



## **Akun kannattavuus omakotitalon aurinkosähköjärjestelmässä**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan kandidaatintyö

2023

Antti Salminen

Tarkastaja: Professori Tapio Ranta

Ohjaajat: DI Mika Laihanen ja DI Antti Karhunen

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Energiatekniikka

Antti Salminen

### **Akun kannattavuus omakotitalon aurinkosähköjärjestelmässä**

Energiatekniikan kandidaatintyö

2023

26 sivua ja 9 kuvaa

Tarkastaja: Professori Tapio Ranta

Ohjaajat: DI Mika Laihanen ja DI Antti Karhunen

Avainsanat: aurinkoenergia, akku

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, onko omakotitalon aurinkosähköjärjestelmään kannattavaa lisätä akku. Työssä vertaillaan tavanomaisen järjestelmän sekä akullisen järjestelmän eroja tuotetun sähkön omakäyttösuhteessa, myydyn ja ostetun sähkön määrässä sekä taloudellisessa kannattavuudessa. Työssä pohditaan myös erilaisia mahdollisia tapauksia, milloin akku voisi olla järkevä hankinta.

Työn lopputuloksena saatiin selville, ettei akku ole taloudellisesti järkevä hankinta. Akullinen järjestelmä maksaa itsensä takaisin, jos sähkön hinta on riittävän korkea. Takaisinmaksun aiheuttaa kuitenkin hyvin tuottava aurinkovoimala eikä itse akku. Pelkän akun takaisinmaksuajaksi muodostuu yli 70 vuotta, eikä akulle voida olettaa niin pitkää elinikää.

Tuotetun sähkön omakäyttöaste kasvaa akun ansioista ja sen avulla voidaan pärjätä kokonaisuuksia ilman verkosta ostettua sähköä. Jos tämä on asennuskohteessa korkeaa hintaa tärkeämpää, voi akkuun sijoittaminen tulla kyseeseen. Vaikka akku ei taloudellisena sijoituksena olekaan kannattava, voi sille silti mahdollisia käyttökohteita myös nykyhinnoilla.

## ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Energy Technology

Antti Salminen

### **Profitability of a battery in a solar power system**

Bachelor's thesis

2023

26 pages and 9 figures

Examiner: Professor Tapio Ranta

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

Keywords: solar energy, battery

The purpose of this work is to find out if it is profitable to add a battery to the solar electricity system of a single-family house. The work compares the differences between the conventional system and the system with a battery in terms of the self-use ratio of the produced electricity, the amount of electricity sold and purchased and the financial profitability. The thesis also considers various possible cases when a battery could be a reasonable purchase.

As a result of the thesis, it was found out that the battery is not a financially reasonable purchase. A system with battery pays for itself if the price of electricity is high enough. However, the payback is caused by the highly productive solar power system and not by the battery itself. The payback period for the battery alone is more than 70 years and the battery cannot be expected to have such a long lifespan.

The degree of self-use of the produced electricity increases thanks to the battery and with its help you can manage for whole days without electricity purchased from the grid. If this is more important than the high price, investing in a battery may come into question. Although the battery is not a profitable financial investment, there might still be possible uses for it even at current prices.

## LYHENNELUETTELO

### Lyhenteet

LCO litiumkobolttioksidi

LFP litiumrautafosfaatti

kWh kilowattitunti

kWp kilowattipiikki

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenneluettelo

1	Johdanto .....	6
2	Aurinkosähköjärjestelmä .....	7
2.1	Aurinkokennon toiminta.....	7
2.2	Järjestelmä omakotitalossa .....	8
3	Akut.....	10
3.1	Lyijyakku.....	10
3.1.1	Suljettu lyijyakku .....	11
3.2	Litium-akku .....	11
4	Järjestelmän mitoitus.....	13
4.1	Komponenttien valinta .....	13
4.2	Komponenttien kustannukset .....	14
5	Kannattavuus.....	15
5.1	Laskenta.....	15
5.2	Sähkön hinta .....	15
5.3	Toteutuneet kustannukset .....	16
5.4	Takaisinmaksuaika .....	19
5.5	Muita mahdollisuuksia akulle .....	22
6	Johtopäätökset.....	24
	Lähteet.....	25

# 1 Johdanto

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää, onko omakotitaloon järkevää hankkia akkua aurinkosähköjärjestelmän rinnalle. Suomessa aurinkosähköjärjestelmät tuottavat kesällä usein enemmän sähköä, kuin kohteessa on kulutusta. Aurinkosähköjärjestelmien suosio on myös noussut suuresti etenkin viime aikojen korkeiden sähkön hintojen vuoksi, sillä ihmiset toivovat helpotusta suuriin sähkölaskuihin. Akullisia järjestelmät eivät kuitenkaan ole kovin yleisiä. Tässä työssä tutkitaan, onko sähkön varastoinnilla mahdollista saada aikaan enemmän säästöä sähkölaskussa.

Tämän työn kohteena on omakotitalo Hausjärvellä. Kohteessa on suora sähkölämmitys, joten sähkönkulutus on kohtalaisen suuri. Työn kohteena olevassa talossa ei ole aurinkosähköjärjestelmää valmiina, joten myös sen kannattavuutta tarkastellaan.

Työssä vertaillaan akullisen ja akuttoman järjestelmän eroja. Vertaillaan järjestelmien omakäyttöastetta, myydyn ja ostetun sähkön määrää ja etenkin kustannuksia eri sähkön hinnoilla. Työssä pohditaan myös erilaisia tapauksia, jolloin akku voisi olla järkevä hankinta sen korkeasta hinnasta riippumatta.

## 2 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmällä tarkoitetaan aurinkovoimalaa, johon kuuluu kaikki omakotitalokäyttöön vaadittavat komponentit. Näitä komponentteja ovat esimerkiksi aurinkopaneelit, invertteri, turvakytin, sekä kaikki asennukseen tarvittavat kiinnikkeet ja kaapelit (Scanoffice 2023). Aurinkopaneelit koostuvat useasta sarjaan kytketystä aurinkokennosta. Kennot kytketään sarjaan, jotta saavutetaan korkeampi ja paremmin käyttöön sopiva jännitetaso.

Omalla aurinkovoimalalla sähkön tuottaminen on nostanut suosiotaan suuresti viime aikoina. Auringosta saatava sähkö on täysin uusiutuvaa energiaa ja sen tuottamisessa päästöjä syntyy ainoastaan tarvittavien komponenttien valmistamisesta. Myös suuri sähkön hintojen nousu on motivoinut ihmisiä hankkimaan aurinkopaneeleita kotiin. Aurinkosähköjärjestelmät ovat sopivia yksityishenkilöiden käyttöön sillä vaativat hyvin vähän huoltoa. Pienet järjestelmät ovat suosittuja myös esimerkiksi mökeillä, jossa tavallista verkkovirtaa ei välttämättä ole saatavilla. Tällaiset järjestelmät ovat niin kutsuttuja off-grid-järjestelmiä.

