

Miika Isometsä

KULUTTAJAN MAHDOLLISUUDET KYSYNTÄJOUSTOON

KULUTTAJAN MAHDOLLISUUDET KYSYNTÄJOUSTOON

Miika Isometsä
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

Tekijä: Miika Isometsä

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Kuluttajan mahdollisuudet kysyntäjousto

Työn ohjaajat: Heikki Kurki (OAMK), Jukka Kärkkäinen (Gane Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019

Sivumäärä: 55 + 2 liitettä

Työn aiheena on kuluttajan mahdollisuudet kysyntäjousto. Kysyntäjousto on sähkönkulutuksen siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan tunneilta tunneille, jolloin sähkö on halvempaa. Sähköyhtiöt tarvitsevat lähitulevaisuudessa kysyntäjoustoja yhä enemmän, jotta sähköverkkojen kuormitusta saataisiin rajoitettua ja sääriippuvan tuotannon vaihteluihin voitaisiin sopeutua nykyistä paremmin. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia kuluttajan mahdollisuuksia kysyntäjousto toteutukseen ja hyödyntämiseen sekä tutkia kysyntäjousto toteutukseen liittyviä kustannuksia ja mahdollisia ongelmia.

Työssä kootaan aluksi teoreettista viitekehystä kysyntäjousto liittyvistä aihealueista, kuten lainsäädännöstä, tehomaksusta sekä toteutuksen vaatimista tekniikasta. Työssä edetään kysyntäjousto esittelystä lainsäädännön kautta sähkölaskun muodostumiseen, joka pitää sisällään tehomaksun esittelyn. Viimeisenä teoreettisessa viitekehyksessä tutkitaan SLY-kytkentätekniikan ja digitalSTROM-järjestelmän soveltuvuutta kysyntäjousto toteuttamiseen.

Kysyntäjousto on vielä vuonna 2019 haastava opinnäytetyöaihe etenkin kuluttajatasolla. Kuluttajatasolla kysyntäjousto ei ole toteutettu suurissa määrin. Konkreettisimmaksi esimerkiksi kuluttajataso kysyntäjousto toteutuksesta Suomessa nousi selvästi joidenkin jakeluverkkoyhtiöiden aikasiirtoasiakkailleen tarjoama tehomaksukomponentti.

Kysyntäjousto kehittäminen on tärkeää ensisijaisesti sähköverkkojen huipputehojen rajoittamiseksi ja sähköverkon ylityksen ehkäisemiseksi. Kysyntäjousto toteuttamiseen tarvittavat tekniset ratkaisut eivät perustasolla kuitenkaan saa tuoda kuluttajalle tai jakeluverkkoyhtiölle suuria kustannuksia. Kuluttajalle kysyntäjousto tulisi tuoda myös taloudellisia hyötyjä. digitalSTROM-järjestelmän kaltaisia järjestelmiä voisi ajatella lähinnä lisäpalveluiksi kulutuksen seurantaan ja ohjaamiseen. Lisäpalveluiksi tarjoamista tukevat automaatiojärjestelmien sisältämät mukavuuskomponentit. Tämän kannalta tehomaksun laajempi käyttöönotto olisi tällä hetkellä kannattavin ratkaisu kysyntäjousto toteutukseen.

Asiasanat: kysyntäjousto, kulutusjousto, tehomaksu, digitalSTROM

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Electrical and Automation Engineering, Option of
Electrical Engineering

Author: Miika Isometsä

Title of thesis: Consumer Opportunities to Use Demand Response

Supervisors: Heikki Kurki (OAMK), Jukka Kärkkäinen (Gane Oy)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019

Pages: 55 + 2 appendices

Demand response is the transfer of electricity consumption from hours of high consumption and price to hours, when electricity is cheaper. In the near future, electricity companies will need more flexibility to curb the load on electricity networks and adapt to fluctuations in weather-dependent output. The aim of the thesis is to study the possibilities of the consumer to implement and exploit the demand response and to study the costs and potential problems related to the implementation of demand response.

Initially, the thesis summarizes the theoretical framework of demand-related topics, such as legislation, power charge, and technology required for implementation. After the introduction of demand response and legislation connected to it the electric bill and demand charge are discussed. Finally, the suitability of SLY switching and digitalSTROM system in implementation of demand response are examined. Demand response is still a challenging thesis topic in 2019, especially at the consumer level. At consumer level, demand flexibility has not been implemented to a large scale. The most realistic example of the implementation of demand-side elasticity at the consumer level in Finland was clearly the power component of some of the distribution network operators provided for the time transmission customers.

The development of demand response is important primarily to limit peak power levels in electricity networks and to prevent over-dimensioning of the electricity grid. At the basic level, however, the technical solutions required to implement the demand response must not entail high costs for the consumer or the distribution system operator. Consumer demand should also bring economic benefits to the consumer. Systems like the digitalSTROM could be considered as additional services for monitoring and controlling consumption. Offering additional services is supported by the comfort components contained in automation systems. From this point of view, the wider deployment of the demand charge could be the most profitable solution at the moment for the implementation of the demand response.

Key words: demand response, demand charge, digitalSTROM

ALKULAUSE

Opinnäytetyöni toimeksiantajana toimi oululainen Gane Oy. Työni ohjaajina toimivat Gane Oy:n toimitusjohtaja Jukka Kärkkäinen sekä Heikki Kurki, Oulun ammattikorkeakoulun sähkö- ja automaatiotekniikan yliopettaja.

Haluan kiittää Gane Oy:tä mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyöni heidän yritykseensä. Erityisesti haluan kiittää Jukka Kärkkäistä hänen tarjoamastaan tuesta ja yhteistyöstä opinnäytetyöprosessin aikana. Haluan kiittää myös Heikki Kurkea, joka toimi ohjaajanani ammattikorkeakoulun puolelta. Lisäksi haluan kiittää kaikkia henkilöitä, jotka osallistuivat opinnäytetyöni ja opiskelujeni etenemiseen.

Työssäni perehdyin muun muassa kysyntäjoustoön liittyvään lainsäädäntöön, jakeluverkkoyhtiöihin, sähkömarkkinoihin sekä erilaisiin teknisiin ratkaisuihin. Näiden aihealueiden tutkimisen koin opettavaiseksi ja opin paljon asioita kysyntäjoustoön toteutuksen mahdollisuuksista sekä haasteista.

Miika Isometsä

Oulussa 4.4.2019

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 KYSYNTÄJOUSTO	10
2.1 Kysyntäjousto koskeva lainsäädäntö	11
2.1.1 Euroopan Unionin direktiivit	11
2.1.2 Älyverkkotyöryhmän linjaukset	12
2.2 Kysyntäjouston tarjoamat hyödyt	12
2.3 Kysyntäjousto Suomessa	13
2.4 Kysyntäjousto Euroopassa	15
3 SÄHKÖLASKUN MUODOSTUMINEN	18
3.1 Sähkövero	19
3.2 Sähkön energiahinta	19
3.3 Sähkön siirtohint	20
3.4 Tehomaksu	20
3.4.1 Tehomaksun tarjoajat	22
3.4.2 Tehomaksu aikasiirtoasiakkailla	22
3.4.3 Tehomaksu pien- ja keskijännitetelesiirtoasiakkailla	23
3.4.4 Loistehomaksu	23
3.5 Spot-sähkö	24
4 SÄHKÖNKULUTUKSEN MITTAUS SUOMESSA	25
4.1 Etäluettavan sähkömittarin tekniikka	25
4.2 Sähkön mittaamista koskeva lainsäädäntö	26
4.2.1 Sähkömarkkinalain vaatimukset	26
4.2.2 Asetusten 66/2009 ja 217/2016 linjaukset	26
5 KYSYNTÄJOUSTON TEKNINEN TOTEUTUS	30
5.1 digitalSTROM-järjestelmä	30
5.2 SLY-kytkennällä toteutettu kuormanohjaus	39

6	TEKNISTEN TOTEUTUSTEN HYÖDYT JA KUSTANNUKSET	40
6.1	Perinteinen tekniikka	40
6.2	digitalSTROM	41
6.3	Komponenttien kustannusten vertailu	42
7	ESIMERKKIKULUTTAJA	43
8	TEHOMAKSUTARJONTA KULUTTAJILLE	45
9	YHTEENVETO	47
	LÄHTEET	49
	LIITTEET	
	Liite 1 Komponenttien kustannukset	
	Liite 2 Jakeluverkkoyhtiöiden aikasiirtosopimusten tehomaksuvertailu	

SANASTO

aFRR	automatic Frequency Restoration Reserve
Aluehinta	Ilmoitusalueen hinta, joka poikkeaa systeemihinnasta, mikäli siirtokapasiteettia ei ole riittävästi
AMM	Automatic Meter Management
AMR	Automatic Meter Reading
FCR-D	Frequency Containment Reserve for Disturbances
FCR-N	Frequency Containment Reserve for Normal operation
Kulutusrjousto	Synonyymi sanalle kysyntäjousto
mFRR	manual Frequency Restoration Reserve
Systeemihinta	Kaikkien pohjoismaisella markkina-alueella jätettyjen osto- ja myyntitarjousten muodostamien tarjouskäyrien leikkauspiste, jossa ei ole huomioitu mahdollisia siirtorajoituksia
Tariffi	Vahvistettu maksu- ja hintaluettelo
Tehotasapaino	Suomen sähköntuotannon vaje suhteessa ylijäämään tuonti- ja vientisähkö huomioon ottaen. Tehotasapaino lasketaan pohjoismaiden välisen nettotuonnin ja -viennin ja kuluvalle tunnille sovitun tuonti- ja vientiohjelman erotuksena. Erotuksesta kuluvan tunnin aikana syntynyt energia on kumulatiivinen tuotantoylijäämä tai -vaje.
Vaihteen tunnit	Tunnit, jolloin päiväsähkö muuttuu yösähköksi, tai vuorokausi vaihtuu toiseksi.

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön aiheena on kysyntäjousto. Kysyntäjousto on sähkönkulutuksen siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan tunneilta tunneille, jolloin sähkö on halvempaa. Kysyntäjousto on ajankohtainen aihe, sillä sähköyhtiöt tarvitsevat lähitulevaisuudessa kysyntäjoustoja yhä enemmän, jotta sähköverkkojen kuormitusta saataisiin rajoitettua.

Kysyntäjousto on Suomessa mahdollista osallistua parhaiten yritystasolla. Sähköyhtiöt esimerkiksi tarjoavat yrityksille kysyntäjoustoosallistumisen mahdollistavia sopimuksia. Sopimuksissa yritykset voivat hyötyä taloudellisesti, mikäli ne esimerkiksi vähentävät kulutustaan korkean sähkönkulutuksen aikaan. Euroopan unioni on muun muassa säätänyt jo vuonna 2009 kysyntäjoustoosallistumiseen liittyviä direktiivejä, mutta vuonna 2019 tämä käsite on vielä kuluttaja- ja kotitalousten tasolla kohtalaisen vieras.

Työn tavoitteena on tutkia tehon hallinnan ja kysyntäjoustoosallistumisen vaatimaa tekniikkaa ja mahdollisuuksia kuluttajatasolla. Työssä on tavoitteena myöskin tutkia huipputehon hallintaan liittyvää joidenkin jakeluyhtiöiden aikasiirtoasiakkaille tarjoamaa tehomaksua. Työn tilaajana on oululainen Gane Oy.

2 KYSYNTÄJOUSTO

Kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkönkulutuksen siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan tunneilta tunneille, joilla kulutus on vähäisempää sekä hinta matalampi. Kysyntäjoustolla voidaan myös tarkoittaa sähköenergian aikaohjausta tehotasapainon hallintaan esimerkiksi tilanteessa, jossa tuotanto on reilusti kulutusta alhaisempaa.

Kysyntäjouaston tarve kasvaa, kun joustamattoman sääriippuvaisen tuotannon, kuten tuuli- ja aurinkovoiman osuus sähköntuotannosta kasvaa. Kysyntäjousto tarvitaan yhä enemmän myös ydinvoiman takia. Ydinvoimalla tuotetaan suurin osa sähköenergiasta. Ydinvoiman paras käytettävyyys saadaan, kun sen tuotanto on mahdollisimman tasaista, joten tästä syystä ydinvoiman tuotannon säätely ei ole suositeltavaa.

Aikana jolloin vesivoiman osuus sähköntuotannosta oli suurempi, myös tuotannon säätömahdollisuus oli parempi. Vesivoimalla tuotetun sähkön tuotantoa on mahdollista säätää padoilla. Joustamaton tuotanto luo haasteita tämänhetkisellem markkinamallille, jossa kauppaa käydään ainoastaan energialla.

Kysyntäjousto halutaan lisätä, jotta sähkömarkkinat voisivat säilyä tulevaisuudessakin samankaltaisena. Kysyntäjousto tapahtuu pääosin automaation avulla, joten siihen osallistuminen edellyttää kuluttajilta ja yrityksiltä investointeja, mutta tarjoaa pitkällä aikavälillä kustannustehokkaan ratkaisun käyttäjälleen sekä kansantaloudelle. Osa sähköyhtiöistä on ottanut käyttöönsä jo tehomaksun sisältävän sähkönsiirtomaksun, jossa asiakkaan huipputehoon perustuvalla maksulla pyritään ohjaamaan sähkönkulutusta pienemmän kulutuksen ja hinnan tunneille. (1; 2.)

Teknisesti kysyntäjouaston toteutukseen on useita keinoja. Pitkään käytössä ollut aikasähkötariffi on sähkölämmittäjien suosiossa oleva perinteinen tariffi, jossa yö sähkö on halvempaa kuin päivä sähkö. Tämä ohjaa asiakkaita ajoittamaan isojen kuormitusten, kuten lämminvesivaraajan, käytön yöaikaan. Aikasähköasiakkailla on käytössään usein aikaohjattua reletekniikkaa, jolla sähkönkulutusta saadaan ohjattua.

