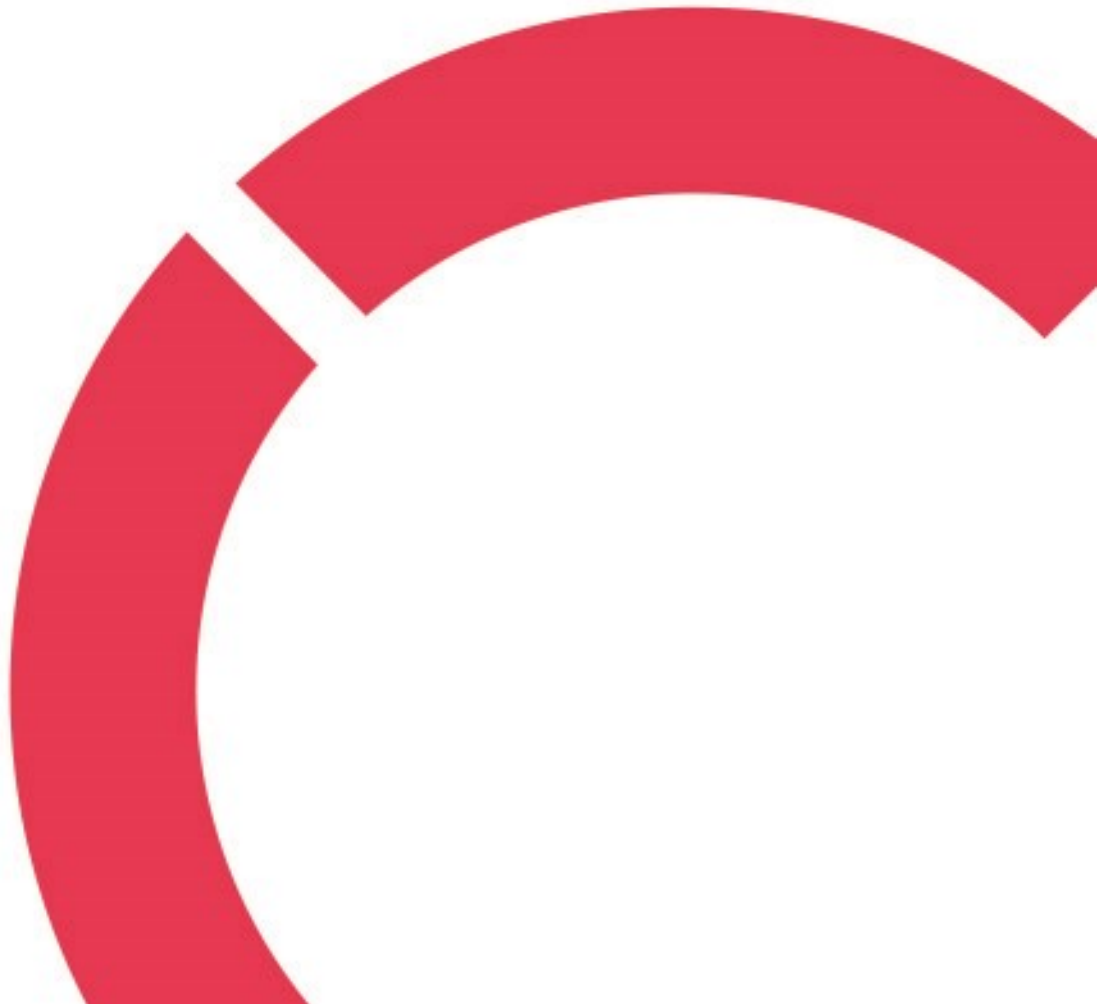


Antti Heiniluoma

**UUSIUTUVAN ENERGIAN SÄHKÖTEKNINEN LIITETTÄVYYS
KIINTEISTÖÖN JA SÄHKÖN PÄTÖTEHON HALLINTA**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus
Toukokuu 2023**



Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Toukokuu 2023	Tekijä/tekijät Antti Heiniluoma
Koulutus Sähkö- ja automaatiotekniikka	<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK	
Työn nimi UUSIUTUVAN ENERGIAN SÄHKÖTEKNINEN LIITETTÄVYYS KIINTEISTÖÖN JA SÄHKÖN PÄTÖTEHON HALLINTA		
Työn ohjaaja Kari Saarinen	Sivumäärä 45	
Työelämäohjaaja		
<p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin uusiutuvia energiajärjestelmiä, kuten maalämpöä ja aurinkosähköä ja niiden yleistä teoriaa. Työssä pohdittiin myös näiden järjestelmien sähköteknistä liitettävyyttä kiinteistöihin sekä vaatimuksia kiinteistön sähköjärjestelmille. Lisäksi opinnäytetyössä käsiteltiin mahdollisia haasteita, joita tähän liittyy. Työssä tarkasteltiin myös, miten maalämpöjärjestelmän asennus saattoi vaikuttaa kiinteistön sähkön pätehtoon ja tehomaksuihin, kun maalämpöjärjestelmän lisälämpö tuotettiin sähkön avulla. Opinnäytetyössä tarkasteltiin myös lyhyesti sähkön kuluttajahinnan muodostumista ja kysyntäjoustoa.</p> <p>Esimerkkikohteen avulla tutkittiin uusiutuvien energiajärjestelmien sähköteknistä liitettävyyttä kiinteistöön ja tarkasteltiin tehomaksun korotuksen vaikutuksia, kun maalämmön lisälämpö tuotettiin sähköllä. Tulosten perusteella saatiin käsitys siitä, kuinka kiinteistön sähkön pätehto ja siten tehomaksut saattoivat kasvaa, mikäli kiinteistöön asennettiin maalämpöjärjestelmä.</p> <p>Työssä käsiteltiin erilaisia menetelmiä sähkön huipputehopiikkien hallintaan, jotta voitaisiin välttää korkeammat sähkönsiirron tehomaksut. Tavoitteena oli löytää vaihtoehtoisia ratkaisuja sähkönkulutuksen huippujen hallintaan tilanteessa, jossa kiinteistöön asennetaan maalämpöjärjestelmä.</p> <p>Työssä tarkasteltiin myös akkuvarastoja ja niiden taloudellista kannattavuutta lyhyesti liittyen sähkön huipputehon leikkaukseen. Tavoitteena oli selvittää, tarjosivatko akkuvarastot järkevän ja taloudellisesti kannattavan ratkaisun sähkötehon huippujen hallinnassa ja oliko akkuvarastojen avulla mahdollista pienentää sähkön tehomaksuja kannattavasti.</p>		
Asiasanat Akkuvarastot, aurinkosähköjärjestelmä, lämpöpumput, tehomaksu		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date May 2023	Author Antti Heiniluoma
Degree programme Electrical and automation engineering		
Name of thesis CONNECTING RENEWABLE ENERGY TO A BUILDING AND CONTROLLING POWER USAGE		
Centria supervisor Kari Saaranen	Pages 45	
Instructor representing commissioning institution or company		
<p>The thesis studied renewable energy systems such as geothermal heat and solar power, including their general theory. It also examined how these systems can be electrically connected to properties and what the property's electrical systems require. Possible challenges related to this were also discussed. The thesis looked at how installing a geothermal heating system could impact a property's electric real power demand and demand charges, especially when additional heat from the geothermal system is produced with electricity. Finally, it briefly reviewed how the price of electricity is formed and demand response</p> <p>Using an example property, the study investigated the electrical connectivity of renewable energy systems to a building, and examined the impact of the increased demand charges when additional geothermal heat is produced with electricity. This helped to understand how the electric real power demand and demand charges of a property might increase if a geothermal heating system is installed.</p> <p>The study discussed various methods for managing peak power demand to avoid higher electricity transmission demand charges. The aim was to find alternative solutions to manage peaks in electricity consumption when a geothermal heating system is installed in a property.</p> <p>The study also briefly looked at battery storage systems and their economic viability in relation to cutting peak power. The goal was to find out if battery storage systems provided a sensible and economically viable solution for managing peak power, and if they could effectively reduce power demand charges.</p>		
Key words Battery storage systems, heat pumps, power demand charge, solar power system		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

COP

Coefficient Of Performance, lämpöpumpun lämpökerroin.

DOD

Depth of Discharge, akun purkaussyvyys.

MODBUS

Automaatiojärjestelmän laitteiden väliseen kommunikointiin tarkoitettu tiedonsiirtoprotokolla.

PVGIS

Photovoltaic Geographical Information System, Euroopan komission ylläpitämä ilmainen aurinkosähköjärjestelmän online-työkalu.

SCOP

Seasonal Coefficient of Performance, lämpöpumpun kausilämpökerroin koko lämmityskaudelle.

SPOT-HINTA

Sähkömarkkinoiden sähköenergian markkinahinta, joka määritellään Nord Pool sähköpörssissä.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 UUSIUTUVAN ENERGIAN TOIMINTAPERIAATTEET JA SÄHKÖNHINNAN MUODOSTUMINEN	3
2.1 Lämpöpumput	3
2.1.1 Toimintaperiaate.....	4
2.1.2 Lämpökerroin.....	5
2.1.3 Sähköntarve.....	6
2.1.4 Kompressori.....	8
2.2 Maalämpöjärjestelmä	8
2.2.1 Sähköntarve.....	9
2.2.2 Sähkökattila.....	10
2.3 Aurinkosähkön tuotanto ja teho	11
2.4 Sähkäteho ja energiankulutus	12
2.4.1 Tehon arviointijakso.....	12
2.5 Sähkön kuluttajahinnan muodostuminen	14
2.5.1 Sähköenergia	15
2.5.2 Sähkönsiirto.....	15
2.5.3 Sähkövero	15
2.5.4 Sähkön tehomaksu	16
2.6 Akkuvarastot	16
2.6.1 Huipputehon leikkaus akkuvaraston avulla.....	17
2.7 Kysyntäjousto	18
3 UUSIUTUVAN ENERGIAN SÄHKÖTEKNINEN LIITETTÄVYYS KIINTEISTÖÖN JA TEHON HALLINTA	19
3.1 Lämpöpumppu- ja aurinkosähkijärjestelmän sähköistyksen periaatteet	19
3.2 Kiinteistön pätehteen tarkastelu	20
3.3 Maalämpö- ja aurinkosähkijärjestelmän sähkötekninen liitettävyys kiinteistöön	23
3.4 Esimerkkikohteen sähköjärjestelmän kartoitus maalämpöjärjestelmää varten	24
3.4.1 Pääkeskuksen ja liittymiskaapeleiden riittävyys maalämpöjärjestelmälle	24
3.5 Mahdolliset sähköjärjestelmän muutokset esimerkkikohteessa	25
3.6 Uusi pääkeskus ja liittymiskaapelit kustannusarvio	26
3.7 Kiinteistön pätehteen kasvun vaikutukset sähkön tehomaksuun	27
4 KIINTEISTÖN TEHONHALLINTARATKAISUT PÄTÖTEHON HALLINTAAN	29
4.1 Kiinteistön tehonhallinta lämpöpumppujärjestelmissä	29
4.1.1 Kuormien hallinta ja vuorottelu	30
4.1.2 Lämpöpumppujärjestelmän virranvalvonta- ja rajoitus	30
4.1.3 Sähkökattilan kuormitusvahti	31
4.1.4 Tehonhallinta verkkoanalysointorilla	31
4.3 Aurinkosähkö ja maalämpöjärjestelmä	31

4.3.1	Omatuotanto ja akkuvarastot	32
4.3.2	Pätötehon hallinta akkuvaraston avulla	34
4.3.3	Esimerkkikohteen akkuvarasto	34
4.3.4	Akkuvarasto Tesvolt TS HV 70 ja SMA STPS 60 -invertteri	35
4.3.5	Akkuvaraston mitoitus	36
4.3.6	Akkuvaraston kannattavuuden tarkastelu	38

5 POHDINTA	41
-------------------------	----

LÄHTEET	43
----------------------	----

KUVIOT

KUVIO 1. Suomeen myydyt lämpöpumput	4
KUVIO 2. Lämpöpumpun kylmähöyryprosessin periaatekuva, taustalla log(p), h-tilapiirros.....	5
KUVIO 3. Ilmalämpöpumpun ottosähköteho, antolämpöteho ja COP lämpötilan funktiona	6
KUVIO 4. Maalämpöpumpun ottosähköteho, antolämpöteho ja COP lämpötilan funktiona	7
KUVIO 5. Maalämpöjärjestelmän periaatekuvio	9
KUVIO 6. Pienitehoisen sähkökattilan tehoprofiili	11
KUVIO 7. Helsinki 1 kWp vuotuinen tuotanto 866 kWh, kallistuskulma ja ilmansuunta optimoitu	11
KUVIO 8. Rooma 1 kWp vuotuinen tuotanto 1446 kWh, kallistuskulma ja ilmansuunta optimoitu	12
KUVIO 9. Kolmen pientalon (A, B, C) vuosittainen energiankulutus ja tuntihuipputeho	13
KUVIO 10. Esimerkki kolmen pientalon (A, B, C) energiankulutusprofiilista	13
KUVIO 11. Mittausjakson vaikutus tehon suuruuteen	14
KUVIO 12. Akkuvaraston avulla toteutettu huipputehon leikkaus	17
KUVIO 13. Esimerkkikohteen sähkön tuntisarja ajalta 1.11.2021- 31.10.2022	21
KUVIO 14. Esimerkkikohteen sähkön pysyvyyssäikä	22
KUVIO 15. Tehomaksun kustannukset pätötehon funktiona vuositasolla ilman arvonlisäveroa. Tehomaksun yksikköhinta 2,00 €/kW (alv 0 %).....	28
KUVIO 16. Sähkön myynti- ja ostohinnan rakenne ja mittakaava hyödyistä	32
KUVIO 17. Aurinkosähköjärjestelmän koon simulointi 150 kWp.....	33
KUVIO 18. Aurinkosähköjärjestelmän koon simulointi 250 kWp.....	34

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Maalämpöjärjestelmän laiteluettelo	24
TAULUKKO 2. Tesvolt TS HV 70 tekniset tiedot	35
TAULUKKO 3. Ote esimerkkikohteen sähkön tuntisarjasta yli 90 kW teho	36
TAULUKKO 4. Esimerkkikohteen sähkökulutus kuukausittain ja keskiteho	37
TAULUKKO 5. Akuston ja inverttereiden hinnoittelussa käytetty hintaa 500 €/ kWh	38
TAULUKKO 6. Akuston ja inverttereiden hinnoittelussa käytetty hintaa 300 €/ kWh	39

1 JOHDANTO

Venäjän käynnistämä hyökkäyssota Ukrainaan on aiheuttanut merkittävän globaalien energiakriisin. Sodan seurauksena venäläisen fossiilisen energian tuonti pysähtyi kokonaan tai on vähentynyt huomattavasti. Tämä on johtanut energian kysynnän ja tarjonnan epätasapainoon, mikä on puolestaan nostanut energian hintoja ja lisännyt hintavaihteluita. Energiamarkkinoilla on tarve korvata puuttuva edullinen venäläinen fossiilinen tuontienergia muilla energiantuotannon keinoilla. Tämä tilanne on kiihdyttänyt vihreää siirtymää uusiutuvaan energiantuotantoon globaalisti. Esimerkiksi EU panostaa massiivisiin investointeihin uusiutuvaan energiantuotantoon REPowerEU-ohjelman kautta, jonka tavoitteena on lisätä esimerkiksi lämpöpumppu- ja geotermistä energiaa sekä aurinkosähköinvestointeja. Myös energiankulutusta on pyritty vähentämään parantamalla rakennusten energiatehokkuutta. (IEA 2022.)

Rakennusten energiankulutus kattaa noin 40 % primäärienergiankulutuksesta Suomessa ja EU:ssa ja aiheuttaa yli 30 % kasvihuonekaasupäästöistä. (Motiva 2022). Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen sekä muut energiansäästötoimenpiteet voivat tuoda hyötyjä jokaiselle energiankuluttajalle. Tehostamalla energiatehokkuutta ja hyödyntämällä uusiutuvia energialähteitä voidaan vähentää sähkön tehopiikkejä ja näin ollen vaikuttaa sähkön hintaan. Siirtyminen fossiilisesta energiantuotannosta uusiutuvaan energiantuotantoon on välttämätöntä kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi ja Pariisin ilmasopimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi on ensisijaisen tärkeää toimia pikaisesti.

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin uusiutuvien energijärjestelmien yleistä teoriaa, kuten lämpöpumpujen ja aurinkosähköjärjestelmien toimintaa. Työssä käsiteltiin myös näiden järjestelmien sähkötekniistä liitettävyyttä kiinteistöihin, mahdollisia haasteita sekä niiden vaikutuksia kiinteistön sähköjärjestelmiin sekä sähkön pätötehoon. Työssä tarkasteltiin myös maalämpöjärjestelmän asennuksen vaikutusta kiinteistön sähkön pätötehon kasvuun ja tehomaksujen nousuun, kun maalämpöjärjestelmän lisälämpö tuotetaan sähköllä. Lisäksi työssä perehdyttiin lyhyesti akkuvaraston mitoittamiseen huipputehon leikkaamiseksi ja akkuvaraston taloudelliseen kannattavuuteen sekä muihin tehonhallinnan keinoihin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli antaa alustavaa tietoa alkuvaiheen hankesuunnitteluvaiheeseen sekä tarjota kiinteistön omistajille ja muille sidosryhmille tietoa uusiutuvan energian toteutettavuuden arvioimiseen kiinteistössä. Samalla työssä pyrittiin tunnistamaan tähän mahdollisesti liittyviä haasteita. Aihe on erittäin ajankohtainen, sillä energian hintojen nousu ja energiansäästön tarve herättävät tällä

hetkellä laajaa keskustelua. Maalämmön ja aurinkosähkön suosio on lisääntynyt vuosi vuodelta, ja kiinteistönomistajilla on jatkuva tarve löytää hyviä keinoja energiakustannusten vähentämiseksi.

Siirtyminen fossiilisesta energiankäytöstä uusiutuvaan energiaan merkitsee sähkön käytön lisääntymistä ja todennäköisesti myös hetkellisen tehontarve tulevat kasvamaan. Sähköllä ja sähköteholla on kasvava ja merkittävä vaikutus yhteiskunnassa. Vaikka sähkölämmityksen osuus rakennusten lämmitysjärjestelmissä on viime vuosina vähentynyt huomattavasti, uudet lämmitysjärjestelmät, kuten lämpöpumput vaativat kuitenkin sähköä toimiakseen, mikä osaltaan ohjaa takaisin sähkönkäytön suuntaan. (Heljo, Harsia, Holttinen, Aalto, Björkqvist, Järventausta, Kaivo-oja, Kojo, Korpela, Rautiainen, Repo, Ruostetsaari & Sorri 2016, 1.) Suomessa sähkön kysynnän on ennustettu voivan jopa kaksin- tai kolminkertaistua vuoteen 2050 mennessä, erityisesti jos Suomi saavuttaa aseman Euroopan johtavien vetäytalouksien keskuudessa. (EK 2023.)

