

Sähkön kysynnänjousto-ohjelman suunnittelu ja toteutus

Kuormanohjaus sähkönhinnan vaihtelun mukaan

Alexi Kähkönen

Opinnäytetyö

Syyskuu 2020

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

Tekijä(t) Kähkönen, Aleksi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Syyskuu 2020
	Sivumäärä 41	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Sähkön kysynnänjousto-ohjelman suunnittelu ja toteutus Kuormanohjaus sähkönhinnan vaihtelun mukaan		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka (AMK)		
Työn ohjaaja(t) Teppo Flyktman, Vesa Hytönen		
Toimeksiantaja(t) Are Oy		
Tiivistelmä <p>Energiamurroksen, ilmastonmuutoksen ja lisääntyvän uusiutuvan energian myötä tarvitaan uudenlaista joustoa sähkömarkkinoille, sekä lisää palveluntarjoajia kulutuksenohjaukseen. Uusiutuva energia, kuten tuulivoima, luo haasteita sähköverkon tehtäviin. Opin- näytetyö tehtiin talotekniikkayritykselle Are Oy:lle. Yrityksellä on vahvaa rakennusautomaatio- osaamista sekä opinnäytetyötä varten sopiva rakennusautomaation pilvivalvomo.</p> <p>Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella ja toteuttaa kysynnänjoustoon kykenevä ohjelma käyttäen Centraline Coach NX ohjelmointityökalua. Tavoitteena oli saada toimiva ja hel- posti erilaisiin projekteihin sovellettava ohjelma.</p> <p>Tehtävää lähdettiin suorittamaan tutustumalla laajalti aihepiiriin sekä tutkimalla aikaisem- pia opinnäytetöitä, kirjallisuutta, verkkojulkaisuja ja lehtien artikkeleita. Sopivasta ohjel- masta tehtiin kolme erilaista versiota. Viimeisimmästä ohjelmaversiosta tehtiin taloudelli- sia laskelmia. Tuloksena saatiin toimiva, sekä erilaisiin kuormanjoustoprojekteihin sovel- tuva ohjelma. Myös taloudelliset laskelmat osoittivat, että mitä isompaa kuormaa pysty- tään joustamaan, sitä edullisemmaksi se tulee sähkölaskussa.</p> <p>Hintaohjautuvalla kuormanjoustolla voidaan pienentää sähkölaskusta vaan energiomyyn- nin osuuden verran. Kuorman ohjausjärjestelmän suurin hyöty syntyy, kun voidaan osallis- tua useammalle eri markkinapaikalle sähkömarkkinoilla.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Kulutuksenjousto, kysynnänjousto, kuormanohjaus, sähkömarkkinat, sähköpörssi, raken- nusautomaatio		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet) <small>Liitteet 1,2,3 ja 4 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on viranomaisten toi- minnan julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24 §:n kohta 17: yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on viisi (5) vuotta. Salassapito päättyy 30.9.2024.</small>		

Author(s) Kähkönen, Aleksi	Type of publication Bachelor's thesis	Date september 2020 Language of publication: finnish
	Number of pages 41	Permission for web publication: x
Title of publication Electricity demand response program design and execute Controlling electricity load with electricity price		
Degree programme Electrical and automation engineering		
Supervisor(s) Teppo Flyktman, Vesa Hytönen		
Assigned by Are Oy		
Abstract <p>Because of the energy transformation, climate change and increase in the renewable energy, we will need a new kind of a flexibility in the electricity market and more service providers to the demand response. Renewable energy, such as wind power, will create challenges to power balancing the electricity grid. This thesis were made to the building service provider Are Oy. This company also has a strong building automation experience and a suitable building automation web based supervision system.</p> <p>The task for this thesis were to study, design and execute a demand response program using Centraline Coach NX engineering tool. The goal was to make a working and a easily flexible program which can be used in various projects.</p> <p>This task started with widely studying the subject matter and studying previous researches, literature, online articles and paper articles. From the suitable program, there were made three different versions and from the last one were made a financial statement. The results were a working and flexible demand response program. Also the financial calculations showed that the bigger the flexible load is the more it will benefit at the electricity bill.</p> <p>Electricity load that is flexible can only reduce electricity cost. It can't reduce taxes or price of an transporting the electricity. The maximum advantage of the demand response depends if it can participate in several electricity market places.</p>		
Keywords/tags (subjects) Demand response, electricity market, building automation		
Miscellaneous (Confidential information) Attachments 1, 2,3 and 4 are confidential as those include company business secrets and are removed from public version of this theses. These attachments has been removed due to the legal clauses (621/1999) 24§ sections 17.		

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Lähtötilanne.....	4
1.2	Tavoitteet ja tutkimusongelma	5
1.3	Tutkimuksen rajaus	5
1.4	Aikaisemmat opinnäytetyöt ja huomioidut tutkimukset	6
2	Are Oy	8
3	Tutkimusmenetelmä.....	9
3.1	Luotettavuuden arviointi.....	10
3.2	Tutkimuksen toteutus	11
4	Tietoperusta.....	12
4.1	Sähkömarkkinat.....	12
4.1.1	Sähkölasku	14
4.1.2	Sähköpörssi.....	15
4.1.3	Sähköenergian hinta.....	16
4.2	Fingrid Oyj.....	18
4.3	Sähkömarkkinoiden eri markkinapaikat.....	18
4.3.1	Day ahead markkinat, ELSPOT.....	19
4.3.2	Intraday markkinat, ELBAS	20
4.4	Rakennusautomaatio	20
4.5	Centraline ARENA NX	23
5	Työn toteutus	24
5.1	Ohjelma	24
5.2	Taloudellinen laskelma	29
6	Tutkimustulokset.....	33
7	Johtopäätökset ja pohdinta	33
7.1	Tulevaisuuden visiot ja opinnäytetyön jatkokehitys.....	34

Lähteet	35
Liitteet	38
Liite 1. Ohjelman ensimmäinen versio	38
Liite 2. Ohjelman toinen versio.....	39
Liite 3. Ohjelman kolmas versio.....	40
Liite 4. Hintasimulaattori	41

Kuviot

Kuvio 1. Kehittämistutkimuksen sykli. (Kananen 2015, 41).	11
Kuvio 2. Vuonna 2019 sähkölasku kotitalouskäyttäjät 5000 kWh/vuodessa. (Nurmi 2019).....	14
Kuvio 3. Sähkönhinnan muodostus. (Kauniskangas 2010, 11. Mukailtu).....	16
Kuvio 4. Erilaisia kysynnänjouston markkinapaikkoja Suomessa.(Fingrid reservituotteet ja reservien markkinapaikat, 2020).....	19
Kuvio 5. ARENA NX systeemin arkkitehtuuri. Arena NX valvomo ylimmäisenä. (ARENA NX – Supervisor n.d.).....	23
Kuvio 6. "Hintasimulaattori". (Kuvankaappaus Centraline Coach NX ohjelmointityökalu)	24
Kuvio 7. Ohjelman ensimmäinen versio. Vihreällä tuntihinta ja sinisellä ohjelman ulostulosäättöviesti.....	25
Kuvio 8. Ohjelma versio 1.1. Sinisellä säättöviesti ja vihreällä sähkönhintaa.	26
Kuvio 9. Ohjelma versio 1.3. Tehoalueet havainnollistettu eri väreillä.....	28
Kuvio 10. Ohjelma versio 1.3. Hintaviesti vihreällä ja säädön rajoitus asetus sinisellä.....	28

Taulukot

Taulukko 1. Kuorma prosentteina	29
Taulukko 2. Hintatietojen (12.2.2020) perusteella ja 10kW joustavalla kuormalla laskettu kulutus ja hinta.	30
Taulukko 3. 10kW kuorman hinnan vertailu vuorokaudessa.....	31
Taulukko 4. 15kW kuorman hinnan vertailu vuorokaudessa.....	31
Taulukko 5. 35kW kuorman hinnan vertailu vuorokaudessa.....	32

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutustutaan pohjoismaisiin sähkömarkkinoihin sekä rakennusautomaatioon. Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa toimeksiantajalle sähkön tuntihintaan perustuva kysynnänjousto-ohjelma. Sähköverkon kysynnänjoustolla on tarkoitus saavuttaa taloudellista ja yhteiskunnallista hyötyä.

1.1 Lähtötilanne

Yhteiskunnassa on tällä hetkellä meneillään energiamurros. Uusiutuvan energian määrä on kovassa kasvussa ja fossiilisilla polttoaineilla tuotettavan energian määrä on laskussa. Uutta ydinvoimaakin on rakenteilla. Näiden monien erilaisten asioiden yhteisvaikutus tuottaa tulevaisuudessa haasteita sähköntuotannon ja kulutuksen tasapainoon. (TEM 2018, 8.)

Kiinnostus hintaohjautuvaan kysynnänjousto järjestelmään lähti mahdollisuuksista, joita kyseinen järjestelmä voisi tuottaa sähkömarkkinoille ja sähkönkäyttäjille. Energiamurroksen muokatessa sähkömarkkinoita hintaohjautuvalla kysynnänjoustojärjestelmällä voisi olla tulevaisuudessa myönteisiä yhteiskunnallisia vaikutuksia.

Opinnäytetyötä tehtiin ensisijaisesti rakennusautomaation näkökulmasta. Are Oy:n toteuttama rakennusautomaation pilvivalvomo luo erittäin hyvät olosuhteet kuormanohjausjärjestelmälle. Kuormanohjausjärjestelmä voidaan ohjelmoida rakennusautomaatioon niin, että joustoa voidaan tehdä tinkimättä liikaa olosuhteista. Järjestelmä voidaan suunnitella jokaiselle eri kiinteistölle sopivaksi.

Toimeksiantajalla ei ole vastaavaa hintaohjautuvaa kuormanohjausjärjestelmää ennestään. Mielenkiinto aiheeseen heräsi sopivaa opinnäytetyön aihetta pohtiessa ja asiaa päätettiin lähteä tutkimaan sekä toteuttamaan opinnäytetyön muodossa. Jos järjestelmästä tulisi toimiva, sitä voitaisiin lähteä jatkokehittämään. Valmista järjestelmää olisi mahdollista käyttää tulevissa projekteissa.

1.2 Tavoitteet ja tutkimusongelma

Opinnäytetyön tavoitteena on ohjelmoida erilaisia versioita ohjelmasta. Erilaiset versiot ohjelmasta auttavat havainnollistamaan sen, että erilaisiin projekteihin saataan tarvita eri tavalla sovellettavia ohjelmia. Ohjelmistosta tehdyt taloudelliset laskelmat puolestaan auttavat ymmärtämään järjestelmän taloudellista hyötyä. Tavoitteena on myös tutustuttaa toimeksiantaja tutkimusaiheeseen paremmin.

Opinnäytetyön ensimmäinen vaihe on tutkimusongelma. Tutkimusongelman täytyy olla aihealueeltaan tutkijaa (opiskelijaa) kiinnostava. Välttämättä aina ongelmasta ei ole tiedossa kuin perimmäiset syyt, joten ongelman aihealueeseen täytyy perehtyä ja tutustua täsmällisesti. Ongelma tarkentuu aihealuetta tutkiessa, kuten esimerkiksi aikaisempien tutkimusten avulla. (Kananen 2015, 11-12.)

