Tino Hyttinen

Rakennuksen sähköliittymän optimaalinen määrittäminen

Sähkötekniikan korkeakoulu

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 19.11.2020.

Työn valvoja:

Prof. Jaakko Ketomäki

Työn ohjaaja:

DI Matti Sinisalo

Aalto University
School of Electrical
Engineering

Tiivistelmä

AALTO YLIOPISTO
SÄHKÖTEKNIIKAN KORKEAKOULU

ABSTRACT OF THE
MASTER'S THESIS

Tekijä: Tino Hyttinen

Työn nimi: Rakennuksen sähköliittymän optimaalinen määrittäminen

Päivämäärä: 19.11.2020 Kieli: suomi Sivumäärä: 61

Sähkötekniikan ja automaation laitos

Professuuri: Älykkäiden rakennusten teknologiat ja palvelut Koodi: EEA

Työn valvoja: Prof. Jaakko Ketomäki

Työn ohjaaja: DI Matti Sinisalo

Rakennusten suunnitteluvaiheessa, sähkösuunnittelijoilla on useita tapoja käytössä tulevan kohteen huipputehon määrittämiseksi. Huipputehon määrittäminen mahdollistaa kiinteistön liittymäkaapelin koon päättämisen. Eri tavoilla ovat omat haasteensa päästäkseen mahdollisimman lähelle todenmukaista huipputehoa, jotta vältytään liittymän ali- tai ylimitoittamiselta. Haasteellisimpia ovat kiinteistöt, joiden kohdalla pohditaan, onko järkevämpää liittymä toteuttaa pien- vai keskijänniteliittymänä, koska kyseessä voi olla rahallisesti iso merkitys lyhyellä tai pitkällä aikajänteellä.

Tässä diplomityössä tarkastellaan sähkön hinnan muodostumista loppukäyttäjälle, sekä sähkön hintaan vaikuttavia tekijöitä. Näiden lisäksi tuodaan esille myös viimevuosien aikaiset sähkönhinnan kehitykset sekä mahdollisuuksia, joilla sähköenergiaan liittyviä kustannuksia voidaan hallita ja pienentää. Tämän lisäksi työn oheistuotteena kehitetään yksinkertaistettu sähköliittymän optimointi työkalu, kun pohditaan pien- ja keskijänniteliittymän välillä. Diplomityötä varten valittiin kvalitatiivinen tutkimus, joka perustuu tämänhetkisten mitoitusmenetelmien ja sähköenergian sekä liittymän hintojen osien tutkimiseen.

Työn aikana havaittiin huipputehon määrittämiseen käytettävien tapojen sisältämiä haasteita. Huipputehon määrittämiseen luotuja keinoja voidaan edelleen käyttää kuten ennen, mutta niiden käyttämistä korostaa sähkösuunnittelijan ammattitaito ja kokemus. Sähkösuunnitelijan tulisi valita määrittelytapa kohteen ja siitä saatujen tietojen pohjalta minimoidakseen riskit virheelliseen mitoitukseen.

Avainsanat: Pienjänniteliittymä, keskijänniteliittymä, ylimitoittaminen, alimitoittaminen, sähkön hinta

Tiivistelmä (englanniksi)

AALTO UNIVERSITY
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING

ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS

Author: Tino Hyttinen

Title: Defining an optimal electrical connection to the power grid for a building

Date: 19.11.2020 Language: Finnish Number of pages: 61

Department of Electrical Engineering and Automation

Professorship: Smart Building Technologies and Services Code: EEA

Supervisor: Prof. Jaakko Ketomäki

Advisor: M.Sc. (Electrical Engineering) Matti Sinisalo

At the planning phase of the building, electrical designers have multiple tools to define the peak power for the building. After defining the peak power, it is possible to select the electrical connection to the power grid. The different methods have their own challenges to get the accurate results and to avoid the over or under dimensioning. The most challenging buildings are where it needs to be figured out if the connection should be low-voltage or mid-voltage connection because the decision could have major financial matter in short or long-term.

In this master's thesis, there will be observed how the price of electricity is composed for the end-user and matters which has an effect to the price. In addition to these, there will be figured out the development of the electricity prices throughout the last years and possibilities to affect reductively on the costs which considers electricity. Among this master's thesis there will be provided calculation tool to figure out between low- and mid-voltage connection. For this thesis, qualitative method was chosen, which based on the existing measurement methods and parts of electricity costs.

During this thesis, there was figured out challenges of the existing measurement methods. These methods are still possible to use but the professional skills and experience of the electrical designer is highlighted. Electrical designer needs to be skilled enough to decide the right methods to decide peak power depending on the target buildings' available information avoiding inaccurate calculations.

Keywords: Low-voltage connection, mid-voltage connection, over dimensioning, under dimensioning, electricity costs

Esipuhe

Tämä diplomityö on kirjoitettu vuoden 2020 aikana osana diplomi-insinöörin tutkintoa Aalto-yliopistossa. Työ on tehty Granlund Oy:n toimeksiannosta.

Tämän hetken polttavimpia puheenaiheita alalla on energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys. Granlund Oy on ahkera ja aktiivinen organisaatio tulevaisuuden kehityksen eteenpäinviemisessä. Töiden lomassa minulle tarjoutui mahdollisuus edistää yrityksen suunnittelua tekemällä kyseisestä aiheesta diplomityö, joka oli myös alusta lähtien aiheena oman mielenkiinnon kohde. Diplomityön aihe koskettaa juuri sitä osa-aluetta omasta ammatista, joka vetää puoleensa. Työn tekemiseen oli siis luontainen mielenkiinto, joka auttoi panostamaan työhön.

Suuret kiitokset kuuluvat työnantajalleni Granlund Oy:lle mahdollisuudesta tehdä diplomityö heille ja erityisesti esimiestäni Marko Rajasta, joka on mahdollistanut aikataulun joustamisen suhteen nyt, kun ajat ovat haastavat. Kiitokset ansaitsevat myös Matti Sinisalo, joka suostui työni ohjaajaksi yrityksen puolelta.

Haluan kiittää professori Jaakko Ketomäkeä lukuisista hyvistä neuvoista, joiden saattelemana työstäni on saatu uskottava diplomityö niin sisällöltään, kuin ulkoasultaankin.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni rajattomasta tuesta ja kannustuksesta niin diplomityöni kuin koko opiskelutaipaleeni kanssa. Kun usko on itseltäni loppunut, niin teiltä sitä on saanut silloinkin. Kiitokset ansaitsevat myös avopuolisoni, joka on tehnyt suuren määrän töitä sen eteen, että minulla olisi aikaa paneutua työhön.

Otaniemi 19.11.2020

Tino Hyttinen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä ... 2
Tiivistelmä (englanniksi) ... 3
Esipuhe ... 4
Sisällysluettelo ... 5
Lyhenteet ... 7
1 Johdanto ... 8
2 Sähköenergia Suomessa ... 10
2.1 Sähköenergian tuotanto ... 11
2.1.1 Uusiutumattomat energialähteet ... 12
2.1.2 Uusiutuvat energialähteet ... 13
2.1.3 Sähköenergian pientuotanto ... 15
2.2 Sähköenergian ostaminen ... 17
2.2.1 Sähköenergian ostaminen Suomeen ... 17
2.2.2 Sähköenergian ostaminen kuluttajan näkökulmasta ... 19
2.3 Sähköenergian siirto ... 21
2.3.1 Suomen kantaverkko ... 21
2.3.2 Kantaverkosta sähkön loppukäyttäjälle ... 23
3 Kiinteistön liittyminen sähköverkkoon ... 24
3.1 Kiinteistön sähköenergian tarpeen määrittäminen ... 25
3.1.1 Ilmanvaihdon sähkötehon tarve ... 27
3.1.2 Muiden LVI-laitteiden sähkötehon tarve ... 28
3.1.3 Valaistuksen sähkötehon tarve ... 29
3.1.4 Yleisimpien käyttölaitteiden sähkötehon tarve ... 31
3.1.5 Sähköautojen latauksien sähkötehon tarve ... 32
3.2 Liittymän valinta ... 33
3.2.1 Sähköenergian hinta ... 34
3.2.2 Sähköenergian siirtohinta ... 35
3.2.3 Liittymän hinta ... 37
3.2.4 Keskijänniteliittymälle ominaiset kustannukset ... 44
3.3 Kiinteistön pohjakuorma ... 46
3.4 Kiinteistön huipputeho ... 47
4 Sähkösuunnittelun kehittäminen ... 49
4.1 Sähkönkulutustutkimusten osoittamia haasteita ... 50

4.2 Sähköliittymän mitoitustyökalu 52
5 Pohdintaa ja kehitysaskeleita 54
6 Yhteenveto 57
Viitteet 59

Lyhenteet

TWh	terawattitunti
GWh	gigawattitunti
kV	kilovoltti
MW	megawatti
MVA	megavolttiampeeri
VA	volttiampeeri
W	watti
LVI	lämpö, vesi, ilma
JVH	jakeluverkonhaltija
AMR	Automatic Meter Reading
PJ	pienjännite
KJ	keskijännite

1 Johdanto

Nykypäivänä on käytettävissä useita laskentatapaesimerkkejä ja taulukoita, joilla voidaan arvioida liittymien kokoja. Osa näistä on hyvin iäkkäitä eivätkä välttämättä pysty ottamaan huomioon nykypäivänä ilmeneviä muuttujia, jotka vaikuttavat sähköenergian kulutukseen. Kiinteistöjen tekniikka on kehittynyt runsaasti vuosikymmenten aikana, mikä tarkoittaa sitä, että vanhoilla liittymien mitoitustyökaluilla on riski tuottaa epätarkkoja tuloksia. Ongelmaa käsitellään sähkösuunnittelijan näkökulmasta, jonka vastuulla on mitoittaa suunnitteilla olevan rakennuksen sähköliittymä.

Uusien rakennettavien rakennusten tärkeitä ominaisuuksia ovat energiatehokkuus ja kulutuksen optimointi, etenkin sähkön siirtohintojen viime vuosina tapahtuneen nousun myötä. Rakennuksen energiatehokkuuteen panostamisella sekä sähköenergian kulutuksen optimoinnilla voidaan saada merkittäviä säästöjä aikaan rakennuksen käyttökustannuksissa. Rakennuksia suunniteltaessa, sähköliittymää mitoittavan henkilön tulee ottaa huomioon rakennuksen käyttötarkoitus. Käyttötarkoituksen tiedostaminen helpottaa havainnollistamaan rakennuksen tarvitsemaa sähköenergian määrää, sen huipputehoa sekä pohjakuormaa. Edellä mainittuihin määreisiin vaikuttaa kiinteistöön liittyvät monet tekijät. Näitä ovat esimerkiksi vuodenajat, sijainti, kiinteistön käyttötarkoitus, koko, lämmitystapa sekä varustelu. Jotta sähköliittymän koko voidaan suunnitella, tulee selvittää eritoten kiinteistön huipputeho. Huipputehon avulla tiedetään kiinteistön tarvitsema sähköenergian määrä hetkittäisesti suurimmillaan, joka määrittää osaltaan liittymäkaapelilta vaadittavaa kuormitettavuutta. Näiden tietojen lisäksi voidaan myös hyödyntää vastaavista kiinteistöistä ja niiden liittymistä mitattua dataa, mikäli sitä on saatavilla. Sähköliittymän kokoa suunniteltaessa on hyvä varautua ylimitoittamalla liittymän koko, mahdollinen kiinteistön käyttötarkoituksen muutos tai laajennus huomioon ottaen. Liian suuri ylimitoittaminen lisää kuitenkin ainoastaan kustannuksia eikä sillä saavuteta todellista hyötyä rakennushankkeessa.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan sähköliittymiä sekä kuinka kiinteistöjen sähköliittymät mitoitetaan mahdollisimman optimaalisesti. Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa Excel-pohjainen laskentataulukko, joka ottaa huomioon mahdollisimman hyvin nykyaikaisen rakentamisen arvot ja vaikuttavat tekijät koskien liittymän mitoitusta, saavuttaen lopputuloksena sähköliittymän koko.

Tutkimus on toteutettu kirjallisuustutkimuksena sekä määrällisenä tutkimuksena. Tässä tutkimuksessa käytettävä kirjallisuus kohdistuu sähköalan lakeihin ja standardeihin sekä muihin ohjeisiin ja suosituksiin. Näistä kerätään tietoa vaatimuksista ja ehdoista, joita tulee ottaa huomioon sähköliittymissä ja niiden suunnittelussa. Näillä vaatimuksilla ja ehdoilla pyritään varmistamaan tutkimuksen lopputuloksena tuotettavan laskentataulukon soveltuvuus sekä kyky toimia varteenotettavana työkaluna suunnittelussa. Määrällinen tutkimus tarkastelee sähköenergian kulutustietoja rakennuksista. Kulutustiedoista kerätään yhteneväisyyksiä ja selkeitä piirteitä, jotka vaikuttavat sähköliittymän kokoon. Kulutustutkimuksia on tehty aiemmin runsaasti erityyppisistä rakennuksista, joten, kulutustietoja tarjolla kattavasti, joiden pohjalta nykypäiväinen laskentatyökalu on mahdollista muodostaa. Näistä kulutustiedoista pyritään selvittämään mahdollisimman monta selkeätä tekijää, joilla on vaikutus sähkönkulutukseen. Sähköenergian kulutustietojen lisäksi vastaavista rakennuksista selvitetään muun muassa lämmitystapa, sijainnit, rakennusten koko, liittymän koko sekä pääsulakkeet. Tällä tutkimusmenetelmällä pyritään mahdollisimman tarkasti optimoituun liittymäkokoon, joilla vältetään tahaton alimitoittaminen tai tarpeeton ylimitoittaminen.

Tutkimus on toteutettu Granlund Oy:n toimeksiantona, jolle lopputuloksena tuotettava laskentataulukko tehdään. Kulutustutkimus rajataan toimistorakennuksiin ja koulutustarkoituksellisiin rakennuksin sekä niiden rakennus- ja liittymätietoihin. Toimistorakennusten sähköenergian kulutus on pääosin hyvin säännöllistä, kuten myös koulutustarkoitukseen olevat rakennukset pääsääntöisesti.

2 Sähköenergia Suomessa

Sähköenergian käyttäminen Suomessa on alkanut vuonna 1882 Tampereella Finlaysonin tehtaalla kutomosalissa, kun siellä sytytettiin ensimäistä kertaa Euroopassa hehkulampuilla toteutettu valaistus. Myöhemmin samalla vuosikymmenellä perustettiin Suomen ensimmäinen sähköyhtiö Tampereella vuonna 1888 ja heti seuraavana vuonna Ouluun. Seuraavien vuosikymmenten kuluessa, kaupungit alkoivat saada omia jakeluyhtiöitään ja Suomen sähköverkko alkoi saada ensimmäisiä muotojaan. Sähköverkon muodostuessa, syntyi myös osuuskuntia, jotka mahdollistivat sähkön jakelun ja myynnin alueittain. 1900- luvun puolivälissä syntyi Suomessa ensimmäisiä suuria jakeluyhtiöitä itä- ja pohjois- Suomeen. Suurten jakeluyhtiöiden myötä alkoivat pienemmät jakeluyhtiöt siirtyä osaksi isompia, jonka myötä Suomeen suunniteltiin jakelualueet yhtiöiden välille. Suomessa sähköyhtiöiden asiakkaat eivät ole aina saaneet valita yhtiötä, jolta ostaa sähköä [1]. Tämä mahdollisuus suomalaisille tuli vuonna 1995, kun sähkömarkkinoista tuli avoimet uudistuneen sähkömarkkinalain myötä. Aluksi vuonna uudistunut sähkönmarkkinalaki koski vain yli 500 kilowatin (kW) asiakkaita, mutta kaksi vuotta myöhemmin valinnanvapaus koski kaikkia [2].

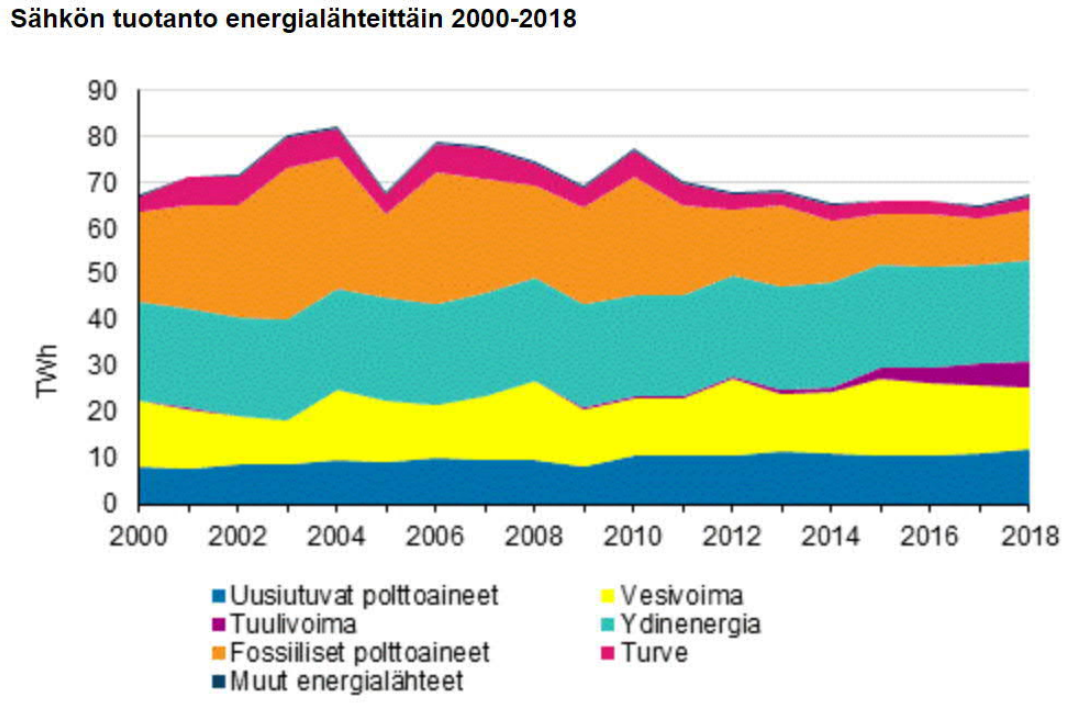
Nykypäivänä Suomessa sähköä on saatavilla joka paikassa, mihin kellonaikaan tahansa. Sähkön laatu on erinomaista, joka osaltaan tuo huolettomuutta sähkön käyttöön. Sähkön laatu on pyritty varmistamaan standardeilla ja vaatimuksilla, jotka koskevat sähkön laatua. Mikäli sähkön laatu ei ole riittävällä tasolla kuluttajan näkökulmasta, on verkkoyhtiöiden vastuulla hyvittää tämä kuluttajille. Sähköverkot ovat rakennettu toimintavarmoiksi ja toimiviksi, josta kertovat lyhyet käyttökatkokset. Suomessa on harvoin pitkiä sähkökatkoksia, koska sähköverkot on suunniteltu siten, että syöttösuuntia voidaan vaihtaa, mikäli jokin kohta sähköverkosta vioittuu. Suomen pisimmät käyttökatkoset sijoittuvat harvaan asutuille maaseuduille, joihin sähkö tuodaan vain yhtä päättyvää linjaa pitkin eli sähkön syöttämiselle ei ole toista reittiä.

Maailman ensimmäinen sähkönjakelujärjestelmän patentti on haettu vuonna 1880 Thomas Edisonin toimesta. Voidaan siis todeta Suomen sähköenergian historian perusteella Suomen olevan ensimmäisten maiden joukossa, joka omaksui ja kehitti sähkötekniikan. Suomessa pitkän sähköenergian historian ansiosta, suomalainen sähköalan osaaminen on maailman kärkimaita ja täällä kehitetään jatkuvasti uusia innovaatioita, joilla pyritään edesauttamaan energiatehokkaita ja ympäristöystävällisiä ratkaisuja. Uudet energiatehokkaat ja

ympäristöystävälliset innovaatiot sekä ratkaisut ajavat omalta osaltaan tekniikan alaa kehittymään myös suunnitelmia tekeviltä projektien osapuolien osalta. Esimerkkinä sähköliittymien suunnittelemiseen käytettävän työkalun tulee ottaa huomioon mahdollisimman hyvin huomioon olemassa olevat muuttujat, jotta liittymäkoko olisi mahdollisimman optimaalinen [2].

2.1 Sähköenergian tuotanto

Suomessa tuotettiin sähköä vuonna 2018 67,5 terawattituntia (TWh). Tämä on noin 77 prosenttia Suomessa kulutettavasta sähköenergiasta. Sähkön tuotantotapoja on Suomessa useita. Osa niistä ovat uusiutumattomia ja osa uusiutuvia energianlähteitä. Tilastokeskuksen tuottamasta grafiikasta, taulukko 1, voidaan huomata, kuinka fossiilisten polttoaineiden käyttö energiantuotantoon on vähentynyt huomattavasti 2000 -luvulla [3].



