

Energiatehokkaat ratkaisut pientalossa



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Syksy 2023

Tytti Karlin

Tekijä Tytti Karlin

Vuosi 2023

Työn nimi Energiatehokkaat ratkaisut pientalossa

Ohjaaja Timo Viitala

TIIVISTELMÄ

Työn tavoitteena oli löytää toimivia ratkaisuja pienkiinteistön sähkönkäytön optimointiin ja energiansäästöön. Työssä seurattiin noin vuoden ajan kolmea kohdetta, joissa toteutettiin erityyppiset ratkaisut energianhallintaan. Muutosten vaikutuksia verrattiin edellisen vuoden kulutukseen sekä pyrittiin selvittämään, mitkä eri toimenpiteet ovat vaikuttaneet energiansäästöön.

Opinnäytetyössä käydään läpi erilaisia vaihtoehtoja tuottaa sähköenergiaa pienkiinteistöissä sekä keinoja sähköenergian varastointiin ja kulutuksen optimointiin. Projektissa mukana olleet kohdekiinteistöt ovat sähkölämmitteisiä omakotitaloja ja rahallinen investointi muutoksiin vaihteli kohteiden välillä merkittävästi.

Opinnäytetyön aihetta pohdittiin yhteistyössä Turun Kiinteistösähkö Oy:n kanssa ja pienkiinteistöjen energiatehokkuus oli ajankohtainen aihe nousseen sähkön hinnan myötä. Myös asiakkailta tulleiden tiedustelujen perusteella huomattiin kasvanut kiinnostus energiansäästöä kohtaan. Tähän kysyntään haluttiin lähteä etsimään ratkaisuja keräämällä dataa tehtyjen toimenpiteiden vaikutuksista kolmesta yrityksen työkohteesta, ja kehittämällä lisäratkaisuja kohdekiinteistöihin. Jokaisessa kohdekiinteistössä saavutettiin merkittäviä säästöjä energiankulutuksessa tarkasteluajalla.

Avainsanat Energiansäästö, sähkönkäytön optimointi, kulutusjousto, energiakulutuksen seuranta

Sivut 40 sivua

Author Tytti Karlin

Year 2023

Subject Energy-efficient Solutions in a Detached House

Supervisor Timo Viitala

ABSTRACT

The aim of this thesis was to find functional solutions for optimizing energy consumption and energy saving in small properties. Three properties were monitored for approximately a year, where different types of solutions for energy management were implemented after the monitoring period. The effects of the changes were compared to the energy consumption of the previous year, and attempts were made to determine which different measures had affected energy savings.

This thesis examines different options for producing electricity in small properties as well as ways to store and optimize electricity consumption. The target properties involved in the project are electrically heated detached houses, and the financial investment in the changes varied significantly between the properties.

The topic of the thesis was considered in cooperation with Turun Kiinteistö-sähkö Oy, as the increased price of electricity was a topical issue in 2022. Based on inquiries from customers, it was also noted that there was growing interest in energy savings. To meet this demand, solutions were sought by collecting data on the effects of measures taken at three of the company's work sites and by developing additional solutions for target properties. Significant savings in energy consumption were achieved in each target property during the review period.

Keywords Energy saving, optimization of electricity use, demand response, monitoring of energy consumption

Pages 40 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähköenergian tuotanto ja varastointi	1
2.1	Aurinkosähkö	1
2.1.1	Mitoitusperiaate.....	3
2.1.2	Aurinkopaneelien asennus, kytkentä ja suuntaus	7
2.1.3	Invertteri ja akusto	7
2.1.4	Kulutusohjaus.....	8
2.2	Tuulienergia	8
2.2.1	Tuulivoimalan tuotto.....	9
2.2.2	Tuuliturbiinin asennus, kytkentä ja suuntaus	9
2.3	Sähköenergian varastointi	10
3	Sähköauton lataus ja kaksisuuntainen lataus	11
4	Pientalon lämmitysjärjestelmät	12
4.1	Maalämpö	12
4.2	Ilmalämpöpumppu.....	13
4.3	Ilma-vesilämpöpumppu	15
4.4	Poistoilmalämpöpumppu.....	15
5	Energia-avustus	16
5.1	Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA).....	16
5.2	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY).....	16
6	Sähkönkulutuksen hallinta ja optimointi.....	16
6.1	Kysyntäjousto.....	16
6.2	Sähkön hinnan kehitys	17
6.3	Älykäs ohjaus.....	19
7	Pienkiinteistön energiaprojekti	20
7.1	Projektin aloitus	20
7.2	Kohdekiinteistö 1	22
7.2.1	Aurinkosähköjärjestelmä	23
7.2.2	Lämmitysten ohjaus	24
7.2.3	Energiankulutuksen seuranta	26
7.2.4	Johtopäätökset.....	28
7.3	Kohdekiinteistö 2	30
7.3.1	Aurinkosähköjärjestelmä	31

7.3.2	Lämmitysten ohjaus	31
7.3.3	Energiakulutuksen seuranta.....	33
7.3.4	Johtopäätökset.....	33
7.4	Kohdekiinteistö 3	34
7.4.1	Lämmitysten ohjaus	34
7.4.2	Energiakulutuksen seuranta.....	35
7.4.3	Johtopäätökset.....	37
7.5	Yhteenveto projektista.....	37
8	Pohdinta	38
	Lähteet.....	40

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1.	On- Grid aurinkosähköjärjestelmä (Motiva, 2022-c).....	2
Kuva 2.	Aurinkokeräimen toimintaperiaate (Aurinkokeräimet Oy, 2023).....	3
Kuva 3.	Turbulenssin vaikutus tuuleen (Kodin vihreä energia Oy, n.d.).	10
Kuva 4.	Mitsubishi Electric LN25- mallin energiamerkki.	14
Kuva 5.	Nord Pool Spot -sähköpörssin hintojen kehitys (Tilastokeskus, 2022-b).	18
Kuva 6.	Laitteiden sähkönkulutustietoja	21
Kuva 7.	PVGIS- tuottolaskelma.	23
Kuva 8.	Caruna sähkökuorman ohjaus.	25
Kuva 9.	Kulutustiedot tammikuulta 2022 ja 2023.	26
Kuva 10.	Pesuhuoneen lattialämmityksen kulutus ilman aikaohjausta.....	27
Kuva 11.	Alennettu lämpötila käytössä.....	28
Kuva 12.	Aurinkosähköjärjestelmä 5.5 kWp tuottolaskelma.	31
Kuva 13.	Themo termostaatin toiminta pörssisähkön hinnan mukaan (Themo, 2022).	32
Kuva 14.	Päiväkohtainen kulutus ennen termostaattien vaihtoa.	36
Kuva 15.	Päiväkohtainen kulutus termostaattien vaihdon jälkeen.....	36
Kuva 16.	Kulutustiedot talvikaudella 2022 ja 2023.	37

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutustutaan pienkiinteistön lämmitysmuotoihin sekä käydään läpi vaihtoehtoja tuottaa ja varastoida sähköenergiaa. Teoriaosuudesta haluttiin tehdä helposti lähestyttävä paketti niin sähköalan ammattilaisille kuin maallikoillekin, jotka kaipaavat tietoa aiheesta.

Sähkön hinnan nousu ja vaihtelut ovat lisänneet kiinnostusta energiansäästöön sekä käytön optimointiin. Tulevaisuuden sähkön hintaa on vaikea ennustaa ja samalla säästä riippuvainen sähköntuotanto vaihtelee säätilanteiden mukaan. Omaan kulutukseen on kuitenkin mahdollista vaikuttaa.

Opinnäytetyössä on seurattu yhden vuoden ajanjaksolta kolmen kiinteistön sähkönkulutusta, jossa jokaisessa on tehty erityyppisiä ratkaisuja energiatehokkuuden parantamiseksi ja sähkön käytön optimoimiseksi. Kohdekiinteistöt valittiin yrityksen omista työkohteista tehtyjen toimenpiteiden ja tietojen saatavuuden perusteella. Kiinteistöt olivat sähkölämmitteisiä omakotitaloja, joissa kaikissa vuosikulutus ylitti 20 000 kWh vuodessa ennen projektin aloitusta. Työn tavoitteena oli tutkia tehtyjen muutosten vaikutuksia sähkönkulutukseen sekä löytää toimivia ratkaisuja tuleviin kohteisiin. Työn tilaajana Turun Kiinteistösähkö Oy tulee hyödyntämään kerättyä aineistoa tulevilla työkohteissaan sekä suunnittelutyössä.

2 Sähköenergian tuotanto ja varastointi

2.1 Aurinkosähkö

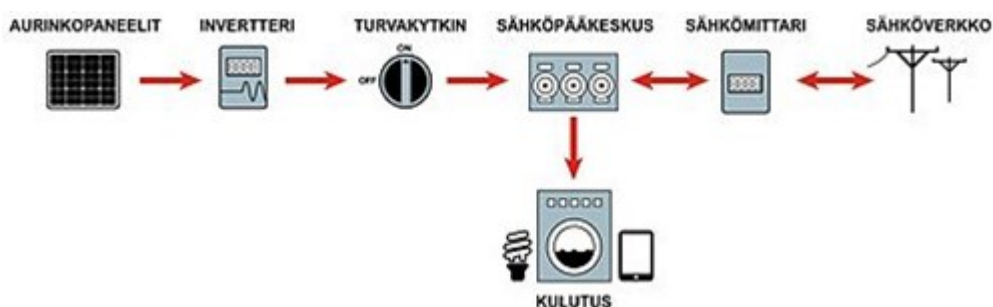
Aurinkosähkö on päästötön ja uusiutuva energian lähde, jossa auringosta saatavaa energiaa voidaan hyödyntää sekä lämmöntuotantoon aurinkokeräimillä, että sähköntuotantoon aurinkopaneeleilla. Aurinkosähkön pientuotannossa on nähty voimakas kasvu viime vuosina. Sähkön hinnan raju nousu vuoden 2022 aikana aiheutti suuren kysynnän aurinkosähköjärjestelmien asennuksiin.

Aurinkopaneelien asennus on yleisesti ollut kannattavinta kohteissa, joissa auringon tuottama energia pystytään hyödyntämään silloin kuin kulutus on suurinta. Ylijäämäsähköstä tehdään sähköverkkoon liitettävissä (On-Grid) järjestelmissä ostosopimus sähkön vähittäismyyjän kanssa ja yleensä hinnoittelussa käytetään sähköpörssissä tunneittain muuttuvaa spot-hintaa vähennettynä mahdollinen sähköyhtiön marginaali. Sähkön hinnan nopea nousu loi tilanteen, jossa saattoi olla voimassa edullinen 0,05 € sähkösosopimus ja sähkön myynnistä verkkoon saatu hyvitys vaikka 0,35 €. Hintojen tasaantuessa sähkön myynnin kannattavuus verkkoon päin vähenee, kun samalla ostetusta energiasta maksetaan sähkönsiirtomaksut sekä verot. (Motiva, 2023-b)

Älykkäällä ohjauksella voidaan ohjata kiinteistössä kuormia päälle esimerkiksi lämminvesivaraaja tai sähköauton lataus, kun aurinkosähköjärjestelmä tuottaa yli sen hetkisen kulutuksen. Vastaavasti voidaan myös myydä koko tuotto verkkoon päin, jos myynnistä saatava tuotto ylittää ostohinnan. Tällöin tulee muistaa huomioida sähkönsiirto sekä verot hintatasoa määriteltäessä. Optimoimalla tuotto hinnan mukaan, osallistuu kiinteistö myös automaattisesti kysynnän joustoon markkinoilla. Monet laitteet sisältävät älykkäitä sähköohjauksen toimintoja ”Smart grid -toimintoja” ja markkinoilta löytyy laitteita, jotka osaavat ottaa huomioon mm. pörssisähkön hinnan ohjauksia tehtäessä. Näistä muutamia käydään läpi työn lopussa.

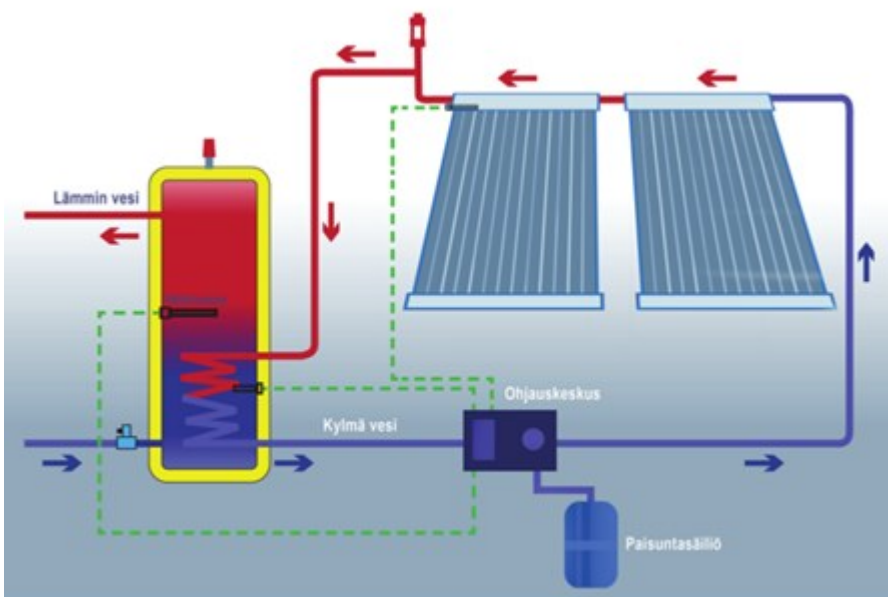
Aurinkosähköjärjestelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään: Off-Grid ja On-Grid -järjestelmään. Off-Grid -järjestelmä toimii itsenäisesti ilman sähköliittymää ja järjestelmiin liittyy tyypillisesti akusto, joka mahdollistaa energian varastoinnin. On-Grid -järjestelmä toimii rinnan sähköverkon kanssa ja liitetään 230/400 V sähköverkkoon. (Sähkötieto ry, 2021, ss. 49) Kuvassa 1 nähdään verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano.

Kuva 1. On- Grid aurinkosähköjärjestelmä (Motiva, 2022-c).



Aurinkokeräimien avulla voidaan auringosta saatava energia käyttää suoraan lämmitykseen. Pientaloissa aurinkokeräin on osa muuta lämmitysjärjestelmää. Lämpö varastoidaan esimerkiksi lämminvesivaraajaan, josta se hyödynnetään tarpeen mukaan tilojen tai käyttöveden lämmitykseen. Lämpöenergian varastoinnilla voidaan tasata energiankulutusta sekä vähentää kulutushuippuja. (Motiva, n.d.) Kuvassa 2 esitellään aurinkokeräimen toimintaperiaatetta.

