



Aurinkosähkön hyödyntäminen keskisuomalaisessa rivitalossa

Inka Luostarinen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Tieto- ja viestintäteknikka
Sulautetut järjestelmät ja elektroniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tieto- ja viestintätekniikka
Sulautetut järjestelmät ja elektroniikka

LUOSTARINEN, INKA:
Aurinkosähkön hyödyntäminen keskisuomalaisessa rivitalossa

Opinnäytetyö 38 sivua
Toukokuu 2020

Ilmaston lämpeneminen tulee vaikuttamaan ihmisten elämään ja ekosysteemeihin ympäri maailmaa. Lämpeneminen aiheutuu kasvihuonekaasujen määrän merkittävästä kasvusta ilmakehässä. Suuri kasvihuonekaasujen aiheuttaja on fossiiliset energianlähteet. Niille täytyy saada ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja, jotta ilmastonlämpeneminen hidastuu. Aurinkoenergia on yksi vaihtoehto uusiutuvista energianlähteistä.

Opinnäytetyön kohteena on Keski-Suomessa sijaitseva rivitalo. Rivitalossa on kolme asuntoa, ja kaikissa niissä on 3,3 kWp:n aurinkojärjestelmä. Aurinkopaneelien käyttöikä on noin 30 vuotta. Nykyisellä kokoonpanolla aurinkojärjestelmä maksaa itsensä takaisin noin 27 vuodessa. Tällä hetkellä rivitalokohteen kaikista tuotetusta aurinkosähköstä saadaan vain noin puolet omaan käyttöön, ja loput myydään sähköyhtiölle. Ongelmana on, että energia on käytettävä sitä mukaan kuin sitä tuotetaan, ja aina se ei ole mahdollista.

On monia erilaisia vaihtoehtoja tehostaa aurinkoenergian hyödyntämistä. Opinnäytetyössä käsiteltävistä vaihtoehdoista pyrittiin löytämään ratkaisu, joka maksimoi tuotetun energian käyttöasteen ollen samalla taloudellisesti kannattava. Ratkaisuina ylijäämänsähkön varastointiin ovat perinteinen akku sekä sähköyhtiöiden tarjoama virtuaaliakkupalvelu. Yhtenä vaihtoehtona tarkasteltiin älykästä ohjausjärjestelmää, joka suunnittelee energiankäyttöä ja pyrkii näin maksimoimaan tuotetun energian käyttöasteen. Työssä tarkasteltiin myös takamittarointimallia sekä hyvityslaskentamallia.

Tuloksista huomattiin, että akku ei toimisi kovin hyvänä ratkaisuna, sillä sen takaisinmaksuaika on huomattavasti pidempi kuin akun käyttöikä. Nykyisten tietojen perusteella hyvityslaskentamalli osoittautui hyväksi vaihtoehdoksi. Se ei vaadi suuria lisäinvestointeja jo olemassa olevaan järjestelmään, ja se on taloudellisesti kannattava. Hyvityslaskentamallia ei ole vielä laissa hyväksytty, mutta siihen odotetaan muutosta vuoden 2020 aikana. Aurinkojärjestelmällä ei rikastu, mutta ympäristölle vaikutukset ovat merkittäviä.

Asiasanat: aurinkoenergia, energian varastointi, älykäs energianohjaus, hyvityslaskentamalli, ympäristö

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
ICT Engineering
Embedded Systems and Electronics

LUOSTARINEN, INKA:

Utilisation of Solar Energy in a Terraced House in Central Finland

Bachelor's thesis 38 pages
May 2020

Climate change affects people's lives and ecosystems around the globe. Global warming is a consequence of increasing emission rates of greenhouse gas in atmosphere. Fossil energy sources are a big part of the increased greenhouse gas rates. They must be replaced with renewable energy sources to slow down global warming. Solar energy is one of the renewable energy sources.

This study researches different options for efficient use of solar energy in a terraced house in Central Finland. The terraced house has three apartments each equipped with 3,3 kWp solar system. A solar panel's lifetime is estimated to be about 30 years. With a system that already exists, pays itself back in about 27 years. From all the produced energy only about half can be used in the household and the rest is sold to an electric company. However, energy produced should be consumed to make it more cost efficient.

There are various options to make a solar system more efficient. This study tries to find the option that maximises the use of produced energy while remaining financially viable. Battery and virtual battery are solutions for storing energy for later use. Another option is intelligent energy manager that makes predictive energy planning to maximise the use of the produced energy. Ownership model was also taken into consideration.

This study shows that using a battery to store produces energy would not be the best option for long payback time. Based on the current information available this study shows that the ownership model could work the best in this case. It does not require any massive investments, however, it is the most financially viable out of the options. Ownership model is not yet approved by law but that is expected to change in 2020. Solar system isn't financially very efficient, but the environment can benefit from it significantly.

Key words: solar energy, energy storage, intelligent energy management, ownership model, environment

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	AURINKOSÄHKÖN TUOTTAMINEN.....	9
2.1	Aurinkopaneelit	9
2.1.1	Ensimmäinen sukupolvi.....	9
2.1.2	Toinen sukupolvi.....	10
2.1.3	Kolmas sukupolvi.....	10
2.1.4	Vertailua	11
2.2	Invertteri	12
2.3	Energiavarastot.....	13
2.3.1	Akku	13
2.3.2	Virtuaaliakku	13
2.3.3	Vety	14
2.3.4	Pumppuvoimala.....	14
2.4	Aurinkojärjestelmä.....	15
2.4.1	Esimerkkikokonaisuus	15
3	KOHTEEN ESITTELY.....	19
3.1	Rivitaloasunnon energiankulutus ja -tuotto	20
4	RATKAISUVAIHTOEHDOT	23
4.1	Akku sähkön varastointiin	23
4.2	Virtuaalinen akku.....	24
4.3	Aurinkoenergian älykäs ohjaus	25
4.4	Takamittarointi.....	25
4.5	Hyvityslaskentamalli eli virtuaalimittarointi	26
5	TULOKSET	29
6	POHDINTA	30
6.1	Energian varastoinnin tulevaisuus.....	30
6.2	Yksilön hiilijalanjäljen pienentäminen	31
6.3	Aurinkoenergian hyödyt ja kannattavuus	33
	LÄHTEET.....	35

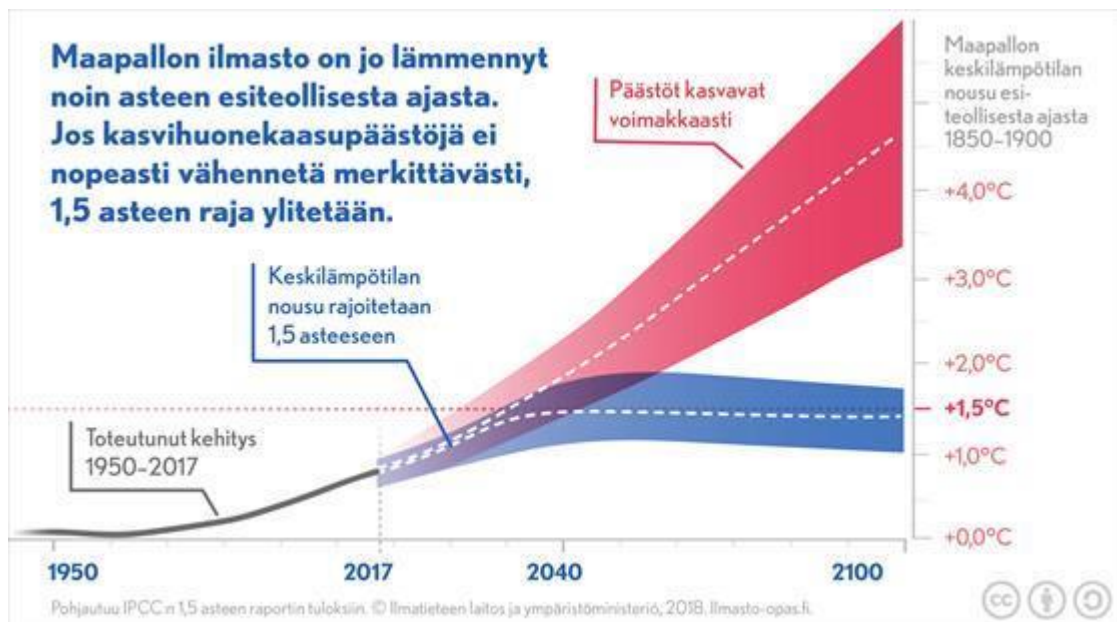
LYHENTEET JA TERMIT

CPV	Concentrator Photovoltaics, valoa keskittävä aurinkokennovoima
HCPV	High Concentrator Photovoltaics, valoa keskittävä korkean konsentraation aurinkokennovoima
IPCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli
kVA	kilovolttiampeeri, näennäistehon yksikkö
kWh	kilowattitunti, energian yksikkö
kWp	kilowattipeak, aurinkopaneelin tuottama sähköteho standardiolosuhteessa. Olosuhteen lämpötila on 25 °C ja auringon säteilyn voimakkuus on 1 kW / m ² . 1 kWp:n etelään suunnattu aurinkosähköjärjestelmä tuottaa Etelä-Suomessa noin 850 kWh vuodessa.
PEM	Proton Exchange Membrane, polymeerielektrolyyttinen membraanipolttokeino
SEMP	Simple energy management protocol, yksinkertainen energianohjausprotokolla
TFSC	Thin Film Solar Cell, ohutfilmipaneeli
ηEU	Euroopan olosuhteissa mitattu invertterin hyötysuhde

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia erilaisia vaihtoehtoja aurinkosähkön tehokkaaseen hyödyntämiseen kotitaloudessa. Aurinkoenergiasta paras hyöty saadaan silloin, kun se pystytään käyttämään kokonaan itse. Ongelmana kuitenkin on, että useinkaan tuotettua energiaa ei pystytä käyttämään kokonaan. Tässä työssä esitellään energian varastointiin liittyviä vaihtoehtoja sekä älykkäaseen energian käyttösuunnitteluun perustuvia ratkaisuja tehokkuuden parantamiseksi.

Maapalloa kohtaa ilmastonmuutos, ja sen vaikutukset ovat alkaneet jo näkyä. Kuvassa 1 on kuvaaja, jossa on esitettyä kaksi skenaariota maapallon keskilämpötilan nousuista. Kuvaajasta nähdään, että jos ilmaston lämpenemiseen vaikuttavia tekijöitä pystytään vähentämään, lämpeneminen hidastuu. Punainen käyrä ilmaisee voimakkaan lämpötilan kohoamisen, joka voi seurata, jos ilmaston lämpenemiseen ei pyritä vaikuttamaan.

