



**LÄMPÖAKUN SÄHKÖISEN LATAUKSEN OPTIMOINTI
SÄHKÖMARKKINOIDEN MUKAAN**

**OPTIMIZING ELECTRICAL CHARGING OF THERMAL BATTERY TO ELEC-
TRICITY MARKETS**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2022

Niilo Hendolin

Tarkastajat:

Professori Jero Ahola

DI Aleksi Porkola

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Sähkötekniikka

Niilo Hendolin

Lämpöakun sähköisen latauksen optimointi sähkömarkkinoiden mukaan

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2022

34 sivua, 12 kuvaa ja 2 taulukkoa.

Tarkastajat: Professori Jero Ahola, DI Alekski Porkola

Avainsanat: lämpövarasto, lämpöakku, aurinkovoimala, spot-hinnat, futuurit, optimointi

Lyhytaikaisten energiavarastojen hyödyntäminen sähkön ja lämmön tuotannossa helpottaa uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämistä. Sähkömarkkinoiden kulutusjoustopon tarve kasvaa säästä riippuvaisten energianlähteiden yleistyessä. Erilaiset energiavarastot, kuten lämpöakut vastaavat kulutusjoustopon kysyntään. Tämän työn tarkoituksena on selvittää lämpöakun latauksen optimoinnilla saavutettavat säästöt sekä tutkia aurinkovoimalan kannattavuutta lämpöakkuun yhdistettynä.

Työssä vertaillaan halvimpien lataustuntien ja työpäivän aikaisten tuntien keskiarvoisia spot-hintoja keskenään. Vertailussa käytetään vuosien 2019 ja 2021 hintoja. 2021 koko vuoden keskiarvoisia hintoja vertaillaan myös maakaasun hintoihin vuoden 2021 aikana.

Työssä havaittiin, että optimoinnilla saavutettavat säästöt ovat merkittävät, mutta säästöjen suuruus vaihtelee paljon vuosittain. Vuoden 2019 aikana saavutetut säästöt olivat suuruudeltaan noin 48 % vuoden 2021 aikana saavutetuista säästöistä. Työssä havaittiin myös, että optimoiduilla hinnoilla sähkön käyttäminen lämmöntuotannossa tulisi halvemaksi, kuin maakaasu. Työn tulosten mukaan lämpöakku yksinään ei ole edullinen yhdistää aurinkovoimalaan. Aurinkovoimalan yksinkertaiseksi takaisinmaksuajaksi saatiin 16,9 vuotta ja vuotuisesti tuotoksi 3,3 %.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Electrical Engineering

Niilo Hendolin

Optimizing electrical charging of thermal battery to electricity markets

Bachelor's thesis

2022

34 pages, 12 figures and 2 tables.

Examiners: Professor Jero Ahola, MSc (Tech) Aleksi Porkola

Keywords: thermal energy storage, thermal battery, solar PV, spot-prices, futures, optimizing

Short time energy storages ease the usage of renewable energy sources in heat and electricity production. The need for demand response systems increases when the usage of weather dependent energy sources grows. Different kinds of energy storages such as thermal batteries respond to the need of demand response systems. The objective of this thesis is to find out the available savings from optimizing the electrical charging of the heat battery system and to find out the profitability of solar PV production combined to the heat battery.

This thesis compares the average prices of the cheapest charging hours with average prices during a working day hours. The comparison uses data from 2019 and 2021. The 2021 average prices of the whole year are also compared to the prices of natural gas during 2021.

In this thesis it was found that the achievable savings from the optimizing of the charging are significant but that the savings vary a lot depending on the year. The achieved savings in 2019 were only 48 % of the savings achieved in 2021. It was also found that with the optimized prices it was cheaper to use electricity than natural gas in heat production. According to this thesis the thermal battery alone is not ideal to be combined with a solar PV plant. Simple payback period of the solar PV plant was 16,9 years and the yearly profit was 3,3 %.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	5
2	Lämpöakun rakenne	7
2.1	Lämpöakun toiminta.....	7
2.2	Sovelluskohteet	8
2.2.1	Eri kokoluokan varastot.....	8
2.2.2	Asennuskohteet	8
2.3	Lämpöakun hyödyt.....	9
3	Lämpöakun latauksen hintoihin vaikuttavat tekijät	11
3.1	Spot-hintojen muodostuminen	11
3.1.1	Spot-hintojen historia	11
3.1.2	Spot-hintojen tulevaisuuden kehitys	12
3.2	Hinnansuojaustuotteiden vaikutus.....	13
3.2.1	Eri futuurit tarjolla.....	13
3.2.2	Futuureiden hyödyt ja riskit	14
3.2.3	Hintahistoria ja tulevaisuuden kehitys	14
4	Latauksen optimointi Spot-hintojen mukaan	15
4.1	Optimointi vuoden 2021 spot-hintojen mukaan	16
4.2	Optimointi vuoden 2019 spot-hintojen mukaan	18
4.3	Optimointi hinnansuojaustuotteiden kanssa	20
5	Aurinkovoimalan yhdistäminen optimointiin	25
5.1	Aurinkovoimalan tuotanto.....	26
5.2	Aurinkovoimalan tuotanto yhdistettynä optimointiin	27
5.3	Aurinkovoimalan kannattavuus.....	28
6	Johtopäätökset.....	30
	Lähteet.....	31

1 Johdanto

Yleisesti lämpövarasto on laitteisto, johon varastoidaan lämpöenergiaa myöhempää käyttöä varten. Lämpöakku on nimensä mukaisesti lämpövarasto, jota ladataan sähköenergialla. Lämpöakkua voidaan hyödyntää esimerkiksi teollisuuden sekä rakennusten lämmöntuotannossa. Esimerkiksi elintarviketeollisuudessa tarvittava höyry voidaan tuottaa puhtaasti uusiutuvasti tuotetulla sähköllä. Akku voidaan ladata täyteen halvimpien spot-hintojen aikaan sekä omaa tuotantoa hyödyntäen. Näillä keinoilla lämpöakusta saadaan suurin hyöty. Tässä työssä tutkitaan lämpöakun latauskustannuksia sekä latauksen optimoinnista ja omasta tuotannosta saatavia hyötyjä. Työssä tutkitaan myös sähkön spot-hintojen sekä eri hinnansuojaustuotteiden historiaa sekä pohditaan tulevaisuuden trendejä. Työssä lämpöakun lataus optimoidaan vuoden spot-hintojen mukaan.

Työn tutkimus toteutetaan tutustumalla lämpöakuista tehtyihin aiempiin tutkimuksiin sekä tutkimuksiin spot-hintojen kehityksestä ja hinnansuojaustuotteiden hyödyistä. Työn pääasiallisina tutkimusmenetelminä ovat kirjallisuuskatsaus sekä Matlab-ohjelmistolla suoritettu optimointi. Spot-hintojen historian tutkimisessa hyödynnetään Nord Poolin hintahistoriaa kuuden vuoden ajalta. Työssä suoritetaan myös laskentaa sekä simulointia aurinkosähköjärjestelmän vaikutuksista lämpöakun taloudelliseen kannattavuuteen sekä akun optimaaliseen lataussykliin. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää lämpöakun latauksen optimoinnilla saavutettavat säästöt sekä aurinkovoimalan yhdistämisen kannattavuus. Työssä vastataan esimerkiksi siihen, miten sähkömarkkinahinnat rakentuvat ja tulevat kehittymään tulevaisuudessa lämpövaraston näkökulmasta sekä mikä on aurinkovoimalan vaikutus lämpöakun lataussykliin sekä kannattavuuteen.

Säästä riippuvaisen tuuli- ja aurinkovoimalla tuotetun energian lisääntyessä lisääntyy myös sähköverkkojen sekä -markkinoiden vaihtelut vuorokauden sekä vuodenaikojen mukaan. Energian tuotantomuotojen muutoksen myötä tarve väliaikaisille energiavarastoille kasvaa. Erilaiset lämpövarastot voivat olla tulevaisuudessa merkittävä osa sähköverkon kulutusjoutoa. Teollisuuden ja energiasektorin päästöt muodostivat vuonna 2019 yhdessä yli 50 % kaikista Euroopan päästöistä (Statista, 2019). On arvioitu, että lämpövarastoja hyödyntämällä Euroopassa yksinään voitaisiin saavuttaa jopa 1400 TWh säästöt energian kulutukseen sekä noin 400 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästövähennykset vuosittain (Sarbu &

Sebarchievici, 2018). IRENA:n 2020 julkaistun raportin mukaan lämpövarastojen maailmanlaajuisten markkinoiden uskotaan jopa kolminkertaistuvan vuoteen 2030 mennessä. Lämpövarastoissa nähdään suuri hyöty juuri siksi, että lämmön kulutuksen ei tarvitse mennä yhteen energian tuotannon ajankohdan kanssa. Joustavuus niin lämmön kuin sähkön tuotannossakin helpottaa uusiutuvien energianlähteiden käytettävyyttä.

2 Lämpöakun rakenne

Tässä työssä lämpöakulla tarkoitetaan nimenomaan sähköllä tuotetun lämmön varastointiin tarkoitettua järjestelmää. Lämpövarastot voidaan jakaa toimintateknologiansa mukaan kolmeen alalajiin, jotka perustuvat suoran lämmön, kuten kuuman veden varastointiin, faasimuutoksiin tai kemiallisiin reaktioihin (Sarbu & Sebarchievici, 2018). Erilaisten lämpövarastojen tyypillisiä ominaisuuksia on esitelty taulukossa 2.1. Työssä tutkittava lämpöakkujärjestelmä perustuu faasimuutosteknologiaan.

Taulukko 2.1: Eri tyypin lämpövarastojen tyypillisiä ominaisuuksia (Sarbu & Sebarchievici, 2018).

Lämpövaraston tyyppi	Kapasiteetti (kWh/t)	Teho (MW)	Hyötysuhde (%)	Varastointijakso	Kustannukset (€/kWh)
Suora lämpö	10–50	0,001–10,0	50–90	päiviä-kuukausia	0,1–10
Faasimuutos	50–150	0,001–1,0	75–90	tunteja-kuukausia	10–50
Kemiallinen reaktio	120–250	0,01–1,0	75–100	tunteja-päiviä	8–100

Taulukossa esitetyt arvot ovat suuntaa antavia arvioita, eikä esimerkiksi tässä työssä tutkittava lämpövarasto kaikilta ominaisuuksiltaan osu taulukossa esitettyjen arvojen sisään. Taulukko antaa hyvän kokonaiskuvan eri varastointityyppien eroavaisuuksista.

2.1 Lämpöakun toiminta

Työssä tarkasteltava lämpöakku perustuu suolaliuoksen faasimuutoksiin ja niissä vapautuvaan ja sitoutuvaan energiaan. Akkuun varastoidaan energiaa lämmittämällä suolaliuosta sähkövastuksella. Tuotettu lämpö varastoidaan hyvin eristettyyn säiliöön. Energia voidaan purkaa akusta silloin, kun sille on tarvetta, myös latauksen aikana (Elstor, 2021).

