



Alexi Lonka

Älykkään jäähallin virtuaalivoimalaitoksen toteutus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

8.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Aleksi Lonka
Otsikko: Älykkään jäähallin virtuaalivoimalaitoksen toteutus
Sivumäärä: 26 sivua
Aika: 8.5.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka
Ohjaajat: Tekninen tuki Ville Pöysä
Lehtori Reijo Leinonen

Opinnäytetyö tehtiin Siemens Osakeyhtiön Smart Infrastructure-rakennusautomaatio-osastolle. Opinnäytetyössä perehdyttiin virtuaalivoimalaitoksen ja rakennusautomaation toimintaan.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia virtuaalivoimalaitoksen toimintaperiaatteita ja Suomen sähköverkon eri taajuusreservimarkkinoita ja sitä, miten voimme rakennusautomaatiojärjestelmän avulla hyödyntää niitä. Tarkoituksena oli myös ohjelmoida jäähallin rakennusautomaatiojärjestelmään virtuaalivoimalaitos. Virtuaalivoimalaitosohjelmien avulla pystytään joustamaan kiinteistön sähkönkulutusta sähköverkon niin vaatiessa. Työssä oli tarkoitus myös tutkia yleisesti jäähallin rakennusautomaatiota ja valvonta-alakeskuksiin ohjelmointia.

Projekti toteutettiin Siemens Desigo PX-sarjan modulaarisilla rakennusautomaatioon suunnitelluilla automaatioyksiköillä, jotka ohjelmoitiin Xworks plus-ohjelmaan kuuluvalla CFC-ohjelmointisovelluksella.

Tuloksena opinnäytetyöstä oli älykäs jäähalli ja sen toimivat virtuaalivoimalaitoksen alakeskusohjelmat.

Avainsanat: virtuaalivoimalaitos, rakennusautomaatio, CFC-ohjelmointi, Siemens

Abstract

Author: Aleksi Lonka
Title: Implementation of a Virtual Power Plant for an Intelligent Ice Sports Center
Number of Pages: 26 pages
Date: 8 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Automation Engineering
Supervisors: Ville Pöysä, Support Engineer
Reijo Leinonen, Senior Lecturer

The thesis work was carried out for Siemens Osakeyhtiö Smart Infrastructure building automation department. In the thesis, the operation of a virtual power plant and building automation is introduced.

The purpose of the thesis work was to study the operating principles of a virtual power plant and the different frequency reserve markets of the Finnish electricity grid and how it can be utilized with a building automation system. The intention was to program a virtual power plant into the ice sports center's building automation system. Virtual power plant programs enable the property's electricity consumption to be more flexible when the electricity grid so requires. The aim of the thesis work was also to study the ice sports center's building automation system in general, and programming for the automation stations.

The project was carried out with Siemens Desigo PX series modular automation units designed for building automation, which were programmed with the CFC programming application included in the Xworks plus program.

The result is an intelligent automationsystem for the ice sports center and its operating virtual power plant automation station programs.

Keywords: Virtual Power Plant, building automation, CFC programming, Siemens

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Virtuaalivoimalaitos ja sen toimintaperiaate	1
2.1	Taajuuden vakautusreservi (FCR)	2
2.1.1	Taajuusohjattu käyttöreservi FCR-N ja sen tekniset vaatimukset	3
2.1.2	Taajuusohjattu häiriöreservi FCR-D ja sen tekniset vaatimukset	5
3	Rakennusautomaatio	7
3.1	Automaatiolaitteet	9
3.1.1	Proessorit	10
3.1.2	Automaation I/O-moduulit	10
3.2	Valvomo	11
4	Rakennusautomaation ohjelmointi	13
4.1	Ohjelmointiympäristö	14
4.2	Ilmanvaihtokoneen ohjelmointi	14
5	Virtuaalivoimalaitoksen alakeskusohjelma	22
6	Virtuaalivoimalan hyödyt ja haasteet	23
6.1	Hyödyt	23
6.2	Haasteet	24
7	Yhteenveto	24
	Lähteet	26

Lyhenteet ja käsitteet

- AI: *Analog input.* Analoginen tulo.
- AO: *Analog output.* Analoginen lähtö.
- CFC: *Continuous Function Chart.* Ohjelmointisovellus.
- DI: *Digital input.* Digitaalinen tulo.
- DO: *Digital output.* Digitaalinen lähtö.
- D-MAP *Desigo Modular Application Programming.* Ohjelmointikieli.
- FCR: *Frequency Containment Reserve.* Taajuuden vakautus reservi.
- FCR-D: *Frequency Containment Reserve for Disturbances.* Taajuusohjattu häiriöreservi.
- FCR-N: *The Frequency Containment Reserve for Normal Operation.* Taajuusohjattu käyttöreservi.
- FBD: *Function Block Diagram.* Ohjelmointikieli.
- I/O: *Input/Output.* Automaation sisään- ja ulostulo pisteet, joilla välitetään tietoa automaatiosta.
- IP: *Internet protocol.* internet-kerroksen protokolla.
- IV: Ilmanvaihto.
- LTO: Lämmöntalteenotto. Laite, joka hyödyntää poistoilman lämpöä tuloilman lämmittämiseen.

- LVI: Lämpö Vesi Ilma. Talotekniikan lämmitys-, vesijohto- sekä ilmanvaihtotekniikka.
- M-Bus: Meter-Bus. Tiedonsiirtoväylä, joka on tarkoitettu erilaisten mittareiden lukemien lukemiseen.
- MI: *Multi input*. Digitaalinen tulo, jossa käytetään monta digitaalista tulopistettä esimerkiksi laitteen eri tilatietoina.
- MO: *Multi output*. Digitaalinen lähtö, jossa käytetään monta digitaalista lähtöpistettä esimerkiksi laitteen eri ohjauksina.
- Modbus: Tiedonsiirtoväylä, jolla pystytään lukemaan ja kirjoittamaan Modbus laitteiden rekistereitä.
- PID-säädin: *Proportional integral derivative controller*. Suhde integroiva ja derivoiva säädin, joka on yksi säätötekniikan perussäätimistä.
- RAU: Rakennusautomaatio.
- VAK: Valvonta-alakeskus.
- VPP: *Virtual Power Plant*. Virtuaalivoimalaitos.
- XWP: *Desigo Xworks Plus*. Projektien hallintasovellus.

1 Johdanto

Sähkönkulutus sekä uusiutuvan energian kuten tuulivoiman ja aurinkovoiman osuus sähköntuotannosta on kasvanut ja tulee edelleen kasvamaan tulevaisuudessa. Nämä epäsäännölliset ja sääoloista riippuvat energiantuotantomuodot vaikuttavat sähköverkon vakauteen. Koska sähköä ei voida varastoida helposti on sähkön tuotanto ja kulutus oltava tasapainossa, joten epäsäännölliset energiantuotannonmuodot ovat lisänneet sähköverkon jouston tarvetta.

Tässä työssä kerrotaan virtuaalivoimalaitoksen toimintaperiaatteesta ja Suomen sähköverkon eri joustomarkkinoista sekä siitä, miten voimme rakennusautomaatiojärjestelmän avulla hyötyä taajuusreservi markkinoista. Työssä kerrotaan rakennusautomaation valvonta-alakeskuksiin ohjelmoiduista virtuaalivoimalaitos ohjelmista ja niiden toiminnasta.

Työssä perehdytään myös yleisesti rakennusautomaatiojärjestelmän toimintaan kuten valvomoon, alakeskuksiin ja ohjelmointiin ja ohjelmointisovelluksiin.

Opinnäytetyö tehtiin Siemens Osakeyhtiön Smart Infrastructure rakennusautomaatio-osastolle.

2 Virtuaalivoimalaitos ja sen toimintaperiaate

Sähköntuotannon ja kulutuksen on oltava tasapainossa. Tasapainoa näiden kahden välillä kuvataan sähköverkon taajuudella, joka on pohjoismaissa 50 Hz. Jos sähköverkossa on enemmän kulutusta kuin tuotantoa, alkaa sähköverkon taajuus laskea, jos sähköntuotantoa onkin enemmän alkaa sähköverkon taajuus nousta, joten tarvitsemme sähköverkkoon joustoa joko tuotannon tai kulutuksen puolella. Ennen sähköntuotanto oli keskitetty suuriin voimalaitoksiin ja tavalliset sähköntuotantolaitokset pystyivät tarjoamaan tarvittavan jouston sähköverkkoon sähköntuotannon puolella. Olemme siirtymässä hajautetumpaan järjestelmään, jossa jopa kotien pienet mikrotuotantolaitokset voidaan liittää osaksi sähköverkkoa. Mikrotuotantolaitoksia ovat pienet aurinkovoimalat, tuulivoimalat sekä

pienet biopolttolaitokset, joiden nimellisteho on enintään 50 kVA. Uusiutuvien energiamuotojen lisääntyminen sekä niiden joustamattomuus tuo lisähaasteita verkon tasapainottamiseen. Kysynnän jousto on hyvä ratkaisu tähän ongelmaan. Sen tarkoituksena on tasapainottaa sähköverkkoa sähkökulutuksen puolella. Kiinteistöt ovat merkittävä sähkökuluttaja ja kuluttavat noin 40 prosenttia koko Suomessa käytetystä sähköenergiasta. Kiinteistöissä olisi siis paljon potentiaalia sähköverkon tasapainottamiseen. (Laakso 2017, Paavilainen 2020.)