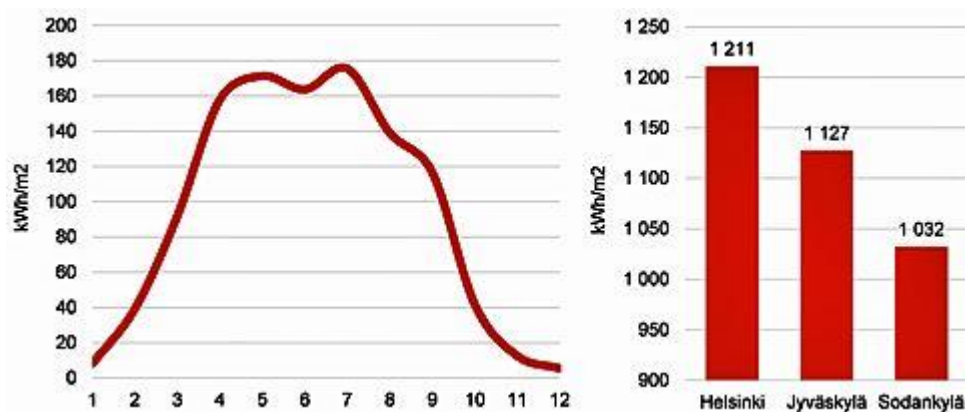


KUVA 1. Ennusteita maapallon keskilämpötilan muutoksille (Ilmatieteen laitos, ympäristöministeriö & Ilmasto-opas 2019)

IPCC (2018) raportoi, että maapallon keskilämpötila on jo noussut asteen esiteollisesta ajasta. Jos lämpeneminen jatkuu nykyisellä tahdilla, 1,5 asteen lämmön nousu ylitetään vuosisadan puolessa välissä. Yli 1,5 asteen nousulla on monia globaaleja vaikutuksia ihmisten elämään ja ekosysteemeihin. Muutos tulee olemaan niin nopeaa, että kasvit ja eläimet eivät ehdi sopeutua muuttuviin sääolosuhteisiin. Arktisten alueiden jäätiköt ovat alkaneet jo sulaa, ja tämä nostaa merenpintaa ja vaikuttaa rannikkoalueisiin. Lämpenemisen lisäksi myös esimerkiksi sateiden esiintyminen muuttuu. Kuivilla alueilla tulee olemaan entistäkin kuivempaa, joka voi aiheuttaa vesipulaa, ja toisaalta yleistyvät tulvat huonontavat veden laatua. (Ilmatieteen laitos.)

Maapallon keskilämpötilan kohoamisen suurin syy on kasvihuonekaasujen merkittävä lisääntyminen ilmakehässä. Yksi suurimpia kasvihuonekaasuja aiheuttavia tekijöitä ovat fossiiliset energianlähteet, kuten öljy, maakaasu ja kivihiili. Jotta ilmaston lämpeneminen saataisiin hidastumaan, tulisi fossiiliset polttoaineet korvata kestäväillä energiaratkaisuilla. Aurinkoenergia on yksi näistä kestäväistä vaihtoehdoista. (WWF.)

Ilmatieteen laitoksen tekemien mittausten mukaan vuotuinen auringon säteilyenergian määrä Keski-Suomessa on noin 890 kWh/m² ja Etelä-Suomessa noin 980 kWh/m². Kuvassa 2 on Suomen keskimääräinen auringon kokonaissäteilyenergian määrä etelään 45 asteen kulmassa suunnatulle pinnalle ja eri kaupunkien vuotuiset säteilymäärät. Suomessa säteilyenergian määrä vaihtelee vuodenaikojen mukaan, mutta koko vuotuinen säteily määrä Etelä-Suomessa on lähes samalla tasolla kuin esimerkiksi Pohjois-Saksassa. (Motiva. Auringonsäteilyn määrä Suomessa 2019.) Suomessa kesäisin aurinko paistaa pitkään, ja keväisin sekä syksyisin tuotantoa edesauttaa viileä ilma. Aurinkopaneelit toimivat kaikista parhaiten viileässä ilmassa. (Fortum 2020.)



KUVA 2. Auringon kokonaissäteilyenergian määrä vuoden aikana (Motiva 2019)

Tampereen sähkölaitoksen (2018) mukaan arviolta noin 25-30 prosenttia kotitalouksien koko vuoden energiantarpeesta pystytään kattamaan aurinkoenergialla. Suomen energiantarpeesta hieman yli 1 prosenttia saatiin auringosta vuonna 2019 (Energiavirasto 2019). Auringon energiassa riittää potentiaalia, sillä aurinko on luontainen energianlähde ja se ei ole loppumassa kesken. Aurinko tuottaa säteilyenergiaa maapallolle tunnissa enemmän kuin koko maailma tarvitsee vuoden aikana. (Vattenfall.)

Helsingin Suvilahdessa toimivasta aurinkovoimalasta ihmiset voivat ostaa aurinkosähköä kiinteään kuukausihintaan. Mittaustulosten perusteella ei tuotettu aurinkoenergia näytä olevan taloudellisesti kovin kannattava vaihtoehto. (Tekniikka ja Talous 2015.) Tässä työssä halutaan selvittää, voidaanko kannattavuutta parantaa lisäratkaisuilla.

Opinnäytetyön alussa esitellään aurinkojärjestelmään kuuluvia komponentteja, jonka jälkeen on kohteen esittely. Sen jälkeen käsitellään mahdolliset ratkaisuvaihtoehdot ja tulokset. Lopuksi pohditaan tulevaisuuden ratkaisuja sekä nykyisten ratkaisujen toimivuutta kohteessa.

2 AURINKOSÄHKÖN TUOTTAMINEN

2.1 Aurinkopaneelit

Kiinteistöpaneelit koostuvat sarjaan kytketyistä ja joissain tapauksissa rinnan kytketyistä aurinkokennoista. Aurinkokennojen toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön. Yhden aurinkokennon jännite on noin puoli voltia ja kiinteistöpaneeleissa on tyypillisesti noin 35 voltin avoimen piirin jännite (kuormittamaton jännite, runsaalla auringonpaisteella). Nimellistehon alueella jännite on hieman pienempi. (Käpylehto 2017.). Aurinkokennotyyppejä on useita, ja niitä valmistetaan eri tarkoituksiin ja tarpeisiin. Ne jaetaan kolmeen eri sukupolveen, ja luokittelu niissä keskittyy materiaaleihin ja hyötysuhteisiin.

2.1.1 Ensimmäinen sukupolvi

Ensimmäisen sukupolven aurinkopaneelien raaka-aineena käytetään yksi- tai monikiteisestä piitä. Yksikiteinen aurinkopaneeli (Mono-Si) tehdään yksikiteisestä piistä ja on kaikista puhtain. Tällä tyyppillä on yksi korkeimmista hyötysuhteista, uusimmilla on yli 20 prosentin hyötysuhde. Yksikidepaneelit vievät vähemmän tilaa, niillä on korkea ulostulon teho ja niiden elinkaari on muita pidempi. Niiden on myös huomattu sietävän paremmin korkeampaa lämpötilaa. Nämä ominaisuudet näkyvät myös paneelien hinnoissa, ja ovatkin muita kalliimpia. (GreenMatch 2020.)

Monikidepaneelit (Poly-Si) valmistetaan sulattamalla piitä. Se on nopeampi ja halvempi prosessi kuin mitä yksikidepaneeleissa käytetään. Monikidepaneelien käyttöikä on lyhyempi, koska ne eivät kestä lämpöä yhtä hyvin kuin yksikidepaneelit. Monikiteen hyötysuhde on noin 15 prosenttia, mutta ulostulon teho on suunnilleen sama kuin yksikiteellä. (GreenMatch 2020.)

2.1.2 Toinen sukupolvi

Toiseen sukupolveen kuuluvat ohutfilmipaneelit, ja niitä käytetään yleensä valosähköisissä voimalaitoksissa, integroituna rakennuksiin tai pienemmissä aurinkojärjestelmissä. Ohutfilmipaneeli (TFSC) valmistetaan yhdestä tai useammasta filmistä sähkökemiallista materiaalia, kuten piistä, kadmiumista tai kuparista. Näiden valmistaminen on helpointa, ja ne ovat halvempia kuin muut monet paneelivaihtoehdot. Ohutfilmipaneelit ovat taipuisia, ja siksi ne soveltuvat moneen. Ne tarvitsevat paljon tilaa, jonka vuoksi ne eivät välttämättä sovellu kotitalokohteisiin. Paneelit kestävät korkeita lämpötiloja suhteellisen hyvin, mutta niiden elinkaari on lyhyempi kuin yksi- ja monikidepaneeleilla. Amorfinen pii -aurinkokenno (A-Si) on toinen toisen sukupolven paneeleista. Niitä käytetään muun muassa taskulaskimissa. Näiden kennojen hyötysuhde on noin 7 prosenttia, mutta niiden hinta on suhteellisen pieni. (GreenMatch 2020.)

2.1.3 Kolmas sukupolvi

Kolmannen sukupolven aurinkopaneelit käyttävät ohutfilmiteknologiaa, mutta ne ovat vielä tutkimus- ja kehitysvaiheissa. Osa näistä paneeleista käyttää orgaanisia materiaaleja, ja osa epäorgaanisia aineita, kuten Kadmium-telluuria (CdTe). (GreenMatch 2020.)

Vielä tutkimusvaiheessa oleva biohybridiaurinkokenno jäljittelee luonnollista fotosynteesiä. Tämän tekniikan on havainnut asiantuntijatiimi Vanderbiltn yliopistosta. (GreenMatch 2020.)

Kadmium-telluuri-yhdistettä käyttävä aurinkopaneeli mahdollistaa suhteellisen edullisen paneelien valmistuksen, jonka ansiosta paneelien takaisinmaksuaika lyhenisi alle vuoteen. Tämä on kaikista teknologioista se, joka tarvitsee vähiten vettä paneelien tuotantoon. Kadmium-telluuri-paneelien ainoa ongelma on sen toksisuus, jos se pääsee elimistöön. (GreenMatch 2020.)

Keskittävä aurinkopaneeli (CPV ja HCPV) generoi sähköistä energiaa samoin tavoin kuin tavanomainen valosähköjärjestelmä. Näiden multi-junktio-paneelien

hyötysuhde on jopa yli 40 prosenttia, mikä on tähän mennessä suurin aurinkopaneelien hyötysuhteista. Paneelilla on kovera peilipinta ja linssi. Joskus niihin asennetaan jäähdytin, joka parantaa hyötysuhdetta entisestään. Keskittävien paneelien täytyy kuitenkin olla täydellisessä kulmassa aurinkoon nähden saavutukseen hyviä tuloksia, ja siksi paneeleille on asennettava auringonseurantajärjestelmä. (GreenMatch 2020.)

2.1.4 Vertailua

Aurinkopaneeleille on erilaisia tarkoituksia, ja ne ovat hyötysuhteiltaan ja muilta ominaisuuksiltaan erilaisia. Taulukossa 1 esitellään muutaman edellä mainitun aurinkopaneelityypin ominaisuuksia. Taulukosta huomataan, että parempi hyötysuhde ja paneelin käyttöikä vaikuttavat paneelien ostohintaan ja sitä kautta järjestelmän takaisinmaksu-aikaan.

TAULUKKO 1. Aurinkopaneelien ominaisuuksia

Aurinkopaneelityyppi	Edut	Haasteet	Hyötysuhde (%)	Käyttötarkoitus
Yksikidepii	Hyvä hyötysuhde, pitkä elinkaari, sopii kotitalouksiin	Hinnaltaan kallis	~20	Yritykset, kotitalot
Monikidepii	Edullinen	Ei kestä korkeita lämpötiloja, lyhyempi elinkaari	~15	Yleisin kotitaloissa, yritykset
Ohutfilmi (TFSC)	Suht. edullinen, joustavaa materiaalia, helppo valmistaa.	Lyhyempi elinkaari	~7	Yritykset, erilaiset sovellukset
Keskittävä paneeli (CPV)	Todella hyvä hyötysuhde	Tarvitsee jäähdytintä ja auringonseurantajärjestelmä toimiakseen hyvin	~41	Isot aurinkovoimalat

Tällä hetkellä katoille asennettavien aurinkopaneelien hyötysuhde on 15-20 prosentin luokkaa. Se on aika kaukana siitä, mitä laboratorio-olosuhteissa on saavutettu, joka on noin 50 prosenttia. Kuitenkaan hyötysuhteella ei ole niin suurta merkitystä, vaan tuotantohinta ratkaisee paneelien kannattavuuden. 20 prosentin

hyötysuhteen paneeli tuottaa halvempaa sähköä kuin uusinta teknologiaa käyttävä paneeli. (Käpylehto 2017.)