2 UUSIUTUVAN ENERGIAN TOIMINTAPERIAATTEET JA SÄHKÖNHINNAN MUODOSTUMINEN

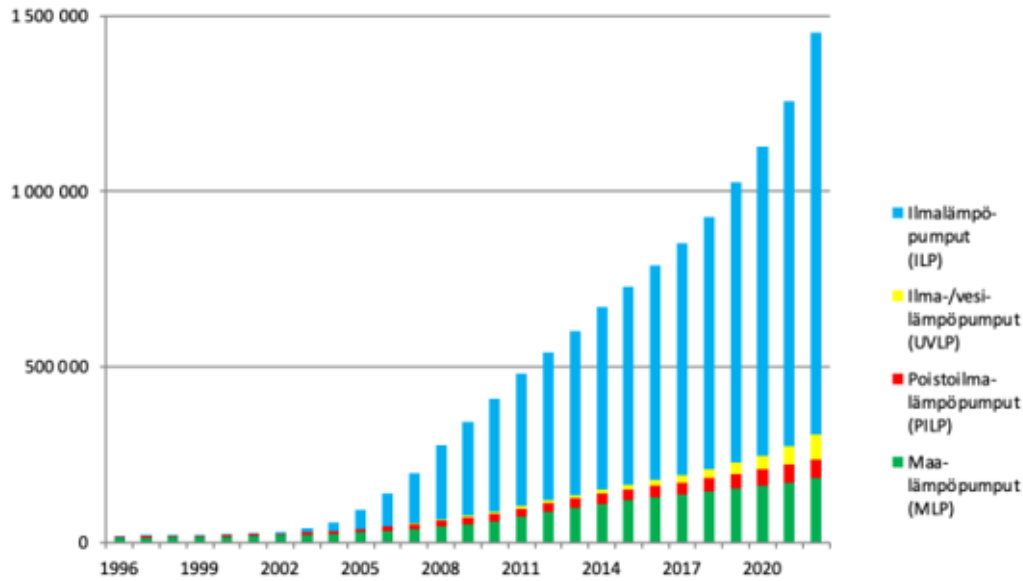
Tässä luvussa tarkastellaan lämpöpumppujen, maalämpöjärjestelmien ja aurinkosähkön toimintaperiaatteita sekä teoreettista perustaa. Lisäksi käsitellään sähkön hinnanmuodostusta ja tehomaksua sekä käydään lyhyesti läpi akkuvarastojen mahdollisuutta energian varastointiratkaisuna sekä akkuvaraston hyödyntämistä sähkön huipputehon hallinnassa. Myös kysyntäjoustoja käsitellään lyhyesti.

2.1 Lämpöpumput

Lämpöpumppujen toiminta perustuu uusiutuvan energian hyödyntämiseen. Uusiutuva energia on maaperään, ulkoilmaan tai vesistöön varastoitunutta aurinkoenergiaa. Lämpöpumput siirtävät lämpöä ympäristöstä rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen. Lämpöpumput voivat myös hyödyntää esimerkiksi ilmanvaihdon poistoilmaa tai jätevettä lämmönlähteenä. (Sulpu.)

Polttoon perustuva lämmitys aiheuttaa merkittävän osan Suomen hiilidioksidipäästöistä. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on välttämätöntä vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja pitkällä aikavälillä myös biopolttoaineiden polttoa. Lämpöpumput tarjoavat yhden ratkaisun polttovapaaseen energiantuotantoon. Ne hyödyntävät tehokkaasti ympäristön matalia lämpötiloja ja hukkalämpöjä sähköenergian avulla, jolloin lämpöpumppuja voidaan käyttää sekä lämmityksessä että jäähdytyksessä. (TM Rakennusmaailma 2023.)

Lämpöpumppujen määrä on lisääntynyt merkittävästi viime vuosina, ja tällä hetkellä lämpöpumppuja on myyty Suomeen jo lähes puolitoistamiljoonaa kappaletta. Erityisesti ilmalämpöpumppujen (ILP) ja ilma-vesilämpöpumppujen (IVLP) määrä on lisääntynyt huomattavasti. Nousua näiden lämpöpumppujen osalta on ollut yli 50 prosenttia vuodesta 2021 vuoteen 2022. Myös maalämpöpumppujen määrä on lisääntynyt tasaisesti vuosi vuodelta. (Sulpu 2023.)

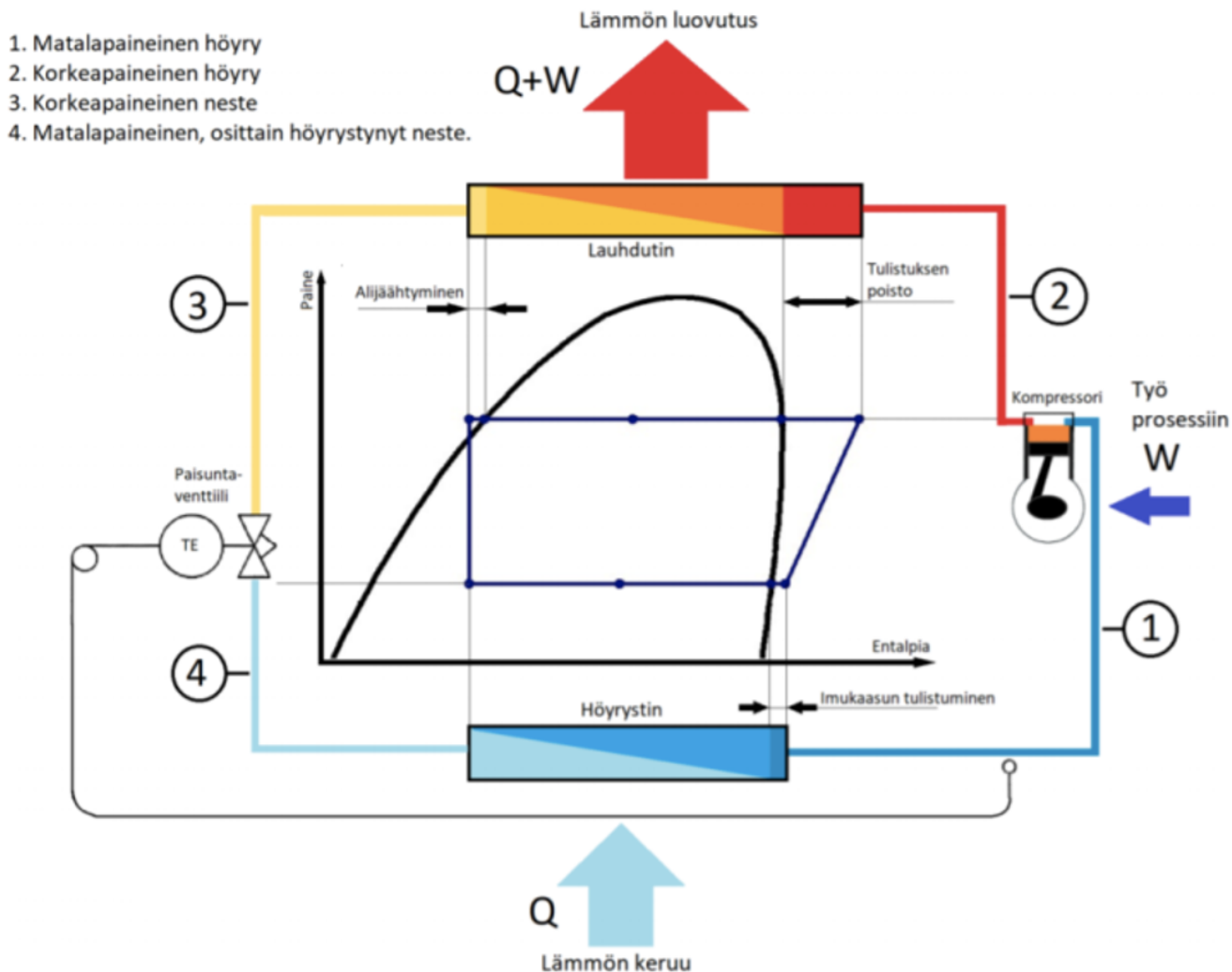


KUVIO 1. Suomeen myydyt lämpöpumput. (Sulpu 2023)

2.1.1 Toimintaperiaate

Lämpöpumppujen käyttö rakennusten lämmityksessä on yleistynyt, ja niiden suosio on kasvanut vuosittain. Vaikka lämpöpumput keksittiin jo 1800-luvulla, niiden suosio on lisääntynyt erityisesti vasta viime vuosien aikana. (FinnGeotherm.) Lämpöpumput soveltuvat sekä lämmitykseen että jäähdytykseen, vaikka nimi viittaakin vain lämmitykseen.

Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäainekierto, jossa kylmäaine lauhtuu ja höyrystyy vuorotellen vapauttaen lämpöenergiaa lauhtuessaan. Lämpöpumppu kerää lämpöenergiaa esimerkiksi ilmasta, vedestä tai maaperästä. Lämpöenergia siirretään kylmäaineeseen, joka höyrystyy. Kompressorin avulla höyrystynyt kylmäaine puristetaan korkeampaan paineeseen, jolloin se kuumenee. Lauhduttimessa kylmäaine muuttuu takaisin nesteeksi ja samalla vapautuu lämpöenergiaa, joka siirretään rakennuksen lämmitysjärjestelmään. Paisuntaventtiilin kautta kylmäaineen paine alenee ja se viilenee, minkä jälkeen lämpöpumppuprosessi käynnistyy jälleen alusta. (Kemppainen 2022, 38–39.)



KUVIO 2. Lämpöpumpun kylmähöyryprosessin periaatekuva, taustalla $\log(p)$, h -tilapiirros. (Nystedt 2021, 40)

2.1.2 Lämpökerroin

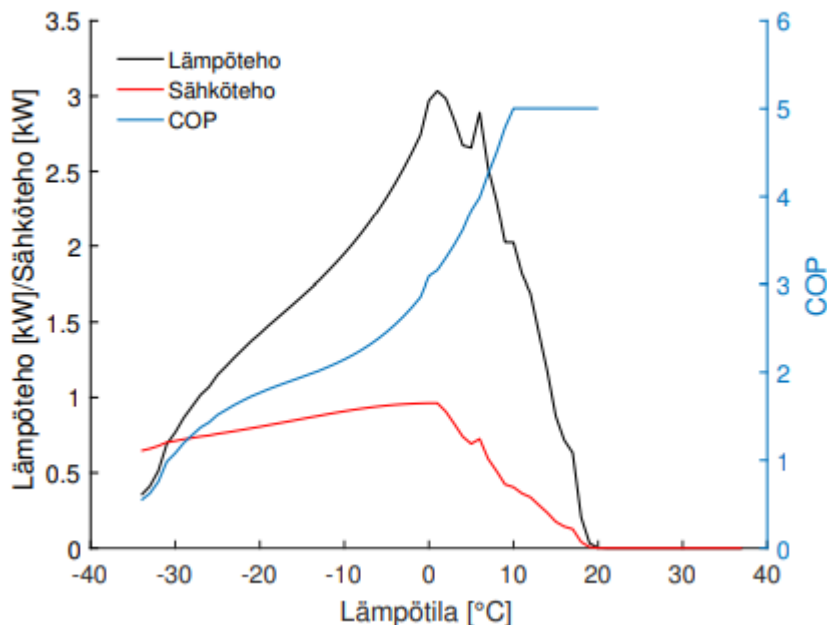
Lämpöpumppujen tehokkuus ilmaistaan lämpökertoimen COP-luku (Coefficient Of Performance) tai kausilämpökertoimen SCOP-luku (Seasonal Coefficient of Performance) avulla. SCOP-luku kuvastaa lämpökertoimen arvoa koko lämmityskauden ajalle. COP-luku määritellään lämpöpumpun lauhduttimessa vapautuvan energian ja kompressorin käyttöön vaadittavan energian suhteena. Esimerkiksi jos COP-arvo on 4, lämpöpumpusta saadaan 4 kWh lämpöenergiaa 1 kWh:n sähköenergiankulutuksella. Tästä 4 kWh:n lämpöenergiasta 3 kWh saadaan lämpöpumpun hyödyntämästä "ilmaisenergiasta", kuten veden, ilman tai maaperän energiasta, joka siirtyy lämpöpumppuprosessissa kylmäaineeseen ja

lopulta luovutetaan lauhduttimen kautta lämpönä pois. Kompressoritekee työtä lämpöpumpun prosessissa ja kuluttaa sähköä 1 kWh:n edestä. (Härkönen 2020, 30.)

2.1.3 Sähköntarve

Lämpöpumput vaativat sähköä toimiakseen, joten niiden tuottama lämpö on käytännössä epäsuoraa sähkölämmitystä. (Tuunanen 2009, 107). Lämpöpumput kuitenkin hyödyntävät kulutetun sähkön tehokkaasti, sillä niiden lämmitysteho on usein moninkertainen suhteessa kulutettuun sähköenergiaan.

Lämpöpumppujen lämpökerroin COP-luku kuitenkin heikentyy tyypillisesti kylmien sääolosuhteiden aikana. Esimerkiksi ilmalämpöpumppujen ja ilma-vesilämpöpumppujen tehokkuus ja lämpökerroin alenee, kun ulkoilmasta ei ole saatavilla riittävästi lämpöenergiaa lämpöpumppuprosessiin. Esimerkiksi ilmalämpöpumppu voi yleisesti vähentää sähkölämmitteisen rakennuksen vuotuista sähkönkulutusta, mutta kovilla pakkasilla lämpöpumpun tehokkuus alenee ja sähkötehontarve kasvaa. Tehontarve vaihtelee ulkolämpötilan mukaan ja tehuippuja esiintyy pakkasjaksoilla, kun lämmitystarve on suurimmillaan. (Heljo ym. 2016, 3, 5.)

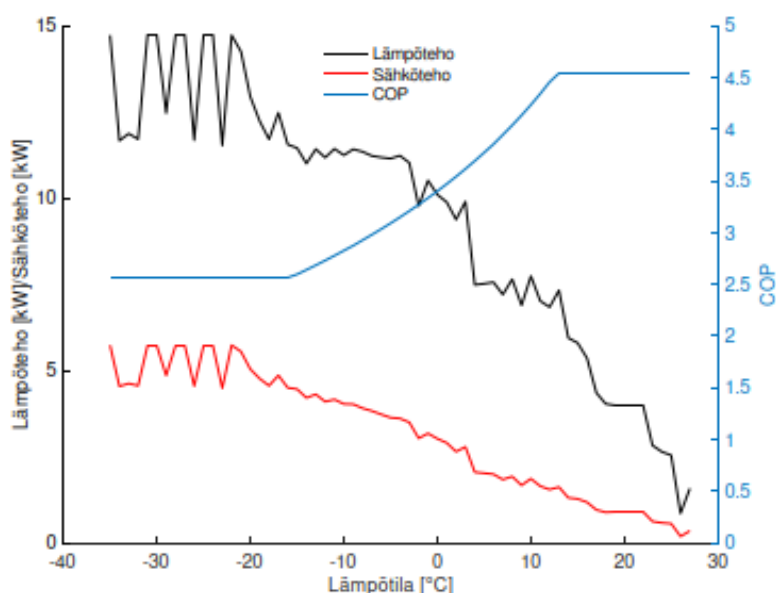


KUVIO 3. Ilmalämpöpumpun ottosähköteho, antolämpöteho ja COP lämpötilan funktiona. (Viljakainen 2017, 28)

Kuviosta on havaittavissa, että ilmalämpöpumpun COP-arvo heikkenee merkittävästi lämpötilan las-
kiessa. Vielä 0°C (asteen) lämpötilassa COP on noin 3, mikä tarkoittaa, että yhdellä käytetyllä kilowat-
titunnilla kWh sähköä, voidaan tuottaa 3 kWh lämpöenergiaa. Kuvio on VTT:n mallintama. (Viljakai-
nen 2017, 28.)

Vesikiertoisissa lämpöpumppujärjestelmissä pakkasjaksot kasvattavat tehontarvetta, vaikka vuosittai-
nen lämmityksen sähkönkulutus voi olla pieni. Korkeimmat tehopiikit esiintyvät tyypillisesti kylmim-
pien jaksojen aikana, kun lämmitystarve on suurin ja tarvitaan lämmintä käyttövedettä. Nykyään lämpö-
pumppuja saatetaan käyttää myös rakennusten jäähdytystarpeisiin kesäaikaan, mikä lisää myös kesäai-
kaista sähkönkulutusta ja tehontarvetta. Siirtyminen fossiilisista polttoaineista, kuten öljylämmityk-
sestä lämpöpumppuihin saattaa lisätä sähkön kulutusta ja hetkellistä tehontarvetta. (Heljo ym. 2016, 5).

Lämpöpumppujärjestelmä saattaa alentaa kiinteistön vuosittaista lämmitykseen liittyvää sähkönkulu-
tusta, mutta tehontarpeen hetkelliset vaihtelut voivat olla merkittäviä. Erityisen suuria tehohippuja
esiintyy pakkasjaksojen aikana, jolloin lämmitystarve on suurin, sekä silloin, kun tarve lämpimälle
käyttövedelle kasvaa. (ST-esimerkit 12. 2021, 7.) Alla oleva kuvio on VTT:n mallintama ja simuloitu
1970-luvun talolle. (Viljakainen 2017, 28)



KUVIO 4. Maalämpöpumpun ottosähköteho, antolämpöteho ja COP lämpötilan funktiona. (Viljakai-
nen 2017, 28)

2.1.4 Kompressori

Lämpöpumppujen sähköenergian tarve perustuu suurelta osin oikosulkumoottoriin, joka pyörittää lämpöpumpun kompressoria. Kompressorin käynnistäminen ja käynnissä pitäminen vaativat sähköenergiaa. Lämpöpumppuprosessissa kompressorin tehtävänä on nostaa kylmäaineen lämpötila höyrystymislämmöstä lauhtumislämpöön. Höyrystimessä muodostunut kylmäainehöyry johdetaan kompressorin sisään ja puristetaan sylinterissä männällä, jolloin kylmäaineen lämpötila nousee. (Mäenpää 2022, 2.)