Virtuaalivoimalaitos on digitaalinen alusta, joka kokoaa kiinteistön erilaiset joustoon kykenevät sähkökuormat ja säätää niitä rakennusautomaatiojärjestelmällä joustotarpeen mukaan. Virtuaalivoimalaitoksen joustoon kykenevät sähkökuormat ovat usein erilaisia LVI-kuormia kuten ilmanvaihtokoneet, sähkölämmitykset ja vedenjäähdytyskoneet. Virtuaalivoimalaitokseen voidaan myös mahdollisesti liittää kiinteistön aurinkopaneelit sekä akustot, jolloin joustoa saadaan enemmän. Virtuaalivoimalaitoksen avulla voidaan tuoda kiinteistöt osaksi sähkömarkkinoita tarjoamalla rakennusautomaatiojärjestelmän avulla verkkoon kulutuksen joustoa. Sähköverkkoyhtiö Fingrid Oyj maksaa kulutuksen joustosta, koska sääntövoiman tuottaminen on kallista ja virtuaalivoimalaitokset mahdollistavat tarvittavan jouston kustannustehokkaammin sekä ekologisemmin. Tämän ansiosta kulutuksen jousto tuo kiinteistöille aivan uudenlaisen tulovirran. (Kari 2020.)

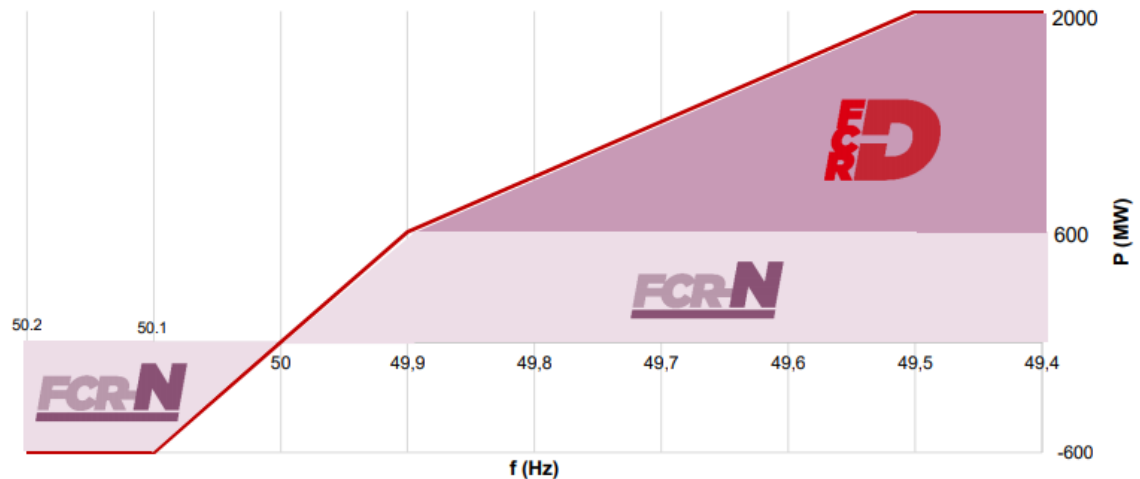
2.1 Taajuuden vakautusreservi (FCR)

Sähkökulutusta ja -tuotantoa ei pystytä ennakoimaan täydellisesti, joten kulutusta ja tuotantoa täytyy tasapainotella jatkuvasti. Taajuuden vakautusreservi FCR eli Frequency Containment Reserve kuuluu Suomen automaattisiin reservimarkkinatuotteisiin, joilla sähköverkkoja tasapainotetaan erilaisissa tilanteissa. FCR taajuuden vakautusreservit jakautuvat kolmeen eri tyyppiin:

- Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N), joka toimii sähköverkon normaalilla taajuusalueella 49,9–50,1 Hz.
- Taajuusohjattu häiriöreservi ylös (FCR-D ylös), joka toimii taajuusalueella 49,5–49,9 Hz.

- Taajuusohjattu häiriöreservi alas (FCR-D alas), joka toimii taajuusalueella 50,1–50,5 Hz. (FCR-D alas hankinta alkoi 1.1.2022)

Kuva 1 esittää FCR-N ja FCR-D ylös aktivoitumisen taajuuden funktiona.



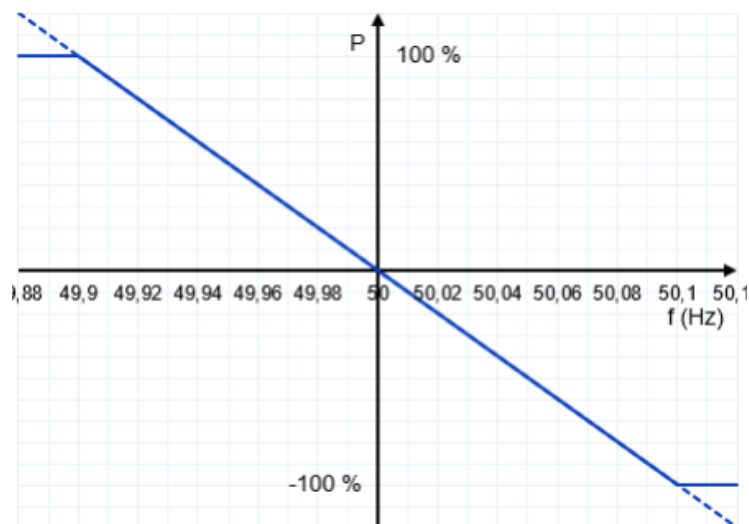
Kuva 1. FCR:n aktivoituminen taajuuden funktiona. Lineaarisesti aktivointi taajuuden mukaan takaa yhtä suuren aktivoinnin kaikilta tarjoajilta (Taajuuden vakautusreservien (FCR) teknisten vaatimusten todentaminen ja hyväksyttämisprosessi 2021).

2.1.1 Taajuusohjattu käyttöreservi FCR-N ja sen tekniset vaatimukset

Taajuusohjatun käyttöreservin tarkoitus on ylläpitää sähköverkon normaalia toimintaa ja pitää sähköverkon taajuus normaalilla tasolla lisäämällä tai vähentämällä joko sähköntuotantoa tai -kulutusta.

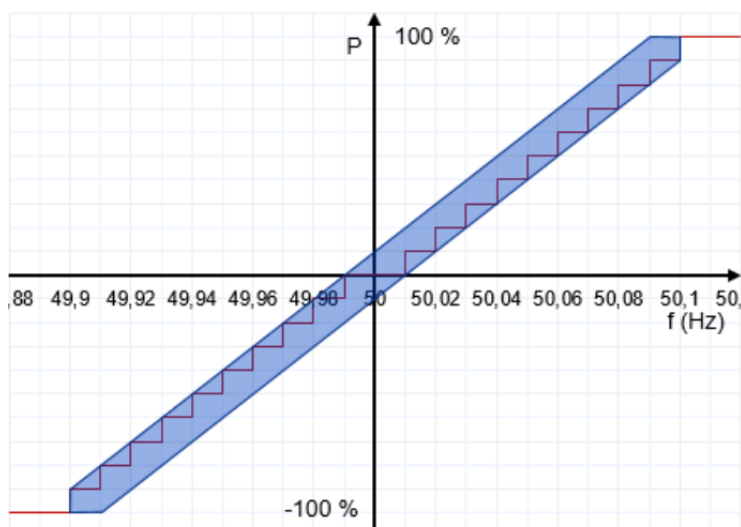
Taajuusohjatun käyttöreservin (FCR-N) toiminta-alue on 49,9–50,1 Hz. Taajuusohjattu käyttöreservi on symmetrinen, jolloin aktivoitava reservikapasiteetti on säädettävissä sekä ylös ja alas. Ylössäädöllä tarkoitetaan sähköntuotannon lisäämistä tai sähkön kulutuksen vähentämistä, kun taas alassäädöllä tarkoitetaan sähköntuotannon vähentämistä tai sähkönkulutuksen lisäämistä. Tarjotun käyttöreservin kapasiteetti täytyy olla minimissään 0,1 MW ja maksimissaan 5 MW. Taajuussäädön kuollut alue saa olla enintään $50 \pm 0,01$ Hz, kun aktivoituneen reservin määrä on nolla. Säädön vasteajan on oltava maksimissaan 3

minuuttia. Jos reservikohde pystyy säätämään tehoa lineaarisesti, säätö toimii kuvan 2 mukaisesti taajuusalueella 49,9–50,1 Hz. Säätöä voidaan myös jatkaa taajuusalueen ulkopuolelle kuvan katkoviivan mukaisesti (Taajuuden vakautusreservien (FCR) teknisten vaatimusten todentaminen ja hyväksyttämispöytäkirja 2019).



Kuva 2. FCR-N Lineaarinen säätökäyrä (Taajuuden vakautusreservien (FCR) teknisten vaatimusten todentaminen ja hyväksyttämispöytäkirja 2019).

Reservikohteet, jotka eivät pysty lineaariseen säätöön kuten relekytketyt reservikohteet. Säätökäyrän täytyy olla paloittain lineaarinen taajuusalueella 49,9–50,1 Hz ja aktivoitumiset täytyy tapahtua kuvan 3 sinisen alueen sisällä. Kuvan 3 punainen viiva on esimerkki hyväksytystä säätökäyrästä.