Opinnäytetyön tutkimusongelmana on ”Miten sähkökuormaa joustetaan sähkönhinnan perusteella?”.

1.3 Tutkimuksen rajaus

Toteutuksesta rajataan pois sähkönhinnan tuonti verkkorajapinnalta kolmannen osapuolen tarjoamana, jotta työmäärä ei kasvaisi liian suureksi. Toteutuksessa sähkönhinta simuloidaan vastaamaan todellisia hintoja ja niiden vaihteluita. Sähkönhinnan tuonti verkkorajapinnalta on tärkeä asia, mutta ei kuitenkaan välttämätön tutkimustyön toteutuksen kannalta. Rajapinta on kuitenkin mahdollista tulevaisuudessa lisätä ohjelmaan.

1.4 Aikaisemmat opinnäytetyöt ja huomioidut tutkimukset

Aikaisempia opinnäytetöitä otettiin huomioon ja tutkittiin, jotta saatiin parempi kokonaiskuva aiheesta. Erilaisia opinnäytetöitä sähkömarkkinoista sekä kuormanohjausjärjestelmistä on tehty melko paljon. Aikaisemmista tutkimuksista oli runsaasti apua opinnäytetyön suunnittelussa ja niistä saatiin arvokasta lisätietoa, jota pyrittiin hyödyntämään opinnäytetyön toteutuksessa.

Markkinahintaperusteinen kuormanohjaus, Leksis A. 2009. Opinnäytetyö AMK.

Opinnäytetyössä tutkitaan etäluettavien sähkömittareiden mahdollisuuksia osallistua sähkön spot-hintamarkkinoille Helsingissä Helen Sähköverkko Oy:n alueella. Sähkömittareiden avulla olisi mahdollisuus ohjata varaavia sähkölämmityksiä. Opinnäytetyössä kokeillaan uudenlaista kuormanohjaustapaa sähkömittari Aidon 5550:lla. Mittarissa on yksi kuormanohjausrele. Opinnäytetyöhön valittuja Aidon mittalaitetta ei kuitenkaan ole suunniteltu jatkuvaan päivittämiseen. Mittalaitteesta ei voinut poistaa vanhoja tiedostoja. Ajan kuluessa muisti olisi täyttynyt eikä sitä olisi voinut päivittää enää. Testeissä huomattiin, että kuormanohjaus käytännössä onnistui, mutta oli monimutkaista ja työlästä. (Leksis A, 2009).

Kysyntäjoustop mahdollisuudet energiamittareiden ja muiden tietolähteiden avulla, Taipale O. 2017. Opinnäytetyö YAMK.

Opinnäytetyössä pohditaan laajasti kysyntäjoustop niin yhteiskunnallisesti verkonhaltijan näkökulmasta, kuin kuluttajankin näkökulmasta. Opinnäytetyössä tuodaan hyviä näkökulmia esille taloudellisen hyödyn näkökulmasta sekä mainitaan valtioneuvoston asettama älyverkkotyöryhmä. Taipale tuo myös esille sen, ettei kantaverkon näkökulmasta ole merkitystä missä kysyntäjoustop tapahtuu, jos se vain tapahtuu kantaverkon alueella, eli Suomessa, sekä toimii teknillisten vaatimusten mukaisesti. (Taipale O. 2017).

Joustava ja asiakaskekeinen sähköjärjestelmä. Älyverkkotyöryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriö. 2018.

Työ- ja elinkeinoministeriön vuonna 2016 perustaman työryhmän loppuraportti. Työryhmän tavoitteena oli selvittää konkreettisia toimia sekä realistisia ratkaisuja, joilla sähkömarkkinat ja toimintavarmuus palvelisivat asiakasta ja yhteiskuntaa. Älyverkkotyöryhmä nosti älykkäänsähköverkon keskiöön asiakkaan ja ympärille muodostettiin verkosto, joka koostuu yhteiskunnasta, teknologiateollisuudesta, kantaverkonhaltijasta, jakeluverkonhaltijasta, sähköntuottajasta, sähkömyyjä-/ palveluntarjoajasta. Työryhmä piti myös tärkeänä asiana, että sähkönkulutuksen ohjaaminen olisi kilpailtua liiketoimintaa. (TEM. 2018).

2 Are Oy

Are Oy on talotekniikka-alan palveluita tarjoava suomalainen perheyritys. Työntekijöitä Are Oy:llä on noin 3200. Yrityksellä on toimintaa Suomen lisäksi myös Ruotsissa sekä Venäjällä Pietarissa. Are Oy:n omistus on ollut samassa perheessä jo sen perustamisesta 1913 asti. Yritys on osa Conficap-konsernia. (Tietoa Aresta, N.d).

Rakennusautomaatio Are Oy:ssä

Are Oy:llä on muiden talotekniikan osastojen lisäksi myös erillinen rakennusautomaatio osasto. Rakennusautomaatio-osaajia Are Oy:llä on usealla eri paikkakunnalla kuten Tampereella, Joensuussa, Kuopiossa, Oulussa ja Hyvinkäällä. Henkilöstökooltaan suurimmat osastot löytyvät Jyväskylästä ja Vantaalta. Are Oy:n pääkonttori sijaitsee Vantaalla. Are Oy:n Jyväskylän rakennusautomaatio osasto hallinnoi, käyttää ja kehittää rakennusautomaation pilvivalvomoa. Are Oy:n rakennusautomaation pilvivalvomoa kutsutaan yleisesti nimellä "Areena". Nimi "Areena" tulee pilvivalvomon alustasta, jossa käytetään yhteistyökumppanin tuotetta nimeltä CENTRALINE ARENA NX (ks. luku 4.5). Pilvivalvomo on verkon välityksellä toimiva valvomojärjestelmä, johon on liitetty useita eri kiinteistöjen rakennusautomaatiojärjestelmiä eri puolilta Suomea.

Rakennusautomaatio on talotekniikan ja kiinteistöjen aivot. Parhaimmillaan kiinteistön automaatiojärjestelmän avulla hallitaan kokonaisvaltaisesti koko kiinteistön talotekniikkaa, johon kuuluvat yleensä lämmitys-, jäähdytys-, ilmanvaihto- ja valaistusjärjestelmät.

Rakennusautomaatio osaaminen vaatii erityistä ammattitaitoa. Tähän ammattitaitoon sisältyy tuntemus eri talotekniikan osa-alueiden ominaispiirteitä sekä hallita näiden kokonaisuuksia. Eri osa-alueiden ominaispiirteisiin liittyy tiettyjä fysikaalisia ilmiöitä, joiden ymmärtäminen on osa rakennusautomaatio-osaamista. Internetiin liitettävien järjestelmien määrän kasvaessa on tunnettava myös tietoverkkotekniikkaa. Tietoturva on tärkeä osa rakennusautomaation kokonaisuutta.

3 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmäksi valikoitui kehittämistutkimus, sillä se sopii opinnäytetyön luonteeseen parhaiten. Työn edistyessä pyritään käyttämään sekä laadullisia, että määrällisiä tutkimusotteita. Tutkimusongelman ja tutkimuskysymysten käsittely on tärkeää opinnäytetyön tavoitteiden saavuttamisen kannalta.

Kehittämistutkimus on moniotteinen tutkimusmenetelmä, sillä se koostuu useasta erilaisesta tutkimusmenetelmästä. Kehittämistutkimusta ei yleisesti pidetä tarkasti luokiteltavana. Kyseisellä tutkimusmenetelmällä haetaan muutosta. Muutoksen suunta on muutostarpeen mukaan. (Kananen 2015, 33-34.)

Kehittämistutkimuksen ensimmäinen vaihe on nykytilan kartoitus. Kartoituksessa määritetään opinnäytetyön tutkimusongelma. Tutkimusongelman poistamiseen tarvitaan tietoa. Ongelman poistamisen kannalta on tärkeää, että ongelma voidaan määrittää tarkasti ja kääntämään tutkimuskysymykseksi. Tutkimusongelman kuvaamiseen on syytä käyttää tarpeeksi aikaa, jotta opinnäytetyön tavoitteet saavutetaan mahdollisimman hyvin. (Kananen 2015, 41.)

Opinnäytetyön raportointi on rakenteeltaan kehittämistutkimukselle tyypillinen IMRAD-malli. IMRAD muodostuu sanoista introduction, methods, research and discussion. Kyseinen rakenne on myös journalien yleisessä käytössä. Rakenne on yksinkertaiselta muodoltaan: johdanto, menetelmät, tutkimus, pohdinta. (Kananen 2015, 15.)

Tutkimuskysymykset

Tutkimusongelmat (tai tavoitekuvaukset) pyritään muuttamaan tutkimuskysymyksiksi. Kun tutkimuskysymyksiin etsitään vastauksia, helpotetaan tutkimusongelmaan saatavaa ratkaisua. (Kananen 2015, 12). Opinnäytetyön tutkimusongelmana on ”Miten sähkökuormaa joustetaan sähkönhinnan perusteella?”. Tutkimuskysymyksinä käytetään seuraavia kysymyksiä: Miksi sähkökäytössä tarvitaan joustavuutta? Onko rakennusautomaatio hyvä tapa toteuttaa sähkönkäytön joustavuutta? Minkälaiset tulevaisuuden näkymät käytönjoustolla on?

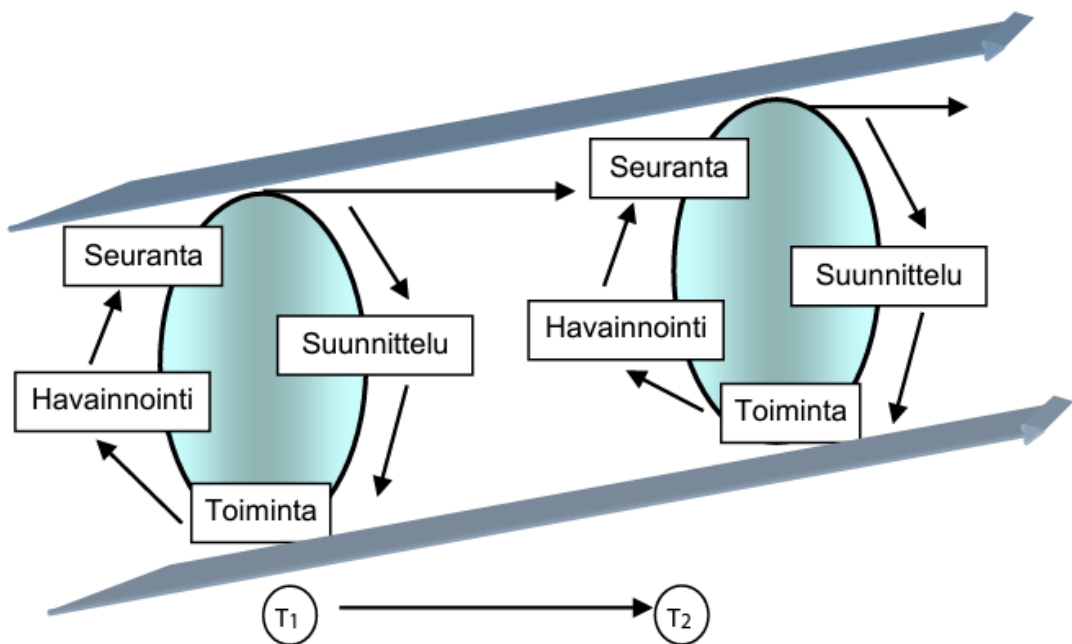
3.1 Luotettavuuden arviointi

Opinnäytetyön kannalta on tärkeää sen luotettavuus. Luotettavuuden arviointia harjoitettiin koko opinnäytetyöprosessin ajan. Tutkimusaiheeseen tutustuttiin laajalti, sekä aineistoon tutustumiseen käytettiin runsaasti aikaa. Lähteitä tutkittiin kriittisesti ja lähteiden aineistoja verrattiin toisiinsa. Lähteinä käytettiin lähinnä painettuja kirjoja, sekä suomeksi ja englanniksi. Tietoja haettiin myös erilaisista tietokannoista, joista yhtenä toimi tietokanta Knovel. Tietokantoihin on pääsy kirjaston kautta JAMK:n opiskelijoilla ja henkilökunnalla.

