



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jonne Ketonen

Kiinteistöautomaatiojärjestelmän liittämisen osaksi sähkön kysynnän joustoa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

21.5.2021

Tekijä Otsikko	Jonne Ketonen Kiinteistöautomaatiojärjestelmän liittäminen osaksi sähkön kysynnän joustoa
Sivumäärä Aika	38 sivua + 4 liitettä 21.5.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Kristian Junno Kehityspäällikkö Teemu Forsten
<p>Fidelixin älykkäät kiinteistöautomaatiojärjestelmät ovat mukana toteuttamassa sähkön kysynnän joustoa. Tämän insinööriyön tarkoituksena oli projektiluontoisesti tutkia mitkä rajapinnat mahdollistavat kiinteistöautomaatiojärjestelmän osallistumisen kysynnän joustoon. Insinööriyön projektin päätavoitteena oli testata ala-aseman ja EasyLink-moduulin välinen kommunikointi ja simuloida ilmanvaihtokoneen toiminta osana sähkön kysynnän joustoa.</p> <p>Insinööriyössä käsiteltiin Suomen päästövähennysvelvoitteita ja minkälainen vaikutus energiantuotannolla on hiilidioksidipäästöihin. Insinööriyössä tutkittiin, minkälaisia mahdollisuuksia on osallistua Fingridin kantaverkon sähkömarkkinoille ja mitä vaatimuksia se edellyttää älykkäältä kiinteistöautomaatiojärjestelmältä.</p> <p>Simuloinnin ansiosta kerättiin arvokasta tietoa ilmanvaihtokoneen IEC-ohjelman toimivuudesta sekä miten saadaan rajapintojen välinen kommunikointi toimimaan, joita pystytään hyödyntämään tulevaisuuden käyttöönotoissa.</p>	
Avainsanat	Fidelix, kiinteistöautomaatio, kysyntäjousto

Author Title	Jonne Ketonen Integrating the Building Automation System into the Demand-Side Management
Number of Pages Date	38 pages + 4 appendices 21 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Technology
Instructors	Kristian Junno, Senior Lecturer Teemu Forsten, Development Manager
<p>Smart building automation systems of Fidelix are involved in energy demand-side management. The purpose of this bachelor's thesis work was exploring which building automation systems are suitable for involvement in energy demand-side management. The main goal of the thesis project was testing communication between substation and EasyLink module and simulate ventilation unit process as part of demand-side management.</p> <p>The thesis clarifies carbon emission reduction obligation of Finland and what kind of impact energy production has on carbon dioxide emissions. Opportunities to be participate in Fingrid's grid electricity market and what it requires from intelligent building automation systems were studied.</p> <p>As a result of the simulation, valuable information from IEC program of the ventilation unit and how the communication between the interfaces functions was collected. This information can be utilized in future applications.</p>	
Keywords	Fidelix, building automation, demand-side management

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Pariisin ilmastosopimus	3
2.1	EU:n ilmastolaki ja päästötavoitteet	4
2.2	Suomen päästövähennystavoitteet	5
3	Sähköenergian tuotanto ja siirto Suomessa	6
3.1	Sähköenergian tuotanto Suomessa	6
3.2	Uusiutuvat energialähteet sähköntuotannossa	7
3.3	Suomen energiantuotannon hiilidioksidipäästöt	8
3.4	Suomen kantaverkko	9
3.5	Sähköenergiansiirto kantaverkossa	9
3.6	Kantaverkon tehotasapainon ylläpito	10
4	Sähkön kysyntäjousto	11
4.1	Kysynnän jouston reservimarkkinat	11
4.2	Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)	14
4.3	Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)	15
4.4	Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)	15
4.5	Aggregaattorit	16
5	Sähkön kysynnän jousto osana kiinteistöjen rakennusautomaatiota	16
5.1	Rakennusautomaatiojärjestelmät yleisesti	16
5.1.1	Hallintotaso	17
5.1.2	Automaatiotaso	18
5.1.3	Kenttätaso	18
5.2	Ilmanvaihtokoneet	18
5.3	Valaistukset	19
6	Projektin tausta ja rajapinnat	20

6.1	Kiinteistöjen energiankulutus ja joustopotentiaali	20
6.2	Fidelixin virtuaalivoimalaitos	20
6.3	Ilmanvaihtokone osaksi virtuaalivoimalaitosta	21
6.4	Modbus-protokolla	22
6.4.1	Modbus-kommunikointitavat	22
6.4.2	Modbus TCP	23
6.5	REST-arkkitehtuurimalli	24
7	Toteutus	26
7.1	Toimintamalli	26
7.2	Grafiikkakuvien luonti	27
7.3	IEC-ohjelmointi	28
7.4	EasyLink-moduulin konfigurointi	30
7.5	Simulointi	31
7.5.1	Joustotapa 1	32
7.5.2	Joustotapa 2	33
8	Yhteenveto	35
	Lähteet	36
	Liitteet	
	Liite 1. Fingridin ylläpitämät kantaverkot Suomessa	
	Liite 2. Template-kirjaston grafiikkakuvien luontityökalu	
	Liite 3. Template-kirjaston grafiikkakuva prosessin asetuksista	
	Liite 4. Template-kirjaston grafiikkakuva prosessin hälytyksistä	

Lyhenteet ja käsitteet

aFRR	<i>Automatic Frequency Restoration Reserve</i> . Automaattinen taajuudenhallintareservi.
Ala-asema	<i>PLC, Programmable Logic Controller</i> . Vapaasti ohjelmoitava logiikka.
EasyGate	Fidelixin ylläpitämä pilvipalvelu.
EasyLink	Moduuli, joka muodostaa yhteyden kiinteistön automaatioverkon ja pilvipalvelimen välillä.
FCR-D	<i>Frequency Containment Reserve</i> . Taajuusohjattu häiriöreservi.
FCR-N	<i>Frequency Containment Reserve for Normal operation</i> . Taajuusohjattu käyttöreservi.
FX-Editor	Fidelixin ohjelmointi työkalu. Käytetään ala-asemien ja valvomojen grafiikkakuvien luomiseen ja ohjelmointiin.
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> . Kommunikointiprotokolla.
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> . Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
I/O	<i>Input/Output</i> . Informaation siirtämistä tietokoneen ja komponenttien välillä.
LAN	<i>Local Area Network</i> . Lähiverkko.
Modbus	Avoin väyläliikenneprotokolla.
OSI-malli	<i>Open Systems Interconnection Model</i> . ISO:n kehittämä malli tietoliikennejärjestelmien suunnitteluun.
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i> . Suorituskykyinen Modbus binääriprotokolla.

ST	<i>Structured Text</i> . Tekstipohjainen korkeamman tason ohjelmointikieli.
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol / Internet Protocol</i> . Internet-liikennöinnissä käytettävän tietoliikenneprotokollan yhdistelmä.
Template	Muokattava grafiikkakirjasto valmiiden grafiikkakuvien ja ohjelmien luomiseen.
VAK	Valvonta-alakeskus.
Valvomo	Rakennusautomaatiojärjestelmien toimintaa valvova käyttöjärjestelmä.
WLAN	<i>Wireless local area network</i> . Langaton lähiverkko.

1 Johdanto

Vallitsevan ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi pyritään vähentämään energiatuotannosta johtuvia hiilidioksidipäästöjä. Kiristyneiden päästötavoitteiden myötä on kehitetty innovatiivisia ratkaisuja energiansäästöön ja samalla on parannettu koko kantaverkon tasapainoa. Kohti hiilineutraalia Suomea on uusiutuvien energiamuotojen otettava suurempi asema energiantuotannossa. Uusiutuvien energiatuotantomuotojen sääriippuvuuden vuoksi se on vaikeasti ennustettava, minkä takia kantaverkon optimaalisen taajuuden ylläpitämiseksi tarvitaan erilaisia sähkön kysyntäjoustotapoja. Älykkäillä automaatiojärjestelmillä pystyvät pienemmätkin toimijat liittymään osaksi Fingridin kantaverkkoa, mikä mahdollistaa osallistumisen rahallisesti kaikkia osapuolia hyödyttävälle sähkömarkkinoille.

Insinööriyön tavoitteena on testata automaatiojärjestelmien rajapinnat sähkön kysynnän jouston käyttöönottoa varten. Työn tarkoitus on yhdistää useampi rajapinta toimivaksi kokonaisuudeksi, mikä helpottaisi tulevaisuudessa Fidelixin automaatiojärjestelmissä toteutettavaa sähkön kysynnän jouston käyttöönottoa ja osallistumista taajuusohjattuun käyttöreserviin. Sähkön kysynnän jouston simulointia varten luodaan Fidelixin uudella Template-kirjastolla grafiikkakuvat ja ohjelmat. Työssä selvitetään, minkälaisia markkinapaikkoja Fingridin ylläpitämässä kantaverkossa on sähkön kysynnän joustoon. Lisäksi tuodaan esille automaatiojärjestelmien energiansäästön potentiaali, joilla pystyttäisiin vaikuttamaan Suomen tavoitteisiin kohti hiilineutraaliutta.

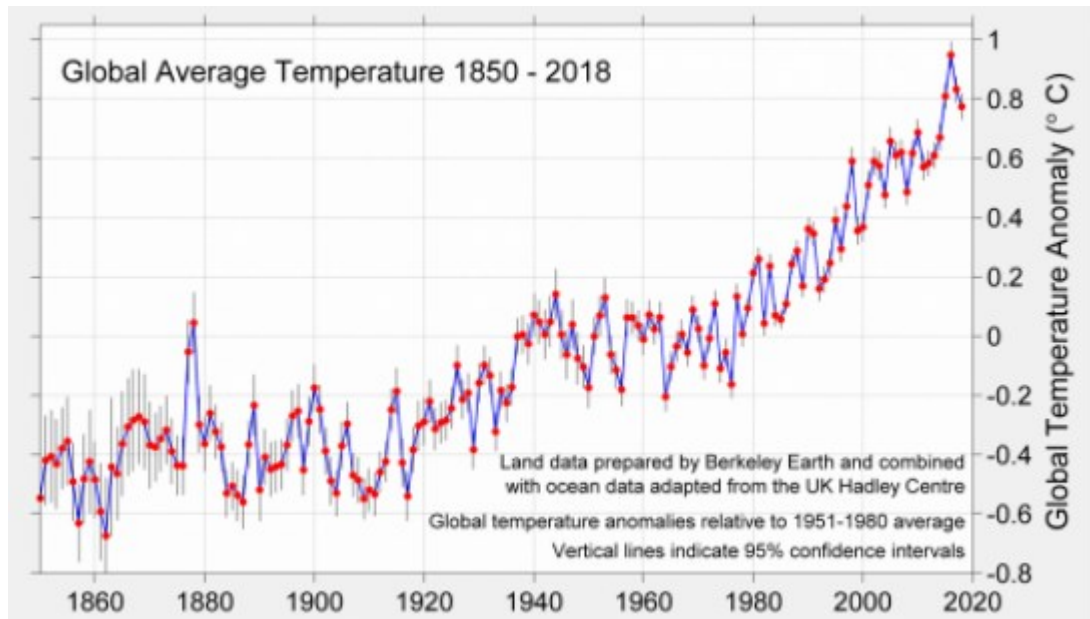
Tämän insinööriyön toimeksiantajana toimi Fidelix Oy. Fidelix Oy on vuonna 2002 perustettu yritys, jolla on nyt 11 aluekonttoria ja noin 40 jälleenmyyjää ympäri Suomea sekä tytäryhtiö Ruotsissa. Yrityksen liikevaihto vuonna 2019 oli 40 miljoonaa euroa ja työllisti päämarkkina-alueellaan noin 300 henkilöä.

Fidelix Oy kehittää älykkäitä ja laajasti yhteensopivia rakennusautomaatiojärjestelmiä. Yrityksen tavoitteena on optimoida kiinteistöjen energiakustannuksia, parantaa sisäolosuhteita ja pitää ylläpitokustannukset matalana. Innovatiivinen ja korkean teknologia-

osaamisen omaava Fidelix Oy pyrkii älykkäillä ratkaisuilla hyödyntämään kysyntäjousta. Kiinteistöjen resurssienkäytön ja tuotekehityksen avulla on pystytty kehittämään jatkuvasti älykkäämpiä automaatiojärjestelmäkokonaisuuksia.

2 Pariisin ilmastopimus

Maapallon keskilämpötila on noussut vuodesta 1960 lähes lineaarisesti ylöspäin yhden asteen verran, mikä on aiheuttanut suurta huolta (ks. kuva 1). Vuonna 2015 järjestettiin ilmastokokous, jossa solmittiin sitova maailmanlaajuinen ilmastopimus. Ilmastopimus otettiin käytäntöön vuonna 2016, jonka tavoitteena on pitää maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahdessa asteessa.



Kuva 1. Maapallon keskimääräinen lämpötila 1850–2018 ajanjaksolla [1].

Kaikkien osapuolien on sitouduttava päästöjen vähentämiseen ja toimiin ilmastonmuutoksen pysäyttämiseksi. Päästövähennystavoitteensa jokainen maa määrittelee itse ja viiden vuoden välein osapuolten edistymistä tarkastellaan maailmanlaajuisissa kokonaistarkasteluissa. Ensimmäinen maailmanlaajuinen kokonaistarkastelu toteutetaan vuonna 2023. [2.]

2.1 EU:n ilmastolaki ja päästötavoitteet

Euroopan parlamentti hyväksyi vuonna 2020 uuden EU:ta koskevan ilmastolain, joka muuttaa sitoviksi tavoitteiksi tehdä kaikista EU-maista ilmastoneutraaleja vuoteen 2050 mennessä. Fossiilisten polttoaineiden tuista luovutaan viimeistään vuonna 2025.

Uuden ilmastolain myötä EU:n tavoitteena on supistaa ulkopuolisten alojen päästöjä 30 prosenttia vuoteen 2030 mennessä, kun vertailuna käytetään vuoden 2005 tasoa (ks. taulukko 1). Tämä koskee rakennuksien lämmitystä, maataloutta, jätehuoltoa ja liikennettä. Jokaiselle jäsenmaalle on merkitty valtiokohtainen päästövähennysvelvoite, josta Suomen veloitteeksi muodostuu 39 prosentin päästövähennys.

Taulukko 1. EU:n jäsenmaille asetetut kasvihuonepäästöjen päästövähennysvelvoitteet (vertailuvuosi 2005) [3].