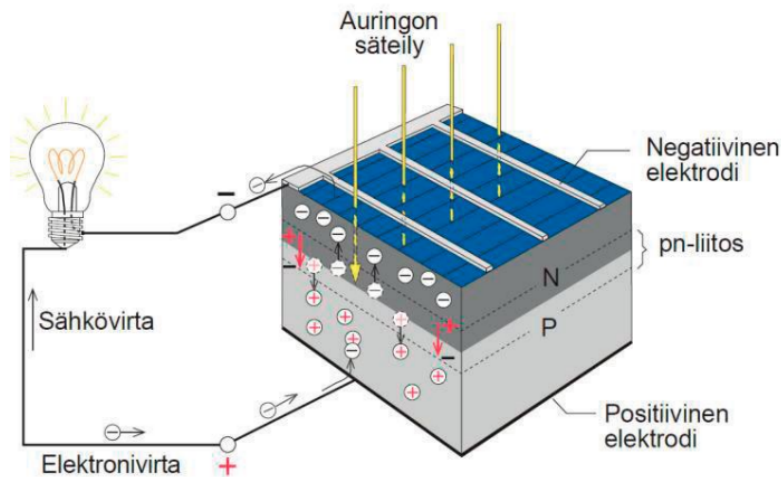
Aurinkopaneelit eivät aiheuta käytönaikaisia kustannuksia, jolloin tarvitsee huolehtia ainoastaan alkuperäisestä sijoituksesta (Luque, A. & Hegedus, S. 2011). Aurinkosähköjärjestelmien hinta onkin usein yksi rajoittavista tekijöistä järjestelmän hankintaa suunnitellessa. Vaikka paneelien hinnat ovat viime aikoina laskeneet, ovat järjestelmät silti huomattavan suuri kertainvestointi.

### 2.1 Aurinkokennon toiminta

Auringon säteilystä saatava sähköenergia perustuu valosähköilmiöön. Valosähköilmiö tarkoittaa auringosta saapuvien fotonien kykyä irrottaa elektroneja absorboivasta materiaalista. Aurinkokenno tuottaa sähköä hiljaisesti ja ilman liikkuvia osia.

Aurinkokenno koostuu kahdesta eri puolijohdemateriaalista. Näitä kutsutaan n-tyypin ja p-tyypin puolijohteiksi. Kun auringosta tuleva fotoni osuu aurinkokennoon, se läpäisee n-tyypin puolijohteen sekä pn-liitoksen. Fotoni absorboituu p-tyypin puolijohteeseen irrottaen

siitä elektronin. Muodostuu elektroniaukkopari ja elektroni kulkeutuu ulkoista johdinta pitkin n-tyypinpuolijohteeseen muodostaen samalla sähkövirran. Yleisin aurinkokennoissa käytetty puolijohdemateriaali on pii. Piikidepaneelien hyötysuhde on noin 11–20 %. (Motiva 2023b)



Kuva 1. Aurinkokennon toimintaperiaate. (Ahoranta J.)

Aurinkokennoja on olemassa kolmea eri sukupolvea. Ensimmäisen sukupolven kennoja ovat piistä valmistetut yksi- ja monikidekennot. Toisen sukupolven kennoja ovat ohutkalvokennot. Nämä kaikki perustuvat yllä mainittuun pn-liitoksen aiheuttamaan sähkövirtaan. Kolmannen sukupolven kennoja ovat esimerkiksi nanokidekennot, mutta ne ovat vielä tutkimusvaiheessa eikä niitä ole kaupallisesti saatavilla. (Motiva 2023b)

## 2.2 Järjestelmä omakotitalossa

Omakotitalossa aurinkopaneelit liitetään sähköjärjestelmään invertterin eli vaihtosuuntaajan avulla. Invertterin käyttö on pakollista, sillä aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa. Invertteri muuttaa virran vaihtovirraksi, jolloin se vastaa tavallisen jakeluverkon virtaa. Inverttereitä voi olla joko yksi tai vaihtoehtoisesti useampi mikroinvertteri. Mikroinvertteri on mahdollista kytkeä paneelikohtaisesti sähköjärjestelmään, jolloin esimerkiksi osan paneeleista peittävä varjo ei vaikuta kaikkien paneelien sähköntuotantoon. Useimmissa tapauksissa

aurinkosähköjärjestelmässä on kuitenkin vain yksi invertteri, sillä se on hinnaltaan edullisempaa. (Motiva 2023c)

Usein aurinkoisina päivinä aurinkopaneelit tuottavat enemmän sähköä, kun omakotitalossa on kulutusta. Tätä kutsutaan ylijäämä sähköksi. Invertteri syöttää ylijäämä sähkön sähköverkkoon, jolloin sähköyhtiö maksaa siitä useimmiten kyseisen tunnin spot-hinnan mukaisesti. Tuotetusta sähköstä saa sitä suuremman taloudellisen hyödyn, mitä enemmän siitä saa omaan käyttöön. Tämä johtuu siitä, että ostaessa sähköä verkkoyhtiöltä joutuu maksamaan energian hinnan lisäksi myös veroja sekä sähkönsiirtomaksun. Ilmiö on havainnollistettu kuvassa 2, jossa näkyvät myyntiin liittyvät kulut voivat olla esimerkiksi verkkoyhtiön myyntimarginaali tai jakeluyhtiön verkkopalvelumaksu. (Motiva 2023d)



Kuva 2. Aurinkosähköjärjestelmästä saatavat taloudelliset hyödyt. (Motiva 2023)

## 3 Akut

Akku on energiavarasto, jota voidaan ladata ja purkaa useita kertoja. Akkuun ladattava sähkö on vanhin ja edelleen hyvin laajasti käytetty energian varastointimuoto (Alanen et al. 2003). Sähkö varastoituu akkuun kemiallisesti. Akku koostuu anodista, katodista ja niiden välissä olevasta elektrolyytistä. Anodia ja katodia kutsutaan elektrodeiksi. Kun akkua ladataan, anodilla tapahtuu pelkistymisreaktio ja katodilla pelkistymisreaktio. Pelkistymisreaktiossa aine luovuttaa elektroneja ja pelkistymisreaktiossa aine vastaanottaa elektroneja. Koska elektronit eivät pääse kulkemaan akussa elektrolyytin läpi, ne kulkevat anodilta katodille ulkoisen johtimen kautta aiheuttaen sähkövirran. Akkua purkaessa reaktiot tapahtuvat toisinpäin. (Motiva 2023a)

Yksi tapa kasvattaa aurinkosähköjärjestelmän omakäyttöastetta on asentaa järjestelmään akku. Kun tuotantoa on kulutusta enemmän, invertteri ei syötä sähköä verkkoon vaan lataa akkua. Vasta, kun akku on täynnä, myydään ylimääräinen sähkö verkkoon. Kun tuotanto laskee kulutusta pienemmäksi, invertteri käyttää tuotannon korvaamiseksi akkuun ladattua energiaa.

### 3.1 Lyijyakku

Lyijyakku on yksi yleisimmistä akuista. Eniten lyijyakkuja käytetään autojen käynnistysakkuina. Lyijyakku sopii tähän tarkoitukseen hyvin, koska se kykenee antamaan hetkellisesti suuren virran. Lyijyakku on myös hintansa puolesta edullinen vaihtoehto. Lyijyakku kestää noin 300-400 sykliä. (Liu et al. 2011.)

Lyijyakun elektrodeina ovat lyijylevyt. Elektrolyytinä toimii laimennettu rikkihappo. Tyhjän akun elektrodit ovat lyijysulfaatin peitossa. Kun akkua ladataan, katodin pinnalle muodostuu lyijyoksidia ja anodi puhdistuu puhtaaksi lyijyksi. Kahden lyijylevyn välinen jännite on 2 voltia. Tavallisessa 12 V akussa on kuusi sarjaan kytkettyä lyijyparia, eli kennoa. (Pavlov 2011)

### 3.1.1 Suljettu lyijyakku

Yksi perinteisen lyijyakun ongelma on elektrolyytin haihtuminen akun avonaisuudesta johtuen. Latauksen loppuvaiheessa osa elektrolyytissä olevasta vedystä ja hapesta saattaa vapautua kaasuna ympäristöön. Jos näin käy, täytyy akkuun lisätä tislattua vettä akun päällä sijaitsevasta korkista. Tästä syystä perinteinen lyijyakku täytyy aina sijoittaa tiettyyn asentoon, eikä esimerkiksi kyljelleen. Tähän ongelmaan ratkaisu on suljettu lyijyakku. Suljetussa lyijyakussa elektrolyytti ei ole nestemäinen. Se on imeytetty useimmiten joko lasikuitumattoon (AGM-akku) tai hyytelöön (GEL-akku). Suljetussa akussa on varotoimenpiteenä ylipaineventtiili kannessa, jotta kaasut pääsevät vikatilanteessa vapautumaan. Tästä syystä tämän tyyllisiä akkuja kutsutaan myös venttiiliohjatuuksi akuiksi. Suljetut lyijyakut ovat huoltovapaita ja niitä voidaan käyttää missä tahansa asennossa. (Yleiselektoriiniikka 2023.) (Ziganshin et al. 2019.)