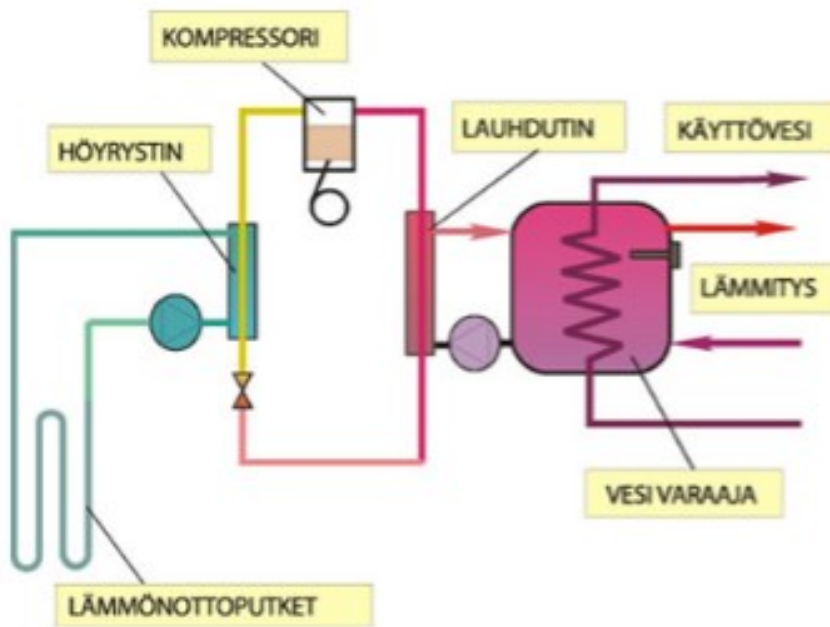
Oikosulkumoottorin avulla käynnistetään ja pyöritetään puristusprosessin kompressoria. Moottori ottaa käynnistyessään suuren käynnistysvirran, joka voi olla jopa 4–8 kertaa suurempi kuin nimellisvirta, joten käynnistysvirtaa on suositeltavaa rajoittaa pehmokäynnistimellä tai taajuusmuuttajalla. Erityisesti isommissa lämpöpumpuissa tai suorassa kontaktorikäytössä käynnistysvirtapiikki voi aiheuttaa jännitteen aleneman sähköverkossa. Tämä voi ilmetä esimerkiksi kiinteistön valaisimissa lyhytaikaisena välähdyksenä tai aiheuttaa häiriöitä herkille elektronisille laitteille. (Manner 2017, 4–5.) Lisääntyvien invertteriohjattujen kompressorien yleistymisen lämpöpumppukäytöissä mahdollistaa kuitenkin kompressorin käynnin ja sähkötehon portaattoman säätämisen tarjoten vaihtoehdon perinteiselle päälle/pois-suorakäynnistykselle. (ST-esimerkit 12. 2021, 8.)

2.2 Maalämpöjärjestelmä

Maalämpöjärjestelmät hyödyntävät maaperän tai vesistöjen lämpöenergiaa lämpöpumppujen avulla. Geotermistä energiaa, joka on peräisin pääosin maan kuoren sisäosista, kerätään noin 200–400 metrin syvyydessä sijaitsevista energiakaivoista tai vesistöistä lämmönkeruunesteen ja keruuputkien avulla. (Härkönen 2020, 37.)

Lämmönkeruuneste johdetaan lämpöpumppuprosessiin, jossa se hyödynnetään rakennuksen lämmitykseen lauhduttimen tai lämmönsiirtimen avulla. Lämpöpumppujen avulla lämmitetty vesi voidaan varastoida varaajaan. Maalämpö ei kuitenkaan välttämättä riitä rakennuksen ainoaksi lämmönlähteeksi, vaan edellyttää maalämpöpumppujen rinnalle kaukolämpöjärjestelmän tai sähkökattilan sähkövastuksineen. Tällä tavoin voidaan varmistaa, että maalämpöjärjestelmän lämpö riittää kattamaan

rakennuksen lämmitystehon tarpeet myös kylmillä pakkaskeleillä. Maalämpöjärjestelmän teho on optimaalisin, kun menoveden lämpötila on matala. Järjestelmä toimii tehokkaammin yhdessä lattialämmityksen kanssa, koska tässä tapauksessa lämmitysverkoston lämpötila voidaan pitää alhaisempana kuin perinteisillä ikkunan alle asennettavilla lämmityspattereilla. Tämän vuoksi maalämpöjärjestelmää kutsutaan myös matalalämpöjärjestelmäksi ja alhaisen menoveden lämpötilan ansiosta laitteiston COP-arvo paranee. (Kempainen 2022, 46–47.)



KUVIO 5. Maalämpöjärjestelmän periaatekuvio. (Mäenpää 2022, 12)

2.2.1 Sähköntarve

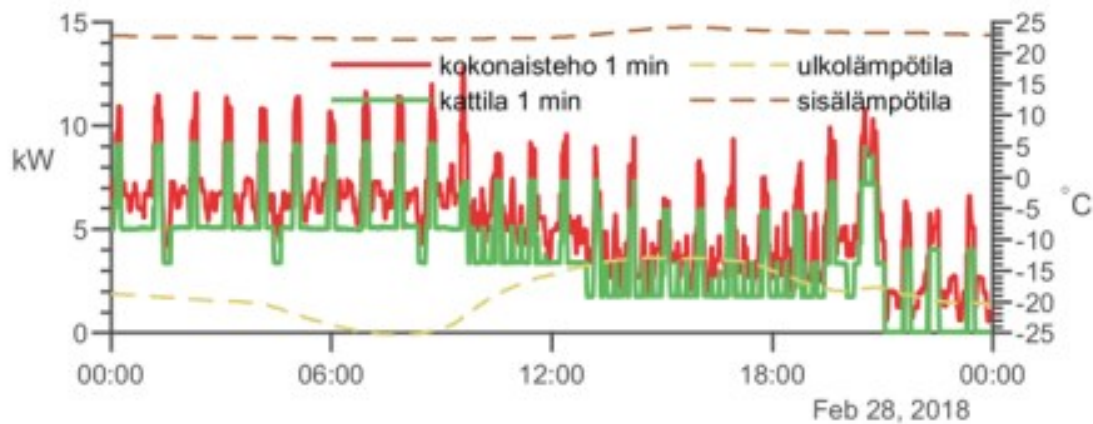
Maalämpöjärjestelmä vaatii toimiakseen sähköä, jotta lämpöpumppu ja muut järjestelmään kuuluvat pienemmät pumput sekä laitteet toimivat. Maalämpöjärjestelmä mitoitetetaan usein osatehoiseksi esimerkiksi 60–80 prosentin teholla, mikä tarkoittaa, että kylmimpinä pakkaspäivinä järjestelmä ei kykene itsenäisesti tuottamaan koko rakennuksen tarvitsemaa lämmitystehoa. Puuttuva teho katetaan lisälämmityksellä, kuten kaukolämmöllä tai sähkökattilalla. Mikäli lisälämmityksenä käytetään sähkökattilaa, puuttuva lämmitysteho vaatii sähköä. Tämä lisää rakennuksen sähkönkulutusta ja sähkön huipputehoa. Tästä syystä rakennuksen sähköjärjestelmä saattaa tarvita uusimista, sillä sähköliittymän

teho ei välttämättä ole riittävä ja pääkeskuksen kapasiteetti voi olla rajallinen. (Kemppainen 2022, 47–48.)

Osateholle mitoitettu lämpöpumppu vaatii sähköä toimiakseen ympäri vuoden, mutta huippupakkasilla sähkötehotarve kasvaa voimakkaasti lisälämmityslaitteiden sähkönkulutuksen vuoksi. Arvioiden mukaan 60 %:n teholla mitoitettu maalämpöpumppu pystyy tuottamaan kuitenkin yli 90 % kokonaislämmöntarpeesta. Täydelle teholla mitoitettu maalämpöpumppu ei tarvitse lisälämmitystä ja pienentää kaikkia tehoalueita suoraan sähkölämmitykseen verrattuna. (Tuunanen 2009, 113–114.) On kuitenkin huomioitava, että myös täysitehoisesti mitoitettu maalämpöjärjestelmä vaatii sähköä toimiakseen, mikä tulee huomioida sähköjärjestelmän mitoituksessa.

2.2.2 Sähkökattila

Sähkökattiloita on saatavilla usealla eri tehoalueella ja esimerkiksi Jäspi-tuotemerkin sähkökattiloita on saatavilla aina tehoalueelle 1600 kW:hin asti. Tuotemerkillä on erikseen mallisto, joka on suunniteltu palvelemaan lämpöpumppujärjestelmiä tilanteissa, joissa sähkökattila toimii lämmitysjärjestelmän varajärjestelmänä sekä lisälämmönlähteenä. Sähkökattiloita on saatavilla useissa tehoportaisissa, mikä mahdollistaa tehon ohjaamisen pienemmissä erissä tarpeen mukaan. Lisäksi kattila voidaan varustaa virtamuuntajilla, jotka mahdollistavat tehonrajoituksen tarvittaessa. (Jäspi b.) Sähkökattilan tai lämminvesivaraajan avulla voidaan varastoida lämpöenergiaa ajoittamalla lämmityksen toiminta vuorokauden edullisimmille tunneille. (Harsia, Järventausta, Hilden, Kallioharju, Kortetmäki, Koskela, Mutanen, Rautiainen, Supponen, Uusitalo & Heijo 2019, 47.) Lämpöpumppujärjestelmän sähkökattilassa tuotetaan ja varastoidaan kuumaa vettä kiinteistön lämmitysjärjestelmään käyttäen kattilan sähkövastuksia. Sähkövirta lämmittää sähkökattilan metallivastuksia, jolloin sähköenergia saadaan muunnettua lämpöenergiaksi, joka siirtyy sähkökattilan vesimassaan. Verrattuna lämpöpumppuihin sähkökattilat voivat kuitenkin kuluttaa merkittävän määrän sähköenergiaa.

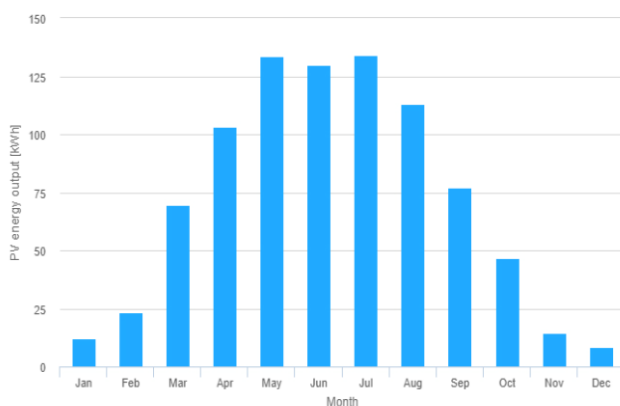


KUVIO 6. Pienitehoisen sähkökattilan tehoprofiili. (Harsia ym. 2019, 47)

2.3 Aurinkosähkön tuotanto ja teho

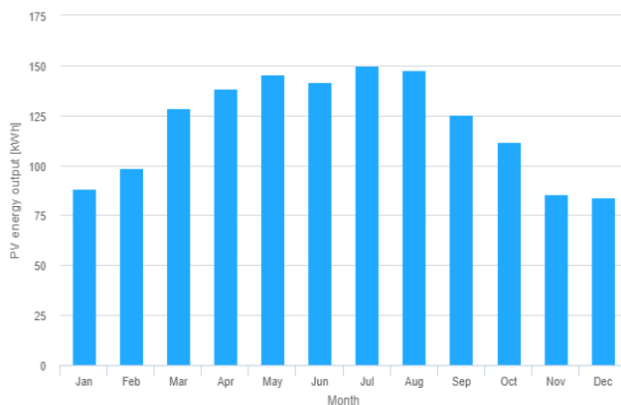
Aurinkosähköjärjestelmän tehon ollessa 1 kWp ja sijaitessa Etelä-Suomessa järjestelmän vuotuinen energiantuotanto on noin 800–850 kWh, mikäli aurinkopaneelit on sijoitettu optimaalisesti. Sijaintipaikan aurinkoisuuden lisäksi tuotantoon vaikuttavat aurinkopaneelien suunta ja asennuskulma sekä varjostukset. (Aurinkovirta 2023.) Suomessa aurinkosähkön kuukausituotannon diagrammi muodostaa alapäin aukeavan paraabelin muotoisen käyrän, koska tuotanto on vähäisempää talvikuukausina ja kasvaa kevään ja syksyn välisenä aikana kohti kesää. Suomessa aurinkosähkön vuotuinen tuotanto on selkeästi tasaisempaa eri kuukausien välillä, mikä on havaittavissa alla olevista diagrammeista. Tarkastelussa on käytetty PVGIS-työkalua.

Monthly energy output from fix-angle PV system:



KUVIO 7. Helsinki 1 kWp vuotuinen tuotanto 866 kWh, kallistuskulma ja ilmansuunta optimoitu.

Monthly energy output from fix-angle PV system:



KUVIO 8. Rooma 1 kWp vuotuinen tuotanto 1446 kWh, kallistuskulma ja ilmansuunta optimoitu.

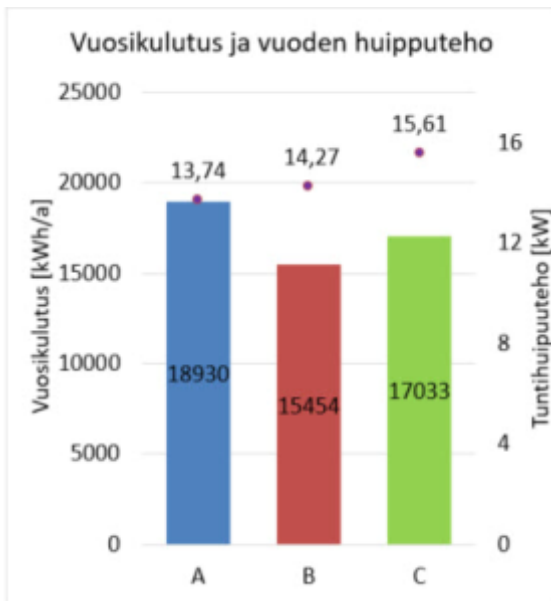
2.4 Sähköteho ja energiankulutus

Energian käytön tarkastelussa mitataan yleensä energian kokonaismäärän kulutusta eikä välttämättä tarkastella, paljonko energiaa kulutetaan tietyssä ajanhetkessä. Pienemmissä kohteissa ostetun sähköenergian kulutusta mitataan yleensä kulutetun määrän kWh:n mukaan. Suuremmissa käyttöpaikoissa, kuten liikerakennuksissa ja teollisuudessa, verkkopalvelumaksuissa käytetään tehomaksua pätö- ja loisteholle. (Harsia ym. 2019, 13.)

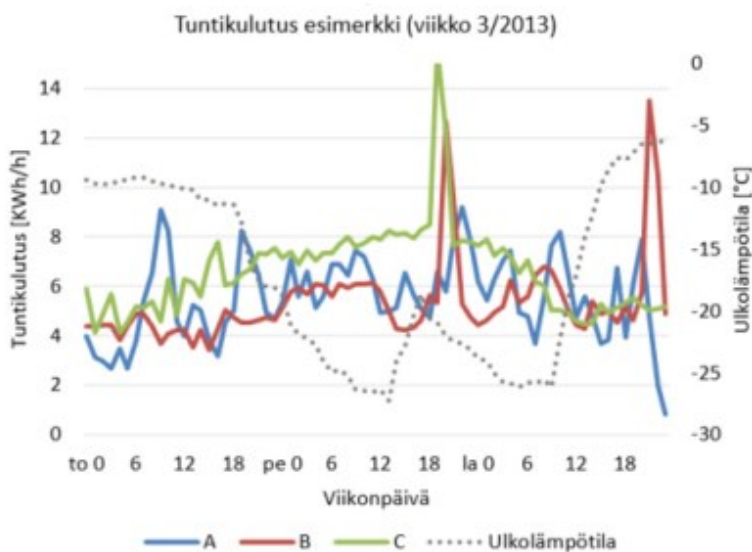
2.4.1 Tehon arviointijakso

Keskitehon määrittelyyn vaikuttaa energian tarkastelun ja mittausjakson pituus. Tehovaihtelut vaikuttavat sähköliittymän kokoon, verkon mitoittamiseen, energiakustannuksiin ja kulutushuippujen muodostumiseen. Suomessa sähköenergian laskutus perustuu nykyisin tuntienergian mittausjaksoon. (Harsia ym. 2019, 14.) Suomessa ollaan kuitenkin siirtymässä 15 minuutin tasejaksoon (varttitase). On suunniteltu, että varttitase otetaan käyttöön 22.5.2023 alkaen. (Fingrid 2022.) Teho-ohjauksien avulla voidaan leikata hetkellistehoa merkittävästi, mutta tähän kuitenkin vaikuttaa tarkastelujakson pituus. Teho-ohjauksen avulla tehdyt leikkaukset eivät ole selkeästi havaittavissa vielä tuntitehon mittausjaksossa, mutta suuritehoisten laitteiden käytön ajoituksella voidaan kuitenkin vaikuttaa tuntitehon muodostumiseen. Muutokset voivat olla kuitenkin merkittäviä, kun keskitehon tarkastelujakso lasketaan 15 minuutin mittausjaksoon tuntitarkastelun sijaan. (Harsia ym. 2019, 14.)

Alla olevassa kuviossa esitetään kolmen pientalon vuosittainen energiankulutus ja tuntihiipputeho. Kuviosta käy ilmi, että vaikka pientalo A:n vuosienergiankulutus on suurin (18,9 MWh/a), sen tuntihiipputeho on kuitenkin vertailujoukon pienin (13,74 kWh/h). Kuviosta on havaittavissa, että teho voi olla arvoltaan pienin, vaikka energiankulutus olisikin suurin. (Harsia ym. 2019, 15.)



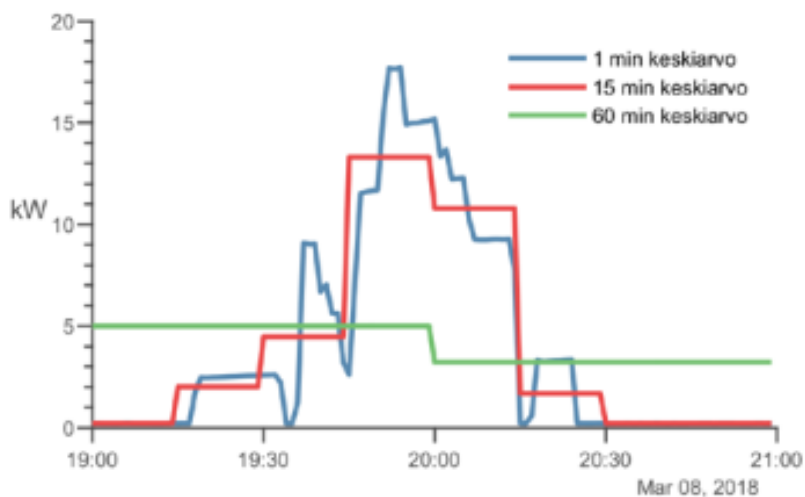
KUVIO 9. Kolmen pientalon (A, B, C) vuosittainen energiankulutus ja tuntihiipputeho. (Harsia ym. 2019, 15)



KUVIO 10. Esimerkki kolmen pientalon (A, B, C) energiankulutusprofiilista. (Harsia ym. 2019, 15)

Kuviosta 10 ovat nähtävissä samojen pientalojen (A, B, C) sähkölaitteiden aiheuttamat tehopiikit sekä niiden jakautuminen eri päiville ja vuorokaudenaikojen mukaan. Tarkastelujakson pituus on tunti. (Harsia ym. 2019, 15.)