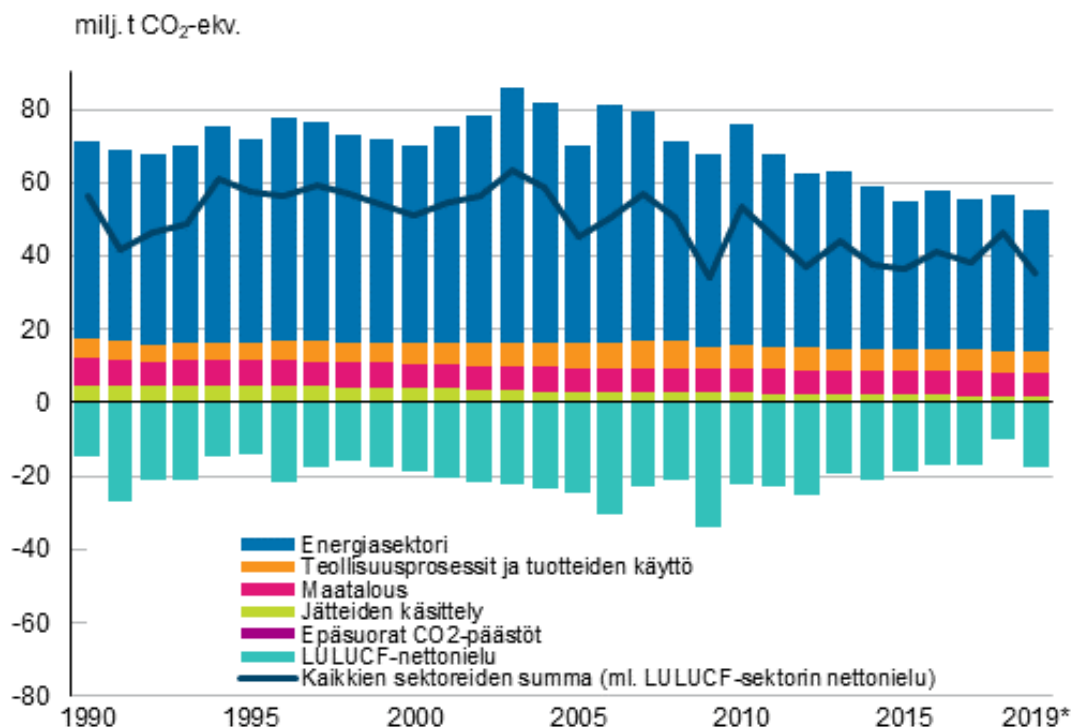
Maa	Velvoite	Maa	Velvoite
Alankomaat	-36 %	Puola	-7 %
Belgia	-35 %	Portugali	-17 %
Bulgaria	-0 %	Ranska	-37 %
Espanja	-26 %	Romania	-2 %
Irlanti	-30 %	Ruotsi	-40 %
Iso-Britannia	-37 %	Saksa	-38 %
Italia	-33 %	Slovakia	-12 %
Itävalta	-36 %	Slovenia	-15 %
Kreikka	-16 %	Suomi	-39 %
Kypros	-24 %	Tanska	-39 %
Latvia	-6 %	Tšekki	-14 %
Liettua	-9 %	Unkari	-7 %
Luxemburg	-40 %	Viro	-13 %
Malta	-19 %		

Kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi edellytetään kaikissa jäsenmaissa toimia niin uusiutuvan energian tuotannon lisäämisellä kuin parantamalla energiatehokkuutta. [3.]

2.2 Suomen päästövähennystavoitteet

Pariisin ilmastonsopimuksen ja EU:n ilmastolain myötä Suomen hallitus asetti vuonna 2020 tavoitteeksi olla hiilineutraali maa vuoteen 2035 mennessä sekä hiilinegatiivinen nopeasti sen jälkeen. Hiilineutraaliudella tarkoitetaan, että päästöt ja hiiltä sitovat nielut ovat yhtä suuret.

Ilmastopaneelin mukaan Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan 35 Mt päästövähennyksiä. Hallituksen toimien ja tavoitteiden välillä on kuilu, kun jo nyt sovitusta 16 Mt:n päästövähennyksistä tarvitaan 19 Mt:n edestä lisätoimia. Kuilun kuromiseksi hallitus antaa keväällä 2021 esityksen ilmastolaista, jolla pyritään ilmastotyöllä 17–24,6 Mt:n päästövähennyksiin jo sovitun 16 Mt päästövähennyksen lisäksi. [5, s. 1.]



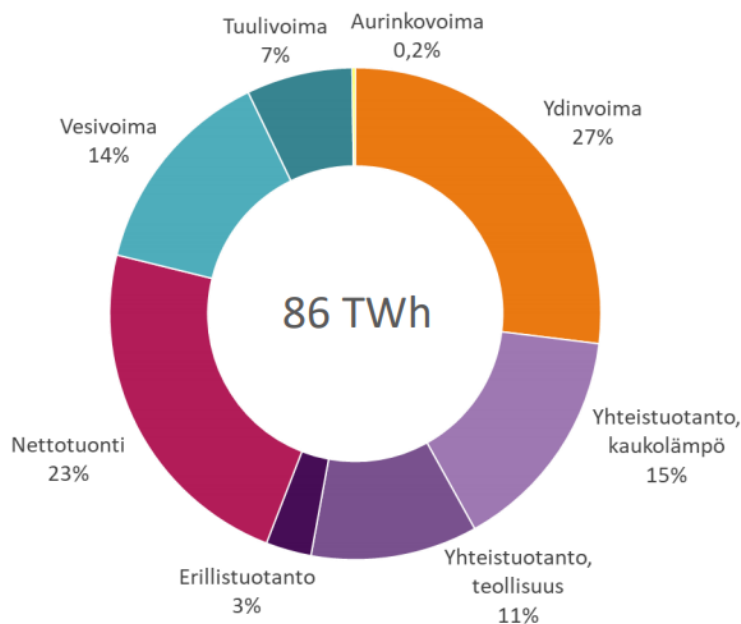
Kuva 2. Suomen kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat sektoreittain [4].

3 Sähköenergian tuotanto ja siirto Suomessa

3.1 Sähköenergian tuotanto Suomessa

Suuret voimalaitokset ympäri Suomea tuottavat satoja megawatteja (MW) sähköä joka vuosi. Vuonna 2019 sähköä tuotettiin 66 terawattituntia (TWh), joka on 1,5 terawattituntia vähemmän kuin vuonna 2018.

Suomessa vuonna 2019 kolmannes sähköstä tuotettiin ydinvoimalla, ja noin puolet koostuivat aurinko-, tuuli-, lauhde- ja vesivoimasta sekä kaukolämmön ja teollisuuden yhteistuotannosta (ks. kuva 3). Suuren sähkönkulutuksen takia sähköä tuodaan naapurimaista, joka on noin viidennes tuotannosta. Fossiilisten polttoaineiden käyttö sähköntuotannossa väheni 16 % ja kivihieillä tuotettu sähkö väheni peräti 24 %. [6.]



Kuva 3. Sähkön energiantuotanto Suomessa [6, s. 8].

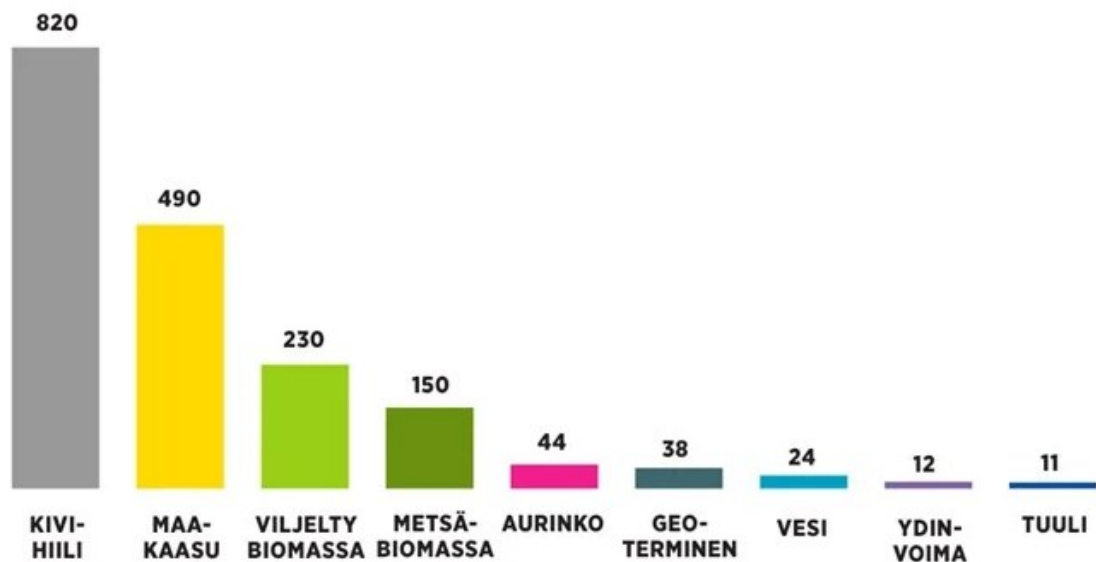
Suomessa kivihiilen käytön väheneminen sähköntuotannossa on vähentänyt odotetusti hiilidioksidipäästöjä, jossa Suomen tavoitteena on olla edelläkävijä. Fossiilisten polttoaineiden käytöstä energian tuotannosta luovutaan asteittain ja siirrytään kohti päästötöntä

energiantuotantojärjestelmää. Vuonna 2029 astuu voimaan lakimuutos, jonka jälkeen kivihiilen käyttö sähkön tai lämmön tuotannon polttoaineena kielletään. Kivihiilikiellolla tähdätään vuoden 2030 kansallisen energia- ja ilmastostrategian toimeenpanoon [7].

3.2 Uusiutuvat energialähteet sähköntuotannossa

Fossiilisten polttoaineiden käytön vähenemisen myötä tarvitaan yhä enemmän uusiutuvia energialähteitä kattamaan Suomen energiankulutusta, jotta saavutetaan energia- ja ilmastostrategian sekä hallitusohjelman tavoitteet. Vuoteen 2030 mennessä tavoitteena on uusiutuvan energian tuotannon osuus loppukulutuksesta olisi vähintään 51 prosenttia.

Suomi kuuluu EU-maiden kärkijoukkoon uusiutuvien energian käytössä. Suomessa bioenergia on suurin yksittäinen energialähde, joka kattaa noin 27 prosenttia. Bioenergian suuri käyttö Suomessa nojautuu pitkälti metsäteollisuuden ja metsänhoidon sivuvirtoihin. Vaikka biomassassa on uusiutuva energialähde, se aiheuttaa keskimääräisesti merkittävästi enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin esimerkiksi tuulivoima, joka on lähes hiilidioksidipäästötön.

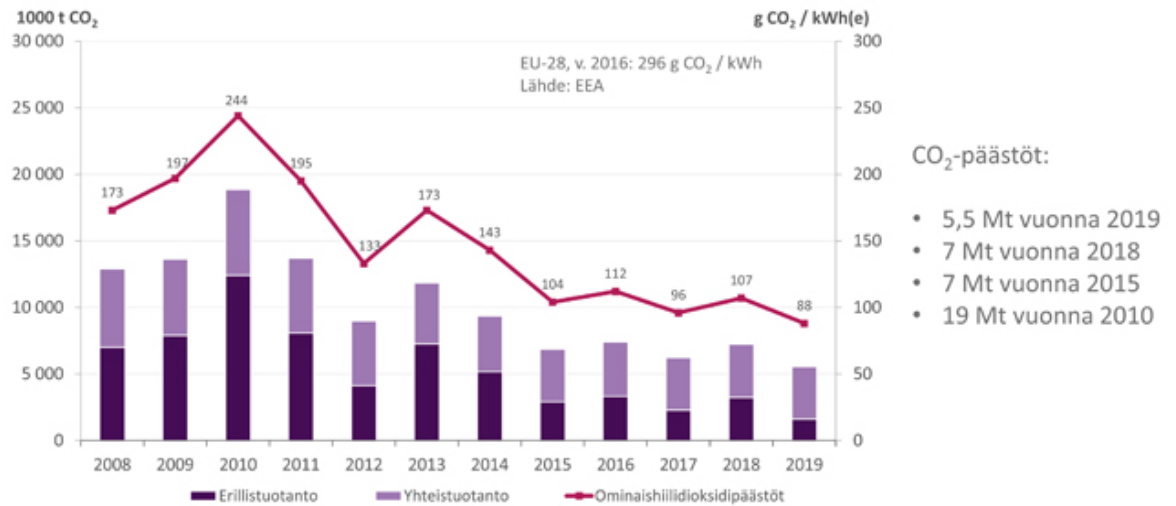


Kuva 4. Sähköntuotannon CO₂-ekvivalenttipäästöjä g/kWh [8].

Tulevaisuudessa pyritään kattamaan sähköntuotanto pelkästään uusiutuvilla energialähteillä. Suurimmat energialähteet tulevat olemaan aurinko-, tuuli- ja vesivoima. Teknologian kehityksen myötä aurinkovoimaloiden rakentaminen on edullisempää kuin aikaisemmin sekä tuulivoimalat ovat huomattavasti isompia ja korkeampia, mikä parantaa niiden tuotantotehoa. [9.]

3.3 Suomen energiantuotannon hiilidioksidipäästöt

Vuonna 2019 suomalainen sähköntuotanto aiheutti 5,5 miljoonaa tonnia hiilidioksidia, joka on jopa 23 prosenttia vähemmän kuin vuonna 2018. Vertailun vuoksi vuonna 2010 sähköntuotanto aiheutti jopa 18,8 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt (ks. kuva 5).



Kuva 5. Sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt Suomessa [10, s. 4].

Hiilidioksidipäästöjen supistumista on edesauttanut turpeen sekä jo mainitun kivihillen käytön väheneminen energiantuotannossa.

3.4 Suomen kantaverkko

Yli 14 000 kilometrin Suomen kantaverkko on Fingridin ylläpitämä sähkönsiirron runkoverkko. Suuret voimalaitokset, jakeluverkot ja tehtaot on liitetty osaksi Fingridin hallitsemaa kantaverkkoa. Suomen kantaverkkoon on liitetty yli 116 sähköasemaa (ks. liite 1).

Kantaverkon tarkoitus on palvella sähkön tuottajia ja sähkön kuluttajia sekä mahdollistaa molempien osapuolien keskinäisen kaupanteon valtakunnallisella tasolla ja mahdollistaen myös valtakunnan rajat ylittävän kaupan. [11.]