Kysyntäjoustop tekniseen toteutukseen on tulossa tulevaisuudessa muutoksia. Uuden sukupolven älymittarit ja erilaiset automaattioratkaisut tulevat mahdollistamaan kysyntäjoustop toteutuksen tuntitasolla.

2.1 Kysyntäjoustop koskeva lainsäädäntö

Euroopan Unioni on säätänyt kysyntäjoustop koskevia direktiivejä vuodesta 2009 lähtien. Suomessa Valtioneuvoston Älyverkkotyöryhmä on näitä direktiivejä noudattaen antanut omat linjauksensa kysyntäjoustop toteutusta varten.

2.1.1 Euroopan Unionin direktiivit

Lainsäädännössä kysyntäjoustopista on säädetty ensimmäisen kerran Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2009/72/EY, joka koskee sähkönsisämarkkinoiden yhteisiä pelisääntöjä. Direktiivi näyttää suuntaa tulevaisuuden sähkömarkkinoille ja sähkösiirtoverkkojen haltijoiden tehtäville.

Artiklan 12 kohta d velvoittaa sähkönsiirtoverkon haltijan olemaan vastuussa seuraavasti:

Kunkin siirtoverkonhaltijan on vastattava verkon sähkövirtojen ohjaamisesta ottaen huomioon energianvaihto muiden yhteenliitettyjen verkkojen kanssa; tällöin siirtoverkonhaltija on vastuussa siitä, että sähköverkko on varma, luotettava ja tehokas, sekä tässä yhteydessä siitä, että kaikki tarvittavat lisäpalvelut, myös kysyntäjoustop edellyttämät palvelut, ovat saatavilla siltä osin kuin kyseinen saatavuus ei riipu jostain muusta verkon kanssa yhteenliitetystä siirtoverkosta.

Direktiivi tuli voimaan 2009 ja sille annettiin kahden vuoden siirtymäaika, joka päättyi 3.3.2011. Tämä tarkoittaa sitä, että sähkönsiirtoverkkojen haltijoiden on tarjottava kysyntäjoustopia asiakkaille, mikäli sille ei ole teknisiä esteitä. (3, s. 70.)

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU, eli energiatehokkuusdirektiivin artikla 15 kohta 4 pyrkii edistämään direktiivissä 2009/72/EY esitettyä kysyntäjoustopin kehitystä. Kohdassa neljä otetaan kantaa siirto- ja jakelutariffien kannustimiin seuraavasti:

Jäsenvaltioiden on varmistettava, että poistetaan sellaiset siirto- ja jakelutariffit, jotka sisältävät kannustimet, jotka ovat haitallisia sähkönsiirto-

tuotannon, siirron, jakelun ja toimituksen kokonaistehokkuudelle (myös energiatehokkuudelle) tai jotka voivat haitata kysyntäjoustop mukanaoloa markkinoiden tasapainottamisessa ja lisäpalvelujen hankinnassa. Jäsenvaltioiden on varmistettava, että verkonhaltijoita rohkaistaan tehostamaan infrastruktuurin rakennetta ja toimintaa ja että direktiivin 2009/72/EY puitteissa tariffit suovat toimittajille mahdollisuuden edistää kansallisista olosuhteista riippuen kuluttajien osallistumista järjestelmän tehokkuuteen, mukaan lukien kysyntäjoustop. (4, s. 22.)

2.1.2 Älyverkkotyöryhmän linjaukset

Suomessa työ- ja elinkeinoministeriö asetti vuoden 2016 syyskuussa työryhmän selvittämään älyverkkosten mahdollisuuksia sähkömarkkinoilla. Työryhmän loppuraportista löytyy mainintoja myös kysyntäjoustop. (5.)

Työryhmän linjauksen mukaan kysyntäjoustop tulee olla kilpailtua liiketoimintaa. Työryhmä suhtautuu myönteisesti energiayhteisöihin sekä asiakkaiden sähköntuotantoa ja kulutusta suuremmiksi kokonaisuuksiksi kerääviin aggregaattoreihin. Työryhmä kannattaa myös sähkönsiirron vaiheistettua kiinteän maksun korvaamista tehokomponentilla, mikä tarkoittaisi sitä, että asiakkaalla olisi entistä paremmat mahdollisuudet vaikuttaa siirtolaskuunsa. Työryhmän mukaan rakennusten tekniset järjestelmät tulisi suunnitella tukemaan joustop. Työryhmän linjauksessa mainitaan, että uusiin älymittareihin ehdotettu kuormanohjaus toisi kysyntäjoustop suurelle määrälle asiakkaita. (6, s. 3)

2.2 Kysyntäjoustop tarjoamat hyödyt

Tukkumarkkinoilla sähkön hinta määräytyy tuotannon ja kulutuksen perusteella myynti- ja ostotarjousten mukaan. Kulutusta voidaan joustavamman kysynnän myötä siirtää edullisimmille tunneille, jolloin hinnanmuodostuksessa kulutuksen painoarvo kasvaa. Kysyntäjoustop hyödyttääkin siis kulutustaan pienentävien lisäksi kaikkia muitakin asiakkaita.

Kysyntäjoustoplla voidaan myös huippukuormitustilanteessa turvata tehon riittävyys. Poikkeustilanteiden lisäksi sähköverkon ollessa normaalitilassa kulutuksen pienentäminen vähentää kapasiteettitarvetta sekä sähköverkossa että sähköntuotannossa. (7.)

2.3 Kysyntäjousto Suomessa

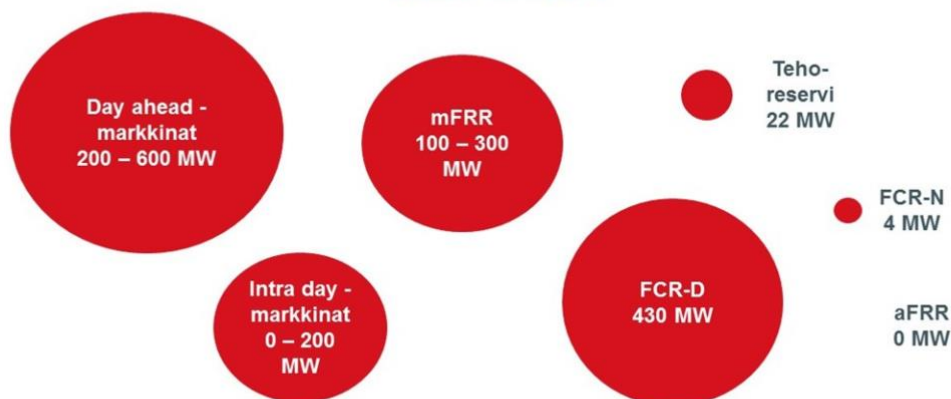
Suurteollisuuden kuormat ovat toimineet Suomessa jo pitkään tehotasapainon ylläpidossa käytettävänä reserveinä. Tällaisia teollisuuden aloja ovat esimerkiksi metsä-, metalli- ja kemianteollisuus. Sähkömarkkinoilla uusi asia ovat myös aggregaattorit eli yritykset, jotka kykenevät muodostamaan pienkulutuksesta ja -tuotannosta isomman kokonaisuuden, jolla yritys voi osallistua eri markkinoille. (1.)

Kuluttajista erityisesti sähkölämmittäjät ovat tottuneet ohjaamaan sähkönkulutustaan edullisille tunneille automaation avulla, esimerkiksi niin, että lämminvesivaraajaa lämmitetään yöllä, jolloin sähkö on halvimmillaan. Älymittauksella ja uusilla tuotteilla pystytään muuttamaan tämä perinteinen malli hienojakoisemmaksi, tuntitasolle. Lisäksi kuluttajan oma pientuontanto pystytään rinnastamaan kysyntäjoustoan, mikäli se reagoi markkinatilanteeseen. (1; 8.)

Kuvassa 1 on kuvattu kysyntäjouston tilanne Suomessa vuoden 2018 alussa. mFRR, FCR-D, FCR-N ja aFRR ovat häiriöreservejä ja ovat osa kysyntäjouston toteutusta.

Day-ahead -markkinat ovat suomeksi vuorokausimarkkinat. Vuorokausimarkkinoiden osuus oli 18.1.2018 200–600 megawattia kysyntäjoudesta. Vuorokausimarkkinoilla tarkoitetaan markkinoita, jotka johtavat sähkön fyysiseen toimitukseen. Markkinoiden tuotteita Pohjoismaiden markkinoilla ovat Elspot ja Elbas. Elspot on vuorokautta ennen sähkön toimitusta käytävä suljettu huutokauppa, jossa kauppaa käydään tuntitasolla seuraavalle päivälle. Toimittajat lähettävät tarjoukset sähköpörssiin, jossa tarjousten perusteella muodostuu sähkön systeemihinta ja aluehinnat tunneittain. (9.)

Kysyntäjouaston tilanne Suomessa status 18.1.2018



KUVA 1. Kysyntäjouaston tilanne Suomessa (1)

FCR-D tarkoittaa taajuusohjattavaa häiriöreserviä. Taajuusohjattua häiriöreserviä ylläpidetään niin paljon, että järjestelmä kestää suuren tuotantoyksikön irtoamisen verkosta ilman yli 0,5 Hz:n taajuuspoikkeamaa. Taajuusohjatun häiriöreservin osuus Suomen kysyntäjoudesta oli 18.1.2018 430 megawattia. (10.)

mFRR tarkoittaa manuaalista nopeaa häiriöreserviä, jota jokaisen kantaverkkoyhtiön tulee ylläpitää oman alueensa mitoitettavan vian verran. mFRR:n osuus kysyntäjoudesta oli Suomessa 18.1.2018 100–300 megawattia. (10.)

Elbas eli Intra day -markkinat on suomeksi Päivänsisäinen jälkikaupankäynti Elspot-kaupalle. Elbasilla pyritään tasapainottamaan Elspot-markkinoita. Päivänsisäisen kaupankäynnin osuus kysyntäjoudesta oli 18.1.2018 0–200 megawattia. Vuorokauden jokaiselle tunnille kaupankäynti on jatkuva-aikaista ja aina avoinna. Kaupankäynti on käytävä viimeistään tunti ennen sähkötoimitusta. (9.)

Tehoreservin osuus kysyntäjoudesta Suomessa oli 18.1.2018 22 megawattia. Suomessa tehoreservipalvelulla turvataan sähkön toimintavarmuus tilanteissa,

joissa sähkön suunniteltu hankintamäärä ei riitä kattamaan odotettua sähkön kulutusta. (11.)

FCR-N eli taajuusohjatun käyttöreservin osuus Suomen kysyntäjoustopuolesta 18.1.2018 oli 4 megawattia. Taajuusohjattua käyttöreserviä pidetään joka hetki yllä yhteensä 600 megawatin normaalisäätöä varten. (10.)

aFRR:n eli automaattisen taajuudenhallintareservin osuus Suomen kysyntäjoustopuolesta oli 18.1.2018 0 megawattia. Automaattista taajuudenhallintareserviä on sovittu ylläpidettävän 300 megawattia Pohjoismaissa vuonna 2018 aamu-, iltta- ja vuorokaudenvaihteen tunneilla. (10.)

2.4 Kysyntäjoustopuolella Euroopassa

Kysyntäjoustopuolella ei tulla tulevaisuudessa toteuttamaan vain Suomessa, vaan koko Euroopan alueella. Kysyntäjoustopuolella on toteutettu eritasoisesti eri maissa. Taulukon 1 tiedot on otettu Smart Energy Demand Coalitionin (SEDC) 2017 julkaisemasta Euroopan kysyntäjoustopuolella tilannetta käsittelevästä raportista. Taulukossa on pisteytetty Euroopan valtioita, joissa kysyntäjoustopuolella on toteutettu. Taulukon pisteytys on asteikolla 0–5. 0 on huonoin pistemäärä ja 5 on paras. Taulukon maakohtaisista yhteispisteistä voidaan päätellä, että Ranska, Sveitsi, Belgia, Irlanti, Iso-Britannia ja Suomi ovat kysyntäjoustopuolella kehityksessä kärkisijoilla. Taulukko kuvaa kysyntäjoustopuolella kehitystä neljällä eri osa-alueella. (12, s. 197.)

Kysyntäjoustopuolella pääsy sähkömarkkinoille

Suomi on alkanut tutkimuksen mukaan tutkia erilaisten ohjelmien muodossa kysyntäjoustopuolella potentiaalia sähköverkkojen tasapainotukseen. Suomi sai tästä arvostelukohdasta täydet viisi pistettä. Täysiin pisteisiin tällä osa-alueella ylsivät myös Ranska, Irlanti ja Iso-Britannia. (12, s.199.)

Palveluntarjoajien mahdollisuudet tarjota palveluja

Useissa Euroopan valtioissa, mukaan lukien Suomessa, ei ole osoitettu selkeitä malleja kysyntäjoustopuolella eri markkinaosapuolille, ja siitä johtuen suuri osa taulukon

valtioista jäi minimipisteille tai pisteittä. Täysiin pisteisiin tällä osa-alueella ylsivät Irlanti, Ranska ja Sveitsi, joissa malleja on säädetty tarkemmin. (12, s. 199–201.)

TAULUKKO 1. Euroopan kysyntäjoustop kehitys pisteytettynä (12, s. 197)

Valtio	Kysyntäjoustop pääsy sähkömarkkinoille	Palveluntarjoajien palvelujen tarjoamis mahdollisuudet	Markkina tuotteiden vaatimukset	Mittaus, mittausten varmistus, maksut ja sakkoran gaistukset	Yhteensä
Alankomaat	3	1	3	3	10
Belgia	3	3	5	3	14
Espanja	0	0	1	0	1
Irlanti	5	5	3	1	14
Iso-Britannia	5	3	3	3	14
Italia	1	0	1	1	3
Itävalta	3	1	5	3	12
Norja	3	1	3	3	10
Portugali	0	0	1	0	1
Puola	1	1	1	1	4
Ranska	5	5	5	3	18
Ruotsi	3	1	3	3	10
Saksa	3	1	3	3	10
Slovenia	1	1	0	3	5
Suomi	5	1	3	5	14
Sveitsi	3	5	3	5	16
Tanska	3	1	3	3	10
Viro	1	0	1	0	2

Markkinatuotteiden vaatimukset

Markkinatuotteiden vaatimukset tarkoittavat käytännössä markkinapaikkojen vaatimusten sopeuttamista teknisesti pienemmille toimijoille. Tuotteiden kokoa mitataan tässä tapauksessa megawatteina. Tällä osa-alueella täysiin pisteisiin ylsivät Belgia, Itävalta ja Ranska. Raportin mukaan Belgiassa on tehty suuria muutoksia sähkön kulutuksen tasapainottamista auttaviin markkinoihin, jonka ansiosta kysyntäjoustop on siellä noussut kilpailukykyiseksi. Belgiassa on saatu markkinoille neljä erilaista tuotetta, joiden minimikoko on 1 megawatti. Suomi saa

tästä osa-alueesta kolme pistettä, mutta raportista ei selviä pisteytyksen syytä. (12, s. 201–202.)