Kuva 2. Aurinkokeräimen toimintaperiaate (Aurinkokeräimet Oy, 2023).



2.1.1 Mitoitusperiaate

On-grid-järjestelmän mitoitusta suunniteltaessa olennaisinta on energiatuotannon kannalta kannattavin ratkaisu eli tuotettu sähkö käytetään pääosin itse. Mitoitukseen vaikuttaa myös asennuspaikan sijainti ja olosuhteet kuten mahdolliset paneeleihin kohdistuvat varjostukset. (Sähkötieto ry, 2021, ss. 67, 93)

Kohteen kulutustietojen tunteminen on pohja järjestelmän mitoitukseen. Tarkastelussa kannattaa kiinnittää huomiota, miten kohteen sähkönkäyttö jakautuu ja voidaanko kuormia ohjata niin, että aurinkopaneeleista saatava hyöty saadaan maksimoitua. Kulutustiedot ovat saatavissa oman

sähköyhtiön tai verkkoyhtiön kautta tuntikohtaisen tiedon tarkkuudella. Järjestelmää mitoitettaessa kannattaa huomioida myös tulevaisuudessa tapahtuvat laajennukset ja hankinnat, jotka saattavat lisätä kohteen sähkönkulutusta.

Aurinkojärjestelmän mitoituksessa voidaan käyttää apuna valmiita laskureita, jotka löytyvät netistä kuten aurinkosähkölaskuri PVGIS ja Finsolar- kannattavuuslaskuri. PVGIS- laskuriin syötetään kohteen osoite, paneeliston teho, paneelien asennuspaikka (esim. kattoasennus), ilmansuunta ja kallistuskulma. Laskelma perustuu vuosien aika tehtyihin satelliittimittauksiin auringon säteilyn voimakkuudesta ja lämpötilatiedoista. Laskureilla voidaan määrittää aurinkosähkölaskurista saatava tuotto kuukausikohtaisesti, sekä laskea järjestelmän takaisinmaksuaikaa huomioiden mahdolliset korot takaisinmaksulle. (Sähkötieto ry, 2021, ss. 85–89)

Off- grid -järjestelmää mietitään usein mökkikohteisiin, jossa verkkoyhtiön liittymä on kallis investointi. Mitoitusta mietittäessä tulee arvioida, millaisia kuormia kohteessa on, ja onko tarpeen varautua tulevaisuudessa suurempiin tehoihin? Minä kuukausina kohdetta käytetään ja kuinka paljon siellä oleskellaan yhtäjaksoisesti? Asennuspaikka ja olosuhteet voivat vaikuttaa myös paneelien ryhmittelyyn. Esimerkiksi voi olla järkevää jakaa paneelisto useampaan ryhmään, jos varjostuksia ei pystytä välttämään. (Sähkötieto ry, 2021, ss. 106–108)

Mitoitus voidaan suorittaa arvioimalla kohteessa olevat kuormat ja laskemalla yhteen niiden tarvitsemat päiväenergiat. Mitoituksessa tulee huomioida myös, mitä kuormia käytetään 12/24/48 VDC pienoispännitteellä ja mitä käytetään 230 V vaihtopännitteellä. Vaihtopännitekuormiin on hyvä laskea 10 % lisä vaihtosuuntaajan häviöitä varten. Paneelien tehoa mitoitettaessa tulee huomioida heikoin mahdollinen tuottokuukausi, jolloin kohteessa oleskellaan sekä muut heikentävät olosuhteet. (Sähkötieto ry, 2021, ss. 108, 110–111)

Vaihtosuuntaajan mitoitusta mietittäessä korostuu tarvittavan käyttötehon saaminen, kun useampia laitteita käytetään saman aikaisesti. Esimerkiksi 1600 VA vaihtosuuntaaja riittää oletetun jääkaapin 200 W ja imurin 1200 W samanaikaiseen käyttöön, mutta kahvinkeitto 1100 W tulisi suorittaa imuroinnin kanssa eri aikaan, muuten järjestelmä hyytyisi. Toisaalta vaihtosuuntaajan kasvattaminen suuremmaksi ei välttämättä ole kannattavaa kustannusten noustessa, jos osa

toiminnoista voidaan suorittaa eri aikaan. Suuritehoisissa laitteissa, kuten pumpuissa voidaan käyttää myös taajuusmuuttajaa, jotta vältetään vaihtosuuntaajan turhalta kasvattamiselta. (Sähkötieto ry, 2021, ss. 110)

Akuston koko voidaan mitoittaa, kun vuorokautinen kokonaiskulutus on arvioitu. Mitoitukseen vaikuttaa oleellisesti myös, miten pitkiä aikoja kohteessa oleskellaan yhtäjaksoisesti. Arvioitu energiantarve Wh/vrk määrittää sen, kuinka paljon pitää päivittäin olla energiaa käytettävissä, vaikka olisi pilvisiä päiviä välissä. Mitoituksessa otetaan huomioon akustolle haitallinen syväpurkaus, jolloin käytettäväksi kapasiteetiksi muodostuu 50 % akuston kapasiteetista vuorokaudessa. Pitkän käyttöjakson kohteissa tai suurten kuormien kanssa voidaan järjestelmään lisätä rinnalle aggregaatti, jolloin saadaan tarvittaessa lisäenergiaa ja -tehoa. (Sähkötieto ry, 2021, ss. 114–115)

Tasasähkökuorman energiankulutusta voidaan laskea kaavalla:

Kaava 1. Tasasähkökuorman energiankulutus päivässä (Sähkötieto ry, 2021, ss. 108).

$$E_{\text{tasa}} = P_{\text{tasa}} \times t = 5 \text{ W} \times 3 \text{ h/vrk} = 15 \text{ Wh/vrk}$$

P_{tasa} = laitteen teho esim. led-valo 5 W, tasasähkö

t = käyttötuntimäärä h/vrk = esim. 3 h/vrk

E_{tasa} = laitteen energiankulutus Wh/vrk

Vaihtosähkökuorman energiankulutus voidaan laskea kaavalla:

Kaava 2. Vaihtosähkökuorman energiankulutus päivässä (Sähkötieto ry, 2021, ss. 109).

$$E_{\text{vaihto}} = t \times P_{\text{vaihto}} \times k = 1100 \text{ W} \times 0,05 \text{ h/vrk} \times 1,1 = 60,5 \text{ Wh/vrk}$$

P_{vaihto} = laitteen teho = esim. kahvinkeitin 1100 W

t = käyttötuntimäärä h/vrk = esim. 0,05 h/vrk

E_{vaihto} = laitteen energiankulutus Wh/vrk

$k = 1,1$ vaihtosähkökuormituksen kerroin

Off- grid- järjestelmän tehoa voidaan laskea kaavalla:

Kaava 3. Off- grid -järjestelmän paneeliston mitoituskaava (Sähkötieto ry, 2021, ss. 113).

$$P_{pv} = E_{pvä} / TK \times IK \times KK = 800 \text{ Wh/vrk} / 1,98 \text{ h/vrk} \times 100 \% \times 98 \% = n.400 \text{ Wp}$$

T_{kmin} = pienin paneelin tuottokerroin silloin, kun mökillä oleskellaan
esim. 1,98 h/vrk

KK = 30 astetta, 98 % (kallistuskulmakerroin KK)

IK = etelä - 10 astetta, 100 %

$E_{pvä}$ = tarvittava päiväenergia Wh/vrk = esim. 800 Wh/vrk

P_{pv} = tarvittava paneeliteho Wp

Laskelmassa käytetty tuottokerroin on otettu suoraan käsikirjasta: Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Taulukossa olevat kertoimet on muodostettu PVGIS- laskurin avulla ja ovat ohjeellisia, kun käyttöpaikalla oletetaan olevan optimaaliset olosuhteet.

Akuston kokoa voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

Kaava 4. Akuston mitoituskaava (Sähkötieto ry, 2021, ss. 115).

$$Q = S \times A \times E_{pvä} / U = 2 \times 4 \times 800 \text{ Wh/vrk} / 12 \text{ V} = n. 540 \text{ Ah}$$

S = syväpurkauksen estokerroin, 2

A = asumiskerroin: viikonloppu = 2 vrk, jatkuva käyttö = 4 vrk

$E_{pvä}$ = tarvittava päiväenergia Wh/vrk

U = akuston jännite, 12 V (tai 24 / 48 VDC)

Q = akuston kapasiteetti Ah

Tarkasteltaessa yllä olevia laskelmia, saataisiin annetuilla arvoilla kohteeseen noin 400 Wp paneelit, kun kohteessa oleskellaan huhtikuusta syyskuuhun. Akustoksi voitaisiin valita esim. 12 V / n. 540 Ah -akusto. Laitteisto valikoitaisiin niin, että siihen olisi mahdollisuus lisätä myöhemmin aggregaatti.

2.1.2 Aurinkopaneelien asennus, kytkentä ja suuntaus

Aurinkojärjestelmien asennuksissa tulee noudattaa sähköturvallisuuslakia (1135/2016), joka vaatii asennukset tehtäviksi turvallisesti. Sähköturvallisuusviranomainen (TUKES) määrittelee standardit ja ohjeistukset asennuksille. Tuotantolaitos voidaan liittää verkkoon, kun tekniset vaatimukset täyttyvät ja tuotetun sähkön ostosopimus on voimassa. (Sähkötieto ry, 2021, ss. 31–32)

Asennuspaikan määityksessä pyritään saamaan järjestelmästä irti suurin mahdollinen tuotto. Tähän vaikuttaa mm. ilmansuunta, ryhmittely, varjostukset ja paneelien kallistuskulma. Kohteen kulutuksen painottuminen vuorokauden tietylle ajankohdalle on myös hyvä huomioida suuntausta mietittäessä. Etelään suunnatulla järjestelmällä saavutetaan usein paras vuosituotto, mutta kulutuksen painottuessa enemmän iltapäivään voidaan saada parempi hyötysuhde lounas-länsi suuntauksella tai ryhmittelyllä kahteen eri suuntaan. Kohteen kulutuksen tarkastelu on hyvä huomioida, kun asennuspaikan suuntaukseen pystytään vaikuttamaan. Ryhmittelyllä esimerkiksi kahteen paneeliketjuun ja kytkettynä invertterissä omaan lataussäätimeen (MPPT-säädin), voidaan hyödyntää aamu- ja ilta-aurinko tai varjostusten vaikuttaessa osan aikaa vuorokaudessa toiseen ryhmään, toimivat paneeliketjut itsenäisesti, eivätkä tiputa toisen ryhmän tuottoa. Kuormien älykkäällä ohjauksella voidaan osa kulutuksesta ohjata ajankohtaan, jolloin aurinkosähköjärjestelmästä saadaan tuottoa.

2.1.3 Invertteri ja akusto

Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa, joka muutetaan invertterin eli vaihtosuuntaajan avulla vaihtovirraksi. Verkkoon liitetyissä on-grid -järjestelmissä laitteen on täytettävä verkkoyhtiön julkaisemat vaatimukset sovellettavista standardeista. Verkkoinvertteri kytkee aurinkopaneelit kiinteistön sähköverkkoon, jonka jälkeen aurinkosähköjärjestelmä toimii verkon rinnalla ja taajuus tahdistuu sähköverkosta. Sähkökatkos tilanteissa katkaisee invertteri automaattisesti yhteyden sähköverkkoon. (Sähkötieto ry, 2021, ss. 57–61)

Hybridi-invertteri yhdistettynä akkuvarastoon mahdollistaa aurinkosähkön lataamisen akustoon, jolloin saadaan maksimoitua tuotetun sähkön käyttö ja turvattua energian saatavuus myös

sähkökatkojen aikana. Oikein mitoitettulla akustolla ja paneelistolla voidaan kiinteistössä päästä omavaraisuuteen huhti-syyskuun ajanjaksolla, jolloin aurinkosähköjärjestelmästä saadaan jo riittävästi tuottoa. Talvikuukausina, jolloin kulutus on suurinta ja tuotto pienimmillään ei pelkästään aurinkopaneeleilla saada riittävästi aurinkosähköä vaan tarvitaan myös ostosähköä tai muuta energianlähdettä rinnalle.

Mikroinvertterin toiminta vastaa verkkoinvertterin toimintaa, erona on sen asennuskohde. Mikroinvertterit asennetaan suoraan aurinkopaalien alle ja jokainen paneeli toimii itsenäisesti, jolloin yhden paneelin tai invertterin vika toiminta ei vaikuta muihin. Mikroinvertterin etuja ovat: järjestelmää on helppo laajentaa, jokaisen paneelin itsenäinen toiminta ja jännitteet pysyvät matalina, jolloin tulipaloriski pienenee. Haittoina voidaan pitää suurempaa määrää komponentteja, jotka voivat vikaantua.

2.1.4 Kulutusohjaus

Aurinkosähköjärjestelmä kannattaa suunnitella osaksi kodin automaatiojärjestelmää. Kulutusohjauksella voidaan esimerkiksi ohjata aurinkovoimalan ylituotto lämminvesivaraajaan tai sähköauton lataukseen.

Aurinkosähkö on usein järkevintä käyttää omassa kiinteistössä, kun huomioidaan sähkön siirto ja verot. Tilanteissa, joissa markkinahinta ylittää oman ostohinnan, saattaa olla kannattavaa myydä tuotettu sähkö. Tällöin järjestelmän pitää pystyä seuraamaan pörssisähkön hintaa ja huomioimaan ohjauksessa ostettu sähköenergia, siirto ja verot. Optimoimalla kulutus ja tuotto saadaan järjestelmästä suurin hyöty. (Motiva, 2023 -b)

2.2 Tuulienergia

Tuulivoimaloiden määrä Suomessa on kasvanut lähivuosina merkittävästi. Tuulivoiman nopealla kasvulla on myös merkittävä rooli tavoiteltaessa sähkön omavaraisuutta Suomessa. Kuitenkin pientuulivoimalat ovat toistaiseksi vielä harvinaisempia kiinteistöissä suhteessa aurinkosähköjärjestelmiin. Molemmissa tuotto riippuu suotuisista sääolosuhteista. Aurinkosähköä

saadaan parhaiten kesäkuukausina, kun taas tuulivoimasta saadaan parhaimmat tuotot talvikuukausina. Voidaan siis ajatella järjestelmien kompensoivan hyvin toisiaan.

Pientuulivoimala ei ole täysin huoltovapaa, vaan vaatii parin vuoden välein tarkastuksen. Taajama-alueella pientuulivoimala tarvitsee myös tavallisesti toimenpide- tai rakennusluvan. Esteetön pääsy tuuleen on tuoton kannalta tärkein asia. Aurinkosähköjärjestelmään verrattaessa pientuulivoimalassa suotuisat olosuhteet kannattavaan tuottoon ovat harvemmassa. (Suomen Tuulivoimayhdistys, n.d.)