3.5 Sähköenergiansiirto kantaverkossa

Voimalaitokset tuottavat sähköenergiaa generaattoreissa, jotka siirretään Fingridin kantaverkkoihin. Siirtoverkkojen merkitys korostuu, kun sähköntuotanto ja kulutus ovat eri paikoissa [12].

Sijoittamalla Ohmin lain tehon lausekkeeseen huomataan, että teho on suoraan verrannollinen jännitteen tai virran neliöön. Tämän takia sähkönsiirrossa käytetään suuria jännitteitä, jolloin saadaan virta pienemmäksi ja se mahdollistaa pienempien johtimien poikkipinta-alan käytön sekä jännitehäviöt pienevät.

$$P = UI = (RI)I = RI^2 \quad P = UI = U \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} \quad \text{KAAVA 1}$$

P on siirtoverkon sähköteho, W

U on siirtoverkon jännite, V

I on siirtoverkon virta, A

R on siirtoverkon resistanssi, Ω

Johtimen resistanssi on suoraan verrannollinen sen pituuteen, joten pitkien matkojen tehonsiirrossa on järkevää käyttää suurempaa jännitettä, jotta johtimen poikkipinta-ala ei kasva suureksi ja tuo suurempia materiaalikustannuksia. [13, s. 120.]

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

KAAVA 2

ρ on johtimen resistiivisyys

l on johtimen pituus

A on johtimen poikkipinta-ala

3.6 Kantaverkon tehotasapainon ylläpito

Suomen sähkönkulutuksen taso vaihtelee jatkuvasti, niin tunneittain kuin pidemmällä aikavälillä. Yllättävät sähkönkulutuspiikit tai sähkön ylituotanto voi aiheuttaa kantaverkossa epätasapainoa, jonka seurauksena poikkeamat voivat vahingoittaa sähkönjärjestelmiä ja aiheuttaa jopa sähkökatkoksen.

Fingrid järjestelmävastaavana pyrkii ylläpitämään 49,9–50,1 Hz:n taajuutta aktivoimalla säätötarjouksia ja varaamalla reservejä. Reservinä voi toimia tuotantolaitos tai kulutusyksikkö, jolla on vapaata säätökykyistä pätötehokapasiteettia. Erilaisten reservien tarkoitus on reagoida kulutuksen ja tuotannon muutoksiin, jotka parantavat kantaverkon tasapainoa eri aikatasoilla.

Reservien lisäksi Suomessa on käytössä tehoreservijärjestelmä. Tehoreservin avulla pystytään turvaamaan sähkön toimitusvarmuus, kun sähkön kulutusta on enemmän kuin suunniteltua sähkön hankintaa. Tehoreservinä voivat toimia voimalaitokset sekä kohteet, jotka ovat kykeneviä sähkön kulutuksen joustoon. [14.]

4 Sähkön kysyntäjousto

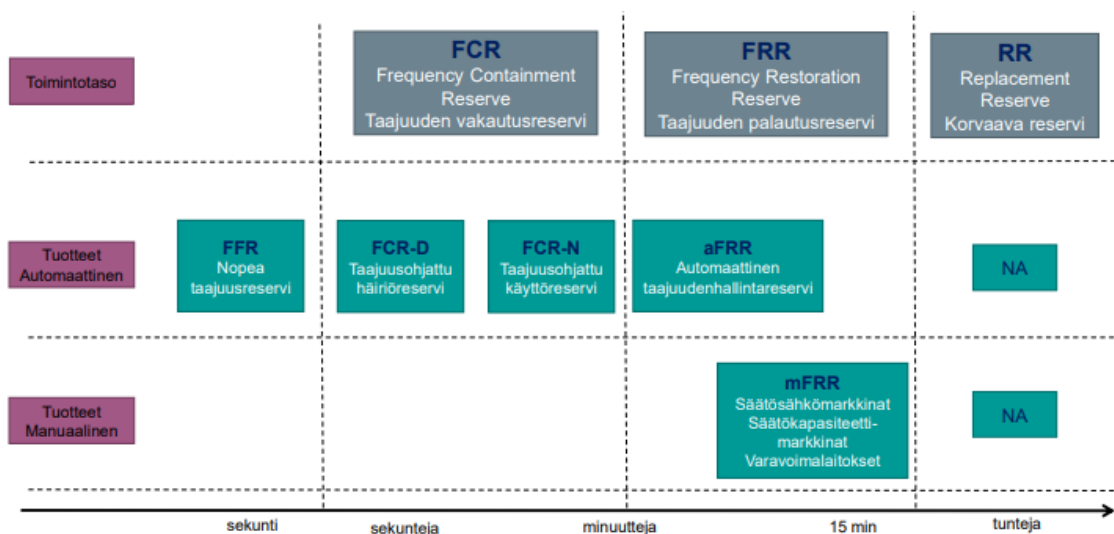
Suomen ilmastotavoitteiden myötä joustamattomien uusiutuvien energiankäyttö lisääntyy entisestään, mikä taas vaikuttaa kantaverkon tehtasapainoon, ja näin ollen sähkön kysynnän joustolle on tarvetta.

Sähkön kysyntäjoustoja voidaan toteuttaa sähkönkulutuksen tehokuormien nostamisella ja laskemisella tai siirtämällä korkean kulutuksen tunneilta matalamman kulutuksen ajankohtaan. Kysyntäjoustoan osallistuminen vaatii yleensä yrityksiltä investointeja, mutta pitkällä aikavälillä tarkasteltuna se tuo taloudellisia hyötyjä ja on ympäristöystävällisempi. Aggregaattorit muodostavat pienkulutuksesta suurempia kokonaisuuksia mahdollistavat myös kuluttajien osallistumisen sähkön kysynnän joustoon. [15.]

4.1 Kysynnän jouston reservimarkkinat

Fingridin ylläpitämät ja Energiaviraston valvonnan alla olevat reservimarkkinat jaotellaan neljään erilaiseen toimintotason niiden käyttötarkoituksensa perusteella (ks. taulukko 2). Näistä on enemmän seuraavissa luvuissa. Reservien tarkoituksena on reagoida kantaverkon taajuuden muutoksiin, ja Fingrid on valmis maksamaan vuosi- ja tuntimarkkinoilla määriteltyä reservikorvausta.

Taulukko 2. Fingridin ylläpitämät reservilajit [16].

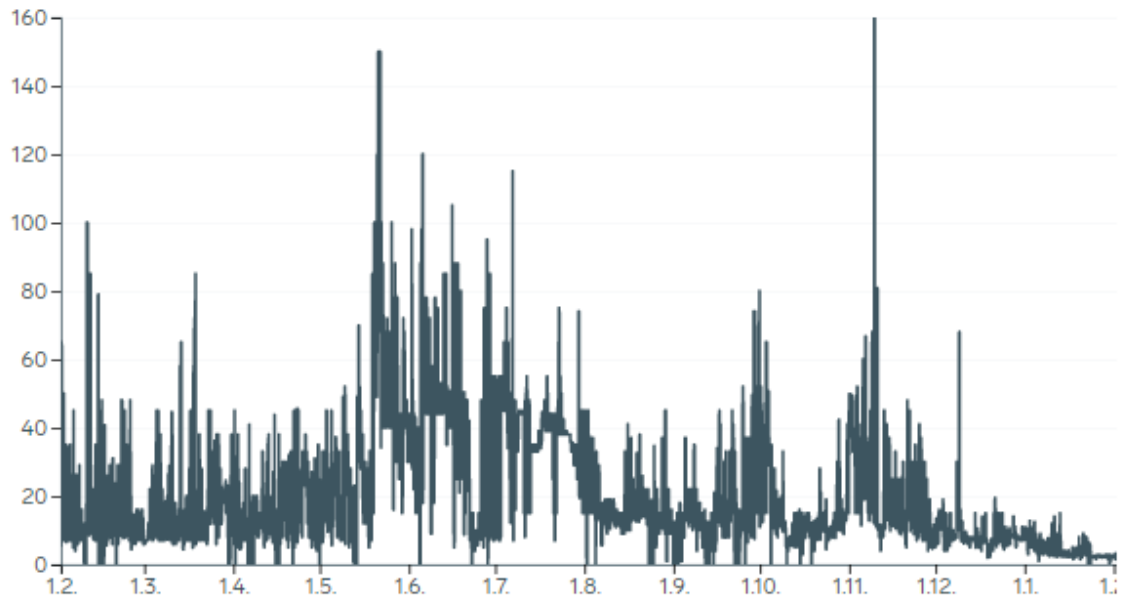


Vuosimarkkinoilla kaikki osallistujat saavat saman korvauksen reservin ylläpidosta. Kullekin vuodelle määritetään edellisvuoden syksyllä avoimen tarjouskilpailun perusteella vuosimarkkinahinta ja -määrä (ks. taulukko 3).

Taulukko 3. Toteutuneet vuosimarkkinakaupat vuosien 2011–2021 välisenä aikana [16].

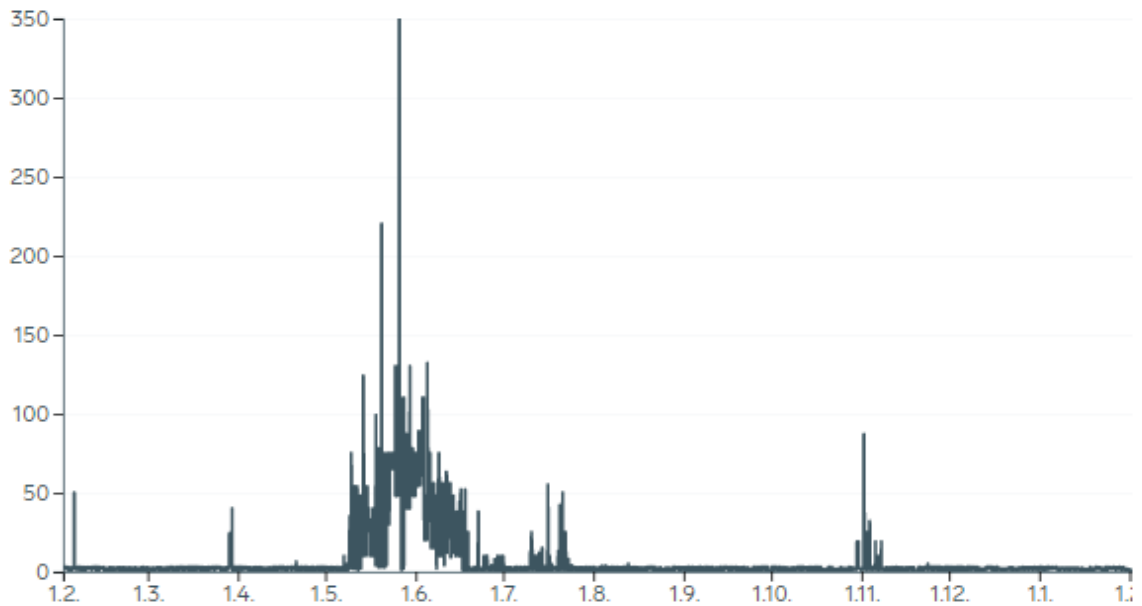
	FCR-N hinta (€/MW,h)	FCR-N määrä (MW)	FCR-D hinta (€/MW,h)	FCR-D määrä (MW)
2011	9,97	71	1,48	244,3
2012	11,97	72,7	2,8	346,9
2013	14,36	73,5	3,36	299,8
2014	15,8	75,4	4,03	318,7
2015	16,21	73,6	4,13	297,5
2016	17,42	89	4,5	367
2017	13,00	55,0	4,7	455,7
2018	14,00	72,6	2,8	435,0
2019	13,50	79	2,40	445,6
2020	13,20	87,1	1,90	458,3
2021	12,50	105,8	1,80	425,0*

Reservinhaltija voi halutessaan osallistua myös tuntimarkkinoille tekemällä Fingridin kanssa tähän oikeuttavan sopimuksen. Tuntimarkkinoiden tarkoitus on käyttää täydentävää hankintaa kerran vuorokaudessa. Tuntimarkkinoilla käydään tarjouskilpailua, jonka Fingrid edellisen vuorokauden iltana vahvistaa hintajärjestyksen mukaisesti. Maksettava korvaus määräytyy jokaiselle tunnille erikseen kalleimman tilatun tarjouksen mukaan, ja jokaiselle reservinhaltijalle maksetaan sama hinta.



Kuva 6. Taajuusohjatun käyttöreservin (FCR-N) toteutuneet tuntimarkkinahinnat 1.2.-2020-1.2.2021 välisenä aikana [16].

Taajuusohjatun käyttöreservin tuntikohtaisen hinnan keskiarvo vuoden aikana oli 20,34 €/MW ja suurin toteutunut tuntikauppa oli 160 €/MW, joka toteutui vuoden 2020 marraskuussa. Pienin kysyntä oli vuoden 2021 helmikuussa, kun tuntikaupan hinta oli vain 1 €/MW.



Kuva 7. Taajuusohjatun häiriöreservin (FCR-D) toteutuneet tuntimarkkinahinnat 1.2.-2020-1.2.2021 välisenä aikana [16].

Taajuusohjatun käyttöreservin keskimääräinen hinta tuntimarkkinoilla oli 20,34 €/MW. Suurimmat toteutuneet tuntikaupat käytiin vuoden 2020 toukokuun ja kesäkuun välisenä aikana, kun suurin toteutunut kauppa oli 350 €/MW (ks. kuva 7). [16.]

4.2 Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)

Taajuusohjattua häiriöreserviä on käytetty kantaverkoissa aina, ja sen on reagoitava sähköjärjestelmien tasapainomuutoksiin muutamissa sekunneissa. Aiemmin vesivoima on toiminut häiriöreservinä, mutta nykypäivänä pystytään toteuttamaan kysyntäjoustoa muilla tavoilla, kuten sammuttamalla kasvihuoneiden valot hetkellisesti [17].

Osallistuminen taajuusohjatun häiriöreservin ylläpitoon on 50 % aktivoitinopeus tapahtuva 5 sekunnissa ja 100 % 30 sekunnissa. Taajuusohjatun häiriöreservin on kyettävä vain taajuuden ylössäätöön, joka aktivoituessaan säätää tehoa lähes lineaarisesti.