Mittaus, mittausten varmistus, maksut ja sakkorangaistukset

Tässä kohdassa vertaillaan kysyntäjoustop toteutusta käytännössä. Suomi ja Sveitsi ovat saaneet tästä osa-alueesta täydet pisteet, mutta useat maat ovat jääneet kolmeen pisteeseen tai vielä alemmas. Tästä voidaan päätellä, että soveltamisessa Suomi ja Sveitsi ovat muihin Euroopan maihin verrattuna edistyneet kysyntäjoustop käytäntöön panemisessa keskivertoa paremmin. Raportin mukaan mittaus- ja perusmenetelmiä koskevat säädökset ja standardit muokkaantuvat edelleen useissa maissa. Edistystä on tapahtunut vakioitujen standardisointisääntöjen ja perusmenetelmien laatimisessa. Ongelmia on kuitenkin edelleen, kuten järjestelmän läpinäkyvyys ja useat erilaiset tekniset toteutusmenetelmät. Useat eri menetelmät aiheuttavat sekavuutta. Raportissa todetaan, että nämä ovat suuria esteitä kysyntään reagoimiselle ja joustop saavuttamiselle. (12, s. 202–204.)

3 SÄHKÖLASKUN MUODOSTUMINEN

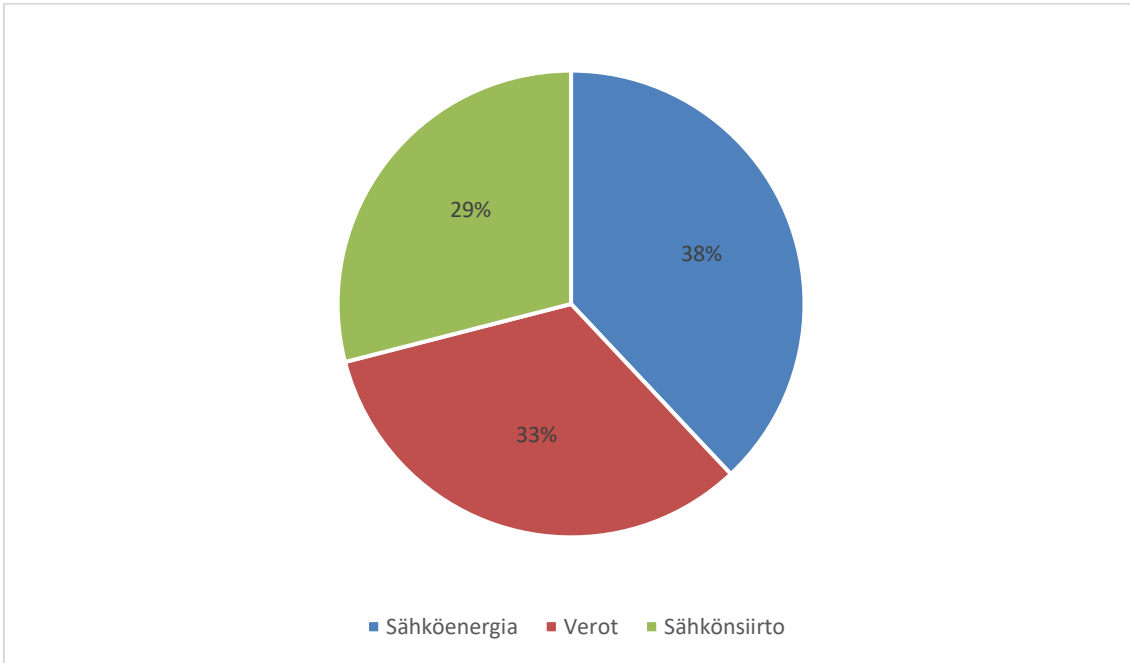
Sähkölasku muodostuu kolmesta tekijästä: sähkön siirtohinna, sähkön energiahinnasta sekä veroista. Sähkön siirron laskuttaa aina asiakkaan asuinalueella hallinnoiva jakeluverkkoyhtiö, esimerkiksi Oulussa jakeluverkkoyhtiönä toimii Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy.

Uutena sähkön siirtohinnan komponenttina on yleistymässä tehomaksu. Tehomaksu on komponentti, joka saa kuluttajan siirtomaksun vastaamaan todellisia siirrosta ja siirtokapasiteetin varaamisesta syntyneitä kustannuksia. Sähköenergian osuuden sähkölaskusta asiakas voi kilpailuttaa ja ostaa miltä tahansa sähköenergian tarjoajalta. (13; 14.)

Sähkölaskun tulee sisältää laskuissa tai sen liitteissä seuraavat tiedot:

- sähkön siirron ja/tai sähköenergian käyttömaksut
- laskutettavien yksiköiden määrä
- jokaisen maksun yksikköhinta
- jokaisen maksun osalta veloitettava summa
- samalla laskulla olevien veloitettavien maksujen summa
- sähköveron määrä ja määräytymisperuste
- arvonlisäveron määrä ja määräytymisperuste
- sähkösopimuksen voimassaoloaika
- ohjeet asiakasvalituksen tekoon
- tiedot kuluttajien käytössä olevista riitojenratkaisumenettelyistä (15.)

Kuvassa 2 on esitetty 2000 kilowattituntia vuodessa käyttävän Kuopion Sähköverkko Oy:n asiakkaan sähkölaskun muodostava kustannusjakauma.



KUVA 2. Kustannusjakauma (16)

3.1 Sähkövero

Sähkövero muodostuu sähkön huoltovarmuusmaksusta sekä valmisteverosta. Sähkönkäyttäjää on kahta veroluokkaa kulutuskohteesta riippuen: Sähköveroluokka 1 ja Sähköveroluokka 2. Sähköveroluokka 1 koskee yksityistalouksia, maa- ja metsätalouksia, rakennusalaan sekä palvelutoimintaa. Sähköveroluokka 1:ssä veron suuruus on ollut vuodesta 2015 lähtien 2,7937 senttiä kilowattitunnilta, sisältäen 24% arvonlisäveron. Sähköveroluokka 2 koskee valmistavaa teollisuutta, kaivostoimintaa, louhintaa sekä ammattimaista kasvihuoneviljelyä harjoittavia yrityksiä. Sähköveroluokka 2:ssa veron suuruus on 0,87172 senttiä kilowattitunnilta. Arvonlisävero 24% on laskettu mukaan. Mikäli yritys ei maksa sähköstä arvonlisäveroa, on veron osuus silloin 0,703 senttiä kilowattitunnilta. Sähköveromalli perustuu lakiin sähkön ja eräiden muiden polttoaineiden valmisteverosta 1260/96. (17.)

3.2 Sähkön energiahinta

Sähkön energiahinta koostuu sähkön hankinnasta ja sen myyntityöstä sähkönmyyjälle aiheutuneista kuluista. Energiahinta muodostuu yleensä kiinteästä kuukausittaisesta perusmaksusta ja sähkön kulutuksesta riippuvasta

kulutusmaksusta. Käytössä on lisäksi erilaisia kuluttajille suunnattuja tariffeja. Sähkönmyyjät jaottelevat tariffit tavallisesti Valtioneuvoston asetuksen 66/2009 mukaisesti. Valtioneuvoston asetus sähkötoimitusten selvityksestä ja mittauksesta jakaa tariffit seuraavalla tavalla:

- Yleissähkössä kulutusmaksu on yksihintainen.
- Tuntihinnoitellussa sähkössä on erillinen kulutusmaksu joka tunnille.
- Kaksiaikasähkössä on erillinen kulutusmaksu yö- ja päiväajan sähkölle. Päiväsähköenergia on jokaisena päivänä kello 7:n ja 22:n välillä kulutettua sähköä. Yösähköenergia puolestaan on muuna aikana kulutettua sähköä.
- Kausiaikasähkössä kulutetusta sähköstä ja muusta energiasta maksetaan erillinen kulutusmaksu talviarkipäivänä. Talviarkipäiväksi määritellään tavallisesti aika marraskuun alusta maaliskuun loppuun, ja viikkotasolla maanantaista lauantaihin kello 7:n ja 22:n välillä. (18.)

3.3 Sähkön siirtohint

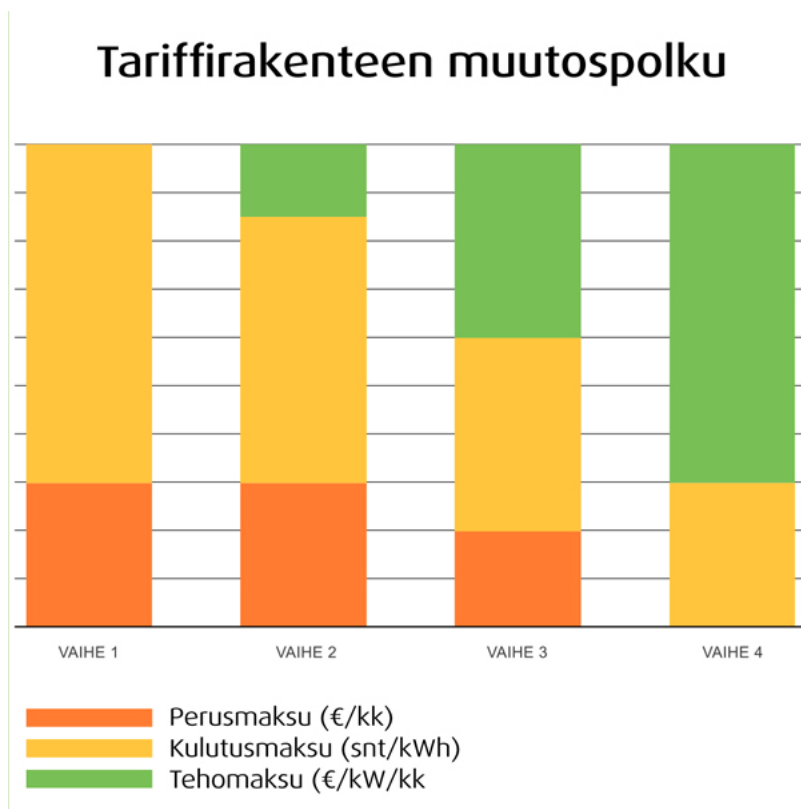
Sähkön siirto tarkoittaa sähkön tuomista sähkövoimalasta sähköverkoja pitkin kuluttajalle. Sähkön siirtopalvelun hinta muodostuu sähkön siirrosta, sähkön kulutuksen mittauksesta ja taseselvityksestä. Siirtomaksuilla katetaan sähköverkon vaatimat investoinnit, ylläpito ja verkon käyttökustannukset. Energiahinnan tavoin siirtohintakin muodostuu kuukausittain perittävästä kiinteästä perusmaksusta ja sähkön kulutuksesta riippuvasta maksusta, jossa maksetaan tietty määrä euroja kulutettua kilowattituntia kohden.

Uutena komponenttina sähkönsiirron hinnoitteluun osa sähköyhtiöistä on ottanut tehomaksun, jota peritään kilowattien mukaan. Siirtohinnoitteluunkin voidaan soveltaa energiahinnoittelusta tuttuja aikasähkötariffeja, jolloin käytöstä riippuva maksu on eri ajankohtina erisuuruinen. (14; 18.)

3.4 Tehomaksu

Tehomaksu on sähkönsiirron komponentti, jonka avulla pyritään tasoittamaan sähköverkkoa kuormittavia huipputehopiikkejä, ohjaamaan sähköverkon kulutusta sekä lisäämään siirtomaksun kustannusvastaavuutta jakamalla verkon kustannuksia oikeudenmukaisemmin niille sähkönkäyttäjille, jotka sähköverkon

kapasiteettia käyttävät. Laskutettavan tehomaksun suuruuteen vaikuttavat asiakkaan kulutustottumukset: mitä tasaisempaa asiakkaan sähkönkulutus on, sitä pienempi on kuukausittain maksettava tehomaksu. Tehomaksun kaavillaan korvaavan tulevaisuudessa sähkönsiirron perusmaksun asteittain. Tehomaksulla pyritään ohjaamaan kuluttajia joustavampaan energiankäyttöön kannustamalla heitä käyttämään enemmän sähköä alhaisen kulutuksen tunteilla. Kuvassa 3 on esitetty Kuopion Sähköverkko Oy:n kaavailema tariffirakenteen muutospolku. (16.)



KUVA 3. Tariffirakenteen muutospolku (16)

Tämän päivän huipputehopiikit johtuvat sähkönkäytön muuttumisesta kotitalouksissa. Tehopiikkejä aiheuttavat muun muassa erilaiset lämmitysratkaisut, kuten sähkölämmitys sekä kotitalouksissa yleistyneet ilma- ja maalämpöpumput. Niiden sähkönkulutus on leudolla säällä kohtuullisen vähäistä ja laitteistot pystyvät kohtuullisella määrällä sähköä tuottamaan riittävästi lämpöä. Ongelmana onkin talvipakkaset, jolloin useiden talouksien sähkölämmittimet ja lämmityslaitteistojen pumput käyvät samaan aikaan. Tällaisissa tilanteissa sähköverkko on kovan rasituksen alaisena. Siirtoyhtiöillä suurimmat

kustannukset liittyvät sähköverkkoihin tehtyjen investointien pääomakustannuksiin ja sähköverkon kunnossapitokustannuksiin. Tästä voidaan päätellä, että mitä korkeammaksi siirtoyhtiö joutuu siirtokapasiteettinsa mitoittamaan, sitä korkeammaksi muodostuvat verkon kustannukset. (14; 19; 20.)

