AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KÄYTÖN KEHITTÄMINEN OMAKOTITALOSSA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan kandidaatintyö

2024

Topias Pökkönen

Tarkastaja: Professori Tapio Ranta

Ohjaajat: DI Antti Karhunen ja DI Mika Laihanen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energiajärjestelmien tiedekunta

Energiatekniikka

Topias Pökkönen

Aurinkosähköjärjestelmän käytön kehittäminen omakotitalossa

Energiatekniikan kandidaatintyö

2024

30 sivua, 5 kuvaa ja 2 taulukkoa

Tarkastaja: Professori Tapio Ranta

Ohjaajat: DI Antti Karhunen ja DI Mika Laihanen

Avainsanat: aurinkoenergia, aurinkosähköjärjestelmä, energiavarasto, kannattavuus, pientuotanto, sähköauto

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää omakotitalon aurinkosähköjärjestelmän kehittämiselle vaihtoehtoja. Lisäksi työssä arvioidaan tarkasteltavan kohteen aurinkosähköjärjestelmän, sekä kehittämisvaihtoehtojen kannattavuutta. Työssä tarkasteltava kohde on vuonna 2004 valmistunut varaavalla sähkölämmityksellä varustettu omakotitalokiinteistö Varsinais-Suomessa. Kiinteistössä on 7,9 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmä, joka on ollut yli vuoden toiminnassa.

Työn alussa käydään läpi teoriaa aurinkosähköjärjestelmistä, sekä aurinkosähkön hyödyntämisestä kiinteistössä. Investointien kannattavuuksia arvioidaan korollisen ja korottoman takaisinmaksuajan avulla. Kannattavuuksien laskennassa käytetään järjestelmän käytöstä ensimmäisen 12 kuukauden aikana kertynyttä dataa, sekä sähkön spot-hintojen kuukausittaisia keskiarvoja.

Tarkasteltavan kohteen aurinkosähköjärjestelmä osoittautui ensimmäisen 12 kuukauden perusteella kannattavaksi 10,5 vuoden korollisella takaisinmaksuajalla. Mikään aurinkosähköjärjestelmän kehittämisen vaihtoehdoista ei kuitenkaan vaikuttanut kannattavalta investoinnilta, joskin talon lämminvesivaraajan uusimisella olisi mahdollista kasvattaa aurinkosähköjärjestelmän omakäyttöastetta nykyisestä 48 %:sta. Varaajan lähestyessä elinkaarensa loppua, sen uusimisessa kannattaa ottaa aurinkosähköjärjestelmä huomioon.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Energy Technology

Topias Pökkönen

Development of solar energy system usage in a detached house

Bachelor's thesis

2024

30 pages, 5 figures and 2 tables

Examiner: Professor Tapio Ranta

Supervisors: M.Sc. Antti Karhunen and M.Sc. Mika Laihanen

Keywords: solar energy, solar power system, energy storage, profitability, small-scale production, electric vehicle

The objective of this bachelor's thesis is to explore the alternatives for developing a solar energy system in a detached house. Additionally, the thesis evaluates the profitability of the existing solar energy system and the proposed improvement alternatives for the usage development. The object under consideration is a detached house property in Southwest Finland, equipped with an electric heating system and built in 2004. The property features a 7.9 kW_p solar energy system that has been operational for over a year.

The thesis begins with a theoretical overview of solar power systems and their utilization in properties. The profitability of investments is evaluated using both interest-bearing and interest-free payback periods. The profitability calculations are based on data collected during the first 12 months of system operation and the monthly average spot prices of electricity.

Based on the first 12 months of data, the solar energy system proved to be profitable with an interest-bearing payback period of 10.5 years. However, none of the proposed alternatives for developing the solar energy system appeared to be profitable investments. Nonetheless, replacing the house's hot water storage tank could increase the system's self-consumption rate from the current 48%. As the tank approaches the end of its lifecycle, its replacement should consider the solar energy system.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

E	sähköenergia	kWh
h	hinta	€/kWh
I	investointi	€
K	omakäyttöaste	%
P	sähköteho	W, kW
S	säästö	€/a

Alaindeksit

a	akku
alv	arvonlisävero
i	korollinen
k	koroton
kk	kuukausi
o	omakäyttö
p	huippu
s	sähkö
spot	sähkön markkinahinta
t	tuotto
y	ylijäämä

Lyhenteet

TMA	takaisinmaksuaika
V2G	vehicle-to-grid

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Symboli- ja lyhenneluettelo

1 Johdanto ... 7
2 Aurinkosähköjärjestelmät ... 8
2.1 Aurinkopaneelit ... 8
2.2 Sähköjärjestelmän hyödyntäminen ... 9
3 Tarkasteltava kohde ... 11
3.1 Esittely ... 11
3.2 Aurinkovoimalan hankinnan tausta ja odotukset ... 12
3.3 Aurinkovoimalan tuotanto ja omakäyttöaste ... 13
3.4 Aurinkovoimalan kannattavuus ... 15
4 Kehittämisen vaihtoehdot ... 19
4.1 Fyysinen akkujärjestelmä ... 19
4.1.1 Toiminta ... 20
4.1.2 Kannattavuus ... 20
4.2 Sähköauto ... 22
4.2.1 Toiminta ... 22
4.2.2 Kannattavuus ... 23
4.3 Lämminvesivaraaja ... 23
4.3.1 Toiminta ... 24
4.3.2 Kannattavuus ... 24
5 Johtopäätökset ... 27
Lähteet ... 29

1 Johdanto

Aurinkovoimaloiden suosio Suomessa on kasvanut viime vuosina mm. nousseen sähkön hinnan seurauksena. Aurinkovoimalan hankkiminen on myös yksityisille ihmisille mahdollisuus vaikuttaa sähkönsä alkuperään. Uusiutuvana energialähteenä aurinkosähkön tuottaminen ei vähennä maapallon energiavaroja ja saattaa olla tulevaisuudessa tärkeässä roolissa fossiilisten päästöjen vähentämisessä. Pientuottaja säästää sähkölaskussa omaan käyttöön menneen, itse tuotetun aurinkosähkön verran, mutta ylijäämäsähkön myyminen verkkoon tuo myös myyntituloja säästön lisäksi. Tämän työn tarkasteltavan kohteen tapauksessa suurin osa tuotetusta sähköstä vuoden aikana menee sähköverkkoon myytäväksi, mikä ei ole optimaalinen tilanne voimalan kannattavuuden näkökulmasta. Työssä pyritään löytämään ongelmaan kannattavia ratkaisuja.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää vaihtoehtoja sähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kehittämiseksi, sekä arvioida niiden kannattavuutta. Järjestelmä, jonka kannattavuutta on arvioitu, sijaitsee omakotitalokiinteistössä Varsinais-Suomessa. Kohteen aurinkovoimala on ollut yli vuoden ajan toiminnassa, joten kertyneen datan pohjalta voidaan arvioida eri vaihtoehtoja järjestelmän kehittämiseksi. Tässä työssä pohditaan aurinkosähköjärjestelmän kehittämistä akuston, sähköauton ja lämminvesivaraajan avulla. Vaihtoehdoissa laskelmat perustuvat kaupallisesti saatavilla oleviin tuotteisiin ja työn tulokset ovat sovellettavissa muihinkin kohteisiin.

2 Aurinkosähköjärjestelmät

Tämä kappale käsittelee aurinkosähköjärjestelmien komponentteja, niiden toimintaa, sekä erityispiirteitä sähkön kulutuksen näkökulmasta.

