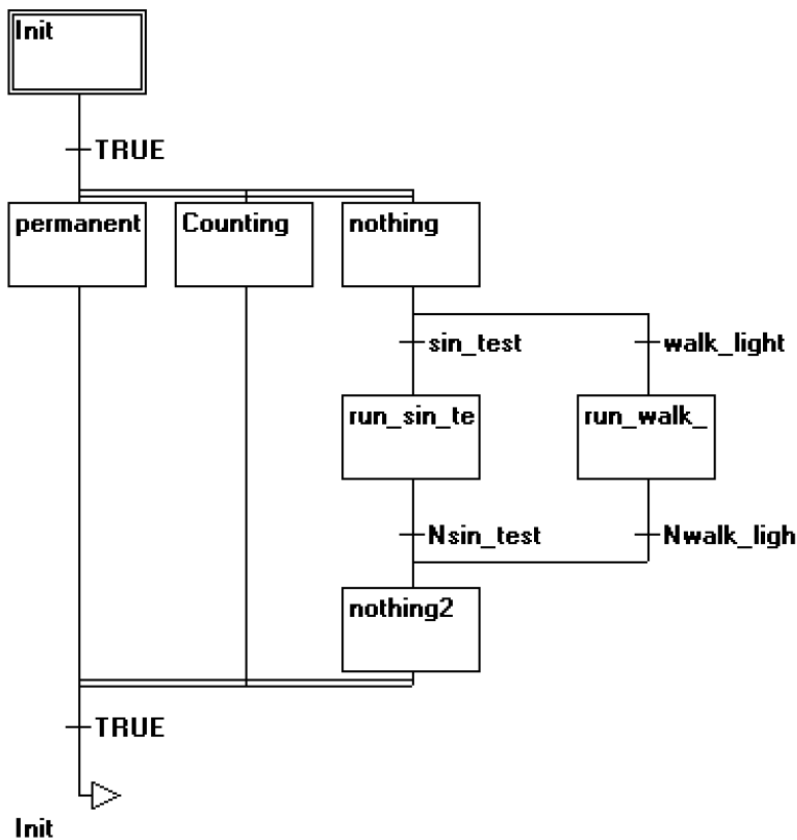
Kuva 5. Esimerkki Function Block Diagram -ohjelmointitavasta [12].

```

IF value < 7 THEN
  WHILE value < 8 DO
    value:=value+1;
  END WHILE;
END_IF;

```

Kuva 6. Esimerkki Structured Text -ohjelmointitavasta [12].

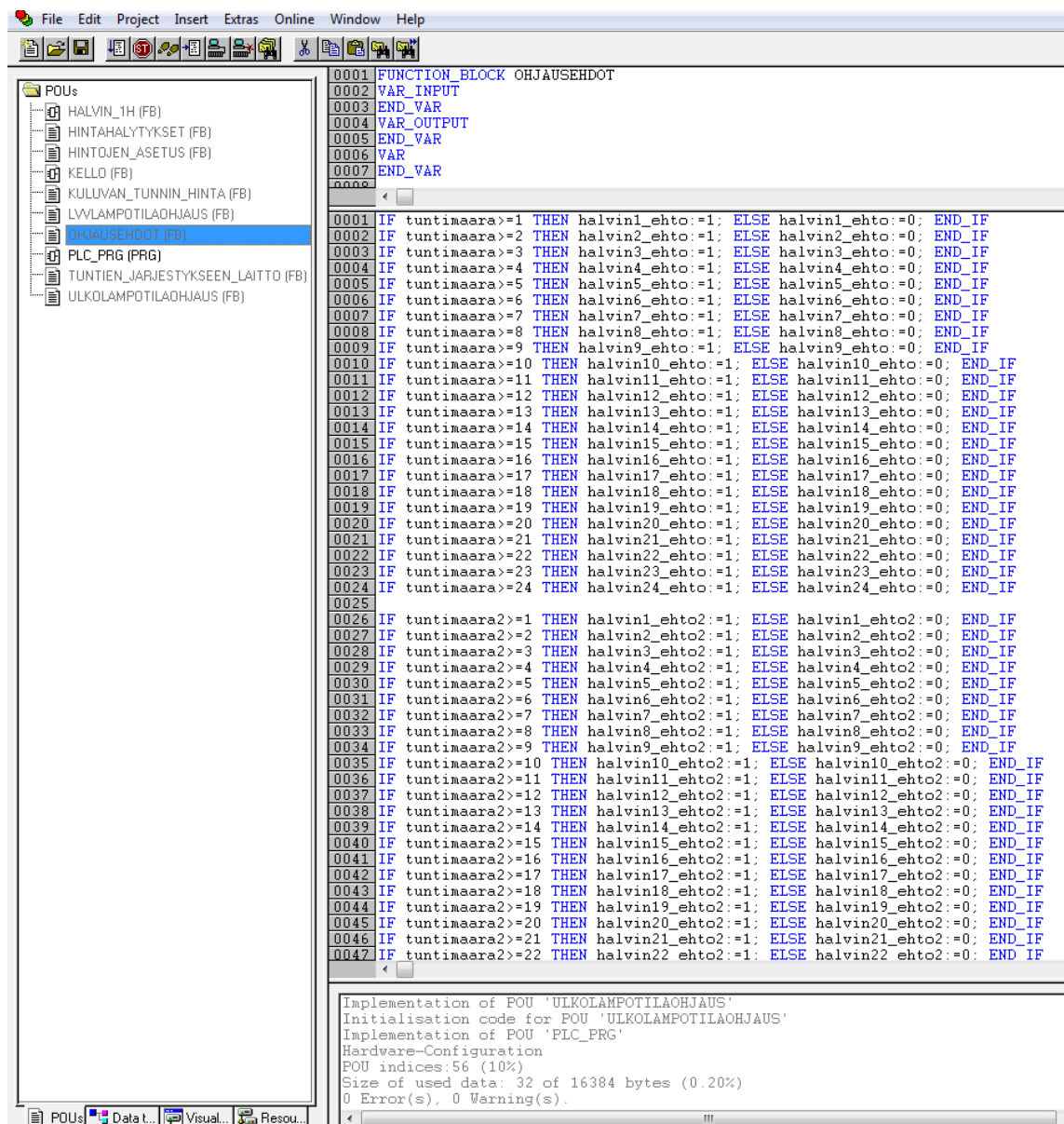


Kuva 7. Esimerkki Segquential Function Chart -ohjelmointitavasta [12].

Käyttöliittymällä voidaan valvoa ja hallita ohjelman toimintaa. Käyttöliittymänä voi toimia operointipaneeli tai tietokone, johon on asennettu valvomo-ohjelma.