2.2 Sovelluskohteet

Lämpövarastoja on paljon erilaisia ja niitä voidaan hyödyntää laajasti erilaisissa sovelluskohteissa. Työssä tutkittavaa lämpövarastoa on hyödynnetty kaukolämmön tuotannossa sekä teollisuuden höyryntuotannossa. Maailmalla erilaisten lämpövarastojen käyttöä on tutkittu laajasti. Sarbu ja Sebarchievici kertovat julkaisussaan (2018), että lämpövarastojen merkitys on viime aikoina lisääntynyt esimerkiksi keskittävän aurinkovoiman käytössä. Aurinkoenergia voidaan varastoida lämpönä myöhempää sähköntuotantoa varten ja käyttää varaston ansiosta silloin, kun aurinko ei enää paista. Näin pystytään tasaamaan aurinkovoiman tuotantopiikkejä ja paremmin vastaamaan tuotanto yhteen kulutuksen kanssa.

2.2.1 Eri kokoluokan varastot

Lämpöakkuja sekä erilaisia varastoja on olemassa laajasti eri kokoisia. Käytännöllinen esimerkki pienestä lämpövarastosta on lämminvesivaraaja. Siinä varastoitavaa vettä lämmitetään sähköllä. Työssä tutkittava lämpöakku on kapasiteetiltaan 5 MWh. Energy Storage Newsin uutisen mukaan Vantaan Energiolla on suunnitteilla kapasiteetiltaan 90 GWh:n maanalainen lämpövarasto (Colthorpe, 2021). Vantaalle rakennettavaan varastoon on tarkoitus varastoida lämpöä kuumana vetenä. Vantaan Energian projektin varasto on hyvin monipuolinen kokonaisuus. Tämänhetkisten suunnitelmien mukaan systeemissä yhdistyy lyhytaikainen sekä kausittainen lämpövarasto. Lämpöä tuotetaan varastoon muun muassa maalämmöllä, aurinkovoimalla sekä hukkalämpövirtoja hyödyntämällä. Pitkäaikaista kausittaista varastoa ladataan kesän ajan ja lämpö käytetään talven ajan lämmitykseen.

2.2.2 Asennuskohteet

Työssä tutkittavaa 5 MWh lämpövarastoa on hyödynnetty esimerkiksi kaukolämmön tuotannossa Lappeenrannassa Mustolan lämmöntuotantolaitoksella. Tämän järjestelmän tavoitteena on pienentää Mustolassa tuotetun kaukolämmön päästöjä korvaamalla lämmöntuotannossa maakaasua uusiutuvalla sähköenergialla. Lämpövarasto luo järjestelmään joustovaraa, sillä tuotettua lämpöä ei ole pakko hyödyntää kaukolämpöverkkoon heti. Tämän ansiosta

lämmöntuotannon kustannukset voidaan minimoida tuottamalla lämpöä vain silloin, kun se on sähkön hinnan puitteissa taloudellisesti kannattavaa.

Toinen lämpöakun sovelluskohde on teollisuudessa tarvittavan lämmön kuten esimerkiksi teollisuushöyryn tuotanto. Teollisuuden lämmöntuotannon on arvioitu vievän jopa kaksi kolmasosaa koko teollisuussektorin energiankulutuksesta Euroopassa (Bellevrat & West, 2018). Höyrylle on kysyntää monilla eri teollisuuden aloilla. Nykyisin höyry tuotetaan monesti päästöjä tuottavilla polttoaineilla kuten maakaasulla. Lämpöakun kaltaista järjestelmää hyödyntämällä voidaan höyryntuotannon kuluja sekä päästöjä pienentää hyödyntämällä puhdasta sähköä sekä omaa sähköntuotantoa.

2.3 Lämpöakun hyödyt

Lämpöakulla voidaan korvata fossiilisten polttoaineiden kuten maakaasun käyttöä. Nykyisten maakaasuhöyrykattiloiden hyötysuhteet ovat noin 94–95 % (Vakkilainen, 2017). Elstorian lämpöakun hyötysuhde on noin 97 % (Elstor, 2021). Molempien laitteistojen lämmöntuotannon hyötysuhteet ovat siis samankaltaiset. Yksinkertaista vertailua maakaasun ja lämpöakun lämmöntuotantohintojen välillä voidaan tehdä vertailemalla suoraan sähkön ja maakaasun hintoja keskenään. Tämä yksinkertaistus ei ota huomioon laitteiden investointikuluja tai käytön aikaisia muita kustannuksia.

Maakaasun keskiarvoinen hinta Suomessa yli 278 MWh vuosikulutuksella oli 51,35 €/MWh ja sähkön keskimääräinen spot-hinta vuodelle 2021 oli 72,34 €/MWh. Vuoden 2021 alusta ALV 0 % hinnoilla maakaasun energiasisältövero on 9,316 €/MWh, hiilidioksidivero 11,670 €/MWh ja huoltovarmuusmaksu 0,076 €/MWh (Imatran lämpö, 2021). Näiden lisäksi maakaasun hintaan lisätään Imatran lämmön asiakaskohtainen hinta 9,11 €/MWh. Lämpöakun eri sovelluskohteista valmistava teollisuus kuuluu sähkön alempaan veroluokkaan II. Kaukolämmöntuotannon osalta muutos veroluokkaan II vaatii vielä Euroopan Unionin komission hyväksynnän, joka on tulossa näillä näkymin vuoden 2022 aikana (Finlex, 2021; Lähienergia, 2021). Sähkön osalta verot ovat siis alemman veroluokan II mukaan 0,5937 €/MWh ja 2-aikasiirron yösiirtohinta 7,98 €/MWh ja päiväsiirtohinta 18,012 €/MWh. Yksinkertaistetussa suorassa vertailussa käytetään sähkön siirtohintojen keskiarvoa 12,996 €/MWh. Maakaasun hintaan tulee siis energian lisäksi muita kuluja 30,172 €/MWh, kun

sähkön hintaan energian lisäksi tulee 13,5897 €/MWh muita kuluja. Kokonaisuudessa vuoden 2021 maakaasun hinnaksi muodostuu 81,522 €/MWh ja sähkön hinnaksi 85,9297 €/MWh. Keskiarvoisen spot-hinnan mukaan sähkön käyttäminen tulisi siis maakaasua kalliimmaksi vuoden 2021 mukaan. Lämpöakun latausta voidaan kuitenkin optimoida sähkön hintojen vaihtelun mukaan, eikä lämpöä tarvitse välttämättä tuottaa juuri silloin, kun sille on tarve. Optimoinnilla kulutetun sähkön hinta laskee alle vuoden keskiarvoisen hinnan, jolloin lämpöakun käyttäminen tulee todennäköisesti maakaasua halvemmaksi. Lämpöakku on myös hyvä keino lisätä energiaomanvaraisuutta korvaamalla ulkomailta tuodun maakaasun kulutusta kotimaisella sähköllä.

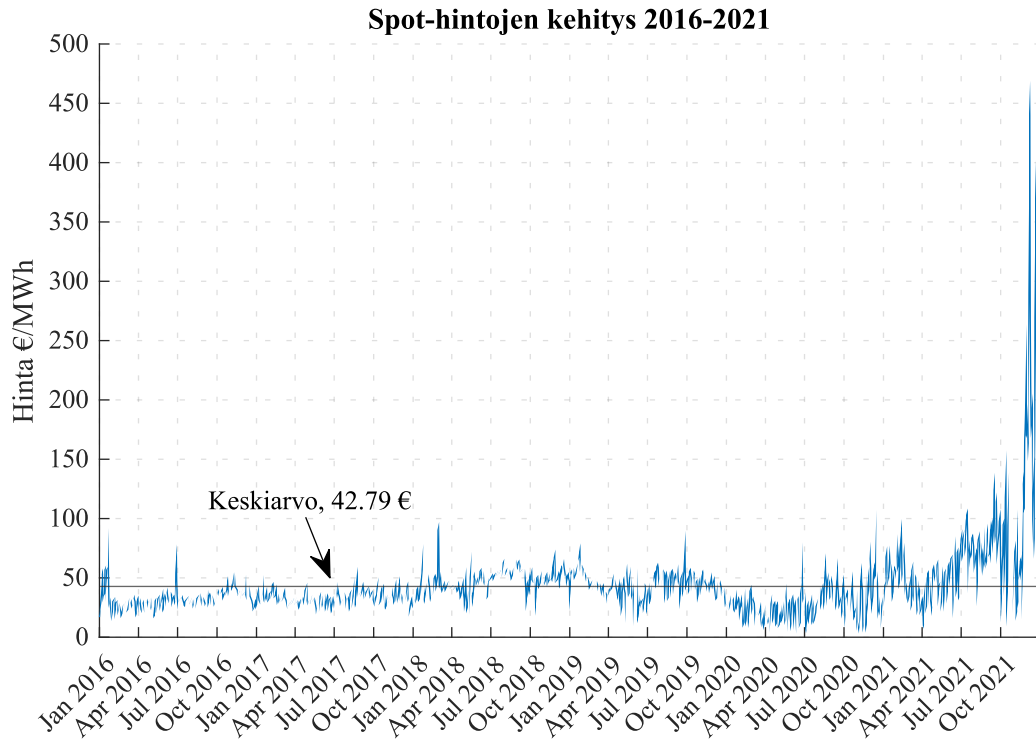
3 Lämpöakun latauksen hintoihin vaikuttavat tekijät

3.1 Spot-hintojen muodostuminen

Energian spot-hinnoittelun tärkein tehtävä on luoda tasapainotila sähkön kysynnän ja tarjonnan välille. Energian spot-hinnat muodostuvat siis kuten markkinahinnat yleensäkin, kysynnän ja tarjonnan mukaan. Spot-hintoja tarkastellessa on kuitenkin tärkeä muistaa, että pörsin kautta myyty ja ostettu sähkö käsittää vain osan Suomessa tuotetusta ja kulutetusta sähköstä. Energiamarkkinoilla tasapainon luominen kysynnän ja tarjonnan välille on erityisen tärkeää sähkön huonon varastoitavuuden vuoksi. Nord Poolin markkinat toimivat yhden vuorokauden ennakkoon. Sähkön ostajat jättävät joka aamu oman tilauksen jokaisen tunnin ostettavasta määrästä, jonka he ovat valmiita ostamaan tietyllä hinnalla. Sähkön spot-hinnat muodostuvat siis oletetun kulutuksen ja ostajien tekemien tarjousten mukaan. (Nord Pool 2020).

3.1.1 Spot-hintojen historia

Alla olevassa kuvassa on esitetty Nord Poolin Suomen aluemarkkinoiden spot-hinnat vuosien 2016 ja 2021 välillä (Nord Pool, 2021).