2.2.1 Tuulivoimalan tuotto

Kiinteistön ja kesämökin yhteyteen asennettavat pientuulivoimalat ovat yleensä muutaman sadan watin tai kilowatin (kW) tehoisia voimaloita. Tuulivoimalan tuottoon vaikuttaa olennaisesti esteetön pääsy tuulelle ja potkurin koko. Kohtuullisissa olosuhteissa 4 m potkurin voidaan odottaa tuottavan muutamia tuhansia kilowattitunteja vuodessa. Potkurin tuulipinta-ala on suoraan verrannollinen tuulivoimalan tuottamaan tehoon ja energiaan. Tuoton kannalta olennaista on, että voimala pääsee kiinni mahdollisimman voimakkaisiin tuuliin. (Suomen Tuulivoimayhdistys, n.d.)

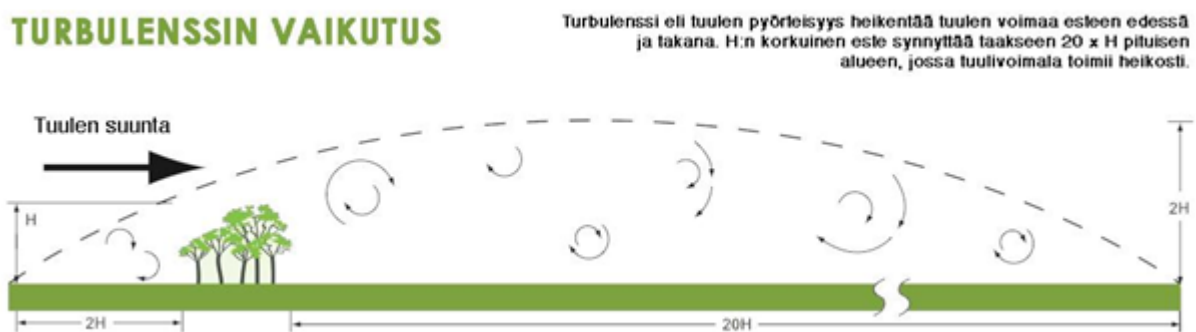
Tuulivoimalan tuottama energia voidaan muuttaa pienkiinteistössä tavalliseksi verkkosähköksi tai kytkeä osaksi kiinteistön sähkölämmitysjärjestelmää. Kesämökkikohteissa yleisin vaihtoehto on akkukäyttö, kun sähköverkkoa ei ole saatavilla.

2.2.2 Tuuliturbiinin asennus, kytkentä ja suuntaus

Tuulivoimalaa suunniteltaessa tulee huomioida asennuspaikan maasto ja mahdolliset esteet, jotka voivat aiheuttaa turbulenssia eli pyörteisyyttä tuuleen. Parhaita paikkoja ovat avoimet ja esteettömät alueet, joilla tuuli saa parhaimman kiihtyvyyden. Kohteen tuuliolosuhteita voidaan testata tuulimittarilla tai tekemällä arvio Ilmatieteenlaitoksen Tuuliatlas sivustolla. (Kodin vihreä energia Oy, n.d.)

Kuvassa 3 voidaan havaita, miten turbulenssi heikentää tuulen voimaa esteen edessä ja takana. Tuulivoimala liitetään invertterillä kiinteistön sähköverkkoon, joka vaatii paikallisen sähköyhtiön luvan. (Kodin vihreä energia Oy, n.d.)

Kuva 3. Turbulenssin vaikutus tuuleen (Kodin vihreä energia Oy, n.d.).



2.3 Sähköenergian varastointi

Sähköenergian varastointiin kehitetään koko ajan uusia, tehokkaampia ja edullisempia ratkaisuja. Akkuteknologia kehittyy koko ajan ja hinnat laskevat, kun uudet tuotteet lisääntyvät markkinoilla. Toistaiseksi akut osana aurinkosähköjärjestelmää ovat nostaneet takaisinmaksuajan kuluttajalle kohtuuttoman pitkäksi, mutta lähitulevaisuudessa voidaan olettaa teknologian kehityksen myötä järjestelmien hinnan laskevan kannattavaksi hankinnaksi.

Omatuotantoon liitettävillä kotiakuilla saadaan maksimoitua tuotetun sähköntuotannon osuus omaan käyttöön. Älykkäällä ohjauksella voidaan akkua ladata ja purkaa niin, että ostettu sähköenergia kohdistuu halvimmille spot-hinnoille. Off-Grid -järjestelmissä, joissa säästytään sähköliittymän hankinnalta kohteen ollessa käytössä osan vuotta, on sijoitus jo tällä hetkellä kannattavaa. Sähköenergiaa voidaan varastoida myös lämminvesivaraajaan, massavaraajaan tai muuhun kiinteään aineeseen sekä maalämpöpumpun kautta maa- ja kallioperään.

3 Sähköauton lataus ja kaksisuuntainen lataus

Sähköautokanta on kasvanut viime vuosina vauhdilla. Tämä on tarkoittanut myös latauspisteiden lisääntymisenä niin julkisissa kuin pientalokohteissa. Sähköauton lataus tuo mukanaan merkittävän kuorman lisäyksen pientalolle. Vaihtosähkö latauksessa (AC) lataustehot vaihtelevat 2–20 kW välillä, riippuen lataustavasta ja auton tyypistä. Hitaalla latauksella (mode 2) tarkoitetaan yleensä yksivaiheisesta pistorasiasta tehtävää latausta, jolloin latausvirta on rajoitettava standardin SFS-EN 62752 mukaisesti kahdeksaan ampeeriin. Yleisemmin käytössä on lataustavan 3 (mode 3) latauslaitteesta suoritettava lataus, jossa maksimitehot vaihtelevat 2–20 kW välillä. (Sähkötieto ry, 2019, ss. 30–37)

Sähköauton latausasemaan on latauksen lisäksi saatavilla lisäominaisuuksia kuten kuormanhallinta, energiamittaus, etähallinta ja RFID-tunnistus. Kuormanhallinnalla voidaan suojata kiinteistön pääsulakkeita rajoittamalla lataustehoa sen mukaan, kuinka paljon kiinteistössä on sähköä saatavilla. Dynaamisella kuormanhallinnalla lataustehoa rajoitetaan mittaamalla virtamuuntajilla kiinteistön kulutusta ja välittämällä tieto ohjauskaapelilla tai langattomasti asemalle. RFID- tunnistuksella tunnistetaan käyttäjä ja annetaan latauslupa. Etähallinnalla voidaan ohjata ja seurata latausasemaa. Latausasema liitetään kodin wifi- verkkoon ja hallinnoidaan sovelluksen ja pilvipalvelun kautta.

Sähköauton latausasema voidaan yhdistää osaksi kiinteistön muuta automaatiota. Tällöin voidaan hyödyntää aurinkosähköjärjestelmän ylituotto sähköauton lataukseen tai pörssisähkön edullisimmat tunnit. Tämä edellyttää, että järjestelmä pystyy hakemaan reaaliaikaisesti pörssisähkön hintatiedot sekä kykenee kommunikoimaan latausaseman kanssa.

V2G eli ”vehicle-to-grid” termillä tarkoitetaan energian siirtämistä ajoneuvosta takaisin sähköverkkoon, toisin sanoen sähkövirran kulkemisen kahteen suuntaan. Energiaa voidaan varastoida ajoneuvon akkuun ja tarpeen tullen ottaa pois akusta ja siirtää takaisin sähköverkkoon. Kiinteistössä ajoneuvon akut voivat tällöin toimia varavoimana sähkökatkojen aikana tai osana

energiantuotannon vaihteluiden tasoittamiseen. Aurinkosähköjärjestelmän ollessa osana järjestelmää voidaan ylituotanto ladata akkuihin ja hyödyntää takaisin kiinteistöön, kun ostosähkö on kallista. V2G mahdollistaa myös autojen akkujen osallistumisen julkisen verkon tasapainottamiseen kysyntäjouston avulla, mikä vakauttaa sähköverkkoa. V2G ei ole vielä laajasti käytössä, mutta sitä kehitetään aktiivisesti. (Virta, 2019)

4 Pientalon lämmitysjärjestelmät

4.1 Maalämpö

Maalämmössä hyödynnetään maaperän sisältämää lämpöenergiaa. Lämpö otetaan talteen maahan asennettavan lämmönkeruuputkiston avulla, joka voidaan upottaa vaakasuoraan pintamaahan tai porata noin 100–350 m syvä reikä putkistolle. Lämmönkeruupiiri voidaan asentaa myös vesistöön ankkuroimalla putkisto vesistön pohjaan painojen avulla. Nykyään suurin osa kohteista toteutetaan porattavalla lämpökaivolla. Keruupiirissä kiertää lämmönkeruuneste, joka hyödyntää lämpiämiseen maaperän lämpöä. Lämmennyt neste, joka on useimmiten 70 % vettä ja 30 % bioetanolia kuljetetaan maalämpöpumpulle, jonka kompressointitekniikka hyödyntää lämmön ja jakaa sen kiinteistön lämpö- ja lämminvesijärjestelmään. Hyödynnettyään lämmön, keruuneste palaa takaisin maaperän kiertoon. (Thermia, n.d.)

Maalämmön alkuinvestointi on yleensä suurin verrattuna muihin lämpöpumppuvaihtoehtoihin, johtuen maahan tehtävistä porauksista ja keruuputkiston asentamisesta. Käyttökustannukset ovat kuitenkin edullisimmat. Maalämpö soveltuu kohteisiin, joissa on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä. Vesikiertoinen lattialämmitys antaa paremman hyötysuhteen verrattuna patterikiertoon. Maalämpöä voidaan hyödyntää sekä kiinteistön lämmittämiseen että viilentämiseen. Mitä suurempi lämmitystehontarve kohteessa on, sitä kannattavampi maalämpö on. Maalämpöputkiston asennus vaatii kunnalta toimenpideluvan. (Motiva, 2022-b)

Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika vaihtelee kohteen ja järjestelmän koon mukaan. Tyypillisesti järjestelmälle ilmoitetaan takaisinmaksuajaksi 6–10 vuotta ja hankintakustannukseksi noin 13 000–25 000 euroa. Järjestelmän käyttöikä on 15–20 vuotta.

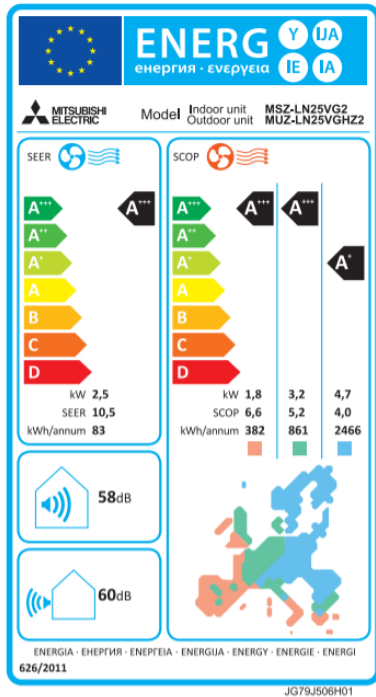
4.2 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumpun toiminta perustuu lämpöenergian hyödyntämiseen ulkoilmasta. Sisä- ja ulkoyksikön välillä suljetussa piirissä kiertää kylmäaine. Ulkoyksikön kompressorissa kylmäainetta puristetaan kasaan, jonka seurauksena sen lämpötila nousee. Paineen kasvaessa se muuttuu nesteeksi, joka kiertää sisäyksikössä ja luovuttaa lämpöä. Jäähdytystoiminnossa lämpöä kerätään sisäilmasta ja luovutetaan ulkoyksikössä eli kierto kulkee toiseen suuntaan. (Vattenfall, n.d.-b)

Ilmalämpöpumppua käytetään muun lämmitysmuodon rinnalla lämmittämään ja viilentämään kiinteistöä. Erityisen hyvin se sopii tukemaan sähkölämmitteisen talon lämmitysjärjestelmää. Sisäyksikköjä voi olla yksi tai useampi riippuen talon koosta ja pohjaratkaisusta. Avarassa tilassa lämpö levittäytyy parhaiten, kun taas väliseinät rajoittavat lämmön siirtymistä muihin huonetiloihin. Yksi sisäyksikkö kattaa noin 30–100 m² alueen, riippuen rakennuksen koosta ja muodosta. Ilmalämpöpumppua kannattaa käyttää ensisijaisena lämmitysmuotona ja rinnalla oleva lämmitys laskea 2–4 astetta matalammalle, jolloin saadaan lämmitysaikana paras hyöty laitteesta. Positiivinen hyötysuhde saadaan -15...-20 asteeseen saakka, jonka jälkeen ilmalämpöpumppu alkaa tuottamaan lämpöä saman verran kuin se kuluttaa. (Motiva, 2022-a)

Ilmalämpöpumpun energiatehokkuus ilmoitetaan laitteessa SCOP- arvona, joka on energiatehokkuus mitattuna koko vuoden ajalta. SCOP 4,5 tarkoittaa, kun ilmalämpöpumppuun syötetään 1 kW sähköä, niin lämpöpumppu tuottaa 4,5 kW lämpöä. Lämpökerroin on suuntaa antava ja merkittävää on myös se, minkä ilmastoalueen lämmityskaudelle se ilmoitetaan. Kuvassa 4 nähdään Mitsubishi LN25- mallin energiamerkintä. Laitteen SCOP arvo keskikylmässä ilmastossa on 5,2 ja SCOP-arvoon vaikuttava keskimääräinen mitoituskuorma 3,2 kW. Verrattaessa eri laitteiden SCOP-arvoja, tulee huomioida myös laitteen mitoituskuorma. (Scanoffice, n.d.)

Kuva 4. Mitsubishi Electric LN25- mallin energiamerkki.