6 Codesys-ohjelmointiohjelmisto

Saksalainen 3S-Smart Software Solutions GmbH kehitti ensimmäisen version Codesys-ohjelmointiohjelmistosta vuonna 1994. Codesys on maailman laajimmin käytetty Windows-pohjainen IEC61131-3-standardin mukainen ohjelmointiympäristö, joka on tarkoitettu älykkäiden automaatiolaitteiden ohjelmointiin. [13.] Ohjelmien teko onnistuu kaikkien edellä mainittujen viiden standardin mukaisen ohjelmointikielen lisäksi myös standardista poikkeavalla CFC-ohjelmointikielellä (Continuous Function Chart) [12]. Kuvassa 8 näkyy esimerkki Structured Text -ohjelmointikielestä Codesys-ohjelmistossa.



Kuva 8. Codesys-ohjelmointiympäristö.

Codesys sisältää muun muassa integroidun visualisointieditorin, jonka avulla käyttäjä voi helposti tehdä ohjelmalle käyttöliittymän. Käyttöliittymä helpottaa ohjelman testausta ja hallintaa. Käyttöliittymä on mahdollista tehdä myös internetselaimeen, mikä mahdollistaa ohjelman valvonnan ja hallinnan miltei tahansa internetyhteyden omaavalta tietokoneelta tai matkapuhelimelta. [14.]

7 Ohjelman suunnittelu

Varsinainen työ alkoi suunnitteleamalla ohjelman ominaisuudet pääpiirteittäin. Ensimmäiseksi piti miettiä, mitä ohjelman pitää tehdä, jotta se voi toteuttaa päätarkoituksensa eli kulutuksen painottamisen vuorokauden halvimmille tunneille. Tämän jälkeen voitiin suunnitella, mitä muita ominaisuuksia ohjelmassa voisi mahdollisesti olla.

Ohjelman kriittisiä tehtäviä ovat:

- sähkön tuntihintojen tietäminen
- vuorokauden tuntien järjestäminen halvimmasta kalleimpaan
- kellonajan tietäminen
- lähtöjen päälläolotarpeen tietäminen
- lähtöjen päälle asettaminen edullisimpien tuntien aikaan.

Ohjelman muita mahdollisia lisätehtäviä ovat:

- kuluvan tunnin sähkönhinnan näyttäminen
- hälyttäminen, jos kuluvan tunnin sähkönhintaa alittaa käyttäjän määrittämän alarajan
- hälyttäminen, jos kuluvan tunnin sähkönhintaa ylittää käyttäjän määrittämän ylärajan
- lähtöjen manuaaliohjauksen mahdollistaminen.

8 Ohjelman toteutus

Ohjelman toteutus tehtiin yllämainitulla IEC61131-3-standardin mukaisella Codesys-ohjelmointiohjelmistolla. Aluksi luotiin ohjelman kriittiset tehtävät suorittavat toimintoblokit¹. Tämän jälkeen tehtiin lisätehtävät suorittavat toimintoblokit, ja viimeiseksi luotiin ohjelman käyttöliittymä.

8.1 Sähkön tuntihintojen asetus

Sähkön tuntihintojen automaattisesta hausta luovuttiin opinnäytetyön rajauksessa, joten tuntihinnat tyydyttiin syöttämään ohjelman käyttöliittymään käsin. Seuraavan vuorokauden tuntihinnat kirjoitetaan ohjelman käyttöliittymään yksikössä €/MWh (kuva 9), josta ne viedään ohjelmaan joko automaattisesti kello 00:59:59 tai manuaalisesti käyttöliittymän *Vie hinnat manuaalisesti* -painikkeella (kuva 9). Automaattinen hintojen vienti tapahtuu 00:59:59, koska Nord Poolissa käytetään Keski-Euroopan aikaa (CET), joka on yhden tunnin jäljessä Suomen aikaa. Tämän tarkoittaa sitä, että vuorokausikohtaiset sähkön tuntihinnat vaihtuvat kello 01:00 Suomen aikaa. Jokaisen tunnin hinnalle on ohjelmassa oma REAL(reaaliluku)-tyyppinen muuttuja. Esimerkiksi *hintal2*-muuttujan arvo kuvaa sähkön tuntihintaa aikavälillä 11:00–12:00.

Vie hinnat manuaalisesti	
Tuntihinta ajalle 00:00-01:00 1.00 €/MWh	1. halvimman tunnin aloitusaika TOD#00:00
<input type="text" value="2"/>	2. halvimman tunnin aloitusaika TOD#01:00
Tuntihinta ajalle 02:00-03:00 3.00 €/MWh	3. halvimman tunnin aloitusaika TOD#02:00

Kuva 9. Sähkön tuntihintojen syöttö käyttöliittymään.

¹Ohjelma (Program) koostuu toimintoblokeista (Function Block).

8.2 Tuntien järjestäminen halvimmasta kalleimpaan

Vuorokauden tuntien järjestäminen halvimmasta kalleimpaan oli selkeästi vaikein toiminto toteuttaa. Toteuttamiseen jouduttiin käyttämään tunti hinnoille apumuuttujia. Esimerkiksi *h12*-muuttujan arvo on apuhinta tunnille 11:00–12:00.

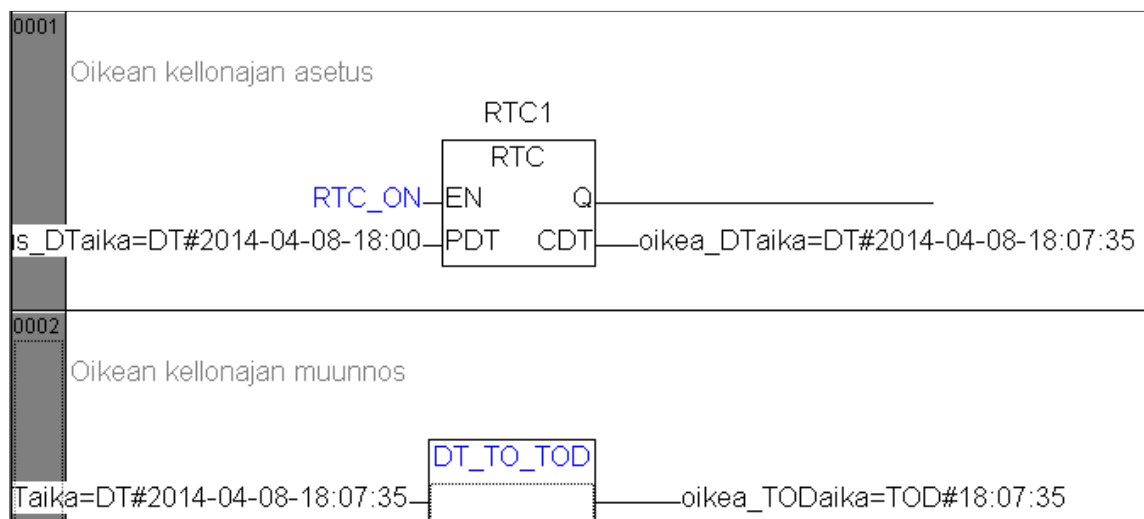
Ohjelma järjestää tunnit pääpiirteittäin seuraavalla tavalla:

1. Aluksi kaikki apuhinnat ovat yhtä suuria kuin oikeat tunti hinnat (esimerkiksi $h12=hint12$).
2. Ohjelma sisältää logiikkapiirin, joka antaa koko ajan tulokseksi pienimmän apuhinnan arvon.
3. Ohjelma etsii, mikä apuhinta vastaa tuota pienintä arvoa ja asettaa apuhinnan edustaman tunnin halvimmaksi tunniksi. Samalla ohjelma myös merkitsee muistiin, että halvin tunti on asetettu ja muuttaa kyseessä olevan apuhinnan arvoksi 99999, jota suurempi yksikään oikea hinta ei varmasti ole.
4. Kohdassa 2 mainittu logiikkapiiri antaa tulokseksi nyt arvon, joka on pienimmän apuhinnan arvo, mutta todellisuudessa se vastaa toiseksi halvimman tunnin hintaa.
5. Ohjelma etsii taas, mikä apuhinta vastaa tuota kohdan 2 logiikkapiirin arvoa ja asettaa apuhinnan edustaman tunnin toiseksi halvimmaksi tunniksi. Samalla ohjelma myös merkitsee muistiin, että toiseksi halvin tunti on asetettu ja muuttaa kyseessä olevan apuhinnan arvoksi taas 99999.
6. Vastaavasti edetään, kunnes kaikki 24 tuntia on saatu järjestykseen.
7. Kaikki alkaa alusta, kun kello on 23:59:59 tai painetaan *Vie hinnat manuaalisesti* -painiketta.

Vaikka kirjoitettuna toiminto saattaa vaikuttaa melko yksinkertaiselta, ei sitä ihan muutamalla käskyllä saa toimimaan ohjelmoitavassa logiikassa. Tätä toimintoa varten tarvitsi nimittäin kirjoittaa noin 600 käskyjonoa Structured Text -ohjelmointikielellä.

8.3 Järjestelmän kellonaika

Codesys sisältää erilaisia valmiita toimintoblokkeja, kuten esimerkiksi aikareleitä ja kiikkuja. Näiden valmiiden toimintoblokkien joukossa on Run Time Clock -toimintoblokki (RTC). RTC:ssä on kaksi tuloa, joista toinen käynnistää kellon ja toiseen asetetaan päivämäärä ja kellonaika (DT). Kun RTC käynnistetään, aloittaa toimintoblokki asetetun päivämäärän ja kellonajan kasvattamisen sekunti sekunnilta. Tämä juokseva DT-arvo on saatavilla RTC:n lähdöstä (kuva 10).



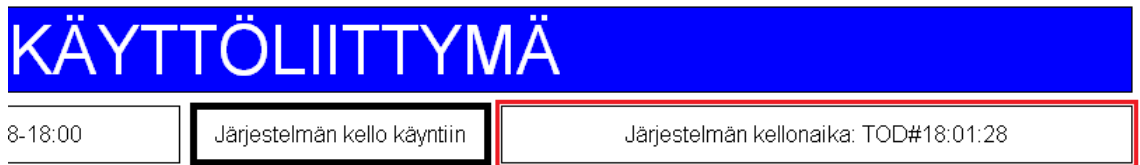
Kuva 10. Järjestelmän kellonaika toteutetaan RTC- ja DT_TO_TOD-toimintoblokkien avulla.

Ohjelma vaatii toimiakseen kuitenkin pelkän oikean kellonajan, joten tämä DT-muotoinen (Date and Time) arvo pitää muuttaa TOD-muotoon (Time Of Day). Tämä onnistuu helposti Codesysin valmiilla DT_TO_TOD-muunnostoitimoblokillä (kuva 10).

Kellonajan asetus tapahtuu asettamalla oikea päivämäärä ja kellonaika käyttöliittymän kohtaan *Asetuspäivämäärä ja -kellonaika* ja painamalla *Järjestelmän kello käyntiin* -painiketta (kuva 11). Päivämäärän ei tarvitse välttämättä olla oikea, sillä ohjelma toimii pelkän kellonajan perusteella. Asettamisen jälkeen järjestelmän juokseva kellonaika näkyy käyttöliittymässä sekunnin tarkkuudella (kuva 12).



Kuva 11. Järjestelmän kellonajan asetus.

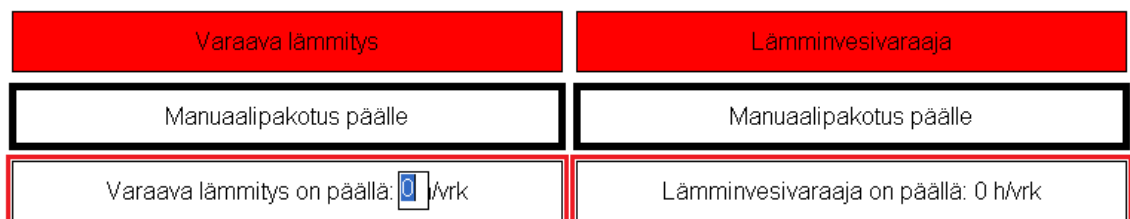


Kuva 12. Järjestelmän kellonaika.

8.4 Lähtöjen päälläolotarve

Ohjelmassa on kaksi lähtöä kahteen eri käyttötarkoitukseen. Toinen lähtö on suunniteltu varaavan lämmityksen ohjaukseen (soveltuu myös esimerkiksi kesäasunnon peruslämmön ylläpitämiseen) ja toinen lämminvesivaraajan ohjaukseen.

Kummallekin lähdölle voidaan asettaa manuaalisesti käyttöliittymässä se tuntimäärä, minkä verran lähtö on päällä vuorokauden aikana (kuva 13). Lähtöjen päällä oleminen ei välttämättä tarkoita lämmityksen ja lämminvesivaraajan päälläoloa. Jos lähdöt asetetaan esimerkiksi olemaan 24 tuntia vuorokaudessa päällä, ei se tarkoita sitä, että lämmitys ja lämminvesivaraaja olisivat koko tuon ajan päällä. Tämä johtuu siitä, että lämmityksessä ja lämminvesivaraajassa on termostaatit, jotka toimivat ohjelmoitavasta logiikasta riippumatta eli sammuttavat lämmityslaitteet, kun asetettu maksimilämpötila on saavutettu. Tuo esimerkkiasetus tarkoittaa käytännössä sitä, että ohjelma ei painota kulutusta halvimmille tunneille, vaan kaikki tunnit ovat niin sanotusti käytettävissä.