3.4.1 Tehomaksun tarjoajat

Tehomaksu on jo käytössä useilla sähköyhtiöillä. LE-Sähköverkko Oy (Lahden Energia), Kuopion Sähköverkko Oy ja Helen Sähköverkko Oy tarjoavat tehomaksun sisältäviä sähkösopimuksia myös kuluttajille, joiden sähkösopimuksena on aikasiirtosähkösopimus. Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy tarjoaa tehomaksun vain suurimmille asiakkailleen, joiden pääsulakekoko on yli 63 ampeeria, tämä tarkoittaa käytännössä ainoastaan yritysasiakkaita. Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n tapaan myös LE-Sähköverkko Oy (Lahden Energia), Kuopion Sähköverkko Oy ja Helen Sähköverkko Oy tarjoavat tehomaksua myös yritysasiakkaille.

Yrityksille myydään kahdenlaisia tehosähkösopimuksia: pienjännitetehosähköä, jonka jännite on suuruudeltaan 400 voltia sekä keskijännitetehosähköä, jonka jännite on suuruudeltaan joko 10 kilovolttia tai 20 kilovolttia. Pien- ja keskijännitesiiirron yritysasiakkailta laskutetaan myös loistehomaksu, yksityisiltä aikasiirtoasiakkailta sitä ei peritä. (21; 22; 23; 24; 25.)

3.4.2 Tehomaksu aikasiirtoasiakkailta

Tehomaksu määräytyy eri sähköyhtiöillä eri tavalla aikasiirtoasiakkaille:

- Helen Sähköverkko Oy:llä aikasiirtoasiakkaiden tehomaksu määräytyy kuukauden kolmanneksi suurimman tuntitehon mukaan.
- LE-Sähköverkko Oy:llä aikasiirtoasiakkaiden tehomaksu määräytyy edellisen vuoden aikana suurimman mitatun keskituntitehon mukaan.
- Kuopion Sähköverkko Oy:llä aikasiirtoasiakkaiden tehosähkön laskutusperusteena on laskutuskuukauden korkein keskituntiteho. (20; 22; 23.)

3.4.3 Tehomaksu pien- ja keskijännitetelesiirtoasiakkailta

Pien- ja keskijännitetelesiirtoasiakkailta, niin kuin aikasiirtoasiakkailta tehomaksu määräytyy eri sähköyhtiöillä eri tavalla:

- Helen Sähköverkko Oy:llä laskutettava teho on kuukauden suurin aikavälillä maanantaista perjantaihin kello 7:n ja 21:n välillä mitattu tunnin keskiteho.
- LE-Sähköverkko Oy:llä laskutettava teho määräytyy edellisen vuoden aikana suurimman keskituntitehon perusteella.
- Kuopion Sähköverkko Oy:llä laskutettava teho määräytyy viimeisen vuoden suurimman keskituntitehon perusteella.
- Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:llä laskutettava teho määräytyy viimeisen vuoden kahden suurimman tuntitehon keskiarvoa käyttäen. (22; 23; 24; 26.)

3.4.4 Loistehomaksu

Loistehosta laskuttamalla jakeluverkkoyhtiöt haluavat kannustaa yritysasiakkaitaan kompensoimaan loistehoa paikallisesti, koska loisteho aiheuttaa siirto- ja jakeluverkkoon siirtohäviöitä ja jännitteenalenemaa. Loistehomaksu pien- ja keskijännitetelesiirtoasiakkailta määräytyy sähköyhtiöstä riippuen eri tavoilla:

- Helen Sähköverkko Oy:llä laskutettava loisteho on kuukauden suurin mitattu ottoteho, josta on vähennetty joko 40 % saman kuukauden korkeimmasta mitatusta päätötehostä tai vähintään 50 kilovaria.
- LE-Sähköverkko Oy:llä loistehon ilmaisuus on 20 % laskutuskuukauden mitatusta päätötehostä.
- Kuopion Sähköverkko Oy:llä loistehomaksu on 20 % laskutuskuukauden korkeimmasta päätötehon keskituntitehostä.
- Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:llä loistehomaksu määräytyy laskutettavan kuukauden aikana esiintyneen korkeimman loistehotuntihuipun mukaan. Loistehohuipusta jätetään veloittamatta 0,16

kilovaria jokaista samalta laskutuskaudelta veloittavaa pätötehoaiipun kilowattia kohden.

Kaikilla näillä neljällä yhtiöllä loistehosta huomioidaan vain verkosta otettu loisteho. (22; 23; 24; 26.)

3.5 Spot-sähkö

Spot-sähkön hinta määräytyy jokaiselle vuorokauden tunnille erikseen pohjoismaisen, Norjassa sijaitsevassa Nord Pool-sähköpörssissä muodostuvan sähkön hinnan mukaan.

Spot- ja pörssisähkösopimuksia on tarjolla eri sähköyhtiöillä. Pörssihinta on aina sama riippumatta siitä, miltä sähköyhtiöltä sähkön ostaa. Eroja pörssisähkösopimuksissa voi olla kuitenkin perusmaksuissa sekä yhtiöiden ottamissa välityspalkkioissa.

Kuluttaja voi hyötyä Spot-sähköstä käyttämällä vähemmän sähköä, kun sähkönhintaa on korkea, ja keskittämällä kulutuksen aikaan, jolloin hinta on edullinen. Tällä tavalla Spot-sähkö mahdollistaa myös tietynlaisen manuaalisen kysynnän jouston, sillä Spot-sähkön hinta on korkeimman kulutuksen tunneilla korkeimmillaan. Kuluttaja voi esimerkiksi mobiilisovelluksen kautta saada tiedon hinnan ollessa korkealla ja osaa näin laskea kulutustaan. (27; 28.)

4 SÄHKÖNKULUTUKSEN MITTAUS SUOMESSA

Sähkön loppukäyttäjän laskutus tapahtuu sähkömittarin mittauslukemien perusteella. Paikkakohtaisen jakeluverkonhaltijan vastuulla on sähkön mittauspalveluiden järjestäminen ja mittaustietojen ilmoittaminen myös sähkönmyyjälle. Jakeluverkonhaltijan kanssa on sovittavissa erilaisten tariffien, kuten kaksiaika-, kausi- tai tuntimittauksen käytöstä.

Suomessa on pääsääntöisesti käytössä etäluettava sähkönkulutuksen tuntimittaus. Etäluettavilta mittareilta luetaan kulutustiedot kerran vuorokaudessa ja sähkölasku muodostuu näiden kulutustietojen perusteella. (29.)

4.1 Etäluettavan sähkömittarin tekniikka

Etäluettavien AMM-tekniikkaa (Automatic Meter Management) käyttävien sähkömittareiden asennus vanhojen sähkömittareiden tilalle aloitettiin Suomessa vuonna 2009 voimaan astuneen valtioneuvoston asetuksen vuoksi. Mittareiden asennus saatiin päätökseen vuonna 2013. (30.)

Etäluettavien mittareiden käyttöikä on noin 10–15 vuotta, joten lähitulevaisuudessa sähkömittarit tullaan uusimaan toistamiseen. Uudet mittarit tulevat todennäköisesti käyttämään AMR-tekniikkaa (Automatic Meter Reading). Tekniikka mahdollistaa tarkemman kulutuksen seurannan ja hallinnan sekä soveltuu paremmin kysyntäjoustopohjaiseen toteutukseen. (31.)

Etäluettavissa mittareissa on vuosia ollut mahdollisuus sähkölämmittäjille suunnattuun kuormanohjaukseen. Kuormanohjaus on toteutettu SLY-kytkennässä verkon kautta tapahtuvalla kello-ohjauksella. Kuormanohjauksessa hyödynnetään aikasähkön yö- ja päivähinnoittelua, esimerkiksi kytkemällä suuria kuormia kuten lämminvesivaraaja toimimaan ainoastaan yösähkön aikaan. Kuormanohjaus on käytännössä yksinkertaista kuluttajien kysyntäjoustopohjaista toteutusta. (32, s. 1–3.)

4.2 Sähkön mittaamista koskeva lainsäädäntö

4.2.1 Sähkömarkkinalain vaatimukset

Sähkömarkkinalain 22. pykälässä ohjataan verkonhaltijaa seuraavasti:

Verkonhaltijan on järjestettävä sähköverkossaan taseselvityksen ja laskutuksen perustana oleva sähköntoimitusten mittaaminen sekä mittaustietojen rekisteröinti ja ilmoittaminen sähkömarkkinoiden osapuolille. Laskutuksessa tarvittavat mittaustiedot on ilmoitettava sähkön toimittajalle sähkönkäyttöpaikka- tai mittaushetkellä. Verkonhaltijan on mittaustietojen järjestämisessä pyrittävä edistämään verkon käyttäjien tehokasta ja säästäväistä sähkönkäyttöä sekä sähköntoimituksen ohjausmahdollisuuksien hyödyntämistä. Verkonhaltija voi tarjota mittaustietojen järjestämistä joko omana työnä tai hankkia palvelun. Palvelu voidaan hankkia tällöin myös sähkökaupan muulta osapuolelta. (33.)

Sähkömarkkinalain 71. pykälässä ohjeistetaan kiinteistön omistajaa mittalaitteista kiinteistön, kuten kerrostalon sisäisessä verkossa seuraavasti:

Kiinteistönhaltijan on järjestettävä toimitetun sähkön mittaus asianmukaisella tavalla, jos sähkö toimitetaan loppukäyttäjille kiinteistön tai sitä vastaavan kiinteistöryhmän sisäisen sähköverkon kautta. Sähkön mittaus tulee tällöin järjestää siten, että jos loppukäyttäjä haluaa vaihtaa sähköntoimittajaa, huoneistokohtaisen mittauslaitteiston mittaama sähkönkulutus voidaan helposti ja teknisesti luotettavalla tavalla etäluentaominaisuutta tai mittauslaitteiston lähettämiä mittauspulseja hyväksi käyttäen sekä yhdistää kiinteistön tai sitä vastaavan kiinteistöryhmän mitattuun kokonaiskulutukseen että erottaa siitä. Mittaus tulee järjestää myös siten, että siitä aiheutuvat kustannukset ovat loppukäyttäjille ja sähköntoimittajille mahdollisimman pienet. (33.)

4.2.2 Asetusten 66/2009 ja 217/2016 linjaukset

Valtioneuvosto on asetuksessa 66/2009 luvussa 6 asettanut tiettyjä linjauksia koskien sähkömittareita ja kuormanohjausta. Lisäksi Valtioneuvoston asetuksessa 217/2016 pykälässä 5 a tehdään lisäys pykälään 5. (30; 34.)

Pykälä 1 tarkoittaa verkonhaltijan tehtäviä sähköntoimituksen mittauksessa.

Verkonhaltijan tulee järjestää taseselvityksen ja laskutuksen perustana oleva sähköntoimitusten mittaus sekä mittaustietojen rekisteröinti ja ilmoittaminen sähkömarkkinoiden osapuolille.

Laskutuksessa tarvittavat mittaustiedot on ilmoitettava sähkön toimittajalle sähkönkäyttöpaikka- tai mittauskohtaisesti.

Verkonhaltijan on mittauspalvelua järjestäessään pyrittävä edistämään asiakkaidensa tehokasta ja säästäväistä sähkönkäyttöä sekä sähkönkäytön ohjausmahdollisuuksien hyödyntämistä.

Verkonhaltija voi tarjota mittauspalvelua joko omana työnä tai hankkia palvelun. Palvelu voidaan hankkia tällöin myös sähkökaupan muulta osapuolelta. (30.)

Pykälä 2 tarkentaa sähkön käyttöpaikan varustamista mittauslaitteistolla seuraavasti:

Sähköverkkoon liitetty sähkönkäyttöpaikka tulee varustaa sähkönkulutuksen mittaavalla mittauslaitteistolla. Jos sähköliittymään kuuluu useita sähkönkäyttöpaikkoja, joihin sähkö myydään sähköverkon kautta, tulee kukin sähkönkäyttöpaikka erikseen varustaa mittauslaitteistolla.

Mittauslaitteisto ei ole pakollinen sähköverkkoon liitettyssä verkonhaltijan sähkölaitteistossa eikä sähkönkäyttöpaikassa, jonka pääsulake on pienempi kuin 3 x 25 ampeeria, jos sähkönkäyttöpaikan sähkönkulutus voidaan arvioida riittävän tarkasti. (30.)

Pykälä 4 tarkentaa yleisiä vaatimuksia koskien myös etäluenta seuraavasti:

Sähkönkulutuksen ja pienimuotoisen sähköntuotannon mittauksen tulee perustua tuntimittaukseen ja mittauslaitteiston etäluentaan (tuntimittausvelvoite).

Jakeluverkonhaltija voi poiketa tuntimittausvelvoitteesta enintään 20 prosentissa jakeluverkon sähkönkäyttöpaikoista, jos poikkeuksen piiriin kuuluva sähkönkäyttöpaikka:

- 1) on varustettu enintään 3 x 25 ampeerin pääsulakkeilla;
- 2) on varustettu yli 3 x 25 ampeerin pääsulakkeilla, sähkönkulutus sähkönkäyttöpaikassa on enintään 5 000 kilowattituntia vuodessa ja sähkö ostetaan sähkönkäyttöpaikkaan sähkömarkkinalain 21 §:ssä tarkoitetuilla ehdoilla.

Jakeluverkonhaltijan tulee laatia suunnitelma tämän pykälän mukaiset vaatimukset täyttävän mittauksen järjestämiseksi jakeluverkossaan. Suunnitelma tulee toimittaa sähkömarkkinaviranomaiselle. (30.)