### 3.2 Litium-akku

Litium-akun katodina voidaan käyttää monia eri aineita. Yksi yleisin katodina käytetty aine on litiumkobolttioksidi ( $\text{LiCoO}_2$ ), eli LCO. Toinen nykyisin paljon käytetty katodimateriaali on litiumrautafosfaatti ( $\text{LiFePO}_4$ ), lyhennettynä LFP. Esimerkiksi lähes kaikki Kiinassa käytettävien sähköbussien akut ovat LFP-akkuja (Armand et al. 2020, 7). Litium-akun anodi valmistetaan grafiitista tai muusta hiilipitoisesta aineesta. Elektrolyytinä toimii useimmiten litiumheksafluorofosfaatti ( $\text{LiPF}_6$ ). Litium-akun elektrolyytin täytyy mahdollistaa litiumionien vapaa kulku, sillä litium-akkua käytettäessä litiumionit siirtyvät elektrodilta toiselle. Tämä saa aikaan elektronien liikkeen, joka hyödynnetään sähkövirtana (Pistoia 2014).

Litiumin ollessa kevyin tunnettu metalli, on litium-akun etuna suuri energiatiheys verrattuna lyijyakkuun. Energiatiheys tarkoittaa akun kapasiteettia suhteessa painoon. Tämän takia litium-akut sopivat hyvin liikkuviin kohteisiin. Litium-akut ovatkin vallanneet päivittäisessä käytössä olevien akkujen markkinat lähes kokonaan, lukuun ottamatta autojen käynnistysakkuja.

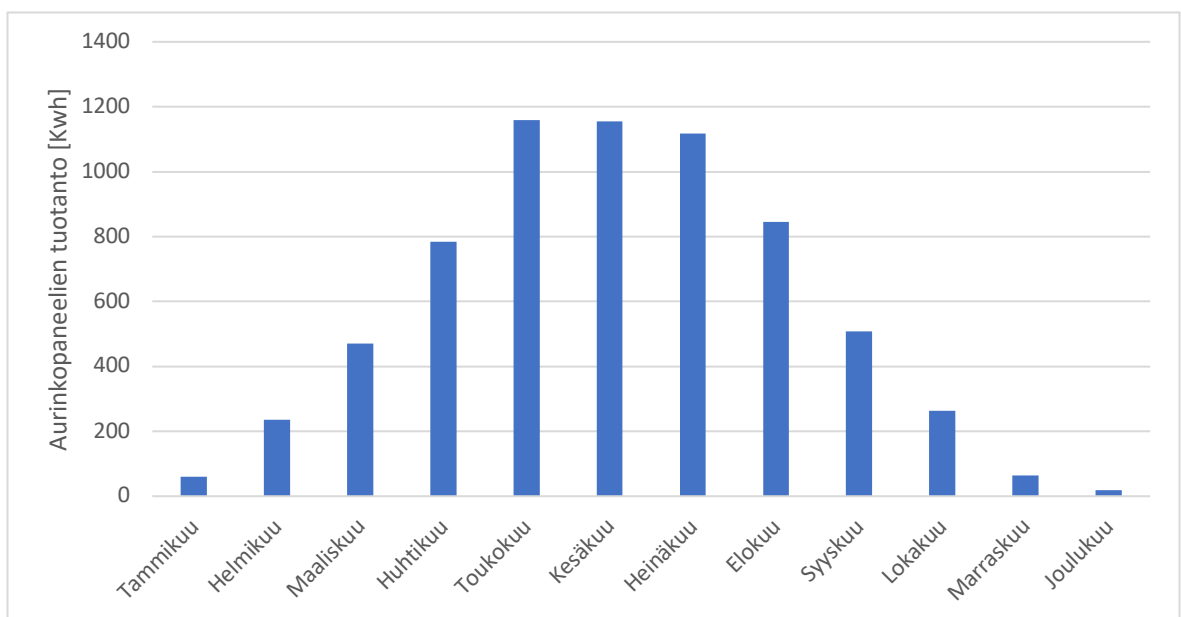
Litium-akku on pitkäikäinen ja se kestää tuhansia syklejä (Liu et al. 2011). Litium-akun elinikään vaikuttaa kuitenkin paljon sen käyttöolosuhteet. Esimerkiksi käyttölämpötila, akun purkunopeus ja purkusyvyys vaikuttavat siihen, kuinka monta sykliä akusta saadaan. Normaalissa käytössä litium-akkua ei myöskään kannata ladata täyteen varaukseen, ellei se ole tarpeen, sillä sekin lyhentää akun elinikää. Helpoiten kuluttaja voi näistä vaikuttaa akun purkusyvyyteen sekä siihen, kuinka täyteen akku ladataan. Toisin sanoen käyttämällä akun kapasiteetista pienemmän osan, kestää se pidempään. Silloin akun täytyy kuitenkin olla kapasiteetiltaan suurempi kuin energian tarve päivittäisessä käytössä on. (Preger et al. 2020)

## 4 Järjestelmän mitoitus

### 4.1 Komponenttien valinta

Työssä tutkimuksen kohteena on omakotitalo Hausjärvellä. Kohteen sähkönkulutus vuonna 2022 oli 22 238 kWh. Aurinkosähkijärjestelmästä pyydettiin tarjouksia muutamalta eri yritykseltä. Järjestelmäksi valikoitui Värean tarjoama 8,2 kWp paketti. Kun järjestelmän teho oli tiedossa, arvioitiin vuotuinen sähköntuotanto PVWatts Calculator nettisivun avulla. Sivustolle syötettiin kohteen tiedot, kuten sijainti, asennuksen suunta sekä paneelien asennuskulma. Sivusto antoi laskennallisen tuloksen järjestelmän vuotuisesta tuotannosta vuoden jokaiselta tunnilta. Koko vuoden tuotannoksi saatiin 6677 kWh. Akuksi valittiin Pylontech Force H2, joka on kapasiteetiltaan 10,65 kWh.

Kuvassa 3 nähdään kuinka paljon aurinkopaneelit tuottavat eri kuukausina. Tuotantoa on arvoitu syntyvän myös talvikuukausina. Tuotanto talvikuukausina on mahdollista, mikäli paneelit pidetään puhtaana lumesta. Ilman paneelien puhdistamista tuotanto on talvella todellisuudessa hyvin lähellä nollaa.



Kuva 3. Aurinkopaneelien tuotanto kuukausittain.