Taajuuden häiriöreservin ylläpitoa toteutetaan myös tarvittaessa tehokuorman poistamisella kantaverkosta välittömästi ja kuorman saa kytkeä takaisin verkkoon, kun kantaverkon taajuus on ollut vähintään 49,9 Hz 3 minuutin ajan. Minimitarjouskoko taajuuden häiriöreservin ylläpitoon on 1 MW. [18.]

4.3 Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)

Taajuusohjattu käyttöreservi osallistuu vuosi- ja tuntimarkkinoille, jonka minimitarjouskoko on 0,1 MW. Aktivoitumisaika taajuuden säädölle on kolme minuuttia. Sääto on symmetrinen ja näin ollen reservin tulee kyetä sekä tehonlisäykseen että tehonpudotukseen.

Kun investoidaan taajuusohjattuun käyttöreserviin, tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa taajuuden jatkuva säätö eikä näin ollen ole järkevää liittää käyttöreserviin laitteita, joita pitäisi jatkuvasti sammuttaa ja uudelleen käynnistää. Taajuusmuuttajilla ohjatut kuormat soveltuvat loistavasti taajuusohjattuun käyttöreserviin esimerkiksi säätämällä kiinteistöjen poisto- ja tulopuhaltimien pyörimisnopeutta, joka ei pienillä muutoksilla rasita sähkömoottoria. Taajuusohjattu käyttöreservi hyvin toteutettuna on todettu kannattavimmaksi sähkön kysyntäjoustoksi, niin kohtuullisen reservikorvauksen kuin kolmen minuutin aktivoitumisajan puolesta sekä uusien aggregointipalveluiden vuoksi sähkömarkkinoille voi osallistua pienemmälläkin kuormilla. [19.]

4.4 Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)

Automaattinen taajuudenhallintareservi on Fingridin uusi reservilaji, joka otettiin käyttöön pohjoismaisessa voimajärjestelmässä vuonna 2013. Reserviin osallistuminen vaatii vähintään 5 MW säätömahdollisuuden, ja aktivoitumisaika on 5 minuuttia.

Automaattisesta taajuudenhallintareservistä käydään kauppaa tuntimarkkinoilla vain tietyillä aamun, illan ja yön ylläpitotunneilla, jotka pohjoismaiset kantaverkkoyhtiöt päättävät vuoden jokaiselle kvartaalille erikseen. Toimijat ilmoittavat tuntimarkkinoilla ylös- ja alasääto-kykyisestä kapasiteetistaan. Toimijat saavat kapasiteettikorvauksen ja lisäksi erillisen energiakorvauksen toteutuneiden säätöjen mukaisesti. [20.]

4.5 Aggregaattorit

Innovatiivisten energiaratkaisujen ja digitalisaation lisääntyessä on kehitetty erilaisia vaihtoehtoja tehostaa asiakkaiden mahdollisuutta osallistua sähkömarkkinoille sähkön ostamisen lisäksi. Yksittäiset asiakkaat eivät välttämättä pysty osallistumaan markkinoille vähäisen kysyntäjoustoressurssien takia, mikä vähentää merkittävästi sähkön kysyntäjoustopotentiaalia, ja tähän pyritään vastaamaan uusien aggregaattoripalvelutarjoajien avulla.

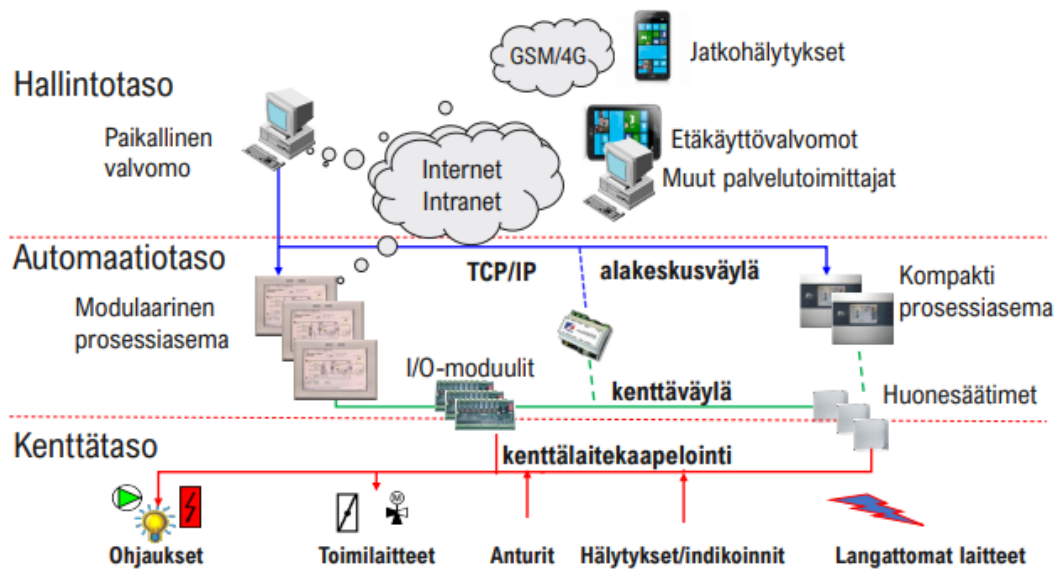
Aggregaattorien tarkoitus on yhdistää eri asiakkaiden kulutusta, tuotantoa tai varastoja yhdeksi suuremmaksi kokonaisuudeksi, mikä mahdollistaa osallistumisen sähkömarkkinoille sekä parantaa yksittäisen asiakkaan mahdollisuuksia vaikuttaa sähkökustannuksiin. [21.]

5 Sähkön kysynnän jousto osana kiinteistöjen rakennusautomaatiota

5.1 Rakennusautomaatiojärjestelmät yleisesti

IT-tekniikan kehittyessä rakennusautomaatiojärjestelmien kehitys on ottanut suuria askeleita eteenpäin. Tietotekniikan, internetin ja elektroniikan komponenttien kehitys on tuonut uusia mahdollisuuksia parantaa kiinteistöautomaatiota ja toisaalta kehityksen myötä on tullut mahdollisuuksia ehkäistä ilmastonmuutosta optimoimalla kiinteistöjen energian kulutusta. Rakennusautomaatiojärjestelmien avulla voidaan valvoa ja ehkäistä kosteusongelmien syntyä ja ilmanlaatua parantamalla käyttäjien viihtyvyyttä [22, s.60].

Rakennusautomaatiojärjestelmien hierarkkinen rakenne koostuu kolmesta päätasosta (ks. kuva 8).



Kuva 8. Kiinteistöautomaatiojärjestelmän hierarkian tasot [22, s.60].

5.1.1 Hallintotaso

Hallintotasojen tehtävänä on toimia PC- ja etävalvomojen käyttäjärajapintana (ks. kuva 8). PC-valvomot toimivat paikallistasolla, eli automatisoidun kiinteistöjen sisällä, kun taas etävalvomot on tarkoitettu isompaan keskitettyyn kokonaisuuteen, johon on liitetty esimerkiksi useita kiinteistöjen PC-valvomoita yhdeksi suureksi kokonaisuudeksi. Etävalvomojen ansiosta esimerkiksi huoltoyhtiöt pystyvät seuraamaan ylläpitämiään huoltokohteidensa automaatiojärjestelmän toimintaa.

Valvomojen avulla voidaan katsoa trendikäyriä, joiden perusteella laajemman asiantuntemuksen omaava henkilö voi tehdä esimerkiksi muutoksia lämpötilan asetusarvoihin ja aikaohjelmiin. Valvomon avulla voidaan toteuttaa myös tarvittavia jatkohälytyksiä suoraan asianomaiselle.

Hallintatasolla kommunikointi ala-aseman ja PC-valvomon välillä tapahtuu yleensä paikallisen Ethernet-väylän avulla. Etävalvonta toteutetaan laajakaistatekniikkaan pohjautuvan internetyhteyden avulla. Tiedonsiirto pohjautuu TCP/IP-protokollaan. Avoimet tiedonsiirtoratkaisut ovat joustavia, mutta myös riskialtis tietoturvaongelmille, johon on

syttä kiinnittää huomiota. Etävalvomon tiedonsiirto-ongelmissa ja huoltokatkoissa, prosessi toimii normaalisti paikallisesti, eikä näin ollen valvomon epäkunto vaikuta prosessin ohjelmoituun toimintaan. [22, s. 59–60.]

5.1.2 Automaatiotaso

Kiinteistöjen valvonta-alakeskukset kuuluvat automaatiotasoon, joka sisältää keskitetyn automaatiojärjestelmän I/O-moduulit, joita ala-asema ohjaa ja säätää kiinteistöön suunniteltujen ohjelmien mukaisesti. Automaatiotason kommunikaatio pohjautuu TCP/IP-protokollaan sekä LAN- ja WLAN-verkkoon [22, s. 60–61].

Jatkohälytyksiä varten voidaan asentaa valvonta-alakeskukseen GSM-modeemi, joka kokoaa useista siihen liitetyistä ala-aseamista hälytystiedot ja lähettää esimerkiksi huoltohenkilölle.

5.1.3 Kenttätaso

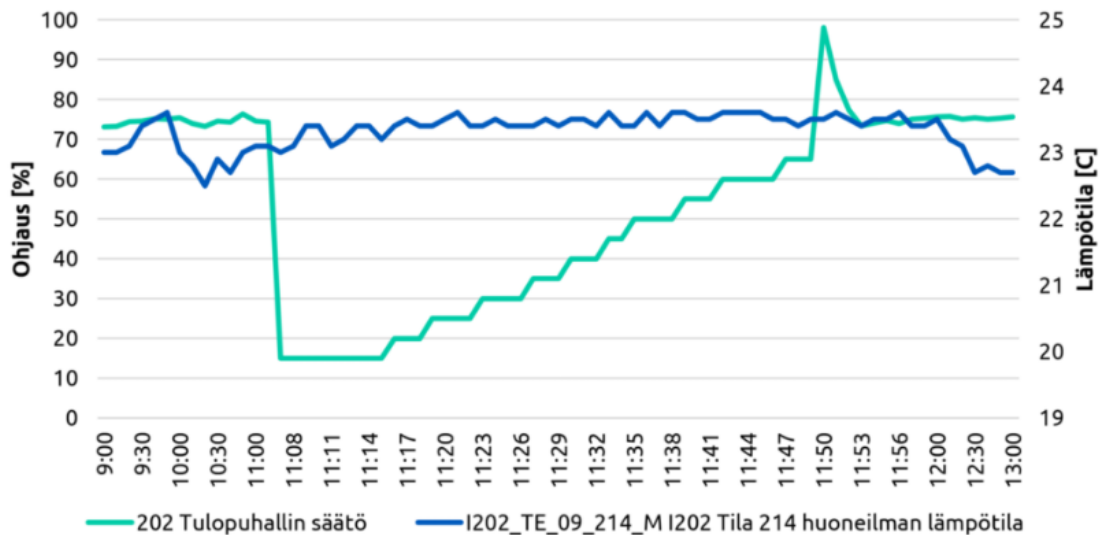
Kenttätasoon kuuluvat ensisijaisesti toimilaitteet ja anturit. Anturit tuovat mittaustietoja, joiden avulla automaatiojärjestelmät ohjaavat toimilaitteita.

Hajautettu I/O-järjestelmä kuuluu kenttätasoon, jonka kommunikointi ala-aseman välillä tapahtuu ensisijaisesti väylästandardien avulla, joista tunnetuimmat ovat KNX, BACnet, M-bus ja Modbus. Rakennusautomaation kenttätasossa esiintyy kasvavissa määrin uusia väylälaitteita, joita ovat esimerkiksi itsenäisesti toimivat huonesäätimet, ilmanvaihtokoneet, lämmönvaihtimet, ilmanmääräsäätimet ja taajuusmuuttajat. [22, s. 61.]

5.2 Ilmanvaihtokoneet

Koneellisissa tulo- ja poistoilmajärjestelmissä on suuri potentiaali toteuttaa FCR-N-sähkön kysynnänjoustoa taajuusmuuttajien avulla. Oikea-aikaiset säädöt puhaltimien pyörimisnopeuksiin voivat tuoda merkittäviä energiasäästöjä pitkällä aikavälillä vaikuttamatta kiinteistöjen ilmanlaatuun (ks. kuva 9).

Koneellisen ilmanvaihtokoneen tulopuhaltimen alasajo jopa kymmeneksi minuutiksi isosakin kiinteistössä ei aiheuttanut suuria lämpötilanousuja. Aggregaattorien avulla pienempienkin kilowattien ilmanvaihtokoneet pystyvät osallistumaan kysynnän joustoon ja näin ollen se tuo hyötyjä jokaiselle, eikä häviäjiä joustossa ole. [23.]



Kuva 9. Kaisaniemen ala-asteella yhden luokan lämpötilan seuranta talvella 2020, kun tulopuhallin säädetty 15 % ja koulu on ollut täydessä käytössä [24].

5.3 Valaistukset

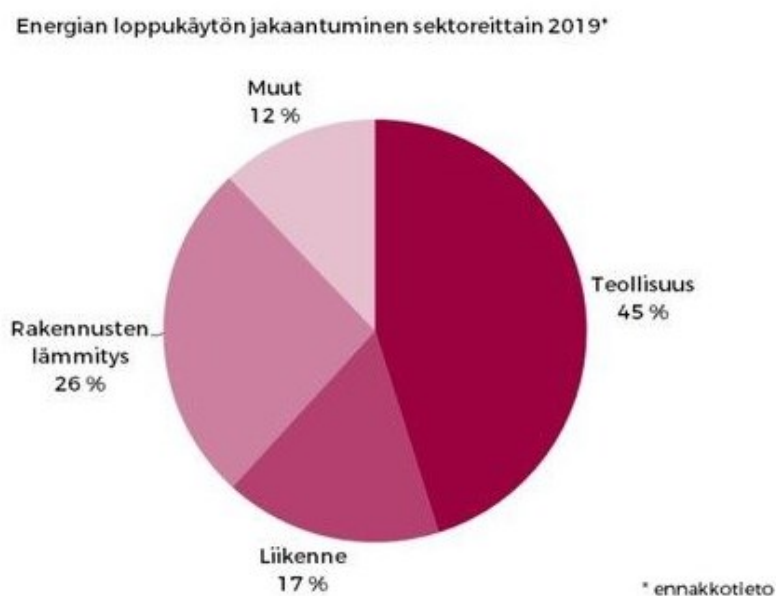
Valaistusten säädössä pystytään toteuttamaan joustoa ylös- ja alaspäin, ja tällöin valaistus normaalitilassa toimii 80 prosentin kokonaiskapasiteetilla. Valaistuksien säädössä on huomioitava vaaditut standardit valaistusvoimakkuuksissa.