3.2 Tutkimuksen toteutus

Opinnäytetyön toteutusosiossa käytetään syklistä prosessia eli ns. kehittämissykliä. Kehittämissykliä on neljä eri vaihdetta, joita havainnollistetaan kuviossa yksi. Suunnittelu (ongelmankuvaus), toiminta (toimenpide-ehdotukset), havainnointi (toteutus) ja lopuksi seuranta (tulos). Kyseisiä syklejä toistetaan useampia, kunnes päästään toivottuun lopputulokseen. (Kananen 2015, 33-41.)

Toteutuksessa tämä tarkoittaa sitä, että kysynnänjousto-ohjelmasta tehdään ensin tiettyjen kriteereiden mukaan ensimmäinen versio. Ohjelmistoa "ajetaan", jonka jälkeen havainnoidaan/seurataan. Välivaiheena ohjelmisto esitellään toimeksiantajalle ja saadun palautteen perusteella sitä muokataan, jotta tavoitteet saavutettaisiin.



Kuvio 1. Kehittämistutkimuksen sykli. (Kananen 2015, 41).

4 Tietoperusta

4.1 Sähkömarkkinat

Sähkömarkkinat voivat olla paikallisia, alueellisia, maiden sisäisiä tai maiden rajojen yli olevia markkinapaikkoja. Pohjoismaiden yhteiset sähkömarkkinat käsittävät Norjan, Ruotsin, Suomen ja Tanskan. Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla sähkön jälleenynti on kilpailtua mutta siirto ja jakelu ovat säännösteltyä. Yleisesti sähkömarkkinoiden vapautumisen suurimpana motiivina on ollut se, että niin saadaan kilpailua alalle. Kilpailun takia sähkön hinta pysyy kohtuullisena ja edullisena. (Khatib 2014, luku 13.2-13.5.)

Suomi avasi asteittain sähkömarkkinansa 1995 muiden pohjoismaiden kanssa. Suomi yhdessä muiden pohjoismaiden kanssa olivat ensimmäisinä maailmassa avaamassa sähkömarkkinoitaan. Suomen lisäksi tähän pohjoismaiseen markkina-alueeseen kuuluu Ruotsi, Norja ja Tanska. Näiden pohjoismaiden sähköverkot ovat fyysisesti synkronisessa yhteydessä toisiinsa. Vuodesta 1998 ovat kaikki Suomessa asuvat sähkönkäyttäjät voineet valita keneltä sähköenergiansa ostaa. Koska on kyse avoimista sähkömarkkinoista se tarkoittaa sitä, että sähkönkuluttaja voi ostaa sähköenergiansa keneltä tahansa sähkönmyyjältä. Yhtenäiset sähkömarkkinat ja vapaa kilpailu edistävät uusiutuvien energiamuotojen markkinoita sekä tehostaa markkinan toimintaa. (VTT Prosessit 2004, 194-195, 208; Kauniskangas 2010, 6, 20.)

Sähkömarkkinoilla on kuitenkin omia haasteitaan. Ajanjaksoihin sidotut sähkömarkkinat ovat tuoneet mukanaan taajuudenvaihteluita tunnin alussa sekä lopussa, joissa voimalaitokset säätävät tehoaan seuraavalle tunnille. Tämä näkyy taajuudenseurannassa taajuuspiikkeinä tuntien vaihtumisen kohdalla. (Klimstra 2014, 26). Haasteita tuovat myös monet muut asiat, kuten esim. hintariski. Hintariskillä tarkoitetaan sitä, kun sähkön hinta vaihtelee suuresti pienellä aikavälillä. Näin käydessä saattaa tulla tilanne jossa sähkön myyjä joutuu myymään sähkönsä halvemmalla kuin mitä on siitä itse maksanut. Kysyntäriski saattaa tulla silloin, jos suuri teollisuusasiakas vaihtaa sähköntoimittajaansa ja aiheuttaa näin sähkönmyyjälle tilanteen, jossa sen sähkön

ostaminen on ylimitoitettu. Operatiivinen riski liittyy sähkön hankinnan ja myynnin haasteisiin, joka on nykypäivänä muuttunut entistä hankalammaksi. Operatiiviseen riskiin liittyy myös inhimilliset virheet päivittäisessä toiminnassa. Tärkeää on tiedostaa poliittinen riski, joka tulee muuttuvasta lainsäädännöstä. Poliittiset päätökset ohjaavat markkinoita sekä sähköntuotantovaihtoehtoja ja niiden kehittymistä. (VTT Prosessit 2004, 205-206; Sihvonen 2015, 29-34.)

Euroopan unionin yhtenä tavoitteena on yhdistää pohjoismaiset ja eurooppalaiset sähkömarkkinat yhtenäiseksi sähkömarkkinaksi. Tulevaisuudessa sähkön kulutusta ohjataan yhä enemmissä määrin ajankohtiin, jolloin se on halpaa. Eli silloin kun tuotantoa on paljon kulutukseen nähden. Tavoitteena olisi, että sähköä pyritäisiin tuottamaan edullisilla tuotantotavoilla sekä ympäristöystävällisesti. EU:n päästökaupan seurauksena sähköntuotanto, joka tapahtuu käyttäen fossiilisia polttoaineita, kallistuu jatkuvasti (Kauniskangas 2010, 10, 20.)

Työ- ja elinkeinoministeriön älyverkkotyöryhmän mukaan tulevaisuudessa asiakkaat ovat älykkään sähköjärjestelmän keskiössä. Visiossa asiakkaalla olisi mahdollisuus osallistua sähkömarkkinoihin joka puolestaan parantaisi sähkön toimitusvarmuutta. Tämä loisi myös uusia liiketoimintamahdollisuuksia yrityksille. (TEM 2018, 11.)

4.1.1 Sähkölasku

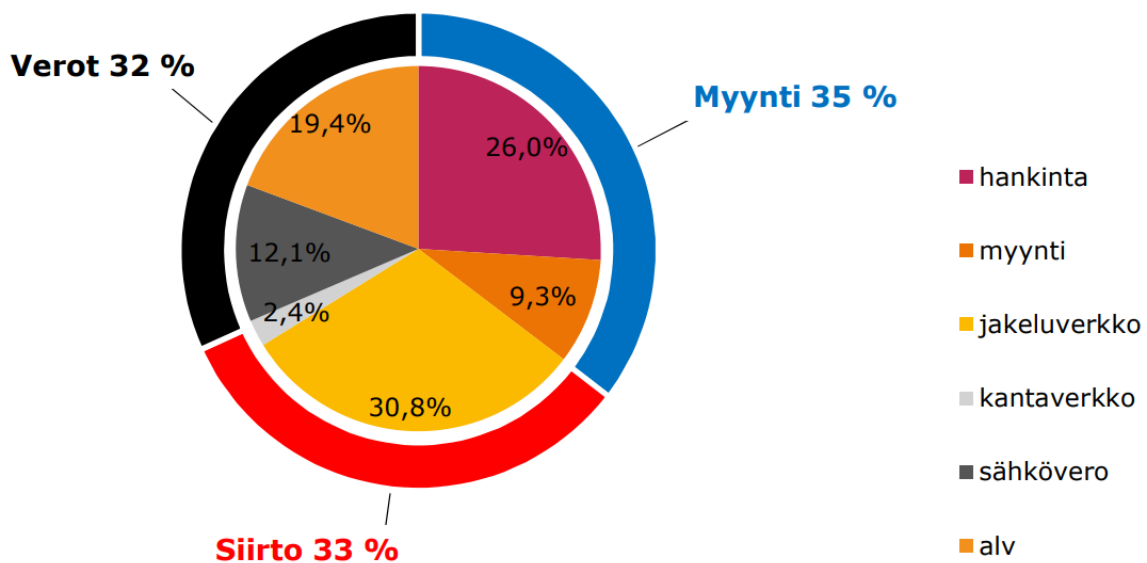
Sähkölasku muodostuu kolmesta asiasta (ks. kuvio 2):

1. Sähköenergian hinnasta (myynti)
2. Sähkön siirron hinnasta
3. Erilaisista veroista ja maksuista

(VTT Prosessit 2004, 207-208.)

Sähkönsiirron hintaan vaikuttaa se, mikä on sähkönkuluttajan jännitetaso. Pienjännitteeseen liittynyt kuluttaja maksaa sähkönsiirrosta keskimäärin enemmän kuin keski-jännitteen sähkönkuluttaja, koska pienjännitteen kuluttajalle kohdennetaan pienjänniteverkon laitteiston kustannuksia. Sähkönsiirtohinalla katetaan myös siirtoverkon ylläpito kustannuksia, sähköverkkoon sidottua pääomaa sekä uuden sähköverkon rakentamista. (VTT Prosessit 2004, 208; Kauniskangas 2010, 14.)

Viimeisen kohdan erilaiset verot ja maksut ovat valtiolle maksettava arvonlisävero, sähkön valmistevero ja huoltovarmuusmaksu. Huoltovarmuusmaksulla valtio kattaa huoltovarmuuden ylläpitoa. Kohdat kaksi ja kolme maksetaan yleensä samalla laskulla. (VTT Prosessit 2004, 208.)



Kuvio 2. Vuonna 2019 sähkölasku kotitalouskäyttäjät 5000 kWh/vuodessa. (Nurmi 2019).

Sähkönlaskutus perustuu sähkönkulutus tietoihin, joita kerätään sähkömittarilta. Asiakkaan sähkömittarista vastaa paikallinen verkkoyhtiö. Sähkönkulutusmittari valikoi-
tuu sen perusteella, millaista mittauspalvelua asiakas haluaa. Pääsääntöisesti Suo-
messä on sähkönkulutuksen tuntimittaukset. Näille mittareille on asetettu vähim-
mäisvaatimuksia sähkömarkkinalainsäädännössä. (Energiavirasto n.d.)