Kuva 3. FCR-N Paloittain lineaarinen säätökäyrä (Taajuuden vakautusreservien (FCR) teknisten vaatimusten todentaminen ja hyväksyttämismenettely 2019).

Esimerkiksi jos käyttöreservin tarjoaja on tarjonnut FCR-N markkinoille 1 MW joustokapasiteetin ja sähköverkon taajuus laskee 49,95 Hertziin, käyttöreservin tarjoajan on pudotettava osallistuvan reservin tehoa 0,5 MW kolmen minuutin aikana (Paavilainen 2020.)

2.1.2 Taajuusohjattu häiriöreservi FCR-D ja sen tekniset vaatimukset

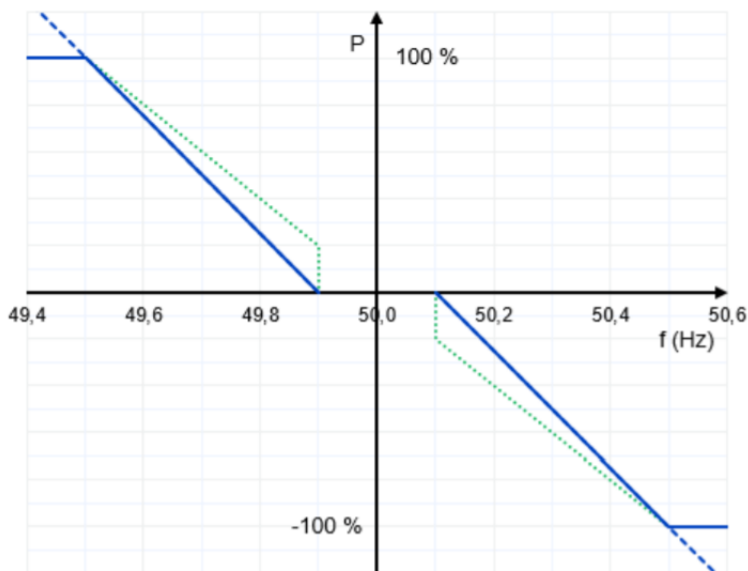
Taajuusohjatun häiriöreservin tarkoituksena on rajoittaa häiriöistä ja vioista syntyvää epätasapainoa sähköjärjestelmässä ja pitää suurinta taajuuspoikkeamaa alle 0,5 Hz. FCR-D jakautuu kahteen osaan: FCR-D ylös ja FCR-D alas. Yhden tarjotun käyttöreservin kapasiteetti täytyy olla minimissään 1 MW ja maksimissaan 10 MW.

FCR-D ylös toimii taajuusalueella 49,9–49,5 Hz, jolloin voimalaitoksien tehoa lisätään tai kulutuksen kuormilta pudotetaan tehoa. Aktivointi tulee aloittaa, kun sähköverkon taajuus laskee 49,9 Hz:n alle. Taajuuden laskiessa 49,5 Hz tai sen alle täytyy 100 % reservikapasiteetista aktivoitava. Aktivoidun kapasiteetin määrä täytyy olla verrannollinen taajuuspoikkeaman suuruuteen.

FCR-D alas hankinta tulee voimaan 1.1.2022. Se toimii taajuusalueella 50,1–50,5 Hz, jolloin voimalaitosten tehoa vähennetään tai kulutusten kuormille lisätään tehoa. Aktivointi tulee aloittaa, kun sähköverkon taajuus nousee 50,1 Hz:n yli. Taajuuden noustessa 50,5 Hz tai sen yli täytyy 100 % reservikapasiteetista aktivoitava. Aktivoidun kapasiteetin määrä täytyy olla verrannollinen taajuuspoikkeaman suuruuteen.

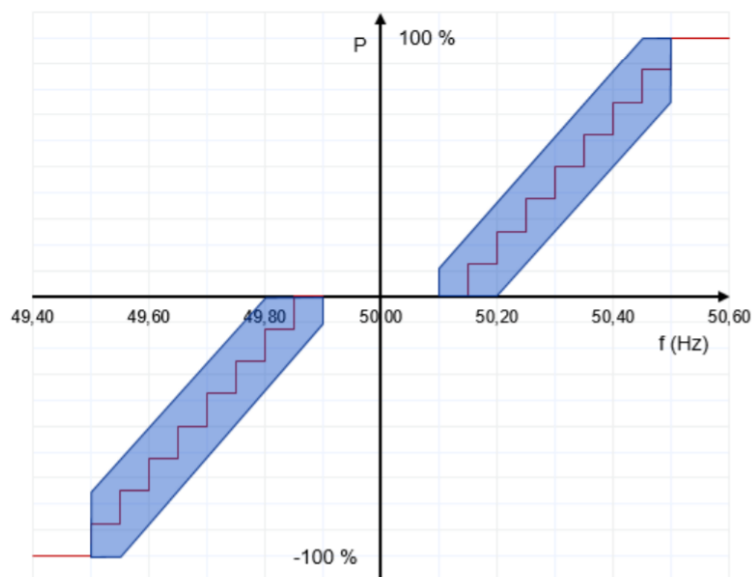
Taajuusohjattujen häiriöreservien tulee aktivoitua 50 % viidessä sekunnissa ja 100 % kolmessakymmenessä sekunnissa askelemaisena 0,5 Hz:n taajuusmuutoksen seurauksena.

Jos reservikohde pystyy säätämään tehoaan portaattomasti, säädön täytyy silloin olla lineaarinen kuvan 4 mukaisesti. Lineaarista aktivoitumista saa myös jatkaa aktivoitumisalueen ulkopuolelle 49,5 Hz alapuolella tai 50,5 Hz yläpuolella kuvan 4 sinisen katkoviivan mukaan. Kuvan 4 vihreän katkoviivan säätökäyrää voidaan soveltaa, jos säätäjällä ei pystytä toteuttamaan sinisen käyrän mukaista aktivointia.



Kuva 4. FCR-D ylös ja alas lineaarinen säätökäyrä (Taajuuden vakautusreservien (FCR) teknisten vaatimusten todentaminen ja hyväksyttämisen prosessi 2019).

Jos reservikohte ei kykene lineaariseen aktivoitumiseen kuten relekytketyt reservikohteet säätökäyrän täytyy olla paloittain lineaarinen. Reservikohteen aktivoituminen tulee tapahtua kuvan 5 sinisen alueen sisällä. Kuvaan 5 piirretty punainen viiva on esimerkki hyväksytystä, osittain lineaarisesta säätökäyrästä. Reservikohteessa käytettävä säätökäyrä tulee dokumentoida säätöjärjestelmän tekniseen kuvaukseen ja säätöpöytäkirjaan.



Kuva 5. FCR-D alas ja ylös paloittain lineaarinen säätökäyrä (Taajuuden vakausreservien (FCR) teknisten vaatimusten todentaminen ja hyväksyttämispöytäkirja 2019).

3 Rakennusautomaatio

Automaatio jakautuu moneen eri ryhmään. Rakennusautomaatio muistuttaa eniten prosessiautomaatiota, sillä niitä yhdistävät samantapaiset toiminnot, ominaisuudet ja rakenne, mutta ne eroavat toisistaan kohteiden osalta. Rakennusautomaatiota käytetään kiinteistöissä sekä erilaisissa rakennuksissa, kun taas prosessiautomaatiota käytetään teollisuudessa erilaisten prosessien hallintaan. (Värjä & Mikkola. 2012.)

Rakennusautomaatio on rakennuksissa käytetty automaatio, jonka keskeisin tarkoitus on rakennuksen laitteiden ja järjestelmien kuten ilmanvaihdon,

lämmityksen, jäähdytyksen, hälytysten ja valaistuksen hallinta automaattisesti. Rakennusautomaation tärkeänä tarkoituksena on myös kiinteistön mukavuuden ja käytettävyyden parantaminen sekä energian säästö. (Suomäki & Vepsäläinen. 2013)

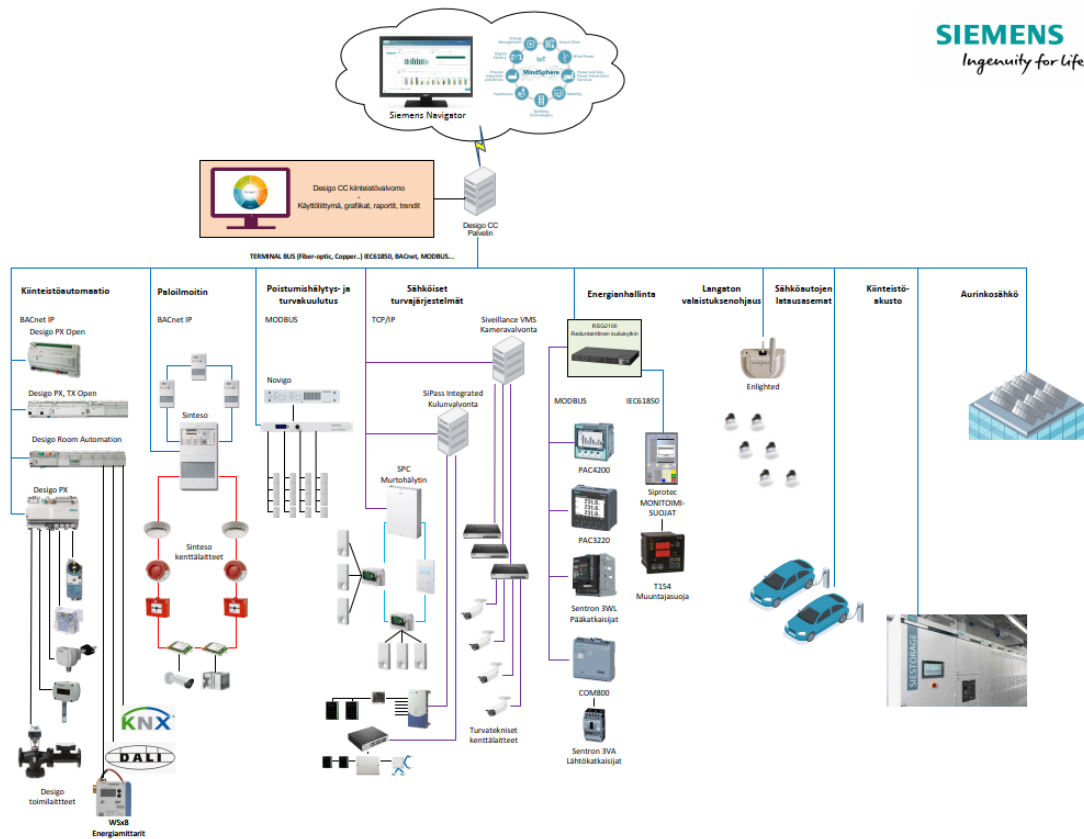
Rakennusautomaatiojärjestelmien topologia rakentuu usein kolmesta eri tasosta.