Kuva 3.1: Spot- hintojen kehitys päivän tarkkuudella 1.1.2016 – 31.12.2021

Kuvaajasta voidaan havaita spot-hintojen vaihtelun kasvaneen vuoden 2019 alun jälkeen. Vuosien 2016 ja 2018 välillä hinta on pysynyt tasaisemmin hieman alle viidenkymmenen euron, kun taas vuoden 2019 ja 2021 välillä päivittäinen vaihtelu on suurempaa. Kuvaajan lopusta nähdään vuoden 2021 lopun spot-hintojen raju nousu. Suurimmillaan päivittäinen spot-hinnan keskiarvo kävi vuoden 2021 lopussa yli 450 eurossa, joka on yli kymmenkertainen verrattuna koko vuoden keskiarvoon. Kuvaajasta voidaan tulkita lyhyen aikavälin pieniä muutoksia spot-hintojen kehityksessä suuntaan tai toiseen vuosien 2016 ja 2020 välillä. Kuitenkin tärkein huomio, minkä kuvaaja konkretisoi, on vuoden 2021 hintapiikin suuruus.

3.1.2 Spot-hintojen tulevaisuuden kehitys

Hintojen tulevaisuuden kehitys on riippuvainen useista eri tekijöistä. Hintaan voivat vaikuttaa esimerkiksi puhtaiden energianlähteiden tuotannon kasvu, päästökaupan hintojen kiristyminen sekä sääolosuhteiden vaihtelut. Toisaalta uskotaan hinnan laskun puolesta puhuvan halvan uusiutuvan energian jatkuva lisääntyminen, kun taas hinnan nousua ennustaa entisestään kiristyvät päästökaupan hinnat sekä sähkön saatavuuden vaihtelut. Sähkön hinnan

nousun vuoden 2021 lopussa uskotaan johtuvan muun muassa sääolosuhteista kuten tuuli-
suudesta ja vesivarannoista. IEA:n 2021 sähkömarkkinoiden raportin (IEA, 2022) mukaan
sähkön hintoihin on vaikuttanut vahvasti myös sähkön kulutuksen kasvu koronapandemian
jälkeen. Euroopassa kahden laskusuuntaisen vuoden jälkeen sähkönkulutus kasvoi kokonai-
suudessaan yli 4 prosenttia. Tämän seurauksena Euroopassa jouduttiin hyödyntämään fos-
siilisia polttoaineita sähkön tuotannossa normaalia enemmän, mikä puolestaan johti sähkön
hintojen nousuun. Päästökaupan vaikutukset näkyvät energian hinnoissa niin pitkään, kun
fossiilisia polttoaineita vielä suuressa mittakaavassa käytetään. Uusiutuvien energianlähtei-
den kasvu on kiihtynyt viimeisten vuosien aikana, ja saman kehityssuunnan oletetaan jatku-
van. Tämän seurauksena sääolosuhteiden merkitys sähkön hintoihin kasvaa entisestään,
mikä puolestaan lisää sähkön spot-hintojen vaihtelua (Staffel & Pfenninger, 2018).

3.2 Hinnansuojaustuotteiden vaikutus

Erilaiset johdannaiset kuten hinnansuojaustuotteet ovat käytössä yleisesti monilla eri maail-
man markkinoilla, mukaan lukien energiamarkkinoilla. Energian hinnansuojaus tarkoittaa
käytännössä sitä, että tietty osa kulutetusta sähköstä ostetaan kiinteällä ennakoon määrite-
tyllä hinnalla. Tässä työssä johdannaisista käsitellään vain futuureita.

3.2.1 Eri futuurit tarjolla

Futuureita on saatavilla monilta eri tarjoajilta. Sähkön hinta voidaan suojata futuureilla koko
vuodeksi tai esimerkiksi kvartaaleittain, kuukausittain tai viikoittain. Tässä työssä käytetään
vain koko vuoden mittaista suojausta. Työn kirjoituksen aikaan vuoden 2023 futuuri on en-
simmäinen, mikä on myynnissä koko vuodelle. Futuurien hinnat elävät markkinoiden mu-
kaan jatkuvasti ja siksi tässä työssä on tutkittu kahta eri hintaa. Toinen tammikuun 2022
alusta ja toinen maaliskuun 2022 alusta.

3.2.2 Futuureiden hyödyt ja riskit

Futuureilla pystytään lukitsemaan energian hinta tiettyyn kiinteään hintaan ennakkoon määritetylle aikavälille. Tällaisesta hinnan kiinnityksestä voi parhaimmillaan olla todella suuri hyöty, mutta vastaavasti se voi myös johtaa ylimääräisiin kustannuksiin. Kun energian markkinahinnat nousevat ostetun futuurin hinnan yläpuolelle, on futuuri ollut ostajalle kannattava. Hyvän hyödyn futuureista on voinut saada esimerkiksi vuoden 2021 lopussa energian spot-hintojen suuren hetkellisen nousun seurauksena. Riskejä futuureiden ostamiseen sisältyy siltä osalta, että energian hinnat voivat myös laskea suojatun ajanjakson aikana, jolloin futuurin ostaja päätyy maksamaan energiastaan markkinahintaa suuremman hinnan. Monesti riskejä minimoidaan suojaamalla vain osa kulutuksesta. Tässä työssä tutkitaan futuureiden vaikutusta latauksen hintoihin eri suojausosuuksilla.

3.2.3 Hintahistoria ja tulevaisuuden kehitys

Futuureiden hintoihin viime vuosina ovat vaikuttaneet pitkälti samat tekijät, kuin spot-hintoihin. Koronapandemia sekä energiakentän uudistus ovat siis vaikuttaneet hintoihin reilusti. Viimeisimpänä suurena vaikutuksena näkyy Ukrainan sota. Työssä käytettävät hinnat muodostuvat Nasdaqin ENOFUTBLYR-23 futuurista sekä SYHELFUTBLYR-23 Suomen aluehintaerotuotteesta. Tammikuun 2022 alussa tämä hinta oli 38,45 €, kun taas Ukrainan sodan käynnistyttyä maaliskuun alussa sama hinta oli 56,50 €.

4 Latauksen optimointi Spot-hintojen mukaan

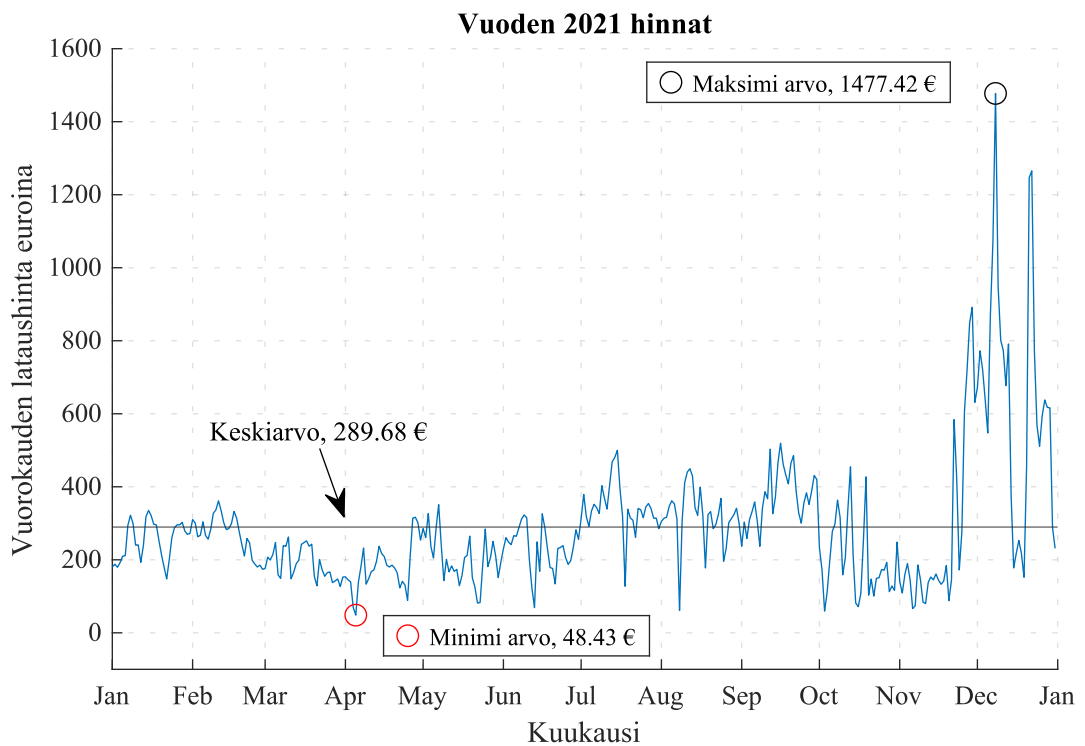
Lämpöakun lataus optimoitiin sähkön spot-hintojen mukaan. Optimoinnissa käytettiin vuoden 2021 sekä vuoden 2019 spot-hintoja. Nämä vuodet valittiin tarkoituksenmukaisesti kuvastamaan erilaisia tulevaisuuden skenaarioita. Vuosi 2019 oli melko vakaa vuosi sähkön markkinahintojen osalta, ennen maailmanlaajuisen pandemian vaikutuksia. Vuosi 2021 puolestaan kuvastaa hyvin erilaisten kriisien sekä uusiutuvien energianlähteiden tuomaa epävarmuutta sähkön markkinahintoihin.

Tutkittavan 5 MWh:n akun täyteen lataukseen menee teoreettisesti 6 tuntia 40 minuuttia lataustehon ollessa ilmoitettu 0,75 MW. Optimoinnissa haettiin kuitenkin seitsemän halvinta kokonaista tuntia, ja latauksen hinta laskettiin niiden perusteella. Latausteho säädettiin sopivaksi 5 MWh lataukselle seitsemän tunnin aikana. Optimoinnin hinnoissa otettiin huomioon lämpövaraston jatkuva kulutus, jonka suuruudeksi arvioitiin tässä työssä 20 kW. Jatkuva kulutus muodostuu järjestelmän toimintaan tarvittavien pumppujen sekä muiden laitteiden kuluttamasta tehosta. Tutkittavan lämpöakun tapauksessa täysi latausyksi on yksi vuorokausi ja akkua voidaan ladata ja purkaa yhtäaikaisesti. Näiden ominaisuuksien ansiosta optimointia voitiin yksinkertaistaa, sillä lataus voidaan suorittaa mihin vuorokauden aikaan tahansa, purkamisajankohdasta riippumatta. Toinen tehty yksinkertaistus on vuorokauden vaihtumisen huomiotta jättäminen. Todellisuudessa yhden vuorokauden kulutuksen lataaminen tapahtuu suurella todennäköisyydellä yöaikaan kahden eri vuorokauden aikana. Tässä työssä haettiin tästä huolimatta kuitenkin kerralla yhden vuorokauden seitsemän halvinta lataustuntia, joista kokonaishinta päivän lataukselle laskettiin. Vuoden 2021 seitsemän halvimmman tunnin verottomien spot-hintojen keskiarvo oli 41,60 €/MWh ja vuoden 2019 32,99 €/MWh.