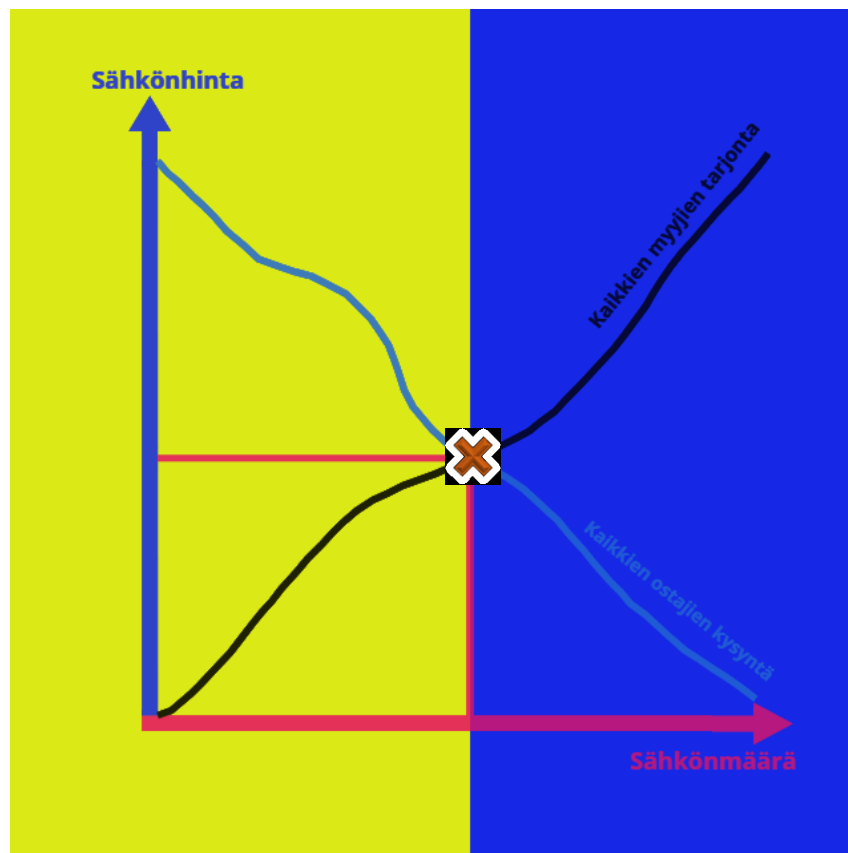
4.1.2 Sähköpörssi

Sähköstä käydään kauppaa pohjoismaiden yhteisessä sähköpörssissä, jonka markki-
napaikkana toimii vuonna 1993 perustettu Nord Pool yhtiö. Yhtiö määrittää sähkö-
pörssissä sähkön tuntihinnan sähkön myyjiltä ja tuottajilta tulleiden tarjousten perus-
teella. Sähköpörssi-yhtiö Nord Pool operoi energiamarkkinoilla yhdeksässä eri Euroo-
pan maassa. Se tarjoaa markkinapaikan sekä selvitys- ja toimitus palveluja seuraavan
päivän ja päivänsisäisille markkinoille. (VTT Prosessit 2004, 197; Nord Pool. n.d.)

Nord Pool sähköpörssi tarjoaa asiakkailleen erilaisia lisenssejä, joilla voidaan käydä
erilaisten rajapintojen kautta hakemassa ja lataamassa markkinatietoja. ”Nordics &
Baltics” lisenssillä saa yhden API tilin, jolla saa haettua tietoja seuraavan päivän
markkinoista, säätömarkkinoista (ylös- ja alassäätö) sekä sähkön käyttötietoja. Nor-
dics & Baltic lisenssi maksaa 3500€/vuosi. Pelkästään seuraavan päivän markkinahin-
toja API rajapinnalla voi hakea 2700€/vuosi lisenssillä. (Nord Pool Power Data Servi-
ces. n.d.)

4.1.3 Sähköenergian hinta

Sähköpörssissä eli ns. tukkumarkkinoilla sähkön hinta muodostuu kysynnän ja tarjonnan mukaan. Sähköpörssissä kauppaa käydään sähköenergiasta, jota ostavat suuret teollisuuslaitokset sekä jälleenmyyjät. Myyjinä toimivat sähköntuottajat. Ostajat kertovat pörssiin kuinka paljon ja millä hintaa he haluavat sähköä ostaa. Myyjät tekevät tarjoukset kuinka paljon he sähköä myyvät ja mihin hintaan. Vuorokauden jokaiselle tunnille muodostetaan systeemi hinta tarjousten leikkauskohdassa (ks. kuvio 2). Keltaisella taustalla vasemmalla puolella olevat osto ja myyntitarjoukset toteutuvat hinnalla joka on kahden punaisen viivan leikkauspisteessä keskellä kaaviota kohdassa X. Oikealla puolella sinisellä taustalla olevat tarjoukset eivät toteudu. (Kauniskangas 2010, 11.)



Kuvio 3. Sähköhinnan muodostus. (Kauniskangas 2010, 11. Mukailtu)

Sähkömarkkinoilla sähkön hintaan vaikuttavat monet muuttujat kuten sähköntuotanto, ulkolämpötila (pakkanen/helle) ja polttoaineiden hinta. (Leksis A, 2009).

Vesitilanne vuosina 1997-2002 oli hyvä, joten vesivoimantuotto oli myös hyvä. Tämä vaikutti siihen, että sähkö oli edullista (VTT Prosessit 208, 2004.) Sähkön hinnan muodostukseen pohjoismaissa vesivoimalla on iso rooli, sillä vesivoiman tuotanto kaikesta sähköntuotannosta on noin puolet. Vesivoimalla on kuitenkin muutamia erityispiirteitä. Vesitilanne voi vaihdella voimakkaastikin, kun jokien virtaukset vaihtelevat vuodenaikojen mukaisesti sekä sääolosuhteiden perusteella. Lumen sulamisvesi sekä syksyn sateet vaikuttavat vesitilanteeseen merkittävästi. Osa sulamisvesistä voidaan varastoida järviin tai keinotekoisiiin altaisiin. Vedenvarastointi altaiden kapasiteetti on pohjoismaissa melko suuri. Jokivoimaloilla harvoin on varastointi mahdollisuutta, joten ne tuottavat sähköä sen verran kuin joen virtaamasta on mahdollista tuottaa. Ruotsissa ja Norjassa on pumppuvoimalaitoksia (säännöstelyvoimalaitoksia), joissa vettä voidaan varastoida suuriin altaisiin ja laskea sitten turbiinin läpi tarpeen mukaan. (Hirvonen, Sulamaa & Tamminen 2003, 4; VTT Prosessit 2004, 202; Kaunistangas 2010, 9.)

Suomen sähköverkossa on vesivoiman lisäksi paljon ydinvoimaa. Tämän kombinaation rinnalle on rakennettu viime vuosina paljon tuulivoimaa ja tuulivoimaloiden pysytys tahti tuntuu vain kiihtyvän. Ydinvoiman tuotto on tasaista ja varmaa, mutta se ei sovi säätövoimaksi. Tuulivoiman tuotto vaihtelee paljon säiden armoilla. Lisääntynyt tuulivoima tuo markkinoille rajuja sähkön hinnan vaihteluita. (Hartikainen J, 2020.)

4.2 Fingrid Oyj

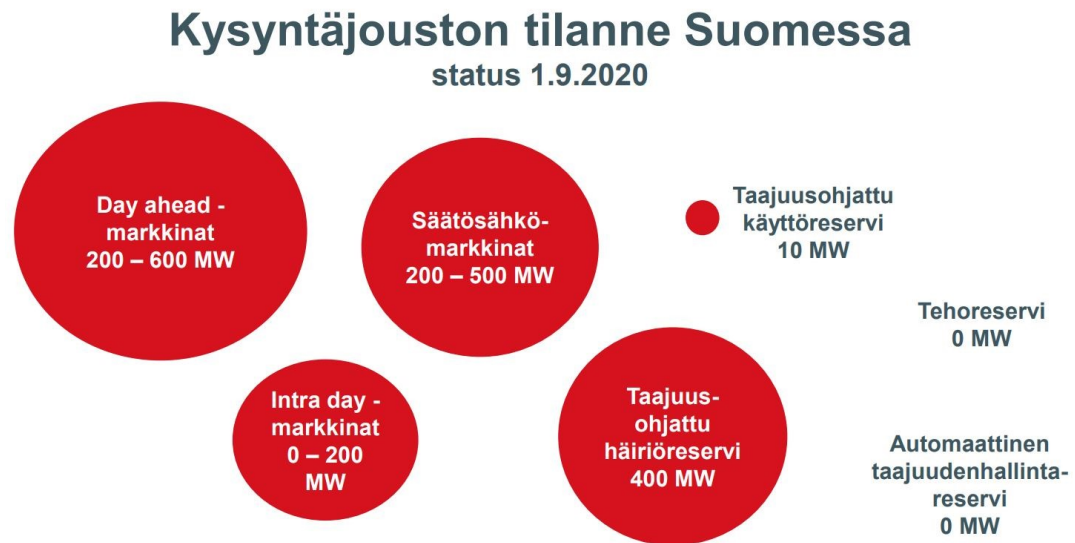
Suomalainen julkinen osakeyhtiö Fingrid Oyj on Suomen kantaverkon suunnittelija, valvoja, ylläpitäjä ja kehittäjä. Fingrid vastaa Suomessa sähkönsiirrosta yli 14 000 kilometrin kantaverkossa, joka on sähkönsiirron runkoverkko. Tähän runkoverkkoon ovat liittyneet voimalaitokset, tehtaot sekä alueelliset jakeluverkot. (Fingrid esittely n.d.)

Suomen kantasähköverkkojen järjestelmävastaavana Fingridillä on vastuulla Suomen sähköverkkojen tehotasapainon hallinta siten, että taajuuden laatuksiteerit täyttyvät. Taajuus saa normaalitilanteissa vaihdella 49,9 hz – 50,1 hz välillä. Suuret taajuuspoikkeamat saattavat vioittaa sähkönkulutuslaitteita ja jopa pahimmillaan aiheuttaa laajan sähkökatkon. Taajuuden hallinnasta vastuussa oleva Fingrid huolehtii kantaverkosta käyttämällä säätötarjouksia ylläpitämiltään säätösähkömarkkinoilta sekä ostamalla erilaisia sähköreservejä (Fingrid reservit, 2016; Fingrid reservituotteet ja reservien markkinapaikat, 2020.)

4.3 Sähkömarkkinoiden eri markkinapaikat

Suomessa sähkömarkkinoilla on muutamia eri markkinapaikkoja, joista laajemmin käsitellään seuraavan päivän markkinapaikkaa (day ahead / elspot) sekä päivän sisäistä markkinapaikkaa (intra day / elbas). Näiden markkinoiden ulkopuolella on säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat (mFRR), taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D), Tehoreservi, taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N) ja automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR). Eri markkinat jotka osallistuvat kysynnänjoustoon ovat nähtävillä kuviossa 4. (Fingrid reservituotteet ja reservien markkinapaikat, 2020.)

Sähköntarpeen ennustaminen on haastavaa, eikä sitä voida ennakoida tarkasti. Säätösähkömarkkinoilla säätötarjouksia tekevät voimalaitokset (tuotanto) ja sähkökuorman haltijat. Tarjousten perusteella valitut voimalaitokset ja kuormanhaltijat saavat kuorman käytöstä ja voimalaitoksen tuoton kapasiteetin käytöstä korvauksen. (VTT Prosessit 197, 2004.)



Kuvio 4. Erilaisia kysynnäjouston markkinapaikkoja Suomessa.(Fingrid reservituotteet ja reservien markkinapaikat, 2020).