- hallintataso
- automaatiotaso
- kenttätaso.

Hallintataso on usein jonkinlainen valvomo. Valvomo voi olla yksi tai useampi paikallinen tietokone, serveri tai pilvessä oleva etävalvomo. Etävalvomo voi myös keskittää asiakkaan monen eri kiinteistön valvonta. Valvomoon voi olla myös mahdollista ottaa etäyhteys tietokoneella tai vaikka tabletilla.

Valvomosta pystytään hallitsemaan koko järjestelmää seuraamalla prosesseja grafiikkakuvien avulla, muokkaamalla asetusarvoja, säätökäyriä, aikaohjelmia, valvomaan hälytyksiä, luomaan raportteja sekä seuraamaan trendejä. Valvomo pystyy myös lähettämään hälytyksiä eteenpäin esimerkiksi tekstiviestillä tai sähköpostilla haluttuihin osoitteisiin.

Tässä projektissa valvomo toteutettiin Siemensin Desigo CC-valvomosovelluksella palvelimeen. Samaan palvelimeen ja valvomoon liitettiin myös toisen jäähallin automaatiojärjestelmä. Palvelimessa olevaa valvomoa pystytään käyttämään sujuvasti myös etänä. Tässä projektissa Desigo CC-valvomoon lisättiin rakennusautomaation lisäksi paljon muita Siemensin järjestelmiä, kuten paloilmoitinjärjestelmä ja turvajärjestelmä. Kuva 6 on esimerkki Siemensin tuotteilla toteutetusta järjestelmästä.



Kuva 6. Järjestelmäkaavio Siemens SI (Pihlström 2021).

Automaatiotasolla tarkoitetaan automaatioyksiköitä, moduuleita ja muita laitteita, jotka ovat yleensä valvonta-alakeskuksen sisällä. Automaatioyksiköt ovat yhteydessä valvomoon ja suorittavat rakennusautomaation ohjelmaa sekä ohjaavat moduuleita ja väyliä ohjelmien mukaisesti.

Kenttätaso on se taso, jota ohjataan moduulien sekä väylien avulla. Kenttätasoon kuuluu paljon erilaisia laitteita esimerkiksi venttiilitoimilaitteet, peltimoottorit, anturit ja sähkömittarit.

3.1 Automaatiolaitteet

Tässä projektissa käytettiin monipuolisia automaatiolaitteita. Jääturheilukeskukseen asennettiin kymmenen valvonta-alakeskusta, joihin kytkettiin automaatiokenttälaitteet ja väylät. Automaatiojärjestelmään liitettiin monia kenttälaitteita

Modbus-tiedonsiirtoväylillä. Modbus tiedonsiirtoväylillä pystytään lukemaan ja kirjoittamaan Modbus laitteiden rekistereitä. Jäähallilla käytettyjä Modbus-laitteita olivat esimerkiksi paketti-ilmanvaihtokoneet, ilmamääräsäätimet, sähkömitarit sekä ilmankuivain. M-bus-tiedonsiirtoväylät soveltuvat vain M-bus-laitteen lukemiseen. Käytimme M-bus-väyliä vesimittareiden integrointiin. Kuitenkin yli puolet I/O-pisteistä oli perinteisiä AI-, DI-, AO- ja DO-pisteitä. Väylistä ja muista I/O-pisteistä kerrotaan lisää seuraavissa kappaleissa.

3.1.1 Prosessorit

Projektin valvonta-alakeskuksissa käytettiin kahta erityyppistä modulaarista rakennusautomaation tarpeisiin suunniteltua automaatioyksikköä PXC100 E.D. ja PXC200 E.D., jotka molemmat kuuluvat Siemens Desigo PX-sarjaan. Automaatioyksiköt ovat vapaasti ohjelmoitavissa ja niille on kattavat valvomo- ja järjestelmätoiminnot, kuten hälytysten käsittely, aikaohjelmat, trendit, kaukokäyttö ja pääsuojaus. Näiden automaatioyksikköjen tiedonsiirto tapahtuu standardoidulla BACnet-vakioprotokollalla Ethernetin kautta sekä peer-to-peer-vertais-tiedonsiirrolla muihin automaatioyksikköihin. (Automaatioyksiköt modulaarinen sarja 2012.)

Ero PXC100 E.D. ja PXC200 E.D.:n välillä on se, että PXC100 E.D.:n maksimipistemäärä on 200, kun taas PXC200 E.D.:n maksimipistemääräksi on ilmoitettu 500. Näin suurta pistemäärää ei suositella liittämään yhteen prosessoriin, sillä automaatioyksikön suoritusteho alkaa hidastua. Datapisteisiin laskeaan sekä TX-I/O-moduulien kautta tulevat fyysiset tulot ja lähdöt sekä myös väylien TX OPEN -datapisteet. (PXC Modular Series 2020.)

3.1.2 Automaation I/O-moduulit

Moduuleilla suoritetaan signaalien välittämistä, pisteiden tarkkailua, lähtösignaalien lähettämistä ja A/D- tai D/A-muunnoksia. Käytetyissä prosessoreissa ei itsessään ole ollenkaan I/O-pisteitä vaan prosessoriin liitetään virtalähde sekä TX-I/O-sarjan moduuleita. Moduuleita on monenlaisia, tässä projektissa

käytettävät moduulit olivat kuudentoista DI-pisteen TXM1.16D, kuuden rele DO pisteen TXM1.6R sekä 8 universaalien pisteen TXM1.8U.

Modbus- ja M-bus-väylien liittämiseen alakeskuksiin käytettiin TXI2.OPEN-moduuleita, joilla on mahdollista integroida kolmansien osapuolien laitteita kuten Modbus-, M-bus-, USS-, Grundfos-, Danfos- ja WILO-laitteita. Yhteen TXI2.OPEN-moduuliin pystytään integroimaan 160 tietopistettä.

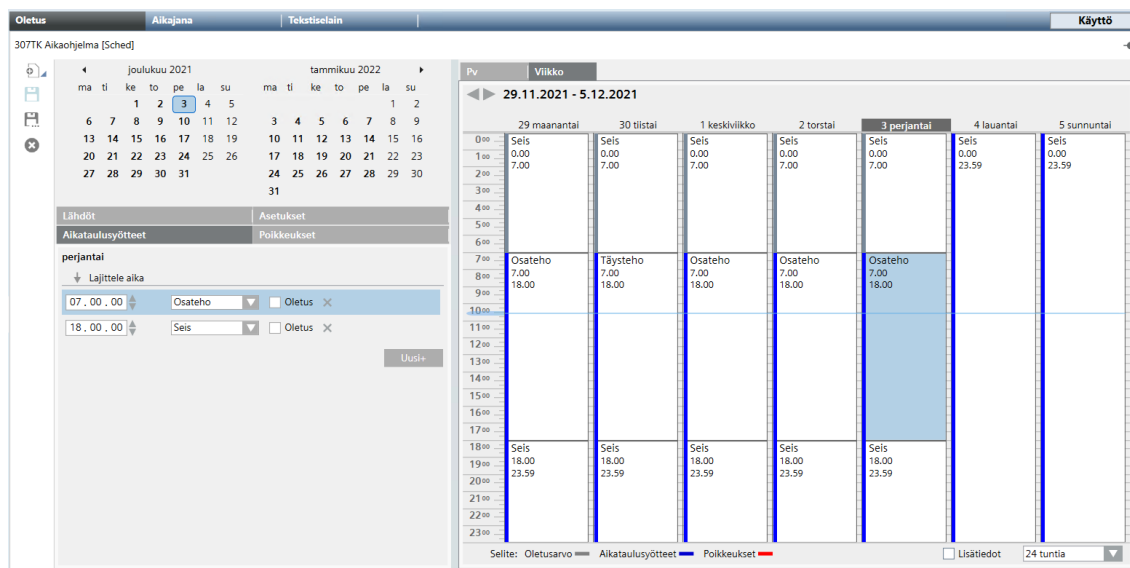
3.2 Valvomo

Tässä projektissa valvomo toteutettiin Siemensin Desigo CC-valvomosovelluksella palvelimeen. Siemensin palvelimella olevaa valvomoa pystyy käyttämään useampi käyttäjä samanaikaisesti ja sujuvasti myös etänä. Kohteeseen asennettiin myös paikallinen valvomokone sekä mahdollisuus käyttää kevyempää selaimessa toimivaa web-valvomoa esimerkiksi tabletilla. Projektissa Desigo CC-valvomoon liitettiin rakennusautomaation lisäksi myös paljon muita Siemensin järjestelmiä, kuten paloilmotinjärjestelmä ja turvajärjestelmä.