## 4.2 Komponenttien kustannukset

Aurinkopaneelipaketin hinta oli 11 000 €, johon kuului kaikki tarvittava komponenteista asennukseen. Akun hinta on Valomania.fi verkkokaupassa 8 023,90 €. Koska aurinkosähköjärjestelmään kytketään akku, tarvitaan myös hybridi-invertteri. Invertteri, joka tarjotussa paketissa tulisi mukana maksaa aurinkosahkotukku.fi verkkokaupassa 1 590 €. Samassa verkkokaupassa vastaava hybridi-invertteri maksaa 1 790 €, joten lisätään järjestelmän kokonaishintaan 200 € invertterin vaihdon takia. Lisätään vielä akun asennuksen hinnaksi 1 000 €, sillä se ei kuulu Vären myymään pakettiin. Yhteensä koko järjestelmän hinnaksi muodostui 20 223,9 €. Tavanomainen järjestelmä, johon ei tulisi akkua, maksaisi siis vain 11 000 €

## 5 Kannattavuus

### 5.1 Laskenta

PVWatts Calculator-sivustolta saadut tuotantotiedot siirrettiin Exceeliin, johon ladattiin myös kohteen sähkönkulutus vuoden 2022 jokaiselta tunnilta. Nyt saatiin helposti laskettua paneelien ylijäämä joka tunnilta suhteessa sähkönkulutukseen. Excel-laskenta suoritettiin siten, että jos paneeleista jäi ylijäämää, se ohjattiin akkuun. Kun ylijäämää ei enää tullut, sähköä käytettiin akusta korvaamaan paneelien tuotantoa. Akusta käytettiin sähköä niin pitkään kuin sitä riitti tai kunnes paneelit tuottivat taas yli kulutustarpeen. Jos akku täyttyi ennen kuin siitä alettiin taas käyttää sähköä, myytiin ylijäämänsähkö verkkoon. Jos paneelit eivät tuottaneet tarpeeksi sähköä eikä akussa ollut virtaa, ostettiin tarvittava sähkö verkosta.

### 5.2 Sähkön hinta

Vuonna 2022 kohteessa oli kiinteähintainen sähkösopimus. Sopimuksessa sähköenergian hinta oli 5,59 c/kWh. Hinta on matala, sillä vuoden 2022 keskimääräinen pörssisähkön hinta oli 15,4 c/kWh (Nord Pool 2023). Tässä työssä vertaillaan tuloksia eri sähkön hinnoilla. Etenkin vuonna 2022 sähkön hinnoissa oli todella suuria vaihteluita ja pörssisähkön hinta kävi ajoittain jopa monissa kymmenissä senteissä. Keskimääräinen sähkön pörssihinta tuskin jää niin korkeaksi, kuin tässä työssä käytetty korkein sähköenergian hinta, mutta vuoden 2022 vertailussa se on kuitenkin realistinen.

Sähkön hinta on suuresti vaikuttava tekijä aurinkopaneelien kannattavuudessa, sillä mitä korkeampi sähkön hinta on, sitä enemmän säästää itse tuotettua sähkö käyttäessä. Sama pätee myös myytyyn ylijäämänsähköön, joka myydään markkinoilla vallitsevaan spot-tuntihintaan. Tällöin korkealla sähkön hinnalla ylijäämänsähköstä saa suuremman tuoton.

Sähkön omakäyttöasteella tarkoitetaan sitä, kuinka paljon tuotetusta sähköstä käytetään itse ja kuinka paljon myydään. Taloudellista hyötyä tavoitellessa pyritään aina mahdollisimman

suureen omakäyttöasteeseen. Itse tuotetusta sähköstä suuremman taloudellisen hyödyn saa, kun sen kuluttaa itse. Tämä johtuu siitä, että ylijäämäsihkin myynnistä saa spot-tuntihinnan mukaisen korvauksen. Sähkö ostaessa taas joutuu maksamaan sähkön hinnan lisäksi vielä siirtomaksun sekä sähköveron.

Tämän työn kohteessa sähkön siirtohintana on yöllä 2,88 c/kWh ja päivällä 4,69 c/kWh. Sähkövero on 2,79 c/kWh. Päivällä sähkön hinnan lisäksi ostetusta sähköstä joutuu siis maksamaan 7,48 c/kWh. Koska kohteessa on kiinteähintainen sähkösojimus, sähkön kokonaishinta päivällä on 13,07 c/kWh. Ylijäämäsihkin myyntiä ajatellessa yösihkin hinnalla ei juurikaan ole merkitystä, sillä ylijäämäsihkin syntyy vain päivällä, jolloin aurinkopaneelit tuottavat eniten sähköä.

Kohteen alhaisen sähkön ostohinnan takia joskus voi jopa olla kannattavampaa myydä sähköä spot-hinnalla, kuin käyttää sitä itse. Kohteen sähkösojimus on tehty ennen kuin sähköjen hinta lähti nousuun vuonna 2021. Kohteessa on siis paljon vuoden 2022 markkinahintaa halvempi sähkösojimus. Jos myynnistä saatava hinta on korkeampi kuin ostetun sähkön kokonaishinta, saa myydystä sähköstä suuremman hinnan, kuin ostetusta sähköstä tarvitsee maksaa. Tällainen tilanne on kuitenkin harvinainen, eikä sitä juurikaan pääse tapahtumaan normaalissa sähkömarkkinatilanteessa. Myytävän sähkön määrään on myös vaikea itse vaikuttaa. Ei ole mahdollista myydä kaikkea tuotettua sähköä ja ostaa tarvittu sähkö verkosta. Myyntiin menee siis automaattisesti aina vain ylijäämäsihkin. Tämän takia edellä mainittua tilannetta ei pääse hyödyntämään myymällä hetkellisesti kaiken paneelien tuottaman sähkön.

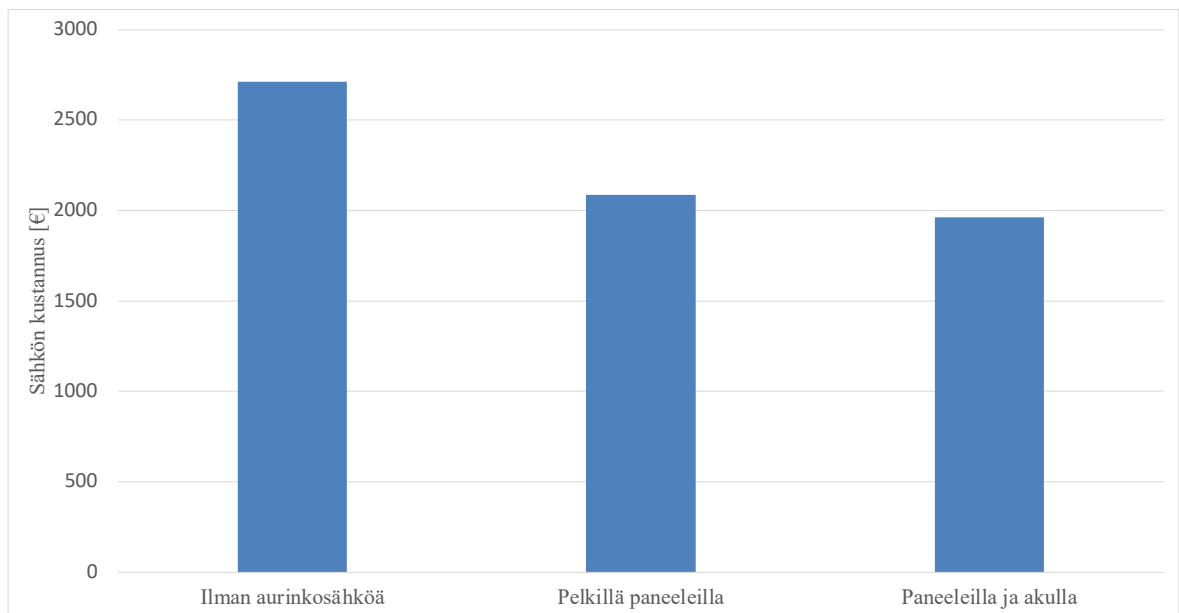
### 5.3 Toteutuneet kustannukset

Vuonna 2022 kohteessa sähköön kului rahaa 2 711 €. Käytetään tämän työn laskuissa ylijäämäsihkin myyntihintana samaa hintaa, kuin sähkön ostohinta. Tässä tapauksessa se on 5,59 c/kWh. Hinnat lasketaan myös ilman perusmaksuja, sillä ne eivät vaikuta säästetyn rahan määrään.