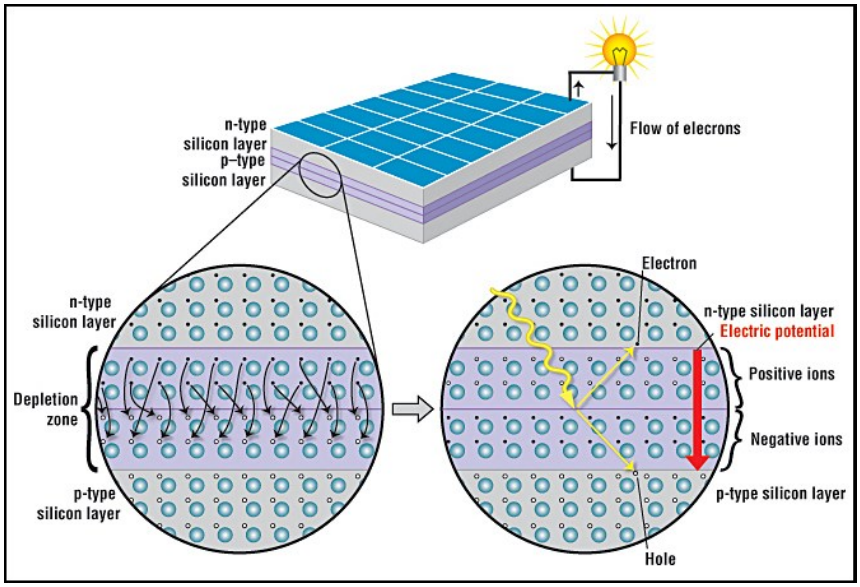
2.1 Aurinkopaneelit

Aurinkovoimalaitoksen energiantuotanto perustuu sähkön tuottamiseen auringon säteilyenergiasta valosähköisen ilmiön avulla. Säteily muutetaan sähköksi pienemmistä aurinkokennoista koostuvissa aurinkopaneeleissa. Aurinkokennot valmistetaan puolijohteista, joista yleisin n. 95 % osuudella on pii (U.S. Solar Energy Technologies Office, a).

Kennot koostuvat kahdesta erityyppisestä puolijohteesta, p- ja n- tyypin (esimerkiksi piistä). P-tyypin puolijohde valmistetaan lisäämällä siihen eri alkuaineiden atomeja, joissa on yksi elektroni vähemmän kuin puolijohteen alkuaineessa. Tämä elektronin vajaus estää atomeita muodostamasta sidoksia ympäröivien puolijohteen atomien kanssa ja näin p-tyypin puolijohteeseen jää elektroniaukkoja. (American Chemical Society, 2014)

N-tyypin puolijohteeseen taas lisätään yhden elektronin puolijohdetta enemmän omaavia atomeja. Nämä atomit muodostavat siteitä puolijohteen kanssa, mutta jokaisesta atomista jää elektroni ylimääräiseksi ja elektronit kykenevät liikkumaan vapaasti aineessa. (American Chemical Society, 2014)

Aurinkokennossa p- ja n-tyypin puolijohteista on tehty kerrokset, joista n-kerros on päällimmäisenä. Kuvasta 1 nähdään, miten aineiden rajapintaan muodostuu sulkukerros. Sulkukerroksen sisällä n-tyypin puolijohteen ylimääräiset elektronit täyttävät p-tyypin puolijohteen elektroniaukot. Sulkukerroksessa ionit ovat siis päinvastoin varautuneita ulompana sijaitseviin p- ja n- kerroksiin nähden muodostaen sähkökentän, joka estää n-kerroksen elektroneja täyttämästä loput p-kerroksen aukot. (American Chemical Society, 2014)



Kuva 1. Aurinkokennon rakenne havainnollistettuna atomitasolla. (American Chemical Society, 2014)

Auringon paistaessa kennoon, siirtyvät elektronit n-kerrokseen kennon pintaa kohti muodostaen potentiaalieron kerrosten välille. P- ja n-kerros toimivat siis auringonpaisteessa kuten akun positiivinen ja negatiivinen napa, jotka voidaan yhdistää virtapiiriin. Aurinkokennot on usein kytketty aurinkopaneelissa keskenään sarjaan, mikä summaa niiden muodostamat potentiaalierot. (U.S. Energy Information Administration, 2023)

Yhden aurinkopaneelin teho on yleisesti n. 300–400 W ja tuottama jännite muutamia kymmeniä voltteja. Kaupallisesti saatavilla olevien aurinkopaneelien hyötysuhde taas lähestyy 25 %:a (U.S. Energy Information Administration, 2023) elinkaaren ollessa n. 25 vuotta (U.S. Solar Energy Technologies Office, b). Aurinkopaneelit voidaan kytkeä järjestelmässä sarjaan tai rinnan halutusta jännitteestä ja virrasta riippuen (Motiva, 2024a).

2.2 Sähköjärjestelmän hyödyntäminen

Aurinkosähköjärjestelmiä on karkeasti kahdenlaisia. Sähköverkkoon kytkettyjä eli on-grid-järjestelmiä, sekä verkon ulkopuolisia eli off-grid-järjestelmiä. Kaikkiin on-grid-järjestelmiin sisältyy invertteri eli vaihtosuuntaaja, sillä paneelien tuottama tasavirta on muutettava verkkoon sopivaksi vaihtovirraksi. Off-grid-järjestelmä ei välttämättä vaadi invertteriä, mutta haluttaessa käyttää verkkovirralla toimivia sähkölaitteita, sellainen tarvitaan. (Motiva, 2024a)

Useissa vähintään kilowattien tehoisissa aurinkovoimaloissa tulee tuottoisimpina tunteina tilanteita, joissa kaikkea tuotettua sähköä ei saada itse kulutettua. Sähköverkkoon kytketyissä järjestelmissä ylijäämä myydään yleensä sähköyhtiölle. Sähkön myyminen ja syöttäminen verkkoon vaatii sekä voimassa olevan sopimuksen myymisestä, että kaksisuuntaisen sähkömittarin. Jakeluverkkoyhtiö seuraa sähköverkkoon syötettyä sähköä tunneittain ja maksu tai sähkölaskun hyvitys pientuottajalle perustuu mittarin lukemiin. (Motiva, 2024b)

Sähköä sähköverkosta ostettaessa sähköenergian hinta on vain osa todellisia kustannuksia. Hinnan lisäksi sähköstä maksetaan veroja valtiolle, sekä siirtomaksuja jakeluverkkoyhtiölle. (kuva 2)

Kuva 2. Sähkön ostokustannusten ja myynnistä saatavan hyvityksen ero havainnollistettuna. (Motiva, 2024b)

Ylijäämäsähköä myydessään taas pientuottaja saa ainoastaan sähkön Spot-hinnan mukaisen korvauksen, joka on usein murto-osa ostetun sähkön kustannuksesta. Sähkön pientuottajana kannattavinta onkin pyrkiä käyttämään mahdollisimman suuri osa itse tuotetusta sähköstä. (Motiva, 2024b)

3 Tarkasteltava kohde

Tässä kappaleessa esitellään työssä tarkasteltava kohde aurinkosähköjärjestelmineen, sekä arvioidaan investoinnin kannattavuutta.

3.1 Esittely

Tarkasteltava kohde on kaksikerroksinen 2000-luvun alussa rakennettu sähkölämmitteinen omakotitalo Varsinais-Suomessa. Kohteeseen kuuluu autotalli, jonka katolla on yhteensä 7,9 kW_p:n edestä aurinkopaneeleita (Kuva 3). Järjestelmän invertteri on Huawei Sun2000. Kohteen aurinkosähköjärjestelmä on otettu käyttöön syyskuussa 2022.

Kuva 3. Tarkasteltavan kohteen aurinkopaneelit.

Kiinteistön lämmitys on toteutettu vesikiertoisella sähkölämmityksellä, jossa sähkövastukset lämmittävät lämminvesivaraajaa. Järjestelmään kuuluu myös Nibe Fighter 310P -poistoilmalämpöpumppu, joka ottaa lämpöenergiaa talteen kiinteistön poistoilmasta ja lämmittää sillä varaajaa. Varaajan vesi kiertää talon alakerran pattereissa lämmittäen huo-

neet. Myös talon lämmin käyttövesi lämmitetään samassa lämminvesivaraajassa. Yläkerran huoneet lämmitetään kolmella sähköpattereilla ja kahdessa huoneessa on lisäksi sähköinen lattialämmitys. Kiinteistön pinta-ala on 165 m^2 ja vuotuinen sähkönkulutus on n. 19,5 MWh, josta suuri osa kuluu talvipainotteisesti (Taulukko 1)

Taulukko 1. Sähkön tunnusluvut tarkasteltavassa kohteessa 12 kuukauden ajalta marraskuusta 2022 lokakuuhun 2023.