Hetkelliset tehovaihtelut voivat olla suurempia, kun mittausjakso lyhenee tuntimittausjaksosta lyhyemmiksi jaksoiksi. Kuviossa esitetään kolmen eri sähkölaitteen, maalämpöpumpun, sähkökiukaan ja ilmanvaihdon lisälämmitysvastuksen sekä näiden yhteistehot 1 ja 15 minuutin mittausjaksoilla ja vastaava tuntikeskiteho. (Harsia ym. 2019, 16.) Sähkön hinnoittelun mittausjakson lyhentäminen 15 minuuttiin johtaisi merkittävään huipputehon kasvuun verrattuna nykyiseen 1 tunnin mittausjaksoon. (Harsia ym. 2019, 51.)



KUVIO 11. Mittausjakson vaikutus tehon suuruuteen. (Harsia ym. 2019, 16)

Kuviosta 11 havaitaan, että huipputeho on korkeimmillaan noin 18 kW, kun tarkastelujakson pituus on minuutti. Sen sijaan tuntikeskiteho on korkeimmillaan vain noin 5 kWh/h. (Harsia ym. 2019, 16.)

2.5 Sähkön kuluttajahinnan muodostuminen

Sähkön kuluttajahinta muodostuu kolmesta eri osasta: sähköenergian- ja sähkön siirron hinnasta sekä sähköverosta. (Helen 2022). Lisäksi sähkön hintaan voi vaikuttaa tehomaksu. Näitä tarkastellaan seuraavaksi lyhyesti.

2.5.1 Sähköenergia

Sähkönmyyjä määrittää sähköenergian myyntihinnan, ja se on ainoa osa sähkölaskusta, jonka kuluttaja voi kilpailuttaa. Hintaan vaikuttavat muun muassa pohjoismaisen sähköpörssin hinnat ja energian tuotantokustannukset. Sähköenergian myyntihinta koostuu kulutusmaksusta (snt/kWh) ja perusmaksusta (€/kk), joista kulutusmaksu määräytyy käytettyjen kilowattituntien mukaan ja perusmaksu sisältää sähkönmyyjän kiinteitä kustannuksia. (Helen 2022.)

2.5.2 Sähkönsiirto

Sähköverkkoyhtiö hoitaa paikallisen sähkönsiirron ja varmistaa sähköverkon toiminnan. Paikallinen sähköverkkoyhtiö myös omistaa alueen jakeluverkon. Siirtomaksujen avulla ylläpidetään, huolletaan ja kehitetään sähköverkkoa. Siirtomaksun avulla rahoitetaan investointeja uuteen sähköverkkoon ja ylläpidetään verkon asiakaspalvelua ja sähkönkulutuksen mittaamista. Siirtomaksulla maksetaan myös korvaus valtakunnallisesta sähkön siirrosta. Siirtohintojen kohtuullisuutta valvoo Energiavirasto. Sähkönsiirtotuote määräytyy sulakekoon mukaan ja oma sähkönkäyttö vaikuttaa sähkönsiirtokustannuksiin. Sähkönsiirtohintaa koostuu perusmaksusta (€/kk) ja mitatun sähkönkulutuksen mukaisesta siirtomaksusta (snt/kWh). (Helen 2022.)

2.5.3 Sähkövero

Sähköveron suuruus määräytyy sähkönkulutuksen mukaan, ja sen laskuttaa paikallinen sähköverkkoyhtiö yhdessä sähköveron siirtohinnan kanssa. Sähköenergiasta, sähkön siirrosta ja sähköverosta peritään myös arvonlisävero. Verojen osuus sähkölaskusta on keskimäärin noin kolmannes. (Helen 2022.)

2.5.4 Sähkön tehomaksu

Perinteisesti kuluttajien sähkölaskutus perustuu siirretyn sähköenergian määrän mittaamiseen tuntitasolla ja kiinteään kuukausimaksuun. Tehomaksuun perustuvassa laskutusmallissa sen sijaan laskutus perustuu käyttöpaikan kuluttamaan sähkötehoon kilowatteina (kW), johon lisätään kiinteä kuukausimaksu ja siirretty sähköenergian määrä kilowattitunteina (kWh). Tehomaksun hinnoittelumalli pohjautuu keskimääräiseen tuntitehoon, ja sen avulla voidaan kattaa osa sähköverkon kiinteistä kustannuksista sekä kohdistaa kustannuksia niille sähkönkäyttäjille, jotka kuormittavat sähköverkkoa. Sähkönkäyttäjät voivat kuitenkin vaikuttaa tehomaksuihin omalla kulutuskäyttäytymisellään, tasaisemmalla sähkönkulutuksella ja suurten kulutushuippujen välttämällä. (Helen.)

Siirtomaksujen tehomaksut nostavat kustannuksia kohteissa, joissa huipputeho on suuri suhteessa kulutettuun energiaan. Käyttäjällä on kuitenkin mahdollisuus vaikuttaa tehomaksuun omalla toiminnallaan. Sähkönjakelun hinnoittelu perustuu pääasiassa perusmaksuun ja siirrettävään energiaan, vaikka verkon kustannukset ovat riippuvaisia tehohuipuista. Asiakkaan tehoon perustuva maksukomponentti on perusteltu kustannusvastaavuuden ja ohjauvuuden näkökulmasta ja se lisää asiakkaan vaikutusmahdollisuuksia verkkopalvelumaksuun. (Harsia ym. 2019, 38.) Suurten sähkönkuluttajien ja yritysten on jo pitkään täytynyt huomioida tehomaksun vaikutukset sähkölaskussa, sillä heidän kohdallaan tehomaksu on ollut käytössä jo pidemmän aikaa.

2.6 Akkuvarastot

Akkuvarastot edistävät sähköjakelun luotettavuutta ja sähkön saatavuutta sekä parantavat sen laatua tarjoten varavoimaa sähkökatkosten aikana tasaamalla huipputehoa ja mahdollistaen taajuudensäädön sekä mahdollistavat itsetuotetun sähkön varastoinnin. Kiinteistöihin sijoitetut akkuvarastot mahdollistavat sähköenergian varastoinnin, erityisesti kun kiinteistössä on käytössä uusiutuvia energialähteitä, kuten aurinko- tai tuulivoimaa. Akkuvarastot auttavat tasaamaan sähköntuotannon ja kulutuksen vaihteluita sekä mahdollistavat ylimääräisen energian syöttämisen verkon suuntaan. Akkuvarastojen avulla voidaan varastoida paikallisesti tuotettu tai ostettu sähköenergia tulevaa myöhempää käyttöä varten. (Pänkäläinen 2022, 8)

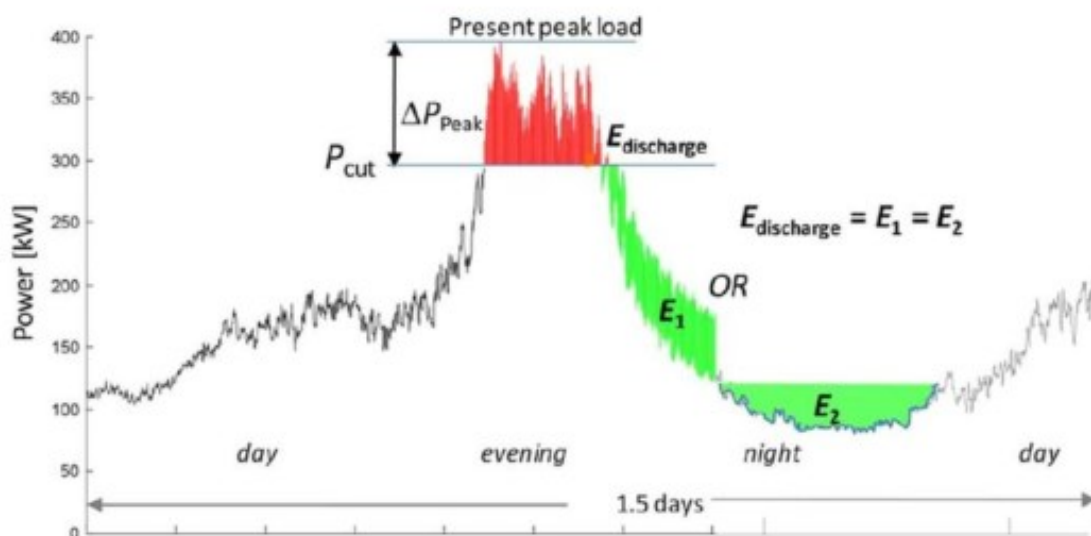
Kiinteistössä voidaan tuottaa energiaa itse aurinkopaneeleilla sekä lämpöpumpuilla, ja energiaa voidaan varastoida varaajiin tai akkuihin. Akkuvarastoihin voidaan varastoida aurinkosähköjärjestelmän

ylituotantoa tai ladata akkuja edullisen sähkön aikaan esimerkiksi öisin. Akkuvaraston avulla voidaan myös tasata sähköliittymän huipputehoja ja saavuttaa kustannussäästöjä, jos kiinteistön sähkölaskun siirtomaksu sisältää tehotariffin. (Harsia ym. 2019, 67–68.)

Akkuvarastojen käyttö kiinteistöissä voi vähentää kustannuksia tasapainottamalla huipputehoja ja näin ollen alentaa tehomaksuja. Tämä voidaan saavuttaa lataamalla akkuja esimerkiksi kiinteistön aurinkopaneeleilla tuotetulla sähköllä tai ostamalla sähköenergiaa verkosta silloin, kun kysyntä on matala ja hinnat ovat edullisimmillaan. Varastoitu energia voidaan hyödyntää käyttöön korkean tehontarpeen aikana, mikä voi auttaa pienentämään sähkön tehomaksuja. (Vattenfall 2023.)

2.6.1 Huipputehon leikkaus akkuvaraston avulla

Kiinteistön sähköliittymä mitoitetaan huipputehon mukaan, joka tarkoittaa sähkönkulutuksen huippuarvoa kiinteistössä. Huipputehon laskentaan ja määrittämiseen on valmiita ohjeita esimerkiksi ST-korteissa, joiden avulla saadaan laskettua kohteen tehontarve ja määritettyä sähköliittymän koko. Akkuvaraston avulla voidaan tasata huipputehoa ja leikata kulutushuippuja pois. Kulutushuiput voidaan leikata pois akkuihin varastoidun sähköenergian avulla. Akkuvarastoa ladataan vähäisen kulutuksen tai edullisen sähkön aikana, ja varaus puretaan, kun kulutus on huipussaan. Alla olevassa kuviossa on esitetty kulutushuippujen leikkaus varastoidun energian avulla. (Pänkäläinen 2022, 19–20.)



KUVIO 12. Akkuvaraston avulla toteutettu huipputehon leikkaus. (Pänkäläinen 2022, 19–20)

2.7 Kysyntäjousto

Kysyntäjousto viittaa sähkönkäytön siirtämiseen kalliimmilta kulutusajoilta edullisemmille tai käytön mukauttamiseen tehotasapainon hallinnan tarpeisiin. Kysyntäjoustoja tarvitaan erityisesti, kun joustamattoman tuotannon, kuten ydinvoiman ja uusiutuvan energian osuus verkossa kasvaa.

Suomessa sähkönkulutus on toiminut tehotasapainon ylläpitäjänä pitkään, erityisesti suurteollisuudessa. Kysyntäjousto tarjoaa mahdollisuuden lisätä tarjontaa sekä säätösähkö- että reservimarkkinoilla. Sähkömarkkinoille ovat ilmestyneet myös ns. aggregaattorit eli yritykset, jotka yhdistävät pienkultusta ja -tuotantoa isommaksi kokonaisuudeksi osallistuakseen eri markkinoille. Kuluttajan pientuotanto voidaan rinnastaa kysyntäjoustoan, jos se reagoi markkinatilanteeseen ja vähentää sähköä ottoa verkosta.

Kysyntäjoustoan toteuttaminen voi vaatia yrityksiltä alkuinvestointeja, mutta pidemmällä aikavälillä se voi tarjota kustannustehokkaan ratkaisun sekä yrityksille että myös kansantaloudelle. Osallistuminen reserveihin voi tarkoittaa esimerkiksi hetkellistä lyhytaikaista tehon vähennystä tai silloin tällöin tapahtuvaa katkoa. Tekniset vaatimukset ja korvaustasot vaihtelevat markkinapaikkojen mukaan. Vuorokausimarkkinoille ja vuorokauden sisäisille markkinoille osallistuminen edellyttää sopimuksia sähköpörssin ja avoimen sähköntoimittajan kanssa, että saadaan sovittua tasevastuut. (Fingrid.)

3 UUSIUTUVAN ENERGIAN SÄHKÖTEKNINEN LIITETTÄVYYS KIINTEISTÖÖN JA TEHON HALLINTA

Tässä luvussa käsitellään lämpöpumppujen ja aurinkosähköjärjestelmän sähköteknistä liitettävyyttä kiinteistöön esimerkkikohteen avulla sekä arvioidaan mitä mahdollisia haasteita tähän liittyy. Lisäksi tarkastellaan esimerkkikohteen sähkönkulutusprofiilia ja kohteen sähkön huipputehoa sekä pohditaan miten sähkön pätöteho vaikuttaa sähkön tehomaksuihin.

3.1 Lämpöpumppu- ja aurinkosähköjärjestelmän sähköistyksen periaatteet

Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelu ja mitoitus käynnistetään suunnittelijoiden toimesta. He laativat tarvittavat suunnitelmat järjestelmästä, jotka mahdollistavat urakoitsijoiden kilpailuttamisen ja järjestelmän toteuttamisen. Suunnitelmissa esitetään lämpöpumppulaitteisto ja mahdolliset lisätehon tarpeet sekä muut keskeiset tekijät järjestelmän toiminnallisuuden kannalta. Suunnitelmat sisältävät esimerkiksi toimintakaavion, joka antaa yleiskuvan järjestelmästä selventäen kenttälaitteiden ja automaation alakeskuksen välistä kaapelointia sekä muita tarvittavia sähkökaapelointeja järjestelmän laitteiden osalta. Fyysiset liittynät esitetään automaation alakeskuksen päässä tummennetulla salmiakkikuviolla ja ohjelmalliset toiminnot valkoisella salmiakkikuviolla. LVI-suunnittelija laatii myös laiteluettelon, josta ilmenevät tyypitetyt esimerkkilaitteet ja niiden vaatimat sähkötehot.

Sähkö tarkastelun ja kiinteistön vapaan sähkökapasiteetin kannalta tärkeimpiä tietoja ovat lämpöpumppujen teho ja tarvittavan lisätehon tarve. Lämpöpumppujärjestelmän lisätehona voidaan käyttää lämpöpumppujen rinnalla esimerkiksi kaukolämpöä. Mikäli kaukolämmöstä lisälämmönlähteenä kuitenkin luovutaan kokonaan, lisätehon tarve katetaan useimmiten sähkökattilan avulla. Näin voidaan varmistua siitä, että lämmitysteho saadaan katettua myös kovilla pakkaskeleillä huipputehotilanteissa. Lämpöpumput ja sähkökattilat voivat olla sähkötehoiltaan merkittäviä ja vaatia paljon sähkötehoa. Tämä tulee ottaa huomioon lämpöpumppujärjestelmää suunniteltaessa, jotta voidaan varmistua siitä, että kiinteistön sähkökapasiteetti on riittävä. Kiinteistön nykyinen sähkön pätötehon kulutus tulee tarkastella erityisen huolellisesti sekä huomioida myös mahdolliset tulevaisuuden sähköistyksen lisätarpeet, kuten esimerkiksi sähköauton latauspisteet.

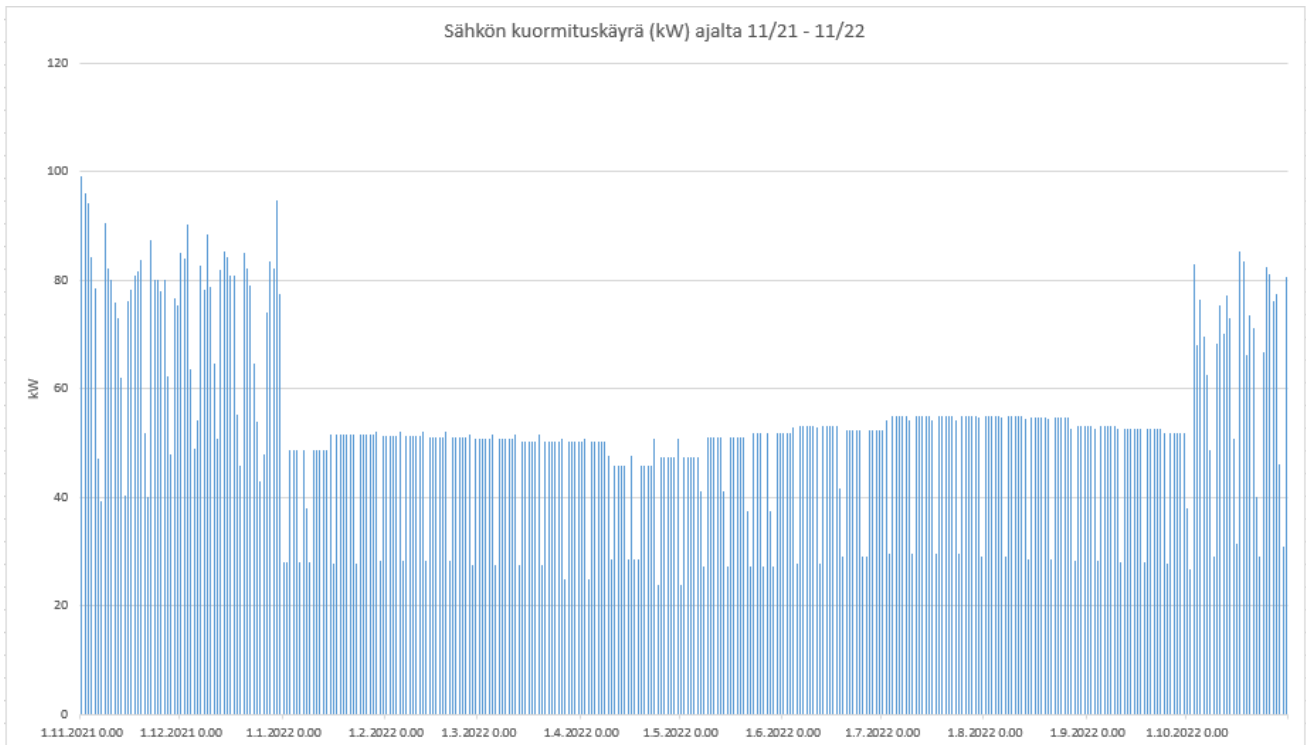
Lämpöpumppujen ja sähkökattilan lisäksi lämpöpumppujärjestelmän sähköteknisessä tarkastelussa tulee huomioida varaajien sähkövastukset, jotka varmistavat lämpimän käyttöveden saatavuuden huolto- ja vikatilanteissa. Lämpöpumppujärjestelmään kuuluvat myös esimerkiksi lämmitysverkoston kiertopumput, lämpimän käyttöveden kiertopumput ja sähkökattilan pumppu. Vaikka näiden sähköteho on vähäinen, tulee ne kuitenkin huomioida sähkö tarkastuksessa. Lämpöpumppujärjestelmälle asennetaan yleensä oma sähkökeskus ja automaatiojärjestelmän alakeskus, joka ohjaa lämpöpumppujärjestelmän toimintaa. Automaatiojärjestelmän avulla järjestelmän toimintaa voidaan myös seurata ja optimoida energiatehokkuuden parantamiseksi.