Motivan sivuilta löytyy sähkölämmityksen tehostamisohjelma Elvarin teettämä tutkimus ilmalämpöpumpun vaikutuksesta energiankäyttöön. Tarkasteltavana on 78 sähkölämmitteistä pientalokohdetta, joihin oli asennettu ilmalämpöpumppu. Projektissa selvitettiin ilmalämpöpumpun vaikutusta asunnon ostoenergiankulukseen. Tarkastelujaksona käytettiin yhtä vuotta ennen ja jälkeen pumpun asennusta. Asennusvuoden kulutusta ei huomioitu. Projekti on toteutettu aikavälillä 2008–2015. Tuloksissa ilmenee suurta hajontaa. Keskiarvo asettuu 2 500 kWh/a säästöön vuositasona. Muutamissa kohteissa muutos oli vähäinen tai jopa noussut hieman ja 17 kohteessa kulutus oli alentunut 4 000 kWh/a tai enemmän. Hyötysuhdetta voidaan parantaa sijoittamalla pumppu oikein tilaan, josta lämpö pääsee parhaiten levittymään mutta ei häiritse normaalia asumista. Laitetta kannattaa myös huoltaa imuroimalla parin viikon välein, jotta suodattimet eivät tukkeudu ja vähennä laitteen ilmavirtaa. Käyttötottumukset vaikuttavat myös olennaisesti saavutettaviin hyötyihin. Lämmityskaudella laite tulee olla koko ajan päällä ja toimia päälämmityksenä. Varsinainen lämmitysmuoto säädetään 2–4 astetta alemmalle. Laadukkaasti ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika on noin 4–7 vuotta, kun vuotuinen säästö energiankulutuksessa on 3 000 kWh ja sähkön hinta 0,12 €/ kWh. (Motiva, 2023-a)

4.3 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumpulla saadaan suurempi säästöpotentiaali kuin ilmalämpöpumpulla, koska myös talon käyttövesi pystytään lämmittämään pumpun avulla. Ilma-vesilämpöpumppu soveltuu kohteeseen, jossa on vesikiertoinen patteri-, lattia- tai ilmalämmitys. Ilmalämpöpumpun tavoin ilma-vesilämpöpumppu ottaa energian ulkoilmasta ja hyödyntää ulkoilman ja pumpussa olevan kylmäaineen välistä eroa. (LämpöYkkönen, 2022)

Ilma-vesilämpöpumppu sopii parhaiten eteläisen Suomen olosuhteisiin, koska laitteen teho heikkenee -20 asteen lämpötilassa. Tällöin laite siirtyy käyttämään suoraa sähköä tai muuta rinnalla toimivaa lämmitysmuotoa. Paras hyötysuhde saavutetaan +10 ja -10 asteen välillä. Ilma-vesilämpöpumpun arvioidaan säästävän 50–60 % tilojen ja käyttöveden lämmityskuluissa. Ilma-vesilämpöpumpun hankintahinta asennettuna vaihtelee 8 000–20 000 euron välillä, riippuen kohteen remontin laajuudesta ja laitteen tehontarpeesta. Takaisinmaksuajaksi voidaan arvioida noin 7 vuotta, kun huomioidaan mahdollinen tuki (kotitalousvähennys, Ely- tai ARA-tuki). Laitteiston tyypillinen elinkaari on noin 15–20 vuotta. (Lämpöpartio, n.d.)

4.4 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumpun (PILP) toiminta perustuu talosta ilmanvaihtoputkiston kautta poistettavan ilman lämmitysenergian talteenottoon. Poistoilmalämpöpumppu ei yleensä pysty tuottamaan kaikkea talon tarvitsemaa lämpöenergiaa lämmityskauden aikana. Lämmitystarpeen ylittäessä PILPin lämmöntuoton, laitteen sisäiset sähkövastukset hoitavat lämmitystarpeen.

Poistoilmalämpöpumpun ohella ei talossa tarvita erillistä ilmanvaihtokonetta. Mallista riippuen voidaan poistoilmalämpöpumpulla myös viilentää sisäilmaa. Vuositasolla saadaan poistoilmasta hyödyksi energiaa noin 60–70 prosenttia. Poistoilmalämpöpumppu soveltuu parhaiten matalaenergiataloihin ja passiivitasen uudiskohteisiin. Investointikustannukset ovat uudistalossa noin 6 000–13 000 € ja tekninen käyttöikä noin 20 vuotta. (Energiatehokas koti, 2020)

5 Energia-avustus

5.1 Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA)

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA) avustukset on tarkoitettu asuinrakennusten energiatehokkuutta parantaviin muutoshankkeisiin. Energia-avustusta voidaan hakea korjauksiin, joilla parannetaan asuinrakennuksen energiatehokkuutta.

Avustettavan asuinrakennuksen pinta-alasta on oltava vähintään puolet ympärivuotisessa asuinkäytössä. Energia-avustusta voidaan myöntää enintään 50 % hyväksytyistä kustannuksista asuntoa kohden, mutta korkeintaan 4 000 tai 6 000 euroa. Avustuksen määrä riippuu siitä, kuinka paljon energiatehokkuus paranee korjausten jälkeen verrattuna lähtötasoon. Hakemisajankohdan sen hetkiset vaatimukset kannattaa tarkistaa ARAn nettisivuilta. (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA), 2023)

5.2 Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY)

ELY-keskukselta voi hakea avustusta öljy- tai maakaasulämmityksen korvaamiseen vähemmän saastuttavaan lämmitysmuotoon. Avustuksen määrä on 4 000 euroa siirryttäessä öljylämmityksestä maalämpöpumppuun, ilma-vesilämpöpumppuun tai kaukolämpöön. Muihin korvaaviin lämmitysjärjestelmiin voidaan avustusta myöntää 2500 euroa. Uusimmat 2023 määrärahat ovat käytettävissä 2025 syksyyn saakka. Hakemustilanteen voi tarkistaa ELY-keskuksen sivuilta. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2023)

6 Sähkönkulutuksen hallinta ja optimointi

6.1 Kysyntäjousto

Kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkönkulutuksen hetkellistä vähentämistä tai lisäämistä sähkön tuotantotilanteen mukaisesti. Pienikiinteistössä tämä tarkoittaa oman kulutuksen ohjaamista korkean kulutuksen ja hinnan ajalta edullisempaan hetkeen. Sähköntuotannon siirtyminen kohti

päästötöntä tuotantojärjestelmää ja fossiilisten polttoaineiden vähentäminen vaikeuttaa sähköntuotannon määrän ja tehon ennustettavuutta. Toimiva sähköjärjestelmä edellyttää, että sähkönkulutus ja tuotantomäärä ovat tasapainossa. (Bremer, 2017)

Kysyntäjoustopalveluja kehitetään koko ajan myös yritysten osalta. Esimerkiksi Fortum on koonnut 70 omakotitaloasiakkaan lämminvesivaraajista virtuaalivoimalaitoksen, jonka koko on yli 100 kW. Virtuaalivoimalaitosta voidaan hyödyntää sähköverkon tehotasapainon ylläpitämiseen ohjaamalla lämminvesivaraajien toimintaa hetkellisesti tehotarpeen mukaan. (Fortum, 2017)

Rakennusten sähkönkulutus kattaa merkittävän osan koko Suomen sähkönkulutuksesta. Tilastokeskuksen mukaan noin 27 % kului rakennusten lämmitykseen vuonna 2021. (Tilastokeskus, 2022-a) Lämmitykseen kuluu noin puolet ja käyttöveden lämmittämiseen noin 20 % pientalon kokonaiskulutuksesta. (Vattenfall, n.d.-a)

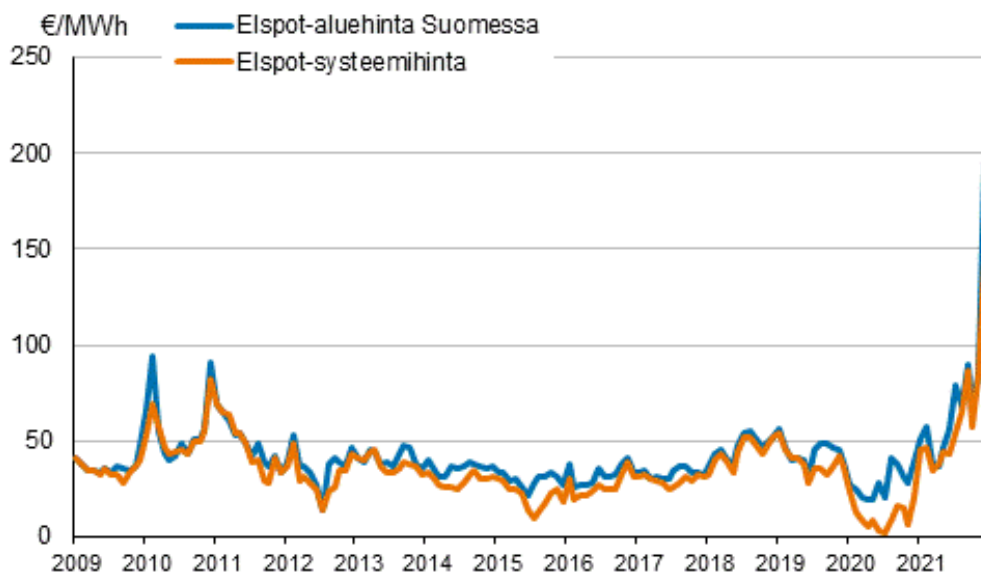
Suunta on, että tulevaisuudessa kiinteistöt tulevat olemaan aktiivinen osa energiajärjestelmän ylläpitoa. Rakennusten ja sen järjestelmien tavoite tulisi olla mahdollisimman alhainen energiankulutus, mutta myös huipputehojen hallintaan tähtäävä ohjausjärjestelmä. Sähkön käytön ajankohtaan tulee myös kiinnittää huomiota. (Harsia ym., 2019 ss. 8) Älykkäillä ohjauksilla on mahdollista kohdistaa kulutus esimerkiksi pörssisähkön hinnan mukaan edullisempaan hetkeen. Sähkön hinta on hyvä motivaattori ohjaamaan kulutuskäyttäytymistä toivottuun suuntaan. Verkkoyhtiöillä on myös mahdollista yhteistyössä asiakkaan kanssa hyödyntää olemassa olevaa kuormanohjausta ja ohjata näin kuormia joustavasti vuorokauden sisällä. Usein kuormanohjauksen takana on kiinteistön lämminvesivaraaja, mutta ohjattavana voi olla myös osa lämmityksistä. Tällöin on tärkeää, että asiakkaalla riittävä tietämys tehtävistä toimenpiteistä. Järjestelmän tulee asiakkaan näkökulmasta olla häntä hyödyttävä, joka helpoiten hoituu saamalla hyötyä hinnoittelussa.

6.2 Sähkön hinnan kehitys

Tarkasteltaessa sähkön hinnan kehitystä Suomessa viimeisen kymmenen vuoden aikana, voidaan havaita Nord Pool Spot -sähköpörssin kuukausikeskiarvojen olleen suhteellisen tasaisia aina

vuoteen 2021 saakka, jolloin energian hinnat nousivat selvästi. Hinnan nousuun vaikuttivat fossiilisten tuontipolttoaineiden nousu maakaasun johdolla uudelle tasolle sekä kotimaisen metsähakkeen hinnan nousu. Ukrainan sodan seurauksena myös venäläisen sähkön tuonti Suomeen loppui toukokuussa 2022. Tilalle on saatu myös omaa tuotantoa lisääntyvällä tuulivoimalla ja Olkiluoto 3 käyttöönotolla. Kuvassa 5 nähdään Nord Pool Spot -sähköpörssin kuukausikeskiarvoja pidemmältä aikavälillä. Hintojen vaihteluun vaikuttavat myös pohjoismaiset vesivarastot ja tuulivoiman saatavuus. (Tilastokeskus, 2022-b)

Kuva 5. Nord Pool Spot -sähköpörssin hintojen kehitys (Tilastokeskus, 2022-b).



Sähkön hintaa tulevaisuudessa on mahdotonta ennustaa tarkasti, mutta todennäköisesti halpoja 4–6 snt/kWh määräaikaisia sähkösopimuksia ei lähiaikoina ole tarjolla. Tällä hetkellä (syyskuu 2023) sähköyhtiöiden tarjoama 24 kk määräaikaisen sopimuksen hinta on 10–12 snt/kWh. Tuulivoiman lisääntyminen vaikuttaa myös pörssisähkön hinnan vaihteluun tuuliolosuhteiden vaihdellessa.

Sähkön siirtomaksun hinnoittelua on suunniteltu muutettavaksi osittain tai kokonaan tehoerusteiseksi. Energiatehokkuuden parantumisen seurauksena verkosta otettu sähköenergian kokonaiskulutus on laskenut, mutta liikenteen sähköistyminen ja lämmitysjärjestelmien muuttuminen voivat kasvattaa huipputehoja. Sähköverkosto pitää mitoittaa huippukuormituksen

mukaan. Huipputehojen noustessa joutuvat verkkoyhtiöt miettimään verkkojen vahvistamista. Tähän ongelmaan haetaan ratkaisuja kysyntäjoustolla ja ohjaamalla kuluttajien sähkönkäyttöä edullisempaan ajankohtaan. (LUT University, 2022)

Sähkön siirtomaksut vaihtelevat eri yhtiöillä. Siirtomaksun hintaan vaikuttaa myös vuosikulutus. Mitä pienempi kulutus sitä suurempi siirtomaksu. Sähkön siirron hinta muodostuu tällä hetkellä paikallisesta perusmaksusta, sähkönkulutukseen perustuvasta kWh-hinnasta ja arvonlisäverosta. Esimerkiksi Caruna Oy veloittaa tällä hetkellä omakotitalon 18 000 kWh vuosikulutuksella siirtomaksua 7,48 snt/kWh ja perusmaksua 34,84 €/kk. Siirtomaksu voikin monella olla yli puolet kuukauden sähköenergian maksuista.

Tehoperusteinen hinnoittelu voi tuoda säästöä, mikäli kuluttaja pystyy omilla kulutustavoillaan ja älykkäällä ohjauksella pienentämään tehon tarvetta. Vastaavasti suuret kulutuspiikit voivat nostaa kustannuksia, vaikka sähkön käyttö muuten olisi maltillista. Tehoperusteinen hinnoittelu tuo käyttäjälle uuden tavan tarkastella omaa kulutustaan. Moni on sähkön hintojen noustessa seurannut omaa kulutustaan ja pyrkinyt laskemaan vuosikulutusta. Tehoperäisessä hinnoittelussa tulee kiinnittää huomiota myös hetkelliseen sähkötehon suuruuteen.

6.3 Älykäs ohjaus

Älykkäällä ohjauksella voidaan ohjata kuormia päälle ja pois ennalta määriteltujen kriteereiden mukaan, jotka voivat perustua mm. hintatietoon, mitattuun lämpötilaan tai haluttuun kellon aikaan. Esimerkiksi lämmitystä voidaan ohjata niin, että rakennus tai tietty tila on viileämpi silloin kun ne ovat tyhjillään. Lämminvesivaraaja voidaan ohjata lämpiämään silloin kun sähkön hinta on alimmillaan tai aurinkosähköjärjestelmän tuottaessa yli oman kulutuksen. Samoin sähköauton latauksessa voidaan hyödyntää mahdollista aurinkosähköjärjestelmän tuottoa ja sähkön hintaan perustuvaa ohjausta. Tehoperusteisen hinnoittelun tullessa käyttöön voidaan älykkäällä ohjauksella porrastaa suuremmat kuormat päälle toisistaan eri aikaan.

Älykkääseen ohjaukseen löytyy tuotteita useilta eri valmistajilta, joilla saadaan valitut järjestelmät ja laitteet kommunikoimaan keskenään niin, että halutut toiminnot ja olosuhteet saavutetaan.