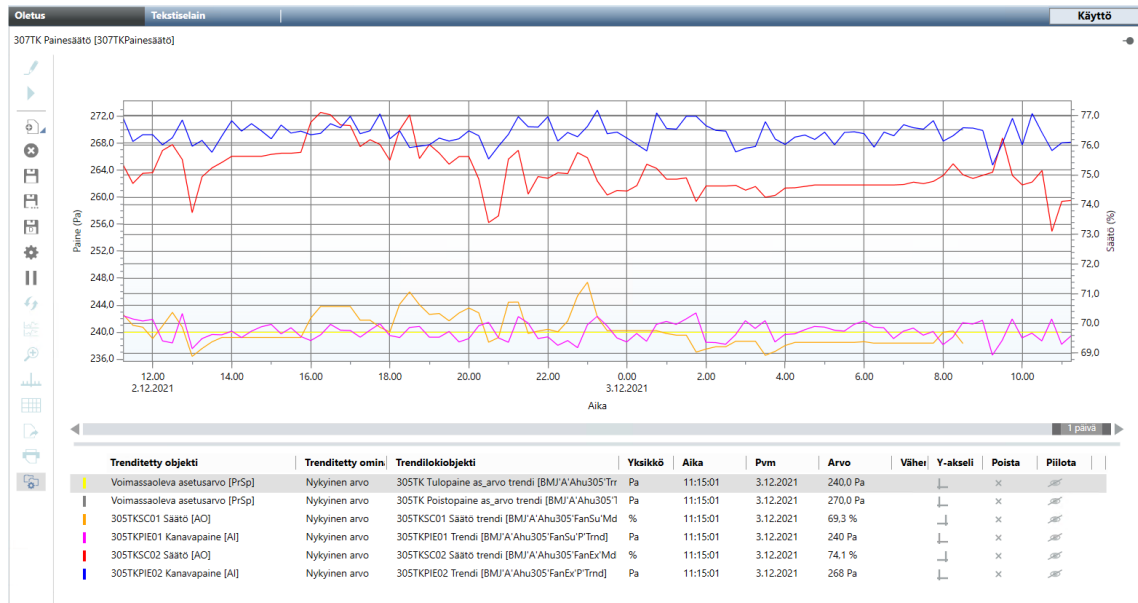
Kuva 7. Ilmanvaihtokoneen Desigo CC grafiikkakuva.

Graafisella valvomokäyttöliittymällä pystytään helposti hallitsemaan ja seuraamaan prosessien toimintaa. Kuvan 7 keskellä on ilmanvaihtokoneen grafiikka-kuva, yläreunassa oranssit ja keltaiset laatikot ovat eri luokkien hälytykset, joita pääsee tarkastelemaan ja kuittaamaan niitä klikkaamalla. Vasemmassa reunassa on looginen näkymä, jossa on alakeskusten ohjelmien rakenne. Loogisesta näkymästä pystytään myös nopeasti navigoimaan haluttuun grafiikkakuvaan. Kuvan alareunassa on toimintoikkuna, josta pääsee muuttamaan valitun objektin asetuksia. Oikealla alareunassa on valitun objektin Liittyvät osiot. Liittyvistä osioista näkyy mihin grafiikkakuviin objekti on liitetty, mihin alakeskukseen se liittyy sekä objektin trendit.



Kuva 8. Ilmanvaihtokoneen aikaohjelma.

Valvomolla pystyy muokkaamaan myös aikaohjelmia. Aikaohjelmien mukaan esimerkiksi ilmanvaihtokoneet käynnistetään ja pysäytetään. Aikaohjelmat ovat tärkeitä kiinteistön energiankulutuksen sekä käytettävyyden kannalta, siksi niitä on tärkeä asettaa aukioloaikojen mukaisiksi ja muokata jos sille on tarvetta. Aikaohjelmiin pystyy myös tekemään poikkeuspäiviä esimerkiksi pyhäpäiville, jotta koneet eivät olisi silloin tarpeettomasti päällä.



Kuva 9. Ilmanvaihtokoneen painesäädön trendinäkömä.

Valvomolla pystyy myös seuraamaan erilaisia trendejä. Kuvassa 9 on ilmanvaihtokoneelle luotu painesäädön trendinäkömä, johon on kerätty ilmanvaihtokoneen painesäätöön liittyvät trendit samaan näkymään. Tässä järjestelmässä on kahdenlaisia trendejä: offline-trendit ja online-trendit. Näiden kahden ero on se, että offline-trendit tallentuvat alakeskusten muistiin, josta trendipaketit lähetetään tietyn välein valvomoon. Online-trendit toimivat niin, että itse valvomo seuraa ja tallentaa halutun pisteen dataa. Offline-trendit ovat varmatoimisempia, sillä ne tallentuvat myös silloin, jos alakeskuksen ja valvomon yhteys jostain syystä katkeaisi.

4 Rakennusautomaation ohjelmointi

PXC-sarjan automaatioyksiköt ohjelmoidaan Siemens Desigo Xworks-ohjelmistopakettiin kuuluvalla CFC (Continuous Function Chart) ohjelmalla. CFC on editori, jossa on graafinen käyttöliittymä. Sitä käytetään koko automaatioyksikön ohjelmistorakenteen luomiseen. CFC-ohjelmat koostuvat kansioista ja funktiolohkoista. (SIMATIC CFC for S7 Continuous Function Chart Manual 2003.)

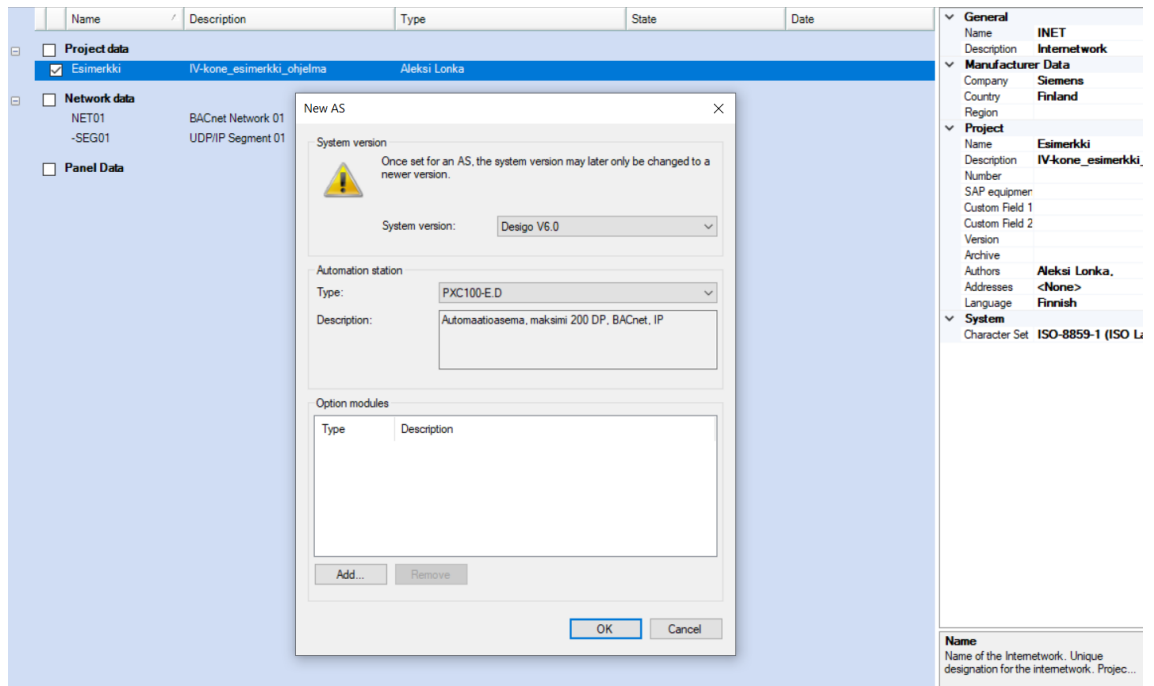
4.1 Ohjelmointiympäristö

Projekti toteutettiin Siemensin Desigo Xworks Plus-ohjelmalla, joka on tarkoitettu rakennusautomaatiojärjestelmien ohjelmointiin, suunnitteluun, käyttöönottoon ja huoltoon. Desigo Xworks Plus koostuu seuraavista osista:

- NW Configurator
Rakennusautomaation verkon määrittelyyn.
- Point Configurator
Rakennusautomaation I/O-pisteiden ja moduulien määrittelyyn.
- CFC
Rakennusautomaation ohjelmointiin ja konfigurointiin.
- Hierarchy Viewer
Projektin ohjelmien hierarkian tarkasteluun.
- Report Viewer
Dokumentointiin ja raporttien luomiseen.
- Point Test
I/O-pisteiden testaamiseen ja käyttöönottoon.
- ABT
Huoneautomaation ohjelmointiin.
- TX Open Tool
TX Open-moduulien konfigurointiin.