Aurinkosähkönjärjestelmän suunnittelun alkuvaiheessa on tärkeää arvioida kiinteistön sijainti varjostusten kannalta optimaalisen energiantuotannon saavuttamiseksi. Lisäksi on syytä tarkastella vesikaton kunto, jotta voidaan varmistaa, että se täyttää aurinkopaneelien asennuksen vaatimukset. Lisäksi tulee selvittää kiinteistön sähkönkulutus ja vapaa sähkökapasiteetti, että saadaan haarukoitua optimaalinen aurinkosähkönjärjestelmän koko kiinteistölle.

3.2 Kiinteistön pätötehon tarkastelu

Maalämpöjärjestelmän laiteluettelon valmistumisen jälkeen voidaan luettelon perusteella määrittää laitteiden vaatima sähköteho. Maalämpöjärjestelmän laitetehojen yhteydessä on syytä tarkastella kohdekiinteistön sähkönkulutusta ja huipputehoa. Sähkönsiirtoyhtiöltä on saatavissa kiinteistön sähkönkulutuksen historia tuntitasolla, ns. tuntisarja Excel-muodossa. Tarkasteluun voidaan ottaa esimerkiksi täyden edellisen vuoden sähkönkulutukset tuntitasolla. Taulukosta on haettavissa vuoden aikainen suurin sähkön pätötehonkulutus. Kiinteistön tyypistä riippuen suurin tehonkulutus saattaa esiintyä joko kesä- tai talvikaudella, ja tähän vaikuttaa esimerkiksi jäähdytysjärjestelmän tehontarve.

Tuntisarjan tiedoista ovat nähtävissä myös kiinteistön loistehon ja näennäistehon kulutukset. Suurimman pätötehon selvittämisen jälkeen voidaan arvioida, kuinka paljon sähköliittymässä on vapaata kapasiteettia käytettävissä. Tuntisarjasta voidaan laatia myös kuvaaja, joka havainnollistaa kiinteistön sähkönkulutuksen jakautumista vuositason tasolla. Kuvaajan avulla voidaan tunnistaa kulutuspiikit ja tehon ajallinen vaihtelu eri vuodenaikoina.



KUVIO 13. Esimerkkikohteen sähkön tuntisarja ajalta 1.11.2021- 31.10.2022.

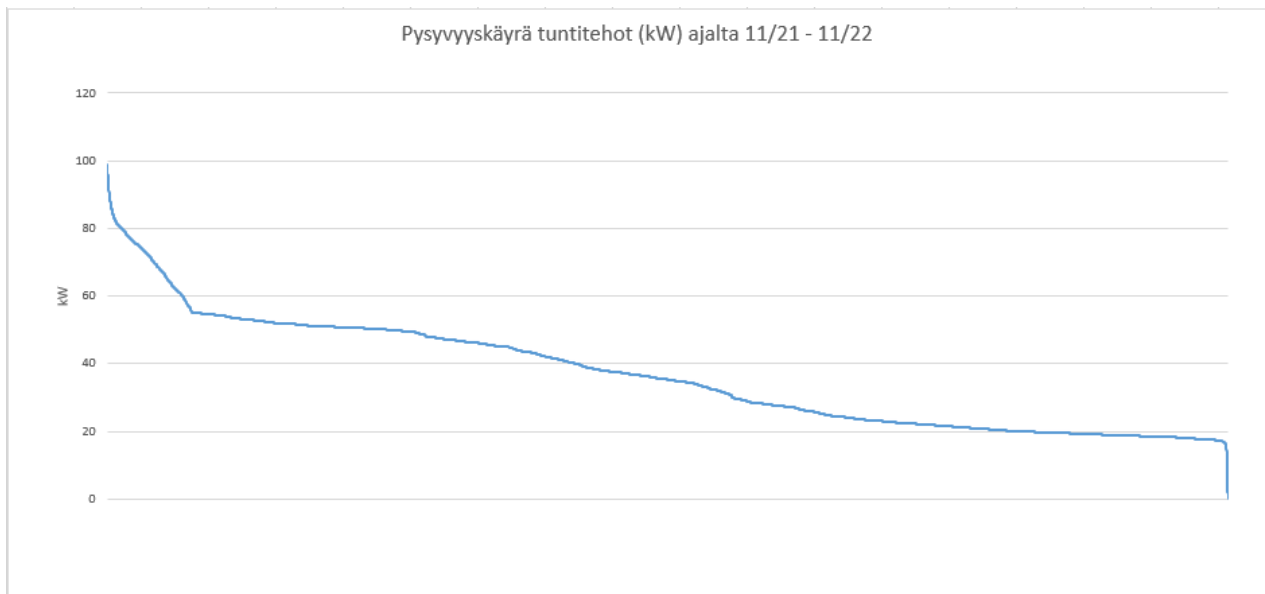
Tuntisarjasta on havaittavissa, että kiinteistön sähkön pätötehon huiput ajoittuvat lämmityskaudelle. Tuntisarjan Excel-taulukosta on haettavissa vuoden korkein tuntikohtainen pätöteho, arvoltaan 99 kW. Tämän arvon avulla voidaan arvioida, paljonko sähköliittymässä on vapaata kapasiteettia käytettävissä. Kolmivaihetehon kaavasta saadaan johdettua sähkövirran kaava. Mikäli tehokerroimen arvona käytetään arvoa 1 (ideaali), niin 99 kW pätöteho vastaa sähkövirran arvoa 143 A.

Kolmivaiheteho voidaan laskea kaavalla 1 seuraavasti:

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi$$

jossa P on teho [W], U on jännite [V], I on virta [A] ja tehokerroin on $[\cos \varphi]$ (ST-käsikirja 30. 2019, 26)

Pysyvyyskäyrän avulla voidaan havainnollistaa, kuinka kauan tietty pätöteho on ollut käytössä. Esimerkkikohteen vuoden tunnit on järjestetty ja niistä on muodostettu pysyvyyskäyrä havainnollistamista varten. Kohteen pysyvyyskäyrästä saatiin laskettua, että yli 60 kW:n teho ylittyi vuoden 2021 tunneista ainoastaan noin 6,8 prosentissa.



3.3 Maalämpö- ja aurinkosähköjärjestelmän sähkötekniinen liitettävyyden kiinteistöön

Kohdekiinteistön sähköjärjestelmän tarkastelu alkaa pääkeskuksen nimellisvirran ja nykyisten sähkösuunnitelmien tutkimisella. Ensisijaiset tiedot saadaan pääkeskuksen pääkaaviosta ja sähkön nousujohtokaaviosta. Pääkeskuksen pääkaaviosta saadaan selville pääsulakekoko ja nykyiset käytössä olevat lähdöt sekä tarkastettua alustavasti mahdolliset vapaat lähdöt, joita tarvitaan maalämpöjärjestelmän sähkökeskukselle ja mahdollisesti isotehoisille lämpöpumpuille ja sähkökattilalle. Kohdekierteillä voidaan varmistaa pääkeskuksen vapaat lähdöt paikan päällä, sillä pääkaavio ei välttämättä ole ajan tasalla.

Nousujohtokaaviosta selviävät liittymäkaapeleiden määrät ja kaapelityypit. Alkuvaiheessa on tärkeää selvittää pääkeskuksen nimellisteho, pääsulakkeiden koko sekä liittymäkaapeleiden määrät ja tyypit. Tuntisarjan huippupäätötehon vertaaminen pääsulakkeiden kokoon auttaa määrittämään, onko sähköliittymässä riittävästi vapaata kapasiteettia maalämpöjärjestelmän liittämiseksi. Alkuvaiheen tarkastelu palvelee maalämpöjärjestelmän hankekehitysvaihetta, jolloin saadaan selvyys, onko kohdekiinteistön sähkökapasiteetti riittävä maalämpöjärjestelmän toteuttamiseksi. Jos vapaata sähkökapasiteettia ei ole riittävästi, voi olla tarpeen tehdä sähköjärjestelmään muutostöitä, kuten kasvattaa pääsulakkeiden kokoa, asentaa uusia liittymiskaapeleita tai uusia pääkeskus.

Toisin kuin maalämpöjärjestelmä, aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköenergiaa kiinteistön käyttöön sen sijaan, että se olisi kulutuskuorma. Aurinkosähköjärjestelmän sähkötekniisen liittämisen kannalta tulee tarkastella pääkeskuksen nimellisteho, pääsulakekoko ja vapaat lähdöt, kuten kuin maalämpöjärjestelmän kohdalla. Mikäli aurinkovoimala liitetään esimerkiksi ilmanvaihtokonehuoneen sähkökeskukseen, tulee selvittää konehuoneen sähkökeskuksen nimellisteho ja keskuksen vapaat lähdöt. Lähtökeskuksen päässä tulee varmistaa sulakekoko ja kaapelityyppi, joka palvelee ilmanvaihtokonehuoneen sähkökeskusta. Näin varmistetaan, ettei tämä muodosta pullonkaulaa, vaikka ilmanvaihtokonehuoneen keskuksessa olisikin vapaita lähtöjä aurinkovoimalan liittämistä varten.

Lisäksi on varmistettava kiinteistön energiamittauksen toteutus. Mikäli kiinteistön vuokralaisten sähkömittaus on toteutettu energialaitoksen mittareilla, on selvítettävä, kuinka ja kenelle aurinkosähköjärjestelmän tuotto kohdistetaan.

3.4 Esimerkkikohteen sähköjärjestelmän kartoitus maalämpöjärjestelmää varten

Esimerkkikohteen pääkeskuksen nimellisvirta on 630 A ja sähköliittymän pääsulakekoko 3x3x200, eli yhteensä 600 A. LVI-laiteluettelosta selviävät lämpöpumppujen ja sähkökattilan tehot.

Taulukko 1. Maalämpöjärjestelmän laiteluettelo. (Jäspi a.)

Laitteet	Teho (kW)
Lämpöpumppu 1 Thermia Mega XL HGW	33,5
Lämpöpumppu 2 Thermia Mega XL HGW	33,5
Sähkökattila Jäspi SPL-FIL 225	225
Sähkövastus varaaja 1	9
Sähkövastus varaaja 2	9
Maalämpöjärjestelmän pienitehoiset muut laitteet, (ei oteta tarkasteluun mukaan)	
Maalämpöjärjestelmän laitteiden sähköteho yhteensä	310

Lämpöpumppuesitteen mukaan lämpöpumpun kompressorin ja kiertopumpun yhteenlaskettu nimellisteho on 33,5 kW ja lämpöpumppu vaatii 63 A:n sulakkeen. (Thermia.)

ST-kortin 13.31 mukaan mitoituksessa suositellaan käyttämään tehokertoimen arvoa 0,96 tehokertoimen arvon 1 sijaan, jos käytössä ei ole tarkempaa tietoa. (Harsia ym. 2019, 13). Lämpöpumppu on induktiivinen kuorma, joten mitoituksessa on perusteltua käyttää tehokertoimen arvona 0,96. Virraksi saadaan 50,4 A, joten lämpöpumppuesitteen vaatima nimellisvirraltaan 63 A:n sulake on perusteltu.

Sähkökattilan teho on 225 kW ja nimellisvirta 325 A vaatien 3 x 400 A:n sulakkeet. Sähkökattila on resistiivinen kuorma, joten tehokertoimen arvona voidaan käyttää arvoa 1. Kolmivaihetehon laskenta-kaavan perusteella voidaan määrittää virran arvoksi 326 A. Varaajien sähkövastukset ovat myös resistiivinen kuorma, joten 9 kW:n vastuksen tehon virran arvoksi saadaan laskettua 13 A.

3.4.1 Pääkeskuksen ja liittymiskaapeleiden riittävyys maalämpöjärjestelmälle

Maalämpöjärjestelmän laitteiden yhteenlaskettu huipputeho on 310 kW ja kiinteistön vuoden 2021 tuntisarjan tarkastelun perusteella kiinteistön suurin huippupätöteho on ollut 99 kW, joten yhteenlaskettu teho on 409 kW.

Nykyisen pääkeskuksen sulakekoko on $3 \times 3 \times 200 \text{ A}$, joten tehokertoimen arvolla 0,96 saadaan suurimaksi laskennalliseksi sähkön huipputehoksi 399 kW, joten voidaan todeta, että sähköliittymän kapasiteetti on kestävyuden ääri rajoilla kiinteistön huippukuormitustilanteessa. Tämä perustuu oletukseen, että kaikki maalämpöjärjestelmän laitteet toimisivat täydellä teholla ja kiinteistön peruskuormitus olisi samanaikaisesti maksimaalinen. Kuitenkin kiinteistön lämmityksen huipputehontarve on noin 300 kW. Maalämpöpumput kykenevät tuottamaan suuren osan tästä lämpöenergian tarpeesta, mikä mahdollistaa sähkökattilan tehon rajoittamisen tarvittaessa pienemmäksi. Tällöin sähkökapasiteettia jää riittävästi käyttöön, vaikka kiinteistön peruskuormitus kasvaisikin vielä tulevaisuudessa.

Kohdekierroskäynnin perusteella voidaan todeta, että pääkeskuksessa on vapaita lähtöjä maalämpöjärjestelmän laitteille alla olevan mukaisesti.

Sähkökattila 400 A
 Maalämpöpumppu (1) 125 A
 Maalämpöpumppu (2) 125 A
 Maalämpöjärjestelmän sähkökeskus 63 A

Uudisrakennuksen tarkastelussa kiinteistön huipputehon P_{max} -arviointiin voidaan käyttää apuna ST-korttia 13.31. Sähköliittymän mitoituksessa on tärkeää varmistaa sähkön saannin riittävyys ja varautua mahdollisiin tuleviin muutostarpeisiin. Toisaalta sähköliittymän ylityömittäminen ei ole taloudellisesti järkevää. Liittymän mitoitus on optimointitehtävä, jossa tulee ottaa huomioon sekä tekniset että taloudelliset näkökohdat. (Sähköinfo 2020, 15.) Maalämpöjärjestelmän sähkötekniisessä liitännässä vanhaan kiinteistöön nämä näkökulmat korostuvat. Tekniset ja taloudelliset tekijät on huomioitava samalla, kun varmistetaan kiinteistön sähkön riittävyys ja varaudutaan myös tulevaisuuden mahdollisille muutostarpeille kiinteistössä.

3.5 Mahdolliset sähköjärjestelmän muutokset esimerkkikohteessa

Kohteen huipputehotarkastelun ja vapaan sähköliittymän kapasiteetin jälkeen voidaan tarkastella teknistä ja taloudellista näkökulmaa, jos päädytään tilanteeseen, että sähköliittymän kapasiteetti ei tule riittämään. Esimerkkikohteen pääkeskuksen nimellisvirta on 630 A, ja nykyisten pääsulakkeiden koko on $3 \times 3 \times 200 \text{ A} = 600 \text{ A}$. Nykyisen pääkeskuksen osalta kiinteistön sähköliittymän laajentaminen ei ole mahdollista ilman pääkeskuksen uusimista nimellisvirraltaan suurempaan kokoon. Kohde on liitetty

sähköverkkoon 0,4 kV:n pienjännitetelesiirtosopimuksella, ja pääkeskusta syötetään energialaitoksen liittymiskaapeleilla 3 x AXMK 4x185 S.

Mikäli pääkeskus olisi nimellisvirraltaan suurempi, ensimmäinen vaihtoehto olisi tiedustella energialaitokselta mahdollisuutta asentaa pääkeskukseen suuremmat pääsulakkeet, kuten 3 x 250 A, mikäli nykyiset liittymiskaapelit ja muut edellytykset energialaitoksen osalta sallivat tämän. Tässä yhteydessä on kuitenkin huomioitava kustannusten kasvu liittymän pääsulakekoon korotukseen liittyvien kustannusten osalta. Mikäli pääkeskuksen liittymän pääsulakkeiden korottaminen ei ole mahdollista, on harkittava sähköpääkeskuksen uusimista ja lisäliittymäkaapeleiden asentamista. Tämä on laajuudeltaan ja kustannuksiltaan merkittävä toimenpide, joka voi heikentää maalämpöjärjestelmän taloudellista kannattavuutta.

Yksi vaihtoehto voisi olla uuden pääkeskuksen asentaminen kohteeseen, johon kytkettäisiin sekä nykyisen pääkeskuksen liittymäkaapelit että uudet liittymäkaapelit. Uudelta pääkeskukselta syötettäisiin nykyistä pääkeskusta sekä esimerkiksi suurtehoista sähkökattilaa. Uusi pääkeskus voitaisiin varustaa jonovarokeytkimillä tilan säästämiseksi. Tämän vaihtoehdon haasteena on löytää olemassa olevista tiloista sopiva, lukittava tila uudelle pääkeskukselle. Lisäksi sähköremontti on joka tapauksessa laaja ja vaatii merkittäviä investointeja, mutta tämän vaihtoehdon avulla voitaisiin välttää pääkeskuksen täydellinen uusiminen. Toteutustapa tulee kuitenkin hyväksyttävä ja käydä läpi oman alueen energialaitoksen kanssa läpi. Lisäksi on tärkeää arvioida huolellisesti kustannusvaikutukset ennen lopullista päätöksentekoa. Tässä voidaan huomata, että mitoitus on teknistaloudellinen optimointitehtävä, jonka avulla pyritään löytämään parhaat ratkaisut toteutukseen.