4.3.1 Day ahead markkinat, ELSPOT

Elspot-markkinalla käydään kauppaa seuraavan vuorokauden sähkötoimituksista. Markkinaa kutsutaan day ahead-markkinoiksi sekä nimellä elspot. Kerran vuorokaudessa markkinaosapuolet (tuottajat ja myyjät) jättävät suljettuun huutokauppaan tarjoukset seuraavan vuorokauden tuntihinnoista. Suljetussa huutokaupassa osapuolet eivät näe toistensa tarjouksia. Pörssiin toimitetaan tarjoukset erikseen jokaiselle vuorokauden tunnille. Tarjoukset sisältävät toimitettavan sähkön- tai ostettavan sähköntarjouksen. Kaikki tarjoukset yhdistetään ja niistä tehdään kuvaaja (kuvio 3). Toimitettavan (myytävän) ja ostettavan sähkön hinnat muodostavat kuvaajalle kaksi eri viivaa. Näiden viivojen leikkauspistettä kutsutaan systeemihinnaksi ja kyseisen tunnin sähköenergia kauppaa käydään, sillä hinnalla. (VTT Prosessit 197, 2004.)

Elspot hinnan euroopan maille laskee EUPHEMIA algoritmi. EUPHEMIA yrittää maksimoida yhteiskunnallisen hyödyn sekä sovittaa energian tuotannon ja kulutuksen välistä suhdetta. (EUPHEMIA Public description, 2019).

4.3.2 Intraday markkinat, ELBAS

Lähinnä poikkeustapauksille suunnattua elbas markkinaa käydään päivän sisäisesti. Poikkeustapauksessa sähköntuottajan tuotantolaitoksen toimintahäiriön seurauksena saattaa sähköntuottaja joutua ostamaan tarjouksen mukaisen sähköntuotantomääränsä elbas-markkinoilta. Elbas markkinan tunnin sisäinen hinta poikkeaa usein Day ahead markkinoiden hinnasta. (Kauniskangas 2010. 11.)

Elbas-markkinat, eli vuorokauden sisäiset markkinat, käydään erikseen ennen jokaista sähköntoimitustuntia. Kaupat tehdään heti, kun toisiaan vastaavat osto ja myyntitarjoukset löytyvät. (VTT Prosessit 197, 2004).

Päivän sisäiset markkinat ovat jälkimarkkinoita elspot markkinalle. Elbas markkinat toimivat lähellä sähkön fyysistä toimitusta. Näin ollen tuotanto ja kulutus saadaan kohtaamaan entistä tarkemmin toisiaan. Kaupankäynti sulkeutuu tunti ennen sähkön fyysistä toimitustuntia. (Elbas-kaupankäynti n.d.)

4.4 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatio (building automation system) pitää rakennuksissa huolen rakennuksen käyttäjien mukavuudesta, sisäilmaolosuhteista, vaatii energiankulutusta, aikatauluttaa laitteistoa sekä tarjoaa historiadataa erilaisista mittauksista. Rakennusautomaatiojärjestelmillä ohjataan suurinta osaa rakennusten talotekniikasta. Tyypillisesti rakennusten ilmanvaihto, lämmitys sekä jäähdytys hoidetaan rakennusautomaatiojärjestelmän avulla. (Lake J 2018, 531; Allen J 2016, 566.)

Yksi rakennusautomaation peruseräistä on myös tiedottaa huoltohenkilökuntaa vikaantuneista laitteista tai epänormaalista järjestelmän toiminnasta. Rakennusautomaatiojärjestelmä yhdistettynä energiankulutuksen seurantaan on tehokas tapa hallita rakennuksen kokonaisenergiankulutusta. Tärkeimmät tekijät energian hallinnan kannalta ovat kuitenkin energianhallintaan perehtyneet ihmiset ja energiatehokkuuteen sekä hallintaan hyvin järjestetty rakennusautomaatiojärjestelmä. Rakennusautomaatiojärjestelmä on myös mahdollista liittää erillisenä osana johonkin toiseen

järjestelmään, jotta saadaan esimerkiksi tuotantolaitoksissa parempi kokonaiskuva koko laitoksesta. Nykyään kuitenkin on tavallisempaa, että eri järjestelmille (palo, valo, turva) on omat niille omistetut järjestelmät. Tämä helpottaa järjestelmien ylläpitoa sekä niiden suoriutumista. Suuren rakennusautomaationjärjestelmän perässä voi olla myös toisistaan maantieteellisesti kaukana olevia rakennuksia. (Lake J 2018, 531; Allen J 2016, 565-566.)

Eri valmistajien järjestelmät koostuvat hieman erilaisista järjestelmätasoista ja samalla valmistajalla voi olla useita erilaisia vaihtoehtoja. Yleisesti kuitenkin järjestelmät koostuvat tasoista joista ylimpänä on yleensä järjestelmän valvomo, josta päästään käsiksi järjestelmään. Seuraava taso on kenttätason säätimet, jossa tapahtuu suurin osa järjestelmän toiminnoista. Säätimessä on tyypillisesti liitettyä erilaisia liitäntäpintoja kuten erityyppistä I/O:ta (Inputs and outputs) tai väyläpohjaisia laitteita, kuten esimerkiksi erilaiset huonesäätimet. Rakennusautomaation valvomo on käyttöliittymänä on tehokas tapa esittää tietoa rakennuksesta. Nykyiset rakennusautomaatiolaitteita toimittavat yritykset yrittävät kehittää kiihtyvällä vauhdilla järjestelmiään, jotta ne sopisivat mahdollisimman hyvin käytettäväksi internet selaimilla. Myös olemassa olevia järjestelmiä kehitetään käytettäväksi selainpohjaisesti. (Lake J 2018, 532-537; Allen J, 2016. 566-567.)

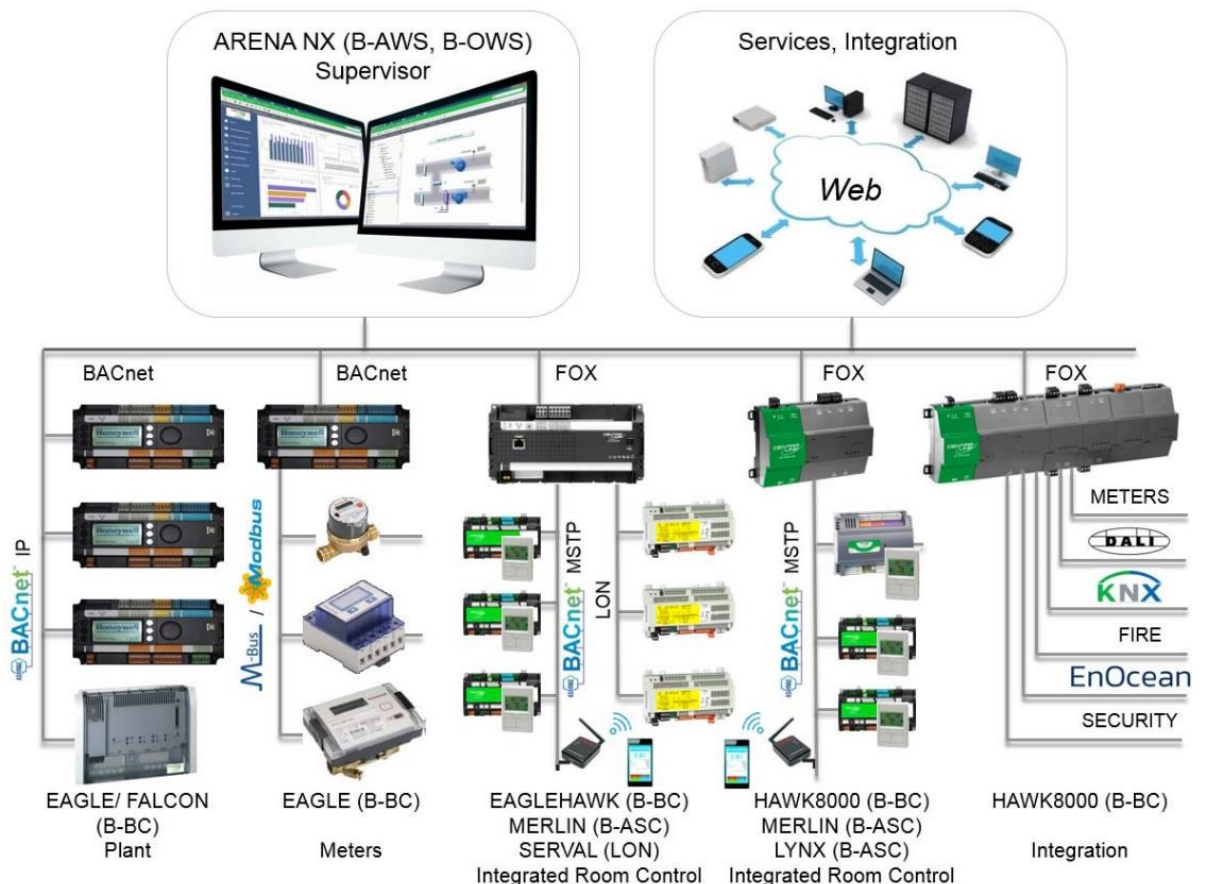
Erivalmistajien laitteet voivat kommunikoida keskenään erilaisten väylien kautta. Väylä protokollia on useita mutta yleisimmät rakennusautomaatiossa käytetyt ovat LonWorks, BACnet ja Modbus. LonWorks on Echelon yrityksen 90-luvulla kehittämä väylä. LonWorks on peer-to-peer verkko. BACnetin (Building Automation Control Network) peruseriaate on nopea ethernet LAN-verkko. Modbus on Modicon Inc yrityksen 70-luvun lopulla kehittämä väylä, joka on avoin, ilmainen ja lisenssi vapaa protokolla. Yleisesti BACnet on käytetyin näistä kolmesta. Nykypäivänä yhden rakennuksen rakennusautomaatiojärjestelmä saattaa koostua näiden väylien sekoituksesta, sillä yksikään näistä ei ole ylitse muiden ja kaikki eivät sovellu jokaiseen projektiin. (Lake J 2018, 535-537; Allen J, 2016. 569-570.)

Rakennusautomaatio kehittyy ja kasvaa kovaa tahtia. Lake toteaa, että muutamia vuosia sitten kiinteistöjen omistajat olivat tyytyväisiä hienoon valvomografiikkaan. Nykypäivänä kuitenkin tietoa vaaditaan edellä mainittujen asioiden lisäksi paljon enemmän. Tietoa halutaan mm. energiankulutuksesta ja kiinteistönylläpidosta. (Lake J 2018, 537.)

Useimmissa rakennuksissa on jo olemassa rakennusautomaatiojärjestelmä, mutta se ei välttämättä ole verkkopohjainen ratkaisu. Eli järjestelmää ei ole kytketty internet-verkkoon. Tämä kannattaa ratkaista joko saneeraamalla järjestelmä, päivittämällä nykyinen järjestelmä tai hankkimalla rajapinta joka sallii nettiliikenteen. Verkkopohjaisella ratkaisulla rakennuksen talotekniikasta tiedon jakaminen on helpompaa, nopeampaa ja halvempaa kuin koskaan aikaisemmin. Verkkopohjaisella ratkaisulla onkin ollut suuri vaikutus rakennusautomaatio järjestelmiin. (Allen J, 2016. 573-574.)