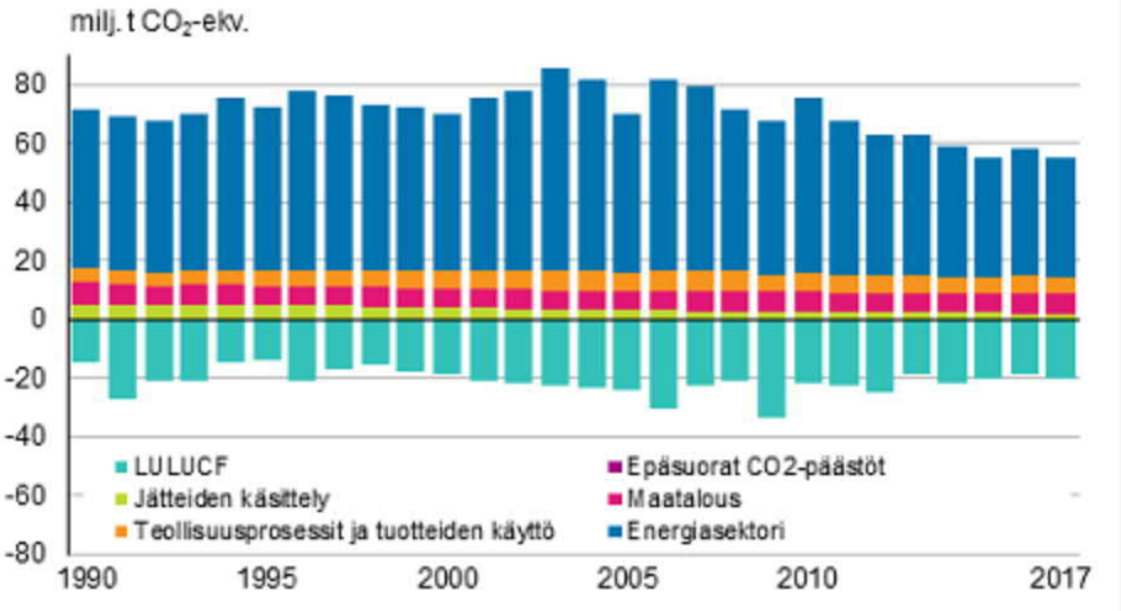
Taulukko 1. Tilastokeskus, Sähkön tuotanto energialähteittäin 2000-2018 [3].

Tämän päivän trendi on vahvasti kohti ympäristöystävällisiä, ekologisia ja uusiutuvia energiavaihtoehtoja suosiva. Tästä huolimatta vuodesta 2017 vuoteen 2018, fossiilisilla eli uusiutumattomilla raaka-aineilla tuotetun energian määrä kasvoi ja uusiutuvien energialähteiden osuus Suomessa tuotettavasta sähköstä pieneni [3].

2.1.1 Uusiutumattomat energialähteet

Puhuttaessa uusiutumattomista energianlähteistä, sillä tarkoitetaan fossiilisia polttoaineita, kuten öljyä, maakaasua sekä kivihiiltä. Nimitys näille syntyy siitä, koska ne syntyvät erinäisten eliöiden jäänteistä useiden miljoonien vuosien saatossa. Näiden lisäksi turve käsitetään fossiilisena polttoaineena. Turve saadaan suoalueilta ja sen uusiutuminen kestää tuhansia vuosia, jonka vuoksi se määritellään fossiiliseksi polttoaineeksi. Fossiilisten polttoaineiden lisäksi myös ydinvoima käsitetään uusiutumattomana energianlähteenä. Ydinvoimalla tuotettu energia saadaan uraanista, joka puolestaan on hankittu maan kallioperästä tai eroteltu merivedestä. Syy miksi ydinvoimaa ei lueta fossiilisiin polttoaineisiin on se, että uraania ei saada eliöjäänteistä eikä se pala energiantuotannon aikana. [4]

Maailmalla vallitseva huoli ilmastonmuutoksesta painostaa ympäristöystävällisiin ratkaisuihin. Uusiutumattomat energialähteet käsitetään lopulta katoavana luonnonvarana sekä ympäristöä rasittavana tekijänä, koska energiantuotannossa syntyy ympäristöä saastuttavia päästöjä. Lisääntynyt huoli ympäristöstä on ajanut maat tekemään ilmastoa koskevia tavoitteita. Tämä tarkoittaa käytännössä katsoen sitä, että uusiutumatonta energiantuotantoa vähennetään ja ajetaan alas tietoisesti, kun samalla uusiutuvia energiamuotoja ja niiden osuuksia tuotannosta pyritään lisäämään.



Taulukko 2. Tilastokeskus, Suomen kasvihuonepäästöt ja poistumat [3].

Tilastokeskuksen tekemän selvityksen mukaan *Energiasektorilla kasvihuonekaasupäästöjä aiheutuu eniten energiateollisuudesta eli sähkön- ja kaukolämmöntuotannosta ja polttoaineiden jalostuksesta* [4].

Kuten taulukko 2 osoittaa, Suomen energiasektori aiheuttaa ylivoimaisesti eniten kasvihuonepäästöjä, joten niihin kohdistuvat ratkaisut ja kehitysaskeleet omaavat suurimman mahdollisen saatavilla olevan hyödyn. Taulukossa viivan alapuolella negatiiviset lukemat kuvaavat Suomen kasvihuonepäästöjen nieluja. ”Land-use, land-use change and forestry” eli LULUCF tarkoitetaan sektoria, joka sitoo enemmän kasvihuonepäästöjä itseensä kuin vapauttaa niitä.

Edistysaskeleina kohti fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämistä ja osuutta energian tuotannossa voidaan pitää Suomen hallituksen hallitusohjelmassa pidettäviä päätöksiä. Konkreettisimpina toimenpiteinä voidaan mainita luopuminen öljylämmityksestä valtionhallinnon toimitiloissa sekä kivihiilellä tuotetun sähkön ja lämmön lopettaminen 1.5.2029 alkaen, lukuun ottamatta joitakin poikkeuksia [3] [5] [6].

2.1.2 Uusiutuvat energialähteet

Nykypäivän trendit ja tulevaisuuden uhkakuvat ilmastonmuutoksesta sekä sen aiheuttamista negatiivisista vaikutuksista maapallolla kannustavat valtioita kehittämään ja kasvattamaan

uusiutuvilla raaka-aineilla hankitun energian määrää. Suomessa tämä tarkoittaa, että uusiutuvan energian osuutta pyritään kasvattamaan energia- ja ilmastostrategian tuomilla tavoitteilla sekä valtion hallituksen muodostaman hallitusohjelman avulla. Suomeen on asetettu tavoite, että uusiutuvan energian osuus ”loppukulutuksesta” olisi yli 50 prosenttia 2020-luvun aikana. Vuonna 2018 uusiutuvan energian määrä oli noin 37 prosenttia. Motivan mukaan ”*Loppukulutus on käsite, jolla tarkoitetaan sähkön, lämmön sekä rakennusten lämmityksen polttoaineiden, liikennepolttoaineiden ja teollisuuden prosessipolttoaineiden kulutusta. Loppukulutus eroaa kokonaiskulutuksesta niin, että siitä on vähennetty energian siirto- ja muuntohäviöt*.” Kansallinen energia- ja ilmastostrategia on päivitetty vuonna 2016. Sen ideana on antaa suuntaa ja tavoitteita, joilla Suomi täydentäisi hallitusohjelmassaan sekä EU:ssa sovitut tavoitteet 2030 vuoteen mennessä. Suomen siis kuuluessa Euroopan Unioniin, on sen maana pyrittävä vastaamaan myös EU:n asettamiin ilmastollisiin tavoitteisiin. Kansallisten tavoitteiden lisäksi, EU:n asettamien tavoitteiden mukaan, Suomen on kyettävä tuottamaan 38 prosenttia energiastaan uusiutuvilla energiamuodoilla vuonna 2020. Tämänhetkisten tilastojen valossa, Suomi on täyttää tämän asetetun tavoitteen [6].

Vuonna 2018 Suomessa tuotettiin noin 31 TWh energiaa uusiutuvilla energialähteillä. Se tarkoittaa 46 prosentin osuutta Suomen koko sähkön tuotannosta. Suomessa eniten käytettävät uusiutuvat energialähteet ovat vesi- ja tuulivoima. Vuonna 2018 vesivoimalla tuotettiin 13,1 TWh sähköä, joka on 42% Suomessa uusiutuvilla energialähteillä tuotetusta sähköstä. Vesivoimalaitoksia Suomessa on noin 250 kappaletta, jotka ovat yhteisteholtaan noin 3 190 megawattia (MW). Asetettu tavoite Suomen vesivoiman vuosituotannolle on 14 000 gigawattituntia (GWh). Vesivoimalaitoksissa piilee mahdollisuus lisärakentamiseen sekä tuotannon kasvattamiseen, vaikka suurimmat kohteet ovatkin käytännössä rakennettu. Tällä hetkellä jo rakennetut vesivoimalat alkavat olla iältään siinä vaiheessa, että niillä ovat edessään peruskorjauksia ja elinkaarihuoltoja. Näiden toimenpiteiden yhteydessä voidaan kasvattaa laitosten tehoja uusimalla laitteistoja, jolloin kapasiteetti vesivoimantuotannossa saadaan kasvamaan. Koska vesivoimalat ovat käyttöiältään pitkiä, voidaan todeta niiden olevan myös tuotantokustannuksiltaan edullisia. Vesivoimalla on ympäristövaikutuksia, mutta sillä ei ole ilmastollisia vaikutuksia. Ympäristövaikutukset ovat paikallisia ja niillä tarkoitetaan eritoten patojen sekä säännöstelyaltaiden tuomia muutoksia luontoon. Esimerkkinä patojen ympäristövaikutuksista voidaan pitää sen aiheuttamia rajoituksia kalojen liikkumiselle, joka puolestaan vaikuttaa mahdollisesti Suomen kalakantoihin sekä

kalastamiseen. Säännöstelyaltaat puolestaan vaikuttavat Suomessa olevien vesistöjen pintakorkeuksiin ja virtauksiin. Säännöstelyaltaiden vuoksi, jotkin maa-alueet saattavat joutua veden alle tai päinvastoin, vesistöjen pinnat laskevat ja vesirajat vetäytyvät normaalista [6].

Vesivoiman jälkeen seuraavaksi tuottavin uusiutuva energianlähde oli tuulivoima, 5,8 TWh, joka on noin 19% uusiutuvian energian tuotannosta. Kuten vesivoima, myös tuulivoima on vähä päästöinen energiamuoto. Sitä koskevat päästöt koostuvat pääosin tuulivoimaloiden rakentamisesta, laitteistojen sekä osien kuljetuksesta ja huollon aikana aiheutuvista päästöistä. Tuulivoimalla on siis suuri potentiaali mahdollistaa aiemmin mainitun kansallisen energia- ja ilmastostrategian asettamien tavoitteiden saavuttaminen, kun vuoteen 2030 mennessä tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian käyttöä niin, että osuus loppukulutuksesta kasvaa yli puoleen. Tämän lisäksi, tuulivoimaloiden lisääminen lisää Suomessa tuotetun energian osuutta ja pienentää riippuvuutta ulkomailta tuodusta sähköenergiasta. Kuten tavallista, myös Suomessa otolliset tuulivoimaloiden sijainnit ovat merialueilla, rannikoilla sekä tuntureilla. Näiden alueiden lisäksi Suomessa löytyy myös sisämaasta alueita, joissa tuulivoimalan rakentaminen on kannattavaksi havaittu. Kooltaan tuulivoimalat Suomessa ovat yleisimmin kahdesta kolmeen megawattia, mutta myös suurempia, jopa viiden megawatin tuulivoimaloita on rakennettu [6].

Loput uusiutuvan energian tuotannosta saatiin erinäisillä puuperäisillä polttoaineilla, kuten esimerkiksi biokaasulla. Suomessa tuotetaan myös aurinkovoimalla sähköä. Tuotanto kuitenkin on kovin vähäistä. Vuonna 2018 Suomessa tuotettiin 90 GWh sähköä. Se on noin 145 kertaa vähäisempi määrä verrattuna samana vuonna vesivoimalla tuotettuun sähköön. Tällä hetkellä Suomessa panostetaan vahvasti aurinkosähköön, siihen liittyvien laitteiden ja tietotaidon kehitykseen sekä tuotantoon erinäisillä tutkimuksilla yliopistoissa sekä alan yrityksissä [3] [6].

2.1.3 Sähköenergian pientuotanto

Sähköenergian pientuotanto on sähköenergian tuottamista volyymiltään pienemmässä määrissä verrattuna suuriin voimalaitoksiin. Suomessa sähköä tuotetaan pientuotantomittakaavassa useimmiten aurinko- ja tuulivoimalla, mutta myös muita tapoja on. Pientuotannon mittakaavassa sähköä tuotetaan myös vesivoimalla sekä biokaasulla. Pientuotannolla on useampia eri määritteitä sen tuottavan tehon perusteella ja ne ovat määritelty sähkömarkkinalaissa. Sähkömarkkinalain mukaan pientuotanto käsittää kaikki

nimellis- tai maksimiteholtaan alle 2 megavolttiampeerin (MVA) voimalat. Volttiampeeri (VA) on sähkötekniikassa käytetty termi, jolla käytännössä katsoen tarkoitetaan näennäistehon suuruutta. Pientuotanto käsitteenä sisältää myös pienemmän tuotantokoon käsitteen, mikrotuotanto. Mikrotuotanto tarkoittaa tuotantoteholtaan enintään 50 kVA tuottavaa laitteistoa. Tällaisia laitteistoja on muun muassa omakotitaloihin asennettavat aurinkosähköjärjestelmät. Sähköenergian pienkuluttajille, kuten omakotitalon omistajille, volttiampeeri vastaa usein wattia (W) [6].

Aiemmin esille nostetun sähköenergian siirtohinnan nousu Suomessa viime vuosina on kannustanut ihmisiä perehtymään ja mahdollisesti investoimaan omaan sähkön tuotantoon. Energiavirasto on julkaissut viimeisen parin vuoden ajan tilastoja pientuotannon kehittymisestä vuosittain Suomessa, joka puolestaan osoittaa sähköenergian pientuotannon trendin olevan nouseva. Esimerkkinä vuoden 2017 aikana pientuotannolla saadun aurinkosähköenergian määrä kasvoi 2,5 kertaiseksi. Myös muut energiantuotannon muodot kasvoivat vuoden 2017 aikana. Myös vuosi 2018 oli Energiaviraston tilastojen mukaan pientuotannon kasvua osoittava. Ajatellen nykypäivänä vaalittuja ympäristöystävällisiä arvoja, voidaan nostaa esiin vuoden 2018 tilastoista esille se, että dieselillä tuotettu sähköenergian määrä laski kyseisen vuoden aikana [7] [8].

Sähköenergian pientuotanto on varteenotettava ratkaisu, kun tavoitellaan sekä taloudellista hyötyä sähköenergian kulutukseen liittyen että nykypäivän arvoja huomioon ottavia ja kehityksen edistäviä askeleita. Suomessa pientuotantoa käytetään yleisimmin teollisuuslaitoksissa, joissa pyritään hyödyntämään esimerkiksi suuria kattopinta-aloja aurinkopaneeleilla. Näillä pyritään tuottamaan sähköenergiaa niin, että sillä voidaan kattaa esimerkiksi ilmastointi- tai lämmityslaitteistoja. Tätä samaa ajatustapaa on ryhdytty hyödyntämään myös asuinrakentamisessa, kuten kerrostaloissa. Nykypäivänä rakennettavien kerrostalojen suunnitteluvaiheessa selvitetään, onko mahdollista ja taloudellisesti järkevää asentaa aurinkosähköjärjestelmä kattamaan ilmanvaihto- tai lämmitysjärjestelmän käyttämä sähkö. Olemassa olevien iäkkäämpien kerrostalojen tullessa käyttöikänsä puolesta siihen pisteeseen, että niiden saneeraaminen on tarpeellista, selvitetään samalla usein myös pientuotannon mahdollisuus ja sen tuomat taloudelliset vaikutukset taloyhtiölle. Pientuotantoa käytetään myös muun muassa maatalousympäristössä. Sähkön kulutus maatiloilla on runsaampaa, koska asuinrakennuksen lisäksi samassa taloudessa on myös laitteistoja, kuten

lypsykoneita, jotka ovat välttämättömiä tulojen kannalta. Suomessa on maatiloja, joihin on asennettu kooltaan ja tuottavuudeltaan pienempiä tuulivoimaloita. Näiden tarkoituksena on kattaa osa maatilan sähkönkulutuksesta. Näiden lisäksi on muutamien maatilojen yhteisiä tuulivoimalahankkeita, joilla sähköä tuotetaan niin paljon, että sitä myydään verkkoon. Koska maatilat ovat useasti pinta-alaltaan laajoja ja rakennukset omaavat normaalia suurempia kattopintoja, mahdollistavat nämä ominaisuudet pientuotantotapojen yhdistämisiä, kuten aurinko- ja tuulivoiman.

2.2 Sähköenergian ostaminen

Vaikka Suomessa tuotetaankin sähköä eri tavoin, omalla tuotannolla saatu sähköenergian määrä ei riitä kattamaan Suomessa käytettävän sähkön määrää. Tämä johtuu siitä, että kaiken kaikkiaan Suomessa kulutetaan sähköenergiaa noin 87 TWh. Tämän vuoksi Suomessa on välttämätöntä ostaa sähköä ympäröiviltä valtioilta; Ruotsilta, Venäjältä sekä Virolta. Tämä on mahdollista, koska Suomen kantaverkko on liitetty osaksi ”yhteispohjoismaista synkronijärjestelmää”. Suomen lisäksi tähän järjestelmään kuuluvat Ruotsi, Norja sekä Itä-Tanskan siirtoverkot. Sähköverkon liittäminen ympäröiviin valtioihin mahdollistaa myös sähkön myynnin niinä ajankohtina, kun Suomessa tuotetaan sähköä yli omien tarpeiden. Suomen kantaverkkoyhtiön, Fingridin, vuosikertomuksesta selviää sähkön osto- ja myyntimäärät. Taulukko 3 on lainaus vuoden 2018 vuosikertomuksesta [9] [10].

2.2.1 Sähköenergian ostaminen Suomeen

Suomen ja Ruotsin välinen yhteys on toteutettu kahdella 400 kilovoltin (kV) -vaihtosähköyhteydellä Pohjois-Suomesta, Perämeren pohjoispuolelta. Ruotsiin on myös rakennettu tasasähköyhteydet Fenno-Skan 1 ja 2. Ensimmäinen yhteyksistä kulkee Raumalta Ruotsin Dannebohon ja on suuruudeltaan 400 megawattia (MW). Toinen Fenno-Skan yhteys on Raumalta Ruotsin Finnböleen ja on suuruudeltaan 800 MW. Näiden yhteyksien lisäksi pohjoisesta Suomesta on 220 kV -vaihtosähköyhteys Norjaan. Ahvenanmaalle kantaverkkoyhteys on toteutettu 100 MW tasasähköyhteydellä.

Suomella on myös sähköverkkoyhteydet Venäjän ja Viron kanssa. Venäjän ja Viron omat sähköverkot eivät ole vaihtosähköyhteyksillä yhteydessä edellä mainittuun pohjoismaiseen verkkoon. Suomen ja Viron välillä on tasasähköyhteydet EstLink 1 ja 2. EstLink 1 on kooltaan 350 MW, EstLink 2 puolestaan 650 MV. Suomen ja Venäjän välillä on rakennettuna

kolme 400 kV sähkönsiirtoyhteyttä. Näiden suurempien sähkönsiirtoon tarkoitettujen yhteyksien lisäksi Suomen ja Venäjän välillä on kaksi pienempää 110 kV yhteyttä, joilla Venäjällä olevia vesivoimaloita voidaan yhdistää Suomen verkkoon. Suomen sähköverkkoyhteyksillä Viron ja Venäjän kanssa, pohjoismainen järjestelmä on yhdistetty Venäjän ja Baltian maiden voimajärjestelmään.

Sähköjärjestelmän käyttö	**2018**	**2017**	**2016**	**2015**	**2014**
Sähkön kulutus Suomessa TWh	87,4	85,5	85,1	82,5	83,4
Fingridin siirtovolyymi TWh	68,6	66,2	68,5	67,9	67,1
Fingridin häviösähkövolyymi TWh	1,2	1,2	1,3	1,4	1,3
Sähkönsiirto Suomi-Ruotsi					
vienti Ruotsiin TWh	1	0,4	0,3	0,2	0,15
tuonti Ruotsista TWh	14,5	15,6	15,7	17,8	18,1
Sähkönsiirto Suomi-Viro					
vienti Viroon TWh	2,4	1,7	3,1	5	3,6
tuonti Virosta TWh	0,9	0,9	0,7	0,05	0,05
Sähkönsiirto Suomi-Norja					
vienti Norjaan TWh	0,1		0,1	0,1	0,1
tuonti Norjasta TWh	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1
Sähkönsiirto Suomi-Venäjä					
vienti Venäjälle TWh	0			0,02	
tuonti Venäjältä TWh	7,9	5,8	5,9	3,9	3,4

Taulukko 3. Fingridin vuosikertomus 2018. Suomen sähköjärjestelmän käyttö 2014-2018 [10].

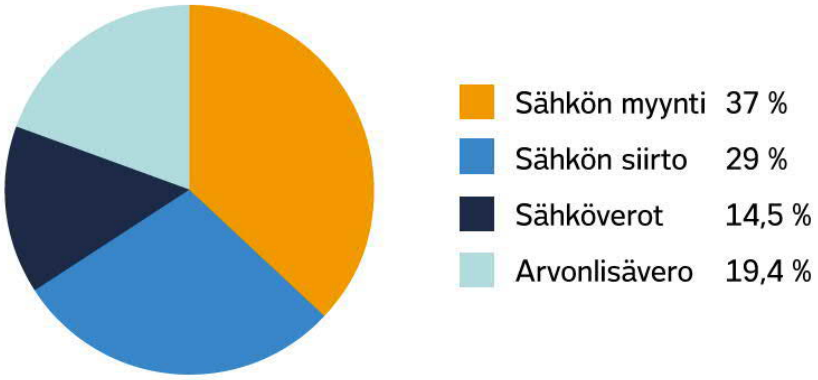
Taulukossa 3, ostettu sähkö on ilmoitettu maakohtaisesti ”tuonti” -sarakkeessa. Kuten huomataan, ulkomailta Suomeen ostettavan sähköenergian pääasiallinen myyjä on Ruotsi. Ruotsista ostetaan keskimäärin noin 2/3 tuontisähköstä. Lähes kaikki loput, noin 1/3 tuontisähköstä, tuodaan Venäjältä. Norjasta ja Virosta tuodaan yhteensä noin yhden terawattitunnin verran ostosähköä kalenterivuoden aikana, joka on noin 4,7 prosenttia Suomessa kulutettavasta sähköenergiasta.