Nykyteknologia mahdollistaa myös järjestelmän rakentamisen täysin langattomasti, josta on etua monessa saneerauskohteessa, joissa kaapeleiden kuljetus olisi muuten hankalaa. Markkinoilta löytyy myös yrityksiä, jotka tarjoavat oman älyjärjestelmän suunniteltuna ja asennettuna asiakkaalle. Laitteisto koostuu yleensä keskusyksiköstä ja releistä, joilla voidaan ohjata lämmityksiä ja muita kuormia sekä antureista, jotka mittaavat huoneen lämpötilaa ja ilmankosteutta. Järjestelmät ovat pääosin langattomia, joten soveltuvat hyvin valmiisiin kohteisiin. Asiakas saa käyttöön käyttöliittymän, jolla eri toimintoja ja tilakohtaisia ohjauksia voidaan hallinnoida. Järjestelmän hankintahinta muodostuu asennettavista laitteista, joiden määrä vaihtelee kohteen laajuuden mukaan, asennustöistä ja käyttöliittymän kuukausimaksusta. Toimivan ja energiaa sekä euroja säästävän järjestelmän lähtökohtana on kyseiseen kohteeseen tehty suunnitelma, jossa on huomioitu kiinteistössä olevat laitteet ja niiden tehot, kulutushistoria sekä asukkaiden käyttötottumukset ja omat toivomukset.

7 Pienkiinteistön energiaprojekti

7.1 Projektin aloitus

Projektiin valittiin tutkittavaksi kolme sähkölämmitteistä omakotitalokohdetta. Kohdekiinteistöt valittiin Turun Kiinteistösähkö Oy:n omista työkohteista tehtyjen toimenpiteiden ja tietojen saatavuuden perusteella. Kohteisiin on vuoden aikana tehty muutoksia lämmitysten ohjauksiin, asennettu uusia lämmitysmuotoja ja kahteen kiinteistöön asennettu aurinkosähköjärjestelmä. Kohteiden seuranta ajoittuu ajanjaksolle heinäkuu 2022 – kesäkuu 2023.

Opinnäytetyötä varten kerättiin yhden kohdekiinteistön laitteista kulutustietoja. Laitteiden sähkönkulutustiedot perustuvat eri ikäisiin laitteisiin tietyssä kohteessa ja olosuhteissa, joten lukemat eivät ole sovellettavissa suoraan muihin kohteisiin. Sähkön hinnan noustessa asiakkaat halusivat tietää kuinka paljon kodin perustoiminnot maksavat, ja mihin pitäisi kiinnittää huomiota sähkön hinnan ollessa korkealla.

Mittauksista voidaan havaita, miten suurimmat kulutukset muodostuvat lämmityksistä.

Ilmanvaihtokoneessa jälkilämmityksen mennessä päälle, laitteen sähkönkulutus nousi 91 %.

Kohdekiinteistössä Ilto 300 ilmanvaihtokone lämmöntalteenotolla säädettyä 15 aseeseen, ei havaittu kertaakaan käyttävän jälkilämmitystä talvella 2022–2023. Ilmalämpöpumppu on hoitanut kohdekiinteistön lämmityksen takan ohella. Lämminvesivaraajan kulutus vaihteli välillä 4–11 kWh /vrk lämpimän veden käytön mukaan. Kylpyhuoneen lattialämmitys on ajastettu mukavuuslämpötilalle 22 C° oletettuun käyttöaikaan ja muuten alennetulla lämpötilalla 19 C°.

Mittauksissa on käytetty keskukseen ryhmän lähtöön asennettua Shelly Pro 2PM releitä sekä pistorasiaan asennettavaa Nedis Wi-Fi älypistoketta kulutuksen mittauksella. Kuvassa 6 esitetään kerätyt mittaukselliset laitteiden kulutuksista.

Kuva 6. Laitteiden sähkönkulutustietoja

Omakotitalo Lieto		Kwh		sähkön hinta 18 c/ kWh	sähkön hinta 30 c/ kWh
				€	€
Pyykinpesukone	normaalipesu 60 astetta	1.20 kWh	pesu	0,22 €	0,36 €
	pikapesu 60 astetta	1.06 kWh	pesu	0,19 €	0,32 €
Astianpesukone	pikaohjelma	1.27 kWh	pesu	0,23 €	0,38 €
	eko-ohjelma 3h	1.13 kWh	pesu	0,20 €	0,40 €
	automaattipesu	1.06 kWh	pesu	0,19 €	0,32 €
Imurointi	30 min täydellä teholla 1200W	1.20 kWh	30min	0,11 €	0,18 €
IV -kone	2.teho ei jälkilämmitystä	1.92 kWh /vrk	vrk	0,35 €	0,58 €
	3. teho ei jälkilämmitystä	3.19 kWh /vrk	vrk	0,57 €	0,96 €
	2. teho jälkilämmitys päällä	15.07 kWh /vrk	vrk	2,70 €	4,50 €
	3. teho jälkilämmitys päällä	15.65 kWh /vrk	vrk	2,82 €	4,70 €
Kiuas 6,8 kW	Kiukaan päälläoloaika 2h		2h	1,30 €	2,16 €
	7 kWh				
Lämminvesivaraaja	300 l	n.7.5 kWh	vrk	1,35 €	2,25 €
Ilmalämpöpumppu	6.1.2023 ulkolämpötila yö -8 C°	35.27 kWh /vrk	vrk	6,35 €	10,58 €
	päivä -11 C°				
	14.2.2023 ulkolämpötila yö -1 C°	18.29 kWh /vrk	vrk	3,29 €	5,49 €
	päivä 3 C°				
	20.4.2023 ulkolämpötila yö 0 C°	4.9 kWh /vrk	vrk	0,88 €	1,47 €
	päivä 10 C°				
Lattialämmitys kph+kh	6.1.2023 ulkolämpötila yö -8 C°	7.2 kWh /vrk	vrk	1,30 €	2,16 €
	päivä -11 C°				
yht.1500W					
ajastustoiminnot käytössä	14.2.2023 ulkolämpötila yö -1 C°	3,94 kWh /vrk	vrk	0,71 €	1,18 €
	päivä 3 C°				
	20.4.2023 ulkolämpötila yö 0 C°	1,66 kWh /vrk	vrk	0,30 €	0,50 €
	päivä 10 C°				

7.2 Kohdekiinteistö 1

Ensimmäisenä kohdekiinteistönä on vuonna 1991 rakennettu puutalo Liedossa. Asuinpinta-alaa on 136 neliötä kahdessa tasossa. Yläkerrassa sijaitsevat kolme makuuhuonetta ja wc, joissa lämmityksenä sähköpatterit. Alakerran asuintiloissa lämmityksenä on kattolämmitys ja kylpyhuoneessa sekä kodinhoitohuoneessa lattialämmitys. Sähkölämmitysten lisäksi alakerrassa on olohuoneessa takka ja keittiön puolella leivinuuni. Alakerran oleskelutila olohuone ja keittiö ovat yhtä avaraa tilaa, jossa lämpö pääsee leviämään hyvin. Ilmalämpöpumppu on asennettu porraskäytävään kerrosten puoliväliin. Talossa on koneellinen ilmanvaihto lämmön talteenotolla Ilto 300. Lämminvesivaraaja 300 l, joka projektin alussa oli ohjattu lämpiämään yösähköllä, muutettiin aurinkosähköjärjestelmän tultua hyödyntämään sen tuottoa.

Kiinteistössä asuu nelihenkinen perhe, jossa lapset ovat päivisin koulussa ja vanhemmat työpaikalla. Vuoden 2021 sähkönkulutus kohteessa oli 21 600 kWh. Kulutusta haluttiin lähteä tuomaan reilusti alaspäin muuttamalla omia käyttötottumuksia ja ohjaamalla lämmityksiä älykkäämmin. Puun käyttöä kylminä aikoina lisättiin merkittävästi ja kovilla pakkasjaksoilla käytettiin leivinuunia takan rinnalla. Kohteeseen asennettiin myös projektin alussa aurinkosähköjärjestelmä.

Kohteeseen tehdyt muutokset seurantajaksolla:

- aurinkosähköjärjestelmä
- aikaohjattavat termostaatit kylpyhuoneeseen ja kodinhoitohuoneeseen
- lämminvesivaraajan aikaohjaus
- yläkerran pattereiden aikaohjaus
- yläpohjan lisäeristys

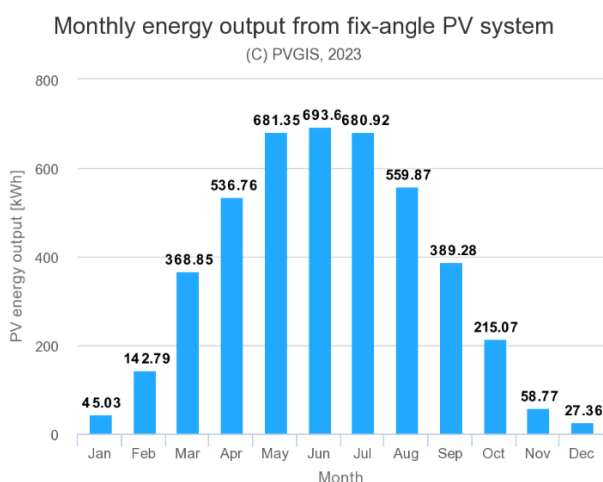
7.2.1 Aurinkosähköjärjestelmä

Kohteeseen valittiin 5,6 kWp suuruinen aurinkosähköjärjestelmä. Aurinkopaneelit ovat Eurener Mepv 120 Half -Cut 380 Wp ja Invertteri Fronius Symo 6.0–3-M. Aurinkopaneelit sijoitettiin rakennuksen katolle ilmansuuntana lounaaseen. Kohteeseen tehtiin PVGIS-laskurilla tuottolaskelma, jota verrattiin jälkikäteen toteutuneisiin tuottoihin.

Vuoden toteutunut tuotto kohteessa oli 4 348,33 kWh ja PVGIS-laskurilla tuotoksi saatiin 4 399,68 kWh. Laskurin todettiin vastaavan yllättävän tarkasti toteutuneita tuottoja. Tuoton jakautumisessa oli hieman eroa laskelmaan. Kesäkuukausien toteutuneet tuotot olivat hieman suuremmat mitä laskelmassa ja vastaavasti talven tuotot pienemmät.

Tarkasteltaessa miten kiinteistö on pystynyt hyödyntämään aurinkojärjestelmän tuottoa omaan käyttöön ja kuinka suuri osa tuotosta on mennyt myyntiin, havaittiin kesäkuukausina suurimman osan tuotannosta menneen myyntiin. Koko vuodelta myyntiin menneen tuoton osuus 2 510 kWh. Kesäkuukausina myyntiin menevän tuoton osuus on yli puolet. Aurinkoisina päivinä aurinkosähköjärjestelmä on tuottanut reilusti yli koko kiinteistön kulutuksen. Sähköauton tullessa tulevaisuudessa lisäkuormaksi, saadaan myyntiin menevät tuotot hyödynnettyä paremmin omaan käyttöön. Kuvassa 7 nähdään PVGIS-aurinkosähkölaskurilla tehty laskelma kohdekiinteistön aurinkosähköjärjestelmän tuotto ennusteesta.

Kuva 7. PVGIS- tuottolaskelma.



7.2.2 Lämmitysten ohjaus

Kiinteistössä päädyttiin vaihtamaan kosteiden tilojen vanhat lattialämmitystermostaattit älykkäämpiin malleihin, joissa oli mahdollista asettaa haluttu aikaohjaus. Vanhat termostaattit olivat säätöasteikolla 1–6, joten tarkkaa lämpötilan säätöä oli mahdotonta asettaa.

Termostaatiksi valittiin Abb Impressivo termostaatti hinta noin 80 €. Lattialämmitystermostaatti oli kohtuu hintainen, josta löytyivät riittävät toiminnot haluttuihin aikaohjauksiin sekä tarkka säätöasteikko. Lämpötilaa on mahdollista säätää 0.1 asteen tarkkuudella. Termostaattiin asetettiin ECO-lämpötilaksi 19 C° ja Comfort-lämpötilaksi 22 C°. Käyttöön otettiin aikaohjelma, jossa Comfort-tila on päällä kello 17–23 ja muina aikoina lattialämpö on alennetulla 19 C° lämpötilassa. Näin saatiin lattia pysymään miellyttävän lämpimänä oletettuina suihkuaikoina ja muina aikoina säästyttiin turhalta lämmittämiseltä.

Lämminvesivaraajan ohjauksessa hyödynnetään edelleen yösähkön kuormanohjausta. Sähköverkkoyhtiö Caruna mahdollistaa asiakkaalle kytkentäajan muutoksen sovelluksen kautta, jolloin asiakas pystyy hyödyntämään esimerkiksi kiinteistössä olevaa aurinkosähköjärjestelmää. Paneeleiden suuntautuessa lounaaseen saadaan järjestelmästä paras tuotto aikavälillä 12:00 – 18:00. Kuvassa 8 nähdään näkymä Carunan Plus asiakkaan sovelluksesta sähkökuorman ohjaukseen.

Kuva 8. Caruna sähkökuorman ohjaus.

Sähkökuorman ohjaus



Palvelun avulla ohjaat sähkökäyttöisiä lämmityslaitteita, kuten varaavaa lämmitystä tai vesivaraajaa, käynnistymään sähkömittarilta ajastetusti. Palvelu on maksuton eikä se vaikuta siirtotuotteeseen tai hinnoittelun jakautumiseen.

Perusohjaus



- ☐ Päälle ma, to klo 22 / ti, la, su klo 23 / ke, pe klo 00. Pois päältä klo 07.
- ☐ Päälle ma, to klo 23/ ti, su klo 00 / ke, la klo 22. Pois päältä klo 07.
- ☐ Päälle ma, to, la klo 00 / ti, pe, su klo 22 / ke klo 23. Pois päältä klo 07.

Koko yöajan käyttö



- ☐ Päällä klo 22 - 07

Optimoi yöajan käyttöä



- ☐ Päällä klo 02 - 07
- ☐ Päällä klo 01 - 07
- ☐ Päällä klo 00 - 07

Hyödynnä aurinkosähkön tuotantoa



- ☐ Päällä klo 10- 15
- ☐ Päällä klo 11 - 16
- ☒ Päällä klo 12- 17
- ☐ Päällä klo 9 - 18

Hyödynnä aurinkosähkön tuotantoa ja yösähköä



- ☐ Päällä klo 10 - 14 ja 01 - 05
- ☐ Päällä klo 11 - 15 ja 01 - 05
- ☐ Päällä klo 12 - 16 ja 01 - 05
- ☐ Päällä klo 10 - 16 ja 01 - 05

Ryhmäkeskukseen asennettiin Shelly Pro 2PM 2x230V 16A Wifi-rele ohjaamaan yläkerran lämmityspattereiden kontaktoria. Releen kautta on mahdollista asettaa haluttuja aikaohjauksia tai ohjelmoida laite seuraamaan pörssisähkön hintaa ja kytkemään lähtö päälle ja pois edullisen sähkön aikana. Toinen lähtö kytkettiin seuraamaan pesuhuoneen lattialämmityksen kulutusta. Liittämällä rele kodin Wifi-verkkoon laitetta voidaan ohjata etänä. Sovelluksesta voidaan seurata suoraan kytkettyjen kuormien (ei kontaktori ohjaus) kulutuksia reaaliajassa sekä kulutushistoriasta vanhoja kulutuksia tunnin tasolla.