2.2 Invertteri

Invertteriä eli vaihtosuuntaajaa tarvitaan aurinkopaneelien muodostaman tasan sähköön muuttamisessa vaihtosähköksi. Inverttereitä on yksi- ja kolmivaiheisia. Yksivaiheiset invertterit kytketään yhteen sähköverkon kolmesta vaiheesta ja kolmivaiheiset sähköverkon kaikkiin kolmeen vaiheeseen.

Yksivaiheiset invertterit sopivat pieniin järjestelmiin, jotka ovat teholtaan noin 1,5 – 2,5 kVA. Kolmivaiheisina invertterit sopivat kotikäyttöön ja yrityksille. Kotitalouksissa käytettävät invertterit ovat yleensä teholtaan 3-6 kVA ja 8-10 kVA, ja yrityksiin sopivat 15-25 kVA ja 50 kVA. (Aurinkovirta.)

SMA Solar Technology on johtava aurinkojärjestelmiin liittyvän teknologian asiantuntija. SMA kehittää aurinkojärjestelmän laitteita, kuten inverttereitä, monitorilaitteita ja akkuja. Liikevaihto SMA:lla oli vuonna 2018 760,9 miljoonaa. (SMA News room 2019.)

Invertterin hyvä hyötysuhde on yli 85 prosenttia. SMA:n kehittämä Sunny Tripower-invertterin maksimihyötysuhteeksi on ilmoitettu 98,4 prosenttia. (SMA. Products. Sunny Tripower.). Fronius kehittää myös inverttereitä aurinkojärjestelmiin. Froniuksella on esimerkiksi Fronius Symo -invertteri, jonka hyötysuhde (η EU) on 96,5 prosenttia. (Fronius 2020.)

2.3 Energiavarastot

2.3.1 Akku

Akku on energiavarasto, jonka toiminta perustuu sähkökemiallisiin reaktioihin. Se koostuu anodin ja katodin muodostamasta sähköparista. Elektrodienvälissä oleva elektrolyytti eli väliaine on yleensä nestemäistä tai geelimäistä. Akun ollessa kytkettynä virtapiiriin anodilla tapahtuu hapettumisreaktio ja katodilla pelkistymisreaktio. Aine luovuttaa elektroneja hapettuessaan, ja nämä elektronit kulkevat negatiivisesti varautuneelta anodilta katodille. Tämä saa aikaan sähkövirran. Akussa on usein useita sähköpareja, esimerkiksi 12 voltin lyijyhappoakussa niitä on kuusi omissa kennoissaan. Akut voidaan valmistaa useista eri aineista, esimerkiksi aurinkoenergian varastoinnissa käytetään usein litiumioniakkuja ja lyijyhappoakkuja. (Motiva. Akut 2019.)

Perinteisimpien, kuten litiumioniakkujen ongelmana on niiden valmistamisessa syntyvät hiilidioksidipäästöt. Litiumioniakkujen tilalle on kehitteillä suola-akut. Suola-akuissa käytettävä natriumiin perustuva teknologia poikkeaa litiumionikuista huomattavasti, mutta silti ne soveltuvat useasti käytettäväksi samoihin paikkoihin kuin litiumioniakut. Raaka-aineina akuissa käytetään suolaa, hiekkaa, rikkiä ja hiiltä. Suola-akun raaka-aineita on helposti saatavilla, ja ne ovat kierrätettävissä. Akkujen kehitys on tällä hetkellä siinä vaiheessa, että lataussyklien määräksi on saatu 250. Kuitenkin esimerkiksi sähköautojen akkujen ehdoton lataussyklien määrän minimi on 500. (Toivanen, P 2019.)

2.3.2 Virtuaaliakku

Sähköyhtiöillä on tarjolla niin sanottu virtuaaliakku, jolla ylijäänyttä aurinkoenergiaa voidaan varastoida. Tällaisessa järjestelyssä fyysistä akkua ei tarvita, vaan energia myydään sähköyhtiölle. Energiasta saa lähes saman hinnan takaisin, kuin jos sama määrä sähköä ostettaisiin suoraan yhtiöltä. Myöskään sähkön siirtokuluja ei virtuaaliakkuun varastoidusta sähköstä synny, koska siirtomaksut hyvitetään asiakkaalle.

2.3.3 Vety

Vety voisi olla mahdollinen tapa varastoida ylituotantoenergiaa. Kun aurinkoenergiaa jää yli, tuotetaan sillä vetyä. Vetyä voidaan käyttää polttoaineena esimerkiksi polttokennoille. Vetyä tuotetaan erottamalla vetyatomit vedestä sähköän avulla. Tuottamisprosessissa käytetään jalometalleja katalyyttinä kemialliselle reaktiolle. Yleensä katalyyttinä käytetään platinaa, mutta myös muita jalometalleja käytetään kuten kultaa tai palladiumia. Kalliiden ja harvinaisten jalometallien käyttö on ollut tämän varastointimuodon ongelmana, mutta uutena vaihtoehtona jalometalleille on löydetty koboltti. Sen hinta on noin tuhannesosa platinan hinnasta, ja sillä on myös hyvä hyötysuhde. Uusissa testauksissa katalyyttinä on käytetty rikkiä, fosforia ja kobolttia. Kaikki edellä mainitut alkuaineet ovat yleisiä ja halpoja. (Science daily 2015.)

2.3.4 Pumppuvoimala

Maailmalla pumppuvoimala on yleisin tapa varastoida sähköä. Se on tehokas, nopea energiavarasto ja pitkäikäinen. Pumppuvoimalassa vettä pumpataan varastoaltaaseen silloin, kun syntyy ylimääräistä sähköä. Kun sähköä tarvitaan, varastoaltaasta vesi lasketaan turbiinin läpi toiseen altaaseen, mikä tuottaa sähköä. Pumppuvoimaloissa korkeuseroksi pyritään saamaan satoja metrejä. Suomi on suhteellisen tasainen maa, mikä on estänyt pumppuvoimaloiden rakentamisen. Suomessa uutta potentiaalia rakentamiseen on tuonut Pohjanmaalla sijaitseva vanha 1445 metrin syvyinen kaivos, jonka yksi jatkohyödyntämismahdollisuus olisi käyttää se pumppuvoimalan tilana. (Energialous 2018.)

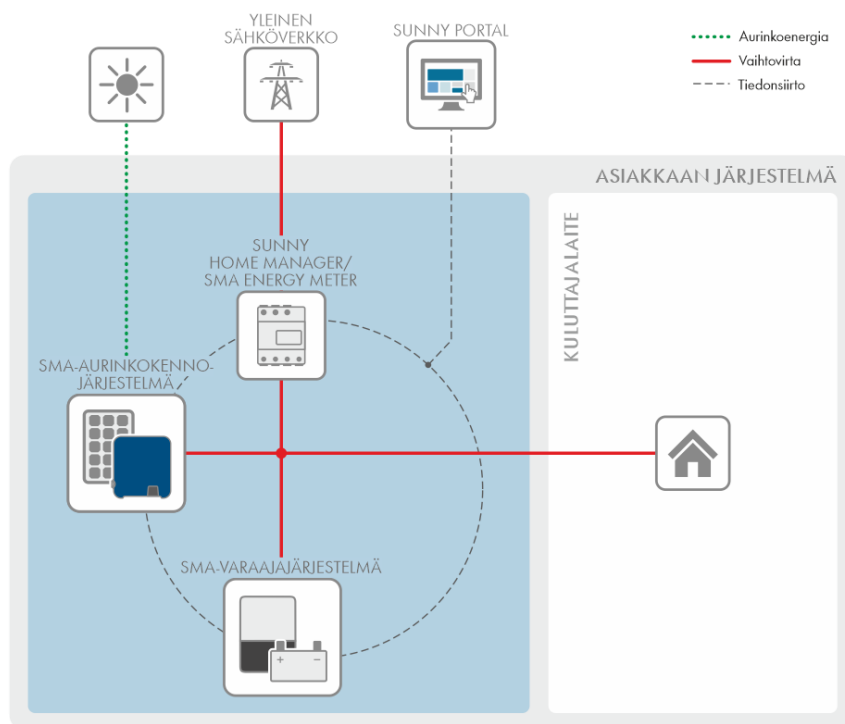
2.4 Aurinkojärjestelmä

Aurinkojärjestelmiä on erilaisia ja erilaisiin tarkoituksiin. Sähköverkon rinnalle kytketty järjestelmä (on-grid) on yleinen omakotitaloissa ja yrityksissä. Kun aurin-gosta saatava energia ei riitä, tarvittava lisäenergia saadaan sähköverkosta. Huomioitavaa tällaisessa järjestelmässä on, että aurinkopaneeleilla ei voida tuottaa sähköä sähkökatkoksen aikana turvallisuussyistä. (Newkirk 2016.)

Sähköverkkoon kytkemättömässä (off-grid) aurinkojärjestelmässä sähköä saadaan ainoastaan aurinkopaneeleista. Tällaisessa järjestelmässä on usein akku, johon energia voidaan varastoida myöhempää käyttöä varten. Järjestelmässä täytyy olla lataussäädin, joka asennetaan aurinkopaneelien ja akuston väliin. Sähköverkon ulkopuolinen järjestelmä sopii esimerkiksi mökille tai vapaa-ajan asuntoon, joissa sähköverkkoon liittyminen on hankalampaa. (Motiva. Verkkoon kytkemätön aurinkojärjestelmä 2016.)

2.4.1 Esimerkkikokonaisuus

Kuvassa 3 on yksi esimerkki, mitä aurinkojärjestelmä voi sisältää. Kuviossa on SMA:n aurinkojärjestelmä, joka on kytketty sähköverkon rinnalle. SMA-aurinko-kennojärjestelmään kuuluu aurinkopaneeleihin kytkettävä invertteri. Varaajajärjestelmässä on akusto, johon voidaan varastoida energiaa. Kaikki komponentit ovat yhteydessä Sunny Home Manageriin ja/tai energiamittariin. Kaikki komponentit ovat myös internet-yhteydessä Sunny Portal -sovellukseen. Sovelluksesta käyttäjä voi mm. lukea invertterin tuottoa, kuin myös hallinnoida Sunny Home Managerin toimintaa.



KUVA 3. Aurinkojärjestelmäesimerkki (SMA. manuals)

Sunny Home Manager 2.0 pyrkii maksimoimaan tuotetun sähkön omakäyttöä. Se mittaa energiantuotantoa ja sen kulutusta, sekä luo suunnitelmia energian käyttöön. Laite on yhdistetty internetiin, josta se saa tarkat tiedot paikallisista sääolosuhteista sekä sääennustukset seuraavilta muutamilta tunneilta. Näiden avulla järjestelmä pystyy hyvin ennustamaan auringon säteily määrän, ja mihin vuorokauden aikoihin sitä eniten syntyy. Järjestelmällä voidaan ohjata mm. lämpöpumppua, akkua ja kodinkoneita (kuva 4). (SMA. products. Sunny Home Manager 2.0.)

jolloin hän haluaa kodinkoneiden ajavan ohjelmansa. Esimerkiksi käyttäjä voi asettaa pyykkipäiväksi tiistain ja perjantain ja ajaksi 06.00-21.00. Sunny Home Manager 2.0:ssa on tekoäly, jonka ansiosta laite oppii, paljonko eri kodinkoneet käyttävät energiaa. Tämä auttaa vähentämään kulutusta. (SMA. Technical information. Load Control via MUST Time Period, 6-10.)