Esimerkiksi kun myymälässä on 67 kpl led-valaisimia, niiden kokonaisteho normaalitilanteessa on 3,97 kW ja alassäätötilanteessa on 4,96 kW sekä ylösäättötilanteessa 2,98 kW. Tällöin joustopotentialiksi tulee 0,99 kW molempiin suuntiin. Kun FCR-N-minimitarjouskoko on 0,1 MW, on lähes mahdotonta osallistua valaistuksien säädön avulla markkinoille ilman aggregointipalvelua, koska se vaatisi 102 vastaavanlaista myymälää, jotta minimitarjouskoko täyttyisi. [25.]

6 Projektin tausta ja rajapinnat

6.1 Kiinteistöjen energiankulutus ja joustopotentiali

Suomessa rakennuksien lämmittäminen ja teollisuus vie yli 70 prosenttia energian loppukäytöstä (ks. kuva 10). Teknologian kehityksen myötä on avautunut uusia mahdollisuuksia seurata ja optimoida energiankäyttöä laajemmassa kuvassa. Pilottihankkeet ovat osoittaneet, että muun muassa ilmanvaihtokoneiden puhaltimien ohjaus tuo energiänsäästöä vaikuttamatta merkittävästi ilmanlaatuun.



Kuva 10. Energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain Suomessa [26].

6.2 Fidelixin virtuaalivoimalaitos

Kuten aikaisemmin on mainittu, aggregointipalveluiden avulla pystyvät pienemmätkin toimijat osallistumaan sähkömarkkinoille. Myös Fidelix on kehittänyt oman aggregointipalvelun, johon pystytään liittämään useita toimijoita. Virtuaalivoimalaitokseen mahdollistaa

hajautetun energiantuotannon, energiavarojen ja reaaliaikaisen sähkön kysynnän jouston toteuttamisen (ks. kuva 11).



Kuva 11. Virtuaalivoimalaitoksen toimintaperiaate [27, s.5].

Jotta joustoa pystytään toteuttamaan, on kiinteistöjä oltava riittävästi minimitarjouskoon täyttämiseen. Eri rajapintojen kautta pystytään liittämään jokainen järjestelmä osaksi virtuaalivoimalaitosta.

6.3 Ilmanvaihtokone osaksi virtuaalivoimalaitosta

Projektissa liitetään ala-asema TCP/IP-väyläliitoksella EasyLink-moduuliin, joka on osana Fidelixin virtuaalivoimalaitosta, jossa sähkön kysynnän joustot tapahtuvat. Luodaan Fidelixin FX-Editorissa Template-kirjaston avulla kaksi erilaista ilmanvaihtokonetta

ja simuloidaan IEC-ohjelmien toimivuus rajapintojen välillä. Energiamittarin simulointi toteutetaan projektissa ala-aseman kautta.

6.4 Modbus-protokolla

Modbus on tiedonsiirtoprotokolla, joka julkaistiin vuonna 1979. Avoimen arkkitehtuurin väylään perustuva Modbus kehitettiin alun perin ohjelmoitavien logiikoiden liittämiseen. Modbusin tiedonsiirtoon perustuvia laitteita voivat kaikki laitevalmistajat valmistaa ilman erillistä korvausta protokollan kehittäjille. Modbusia käytetään laajasti rakennuskoh-teissa, teollisuuden sovelluksissa, energian optimointijärjestelmissä, ohjauspaneelien yhdistämisessä ja pitkien matkojen tiedonsiirroissa [28, s.140].

6.4.1 Modbus-kommunikointitavat

Modbus on avoin asiakas-palvelin-protokolla, jossa yhteen palvelimeen voidaan kytkeä 247 asiakasta [28, s.140; 29, s.1]. Modbus vaikuttaa OSI-mallin kolmeen kerrokseen: fyysiseen kerrokseen, siirtoyhteys kerrokseen ja sovellus kerrokseen (ks. taulukko 4). Modbus-protokolla voidaan implementoida erilaisten fyysisten kerroksien päälle muuttamatta sovelluskerrosta.

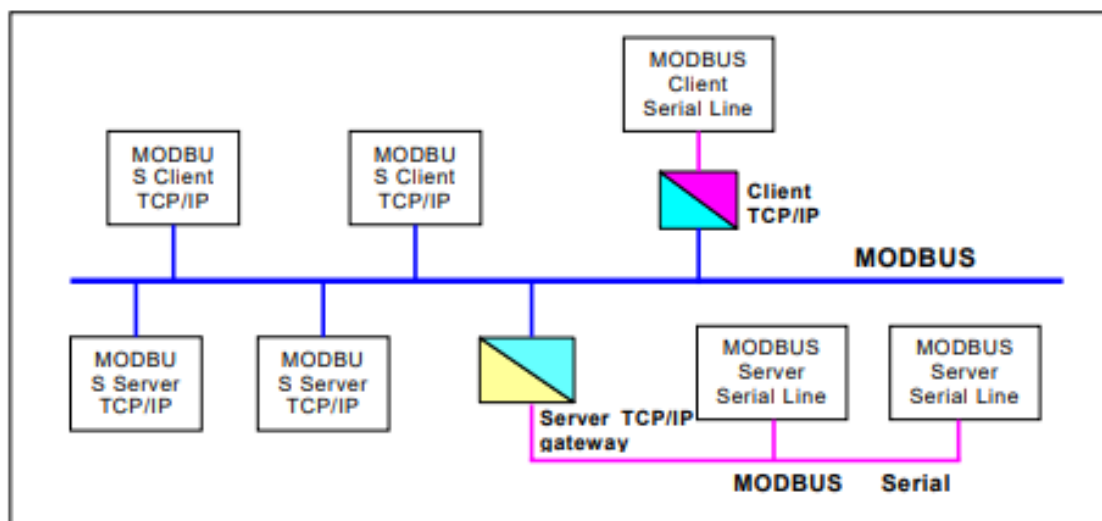
Taulukko 4. OSI-mallin (Open Systems Interconnection) kerrokset [28, s.61].

7	Sovelluskerros	Application layer
6	Esitystapakerros	Presentation
5	Yhteyskerros	Session
4	Kuljetuskerros	Transport
3	Verkkokerros	Network
2	Siirto(yhteys)kerros	Link
1	Fyysinen kerros	Physical

Modbus kattaa kolme kehystä: Modbus ASCII (American Standard Code for Information Interchange), Modbus RTU (Remote Terminal Unit) ja Modbus over TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). ASCII- ja RTU-kehyksiä käytetään pääsääntöisesti sarjaväylien RS-485 päällä, kun taas TCP/IP-kehystä käytetään Ethernet-liitännöissä. Tiedonsiirron tehokkuuteen vaikuttaa 1 ja 2 kerroksien toteutustavat [28, s. 140].

6.4.2 Modbus TCP

Modbus TCP -protokolla on Modbus-viestintäprotokollan implementaatio TCP/IP-protokollaperhettä hyödyntäen. TCP/IP-protokollaperhe toimii siirto-, verkko- ja kuljetuskuljetuskerroksella sekä fyysisellä kerroksella. Modbus TCP on kehitetty helpottamaan Modbus-protokollan hyödyntämistä ohjelmistojen suunnittelussa, ja se toimii lähtökohtaisesti portin 502 kautta. [30, s. 2,6].

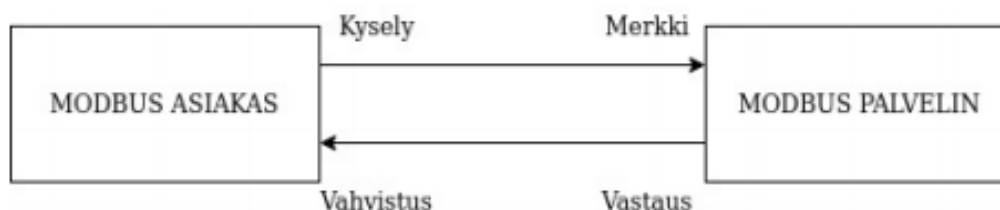


Kuva 12. Modbus TCP/IP-kommunikointiarkkitehtuuri [30, s.4].

Päätteiden tulee käyttää samaa OSI-mallin esitystapaa, jotta kommunikointi päätteiden välillä on mahdollista. Sovelluskerroksella Modbus-protokolla pitää huolen päätteiden välisestä kommunikoinnista, kun taas Modbus TCP:n tehtävänä on huolehtia alempien kerroksien esitystavoista ja näin ollen voidaan standardisoida Modbus TCP -kommunikointitapa (ks. kuva 12) [30, s. 9].

Modbus TCP -protokollassa on käytössä asiakas-palvelinmalli, joka mahdollistaa kommunikoinnin useiden eri päätteiden kanssa (ks. kuva 13). Palvelimen ja asiakkaan välinen kommunikointi tapahtuu neljällä eri viestityypillä, jotka ovat seuraavat [30, s. 2]:

- Modbus kysely- aloittaa asiakkaan lähettämällä viestillä uuden Modbus-tapahtuman.
- Modbus vastaus- sisältää palvelimen vastauksen asiakkaan kyselyyn.
- Modbus merkki- ilmoittaa, onko palvelin vastaanottanut asiakkaan lähettämän kyselyn.
- Modbus vahvistus- ilmoittaa, onko asiakas vastaanottanut palvelimen lähettämän vastauksen kyselyyn.

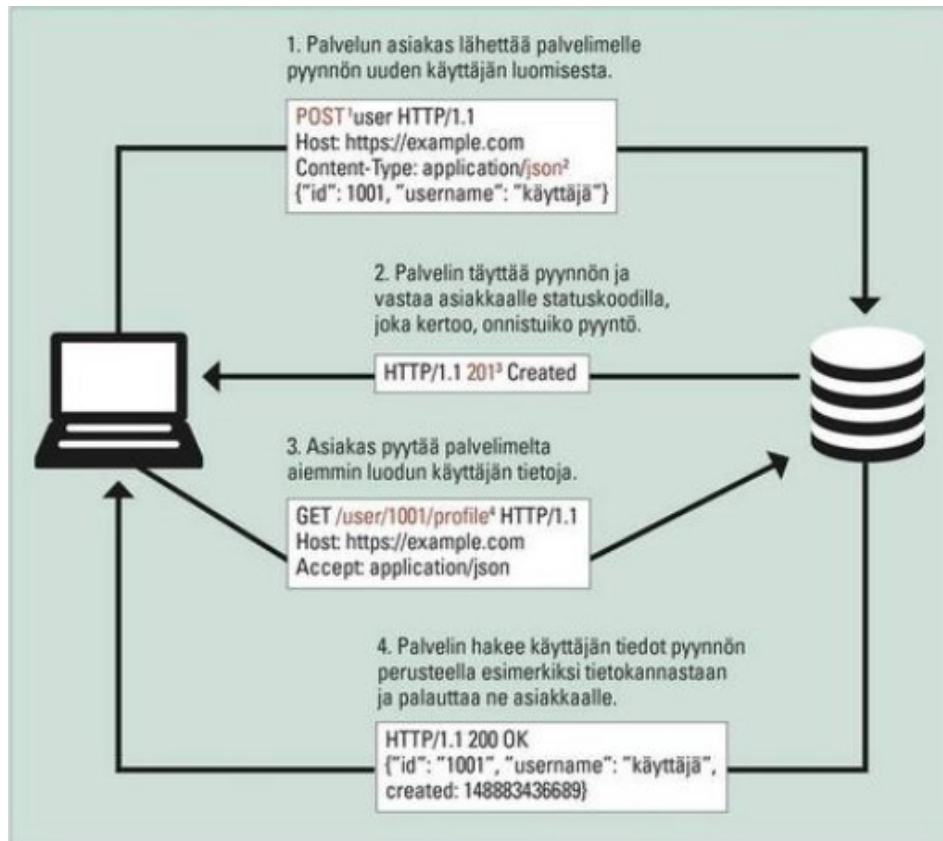


Kuva 13. Modbus asiakas-palvelin-kommunikointitapa, mukailten lähdettä [30, s.5].

6.5 REST-arkkitehtuurimalli

REST (Representational State Transfer) HTTP -protokollaan perustuva arkkitehtuurimalli, jota käytetään hajautetuissa hypermediajärjestelmissä. REST keskittyy komponenttien välisiin rooleihin ja kommunikointiin.

REST-rajapinnan tehtävänä on mahdollistaa asiakkaan ja sovelluksen välinen kommunikointi, kuten esimerkiksi asiakas kommunikoi verkkoselaimen kautta REST-rajapinnassa HTTP:n avulla (ks. kuva 14) [31, s. 76–106].



Kuva 14. Esimerkkikaavio palvelun ja asiakkaan välisestä kommunikoinnista [32].

REST-arkkitehtuurityylin elementit jakautuvat kolmeen eri pääluokkaan, jotka ovat:

- liittimet
- komponentit
- dataelementit.

Arkkitehtuuriset elementit tarkoittavat ohjelmistoja, jotka kommunikoivat muiden komponenttien kanssa. Liittimillä tehtävänä on mahdollistaa kommunikointi. Dataelementit ovat puolestaan tietoa, jota muokataan liittimien avulla ja komponentit siirtävät [31, s. 86–97].

REST-tyylin arkkitehtuurisia ominaisuuksia pyritään parantamaan seuraavilla rajoitteilla:

- näkyvyyttä
- skaalautuvuutta
- suorituskykyä

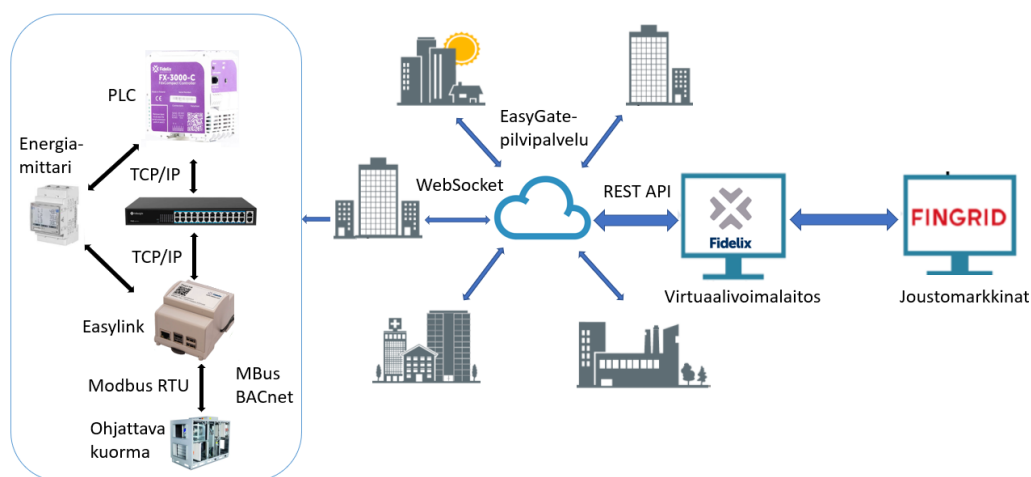
- muunneltavuutta
- luotettavuutta
- yksinkertaisuutta
- siirrettävyyttä [31, s. 76–86].