	Sähköenergia *E* [kWh]
Sähkön kokonaiskulutus	19 462
Ostettu sähkö	16 081
Sähkön kokonaistuotanto	6 909
Myyty sähkö	3 528
Itse käytetty omatuotanto	3 381

Kuvasta 4 nähdään sähkön kulutuksen olevan talvikuukausina jopa 150 % kesäkuukausia suurempi. Koska talon sähkölaitteiden ja kuuman veden käyttö pysyy lähes samanlaisena ympäri vuoden, voidaan päätellä suurimman osan talvikuukausien sähkönkulutuksesta kuluvan lämmitykseen.

3.2 Aurinkovoimalan hankinnan tausta ja odotukset

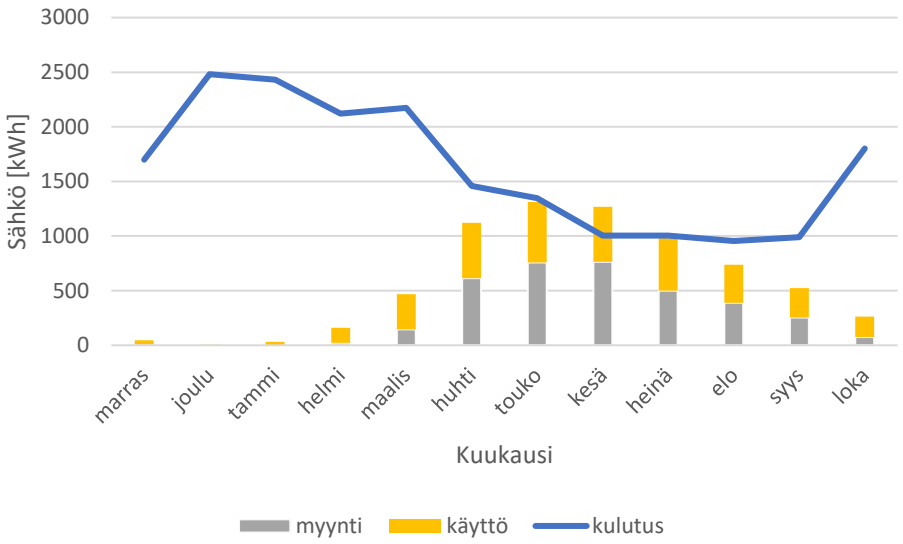
Kohdekiinteistön omistajien motiivi aurinkovoimalan rakentamiseen oli ensisijaisesti taloudellinen hyöty. Tavoitteena oli saada sähkön vuotuisia hankintakustannuksia leikattua ja voimala maksamaan itsensä takaisin pitkällä aikavälillä. Myös itse tuotetun sähkön ympäristöystävällisyys vaikutti päätökseen. Koska järjestelmän asennus oli mahdollista tehdä talkootyönä ja kustannuksia aiheuttivat ainoastaan voimalan osat, arvioitiin investointi karkeasti ottaen kannattavaksi.

Aurinkopaneelien sijoituspaikaksi valikoitui autotallin katon etelänpuoleinen lape. Siihen aurinko paistaa kattopinnoista eniten ja kulma on sopiva. Aurinkovoimala on ensimmäisen käyttövuotensa aikana lunastanut ennakko-odotukset. Kaikki on toiminut teknisesti ja ostetun sähkön määrä on vähentynyt aikaisempaan nähden (Taulukko 1). Voimala on vaikutta-

nut myös sähkön kulutustottumuksiin, sillä kulutusta on yritetty mahdollisuuksien mukaan ajoittaa aurinkoisille tunneille.

3.3 Aurinkovoimalan tuotanto ja omakäyttöaste

Aurinkosähkön tuotanto painottuu kesään, kevääseen ja syksyyn (Kuva 4). Toukokuusta heinäkuuhun aurinkosähkön kuukausikohtainen tuotanto ylittää sähkön kulutuksen. Näinä kuukausina olisi mahdollista olla omavarainen sähkön suhteen, jos kulutusta vastaava määrä aurinkosähköä saataisiin itse käytettyä.



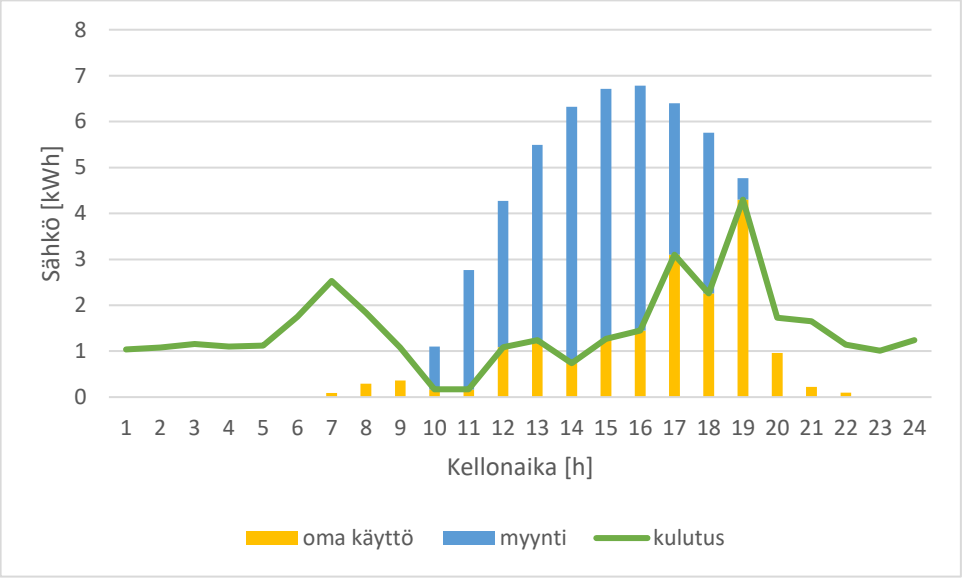
Kuva 4. Tarkasteltavan kohteen kuukausittainen sähköntuotanto jaettuna omaan käyttöön ja myyntiin, sekä sähkönkulutus marraskuusta 2022 lokakuuhun 2023.

Kuvasta 4 nähdään myös myydyn sähkön osuuden olevan omaa käyttöä suurempi huhtikuusta elokuuhun. Taulukossa 1 on esitetty myydyn sähkön määrän ylittävän itse käytetyn sähkön määrän myös koko 12 kuukauden tarkastelujaksolla. Tätä käytön ja myynnin välistä suhdetta voidaan kuvata omakäyttöasteella kaavalla:

$$K = \frac{E_o}{E_t} \tag{1}$$

jossa K on omakäyttöaste (%), E_o on itse tuotetun aurinkosähkön oma kulutus 12 kk aikana (kWh/a) ja E_t on aurinkovoimalan 12 kk kokonaistuotanto (kWh/a). Vuoden tarkastelujaksolla voimalan omakäyttöasteeksi saadaan 48 %.

Kuvassa 5 on esitetty kohteen sähkön kulutus, sekä itse käytettävä ja myytävä aurinkosähkö esitettynä tunneittain aurinkoisena esimerkkipäivänä.



Kuva 5. Tarkasteltavan kohteen sähkön kulutus, sekä myyty ja itse käytetty aurinkosähkö tunneittain 12.5.2023.

Kyseisenä päivänä kokonaissähkönkulutus oli 35 kWh ja kokonaistuotanto 52 kWh, joten tuotetun aurinkosähkön määrä oli selvästi kulutusta suurempi. Itse käytetyn aurinkosähkön määrä esimerkkipäivänä oli 18 kWh ja ostetun sähkön 17 kWh. Suuresta päivän tuotantomäärästä huolimatta lähes puolet kiinteistössä kulutetusta sähköstä oli verkosta ostettua. Kuten kuvasta 5 nähdään, toukokuun puolivälissä tarkasteltavassa kohteessa merkittävää sähkön tuotantoa on saatavissa alle 12 tuntina vuorokaudessa. Sähköä kuluu kuitenkin myös ei tuottavina tunteina läpi yön. Lisäksi kuvassa erottuva aamun kulutuspiikki ei osu tuottaville tunneille, mikä osaltaan kasvattaa ostetun sähkön osuutta.