Optimoinnissa spot-hintojen lisäksi on energian hintaan laskettu myös siirtohinnot sekä verot. Siirtohinnoille käytettiin Lappeenrannan energian hinnastoa keskijännitesirron 2-aikamittaukselle (Lappeenrannan Energia, 2022). Koska optimoitu lataus tapahtuu pääsääntöisesti yöllä, optimoinnissa käytettiin yöajan siirtohintaa 10,50 €/MWh, ALV 0 %.

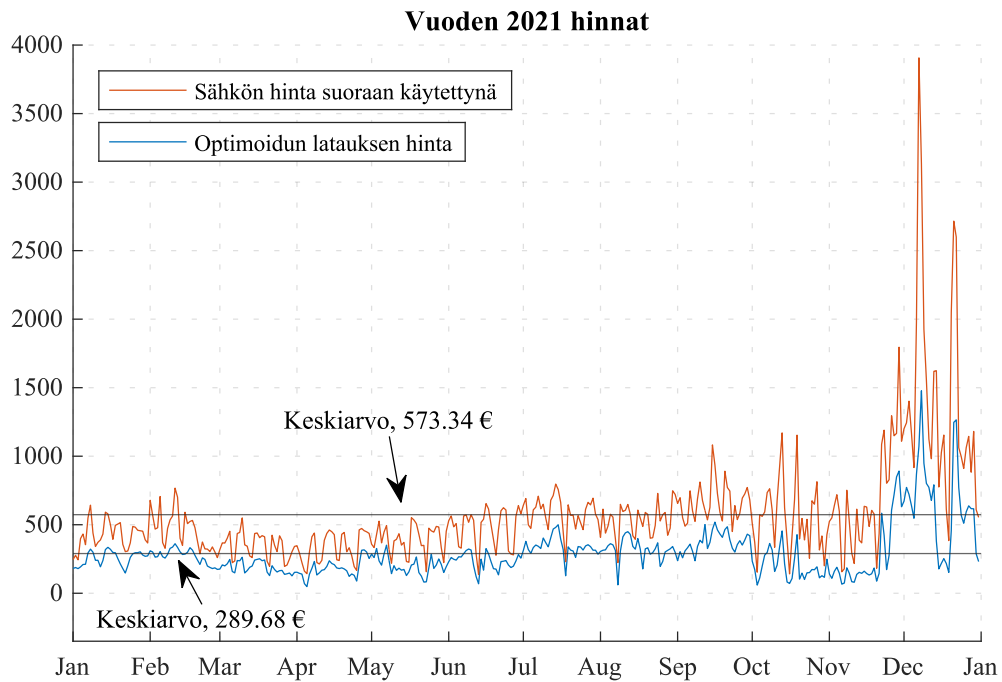
4.1 Optimointi vuoden 2021 spot-hintojen mukaan

Optimointi suoritettiin etsimällä valitun kapasiteetin lataukseen vaadittava määrä halvimpia tunteja vuoden 2021 jokaisen vuorokauden hintatiedoista. Lataustuntien lisäksi vuorokauden kulutukseen lisättiin lämpöakun ylläpitoon liittyvä jatkuva 20 kW suuruinen kulutus. Jokaisen vuorokauden latauksen hinta koostuu halvimpien lataustuntien spot-hinnoista, lämpöakun jatkuvan kulutuksen hinnasta sekä siirtomaksuista ja sähköverosta. Optimoinnissa ja laskennassa käytetyt hintojen arvot ovat ALV 0 % -hintoja.



Kuva 4.1: Vuoden 2021 vuorokausien latauksen optimoidut hinnat.

Vuoden 2021 latauksen päivähinnoissa oli todella suuria vaihteluita. Korkeimmillaan päivittäinen lataushinta oli 1477,42 €, kun taas alimmillaan se oli 48,43 €. Koko vuoden keskiarvoinen päivähinta oli 289,68 €. Optimointi suoritettiin energianhintojen mukaan, jonka jälkeen summaan laskettiin mukaan siirtohinnat sekä verot arvonlisäverottomina hintoina. Energian hintojen vaihtelu vuoden 2021 aikana on hyvin suurta. Spot-hintojen halvimpien tuntien keskiarvoinen hinta on myös melko korkea.

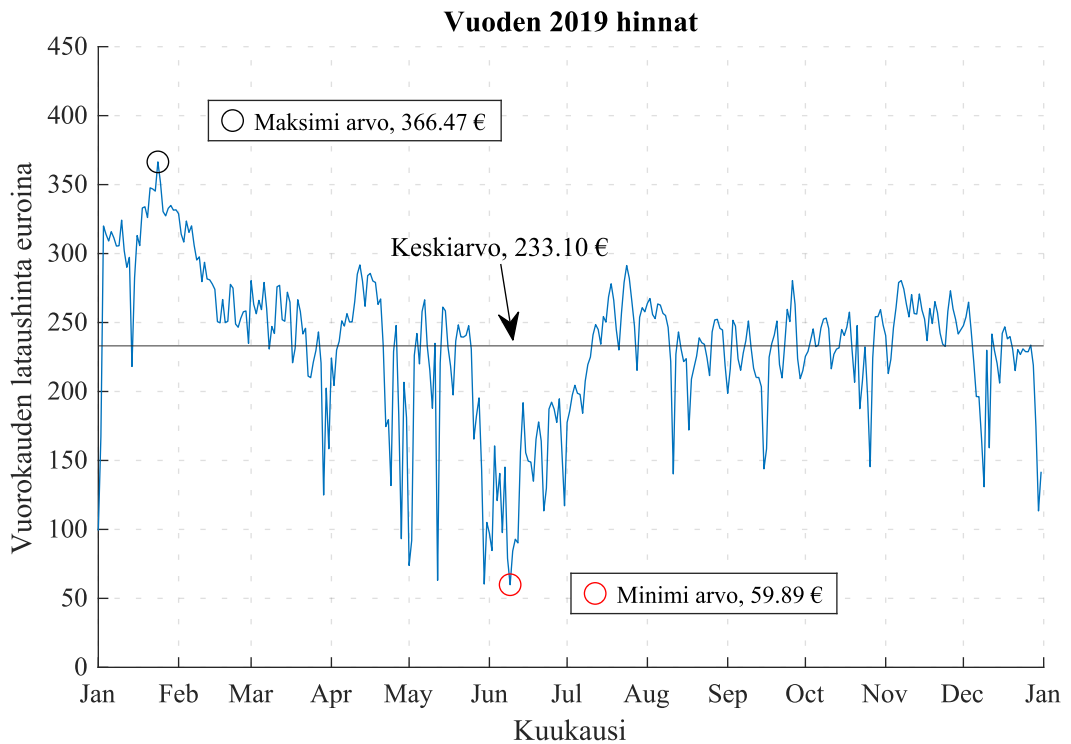


Kuva 4.2: Vuoden 2021 optimoitujen hintojen vertailu suoran sähkön käytön hintoihin

Yllä olevassa kuvaajassa on piirretty lämpöakun 5 MWh optimoidun latauksen päivähinnat sekä vastaavan energiamäärän hinta, kun se on käytetty tasaisesti klo 8.00–16.00 aikana. Kuvaaja esittää siis lämpöakun latauksen optimoinnilla saavutettavat hyödyt suoraan sähkön käyttöön verrattuna. Vuoden 2021 keskiarvoinen päiväkustannus on optimoidulla latauksella noin 55 % suoran sähkön käytön hinnasta. Suurimmat erot ovat havaittavissa vuoden lopussa sähkön hintojen korkeimpien huippujen kohdalla. Optimoinnilla saavutettava hyöty kasvaa sitä suuremmaksi, mitä suurempi ero vuorokauden kalleimpien ja halvimpien tuntien välillä on. Kokonaisuudessaan vuoden 2021 aikana optimoinnilla saavutettiin 103536 € säästöt lämpöakun latauskuluissa. Summa on hyvin merkittävä ja se kertoo hyvin sähkön lyhytaikaisella varastoinnilla saavutettavista hyödyistä. Täytyy kuitenkin muistaa, että summa on teoreettinen jälkikäteen suoritettujen optimoinnin tulos. Summa on siis käytännössä teoreettinen maksimi, minkä vuoden 2021 aikana olisi voinut optimoinnilla säästää.

4.2 Optimointi vuoden 2019 spot-hintojen mukaan

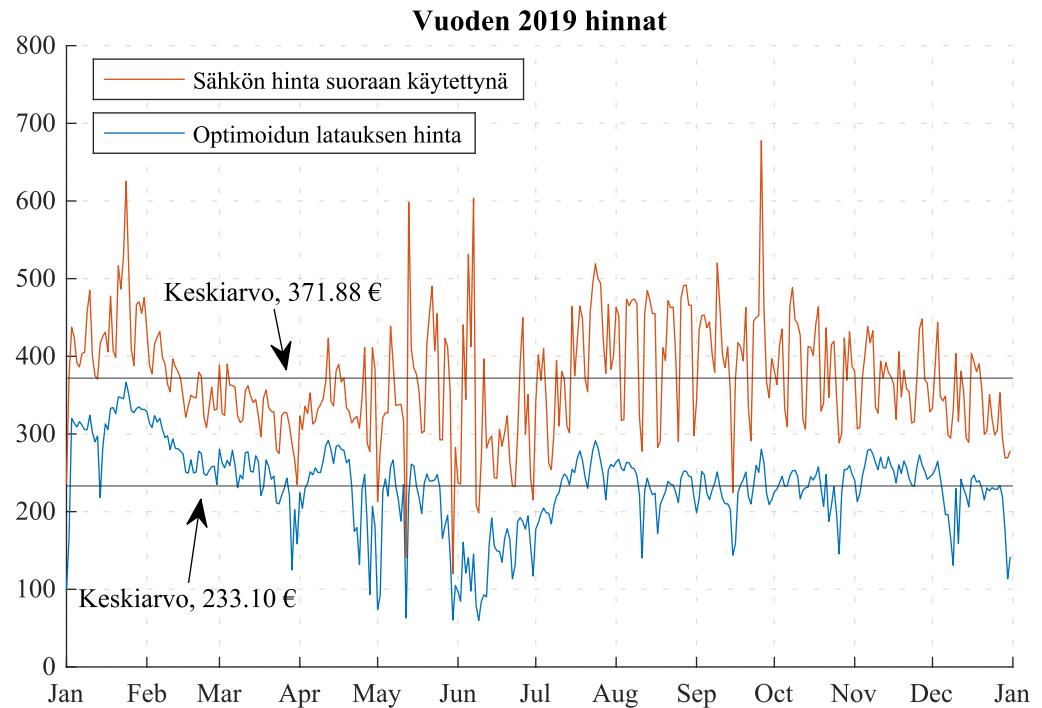
Optimointi suoritettiin etsimällä valitun kapasiteetin lataukseen vaadittava määrä halvimpia tunteja vuoden 2019 jokaisen vuorokauden hintatiedoista. Lataustuntien lisäksi vuorokauden kulutukseen lisättiin lämpöakun ylläpitoon liittyvä jatkuva 20 kW suuruinen kulutus. Jokaisen vuorokauden latauksen hinta koostuu halvimpien lataustuntien spot-hinnoista, lämpöakun jatkuvan kulutuksen hinnasta sekä siirtomaksuista ja sähköverosta. Optimoinnissa ja laskennassa käytetyt hintojen arvot ovat ALV 0 % -hintoja.