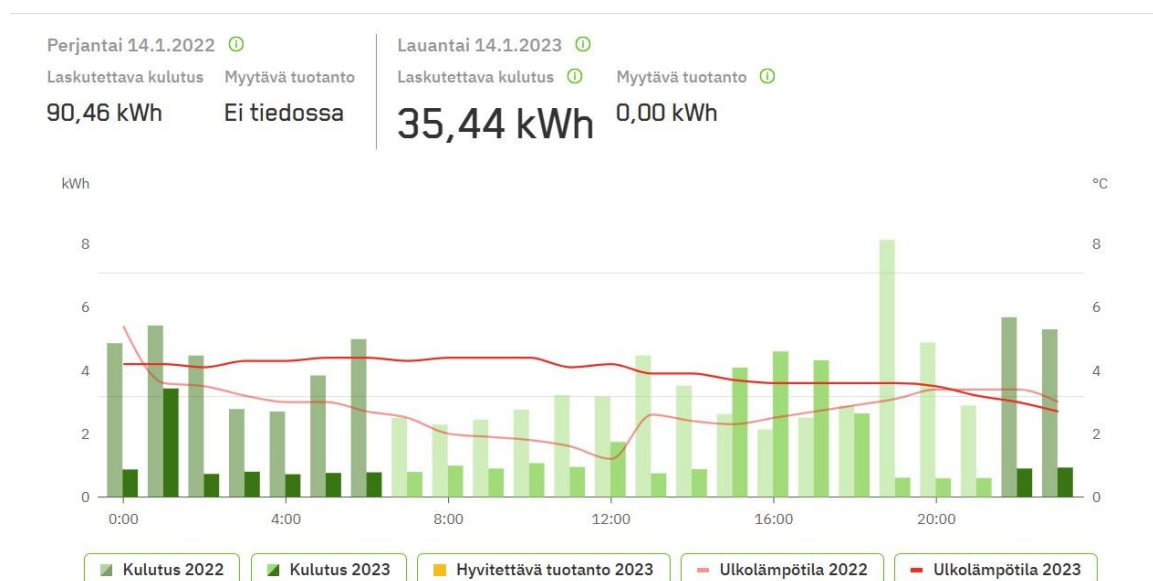
Portaikossa sijaitseva ilmalämpöpumppu asetettiin toimimaan ensisijaisena lämmityksenä ja alakerran kattolämmitysten termostaattien lämpötila säädettiin reilusti alemmas. Shelly -releen toinen lähtö voidaan tulevaisuudessa siirtää ohjaamaan lämminvesivaraajaa pörssisähkön hinnan mukaan, mikäli näyttää että hinnat lähtevät suuresti heittelehtimään.

7.2.3 Energiankulutuksen seuranta

Kohdekiinteistössä tehtiin suurin osa muutoksista heti seurantajakson alkupuolella. Sähkön hinnan nousun myötä puun polttoa tehostettiin merkittävästi ja huonelämpötilaa laskettiin 20–21 asteeseen. Lämpimän veden käyttöön kiinnitettiin myös enemmän huomiota. Yläpohjaan lisättiin myös villapurueristettä noin 50 mm paksu kerros koko yläpohjan alalle.

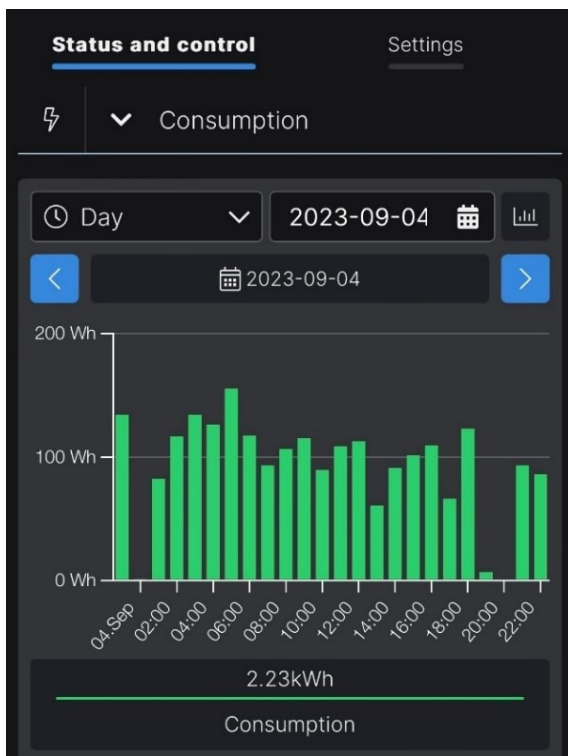
Vuoden mittaiselta seurantajaksolta saatiin kiinteistön kulutukseksi 10 985 kWh. Aurinkosähköä oli hyödynnetty omaan käyttöön 1 839 kWh. Edeltävän vuoden kulutus kiinteistössä oli 21 575 kWh. Tarkasteltaessa kohteen kulutustietoja päiväkohtaisesti ja verrattaessa niitä edelliseen vuoteen, voitiin todeta päiväkohtaisen kulutuksen merkittävä lasku. Kuvassa 9 nähdään kohteen kulutustietoja yhdeltä talvipäivältä suhteessa edellisen vuoden vastaavaan ajankohtaan.

Kuva 9. Kulutustiedot tammikuulta 2022 ja 2023.

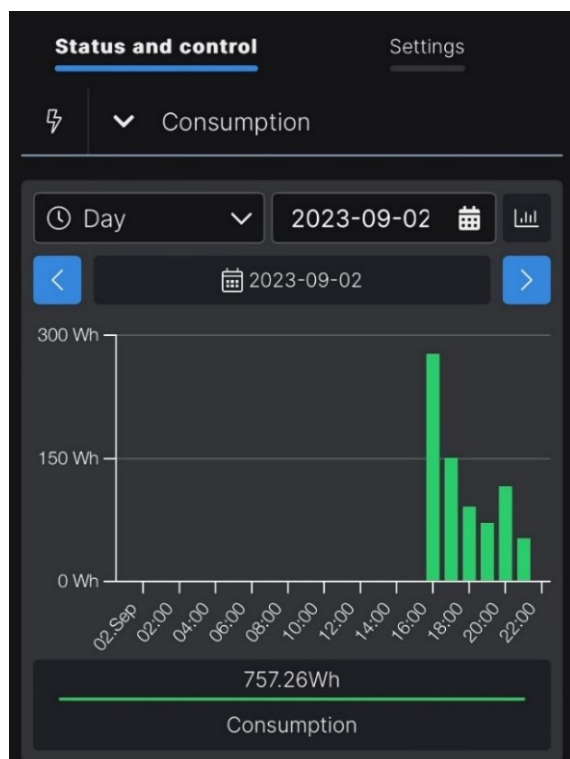


Lattialämmitysten ajastuksella saavutettiin myös merkittävää säästöä energiankulutuksessa. Kuvissa 10–11 nähdään pesuhuoneen lattialämmityksen kulutusgraafit yhdeltä vuorokaudelta ilman aikaohjausta ja aikaohjauksella. Ulkolämpötila oli mittaushetkellä yöllä 14 astetta ja päivällä 20 astetta. Alennetulla lämpötilalla termostaatti pitää lattian vähintään 19 asteisena ja viideltä lämpötilaa lähdetään nostamaan 22 asteeseen, kunnes taas kello 23 siirrytään alennettuun lämpötilaan. Kostean tilan ollessa kyseessä, laskettiin lattian kuivumiselle riittävä aika. Säästöä saatiin noin 66 % päivätasolla. Mittausta ei ehditty tekemään talvella maan ollessa kylmä. Tämä tullaan tekemään vielä myöhemmin.

Kuva 10. Pesuhuoneen lattialämmityksen kulutus ilman aikaohjausta.



Kuva 11. Alennettu lämpötila käytössä.



7.2.4 Johtopäätökset

Kohdekiinteistössä saavutettiin merkittävä pudotus sähkönkulutuksessa melko pienillä toimenpiteillä. Aurinkosähköjärjestelmää lukuun ottamatta sijoitettiin vaihdettaviin termostaatteihin sekä Shelly Pro 2PM -releeseen yhteensä 260 €. Vaihtotyö tehtiin itse sekä muutokset ryhmäkeskuksen ohjauksiin. Kokonaisuudessaan sijoitettiin muutoksiin kohteessa noin 6 200 € ja työt tehtiin pääosin itse. Merkittävä vaikutus kulutuksen laskemiseen on ollut myös aktiivisella takan käytöllä sekä omilla käyttötottumuksilla ja tietämyksellä, mihin energiaa kuluu omassa kiinteistössä.

Aurinkosähköjärjestelmä maksoi ensimmäisenä vuonna itseään takaisin n.700 € sähkön hinnan ollessa korkealla, jolloin myynnistä saatiin hyvää tuottoa, kun samalla kohteessa oli voimassa edullinen sähkösopimus. Tulevina vuosina järjestelmän laskettiin maksavan itseään takaisin

350–400 € vuodessa, kiinteistön käyttäessä pörssisähköä. Tällöin järjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan 12–15 vuotta. Mitä enemmän kiinteistö pystyy hyödyntämään tuottoa omaan käyttöön, sitä nopeammin järjestelmä maksaa itsensä takaisin.

Ilmalämpöpumpun toimiessa ensisijaisena lämmityksenä ja nykyisellä laitteella ollessa ikää 9 vuotta on kohteeseen suunniteltu ensi vuodelle ilmalämpöpumpun vaihto. Laite vaihdetaan malliin, jossa on kaksi sisäyksikköä. Näin saadaan lämpö levittymään paremmin ylä- ja alakertaan sekä kesäaikaan viilennettyä yläkerran makuhuoneet tehokkaammin.

Kohdekiinteistössä kattolämmitysten termostaatit ovat sijoitettu rakennuksen ulkoseiniin ja takan viereen. Sopivan lämpötilan löytäminen kylmällä ajanjaksolla on ollut haastavaa, seinien johtaessa kylmää ilmaa huonetermostaattiin ja vastaavasti takan johtaessa lämmintä ilmaa. Tiloihin pitäisi asettaa erilliset lämpötila-anturit optimaaliseen paikkaan mittaamaan huoneen lämpötilaa.

Järjestelmä on mahdollista toteuttaa esimerkiksi jo käytössä olevilla Shelly tuotteilla.

Shelly -ohjausreleet eivät itsessään osaa tehdä pörssisähkönohjausta, mutta Plus- ja Pro-tuotteet sopivat skriptivetoisten palveluiden ohjattaviksi. Shellykauppa.fi sivustolta löytyy muutama ilmainen pörssisähköohjauksen palveluntarjoaja. Järjestelmään voidaan liittää erillisiä lämpötila-antureita tilojen lämpötilan mittaamiseen, joita voidaan hyödyntää ohjauksissa.

Toisena vaihtoehtona mietitään Optiwatin järjestelmää, joka on keskittynyt lämmitysten optimointiin ja tarjoaa kattavan järjestelmän suunniteltuna kohteeseen. Jokaiseen ohjattavaan tilaan asennetaan langaton lämpötilaa mittaava anturi. Pienikokoiset ohjausreleet voidaan asentaa termostaattien ja lämmityspattereiden kytkentärasiaan tai sähkökeskukseen ryhmän lähtöön. Säädetävät lämmityslaitteet kootaan yhteen käyttöliittymään, jota voidaan ohjata omalla älylaitteella. Järjestelmä myydään asiakkaalle asennettuna ja sisältää lämmityksen suunnitelman kohteeseen. Käyttöliittymä on kuukausimaksullinen.

Kolmantena vaihtoehtona on Schneider Electric Wiser -järjestelmä. Wiser by SE-sovellus ei tällä hetkellä mahdollista ohjaustoimintoja pörssisähkön hinnan mukaan, mutta tuote-edustajan mukaan tämä tulossa loppuvuodesta 2023 käyttöön. Lämmitysten ohjaus olisi toteutettavissa Wiser-yhdistelmätermostaateilla ja erillisillä lämpötila-antureilla, jotka voidaan yhdistää

älykotijärjestelmään. Sovelluksen käyttö on maksutonta. Edellä mainituista järjestelmistä ei ole vielä tehty vielä hintavertailua.

7.3 Kohdekiinteistö 2

Toisena kohdekiinteistönä on 2005 rakennettu omakotitalo Naantalissa. Asuinpinta-alaa on 180 neliötä kahdessa tasossa. Kiinteistössä asuu nelihenkinen perhe, jossa lapset ovat päivisin koulussa ja vanhemmat töissä. Toinen vanhemmista tekee osittain etätöitä kotona. Vuoden 2021 sähkönkulutus kiinteistössä oli 26 719 kWh.

Lämmitysmuotona rakennuksessa on sähköinen lattialämmitys sekä molemmissa kerroksissa ilmalämpöpumppu. Alakerrassa on lisänä takka, jota käytetään kylmänä aikana. Kiinteistöön kuuluu lisäksi autotalli 37 m², jota lämmitetään ilmalämpöpumpulla. Taloon on asennettu poreallas takapihalle keväällä 2022, jossa pidetään peruslämpö ympäri vuoden. Perheellä on käytössä sähköauto, jota ladataan Webasto Pure latausasemalla. Kiinteistöön asennettiin Nilan E poistoilmalämpöpumppu helmikuussa 2023, jolla korvattiin vanha ilmanvaihtokone ja lämminvesivaraaja. Poistoilmalämpöpumppu hyödyntää asunnon poistoilman hukkaenergian käyttöveden sekä tuloilman lämmittämiseen. Laitteen COP- arvo on 4,2.