7 Toteutus

7.1 Toimintamalli

Fingrid seuraa Suomen kantaverkon tasapainoa ja toteuttaa tarvittaessa joustopyynnöt virtuaalivoimalaitokselle. Kun joustopyyntö on aktiivinen, virtuaalivoimalaitos kommunikoi REST API -rajapinnan kautta Fidelixin EasyGate-pilvipalveluun. Fidelixin EasyGate-pilvipalvelu kommunikoi WebSocket rajapinnan kautta useisiin siihen liitettyihin kiinteistöjen EasyLink-laitteisiin. Paikallisesti EasyLink kerää tiedot kysynnän joustoon liitettävistä kuormista ja IEC-ohjelmoinnin kautta ala-asema toteuttaa joustot (ks. kuva 15).

IEC-ohjelmoinnin avulla määritellään kohdekohtaiset maksimijoustot kuormiin ja ohjelmoinnissa otetaan huomioon erilaiset muuttujat, kuten esimerkiksi jos kiinteistön hiilidioksidipitoisuus on suuri ja vaaditaan tehokkaampaa ilmanvaihtoa, ei tuolloin sähkön kysynnän joustoa toteuteta.

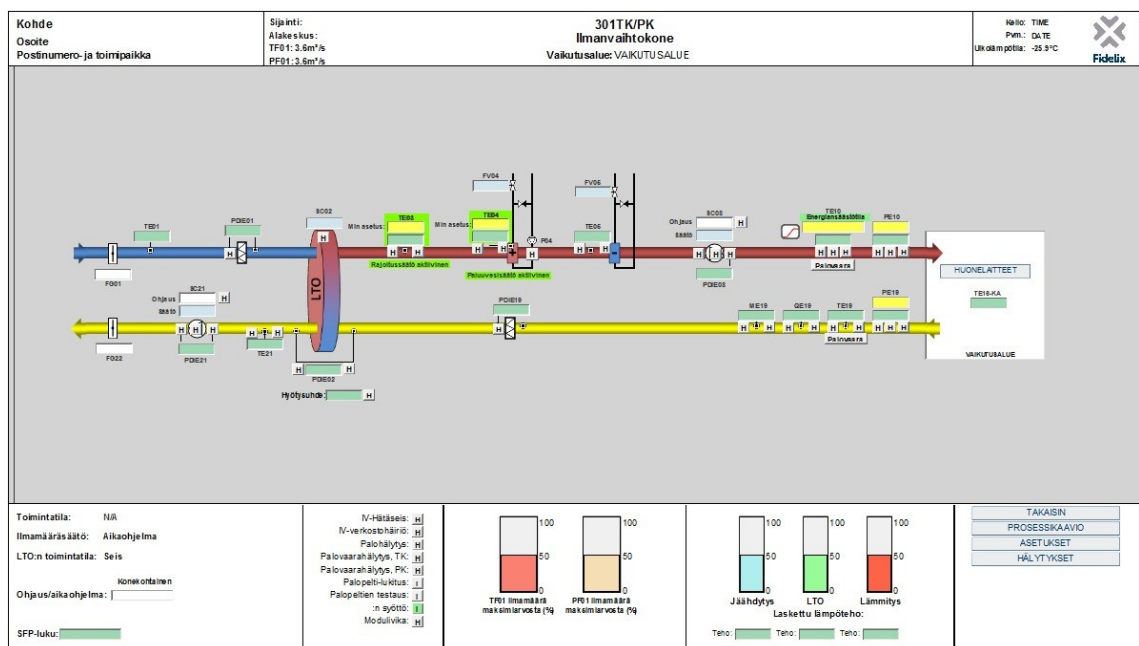


Kuva 15. Sähkön kysynnän jouston toimintamalli.

7.2 Grafiikkakuvien luonti

Fidelixin FX-Editorin Template-kirjastolla (liite 2) luodaan grafiikkakuvat kahdelle erilaiselle ilmanvaihtokoneelle, jotka liitetään yhteen EasyLink-moduuliin.

Template-kirjastolla voidaan luoda ilmanvaihtokoneen pisteet, IEC-ohjelmat, grafiikkakuvat ja mahdollisuuden ottaa käyttöön sähkön kysynnän jouston. Template-kirjasto luo automaattisesti neljälle eri välilehdelle grafiikkakuvat ilmanvaihtokoneen prosessista (ks. kuva 16), asetuksista (liite 3), hälytyksistä (liite 4) ja asetukset sähkön kysynnän joustoon (ks. kuva 17).



Kuva 16. Template-kirjastolla luotu grafiikkakuva prosessista.

Sähkön kysynnän jouston asetukseen on luotu käyttöönottopainike, joka mahdollistaa jouston toteuttamisen aseteltavien arvojen. Samalla sivulla luodaan EasyLinkin ja alaseaman välinen TCP/IP-yhteys sekä asetellaan minimi- ja maksimijoustopotentiaalit (kuva 17).

Sähkön kysynnänjousto FCR-N

Säätökykyinen sähköverkon kuorma voidaan liittää osaksi taajuuden vakautusreserviä. Fingrid Oyj osaa vakausreserviä ja maksaa sopimus kumppaneilleen korvausta osallisimmista käyttöreservin ylläpitoon.

palvelumyynti@fidelix.fi

EasyLink asetukset

Modbus-osioite: Portti:

EasyLink IP-osioite: - - -

EasyLink kanava (1-5):

Joustokäsäly: R

Joustolaskuri: R Joustolaskuri - aikakatkaisu:

Teholukena: WR

Teholukena jouston alussa: R

Tehonmittaus-tila: WR

Kapasiteetti ylös: W

Kapasiteetti alas: W

Hyväksyty jousto: W

Jousto estetty: Salitu W

	Tulopuhallin	Poistopuhallin
Teholukena:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Teholukena jouston alussa:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Minimi teho:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Maksimi teho:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Säätöparametrit		
Tehosuhdeluku	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Poikkeutus (-1..1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Tavoiteteho:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Teholukena:	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Kuva 17. Template-kirjastolla luotu grafiikkakuva sähkön kysynnän jouston asetuksista.

7.3 IEC-ohjelmointi

Template-kirjaston IEC-ohjelmat on luotu ST-ohjelmointikielellä, joka on yleisesti käytetty Fidelixin ala-asemien ohjelmoinnissa. Ohjelmissa on käytetty ohjelmointipalikoita, jotka sisältävät valmiita funktioita, joita pääohjelma (ks. esimerkkikoodi 1) kutsuu ilmanvaihtokoneen toimintojen toteuttamiseen.

```

521 (* Sähkön kysynnänjousto FCR-N *)
522 fbFCRN.in_dwToimintatila := IV.Toimintatila.out_dwToimintatila; (*Toimintatila IV_Toimintatila*)
523 fbFCRN.in_sToimintatila := '';
524 fbFCRN.in_sFCRN_kaytossa := 'TEST_301_FCRN_FI'; (*FCR-N käytössä napin tila, arvo 1 käytössä*)
525 fbFCRN.in_sFCRN_estetty := 'TEST_301_FCRN-EST_FI'; (*FCR-N estetty tila*)
526 fbFCRN.in_sFCRN_Flex := GetAnalogPointF('TEST_301_FCRN-F_FM'); (*Joustokäsky, EasyLink R*)
527 fbFCRN.in_sFCRN_Kaskylaskuri := GetDigitalPointF('TEST_301_FCRN-FC_FM'); (*Joustokäskylaskuri, EasyLink R*)
528 fbFCRN.in_sFCRN_P_tunnus := 'TEST_301_FCRN-P_FM'; (*Tehomittaus, EasyLink R/W*)
529 fbFCRN.in_sFCRN_P_tila_tunnus := 'TEST_301_FCRN-P_FI'; (*Tehomittaus-tila, EasyLink R/W*)
530 fbFCRN.in_sFCRN_Flex := 'TEST_301_FCRN-F_FI'; (*Joustokäsky tila pois-päällä*)
531 fbFCRN.in_sTimeout := GetAnalogPointF('TEST_301_FCRN-TIME_FM'); (*Aikakatkaistu [s], default 30s*)
532 fbFCRN.in_sFCRN_tehomittaus := 0; (*Tehomittaus 0: Alakeskus, 1: Easylink*)
533
534 fbFCRN.in_sFCRN_esto[1] := 0; (*Estopiste, jousto estetään arvolla 1*)
535 fbFCRN.in_sFCRN_esto[2] := 0; (*Estopiste, jousto estetään arvolla 1*)
536 fbFCRN.in_sFCRN_esto[3] := 0; (*Estopiste, jousto estetään arvolla 1*)
537 fbFCRN.in_sFCRN_esto[4] := 0; (*Estopiste, jousto estetään arvolla 1*)
538 fbFCRN.in_sFCRN_esto[5] := 0; (*Estopiste, jousto estetään arvolla 1*)
539
540 (*Käytetään tehomittauksen tullessa alakeskuksesta, in_sFCRN_tehomittaus = 0*)
541 fbFCRN.in_sFCRN_P1_tunnus := 'TEST_301_FCRN-P1_FM'; (*Puhaltimen tehoasetukset *)
542 fbFCRN.in_sFCRN_P2_tunnus := 'TEST_301_FCRN-P2_FM'; (*Puhaltimen tehoasetukset *)
543 fbFCRN.in_sFCRN_P1_tehomittaus := GetAnalogPointF('TEST_301_SCO8-TW_FM'); (*Puhaltimen tehomittaus (käytetään tehomittauksen tullessa alakeskuksesta) [kW]*)
544 fbFCRN.in_sFCRN_P2_tehomittaus := GetAnalogPointF('TEST_301_SCO8-TW_FM'); (*Puhaltimen tehomittaus (käytetään tehomittauksen tullessa alakeskuksesta) [kW]*)
545 fbFCRN.in_sFCRN_P1_tehomittaus := ((GetDigitalPointF('TEST_301_SCO8-COM_FM') + 1) MOD 2); (*Tehomittauksen tila 0: Virhe, 1: OK *)
546 fbFCRN.in_sFCRN_P2_tehomittaus := ((GetDigitalPointF('TEST_301_SCO8-COM_FM') + 1) MOD 2); (*Tehomittauksen tila 0: Virhe, 1: OK *)
547 fbFCRN.in_sFCRN_P1_tehosuhte := 'TEST_301_FCRN-PR_FM'; (*Puhaltimien välinen tehosuhte *)
548 fbFCRN.in_sFCRN_P2_tehosuhte := GetLimitF(L, 'TEST_301_FCRN-PR_FM'); (*Tehosuhteen poikkeutus arvo välillä -1..1*)
549 fbFCRN.in_sFCRN_P1_saatopiste := 'TEST_301_FCRN-P1_C'; (*Tulopuhaltimen tehon saätöpiste *)
550 fbFCRN.in_sFCRN_P2_saatopiste := 'TEST_301_FCRN-P2_C'; (*Poistopuhaltimen tehon saätöpiste *)

```

Esimerkkikoodi 1. Sähkön kysynnän jouston pääohjelman ohjelmointivasta.

Ohjelmointipalikoitten sisälle ohjelmoidaan sähkön kysynnän joustolle erilaisia ehtoja (ks. esimerkkikoodi 2), jotka ohjaavat ilmanvaihtokonetta joustovaatimuksien ja aseteltujen arvojen mukaisesti.

```

111 (***** Lasketaan teho PI-säätimille asetusarvo *****)
112 (*Otetaan tehot muistiin tehosuhteluvun muodostamista varten*)
113 if iFCRN_Flex = 1 and bTehotmuistiin then
114     rP1_teho_alussa := in_rP1_tehomittaus;
115     rP2_teho_alussa := in_rP2_tehomittaus;
116     bTehotmuistiin := FALSE;
117 elsif iFCRN_Flex = 0 then
118     bTehotmuistiin := TRUE;
119 end if;
120
121 (*Tulo-Poistopuhaltimien välinen suhde*)
122 if in_rTehoPoikkeutus <= 1.0 and in_rTehoPoikkeutus >= -1.0 then (*Tarkastellaan, että arvo on sallituissa rajoissa*)
123     if rP1_teho_alussa + rP2_teho_alussa <> 0.0 then
124         rP_tehosuhte := rP1_teho_alussa / (rP1_teho_alussa + rP2_teho_alussa);
125     else rP_tehosuhte := 0.5;
126     end if;
127
128     rP_tehosuhte := in_rTehoPoikkeutus + rP_tehosuhte;
129     rP_tehosuhte := MIN(rP_tehosuhte, 1.0); (*Maksimissaan 1.0*)
130     rP_tehosuhte := MAX(rP_tehosuhte, 0.0); (*Minimissaan 0.0*)
131
132     rP1_tehokerroin := rP_tehosuhte;
133     rP2_tehokerroin := 1.0 - rP_tehosuhte;
134
135 else (*Poikkeutus ei ole valid --> ei huomioida sitä*)
136     if rP1_teho_alussa + rP2_teho_alussa <> 0.0 then (*Tarkastellaan, että arvo on sallituissa rajoissa*)
137         rP_tehosuhte := rP1_teho_alussa / (rP1_teho_alussa + rP2_teho_alussa);
138     else rP_tehosuhte := 0.5;
139     end if;
140
141     rP1_tehokerroin := rP_tehosuhte;
142     rP2_tehokerroin := 1.0 - rP_tehosuhte;
143 end if;
144 (** Lasketaan tavoitetehto **)
145 (*Tavoitetehto on [teholukema jouston alkaessa + hyväksytty jousto]*)
146 rTavoiteTeho := rP_teho_alussa + rFCRN_Flex_hyvaksytty;
147
148 rP1_TavoiteTeho := rTavoiteTeho * rP1_tehokerroin;
149 if rP1_TavoiteTeho > rP1_maksimi then rP1_TavoiteTeho := rP1_maksimi; end if;
150 if rP1_TavoiteTeho < rP1_minimi then rP1_TavoiteTeho := rP1_minimi; end if;
151
152 rP2_TavoiteTeho := rTavoiteTeho * rP2_tehokerroin;
153 if rP2_TavoiteTeho > rP2_maksimi then rP2_TavoiteTeho := rP2_maksimi; end if;
154 if rP2_TavoiteTeho < rP2_minimi then rP2_TavoiteTeho := rP2_minimi; end if;

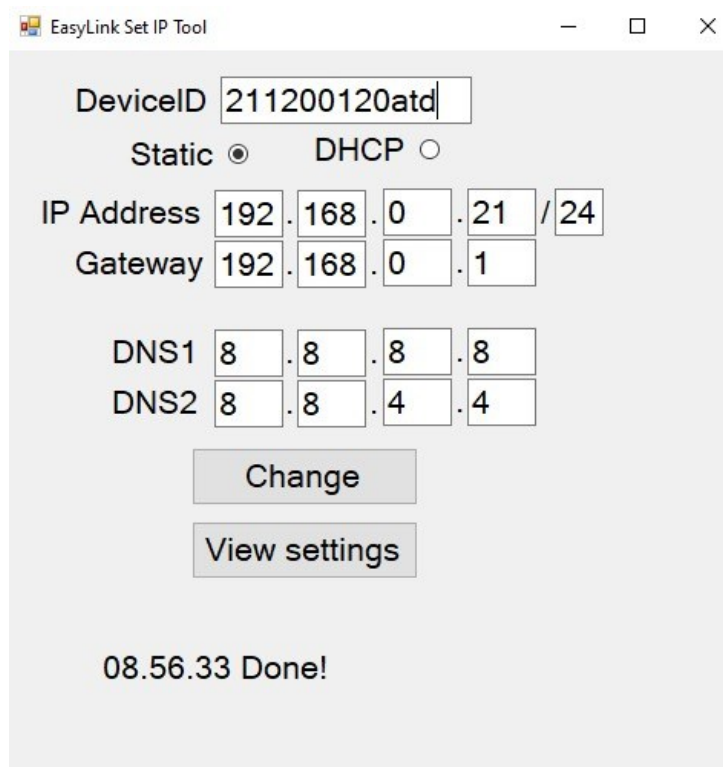
```