Suomen myymä sähköenergia ulkomaille on ilmoitettu taulukon 2 ”vienti” -sarakkeessa. Vientisähkön määrän perusteella voidaan todeta, että Suomessa tuotetaan harvoin kalenterivuoden aikana enemmän sähköä kuin mitä sitä kulutetaan [9].

2.2.2 Sähköenergian ostaminen kuluttajan näkökulmasta

Sähköenergiaa tarvitsevat eivät aina ole saaneet valita omaa sähköenergian toimittajaansa. Vuonna 1995 Suomessa astui voimaan uudistunut sähköenergialaki, joka avasi sähkömarkkinat kilpailulle. Aluksi muutokset koskivat suurempia, yli 500 kW asiakkaita, mutta kaksi vuotta myöhemmin se laajeni kaikkia Suomen sähkönkuluttajia koskevaksi uudistukseksi. Suomi on ollut edelläkävijä yhdessä pohjoismaiden ja Iso-Britannia yhdessä Pohjois-Irlannin kanssa vapautuneiden energiamarkkinoiden osalta. Muu Eurooppa tuli vastaavasti noin kymmenen vuotta perässä, kun vuonna 2007 heinäkuussa yksityisasiakkaatkin saivat oikeuden valita energian sekä kaasun toimittajansa.

Sähköenergian lopulliseen hintaan vaikuttavat monet tekijät. Lopullinen hinta sisältää kolme eri segmenttiä, joista se koostuu: sähkön siirtopalvelusta, itse sähköenergian hinnasta sekä veroista. Sähkön siirtopalvelut sisältävät sähköenergian siirtämisen loppukäyttäjälle sekä sähkönjakeluverkkoihin kohdistuvat toimenpiteet, kuten huollot ja korjaukset. Verkkoyhtiöt niin sanotusti jyvittävät sähkönjakeluverkkoon kohdistuvat kustannukset loppuasiakkaille, saadakseen pääomaa, jolla ylläpitää sähköverkkoja. Sähkönjakeluverkkoliiketoiminnan osuuden voidaan arvioida olevan 15 ja 50 prosentin väliltä. Arvioidun osuuden laajuus johtuu käytännössä loppukäyttäjän kuluttaman sähköenergian määrästä. Mikäli sähköenergiaa kulutetaan paljon, siirtohinnan osuus laskusta pienenee ja mikäli sähköä itsessään kulutetaan vähän, niin siirtohinnan osuus sähkölaskusta kasvaa [11].



Kuva 1. Vattenfall, keskimääräinen sähkön hinnan muodostuminen [12].

Kuvassa 1 nähdään Suomessa keskimääräinen sähkön loppuhinnan muodostuminen. Sähköenergian hinta koostuu kiinteistä perusmaksusta sekä sen käytöstä riippuva kulutusmaksu. Riippuen sähkönottajan vuorokauden kulutusprofiilista, asiakas voi valita yleissähkösopimuksen, jossa sähköenergian kulutusmaksu on sama mihin vuorokauden tai vuodenaikaan tahansa. Aikasähkössä puolestaan kulutusmaksun suuruus poikkeaa toisistaan yö- ja päivätuntien välillä. Kausisähkössä sähkön kulutushinta määräytyy vuodenaikojen, lähinnä talven ja muiden vuodenaikojen välillä. Pohjoismaissa sähkön markkinahintaan vaikuttavat luonnonvaroilla tuotettavan sähköenergiaan tarvittavat varannot sekä tilat. Tämän lisäksi hintaan vaikuttavat myös hiilidioksidipäästöjen ja niiden oikeuksien hinnat. Polttoainein tuotettavan sähköenergian hintaa määrittää polttoaineiden, kuten öljyn ja kivihiilen markkinahinnat maailmalla [12] [13].

Sähköenergian loppukäyttäjä liitetään useimmiten pienjännite tai keskijänniteverkkoon, riippuen kyseessä olevasta kiinteistöstä. Pienjänniteverkkoon liitettäessä, siirtomaksut sisältävät kaikki jakeluverkossa olevat komponentit, jotka tuottavat kuluja huollon tai korjaustarpeidensa vuoksi. Mikäli kyseessä on sähköenergian tarpeeltaan suurempi loppuasiakas, että se liitetään keskijänniteverkkoon, poistuvat asiakkaan siirtomaksuista jakelumuuntamoiden sekä pienjänniteverkkojen tuomat ylläpito- ja huoltokustannukset [11].

2.3 Sähköenergian siirto

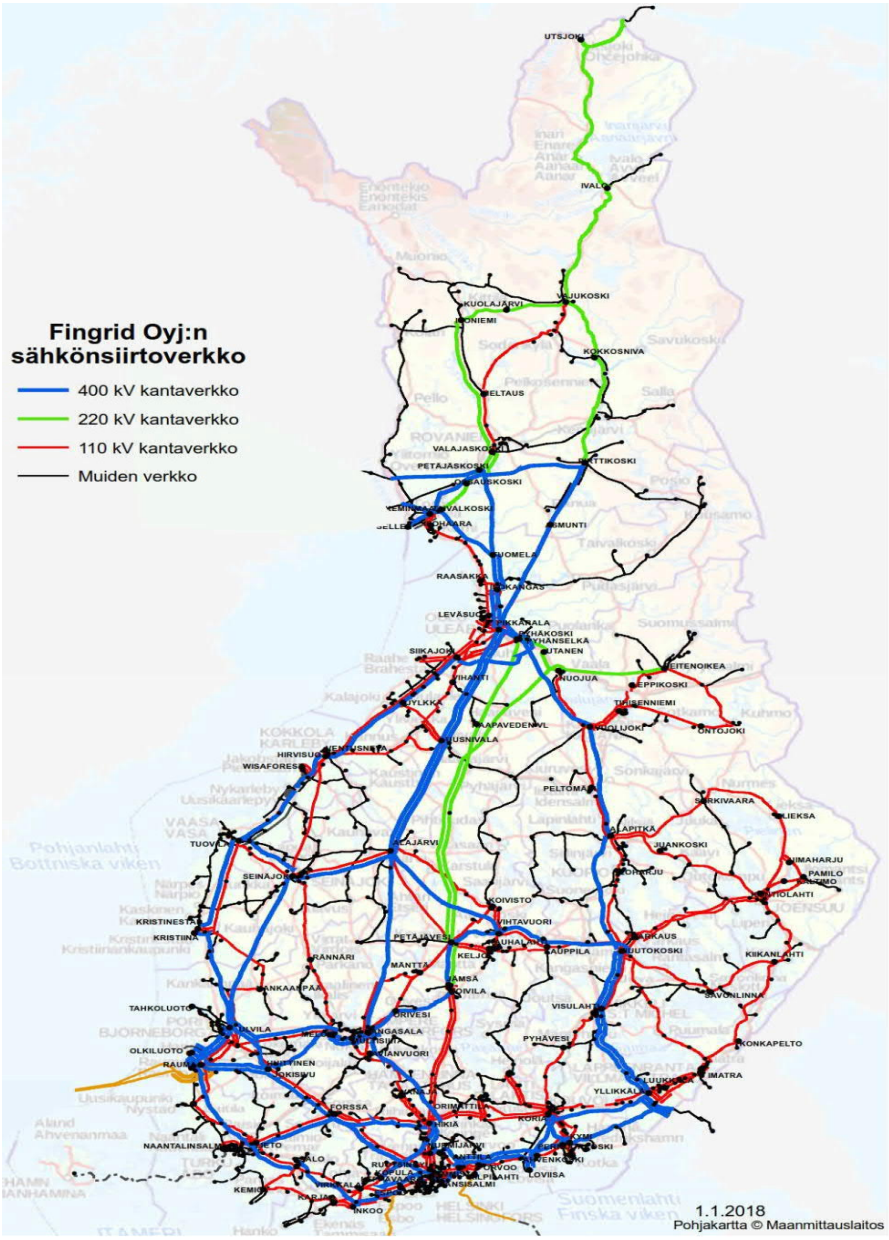
Sähköenergian siirtäminen Suomessa tapahtuu sähkövoimansiirtojärjestelmän kautta. Tuttavallisemmin tätä kutsutaan sähköjärjestelmäksi. Sähköjärjestelmä koostuu kantaverkosta, suurjännitteisistä jakeluverkoista, jakeluverkoista sekä sähköenergian kuluttajista. Sähköenergian siirtämiseen tarvitaan eri jännitetasoja, koska siirtomatkat voivat olla hyvinkin pitkiä. Tämä on perusteltavissa sillä, että teho on suoraan verrannollinen jännitteeseen eli jännitteen kasvaessa virta pienenee. Virran pienentyessä voidaan sähkön siirtämiseen käyttää poikkipinta-alaltaan pienempiä johtimia.

Sähköverkkojen eri osa-alueet, kuten jakeluverkot ovat rakennettu Suomessa osittain rengasverkoiksi, mutta niitä on suosittu käytettävän säteittäisesti. Säteittäisen verkkotopologian mukaan jakeluverkoissa häiriöiden rajoittaminen on helpompaa, oikosulkuvirtojen koko on pienempi, jännitetason säätäminen sekä suojauksen toteuttaminen on yksinkertaisempaa verrattuna rengasverkkomallina toteutettaessa. Pienjänniteverkkojen kohdalla jo rakennusvaiheessa on suosittu säteittäistä verkkotopologiaa. Tämä on kuitenkin viime vuosien saatossa muuttunut hajautetun sähköntuotannon kasvun myötä [11].

2.3.1 Suomen kantaverkko

Kantaverkko muodostaa Suomessa sähköjärjestelmän selkärangan, johon on liitettynä suuret voimalaitokset sekä tehtaat, että alueelliset jakeluverkot. Tämän lisäksi kantaverkko on liitetty myös osaksi pohjoismaiden ja muiden naapurivaltioiden sähköjärjestelmiä, joiden kautta ostosähkö Suomeen tuodaan. Kantaverkon omistaa ja sen toimivuudesta vastaa Fingrid Oyj. Puhuttaessa Suomen pääsiirtolinjoista, käsitellään jännitetasoltaan pääosin 400 kV siirtolinjoja. Nämä linjat ovat rakennettu siirtämään sähköenergiaa Suomessa pisimmät matkat lähinnä etelä-pohjoissuunnassa. 400 kV pääsiirtolinjoille on rakennettu rinnalle 220 kV jännitetaso, joita käytetään samaan tarkoitukseen kuin 400 kV siirtolinja, mutta laskelmissa on havaittu 400 kV siirtolinjan olevan kapasiteetiltaan sekä kustannuksiltaan tarpeettoman suuri. Kuvassa 2 on esitetty Suomen sähkönsiirtoverkko Fingridin mukaan. Sinisellä sekä vihreällä merkityt linjat ovat kyseessä olevia pääsiirtolinjoja. Kuvasta voidaan huomata niiden olevan rakennettu pääpiirteittäin niin, että se kattaa käytännössä kaikki pisimmät tarvittavat siirtomatkat ja on reiteiltään hyvin suorat ja selkeäpiirteiset.

Fingridin omistama sähkönsiirtoverkko sisältää myös 110 kV kantaverkko osuuden, jolla mahdollistetaan kantaverkon ylettyminen mahdollisimman monipuolisesti eri alueille Suomessa. Punaisella on merkittynä Fingridin kantaverkon osat, jotka ovat jännitetasoltaan 110 kV ja ovat etäisyyksiltään aiemmin mainittuja kantaverkon tasoja huomattavasti lyhyempiä sekä rakenteeltaan kulmikkaampia. Mustalla kuvataan paikallisten sähkönjakeluyhtiöiden rakentamia ja ylläpitämiä sähköverkkoja, jotka ovat liitettynä Suomen kantaverkkoon [14].



Kuva 2. Suomen sähkönsiirtoverkko. Fingrid [14].

2.3.2 Kantaverkosta sähkön loppukäyttäjälle

Suomessa asiakkaita ei siis syötetä suoraan Fingridin kantaverkosta. Sähköenergian siirtyminen eri asiakkaille eri alueilla tapahtuu paikallisten sähkönjakeluyhtiöiden alueverkoilla, jotka ovat liitettynä tähän kantaverkkoon. Alue- sekä jakeluverkot ovat jännitetasoltaan 20 – 110 kV ja ovat paikallisen verkkoyhtiön omistamia verkkoja, jotka ovat liitettynä kantaverkkoon. Sähkön tarpeeltaan suurimmat asiakkaat liitetään tähän verkkotasoon. Näiden jännitetasojen kohdalla 110 kV liittymistä puhutaan ”suurjänniteliittymänä” ja 20 kV liittymistä ”keskijänniteliittymänä”. Sähkönjakelujärjestelmää sekä sen sähköteknistä kapasiteettia voidaan kuvata sen siirtokyvyn mukaan. Kun 110 kV alueverkko voi siirtää kymmeniä megawatteja noin sadan kilometrin matkan, voi 20 kV keskijänniteverkko siirtää muutamia megawatteja parinkymmenen kilometrin matkalla.

Pienjänniteverkoksi käsitellään jännitetasoltaan enintään 1 kV sähköverkko. Yleisimmin pienjänniteverkossa käytetään 400 V pääjännitteenä, johon sähköenergian loppukuluttaja liitetään. Pääjännitteellä tarkoitetaan kahden vaiheen välistä jännitettä. Myös pienjänniteverkot ovat paikallisen jakeluverkkoyhtiön rakentama ja ylläpitämä verkko. Kun puhutaan pienjänniteverkon siirtokyvystä, voidaan sen kuvailla olevan muutamista kymmenistä satoihin kilowatteihin. Edellä mainituissa kuvauksissa käytetyt etäisyydet ovat todellisuudessa käytettyjä jännitetasoille ominaisia etäisyyksiä. Tämä tarkoittaa sitä, että mahdollisissa ”poikkeustapauksissa” voivat erot edellä esitettyihin arvoihin vaihdella.

Näille paikallisille jakeluverkkoyhtiöiden omistamille sekä hallinnoimille sähköverkoille on hajautetun sähköntuotannon lisääntyminen tuonut uusia haasteita tulevaisuuteen. Hajautettu sähköntuotanto on maailmanlaajuisesti kasvava ilmiö, johon viitataan tässäkin työssä käsitellyllä sähkön pientuotannolla. Kuten aiemmin todettiin säteittäisverkko halvempi rakentaa sekä helpompi suojata syöttösuuntien ollessa vain yksi. Rengasverkkomalli vaatii enemmän komponentteja, koska mahdollisia sähkönsyöttösuuntia on useampia ja sähköverkosta on saatava vähintäänkin yhtä turvallinen sekä luotettava. Toisaalta rengasverkko puolestaan laskisi jännitteenalenemia sekä energiahäviöitä sekä toisi mahdollisten useampien syöttösuuntien mukana parempaa sähköenergian toimitusvarmuutta, joka on yksi sähkön laadun kriteereistä. Rengasverkkomalli myös on parempi vaihtoehto tulevaisuuden näkymien kannalta rakentaa. Tämä mahdollistaa helpomman pientuotannon

liittämisen sekä monipuolisemman pientuotannolla saadun sähköenergian käyttömahdollisuuden [15].

Tämän lisäksi, tällä hetkellä nämä paikallisten jakeluverkkoyhtiöiden omistamat jakeluverkot iät ovat siinä pisteessä, että niitä joudutaan korjaamaan ja uusimaan. Verkkoyhtiöt pohtivatkin verkkosaneerausten kynnyksellä, onko viisaampaa vaihtaa maakaapeleihin vai uusia ilmalinjat. Ilmalinjat ovat halvempia uusia, mutta ovat alttiimpia ulkopuolisille vianaiheuttajille. Maakaapelointi on kalliimpaa toteuttaa, mutta on käyttöiältään jopa kaksi kertaa pidempi sekä olisivat toimintavarmempia ulkopuolisten vianaiheuttajien puuttuessa. Kuitenkin loppujen lopuksi, jakeluverkkoyhtiöt jakavat investointi ja huoltokustannukset omien loppuasiakkaidensa sähkölaskuihin. Näin verkkoyhtiöt saavat pääomaa käyttöönsä, jolla varmistaa sähkönjakeluverkkojensa toimintakyvyn [11].

3 Kiinteistön liittyminen sähköverkkoon

Kiinteistön liittyminen sähköverkkoon on oma prosessinsa. Jotta liittymistä sähköverkkoon voidaan alkaa suunnitella, tarvitsee sähkösuunnittelija kyseessä olevasta kiinteistöstä lähtötiedot. Lähtötiedot koostuvat muiden tekniikan alojen, kuten lämmitys-, vesi-, ilmanvaihtoalan ammattilaisten muodostamista suunnitelmista. Rakennusautomaatiolla puolestaan voidaan vähentää esimerkiksi hetkittäisen kulutuksen huippua. Nämä eivät kuitenkaan ole rakennushankkeen ensimmäisiä suunnitelmia. Jotta ylipäätään tekniikkaa voidaan suunnitella, tulee olla selvillä rakenteelliset suunnitelmat, jolloin tiedetään kyseessä olevan suunniteltavan kiinteistön ja sen sisältämien tilojen käyttötarkoitus, tekniikkaa tarvitsevien tilojen määrä sekä asiakkaan esittämät tarpeet koskien teknistä varustelutasoa. Kiinteistön rakenteellisten ominaisuuksien ja halutun varustelutason perusteella voidaan laskea sen tarvitsema sähköenergia. Kiinteistön energiankulutusta laskiessa voidaan hyödyntää Ympäristöministeriön julkaisemaa Suomen rakentamismääräyskokoelmaa ja eritoten sen ohjeita koskien rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaa. Tätä ohjetta käsitellään työssä, jotta kuva sähköenergian tarpeen muodostumisesta voitaisiin avata mahdollisimman tarkasti sekä yksinkertaisesti.

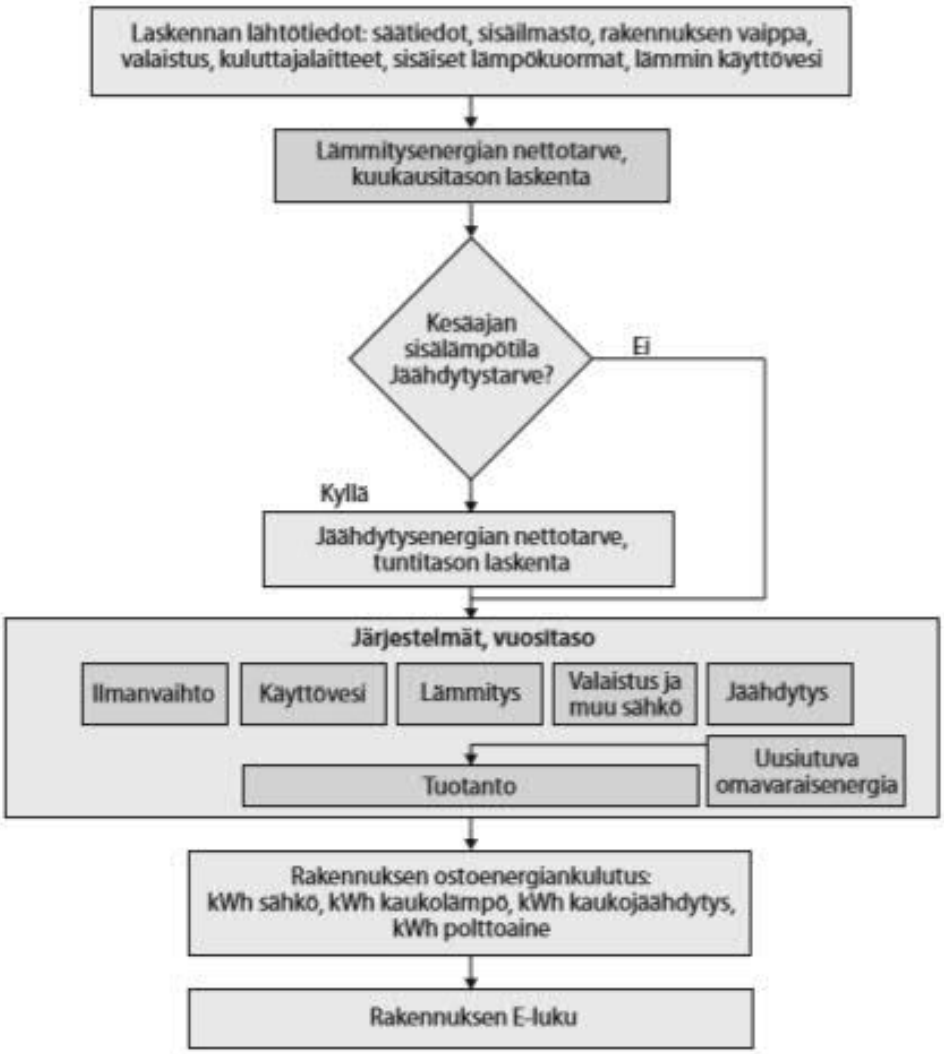
3.1 Kiinteistön sähköenergian tarpeen määrittäminen

Kun kiinteistöä ryhdytään suunnittelemaan, on päällimmäisenä tarkoituksena saada se vastaamaan mahdollisimman hyvin käyttötarkoitustaan. Tämän jälkeen budjetin mukaan asiakas yhdessä hankkeen muiden osapuolien kanssa määrittelee toteutettavan varustelutason suunnittelun eri vaiheiden aikana. Tekninen varustelutaso vaikuttaa olennaisesti kiinteistön sähköenergian kulutukseen. Mikäli kohde halutaan varustella kattavasti, se tarkoittaa, että sähköenergiaa mahdollisesti kuluu perinteiseen varustelutasoon verrattuna enemmän. Toisaalta, mikäli varustelutason päätetään olevan kattava, se mahdollisesti sisältää myös kattavan automaatiojärjestelmän, jolla voidaan laskea hetkellisten kulutusten huippuja ja sen kautta kulutetun energian määrää. Mikäli kiinteistö halutaan rakentaa sen energiatehokkuusluokitus ensisijaisena tekijänä, laitteistot tulee valita suunnitteluvaiheessa energialuokituksiltaan sen mukaisesti joka osan kohdalla.