4.5 Centraline ARENA NX

Centraline ARENA NX on rakennusautomaation käyttöön tarkoitettu kiinteistöjen monitorointia ja hallinnointia tarjoava valvomoratkaisu (kuvio 5). Centraline ARENA NX on kehitetty nimenomaan kiinteistöjen hallintaan ja sillä voidaan hallita suuriakin kokonaisuuksia yhdessä tai jopa useammassa kiinteistössä. ARENA NX:stä saa reaaliaikaista tietoa kiinteistöjen ilmanvaihdosta, energiankulutuksesta, valaistuksesta, lämmityksestä ja kaikesta mitä siihen on liitetty. Näitä voidaan tarkastella graafisella liittymällä internet selaimella. ARENA NX-valvomoratkaisua ohjelmoidaan COACH NX ohjelmistolla, jolla voidaan myös ohjelmoida säätimiä kuten esimerkiksi EAGLEHAWK ja HAWK. Centraline ARENA NX toimii Niagara 4-alustalla, joka on Tridium yhtiön kehittämä alusta. (Arena nx, n.d.)



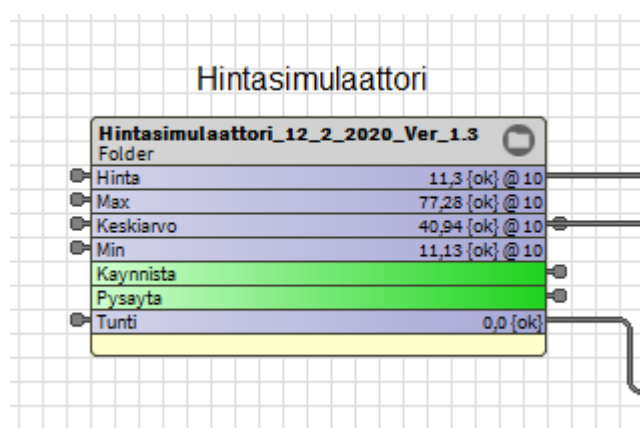
Kuvio 5. ARENA NX systeemin arkkitehtuuri. Arena NX valvomo ylimmäisenä. (ARENA NX – Supervisor n.d.)

5 Työn toteutus

Opinnäytetyön toimeksiantajalle suunnitella ohjelma, joka ohjaa sähkökuormaa sähkön hinnan perusteella. Työn toteutuksessa käytetään kehittämistutkimuksen sykliä, jonka ensimmäinen vaihe on suunnittelu. Ensimmäiseksi pohditaan, minkälainen ohjelma halutaan tehdä. Suunnitellulle ohjelmalle halutaan aluksi hyvin yksinkertainen ja suurpiirteinen toiminnankuvaus, joka kehittyy ja muuntautuu jokaisessa syklissä. Ohjelman tulee toteuttaa kuormanohjaus sähkönhinnan mukaan. Sähköhintatieto simuloidaan, eli sitä ei haeta reaaliajassa verkossa sijaitsevista palveluista.

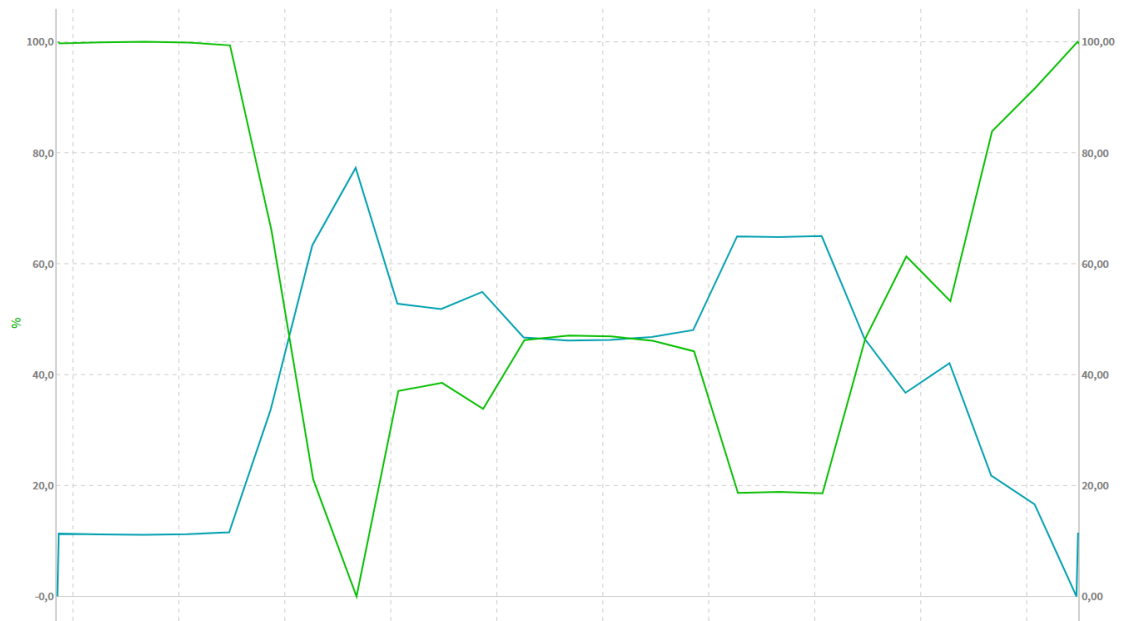
5.1 Ohjelma

”Muuttuvan sähkönhinnan mukaan ohjautuva säätöviesti”. Ohjelman tulo on sähkönhinta ja lähtö on säätöviesti. Koska sähköhintavaihtelut simuloidaan, tulee ensin rakentaa sille oma aliohjelma, joka syöttää sähköhintatiedot eteenpäin varsinaiselle kuormanohjaus ohjelmalle (Kuvio 6 ja liite 4). Ensimmäiseen toteutusyykliin käytetään seuraavan päivän sähkönhintoja. Hintatiedot haetaan käsin NordPoolin verkkosivuilta ja päiväksi valitaan vuoden 2020 helmikuun kahdestoista, jolloin on ollut voimakasta vaihtelua sähköhinnoissa.



Kuvio 6. "Hintasimulaattori". (Kuvankaappaus Centraline Coach NX ohjelmointityökalu)

Ohjelmassa sähköhinnan vuorokausivaihteluista etsitään kallein hinta ja halvin hinta ja näistä muodostetaan ohjausviesti, jolla ohjataan käänteisesti säätöviestiä. Tulokseksi saadaan hyvin yksinkertainen ohjelma, joka toistaa halutun toimenpiteen. Ohjelmasta näyttökaappaus opinnäytetyön liitteessä 1. Kuviossa 6 havainnollistetaan ohjelman toiminta.



Kuvio 7. Ohjelman ensimmäinen versio. Vihreällä tuntihinta ja sinisellä ohjelman ulostulosäätöviesti.

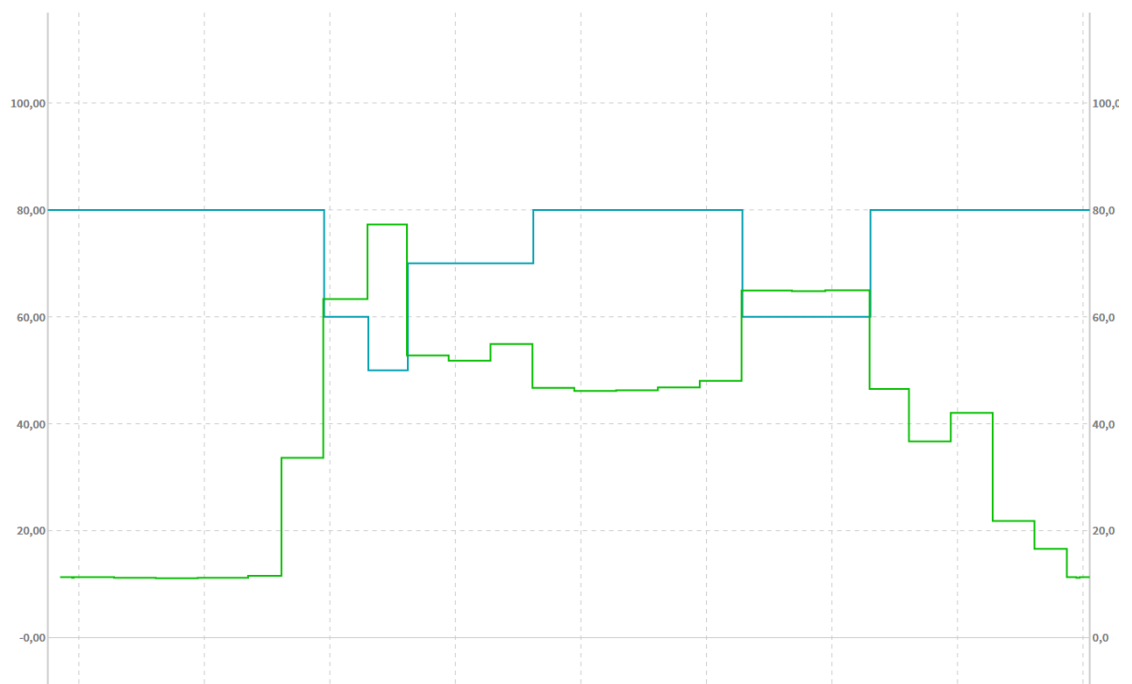
Hyvin yksinkertainen ohjelma toteuttaa halutun toiminnon, täsmälleen niin kuin sen pitääkin. Säätö ohjataan 100% kun on halvin ja 0% kun on kallein hetki päivästä. Ohjelma tällaisenaan on melko universaali ja pienillä muokkauksilla se sopisi varmasti moneen eri sähkökuormanohjaukseen.

Tästä ohjelman versiosta on helppo lähteä muokkaamaan eri variaatioita erilaisille sähkökuormille. On olemassa kuormia jotka voivat joustaa vain vähän ja kuormia jotka voivat joustaa paljonkin, mutta vain tietyissä tilanteissa.

Toinen versio

Muuttuvan sähköhinnan mukaan ohjautuva säätöviesti, jossa leikataan kalleimmat tunnit. Ohjelman tuloja ovat sähköhinta ja vakio säätöviesti 80%. Lähtöjä on hinnan mukaan joustettu säätöviesti. Asetuksina on kolme eri hintatasoa. Jokaisella eri tasolla pudotetaan 10% säätöviestiä

Tässä ohjelmaversiossa karsitaan kaikista kalleimmat tunnit säätöviestistä pois. Kuvio 7 nähdään, että sinisellä piirretty säätöviesti tippuu asteittain, kun sähkön hinta nousee. Ohjelmasta näyttökaappaus liitteessä 2. Hintatasoja ja niiden aiheuttamia pudotuksia voitaisiin lisätä ohjelmaan niin paljon kuin tarvitsee.



Kuvio 8. Ohjelma versio 1.1. Sinisellä säätöviesti ja vihreällä sähköhinta.

Kalleimmat tunnit leikkaamalla saadaan hyötyä sellaisista kuormista, joissa voidaan joustaa vain vähän.