Kuva 4.2: Vuoden 2019 vuorokausien latauksen optimoidut hinnat.

Vuoden 2019 latauksen päivähintojen vaihtelut ovat hyvin maltillisia verrattuna vuoden 2021 hintoihin. Kalleimmillaan päivän lataus maksoi 366,47 € ja alimmillaan 59,89 €. Koko vuoden keskiarvoinen latauksen päivähinta oli 233,10 €. Tämä on noin 17 % matalampi vuoden 2021 keskihintaan verrattuna. Vuoden 2019 kuvaajassa näkyy Suomen aluehinnoille tyypillinen vuodenaikojen mukaan tapahtuva vaihtelu. Korkeimmat hinnat löytyvät talviaikaan tammi-helmikuussa, kun taas halvimmat hinnat ovat keväällä sekä kesällä. Tähän

vaihteluun vaikuttavat muun muassa lämpötilat sekä keväisen lumien sulamisen sekä sateiden aiheuttama vesivoiman tarjonnan kasvu.



Kuva 4.3: Vuoden 2019 optimoitujen hintojen vertailu suoran sähkön käytön hintoihin.

Yllä olevassa kuvaajassa on piirretty lämpöakun 5 MWh optimoidun latauksen päivähinnat sekä vastaavan energiamäärän hinta, kun se on käytetty tasaisesti klo 8.00–16.00 aikana. Kuvaaja esittää siis lämpöakun latauksen optimoinnilla saavutettavat hyödyt suoraan sähkön käyttöön verrattuna. Optimointi tuo vuoden 2019 tapauksessakin merkittävän hyödyn, vaikka vuoteen 2021 verrattaessa keskihintojen ero ei olekaan suhteessa läheskään yhtä suuri. Vuoden 2019 aikana optimoinnilla saavutettiin kokonaisuudessaan 50654 € säästö lämpöakun latauskuluissa. Vaikka säästö on vain noin 48 % vuoden 2021 säästöstä, on se silti summana hyvin merkittävä.

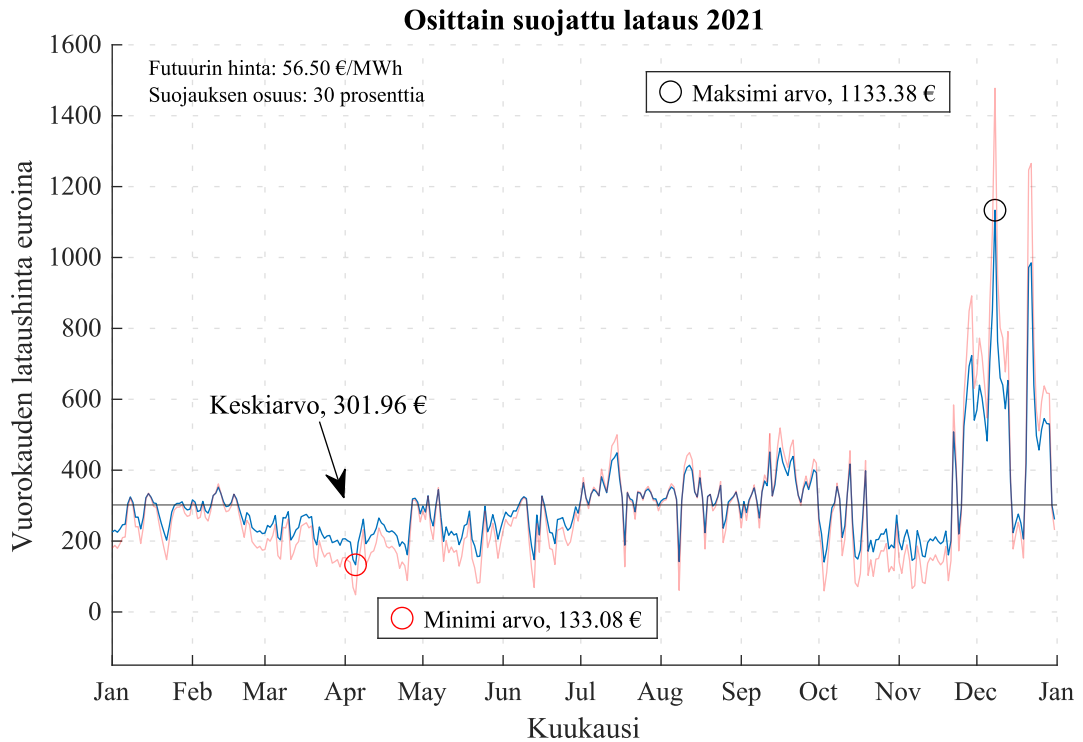
4.3 Optimointi hinnansuojaustuotteiden kanssa

Lämpöakun lataukseen käytettävän sähkön hinnasta osan voi suojata hinnansuojaustuotteilla kuten esimerkiksi futuureilla. Tässä kappaleessa esitetään optimoidun latauksen tuloksia kahdella eri futuurin hinnalla neljälle eri suojausosuudelle. Esitetyt futuurin hinnat koostuvat ENOFUTBLYR-23 futuurista sekä Suomen aluehintaerotuotteesta SYHELFUTBLYR-23. Futuurien hinnat ovat Nasdaq-pörssin vuoden 2023 hinnat kahdelta eri hetkeltä. Halvempi futuurin hinta (38,45 €) on tammikuun 2022 alusta. Kalliimpi hinta (56,50 €) on saman futuurin hinta maaliskuussa 2022. Alla olevassa taulukossa on esitetty futuurin tuoma muutos koko vuoden latauksen hintaan euroina.

Taulukko 4.1: Futuurin vaikutus koko vuoden lataushintaan euroina eri suojauksen osuuksilla sekä futuurien hinnoilla.

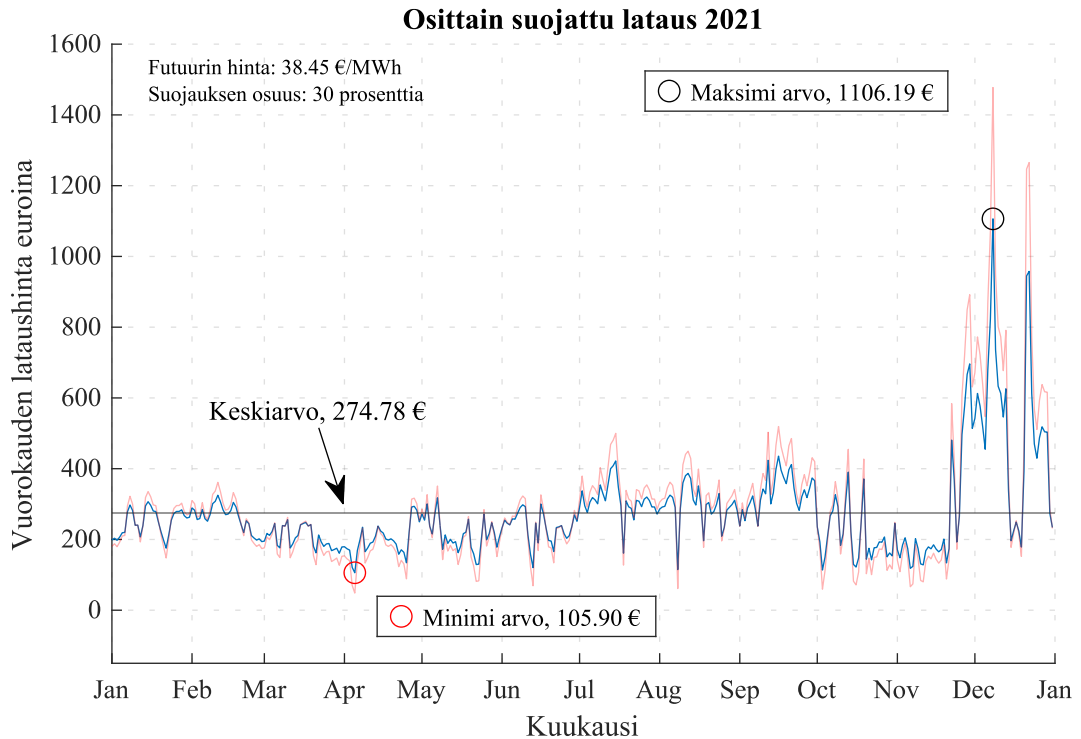
Ftuurin hinta	2021				2019			
	Suojauksen osuus				Suojauksen osuus			
	10 %	20 %	30 %	40 %	10 %	20 %	30 %	40 %
38,45 €	-1813	-3627	-5440	-7253	252	504	756	1008
56,50 €	1494	2988	4482	5976	3559	7119	10678	14237

Taulukossa 4.1 vuoden 2021 suojauksen vaikutus hintoihin on negatiivinen tammikuussa 2022 myydyn futuurin hinnalla. Tämä johtuu siitä, että futuurin hinta on matalampi, kuin vuoden 2021 optimoitujen halvimpien tuntien keskiarvo. Tämä on esimerkki ihannetilanteesta hinnansuojaustuotteiden käytössä. Hinnansuojaus on ostettu toteutunutta markkinahintaa halvemmalla, jolloin suojauksesta saadaan taloudellista hyötyä. Toisena ääripäänä näkyy vuoden 2019 suojaus kalliimmalla maaliskuussa 2022 myydyn futuurin hinnalla. Tässä tapauksessa vuoden kulut nousevat paljon, mikä johtuu futuurin selkeästi korkeammasta hinnasta vuoden 2019 optimoitujen halvimpien tuntien keskiarvoon verrattaessa. Futuurien yleisintä käyttäytymistä kuvastaa hyvin vuoden 2021 suojaus kalliimmalla sekä vuoden 2019 suojaus halvemmalla futuurin hinnalla. Alla esitetyistä kuvaajista huomataan, miten futuurit vaikuttavat kokonaisuuteen. Kuvaajissa taustalle haalealla oranssilla on piirretty optimoidun latauksen hinnat ilman hinnansuojausta.