Kohteeseen tehdyt muutokset seurantajaksolla:

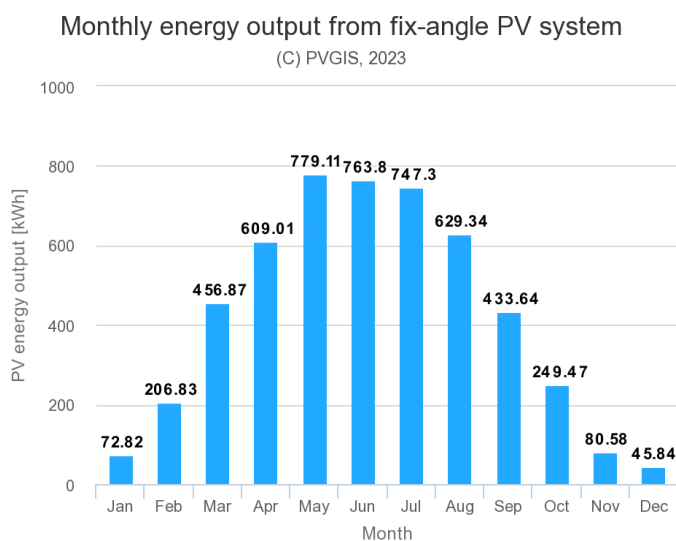
- aurinkosähköjärjestelmä
- lattialämmitystermostaattien vaihto Themo älytermostaatteihin
- Nilan E poistoilmalämpöpumppu

7.3.1 Aurinkosähköjärjestelmä

Kiinteistöön asennettiin lokakuussa 2022 aurinkosähköjärjestelmä 5,5 kWp. Paneeliksi valittiin JA-Solar JAM5431 395 Wp ja invertteriksi Huawei SUN2000-6KTL-M1 hybridi invertteri, joka mahdollistaa akuston lisäämisen myöhemmin.

Aurinkopaneelit sijoitettiin autotallin katolle etelän suuntaan. PVGIS- laskurilla saatiin järjestelmän vuosituotoksi laskettua 5 074 kWh. Kuvasta 12 nähdään arvioitu tuoton jakautuminen eri kuukausille.

Kuva 12. Aurinkosähköjärjestelmä 5.5 kWp tuottolaskelma.



Tarkasteltaessa miten kiinteistö on pystynyt hyödyntämään aurinkojärjestelmän tuottoa omaan käyttöön, havaittiin kesäkuukausina suurimman osan tuotannosta menneen myyntiin. Kesäkuun – elokuun myyntiin menneen tuotannon määrä oli 1 548 kWh.

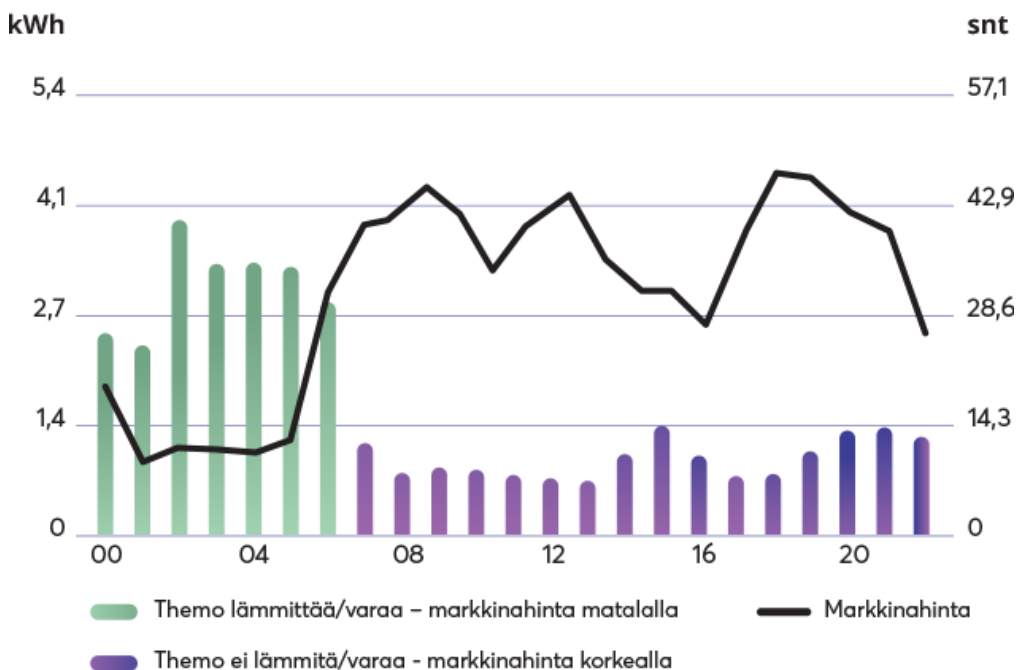
7.3.2 Lämmitysten ohjaus

Kiinteistössä vaihdettiin syyskuussa 2022 kaikki lattialämmitystermostaatit Themo älytermostaatteihin, jotka pystyvät huomioimaan lämmityksessä pörssisähkön hinnan ja luomaan lämmitystarpeiden perusteella optimaalisimman lämmitysaikataulun. Asennuksen jälkeen

termostaatit otetaan käyttöön Themo -mobiilisovelluksen avulla. Sovelluksessa voidaan määrittää huonekohtaiset profiilit ja aikataulut asukkaiden päivärytmin mukaan. Järjestelmä on itseoppiva eli haluttujen määritysten jälkeen kestää muutamia päiviä, että järjestelmä oppii tunnistamaan lämpötilanmuutokset tilassa ja osaa valita optimaalisen ajan, milloin ja millaisella teholla sen pitää toimia. Järjestelmä seuraa verkon kautta seuraavan päivän sääennusteita ja ottaa huomioon muuttuvan ulkolämpötilan vaikutuksen. Themolta löytyy myös DIN-kiskoon asennettava digitaalinen lämmityksen säädin, jota voidaan käyttää lattialämmitystermostaattina tai hintakytkimenä lämminvesivaraajalle tai lämpöpumpulle. Themo -mobiilisovellus on ilmainen. (Themo, 2022)

Termostaatit asetettiin hyödyntämään vuorokauden edullisimpia tunteja lämmityksessä sekä huoneille määritettiin käyttöprofiilit päivärytmin mukaan. Kuvassa 13 havainnoidaan termostaatin toimintaa pörssisähkön hinnan ohjaamana.

Kuva 13. Themo termostaatin toiminta pörssisähkön hinnan mukaan (Themo, 2022).



7.3.3 Energiakulutuksen seuranta

Kiinteistön sähkönkulutus oli 26 719 kWh vuonna 2021 ja vuoden keskilämpötila 6.5 astetta. Seurantajakson elokuu 2022 – heinäkuu 2023 kulutus oli 21 065 kWh ja vuoden keskilämpötila 7.2 astetta. Laskua suhteessa vertailuvuoteen oli noin 21 %. Muutosten ohella kohteeseen lisätty ulkoporeallas on tuonut lisäkulutusta seurantavuoteen.

Poistoilmalämpöpumpun asennuksen jälkeen voitiin havaita noin 5–8 kWh laskua päiväkulutuksessa verrattaessa ennen ja jälkeen asennuksen. Asennuksen ajankohta oli helmikuu, jonka keskilämpötila oli tuolloin -1,5 astetta.

Thermo termostaattien asennusten jälkeen havaittiin 2–3 kWh laskua päiväkulutuksessa verrattaessa ennen ja jälkeen asennuksen. Merkittävin vaikutus oli kuitenkin lämmitysten ajoittaminen vuorokauden edullisimmille tunneille kiinteistön käyttäessä pörssisähköä.

7.3.4 Johtopäätökset

Kohdekiinteistössä tehtiin merkittäviä sijoituksia energiatehokkuuden parantamiseksi. Nilan E poistoilmalämpöpumppu asennettiin seurantajakson loppupuolella, joten tämän vaikutus kulutukseen ei näy projektissa täysimääräisenä. Muutoksiin sijoitettiin arviolta 16 500 euroa. Asukkaat halusivat sijoituksilla nostaa asunnon jälleenmyyntiarvoa kulutuksen pienentämisen lisäksi.

Kohteessa on kiinnostusta akuston lisäämiseen aurinkosähköjärjestelmään tai vaihtoehtoisesti sähköauton akun hyödyntämistä kaksisuuntaisella latauksella, kun tekniikka sen mahdollistaa. Akuston lisäämisellä järjestelmään saisi kiinteistö hyödynnettyä aurinkosähköjärjestelmän tuoton huomattavasti paremmin.

7.4 Kohdekiinteistö 3

Kolmantena kohdekiinteistönä on 1999 rakennettu Kastellin omakotitalo Naantalissa. Asuinpinta-alaa on 200 neliötä kahdessa tasossa. Lämmitysmuotona rakennuksessa on sähkölämmitys, joka on alakerran osalta 140 neliötä toteutettu sähköisellä lattialämmityksellä ja yläkerrassa on sähköpatterit. Kiinteistössä on koneellinen ilmanvaihto Parmair Ex ja lämminvesivaraaja 300 l, joka lämpiää yösähköllä. Lattialämmitystermostaatit ovat alkuperäiset mallia Schneider Artic, jossa säätöasteikko 1–6. Alakerrassa on lisäksi takka, jota asukkaat eivät käytä. Kiuas on puulämmitteinen.

Kiinteistössä asuu eläkkeellä oleva pariskunta ja tavoitteena oli tuoda energiankulutusta alaspäin pienillä muutoksilla. Vuoden 2021 sähkönkulutus kohteessa oli 23 355 kWh, jota lähdettiin tuomaan alaspäin lisäämällä kohteeseen ilmalämpöpumppu alakertaan ja vaihtamalla osa termostaateista älykkäämpiin malleihin. Talon yläkertaa ei kohteessa juurikaan käytetä, joten vanhat patterit päädyttiin säätämään 15 asteeseen.

Kohteeseen tehdyt muutokset seurantajaksolla:

- ilmalämpöpumppu
- aikaohjattavat termostaatit kylpyhuoneeseen, keittiöön ja makuuhuoneeseen
- lämminvesivaraajan lämpötilan säätö

7.4.1 Lämmitysten ohjaus

Kohteeseen asennettiin projektin alussa ilmalämpöpumppu Mitsubishi Electric MSZ-LN35VGHZ, jonka tarkoitus on toimia alakerran ensisijaisena lämmityksenä. Ilmalämpöpumpun SCOP lämpökerroin on 5,1 ja suositeltu pinta-ala 25–140 neliötä. Sisäyksikkö asennettiin kohtaan, josta lämpö pääsee levittymään olohuoneen suureen tilaan, mutta ei sijaitse liian lähellä paikkoja, joissa istutaan paljon. Asukkaille oli tärkeää, ettei puhallusta tunnu oleskeltavissa tiloissa.

Lämmityskautena ilmalämpöpumppu asetettiin 22 asteeseen ja termostaattien lämpötilaa laskettiin alaspäin.

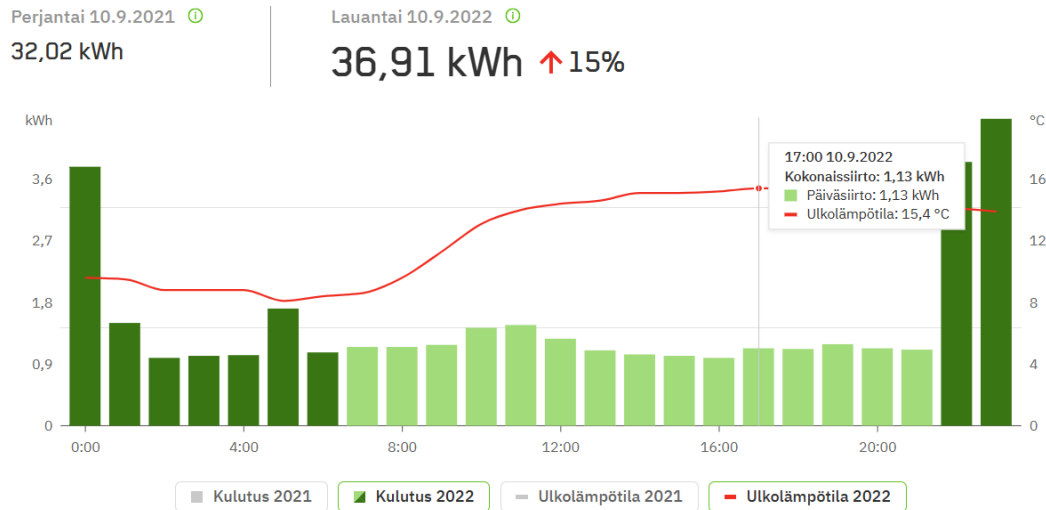
Kohteeseen päädyttiin vaihtamaan älykkäämmät aikaohjattavat termostaatit keittiöön, pesuhuoneeseen ja alakerran makuuhuoneeseen. Makuuhuoneessa ja pesutiloissa säädettiin aikaohjelmat tilojen käytön mukaan, jolloin lämpötilaa lähdetään nostamaan tuntia ennen oletettua käyttöä 22 asteeseen ja laskemaan taas eco-tilaan 19 astetta kun tilassa ei oleskella. Keittiön osalta haluttiin päästä tarkkaan lämpötilan säätöön, koska tila on suuri ja lattiamateriaali laatta. Vanha lattialämmitystermostaatti säätöasteikolla 1–6, todettiin liian epätarkaksi. Sähköpatterit säädettiin 15 asteeseen tiloissa, joita ei juurikaan käytetä ja lämminvesivaraaja säädettiin 80 asteesta 55 asteeseen, joka riittää hyvin kahden henkilön tarpeisiin.

7.4.2 Energiakulutuksen seuranta

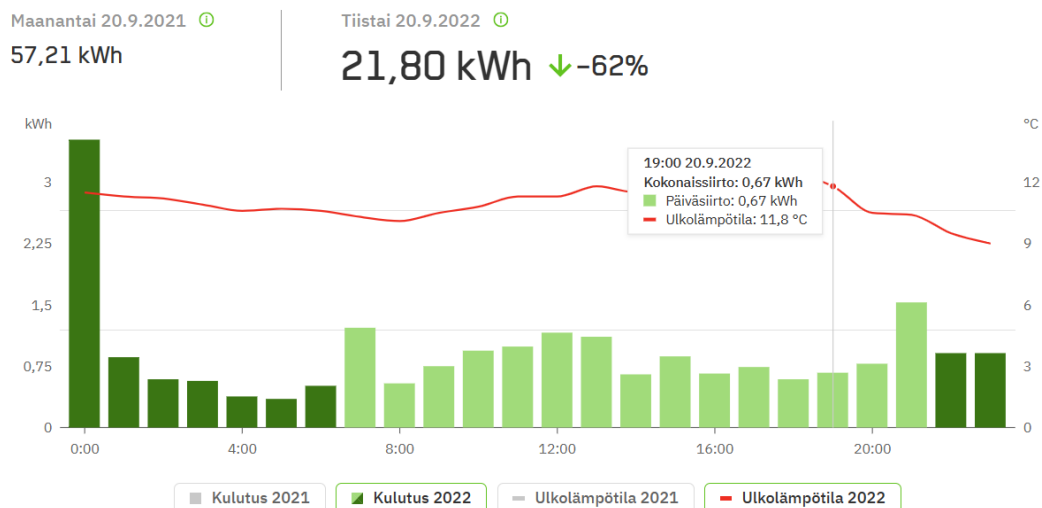
Kohdekiinteistössä tehtiin ilmalämpöpumpun asennus ja termostaattien vaihto heti seurantajakson alussa. Vuoden mittaiselta seurantajaksolta kiinteistön sähkönkulutus oli 15 813 kWh. Laskua edelliseen vuoteen saavutettiin 32,3 % eli 7 542 kWh.