Tämä Ympäristöministeriön laatima kansallisen tason laskentaohje on yksinkertaistettu laskentamenetelmä, joka ottaa huomioon olennaisimmat energiankulutukseen vaikuttavat tekijät Suomessa. Ohjeessa esitetty laskentamenetelmä perustuu pääosin SFS-EN 13790 -standardiin ja sen sisältämään tapaan suorittaa laskenta. Kyseinen standardi on kuitenkin kumottu nykyisin uudistetulla standardilla. Korvaava standardi on ”SFS-EN ISO 52016-1:2017 Energy perfomance of buildings. Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads. Part 1: Calculation procedures”. Tämä on myös vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi vuonna 2017 elokuussa Rakennustuoteteollisuus ry:n toimesta. Koska standardi, johon laskentaohje perustuu, on kumottu tuoreemmalla standardilla, katsottiin aiheelliseksi ottaa selvää, onko uudempaa standardia otettu huomioon, kun standardi on julkaistu laskentaohjeen ollessa tekeillä. Ympäristöministeriön ylijohtajan Teppo Lehtiseltä saadun vastauksen mukaan ”*Uudemman standardin merkittävimmät kehityspanostukset edelliseen versioon tulevat esiin tuntitason laskennassa. Uutta ei ole siis otettu huomioon nykyistä ohjetta tehdessä.”* [16]. Tämä tarkoittaa sitä, että uusi korvaava standardi on entistä standardia lähtökohtaisesti tarkempi tuloksissaan, kun laskennoissa voidaan käyttää lyhyempää aikaväliä.

Ympäristöministeriön mukaan heidän julkaisemia ohjeita rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta ”*voidaan käyttää lämmityksen energiantarpeen, ostoenergiankulutuksen, kokonaisenergiankulutuksen ja lämmitystehon laskentaan*

jäähdyttämättömissä rakennuksissa tai rakennuksissa, joissa on vain yksittäisiä jäähdytettyjä tiloja. Menetelmää voidaan käyttää myös jäähdytettyjen rakennusten ostoenergiankulutuksen ja kokonaisenergiankulutuksen laskentaan, kun lämmitys- ja jäähdytysenergian nettotarpeet on laskettu dynaamisella menetelmällä.". Dynaamisessa laskentamenetelmässä sisälämpötilat vaihtelevat sekä laskenta perustuu rakennuksen lämpötaseen ratkaisemiseen numeerisesti. Tämän lisäksi dynaaminen laskenta sekä sen erottelukyky mahdollistaa useiden eritasoisten nyanssien tarkastelua. Esimerkkeinä näistä nyansseista voidaan pitää aurinkosuojauksen sekä sen säätö- ja ohjausmahdollisuuksien vaikutuksista sisälämpötiloihin, tehoihin ja energiantarpeeseen.



Kuva 3. Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet. Ympäristöministeriö [17].

Kuva X esittää selkeästi energiankulutuksen laskennan eri vaiheet, kun käsitellään kiinteistön energiankulutuksen määrittelyä. Sähkösuunnittelijan näkökulmasta, olennaisimmat lähtötiedot

saadaan ”Järjestelmät” -vaiheessa. Tässä vaiheessa tekniikan eri osa-alueiden suunnittelijat mitoittavat järjestelmänsä kuvassa edellä olevien parametriensä perusteella sekä asiakkaan tarpeiden että budjetin mukaisesti. Näin ollen sähkösuunnittelijan on mahdollisuus muodostaa järjestelmien tarvitsemat sähköenergian tarpeet. Kun tarvittava energiamäärä on selvillä, otetaan huomioon mahdollinen kiinteistön sisältämä omavarainen sähköenergian pientuotanto, jolla voidaan osa tarvittavasta sähköenergiasta tuottaa eikä sitä tarvitse ostaa. Tämä voi vaikuttaa olennaisesti liittymäkaapelin valintaan, koska ostettavan sähköenergian määrä voi pudota huomattavasti. Tämä tarkoittaa, että kiinteistö voidaan suunnitella pienemmällä liittymäkoolla. Tämä tarkoittaa, että sähköliittymän yksi hintaa määrittävä tekijä muuttuu olennaisesti ja liittymän kokonaishinta laskee liittymäkoon pienentyessä.

3.1.1 Ilmanvaihdon sähkötehon tarve

Ilmanvaihtojärjestelmä on yksi suurimmista kiinteistön laitekokonaisuuksista, ellei jopa suurin. Ilmanvaihtolaitteisto vaatii sähköenergiaa ympäri vuorokauden ja kuuluu myös osaltaan kiinteistön pohjakuorman muodostumiseen. Jotta ilmanvaihdon sähkötehon tarve tulisi määritelty jo kiinteistön hankevaiheessa mahdollisimman tarkasti, on loogisin tapa laskea ilmanvaihtolaitteiston osien sähkötehontarpeet LVI-suunnittelijan kasaamasta laiteluettelosta. Jotta laskettu sähkötehon tarve vastaisi mahdollisimman tarkasti lopullista kulutusta, kojeluettelossa ilmoitettuja sähkötehoja tulisi päivittää rakennushankkeen edetessä, mikäli niihin ilmaantuu merkittäviä muutoksia. Suunnittelija laatii hankkeen aikana toimintaselostuksen ilmanvaihtojärjestelmästä, jonka mukaan voidaan todeta sille suunniteltu tapa olla käynnissä. Vaikka kiinteistöllä olisikin tietyt ajanjaksot vailla käyttöä, ilmanvaihtokone ei pysähdy, vaan se pyörii pienemmällä teholla. Esimerkkejä tämänkaltaisista tehostetuista käyttötunneista ovat toimistotilat jolloin ilmanvaihtolaitteistot voidaan asettaa toimiston aukiolotuntien mukaan. Toinen mahdollinen tapa parantaa energiatehokkuutta on asettaa CO2 -antureita tiloihin, joka tehostaa ilmanvaihtoa hiilidioksidipitoisuuden noustessa. Tämän ratkaisun heikkona puolena on se, että ilmanvaihdon tehostuminen tapahtuu vasta, kun hiilidioksidipitoisuus tilassa on noussut [18].

Useimmiten ilmanvaihtojärjestelmän kojeita ja niiden moottoreita ohjataan taajuusmuuttajilla. Tämä tarkoittaa sitä, että se tehoalue, joka on ilmoitettu taajuusmuuttajalle, on yhtä suuri kuin verkosta otettu sähköteho. Edellä mainittujen moottoreiden lisäksi ilmanvaihtojärjestelmistä

tulee huomioida muut suuremmat sähköteholliset kuormat. Näitä ovat muun muassa ilman esilämmityspatterit.

3.1.2 Muiden LVI-laitteiden sähkötehon tarve

Kun kyseessä on jokin muu kuin asuin kiinteistö, kuin asumiseen tarkoitettu, sisältää se usein myös muita LVI-laitteita. Kiinteistöt, jotka sisältävät esimerkiksi liukuovellisia sisäänkäyntejä tai tuulikaappeja, asennetaan niihin useasti oviverhopuhaltimet tai kiertoilmapuhaltimet estämään lämmön karkaamisen ulos. Näiden laitteistojen sähköteho määritellään usein laitekohtaisesti, koska sen vaatima sähköteho riippuu siitä, voidaanko se liittää tilan lämmitysjärjestelmään vai tuotetaanko lämpö pelkästään sähköenergialla. Edellä mainituissa tapauksissa myös tuulikaapin koko vaikuttaa olennaisesti laitteen kokoon.

Riippuen kiinteistön sijainnista, rakenteista ja tilojen käyttötarkoituksista, voi olla tarpeellista suunnitella tilojen jäähdytysjärjestelmä. Jäähdytysjärjestelmän vaikutus rakennuksen sähköliittymään kokoon voivat kohteiden välillä vaihdella suurestikin. Jäähdytystehon tarve riippuu rakennuksessa käytettävästä lämmitysmuodosta sekä sen vaatimasta sähkötehosta. Jos lämmitykseen tarvitsee käyttää enemmän sähköenergiaa kuin jäähdytykseen, ei jäähdytysjärjestelmällä ole vaikutusta rakennuksen sähköliittymän tehoon, koska jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmä ovat päällä eri aikoihin. Suurimmat vaikutukset jäähdytysjärjestelmällä sähköliittymän kokoon ovat kohteissa, joissa on sähköteholtaan alhainen lämmitysmuoto. Esimerkkejä tällaisista ovat maa- tai kaukolämpökohteet.

Rakennusten LVI-järjestelmät sisältävät myös paljon sähköenergiaa tarvitsevia apulaitteita, kuten pumppuja. Pumpuilla pidetään erinäiset nesteet liikkeessä järjestelmien putkistoissa. Useasti pumput, kuten kiertovesipumput ovat jatkuvasti päällä ja täten on myös kiinteistön osa kiinteistön pohjakuormaa. Yksittäisten pumppujen sähkötehot voivat olla melko pieniä, mutta niiden ollessa useita järjestelmissä, ne voivat muodostaa isonkin sähköenergiaa tarvitsevan kokonaisuuden [18].

3.1.3 Valaistuksen sähkötehon tarve

Kiinteistöä suunniteltaessa, sähkösuunnitelmien yhdeksi osaksi luetaan myös valaistussuunnitelma, valaistuslaskelmat sekä valaisinluettelo. Sähkösuunnitelmia tehdessä, tiloihin suunnitellaan niitä parhaiten palveleva sekä vaatimukset täyttävä valaistus. Kun valaisinsuunnitelmat ovat tehty, valaisinten tyyppitiedot ovat valittu, tehdään valaistuslaskelmat. Valaistuslaskelmilla varmistutaan siitä, että suunnitellulla valaistuksella tuotetaan hyvä ja tilaan sopiva lopputulos. Valaistuslaskelmien jälkeen, voidaan valituista valaisimista ja sähkösuunnitelmista koota valaisinluettelo. Valaisinluettelosta käy ilmi kohteen valaisinten määrä sekä sähkö- ja valaistustekniset tiedot. Niistä tiedoista voidaan laskea valaistuksen vaatima sähköteho kohteessa [18].

Valaistuksessa on valtavasti potentiaalia parantaa kohteen energiatehokkuutta ohjaamalla sitä. Sähkötehon tarvetta selvittäessä, ohjaustapa määrittää kertoimen, jolla voidaan selvittää sähkönkulutus tarkemmin kohteessa. Sähkönkulutuksen pienentämisen lisäksi, valaistuksenohjaus myös mahdollisesti vaikuttaa valaistuksen hetkittäisen sähkötehontarpeen suuruuteen. Valaistuksenohjaus toisin sanoen mahdollisesti pienentää valaisinten yhtäaikaista palamista.

Valaistuksen osa-alueella, kehitysaskeleet ovat merkittäviä. Viimeisten vuosien aikana valaistus ja sen vaikutus ihmisten kehoon on ollut tutkimusten kohteina. Huolellisesti suunnitellulla valaistuksella on merkitystä ihmisten vireystilaan esimerkiksi työpaikoilla ja tämä puolestaan parantaa ihmisten työsuorituksia kehon ollessa virkeä koko työpäivän aikana. Sähköteknisesti tämä tarkoittaa sitä, että LED-tekniikan saapuessa valaistusteho neliötä kohden tippui roimasti aikaisempiin valaisinratkaisuihin, kuten loisteputkivalaisimiin verrattuna. Nykyisin, kun LED-tekniikka mahdollistaa värilämpötilojen sekä valaistusvoimakkuuden monipuolisemman ja tarkemman säätämisen, on valaistukseen käytettävä sähköteho kasvanut neliötä kohden. Tämä on selitettävissä sillä, että LED-tekniikan yleistyessä, mitattiin useimmiten vain valaisinten tuottamaa valoa eri pinnoilla, kuten pöydällä ja lattialla. Valon laatu ihmiskehon näkökulmasta ei kuitenkaan välttämättä ollut paras mahdollinen. Kuitenkin LED-tekniikalla toteutettu valaistus on energiatehokkaampi vaihtoehto pääsääntöisesti valaistusvaihtoehtoja vertailtaessa.

Alla olevasta taulukosta käy ilmi valaistuksen tehotiheyksien suositukset, jotka ovat otettu EU-säädöksistä. Tehotiheydet perustuvat koko rakennuksen valaistusten enimmäistehonkulutukseen valaistuksen osalta jaettuna rakennuksen kokonaislattiapinta-alalla.

Rakennuslaji	**Valaistuksen tehotiheys W/m²**
Autopaikoituslaitos	2,5
Oikeustalo	14
Näyttelytila, museo	9
Paloasema	12
Jatkokoulutuslaitos	13
Sairaala	12
Kirjasto	12
Toimisto (pääasiassa osastoihin jaettu)	13
Toimisto (pääasiassa avotilaa)	11
Poliisiasema	14
Postitoimisto	14
Vankila	9
Julkinen sali	9
Asuinrakennus	11
Asuinrakennus (vain yhteiset tilat)	6
Koulu	8
Urheilukeskus	9
Kaupungintalo	13

Taulukko 4. Valaistuksen tehontiheys eri rakennuslajeille [18].

Suunniteltavan rakennuksen sähkö- tai valaistussuunnittelijan sekä rakennuttajan tehtäviin kuuluu määritellä kohteelle valaistus sille asetellun tavoitteellisen sähkönkulutuksen mukaisesti energiatehokkuuden luokan mukaan. Tämä mahdollistaa sen, että tulevaisuudessa

suunnittelijat sekä urakoitsijat ovat pakotettuja huomioimaan valaisinten energiatehokkuudet valaisinvalintoja tehdessään. Tämä edesauttaa tulevaisuudessa energiatehokkuuden näkökulmasta huonojen ja epätaloudellisten valintojen välttämistä.

3.1.4 Yleisimpien käyttölaitteiden sähkötehon tarve

Yleismpiä ja merkittävämpiä päivittäiseen käyttöön tarkoitettuja sähkölaitteita ja kojeita sisältävät muun muassa toimistot sekä keittiöitä sisältävät tilat. Kun kiinteistöä suunnitellaan, on oleellista tietää tilojen tuleva käyttötarkoitus. Tämä helpottaa muun muassa sähkösuunnittelijan työtä mitoittaa liittymä sekä todennäköiset nousujohdot pääkeskuksilta nousu- sekä ryhmäkeskuksille. Toimistoille yleisimpiä laitteita ovat tietokoneet, kopiokoneet sekä muita atk-välineet. Keittiötiloissa puolestaan sähkötehojen puolesta huomioitavia laitteita ovat liedet, kylmäkoneet, uunit sekä muut ruoan valmistukseen käytettävät laitteet.

Keittiötilojen sähköenergiankulutus on mahdollista määritellä keittiölle tehtävän laiteluettelon mukaan. Mikäli laitteiden sähkötehot lasketaan yhteen, ne vaikuttavat mahdollisesti hyvinkin suurilta. Todellisuudessa keittiölaitteet eivät kuitenkaan ole käytössä samanaikaisesti. Useimmiten tasauskertoimena keittiölaitteille voidaan pitää 0,5. Tästä huolimatta tasauskerroin tulee määrittää tapauskohtaisesti laiteluettelon sekä keittiön käyttötuntien ja tarkoituksen mukaan. Keittiölaitteiden sähkönkulutusta on myös mahdollista arvioida kyseessä olevan ravintolan tason mukaan. Työtehoseuran teettämän tutkimuksen mukaan, esimerkiksi opiskelijaravintolan annokseen menee noin 0,84 kWh, kun taas tasokkaan ravintolan ruoka-annos kuluttaa valmistukseensa 4,5 kWh per annos. Annoskohtaisen sähkökulutuksen laskennassa voi kuitenkin olla huomattaviakin eroavaisuuksia, koska ruuan valmistustavat ja tottumuksen poikkeavat henkilöiden välillä [18].

Toimistotilat ovat hyvin tyypillisiä suurempien rakennusten tilojen käyttötarkoituksia. Toimistotilojen sähköenergiaa tarvitsevat laitteet koostuvat erinäisistä atk-laitteista ja niiden sähköteho on yksinkertaista laskea laitteiden lukumäärän ja yksittäisen laitteen sähkötehon perusteella. Yhteenlaskettu teho kerrotaan niin sanotulla samanaikaisuuskertoimella, joka tapauskohtaisesti voidaan arvioida toimiston päivittäisen tai viikoittaisen käyttöasteen perusteella. Tavanomaisesti samanaikaisuuskerroin vaihtelee 0,4 ja 0,6 kerrointen välillä.

3.1.5 Sähköautojen latauksien sähkötehon tarve

Tulevaisuuden kannalta oleellinen kehitysaskel eli sähköautot on syytä huomioida kiinteistöjä suunniteltaessa. Sähköautojen määrä sekä vaatimukset kasvavat jatkuvasti, joiden tarpeisiin kiinteistöjen tulee vastata. Jotta kiinteistöt sitten olisivat kykeneviä vastaamaan sähköautojen tuomiin haasteisiin, on liittymät suunniteltava uudiskohteisiin siten, että mahdollisten sähköautonlatauspaikkojen määrä on tiedossa esimerkiksi kiinteistön piha-alueiden ja tontin mukaan arvioituna. Jo 2010 -luvun alussa, Helsingillä kaupungilla oli tontinluovutusehdoissaan maininta sähköautojen latausmahdollisuuksien vähimmäisvaatimuksista. Tämä kuvastaa sitä, että sähköautojen trendi on ollut nähtävissä jo kauan aikaa sitten [18] [19].

Useimmiten isojen kiinteistöjen kohdalla kyseessä on kymmenistä, jopa sadasta autolatauspaikoista. Tämä tarkoittaa sitä, että sähköenergian tarve on merkittävä. Tämän vuoksi jo suunnitteluvaiheessa, sähköautonlatauspaikkojen sähköistämisen toteuttaminen on järkevää suunnitella omana kokonaisuutenaan jo jako- tai ryhmäkeskustasolta lähtien. Jotta jonkinlainen käsitys tarvittavasta sähköenergian kapasiteetista saadaan muodostettua, voidaan kuvitella jokainen latauspaikka mitoittaa latausaseman minimilatausvirran mukaisesti. Tällä laskennalla voidaan päätellä sähköauton latauspaikkoja palvelevan ryhmäkeskuksen nimellisvirta. Minimilatausvirta tämänhetkisten latauslaitevalmistajien keskuudessa on yleisesti ottaen 3 x 6 A, joka tarkoittaa teholtaan noin neljää kilowattia standardisoidun Mode 3 -lataustavan mukaisesti toteutettuna. Tällä minimilatausvirta-arvolla kerrotaan mahdollisten latauspaikkojen lukumäärä ja saadaan minimikokonaiskuorma. Minimikokonaiskuorman arvolla voidaan päätellä ryhmäkeskuksen sekä sen syöttökaapelin koko.

Sähköautonlatausjärjestelmän ryhmäkeskus on syytä suunnitella tarvittavien suojalaitteiden mukaisesti. Jokainen latauspiste on toivottavaa suojata omilla ylivirta- sekä vikavirtasuojillaan. Tulevaisuuden kehitysaskeleet huomioon ottaen, ryhmäkeskukseen on syytä tehdä tilavaraus myös älykkään kuormanhallinnan suorittaville laitteille. Huolimatta siitä, että minimilatausvirta on 3 x 6 A, ovat latauslaitteet useimmiten tehoiltaan 3 x 16 A, jonka mukaan latauslaitteen syöttökaapeli sekä sitä suojaava sulake on mitoitettava.

3.2 Liittymän valinta

Kun sähköenergian tarve on selvitetty kiinteistölle, on seuraavaksi määritettävä liittymä, joka tilataan kiinteistöön paikalliselta jakeluverkonhaltijalta. Tätä varten jakeluverkkoyhtiö tarvitsee riittävät dokumentit kiinteistön sähkösuunnitelmista voidakseen toimittaa kohteelle tarvittavan liittymän. Mikäli kyseessä on uudiskohde, on parempi mitä aikaisemmin voidaan lähettää verkonhaltijalle asiakirjoja kohteen sijainnista, yleisistä rakennustiedoista, kuten kiinteistön tilojen koot ja sijainnit, teknisestä varustelutasosta ja laitteistoista, kiinteistön tontin rajojen sijainneista ja mahdollisimman tarkka sähkösuunnittelijan arvio tarvittavasta liityntätehosta. Tämä tarjoaa verkkoyhtiölle enemmän aikaa rakentaa verkko niin, että kiinteistön liittyminen on mahdollista tehdä sen vaatimassa kokonaisuudessa. Mikäli verkkoyhtiön tarvitsee muuttaa tai laajentaa verkkoaan, se vaatii aikaa mikä voi johtaa huonosti suunnitelluissa aikatauluissa kiinteistön käyttöönoton viivästymiseen. Verkkoyhtiö pystyy myös tarkistamaan pääkeskustilojen tai mahdollisen kiinteistömuuntamotilan sijainnin, koon sekä siltä vaaditut edellytykset.