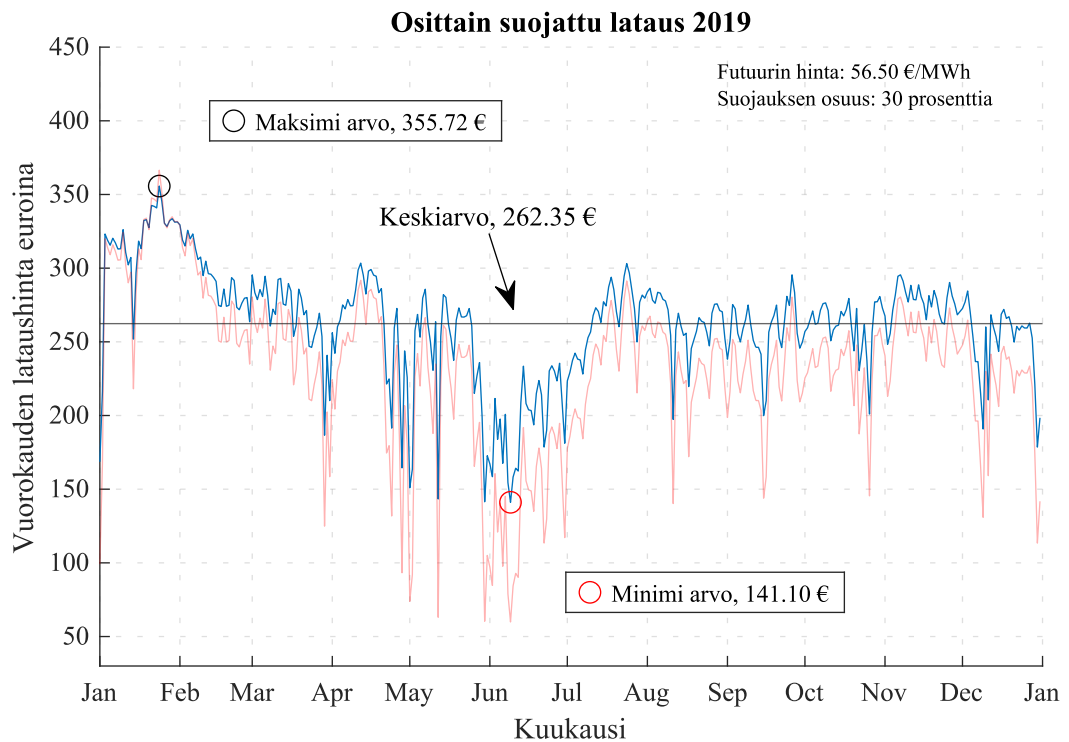
Kuva 4.5: Vuoden 2021 kulutuksen osittainen suojaus maaliskuussa 2022 ostetun futuurin hinnalla.

Tämän optimoinnin vuoden 2021 osittainen suojaus näyttää kokonaisuutena melko hyvältä. Kuvaajasta nähdään miten hinnansuojaus pienentää spot-hintojen aiheuttamaa vaihtelua. Alkuvuoden osalta hinnansuojaus on huono, sillä se pääsääntöisesti nostaa päivittäisiä hintoja. Vuoden loppupuoliskon hintojen nousu kuitenkin korvaa alkuvuotta hieman. Tässä tapauksessa koko vuoden keskiarvoinen päivittäisen latauksen hinta nousee noin 12 eurolla. Futuurin avulla saadaan kuitenkin leikattua loppuvuoden kalleimman päivän lataushinnasta lähes 400 € pois.



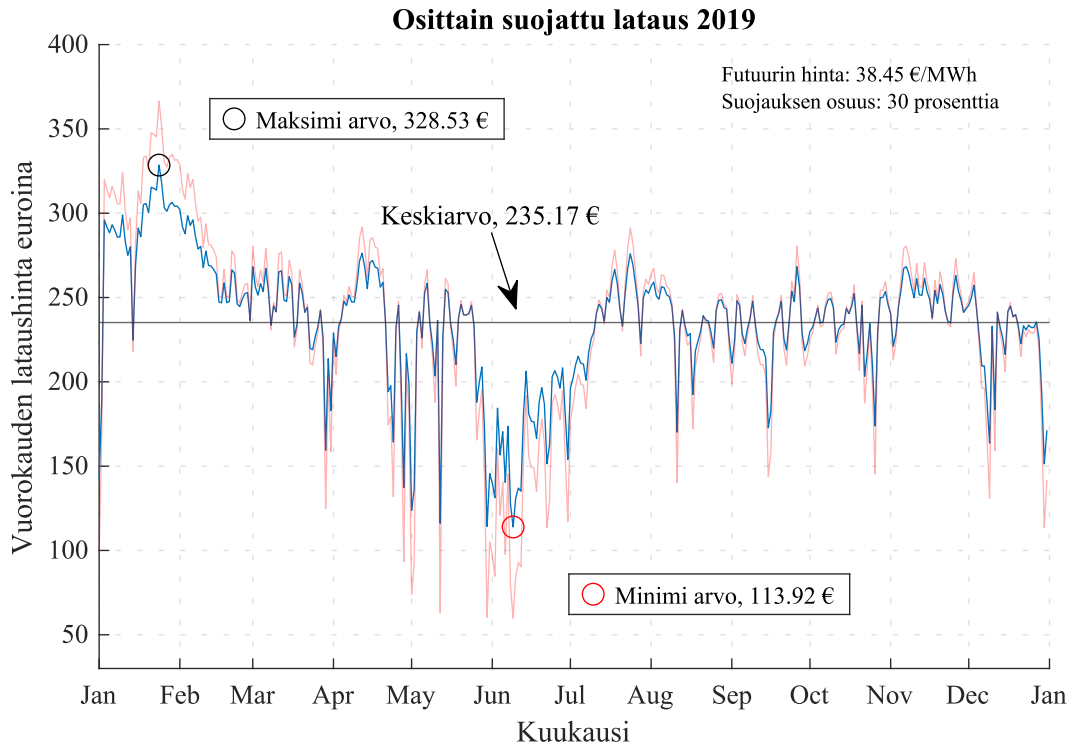
Kuva 4.6: Vuoden 2021 kulutuksen osittainen suojaus tammikuussa 2022 ostetun futuurin hinnalla. Esimerkki ideaalisesti toimivasta suojauksesta.

Tässä kuvaajassa nähdään tilanne, jossa hinnansuojaus toimii erittäin hyvin. Osittainen hinnansuojaus leikkaa kulutuksen piikkejä tasaisemmiksi molemmista päistä. Futuurin hinta on tässä tapauksessa kuitenkin matalampi kuin optimoitujen halvimpien tuntien keskiarvo ja siksi koko vuoden keskiarvoinen päivittäisen latauksen hinta myös laskee tässä tapauksessa noin 15 euroa. Hinnansuojauksella saavutetaan tässä tapauksessa siis säästöjä optimoituun lataukseen verrattuna.



Kuva 4.8: Vuoden 2019 kulutuksen osittainen suojaus maaliskuussa 2022 ostetun futuurin hinnalla. Esimerkki huonosta suojauksesta.

Tästä kuvaajasta nähdään miten huono, tässä tapauksessa liian korkealla hinnalla ostettu suojaus vaikuttaa kokonaishintaan. Suojaus leikkaa piikkejä lähinnä alapuolelta kuvaajaa, halvimmista päivistä. Kokonaisuutena suojaus nostaa latauksen hintaa koko vuoden ajan lähes joka päivältä. Tässä tapauksessa hinnansuojaus nostaa koko vuoden päivittäisen latauksen keskiarvoista hintaa noin 30 euroa.



Kuva 4.7: Vuoden 2019 kulutuksen osittainen suojaus tammikuussa 2022 ostetun futuurin hinnalla.

Tästä kuvaajasta nähdään miten futuurilla toteutettu osittainen hinnansuojaus pienentää hintojen vaihtelusta johtuvia piikkejä molempiin suuntiin. Osittaisella hinnansuojauksella voidaan siis tasoittaa sähkön spot-hinnoista koituvia vaihteluita. Tässä tapauksessa hinnansuojaus nostaa koko vuoden päivittäisen latauksen keskiarvoista hintaa vain noin kaksi euroa. Tässä tapauksessa hinnansuojaus on ollut siis melko hyvää. Kokonaiskustannukset vuoden ajalta eivät kasva kauheasti, mutta päivittäistä hintaa pystytään tasoittamaan.

Ideaalitilanteessa hinnansuojaus tuo säästöjä koko vuoden aikaiseen sähkön kulutukseen. Tässä tapauksessa kyseessä on kuitenkin jo vuoden halvimmille tunneille optimoitu kulutus, joten futuureilla säästäminen on tällaisessa tilanteessa hankalaa, sillä futuurin hinta täytyisi olla matalampi, kun vuoden halvimpien tuntien keskiarvon. Futuureilla voidaan parhaassa tapauksessa saavuttaa suuriakin säästöjä sähkön kulutuksen hinnoissa. Energian hinnoissa on nähty viimeisen kahden vuoden aikana niin maailmanlaajuisen pandemian, kuin Euroopan sotatilanteen vaikutukset. Sopivasti osuneella suojauksella on tällaisten kriisien aikana mahdollista välttää suuret energian hintojen nousun vaikutukset.

5 Aurinkovoimalan yhdistäminen optimointiin

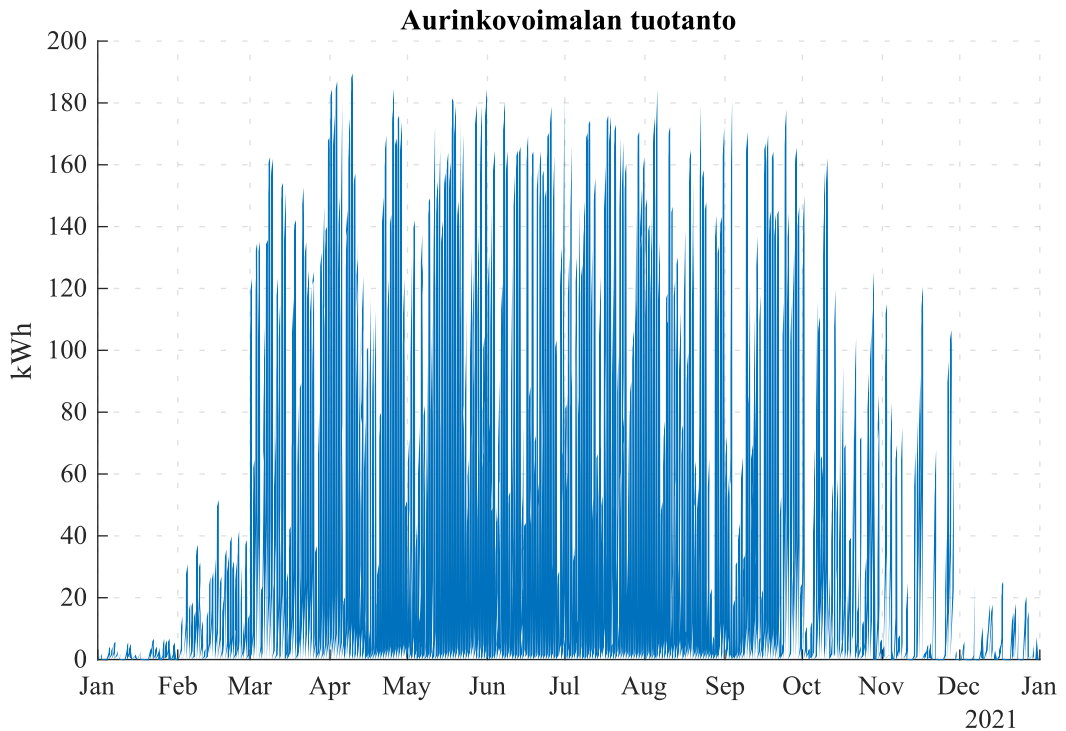
Lämpöakun latauksen optimointiin yhdistettiin oman aurinkovoimalan sähköntuotantoa. Simuloidun voimalan paneeliston tehoksi valittiin 220 kWp sekä järjestelmän invertterien yhteisnimellistehoksi 210 kW. Teholtaan noin 200 kW voimala voisi olla Suomessa teollisuuslaitoksien yhteydessä realistisesti toteutettavissa ja valikoitui siksi tämän simuloinnin voimalan kooksi. Aurinkovoimalan tuotannon simuloinnissa käytettiin PVSyst -ohjelmistoa. Tällä ohjelmistolla pystytään mitoittamaan ja suunnittelemaan aurinkovoimalan eri parametrit sopiviksi ja analysoimaan niiden vaikutuksia tuotantoon.