Kolmas versio

Muuttuvan sähkönhinnan mukaan ohjautuva säätöviestin rajoitus asetus. Rajoitettua asetusta nostetaan halvimilla tunneilla ja lasketaan kalleimmilla. Säätöviestin pudotus ja nosto alueet lasketaan automaattisesti hinnan keskiarvon mukaan

Ohjelman tulot ja lähdöt:

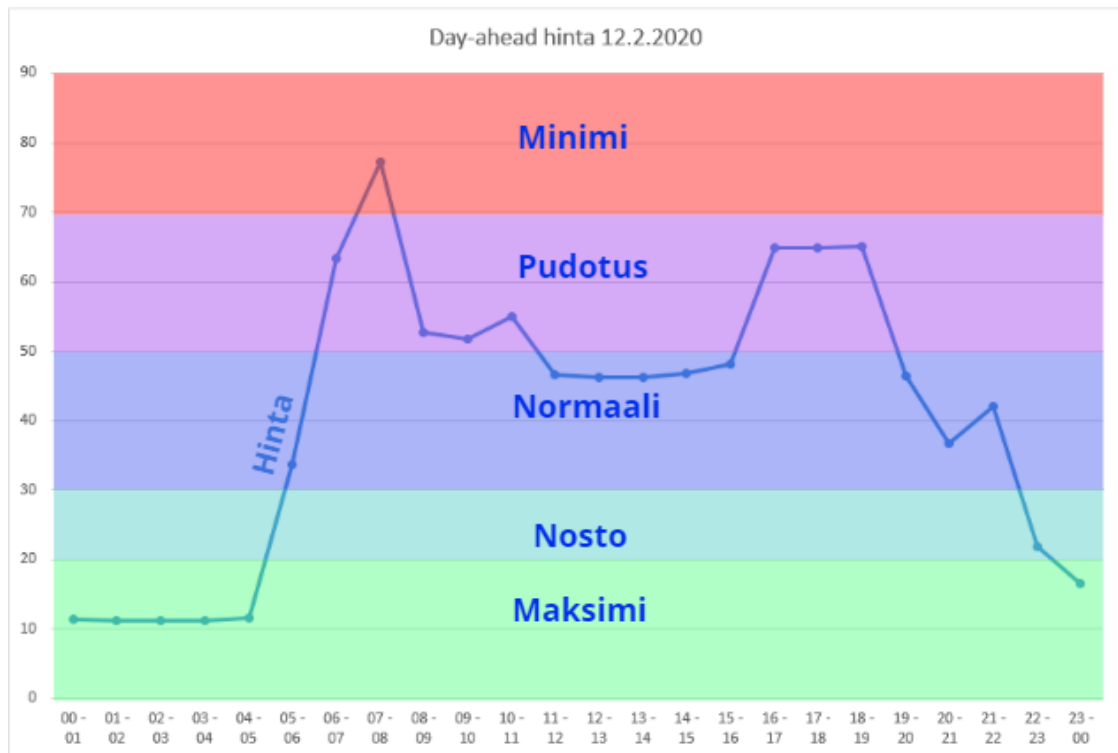
Tulot: Sähkönhinta, vakio säätöviestin maksimiarvo 80%

Asetukset: Vakio halvin hinta, vakio kallein hinta, laskettu pudotus hinta, laskettu nosto hinta.

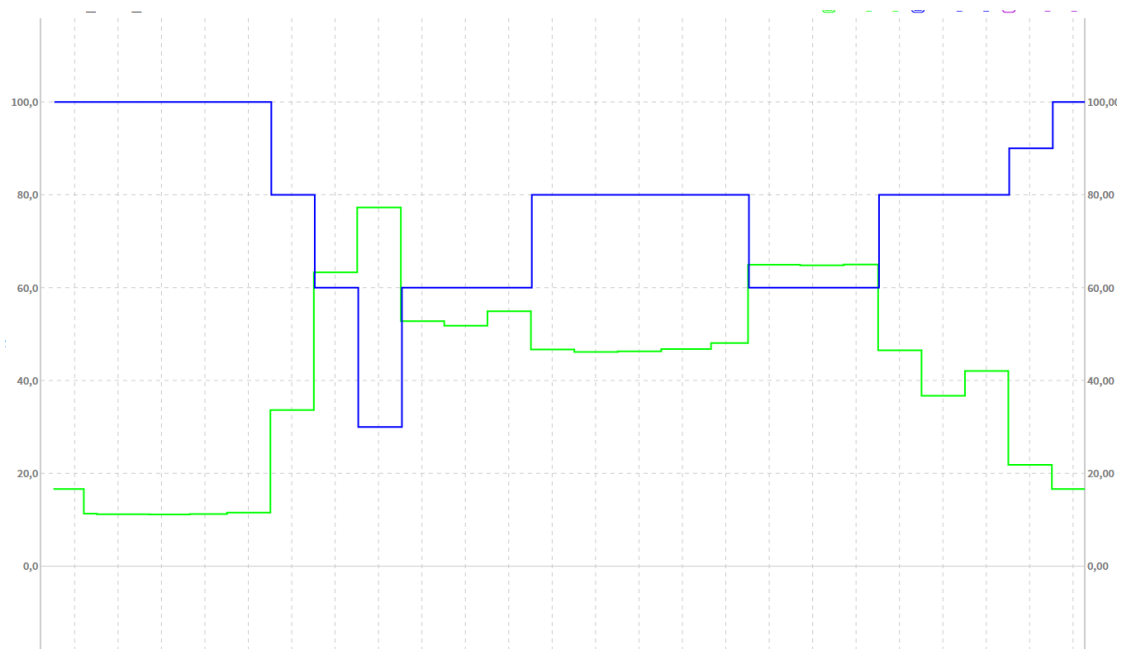
Lähdöt: Hinnan mukaan joustettu säätöviesti

Ohjelman kolmas versio ottaa huomioon hinnanmuutokset paremmin kuin edelliset ohjelmat ja on näin monipuolisempi käyttää. Ohjelma laskee keskiarvosta käyttäjän antaman prosentuaalisen alueen, jolloin se käyttää joko pudotusalueetta tai nostoaluetta. Ohjelmassa on näin ollen neljä eri tehoaluetta, joissa säätöviesti käyttäytyy sille määriteltyjen asetusten mukaisesti. Alueet havainnollistettu kuviossa 8.

Ohjelman ulostulot havainnollistettu kuviossa 9 ja ohjelmasta näytönkaappaus liitteessä 3. Tätä voidaan pitää nyt opinnäytetyön viimeisenä ohjelmana, sillä se ottaa järkevästi huomioon hinnan vaihtelut eri päivinä laskemalla keskiarvosta nosto ja pudotus alueet.



Kuvio 9. Ohjelma versio 1.3. Tehoalueet havainnollistettu eri väreillä



Kuvio 10. Ohjelma versio 1.3. Hintaviesti vihreällä ja säädön rajoitus asetus sinisellä

5.2 Taloudellinen laskelma

Taloudellisessa laskelmassa on tarkoitus laskea taloudellinen hyöty ohjelman viimeisen version mukaan, käyttäen sähkönhintana 12.2.2020 day-ahead hintoja. Tutkimustuloksia, johtopäätöksiä sekä pohdintoja on esitetty seuraavissa luvuissa. Kuormaksi valitaan laskennan havainnollistamisen kannalta aluksi 10 kW teho (taulukko 1). Kaikki laskennat suoritetaan samalla perusteella, vaihdellaan lopuksi vertailun vuoksi tehon määrää, jotta saadaan hyödyistä selkeämpää kuvaa sekä voidaan arvioida taloudellista kokonaisyötyä. Oletuksena käytetään, että kuormaa käytetään koko ajan ohjelman sallimaa maksimiasetusta.

100 %	10000 W
90 %	9000 W
80 %	8000 W
70 %	7000 W
60 %	6000 W
50 %	5000 W
40 %	4000 W
30 %	3000 W
20 %	2000 W
10 %	1000 W
0 %	0 W

Taulukko 1. Kuorma prosentteina

Yhdistetään ohjelman antama kuorman tehoasetus sekä tuntihinta taulukossa 2 ja lasketaan niiden vuorokausihinta. Vuorokaudessa käytetyksi energiaksi saadaan 186 kWh sekä hinnaksi saadaan 6,81 €.

Day-ahead prices in EUR/MWh	12.2.2020					
	Hinta (EUR/MWh)	Hinta (snt/kWh)	Ohjaus %	Teho (W)	Kulutus (kWh)	Hinta (EUR)
00 - 01	11,32	1,132	100	10000	10	0,11
01 - 02	11,2	1,12	100	10000	10	0,11
02 - 03	11,13	1,113	100	10000	10	0,11
03 - 04	11,21	1,121	100	10000	10	0,11
04 - 05	11,55	1,155	100	10000	10	0,12
05 - 06	33,65	3,365	80	8000	8	0,27
06 - 07	63,31	6,331	60	6000	6	0,38
07 - 08	77,28	7,728	30	3000	3	0,23
08 - 09	52,77	5,277	60	6000	6	0,32
09 - 10	51,81	5,181	60	6000	6	0,31
10 - 11	54,91	5,491	60	6000	6	0,33
11 - 12	46,7	4,67	80	8000	8	0,37
12 - 13	46,15	4,615	80	8000	8	0,37
13 - 14	46,27	4,627	80	8000	8	0,37
14 - 15	46,78	4,678	80	8000	8	0,37
15 - 16	48,04	4,804	80	8000	8	0,38
16 - 17	64,93	6,493	60	6000	6	0,39
17 - 18	64,81	6,481	60	6000	6	0,39
18 - 19	64,98	6,498	60	6000	6	0,39
19 - 20	46,51	4,651	80	8000	8	0,37
20 - 21	36,72	3,672	80	8000	8	0,29
21 - 22	42,06	4,206	80	8000	8	0,34
22 - 23	21,81	2,181	90	9000	9	0,20
23 - 00	16,61	1,661	100	10000	10	0,17
				Yhteensä	186	6,81

Taulukko 2. Hintatietojen (12.2.2020) perusteella ja 10kW joustavalla kuormalla laskettu kulutus ja hinta.

Seuraavaksi vertailemme joustamattoman ja joustetun kuorman hinta-eroja. Joustamattomalle on tässä tapauksessa hyvä antaa monta eri esimerkkihintaa, sillä eri sähkönmyyjät tarjoavat sähköä eri hintaiseen kiinteään hintaan. Hinnat on esitetty taulukon keskellä luvusta kaksitoista alaspäin. Näissä seuraavassa taulukossa (taulukot 3, 4 ja 5) havainnollistetaan eri kokoisilla kuormilla hinnan käyttäytymistä. Joustettu hinta on muodostettu taulukon 2 avulla muuttamalla kuorman tehoa.

Joustamaton		
Kulutus (kWh)	Hinta (snt/kWh)	Hinta (EUR)
186	12	22,32
	11	20,46
	10	18,6
	9	16,74
	8	14,88
	7	13,02
	6	11,16
	5	9,3
	4	7,44
	3,67	6,8262
Hinnan mukaan joustettu		
	Kulutus (kWh)	Hinta (EUR)
	186	6,81

Taulukko 3. 10kW kuorman hinnan vertailu vuorokaudessa.

Joustamaton		
Kulutus (kWh)	Hinta (snt/kWh)	Hinta (EUR)
279	12	33,48
	11	30,69
	10	27,9
	9	25,11
	8	22,32
	7	19,53
	6	16,74
	5	13,95
	4	11,16
	3,67	10,2393
Hinnan mukaan joustettu		
	Kulutus (kWh)	Hinta (EUR)
	279	10,21

Taulukko 4. 15kW kuorman hinnan vertailu vuorokaudessa.