4.2 Ilmanvaihtokoneen ohjelmointi

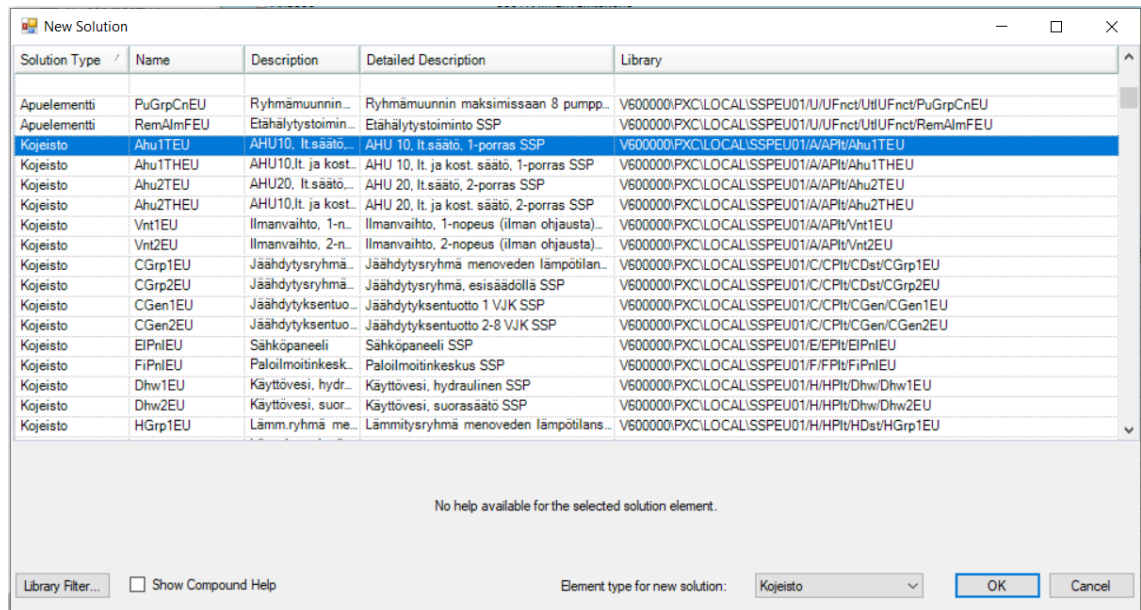
Ilmanvaihtokoneen ohjelmointiin Siemensillä on luotu laajat kirjastot, joiden avulla on helppo ohjelmoida monenlaisia ilmanvaihtokoneita. Kirjastossa valitaan ja muokataan halutut ominaisuuden ilmanvaihtokoneen ohjelmaan. Ilmanvaihtokoneen ohjelmoinnin voi toteuttaa monella eri tavalla, mutta tässä esimerkissä käytetään Point Configurator -sovellusta. Aluksi luodaan projekti Desigo Xworks Plus-sovelluksessa sekä lisätään projektiin prosessori (Kuva 10).



Kuva 10. PXC100-E.D Prosessorin lisäys uuteen projektiin.

Prosessorin lisäämisen jälkeen avataan Point Configurator-sovellus, jonka avulla ohjelmoidaan prosessoriin kirjasto-ohjelmia. Aluksi on hyvä luoda ohjelmaan ilmastoinnille oma järjestelmä kansion, joka sisälle kaikki projektin ilmoitointiin kuuluvat ohjelmat tehdään. Näin alakeskus ohjelmat pysyvät selkeänä ja järjestyksessä. Seuraavaksi valitaan kuvan 11 mukaisesti kirjastosta haluttu kirjasto-ohjelma, jota seuraavaksi muokataan. Tässä esimerkissä käytetään

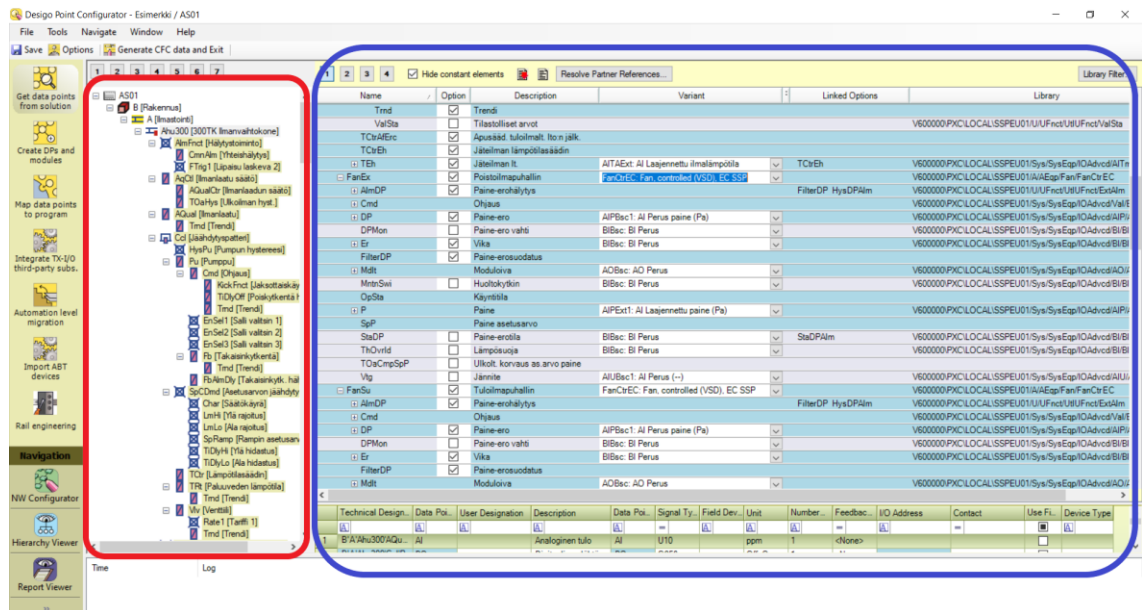
SSPEU-ohjelmakirjastoa, joka soveltuu hyvin Suomessa käytettäviin ilmavaihtokoneisiin.



Kuva 11. SSPEU kirjasto

Esimerkissä valitaan Ahu1EU-niminen ilmanvaihtokoneen kirjasto-ohjelma, johon seuraavaksi valitaan ja muokataan halutut ominaisuudet. Kuvassa 12 punaisella alueella näkyy ohjelman tämänhetkinen rakenne. Kuvan sinisellä alueella on kirjasto-ohjelman ominaisuuksien valintanäkymä, jossa ohjelman valinnat ja muokkaukset tapahtuvat. Aluksi ohjelmassa on kaikki ominaisuudet valittuna, mutta tässä esimerkissä ei tarvita suurinta osaa niistä, joten monte

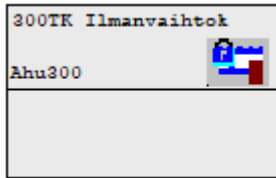
valinnat poistetaan. Esimerkissä vaihdetaan yksinopeuspuhaltimet EC-puhaltimiin, joita säädetään painesäädöllä.



Kuva 12. Point Configurator-näkymä

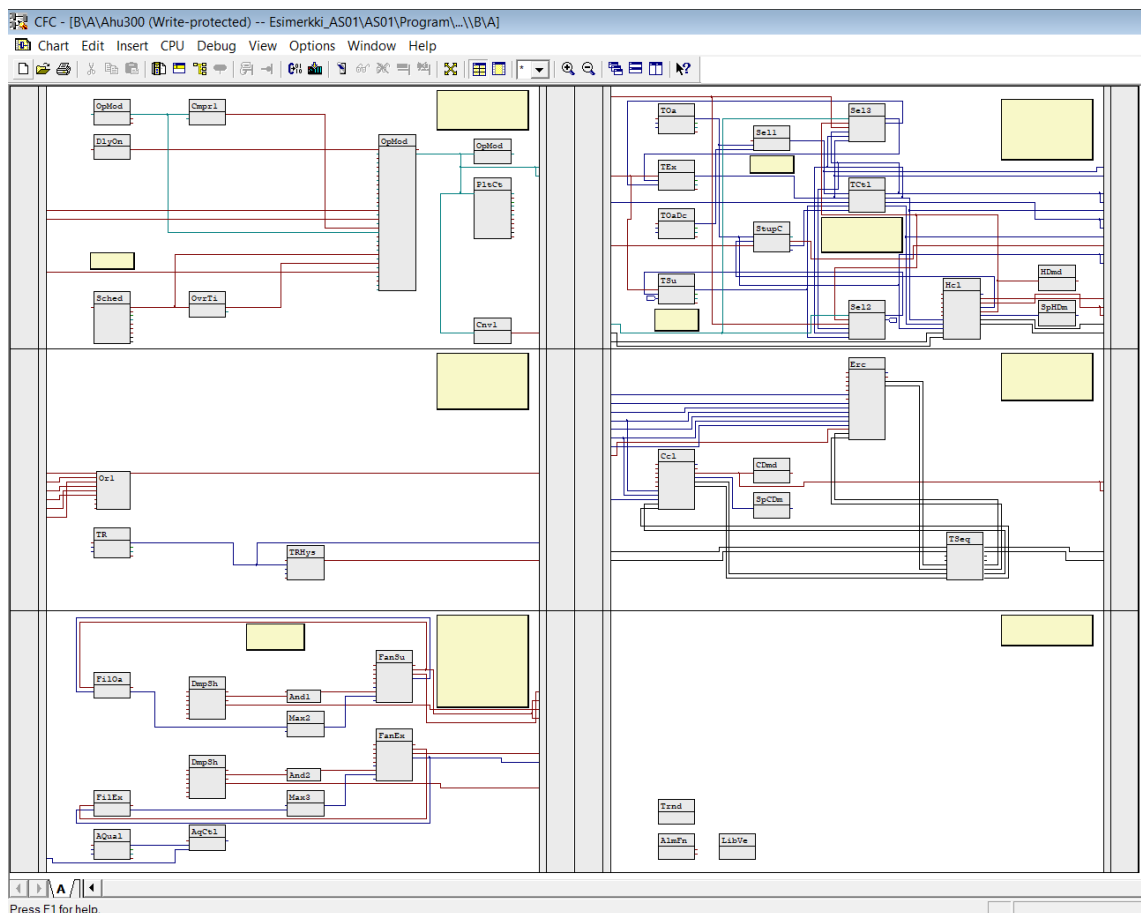
Kun Point Configuratorissa tehty valinnat ominaisuudet ilmanvaihtokoneelle on tehty, painetaan Generate CFC data and Exit-nappia, jolloin ohjelma generoi ja avaa CFC-ohjelman. Kuvassa 13 on generoitu ilmanvaihtokoneen kansio, jonka sisällä on ilmanvaihtokoneen ohjelma.