Kuva 13. Lähtöjen päälläolotarpeen asettaminen.

Asetettujen tuntimäärien tulee olla toisaalta riittävän isot, jotta huonelämpö pysyy halutussa ja lämmin käyttövesi ei lopu. Toisaalta niiden on oltava myös riittävän pienet, jotta kulutus painottuisi halvimmille tunneille ja saataisiin taloudellista hyötyä. Kuvitellessaan, että lämminvesivaraajan lähtö on asetettu olemaan päällä 6 h/vrk, mutta lämminvesivaraaja lämpiääkin maksimilämpötilaansa (jolloin termostaatti sammuttaa lämmityksen) jo neljän tunnin aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että lämminvesivaraaja on ollut päällä neljä tuntia kuuden halvimmän tunnin joukosta. Lämminvesivaraaja on voinut olla päällä siis joko neljä halvinta tuntia, 3.-6. halvimmat tunnit tai siltä väliltä. Ideaalitilanteessa tuntimäärät ovat asetettu sellaisiksi, että juuri niiden tuntimäärien aikana varaava lämmitys on saanut varattua tarpeeksi lämpöä halutun huonelämmön ylläpitämiseksi ja lämminvesivaraaja on saanut lämmitettyä tarpeeksi vettä vuorokauden lämpimän käyttövesitarpeen kattamiseksi.

Kumpikin lähtö voidaan asettaa myös automaattitilaan, jossa ohjelma hoitaa päälläolotarpeen määrittämisen automaattisesti. Varaavan lämmityksen päälläolotarve määritetään ulkolämpötilan perusteella ja lämminvesivaraajan päälläolotarve lämminvesivaraajassa olevan veden lämpötilan perusteella. Lähdöt voidaan asettaa automaattitilaan käyttöliittymän *Ulkolämpötilaohjaus-* ja *Lämminvesivaraajan lämpötilaohjaus-*painikkeilla (kuva 14).

Varaava lämmitys	Lämminvesivaraaja
Manuaalipakotus päälle	Manuaalipakotus päälle
Varaava lämmitys on päällä: 4 h/vrk	Lämminvesivaraaja on päällä: 6 h/vrk
Ulkolämpötilaohjaus	Lämminvesivaraajan lämpötilaohjaus
Ulkolämpötila: 0.00 Celsiusastetta	Lämminvesivaraajan lämpötila: 51.00 Celsiusastetta

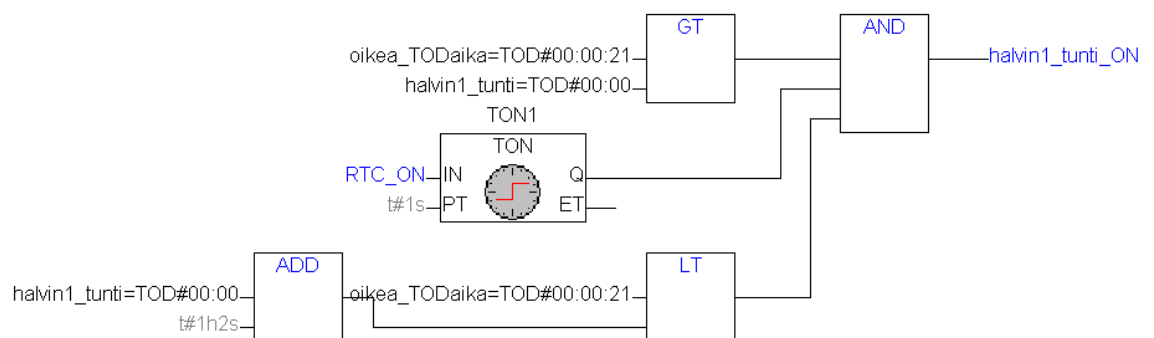
Kuva 14. Lähtöjen asetus automaattitilaan.

8.5 Lähtöjen ohjaus

Taloudellisen hyödyn syntymiseksi pitää lähdöt saada ohjattua päälle silloin, kun sähkö on halvinta. Aiemmin lueteltujen toimintojen avulla ohjelma tietää tuntien halvemmuusjärjestyksen, kellonajan ja kuinka monta tuntia lähtöjen pitää olla päällä.

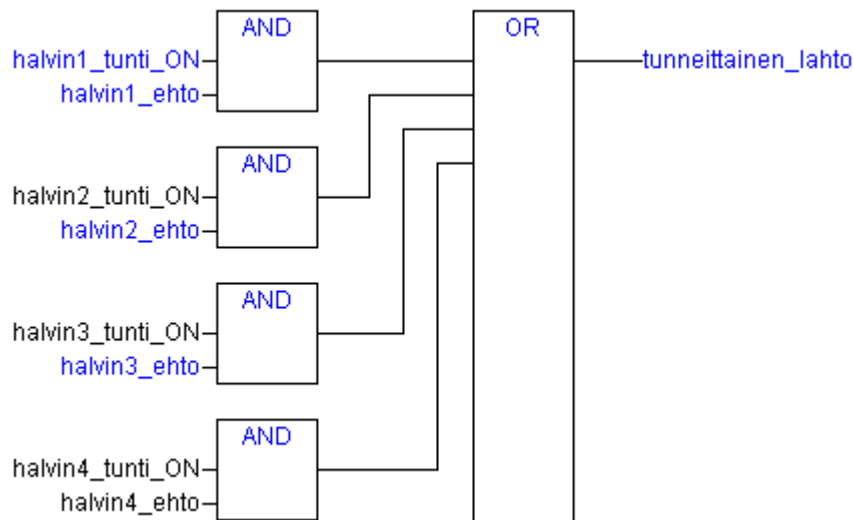
Ohjelma ohjaa lähtöjä seuraavalla periaatteella:

1. Ohjelmassa on bittimuotoinen² muuttuja jokaiselle tunnille halvemmuusjärjestyksessä. Muuttujat kuvaavat, monenneksi halvin tunti on milloinkin menossa. Esimerkiksi bittimuotoinen muuttuja *halvin1_tunti_ON* saa arvon 1 silloin, kun halvin tunti on menossa (kuva 15). Muuna aikana tämän muuttujan arvo on 0.
2. Ohjelmassa on myös bittimuotoiset muuttujat kummankin lähdön tuntimäärille 0-24. Esimerkiksi varaavan lämmityksen lähdön tuntimäärän ollessa 3 h/vrk saavat muuttujat *halvin1_ehto*, *halvin2_ehto* ja *halvin3_ehto* arvon 1 ja muuttujat *halvin4_ehto*, *halvin5_ehto*...*halvin24_ehto* arvon 0.
3. Kohtien 1 ja 2 muuttujat muodostavat keskenään muuttujaparit. Jos esimerkiksi *halvin1_ehto* ja *halvin1_tunti_ON* saavat molemmat arvon 1, menee varaavan lämmityksen lähtö päälle (kuva 16). Lähtö menee pois päältä, kun toinen tai molemmat näistä muuttujista saa arvon 0 ja minkään muun muuttujaparin molemmat muuttujat eivät ole saaneet arvoa 1.