Kuvasta 5 nähdään myös myydyn sähkön määrän olevan erityisen suuri keskipäivän tunteina, jolloin kulutus on vähäistä ja tuotanto moninkertaista kulutukseen nähden. Sähkön myyminen ei ole yhtä kannattavaa, kuin sen itse käyttäminen, joten kannattavuuden paran-

tamisen kannalta olisi tärkeää pienentää myytävän sähkön osuutta. Se onnistuu joko siirtämällä kulutusta voimalan tuottoisille tunneille tai varastoimalla sähköä myöhemmin käytettäväksi. Koska voimalan omakäyttöaste on tällä hetkellä alle 50 %, potentiaalia kannattavuuden kehittämiseen on olemassa.

Vaihtelua tuotantolukuihin aiheuttavat myös säätilan muutokset. Kuvan 5 esimerkin kaltaisina aurinkoisina toukokuun päivinä sähköntuotantoa on päivässä yli 50 kWh, mikä ylittää selvästi päivän sähkönkulutuksen. Vuodessa on kuitenkin runsaasti myös sateisia ja pilvisiä päiviä kuten neljä päivää myöhemmin 16.5.2023, jolloin tuotantoa tuli vain 7 kWh. Koska tuotettu sähköenergia ei jakaudu tasaisesti eri päiville, vaan sitä tulee yhtenä päivänä reilusti yli ja toisena reilusti alle kulutuksen, kulutuksen ohjaaminen kokonaan tuottaville tunneille ei ole käytännössä mahdollista.

3.4 Aurinkovoimalan kannattavuus

Voimalan kannattavuutta mitataan rahassa, joten laskentaan tarvitaan ostetun sähkön hinta. Sähköverkosta ostetun sähkön kustannukset koostuvat kolmesta osasta: Sähköenergian hinnasta, siirtomaksusta ja sähköverosta. Sähköenergian hintaan ja siirtomaksuun lisätään myös arvonlisävero (Energiateollisuus). Koska vuosittain sähköenergian spot-hinnassa tapahtuu suuria muutoksia ja se on talvisin keskimäärin merkittävästi kesää kalliimpaa, ei koko vuoden keskiarvoa kannata käyttää laskennassa. Riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi, käytetään laskennassa ostetun sähköenergian hintana tarkastelujakson sähkön spot-hintojen kuukausittaisia verollisia keskiarvoja (taulukko 2).

Taulukko 2. Sähkön spot-hintojen kuukausittaiset keskiarvot Suomessa tarkastelujakson aikana. (Omavoima, 2024)

Kuukausi	Sähkön veroton hinta $h_{spot,kk}$ [snt/kWh]	Sähkön verollinen hinta $h_{spot,kk,alv}$ [snt/kWh]
marraskuu 2022	19,514	24,195
joulukuu	24,633	27,096
tammikuu 2023	7,867	8,654
helmikuu	8,019	8,821
maaliskuu	7,416	8,158
huhtikuu	6,055	6,661
toukokuu	2,665	3,305
kesäkuu	4,332	5,372
heinäkuu	3,294	4,085
elokuu	6,635	8,227
syyskuu	3,294	4,085
lokakuu	3,763	4,666

Laskennassa ei huomioida toistuvia perusmaksuja. Aurinkosähköjärjestelmän tuotantoarvot on poimittu manuaalisesti järjestelmän mobiilisovelluksesta. Kaikki laskennassa käytettävät vuorokautiset aurinkosähkön kulutus- ja myyntitilastot perustuvat tuntikohtaiseen dataan.

Sähkön jakeluverkkoyhtiötä ei voi vaihtaa, joten käytetään paikallista siirtohintaa, joka on 5,07 snt/kWh (sis. alv) (Caruna, 2023). Sähköveron suuruus on 2,79372 snt/kWh (Caruna, 2021). Kuukausittaisia perusmaksuja ei oteta laskennassa huomioon, sillä ne pysyvät kiinteinä käytöstä riippumatta. Sähkön hinta lasketaan kaavalla:

$$h_s = \left(h_{\mathrm{spot,kk,alv}} + 5{,}07 + 2{,}79\right) \tag{2}$$

jossa h_s on sähkön hinta (€/kWh) ja $h_{\mathrm{spot,kk,alv}}$ on sähkön kuukauden verollinen keskihinta (€/kWh). Edellä mainituilla sähkön hinnoilla tarkasteltavan kohteen tarkastelujakson sähkökustannus ilman aurinkovoimalaa olisi 3628 €. Vuotuisesta sähkökustannuksesta puuttuvat sähköenergian ja -siirron kuukausikohtaiset perusmaksut.

12 kuukauden tarkastelujaksolla aurinkovoimalan omakäyttösähköstä muodostuva säästö lasketaan kaavalla:

$$S_o = h_s \cdot E_o \tag{3}$$

jossa S_o on voimalan tuottamasta ja itse käytetystä sähköstä 12 kk:ssa saavutettava säästö (€/a). Omakäyttösähköstä saatava säästö on 465 €/a. Myydystä ylijäämäsähköstä saatu korvaus maksetaan sähkön verottoman spot-hinnan mukaan. Pääasiassa kesällä tuottavan aurinkovoimalan tapauksessa kuukausittaisilla spot-hinnan keskiarvoilla päästään riittävään tarkkuuteen. Kuukausittaiset verottomat keskihinnat löytyvät taulukosta 2.

Ylijäämäsähkön myynnistä saatu säästö lasketaan kaavalla:

$$S_y = E_y \cdot h_{spot,kk} \tag{4}$$

jossa S_y on 12 kk tarkastelujaksolla ylijäämäsähkön myynnistä saatu säästö (€/a), E_y on aurinkovoimalan tarkastelujakson myyty ylijäämäsähkö (kWh/a) ja $h_{spot,kk}$ on sähkön kuluttajahinnan keskiarvo kuukausittain. Saatu säästö on 158 €/a.

Koko tarkasteluaikana yhteenlaskettu säästö omasta kulutuksesta ja ylijäämäsähkön myynnistä saadaan kaavasta:

$$S_t = S_o + S_y \tag{5}$$

jossa S_t on tarkastelujakson yhteenlaskettu nettotuotto (€/a). Tuotto tarkastelujaksolla on 622 €/a.

Investointien kannattavuutta arvioitaessa yleisesti käytetty menetelmä on takaisinmaksuajan menetelmä. Takaisinmaksuaika kuvaa montako vuotta investoinnilta kestää tuottaa sen hankintamenon verran pääomaa. Oletetaan aurinkovoimalan tuoton olevan joka vuosi samansuuruinen. Koroton takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla:

$$TMA_k = \frac{I}{S_t} \tag{6}$$

jossa TMA_k on koroton takaisinmaksuaika (a), I on investoinnin hankintameno (€) ja S_t on aurinkovoimalan 12 kk:n nettotuotto (€/a). Koska aurinkopaneelien elinikä on n. 25 vuotta, takaisinmaksuajan tulisi olla tätä lyhyempi, jotta hankinta olisi kannattava. Korottomaksi takaisinmaksuajaksi 5000 € investoinnilla saadaan 8 a, mikä tekee investoinnista kannatta-

van sen oletetun elinkaaren aikana. Tähän vaikuttaa oleellisesti alhainen investointikustannus, joka on aurinkovoimalan itse toteutetun asennuksen ansiota.

Korollinen takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla:

$$TMA_i = \frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{l}{S_t}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)} \tag{7}$$

jossa TMA_i on korollinen takaisinmaksuaika (a) ja i on korkokanta (%), Korolliseksi takaisinmaksuajaksi 5 % korkokannalla ja 5000 € investoinnilla saadaan 10,5 a. Korollinen takaisinmaksuaika on 2,5 vuotta korotonta pidempi, mutta 25 a oletetulla elinkaarella investointi on edelleen selvästi kannattava.

4 Kehittämisen vaihtoehdot

Tässä kappaleessa käsitellään erilaisia aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden kehittämisvaihtoehtoja. Ratkaisuista esitellään kaupalliset tuotteet ja arvioidaan niiden kannattavuutta investointina.