Esimerkkikoodi 2. Sähkön kysynnän jouston ohjelmointipalikan ohjelmoinnista.

7.4 EasyLink-moduulin konfigurointi

EasyLink-moduuli yhdistetään Ethernet-kaapelilla kytkimeen, johon on myös liitetty paikallinen ala-asema. Konfiguroinnissa on otettava huomioon, että kaikki liitetyt laitteet toimivat saman yhdyskäytävän kautta, jotta kommunikointi laitteiden välillä on mahdollista.

Jokaisella EasyLink-moduulille on määritelty tuotannossa laitekohtainen tunniste (ks. kuva 18). EasyLink Set IP -työkalulla asetellaan EasyLink-moduulille kiinteä IP-osoite sekä määritellään Ethernet-yhteyden yhdyskäytävän osoite.



The screenshot shows the 'EasyLink Set IP Tool' window. It features a 'DeviceID' field with the value '211200120atd'. Below it are radio buttons for 'Static' (selected) and 'DHCP'. The 'IP Address' field is set to '192.168.0.21 /24', and the 'Gateway' field is '192.168.0.1'. There are two 'DNS' fields: 'DNS1' is '8.8.8.8' and 'DNS2' is '8.8.4.4'. At the bottom, there are 'Change' and 'View settings' buttons, and a status message '08.56.33 Done!'.

Kuva 18. EasyLink-moduulin IP-osoitteen muuttamiseen soveltuva työkalu.

Kun EasyLink-moduulin ja EasyGaten välinen kommunikointi todetaan toimivaksi, voidaan luoda FX-Editorissa laitteelle Modbus-rekisterit. Easylink ja ala-aseman välinen kommunikointi (ks. kuva 19).

09.009	3=HOLDING	100	4	Port=9	Kommunikaatio Ok		
09.009	3=HOLDING	150	4	Port=9	Kommunikaatio Ok		
09.009	3=HOLDING	190	3	Port=9	Kommunikaatio Ok		
09.009	6=SINGLE HOLDING	10	1	Port=9	Kommunikaatio Ok		

Porttinumero Modbuslaitteen osoite

Rekisterien tyyppi	<input type="text" value="3=HOLDING REGS (READ=3,WRITE=16)"/>	TCP/IP moduli	<input checked="" type="checkbox"/>
Aloituserkisteri	<input type="text" value="100"/>	IP osoite	<input type="text" value="192.168.0.23"/>
Rekisterien määrä	<input type="text" value="4"/>	IP portti	<input type="text" value="502"/>
Debug	<input type="checkbox"/>	Vain lähetys	<input type="checkbox"/>

Sanomia yhteensä	<input type="text" value="1"/>
Virheitä nyt	<input type="text" value="0"/>
Virheitä enimmillään	<input type="text" value="0"/>
Virheitä yhteensä	<input type="text" value="0"/>
Viimeisin virhekoodi	<input type="text" value="Ok"/>
Vastaanoton odotusaika (ms)	<input type="text" value="80"/>

Kuva 19. FX-Editorissa luodut EasyLink-moduulin Modbus-rekisterit.

7.5 Simulointi

Simulointia toteutetaan kahdella erilaisella joustotavalla, jotka molemmat voidaan liittää osaksi yhtä EasyLink-moduulia. EasyGate-pilvipalvelu välittää EasyLink-moduulin välityksellä joustokäskyt ala-asemaan. Simuloinnissa asetellaan EasyGate-pilvipalveluun kuvitteelliset joustokäskyt kysynnän jouston toteutusta varten.

device3.main.block	Unit blocked	0
device3.main.P_up	Available upwards flex capacity	6.0 kW
device3.main.P_down	Available downwards flex capacity	2.0 kW
device3.main.activeFlex	Current accepted flexibility	3.0 kW
device3.main.control	Control value	3 kW
device3.main.controlCounter	Incrementing when new control signal is sent	5
device3.main.initialPower	Power when flex started	4000 W
device3.main.connectionStatus	Connection indication to device	1
device3.main.ACTIVE_POWER	System power	4000 W

Kuva 20. Näkymä EasyGate-pilvipalvelussa.

7.5.1 Joustotapa 1

Ilmanvaihtokoneen molempien puhaltimien minimiteho on 1 kW ja maksimiteho 7 kW. Joustokapasiteettia alaspäin on jopa 9 kW ja ylöspäin vain 3 kW. Joustokäsky virtuaali-voimalaitokselta EasyGate-pilvipalveluun on kuvitteellisesti 2 kW, ja koska joustokapasiteettia ylöspäin on 3 kilowattia, voidaan hyväksyä pyydetty kahden kilowatin jousto (ks. kuva 21).

Ala-asema toteuttaa ohjelmallisella PI-säädöllä puhaltimien taajuusmuuttajien säädön joustokäskyn tavoitetehoarvon mukaisesti.

Luo Modbus-laitteet	Poista Modbus-laitteet			
Joustokäskey:	2.0 kW R	Tavoitetehe:	13.0 kW	FCR-N
Joustolaskuri:	4 R	Joustolaskuri - aikakatkaisu:	60 s	
Teholukema:	11.0 kW W/R			
Teholukema jouston alussa:	11.0 kW R			
Tehomittaus-tila	1 W/R			
Kapasiteetti ylös:	3.0 kW W			
Kapasiteetti alas:	9.0 kW W			
Hyväksytty jousto:	2.0 kW W			
Jousto estetty:	Sallittu W			

	Tulopuhallin	Poistopuhallin
Teholukema:	5.0 kW	6.0 kW
Teholukema jouston alussa:	5.0 kW	6.0 kW
Minimi teho:	1.0 kW	1.0 kW
Maksimi teho:	7.0 kW	7.0 kW
Säätöparametrit		
Tehosuhdeluku	0.45	0.55
Poikkeutus (-1..1)	0.00	
Tavoitetehe:	5.9 kW	7.0 kW
Teholukema:	5.0 kW	6.0 kW

Kuva 21. Grafiikkakuva ohjelmallisella PI-säädöllä toteutetusta joustotavasta.

7.5.2 Joustotapa 2

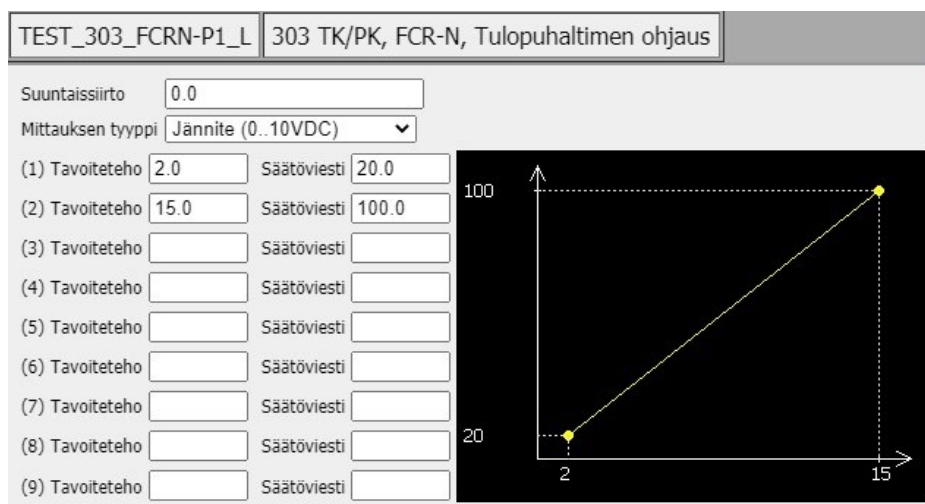
Ilmanvaihtokoneen puhaltimien yhteenlaskettu minimiteho on 2 kW ja maksimiteho 10 kW. Tulo- ja poistopuhaltimien teholumema jouston alkaessa on 4 kW, jolloin joustoa varten kapasiteettia ylöspäin on 6 kW ja alaspäin vain 2 kW.

Luo Modbus-laitteet	Poista Modbus-laitteet
Joustokäskey: 3.0 kW	R Tavoitetehe: 7.0 kW
Joustolaskuri: 5	R Joustolaskuri - aikakatkaisu: 60 s
Teholukema: 4.0 kW	W/R
Teholukema jouston alussa: 4.0 kW	R
Tehomittaus-tila: 1	W/R
Kapasiteetti ylös: 6.0 kW	W Minimi teho: 2.0 kW
Kapasiteetti alas: 2.0 kW	W Maksimi teho: 10.0 kW
Hyväksytty jousto: 3.0 kW	W
Jousto estetty: Sallittu	W

Tulopuhallin	Poistopuhallin

Kuva 22. Grafiikkakuva muunnostaulukolla toteutetusta joustotavasta.

Kun kuvitteellinen joustokäskey on 3 kW, se asettaa tavoitetehearvon puhaltimille 7 kW. Muunnostaulukon avulla säädetään tulo- ja poistopuhaltimien pyörimisnopeutta, jotta jouston tavoitetehearvo saavutetaan. Tässä tapauksessa puhaltimien säätöviesti taajuusmuuttajalle olisi noin 5 V, eli 50 prosenttia puhaltimien maksimi pyörimisnopeudesta (ks. kuva 23).



Kuva 23. Esimerkki tulopuhaltimen muunnostaulukosta.

8 Yhteenveto

Insinööriyössä tuli ilmi sähkön kysynnän jouston potentiaali kiinteistöautomaatiojärjestelmissä toteutettuna. Jopa pienellä investoinnilla on mahdollista liittyä osaksi virtuaali-voimalaitosta ja näin ollen vaikuttaa koko Suomen kantaverkon tasapainoon.

Ilmanvaihtokoneiden sähkön kysynnän joustoa varten luotiin Fidelixin Template-kirjastolla grafiikkakuvat ja IEC-ohjelmat, jotka todettiin toimivaksi. EasyGate-pilvipalvelun ja ala-aseman välinen kommunikointi saatiin toimivaksi Easylink-moduulin ansiosta, ja käyttöönotto oli helppoa. Simuloinnin ansiosta saatiin lisätietoa rajapintojen välisestä kommunikoinnista ja Template-kirjaston toimivuudesta, mikä helpottaa tulevaisuuden ilmanvaihtokoneiden liittämistä osaksi sähkön kysynnän joustoa.

Seuraavana askeleena olisi ohjata kiinteistöissä todellista kuormaa. Tulevaisuuden pilotihankkeiden ilmanvaihtokoneiden sähkön kysynnän joustossa on kiinnitettävä erityistä huomiota kohteen ilmamääriin ja painetasapainoon, jotta loppukäyttäjälle ei aiheudu negatiivisia vaikutuksia.