Vuonna 2022 kohteessa sähköä kului 22 238 kWh, josta yösihkin osuus on 10 845 kWh ja päiväsihkin osuus 11 393 kWh. Tavanomaisella aurinkosähköjärjestelmässä verkosta olisi tarvinnut ostaa 18 839 kWh ja akullisella järjestelmällä enää 17 043 kWh. Aurinkopaneelien vuosittainen tuotto on 6 677 kWh. Ilman akkua tuotetun sähkön omakäyttöaste olisi ollut

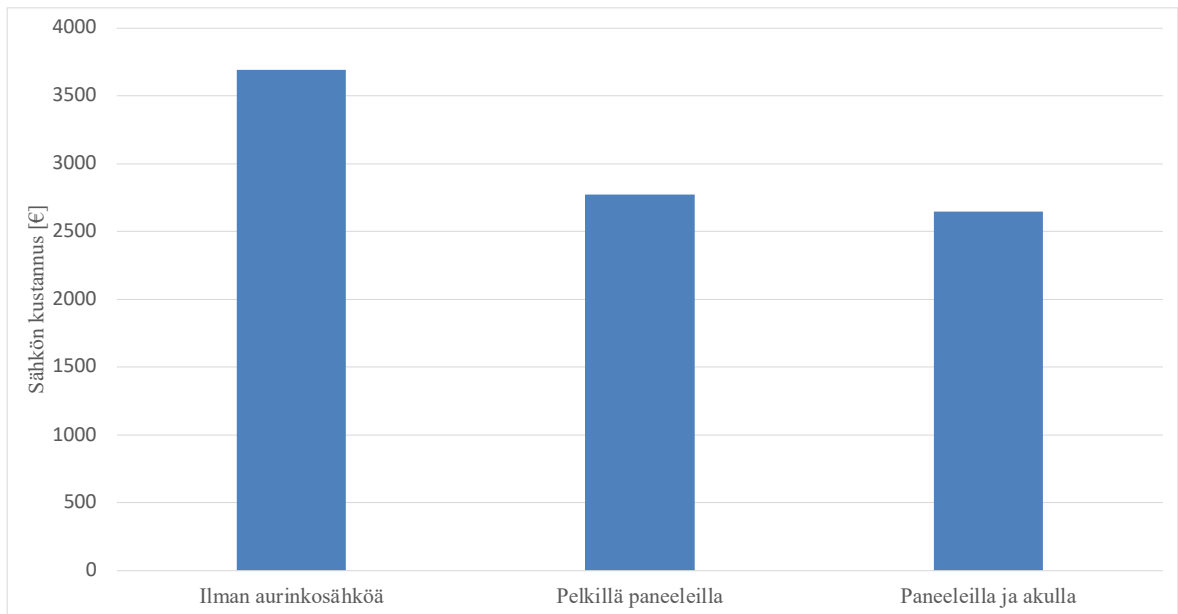
0,51 ja akullisella järjestelmällä 0,78. Huomataan, että akku lisää itse tuotetun sähkön käyttöä huomattavasti.

Kuten kuvasta 4 nähdään, tällä hinnalla aurinkosähköjärjestelmällä, jossa ei ole akkua, koko vuoden sähkön kustannus olisi ollut 2 087 €. Jos järjestelmässä olisi ollut lisänä valittu 10,65 kWh akku, sähkön kustannus olisi ollut 1 962 €. Tällä sähkön hinnalla normaalilla aurinkosähköjärjestelmällä olisi säästänyt 624 € ja akullisella järjestelmällä olisi säästänyt 749 €.



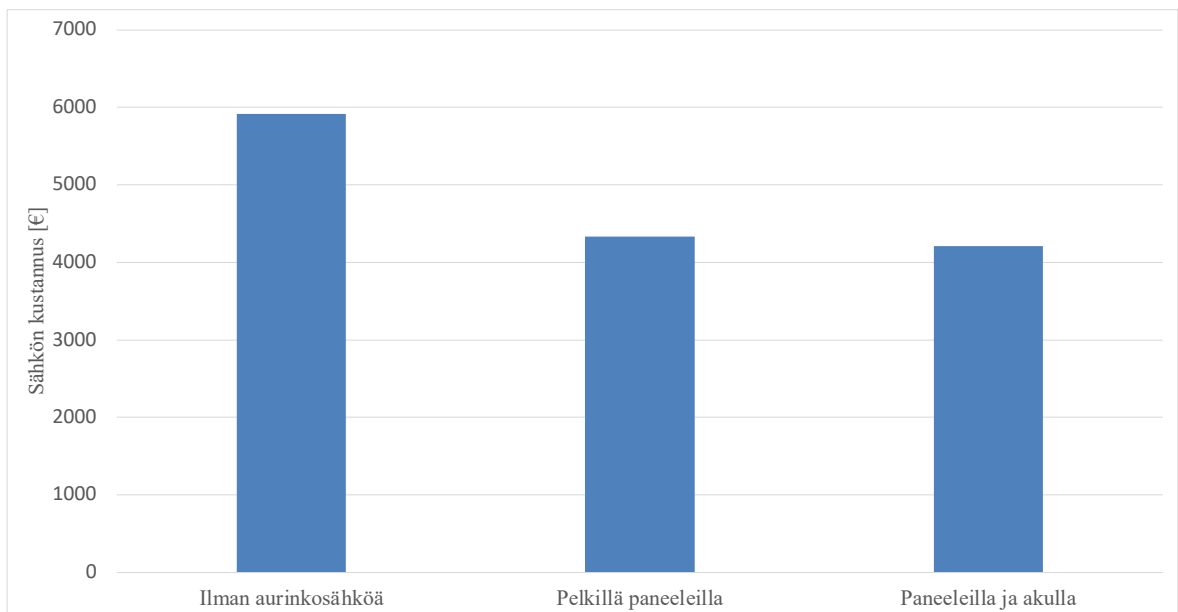
Kuva 4. Sähkön kustannukset sähköenergian hinnalla 5,59 c/kWh.

Kuvasta 5 nähdään, että jos sähkön hinta olisi 10 c/kWh, ilman paneeleita sähköstä olisi pitänyt maksaa 3 692 €. Paneeleilla olisi säästänyt 919 € ja akullisella järjestelmällä säästöä olisi tullut 1 043 €.



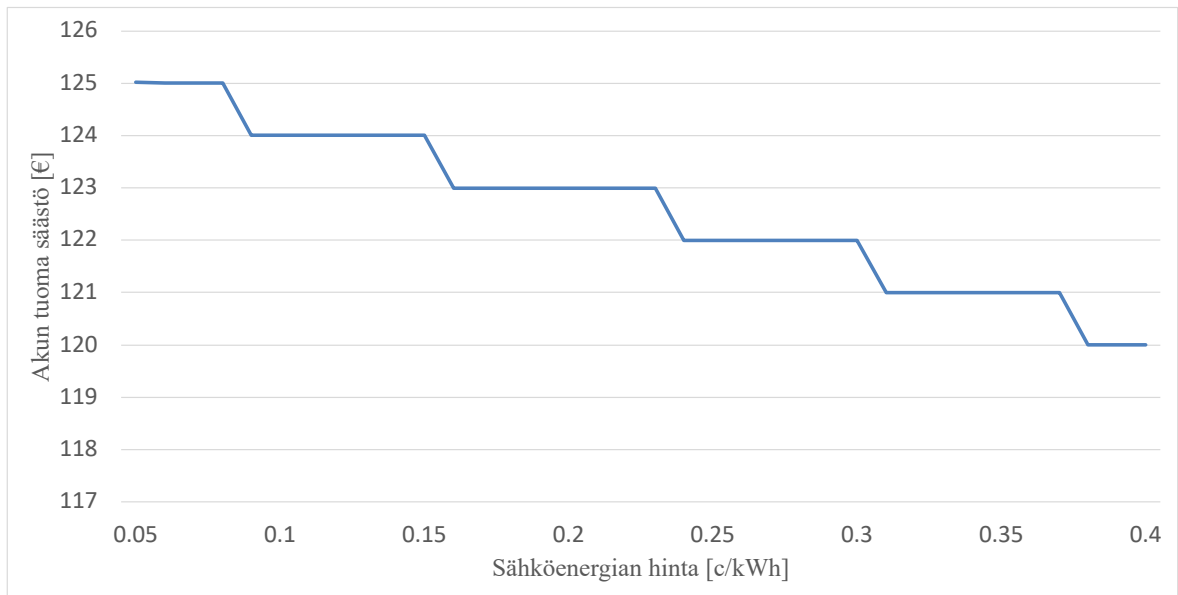
Kuva 5. Sähkön kustannukset sähköenergian hinnalla 10 c/kWh.