4.1 Fyysinen akkujärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden parantamisessa olennainen tekijä on sähköverkkoon myydystä sähköstä saadun korvauksen pienuus verrattuna säästöön, joka saadaan käytettäessä itse aurinkosähköä. Kannattavuutta olisi siis mahdollista parantaa huomattavasti omakäyttöastetta parantamalla. Koska kiinteistön sähkönkulutuksen ajoittaminen aurinkoisille tunneille on tarkasteltavassa kohteessa melko rajattua, olisi aurinkosähkön varastointi myöhempää käyttöä varten yksi mahdollisuus lisätä itse käytetyn sähkön määrää ja vähentää verkosta ostettua. Tavoitteena olisi sähkön myymisen sijasta ladata akkua omasta kulutuksesta yli jäävällä aurinkosähköllä ja käyttää akun sähköä illalla ja yöllä, kun voimala ei tuota mitään.

Sähkön varastoiminen myöhemmin käytettäväksi onnistuu yksityisen kiinteistön tapauksessa kemialliseksi energiaksi akkuihin. Akku mahdollistaa varauksen purkamisen sähköenergiana juuri käyttäjän haluamalla hetkellä (U.S. Solar Energy Technologies Office). Akkujen käytössä osana aurinkosähköjärjestelmää on huomioitava kapasiteetti. Monet markkinoilla olevat akkujärjestelmät ovat kapasiteetiltaan alle 10 kWh, mikä tarkoittaisi kuvan 5 esimerkkipäivän kohdalla kapasiteetin kattavan hieman yli puolet vuorokauden ostetusta sähköstä ja noin kolmasosan myydystä sähköstä. Tarkasteltavan kohteen kulutus- ja tuotantolukemilla edellä mainitun kokoisella akulla ei päästä vuorokaudenkaan mittaiseen sähköomavaraisuuteen edes kesäkuukausina. Investoinnin kannattavuuteen vaikuttavat kuitenkin akun hankintakustannukset ja siitä saatu säästö.

4.1.1 Toiminta

Aurinkosähkön varastoimiseen käytettävät akut vastaavat toimintaperiaatteeltaan matkapuhelinten ja tietokoneiden akkuja. Akut koostuvat kahdesta elektrodista eli katodista ja anodista, sekä niiden välissä olevasta elektrolyytistä. Akun navat virtapiiriin kytkettäessä anodilla tapahtuu hapettumista ja se varautuu negatiivisesti, katodilla taas tapahtuu pelkistymistä sen varautuessa positiivisesti. Akkuun voidaan varastoida sähköenergiaa kemialliseen muotoon ja haluttaessa käyttää sitä, virtapiiriin kytkettäessä kemialliset reaktiot tapahtuvat vastakkaiseen suuntaan ja sähkövirtaa on saatavissa akun navoista. (Motiva, 2024c)

Akuissa käytetään useita eri aineista valmistettuja elektrolyyttejä ja elektrodeja. Tällä hetkellä yleisin akkutyyppi on litium-ioniakku (U.S. Solar Energy Technologies Office, c) Elektrolyytti on usein neste- tai geelimäisessä muodossa akun sisällä. Eri akkutyypeillä on eroja sallitun purkaussyvyyden, tehotiheyden ja purkautumisnopeuden suhteen. Myös purkaussyklien kestossa on suuria eroja eri akkujen välillä. (Motiva, 2024c)

4.1.2 Kannattavuus

Kaupallisia sovelluksia aurinkosähköjärjestelmiin löytyy markkinoilta useita. Tarkasteltavan kohteen Huawei Sun2000 -invertteriin myydään samalta valmistajalta Luna2000 5 kWh:n akkumoduuleja, joita saa asennettua kolme kappaletta yhdeksi 15 kWh:n akuksi. Tällöin akun hinnaksi tulisi 9150 € ilman asennusta. Suurin moduuleista koottava akusto, jonka järjestelmään saa asennettua on kapasiteetiltaan 30 kWh ja siinä on 15 kWh:n akkuja kaksi kappaletta rinnan. Tällöin hinnaksi tulisi 18300 € ilman asennusta. Huawei tarjoaa akuille 10 vuoden takuun. Invertteri tunnistaa akut ja sen käyttöliittymässä voi ohjata akkujen toimintaa. (NordSolar, 2024a)

Suoritetaan kannattavuuslaskenta taulukkolaskentaohjelmalla tarkastelujakson datan avulla. Käytetään laskentaan verkosta ostetun sähkön ja sinne myydyn aurinkosähkön päiväkohtaisia tuntikohtaiseen dataan perustuvia arvoja. Jokaisena päivänä säästettäväksi sähkön määräksi valitaan ostetusta ja myydystä sähköstä pienempi arvo. Eli jos ostettua sähköä kuluu vuorokauden aikana vähemmän, kuin myytävää sähköä tulee, on säästettävä määrä ostetun sähkön määrä ja päinvastoin. Vuorokaudessa säästettävä määrä voi lisäksi olla korkeintaan akun kapasiteetin suuruus. Akun avulla saavutettu säästö tarkastelujakson aikana

on 30 kWh akulla 2770 kWh ja 15 kWh akulla 2306 kWh. Lasketaan rahallinen säästö kaavalla:

$$S_a = E_a \cdot h_{spot,kk,alv} - E_a \cdot h_{spot,kk} \tag{8}$$

jossa S_a on akustosta saatu rahallinen säästö (€/a) ja E_a on akuston käytöllä säästetty ostosähkön määrä (kWh). Euromääräinen säästö 30 kWh akulla on 242 €/a ja 15 kWh akulla 202 €/a. Korottomaksi takaisinmaksuajaksi käyttäen Huawei Luna2000-akkujen edellä mainittuja hintoja ilman asennusta saadaan kaavalla 6 30 kWh akulle 76 vuotta ja 15 kWh akulle 45 vuotta. Takaisinmaksuajoista nähdään pienemmän 15 kWh järjestelmän olevan huomattavasti suurempaa kannattavampi. Eron aiheuttaa se, että 30 kWh:n akuston tuoma lisäkapasiteetti pienempään verrattuna tuo vain viidesosan euromääräisen lisäsäästön vuodessa, investointikustannuksen ollessa kaksinkertainen.

Molemmat takaisinmaksuajat ylittävät kuitenkin akkujen takuuajan ja odotetun käyttöiän, eivätkä akut saavuta näin ollen taloudellista kannattavuutta esimerkkikohteessa. Kannattamattomuutta lisää osaltaan se, ettei laskennassa huomioitu häviöitä tai akun kulumista. Kaikkia akkutyyppejä ei saa purkaa tyhjäksi asti, joten akun koko kapasiteetti ei välttämättä ole todellisuudessa käytössä. Kaikki edellä mainitut seikat vähentävät akkujen todellista kannattamattomuutta.

Kaavalla 1 laskiessa tarkasteltavan kohteen omakäyttöasteeksi 30 kWh akulla saataisiin 89 % ja 15 kWh akulla 82 % jotka ovat hyviä lukemia aurinkosähköjärjestelmälle. Jotta akkujärjestelmää voitaisiin pitää kannattavana investointina, sen takaisinmaksuajan tulisi olla korkeintaan takuuajan pituus. Kaavan 6 kääntämällä voidaan laskea 15 kWh akun vuotuisella säästöllä, akun korkeimman kannattavan investointikustannuksen olevan 2020 €. Markkinoilla olevat tuotteet ovat vielä moninkertaisesti tätä kalliimpia.

Joissain tapauksissa akkua on mahdollista ladata myös verkosta ostetulla sähköllä. Tämä avaisi talvisin mahdollisuuden lisäsäästöihin, vaikka aurinkopaneeleista ei tule sähköä. Tuntitason sähkön spot-hintojen vaihdellessa on mahdollisuus ladata akku täyteen esimerkiksi öisin halvemmalla ja käyttää sähkö kalleimmilla tunneilla. Edellä kuvatun kaltaisesta sähkökaupasta saatua säästöä on hankala arvioida, sillä sähkön hintojen lyhyen ajan vaihteluita on vaikeaa ennustaa. On kuitenkin erittäin epätodennäköistä, että sillä olisi mahdollista vuosittain tehdä tuhansien eurojen edestä lisää säästöä, mikä tekisi akun kannattavaksi.