Tuotannon simuloinnissa otettiin huomioon lumikuorman osittainen vaikutus joulukuun ja maaliskuun välillä. Vuosien 1980–2016 välisenä aikana pysyvä lumipeite on tullut Helsinkiin keskimäärin 29. lokakuuta ja se on lähtenyt 16. huhtikuuta (Hulkkonen, 2020). Suomessa sijainnista riippuen lumen vähentävä vaikutus koko vuoden säteilymäärään on noin 20–28 % (Hulkkonen, 2020). Tämä arvio perustuu kuitenkin pysyvän lumipeitteen kestoon maassa. Aurinkopaneelien päällä pysyvän lumipeitteen aika on kuitenkin usein lyhyempi paneelien ollessa väriltään tummia sekä kulmassa aurinkoon päin. Tässä työssä lumen vaikutus tuotantoon mitoitettiin niin, että se laski koko vuoden paneeliin osuvaa säteily määrää yhteensä noin 19 %.

Aurinkovoimalan tuotanto sijoittuu vuorokauden tunneista päivän ajalle, kun taas lämpöakun lataus on optimoitu spot-hintojen halvimmille tunneille, jotka ovat pääsääntöisesti yöllä. Aurinkovoimalan tuotanto otettiin optimoinnissa huomioon siten, että päivittäinen tuotantomäärä vähennettiin lämpöakun kapasiteetista. Tästä jäljelle jäävä energian osuus on lämpöakun vaadittu vuorokauden latausmäärä oman tuotannon jälkeen. Seuraavana laskettiin tälle kapasiteetille tarvittava määrä lataustunteja kokonaisina tunteina ja säädettiin latausteho niin, että vaadittu kapasiteetti tulee näiden tuntien aikana ladatuksi. Aurinkovoimalan omatuotanto laski vuorokaudessa vaadittujen lataustuntien määrää enimmillään seitsemästä viiteen.

5.1 Aurinkovoimalan tuotanto

Alla olevassa kuvaajassa esitetään aurinkovoimalan tuotanto PVSyst -ohjelmiston simulaation mukaan normaalina vuotena.

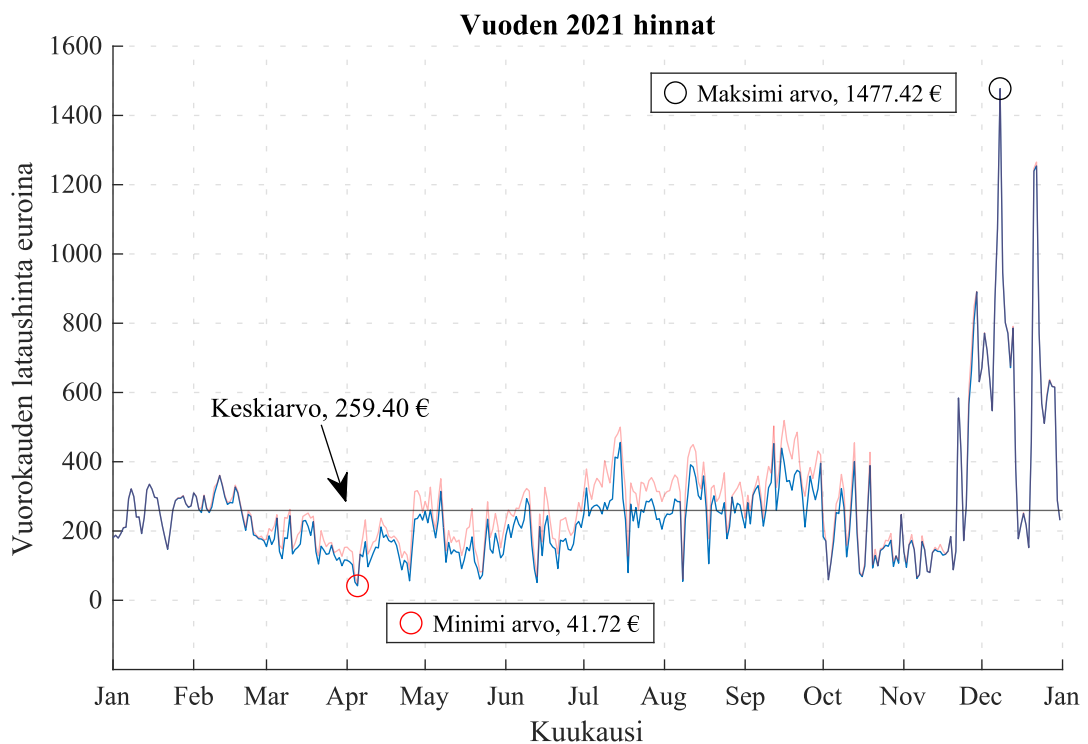


Kuva 5.1: Simuloitu aurinkovoimalan tuotanto

Aurinkovoimalan tuotantokäyrä näyttää hyvin tyypilliseltä Suomen olosuhteisiin nähden. Päivittäistä vaihtelua on läpi vuoden ja suurimmat tuotantomäärät painottuvat toukokuun ja syyskuun väliin. Maalis-huhtikuun tuotanto on kokonaisuutena pienempää kesäkuukausiin verrattuna, mutta korkeita piikkejä kuitenkin esiintyy. Tämä johtuu auringonpaisteen lisäksi aurinkopaneelien suuremmasta hyötysuhteesta matalimmilla lämpötiloilla. Eri kuukausien aurinkovoiman tuotanto Suomessa voi vaihdella vuosittain hyvinkin paljon.

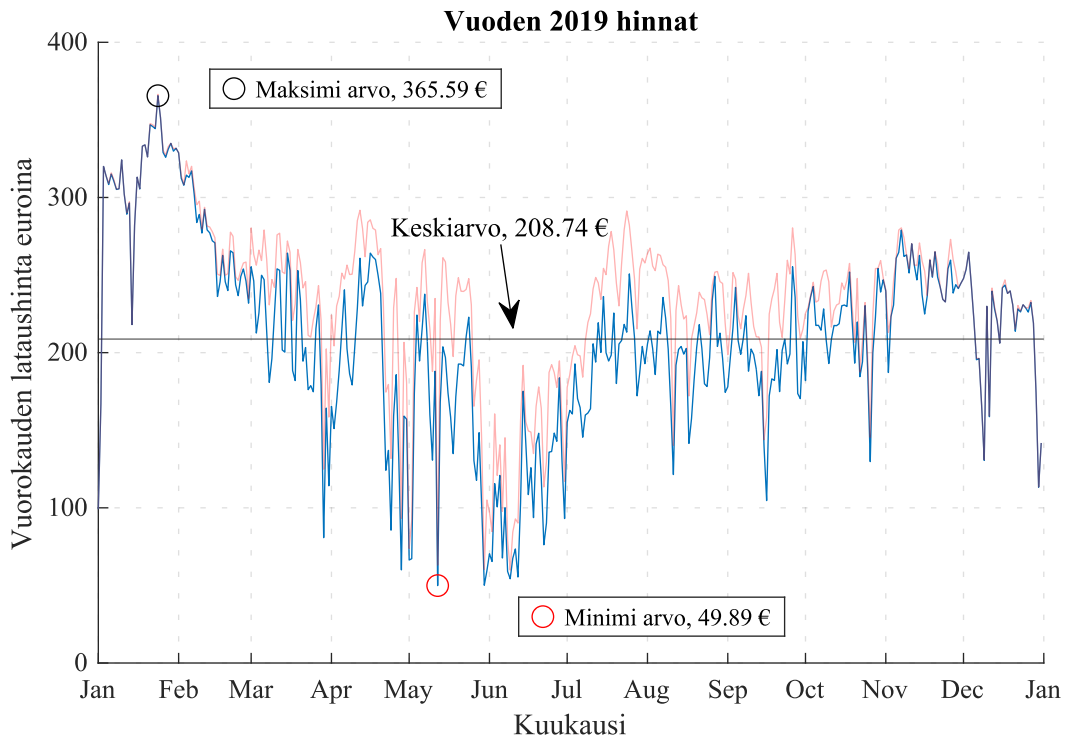
5.2 Aurinkovoimalan tuotanto yhdistettynä optimointiin

Alla olevissa kuvaajissa on piirretty päivittäisen latauksen optimoidut hinnat omatuotannon kanssa sekä haalealla taustalle hinnat ilman omaa tuotantoa. Aurinkovoimalan tuotantoa simuloitiin ainoastaan yhden vuoden ajalta. Data simuloinnissa on PVSyst -järjestelmän mukaan tyypillisen vuoden dataa. Saman simulaation tuloksia on käytetty sekä vuoden 2019 että 2021 kulutuksien kanssa.



Kuva 5.2: Lämpöakun päivittäisen latauksen hinnat 2021 aurinkovoimalan oman tuotannon kanssa.

Kuvaajasta nähdään, miten aurinkovoimalan tuotanto laskee päivittäisiä lataushintoja luonnollisesti eniten silloin, kun tuotantoa on paljon. Suurin hyöty voimalasta saadaan siis kesäkuukausina, jolloin tuotantoa on eniten tuotannon kuvaajan 5.1 mukaan. Vuoden 2021 aikana aurinkovoimalan omalla tuotannolla saatiin optimoidun latauksen hinnasta säästöjä yhteensä noin 11052 €. Vuoden keskimääräistä päivittäisen latauksen hintaa aurinkovoimala laskee noin 30 euroa vuoden 2021 aikana.



Kuva 5.3: Lämpöakun päivittäisen latauksen hinnat 2019 aurinkovoimalan oman tuotannon kanssa.