Pykälä 5 tarkentaa kuormanohjausta koskevia säädöksiä seuraavasti:

Sähkökäyttöpaikkaan asennettavan tuntimittauslaitteiston ja verkonhaltijan mittautietoa käsittelevän tietojärjestelmän tulee sisältää vähintään seuraavat ominaisuudet:

- 1) mittauslaitteiston rekisteröimä tieto tulee voida lukea laitteiston muistista viestintäverkon kautta (etäluentaominaisuus);
- 2) mittauslaitteiston tulee rekisteröidä yli kolmen minuutin pituisen jännitteettömän ajan alkamis- ja päättymisajankohta;
- 3) mittauslaitteiston tulee kyetä vastaanottamaan ja panemaan täytäntöön tai välittämään eteenpäin viestintäverkon kautta lähetettäviä kuormanohjauskomentoja;
- 4) mittautietoa sekä jännitteetöntä aikaa koskeva tieto tulee tallentaa verkonhaltijan mittautietoa käsittelevään tietojärjestelmään, jossa tuntikohtainen mittautietoa tulee säilyttää vähintään kuusi vuotta ja jännitteetöntä aikaa koskeva tieto vähintään kaksi vuotta;
- 5) mittauslaitteiston ja verkonhaltijan mittautietoa käsittelevän tietojärjestelmän tietosuojan tulee olla asianmukaisesti varmistettu.

Verkonhaltijan tulee asiakkaansa erillisestä tilauksesta tarjota tämän käyttöön tuntimittauslaitteisto, jossa on standardoitu liitännä reaaliaikaista sähkökulutuksen seuranta varten. (30.)

Pykälässä 5 a käsitellään sähköverkossa erillisestä tilauksesta tarjottavia mittauslaitteistoja seuraavasti:

Verkonhaltijan tulee asiakkaansa erillisestä tilauksesta tarjota tämän käyttöön:

- 1) tuntimittauslaitteisto, jossa on standardoitu liitännä reaaliaikaista sähkökulutuksen seuranta varten;
- 2) tuntimittauslaitteisto sähköntuotannon määrän erillistä mittaamista varten sähköntuotantolaitteistossa tai voimalaitoksessa, jonka varustaminen erillisellä mittauslaitteistolla ei ole pakollista;
- 3) tuntimittauslaitteisto sähköajoneuvojen latauspisteen sähkötoimituksen erillistä mittaamista varten. (34.)

Pykälä 8 tarkentaa asiakkaan oikeutta omaa sähkökulutustaan koskevan tiedon hyödyntämiseen seuraavasti:

Verkonhaltijan asiakkaalla on oikeus ilman erillistä korvausta saada käyttöönsä omaa sähkökulutustaan koskeva mittautietoa, jonka verkonhaltija on kerännyt asiakkaan sähkökäyttöpaikan mittauslaitteistosta. Tuntimittauslaitteiston keräämä tieto on

saatettava asiakkaan käyttöön viimeistään samanaikaisesti kuin se on luovutettu tai valmistunut luovutettavaksi tämän sähköntoimittajalle. Tieto luovutetaan sähkönkäyttöpaikka- tai mittauskohtaisesti sellaisessa muodossa, joka vastaa toimialan ja verkonhaltijan yleisesti noudattamaa menettelytapaa.

Mittaustiedon luovuttamiseen muulle kuin tässä asetuksessa säädetylle taholle on oltava asiakkaan suostumus. (30.)

5 KYSYNTÄJOUSTON TEKNINEN TOTEUTUS

Eräänlaista kysyntäjoustoja on toteutettu tähän mennessä enimmäkseen perinteisin menetelmin. Sähkölämmittäjien suosiossa oleva aikasähkösopimus tarjoaa yö- ja päivä-sähkölle eri hinnat. Tämä on kannustanut sähkölämmittäjiä jakamaan muita suuria sähkökuormiaan, kuten lämminvesivaraajan lämmittämisen yöajalle, jolloin sähkö on halvempaa.

Tämä ei kuitenkaan tänä päivänä riitä sähkön kulutushuippujen tasoittamiseen, vaan tulevaisuudessa tarvitaan tekniikkaa, joka kykenee kytkemään pienempiä kuormia tuntitasolla irti verkosta. Tähän on myös Valtioneuvoston älyverkkotyöryhmän loppuraportissa otettu kantaa, ja se esittääkin yhtenä vaihtoehtona uusia älymittareita. Uusien älymittareiden lisäksi kysyntäjoustoja on kuitenkin mahdollista toteuttaa erilaisilla automaatiojärjestelmillä, esimerkiksi saksalais-sveitsiläisellä digitalSTROM-järjestelmällä. (35; 36.)

5.1 digitalSTROM-järjestelmä

digitalSTROM AG on saksalais-sveitsiläinen digitalSTROM AG:n kehittämä kotiautomaatiojärjestelmä. digitalSTROM AG on perustettu vuonna 2011. digitalSTROM kehittää ja valmistaa ohjainmoduuleita, joiden avulla voidaan muuttaa vanha rakennus älykkääksi ilman uutta kaapelointia. (35; 36.)

digitalSTROM esitellään yrityksen internetsivuilla täydellisenä älykotiratkaisuna jokaiseen tarpeeseen, kiinteistöön, budjettiin ja rakennuksen ikään katsomatta. digitalSTROM-järjestelmän teknologiaa kuvataan luotettavaksi hankinnaksi myös tulevaisuutta silmällä pitäen. (35.)

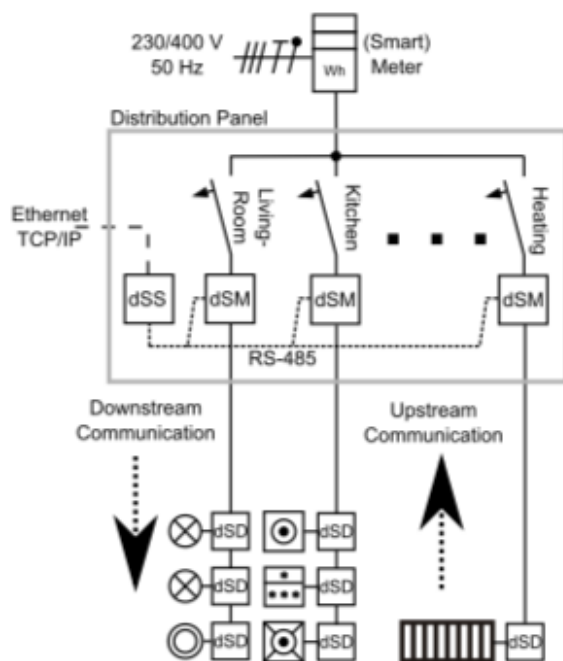
digitalSTROM-tekniikka sopii niin uusiin rakenteilla oleviin kuin vanhoihin kiinteistöihin. Erityisen digitalSTROM-järjestelmästä tekee se, että järjestelmä käyttää tiedonsiirtoon mittari- ja ohjausmoduulien välillä sähköverkon kaapelointia pitkin kulkevia ohjaussignaaleita, joten järjestelmän asennus ei vaadi saneerauskohteissakaan uusia kaapelointeja, vaan vain pieniä lisäyksiä. (35.)

Järjestelmän tekniikka

digitalSTROM järjestelmän ytimenä moduuleissa toimii digitalSTROM chip, suomeksi se on digitalSTROM-siru, ja valmistaja käyttää siitä lyhennettä dSID. Siru on digitalSTROM-järjestelmässä kommunikoinnin taustalla. Siruja on jokaisessa digitalSTROM-laitteessa ja moduulissa. (35; 37, s.38)

digitalSTROM-järjestelmän mittarit (dSM) kommunikoivat sirujen kanssa sähköverkon välityksellä. Mittarit asennetaan sähkökeskukseen. Jokainen haluttu ohjausryhmä vaatii oman mittarin, joten mittareiden määrä on asennuksen koosta riippuvainen. Mittarit asennetaan pääsulakkeelta katsottuna ryhmäkohtaisten johdonsuojakatkaisijoiden perään. Mittarit voivat keskustella keskenään useilla stantardisoiduilla yhteysprotokollilla ja tiedonsiirtoyhteyksillä, esimerkiksi RS-485 -väylällä. (37, s. 38–39)

Kuvassa 4 on havainnollistettu digitalSTROM-järjestelmän kommunikointia. ”Downstream Communication” tarkoittaa dSM-mittareilta moduuleille meneviä ohjauskäskyjä ja ”Upstream Communication” tarkoittaa esimerkiksi ohjausmoduuleilta tulevia energiakulutus- ja tilatietoja.



KUVA 4. digitalSTROM-järjestelmän periaatekuva (35)

Pääsulakkeelta katsottuna ennen ryhmäkohtaisia johdonsuojakatkaisijoita asennetaan suodatin (dSF), jonka tehtävä on estää digitalSTROM-järjestelmän käyttämien signaalien kantautuminen etäluettavalle sähkömittarille tai sähköjako verkkoon. (35; 37 s. 37–38; 38; 39.)

Käyttökohteisiin, kuten pistorasioihin ja kytkimiin, asennettavat dSID:n sisältävät ohjainmoduulit ovat pienikokoisia, joten ne mahtuvat ongelmitta olemassa olevien asennusten kytkentäkoteloihin. Ohjainmoduuleilla pystytään luomaan erilaisia toimintoja esimerkiksi valaistukseen. Asentamalla ohjainmoduulit valaisimen kytkimeen ja pistorasiaan, pystytään näin esimerkiksi himmentämään valaistusta pitämällä kytkintä painettuna. (35; 37 s. 37–38; 38; 39.)

Ohjainmoduuleita löytyy eri käyttökohteisiin laaja valikoima valaistuksesta ilmastoinnin hallintaan. Ohjainmoduulit on merkitty käyttökohteen mukaan eri väreillä. Värien merkitykset on eritelty taulukossa 2. (35; 37 s. 37–38; 38; 39.)

TAULUKKO 2. digitalSTROM-moduulien värikoodit (35; 37, s. 38)

Väri	Moduulien käyttökohde
Keltainen	Valot
Sininen	Lämmitys, ilmastointi
Harmaa	Verhot ja markiisit
Vihreä	Kulunvalvonta
Musta	Jokeri (monia käyttökohteita)

Ohjelmistot ja datansiirto

digitalSTROM-moduuleihin on jo tehtaalla laitettu tietyt oletustoiminnot, joten esimerkiksi edellä mainittu valojen himmennys toimii heti, kun moduulit on asennettu ja niissä virtaa sähkö. digitalSTROM-järjestelmän moduulien asetuksia pystytään muuttamaan ja seuramaan web-pohjaisesta käyttöliittymästä. Web-pohjaisella käyttöliittymällä voi ohjelmoida järjestelmään erilaisia ehtoja, jotka liittyvät esimerkiksi kuormanohjaukseen. digitalSTROM on lisäksi julkaissut useita mobiilisovelluksia Android- ja iOS-käyttöjärjestelmille. (35.)

Vesa Pietilä on diplomityössään kuvannut digitalSTROM-järjestelmän automatiikkaa ja datansiirtoa näin:

Datansiirto tapahtuu isännän (master) ja orjan (slave) välillä. Isäntänä toimii aina dSM ja orjana dSID. Orjalaite muodostaa datalähetysten lisäämällä tai vähentämällä tehonkulutusta nollakohdan aikana. Isäntä lähettää viestin oikosulkemalla sähköverkkoa. Koska sähköverkon jännite lähellä nollakohdan ylitystä on pieni, virtaa kulkee datan lähetysten aikana vähän. Databitit ovat siten pohjimmiltaan virtamoduloituja. (35; 37, s. 39.)

Energiankulutuksen mittaus ja kuormanohjaus

Jokainen digitalSTROM-moduulin sisältää dSID-sirun, joka kykenee älytoimintojen lisäksi energiakulutuksen mittaukseen. Järjestelmän energiakulutusta voidaan seurata niin laite- ja huonetasolla, kuin ryhmä- ja huonetasolla. Mittaustulokset on saatavilla internetin välityksellä web-käyttöliittymään ja mobiililaitteiden sovelluksiin. Laitteiden kuormaa pystytään lisäksi hallitsemaan

web-käyttöliittymän kautta asetettavilla ehdoilla, tai käyttöpaikalta fyysisesti ohjaamalla. (37, s. 39.)

digitalSTROM-järjestelmän avoimien rajapintojen ansiosta järjestelmä on mahdollista kytkeä suoraan etäluettavaan sähkömittariin, tämä on visualisoitu kuvassa 4. Suomessa mittarit eivät tosin kykene ohjaamaan digitalSTROM-järjestelmää, sillä Suomessa sähkönsiirtoyhtiöt eivät lähetä standardoituja ohjausviestejä, joiden perusteella kuormanohjaukset voisivat toimia. Saatavilla on ainoastaan joidenkin sähköyhtiöiden tarjoamia järjestelmäkohtaisia sähkölämmityksen kuormanohjaukseen tarkoitettuja ohjausviestejä.