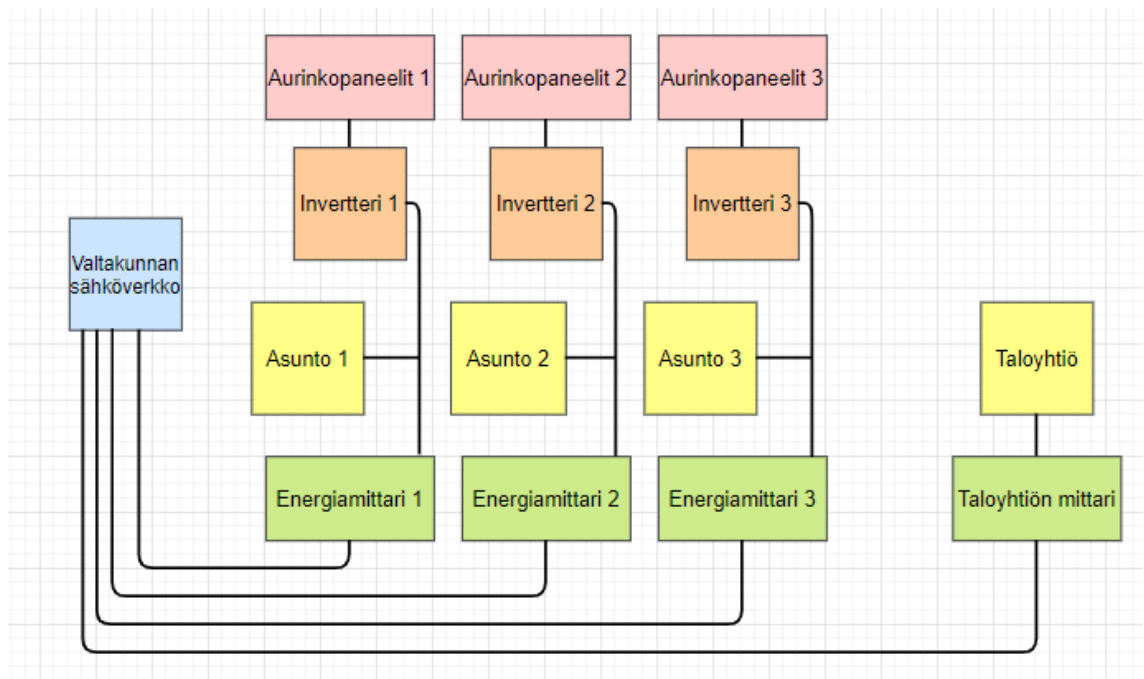
Ohjausjärjestelmä voi toimia joko automaattisesti tai manuaalisesti. Kodinkoneen voi laittaa päälle myös manuaalisesti kääntämällä radio-ohjattavan pistorasian katkaisijaa. Automaattimoodissa ohjausjärjestelmä kontrolloi kodinkoneita niille annettujen spesifikaatioiden mukaisesti. SMA Smart Home:n teknisissä tiedoissa neuvotaan ensin täyttämään pesukone normaaliin tapaan, jonka jälkeen valitaan pesuohjelma ja käynnistetään kone. Sen jälkeen aktivoidaan Sunny Portal:sta automaattiohjaus. Kun automaatti on valittuna, ohjausjärjestelmä käyttää koneita juuri silloin, kun energia on kaikista tehokkainta ja halvinta käyttää. (SMA. Technical information. Load Control via MUST Time Period, 11-13.)

3 KOHTEEN ESITTELY



KUVA 5. Rivitalokohde

Tarkasteltavassa rivitaloasuntokohteessa (kuva 5) on kolme asuntoa, joissa kaikissa on 3,3 kWp-järjestelmä. Aurinkopaneelit on kytketty kolmivaiheisen sähköverkon rinnalle. Kuvassa 6 esitetään kohteen tämänhetkinen kokoonpano. Yhteen järjestelmään kuuluu 12 monikidepaneelia, jotka on kytketty SMA:n Sunny Tripower 3,3 kW -invertteriin. Energiantuoton seuraamista varten osakkailla on pääsy Sunny Portal -sovellukseen, joka saa datansa suoraan inverttereiltä. Yhden järjestelmän hinta asennuksineen on 5250 euroa. Paneelien käyttöikä on 30 vuotta ja invertterin käyttöikä on 15 vuotta, joten samoille paneeleille joudutaan hankkimaan toinen invertteri. Yhteensä 30 vuoden aikana kuluja kertyy järjestelmästä 6750 euroa/huoneisto.



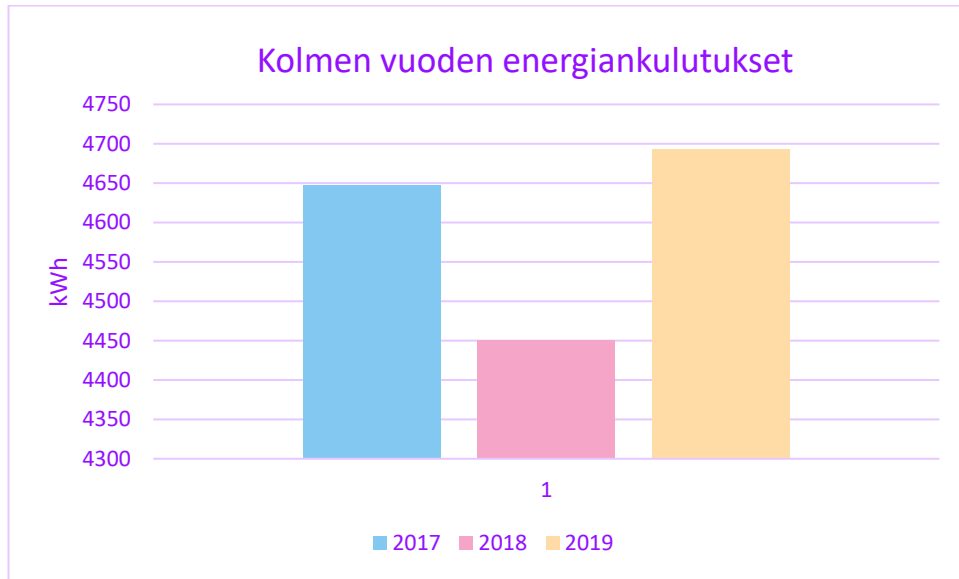
KUVA 6. Kohteen aurinkojärjestelmä

Aurinkopaneelit ovat asuntokohtaisia, ja niistä saatava energia menee jokaisen asunnon omaan käyttöön. Aurinkoenergia käytetään sitä mukaa, kun sitä tuotetaan. Loput tarvittavasta energiasta ostetaan sähköyhtiöltä. Jos ylimääräistä aurinkoenergiaa jää, se myydään sähköyhtiölle.

Suurin hyöty aurinkoenergiasta saadaan, kun se käytetään kokonaan itse. Ongelmana on, että aurinkoenergiaa saadaan eniten päiväsaikaan, jolloin ihmiset ovat töissä tai hoitamassa muita asioita. Illalla kotiin tultua, kun auringosta saadaan huomattavasti vähemmän energiaa, laitetaan tiski- ja pyykinpesukoneet päälle. Tällä hetkellä kohteessa suuri osa tuotosta jää käyttämättä.

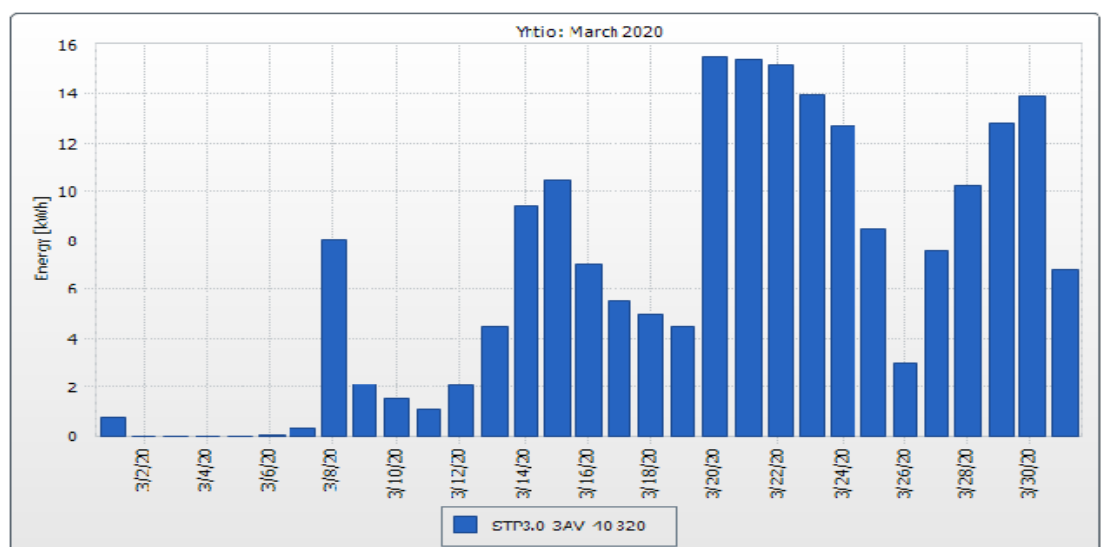
3.1 Rivitaloasunnon energiankulutus ja -tuotto

Kohteen yhden asunnon päivittäinen energiankulutus on noin 10-20 kWh. Kolmen edellisen vuoden keskimääräinen energiankulutus oli noin 4597 kWh (kuva 7). Tähän laskelmaan ei ole otettu huomioon lämmitystä, vain taloussähkö. Aurinkoenergiaa pystytään tällä hetkellä hyödyntämään ainoastaan taloussähköinä. Aurinkojärjestelmän myyjän laskeman arvioin mukaan vuotuinen aurinkoenergiantuotto on 2700-3000 kWh.



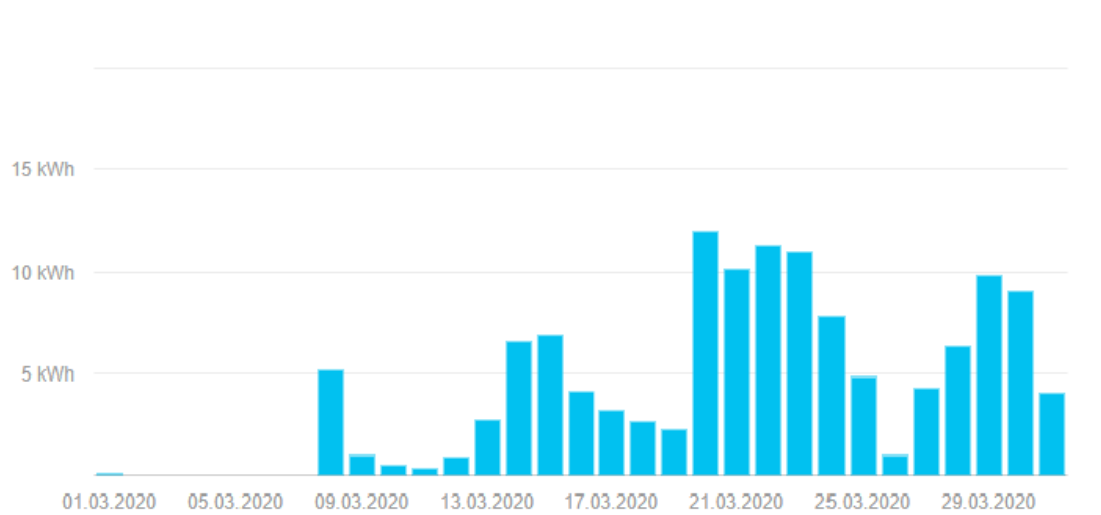
KUVA 7. Energiankulutukset vuosina 2017-2019

Tutkittavassa kohteessa aurinkopaneelit on asennettu lokakuussa 2019. Dataa on päästy keräämään vasta siitä lähtien, joten koko vuodelta ei dataa vielä ole. Kohteen energiantuoton historiaa tutkittaessa huomattiin, että on päiviä, jolloin pelkkä aurinkoenergia ei riitä asunnon kaikkiin tarpeisiin. On myös kuitenkin päiviä, jolloin on syntynyt jopa ylituotantoa. Esimerkiksi maaliskuussa 2020 on päästy reilusti yli 10 kWh:n lukemiin päivässä. Kuvassa 8 on esitettyä taloyhtiön yhden invertterin energiantuotanto eri päivinä ajan funktiona.