Sähkön hinnalla 20 c/kWh, sähkön kustannus ilman paneeleita olisi ollut 5 916 €. Säästöä paneeleilla olisi syntynyt 1 586 € ja akullisella järjestelmällä 1 709 €. Huomataan, että etenkin korkeammalla sähkön hinnalla aurinkosähköjärjestelmä on todella kannattava, mutta akku ei tuo kuitenkaan merkittävää lisätuottoa.



Kuva 6. Sähkön kustannukset sähköenergian hinnalla 20 c/kWh.

Huomataan, että suuremmalla sähkön hinnalla aurinkosähköjärjestelmällä saadaan aikaan enemmän rahallista säästöä. Akullisen järjestelmän säästö ei kuitenkaan nouse verrattuna tavanomaisella järjestelmällä säästettyyn summaan. Se jopa laskee hieman sähkön hinnan noustessa. Tämä johtuu siitä, että korkeammalla sähkön hinnalla myydystä ylijäämästä saa suuremman korvauksen. Akullisessa järjestelmässä sähkön omakäyttöaste kasvaa, jolloin myytävää sähköä on vähemmän. Tällöin ei päästä hyödyntämään korkeita sähkön hintoja myynnissä. Koska sähkön siirtohinnot ja verot pysyvät samanhintaisina jatkuvasti, pysyvät akulla aikaan saatu säästö sähkön hinnasta riippumatta lähes samana. Korkeampi myyntihinta ja suurempi myydyn sähkön määrä siis korvaa suuremman ostosähkön määrästä maksetun siirtohinnan sekä verot.



Kuva 7. Akun tuoma säästö eri sähköenergian hinnoilla.

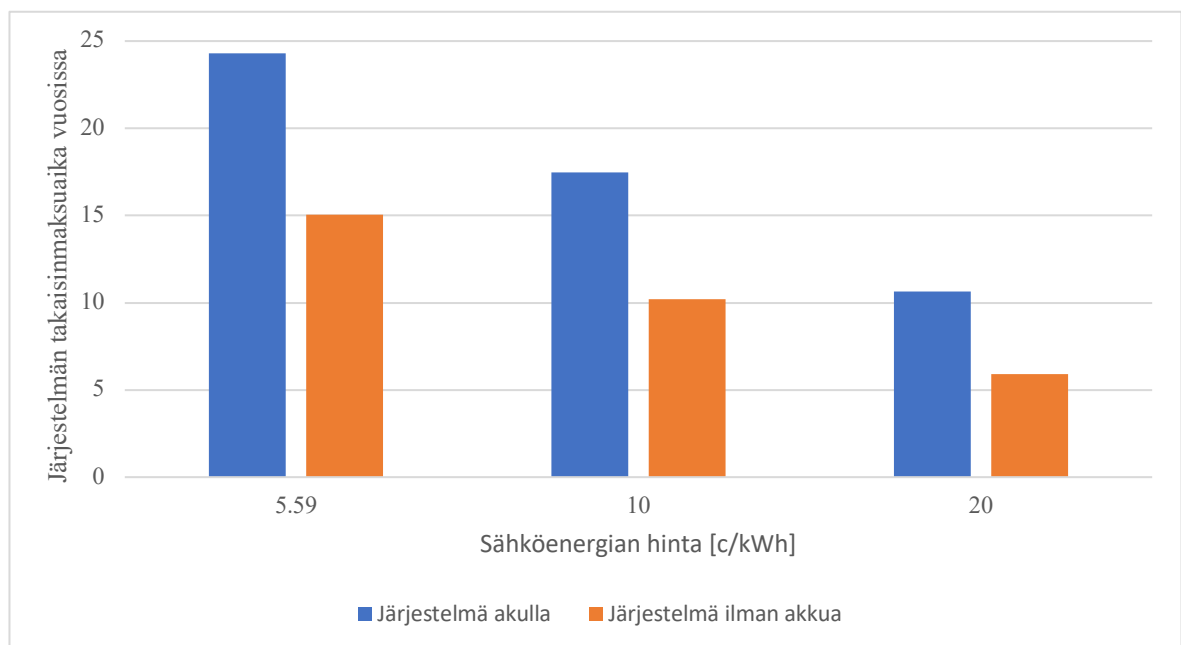
#### 5.4 Takaisinmaksuaika

Vuonna 2023 asunnon perusparannus- tai korjaustyön, johon aurinkosähköjärjestelmän asennus kuuluu, maksimi kotitalousvähennys on 2 250 €. Kotitalousvähennykseen voi saada vain työn osuudesta järjestelmän hinnasta. Tämän työn tapauksessa akullisen järjestelmän työn hinta on 5 300 € ja akuttoman 4300 €. Kotitalousvähennykseen lasketaan 40 % työn hinnasta ja sen lisäksi kotitalousvähennyksen omavastuu on 100 €. Näin ollen akullisen järjestelmän kotitalousvähennykseksi muodostuu 2 020 € ja akuttoman järjestelmän 1620 €.

Nämä hinnat voidaan vähentää kokonaan verotuksesta, sillä maksimi kotitalousvähennys ei ylity. Toisin sanoen summan voi vähentää suoraan järjestelmän hinnasta olettaen, että järjestelmän ostaja maksaa vähintään kotitalousvähennyksen verran veroja vuodessa. (Vero 2023)

Takaisinmaksuaikaa laskettaessa järjestelmien hintana käytetään hintoja, joista on poistettu kotitalousvähennykset. Kotitalousvähennykset huomioiden akullisen järjestelmän hinta on 18 203,9 € ja akuttoman järjestelmän 9 380 €.

Kuten kuvasta 8 huomataan, akun lisääminen järjestelmään kasvattaa takaisinmaksuaikaa huomattavasti. Akku nostaa järjestelmän hintaa merkittävästi, mutta ei kuitenkaan lisää rahallista tuottoa juurikaan. Jos oletetaan paneelien elinajaksi 25 vuotta, maksaa akullinen järjestelmä itsensä takaisin vasta aivan elinkaarensa lopussa, sähköenergian hinnan ollessa 5,59 c/kWh. Vastaavassa tilanteessa järjestelmä ilman akkua olisi maksanut itsensä takaisin noin 10 vuotta aikaisemmin.