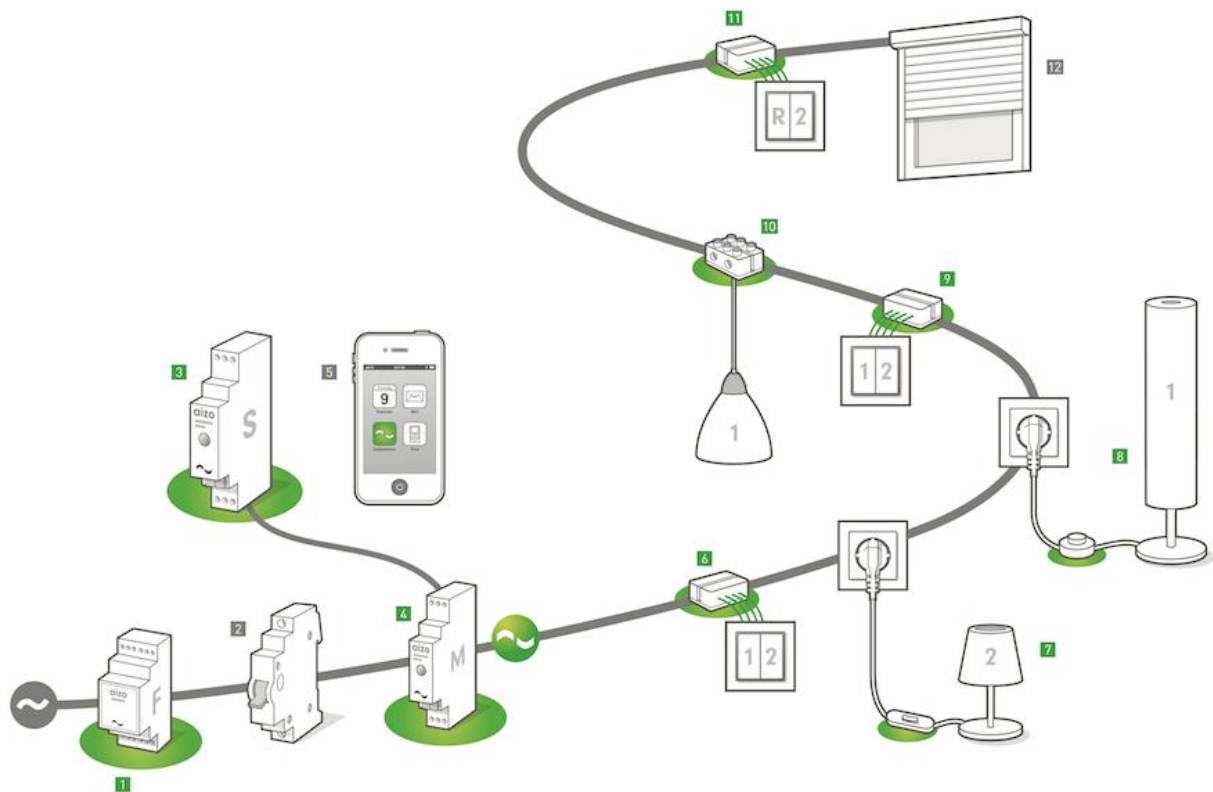
digitalSTROM-järjestelmän dSID-tekniikka mahdollistaa mittausinformaation tarjoamisen kustakin katkaisijasta tai jopa yksittäisistä laitteesta sekä sähkölaitteiden ohjauksen omaan PLC-topologiaan perustuen. Tämä tekniikka tekeekin digitalSTROM-järjestelmästä hyvän kysyntäjoustop toteutukseen. (35.)

Tarvittaessa energiantoimittaja voi käyttää tätä infrastruktuuria kuormaprofiilin optimoimiseksi. Tällöin järjestelmän loppukäyttäjä saa tiedon oman energiankulutuksensa jakautumisesta ja pystyy siten havaitsemaan esimerkiksi suuria energiamääriä kuluttavia laitteita. Järjestelmän voi tarpeen tullen ohjelmoida sammuttamaan tai ilmoittamaan paljon energiaa kuluttavista laitteista. Järjestelmä voidaan myös vaihtoehtoisesti asettaa esimerkiksi himmentämään valaistusta ja hillitsemään pienempiä kuormia, kun paljon energiaa vievää laitetta käytetään.

(40, s. 1)

Järjestelmäesimerkki

Kuvassa 5 on selitetty digitalSTROM-järjestelmän toimintaperiaate. digitalSTROM-järjestelmä koostuu sähkökeskukseen asennettavista suodattimesta, mittareista, serveristä ja kohteen laitteiden ohjauspisteisiin sijoitettavista ohjainmoduuleista. Jokainen järjestelmän moduuli mittaa lisäksi energiankulutusta. digitalSTROM-laitteissa on myöskin led-indikaattorit, joilla laitteet ilmoittavat toimintansa tilasta. (39.)



KUVA 5. digitalSTROM-järjestelmä (41)

Kuvan 5 komponentit lueteltuna ja selitettynä järjestyksessä alhaalta vasemmalta ylös oikealle:

- Komponentti 1 on suodatin (dSF). Suodatin sijoitetaan johdonsuojakatkaisijan ja pääsulakkeen väliin. Kuvassa 6 on vastaava suodatin.



KUVA 6. Suodatin (39; 42)

- Komponentti 2 on tavallinen johdonsuojakatkaisija

- Komponentti 4 on mittari (dSM) ja se on seuraavana johdossa johdonsuojakatkaisijan jälkeen. Sähköryhmien välinen tiedonsiirto tapahtuu mittarien välillä. Kuvassa 7 on esimerkki mittarista.



KUVA 7. Mittari (39; 42)

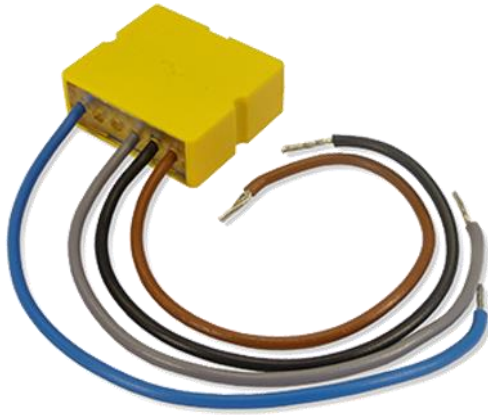
- Komponentti 3 on palvelin (dSS) ja se on liitettynä mittariin. Palvelimeen voidaan liittää halutessa reititin, jonka avulla laitteisto voidaan liittää internet-verkkoon ja laitteistoa pystytään ohjaamaan WiFi-yhteyden välityksellä mobiililaitteesta (komponentti 5). Kuvassa 8 on esimerkki palvelimesta.



KUVA 8. Palvelin (39; 42)

- Komponentit 6 ja 9 ovat valaisimien kytkimiin sijoitettavia ohjainmoduuleita. Kuvassa 9 on kyseinen moduuli. Kuvan 5 moduulit ovat valaisimien 1 ja 2 ohjainmoduulien 7, 8 ja 10 ohjaukseen suunnattuja.

Ohjainmoduulit, kuten kaikki muutkin moduulit, ovat kiinteistön sähköverkon johtoja pitkin yhteydessä toisiinsa.



KUVA 9. Valaistuksen kytkimen ohjainmoduuli (39; 42)

- Komponentit 7 ja 8 ovat pistorasiavalaisimien johtoihin asennettavia ohjainmoduuleita. Kuvassa 10 on esimerkki moduulista. Ohjainmoduulit saavat ohjauksensa komponenteilta 6 ja 9.



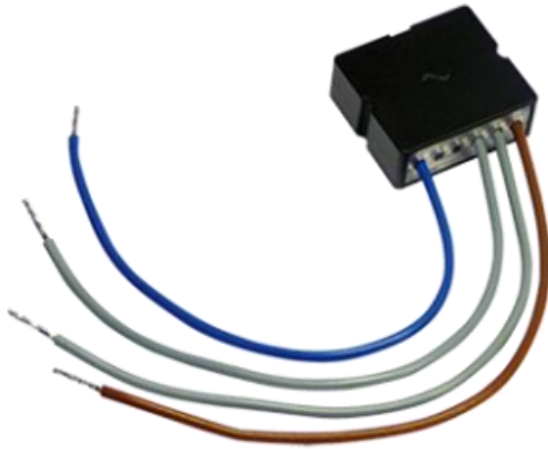
KUVA 10. Johtoon asennettava ohjainmoduuli. (39; 42)

- Komponentti 10 on valaisinta ohjaava ohjainmoduuli ja saa ohjauksensa komponenteilta 6 ja 9. Kuvassa 11 on vastaava moduuli.



KUVA 11. Valaisimen ohjainmoduuli (39; 42)

- Komponentti 11 on niin sanottu jokeri-ohjainmoduuli, sillä pystytään ohjaamaan valaisimen lisäksi esimerkiksi sälekaihtimien ohjainlaitteita. Kuvassa 12 on vastaava moduuli.



KUVA 12. Jokeri-kytkinohjainmoduuli (39; 42)

- Komponentti 12 on verhojen ohjainmoduuli, joka saa ohjauskomentonsa jokeri-ohjainmoduulilta. Kuvassa 13 on vastaava moduuli.



KUVA 13. Verhojen ohjainmoduuli (39; 42)

5.2 SLY-kytkennällä toteutettu kuormanohjaus

SLY-kytkentä perustuu Sähkölaitosyhdistyksen vuonna 1986 julkaisemaan kytkentäsuositukseen. Suositus otettiin käyttöön sähköjakeluyhtiöiden sähkölämmityksen ohjausten yhtenäistämiseksi.

Kytkenällä on muutamia releohjaukseen perustuvia ominaisuuksia. Kytkennän tariffiohjauksesta saadaan varaavan sähkölämmityksen ohjaamiseen tarvittava yöaikatieto. Kytkennällä kytetään myös eräänlaiseen tehon rajoittamiseen, sillä kytkentä mahdollistaa esimerkiksi sähkölämmityksen ja kiukaan käytön vuorottelun.

Kytkenässä on lisäksi käyttökytkimet sähkölämmitykselle sekä lämminvesivaraajan päiväkäytölle, jotta lämmitykset voi tarpeen tullen pakottaa päälle. SLY-kytkennässä on varattu kosketin myös jakeluverkkoyhtiön tekemää tehonohjausta varten. (32; 43.)

6 TEKNISETN TOTEUTUSTEN HYÖDYT JA KUSTANNUKSET

Kysyntäjousta on mahdollista toteuttaa useilla eri tekniikoilla. Kuluttajalle tutuin on sähkölämmityksen ohjaukseen käytetty SLY-tekniikka. Vuonna 2019 markkinoilla on järjestelmiä, jotka ovat paljon tällaista reletekniikkaa kehittyneempiä.

Uudempana järjestelmänä digitalSTROM on oiva vertailukohde SLY-tekniikalle, sillä digitalSTROM-järjestelmän asennus esimerkiksi vanhoihin kiinteistöihin ei vaadi suuria teknisiä muutoksia, ainoastaan pieniä lisäyksiä. Lisäksi digitalSTROM-järjestelmä tarjoaa monipuolisemmat hyödyt perinteiseen tekniikkaan verrattuna.

6.1 Perinteinen tekniikka

Perinteisellä tavalla toteutettu asunnon kuormanohjaus ei vaadi suuria investointeja tekniikan osalta, mutta tällainen tekniikka ei myöskään tuo käyttäjälleen suuria hyötyjä. Pelkästään perinteisellä tekniikalla ilman uudempiä teknologioita ei pystytä saamaan reaaliaikaista kulutustietoa kuluttajan tietoon.

Perinteiseksi tekniikaksi voi ajatella aikasähköasiakkaiden sähkölämmityksen kuormanohjauksessa käytetyn SLY-kytkennän. Kytkentäsarja maksaa 149 euroa (LIITE 1), johon lisäkustannukseksi tulee asennustyöt. SLY-kytkennän toteutus on mahdollista tehdä käytössä oleviin sähkömittareihin.

Lämmityksen hallinta perinteisessä sähkölämmitteisessä asunnossa tapahtuu yleensä termostaateilla ja antureilla. Termostaatit maksavat noin 50 euroa kappaleelta. Energiankulutuksen seurantaan energialaitokset ja jakeluverkkoyhtiöt tarjoavat erilaisia selain- ja sovelluspohjaisia järjestelmiä. Järjestelmien tiedot päivittyvät esimerkiksi Oulun Sähkömyynti Oy:n Energiatilipalvelussa kuluttajan saataville kerran vuorokaudessa. Näillä järjestelmillä kulutuksen näkee kokonaistasolla, ei esimerkiksi laite- tai huonekohtaisesti. (LIITE 1; 44.)

SLY-tekniikka ei pysty reagoimaan sähköverkossa esiintyviin huippukulutuspiikkeihin, sillä Suomessa jakeluverkkoyhtiöt eivät lähetä kuluttajien sähkömittareihin ohjaustietoa. SLY-tekniikka sisältää myös releen, jolla jakeluverkkoyhtiö voisi rajoittaa kuluttajan tehonkäyttöä.

SLY-tekniikalla saadut säästöt perustuvat ainoastaan yö- ja päivä sähköenergian erihintaisuuteen. Tekniikalla pystytään saamaan pieniä säästöjä myös esimerkiksi sähkölämmityksen ja saunan vuorottelulla.

6.2 digitalSTROM

digitalSTROM-järjestelmä vaatii puolestaan suuremman alkuinvestoinnin, noin 3000 euron laitteiston, sekä lisäksi sen asennuksen. Asennuksestaan ei koidu kuitenkaan erityisen suuria kuluja, sillä esimerkiksi saneerauskohteiden asennuksissa ei tarvita esimerkiksi uusia kaapelointeja tai tiedonsiirtoväyliä, kuten muissa yleisissä kotiautomaatiojärjestelmissä.

Lämmitysjärjestelmien hallinta digitalSTROM-järjestelmällä on mahdollista toteuttaa digitalSTROM-antureilla sekä sinisillä lämmityksen ohjausmoduuleilla. digitalSTROM-anturit ja ohjausmoduulit ovat yhteydessä sähköjohtoja pitkin dSM-mittariin. Mittarilta tieto siirtyy serveriin liitetyn reitittimen välityksellä kuluttajan valitsemaan mobiili- tai selainsovellukseen. Sovelluksesta on kuluttajalle saatavilla reaaliaikainen kulutustieto hänen haluamallaan tarkkuudella. Kuluttaja voi seurata kulutustaan joko lämmityselementti-, huone- tai asuntotasolla. Sovelluksesta kuluttaja voi seuraamisen lisäksi ohjata lämmitystään sekä asettaa tehorajoituksia.