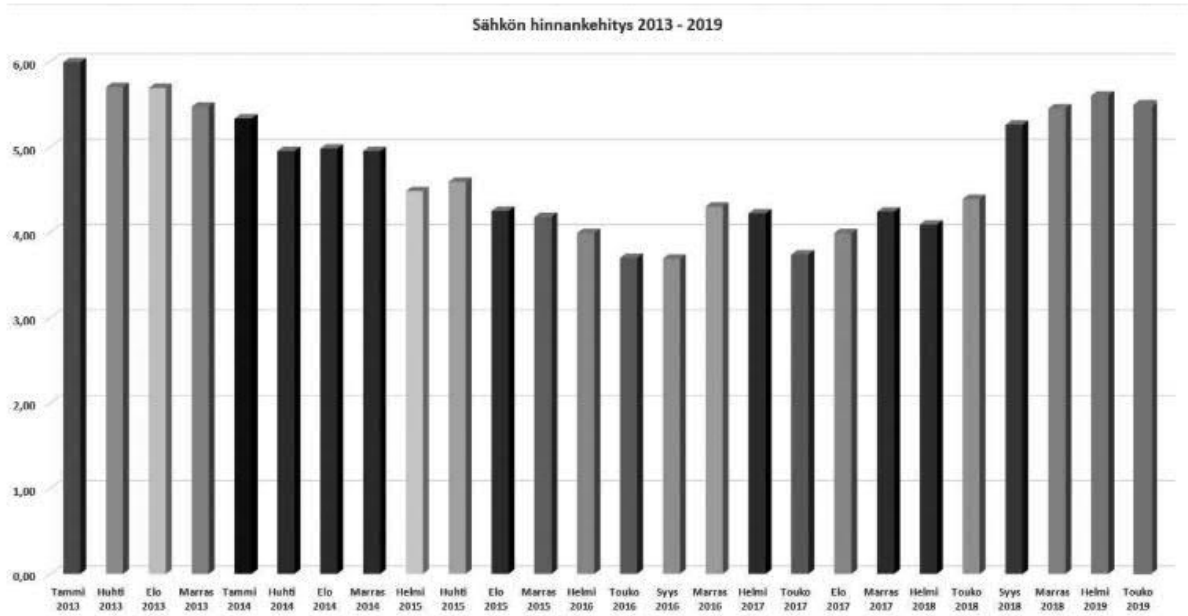
Sähkösuunnittelijan osuus liittymän valinnassa on työnimikkeensä mukaisesti olennainen. Kun suunnitelmat ovat edenneet tarpeeksi pitkälle, on sähkösuunnittelijan toimitettava sähkösuunnitelmista tiettyjä asiakirjoja verkkoyhtiölle nähtäväksi. Asiakirjat, joita verkkoyhtiölle toimitetaan ovat sähkötyöselostus, asemapiirustus, pää- ja nousujohtokaavio, maadoituskaavio, tasopiirustukset ja pääkaaviot pää- ja mittauskeskuksesta sekä niiden kokoonpanopiirustukset.

Kiinteistön sähköliittymän tilaus ei ole sama asia kuin itse sähkösopimus, joka voidaan tehdä minkä tahansa sähköyhtiön kanssa. Sähkösopimuksessa määritetään loppukäyttäjän sähkön hinta kulutuksen mukaan. Sähköliittymän tilaus koskee asiakkaan teknisiä ominaisuuksia sähköliittymän hankinnan kannalta. Näitä ovat esimerkiksi liittymiskaapeli, pääsulakkeiden koko sekä tiedot keskijännite- tai pienjännitelaitteistoista. Sähköliittymäsopimus tehdään kiinteistön omistajan nimiin. Jotta sähköliittymästä voidaan asiakkaan toimesta tehdä sopimus, on vaatimuksena, että kyseessä oleva verkonhaltija on tarkastanut ja hyväksynyt suunnitelmat, joita liittymätilausta tehdessä asiakas on heille lähettänyt. Tällä verkonhaltija voi varmistua siitä, että tarvittavat edellytykset täyttyvät ja haluttu sähköliittymä on turvallista myöntää. Itse sopimus tapahtuu kirjallisesti asiakkaan ja verkonhaltijan välillä. Jotta sähköliittymien tekeminen olisi johdonmukaista ja mahdollisimman yksiselitteistä sekä

voidaan varmistaa järjestelmien tekninen yhteensopivuus, on liittymiselle asetettava selkeät ehdot. Suomessa näitä ehtoja ylläpitää Energiateollisuus ry, joka on viimeisimmän kerran päivittänyt ehtojaan vuonna 2019. Tämän työn kannalta olennaisimmat liittymäehdot ovat LE2019, jotka koskevat alle 36 kV liittymiä. Suurjänniteliittymille ovat olemassa omat liittymisehtonsa, SJLE2019 [20].

3.2.1 Sähköenergian hinta

Sähköenergia on tuote, jota kuluttaja käyttää saadakseen sähköä vaativat laitteet toimimaan. Sähköenergian hintaan asiakkaalla on mahdollisuus vaikuttaa kilpailuttamalla sitä eri sähkönmyyjien välillä ja sen suure on normaalisti senttiä per kilowattitunti (c/kWh). Suomessa rakennusalalla toimivien tutkimuksia suorittavien tahojen mukaan sähkön hintakilpailuttaminen on hyvin vähäistä. Viimeisen kahden vuoden ajanjaksolla, hintakilpailuttajien määrä sähkön loppukäyttäjistä on vain noin kymmenen prosenttia. Kuitenkin tällä ajanjaksolla on ollut havaittavissa havahtumisen merkkejä, koska entistä useammat ovat vaihtaneet omia sähköyhtiöitään. Vertaillessa hintaeroja kahden kuluttajatyypin välillä, joista toinen on kilpailuttanut sähköenergian hintansa ja toinen ostaa sähköä sähköyhtiöltä, jonka voidaan ajatella olevan velvollinen toimittamaan sähköä, voi ero olla jopa satoja euroja vuodessa.



Taulukko 5. Sähkönhinnan kehitys 2013 – 2019 [21].

Yllä olevassa kuvassa on puolueettoman palvelun tuottamaa tilastoa sähköenergian hinnankehityksestä 2013-2019 aikaväliltä. Hinnankehityksen tutkimustyö on tehty sähköenergian hinnan kilpailutuksena sähköenergian loppukäyttäjän näkökulmasta. Vuonna 2013 sähkön hinta oli 6 c/kWh, josta tasaista hinnanlaskua tapahtui aina kesäkuuhun 2016, jolloin hinta oli alhaisimmillaan 3,7 c/kWh. Tämän jälkeen nousua hinnoissa on tapahtunut, mutta kuitenkin on vakiintunut tällä hetkellä 5 sentin tuntumaan kilowattitunnilta 2018 syksystä lähtien.

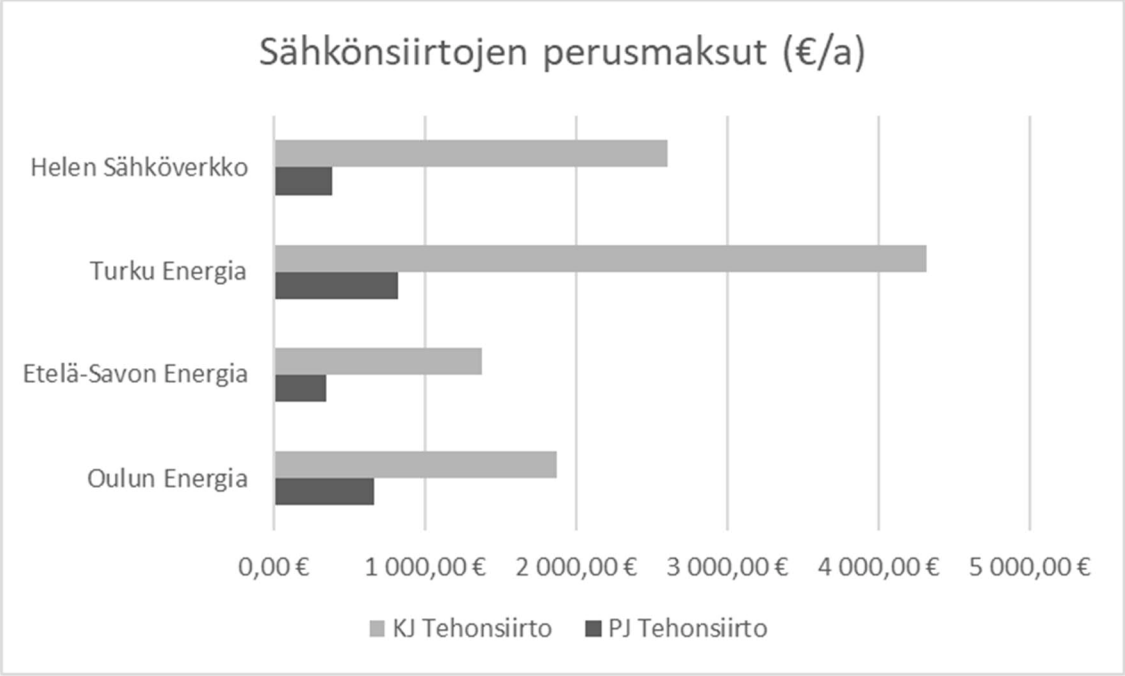
3.2.2 Sähköenergian siirtohinta

Sähköenergian siirtohinta muodostuu paikallisen jakeluverkkoyhtiön perusmaksusta sekä kuluttajan omaan energiankulutukseen perustuvasta kWh-maksusta. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kuluttajan käyttämä sähköenergia vaikuttaa myös hänen maksamaan sähköenergian siirtohintaan. Huolimatta siitä, mistä kuluttaja sähköenergiansa ostaa, sen jakelusta ja siirrosta vastaa paikallinen jakeluverkkoyhtiö. Paikallinen jakeluverkkoyhtiö on luonut oman jakelualueensa kuluttajille siirtohinnaston, jonka mukaan siirtohinta määräytyy.

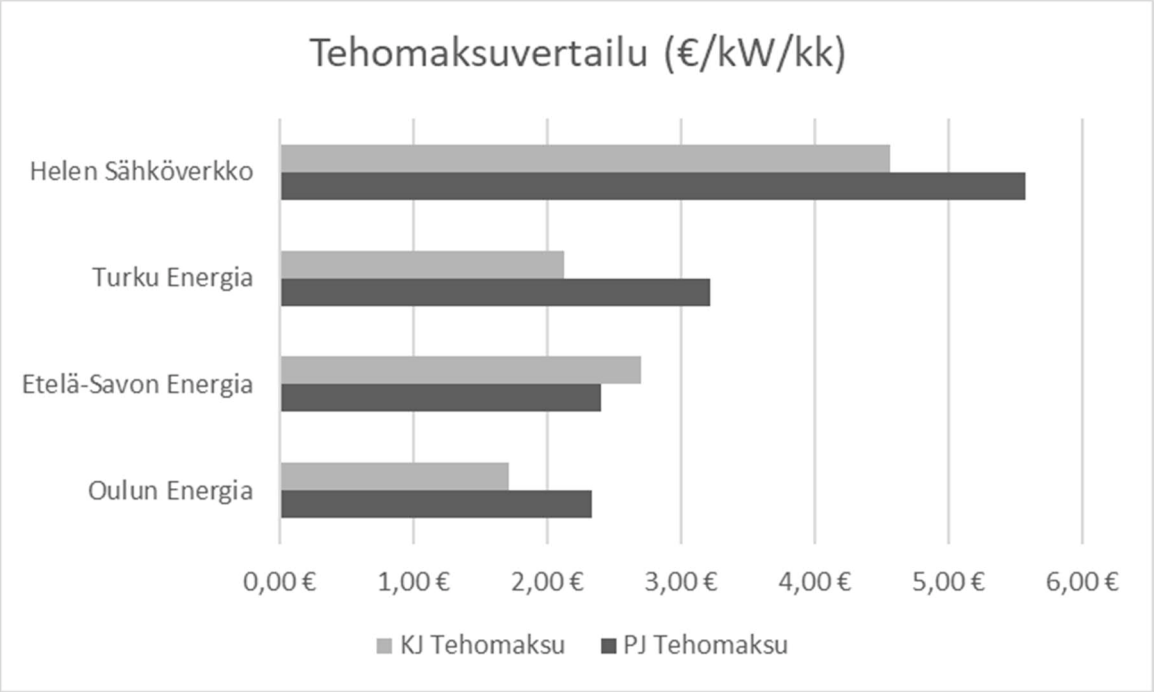
Sähkönenergian siirtomaksu pitää sisällään paikallisen jakeluverkkoyhtiön laskelmien perusteella verkon uusimisesta, kunnossapidosta sekä kokoaikaisen verkon toimintakyvyn valvonnan, vikojen ja mahdollisten myrskyjen aiheuttamat korjaustoimenpiteet. Tällä maksulla toisin sanoen jakeluverkkoyhtiö kerää varoja pitääkseen sähköverkkonsa siltä odotetulla tasolla laadullisessa näkökulmassa. Näiden lisäksi, siirtomaksu sisältää sähkönmittauslaitteistojen asennukset, nykyisten etäluettavien AMR-mittareiden tuottamien mittaustietojen keräämisen, tietojen toimittamisen sähkönmyyjille sekä valtiolle perittävät sähköverot. Koska paikalliset jakeluverkkoyhtiöt itse saavat laskelmiensa perusteella määrätä siirtohinnastonsa, on Energiavirasto asetettu valvomaan siirtohinnoittelun kohtuullisuutta.

Kun puhutaan kohteista, joissa sähköliittymän sulakekoko on pienkohteita suurempi, sähkönsiirtotuote on nimeltään tehosähkö. Sähkön siirtohinnan perusmaksu on kiinteä ja sulakekoosta riippumaton. Kuitenkin tehonkäyttö mitataan tunnin keskitehona ja laskutetaan erillisellä pätötehomaksulla liukuvan 12 kuukauden kahden suurimman pätötuntitehon keskiarvoa käyttäen. Loistehomaksu määräytyy kunkin kuukauden aikana esiintyneen suurimman loistehotuntihuipun mukaan. Loistehossa huomioidaan ainoastaan verkosta otettava loisteho. Alla olevissa taulukoissa on nähtävissä vertailua Suomen alueellisista eroista sähkön siirtohinnan muodostavien osien osalta. Tiedot ovat peräisin kyseessä olevien

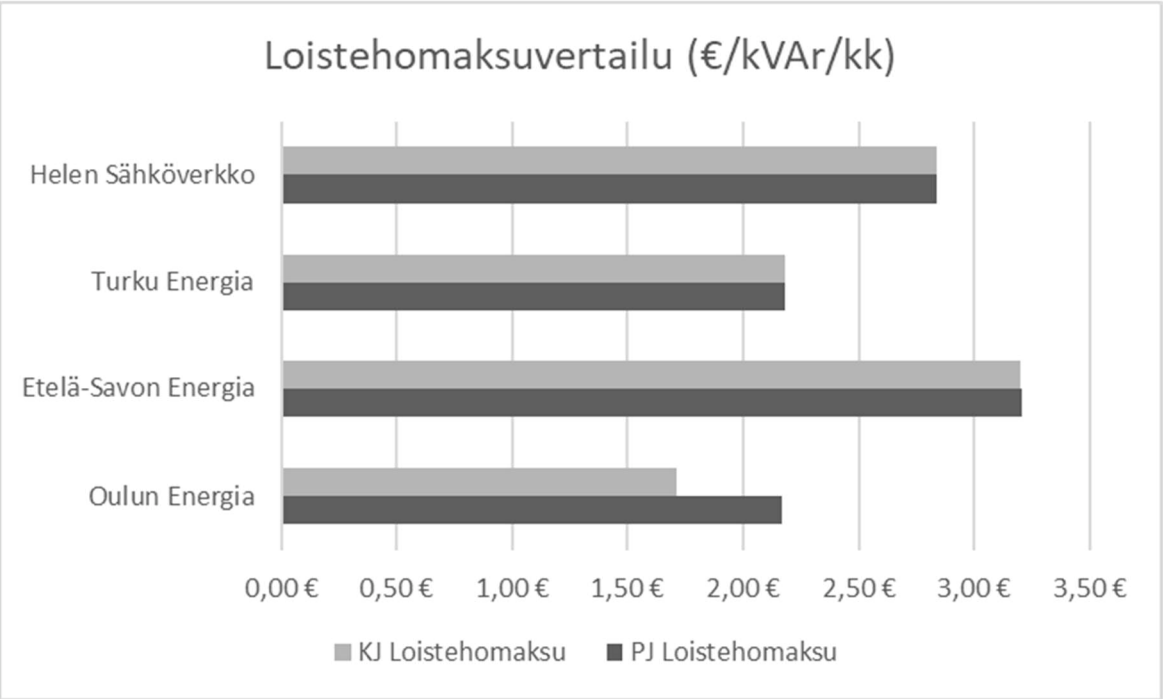
paikallisten jakeluverkkoyhtiöiden verkkosivuilta löytyvistä hinnastoista. Hinnat sisältävät arvonlisäveron, mutta hintoihin ei ole laskettu mukaan sähköverojen osuuksia. Sähköverojen lukuun ottaminen ei vaikuttaisi vertailuun, hintojen kasvaessa yhtäläisesti toisiinsa nähden.



Taulukko 6. Sähkönsiirtojen perusmaksuvertailu [22] [23] [24] [25].



Taulukko 7. Tehomaksuvertailu [22] [23] [24] [25].



Taulukko 8. Loistehomaksuvertailu [22] [23] [24] [25].

Paikallinen jakeluverkkoyhtiö laskee ja määrittää hinnastonsa oman verkkonsa toiminnan mukaisesti. Kappaleessa aiemmin mainittujen siirtohintojen suuruuteen vaikuttavien tekijöiden lisäksi, hintoihin vaikuttavat paikallisen jakeluverkkoyhtiön alueen kulutustottumukset. Tämä tarkoittaa sitä, että erot pien- ja keskijännitetehonsiirtohintojen erojen välillä näkyvät asiakaskuntien erot eli pien- ja keskijänniteasiakkaiden määrä jakeluverkon alueella.

3.2.3 Liittymän hinta

Energiavirasto on laatinut ohjeistuksen menetelmistä, joita verkonhaltijoiden omia hinnoittelumenetelmiään sekä periaatteitaan tulee noudattaa. Ohjeistuksessa tuodaan myös selkeästi ilmi se, että esimerkiksi asiakkaalle rakennettavasta liittymisjohdosta aiheutuvat kulut ja kustannukset eivät saa sisältyä liittymän hintaan. Tämä tarkoittaa sitä, että liittymän hintaan vaikuttavat eritoten asiakkaan sijainti jakeluverkon alueella sekä liittymän koko. Nykypäivänä, kun yhä useammissa sähkönkäyttöpaikoissa on myös omaa tuotantoa, on otettava liittymänhinnoittelussa se huomioon. Liittymät, jotka sisältävät omaa tuotantoa kulutuksen ohella, tulee periä vähintään kulutuksen liittymistehoa vastaava liittymismaksu. Mikäli näin ei tehdä, liittymismaksun määräytyminen tapahtuu suurimman liittymistehon mukaisesti. Jos kuitenkin tuotannon maksimiliittymisteho on suurempi kuin mitä kiinteistön

kulutuksen maksimaalinen liittymisteho on, siinä tapauksessa sovelletaan tuotannolle osoitettuja liittymismaksun määritysmenetelmiä. Mikäli tuotannon liittymisteho maksimaalinen liittymisteho on pienempi, sovelletaan kulutuksen liittymismaksun määritysmenetelmiä.

Pienjänniteasiakkaan liittymähinnan periaatteet

Kun kyse on pienjännitejakeluverkon asiakkaasta, liittymän hinnoittelun periaatteita ovat vyöhykehinnoittelu, aluehinnoittelu, teholiittymät sekä tapauskohtainen hinnoittelu. Hinnoittelu perustuu pienjännitealueella rakennuskustannuksiin ja kapasiteettivarausmaksuun. Rakennuskustannuksilla tarkoitetaan vyöhykkeillä aiheutuvia rakennuskustannuksia ja kapasiteettivarausmaksulla sitä, kuinka paljon asiakas tarvitsee verkolta kapasiteettia toimittaa tarvitsemansa sähköenergia. Mikäli tuleva asiakas on jo olemassa olevan pienjänniteverkon alueella, käytetään mitä todennäköisimmin vyöhykehinnoittelua [26].