Sähköautojen lisääntyessä, niiden käytettyjä akkuja tulee markkinoille esimerkiksi kolariautoista ja autoista, joiden akun kapasiteetti on alle 80 % alkuperäisestä. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy on käynnistänyt vuonna 2023 pilottihankkeen, jossa testataan käytöstä poistettuja sähköauton akkuja energiavarastokäytössä. Hanke kestää vuoteen 2026 ja se saattaa johtaa vuosien päästä vastaavien energiavarastojen kaupallistamiseen. Koska akut ovat käytettyjä, niillä on potentiaalia olla huomattavasti halvempia, kuin tämänhetkiset aurinkosähköjärjestelmiin myytävät akut. (Jalli, 2023)

4.2 Sähköauto

Akuston tavoin kemiallisesti energian varastoimiseen on mahdollista käyttää myös sähköautoa. Ylijäämäsähkön kulutuskohde on siinä tapauksessa ensisijaisesti ajoneuvon ajokilometrit. Jotkut sähköautovalmistajat tarjoavat autoissaan mahdollisuutta kaksisuuntaiseen lataukseen, eli auton akkuun varastoitua sähköä voidaan myös purkaa esimerkiksi kodin sähkönkulutuksen kattamiseen tai sähköverkkoon myytäväksi kalliiden pörssisähkön tuntien ajan. Teknologiasta käytetään V2G-termiä (vehicle-to-grid). (Zhou et al., 2011)

4.2.1 Toiminta

Sähköautojen teknologia perustuu yhteen tai useampaan sähkömoottoriin, jotka liikuttavat ajoneuvoa. Toinen olennainen komponentti on edellisessä kappaleessa kuvatun mukainen sähkökemiallinen akku, johon varastoitu sähkö toimii auton käyttövoimana. Nykyaikaisia sähköautoja kyetään jarruttamaan myös sähkömoottorilla ja ottamaan jarrutusenergia talteen. Sähköautoja on markkinoilla paljon erityyppisiä ja eri kokoisilla akuilla varustettuina. Pienimmät akut ovat kooltaan 20 kWh:sta ylöspäin ja suurimmat n. 95 kWh. Toimintamatka yhdellä latauksella em. kokoisilla akuilla on 150 kilometristä yli 500 kilometriin. Sähköauton energiankulutus asettuu tyypillisesti välille 15–25 kWh/100 km. Sähköauton lataus siihen tarkoitetulla pikalatausasemalla voi onnistua lähes tyhjästä täyteen alle puolessa tunnissa. Kotitalouksissa ladatessa vastaaviin nopeuksiin ei päästä, sillä pientalon sähköverkkoa ei ole mitoitettu kestämään pikalatauksen vaatimaa kuormitusta. (Motiva, 2024d)

4.2.2 Kannattavuus

Sähköauton kannattavuuden arviointi osana aurinkosähköjärjestelmää on monimutkaista, sillä vaikka auto tukisi V2G-latausta, ei hankintahinnaltaan kymmenien tuhansien eurojen autoa olisi järkevää pelkästään seisottaa pihassa kiinteistön akkuna. Koska ainakin osa aurinkosähköjärjestelmän ylijäämäsähköstä käytetään ajoneuvon liikuttamiseen, on hankala laskea siitä saatua taloudellista hyötyä. Sähköauton käyttöä osana aurinkosähköjärjestelmää vaikeuttaa ylimääräisen sähkön tuotannon osuminen keskipäivän tunneille, jolloin arkisin päivätöissä käyvät ovat usein autoineen työpaikalla. Tällöin suuri osa ylijäämäsähköstä menee edelleen verkkoon myytäväksi.

Arvioidaan sähköauton käyttöä tarkasteltavassa kohteessa esimerkkipäivänä (kuva 5). Kyseisenä päivänä ylimääräistä aurinkosähköä meni myyntiin 34 kWh. Käytettäessä sähköauton kulutuslukemana 20 kWh/100 km, saadaan päivän ylimääräisellä aurinkosähköllä ajettua 170 km. Lukema on melko suuri auton päivittäiseksi ajomääräksi. Esimerkiksi 50 km päivässä keskimääräisellä auton käytöllä (vuodessa 18 250 km) sähköstä menisi myyntiin melko suuri osa pidemmällä aikavälillä tarkastellessa. Akkujärjestelmän kannattavuuslaskelmaan verraten, jos lähes 80 % tarkastelujaksolla myydystä sähköstä pystyttäisiin käyttämään itse, olisi säästö n. 240 €/a. Tuotetun sähkön määrä kuitenkin vaihtelee paljon sään mukaan, joten päivittäin esimerkin kaltaista tuottoa ei ole saatavissa. Lisäksi talvisin tuotetun aurinkosähkön määrä on todella pieni, jolloin sitä ei riitä välttämättä lainkaan sähköauton hyödynnettäväksi.

Sähköauto olisi teknisesti sopiva ja fossiilisia polttoaineita käyttävään autoon verrattuna ympäristöystävällinen lisä aurinkosähköjärjestelmään, mutta vaatisi moninkertaista investointia koko olemassa olevaan järjestelmään nähden. Sähköauto saattaisi olla kannattava vaihtoehto polttomoottoriautolle, ja tuoda lisäarvoa myös osana aurinkosähköjärjestelmää. Auton kustannuksia ja arvonalenemaa ei kuitenkaan tässä työssä arvioida. Pelkästään aurinkosähköjärjestelmän näkökulmasta sähköauto ei ole kannattava hankinta.

4.3 Lämminvesivaraaja

Tarkasteltavan kohteen sähkön kulutuksessa suurin menoerä vuositasolla on talon lämmitys- ja käyttöveden lämmitys. Veden lämmityskattilan sähkönkulutuksesta ei ole saatavilla

dataa, mutta kuvasta 4 nähdään sähkönkulutuksen kasvu kesäkuukausien tasaisesta 1000 kWh/kk:sta joulu- tammikuun 2500 kWh/kk lukemiin. Asukkaiden sähkönkulutus ei muutu kesästä mitenkään, joten ero johtuu lämmityksestä. Kylmimpinä talvikuukausina aurinkosähkö ei riitä veden lämmittämiseen, mutta aurinkoisina kevät- ja syyskuukausinakin sähköä kuluu 1,5–2-kertaisesti kesään verrattuna. Lisäksi sähkökattila lämmittää käyttövettä joka päivä myös kesäisin. Ylijäämäsähköllä lämminvesivaraajan lämmittäminen on yksi ratkaisu aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden kehittämiseen.

4.3.1 Toiminta

Vesikiertoinen sähkölämmitys perustuu lämminvesivaraajaan, jonka sisällä olevaa vettä lämmitetään sähkövastuksilla. Varaaja seuraa veden lämpötilaa ja ylläpitää sitä tietyn alueen sisällä. Talon huoneiden lämmitys tapahtuu kiertopumpun pumpatessa varaajasta patteriverkkoon kuumaa vettä, joka luovuttaa osan lämpöenergiastaan huoneilmaan eri puolella taloa sijaitsevissa pattereissa. Varaajan sekoitusventtiili säätelee patteriverkkoon pumpattavan veden lämpötilaa kulloisenkin ulkolämpötilan mukaan. Talon lämmin käyttövesi lämmitetään varaajan sisällä olevassa lämminvesikierukassa. (Motiva, 2024e)

Aurinkosähkön hyödyntäminen osana lämmitysjärjestelmää tarkoittaisi varaajan vastusten lämmittämistä muusta omasta käytöstä ylijäävällä aurinkosähköllä. Tämä vähentäisi varaajan lämmitystarvetta vuorokauden muina aikoina ja ohjaisi osaltaan sähkön kulutusta aurinkosähköjärjestelmän tuottaville tunneille. Tarkasteltavan kohteen 20 vuotta vanha poistoilmalämpöpumppu ei tarjoa mahdollisuutta varaajan lämmityksen ajoittamiseen käyttäjän haluamille tunneille.