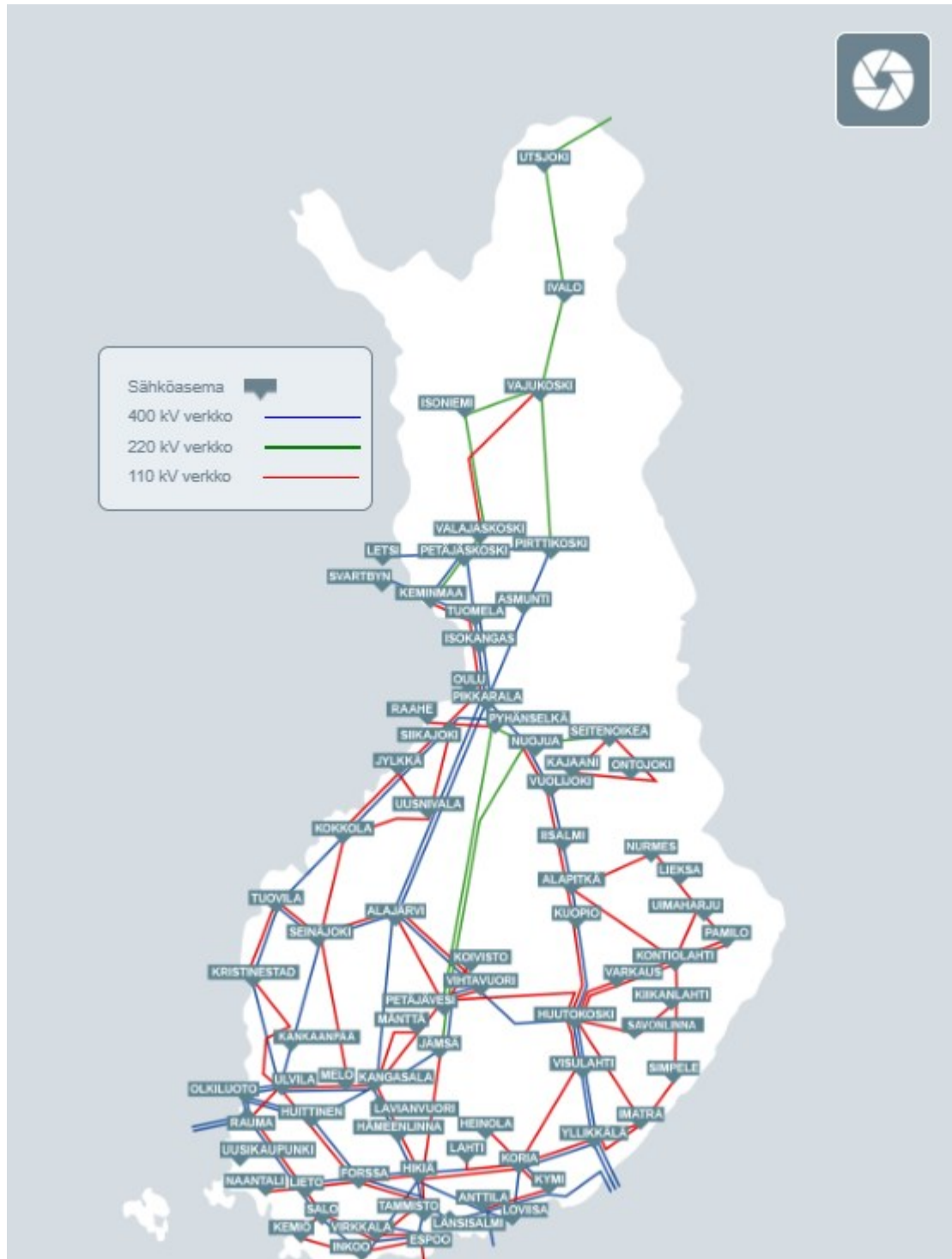
Lähteet

1. Global Temperature Report for 2020. Verkkoaineisto. Berkeley Earth. <<http://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2020/>>. Luettu 20.1.2021.
2. Pariisin ilmastosopimus. 2020. Verkkoaineisto. WWF Suomi. <<https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/pariisin-ilmastosopimus>>. Luettu 28.1.2021.
3. Euroopan unionin ilmastopolitiikka ohjaa jäsenmaita. 2020. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas.fi. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/b82589fa-efc6-41c0-b7fd-0f1233b76c86/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka-ohjaa-jasen-maita.html#ref_LAT15>. Luettu 28.1.2021.
4. Suomen kasvihuonepäästöt 2019. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/til/khki/2019/khki_2019_2020-05-28_kat_001_fi.html>. Luettu 28.1.2021.
5. Reilulla siirtymällä kohti hiilineutraalia Suomea. 2020. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. <<https://valtioneuvosto.fi/documents/10616/20764082/hiilineutraaliuden%2Btiekartta%2B03022020.pdf/1f1dfbea-f623-9197-5352-23a7f1b83703/hiilineutraaliuden%2Btiekartta%2B03022020.pdf>>. Luettu 28.1.2021.
6. Uusiutuvilla polttoaineilla tuotettiin 2019 ensimmäistä kertaa enemmän kaukolämpöä kuin fossiilisilla polttoaineilla. 2020. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/til/salatuo/2019/salatuo_2019_2020-11-03_tie_001_fi.html>. Luettu 29.1.2021.
7. Energiavuosi 2019. 2020. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/files/4360/Sahkovuosi_2019_mediakuvat.pdf>. Luettu 29.1.2021.
8. Päästöissä on eroja. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2019/p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6iss%C3%A4-on-eroja>>. Luettu 23.3.2021.
9. Kivihiilen energiakäytön vuonna 2029 kieltävä laki voimaan huhtikuun alussa. 2019. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. <<https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/kivihiilen-energiakayton-vuonna-2029-kieltava-laki-voimaan-huhtikuun-alussa>>. Luettu 2.2.2021.
10. Suomessa käytetään paljon uusiutuvaa energiaa. 2020. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas.fi. <<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/0bd05ecc-8c68-4fb6-a6e9-2c4ad90d577d/suomessa-kaytetaan-paljon-uusiutuvaa-energiaa.html>>. Luettu 5.2.2021.
11. Suomen sähköjärjestelmä. 2021. Verkkoaineisto. Fingrid Oy. <<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma>>. Luettu 8.2.2021.
12. Sähkön siirto. 2020. Verkkoaineisto. STEK. <<https://stek.fi/perustietoasahkosta/sahkonsiirto>>. Luettu 23.3.2021.

13. Tammertekniikka. 2008. Tekniikan kaavasto. Hämeenlinna: Amk-Kustannus Oy
14. Kulutuksen ja tuotannon tasapainon ylläpito. 2019. Verkkoaineisto. Fingrid Oy. <<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/kulutuksen-ja-tuotannon-tasapainon-yllapito/#taajuusmittausdata>>. Luettu 12.2.2021.
15. Kysyntäjousto. 2020. Verkkoaineisto. Fingrid Oy. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/pilottihankkeita/kysyntajousto/>>. Luettu 12.2.2021.
16. Reservimarkkinat. 2020. Verkkoaineisto. Fingrid Oy. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/#reservilajit>>. Luettu 14.2.2021.
17. Taajuus käyttö- ja häiriöreservi (FCR-N ja FCR-D), vuosimarkkinahinta ja toteutuneet tuntikaupat. Verkkoaineisto. Fingrid Oy. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinainformaatio/reservimarkkinainformaatio/Taajuusohjattu-kaytto-ja-hairioreservi-vuosimarkkinahankinta-ja-toteutuneet-tuntikaupat/>>. Luettu 14.2.2021.
18. Häiriöreservi auttaa poikkeustilanteissa. 2016. Verkkoaineisto. Fingrid Oy. <<https://www.fingridlehti.fi/hairioreservi-auttaa-poikkeustilanteissa>>. Luettu 15.2.2021.
19. Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi. 2020. Verkkoaineisto. Fingrid Oy. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/taajuusohjattu-kaytto-ja-hairioreservi/#tekniset-vaatimukset/>>. Luettu 16.2.2021.
20. Automaattinen taajuudenhallintareservi. 2021. Verkkoaineisto. Fingrid Oy. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/automaattinen-taajuudenhallintareservi/>>. Luettu 18.2.2021.
21. Kysyntäjousto kuluttajan näkökulmasta. 2017. Verkkoaineisto. Demos Helsinki. <<https://tem.fi/documents/1410877/3481825/Kysynta%CC%88jousto+kuluttajan+na%CC%88ko%CC%88kulmasta.pdf/61f45c27-10bb-4ab9-ba20-a3bd0ee37014/Kysynta%CC%88jousto+kuluttajan+na%CC%88ko%CC%88kulmasta.pdf?t=1506931500000/>>. Luettu 19.2.2021.
22. Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2008. ST-käsikirja 17. Espoo: Sähkötieto ry.
23. Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. 2020. Verkkoaineisto. Talotekniikka info. <<https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/8-ss-ilmanvaihto>>. Luettu 11.3.2021.
24. Sähkön kysyntäjoustopilotointi Helsingissä. 2020. Verkkoaineisto. Energiaviisaat kaupungit. <<https://energiaviisaat.fi/virtuaalivoimalaitos-hki-1/>>. Luettu 12.3.2021.
25. Pyykkö, T. 2020. Valaistusjärjestelmän potentiaali kysyntäjoustopilotointi. Insinöörityö, Tampereen ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/336528/Pyykko_Tatu.pdf?sequence=3>. Luettu 13.3.2021.
26. Energian loppukäyttö. 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto-suomessa/energian_loppukaytto>. Luettu 22.3.2021.

27. Kysyntäjoustop mahdollisuudet – case Smart Otaniemi. 2020. Verkkoaineisto. VTT. <https://energiaviisaat.fi/wp-content/uploads/2020/06/Piira_VTT_sahkon-kysyntajousto_Otaniemi.pdf>. Luettu 22.3.2021.
28. Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. 2017. ST-käsikirja 21. Espoo: Sähkötieto ry.
29. Press release. 2020. Verkkoaineisto. Modbus. <<https://modbus.org/docs/Client-ServerPR-07-2020-final.docx.pdf>>. Luettu 24.3.2021.
30. Modbus messaging on TCP/IP implementation guide V1.0b. 2006. Verkkoaineisto. Modbus. <https://www.modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf>. Luettu 24.3.2021.
31. Fielding, R. 2000. Verkkoaineisto. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. <https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/fielding_dissertation.pdf>. Luettu 25.3.2021.
32. Rest on nettipalveluiden yhteinen kieli. 2017. Verkkoaineisto.Tivi. <<https://www.tivi.fi/uutiset/rest-on-nettipalveluiden-yhteinen-kieli/23703ab5-dd19-383e-a422-ebfc3d910583>>. Luettu 25.3.2021.

Fingridin ylläpitämät kantaverkot Suomessa



Template-kirjaston grafiikkakuvien luontityökalu

System configurator

System graphics

Change names Code preview

Kohde: **AHU TK/PK**

Osoite: **Ilmanvaihtokone**

Postinumero ja toimipiste: **Ylikatualue VAKUUTUSALUE**

Sijainti: **Ahu TK/PK**

Aluekoodi: **Ilmanvaihtokone**

IT 01:3,5m²/s

PF 01:3,5m²/s

Kohde: **AHU TK/PK**

Osoite: **Ilmanvaihtokone**

Postinumero ja toimipiste: **Ylikatualue VAKUUTUSALUE**

Media: TIME

Form: DATE

Uudellempäälle: 25.9.0

Media: TIME

Form: DATE

Uudellempäälle: 25.9.0

Tomittaja: **Metropolia**

Ilmanvaihtokone: **Ahukone**

LTO:n toimittaja: **Sais**

Ohjauksen ohjelma: **Konkretinen**

SFP-Paketti:

Nähtävissä:

IV-venttiilit:

Puhallin:

Puhallinohjain:

Puhallinohjain:

Puhallinohjain:

Puhallinohjain:

Puhallinohjain:

Moduulit:

100% 50% 0%

100% 50% 0%

100% 50% 0%

100% 50% 0%

100% 50% 0%

100% 50% 0%

TAKAISIN

PRO:SESUKAVIO

ASETUKSET

HALVITYKSET

Groupcode	Component	System
<input type="checkbox"/>	LTO_MEK...	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	LTO_MEK0 SC02	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	LAIPTOLIA TE03	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	LAIPTOLIA TE04	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	VALUO...	TEST_100
<input type="checkbox"/>	VILPALKI TE00	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	VIL_POIS... PDE21	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	VIL_TULO... PDE08	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	MASTER... OTAPA	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	SFP_ARVO SFP	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	LIVIAARA... TR0-FRC	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	JAAHDIT... P06	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	LAIPTOIEHO JP-IEH0	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	VAK_JAVI	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	PAINEENO... PDE02	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	LAIPTOLIA TE10	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	LAIPTOLIA TE19	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	HILDOKSI QE19	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	PAINEENO... PDE19	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	PAINEENO... PDE01	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	PUIHALIN... SC08	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	HUONELA... TE16KA	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	KESKUSV... TE10	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	LTO_HOT... HI07Y	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	KANNAVAL... PE10	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	KOSTEUS... ME19	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	KANNAVAL... PDE08	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	LAIPTOLIA TE01	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	LAIPTINSP... FV04	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	VIL_TULO...	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	VIL_POIS...	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	PUIHALIN... EC08	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	HUONELA...	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	KESKUSV... TE10	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	JAAHDIT... TE10	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	PUIHALIN... PUI04R	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	TULODUK... TE10	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	JAASTER...	TEST_300
<input type="checkbox"/>	ALAPALKI... HS16	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	ALAPALKI... TE10	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	ALAPALKI... PFLUK	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	ALAPALKI... MOD	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	OHJELMA... TZ04	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	OHJELMA... TZ04	TEST_AHU
<input type="checkbox"/>	LAIPTOLIA... TE05	TEST_AHU

✓ Add
✗ Cancel

Template-kirjastolla luotu grafiikkakuva prosessin hälytyksistä

Tulolima:	Aseus:	Mittaus:	Lukuma:	Aleraja:	Vibr raja:	Muut:
Raiteiliman lämpötila	TEB1					
Tuuloliman lämpötila LTO:n jälkeen	TEB3					
Lämmityspatterin paluulämpötila	TEB4					
Tuuloliman lämpötila lämpöpatterin jälkeen	TEB5					
Tuuloliman lämpötila	TEI0					Palvoaara: <input type="text" value="H"/>
Tuulolimasuodattimen paine-ero	POIEB1					
Tuulopuhaltimen ilmamäärä	POIEB8					
Tuuloliman kanavapaine	PEI0					
Venttiilivoimokäytökäykset:						<p>Mikäli venttiili PIV04 on kinni (0%), M-kone käy ja tuuloliman lämpötila on <input type="text"/> suurempi lämmityspatterin jälkeen kuin ennen, generoitu hälytyk</p> <p>Mikäli venttiili PIV04 on kinni (0%), M-kone seis ja lämmityspatterin paluuväiden lämpötila on yli <input type="text"/> korkeampi kuin seisonta-ajan paluuväesaetus, generoitu hälytyk</p> <p>Mikäli venttiili PIV05 on kinni (0%), M-kone käy ja tuuloliman lämpötila on <input type="text"/> alhaisempi jäähdytyspatterin jälkeen kuin ennen, generoitu hälytyk</p>
Poistolima:						Muut:
Poistoliman lämpötila	TEI9					Palvoaara: <input type="text" value="H"/>
Jäteilmän lämpötila	TEZ1					
Poistolimasuodattimen paine-ero	POIEI9					
Poistopuhaltimen ilmamäärä	POIEZ1					
Paine-ero LTO:n ylläse	POIEB2					
Poistoliman kanavapaine	PEI9					
Poistoliman kosteus	MEI9					
Poistoliman hiilidioksidit	QEI9					
Muut:						Muut:
SFP-lukur:						
LTO-hyöty sunde:						