3.6 Uusi pääkeskus ja liittymiskaapelit kustannusarvio

Pääkeskuksen uusimiseen ja lisäliittymäkaapeleiden kaivamiseen ja asentamiseen liittyvät kustannukset vaikuttavat merkittävästi maalämpöjärjestelmän kannattavuuteen, ja näiden laajojen sähkötöiden muutostoimenpiteiden taloudellinen vaikutus tulee huomioida päätöksenteossa. Kustannuksia ja huomioon otettavia tekijöitä ovat:

- Uusi pääkeskus tarvikekustannukset ja nykyisten pääkeskukselta lähtevien kaapeleiden mahdolliset jatkamiset uuteen pääkeskukseen.
- Mahdollinen sähkölaskun perusmaksun korotus pääsulakekoon muuttuessa.

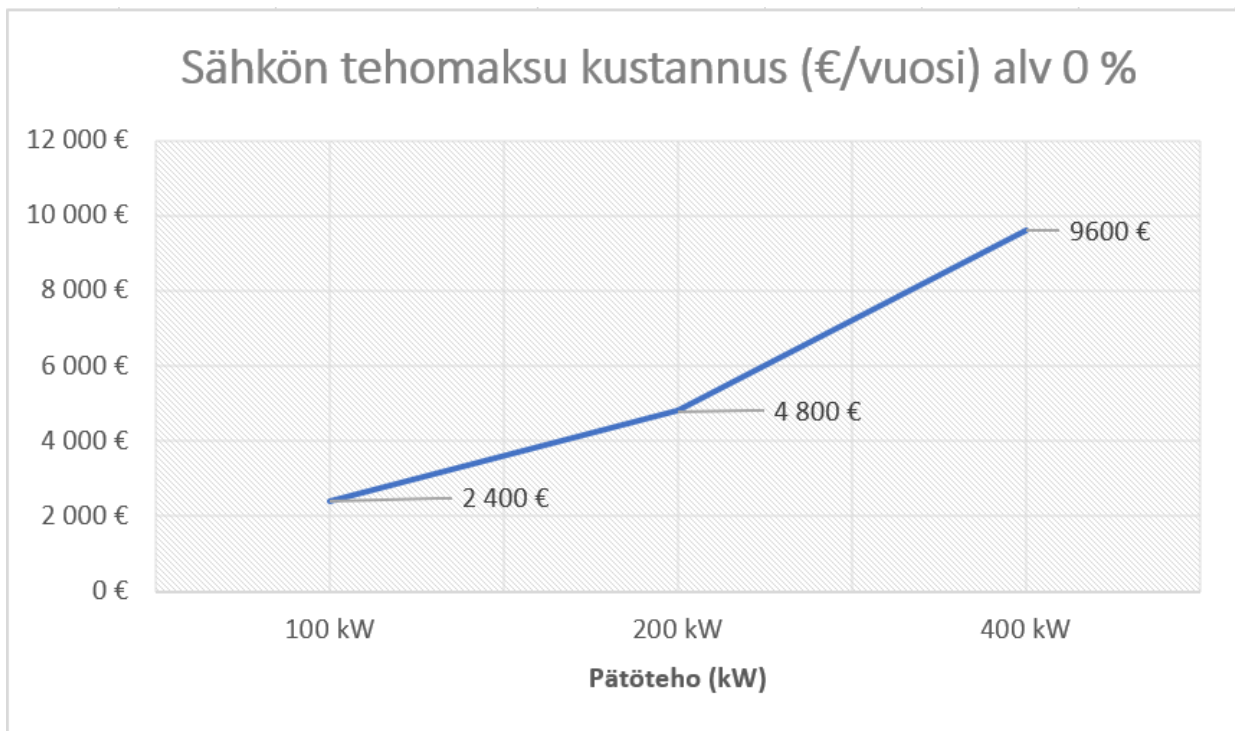
- Sähköverkkoyhtiön kustannukset liittymänkorotukseen liittyen.
- Maanrakennus- ja kaivuutyöt sekä pihan ennallistamiseen liittyvät kustannukset.
- Uuden liittymiskaapelin tarvikekustannukset ja mahdolliset uudet johtotiet sisätiloissa
- Sähköurakoitsijan työt, kuten uuden pääkeskuksen asennus, kaapeleiden kytkennät ja uusien virtamuuntajien asentaminen pääkeskukseen, aiheuttavat lisäkustannuksia.
- Rakennuspuolen kustannukset, kuten timanttireiät ja mahdolliset läpivientien tiivistykset palokatkoineen.

3.7 Kiinteistön pätötehon kasvun vaikutukset sähkön tehomaksuun

Tehomaksujen kustannukset vaihtelevat verkkoyhtiöiden kesken ja yhtiöllä on tehomaksuille eri hinnoitteluperusteet. Esimerkiksi Vantaan Energian sähköverkkoon pienjännitetelesiirrolla 0,4 kV liittyneillä kiinteistöillä tehomaksun veroton hinta on 2 €/kW kuukaudessa. Pätötehon laskutus pohjautuu käyttöpaikan suurimpaan tuntitehoon, joka on mitattu viimeksi kuluneiden 12 kuukauden aikana. (Vantaan Energia Sähköverkot 2022). Esimerkiksi Vantaan Energian sopimusmallissa hinnoittelu perustuu siihen, että mikäli kiinteistö saavuttaa esimerkiksi suurimman tuntitehohuipun heti vuoden alussa tammikuun kovilla pakkasilla, tehomaksua maksetaan koko 12 kuukauden sopimuskauden ajan tämän tehohuipun perusteella. Tehomaksu laskutetaan kuukausittain saman hinnoitteluperiaatteen mukaisesti koko sopimuskauden ajan, riippumatta siitä, että kiinteistön sähköenergian kulutus ja pätöteho saattavat olla merkittävästi pienemmät vuoden muina kuukausina. On kuitenkin huomioitava, että tehomaksun hinnoittelussa on eroja verkkoyhtiöiden välillä. Kiinteistön tehohuippujen suuruudella on kuitenkin oleellinen merkitys kustannusten kannalta.

Oletetaan että kiinteistön suurin aiempi pätötehuippu on ollut 100 kW, ja tämä on saavutettu heti vuoden alussa tammikuussa. Tästä aiheutuvat tehomaksun vuosikustannukset ovat olleet 2400 € (alv 0 %). Esimerkkikohteen sähkön pätötehon oletetaan kasvavan merkittävästi maalämpöjärjestelmän sähkönkulutuksen ja lisälämmönlähteenä toimivan sähkökattilan vuoksi. Kohde on liitetty Vantaan Energian 0,4 kV:n pienjännitetelesiirtosopimuksella sähköverkkoon. Mikäli tuntitarkastelun perusteella pätöteho nousee hetkellisesti esimerkiksi 200 kW:iin, tehomaksun vuosikustannukset ovat 4800 € alv 0 %, ja jos taas esimerkinomaisesti saavutetaan 400 kW:n pätöteho, tehomaksun kustannukset ovat vuodessa 9600 € alv 0 %. Tämä johtuu siitä, että laskutus perustuu suurimpaan mitattuun pätötehoon, joka määrittelee kustannukset koko sopimuskauden ajaksi. Tehomaksun päälle tulevat vielä sähkönsiirto,

verot, loisteho ja perusmaksu sekä kulutetun sähköenergian kustannukset, jotka määräytyvät sähkömyyjän sopimuksen mukaan. Pätötehon kasvu vaikuttaa merkittävästi tehomaksun kustannuksiin.



KUVIO 15. Tehomaksun kustannukset pätötehon funktiona vuositasolla ilman arvonlisäveroa. Tehomaksun yksikköhinta 2,00 €/kW (alv 0 %).

Kuvio osoittaa, kuinka tehomaksun kustannukset kasvavat suhteessa pätötehon nousuun. Kuviossa oletetaan, että kiinteistön korkein pätöteho saavutetaan heti sopimuskauden alussa, jolloin tehomaksun kustannukset pysyvät muuttumattomina koko sopimuskauden ajan. Kuviossa tehomaksuhinnoittelu perustuu käyttöpaikan suurimpaan tuntitehoon, joka on mitattu viimeksi kuluneiden 12 kuukauden aikana.

4 KIINTEISTÖN TEHONHALLINTARATKAISUT PÄTÖTEHON HALLINTAAN

Tässä luvussa käsitellään erilaisia menetelmiä huipputehon hallintaan. Lisäksi tarkastellaan akkuvaraston mahdollisuuksia sähkön huipputehon leikkauksessa ja arvioidaan akkuvaraston taloudellista kannattavuutta lyhyesti.

4.1 Kiinteistön tehonhallinta lämpöpumppujärjestelmissä

Tehonhallinnan toteutusmahdollisuuksien osalta laitteiden tai laiteryhmien ohjaus voidaan toteuttaa joko ulkoisella ohjaustiedolla tai hyödyntämällä kohteen omaa mittaustietoa. Ulkoinen ohjaustieto voi perustua esimerkiksi hintatietoon, sähkön käytön rajoittamiseen tai lisäämistarpeeseen, kun taas oma mittaustieto voi käsittää liittymän kulutustiedon tai yksittäisen kulutuslaitteen käyttötiedon. Hyödynnettäessä kiinteistön omatuotantoa on tarpeen käyttää ohjausratkaisuja, jotka toimivat tuotannon mukaisesti. (Harsia ym. 2019, 70.)

Tehojen ohjauksen ei tulisi aiheuttaa merkittäviä vaikutuksia kiinteistön olosuhteisiin tai käyttömukavuuteen. Sähkönjakelun häiriö- ja tehopulatilanteissa tulisi voida kytkeä pois käytöstä kiinteistön eikriittiset kuormat. Ohjausratkaisujen tulee varmistaa laitteiden hallittu ja portaittainen käynnistyminen kytkentäpiikkien välttämiseksi. (Harsia ym. 2019, 70.)

Sähkötehoa voidaan kiinteistön huippukulutusaikoina vähentää lämmityksen ja jäähdytyksen osalta ja myös alentamalla ilmanvaihdon käyntiä tai pysäyttämällä ilmanvaihtokone lyhytaikaisesti sekä säättämällä valaistuksen tehoa. Ilmanvaihdon soveltuvuus kysyntäjoustoan riippuu kuitenkin ilmanvaihtojärjestelmän toteutustavasta sekä siitä, millaisia tiloja ilmanvaihto palvelee. Valaistuksen osalta on suositeltavaa käyttää nykyaikaista valaistuksen ohjausjärjestelmää, jotta valaistuksen tehoa voidaan vähentää ja säätää huomaamattomasti huipputehosen leikkaamiseksi. (Luoma 2015, 61–63). Muutoksissa on kuitenkin tärkeää huomioida, ettei ilmanvaihdon pudotuksella missään tapauksessa heikennetä kiinteistön sisäolosuhteita tai ettei valaistus ole riittämätön. Sähkön huipputehon leikkaaminen ja hallinta ei tarkoita kokonaissähkönkulutuksen pienentämistä, vaan pyrkimystä säilyttää teho mahdollisimman taseisena, jolloin voidaan välttää sähkön päätötehon tehopiikit.

4.1.1 Kuormien hallinta ja vuorottelu

Kuormien vuorottelu on menetelmä kiinteistön huipputehon hallintaan, koska lämmityksen tai varaajan lyhytaikainen poiskytkentä ei vaikuta merkittävästi tilojen tai veden varaajan lämpötiloihin. Kuormien vuorottelu voidaan toteuttaa esimerkiksi perinteisen releen avulla, jolla voidaan estää kuormien samanaikainen kytkeytyminen käyttäen ohjausjännitettä ohjaustietona releelle rajoittaen näin kiinteistön huipputehoa. (Harsia ym. 2019, 70.) Suuremmissa kohteissa voidaan kuormia ohjata kiinteistön keskitetyllä rakennusautomaatiojärjestelmällä. Sähköautojen latauspisteet sekä esimerkiksi sulapitojärjestelmät tarjoavat myös mahdollisuuksia kuormien hallintaan.

Lämpöpumppujärjestelmät tarjoavat energiatehokkaan lämmitysratkaisun kiinteistöille ja lämpimälle käyttövedelle verrattuna perinteisiin sähkölämmittämiin. Huipputehon hallinnan kannalta on kuitenkin tarpeellista hyödyntää tehoristeilyä. Suurien kuormien ollessa käytössä lämpöpumppujen tai sähkökattiloiden lämmitysvastusten samanaikaista toimintaa tulisi voida rajoittaa tai estää. (Harsia ym. 2019, 70.)

4.1.2 Lämpöpumppujärjestelmän virranvalvonta- ja rajoitus

Suurten kuormien, kuten lämpöpumppujen, sähkökattilan ja sähköautojen latauksen risteilytarpeet edellyttävät monipuolista ohjausta. Näiden laitteiden suurimmat tehotarpeet ajoittuvat tyypillisesti kiinteistön huipputehon ajankohtiin, kuten kylmiin talvi-iltoihin. Tällöin ei ole suositeltavaa pakottaa kaikkia sähkövastuksia pois päältä tai puolittaa sähköauton lataustehoa, vaan säätää niitä portaittain riittävän pienelle teholle. Esimerkiksi joissain sähkökattiloissa on mahdollista säätää lisävastusten tehoja useammassa portaassa, mikä mahdollistaa järjestelmän tehon alentamisen niin, ettei kiinteistön huipputeho ylitä. Tämä mahdollistaa lämmitysjärjestelmän tehokkaan käytön ilman, että kiinteistön huipputeho nousee liian suureksi. (Harsia ym. 2019, 71.)

Virranvalvontarele on laite, joka mittaa epäsuorasti sähköliittymän tai suojeltavan sulakkeen virtaa virtamuuntajien avulla, ja laite toimii binäärisesti. Kun määritelty virtarajan arvo ylittyy, virranvalvontarele kosketin muuttaa tilaansa. Kosketintiedon tuominen automaatiojärjestelmään mahdollistaa haluttujen toimintojen ohjaamisen. Lämpöpumppujärjestelmän lisätehona toimivien sähkökattiloiden tai sähkövastusten teho voidaan kytkeä pois päältä virranvalvontareleelta saatavien mittaustietojen perusteella. Näin saadaan alennettua sähkövirran suuruutta alle sallitun raja-arvon mittauspisteessä sähköliittymän pääsulakkeilla. Virranvalvontareleen avulla voidaan hallita myös lämmitysjärjestelmän

ulkopuolisten laitteiden toimintaa huippukuormitustilanteissa, kuten suuritehoisia kiinteistön sähköisiä sulanapitojärjestelmiä. Sähköliittymän huippukuormitustilanteet ovat tyypillisesti lyhytkestoisia, esimerkiksi aamun huiput saattavat kestää noin tunnin ajan. Tällöin lisälämmitystehon leikkaaminen ei aiheuta ongelmia rakennusten lämmityksessä. (Manner 2017, 16–17.)

4.1.3 Sähkökattilan kuormitusvahti

Sähkökattila saattaa sisältää virranvalvontalaitteen, joka mahdollistaa kattilan tehon itsenäisen säätämisen määriteltyjen raja-arvojen mukaisesti. Sähkövirtaa mitataan epäsuorasti virtamuuntajien avulla, ja mikäli virta ylittää asetetun raja-arvon, kattilan automaatiojärjestelmä kytkee tehoportaita pois käytöstä, jotta mittauspisteellä virta laskee sallittuun arvoon. Sähkökattilan virranvalvontarele parantaa lisätehona käytettävän sähkötehon säätämisen tarkkuutta verrattuna binääriseen virranvalvontareleeseen, joka kytkee vakiomäärän tehoa pois. Sähkökattilan kuormitusvahti mahdollistaa tarvittavan tehon poiskytkemisen käytöstä optimaalisesti. (Manner 2017, 17–18.)

4.1.4 Tehonhallinta verkkoanalysointilla

Verkkoanalysointilaitteet mahdollistavat tarkan sähköarvojen sekä energian mittaamisen ja analysoinnin kiinteistön sähköjärjestelmässä. Analysointilaitteen virranmittausominaisuuden avulla voidaan säätää lämpöpumppulaitteiston lisätehon niin, ettei sähkövirran suuruus mittauspisteessä ylitä määriteltyä arvoa. Automaatiojärjestelmään voidaan tuoda verkkoanalysointilaitteen mittaussuureita esimerkiksi Modbus-tiedonsiirtoväylän avulla. (Manner 2017, 19.)

4.3 Aurinkosähkö ja maalämpöjärjestelmä

Kiinteistön siirtyessä kaukolämmöstä maalämpöjärjestelmään sekä sähkönkulutus että sähkötehon tarve kasvavat. Aurinkosähköjärjestelmän asentaminen voi kuitenkin tasoittaa tätä lisääntyvää tarvetta. Aurinkosähköä voidaan hyödyntää suoraan maalämpöjärjestelmän sähkötarpeisiin tai varastoida aurinkoenergiaa automaatiojärjestelmän avulla varaajaan vesimassaan hyödyntäen veden hyvää ominaislämpökapasiteettia. Vaihtoehtoisesti aurinkoenergian ylijäämä voidaan varastoida akkuvarastoon. Aurinkosähköjärjestelmää voidaan hyödyntää tehokkaasti kesäkaudella, jolloin aurinkoenergiaa on

runsaasti saatavilla ja lämpöpumpun jäähdytystarve on korkeimmillaan. Maalämpöpumppu tarvitsee sähköä, kun sitä käytetään aktiiviseen jäähdytykseen (Viessmann).

Aurinkosähköjärjestelmän tuottaman ylijäämänsähkön myynti verkkoon tai sen mahdollisimman tehokas hyödyntäminen kiinteistön käyttöön tulee tarkastella. Myynnin hyvityshinta määräytyy tunneittain muuttuvan spot-hinnan mukaan eikä siihen sisälly siirto- tai verokustannuksia, ja lisäksi päälle tulevat vielä erilaiset myyntiin liittyvät kulut, kuten verot ja mahdollinen sähkömyyjän marginaali. (Motiva.) Tämä tarkoittaa, että hyvityshinta on alhaisempi kuin ostetun sähkön hinta, joka sisältää siirto- ja verokustannukset. Kuviossa 16 on esitetty taloudellinen hyöty, kun vältetään sähkön ostoa verkosta ja myydään itse tuotettua sähköä verkkoon.