4.3.2 Kannattavuus

Tarkasteltavan kohteen toiminnassa oleva lämmitysjärjestelmä ei tarjoa mahdollisuutta lämmityksen ajoittamiselle. Järjestelmän kehittäminen vaatisi käytännössä lämminvesivaraajan uusimista modernimpaan. Koska tämänhetkinen lämpöpumppu huolehtii myös asunnon ilman koneellisesta poistosta, uudenkin laitteen on huolehdittava siitä, tai sitä varten on hankittava erillinen ratkaisu. Yksi vaihtoehto korvaajalle on Nibe F370 lämminvesivaraaja, jossa on tämänhetkisen järjestelmän tavoin poistoilmalämpöpumppu. Varaajaa

myydään lvi-kauppa.fi -sivustolla hintaan 6375 € ilman asennusta (Lvi-kauppa.fi, 2024). (Nibe, 2024a)

Niben nykyaikaiset lämpöpumput tukevat Smart Price Adaptation -pörssisähköohjausta, jonka avulla veden lämmityksen saa ajoitettua automaattisesti spot-markkinahinnan halvimmille tunneille. Lämpöpumpun säätö tapahtuu myUplink -mobiilisovelluksessa, johon Premium Hallinta -lisäpalvelun (25 €/a) hankkimalla saa laajat säätömahdollisuudet esimerkiksi varaajan lämpötilojen ohjelmointia varten. (Nibe, 2024b) Tätä ominaisuutta voisi käyttää manuaalisesti lämmityksen ajoittamiseen voimalan tuottaville tunneille. Nibe on tuonut markkinoille myös Eme 20 -aurinkosähkömoduulin, joka invertteriin yhdistämällä optimoi automaattisesti lämpöpumpun käyttöä aurinkosähkön tuoton mukaan. (Nibe, 2024c) Moduulin hinta on 330 € maalampotukku.fi-sivustolla (Suomen maalämpötukku, 2024).

Yleisesti lämpöpumpun elinikä on n.15–20 vuotta. (Nibe, 2024d) Lasketaan akun kannattavuuskappaleen tavoin käänteisesti kaavalla 6, paljonko säästöä tarvitaan vuodessa, jotta 6400 € investointi maksaisi itsensä takaisin oletetun 15 a käyttöiän aikana. Tulokseksi saadaan 427 €/a. Verrattuna akun vuotuisen säästön laskelmiin, joissa teoreettiseksi omakäyttöasteeksi saatiin paremmassa tapauksessa 89 % ja säästöä 242 €/a, tarvittava säästö on melko korkea. Uudempi lämpöpumppu on todennäköisesti vanhaa energiatehokkaampi, mistä tulee lisää säästöä ja sen pörssisähköohjauksella voi olla lisäsäästöä saavutettavissa, mutta näiden säästöjen kokoluokkaa on vaikea arvioida. Näin ollen uuden lämpöpumpun hankintaa aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden parantamiseksi ei voida todeta kannattavaksi hankinnaksi tarkasteltavan kohteen tapauksessa. Edellä mainitun lämpöpumpun eliniän perusteella pumpun vaihto saattaa kuitenkin tulla lähiaikoina ajankohtaiseksi. Uutta aurinkosähköön liittymättömistä syistä hankittaessa on kannattavaa ottaa aurinkosähköjärjestelmä huomioon ja luoda sillä lisäarvoa järjestelmälle.

Jos kohteessa olisi tällä hetkellä modernimpi lämminvesivaraaja, jonka käyttöä pystyisi manuaalisesti säätämään, Fronius Ohmpilot -kulutuksensäätimellä olisi mahdollista ohjata omasta käytöstä ylijäävä aurinkosähkö suoraan lämminvesivaraajan vastuksille. Ohmpilot seuraa aktiivisesti aurinkosähkön tuottoa ja omaa kulutusta lämmittäen varaajaa ennalta asetettuun lämpötilaan asti. Ohmpilot kykenee käyttämään 0–9 kW sähköä lämmittämiseen. Kulutuksensäädin maksaa nordsolar.fi-sivustolla 990 € ilman asennusta (NordSolar, 2024b) ja vaatii toimiakseen aurinkosähköjärjestelmään Froniuksen Symo tai Symo Hybrid

-invertterin, sekä Smart Meter -energiamittarin. Fronius Symo 7 kW -invertteri maksaa em. sivustolla 2295 € (NordSolar, 2024c) ja Smart Meter 288 € (NordSolar, 2024d). Jos kohteen aurinkosähköjärjestelmässä olisi valmiiksi jompikumpi Ohmpilotin vaatimista invertereistä ja oletetaan kulutuksensäätimen investointikustannuksiksi itse Ohmpilotin ja Smart Meterin yhteenlasketut hankintahinnat n. 1300 €, sekä kulutuksensäätimen käyttävän kaiken tarkastelujaksolla myytäväksi menneen sähkön, voidaan laskea kaavalla 8 säästöksi 308 €/a. Laskennassa oletettiin myös jokaisen varaajan lämmitykseen käytetyn kilowattitunnin säästävän saman verran energiaa sähkön kulutuksesta. Tässä optimistisessa tilanteessa saataisiin korottomaksi takaisinmaksuajaksi (kaava 6) n. 4 vuotta. Ohmpilot olisi laskun perusteella erittäin kannattava, mutta siinä tehtävät oletukset olivat optimistisia ja tilanne vaatisi sopivan Froniuksen invertterin sisältymistä olemassa olevaan järjestelmään. (NordSolar, 2024e)

5 Johtopäätökset

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli selvittää on-grid-aurinkosähköjärjestelmän kehittämisen vaihtoehtoja omakotitalossa, sekä niiden kannattavuutta. Tarkasteltavana kohteena toimi varsinaissuomalainen varaavalla sähkölämmityksellä varustettu omakotitalo n. 20 MWh vuotuisella sähkönkulutuksella. Kohteessa on ollut yli vuoden toiminnassa oleva 7,9 kW_p aurinkosähköjärjestelmä, jonka ensimmäisen 12 kuukauden tuotantotietoja käytettiin tämän työn laskennassa.

Kohteen aurinkosähköjärjestelmä on ensimmäisen 12 kuukauden perusteella ollut kannattava, voimalan oletettua elinikää pienemmän takaisinmaksuajan ollessa tavoitteena. Saavutettu nettotuotto tarkastelujaksolla 48 % omakäyttösasteella oli 622 €, kun teoreettisella 100 % omakäyttöasteella se olisi 930 €. Itse toteutetun järjestelmän asennuksen ansiosta aurinkosähköjärjestelmän investointikustannus oli vain 5000 €. Koroton takaisinmaksuaika voimalalle on vain 8 vuotta ja korollinen 10,5 vuotta. Tulosten perusteella investointi tulee maksamaan itsensä takaisin oletetun elinkaaren aikana ja tuottamaan voittoa, ellei sähkön hinnassa tai jossain muussa muuttujassa tapahdu suuria muutoksia tulevaisuudessa. Kohdetta kehitetään tänä vuonna asentamalla 4 kW_p edestä lisää paneeleja talon katolle itään suunnattuna, minkä tarkoituksena on tasoittaa päivän tuottopiikkiä ja lisätä tuottoa etenkin aamun tunneille.

Tulosten perusteella lämminvesivaraajan uusiminen on kannattavin kehittämisen vaihtoehto. Sekään ei todennäköisesti maksaisi itseään takaisin ainoastaan aurinkosähköstä saadulla säästöllä. Kyseessä on kuitenkin omakotitalon kuluva laite, joka on uusittava talon elinkaaren aikana. Sen tarkoituskaan ei ole ensisijaisesti kehittää aurinkosähköjärjestelmää vaan huolehtia talon ja sen käyttöveden lämmittämisestä. Näin ollen tulevaisuudessa tehtävän varaajan vaihdon myötä on mahdollista samalla parantaa aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta.

Akuston lisääminen aurinkosähköjärjestelmään parantaisi sen omakäyttöastetta huomattavasti, mutta kaupallisesti tarjolla olevien akkujen hinnat ovat liian korkeita, jotta ne maksaisivat itsensä takaisin käyttöikänsä aikana. Esimerkkinä käytetyn 15 kWh akuston takaisinmaksuajaksi saatiin 45 vuotta, mikä ei ole realistinen käyttöikä akulle. Kuitenkin akku-

teknologian kehitys ja erityisesti käytettyjen sähköauton akkujen mahdollinen tuleminen tulevaisuudessa energiavarastointikäyttöön voivat mahdollistaa akustojen kannattavuuden aurinkosähköjärjestelmissä tulevaisuudessa.