CFC-ohjelmat koostuvat kansioista, joiden sisälle ohjelman eri toiminnot ohjelmoidaan. Jokaisen kansion sisällä on kuusi sivua ja kansioden sisään voidaan tehdä uusia kansioita. Kirjasto-ohjelman generoimisen jälkeen voi tarkastella ohjelman sisältöä ja ohjelmaa pystyy vielä muokkaamaan vapaasti, jos jotain unohtui tai tarvitsee lisätä.



Kuva 13. Generoitu ilmanvaihtokoneen CFC-ohjelma

Kuvassa 14 on ilmanvaihtokoneen kansion sisältä löytyvä ohjelma. Kuvassa näkyy ohjelman pääpiirteet tähtinäkössä. Tähtinäkössä näkyy kaikki kansion kuusi sivua samaan aikaan. Vasemmalla on sivut 1–3 ylhäältä alas ja oikealla 4–6 ylhäältä alas.



Kuva 14. Tähtinäkö ilmaanvaihtokoneen ohjelmasta

Ilmanvaihtokoneen ohjelman ensimmäiseltä sivulta löytyy koneen käyntitilaan vaikuttavat kansiot ja toimintolohkot kuten aikaohjelma, käsikytkin,

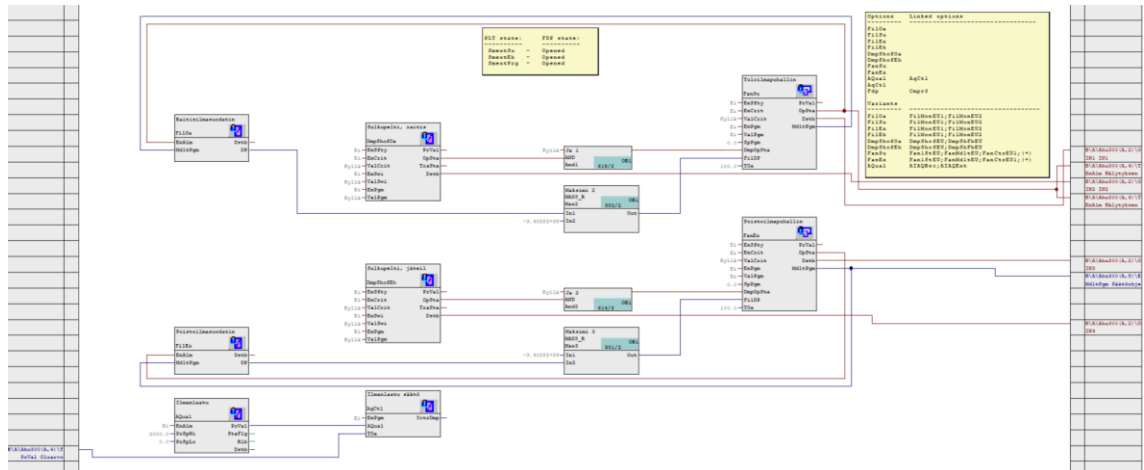
lisäaikapainike, käyntitila moodi valitsin ja Laitosohjaus. Käsikytkin, aikaohjelma ja lisäaikapainike on liitetty toimintolohkoon ENSEL_MS Käyntitila-moodivalitsimeen, joka määrittää ilmanvaihtokoneen tilan.

Käyntitila moodi v		OB1
ENSEL_ms	OpModSel	sss/s
En1	Enable	Value
Hätäseis-	Val1	
Ei-	En2	
Savuilmaisin-	Val2	
Ei-	En3	
Savuiln.tulo-	Val3	
Ei-	En4	
Savu.polesto-	Val4	
Ei-	En5	
Hätäseis-	Val5	
Ei-	En6	
Hätäseis-	Val6	
Ei-	En7	
Hätäseis-	Val7	
Ei-	En8	
Jäätymässä-	Val8	
Ei-	En9	
Seis-	Val9	
Ei-	En10	
	Val10	
Ei-	En11	
Hätäseis-	Val11	
Ei-	En12	
Hätäseis-	Val12	
Ei-	En13	
Hätäseis-	Val13	
Ei-	En14	
Hätäseis-	Val14	
Ei-	En15	
Hätäseis-	Val15	
Ei-	En16	
Käy-	Val16	
Ei-	En17	
Käy-	Val17	
Ei-	En18	
Pikälämpö-	Val18	
Ei-	En19	
Tuuletus-	Val19	
Ei-	En20	
Seis-	DefVal	

Kuva 15. ENSEL_MS Käyntitila moodi valitsin

Lohkon vasemmalla on enable pinssit En1 – EN25 ja value-pinssit Val1 – Val25. Value-pinssihin määritellään koneen tila ja enable-pinssi määrittää, onko tila päällä vai ei. ENSEL_MS-lohkoon voi tulla myös monta eri ohjausta saman aikaisesti, mutta vain korkeimmalla prioriteetilla oleva En-pinssi päättää ohjauksen tilan. Korkein prioriteetti on pinssillä En1 ja matalin En25. Esimerkiksi jos pinssiin En16 on liitetty aikaohjelma, jonka ohjaus on päällä, eikä lohkon tule korkeammalla prioriteetilla muita ohjauksia, niin ENSEL_MS arvoksi tulee pinssin Val16 Käy-arvo.

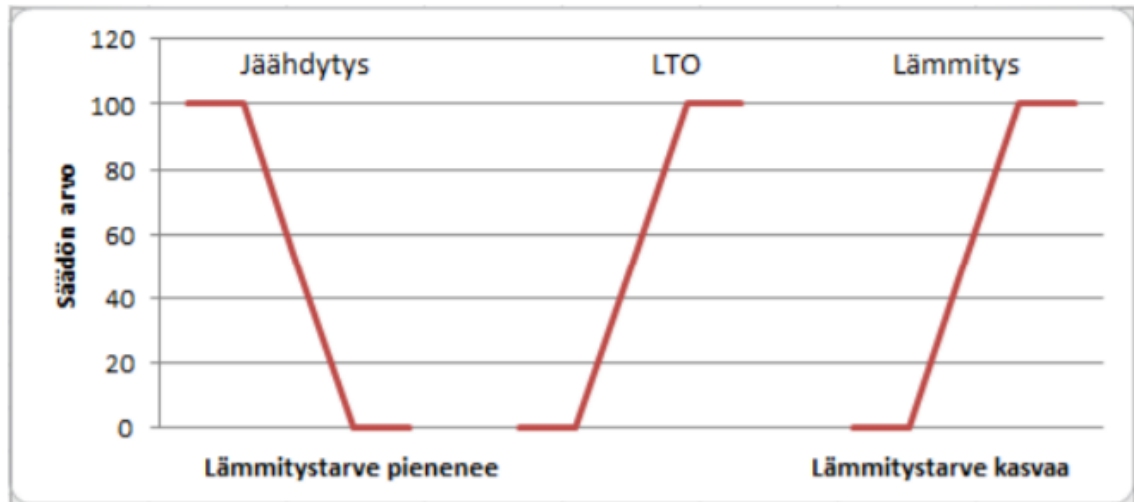
ENSEL_MS-lohkon Value syötetään Laitosohjaus tulo CMD_CTL-lohkoon, joka muuttaa ilmanvaihtokoneen ohjaukset halutun tilan mukaiseksi.



Kuva 17. Ilmanvaihdon alakeskusohjelman kolmas sivu.

Ilmanvaihdon ohjelman neljännellä sivulla on lämpötilan säätöön liittyvät lohkot, kuten ulkolämpötila, poistoilman lämpötila, tuloilman lämpötila, lämmityksen säätökäyrät, lämpötilan asetusarvot sekä lämmityspatterin ohjelma.