KUVIO 16. Sähkön myynti- ja ostohinnan rakenne ja mittakaava hyödyistä. (Motiva)

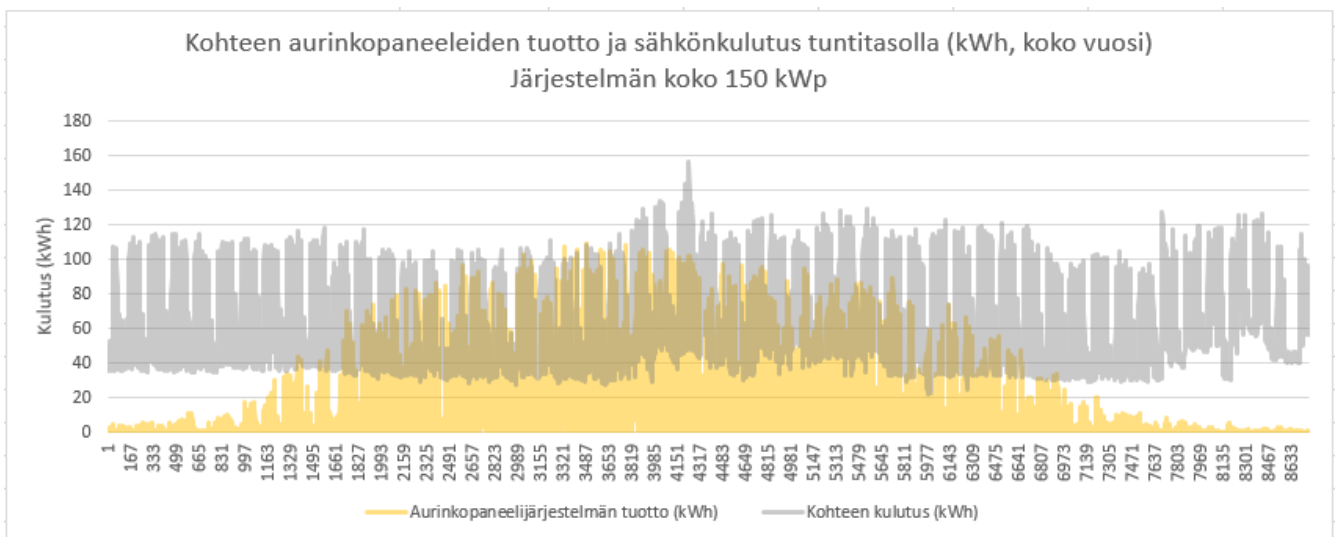
4.3.1 Omatuotanto ja akkuvarastot

Kiinteistöjen energian omatuotanto voi käsittää sähköenergian tuotannon aurinkopaneeleilla ja lämmön tuotannon lämpöpumppujen sekä aurinkokeräimien avulla. Energiaa voidaan varastoida esimerkiksi akkuihin ja varaajiin. (Harsia ym. 2019, 67.)

Akkuvaraston käyttö tarjoaa merkittävää taloudellista etua, sillä se mahdollistaa sähkön tuntihintojen vaihtelun hyödyntämisen ja aurinkopaneelien tuottaman sähkön tallentamisen kiinteistön käyttöön. Akkujärjestelmän avulla voidaan tasoittaa kiinteistön sähkönkulutuksen huipputehoa, mikä mahdollistaa sähkön tehomaksun alentamisen. Akkua puretaan, kun aseteltu huipputehon arvo ylittyy, jolloin ylimenevä osuus syötetään akustosta. Alhaisemman energiankulutuksen aikana akustoa voidaan ladata jälleen täyteen kapasiteettiin. (Harsia ym. 2019, 68.)

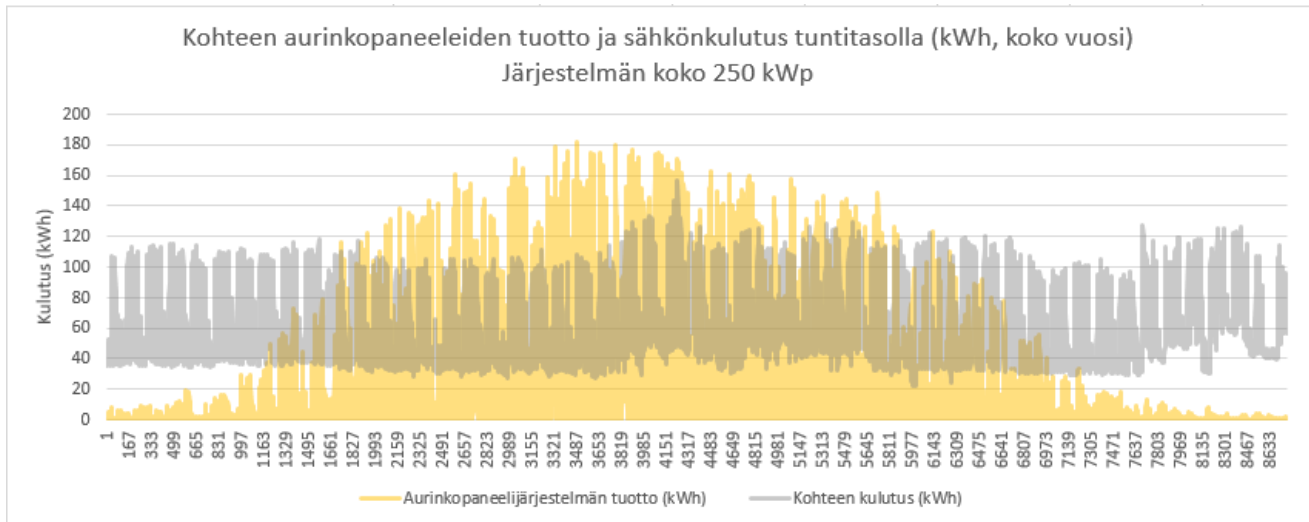
Akkuvaraston avulla voidaan saavuttaa taloudellista hyötyä. Kohdistamalla sähköenergian osto halvempien spot-tuntihintojen ajalle tai varastoimalla aurinkosähkön ylijäämätuotanto akustoon. Akuston avulla on mahdollista rajoittaa myös kiinteistön huipputehoa, mikä johtaa säästöihin sähkön tehomak-suissa. Akkuvarastojen avulla voidaan myös varmistaa tärkeiden laitteiden toiminta sähkökatkojen aikana. (Harsia ym. 2019, 68.)

Alla olevissa kuvioissa havainnollisesta esimerkikohteen aurinkosähköjärjestelmän tuotantoa verrattuna kohteen sähkönkulutukseen kahdella eri järjestelmäkoolla. Ylemmässä kaaviossa järjestelmän kokoa on optimoitu siten, että suurin osa tuotetusta energiasta käytetään kiinteistössä. Kun aurinkopaneelijärjestelmän kokoa kasvatetaan kaavio (alempi), verkkoon ylijäävän energian määrä lisääntyy, mutta samalla saavutetaan suurempi tuotanto kiinteistön omaan käyttöön.



KUVIO 17. Aurinkosähköjärjestelmän koon simulointi 150 kWp.

Esimerkkikohteen sähkön tuntisarja ajalta 1.1.2020-31.12.2020. Aurinkosähköjärjestelmän koko 150 kWp. Oletuspaikkakunta Helsinki, ilmansuunta kaakko ja paneelien kulma 30 astetta. Järjestelmän vuosituotannon arvioidaan olevan 129 MWh, josta 124 MWh käytetään kiinteistön omiin tarpeisiin ja loput 5 MWh myydään sähköverkkoon.



KUVIO 18. Aurinkosähköjärjestelmän koon simulointi 250 kWp.

Esimerkkikohteen sähkön tuntisarja ajalta 1.1.2020-31.12.2020. Aurinkosähköjärjestelmän koko 250 kWp. Oletuspaikkakunta Helsinki, ilmansuunta kaakko ja paneelien kulma 30 astetta. Järjestelmän vuosituotannon arvioidaan olevan 215 MWh, josta 176 MWh käytetään kiinteistön omiin tarpeisiin ja loput 39 MWh myydään sähköverkkoon.

4.3.2 Pätötehon hallinta akkuvaraston avulla

Sähkönkulutushuippujen perusteella määritellyt tehomaksut voivat usein muodostaa merkittävän osan kiinteistöjen sähköenergian kustannuksista. Näitä energiakulutuksen huippuja voidaan hallita kulutus-huipunleikkauksella ottamalla hetkellisesti käyttöön energiaa muualta kuin sähköverkosta. Akkuvarasto mahdollistaa maksimitehon määrittämisen, joka voidaan ottaa sähköverkosta, ja tarvittaessa ylimenevä energiantarve voidaan ottaa akustosta. Akuston tulee toimia luotettavasti energiankulutuksen huippujen rajoittamisessa, minkä vuoksi sen on kyettävä tarjoamaan tarpeellinen ulostuloteho ja tehoreservi koko kulutushuippujakson ajan.

4.3.3 Esimerkkikohteen akkuvarasto

Esimerkkikohteen akustojärjestelmän ensisijaisena tarkoituksena on leikata sähkön tehopiikkejä ja siten pienentää sähkön tehomaksua, kun kiinteistöön asennetaan maalämpöjärjestelmä sähkö

lisälämmönlähteenä. Tarvittaessa akusto voi myös varastoida kiinteistöön asennetun 150 kWp:n aurinkosähköjärjestelmän tuottaman sähköenergian ennen tämän siirtymistä sähköverkkoon. Ensisijaisesti aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia hyödynnetään kiinteistön käyttöön ja mahdollinen ylituotanto voidaan varastoida akustojärjestelmään. Tässä osiossa tarkastellaan ainoastaan hypoteettisesti ja lyhyesti akustojärjestelmän mitoitusta ja kannattavuutta, sillä maalämpöjärjestelmä sähkökattilalla ei ole vielä käytössä kiinteistössä, vaan järjestelmä on vasta suunnitteilla tällä hetkellä. Tämän vuoksi mitään todellista sähkönkulutusdataa ei ole saatavilla, joten analyysi perustuu arvioihin ja oletuksiin. Mikäli maalämpöjärjestelmä toteutetaan sähkö lisälämmönlähteenä, on suositeltavaa tarkastella kiinteistön kulutusta ensimmäisen toimintavuoden jälkeen tarkemmin ja arvioida järjestelmän kannattavuutta yksityiskohtaisemmin perustuen todellisiin kulutustietoihin.

4.3.4 Akkuvarasto Tesvolt TS HV 70 ja SMA STPS 60 -invertteri

Esimerkkikohteen akustoksi valittiin saksalaisen Tesvoltin TS HV 70 -akusto, jonka kapasiteetti on 76 kWh, jolloin energiaa saadaan varastoitua akustoon 76 kWh. Järjestelmä on yhteensopiva SMA-tuoteperheen inverttereiden kanssa ja yhdessä SMA STPS 60 -invertterin avulla saavutetaan ulostulon AC-tehoksi 75 kVA, jonka akusto kykenee tarjoamaan, kunnes se tyhjenee. Tesvoltin akut soveltuvat huipputehonleikkaukseen monien muiden ominaisuuksiensa lisäksi. Tesvoltin akusto sisältää valmiin sisäänrakennetun toiminnon huipputehon leikkaamiseksi ja käyttäjä pystyy itse määrittelemään tehorajat. Tesvoltin TS HV 70 -akkuja voidaan kytkeä neljä kappaletta yhden invertterin taakse. Suurempia järjestelmiä varten TS HV 70 -sarjan akkuja ja inverttereitä voidaan yhdistää useampia mahdollistaen jopa 40 akun kytkemisen yhteen järjestelmään. (Tesvolt.)

TAULUKKO 2. Tesvolt TS HV 70 tekniset tiedot. (Tesvolt.)

TESVOLT TS HV 70	
Energiakapasiteetti	76 kWh (16 akkumoduulia)
Maksimi lataus/purkausvirta	100 A
Sykliskesto DoD	6,000 1C/1C @ 23°C +/- 5°C 100 % purku DoD 70 %
Sykliskesto DoD	8,000 0,5C/0,5C @ 23°C +/- 5°C 100 % purku DoD 70 %
Hyötysuhde	jopa 98 %
C-kerroin	1 C
Käyttöjännite	627 V - 930 V
Takuu	10 vuoden suorituskykytakuu, 5 vuoden tuotetakuu
Käyttöikä	odotettu käyttöikä yli 30 vuotta
Akkukenno	prismaattinen litium-NMC (Samsung SDI)

4.3.5 Akkuvaraston mitoitus

Tehopiikkien kartoituksessa havaittiin, että vuoden 2021–2022 kuormituskäyrä ennen maalämpöjärjestelmän ja sähkökattilan asennusta ks. (kuvio 13) osoittaa tehopiikkien esiintyvän pääasiassa talvikaudella. Mikäli kiinteistöön asennetaan tulevaisuudessa maalämpöjärjestelmä lisälämmönlähteenä sähkö, on todennäköistä, että tehopiikit ajoittuvat hyvin samoihin talvikauden ajankohtiin, jolloin lämmitystehoa tarvitaan eniten. Esimerkkikohteen suhteellisen suuri 150 kWp:n aurinkosähköjärjestelmä tasoittaa kohteen kulutuskuormitusta keväästä loppusyksyyn, kuten kuvioista 17 havaitaan. Tämän vuoksi tehohuiput ajoittuvat luultavasti pääasiassa talven lämmityskaudelle. Aurinkovoimalan tuotanto on vähäistä tai olematonta talviaikana, minkä vuoksi akustojärjestelmää ei voida ladata aurinkoenergialla. Tällöin akusto on ladattava verkosta esimerkiksi yöaikaan.

Tarkasteltaessa vuoden 2021–2022 tuntisarjan Excel-tiedostoa (alla) havaitaan, että suurin tehopiikki, 99 kW esiintyy sähkön tuntisarjan perusteella marraskuussa. Tämän tehopiikin aikana seitsemän lähituntia ylittää 90 kW:n tehon, joka on tuntisarjan ainut jakso vuoden aikana, jolloin pätöteho on yhtäjaksoisesti seitsemän tunnin ajan yli 90 kW.

TAULUKKO 3. Ote esimerkkikohteen sähkön tuntisarjasta yli 90 kW teho.

Päivämäärä	Päivämäärä	Pätöteho (kW)
1.11.2021 6:00	1.11.2021 7:00	65,89
1.11.2021 7:00	1.11.2021 8:00	82,30
1.11.2021 8:00	1.11.2021 9:00	89,08
1.11.2021 9:00	1.11.2021 10:00	91,96
1.11.2021 10:00	1.11.2021 11:00	95,78
1.11.2021 11:00	1.11.2021 12:00	99,01
1.11.2021 12:00	1.11.2021 13:00	98,12
1.11.2021 13:00	1.11.2021 14:00	95,09
1.11.2021 14:00	1.11.2021 15:00	91,64
1.11.2021 15:00	1.11.2021 16:00	91,50
1.11.2021 16:00	1.11.2021 17:00	79,69
1.11.2021 17:00	1.11.2021 18:00	73,68

Vuonna 2021–2022 kiinteistön suurin tuntihiipputeho oli 99 kW, ja luvussa 3.4 todettiin, että asennettavan maalämpöjärjestelmän huipputeho on 310 kW. Näiden oletusten perusteella uusi huipputeho olisi korkeintaan 409 kW, mikä vastaa 590 A tehokertoimella 1. Esimerkkikohteen pääkeskuksen nimellisvirta on 630 A, ja sähköliittymän pääsulakekoko on 3x3x200 A, eli yhteensä 600 A. Sähkökattilan 225 kW:n tehoa tulee joka tapauksessa ohjata portaittain käyntiin esimerkiksi sähkökattilan kuormitusvahdin avulla, jotta kiinteistön sähkön liittymistehoa ei ylitetä missään tilanteessa.

Esimerkkikohteen vuoden 2021–2022 sähkönkulutus kuukausittain ja vuoden keskiteho on noin 37 kW

TAULUKKO 4. Esimerkkikohteen sähkönkulutus kuukausittain ja keskiteho.

Kuukausi	2021–2022 (kWh)
Marraskuu	36281
Joulukuu	37867
Tammikuu	23877
Helmikuu	22940
Maaliskuu	25124
Huhtikuu	22630
Toukokuu	23815
Kesäkuu	24957
Heinäkuu	26853
Elokuu	26643
Syyskuu	24675
Lokakuu	26129
Yht.	321791
Vuoden keskiteho (kW)	36,73

Oletetaan, että esimerkkikohteeseen asennetaan maalämpöjärjestelmä, jossa on sähkö lisälämmönlähteenä ja tavoitteena on hyödyntää akkuvarastoa suurimpien tehuippujen leikkaamiseksi sähkön tehomaksujen säästämiseksi. Tarkastellaan tilannetta, jossa kohteeseen asennetaan kaksi Tesvoltin TS HV 70 -akkaa sekä kaksi SMA STPS 60 -invertteriä. Tällöin saavutetaan 150 kW:n AC-ulostuloteho ja 152 kWh:n kapasiteetti 16-kennoisella Tesvoltin akustolla. Vantaan Energian tehomaksuhinnoittelu perustuu käyttöpaikan suurimpaan tuntitehoon, joka on mitattu viimeksi kuluneiden 12 kuukauden aikana. (Vantaan Energia Sähköverkot 2022). Tämä eroaa esimerkiksi Carunan hinnoittelusta, jossa tehomaksu määräytyy kuukausittaisen huipputehon mukaan. Tämän seurauksena Carunan tehomaksu vaihtelee kuukausittain, kun taas Vantaan Energian tehomaksu voi pysyä samana usean kuukauden ajan. (Caruna.) Tämä tuo tarkasteluun lisähaasteita, sillä esimerkiksi Vantaan kohteessa, jos vuoden suurin tuntitehuippu saavutetaan jo välittömästi tammikuun pakkasilla, tehomaksua maksetaan tämän mukaan koko sopimuskauden ajan. Sen sijaan Carunan alueella tehokustannukset voivat vaihdella kuukausittain, koska joka kuukaudelle määräytyy uusi tehomaksu. On huomioitava, että tehomaksun hinta vaihtelee myös eri verkkoyhtiöiden välillä. Esimerkiksi Carunan tehomaksu on 3,34 €/kW (alv 0

TAULUKKO 6. Akuston ja inverttereiden hinnoittelussa käytetty hintaa 300 €/ kWh.