Sähköauton hankkimisen myötä lisääntyvä sähkön tarve sopii hyvin aurinkosähköjärjestelmän omakäyttöasteen kasvattamiseen. Autot ovat kuitenkin usein päivisin esimerkiksi työpaikan pihassa, jolloin aurinkovoimalan tuotantoa ei päästä hyödyntämään. Lisäksi sähköauton käyttötarkoitus on ihmisten kuljettaminen, ei aurinkosähköjärjestelmän kehittäminen. Sähköautojen investointikustannuksen suuruuden vuoksi niitä ei ole kannattavaa hankkia ainoastaan aurinkosähkön kuluttamisen vuoksi. Sähköauton hankkiminen parantaa kuitenkin myös järjestelmän kannattavuutta.

Laskennassa käytettiin sähkön spot-hinnan kuukausittaisia keskiarvoja. Sähkön hinnanmuutosten vaikutusta kannattavuuksiin arvioimalla olisi voitu saada parempi kuva mahdollisista kehityskuluista. Tulokset eri kehittämisvaihtoehtojen suhteen olivat kuitenkin suurimmaksi osaksi todella, joten sähkön hinnanmuutosten vaikutus aurinkoenergian tuottamiseen on todennäköisesti pieni. Toki aurinkoisella säällä sähkö on usein halpaa suuren aurinkosähkön tuotannon vuoksi, joten myyntitulot ja säästöt voivat todellisuudessa olla tässä työssä laskettuja pienempiä.

Tämä työ saavutti tavoitteensa esittelemällä useita kannattavuuden kehittämisvaihtoehtoja ja arvioimalla niiden kannattavuutta investoinnin takaisinmaksuajan avulla. Mikään vaihtoehdoista ei osoittautunut yksiselitteisen kannattavaksi investoinniksi tarkasteltavassa kohteessa. Esimerkiksi lämminvesivaraajan lämmittäminen aurinkosähköllä saattaisi kuitenkin olla kannattavaa uudemmalla varaajalla varustetussa talossa. Tarkasteltavan kohteen kohdalla investointi toteutuu varaajan uusimisen tullessa ajankohtaiseksi. Kohteeseen asennettavien uusien paneelien kannattavuutta analysoidaan tulevaisuudessa. Työn tulokset ovat yleistettävissä myös muihin samantyyppisiin kohteisiin. Tässä työssä investointi oli kuitenkin tavallista pienempi itse tehdyn asennustyön vuoksi, joten tulokset on laskettava aina tapauskohtaisesti.

Lähteet

American Chemical Society (2014) *How a Solar Cell Works* [Viitattu 19.01.2024]. Saatavilla: https://www.acs.org/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/archive-2013-2014/how-a-solar-cell-works.html.

Caruna (2023) *Sähkönsiirron Hinnastot* [Viitattu 10.02.2024]. Saatavilla: https://caruna.fi/tuotteet-ja-palvelut/kotiin-ja-kiinteistoon/sahkonsiirron-hinnasto.

Caruna (2021) *Sähkövero Ja Sähköveroluokat* [Viitattu 10.02.2024]. Saatavilla: https://caruna.fi/tuotteet-ja-palvelut/kotiin-ja-kiinteistoon/sahkovero.

Energiateollisuus *Sähkön Hinta* [Viitattu 10.02.2024]. Saatavilla: https://energia.fi/energiatietoa/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon-hinta/.

Jalli L (2023) *Sähköauton Akut Varastoimaan Aurinkoenergiaa – 3-Vuotinen Hanke Starttaa Kesällä* [Tekniikka & Talous] [Viitattu 17.04.2024]. Saatavilla: https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/sahkoauton-akut-varastoimaan-aurinkoenergiaa-3-vuotinen-hanke-starttaa-kesalla/70706f42-dba0-4494-a7b4-5f6c66a58fec.

Lvi-kauppa.fi (2024) *Poistoilmalämpöpumppu Nibe F370* [Viitattu 29.04.2024]. Saatavilla: https://lvi-kauppa.fi/product/poistoilmalampopumppu-nibe-f370/.

Motiva (2024a) *Auringosta Sähköä* [Viitattu 05.02.2024]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa.

Motiva (2024b) *Ylijäämäsähkön Myynti* [Viitattu 05.02.2024]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti.

Motiva (2024c) *Akut* [Viitattu 15.04.2024]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut.

Motiva (2024d) *Sähköautot* [Viitattu 16.04.2024]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot.

Motiva (2024e) *Sähkölämmitys* [Viitattu 16.04.2024]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/kytkenta_muihin_lammitysjarjestelmiin/sahkolammitys.

Nibe (2024a) *Nibe F370* [Viitattu 17.04.2024]. Saatavilla: https://www.nibe.eu/fi/fi/tuotteet/lampopumput/poistoilmalampopumput/f370.

Nibe (2024b) *myUplink* [Viitattu 17.04.2024]. Saatavilla: https://www.nibe.eu/fi/fi/hankkimassa-lampopumppua/lampopumpulla-alykoti/myuplink.

Nibe (2024c) *Nibe Eme 20* [Viitattu 17.04.2024]. Saatavilla: https://www.nibe.eu/fi/fi/tuotteet/aurinkosahko/eme-20.

Nibe (2024d) *Lämpöpumpun Vaihto* [Viitattu 17.04.2024]. Saatavilla: https://www.nibe.eu/fi/fi/tietopankki/lampopumpun-vaihto.

NordSolar (2024a) *Huawei LUNA2000 15kWh Energiavarasto.* [Viitattu 17.03.2024]. Saatavilla: https://nordsolar.fi/tuote/huawei-luna2000-15kwh-energiavarasto/.

NordSolar (2024b) *Fronius Ohmpilot 9.0-3 Säädin* [Viitattu 29.04.2024]. Saatavilla: https://nordsolar.fi/tuote/fronius-ohmpilot-9-0-3-saadin/.

NordSolar (2024c) *Fronius Symo 7.0-3-M 7kW Invertteri* [Viitattu 29.04.2024]. Saatavilla: https://nordsolar.fi/tuote/fronius-symo-7-0-3-m-7kw-invertteri/.

NordSolar (2024d) *Fronius Smart Meter TS 65A-3* [Viitattu 29.04.2024]. Saatavilla: https://nordsolar.fi/tuote/fronius-smart-meter-ts-65a-3/.

NordSolar (2024e) *Fronius Ohmpilot* [Viitattu 17.04.2024]. Saatavilla: https://nordsolar.fi/tuote/fronius-ohmpilot-9-0-3-saadin/.

Omavoima (2024) *Spot-Sähkö Kuukausikeskihinnat Tammikuu 2018 Alkaen* [Viitattu 17.02.2024]. Saatavilla: https://omavoima.fi/spot-sahkon-hintahistoria/.

Suomen maalämpötukku (2024) *NIBE EME 20 Aurinkosähkömoduuli* [Viitattu 29.04.2024]. Saatavilla: https://www.maalampotukku.fi/product/3443/nibe-eme-20-aurinkosahkomoduuli.

U.S. Energy Information Administration (2023) *Solar Explained - Photovoltaics and Electricity* [Viitattu 03.02.2024]. Saatavilla: https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php.

U.S. Solar Energy Technologies Office (a) *Solar Photovoltaic Cell Basics* [Viitattu 15.01.2024]. Saatavilla: https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics.

U.S. Solar Energy Technologies Office (b) *Solar Photovoltaic System Design Basics* [Viitattu 05.02.2024]. Saatavilla: https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-system-design-basics.

U.S. Solar Energy Technologies Office (c) *Solar Integration: Solar Energy and Storage Basics* [Viitattu 06.03.2024]. Saatavilla: https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-solar-energy-and-storage-basics.

Zhou C, Qian K, Allan M and Zhou W (2011) Modeling of the Cost of EV Battery Wear Due to V2G Application in Power Systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion* 26(4): 1041-1050.