Lämmityslaitteiston lisäksi digitalSTROM-järjestelmään voi liittää ilmastointilaitteita, valaistuksia, kodinkoneita, kiuaskuormituksia sekä esimerkiksi audio-järjestelmiä. digitalSTROM tarjoaa siis energiamittauksen lisäksi asumismukavuutta lisääviä ominaisuuksia.

digitalSTROM-järjestelmä, SLY-tekniikka tai muutkaan järjestelmät eivät Suomessa saa jakeluverkkoyhtiöiltä etäluettavan sähkömittarin kautta ohjaustietoja sähköverkon kulutuspiikeistä, joten tästä johtuen myöskään digitalSTROM ei pysty reagoimaan huippukulutukseen. Ulkoisella ohjauksella ja

oikeanlaisilla asetuksilla digitalSTROM-järjestelmä kykenisi reagoimaan ja rajoittamaan asumuksen kulutusta.

6.3 Komponenttien kustannusten vertailu

Liitteessä 1 taulukoitujen järjestelmien komponentit poikkeavat suuresti toisistaan niin hinnaltaan kuin ominaisuuksiltaan. Taulukoissa on esitetty ainoastaan tarvittavat tekniset komponentit. Taulukoissa ei ole laskettu tarvittavien syöttöjohtojen määriä tai hintoja, eikä myöskään työkustannuksia.

Kohde, johon laskenta on tehty, on asunto, jossa on 3 makuuhuonetta, olohuone, keittiö, kylpyhuone ja wc. Tällaiselle kohteelle lämmityksen ohjaukseen suunnattu digitalSTROM-järjestelmä maksaisi 3338 euroa ja SLY-tekniikalla toteutettu järjestelmä maksaisi noin 534 euroa.

7 ESIMERKKIKULUTTAJA

Taulukolla 3 halutaan selvittää laskennallisella tasolla kuluttajan mahdollisuutta kysyntäjoustopuomaan säästöön, mikäli kuluttajalla olisi järjestelmä, jolla kulutus saataisiin ohjattua halvemmän sähkön ajalle. Kuluttajalle mahdollisesti syntyvän säästön lisäksi tällainen kulutuksen ohjaus vähentäisi sähköverkon rasitusta huippukulutuksen aikaan. Esimerkkikuluttajan asunto on kolmio kaukolämmitetyssä kerrostalossa, joten suurimmat mahdolliset siirrettävät kuormat muodostuvat kodinkoneista ja ilmastointilaitteistosta. Esimerkkiasiakkaalla on käytössä spot-sähkösopimus, joten sähkönhinta vaihtelee tunneittain.

TAULUKKO 3. Esimerkkiasiakkaan kulutuksen ohjaus

Vuoden 2018 kokonaiskulutus (kWh)	Vuoden kokonaiskustannus (€)			
2540	156			
	Kulutus (kWh)	Kustannus (€)	ka-hinta/kWh (snt)	Aika (h)
Halvat tunnit	333	17	5,12	2190
Kalliit tunnit	2208	14	6,29	6570
30 % vuoden kalliiden tuntien kulutuksesta (kWh)	30 % kulutuksen hinta kalliiden tuntien keskiarvohinnalla (€)	30 % kulutuksen hinta halpojen tuntien keskiarvohinnalla (€)	säästö (€)	säästö (%)
736	46	38	9	5,5 %

Taulukossa 3 on esitetty esimerkkiasiakkaan vuoden 2018 kokonaiskulutus, joka on noin 2540 kilowattituntia. Vuoden energiamaksujen kokonaiskustannus on ollut noin 156 euroa. Vuoden kulutuksen tiedot on saatu esimerkkiasiakkaan Oulun Sähkömyynti Oy:n tarjoamalta energiatililtä. (44.)

Vuorokauden edullisiksi tunneiksi on määritelty tunnit kello 0:00:n ja 6:00:n välillä. Vuorokauden kalliimmiksi tunneiksi on määritelty loput tunnit kello 6:00:n ja 0:00:n välillä. Esimerkkiasiakkaalta siirretään 30% kalliimpien tuntien kulutuksesta halpojen tuntien ajalle. 30% kalliimpien tuntien kulutuksesta on noin 736 kilowattituntia.

736 kilowattituntia maksaa kalliiden tuntien keskiarvohinnalla noin 46,24 euroa ja halpojen tuntien keskiarvohinnalla 37,65 euroa. Näiden hintojen erotukseksi tulee 8,58 euroa, joka on kulutuksen siirtämisestä syntynyt säästö. 8,58 euroa on noin 5,5% vuoden kokonaisenergiamaksusta.

Säästöt eivät ole yksittäiselle kuluttajalle suuri kannustin kysyntäjoustop toteutukseen osallistumiseen. Taulukon esimerkkiasiakas asuu kaukolämmitetyssä kerrostaloasunnossa. Tällainen sähkön tyyppikäyttäjä kuluttaa keskimäärin 2000 kilowattituntia vuodessa, joten hänen sähköverkkoon yksin synnyttämänsä kuormitus ei ole suuri. Yksittäisen asiakkaan kulutuksen vähentäminen ei juurikaan näy sähköverkossa kalliiden korkean kulutuksen tuntien aikana. Huomionarvoista on kuitenkin tällaisten tyyppikäyttäjien suuri määrä sähköverkossa ja jos liitteen 2 kaltaista kulutuksen ohjausta olisi mahdollista toteuttaa isommalla volyyymillä, voisivat saavutettavat säästöt olla sähköverkkotasolla suurempia. (50.)

8 TEHOMAKSUTARJONTA KULUTTAJILLE

Tehomaksulla halutaan ohjata aikasiirtoasiakkaita kohti kysyntäjoustoa. Tehomaksu tulee tulevaisuudessa korvaamaan sähkönsiirtolaskun perusmaksuosan. Tätä ei ole vielä kokonaisuudessaan tapahtunut, sillä jakeluverkkoyhtiöt toteuttavat siirtymää portaittain.

Liitteen 2 taulukossa 6 vertaillaan kolmen alueen jakeluverkkoyhtiötä aikasiirtoasiakkaiden tehomaksusopimusten perusteella. Kaikki Suomessa toimivat jakeluverkkoyhtiöt eivät ole ottaneet tehomaksua käyttöön. Liitteessä on huomioitu myös hintaeroihin mahdollisesti vaikuttavat tekijät. Vertailun kohteina ovat LE-Sähköverkko Oy, Kuopion Sähköverkko Oy, sekä Helen Sähköverkko Oy. Näiden yhtiöiden samankaltaiset aikasiirtosopimukset mahdollistavat vertailun.

Liitteen 2 taulukosta 6 voi päätellä hinnoittelun suhteen muutamia asioita. LE-Sähköverkko Oy:n ja Kuopion Sähköverkko Oy:n hinnat ovat lähellä toisiaan. LE-sähköverkko Oy:n kuukausittainen perusmaksu on hieman matalampi kuin Kuopion Sähköverkko Oy:n, mutta LE-Sähköverkko Oy:n päiväajan siirtomaksun hinta on Kuopion Sähköverkko Oy:n vastaavaa reilusti korkeampi. Helen Sähköverkko Oy:n perus- ja tehomaksu ovat puolestaan reilusti LE-Sähköverkko Oy:n ja Kuopion Sähköverkko Oy:n vastaavia maksuja korkeammat.

Helen Sähköverkko Oy:n alueella on noin 6000 kilometriä sähköverkkoa, jota käyttää 385 000 asiakasta. LE-Sähköverkko Oy:n verkon pituus on 4785 kilometriä ja Kuopion Sähköverkko Oy:n verkon pituus on 1500 kilometriä. Viimeksi mainittujen kahden yhtiön asiakasmäärät eivät yhteensä ole edes puolta Helen Sähköverkko Oy:n asiakasmäärästä. Tästä voidaan päätellä, että Helen Sähköverkko Oy:n käyttäjämäärä voi olla yksi syy kalliimpiin maksuihin.

Suuret käyttäjämäärät nostavat verkon huippukulutusta, jolloin verkon ylläpito ja rakentaminen aiheuttavat jakeluyhtiölle enemmän kustannuksia. Erityisesti kustannuksia aiheutuu tilanteessa, jossa yhdellä jakeluverkon alueella on kiinteistöjä, joiden asiakasprofiili on samankaltainen. Esimerkki tällaisesta tilanteesta on alue, jossa sijaitsee paljon omakotitaloasujia. Omakotitaloasujilla

kulutuksen tehohuiput ajoittuvat usein samoille ajanhetkille. Asiakkaalta perityt maksut ovat siis suoraan verrannollisia verkon ylläpidon ja rakentamiseen aiheuttamiin kustannuksiin. Perusmaksun korvaaminen kokonaan tehomaksulla olisi hyödyllistä, jotta jakeluverkkoyhtiöt voisivat tarkemmin laskuttaa paljon tehoa käyttävää asiakasta. Perusmaksun ollessa käytössä myös verkkoa vähemmän käyttävät asiakkaat osallistuvat paljon tehoa käyttävän asiakkaan kustannuksiin.

Kuluttajilla tehomaksu voi nostaa korkeankulutuksen tunneilla paljon tehoa käyttävän asiakkaan siirtolaskua, mutta toisaalta se ohjaa maksun verkon kuormituksesta tarkemmin kuin vanha energiankäytön laskutukseen perustuva malli. Aikasiirtoasiakkaiden sähkönsiirtosopimusten muuttuessa tehoerusteisiksi sähköä tasaisesti ja vähän korkean kulutuksen tunneilla käyttävien asiakkaiden laskut voisivat pienentyä.

9 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia kuluttajan mahdollisuuksia osallistua kysyntäjoustoan. Työssä käsiteltiin kysyntäjoustoan vaikuttavia tekijöitä lainsäädännöstä tekniikkaan. Suomessa kuluttajatason kysyntäjoustoaa ei ole juurikaan vielä toteutettu. Jakeluverkkoyhtiöt ovat sen sijaan alkaneet muuttamaan sähkölämmittäjien suosimaa aikasiirtotariffia kysyntäjoustoan suuntaan tehomaksun avulla.

Liitteessä 1 esitetty SLY-kytkentä on selvästi yksinkertaisempaa tekniikkaa eikä se vastaa nykyajan tarpeisiin. digitalSTROM-järjestelmä puolestaan on teknisesti paljon korkeammalla tasolla ja sen avulla voidaan edullisesti luoda saneerauskohteista energiatehokkaita sekä älykkäitä.

Molempien järjestelmien ongelma kysyntäjoustoan toteutuksen kannalta on jakeluverkkoyhtiön ohjauksen puute. Mikäli mittarilta saisi ohjausviestin esimerkiksi sähköverkon kuormituksen ollessa huipussaan, voisi sekä digitalSTROM-järjestelmä, että SLY-tekniikalla varustettu kuormanohjausjärjestelmä vähentää kuluttajan sähkönkulutusta.

Taulukon 3 esimerkkiasiakas voisi käyttämästään järjestelmästä riippumatta hallita tehonkulutustaan korkean kulutuksen ja hinnan aikaan, mikäli jakeluverkkoyhtiö lähettäisi asiakkaan järjestelmään ohjausviestin. Tästä voidaan siis päätellä, että Suomessa olisi kehitettävää jakeluverkkoyhtiöillä. Lisäksi lähivuosina tulisi miettiä, miten kuluttaja voisi helpoimmin ohjata kulutustaan ja osallistua kysyntäjoustoan haluamallaan tavalla.

Kaikki automaatiota sisältävät järjestelmät maksavat reilusti SLY-tekniikkaa enemmän, eikä digitalSTROM-järjestelmä ole poikkeus. digitalSTROM-järjestelmä poikkeaa sen sijaan tiedonsiirtotekniikaltaan useista yleisistä automaatiojärjestelmistä. digitalSTROM-järjestelmän moduuleiden tiedonsiirron tapahtuessa rakennuksen sähköverkossa, esimerkiksi saneerauskohteet eivät vaatisi uusia kaapelointeja, mikä säästää järjestelmän asennuksessa useita työtunteja.

Teknologian lisäksi kysyntäjoustop toteutus vaatii muutoksia sähkönsiirron laskutukseen. Tilanteessa, jossa tehomaksu korvaa perusmaksun kokonaan, syntyisi oikeudenmukainen laskutusmuoto aikasiirron asiakkaiden lisäksi kaikille muillekin sähkön käyttäjille.

Tehomaksu ohjaisi mahdolliset suurien tehomäärien käyttäjät jakamaan kulutustaan pienemmän kulutuksen tunneille, mikä mahdollisesti vähentäisi ajan mittaan sähköverkon mitoituksen tarvetta sekä loisi tarvittavaa säätövaraa tuotantoa ajatellen. Mikäli suuria kustannuksia aiheuttavat sähkön käyttäjät saataisiin kuluttamaan sähkö tasaisemmin, voisi se tuoda säästöjä loppujen lopuksi myös jakeluverkkoyhtiöiden asiakkaille.

Kysyntäjousto on vielä vuonna 2019 haastava opinnäytetyöaihe etenkin kuluttajatasolla. Kuluttajatasolla kysyntäjoustop ei ole toteutettu suurissa määrin. Konkreettisimmaksi esimerkiksi kuluttajatason kysyntäjoustop toteutuksesta Suomessa nousi selvästi joidenkin jakeluverkkoyhtiöiden aikasiirtoasiakkailleen tarjoama tehomaksukomponentti.

Kysyntäjoustop kehittäminen on tärkeää ensisijaisesti sähköverkkojen huipputehojen rajoittamiseksi ja sähköverkon ylimitoituksen ehkäisemiseksi. Kysyntäjoustop käytännön toteutuksen edellyttämät investoinnit eivät perustasolla kuitenkaan saa tuoda kuluttajalle tai jakeluverkkoyhtiöille suuria kustannuksia.

digitalSTROM-järjestelmän kaltaisia järjestelmiä voisi ajatella lähinnä lisäpalveluiksi kulutuksen seurantaan ja ohjaamiseen. Lisäpalveluiksi tarjoamista tukevat automaatiojärjestelmien sisältämät asumismukavuutta lisäävät toiminnallisuudet. Mikäli tehomaksun otettaisiin laajemmin käyttöön, kannustaisi se asiakkaita hankkimaan tehonhallintaa helpottavia automaatoratkaisuja omistamiinsa kohteisiin.