	Kuukauden suurin pätöteho (kW)	Tehomaksu €/kk (2€/kk alv 0%) kuukauden suurimman pätötehon mukaan, ilman leikkausta (€)	Leikataan kuukauden suurinta 380 kW pätötehoa akustolla pois 105 (kW)	Tehomaksu €/kk (2€/kk alv 0%) kuukauden suurimman pätötehon mukaan, pätötehon leikkauksen jälkeen (€)	Tehomaksu säästö (€)	Tesvolt TS HV 70 akusto 152 (kWh) ja invertterit 2 kpl hinta (300 €/kWh)	TMA Takaisinmaksuaika (vuotta)
Kuukausi (€)	380	760	275	550	210		
Yhteensä vuodessa (€)		9120		6600	2520		
Hinta (€)						45600	
Vuotta							18,1

Taulukoista voidaan havaita, että näillä akuston ja invertterin hinnoilla tehonleikkaukseen tarkoitettujen akuston takaisinmaksuaika on pitkä. On huomioitava, että taulukoissa esitetyt hinnat sisältävät ainoastaan arvioitujen laitteiden kustannukset eivätkä sisällä asennustöitä ja tähän liittyvien tarvikkeiden hintoja. Tesvoltin akuston hintoja on vaikeaa löytää julkisista lähteistä, joten esitetyt (€/kWh) hinnat ovat ainoastaan suuntaa antavia arvioita. Todellisuudessa akustojen hinnat voivat olla huomattavasti suuremmat kuin esitetyt (€/kWh) arviot. Esimerkiksi (500 €/kWh) hinnalla takaisinmaksuaika ylittää jo 30 vuotta. Akuston valmistaja Tesvolt lupaa 10 vuoden suorituskykytakuun ja 5 vuoden tuotetakuun ja akuston odotettu käyttöikä on yli 30 vuotta. Tämän vuoksi akustoa käytetään 70 %:n purkausasteella (DoD) että varmistetaan akuston maksimaalinen käyttöikä, joka vaikuttaa myös kannattavuuteen. Lisäksi on otettava huomioon, että SMA-invertterin takuu-aika on 5 vuotta ja rekisteröitäessä 10 vuotta (SMA). Inverttereiden uusimiseen tulee varautua akkuvaraston elinkaaren aikana. Järjestelmä vaatii myös käyttöaikanaan huoltoja, jotka lisäävät kustannuksia. On erittäin tärkeää huomioida, että akustojärjestelmän oikea mitoitus on keskeistä sen toiminnan kannalta. Järjestelmän tulee pystyä suorittamaan tarvittavat leikkaukset huipputehoon. Mikäli akusto on virheellisesti mitoitettu ja tuntihuipputeho ylittyy vuoden aikana edes yhden kerran, se voi johtaa merkittäviin tehomaksukustannuksiin, erityisesti Vantaan Energian tehosiirtosopimusmallin mukaisesti. Tällöin on olemassa riski, että koko akustojärjestelmän kannattavuus heikkenee välittömästi.

Akkuvarastojärjestelmä vaatii myös kiinteistöstä akustolle soveltuvat tilat, ja näiden tilojen järjestäminen kiinteistössä voi aiheuttaa lisäkustannuksia. Nämä seikat huomioiden ja yksinkertaistetun tarkastelun perusteella takaisinmaksuaika on liian pitkä. Tämän vuoksi on tärkeää ottaa huomioon kaikki

järjestelmän kokonaiskustannukset arvioitaessa investoinnin kannattavuutta. Tesvoltin lisäksi markkinoilla on useita muita akkuvalmistajia, joiden hintatasoa ei ole tässä työssä käsitelty. Mikäli akkuväestön kannattavuutta halutaan arvioida tarkemmin, olisi muiden valmistajien hintatietojen selvittäminen tarpeellista. Akusto voi vaikuttaa myös hieman sähkön siirtomaksuihin, mikäli akustoa ladataan yöaikaan, jolloin sähkönsiirtohintaa saattaa olla edullisempi verrattuna arkipäivän hintaan. Akkuvarastoilla on myös mahdollisuus osallistua reservimarkkinoille, jolloin taloudellinen kannattavuus voisi mahdollisesti parantua.

5 POHDINTA

Työssä tarkasteltiin uusiutuvien energiajärjestelmien, kuten maalämmön ja aurinkosähkön sähkötekniistä liitettävyyttä kiinteistöihin ja niiden asettamia vaatimuksia kiinteistön sähköjärjestelmille. Kiinteistöihin asennetaan yhä kasvavassa määrin lämpöpumppuja ja aurinkosähköjärjestelmiä, minkä vuoksi on hyvä arvioida, millaiset sähkötekniiset valmiudet kiinteistöissä tulee olla ja mitä muutoksia näiden järjestelmien sähkötekniinen liittäminen voi vaatia. Työssä tarkasteltiin myös, kuinka maalämpöjärjestelmän asennus voi vaikuttaa kiinteistön sähkön pätötehon ja tehomaksujen nousuun sekä selvittää, millä tehohallinnan keinoilla näitä voitaisiin mahdollisesti hallita.

Tämä opinnäytetyö tarjoaa tietopohjan uusiutuvien energiajärjestelmien sähkötekniisestä liitettävyydestä kiinteistöihin ja esittelee tehohallinnan keinoja maalämpöjärjestelmän osalta. Työ antaa vinkkejä myös siihen, onko akkuvarasto tällä hetkellä kannattava investointi huipputehon leikkaamiseen ja mitä muita mahdollisia keinoja löytyy tehohallintaan. Lisäksi työ osoittaa, kuinka sähkön tehomaksun kustannukset voivat kasvaa, jos maalämmön lisälämpö tuotetaan sähkön avulla. Tulokset auttavat kiinteistönomistajia ja muita sidosryhmiä ymmärtämään paremmin uusiutuvien energiajärjestelmien liitettävyyden vaikutuksia kiinteistöjen sähköjärjestelmään ja tehomaksuihin sekä harkitsemaan erilaisia ratkaisuja tehohallintaan.

Tämä opinnäytetyö on syventänyt ymmärrystäni sähkön tehomaksuihin liittyen. Esimerkiksi jos useassa vierekkäisessä kiinteistössä samassa kaupunginosassa tehtäisiin remontti, jossa kaukolämpö korvattaisiin maalämmöllä ja lisälämpö tuotettaisiin sähköllä, alueen sähköverkon vahvistaminen olisi todennäköisesti tarpeen. Sähköverkon suunnittelu on tasapainottelua teknisten vaatimusten ja taloudellisen optimoinnin välillä. Tästä syystä jokaiseen kiinteistöön ei ole varauduttu kaapeloimalla äärimmäisen suurta sähkökapasiteettia – vertauskuvana kuin nelikaistainen moottoritie. Tämä tarkoittaa, että tehomaksut määräytyvät sen perusteella, paljonko tehoa käytetään, mutta tähän on myös mahdollista vaikuttaa omalla kulutuskäyttäytymisellään.

Opinnäytetyön perusteella voidaan päätellä, että sähkölaskun kokonaiskustannukset ja siihen sisältyvä tehomaksu tulevat kasvamaan, jos kiinteistössä siirrytään kaukolämmöstä maalämpöön ja maalämmön lisälämpö tuotetaan sähkön avulla. On kuitenkin olemassa useita tehohallinnan keinoja, joiden avulla voidaan hallita kiinteistön sähkön huipputehoa ja siten vaikuttaa tehomaksuihin alentamalla sähkön pätötehoa. Joka tapauksessa siirtyminen kaukolämmöstä maalämpöön kasvattaa sähkölaskun

perusmaksuja, kuten siirtoon ja energiaan liittyviä kustannuksia. Akkuvaraston käyttö sähkön huipputehon leikkaamiseen ei lyhyen tarkastelun perusteella vaikuttanut tällä hetkellä taloudellisesti kannattavalta. Tämä johtuu ensisijaisesti akkuvaraston korkeasta yksikköhinnasta (e/kWh). Jotta akkuvaraston käyttö olisi taloudellisesti kannattavaa tulisi akkuvaraston yksikköhintojen olla alhaisempia kuin tässä työssä käytettyjen yksikköhintojen.

On tarpeen pohtia myös maalämpöjärjestelmän huoltovarmuutta, jos esimerkiksi lämpöpumpun oleellinen komponentti sattuu hajoamaan kesken kovan pakkasjakson. Kuinka nopeasti järjestelmä saadaan täyteen toimintakuntoon, vaikka järjestelmä olisikin varmennettu? Kaukolämpö on tunnettu huoltovarmuudestaan ja sitä pidetään luotettavana teknologiana, joka on ollut käytössä jo pitkään. Tulevaisuudessa voidaan odottaa suurempaa uusiutuvien polttoaineiden käyttöä kaukolämmön tuotannossa, jolloin fossiilisten käyttö tulee vähentymään kaukolämmön tuotannossa. Maalämpöjärjestelmän suunnittelu ja toteutus tulee teettää ammattilaisilla ja varmistua, että laitteet ja kaivokentät on oikein suunniteltu ja mitoitettu. Uusiutuvien energialähteiden, kuten lämpöpumppujen ja aurinkosähköjärjestelmien käyttö on jatkuvassa ja voimakkaassa kasvussa. Kaikkien uusien energiantuotantokeinojen ja innovaatioiden hyödyntäminen on tarpeellista pyrittäessä vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä ja edistämään kestävästä energiätulevaisuutta.

Sähkö- ja automaatiotekniikan sekä myös energiatekniikan opintojeni aikana, vuodesta 2020 lähtien on tapahtunut merkittäviä historian kirjoihin jääviä tapahtumia ja globaaleja kriisejä. Keväällä 2020 alkanut koronaviruspandemia pakotti siirtymään etäopiskeluun lähes välittömästi opintojen käynnistyttyä. Helmikuussa 2022 Venäjän hyökkäys Ukrainaan aiheutti ennennäkemättömän energiakriisin, joka nosti sähkön ja energiaan liittyvää uutisointia merkittävästi. Keväällä 2023 valmistui viimein Olkiluoto 3 -ydinvoimala, jonka rakentaminen alkoi jo vuonna 2005 ja joka oli alun perin suunniteltu valmistuvaksi vuonna 2009. Lisäksi 22.5.2023 käyttöön otettu varttitase saattaa tuoda merkittäviä muutoksia sähkömarkkinoihin ja miten varttitase tulee vaikuttamaan jatkossa sähkön tehomaksuihin, kun tarkastelujakson pituus lyhenee tunnista varttiin? (Fingrid 2022.) Näiden tutkintooni liittyvien ja osin haastavien tapahtumien keskellä olen kuitenkin onnistunut saattamaan toisen ammattikorkeakoulututkintoni päätökseen. Tästä osoitan suurta kiitollisuutta kärsivälliselle perheelleni ja läheisille.

LÄHTEET

- Aurinkovirta. 2023. Kysymyksiä aurinkosähköstä. Saatavissa: <https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/kysymyksiä/>. Viitattu 17.3.2023.
- Caruna. Sähkönsiirto – Tutustu Carunan eri verkkopalvelutuotteisiin. Saatavissa: <https://caruna.fi/tuotteet-ja-palvelut/kotiin-ja-kiinteistoon/verkkopalvelutuotteet>. Viitattu 17.4.2023.
- Caruna. 2023. Verkkopalveluhinnasto Caruna Oy 1.1.2023. Saatavissa: <https://caruna.fi/sites/default/files/docs/Verkkopalveluhinnasto%201.1.2023%20Caruna%20Oy.pdf>. Viitattu 18.5.2023.
- EK. 2023. Vihreät investoinnit nousemassa yli 85 miljardiin euroon – teollisuushankkeiden edellytyksenä tuuli- ja aurinkovoiman ripeä lisärakentaminen. Saatavissa: <https://ek.fi/ajankohtaista/tiedotteet/vihreat-investoinnit-nousemassa-yli-85-miljardiin-euroon-teollisuushankkeiden-edellytyksena-tuuli-ja-aurinkovoiman-ripea-lisarakentaminen/>. Viitattu 8.6.2023
- Fingrid. Kysyntäjousto. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhteinaisyys/sahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/kysyntajousto/>. Viitattu 20.5.2023.
- Fingrid. 2022. Varttiin siirrytään vaiheittain toukokuusta 2023 alkaen. Saatavissa: <https://www.fingrid-lehti.fi/varttiin-siirrytaan-vaiheittain-toukokuusta-2023-alkaen/>. Viitattu 15.3.2023.
- Finn Geotherm. 2023. The History on Heat Pump Technology. Saatavissa: <https://finn-geotherm.co.uk/the-history-of-heat-pumps/>. Viitattu 10.3.2023.
- Harsia, P., Järventausta, P., Hilden, A., Kallioharju, A., Kortetmäki, A., Koskela, J., Mutanen, A., Rautiainen, A., Supponen, A., Uusitalo, S., Heijo, J. 2019. SÄTE-opas Sähkötehojen hallinta osana rakennuksen energiatehokkuutta. Tampere: Tampereen yliopisto. Saatavissa: <https://energia.fi/files/4383/Sahkoteho-opas.pdf>. Viitattu 19.5.2023.
- Helen. 2022. Mistä sähkön hinta muodostuu? – 3 asiaa. Saatavissa: <https://www.helen.fi/ajankoh-taista/arjessa/sahko/mista-sahkon-hinta-muodostuu>. Viitattu 6.3.2023.
- Helen. Helen sähköverkko, tehomaksu. Saatavissa: <https://www.helensahkoverkko.fi/palvelut/tuotteet/aikasiirto2>. Viitattu 8.3.2023.
- Heljo, J., Harsia, P., Holttinen, H., Aalto, P., Björkqvist, T., Järventausta, P., Kaivo-oja, J., Kojo, M., Korpela, T., Rautiainen, A., Repo, S., Ruostetsaari, I., Sorri, J. 2016. Tammikuun tehopiikki – mitä tapahtui 7.1.2016? Miten tehoa hallitaan paremmin jatkossa? EL-TRAN analyysi 2016. Saatavissa: https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/100688/tammikuun_tehopiikki.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Härkönen, M. 2020. Lämpöpumput: Lämpöpumput lämpöeroin, 5.3, Luentomateriaali, Uusiutuvat energiat sähkön ja lämmön tuotannossa kurssi. Centria-ammattikorkeakoulu, Ylivieska.
- IEA. 2022. Is the European Union on track to meet its REPowerEU goals. Saatavissa: <https://www.iea.org/reports/is-the-european-union-on-track-to-meet-its-repowereu-goals>. Viitattu 19.5.2023.

Jäspi. a. FIL-sähkökattilat 31,5–1800 kW. Saatavissa: https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2017/03/Jaspi_FIL_web.pdf. Viitattu 21.5.2023.

Jäspi. b. Sähkökattilat kiinteistöihin ja koteihin. Saatavissa: https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2016/12/JASPI_FIL_FI_web.pdf. Viitattu 25.5.2023.

Kempainen, A. 2022. Taloyhtiön energiatehokkaat lämmitysratkaisut. Helsinki: Kiinteistömedia Oy.

Luoma, J. 2015. Liike-, toimisto- ja koulurakennuksien sähkökuormat kysynnän jouston reserveinä. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Manner, M. 2017. Lämpöpumppujärjestelmien sähköasennukset. Metropolia ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikka. Opinnäytetyö.

Motiva. 2022. Rakentaminen ja rakennukset. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kes-tavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ja_rakennukset. Viitattu 26.1.2023.

Motiva. Ylijäämänsähkön myynti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti. Viitattu 15.5.2023.

Mäenpää, S. 2022. Kylmäkoneet ja lämpöpumput maalämpöpumppu. Luentomateriaali, Kylmähöyryprosessit ja lämpöpumput-kurssi. Centria-ammattikorkeakoulu, Ylivieska.

Mäenpää, S. 2022. Kylmäkoneet ja lämpöpumput hermeettinen kompressori. Luentomateriaali, Kylmähöyryprosessit ja lämpöpumput-kurssi. Centria-ammattikorkeakoulu, Ylivieska

Nystedt, E. 2021. Kylmähöyryprosessi luento 4. Luentomateriaali, Teknillinen termodynamiikka kurssi. Centria-ammattikorkeakoulu, Ylivieska.

Pänkäläinen, M. 2022. Kiinteistöjen akkuvarastot – turvallisuusnäkökohdat suunnittelussa, asentamisessa ja käytössä. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto. Sähkötekniikka ELEC. Diplomityö.

SMA. Sunny Tripower Storage 60. Saatavissa: <https://www.sma.de/en/products/battery-inverters/sunny-tripower-storage-60>. Viitattu 30.4.2023.

ST-esimerkit 12. Keinoja sähkötehoaiippujen hallintaan asuinkiinteistöissä. Espoo: Sähkötieto ry 2021.

ST-käsikirja 30. Sähkötekniisiä taulukoita. Espoo: Sähkötieto ry 2019.

Sulpu. Lämpöpumppu on kannattava investointi. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/lampopumput/>. Viitattu 25.2.2023.

Sulpu. 2023. Lämpöpumppuja myytiin viime vuonna lähes 200 000 kappaletta. Kasvu 50 %. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/lampopumppuja-myyntiin-viime-vuonna-lahes-200-000-kappaletta-kasvu-50/>. Viitattu 24.2.2023.

Sähköinfo. 2020. Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.

Tesvolt. Lithium Storage System TS HV 70. Saatavissa: <https://nencom.com/f/products/batteries/tesvolt/tesvolt-hv-70-data-sheet.pdf>. Viitattu 29.4.2023.

Thermia. Thermia Mega. Saatavissa: https://www.thermia.fi/media/70240/thermia-mega_tuotelehti_20220303_fin.pdf. Viitattu 21.5.2023.

Vantaan Energia Sähköverkot. 2022. Sähkönsiirtohinnoista ja -tuotteet. Saatavissa: <https://www.vantaanenergiatasahkoverkot.fi/hinnat-ja-tuotteet/hinnat-ja-ehdot/>. Viitattu 8.3.2023.

Vattenfall. 2023. Akkutekniikka ja huipputehon tasaaminen ja muut käyttöalueet. Saatavissa: <https://energyplaza.vattenfall.fi/blogi/akkutekniikka-huipputehon-tasaaminen-ja-muut-kayttoalueet#download-page>. Viitattu 15.4.2023.

Viessmann. Lämpöpumppu ja jäähdytys kustannustehokas viilennys. Saatavissa: <https://www.viessmann.fi/fi/asuinrakennukset/lampopumput/luonnollinen-ja-aktiivinen-jaahdytys.html>. Viitattu 2.3.2023.

Viljakainen, S. 2017. Sähkökäyttäjien luokittelu ja sähkönkäytön ennustaminen sähkönkulutustietojen avulla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. LUT Sähkötekniikka. Diplomityö.

TM Rakennusmaailma. 2023. Lämpöpumppujen myynti takoo uusia huippulukemia. Saatavissa: <https://rakennusmaailma.fi/lampopumppujen-myynti-takoo-uusia-huippulukemia/>. Viitattu 20.2.2023.

Tuunanen, J. 2009. Lämpöpumppujen vaikutukset sähköverkkoliiketoiminnan kannalta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.