Vyöhykejako

Vyöhykejaon muodostamista on annettu pääasialliset ohjeistukset jakeluverkonhaltijoille. Esimerkkinä tästä on, että kaikki asiakkaat, jotka sijoittuvat asemakaava-alueelle, tulee kuulua poikkeuksetta vyöhykkeelle 1. Tämä tarkoittaa sitä, että alueella olevat asiakkaat liitetään sähköverkkoon vyöhykkeen 1 hinnalla huolimatta siitä, kuinka pitkä etäisyys on. Ranta-asemakaava-alueet ovat kuitenkin erotettu tästä asemakaava-alueelle annetusta ohjeistuksesta. Ranta-asemakaava-alueelle sovelletaan vyohykejakoa, kuten muillekkin alueille eli etäisyydet olemassa olevista muuntamoista määrittelevät niiden vyöhykkeet, mikäli jakeluverkonhaltija niin katsoo niin parhaaksi. Vyöhykkeiden sisäpuolella olevat asiakkaat ovat asetettava vyöhykehinnoittelun piiriin, jotka jakeluverkonhaltijan asettamien teknisten reunaehtojen mukaan liittää paikalliseen jakeluverkkoon. Jakeluverkkoyhtiö voi asettaa teknisiä reunaehtoja asiakkailleen, kuten esimerkiksi mitoitusoikosulkuvirta tai johtimen poikkipinta-ala. Myös sähkönlaadulle asetettavat tekniset vaatimukset on otettava huomioon, koska Suomessa on asiakkaalle tarjottavalle sähköenergialle, on asetettu laatukriteerit. Asiakkaan liittyessä sähköverkkoon, tekniset reunaehdot, niistä poikkeamiset sekä niiden syyt on merkittävä ylös liittymismaksun muodostumisen perusteisiin ja niiden vaikutukset on huomioitava liittymismaksun hinnastossa. Asiakkaiden liittymähinnat, jotka sijoittuvat

vyöhykehinnoittelun piiriin, koostuvat keskimääräisistä rakennuskustannuksista sekä kapasiteettivarausmaksuista [26].

Vyöhykehinnoittelu

Vyöhykehinnoittelu tarkoittaa nimensä mukaisesti pienjänniteasiakkaiden jaottelua maantieteellisten sijaintiensa mukaisesti erihintaisiin vyöhykkeisiin. Jakeluverkonhaltijalla on lupa muodostaa haluamansa määrän vyöhykkeitä oman alueensa vaatimalla tavalla. Ainoa Energiaviraston määrittämä rajaava tekijä vyöhykehinnoitteluun koskee vyöhykkeiden ulottuvuuteen. Jakeluverkonhaltijan on otettava asiakas rajoituksetta vyöhykehinnoitteltavaksi asiakkaaksi, mikäli ne sijoittuvat alle 600 metrin päähän linnuntietä pitkin mitattuna jo olemassa olevista muuntamoista. Jakeluverkonhaltijalla on mahdollisuus mitata etäisyys joko edellä mainitusta muuntamosta tai vaihtoehtoisesti keskijänniteverkosta [26].

Aluehinnoittelu

Kun siirrytään vyöhykehinnoittelualueiden ulkopuolelle, käytetään ensisijaisesti aluehinnoittelua. Aluehinnoittelu käsitteenä tarkoittaa tiettyä, ennalta käsin rajattua aluetta, joka jää vyöhykehinnoittelun ulkopuolelle. Aluehinnoittelu on mahdollista rajata yhden tai useamman muuntopiirin alueelle. Aluehinnoittelu muodostuu niin, että alueelle tarvittavat rakennuskustannukset sekä keskijänniteverkkoon tehdystä kapasiteettivarauksesta aiheutuvat kustannukset mahdollisten rajatulla alueella olevien asiakkaiden mukaan jaetaan todennäköisten asiakkaiden lukumäärällä. Tämän vuoksi aluetta määrittäessä on oleellista, että potentiaaliset asiakkaat ovat selvitetty sekä alueelle rakennettavan sähköverkon toteutus on selvitetty perinpohjaisesti. Potentiaaliset asiakkaat aluehinnoittelun piiriin ovat niitä, joita on mahdollista olettaa liittyvän alueelle suunniteltuun sähköverkkoon maltillisen ajan kuluessa sen rakentamisesta. Tämän lisäksi, koska aluehinnoittelun alueelle rakennetaan sähköverkko, rakennettavalla sähköverkolla on niin sanottu rakennuskynnys. Rakennuskynnys on käsite, jolla tarkoitetaan rajatun alueen sähköistyskustannuksia ja niiden prosentuaalista osuutta siitä, jolla paikallisen jakeluverkonhaltijan on aloitettava liittymien rakentaminen alueella. Verkonhaltija on vapaa määrittämään rakennuskynnyksensä itse, kuitenkin niin, ettei se saa ylittää Energiaviraston asettamaan 60% enimmäisarvoa [26].

Tapauskohtainen hinnoittelu

Kun asiakkaat sijoittuvat jakeluverkkoyhtiön määrittämien vyöhykkeiden ja alueiden ulkopuolelle, käytetään liittymän hinnoittelussa tapauskohtaista hinnoittelua. Maantieteellisen sijainnin lisäksi tapauskohtaisen hinnoittelun perusteena on myös, mikäli määritellyn alueen, jolle asiakas kuuluu, rakennuskynnys ei toteudu. Asiakas, jonka liittymän hinta muodostetaan tapauskohtaisella hinnoittelulla, muodostuu pelkästään jakeluverkon rakennuskustannuksista, jotka aiheutuvat asiakkaan sähköliittymän rakentamisesta. Jakeluverkonhaltija on oikeutettu valitsemaan tavan, jolla sähköverkon rakentaminen toteutetaan, kuitenkin niin, että vähintäänkin kohtuulliset tekniset vaatimukset sähköverkkoon liittäessä täyttyy rakennustavan ollessa mahdollisimman edullinen. Mikäli uusi asiakas liitetään tapauskohtaisella hinnoittelulla jo olemassa olevaan muuntopiiriin liittymismaksuun, saa sisällyttää pienjännitevarokkeet sekä sitä seuraavat pienjänniteverkon rakennuskustannukset [26].

Pienjänniteteholiittymän hinnoittelu

Käsiteltäessä pienjänniteteholiittymiä sekä niiden hinnoittelua, koostuvat ne liittymän rakentamisesta aiheutuvista kustannuksista sekä liittymälle määritettävästä kapasiteettivarausmaksusta. Energiavirasto on muodostanut yksiselitteisen laskentakaavan, johon pienjänniteteholiittymän hinnoittelun tulee perustua. Pienjänniteteholiittymän hinnoittelun kaava on:

a + b * P

, jossa

a	on rakennuskustannus, joka aiheutuu sähköverkkoon liittämisestä [€]
b	on liittymälle tehtävä kapasiteettivarausmaksu, sisältäen olemassa olevan jakelumuuntamon, keskijänniteverkon sekä päämuuntajan vahvistamisen [€/kVa]
P	on asiakkaan liittymisteho [kVa]

Teholiittymien yhteydessä käytettävällä ”kapasiteettivarausmaksu” -käsitteellä tarkoitetaan rahallista summaa, jolla tullaan kattamaan uusien sähköliittymien rakentamisen aiheuttamia olemassa olevien sähköverkkojen vahvistamisen tarpeita. Tämänhetkisellä Energiaviraston ohjeistuksella vahvistustoimenpiteiksi katsotaan jakeluverkon komponenttien korvaaminen vahvemmalla komponentilla, jonka perusteella vahvistustoimenpiteiden kustannukset lasketaan. Kapasiteettivarausmaksu oikeuttaa asiakkaan tai sähköliittymän haltijan varaamaan liittymästään sähköverkosta sähköenergian siirtokapasiteettia maksamansa kapasiteettivarausmaksun verran. Kapasiteettivarausmaksu peritään kaikilta teholiittymän haltijoilta tasapuolisesti suhteutettuna liittymiä varten varatun ”sähkönsiirtokaistojen” kokoihin sekä niistä johtuviin rakennuskustannuksiin. Kapasiteettivarausmaksulle on myös muodostettu Energiviraston toimesta kaava, jolla se voidaan laskea. Kaavasta voidaan havaita, kuinka kapasiteettivarausmaksu teholiittymäasiakkaalle muodostuu [26].

$$\mathbf{KVM_{pjt} = KVM_i * (1 - \theta) + KVM_m * \theta + KVM_{pm} + KVM_{jm}}$$

, jossa

KVM_{pjt} on pienjänniteteholiittymän kapasiteettivarausmaksu

KVM_i on 20kV ilmajohdon kapasiteettivarausmaksu

KVM_m on 20kV maakaapelin kapasiteettivarausmaksu

KVM_{pm} on päämuuntajan kapasiteettivarausmaksu

KVM_{jm} on jakelumuuntajan kapasiteettivarausmaksu

θ on maakaapelointiaste

Liittymäkoon muuttaminen pienjänniteverkossa

Ajan kuluessa, on mahdollista, että kiinteistöjen ja asiakkaiden tarpeet muuttuvat. Tämä voi tarkoittaa sitä, että kiinteistön joko sähköenergiantarve esimerkiksi saneerauksen tuloksena lisääntyy uuden käyttötarkoituksen myötä tai pienenee. Näitä tilanteita varten paikallisilla jakeluverkkojen haltijoilla on oltava myös oma kohtansa hinnastoissaan. Mikäli asiakkaan sähköliittymän kokoa kasvatetaan, peritään useimmiten lisäliittymismaksu. Tämä tarkoittaa

käytännössä summana uuden ja olemassa olevan liittymän varokekokojen liittymismaksujen erotusta. Tehojänniteliittymää suurennettaessa uuden hinnan muodostaminen perustuu uuden ja vanhan liittymistehon erotukseen. Energiavirasto on muodostanut esimerkkikaavan, jolla liittymäkoon pienjänniteteholiittymän kasvaessa uusi liittymähinta voidaan laskea:

$$\mathbf{a + b * (P_{uusi} - P_{vanha})}$$

, jossa

a	on rakennuskustannus, joka aiheutuu sähköverkkoon liittämisestä [€]
b	on liittymälle tehtävä kapasiteettivarausmaksu, sisältäen olemassa olevan jakelumuuntamon, keskijänniteverkon sekä päämuuntajan vahvistamisen [€/kVa]
$\mathbf{P_{uusi}}$	on asiakkaan uusi liittymisteho [kVa]
$\mathbf{P_{vanha}}$	on asiakkaan vanha liittymisteho [kVa]

Pienjänniteliittymän koon pienentyessä, paikallinen jakeluverkkoyhtiö määrittää itse, kuinka heidän sähköverkon alueellaan uusi hinta muodostetaan pienennetylle liittymäkoolle [26].

Keskijänniteasiakkaan liittymähinnan periaatteet

Kuten pienjänniteteholiittymän omaavan asiakkaan, myös keskijänniteliittymän liittymismaksun periaatteet perustuvat rakennuskustannuksiin sekä kapasiteettivarausmaksuun. Kun uusi asiakas liitetään keskijännitejakeluverkkoon, paikallinen jakeluverkon haltija velottaa asiakkaalta liittymismaksun yhteydessä liittämisestä koituvat välittömät rakennuskustannukset, jotka kohdistuvat verkon laajentamiseen sekä kapasiteettivarausmaksu. Energiaviraston ohjeistuksen mukaan määrite ”verkon laajentaminen” käsittää täysin uuden sähköverkon rakentamisen ja toiminnallisesti uusien laitteistojen lisäämisen jo olemassa olevaan verkkoon. Keskijänniteliittymän hinnoittelua varten voidaan käyttää samaa kaavaa kuin pienjänniteteholiittymän hinnoittelulle. Muutamia lisäyksiä yhtälön tekijöiden sisältämiin määritteisiin on kuitenkin tehty, suurempien teholuokkien lisäksi:

$$a + b * P$$

, jossa

a on kustannus, joka sisältää välittömät verkkoon liittämisestä aiheutuvat verkon laajennuskustannukset sekä mahdolliset liittymästä aiheutuvat verkon suojauskustannukset, pois lukien sähköverkon vahvistamisen kulut [€]

b on kapasiteettivarausmaksu, joka kattaa olemassa olevan keski- tai suurjännitejakeluverkon vahvistamisen [€/kVa tai MVA]

P on asiakkaan liittymisteho [kVa tai MVA]

Myös kapasiteettivarausmaksun määrittäminen keskijännitejakeluverkkoon liitettävälle asiakkaalle on hyvin samanlainen kuin pienjänniteteholiittymän asiakkaalle. Eroavaisuus pienjännitetehoasiakkaaseen kuitenkin on se, että siirryttäessä ylemmälle jännitetasolle, jakelumuuntajat eivät koske keskijännitejakeluun liitettävää asiakasta, joten jakelumuuntajien vaikutus kapasiteettivarausmaksuun poistuu. Täten kaava on seuraavanlainen:

$$KVM_{kj} = KVM_i * (1 - \theta) + KVM_m * \theta + KVM_{pm}$$

, jossa

KVM_{kj} on keskijänniteliittymän kapasiteettivarausmaksu

KVM_i on 20kV ilmajohdon kapasiteettivarausmaksu

KVM_m on 20kV maakaapelin kapasiteettivarausmaksu

KVM_{pm} on päämuuntajan kapasiteettivarausmaksu

θ on maakaapelointiaste

Liittymäkoon muuttaminen keskijänniteverkossa

Kuten pienjänniteliittymien kokojen, myös keskijänniteliittymien kokojen muutosta varten paikallisilla jakeluverkkoyhtiöillä täytyy olla liittymien muutoksia varten tarkoitettu hinnoittelumenetelmä. Periaate hinnan muodostamiselle liittymäkoon suurentamistapauksessa

on sama kuin pienjänniteteholiittymienkin kohdalla eli muutos perustuu uuden ja vanhan liittymän liittymistehon erotukseen, jossa uudesta liittymistehosta vähennetään vanha. Liittymäkoon pienentyessä, paikallisilla jakeluverkkoyhtiöillä on olemassa omat tapansa muodostaa uusi hinta parhaaksi katsomallaan menetelmällä [26].

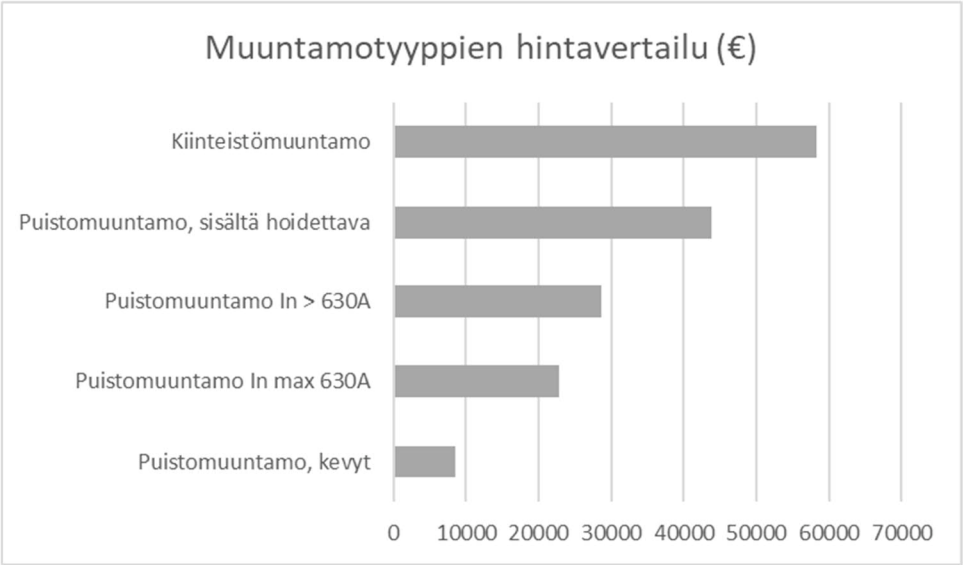
3.2.4 Keskijänniteliittymälle ominaiset kustannukset

Rakennuksen liittymää pohdittaessa toteutetaanko se pien- vai keskijänniteliittymänä, on syytä huomioida keskijänniteliittymävaihtoehdon tuomat kustannukset, joita pienjänniteliittymä ei sisällä. Mikäli rakennuksen liittymä toteutetaan keskijännitteellä, se vaatii muuntamotilan, muuntajan, keski- ja pienjännitekojeistot sekä kiskosillat. Nämä ovat merkittäviä lisäkustannuksia, jotka vaikuttavat hintavertailussa pienjänniteliittymän kanssa. Energiavirasto on tuottanut komponenteille yksikköhinnaston jakeluverkkoyhtiöiden toteuttamien investointikustannusten perusteella. Kun hintoja tutkitaan Energiaviraston tuottamasta yksikköhinnastosta, on tärkeää huomioida, mitä hinnat sisältävät. Tätä voidaan hyödyntää laskiessa keskijänniteliittymälle ominaisten ja tarvittavien komponenttien tuomaa lisäkustannusta. Tässä kappaleessa ei syvennytä muuntamotilan vaikutuksiin, vaan oletetaan, että muuntamotila on itsessään valmiiksi suunniteltu tila.

Muuntamotyypit

Mahdollisia eri muuntamotyyppejä ovat rakenteiltaan ja sähköarvoiltaan eritasoiset puistomuuntamot sekä kiinteistömuuntamo. Energiaviraston verkkokomponenttien määritysten mukaan puistomuuntamon osalta ”*Esimerkkikalustuksessa kustannuksiin sisältyvät muuntamokoppi, vähintään 2 kj-erotinkennoa, erottimet, 1 pj-keskus, jossa pääkytkin, omakäyttöosa ja tila keskittimille, jonovarokkeet ja sulakkeet, maadoitus, kuljetukset ja asentaminen, perustukset, muuntamon kuormitusmittaukset sekä maapohjakorvaukset. Kustannuksiin eivät sisälly kaapelilähtöjen päätteet asennuksineen, muuntaja, muuntajan asennus, ylijännitesuojaus, kaukokäytöt ja moottoriohjaimet sekä ala-asema ja maasulun vianindikointilaitteet.*” Kiinteistömuuntamon osalta ”*Esimerkkikalustuksessa kustannuksiin sisältyvät 3 kj-erotinkennoa, joista 1 muuntajalle, erottimet, 1 pj-keskus, jossa pääkytkin, omakäyttöosa ja tila keskittimelle, jonovarokkeet ja sulakkeet, maadoitus, kuljetukset ja asentaminen, muuntamotilan vuokra pitoajalta tai ostohinta, tilan vaatimat erikoisrakenteet (ilmastointi yms.), kaapelireitit ja läpiviennit muuntamolle, palotilavaatimukset ja muuntamon kuormitusmittaukset. Kustannuksiin eivät*

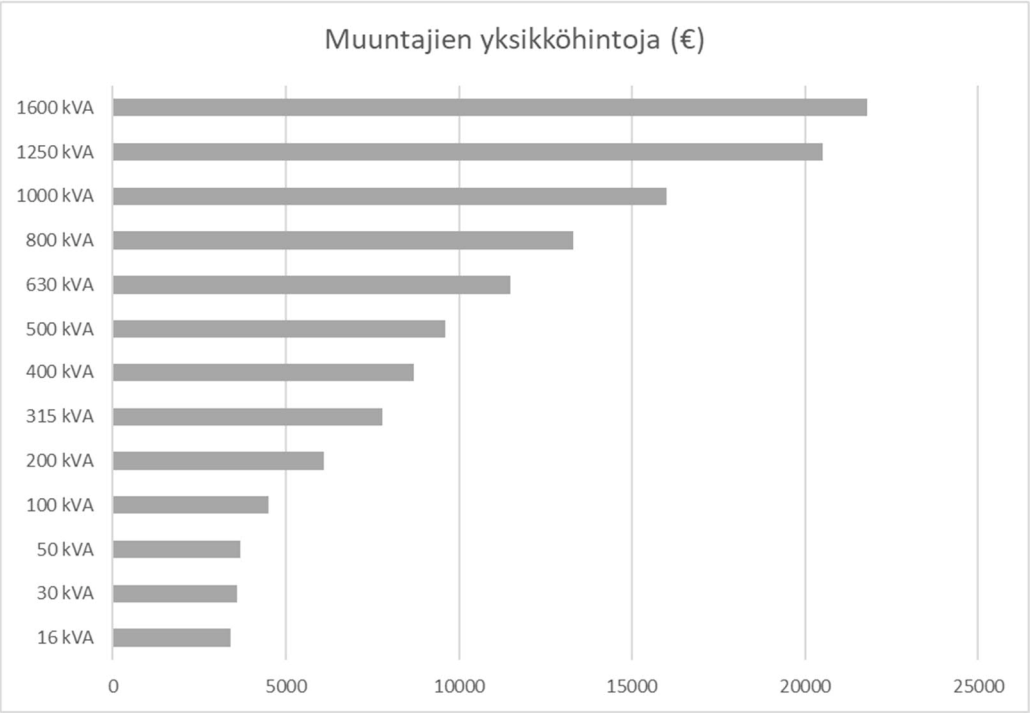
sisälly kaapelilähtöjen päätteet asennuksineen, muuntaja, muuntajan asennus, ylijännitesuojaus, kaukokäytöt ja moottoriohjaimet sekä ala-asema ja maasulun vianindikointilaitteet." Alla olevasta grafiikasta voidaan nähdä hintaerot puistomuuntamomahdollisuuksien sekä kiinteistömuuntamon välillä. Puistomuuntamoiden kohdalla nimellisvirrasta eli "I_n" arvosta, tarkoitetaan muuntamon pienjännitekeskuksen nimellisvirtaa [27].



Taulukko 9. Muuntamotyyppien hintavertailu [28].