LÄHTEET

1. Kysyntäjousto. Fingrid Oyj. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/>. Hakupäivä 4.3.2019.
2. Tehotasapaino. Fingrid Oyj. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkojarjestelman-tila/tehotasapaino/>. Hakupäivä 6.3.2019.
3. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/72/EY 2009. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0072&from=en>. Hakupäivä 18.3.2019.
4. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU 2012. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF>. Hakupäivä 18.3.2019.
5. Työ- ja elinkeinoministeriö. Työryhmä selvittää älyverkkojen mahdollisuudet sähkömarkkinoilla. Saatavissa: <https://tem.fi/alyverkot>. Hakupäivä 19.3.2019.
6. Työ- ja elinkeinoministeriö. Älyverkkotyöryhmän loppuraportti 2018. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161148/TEM_33_2018.pdf. Hakupäivä 19.3.2019.
7. Honkapuro, Samuli 2016. Kysyntäjousto hyödyttää kaikkia sähkökäyttäjiä ja laskee sähkön hintaa. Saatavissa: <http://smartenergytransition.fi/fi/kysyntajousto-hyodyttaa-kaikkia-sahkon-kayttajia-ja-laskee-sahkon-hintaa/>. Hakupäivä 6.3.2019.

8. Energiateollisuus ry. Kulutusjousto. Saatavissa:
[https://energia.fi/perustietoa_energia-
alasta/energiamarkkinat/sahkomarkkinat/kulutusjousto/](https://energia.fi/perustietoa_energia-
alasta/energiamarkkinat/sahkomarkkinat/kulutusjousto/). Hakupäivä
6.3.2019
9. Energiateollisuus ry. Sähköpörssin ammattisanasto. Saatavissa:
https://energia.fi/files/1149/Sahkopörssin_ammattisanasto.pdf.
Hakupäivä 6.3.2019.
10. Reservit ja säätösähkö 2018. Fingrid Oyj. Saatavissa:
[https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-
saatosahko/#reservivelvoitteet-ja-hankintakanavat](https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-
saatosahko/#reservivelvoitteet-ja-hankintakanavat). Hakupäivä 6.3.2019.
11. Tehoreservipalvelu. Fingrid Oyj. Saatavissa:
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/tehoreservi/>. Hakupäivä 6.3.2019.
12. Explicit Demand Response in Europe. Mapping the Markets 2017.
Saatavissa: [https://www.smartenergy.eu/wp-content/uploads/2017/04/SEDC-
Explicit-Demand-Response-in-Europe-Mapping-the-Markets-2017.pdf](https://www.smartenergy.eu/wp-content/uploads/2017/04/SEDC-
Explicit-Demand-Response-in-Europe-Mapping-the-Markets-2017.pdf).
Hakupäivä 19.3.2019
13. Sähkölasku. Energiavirasto. Saatavissa:
<https://www.energiavirasto.fi/sahkolasku>. Hakupäivä 7.3.2019.
14. Huuki, Hannu – Karhinen, Santtu – Kopsakangas-Savolainen, Maria –
Ruokamo, Enni – Svento, Rauli 2018. Sähkön siirtohinnan tehomaksu ja
joustava sähköjärjestelmä. Saatavissa: [http://www.bcdcenergia.fi/blogi-ja-
uutiset-sahkon-siirtohinnan-tehomaksu-ja-joustava-sahkojarjestelma/](http://www.bcdcenergia.fi/blogi-ja-
uutiset-sahkon-siirtohinnan-tehomaksu-ja-joustava-sahkojarjestelma/).
Hakupäivä 12.3.2019.
15. Sähkölaskun sisältö. Energiavirasto. Saatavissa:
<https://www.energiavirasto.fi/sahkolaskun-sisalto1>. Hakupäivä 7.3.2019.

16. Wuolio, Tiinu 2018. Tehomaksu muuttaa aikasiirtoasiakkaan sähkölaskua. Sähköviesti 23.5.2018. Kuopion Energia Oy. Saatavissa: <https://www.sahkoviesti.fi/uutiset-2/tehomaksu-muuttaa-aikasiirtoasiakkaan-sahkolaskua.html>. Hakupäivä 7.3.2019.
17. Elenia Oy. Sähkövero. Saatavissa: <https://www.elenia.fi/sahko/sahkovero>. Hakupäivä 7.3.2019.
18. Sähkön hinta. Energiavirasto. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/sahkon-hinta>. Hakupäivä 7.3.2019.
19. Nikkala, Arto 2017. Tehomaksu on aidosti asiakaslähtöinen uudistus. Lahti Energia Oy. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/fi/ajankohtaista/artikkelit/tehomaksu-aidosti-asiakaslahtoinen-uudistus>. Hakupäivä 12.3.2019.
20. Helen Sähköverkko Oy. Aikasiirtoasiakkaan tehomaksu. Saatavissa: <https://www.helensahkoverkko.fi/uutiset/2018/siirtohinnot-nousevat/#mika-muuttuu-tehomaksussa>. Hakupäivä 12.3.2019.
21. Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy. Siirtotuotteet 2019. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoverkkopalvelut/sahkon-mittaus-ja-siirtotuotteet>. Hakupäivä 12.3.2019.
22. Helen Sähköverkko Oy. Keskijännitetelesiirto. Saatavissa: <https://www.helensahkoverkko.fi/palvelut/tuotteet/keskijannitetelesiirto/>. Hakupäivä 13.3.2019.
23. LE-Sähköverkko Oy. Verkkopalveluhinnasto 2019. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/fi/sahkoverkko/hinnastot-sopimusehdot/verkkopalveluhinnasto>. Hakupäivä 12.3.2019.

24. Kuopion Sähköverkko Oy 2018. Sähkön siirtohinnot. Saatavissa: <https://www.kuopionenergia.fi/sahkoverkko/tietoa-sahkoverkostamme/sahkonsiirtohinnot/>. Hakupäivä 12.3.2019.
25. Helen Sähköverkko Oy. Tuotteet. Saatavissa: <https://www.helensahkoverkko.fi/palvelut/tuotteet/https://www.helensahkoverkko.fi/palvelut/tuotteet/>. Hakupäivä 13.3.2019.
26. Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy 2019. Tehosähkön siirtohinnot. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoverkkopalvelut/verkkopalveluhinnasto/sahkonsiirtohinnot/tehosahkon-siirtohinnot>. Hakupäivä 13.3.2019.
27. Pohjoismaiset sähkömarkkinat. Energiavirasto. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/pohjoismaiset-sahkomarkkinat>. Hakupäivä 28.3.2019.
28. Nordic Green Energy. Spot-hinta 2019. Saatavissa: <https://www.nordicgreen.fi/asiakaspalvelu/energiatietoa/spot-hinta/>. Hakupäivä 28.2.2019.
29. Sähkön kulutuksen mittaus. Energiavirasto. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/sahkon-kulutuksen-mittaus>. Hakupäivä 21.3.2019.
30. Valtioneuvoston asetus 66/2009. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090066>. Hakupäivä 22.3.2019.
31. Kärkkäinen, Seppo – Koponen, Pekka – Martikainen, Antti – Pihlaja, Antti. VTT 2006. Sähkön pienkuluttajien etäluettavan mittaroinnin tila ja luomat mahdollisuudet. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/VTT-R-09048-06.pdf>. Hakupäivä 27.3.2019

32. Sähkölämmityksen ohjauskytkennät. Saatavissa: http://tate.blogs.tamk.fi/files/2013/05/Liite-Sähkölämmityksen-ohjauskytkennät_09012015.pdf. Hakupäivä 27.3.2019.
33. Sähkömarkkinalaki 588/2013. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>. Hakupäivä 21.3.2019.
34. Valtioneuvoston asetus 217/2016. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160217>. Hakupäivä 22.3.2019
35. digitalSTROM AG 2018. Saatavissa: <https://www.digitalstrom.com/en/>. Hakupäivä 21.3.2019
36. digitalSTROM AG 2018. Swiss-German digitalSTROM and Belgian ONE Smart Control join forces to become Europe's leading provider of smart homes using powerline technology. Saatavissa: <https://presse.digitalstrom.com/pressemitteilung/swiss-german-digitalstrom-and-belgian-one-smart-control-join-forces-become-europes>. Hakupäivä 20.3.2019.
37. Pietilä, Vesa 2013. Älykkään kiinteistön energiakulutuksen seurannan kehittäminen ja demonstrointi. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21551/Pietila.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Hakupäivä 21.3.2019.
38. Installation manual 2016. digitalSTROM AG. Saatavissa: https://www.digitalstrom.com/out/pictures/wysiwigpro/dS_IHB_EN_A112_1D002V020.pdf. Hakupäivä 21.3.2019.
39. digitalSTROM AG 2018. Overview of all digitalSTROM components. Saatavissa: <https://www.digitalstrom.com/en/products/digitalstrom/>. Hakupäivä 21.3.2019

40. A centralized PLC Topology for Home Automation and Energy Management. Saatavissa:
http://developer.digitalstrom.org/download/Publications/Papers/digitalSTROM_A_centralized_PLC_Topology_for_Home_Automation_and_Energy_Management_Dickmann.pdf. Hakupäivä 21.3.2019
41. digitalSTROM AG 2018. Exceptionally practical. Saatavissa:
<https://beta.digitalstrom.com/en/System/Overview/>. Hakupäivä 20.3.2019.
42. digitalSTROM AG 2018. Shop. Saatavissa:
<https://www.digitalstrom.de/Shop/>. Hakupäivä 21.3.2019
43. Sähkölämmityksen ohjaus SLY-kytkennällä. Saatavissa:
http://tate.blogs.tamk.fi/files/2013/05/SLY_esitys09011.pdf. Hakupäivä 27.3.2019.
44. Oulun Sähkömyynti Oy. Energiatili. Vaatii kirjautumisen. Saatavissa:
<https://www.energiatili.fi/Reporting/CustomerConsumption/>. Hakupäivä 7.4.2019.
45. Finnparttia Oy. SLY 1.3 kytkentäsovite. Saatavissa:
https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/SLY1.3. Hakupäivä 2.4.2019.
46. Lämmitintukku. Devireg 528 -termostaatti. Saatavissa:
<http://www.lammitintukku.fi/product/233/devireg-528-elkovakio--lattiatermostaatti>. Hakupäivä 2.4.2019.
47. LE-Sähköverkot Oy. Yritysesittely. Saatavissa:
<https://www.lahtienergia.fi/fi/lahti-energia/yritysesittely>. Hakupäivä 3.4.2019.

48. LE-Sähköverkot Oy. Avaintiedot. Saatavissa:
<https://www.lahtienergia.fi/fi/lahti-energia/avaintiedot>. Hakupäivä
3.4.2019.
49. Kuopion Sähköverkko Oy. Näin liityt sähköverkkoon. Saatavissa:
<https://www.kuopionenergia.fi/sahkoverkko/asiakkaille/nain-liityt-sahkoverkkoon/>. Hakupäivä 3.4.2019.
50. Hintatilastot. Energiavirasto. Saatavissa:
<https://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>. Hakupäivä 9.4.2019
51. Kuopion Sähköverkko Oy. Tietoa meistä. Saatavissa:
<https://www.kuopionenergia.fi/yritys/tietoa-meista/>. Hakupäivä 3.4.2019
52. Helen Sähköverkko Oy. Ympäristö. Saatavissa:
<https://www.helensahkoverkko.fi/helen-sahkoverkko-oy/ymparisto/>.
Hakupäivä 3.4.2019.
53. Helen Sähköverkko Oy. Tietoja yrityksestä. Saatavissa:
<https://www.helensahkoverkko.fi/helen-sahkoverkko-oy/helen-sahkoverkko-oy>. Hakupäivä 3.4.2019.

TAULUKKO 4. digitalSTROM-järjestelmällä toteutetun lämmityksenhallintajärjestelmän komponenttien kustannukset, värit kuvaavat asennusryhmiä (42)

Tuotetunnus	komponentti	hinta (€)/kpl	kok. hinta (€)	kpl yhteensä	3mh	keittiö	olohuone	kylpyhuone	wc
FTW04 dS	lämmityksen anturi	201	1407	7	3	1	1	1	1
BL-KM200	lämmityksen ohjaus	94	658	7	3	1	1	1	1
dSM12	dSM-mittarit	240	720	3	1		1		1
dSF20	dSF-suodatin	58	58	1					
dSS20	dSS-palvelin	495	495	1					
	Komponenttien hinta yht.		3338						

TAULUKKO 5. SLY-tekniikalla toteutetun lämmityksenhallintajärjestelmän komponenttien kustannukset (45; 46)

Lämmityksen halinta SLY-kytkennällä									
Valmistaja/Tuotetunnus	komponentti	hinta (€)/kpl	kok. hinta (€)	kpl yhteensä	3mh	keittiö	olohuone	kylpyhuone	wc
ABB	SLY-kytkentäsovite 1.3	149	149	1					
DEVIREG 528	Termostaatti (sis. Anturin)	55	385	7	3	1	1	1	1
	Komponenttien hinta yht.		534						

TAULUKKO 6. Jakeluverkkoyhtiöiden aikasiirtosopimusten tehomaksuvertailu (23; 24; 25; 49; 51; 52; 53)

Jakeluverkkoyhtiöiden aikasiirtosopimusten tehomaksuvertailu			sis. alv. 24%
	LE-Sähköverkko Oy	Kuopion Sähköverkko Oy	Helen Sähköverkko Oy
Perusmaksu	12,40 €/kk	13,10 €/kk	17,50 €/kk
Tehomaksu	0,77 €/kW,kk	0,81€/kW,kk	1,59 €/kW,kk
Siirtomaksu yö	1,48 snt/kW	1,44 snt/kW	1,35 snt/kW
Siirtomaksu päivä	3,58 snt/kW	2,60 snt/kW	2,59 snt/kW
Jakeluverkon tietoja:			
Sähköverkon pituus (kaikki asiakkaat)	4 745 km	1 500 km	6 000 km
Asiakasmäärä (koko sähkönsiirto)	88 081	57 000	385 000