KUVA 8. Yhden taloyhtiön asunnon invertterin tuotto maaliskuussa 2020

Maaliskuussa energiaa tuotettiin yhteensä noin 198 kWh. Kuvassa 9 on esitettyä myydyin energian määrä maaliskuussa 2020, joka oli yhteensä noin 127,5 kWh. Näin ollen itse käytetyn aurinkoenergian osuus oli vain 36 prosenttia. Pie-nellä sähkösuunnittelulla voidaan suurentaa tuoton käyttöastetta. Esimerkiksi aina valmiin kiukaan voi lämmittää päivällä.



KUVA 9. Myydyin sähkön määrä maaliskuussa 2020

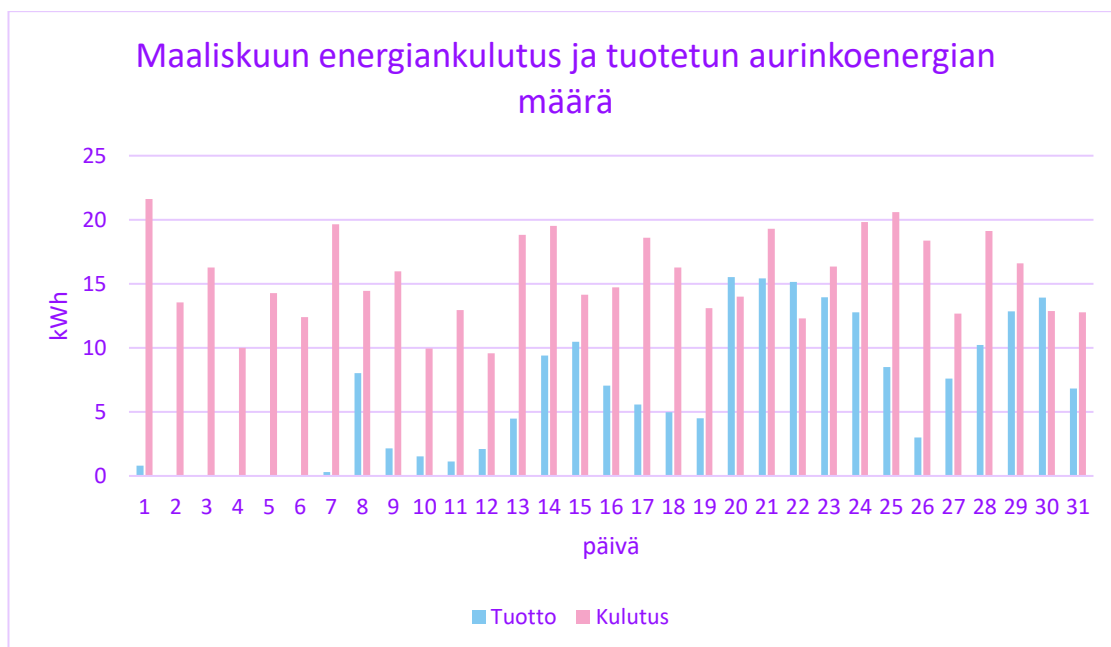
Sähkön ostohinta on tällä hetkellä siirtomaksuineen ja veroineen noin 13 snt/kWh, joten sähkön kustannukset ilman aurinkojärjestelmää ovat vuodessa noin 598 euroa. Aurinkopaneelien tuottamasta sähköstä saadaan omaan käyttöön arviolta noin 1500 kWh vuodessa, joten sillä säästää sähkölaskussa 195 euroa. Lisäksi ylituotetusta sähköstä saadaan vuodessa voittoa 60 euroa, kun sähkö myydään hintaan 4 snt/kWh. Näin ollen vuodessa säästöä syntyy yhteensä 255 euroa. Jos koko tuotanto saadaan hyödynnettyä omaan käyttöön, säästöä tulisi noin 390 euroa vuodessa. Nykyisellä kokoonpanolla koko aurinkojärjestelmä maksaa itsensä takaisin noin 27 vuodessa.

4 RATKAISUVAIHTOEHDOT

4.1 Akku sähköön varastointiin

Auringosta saatavan energiaa voidaan varastoida akkuun. Akun käyttöikä on tällä hetkellä sen materiaaleista ja käytöstä riippuen noin 5 – 15 vuotta. Aurinkoenergian varastointiin käytetään mm. litiumioniakkuja ja lyijyhappoakkuja. Kiinteistöön, joka saa energiansa pelkästään auringosta, tarvitsee todennäköisesti useamman akun energian varastointiin. Siksi lyijyhappoakku voi olla parempi vaihtoehto sen halvemman hinnan vuoksi. Litiumioniakku sopii sähköverkon rinnalla toimivaan järjestelmään. Se on kalliimpi lyijyhappoakkuja, mutta käyttöikä on huomattavasti pidempi. (Energysage 2020.)

Kuvassa 10 on esitettyä maaliskuun tuotettu energia sekä energiankulutus. Diagrammista nähdään, että on päiviä, jolloin pystyttäisiin kattamaan koko energiantarve aurinkoenergialla.



KUVA 10. Energiankulutus ja tuotetun energian määrä maaliskuussa 2020

Markkinoilla on useita akkuvaihtoehtoja. Esimerkiksi Teslalla on Powerwall-kotiakku, joka on litiumioniakku ja se on kapasiteetiltaan 13,5 kWh. Järjestelmän

hinta asennuksineen noin 8000 – 11000 euroa. Akulla on 10 vuoden takuu. (Tesla 2020.)

Teslan kotiakun 10 vuoden takuuajana ehtisi säästöä kertyä 3900 euroa. Mikäli akku kestää 15 vuotta käytössä, säästöä kertyy 5850 euroa. Akun tuoman lisähyödyn osuus on 2025 euroa. Takaisin se ei itseään ehtisi maksaa.

4.2 Virtuaalinen akku

KSS Energia myy virtuaalista akkupalvelua kuukausihintaan 5,99 euroa. Käytännössä ratkaisu toimii niin, että sähköyhtiö muuttaa ylituotetun aurinkoenergian euroiksi ja vähentää sen sähkölaskusta. (KSS Energia 2020.)

Helen Oy tarjoaa asiakkailleen myös virtuaalista akkupalvelua. Tällä hetkellä Helen Oy hyvittää aurinkosähkön ylituotannosta 13 snt/kWh. Helen Oy:n arvioiden mukaan 3,3 kWp aurinkojärjestelmällä voi säästää vuosittain sähkömaksuissa virtuaaliakun kanssa jopa yli 100 euroa verrattuna siihen, että virtuaaliakkua ei ole. Heidän spot-hinta sähkölle 4 snt/kWh, eli vain noin kolmannes sähkön ostohinnasta. Helen Oy tarjoaa tällä hetkellä palveluaan vain aurinkosähkölle järjestelmän hankinnan yhteydessä. Yhtiön on tarkoitus tulevaisuudessa tuoda palvelu myös jo olemassa oleviin aurinkojärjestelmiin. Palvelunsa hinnaksi he ovat arvioineet muutaman euron kuukaudessa. (Helen Oy 2020.)

Jos sähkön spot-hinta olisi 4 snt/kWh, vuodessa myydystä sähköstä saadaan 60 euroa. KKS Energian virtuaaliakkupalvelun hinta on vuodessa 71,88 euroa. Jos ylituotannon sähkö saataisiin myytyä hintaan 13 snt/kWh, vuodessa se tekisi noin 195 euroa. Summasta vähennettynä palvelun hinta (71,88 €/v) lopulliseksi säästökseksi jäisi 123,12 euroa. Siihen lisättynä itse käytetty aurinkoenergia säästöä kertyisi vuodessa noin 318 euroa. Lisätuottoa virtuaaliakku tuo järjestelmään 93 euroa.

4.3 Aurinkoenergian älykäs ohjaus

Aurinkoenergian ylituotanto-ongelmaa voitaisiin lähteä korjaamaan myös järjestelmän älykkäällä ohjauksella. Älykäs ohjaus perustuu siihen, että kodin laitteita käytettäisiin juuri silloin, kun aurinkoenergiaa on saatavilla.

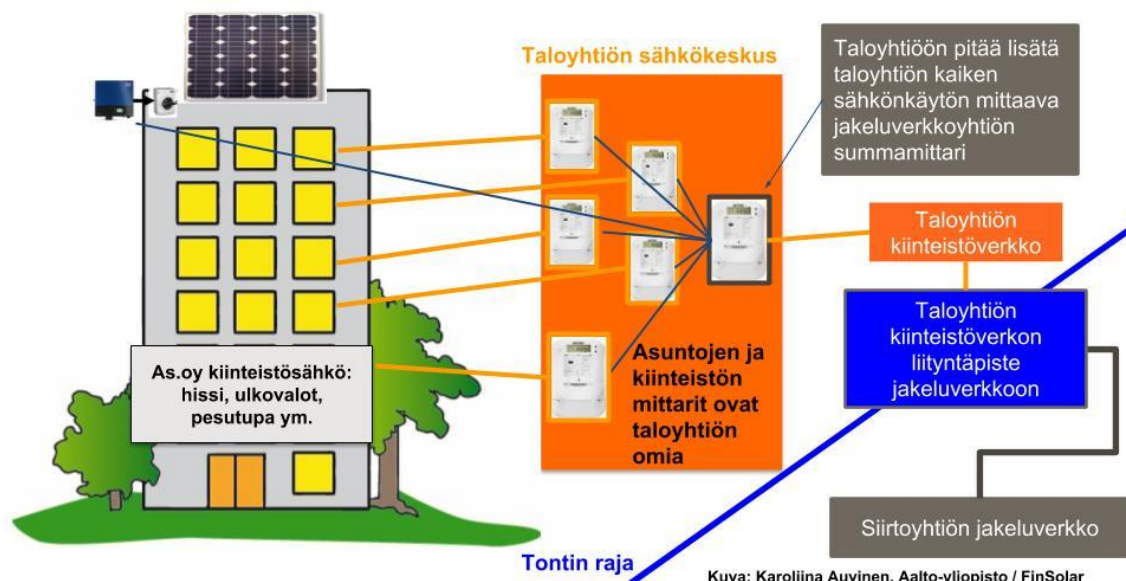
Sunny Home Manager 2.0:n hinta on hieman yli 500 euroa (Zerohomebills 2020). Laitteen rinnalle ei erikseen tarvita mittaria, ja se on helppo asentaa. Valmius EEBus-kommunikointistandardille on tulevaisuuden kannalta hyvä asia, koska älykkäät kodit yleistyvät. Kodinkoneissa täytyy kuitenkin olla riittävät kriteerit täytettynä, jotta ne voidaan yhdistää ohjauslaitteeseen. (SMA. Products. Sunny Home Manager 2.0.)