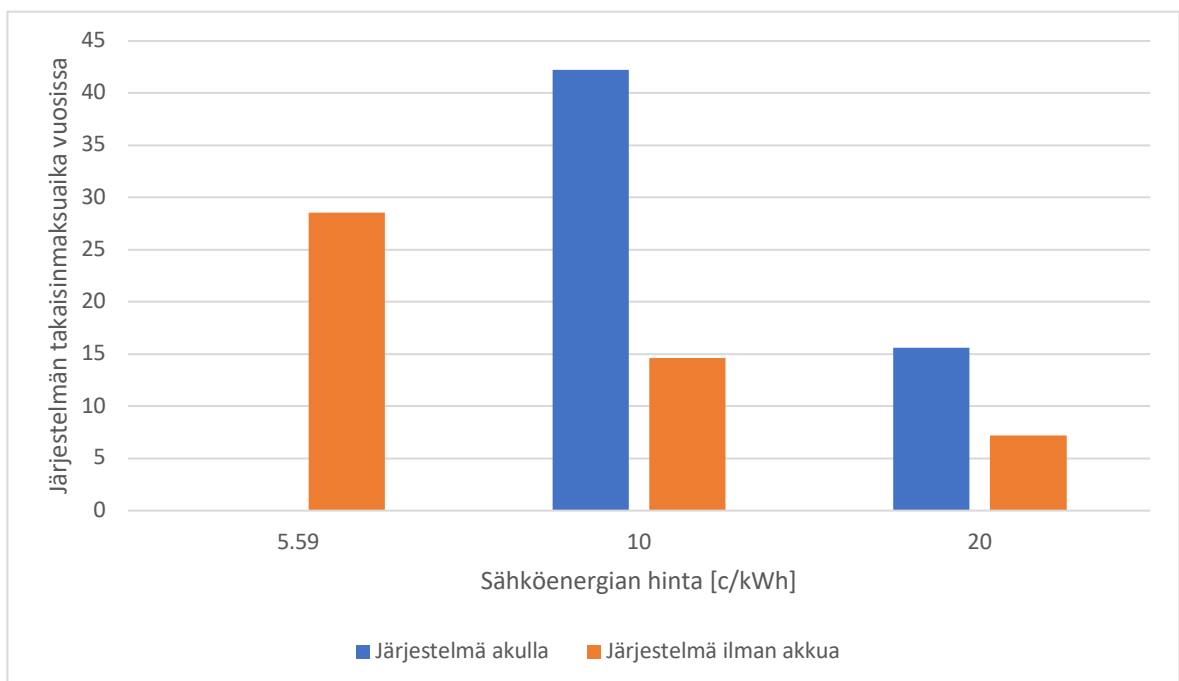


Kuva 8. Järjestelmien korottomat takaisinmaksuajat eri sähköenergian hinnoilla.

Vaikka korkeammilla sähköenergian hinnoilla myös akullisen järjestelmän takaisinmaksuaika on jo järkevämpi, ei silti akun hankinta ole pelkästään taloudellisesta näkökulmasta

kannattavaa. Järkevä takaisinmaksuaika johtuu vain siitä, että aurinkopaneelit tuottavat hyvin sähköä ja säästävät sähkölaskussa reilusti. Tällöin jää varaa maksaa myös kallis akku. Jos kuitenkin lasketaan kuvasta 7 nähtävästä akun tuomasta säästöstä koroton takaisinmaksuaika pelkälle akulle, tulee siitä noin 70 vuotta. Akku ei siis maksa itseään takaisin koskaan sen tuoman säästön perusteella, vaikka aurinkopaneeleiden kanssa yhdessä koko järjestelmä maksaisikin itsensä takaisin.

Valmistaja lupaa akulle 4 000 täyttä sykliä. Akku ladataan aurinkosähköllä, jonka voidaan ajatella olevan ilmaista. Jos akku ladattaisiin 4 000 kertaa täyteen ja purettaisiin tyhjäksi, saataisiin siitä 42 600 kWh sähköä. Akun hinta asennuksineen on hieman yli 9 000 €. Nyt voidaan laskea akusta käytetyn sähkön hinnaksi 21,2 c/kWh. Voitaisiin ajatella, että jos sähkön hinta on tätä korkeampi aina kun akusta käytetään sähköä, akku maksaisi itsensä takaisin valmistajan lupaaman elinkaaren aikana. Tämä ei kuitenkaan suoraan pidä paikkaansa. Sähköstä, jolla akku ladataan, olisi mahdollista saada tuottoa myymällä se ylijäämäsihtöön verkkoon. Sähkön hinnan pitäisi siis olla mainittu 21,2 c/kWh, johon vielä lisättäisiin akun lataushetkellä voimassa oleva sähkön spot-hinta, jotta akku maksaisi itsensä takaisin. Todellisuudessa akkua on siis hyvin vaikea saada maksamaan itseään takaisin.



Kuva 9. Järjestelmien korolliset takaisinmaksuajat eri sähköenergian hinnoilla.

Korollinen takaisinmaksuaika on enemmän todellisuutta vastaava. Sitä laskettaessa nettotuotoista poistetaan korot. Korollinen takaisinmaksuaika on myös pidempi kuin koroton,

koska kaikella tuotolla ei voida maksaa sijoitusta takaisin. Tässä työssä korollinen takaisinmaksuaika laskettiin Excelin funktiolla käyttäen korkokantana 5 %.

Excel funktio ei anna tulosta, mikäli kyseisillä arvoilla sijoitus ei maksa itseään takaisin. Näin kävi akulliselle järjestelmälle sähköenergian hinnalla 5,59 c/kWh sekä pelkälle akulle kaikilla sähköenergian hinnoilla. Tämän takia kuvassa 9 ei näy takaisinmaksuaikaa akulliselle järjestelmälle alhaisimmalla sähköenergian hinnalla. Kuvasta nähdään myös, että ainoastaan sähköenergian hinnalla 20 c/kWh, sijoitus olisi järkevä. Laskussa käytetty korkea sähkönhinta kuitenkin on epärealistinen pitkällä aikajaksolla, joten voidaan todeta akullisen järjestelmän olevan taloudellisesti kannattamaton.

Järjestelmä, jossa ei ole akkua, korollinen takaisinmaksuaika sähköenergian hinnalla 5,59 c/kWh on 28,5 vuotta, hinnalla 10 c/kWh 14,6 vuotta ja hinnalla 20 c/kWh 7,2 vuotta. Alhaisimmalla hinnalla paneelit voisivat juuri ja juuri maksaa itsensä takaisin. Jos kuitenkin oletetaan paneelien elinajaksi edelleen 25 vuotta, on sijoitus mahdollisesti kannattamaton. Todellisuudessa paneelit saattavat hyvin kestää paljon pidempäänkin. Myös sähköenergian hinta on etenkin lähitulevaisuudessa keskimäärin korkeampi. Kuten nähdään korkeampien hintojen takaisinmaksuajoista, on paneelit hyvinkin kannattava sijoitus etenkin, jos sähköenergian hinta pysyy korkeana.

## 5.5 Muita mahdollisuuksia akulle

Jos kohteena olisi off-grid asennus, jossa sähköä ei saisi verkosta, voisi akku olla kannattavampi. Tällaisessa tapauksessa järjestelmän korkeamman hinnan voi perustella sillä, että energiaa tarvitaan ympäri vuorokauden. Etenkin keskikesällä tämän työn kohteessa akusta riitti sähköä usein jopa yön yli. Jos kohteeseen ei saataisi ollenkaan sähköä verkosta, olisi todennäköisesti kulutustottumuskin hieman maltillisempi, jolloin sähköä riittäisi varmasti ainakin kriittisimpiin kodinkoneisiin, kuten jääkaappiin.