Kuva 15. Halvin tunti menossa (bittimuotoisen muuttujan nimi on sininen, kun sen arvo on 1).

²Bittimuotoinen muuttuja voi olla arvoltaan joko 0 tai 1.



Kuva 16. Halvin tunti menossa ja lähdön päälläolotuntimääräksi on asetettu kolme tuntia vuorokaudessa.

Yksinkertaistettuna tämä tarkoittaa sitä, että jos varaavan lämmityksen tuntimäärä asetetaan kolmeen tuntiin vuorokaudessa, on lähtö päällä halvimman, toiseksi halvimman ja kolmanneksi halvimman tunnin ajan.

8.6 Kuluvan tunnin sähkönhinta

Kuluvan tunnin sähkönhinta näkyy käyttöliittymässä euroina megawattituntia kohden (kuva 17). Ohjelma valitsee kellonajan perusteella kuluvaan tuntiin vastaavan sähkönhinnan kohdassa 8.1 mainituista muuttujista *hintal–hint24*.

KÄYTTÖLIITTYMÄ		
1-00:00	Järjestelmän kello käyntiin	Järjestelmän kellonaika: TOD#00:15:29
Lämmivesivaraaja	Kuluvan tunnin hinta: 21.09 €/MWh	

Kuva 17. Kuluvan tunnin sähkönhinta näkyy käyttöliittymässä.

8.7 Sähköhintahälytykset

Käyttäjä voi käyttöliittymässä määrittää sähköhintahälytyksille ala- ja ylärajan (kuva 18). Oletusarvoisesti alaraja on 20 €/MWh ja yläraja 50 €/MWh. Mikäli sähköhintaa alittaa käyttäjän määrittämän alarajan, muuttuu käyttöliittymässä oleva *HÄLYTYS: Sähkö on halpaa* -laatikko vihreäksi (kuva 19). Jos taas sähköhintaa ylittää käyttäjän määrittämän ylärajan, muuttuu käyttöliittymässä oleva *HÄLYTYS: Sähkö on kallista* -laatikko punaiseksi (kuva 20).

Kuluvan tunnin hinta: 30.00 €/MWh	
HÄLYTYS: Sähkö on kallista	HÄLYTYS: Sähkö on halpaa
Hälytysraja: 50.00 €/MWh	<input type="text" value="20"/>

Kuva 18. Sähköhintahälytyksien ala- ja ylärajan asetus.

Kuluvan tunnin hinta: 19.00 €/MWh	
HÄLYTYS: Sähkö on kallista	HÄLYTYS: Sähkö on halpaa
Hälytysraja: 50.00 €/MWh	Hälytysraja: 20.00 €/MWh

Kuva 19. Sähköhintaa on alittanut asetetun alarajan.

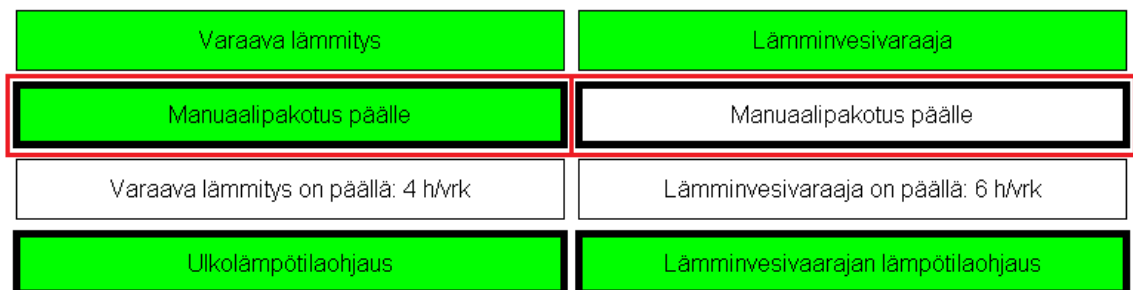
Kuluvan tunnin hinta: 51.00 €/MWh	
HÄLYTYS: Sähkö on kallista	HÄLYTYS: Sähkö on halpaa
Hälytysraja: 50.00 €/MWh	Hälytysraja: 20.00 €/MWh

Kuva 20. Sähköhintaa on ylittänyt asetetun ylärajan.

8.8 Lähtöjen ohjaus manuaalisesti

Kumpikin lähtö voidaan erikseen pakottaa joko päälle tai pois päältä. Tämä voi tulla tarpeelliseksi, jos esimerkiksi ulkolämpötila-anturi hajoaa.

Lähdön pakotus päälle onnistuu yksinkertaisesti aktivoimalla käyttöliittymästä *Manuaalipakotus päälle* -painike, jolloin laatikko muuttuu vihreäksi (kuva 21). Kummallekin lähdölle on oma painike. Lähdön pakotus pois päältä onnistuu laittamalla käyttöliittymästä lämpötilaohjaus (ulkolämpötilaohjaus tai lämminvesivaraajan lämpötilaohjaus riippuen kummasta lähdöstä on kyse) pois päältä, jolloin laatikko muuttuu valkoiseksi ja asettamalla lähdön päälläolotarpeeksi 0 h/vrk (kuva 22).



Kuva 21. Varaava lämmitys pakotettuna päälle.



Kuva 22. Molemmat lähdöt pakotettuna pois päältä.

8.9 Käyttöliittymä

Ohjelman käyttöliittymä luotiin Codesysin visualisointieditorilla. Visualisointieditorilla voidaan luoda käyttöliittymään toimintoja, joilla voidaan ohjata tai valvoa minkä tahansa muuttujan arvoa ja havainnollistaa sitä esimerkiksi eri värein. Käyttöliittymän avulla

ohjelman ohjaus ja valvonta on yksinkertaista, koska kaikki tarvittava saadaan näky-
mään kerralla tietokoneen ruudulle (kuva 23).