Älykkään ohjausjärjestelmän hinta asennuksineen on arviolta noin 700-900 euroa. Laitteen käyttöikä on arviolta 15 vuotta, joten se jouduttaisiin uusimaan keran aurinkopaneelien käyttöiän aikana. Yhteensä kustannuksia 30 vuodessa syntyy 1400-1800 euroa. Järjestelmän avulla pystyttäisiin säästämään sähkölaskussa vuosittain 390 euroa. Sunny Home Manager 2.0 tuo lisätuottoa järjestelmään 135 euroa. Laskelmaan ei ole otettu huomioon mahdollisia kodinkoneinvestointeja ja radio-ohjattavia pistorasioita. Yksi pistorasia on hinnaltaan noin 50 euroa.

4.4 Takamittarointi

Rivi- ja kerrostaloissa aurinkosähkön hyödyntämistä estää Suomen lainsäädäntö. Tällä hetkellä taloyhtiö ei voi nykyisillä sähkönsiirtoyhtiöiden mittareilla jakaa energiaa asukkaiden käyttöön. (Pennanen 2018.) Jos kaikki taloyhtiössä tuotettu sähkö haluttaisiin omaan käyttöön, täytyisi tehdä niin sanottu takamittarointi (kuva 11). Tällöin aurinkosähköä pystytään hyödyntämään koko kiinteistössä ja asunnoissa ilman energiaperusteisia siirtomaksuja ja sähköveroä. Takamittaroinnissa taloyhtiö hankkii yhteisen sähköenergiesopimuksen sekä verkkopalvelusopimuksen. Verkkoyhtiöiden sähkömittarit vaihdetaan taloyhtiön mittareihin, ja lisäksi järjestelmään lisätään jakeluverkkoyhtiön summamittari, joka mittaa koko taloyhtiön sähkönkäyttöä. (Auvinen 2018.)

Aurinkosähkön takamittarointi



KUVA 11. Takamittarointi taloyhtiössä (Auvinen 2018)

Takamittaroinnissa voi esiintyä ongelmia. Jokaisen taloyhtiön osakkaan täytyy tyytyä samaan sähkösopimukseen, eivätkä he voi enää kilpailuttaa sopimuksiinsa. Koska mittaristoon joudutaan tekemään muutoksia, kustannukset lisääntyvät. Jos taloyhtiö ei ole arvolisäverollinen, niin sen voi muuttaa energian myyjäksi ja siten arvolisäverolliseksi. Energiatuotannon ylijäämä voidaan myydä sähköyhtiölle 0 snt/KWh, jolloin liikevaihtoa ei synny. Energiankulutuksen suunnittelu on tärkeää, jotta ylituotantoa ei tapahtuisi. (Auvinen 2018.)

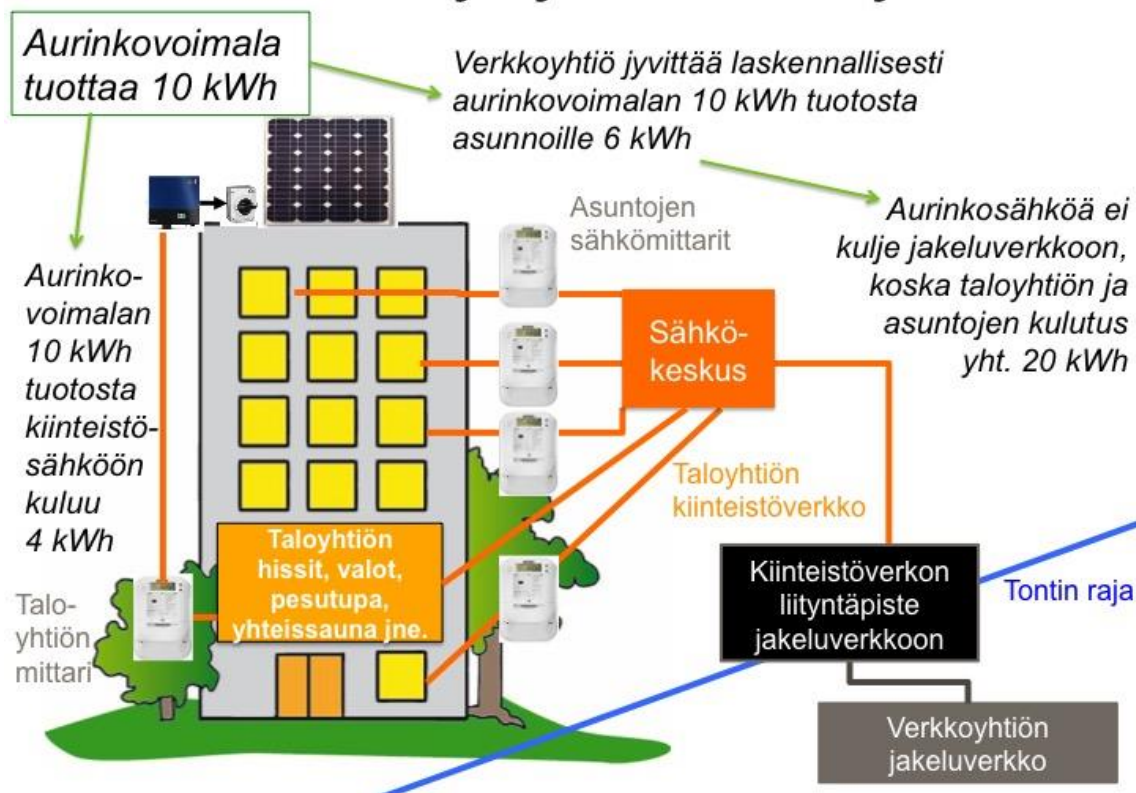
Kohteeseen neljän mittarin uusiminen maksaa arviolta 2000 euroa. Vaikka kaikki energia saadaan käyttää itse, joudutaan mahdollinen ylituotanto antamaan ilmaiseksi sähköyhtiölle.

4.5 Hyvityslaskentamalli eli virtuaalimittarointi

Hyvityslaskentamallin eli virtuaalimittaroinnin (kuva 12) toiminta perustuu älymittareiden tuottamaan dataan. Hyvityslaskentamallissa aurinkosähkön ylituotanto saadaan käyttöön koko taloyhtiössä. Etäluettavien mittarien ja datan käsittely IT-järjestelmässä mahdollistaa aurinkosähkön hyödyntämisen koko taloyhtiössä ilman kalliita muutoksia mittaristoon, joita takamittarointimallissa tarvitsisi tehdä.

Aurinkovoimalan, koko taloyhtiön sekä asuntojen kulutus- ja tuottotietoja yhdistetään laskennallisesti, ja niiden perusteella voimalan tuotanto jaetaan osakkaiden kesken. Toisin kuin takamittarointimallissa, hyvityslaskentamallissa taloyhtiön osakkaat pystyvät edelleen kilpailuttamaan oman sähkösopimuksensa. Malli ei edellytä muutoksia mittaristoon, mikä tekee vaihtoehdosta helpomman ja joustavamman. Tätä mallia lainsäädäntö ei vielä hyväksy. (Auvinen 2017.)

Aurinkosähkön hyvityslaskenta taloyhtiössä



KUVA 12. Taloyhtiön hyvityslaskentamalli (Auvinen 2017)

Lainsäädäntöön odotetaan muutosta vuoden 2020 aikana, jonka myötä mahdollistuu hyvityslaskentamallin käyttö. Hyvityslaskentapalvelu saadaan todennäköisesti käyttöön alueittain ja asteittain. Yhtiöt, kuten Oulun Energia Siirto ja Helen sähköverkko tarjoavat hyvityslaskentapalvelua asiakkailleen heti lakimuutoksen astuessa voimaan. (Kiinteistölehti 2020.)

Hyvityslaskentapalvelun pilottikohteessa käytävä palvelun hinta olisi taloyhtiölle 10 euroa kuukaudessa (Auvinen. Aurinkosähkön hyvityslaskentamalli 2017). Kol-

men asunnon kesken jaettuna se on kuukaudessa 3,3 euroa, joten koko vuotuisen tuotannon säästöstä vähennettynä loppusummaksi jää noin 350 euroa. Lisätuottoa hyvityslaskentamalli tuo järjestelmään 95 euroa.

5 TULOKSET

Taulukossa 2 ovat mahdolliset ratkaisuvaihtoehdot. Taulukkoon on merkitty eri ratkaisujen hyödyt sekä haitat. Taulukosta näkyvät myös laitteiden ja palveluiden hinnat sekä kertyvät säästöt yhden vuoden aikana. Luvuista on vähennetty aurinkojärjestelmän hinta sekä laitteen tai palvelun hinta. Taulukon viimeisille riveille on merkitty arviot siitä, mitä aurinkopaneelien käyttöön eli 30 vuoden aikana on syntynyt voittoja kokonaisuudessaan sekä järjestelmien takaisinmaksuajat. Laskelmat on tehty 2020 hintojen pohjalta, eikä niissä ole huomioitu rahoitus- ja korkokuluja.

TAULUKKO 2. Mahdolliset ratkaisuvaihtoehdot

	Nykyinen järjestelmä	Takamittarointi	Hyvityslasken-tapalvelu	Akku	Älykäs ohjaus	Virtuaaliakku
Hyödyt	Ei vaadi lisäinvestointeja	Voi ottaa käyttöön heti	Ei vaadi suuria investointeja aurinkojärjestelmään	Koko tuotettu energia omaan käyttöön	Kohtuullisen edullinen	Ei vaadi fyysisiä muutoksia aurinkojärjestelmään
Haitat	Oman tuoton käyttöaste on pienempi	Voi vaatia kalliita muutoksia mittaristoon	Lainsäädäntö estää käytön toistaiseksi	Kallis	Voi vaatia lisälaitteita kodinkoneisiin	Lopullinen säästöosuus melko pieni
Investoinnit 30 vuoden aikana (€)	~6750	~8750 (mittarien uusiminen 2000)	~6750	~25750 (2 akkua 19000)	~8350 (kahden laitteen hinta 1600)	~6750
Maksimihyöty vuodessa (€)	~255	~390	~350 (vähennetty palvelun hinta 39,6)	~390	~390	~318 (vähennetty palvelun hinta 71,90)
Maksimi-säästö 30 vuodessa (€) (vähennettynä aurinkojärjestelmän hinta ja laitteen/palvelun hinta)	~900	~2950	~3750	~(-14050)	~3350	~2790
Koko järjestelmän takaisinmaksuaika	~27 vuotta	~22,5 vuotta	~19,5 vuotta	Ei maksa takaisin	~21,5 vuotta	~21,3 vuotta

6 POHDINTA

6.1 Energian varastoinnin tulevaisuus

Litium-rikki-akku on tuonut lupaavia tuloksia akkujen teknologian kehitykseen. Se omaa testien mukaan jopa 5-8-kertaisen energiatiheyden nykyisin käytettäviin akkuihin verrattuna. Sillä on erinomainen kyky säilyttää kapasiteettinsa, sillä 1700:n latauskerran jälkeen kapasiteetista oli vielä 91 prosenttia käytettävissä. Nykyisen akun kokoisessa litium-rikki-akussa riittäisi esimerkiksi älypuhelimessa käyttövoimaa viikoksi, ja sähköautolla pääsisi 2000 km:n matkan yhdellä latauksella. (Tivi 2020.)