Jos järjestelmän hinta ei ole ratkaiseva tekijä hankinnassa ja halutaan saada itse tuotettua energiaa mahdollisimman paljon omaan käyttöön, voisi akku olla kuluttajalle hyödyllinen hankinta. Tällöin voitaisiin myös pyrkiä kulutustavoilla varmistama akun tyhjeneminen ennen seuraavaa päivää, jotta mahdollisimman paljon akkuun säilötystä energiasta saataisiin käytettyä. Tämä onnistuisi hyvin esimerkiksi lataamalla sähköautoa öisin, jotta akku

tyhjenisi. Sähköauto on suuri sähkönkuluttaja, joten sillä saisi varmasti useimmiten akun täysin tyhjäksi.

Akkua on mahdollista käyttää myös varavoimana mahdollisen sähkökatkoksen aikana. Tämä voi olla myös tekijä, joka saa kuluttajan harkitsemaan akun hankkimista. Täydellä akulla kodin sähköt toimivat jonkin aikaa täysin ilman verkosta saatavaa virtaa. Etenkin kesikesällä on mahdollista pärjätä helposti jopa viikkoja ilman ongelmia, etenkin jos sähkökatkostilanteessa välttää turhaa sähkönkulutusta.

Tulevaisuudessa sähköauton akkuja tullaan hyödyntämään omakotitaloissa. Kun autokanta sähköistyy, tulee yhä useammalla kuluttajalla olemaan kotipihalla suuri akku, eikä sitä välttämättä tarvitsisi erikseen hankkia. Tätä akkua voisi olla mahdollista käyttää juuri esimerkiksi varavoimana tai käyttää akkuun ladattua sähköä korkean sähkön hinnan aikana. Tällainen auton akun käyttäminen kodin energianlähteenä helpottaisi mahdollisesti myös koko Suomen sähköjärjestelmää. Sähköauton akkua voitaisiin käyttää sähköjärjestelmän säätöakuna. Kun energiankulutusta on paljon, sähkönhintaa nousee. Jos kuluttajat käyttäisivät sähköä auton akuista sähkönhinnan noustessa, laskisi verkosta käytetyn sähkön määrä. Tämä taas helpottaisi sähkömarkkinoita tilanteessa, jossa tuotantoa ei enää olisi mahdollista lisätä. Tilanne saataisiin siis tasattua vähentämällä kulutusta. Todellisuudessa ihmisten ei kuitenkaan tarvitsisi vähentää kulutusta, koska sähköä saataisiin akusta, joka on ladattu aikana, jolloin sähköntuotantoa olisi reilusti kulutusta enemmän. (Lassila 2022)

## 6 Johtopäätökset

Työssä oli tarkoitus tutkia, onko omakotitalon aurinkosähköjärjestelmään kannattavaa lisätä akkua. Tuloksista huomataan, että aurinkosähköjärjestelmä säästää huomattavasti kohteen sähkölaskussa etenkin kesällä. Akku vähentää verkosta ostetun sähkön määrää entisestään, mutta ei silti muuta rahallista säästöä juurikaan, sillä akkuun menevästä ylijäämästä saataisiin verkkoon myytäessäkin rahaa. Tuloksista kävi myös ilmi, että akku aiheuttama säästö ei juurikaan muutu, vaikka sähkön hinta nousisi. Tämä johtuu korkeammalla sähkön hinnalla saadusta suuremmasta ylijäämästä myyntihinnasta.

Akun hintaa ajatellen, joka on asennuksineen yli 9 000 €, ei ole taloudellisesti kannattavaa sijoittaa akkuun. Asennuksen hinta huomioiden, takaisinmaksuaika olisi tämän työn tapauksessa yli 70 vuotta. Tämä ei ole akulle realistinen käyttöikä. Ei siis ole taloudellisesti järkevää sijoittaa akulliseen aurinkosähköjärjestelmään. Työn kohteena olleessa omakotitalossa tavanomainen aurinkosähköjärjestelmä ilman akkua olisi kuitenkin varsin järkevä sijoitus. On kuitenkin olemassa myös tapauksia, jolloin akun hankinta voi olla perusteltua, vaikka se ei taloudellisesti järkevää olisikaan. Näitä tapauksia ovat esimerkiksi off-grid asennus tai akun käyttö varavoimana.

Tulevaisuudessa akkujen käyttö varmasti lisääntyy omakotitaloissa, mutta ei välttämättä erillisinä akkuina, vaan esimerkiksi sähköauton akkua hyödyntämällä. Sähköauton akku on suuri ja pian niitä on yhä useamman omakotitalon pihassa. Niiden hyödyntäminen auttaisi niin yksittäistä kuluttajaa, kuin koko energiajärjestelmää.

## Lähteet

Alanen et al. 2003. Energian varastoinnin nykytila. [Viitattu 11.1.2023] Alanen, Raili; Koljonen, Tiina; Hukari, Sirpa; Saari Pekka, Energia varastoinnin nykytila, VTT, 2003.

Armand et al. 2020. Lithium-ion batteries – Current state of the art and anticipated developments. [Viitattu 13.1.2023] Journal of power sources. 479228708.

Käpylehto, J. (2016) Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Helsinki: Into Kustannus Oy, 207 s. ISBN: 978-952-26-4528-9

Lassila 2022 Sähköauto on halvin tapa hankkia kotiin suuri akku, ja sitä voidaan jopa käyttää kodin sähkövarastona. [Viitattu 25.5.2023] [Verkkoaineisto] Saatavilla: <https://www.hs.fi/talous/art-2000008946943.html>

Liu et al. 2011 Electrochemical technologies for energy storage and conversion, volume 1. WILEY. [Viitattu 10.1.2023]

Luque, A. & Hegedus, S. 2011. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering (2nd Edition). New York: John Wiley & Sons. [Viitattu 7.2.2023]

Motiva 2023a. Akut. [Verkkoaineisto] [Viitattu 12.1.2023] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut)

Motiva 2023b. Aurinkosähköteknologiat. [Verkkoaineisto] [Viitattu 7.2.2023] Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat)

Motiva 2023c Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. [Viitattu 7.2.2023] [Verkkoaineisto] Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_liitetty\\_aurinkosahkojarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma)

Motiva 2023d Ylijäämäsähkön myynti. [Viitattu 15.2.2023] [Verkkoaineisto] Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman\\_kaytto/ylijaamasahkon\\_myynti](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti)

Nord Pool 2023 Day ahead prices [Viitattu 29.3.2023] [Verkkoaineisto] Saatavilla: <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/FI/Yearly/?view=table>

NREL 2023 PVWatts calculator. [Viitattu 29.3.2023] [Verkkoaineisto] Saatavilla: <https://pvwatts.nrel.gov/>

Pavlov 2011. Lead-acid batteries: science and technology: a handbook of lead-acid battery technology and its influence on the product. [Viitattu 12.1.2023] 1st ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science.

Pistoia 2014. Lithium-Ion Batteries : Advances and Applications, Elsevier, Oxford. [Viitattu 13.1.2013]

Preger et al. 2020. Degradation of Commercial Lithium-Ion Cells as a Function of Chemistry and Cycling Conditions [Viitattu 14.1.2023] Saatavissa: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1945-7111/abae37/pdf>

Scanoffice 2023. [Verkkoaineisto] [Viitattu 10.1.2023] Saatavissa: <https://www.scanoffice.fi/tuoteryhma/aurinkosahkojarjestelma/>

Vero 2023 Kotitalousvähennys. [Viitattu 24.4.2023] [Verkkoaineisto] Saatavilla: <https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/vahennykset/kotitalousvahennys/>

Yleiselektroniikka 2023. AGM-Akku vai geeliakku - Mitä eroa on erilaisilla lyijyakuilla? [Verkkoaineisto] [Viitattu 14.1.2023] Saatavilla: <https://www.yeint.fi/uutiset/akkujen-erot>

Ziganshin et al. 2019. Particular properties of operation of stationary lead-acid batteries at power distribution facilities. [Viitattu 14.1.2023] *IOP conference series. Materials Science and Engineering*. 570 (1), 12105–.