KÄYTTÖLIITTYMÄ			
Asetuspäivämäärä ja -kellonaika: DT#1970-01-01-00:00	Järjestelmän kello käyntiin	Järjestelmän kellonaika: TOD#00:07:19	
Varaava lämmitys	Lämminvesivaraaja	Kuluvan tunnin hinta: 30.00 €/MWh	
Manuaalipakotus päälle	Manuaalipakotus päälle	HÄLYTYS: Sähkö on kallista	HÄLYTYS: Sähkö on halpaa
Varaava lämmitys on päällä: 0 h/vrk	Lämminvesivaraaja on päällä: 0 h/vrk	Hälytysraja: 50.00 €/MWh	Hälytysraja: 20.00 €/MWh
Ulkolämpötilaohjaus	Lämminvesivaraajan lämpötilaohjaus		
Ulkolämpötila: 0.00 Celsiusastetta	Lämminvesivaraajan lämpötila: 51.00 Celsiusastetta		
Vie hinnat manuaalisesti			
Tuntihinta ajalle 00:00-01:00 30.00 €/MWh	1. halvimman tunnin aloitusaika TOD#00:00		
Tuntihinta ajalle 01:00-02:00 2.00 €/MWh	2. halvimman tunnin aloitusaika TOD#01:00		
Tuntihinta ajalle 02:00-03:00 3.00 €/MWh	3. halvimman tunnin aloitusaika TOD#02:00		
Tuntihinta ajalle 03:00-04:00 4.00 €/MWh	4. halvimman tunnin aloitusaika TOD#03:00		
Tuntihinta ajalle 04:00-05:00 5.00 €/MWh	5. halvimman tunnin aloitusaika TOD#04:00		
Tuntihinta ajalle 05:00-06:00 6.00 €/MWh	6. halvimman tunnin aloitusaika TOD#05:00		
Tuntihinta ajalle 06:00-07:00 7.00 €/MWh	7. halvimman tunnin aloitusaika TOD#06:00		
Tuntihinta ajalle 07:00-08:00 8.00 €/MWh	8. halvimman tunnin aloitusaika TOD#07:00		
Tuntihinta ajalle 08:00-09:00 9.00 €/MWh	9. halvimman tunnin aloitusaika TOD#08:00		
Tuntihinta ajalle 09:00-10:00 10.00 €/MWh	10. halvimman tunnin aloitusaika TOD#09:00		
Tuntihinta ajalle 10:00-11:00 11.00 €/MWh	11. halvimman tunnin aloitusaika TOD#10:00		
Tuntihinta ajalle 11:00-12:00 12.00 €/MWh	12. halvimman tunnin aloitusaika TOD#11:00		
Tuntihinta ajalle 12:00-13:00 13.00 €/MWh	13. halvimman tunnin aloitusaika TOD#12:00		
Tuntihinta ajalle 13:00-14:00 14.00 €/MWh	14. halvimman tunnin aloitusaika TOD#13:00		
Tuntihinta ajalle 14:00-15:00 15.00 €/MWh	15. halvimman tunnin aloitusaika TOD#14:00		
Tuntihinta ajalle 15:00-16:00 16.00 €/MWh	16. halvimman tunnin aloitusaika TOD#15:00		
Tuntihinta ajalle 16:00-17:00 17.00 €/MWh	17. halvimman tunnin aloitusaika TOD#16:00		
Tuntihinta ajalle 17:00-18:00 18.00 €/MWh	18. halvimman tunnin aloitusaika TOD#17:00		
Tuntihinta ajalle 18:00-19:00 19.00 €/MWh	19. halvimman tunnin aloitusaika TOD#18:00		
Tuntihinta ajalle 19:00-20:00 20.00 €/MWh	20. halvimman tunnin aloitusaika TOD#19:00		
Tuntihinta ajalle 20:00-21:00 21.00 €/MWh	21. halvimman tunnin aloitusaika TOD#20:00		
Tuntihinta ajalle 21:00-22:00 22.00 €/MWh	22. halvimman tunnin aloitusaika TOD#21:00		
Tuntihinta ajalle 22:00-23:00 23.00 €/MWh	23. halvimman tunnin aloitusaika TOD#22:00		
Tuntihinta ajalle 23:00-24:00 24.00 €/MWh	24. halvimman tunnin aloitusaika TOD#23:00		

Kuva 23. Käyttöliittymä kokonaisuudessaan.

Käyttöliittymän toiminnot:

- järjestelmän kellonajan asetus ja näyttö
- lähtöjen tilan näyttö
- lähtöjen manuaalinen pakotus päälle ja pois päältä
- lähtöjen päälläolotarpeen tuntimäärän manuaalinen asetus
- lähtöjen ohjauksen asetus automaattitilaan
- ulkolämpötilan ja lämminvesivaraajan lämpötilan näyttö (ja simuloidessa myös asetus)
- kuluvan tunnin sähköhinnan näyttö
- sähköhintahälytyksien ala- ylärajan asetus ja näyttö
- sähköhintahälytyksien näyttö
- sähkön tuntihintojen asetus ja näyttö
- vuorokauden tuntien halvemmuusjärjestyksen näyttö.

Jos ohjelmasta kehitetään itsekseen toimiva järjestelmä, voidaan käyttöliittymä tehdä myös internetselaimeen, jolloin ohjelman ohjaus ja valvonta onnistuu miltä tahansa tietokoneelta tai matkapuhelimesta, josta löytyy internetyhteys.

9 Tulokset

Luodun ohjelman tarkoitus oli painottaa kulutusta niille tunneille, jolloin sähkönhinta on halvinta (sähköpörssiin perustuva sähkösopimus). Ohjelman toimivuutta voidaan parhaiten arvioida laskemalla, kuinka paljon sillä säästäisi rahaa sähkölaskussa.

Vertailu tehtiin Pohjois-Karjalan Sähkö Oy:n Oiva ja Spot -sopimusten välillä, koska kaikkien näiden sopimusten sähkönhinnat seuraavat jollakin tasolla sähkön markkinahintaa. Spot-sopimuksen hinnat päivittyvät päivittäin ja Oiva-sopimusten hinnat neljä kertaa vuodessa. Vuodenaikasopimus jätettiin vertailusta pois, koska sen hinnoittelua on vaikea suoraan verrata muihin sopimuksiin.

9.1 PKS Spot -sopimus ja kulutuksenohjausohjelma

Jotta ohjelman avulla säästettäisiin sähkölaskussa, pitää käytössä olla sähköpörssin tuntihintoihin perustuva sähkösopimus. PKS Spot -sopimuksessa sähköenergianhinta määräytyy Elspot-markkinoiden Suomen aluehinnan mukaisesti. Suomen aluehintoihin lisätään arvonlisävero (24 %) ja välityspalkkio (0,45 snt/kWh). Kuukausimaksu sopimuksessa on 3,53 €/kk. [9.]

Vuoden 2014 tammi–maaliskuun keskimääräinen sähkönhinta oli 35,24 €/MWh (Nord Pool). Vuorokausista tätä keskiarvoa lähimpänä on 21.2.2014 keskiarvolla 35,19 €/MWh, joten tämän päivämäärän tuntihintoja voitiin hyvin käyttää laskennassa kuvaten keskimääräisiä tuntihintoja (taulukko 1). Taulukon 1 arvoista on johdettu PKS Spot -sopimuksen keskimääräiset hinnat (taulukko 2).