Viidenneltä sivulta löytyvät lämmöntalteenoton ja jäähdytyspatterin ohjelmat sekä lämmityksen sarja toimintolohko SEQLINK, joka yhdistää jäähdytyspatterin, lämmöntalteenoton ja lämmityspatterin PID-säätimet yhteen niin, että lämmitystarpeen kasvaessa ensin jäähdytyksen säätö on oltava 0 % ennen kuin lämmöntalteenoton PID-säädin saa luvan säätää LTO:ta päälle. Lämmityksen PID-säädin saa luvan säätää lämmitystä päälle vasta sitten kun LTO:n säätö on 100 %.



Kuva 18. Ilmanvaihtokoneen säätöpiirin portaat (Parviainen 2017).

Ilmanvaihtokoneen viimeiseltä sivulta löytyvät trendilohkot. Ohjelmassa olevat trendit ovat offline trendejä, jotka tallentuvat automaatioyksikön omaan muistiin. Automaatioyksikkö lähettää trendipaketit valvomon niiden ilmoitusrajan täyttyessä.

5 Virtuaalivoimalaitoksen alakeskusohjelma

Virtuaalivoimalaitoksen alakeskusohjelmat toteutettiin CFC-ohjelmointi sovelluksella. Virtuaalivoimalaitos ohjelmat lisättiin jokaisen ilmanvaihtokoneen ohjelmakansioihin. Ilmanvaihtokoneiden virtuaalivoimalaitosohjelmilla säädetään ilmanvaihtokoneita joustotarpeen mukaan. Kiinteistön mukavuus sekä käytettävyys menee ilmanvaihtokoneiden jouston edelle. Virtuaalivoimalaitos ei saa lupaa säätää ilmanvaihtokonetta hitaammalle nopeudelle, jos koneen palvelualueella olevien antureiden, kuten lämpötilan, huoneilmanlaadun (CO₂ ja CO) ja huonekosteuden mittausarvot eivät ole aseteltujen raja-arvojen sisällä. Virtuaalivoimalaitos ei myöskään saa lupaa säätää ilmanvaihtokoneen puhaltimien nopeutta, jos ulkolämpötila on joko liian matala tai korkea. Kun virtuaalivoimalaitoksella on lupa säätää, tapahtuu jousto FCR-markkinassa lineaarisesti virtuaalivoimalaitoksen säätöviestin -100 %–100 % mukaisesti, jolloin -100 % on konekohtainen maksimijousto alas ja 100 % vastaavasti konekohtainen maksimijousto ylös.

Riippuen siitä, minkä tyyppinen ilmanvaihtokoneen säätötapa on, virtuaalivoimalaitoksen FCR-N-säätöviestillä poikkeutetaan alas tai ylös joko ilmanvaihtokoneen paine- tai virtausasetusarvoa, jolloin ilmanvaihtokoneen puhaltimien pyörimisnopeus hidastuu tai nopeutuu sekä puhaltimen kuluttama sähköteho laskee tai nousee.

On tärkeää myös tietää kaikkien joustavien kuormien sähkönkulutus, jolloin voidaan laskea kiinteistön kokonaisjouston ja raportoida sen eteenpäin.

6 Virtuaalivoimalan hyödyt ja haasteet

6.1 Hyödyt

Virtuaalivoimalat tuovat suurta hyötyä yhteiskunnalle ja auttavat meitä siirtymään ekologisempaan energiatuotantoon, koska voimme aurinko- ja tuulivoiman ja muiden vaihtelevien energiantuotantojen heiluntaa tasata sillä helposti. Virtuaalivoimalaitokset vähentävät myös kasvihuonepäästöjä. Virtuaalivoimalaitoksen tuottaman säätövoiman CO₂-päästöt ovat käytännössä nollassa. Jos esimerkiksi vertaamme virtuaalivoimalaitosta perinteiseen säätövoimaan, jonka hiilidioksidipäästöt voivat olla pahimmillaan jopa yli 800 kg/MWh.

Virtuaalivoimalaitos tuo myös kiinteistön omistajalle aivan uudenlaisen tulonlähteen. Esimerkiksi 2 MW:n kapasiteetilla, joka olisi käytössä 7000 tuntia vuodessa eli noin 80 % ajasta. Fingrid'in vuonna 2019 toteutuneiden FCR-N-tuntimarkkinahintojen mukaan olisi tällä joustokapasiteetilla ja markkinatunneilla voinut ansaita noin 300 000 € vuodessa.

Jos virtuaalivoimalaitokseen on liitetty akusto, voi akusto toimia kiinteistön varavoimana esimerkiksi sähköverkon sähkökatkon aikana. (Kari 2020.)

6.2 Haasteet

On tärkeää, että kiinteistön olosuhteet ja käytettävyys pysyvät hyvinä. Siksi on varmistettava, että asetetaan sopivat huonelämpötila ja hiilidioksidipitoisuusrajat. Näiden rajojen ulkopuolella koneet eivät enää saa joustaa ja kiinteistön käytettävyys ja olosuhteet säilyvät hyvinä.

FCR-D-markkinaan liittyminen tuo virtuaalivoimalaitoksen ohjelmointiin ja toteuttamiseen uudenlaisia haasteita, sillä jousto täytyy olla todella nopea. Näin nopeilla jouston muutoksilla FCR-D-säätö täytyy saada toimimaan lähes välittömästi, mutta se ei saa kuitenkaan aiheuttaa painesäädön tai virtaussäädön huojuntaa tai epätasapainoa.

Pohjoismaiden sähköverkko on hyvin edistynyt, mutta kaikkien maiden sähköverkot eivät vielä mahdollista virtuaalivoimalaitosten toteuttamista. Monissa muissa maissa virtuaalivoimalan tuottamasta säätövoimasta ei vielä olisi mahdollista saada rahallista korvausta.

7 Yhteenveto

Sähkön tuotannon muuttuessa vaihtelevammaksi ja säästä riippuvaisemmaksi sähköverkkoon tarvitaan enemmän joustoa joko tuotannon tai kulutuksen puolelle. Kiinteistöissä on paljon joustopotentiaalia sähkönkulutuksessa, ja rakennusautomaation avulla pystymme sitä hyödyntämään. Joustosta maksetaan ja virtuaalivoimalalla pyritään joustamaan kiinteistöjen sähkönkulutusta sähköverkon niin vaatiessa ja tuottamaan näin kiinteistöille uudenlaisen tulonlähteen.

Insinööriyön tarkoituksena oli tutustua virtuaalivoimalaitoksen toimintaan ja sen valvonta-alakeskus ohjelmointiin. Tarkoituksena oli myös parantaa tietämystä rakennusautomaatiosta sekä laitteista ja ohjelmistoista. Tarkoituksena oli myös tutustua tarkemmin ilmanvaihtokoneen ohjelmointiin CFC-ohjelmalla ja ilmanvaihtokoneen liittämiseen osaksi virtuaalivoimalaa.

Insinööriyössä tutkittiin lisäksi myös koko jäähalliprojektin toteutukseen oleellisesti liittyviä aihealueita. Aihealueita olivat ohjelmointi sovellukset, valvonta-alakeskusohjelmointi, valvomo, valvonta-alakeskukset, prosessorit ja moduulit.

Lähteet

Airas. Riku. 2019. Rakennusautomaatio ja valvonta-alakeskuksen saneeraus. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/167745/Airas_Riku.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y> Luettu 10.10.2021.

Automaatioyksiköt modulaarinen sarja. 2012. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=FI&lang=fi&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=BPZ%3aPXC100-E.D>> Luettu 12.6.2021.

Kari. Mika. 2020. Kiinteistösijoittajan odotukset ja epävarmuudet virtuaalivoimailaitoksen hankinnassa. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/326878/Kari_Mika.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Laakso. Sami. 2017. Microgrid as a Power Reserve. <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28980/master_Laakso_Sami_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Paavilainen. Eero. 2020. Aggregated Demand Response in a Virtual Power Plant: A Finnish Case Study. <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/44291/final_Paavilainen_Eero_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Parviainen. Henri. 2017. Rakennusautomaatioprojektin hoito. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/124645/Henri_Parviainen.pdf.pdf?jsessionid=F5148E96692F5BC76950B7BE9DCB22C8?sequence=1> Luettu 6.4.2022

Pihlstöm. Mikko. Siemens Osakeyhtiö. Järjestelmäkaavio Siemens SI. 2021

PXC Modular Series. 2020. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=gettasset&id1=A6V10304985>> Luettu 15.6.2021.

Reservituotteet ja reservien markkinapaikat. 2021. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-reservien-markkinapaikat.pdf>> Luettu 28.5.2021.

SIMATIC CFC for S7 Continuous Function Chart Manual. 2003. Verkkoaineisto. Siemens. <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/182/15236182/att_80396/v1/CFC_for_S7_e.pdf> Luettu 22.3.2022

Suomäki, Jorma & Vepsäläinen, Sami. Talotekniikan automaatio – Käyttäjän opas. 2013 Kiinteistöalan Kustannus Oy

Taajuuden vakautusreservien (FCR) teknisten vaatimusten todentaminen ja hyväksyttämiprosessi. 2019. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/fcr-liite2---teknisten-vaatimusten-todentaminen-ja-hyvaksyttamisprosessi.pdf>> Luettu 14.5.2021.

Värjä, Pertti & Mikkola, Jukka-Matti. Uusi kiinteistöautomaatio. 2021 Cadnet Oy