Sähköautojen akkujen käyttäminen energian varmuusvarastona on tullut mahdolliseksi kaksisuuntaisten latausjärjestelmien ansiosta. Kaksisuuntaisessa latauksessa autoa ei pelkästään ladata, vaan voidaan akusta tarvittaessa myös ottaa sähköä. Maailmalla teknologia on jo enemmänkin käytössä, mutta Suomessa on asennettu vasta yksi kaksisuuntainen latausjärjestelmä kokeiltavaksi. Tulevaisuudessa on mahdollista käyttää latausjärjestelmää kotonakin. Latausasema yksityiseen käyttöön on vielä todella kallis investointi, mutta tulevaisuudessa hintojen alentuessa mahdollinen. (Moottori 2017.)

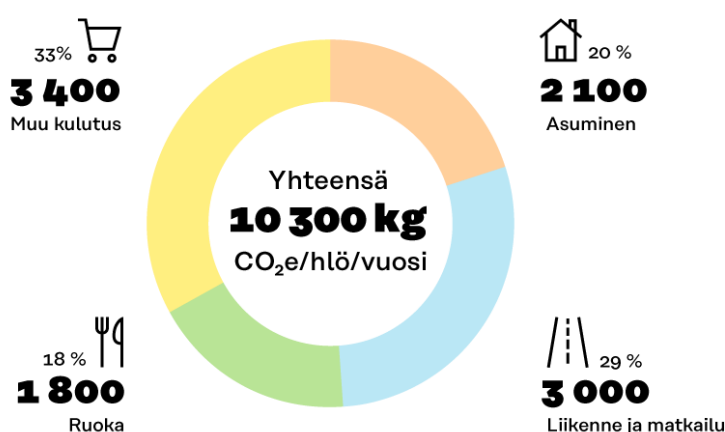
Suomalainen yritys VTT on kehittänyt siirrettävän polttokenno-elektrolyserin. Siinä yhdistyvät vedyn tuottaminen vedestä ja vedystä sähkön tuottaminen. Uudessa laitteessa käytetään kiinteäoksiditeknologiaa, jonka ansiosta vedyn valmistuksessa hyötysuhde on jopa 80-90 prosenttia. Aikaisemmin polttokennoissa on käytetty PEM-teknologiaa, jonka hyötysuhde on ollut 60 prosentin luokkaa. Kiinteäoksidi-polttokenno voi hyödyntää vedyn lisäksi myös muita polttoaineita kuten biokaasua. Kiinteäoksidi-polttokenno on vielä todella kallis, koska se käyttää keraamisista elektrolyyteistä koottuja polttokennoja, joiden valmistaminen on teknisesti vaativaa. (Promaint 2019.)

Monet uudet energian varastointimuodot ovat vasta tutkimus- ja testausasteella. Ne ovat vielä usein liian kalliita tai liian vähän testattuja massatuotantoa varten.

Kuitenkin potentiaalisia vaihtoehtoja on, jotka voivat mahdollisesti tulevaisuudessa korvata ympäristöä enemmän kuluttavat energiavarastointimuodot.

6.2 Yksilön hiilijalanjäljen pienentäminen

KESKIVERTOSUOMALAISEN HIILIJALANJÄLKI



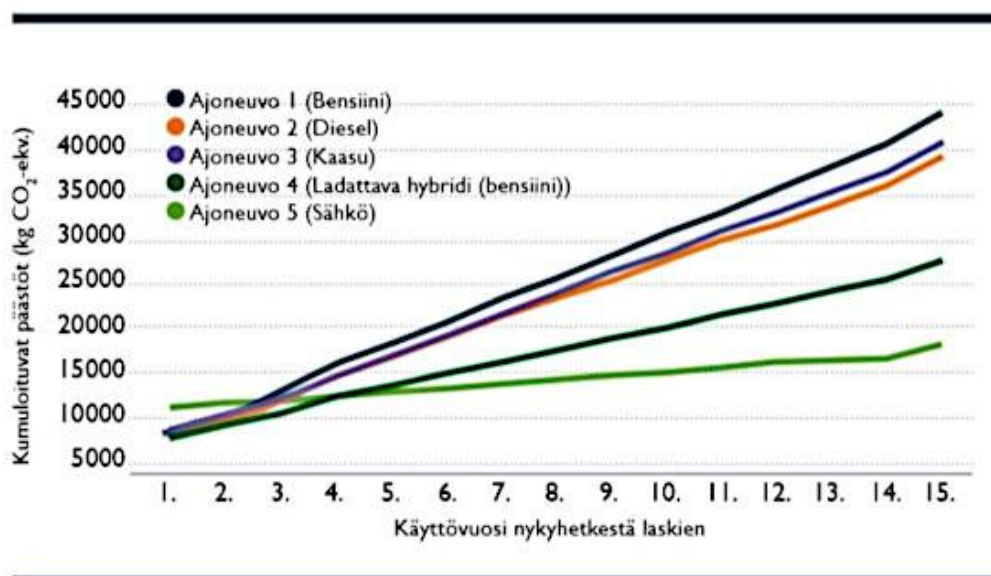
KUVA 13. Suomalaisen keskimääräinen hiilijalanjälki vuodessa (Sitra 2019)

Suomalaisen keskimääräinen hiilijalanjälki vuodessa on 10300 kg (kuva 13). 20 prosenttia siitä tulee asumisesta, kuten lämmityksestä ja sähköstä. Monet talot lämmitetään öljyllä, josta kertyy iso osa asumisen hiilijalanjäljestä. Vaihdettaessa esimerkiksi maalämpöön sijoitus on kalliimpi, mutta pitkällä tähtäimellä kannattava. Pientalon lämmitys öljyllä maksaa vuodessa noin 2060 euroa. Jos maalämpöpumppu vie 7200 kWh energiaa vuoden aikana ja sähkön hinta on 13 c/kWh, vuodessa se tekee 936 euroa. (Energia talous 2017.) Lisäksi, jos maalämpöpumpussa käytetään aurinkoenergiaa, pienenee sähkölasku entisestään, ja asumisen hiilijalanjälki pienenee huomattavasti.

29 prosenttia keskimääräisestä hiilijalanjäljestä syntyy matkailusta ja liikenteestä. Henkilöauton keskimääräiset hiilidioksidipäästöt vuonna 2019 Suomessa olivat noin 150-160 g/km (Liikenne fakta 2020). Suomessa autolla ajetaan keskimäärin 17000 km vuodessa (Kymen sanomat 2017), jolloin vuotuiset päästöt yhdellä henkilöautolla ovat 2635 kg. Autolla ajaminen synnyttää noin 26 prosenttia yksilön vuotuisesta hiilijalanjäljestä.

Sähköautot saastuttavat vähemmän verrattuna polttomoottoriautoihin. Sähköauton akkujen valmistaminen kuluttaa ympäristöä jonkin verran, ja sähkö voi olla tuotettu fossiililla polttoaineilla. Päästöjä voidaan vähentää kierrättämällä auton materiaaleja. Akkutekniikan kehittyminen ja uudet energian varastointimuodot tulevat vähentämään päästöjä. Akkujen käyttöikä sekä niiden energiatiheys tulevat kasvamaan tulevaisuudessa, ja akkujen tilalle mahdollisesti löydetään korvaavia vaihtoehtoja. (Omaa voimaa 2019.) Myös sähkö voidaan tuottaa ympäristöystävällisesti uusiutuvilla energiamuodoilla. Kuvassa 14 on eri ajoneuvojen kumuloidut päästöt 15 vuoden käyttöaikana. Siitä nähdään, että sähköauton päästöt ovat muita autoja pienemmät jo muutaman vuoden käytön jälkeen.

Ajoneuvojen elinkaariset päästöt (kg CO₂-ekv.)



KUVA 14. Ajoneuvojen päästöt 15 vuoden käyttöaikana. (Hiilineutraalisuomi 2019)

Sähköauto käyttää noin 0,2 kWh/km, joten vuodessa energiaa kuluu 3400 kWh (Virta 2018). Esimerkiksi tarkastelun kohteena olleen asunnon energiantuoton määrällä sähköautoa voitaisiin ajaa vuodessa 88 prosenttisesti aurinkoenergialla. Tämä vähentäisi koko vuotuista hiilijalanjälkeä 22 prosenttia.

6.3 Aurinkoenergian hyödyt ja kannattavuus

Aurinkojärjestelmä maksaa itsensä takaisin arviolta 27 vuodessa nykyisillä sähkön hinnoilla ja järjestelmällä ilman lisävarusteluita. Jos lisävarusteita otetaan käyttöön, pienenee takaisinmaksuaika minimissään noin 19 vuoteen. Perusjärjestelmällä tuottoa kertyy aurinkopaneelien käyttöiän (30 v) aikana noin 900 euroa/huoneisto. Eri vaihtoehdoilla saadaan kaksinkertaistettua tuotetun energian käyttöaste, jolloin 30 vuoden aikana voittoa kertyy jopa nelinkertaisesti.

Tuloksista nähdään, että akku ei koskaan maksa itseään takaisin, ja on sen vuoksi huono vaihtoehto. Myös sen valmistaminen vie luonnonvaroja. Tilanne muuttuu latausjärjestelmien kehittyttyä ja sähköautojen yleistyttyä. Takamittarointimalli säästää jonkin verran, mutta ei ole järkevä mittarien uusimisen vuoksi. Älykäs ohjausjärjestelmä on suhteellisen edullinen vaihtoehto ja voi luoda lisää asumismukavuutta.

Taloudellisesti kannattavin vaihtoehto nykyisten tietojen perusteella on hyvityslaskentapalvelu, joka säästää sähkölaskussa, ja ei tarvitse suuria lisäinvestointeja jo olemassa olevaan järjestelmään. 30 vuoden jälkeen voittoa kertyisi hyvityslaskentapalvelun avulla 3750 euroa/huoneisto.

Muutamissa vaihtoehdoissa täytyy ottaa huomioon turvallisuusriskit. Esimerkiksi litiumpohjaiset akut voivat aiheuttaa tulipalovaaran. Kodinkoneissa on myös tulipalo- ja vesivahinkoriski. Sen vuoksi älykkään ohjausjärjestelmän ohjaamia kodinkoneitakaan ei saisi jättää valvomatta. Vakuutusyhtiöt saattavat vähentää isoja määriä korvaussummasta, jos vahinkoa aiheuttanut kodinkone on jätetty valvomatta. (Kuningaskuluttaja 2011.) Automaattisesti toimivien kodinkoneiden turvallisuutta voidaan lisätä erilaisilla vuoto- ja palovahdeilla. Älykäs ohjausjärjestelmä herättää myös kyberturvallisuuskysymyksiä. Internet-yhteydessä olevat laitteet voivat mahdollisesti olla alttiita ulkopuoliselle manipuloinnille, ja näin aiheuttaa vahinkoa.

Aurinkojärjestelmä ei tuota taloudellisesti suuria voittoja. Aurinkoenergian on tarkoitus olla osana vähentämässä kasvihuonekaasujen määrää ja siten estämässä

ilmastonmuutosta. Näin ollen, kun aurinkoenergiaa hyödynnetään esimerkiksi liikenteessä tai asumisessa, vaikutukset ympäristölle ovat merkittäviä.