Kulutustietoja tarkasteltiin verkkoyhtiön sovelluksesta muutama päivä ennen ja jälkeen termostaattien vaihtoa ja lämminvesivaraajan säätöä. Lattialämmitystermostaatin tarkemmalla säädöllä ja aikaohjauksilla todettiin saavutettavan merkittävää säästöä päiväkohtaisessa kulutuksessa. Kulutustietoja tarkasteltiin myös talvikaudelta ja pyrittiin vertaamaan edellisen vuoden ulkolämpötilaltaan vastaavaan päivään. Kuvissa 14–16 nähdään kohdekiinteistön kulutusgraafeja Carunan sovelluksesta otettuna.

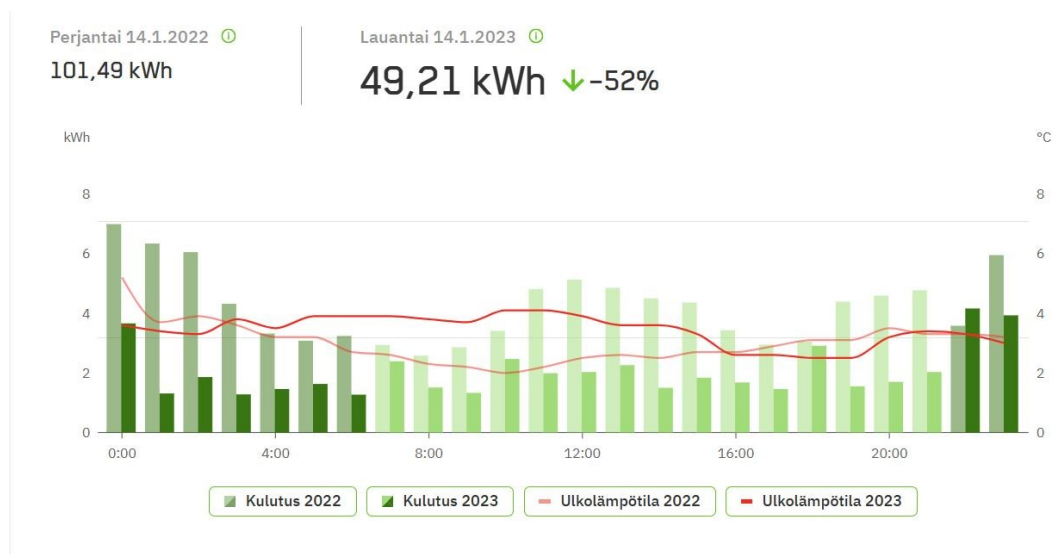
Kuva 14. Päiväkohtainen kulutus ennen termostaattien vaihtoa.



Kuva 15. Päiväkohtainen kulutus termostaattien vaihdon jälkeen.



Kuva 16. Kulutustiedot talvikaudella 2022 ja 2023.



7.4.3 Johtopäätökset

Ilmalämpöpumpun lisäämisellä kohteeseen päästiin laskemaan alakerran lattialämmitysten lämpötiloja alaspäin. Ilmalämpöpumpun toimiessa lämmityskaudella huomattavasti paremmalla hyötysuhteella saavutettiin merkittävää säästöä energiankulutuksessa. Termostaattien vaihdolla sekä aikaohjauksilla saavutettiin myös säästöä tiloissa, jotka eivät ole jatkuvassa käytössä. Kohteessa tehtyihin parannuksiin sijoitettiin n.2 600 €, josta työosuudesta 540 € asukkaat saavat kotitalousvähennyksen. Sijoituksen takaisinmaksuajaksi arvioitiin 3–4 vuotta.

Tässä kohteessa asukkaat eivät kokeneet mielekkääksi seurata aktiivisesti sähkön hintaa ja omaa kulutustaan. Sähkösopimus valittiin mieluiten kiinteähintaisena. Muutokset haluttiin kohtuullisella budjetilla sekä laitteiden käyttö mahdollisimman helpoksi ilman sovellusten käyttöä älylaitteilla.

7.5 Yhteenveto projektista

Kohdekiinteistö 3:ssa asukkaiden sähkönkulutuksen seuranta perustui vuosittaiseen kokonaiskulutuksen määrään, kun taas toisissa kohteissa kulutusta seurattiin aktiivisesti verkkoyhtiön sovelluksen kautta tai oman energiamittarin avulla. Tavoitteena kaikissa kohteissa oli

kuitenkin lämmitystoimintojen automatisointi ja helppo seuranta. Useiden eri sovellusten käyttö samanaikaisesti koettiin pidemmän päälle haastavaksi.

Projektin kaikissa kohdekiinteistöissä saavutettiin merkittävä pudotus sähkönkulutuksessa yhden vuoden seurantajaksolla. Kohteiden seuranta ajoittui ajankohtaan, jolloin sähkön hinta oli ennätyskorkealla. Sähkön korkea hinta ja edullisten sähkösopimusten päättyminen kannustivat säästämään omassa kulutuksessa. Jokaisessa kohteessa pyrittiin laskemaan myös sisälämpötilaa talvikaudella energian säästämiseksi. Puun poltolla kylmänä aikana oli myös merkittävä vaikutus kulutuksen laskuun, erityisesti kohteessa yksi.

Kohdekiinteistöjen kulutuksen seuranta perustui sähköyhtiön tai verkkoyhtiön sovelluksesta saataviin tietoihin kyseisen kohteen sähkönkulutuksesta. Kohteissa tehtiin useita samanaikaisia toimenpiteitä, joten yksittäisen muutoksen tarkkaa vaikutusta energiansäästöön ei voida määrittää. Toimenpiteiden vaikutuksia tarkasteltiin kuitenkin tiedossa olleen asennusajakohdan perusteella verraten päivä ja tuntikohtaisia kulutuksia ennen ja jälkeen asennuksen ja niiden perusteella pyrittiin määrittämään suuntaa antava arvio vaikutuksista. Kohteessa yksi tehtiin ryhmäkohtaista energianmittausta lattialämmitysryhmille ennen ja jälkeen lämmityksen ajastusta.

8 Pohdinta

Opinnäytetyön lähtökohtana oli löytää toimivia ratkaisuja pienikiinteistön energianhallintaan sekä sähkön käytön optimointiin. Projektissa mukana olleista kolmesta kohdekiinteistöistä saatiin kerättyä paljon tietoa eri toimenpiteiden vaikutuksista kulutukseen. Samalla saatiin tietoa, miten kohteiden käyttäjät seuraavat omaa sähkönkulutustaan. Mitä tarkemmin omaa kulutusta seurattiin sen parempi tietämys asukkailla, oli siitä mihin sähköä kuluu omassa kiinteistössä ja miten ajoittaa kulutusta edullisempaan hetkeen pörssisähköä käytettäessä.

Useimmilla verkkoyhtiöillä on nykyään käytössä hyvä sovellus sähkönkulutuksen seurantaan. Tiedot näkyvät käyttäjälle yleensä päivän viiveellä. Olisiko sovellusta mahdollista kehittää reaaliaikaisesti toimivaksi, jossa käyttäjä näkisi sen hetkisen osto- ja myyntisähkön? Myös

pörssisähkön hintatietojen yhdistäminen sovellukseen mahdollistaisi kokonaisvaltaisen seurannan yhden sovelluksen kautta. Monelle käyttäjälle on myös informatiivisempaa nähdä oma kulutus hintatietona.

Vaihtoehtoja kulutuksen ohjauksen ja energiahallinnan toteuttamiseen löytyy useilta eri valmistajilta ja palveluntarjoajilta. Valinnassa on hyvä huomioida asiakkaan oma osaaminen laitteiden käytössä. Ei ole mielekästä asentaa järjestelmää, jonka käyttöä asiakas ei hallitse. Myös laitteiden hallinta ja seuranta yhden sovelluksen kautta on huomattavasti helpompaa, kun käyttää päällekkäisiä sovelluksia.

Markkinoilla on tällä hetkellä tilaa palvelulle, jossa kartoitetaan kiinteistön sähkönkulutus, käydään läpi sen hetkinen lämmitysjärjestelmä sekä laitteet ja tehdään suunnitelma kulutuksen pienentämiseksi ja optimoimiseksi tehokkaammin. Kulutusjoustolla voidaan säästää energiakustannuksissa siirtämällä kulutusta edullisille tunneille ja tasoitetaan kulutuspiikkejä. Suunnitelmassa tulee ottaa huomioon käyttäjien osaaminen ja järkevä takaisinmaksuaika.

Sähkönhinnankehityksessä on nähtävissä tällä hetkellä suuria hinnan vaihteluja jopa yhden vuorokauden sisällä. Mikäli tulevaisuudessa tulee käyttöön tehoon perustuva maksukomponentti, tulee käytön optimoinnilla sekä kuormien jaksottamisella päälle eri aikaisesti olemaan entistä suurempi vaikutus kustannuksiin.

Lähteet

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA). (2023) *Energia-avustus henkilöasiakkaille*.

https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus/Henkiloasiakkaat

Aurinkokeräimet Oy. (2023). *Toimintaperiaate*.

<http://www.aurinkokeraimet.fi/fi/toimintaperiaate>

Bremer, F. K. (2017). *Kysyntäjousto kuluttajan näkökulmasta*. Demos Helsinki.

[Kysyntäjousto+kuluttajan+näkökulmasta.pdf \(tem.fi\)](#)

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (2023). *Harkitsetko*

lämmitysremonttia? Tuhansien eurojen avustus riittää vielä 12000 öljy- tai maakaasulämmityksen vaihtajalle.

[Harkitsetko lämmitysremonttia? Tuhansien eurojen avustus riittää vielä 12 000 öljy- tai maakaasulämmityksen vaihtajalle | ELY-keskukset \(sttinfo.fi\)](#)

Energiatehokas koti. (2020). *Poistoilmalämpöpumppu*.

[Poistoilmalämpöpumppu - Energiatehokas koti](#)

Fortum. (2017). *Virtuaalivoimalaitos: Fortum ja joukko kotitalousasiakkaita osallistuvat yhdessä sähköjärjestelmän tehotasapainon ylläpitoon*.

[Virtuaalivoimalaitos: Fortum ja joukko kotitalousasiakkaita osallistuvat yhdessä sähköjärjestelmän tehotasapainon ylläpitoon | Fortum](#)

Harsia, P., Järventausta, P., Hilden, A., Kallioharju, K., Kortetmäki, A., Koskela, J., Mutanen, A., Rautiainen, A., Supponen, A & Heljo, J. (2019). *Sähkötehojen hallinta osana rakennuksen energiatehokkuutta*. Tampereen Yliopisto.

<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/117897/978-952-03-1078-3.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Kodin vihreä energia Oy. (n.d.). *Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön.*

https://www.motiva.fi/files/6010/Joka_miehen_opas_pientuulivoiman_kayttoon.pdf

LUT University. (2022). *Tehoperusteinen siirtohinnoittelu voi mahdollistaa sähköverkon tehokkaan hyödyntämisen.*

[Tehoperusteinen siirtohinnoittelu voi mahdollistaa sähköverkon tehokkaan hyödyntämisen | LUT-yliopisto](#)

Lämpöpartio. (n.d.). *Ilma-vesilämpöpumpun toiminta - mikä se on ja miten se toimii?*

<https://lampopartio.fi/blogi/miten-ilma-vesilampopumppu-toimii-lue/>

LämpöYkkönen. (2022). *Ilma-vesilämpöpumppu: 20 usein kysyttyä kysymystä.*

<https://lampoykkonen.fi/artikkelit/ilma-vesi-lampopumppu-usein-kysytyt-kysymykset/>

Motiva. (2022-a). *Ilmalämpöpumppu (ILP).*

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilmalampopumppu

Motiva. (2022-b). *Maalämpöpumppu (MLP).*

[Maalämpöpumppu, MLP - Motiva](#)

Motiva. (2022-c). *Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä.*

[Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä - Motiva](#)

Motiva. (2023-a). *Elvari-ohjelmassa julkaistut aineistot. Jälkiasennetun ilmalämpöpumpun vaikutus energiankäyttöön*

[Microsoft Word - ILP_kulutusseuranta_23.12.2009_taitto.doc \(motiva.fi\)](#)

Motiva. (2023-b). *Ylijäämä sähköön myynti.*

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti

Motiva. (n.d.). *Auringosta lämpöä ja sähköä*.

https://www.motiva.fi/files/13518/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_2016.pdf

Scanoffice. (n.d.). *Ilmalämpöpumppujen vertailu*.

[Ilmalämpöpumppujen vertailu | Ilmalämpöpumppu-opas | Scanoffice](#)

Suomen Tuulivoimayhdistys. (n.d.). *Yleistä pientuulivoimasta*.

[Yleistä pientuulivoimasta - Suomen Tuulivoimayhdistys](#)

Sähkötieto ry. (2021). *Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus*. ST-käsikirja 40.

Sähkötieto ry. (2019). *Sähköautot ja latausjärjestelmät*. ST-käsikirja 41.

Themo. (2022). *Älykäs Themo. Älytermostaatti säästää sähköä*

<https://www.themo.io/fi/themo-alytermostaatti>

Thermia. (n.d.). *Maalämmön toimintaperiaate*.

<https://www.thermia.fi/maalampo/maalampo1/miten-maalampo-toimii/>

Tilastokeskus. (2022-a). *Energian hankinta ja kulutus*.

<https://www.stat.fi/julkaisu/cl1p3puxx03j90cum3pwy2k5>

Tilastokeskus. (2022-b). *Energian hinnat*. Pohjoismaisen pörssisähkön kuukausihinta kohosi ennätyskorkealle vuoden 2021 viimeisellä neljänneksellä.

http://www.stat.fi/til/ehi/2021/04/ehi_2021_04_2022-03-10_tie_001_fi.html

Vattenfall. (n.d.-a). *Kodin sähkönkulutus*.

<https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/sahkonkulutus/>

Vattenfall. (n.d.-b). *Ilmalämpöpumpun käyttö.*

<https://www.vattenfall.fi/asiakaspalvelu/ilmalampopumput/ilmalampopumpun-kaytto/>

Virta. (2019). *Termit haltuun: Kaksisuuntainen lataus ja Vehicle-to-Grid.*

<https://www.virta.global/fi/blogi/kaksisuuntainen-lataus-ja-v2g>