Muuntaja

Kuten mainittua, Energiaviraston hinnoittelemat muuntamotyypit eivät sisällä vielä itsessään muuntajalaitetta. Tämän vuoksi muuntajatyypin hintaan on lisättävä vielä sähkösuunnitelmien ja laskelmien perusteella määritettävä, riittävän suuri muuntajalaite. Yksikköhinnasto sisältää muuntajien hintoja, jotka auttavat määrittelemään kokonaiskustannuksia. Yksikköhinnastossa 20/0,4 kV muuntajista puhuttaessa sekä sen yksikköhinnasta puhuttaessa, on otettu huomioon itse muuntajalaite varusteltuna, kuljetus sekä toimittaminen perustuksellensa. Muuntajan yksikköhintaan esitettyyn kustannukseen lukeutuu mukaan muuntajalaitteen asennus tai mahdollinen vaihto ja ylijännite- sekä eläinsuojaus.



Taulukko 10. Muuntajien yksikköhintoja [28].

Muuntamon vaatimat työtunnit sekä pien- ja keskijännitetarvikkeet

Kun suurimmat ja olennaisimmat komponentit on saatu määriteltyä, tarvitsee ne myös asentaa. Muuntamonkaltainen laitteisto vaatii myös omat asennus tarvikkeet ja työkalunsa, jotta kokonaisuus voidaan kasata vaatimusten mukaisesti. Energiaviraston tarvikkeille ja asennuksille määrittämien hintojen perusteella, summaksi näille koostuu kokonaishinnasta noin neljännes.

3.3 Kiinteistön pohjakuorma

Kiinteistön pohjakuormalla tarkoitetaan rakennuksen kuluttamaa sähköenergiaa riippumatta vuorokauden hetkestä tai vuodenajasta. Rakennuksien pohjakuorma muodostuu kiinteistön sähköä vaativista järjestelmistä, jotka ovat päällä vuorokauden ympäri. Nykyisistä olemassa olevista rakennuksista on haasteellista laskea pohjakuormia, koska kiinteistön sähkönkulutus on mitattu usein vain kiinteistömittauksella sekä mahdollisilla tilakohtaisilla mittauksilla. Pohjakuorman seuraamista ja mittaamista helpottaisi, mikäli kiinteistön sähköä kuluttavat laitteistot ja niiden sähkösyötöt varustettaisiin jälkimittauksin. Tämänkaltaisia järjestelmiä ovat muun muassa ilmanvaihtolaitteisto, jonka puhaltimet pyörivät tauotta. Tämän vuoksi kiinteistöautomaatio on erittäin olennainen energiansäästökeino. Uusien rakennettavien

kiinteistöjen pohjakuormaa on mahdollista laskea ja arvioida erinäisten laskentaohjeiden mukaan. ST-kortistoihin on luotu laskentaohjeita pohjakuormia varten. Laskentaohjeet perustuvat todellisiin laskelmiin, kokemuksiin ja saatuihin tuloksiin.

Laitteistoissa itsessään voi olla mahdollisuuksia määrittää ajallisia käyttöprofiileja kiinteistön tai tilojen käyttötuntien mukaan. Esimerkkinä voidaan puhua edeltä mainitusta ilmanvaihtolaitteistosta, jossa ilta- ja yöaikaan puhaltimet voidaan ajaa pyörimään pienellä teholla, jolloin sähköenergiaa ei kulu kuten normaalikäytössä. Pohjakuorma on merkittävin tekijä kiinteistön sähkönkulutuksen muodostumisessa. Vaikka pohjakuorma onkin tehoarvoltaan pienempi kuin kiinteistön käyttötuntien aikana tapahtuvan kulutuksen arvo tai huipputeho arvo, muodostaa pohjakuorma silti valtaosan kokonaissähkönkulutuksesta pohjakuorman sen kuluttaessa sähköenergiaa jatkuvasti.

Rakennuksen ja sen tilojen käyttötarkoituksista riippuen myös käyttäjäsähkö saattaa lisätä huomattavasti pohjakuormien kokoa. Tästä yksinkertainen esimerkki on toimistotilojen käyttäjäsähköt. Niihin lukeutuvat tietokoneet, niiden oheislaitteistot, atk-laitteet sekä valaistus. Mikäli työpäivän päätteeksi työntekijät jättävät kyseisiä laitteita päälle yön ajaksi, ne kasvattavat huomattavasti pohjakuormaa ja täten lisää vuodenaikana merkittävästi turhia sähköenergian kustannuksia. Tämän vuoksi eritoten toimistotilojen henkilökunnan ohjeistuksella sekä kouluttamisella hyville toimistokäyttäytymistavoille on myös suoria rahallisia säästöjä, kun pyritään energiatehokkuuteen ja huolellisuuteen.

3.4 Kiinteistön huipputeho

Kuten työn alussa jo sivuttiin huipputehoa ja sen merkitystä kiinteistön sähköliittymän kannalta, huipputehon selvittäminen on lähtökohta liittymän mitoittamiselle. Huipputeho on siis hetkellisesti suurin tehoarvo, mitä kiinteistö kuluttaa. Tämän arvon perusteella kiinteistölle valitaan pääsulakekoko, joka myös osaltaan määrittää sähköliittymän hintaa. Huipputehon arviointiin on olemassa useampia menetelmiä. Menetelmän valitsemiseen vaikuttaa myös se, että onko kyseessä uudis- vai saneerauskohde. Uudiskohteisiin ei ole olemassa dataa kulutuksesta menneeltä ajalta, joten huipputeho on arvioitava suunnittelutietojen sekä tulevien tilojen asiakkaiden ja niiden kulutustottumuksien pohjalta.

Uudiskohteen huipputehoa voidaan arvioida myös peilaamalla vastaavanlaisiin kiinteistöihin sekä niiden kulutustietoihin, mikäli tämä on mahdollista. Kun puhutaan uuden kiinteistön huipputehon arviointiin käytettävistä, puhtaasti matemaattisista tavoista, on kyseessä useimmiten menetelmänä kuormitusmalli, rakennuksen kokoon sidottava malli, laiteluetteloihin sidottava malli tai Velanderin kaava. Kuormitusmallilla tarkoitetaan käyttäjätyyppeihin sidottavia kulutustottumuksia. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tulevan tilankäyttäjän sähkönkulutusta arvioidaan samankaltaisten kuluttajien kulutusprofiilien ja käyttötottumusten mukaan. Mikäli kuluttajalta on aiempaa tietoa vuosienergian määrästä, voidaan kuormitusmallilla laskea valitun yksittäisen tunnin tehon suuruus. Rakennuksen kokoon sidottavalla mallilla tarkoitetaan puhtaasti fyysisiin tilojen koko- ja tilatietoihin perustuvaa laskentaa. Useimmiten muuttujana on tilan pinta-ala. Adato on suomalainen yritys, joka palvelee suomalaisia energiayhtiöitä kehittämällä heille erinäisiä laskentavälineitä sekä työkaluja suunnitteluun ja laskentaan. Adato on julkaissut laskentamallin pienjänniteverkkojen mitoitustehoista ja -energioista, SA 1:87, joka sisältää laskentamallin huipputeholle, jossa muuttujana käytetään nimenomaisesti rakennuksen pinta-alaa. Laiteluetteloihin perustuva arviointimalli vaatii kohteen koje- sekä valaisinluettelot, jotta näistä voidaan muodostaa kuormituksen määrä. Kuitenkaan kaikki laitteet eivät ole samanaikaisesti päällä, joten suunnittelijan tulee asettaa tasauskertoimet, joilla kuvataan kojeiden automatisointitasoa sekä yhdenaikaista päällä olemista. Velanderin kaava on matemaattinen malli, jolla pystytään arvioimaan huipputeho vuotuisen energiamäärän sekä kyseessä olevan käyttäjän ja sille ominaisen kertoimen avulla. Käyttäjän sähkötehot eivät kuitenkaan noudata tarkasti kaavaa, mutta kaavan tuottamat tulokset on osoitettu kuitenkin tuottavan todellisten huipputehojen likiarvoja [11].

Mikäli kyseessä on puolestaan saneerauskohde, voidaan hyödyntää olemassa olevan kiinteistön sähköliittymän kulutustietoja menneeltä ajalta ja yhdistää näihin tietoihin tulevat kiinteistön tiloja ja tekniikkaa koskevat muutokset. Kiinteistön sähköliittymää koskevat kulutustiedot ovat mahdollista saada sähköyhtiöltä, jonka kanssa on sähkösopimus tehty tai mikäli kiinteistöön on asennettu sähköenergian mittaukseen tarkoitettu laitteisto. Kulutuksen pystyy myös tehdä kuormitusmittauksena, joka tarkoittaa sitä, että suunnittelija tai sähköurakoitsija käy erillisen mittalaitteen kanssa mittaamassa kiinteistön kuormituksen kiinteistön pääkeskuksesta. Kun kulutustiedot ovat selvillä, on sähkösuunnittelijan seuraava tehtävä selvittää tulevat saneeraustöiden aiheuttamat vaikutukset olemassa olevaan

kulutukseen. Suurimpia muutoksia voivat olla laitteistojen automatisointi, jotka pienentävät huipputehon kokoa tai kiinteistön yhteyteen lisättävät sähköautojen latauspaikat, jotka puolestaan todennäköisimmin nostavat huipputehoa sekä vuotuista sähköenergiankulutusta.

Huipputehoa voidaan myös hallita kysynnänjoustolla sekä kuormanhallinnalla. Ajatuksena näillä edellä mainituissa metodeissa on siirtää sähköenergiankulutusta muuhun hetkeen, jotta suurinta hetkellistä kulutusta kyettäisiin pienentämään. Kysynnänjousto tai kuormanhallinta kumpikaan kuitenkin harvoissa tapauksissa pienentää kokonaisenergiankulutusta. Tarkoituksena on siis tavoitella pienempää huipputehoa sekä mahdollisuutta valita pienempi pääsulakekoko ja sitä kautta pienempi liittymän hinta. Yksinkertainen esimerkki kuormanhallinnasta on kontaktoreilla tehtävä sähkökiukaan ja sähköisen lattialämmityksen vuorottelutoiminto. Tällä vältetään kahden suuren kuorman yhtäaikainen päällä oleminen. Nykyaikaisempaa kuormanhallintaa on tavattavissa sähköautojen latauspisteiden keskuudessa. On olemassa erillisiä kuormanhallintayksiköitä hallitsemaan sähköautojen latauspaikkojen tuomaa huipputehon kokoa. Tämänkaltainen kuormanhallintayksikkö sijoitetaan sähköautojen latauspaikkoja palvelevaan keskukseen. Kysynnänjoustossa periaate on sama, mutta toteutustapana toimii tariffien mukaan eli se perustuu siis sähköenergian hinnan vaihteluihin. Molemmat tavat mahdollistavat taloudellisia säästöjä sekä pienentävät huipputehon kokoa. Taloudelliset hyödyt tulevat joko alun investointien aikana, kun pääsulakekoon osalta on mahdollista selvitä pienemmällä tai käyttöiän aikana, kun sähköä kulutetaan pienemmän sähköenergian hinnan aikana [29].

4 Sähkösuunnittelun kehittäminen

Teknologian, laitteiden sekä erinäisten kokonaisuuksien ja rakennustapojen kehittyessä, on myös suunnitteluosaamisen sekä -tapojen kehityttävä mukana. Kehittämällä jokaista rakennusprojektin osa-aluetta sekä siihen liittyviä vaiheita ja nyansseja, varmistetaan mahdollisimman suuri kehityksen tuoma hyöty. Sähkösuunnittelun näkökulmasta olennaisimpia kehitysaskelia ovat suunnitteluohjelmien monipuolisuus ja kyky taipua mitä useampien vaikuttavien tekijöiden huomioimiseen ja mahdollisimman tarkkojen tulosten tuottamiseen, unohtamatta kuitenkaan käyttäjäystävällisyyttä ja yksinkertaista käyttöä. Maailmalla on tuotettu useita laskentamalleja ja taulukoita ajan saatossa, jotka ottavat huomioon yhä enemmän ja useampia laskelmiin vaikuttavia tekijöitä.

Jotta voidaan pyrkiä tulevaisuudelle aseteltuihin energiatehokkuustavoitteisiin sekä ympäristöystävällisyyteen, on luotava työkaluja, joilla tavoitteisiin voidaan päästä. Sähköliittymien mitoittamista varten on tehty useita tutkimuksia olemassa olevista rakennuksista ja niiden kulutusprofiileihin perustuen. Ne ovat tuottaneet arvokasta materiaalia, jotka mahdollistavat laskentamenetelmien kehittämisen sekä auttavat ymmärtämään kooltaan ja käyttötarkoituksiltaan erilaisten rakennusten käyttäytymistä eri ajankohtina. Näiden tietojen pohjalta on mahdollista keskittää resurssit oikeiden ja merkittävimpien teknisten kohtien suunnitteluun käyttötarkoituksesta riippuen, kun kyseessä on uudiskohde.

4.1 Sähkönkulutustutkimusten osoittamia haasteita

Kuten mainittu, sähkönkulutustutkimuksia on tehty erikokoisista sekä käyttötarkoituksiltaan erilaisista rakennuksista. Sähkönkulutustutkimuksilla on pyritty selvittämään myös tämän työn olennaisin kysymys eli onko rakennuksen sähköliittymä optimaalinen. Sähköliittymän mitoituksen optimointi on osittain haasteellista ja käyttötarkoituksesta riippuen huomioitavat asiat vaihtelevat käyttötarkoituskohtaisesti. Jotta saataisiin selville suurimpia haasteita käsiteltäessä rakennusten optimaalisen sähköliittymän suunnittelua, oli saatava käsitys siitä, mitkä haasteista olivat merkittävämpiä tulosten kannalta. Näitä haasteita selvitettäessä, käytiin läpi muutamia aiemmin tehtyjä diplomitöitä, joissa oli tehty rakennuksien sähkökulutuksen ajallisen profiilin tarkastelua. Kohteina olivat erilaisia rakennuksia ja selvisi, että haasteet ovat osittain samoja ja osittain erilaisia.

Vuonna 2019 tehdyssä ”Rakennusten sähköliittymien mitoitus” työssä käsiteltiin yleissivistävien koulutusten rakennuksia”, joilla tarkoitetaan päiväkoteja sekä kouluja. Työssä käsitellään useita laskentamalleja ja niiden soveltuvuuksia sekä täsmäävyyttä mitattuihin tuloksiin. Tämän lisäksi työssä tehtiin kyselytutkimus sähkösuunnittelijoille huipputehon mitoitukseen käytettävistä työkaluista ja selvitettiin mikä menetelmä on suosituin. Tämän mukaan laitetietoihin perustuva laskentamenetelmä on käytetyin, selvällä erolla linearisoituihin laskentamalleihin. Nämä ovat lähtökohtaisesti suotuisampia mitoitustapoja uudiskohteita varten [30]. Vuonna 2008 valmistuneessa ”Sähköenergian käytön tehostaminen kiinteistötoimialalla” työssä käsitellään suurempien kiinteistöjen sähkönkulutusta sekä esille tulleita haasteita ja kehityskohteita sähkönkulutukseen liittyen. Työssä käsitellään paljon

kiinteistön teknisten järjestelmien muodostamaa pohjakuormaa, sen automatisointia sekä sen päälle lisättävää käyttäjäsähköä. Näistä kahdesta työssä kulminoituu merkittävimmät huomioitavat kohdat, joilla on vaikutusta sähköliittymän määrittämiseen [31].

Laitetietoihin perustuva huipputehon arviointi on menetelmänä suosittu etenkin uudiskohteissa. Tämä menetelmä on kuitenkin hyvin riippuvainen kohteen suunnitelmien sekä suunnittelijan tasosta riippuvainen. Mikäli rakennuksen laiteluetteloita päivitetään harvoin suunnitelmien edetessä, se hidastaa suunnitelmien etenemistä ja kasvattaa riskiä epäedullisen liittymän määrittämiselle. Vaikka laitetiedoissa tapahtuisikin pieniä muutoksia laitteiden tehoissa, on vaikutukset sitä suurempia mitä suurempi kohde on kyseessä, koska usein laitemäärät ovat suuria. Laiteluettelon paikkansapitävyyden lisäksi, olennaista on myös sähkösuunnittelijan henkilökohtainen osaamisen taso. Mikäli sähkösuunnittelijalla ei ole paljoa aiempaa kokemusta, voi haasteeksi koitua kokonaisuuden hahmottaminen sekä järjestelmien samanaikaisen toiminnan ymmärtäminen. Tämä osoittautuu todennäköisimmin laitteille ja laitteistoille määriteltävistä samanaikaisuus- tai tasauskertoimista. Mikäli kertoimet ovat kaukana todellisuudesta, liittymä yli- tai alimitoitetaan suurella todennäköisyydellä. Kertoimien määrittelyä varten on hyvä tutustua tulevien tilojen käyttöön huolellisesti sekä perehtyä asiakkaan toimintaan ja mahdollisiin tulevaisuuden näkymiin sähkötehon kasvun varalta.

Lineaariset laskentamallit olivat toiseksi suosituin sähkösuunnittelijoiden käyttämä tapa määrittää huipputehoa kiinteistölle. Lineaariset laskentamallit perustuvat siis rakennuksen kokoon eli muuttujana käytetään rakennuksen pinta-alaa. Tämä kuitenkin on erittäin altis paikkaansa pitämättömille tuloksille. Tämä on selitettävissä sillä, että pinta-alan ollessa ainoa muuttuja, rakennuksen tai tilojen käyttötarkoitus, rakennuksen rakennustapa sekä käyttäjien keskenäiset eroavaisuudet jäävät huomioimatta. Lineaariset mallit tuottavat suurpiirteisiä kulutustietoja, mutta ei esimerkiksi kykene tuottamaan hetkellisiä teholukuja, kuten tunnin sisällä vaihtelevia hetkittäisiä kuormia. Ne ovat merkittäviä, koska ne voivat olla moninkertaisia saatuihin tuntitehoihin verrattuna.

Sen lisäksi, että pyritään arvioimaan kiinteiden laitteiden ja järjestelmien tarvitsemat tehot, on myös kuluttajan käyttäytyminen merkittävässä roolissa. Kiinteistön pohjakuorman lisäksi, sähköenergiaa kuluu käyttäjän toimesta eri käyttölaitteilla sekä tilojen käyttöön vaadittavia rakennukseen asennettuja laitteistoja. Tämänkaltaisia ovat muun muassa valaistus,

keittiölaitteistot, atk-laitteet sekä auton lataus- ja lämmityspisteet. Nämä luovat haasteita sähköliittymän mitoittamiseen siten, että pohjakuorman lisäksi käyttäjän huolimattomuus tai tottumukset lisäävät tarpeetonta energiankulutusta, joka pahimmassa tapauksessa kasvaa siten, että kiinteistö tarvitsee suuremman liittymän kyetäkseen siirtämään tarvittavan määrän sähköenergiaa, vaikka osa kulutuksesta olisikin täysin turhaa. Tämä puhuu kiinteistöautomaation puolesta, jolla laitteistoja voitaisiin kytkeä pois päältä ja takaisin päälle vain niiden hetkien ajaksi, kun tarvetta todellisuudessa on. Kiinteistön haltijan tai omistajan näkökulmasta usein erinäiset automaatiojärjestelmät ovat vastenmielisiä niiden vaatiman osaamisen ja huoltamisen takia, mutta pidemmällä aikavälillä järjestelmiä ylläpitävien huolto- ja ylläpitohenkilökunnan käyttäminen on edullisempaa ja erityisesti vaivattomampaa, kuin turhan sähköenergian kulutuksesta maksaminen. Nykyään kiinteistön sähköjärjestelmät alkavat olla hyvin vaivattomia ylläpitää ja säätää, koska järjestelmiä on kehitetty ja niiden käyttäjäystävällisyyteen on panostettu, joten erinäisten ylläpitohenkilökuntien tarve on vähentynyt käyttäjille suunniteltujen ”hallintalaitteiden” lisääntyessä. Tämän lisäksi, myös käyttäjäkoulutukset edistävät osaltaan energiatehokkuutta ja tarpeettoman sähkönkulutuksen vähenemistä. Tällä tarkoitetaan sitä, että tilan haltija opastaa tiloja käyttävät henkilöt tarpeelliseksi katsomallaan tavalla käyttämään tiloissa esiintyviä laitteistoja ja kannustaa opettelemaan yhteisiä toimintamalleja.

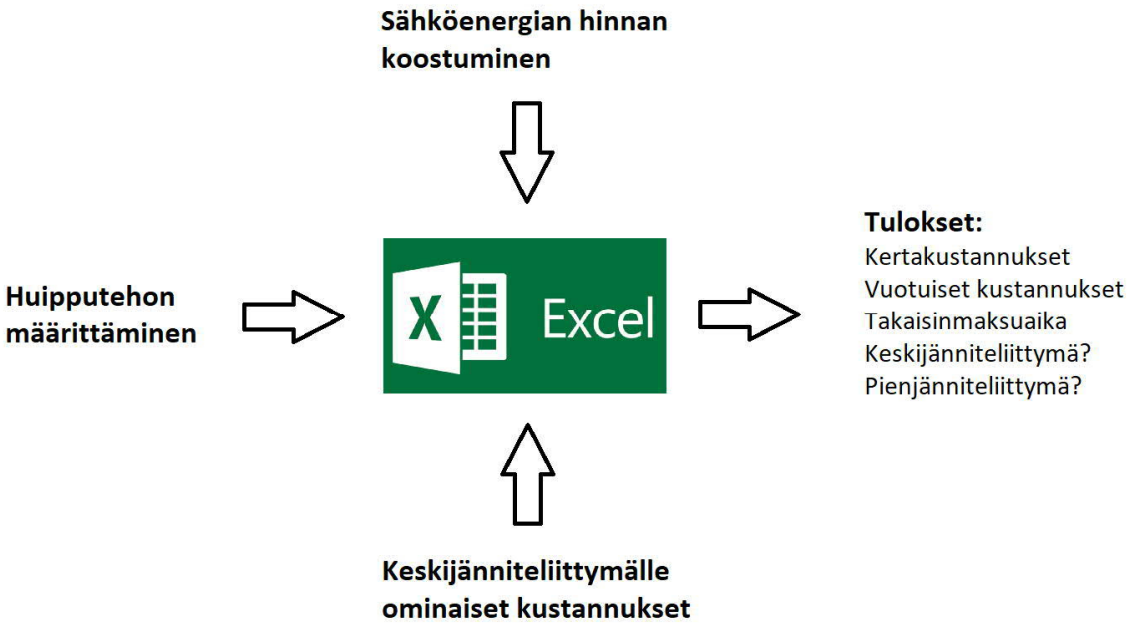
4.2 Sähköliittymän mitoitustyökalu

Sähkösuunnitteluohjelmien lisäksi suunnittelijat käyttävät usein laskentataulukoita, joita on kehitetty yritysten sisällä, tukemaan ja nopeuttamaan suunnittelun eri vaiheita. Esimerkkinä tämän työn tuloksena tuotettava laskentatyökalu. Tässä kappaleessa avataan tämän diplomityön ohella tuotettua Excel-pohjaista liittymän mitoitustyökalua Granlundille.