Taulukko 1. Sähkön tuntihinnat 21.2.2014.

Kellonaika (CET)	Sähkönhinta (€/MWh)
00–01	26,70
01–02	26,73
02–03	26,32
03–04	26,86
04–05	27,70
05–06	32,21
06–07	40,52
07–08	54,34
08–09	54,07
09–10	40,54
10–11	46,62
11–12	33,76
12–13	34,66
13–14	33,02
14–15	36,17
15–16	35,27
16–17	38,77
17–18	49,46
18–19	33,10
19–20	30,80
20–21	29,94
21–22	29,95
22–23	28,84
23–00	28,22

Taulukko 2. Sähköenergian keskimääräiset hinnat tuntimäärittäin PKS Spot -sopimuksella ja kulutuksenohjausautomaatiolla 1.1.–31.3.2014.

Tuntimäärä/vrk (h)	Yksittäisen tunnin sähköenergian hinta (snt/kWh)	Sähköenergian keskimääräinen hinta (snt/kWh)
1	3,71	3,71
2	3,76	3,74
3	3,76	3,75
4	3,78	3,75
5	3,88	3,78
6	3,95	3,81
7	4,03	3,84
8	4,16	3,88
9	4,16	3,91
10	4,27	3,95
11	4,44	3,99
12	4,54	4,04
13	4,55	4,08
14	4,64	4,12
15	4,75	4,16
16	4,82	4,20
17	4,94	4,24
18	5,26	4,30
19	5,47	4,36
20	5,48	4,42
21	6,23	4,50
22	6,58	4,60
23	7,15	4,71
24	7,19	4,81
Kuukausimaksu	3,53 €/kk	

9.2 PKS Oiva plus Yksiaika ja Päivä-Yö -sopimukset

PKS Oiva -sopimuksessa sähkö hinnoitellaan jokaiselle vuosineljännekselle erikseen. Taulukoissa 3 ja 4 on kuvattu näiden sopimusten sähköenergian hintoja vuoden 2014 ensimmäisellä neljänneksellä. [15.]

Taulukko 3. Sähköenergian hinta tuntimäärittäin PKS Oiva plus Yksiaika -sopimuksella 1.1.–31.3.2014.

Tuntimäärä/vrk (h)	Yksittäisen tunnin sähköenergian hinta (snt/kWh)	Sähköenergian keskimääräinen hinta (snt/kWh)
1	6,68	6,68
2	6,68	6,68
3	6,68	6,68
4	6,68	6,68
5	6,68	6,68
6	6,68	6,68
7	6,68	6,68
8	6,68	6,68
9	6,68	6,68
10	6,68	6,68
11	6,68	6,68
12	6,68	6,68
13	6,68	6,68
14	6,68	6,68
15	6,68	6,68
16	6,68	6,68
17	6,68	6,68
18	6,68	6,68
19	6,68	6,68
20	6,68	6,68
21	6,68	6,68
22	6,68	6,68
23	6,68	6,68
24	6,68	6,68
Kuukausimaksu	3,52 €/kk	

Taulukko 4. Sähköenergian hinta tuntimäärittäin PKS Oiva plus Päivä-Yö -sopimuksella 1.1.–31.3.2014.

Tuntimäärä/vrk (h)	Yksittäisen tunnin sähköenergian hinta (snt/kWh)	Sähköenergian keskimääräinen hinta (snt/kWh)
1	5,98	5,98
2	5,98	5,98
3	5,98	5,98
4	5,98	5,98
5	5,98	5,98
6	5,98	5,98
7	5,98	5,98
8	5,98	5,98
9	5,98	5,98
10	7,01	6,08
11	7,01	6,17
12	7,01	6,24
13	7,01	6,30
14	7,01	6,35
15	7,01	6,39
16	7,01	6,43
17	7,01	6,46
18	7,01	6,50
19	7,01	6,52
20	7,01	6,55
21	7,01	6,57
22	7,01	6,59
23	7,01	6,61
24	7,01	6,62
Kuukausimaksu	3,52 €/kk	

9.3 Ohjelmalla saatava taloudellinen hyöty

Taulukosta 5 nähdään kuinka monta prosenttia kalliimpia Oiva-sopimukset ovat verrattuna Spot-sopimukseen, kun käytössä on kulutuksenohjausohjelma. Taulukosta nähdään myös, että mitä pienempi tuntimäärä sitä suurempi hintaero. Tuntimäärä kertoo, kuinka monta tuntia kulutuslaite on päällä vuorokauden aikana.

Taulukko 5. Sähköenergian keskimääräisten hintojen vertailu eri sopimuksilla.

Tuntimäärä/vrk (h)	PKS Spot+ohjelma: Sähköenergian keskimääräinen hinta (snt/kWh)	PKS Oiva plus Yksiaika: Sähköenergian keskimääräinen hinta suhteessa Spot-sopimukseen (%)	PKS Oiva plus Päivä-Yö: Sähköenergian keskimääräinen hinta suhteessa Spot-sopimukseen (%)
1	3,71	180	161
2	3,74	179	160
3	3,75	178	159
4	3,75	178	159
5	3,78	177	158
6	3,81	175	157
7	3,84	174	156
8	3,88	172	154
9	3,91	171	153
10	3,95	169	154
11	3,99	167	155
12	4,04	165	154
13	4,08	164	154
14	4,12	162	154
15	4,16	161	154
16	4,20	159	153
17	4,24	158	152
18	4,30	155	151
19	4,36	153	150
20	4,42	151	148
21	4,50	148	146
22	4,60	145	143
23	4,71	142	140
24	4,81	139	138

Vesikiertoisen varaavan sähkölämmityksen tuntimäärä vaihtelee viidestä yhdeksään tuntiin vuorokaudessa riippuen kohteesta ja varaajan koosta ja tehosta. Varaajan teho on yleensä 12–18 kW. [16.] Lasketaan kuinka paljon keskimääräisen vesikiertoisen varaavan sähkölämmityksen sähköenergiakulut olisivat olleet 1.1.–31.3.2014 välisenä aikana taulukon 5 sähkösopimuksilla:

PKS Spot+kulutuksenohjausohjelma:

tuntimäärä/vrk	$(5 \text{ h} + 9 \text{ h}) / 2 = 7 \text{ h}$
teho	$(12 \text{ kW} + 18 \text{ kW}) / 2 = 15 \text{ kW}$
sähköenergiakulut 1.1.–31.3.2014	$7 \text{ h} * (31 + 28 + 31) * 15 \text{ kW} * 3,84 \text{ snt/kWh}$ = 362,88 €

PKS Oiva plus Yksiaika:

sähköenergiakulut 1.1.–31.3.2014	$362,88 \text{ €} * 174 \% = 61,41 \text{ €}$
----------------------------------	---

PKS Oiva plus Päivä-Yö:

sähköenergiakulut 1.1.–31.3.2014	$362,88 \text{ €} * 156 \% = 56,09 \text{ €}$
----------------------------------	---

Kolmen kuukauden aikana Spot-sopimuksella ja kulutuksenohjausohjelmalla syntyisi säästöä 203 euroa verrattuna Päivä-Yö-sopimukseen ja 268 euroa verrattuna Yksiaika-sopimukseen ohjattaessa vesikiertoista varaavaa sähkölämmitystä.