Vuoden 2019 kuvaajassa näkyy aurinkovoimalan vaikutukset selkeämmin verrattuna vuoteen 2021. Aurinkovoimalan tuotantomäärät ovat samat, mutta y-akselin resoluutio on suurempi. Pienet erot tuotantomäärissä erottuvat siis tästä kuvaajasta selkeämmin. Näkyvimmän vaikutuksen aurinkovoimala saa aikaan silloin, kun tuotanto on suurta ja spot-hinnat korkeat. Vuoden 2019 aikana aurinkovoimalan omalla tuotannolla saatiin optimoidun latauksen hinnasta säästöjä yhteensä noin 8890 €. Vuoden keskimääräistä päivittäisen latauksen hintaa aurinkovoimala laskee noin 25 euroa vuoden 2019 aikana.

5.3 Aurinkovoimalan kannattavuus

Aurinkovoimalan kannattavuutta tarkasteltiin saatujen säästöjen kautta. Säästö laskettiin vuosien 2021 ja 2019 säästöjen keskiarvona. Vuotuisen säästön sekä arvioidun voimalan investointikustannusten avulla laskettiin voimalalle takaisinmaksuaika sekä elinkaaren aikainen tuotto sisäisen korkokannan menetelmällä. Takaisinmaksuaika kertoo vuosina sen ajan, jolloin aurinkovoimala on tuottanut rahaa yhtä paljon kuin sen investointi maksoi.

Sisäinen korkokanta kertoo tuottojen diskonttauskoron, jolla investoinnin nettonykyarvo on nolla. Käytännössä sisäinen korkokanta kertoo siis investoinnin vuosittaisen tuoton sen odotetun eliniän aikana.

Aurinkopaneelivalmistajat antavat usein paneeleilleen 25 vuoden tuotantotakuun. Esimerkiksi LG lupaa uusimpien paneelityyppien tuotantotehon olevan vähintään 92,5 % nimellisestä tuotantotehosta 25 vuoden käytön jälkeen (LG). Panasonic puolestaan lupaa saman luvun olevan 92 % (Panasonic, 2022). Työssä kannattavuus laskettiin 25 vuoden käyttöiällä ja oletuksella, että tuotantoteho laskee tänä aikana 90 %:iin nimellistehosta. Todellisuudessa voitaisiin melko turvallisesti olettaa paneelien toimivan ja tuottavan sähköä vielä tämän 25 vuoden rajapyykin jälkeenkin.

Aurinkovoimaloiden investointikulut ovat laskeneet viime vuosien aikana rajusti. Vuonna 2019 kokoluokaltaan 100–250 kW voimalan investointikuluiksi on arvioitu 700–800 €/kW, kun viittä vuotta aiemmin vuonna 2014 kustannusten arvioitiin olevan noin 1200 €/kW (Ahola, 2019). Tässä työssä oletettiin voimalan investointikuluiksi 800 €/kWp.

Yksinkertainen takaisinmaksuaika laskettiin jakamalla alkuinvestoinnin hinta keskiarvoisella vuosituotolla. Tällä menetelmällä takaisinmaksuajaksi saatiin 16,9 vuotta. Yksinkertainen takaisinmaksuaika ei ota huomioon voimalan lainakuluja. Sisäinen korkokanta laskettiin Matlabista löytyvällä valmiilla IRR (internal rate of return) funktiolla. Sisäiseksi korkokannaksi saatiin 3,3 %.

Lämpöakku yksinään on epäedullinen yhdistää aurinkovoimalaan, sillä tässä tilanteessa aurinkovoimalla tuotettu sähkö kilpailee vuorokauden halvimpien tuntien aikana kulutetun sähkön kanssa. Tästä huolimatta voimala kuitenkin maksaa itsensä takaisin elinkaarensa aikana. Paras hyöty aurinkovoimalasta saadaan, kun sen tuottama sähkö käytetään pienentämään lämpöakun yhteydessä olevan tuotantolaitoksen tai tehtaan kulutusta, ja vain tästä ylijäävä tuotanto käytetään lämpöakun lataamiseen. Tässä tilanteessa saadaan leikattua vuorokauden kalliimpien spot-hintojen aikaista kulutusta ja kaikki omatuotanto saadaan hyödynnettyä itse.

6 Johtopäätökset

Lämpöakun latauksen optimoinnilla saavutettavat säästöt ovat merkittävät. Optimoitujen lataustuntien keskimääräinen spot-hinta oli 2019 vuonna noin 11 € matalampi koko vuoden spot-hintojen keskiarvoon verrattaessa. Vuonna 2021 sama luku oli hieman yli 30 €. Työssä verrattiin optimoidun latauksen hintoja tasaisesti klo 08.00—16.00 aikana käytetyn sähkön hintoihin. Tässä vertailussa siirtohintojen sekä verojen kanssa latauksen optimointi tuotti säästöjä vuonna 2019 50 654 € ja vuonna 2021 103 536 €.

Yksinkertaistetussa vertailussa maakaasun kanssa optimoiduilla hinnoilla sähkön käyttäminen tulisi halvemmaksi. Vuoden 2021 aikana maakaasun keskimääräinen hinta yli 278 MWh vuosikulutuksella oli 51,35 €/MWh. Kun maakaasun energian hintaan lisätään veroista ja siirtomaksuista muodostuva 30,172 €/MWh kulu, tulee maakaasun hinnaksi 81,522 €/MWh. Vuoden 2021 optimoitujen spot-hintojen keskimääräinen hinta oli 41,60 €/MWh. Kun optimoitujen lataustuntien spot-hintaan lisätään veroista ja siirtomaksuista muodostuva 8,5737 €/MWh kulu, tulee sähkön hinnaksi 50,1737 €/MWh.

Optimoitu lataus on siis halvempaa kuin maakaasun käyttäminen suoraan. Sen lisäksi tässä maailmantilanteessa maakaasusta irtautuminen on erittäin tärkeää ilmastokriisin pysäyttämiseksi sekä energiaomavaraisuuden lisäämiseksi. Tällaisella lämpövarastojärjestelmällä maakaasusta irtaantumista voisi edistää taloudellisesti kannattavasti ainakin energian hintojen valossa.

Aurinkovoimalan yhdistäminen lämpöakkujärjestelmään on kannattavaa, mutta ei välttämättä hyvä sijoituskohte tuollaisenaan. Mikäli aurinkovoimalan tuotanto ladataan kokonaan suoraan lämpöakkuun, kilpailee oman tuotannon hinta vuoden halvimpia spot-hintoja vastaan. Suurempi säästö olisi mahdollista saavuttaa käyttämällä itse tuotettu sähkö lämpöakun yhteydessä olevan tuotantolaitoksen energian kulutuksen leikkaamiseen, ja vain ylimääräinen osuus tuotannosta käytettäisiin akun lataukseen. Tällöin itse tuotettu energia pienentäisi suoraan vuorokauden kalliimpien tuntien aikana ostettavan sähkön määrää, ja siten loisi huomattavasti suuremman säästön.

Lähteet

Ahola, J. 2019. IEA. National Survey Report of PV Power Applications in Finland 2019. Saatavilla: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/09/NSR_Finland_2019.pdf

Belleprat, E. & West, K. 23.1.2018. IEA. Clean and Efficient Heat for Industry. Saatavilla: <https://www.iea.org/commentaries/clean-and-efficient-heat-for-industry>

Elstor Oy. Porkola, A. Henkilökohtainen tiedonanto. 26.11.2021.

Finlex. 2021. Hallituksen esitys eduskunnalle energiaverotusta koskevan lainsäädännön muuttamiseksi. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2021/20210212>

Hulkkonen, A. 2020. Lumen vaikutus aurinkopaneelien toimintaan Pohjoismaissa. Jyväskylän Yliopisto. Fysiikan laitos. Saatavilla: <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/70930/1/URN%3ANBN%3Afi%3Ajyu-202006255118.pdf>

IEA. 2022. Electricity Market Report January 2022. Saatavilla: https://iea.blob.core.windows.net/assets/d75d928b-9448-4c9b-b13d-6a92145af5a3/ElectricityMarketReport_January2022.pdf

Imatran lämpö. 2021. Maakaasun hinnan muodostuminen. Saatavilla: <https://www.imatranlampo.fi/wp-content/uploads/2021/01/mk-20210101-v1-g-nettiinfo-lopullinen-20210104-1.pdf>

IRENA. 2020. International Renewable Energy Agency. Innovation outlook: Thermal energy storage. Saatavilla: <https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Innovation-outlook-Thermal-energy-storage>

Lappeenrannan Energia. 2022. Sähkön verkkopalveluhinnasto 2022. Saatavilla: <https://www.lappeenrannanenergia.fi/hinnastot-ja-ehdot/sahkon-verkkopalveluhinnasto-2022>

LG 60/66 CELL SOLAR MODULE LIMITED WARRANTY – USA. Aurinkopaneelin tuotetakuu. Saatavilla: [https://www.lg.com/us/business/download/resources/CT00002151/60-66-Cell-Solar-Warranty_120120-Final\[20210525_010651\].pdf](https://www.lg.com/us/business/download/resources/CT00002151/60-66-Cell-Solar-Warranty_120120-Final[20210525_010651].pdf)

Lähienergia. 2021. Lämpöpumppujen ja konesalien käyttämä sähkö sähköveron alempaan veroluokkaan. Saatavilla: <https://lahienergia.org/lampopumppujen-ja-konesalien-kayttama-sahko-sahkoveron-alempaan-veroluokkaan/>

Nord Pool. 2020. Price formation. Saatavilla: <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Day-ahead-market/Price-formation/>

Nord Pool. 2021. Spot-hintojen historiatiedot. Saatavilla: <https://www.nordpoolgroup.com/historical-market-data/>

Nasdaq Market Prices. Pohjoismaiden futuurimarkkinat. Saatavilla: <http://www.nasdaqomx.com/transactions/markets/commodities/market-prices>

Panasonic. 2022. Limited Warranty for EverVolt® Photovoltaic Modules. Saatavilla: https://ftp.panasonic.com/solar/warranty/evp_limited_warranty.pdf

Sarbu, I. & Sebarchievici, C. 2018. A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage Sustainability. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/322757998_A_Comprehensive_Review_of_Thermal_Energy_Storage

Staffell, I & Pfenninger, S. 2018. The increasing impact of weather on electricity supply and demand. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217320844>

Statista. 2019. Distribution of carbon dioxide emissions in the European Union in 2019, by sector. Saatavilla: <https://www.statista.com/statistics/1240108/road-transportation-greenhouse-gas-emissions-eu/>

Tilastokeskus. 2022. Maakaasun hinta jakeluverkkosiakkaille (ei sis. veroja), 2021M01-2021M12. Saatavilla: https://pxweb2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/statfin_ehi_pxt_12hf.px

Vakkilainen, E. 2017. Steam Generation from Biomass – Construction and Design of Large Boilers. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128043899/steam-generation-from-biomass>

Weron, R. 2014. Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future, International Journal of Forecasting, Volume 30, Issue 4, Pages 1030-1081. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169207014001083>