Joustamaton		
Kulutus (kWh)	Hinta (snt/kWh)	Hinta (EUR)
651	12	78,12
	11	71,61
	10	65,1
	9	58,59
	8	52,08
	7	45,57
	6	39,06
	5	32,55
	4	26,04
	3,67	23,8917
Hinnan mukaan joustettu		
	Kulutus (kWh)	Hinta (EUR)
	651	23,82

Taulukko 5. 35kW kuorman hinnan vertailu vuorokaudessa.

6 Tutkimustulokset

Opinnäytetyön lopputulokseksi saatiin toimiva kysynnänjousto ohjelma, sähkön hinnan mukaan. Ohjelmasta tehtiin kolme eri versiota, joista jokainen oli edellistä versiota kehittyneempi. Tätä kehitys-sykliä olisi mahdollista vielä jatkaa eteenpäin useita kertoja, jolloin järjestelmä olisi vielä kehittyneempi. Ohjelman kehittyessä siihen voitaisiin asetella erilaisia uusia muuttujia kuten sääennuste tai tuuliennuste.

Taloudellisia laskelmissa (taulukot 3-5) päädyttiin käyttämään ohjelman viimeisintä versiota sen ollessa kaikista kehittynein. Tälle ohjelmaversiolle aseteltujen hintatietojen ja sähkönkuorman perusteella nähdään, että kysynnänjousto tulee kannattavimmaksi isoilla kuormilla sekä, jos sähkönhinta yleisesti on korkeahko. Mitä korkeampi sähkönhinta, sitä edullisempaa on siirtyä kysynnänjoustomarkkinoille.

7 Johtopäätökset ja pohdinta

Rakennusautomaatio on parhaimmillaan silloin, kun käyttäjä ei huomaa sen olemassaoloa. Opinnäytetyössä suunnitellun ja rakennetun ohjelman käyttäjä huomaisi parhaimmillaan ainoastaan pienentyneenä energiamaksuna sähkölaskussa. Rakennusautomaation tulisi aina olla mahdollisimman automaattinen, että käyttäjän ei tarvitsisi tehdä minkäänlaisia toimenpiteitä sille.

Ohjelman lopullinen taloudellinen hyöty kuitenkin pohjautuu siihen, miten monelle markkinalle se voi osallistua. Sähkölaskun koostuessa kolmesta eri osiosta, verosta, siirrosta ja energiasta. Pelkästään spot/elbas hintoihin osallistuva voi saada säästöä sähkölaskustaan vain 1/3 sähkölaskusta. Parhaimman hyödyn saisi järjestelmä, joka normaaliolosuhteissa toimisi spot-hinnan mukaan mutta osallistuisi myös samalla muille sähkömarkkinoille. Tällöin kun kantaverkon taajuus vaihtelee ja tarvitsee irrottaa tai lisätä kuormaa, se onnistuisi helposti yhden järjestelmän kautta. Tämä kuitenkin vaatii huolellista suunnittelua.

Aihetta tutkiessa vastaan tuli usein, että uudenlaista joustavuutta tarvittaisiin sähkömarkkinoille kiperästi. VTT:n tutkimustulosten mukaan kolmannen osapuolen kulutuksen ohjaukseen suhtautuu myönteisesti jopa 58 prosenttia. Mutta täysin automaattiseen kulutuksen ohjaukseen kuluttajat eivät suhtautuneet täysin varauksetta. (Valli, 2019).

Varsinkin tuulisähkön osuuden kasvaessa kysynnänjoustoa tullaan tarvitsemaan enemmissä määrin. Uskon että tämän opinnäytetyön kaltaisilla ohjelmilla olisi varmasti myös yhteiskunnallista hyötyä, kun sähköverkkoa kuormitettaisiin oikein. Sähkönkäyttö laskisi eikä sähköä tarvitsisi tuoda ulkomailta. Pidän myös todennäköisenä, että kuormanohjauksen markkinaosuus kasvaa, sillä tuulisähkön lisääntyessä, kasvaa myös hinnanvaihtelut sähköpörssissä.

Järkevintä kuormanohjausjärjestelmä olisi ns. helposti ohjattavissa kuormissa. Yhtenä esimerkkinä kerrostalon lämmitykseen liitetty lämpöpumppu ja siihen liitetty iso varaaja. Varaajaa voitaisiin lämmittää sähkön ollessa halpaa. Sähkön kallistuessa lämpöä purettaisiin varaajasta kiinteistön tarpeisiin. Myös ilmanvaihdon puhaltimia voidaan ohjata hintatietojen perusteella. Kumpikaan näistä esimerkeistä ei ole täysin ongelmaton ja vaatii perusteellista suunnittelua.

7.1 Tulevaisuuden visiot ja opinnäytetyön jatkokehitys

Tulevaisuudessa tarpeeksi älykkään järjestelmän olisi mahdollista myös ennustaa käyttökohteen tulevan sähkönkulutuksen. ”Käyttötottumusten ja huomisen sääennusteen perusteella huomenna kiinteistön sähkönkulutus on 185kWh. Suurin energiantarve tulee olemaan kello 18 aikaan”. Jatkokehitysehdotus opinnäytetyölle olisi ohjelman muokkaaminen toimimaan myös elbas-markkinoilla, sähkönhintatietojen tuonti verkkorajapinnan kautta tai edellä mainitun vision toteuttaminen.

Lähteet

Allen J. 2016. Kirjasta Guide to Energy Management luku 17 ” Web-based Building Automation Controls and Energy Information System”. Kirjan 8. painos.

Arena NX. n.d. Web based supervisor software, arena nx. Ei julkaisupäivämäärää. Viitattu 1.8.2020 https://products.centraline.com/en/ecatdata/pg_gr-clnarena.html

Arena NX – supervisor. n.d. Arena NX product data. Ei julkaisupäivämäärää. Viitattu. 1.8.2020. <https://products.centraline.com/en/pdf/en0z1024-ge51r1219.pdf>

Fingrid esittely. n.d. Yritysesittely fingridin verkkosivuilla. Ei julkaisupäivämäärää. Viitattu 23.2.2020. <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/>

Fingrid reservit. 2016. Fingridin youtube kanavalla video aiheesta sähköreservit. Julkaistu 9.5.2016. Viitattu 23.2.2020 <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/taajuusohjattu-kaytto-ja-hairioreservi/#tekniset-vaatimukset>

Fingrid reservituotteet ja reservien markkinapaikat. 2020. Fingridin julkinen esitysmateriaali reserveistä ja niiden markkinapaikoista. Julkaistu 3.09.2020. Viitattu 13.9.2020. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-reservien-markkinapaikat.pdf>

Energiavirasto n.d. Tarkistuslista sähköasiakkaille. Energiaviraston laatima dokumentti kuluttajille. Ei julkaisupäivämäärää. Viitattu 4.2.2020. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/13015916/Kuluttajainfo+s%C3%A4hk%C3%B6asiakkaille.pdf/49dc8be6-5169-7cd6-ffa2-a690770c048f/Kuluttajainfo+s%C3%A4hk%C3%B6asiakkaille.pdf.pdf/Kuluttajainfo+s%C3%A4hk%C3%B6asiakkaille.pdf>

Elbas-kaupankäynti n.d. Empowerin verkkojulkaisu elbas-markkinasta. Viitattu 24.2.2020 <https://www.empower.fi/media/resources/fi/documents/elbas-kaupankaynti-markkinointiesite-20170606.pdf>

EUPHEMIA Public Description. 2019. Euphemia algoritmistä kertova julkinen kuvaus. PCR PX. Viitattu. 24.2.2020 <https://www.nordpoolgroup.com/globalassets/download-center/pcr/euphemia-public-description.pdf>

Nord Pool. n.d. Yhtiön verkkosivuilla ”about us” osio. Ei julkaisupäivämäärää. Viitattu 22.2.2020. <https://www.nordpoolgroup.com/About-us/>

Nord Pool Power Data Services. n.d. Nord Pool sähköpörssin palveluista kertova verkkosivusto yhtiön verkkosivuilla. Ei julkaisupäivämäärää. Viitattu 22.2.2020. <https://www.nordpoolgroup.com/services/power-market-data-services/>

- Nurmi, S. 2020. Energiaviraston mediainfo aiheesta ”Sähkömarkkinat nyt – mitä tapahtui vuonna 2019”. Viitattu 4.2.2020. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/13008633/S%C3%A4hk%C3%B6markkinat-2019-mediainfo-p%C3%A4ivitetty.pdf/c4a4e487-f431-1465-e287-34a494915f1d/S%C3%A4hk%C3%B6markkinat-2019-mediainfo-p%C3%A4ivitetty.pdf>
- Hartikainen J. 2020. Tuulivoiman rakentamisen seuraus: sähkön hintaheilahteluista tuli pysyviä. Artikkelit HS-verkkojulkaisussa. Viitattu 24.2.2020. <https://www.hs.fi/talous/art-2000006411812.html>
- Hirvonen, Sulamaa & Tamminen. 2003. Kilpailu sähkömarkkinoilla: Sähkömarkkinoiden keskeiset piirteet ja toiminta, ETLA Discussion Papers, The Research Institute of the Finnish Economy (ETLA), No. 879. Helsinki
- Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännönopas. Jyväskylä. Tekijät & Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Kauniskangas, M. 2010. Hyvä tietää sähkömarkkinoista. Energiateollisuus ry ja Findgrid Oy.
- Khabit, H. 2014. Economic Evaluation of Projects in the Electricity Supply Industry. 3.p. Institution of Engineering and Technology ISBN 978-1-84919-747-2
- Klimstra, J. 2014. Power supply challenges. Solutions for intergrated renewables. 2.p. Wärtsilä Finland Oy
- Lake J. 2018. A Guide to the Automation Body of Knowledge. 3.painos.
- Leksis, A. 2009. Markkinahintaperusteinen kuormanohjaus. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia. Tekniikan ja liikenteen toimiala, sähkötekniikka, sähkövoimatekniikka. Viitattu. 3.1.2020. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200905122693>
- Ruostetsaari, I. 2010. Energiavalta. Eliitti ja kansalaiset muuttuvilla energiamarkkinoilla. Tampere university press.
- Sihvonen, T. 2015. Diplomityö. Sähkömyyntiyhtiöiden riskienhallinnan haasteet ja kehittäminen. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015112619897>
- TEM 2018. Työ- ja elinkeinoministeriön älyverkkotyöryhmän loppuraportti. Joustava ja asiakaskeinen sähköjärjestelmä. Helsinki 2018. Viitattu 2.2.2020 http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161119/TEM_33_2018.pdf
- Tietoa Aresta. N.d. Perustietoa Are Oy yrityksestä heidän omilla verkkosivuillaan. Viitattu 29.12.2019. <https://www.aresta.fi/tietoa-aresta/>
- Valli, M. 2019. Kuluttajat ovat valmiita joustamaan sähkönkäyttötavoissaan. Artikkelit Sähköala 11/2019 lehdessä. Viitattu 3.8.2020

VTT Prosessit. 2004. Energia Suomessa. Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. 3. p. Helsinki. Edita Prima.

Liitteet

Liite 1. Ohjelman ensimmäinen versio

Liite 2. Ohjelman toinen versio

Liite 3. Ohjelma kolmas versio

Liite 4. Hintasimulaattori