Mikäli rakennuksessa on vesikiertoinen varaava sähkölämmitys, ei erillistä lämminvesivaraajaa yleensä ole, mutta lasketaan kuinka paljon säästöä olisi syntynyt pelkän lämminvesivaraajan kulutuksenohjauksella 1.1.–31.3.2014 välisenä aikana. Hyvin kesimääräinen lämminvesivaraaja on tilavuudeltaan 300 l ja teholtaan 3 kW. Tällaisen lämminvesivaraajan tuntimäärä on Kaukora Oy:n myyntipäällikön Antti Sunin mukaan yleensä noin 4–6 tuntia.

PKS Spot+kulutuksenohjausohjelma:

tuntimäärä/vrk	$(4 \text{ h} + 6 \text{ h}) / 2 = 5 \text{ h}$
teho	3 kW
sähköenergiakulut 1.1.–31.3.2014	$5 \text{ h} * (31 + 28 + 31) * 3 \text{ kW} * 3,78 \text{ snt/kWh}$ = 51,03 €

PKS Oiva plus Yksiaika:

sähköenergiakulut 1.1.–31.3.2014 51,03 €*177 % = 9032 €

PKS Oiva plus Päivä-Yö:

sähköenergiakulut 1.1.–31.3.2014 51,03 €*158 % = 8063 €

Kolmen kuukauden aikana Spot-sopimuksella ja kulutuksenohjausohjelmalla syntyisi säästöä 29 euroa verrattuna Päivä-Yö-sopimukseen ja 39 euroa verrattuna Yksiaikasopimukseen ohjattaessa pelkkää lämminvesivaraajaa.

10 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda ohjelma, joka ohjaa sähkönkulutusta sähkön tuntihintojen perusteella pienentäen sähkölaskua. Mielestäni saavutin tavoitteen erittäin hyvin. Paremminkin olisin voinut onnistua ainoastaan tekemällä täysin itsekseen toimivan järjestelmän, mutta se olisi ollut liian laaja ja myös eri alan osaamista vaativa tehtävä.

Tulokset-luvussa näkyy, että ohjelma todella säästäisi huomattavia summia rahaa, jos siitä kehitetään itsekseen toimiva järjestelmä. Pelkän lämminvesivaraajan kulutuksen ohjaus ei säästä hirveästi, mutta varaavan sähkölämmityksen säästölaskelmat kertovat, että ohjelmassa on kehitettynä potentiaalia kaupalliseksi tuotteeksi. Tämän ovat huomanneet myös alan toimijat ja tätä opinnäytetyötä tehtäessä on markkinoille tullut vastaavia kaupallisia tuotteita muun muassa Fortum Oyj:ltä ja Anvia Oyj:ltä. Saatavilla olevista tuotteista yksikään ei ole tarkoitettu pelkän lämminvesivaraajan ohjaukseen, joten markkinoilla on vielä tilaa tämän tapaisille tuotteille.

Oppimisprosessina tämä työ oli erittäin mielenkiintoinen ja opettava. Ohjelman luonnin ja toiminnan raportointi selkeään sanalliseen muotoon oli melko haastavaa.

Tämä opinnäytetyö tarjoaa hyvät mahdollisuudet jatkokehitykselle. Itse aion ainakin jatkaa ohjelman kehittämistä itsekseen toimivaksi järjestelmäksi.

Lähteet

1. Nord Pool Spot. Europe's leading power markets. 17.1.2014.
http://www.npspot.com/Global/Download%20Center/Annual-report/Nord-Pool-Spot_Europe's-leading-power-markets.pdf. [Luettu 19.3.2014.]
2. Nord Pool Spot. Day-ahead market. <http://www.npspot.com/How-does-it-work/Day-ahead-market-Elspot/>. [Luettu 19.3.2014.]
3. Nord Pool Spot. Intraday market. <http://www.npspot.com/How-does-it-work/Intraday-market-Elbas/>. [Luettu 19.3.2014.]
4. Partanen J, Viljainen S, Lassila J, Honkapuro S, Tahvanainen K, Karjalainen R, Annala S & Makkonen M. Sähkömarkkinat – opetusmoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikka. Lappeenranta. 2013. S. 31-33.
5. Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (66/2009). Helsinki. 5.2.2009.
6. Energiateollisuus ry. Energian mittaus.
<http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/energian-mittaus>. [Luettu 20.3.2014.]
7. Työ- ja elinkeinoministeriö. Älykkäät sähkömittarit käyttöön Suomessa: Kotitalouksille jopa reaaliaikaista tietoa omasta sähkökäytöstä. 5.2.2009.
http://www.tem.fi/ajankohtaista/uutiskirjearkisto/arkisto_2008-2009/uutiskirje_5.2.2009/alykkaat_sahkomittarit_kayttoon_suomessa_kotitalouksille_jopa_reaaliaikaista_tietoa_omasta_sahkonkaytosta.94054.news. [Luettu 20.3.2014.]
8. Fortum. Fortum Tarkka. 18.3.2014.
<http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/sahkosopimus/fortum-tarkka/pages/default.aspx>. [Luettu 24.3.2014.]
9. Pohjois-Karjalan Sähkö. PKS Spot. <http://www.pks.fi/pks-spot>. [Luettu 24.3.2014.]
10. Vattenfall. Pörssisopimus.
<http://www.vattenfall.fi/fi/porssisopimus.htm#hinnan-muodostuminen>. [Luettu 24.3.2014.]
11. Pitkänen J. Ohjelmoitava logiikka. 2006. S. 6-30.
12. 3S - Smart Software Solutions GmbH. User Manual for PLC Programming with CoDeSys 2.3. 28.10.2010.
http://www.wago.com/wagoweb/documentation/759/eng_manu/333/m07590333_00000000_1en.pdf. [Luettu 28.3.2014.]
13. Codesys. Company. <http://www.codesys.com/company.html>. [Luettu 28.3.2014.]
14. Codesys. Visualization. <http://www.codesys.com/products/codesys-visualization.html>. [Luettu 28.3.2014.]
15. Pohjois-Karjalan Sähkö. PKS Oiva. <http://www.pks.fi/oiva>. [Luettu 14.4.2014.]
16. Anvia. Kotitonttu. <http://omatonttu.fi/>. [Luettu 14.4.2014.]