LÄHTEET

Aurinkovirta. Aurinkosähkö. Luettu 16.4.2020. <http://www.aurinkovirta.fi/>

Auvinen, K. 2017. Aurinkosähkön hyvityslaskentamalli. Luettu 13.4.2020. <https://finsolar.net/hyvityslaskentamalli/>

Auvinen, K. 2017. Pilottitaloyhtiö As.OY Haapalahdenkatu 11. Luettu 4.5.2020. <https://finsolar.net/pilottitaloyhtio-as-oy-haapalahdenkatu-11/>

Auvinen, K. 2018. Aurinkosähkön takamittarointimalli. Luettu 9.4.2020. <https://finsolar.net/aurinkosahkon-takamittarointimalli/>

Energialaous. 2017. Lopetetaan öljylämmitys pientaloissa. Luettu 6.5.2020. <https://www.energiatalous.fi/?p=799>

Energysage. 2020. How to choose the best battery for a solar energy system?. Luettu 23.3.2020. <https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/what-are-the-best-batteries-for-solar-panels/>

Fortum. 2020. Energiantuotantomme. Aurinkoenergia – eheytyvätön energianlähde. Luettu 3.4.2020. <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energian-tuotantomme/aurinkoenergia-ehyymaton-energianlahde>

Fronius. 2020. Products. Fronius symo. Luettu 21.4.2020. <https://www.fronius.com/en/photovoltaics/products/all-products/inverters/fronius-symo/fronius-symo-3-0-3-m>

GreenMatch. 2020. 7 different types of solar panels explained. Luettu 17.4.2020. <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>

Helen Oy. 2020. Virtuaaliakku. Luettu 25.3.2020. <https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/sahko-varastointi/virtuaaliakku>

Hiilineutraalisuomi. 2020. Sähköautolla voi saavuttaa lähes 70 prosenttia pienemmät päästöt – Ilmastopaneeli laati laskurin eri autotyypin päästöjen ja kustannusten vertailuun. Luettu 2.5.2020. ['https://hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Sahkoautolla-voi-saavuttaa-lahes-70-pros\(53425\)'](https://hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Sahkoautolla-voi-saavuttaa-lahes-70-pros(53425))

Hukkanen, T. 2016. Lämpöpumpun toiminta. Toimintaperiaate. Luettu 19.4.2020. <https://docplayer.fi/683107-Lampopumpun-toiminta-toiminnan-periaate.html>

Ilmatieteen laitos, ympäristöministeriö & Ilmasto-opas. 2019. IPCC:n 1,5 asteen raportin pohjalta tehdyt infografiikat. Luettu 3.4.2020. <http://ilmasto-opas.fi/fi/il-mastonmuutos/videot-ja-visualisoinnit/-/artikkeli/404aab9f-7b8a-4e6c-a14a-0199af721c00/ipcc-1-5-infografiikat.html>

Ilmatieteen laitos. Teematietoa. Ilmastonmuutos. Luettu 14.4.2020. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksiä>

IPCC. 2018. Global warming of 1,5 °C. Luettu 14.4.2020. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Jaatinen, K. 2019. Virtuaaliakku ja sähkövarasto täydentävät aurinkopaneeleja. Helen Oy. Luettu 25.3.2020. <https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankoh-taista/blogi/2019/s%C3%A4hk%C3%B6n-varastointi>

Käpylehto, J. 2017. Miten aurinkopaneeli toimii?. Solarvoima. Luettu 15.4.2020. <https://solarvoima.fi/miten-aurinkopaneeli-toimii/>

Kestävä energiatalous. 2018. Pumppuvoimala on hyvä ja tehokas sähkövarasto. Luettu 23.4.2020. <https://www.energiatalous.fi/?p=2210>

Kiinteistölehti. 2020. Aurinkopaneelien yhteishankinta taloyhtiöihin helpottuu. Luettu 29.4.2020. <https://www.kiinteistolehti.fi/aurinkopaneelien-yhteishankinta-taloyhtiöihin-helpottuu/>

KSS Energia. KSS Aurinkoakkupalvelu. Luettu 25.3.2020. <https://kssenergia.fi/virtuaaliakut>

Kuningaskuluttaja. 2011. Kodinkoneiden pahimmat tulipaloriskit. Luettu 12.5.2020. <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2011/01/14/kodinkoneiden-pahimmat-tulipaloriskit>

Kymen sanomat. 2017. Suomalainen ajaa autollaan keskimäärin 17000 kilometriä vuodessa. Luettu 2.5.2020. <https://kymensanomat.fi/uutiset/lahella/1e1200ab-0cb1-4a0d-9a2c-97d6914e9522>

Lehtonen, P. 2019. Aurinkopaneelien markkinointi ihmetyttää: mikä ihmeen kWp?. Kuluttaja. Luettu 25.3.2020. <https://kuluttaja.fi/artikkelit/aurinkopaneelien-markkinointi-ihmetyttaa-mika-ihmeen-kwp/>

Liikenne fakta. 2020. Hiilidioksidipäästöt. Luettu 2.5.2020. <https://www.liikenne-fakta.fi/ymparisto/henkiloautot/hiilidioksidipaastot>

Lut University. 2019. Uutiset. Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. Luettu 15.4.2020. https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa

Moottori. 2017. Sähköä autoon ja autosta sähköautosta verkkoon. Luettu 2 <https://moottori.fi/liikenne/jutut/sahkoa-autoon-ja-sahkoa-autosta-verkkoon/>

Motiva. 2016. Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä. Luettu 15.4.2020. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestel-man_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma

Motiva. 2019. Akut. Luettu 16.4.2020. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut

Motiva. 2019. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Luettu 11.5.2020. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

Newkirk, M. 2015, What is a hybrid solar system?, Clean energy reviews. Luettu 25.3.2020. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/8/14/what-is-hybrid-solar>

Newkirk, M. 2016. How solar power works – on-grid, off-grid and hybrid systems. Clean Energy Reviews. Luettu 16.2020. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works>

Nibe. Aurinkosähkö. Nibe PV. Luettu 19.4.2020 <https://www.nibe.eu/fi/fi/tuotteet/muut-tuotteet/aurinkosahko/NIBE-PV-39>

Omaa voimaa. 2019. Sähköautolla pienimmät päästöt. Luettu 2.5. 2020. <https://omaavoimaa.fi/artikkelit/sahkoautolla-pienimmat-paastot>

Pennanen, R. 2018. Oma aurinkovoimala pienentää sähkölaskua, mutta vain jos asut omakotitalossa – rivi- ja kerrostaloissa lainsäädäntö haittaa käyttöönottoa. Luettu 5.4.2020. <https://yle.fi/uutiset/3-10374075>

Promaint. 2019. Siirrettävä polttokenno-elektrolyyseri tuottaa vetyä ja vedystä sähköä päästöttömästi. Luettu 27.4.2020. <https://promaintlehti.fi/Turvallisuus-ja-ymparisto/Siirrettava-polttokenno-elektrolyyseri-tuottaa-vetya-ja-vedysta-sahkoa-paastottomasti>

Science daily. 2015. Discovery of highly efficient catalysts eases way to hydrogen economy. Luettu 19.4.2020. <https://www.sciencedaily.com/releases/2015/09/150914152626.htm>

Sitra. 2019. Keskiwertosuomalaisen hiilijalanjälki. Luettu 4.5.2020. <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskiwertosuomalaisen-hiilijalanjalki/>

SMA. Manuals. Käyttöohje Sunny Tripower 3.0/4.0/5.0/6.0. Tuotekuvaus. Luettu 15.3.2020. <https://manuals.sma.de/STPxx-3av-40-BE/fi-FI/3156550539.html>

SMA. Products. Sunny Home Manager 2.0. Luettu 28.3.2020. <https://www.sma.de/en/products/monitoring-control/sunny-home-manager-20.html>

SMA. Products. Sunny Tripower 15000TL-20000TL-25000TL. Luettu 21.4.2020. <https://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-tripower-15000tl-20000tl-25000tl.html>

SMA. Technical information. SMA SMART HOME – Load Control via MUST Time Period. Luettu 28.3.2020. https://files.sma.de/dl/7680/SSH_MUSS-Zeitfenster-TI-en-11.pdf

SMA. Technical information. SMA SMART HOME-Compatibility list for loads. Luettu 28.3.2020. <https://files.sma.de/dl/7680/SMASmartHome-Compatible-TI-en-11.pdf>

Tampereen sähkölaitos. 2018. Valoa ja virtaa. Usein kysyttyä aurinkoenergiasta. Luettu 15.4.2020. <https://www.sahkolaitos.fi/valo-ja-virtaa/voimaa-aurin-gosta/usein-kysyttya-aurinkoenergiasta/>

Tekniikan maailma. 2017. Ikea alkaa myydä aurinkokennoja ja kotiakkuja – Asennettun akun hinta yli 2,5-kertainen Teslaan verrattuna. Luettu 22.3.2020. <https://tekniikanmaailma.fi/ikea-alkaa-myyda-aurinkokennoja-ja-kotiakkuja-asennettun-akun-hinta-yli-25-kertainen-teslan-verrattuna/>

Tekniikka ja talous. 2015. Energiainsinööri tyrmää LUT:n aurinkounelmat: Olkiluoto 3:n korvaaminen vaatisi 90 000 Suvilahden aurinkovoimalaa. <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/energiainsinööri-tyrmaa-lutn-aurinkounelmat-olkiluoto-3n-korvaaminen-vaatisi-90-000-suvilahden-aurinkovoimalaa/ace63981-59b4-38d9-9408-085e4d786e25>

Tesla. 2020. Powerwall. Luettu 22.3.2020. https://www.tesla.com/fi_FI/powerwall

Tivi. 2020. Hurja akku läpimurto lupaa suuria: Viikon akunkesto älypuhelimeen, 2000 kilometriä sähköautolla.... Luettu 28.4.2020. <https://www.tivi.fi/uutiset/hurja-akkulapimurto-lupaa-suuria-viikon-akunkesto-alypuhelimeen-2000-kilometria-sahkoautolla/37104633-c19c-4c24-b5e5-c64ddaf6e98b>

Toivanen, P. 2019. Sähköauton akku on epäekologinen ja siksi nyt on kehitteillä ympäristöystävällisempi vaihtoehto, suola-akku, joka saattaa olla suuri pelastus. Luettu 22.4.2020. <https://yle.fi/uutiset/3-10853858>

Vattenfall. Aurinkovoima. Aurinkosähkö-faktoja. Luettu 15.4.2020. https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/aurinkovoima/?gclid=EAlaIQobChMIqOyojo_q6AIVIA8YCh10oAp-HEAAYBCAAEgLGtFD_BwE

Virta. Sähköauton kulutus – kuinka paljon energiaa sähköauto käyttää vuodessa. Blogi ja uutiset. Luettu 5.5.2020. <https://www.virta.global/fi/blogi/sahkoauton-kulutus-kuinka-paljon-sahkoauto-kuluttaa-vuodessa>

VP Solar. 2019. The Sunny Home Manager 2.0 of SMA. Tulostettu 28.3.2020 <https://www.vpsolar.com/en/the-sunny-home-manager-2-0-of-sma/>

WWF. Ilmastonmuutoksen vaikutukset. Luettu 13.4.2020. <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/>

Zerohomebills. 2020. Product. SMA Sunny Home Manager 2.0. Luettu 27.3.2020. <https://zerohomebills.com/product/sma-sunny-home-manager-2-0/>