Sähköliittymän optimaalista mitoittamista varten tehty työkalu on tarkoitettu nopeuttamaan ja selvittämään kustannuksiltaan järkevämpää ratkaisua, kun pohditaan liittymän toteuttamista joko pien- tai keskijänniteliittymänä. Tämän diplomityön pitkän johdannon ja perusteellisen teoriaosion tarkoituksena oli pureutua siihen, mistä sähkön hinta muodostuu loppukäyttäjän näkökulmasta sekä mitä loppukäyttäjä itse voi tehdä pienentääkseen sähköenergiasta aiheutuvia kustannuksia. Laskentatyökalun tarkoituksena ei ollut rajata sähkösuunnittelijan valintaa huipputehon määrittämiseen käytettävistä keinoista. Sähkösuunnittelijan on

mahdollista käyttää itselleen suotuisinta tai kohdetta ajatellen järkevintä huipputehon määrittämismenetelmää, koska eri tavat sopivat eri kohteisiin kokemusten mukaan paremmin kuin toiset. Työkalun ideana on tarjota sähkösuunnittelijalle apuja kustannuksiltaan optimaalisen työkalun määrittämiseen eli mikäli kiinteistön sähkönkulutus joko laiteluetteloiden, lineaaristen laskentamallien tai aiempien kulutustietojen mukaan on sitä luokkaa, jolloin voidaan harkita mahdollista keskijänniteliittymää, niin voidaan tuottaa hinta-arvioita pien- ja keskijänniteliittymävaihtoehdoilla, kiinteistön kulutuksen ollessa määriteltynä.

Laskentatyökalu on rakenteeltaan kaksiosainen. Ensimmäisessä osassa on tarkoituksena määritellä kiinteistön huipputehoa esimerkiksi laiteluetteloon ja sähkösuunnittelijan määrittämiin tasauskertoimiin perustuen. Kuten aiemmin todettu, työkalun tarkoituksena ei ole ollut rajata sähkösuunnittelijan metodeita huipputehon määrittämiseen. Tämän jälkeen työkalu antaa huipputehoarvon, jolla suunnittelija voi päätellä liittymäkaapelin sekä pääsulakkeiden kokoa. Kun huipputeho on saatu arvioitua, on seuraavan osan tarkoituksena muodostaa kustannusarvio pienjänniteliittymästä sekä mahdollisesta keskijänniteliittymästä. Pienjännite- ja keskijänniteliittymän kustannusarviot voidaan tehdä hyvin pitkälti rinnakkain, koska molempien kustannusarvio koostuu pääosin samoista asioista. Eroavaisuudet toisiinsa nähden ovat jakeluverkkoyhtiöiden määrittämät yksikköhinnat sekä niiden lisäksi keskijänniteliittymä vaatii muuntamon sekä oheislaitteiston suunnittelun ja rakentamisen. Muuntamon ja oheislaitteiston hintoja on mahdollista arvioida Energiaviraston tuottamilla komponenttihinnastoilla. Komponenttihinnastoja varten on myös laadittu Energiaviraston puolesta ohje, jolla voidaan varmistaa hinnastossa esiintyvien käsitteiden kattavuus. Kun kustannusarviot ovat saatu tehtyä, sähkösuunnittelijan on mahdollista määrittää ajanjakso, jolla kustannusten kehittymistä voidaan arvioida. Tämä mahdollisuus on tehty siitä syystä, että alkukustannuksiltaan keskijänniteliittymä voi olla kalliimpi, mutta maksaa itsensä takaisin ajan kuluessa siirto- ja sähköhintojen ollessa esimerkiksi alhaisemmat kuin pienjänniteliittymäasiakkaalla. Kuvassa 4 on periaatteellinen kaavio tuotetusta laskentatyökalusta.



Kuva 4. Laskentatyökalun periaatteellinen rakenne.

Tuotettu laskentatyökalun ulkoasua ja rakennetta on yksinkertaistettu mahdollisimman paljon, jotta sitä käyttävän ammattihenkilöllä olisi mahdollisimman pieni kynnys käyttää sitä sekä se olisi vaivatonta. Työkalussa on pilkottuna yksityiskohtaisesti nyanssit, joista molempien liittymätasojen hinnat muodostuvat sekä arvot näihin kohtiin löytyvät suoraan jakeluverkkoyhtiön hinnastoista. Nämä nyanssit ovat myös avattu sekä käyty läpi työn teoriaosuuksissa, jotta työkalua käyttäville henkilöille muodostuu kuva siitä, miten loppukäyttäjän sähköenergian hinta määräytyy ja kuinka eri jännitetasojen liittymät eroavat toisistaan.

5 Pohdintaa ja kehitysaskeleita

Tässä kappaleessa on esitetty diplomityöhön liittyvää pohdintaa sekä kehitysaskeleita työn ohella valmistetulle laskentatyökalulle. Johtopäätöksissä hyödynnetään omaa työkokemusta ja teoriaa, mikä pohjautuu työtä varten tutkittuun kirjallisuuteen Suomen sähköverkoista sekä sähköenergiakustannuksista loppukäyttäjän näkökulmasta.

Työn lähtökohdat ja eteneminen

Työn oheistuotteena rakenneltu laskentatyökalu onnistui mielestäni hyvin. Lähtökohdat työkalun rakentamiselle hyvät, koska selkeät raamit annettiin Granlund Oy:n toimesta. Jotta tämän kaltainen suunnittelutyökalu voitiin toteuttaa, tarvittiin runsaasti teoriatietoon pohjautuvaa taustatutkimusta, jo olemassa olevien laskentamenetelmien tutkimiseen sekä niiden käyttöön ja ennen kaikkea teoriatiedon sisältämien yksityiskohtien perusteelliseen avaamiseen. Diplomityön tekemisen ajasta suurin osa meni perehtyessä nykyisiin työkaluihin sekä käydessä läpi sähköenergian kustannusten muodostumista kuluttajan näkökulmasta sekä mahdollisuuksista vaikuttaa siihen sekä taloudellisesti kannattavien ja ekologisten päätösten tekemiseen.

Laskentatyökalu on mielestäni kasattu järkevästi. Huipputehon määrittämisen keinoja on olemassa useita ja jokaisella sähkösuunnittelijalla on oma mieleisensä. Kehitelty työkalu ei sulje tai rajaa pois huipputehon rajaukseen käytettävää menetelmää vaan antaa sen suhteen vapaat kädet. Tämä luo pienemmän kynnyksen sähkösuunnittelijoille tutustua laskentatyökaluun ja mahdollisesti omaksua työkalun omiin käytettäviin apuvälineisiinsä. Se ei siis ole liian jäykkärakenteinen, vaan helpottaa nimenomaan kustannusarvioiden tekoa, jossa on selkeät kohdat, jotka kustannuksiin vaikuttavat.

Laskentatyökalun tulevaisuuden näkymiä on haastavaa ennustaa, koska sitä ei ole vielä päästy testaamaan todellisuudessa. Työkalu kuitenkin perustuu olemassa olevaan ja opittuun tietoon, joten tämän vuoksi näen laskentatyökalun mahdollisuudet sekä sen, että se on varteenotettava työkalu tulevaisuuden sähkösuunnittelijoille.

Työn teoriaosuuden ja laskentatyökalun korrelaatio

Runsas määrä teoriaa oli välttämätöntä tämän työn kannalta. Teoriaosuudet sisältävät paljon yksityiskohtia, jotka muodostavat pohjan laskentatyökalulle. Yksityiskohdat tuli avata selkeästi, jotta itse työkalun käyttäminen ja sen tuottamien tulosten käyttö perusteltua. Teoriat ovat omasta mielestäni käyty sähköenergian siirtymisen kannalta kronologisessa järjestyksessä. Kronologisessa järjestyksessä eteneminen helpottaa sähkösuunnittelijan kuvan muodostamista siitä, kuinka laskentatyökalun tuomat tulokset koostuvat. Tämän lisäksi, oli yksinkertaisempaa mielestäni liittää tarpeelliseksi katsotut, kustannuksiin vaikuttavat tekijät

sekä mahdolliset valinnat, niitä sivuaviin kappaleisiin, kuten esimerkiksi oman pientuotannon vaikutukset.

Työn teoriaosuus on kuitenkin omasta mielestäni onnistuneesti rajattu. Työn aihepiiriin liittyen olisi hyvin helposti liitettävissä useita eri aiheita, kuten kiinteistöautomaation tarkempia vaikutuksia sähköenergian kulutukseen tai liittymäkoon säätelyyn. Myös mittarointi olisi ollut aiheena looginen sisällyttää tähän työhön. Nämä olivat kuitenkin tietoisesti Granlund Oy:n kanssa rajattu työn ulkopuolelle ja haluna nimenomaisesti keskittyä tapauksiin, jossa ollaan pien- ja keskijänniteliittymävalinnan välillä.

Laskentatyökalun mahdollisia kehitysaskeleita

Vaikkakin työn aikana tehtiin laskentatyökalu sähkösuunnittelijoiden työn helpottamiseksi, on muistettava, että laskentatyökalu on versioltaan ensimmäisiä. Tämä tarkoittaa sitä, että sille on hyvin olennaista kehittyä tulevaisuudessa. Laskentatyökalun seuraavia kehitysaskelia voisi mahdollisesti olla pidemmän aikavälin kustannusseuranta. Tällä on tarkoitus kuvata pien- ja keskijänniteliittymävaihtoehtojen kustannusten kehittymistä sähkösuunnittelijan määrittämällä aikajanan pituudella.

Kuten mainittua, työhön olisi mahdollista ollut lisätä kiinteistöautomaation vaikutukset. Koen kuitenkin, että ne ovat selkeä kehitysaskel tälle työkalulle. Kiinteistöautomaation vaikutuksia voisi tutkia tarkemmin, jolla voisi määrittää tarkemmin korjauskertoimia laiteluetteloon perustuvaa huipputehon määritystä tehdessä. Kiinteistöautomaation vaikutuksille olisi mahdollista harkita valmiita malleja perustuen kokemuksiin eri kuluttajaprofiileista sekä tuottaa tätä kautta huomioita sähkösuunnittelijalle tiloja tai rakennusta käyttävän asiakkaan mahdollisista erityispiirteistä liittyen sähkönkulutukseen. Nämä tiedot erityispiirteistä koskien kulutusprofiileja olisivat hyödyllisiä erityisesti kokemattomammille sähkösuunnittelijoille, joilla ei välttämättä ole käsitystä asiakkaalle suunniteltavasta kiinteistöstä ja sitä käyttävien tahojen erityispiirteistä, jotka on tärkeää ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, koska asiakkaiden tarpeet alojen välillä vaihtelevat merkittävästi. Toki nämä toimisivat myös hyvänä muistilistana kokeneemmille suunnittelijoille.

6 Yhteenveto

Diplomityön tavoitteena oli tuottaa Granlund Oy:lle laskentatyökalu sähkösuunnittelijalle helpottamaan sähköliittymän mitoitusta. Laskentatyökalun tavoitteena oli saada selkeä ja yksinkertainen tapa tuottaa kustannuksiltaan optimaalisin ja tarvetta parhaiten vastaava sähköliittymä suunniteltavaan kiinteistöön. Työssä pyrittiin tutkimaan nykyisiä laskentatyökaluja sekä selvittämään mihin todellisiin asioihin sähköenergian hinta perustuu loppukäyttäjän näkökulmasta.

Tutkimustyö toteutettiin kirjallisuuskatsauksen sekä aiempiin kulutustutkimuksiin paneutumalla. Kirjallisuuskatsauksella mahdollistettiin työlle riittävän vankka teoreettinen pohja, jotta lopputuloksena saatu laskentatyökalu olisi mahdollisimman uskottava. Aiempien kulutustutkimuksien osuus tässä työssä oli havainnoida aiemmin todetut haasteet sähköenergiankulutuksen arvioinnissa.

Kirjallisuuskatsaus pohjautui käytännössä Aalto yliopiston kurssimateriaalien, Suomen ja Pohjoismaiden sähkönjakeluverkoista vastaavien organisaatioiden, Suomessa puolueettomien tilastotuottajien sekä kansallisten ja kansainvälisten laskentaohjeiden tietoihin. Näillä teoriamateriaaleilla pyrittiin tuottamaan vankka ja vakaa tietopohja laskentatyökalulle, joka sähköenergiankulun kannalta sen tuottamisesta aina loppukäyttäjälle asti. Teoriakappaleiden aikana poimittiin myös oleellisimmat yksityiskohdat, joilla voi olla merkittävä vaikutus kustannuksiin loppukäyttäjän näkökulmasta. Tämän lisäksi pyrittiin huomioimaan myös tietoa viimeisimmistä trendeistä ja teknologian kehitysaskelista, joita on otettu kiinteistöön ja sen tekniikkaan liittyvillä saroilla.

Aiempiin kulutustutkimuksiin tutustumisen tarkoituksena oli perehtyä kulutustutkimuksissa esille nousseisiin merkittäviin haasteisiin ja pyrkiä huomioimaan ne. Suomessa on tehty useampia sähköenergiankulutukseen liittyviä tutkimustöitä, joita hyödyntämällä pyrittiin tiedostamaan mahdollisimman monia epäkohtia aiemmissa sähköliittymän mitoituksessa sekä olennaisia huomioita sähköenergian kulutuskäyttäytymisissä ja niiden eroavaisuuksissa käyttäjäryhmien välillä. Jotta aiempien kulutustutkimusten vaikutus tähän diplomityöhön oli mahdollisimman kattava, pyrittiin työtä varten valitsemaan erilaisiin kiinteistötyyppeihin kohdistuneita kulutustutkimuksia. Näistä oli mahdollista etsiä kulutustyypeille ominaisia piirteitä, mutta myös yhteisiä piirteitä.

Tämän diplomityön toimeksiantajan, Granlund Oy:n, näkökulmasta on kannattavaa jatkaa tämän laskentatyökalun kehittämistä. Työkalua on mahdollista kehittää ja hioa, kun se saadaan todelliseen käyttöön oikeissa projekteissa. Kehitystyölle olennaista on päästä käyttämään työkalua oikeissa projekteissa ja tätä kautta saada ensimmäisiä tuloksia. Laskentatyökalun tuottamat tulokset tulee arvioida ja tulosten arvioinnin pohjalta ryhtyä kehittämään sitä.

Viitteet

[1] Luentomateriaali. Lecture materials I,
ELEC-E8406 Electricity Distribution and Markets, John Millar

[2] Luentomateriaali. Lecture materials V,
Energy Markets, Sanna Syri

[3] Sähkön ja lämmön tuotannon tilastointi. Tilastokeskus, 2018.
https://www.stat.fi/til/salatuo/2018/salatuo_2018_2019-11-01_tie_001_fi.html

[4] Suomen kasvihuonepäästöt 1990-2017. Tilastokeskus, 2018.
http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/julkaisuluettelo/yymp_kahup_1990-2017_2018_19735_net.pdf. Lainattu 24.4.2020.

[5] Suomen kasvihuonepäästöt laskussa. Ilmasto-opas.fi.
https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/0be63fa0-533f-4986-b674-859b6577c8b5/suomen-paastot.html

[6] Uusiutuva energia Suomessa. Motiva.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa
Lainattu 02.05.2020

[7] Sähköenergian pientuotannon kehitys. Energiavirasto.
https://energiavirasto.fi/tiedote/-/asset_publisher/sahkonpientuotanto-kovassa-kasvussa-aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-2-5-kertaistui-vuodes-1

[8] Aurinkosähkön tuotantokapasiteetin kehitys. Energiavirasto.
https://energiavirasto.fi/tiedote/-/asset_publisher/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-lisaantyi-82-vuodessa

[9] Pohjoismainen sähkönsiirtoverkko ja liitynnät muihin järjestelmiin. Fingrid.
https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/pohjoismainen-sahkojarjestelma-ja-liitynnat-muihin-jarjestelmiin/

[10] Vuosikertomus 2018. Fingrid.
https://www.fingrid.fi/sivut/ajankohtaista/tiedotteet/2019/fingridin-vuosikertomus-2018-on-julkaistu/

[11] Sähkönjakelutekniikka. Jarmo Partanen, Erkki Lakervi.
Sähkönjakelutekniikka, 2008. 3. painos. Erkki Lakervi, Jarmo Partanen, Otatieto.

[12] Sähkön hinnan muodostuminen. Vattenfall.
https://www.vattenfall.fi/asiakaspalvelu/aihe/sahkosopimukset/sahkon-hinnan-muodostuminen/(kuvasekäteksti-alla)

[13] Sähkön ostaminen. Energiavirasto.
https://energiavirasto.fi/sahkon-ostaminen

[14] Suomen sähköjärjestelmä. Fingrid.
https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/

[15] Sähkönsiirto. Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus, STEK.
https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkonsiirto/

[16] Ympäristöministeriön ylijohtaja Teppo Lehtisen sähköpostihaastattelu.
Lainattu 6.4.2020.

[17] Rakntamismääräyskokoelma, rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ympäristöministeriö.
Ohje%20%20Rakennuksen%20energiankulutuksen%20ja%20lämmitystehontarpeen%20laskenta%2020-12-2017%20(1).pdf

[18] Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen, ST 13.31.
ST-kortisto.

[19] Sähköautojen julkinen ja yksityinen latauspistetarve. Helsingin kaupunki-
Sähköautojen julkinen ja yksityinen latauspistetarve.
Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosaston selvityksiä 2016:6
https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/los_2016-6.pdf

[20] Liittymisehdot LE 2019. Energiateollisuus ry.
https://energia.fi/files/3722/Liittymisehdot_LE_2019.pdf

[21] Sähköenergian hinnan kehitys Suomessa. Rakentaja.fi
https://www.rakentaja.fi/artikkelit/14599/miten_sahkon_hintataso.htm

[22] Verkkopalveluhinnasto. Oulun Energia.
https://www.oulunenergia.fi/sahko/sahkonsiirto/sahkoverkkopalvelut/verkkopalveluhinnasto/sahkon-siirtohinnasto/tehosahkon-siirtohinnasto

[23] Verkkopalveluhinnasto. Etelä-Savon Energia.
https://ese.fi/files/S%C3%A4hk%C3%B6n%20siirtohinnat%201.3.2019%20alkaen_p%C3%A4ivitetty%20170620_1.pdf

[24] Verkkopalveluhinnasto. Turku Energia.
https://www.turkuenergia.fi/sahkoverkko/tietoa-sahkoverkostamme/hinnastot-ja-sopimusehdot/verkkopalveluhinnasto/

[25] Verkkopalveluhinnasto. Helen Sähköverkko. https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/hsv/sahkon-siirtohinnasto.pdf

[26] Liite 1. Menetelmät verkonhaltijan sähkönkäyttöpaikkojen liittämisestä perittävien maksujen määrittämiseksi. Energiavirasto. https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12768744/Menetelm%C3%A4t-s%C3%A4hk%C3%B6nk%C3%A4ytt%C3%B6paikkojen-liitt%C3%A4misest%C3%A4-peritt%C3%A4vien-maksujen-m%C3%A4%C3%A4ritt%C3%A4minen.pdf/710c7ab0-37b4-e422-a5d7-4b19e384fd84/Menetelm%C3%A4t-s%C3%A4hk%C3%B6nk%C3%A4ytt%C3%B6paikkojen-liitt%C3%A4misest%C3%A4-peritt%C3%A4vien-maksujen-m%C3%A4%C3%A4ritt%C3%A4minen.pdf

[27] Verkkokomponenttien määritykset. Energiavirasto. https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12857808/verkkokomponenttien%20m%C3%A4%C3%A4ritykset_fi.pdf/db7880ae-1f8e-66e0-5784-9c3e4bfed319

[28] Energiavirasto. Verkkokomponentit, yksikköhinnat ja pitoajat vuosille 2016–2023

[29] Modelling of changes in electricity end-use and their impacts on electricity distribution. Väitöskirja 2015. Jussi Tuunanen. https://lutpub.lut.fi/handle/10024/117565

[30] Rakennuksen sähköliittymien mitoitus. Diplomityö 2019. Tommi Eckert. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/160389/Rakennusten%20s%c3%a4hk%c3%b6liittymien%20mitoitus.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[31] Sähköenergian käytön tehostaminen kiinteistötoimialalla. Diplomityö 2008. Timo Vehosmaa. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/1100/urn012348.pdf?sequen