



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

AKKUTEKNOLOGIAN HYÖDYNTÄMINEN AURINKOSÄHKÖN PIENTUOTANNOSSA

Sini Kuula

YMPÄRISTÖTEKNIikka

Kandidaatintyö

Kesäkuu 2022

TIIVISTELMÄ

Akkuteknologian hyödyntäminen aurinkosähkön pientuotannossa

Sini Kuula

Oulun yliopisto, ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2022, 34 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Pulkkinen Jari, DI

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli tarkastella kotitalouksien piensähkötuotantopotentiaalia Suomessa sekä akkuteknologioiden hyödyntämismahdollisuuksia piensähkötuotannossa. Työssä läpi käytiin Suomessa yleisimmin käytössä olevat menetelmät pääpiirteittäin, mutta työn loppuosassa keskityttiin aurinkosähkön tuotantoon. Lisäksi tutkittiin yleisimpiä akkuteknologioita ja niiden yleistä toimintaperiaatetta. Pää tavoitteena oli selvittää, millaisia muutoksia yhdistelmäjärjestelmällä voitaisiin saavuttaa kotitalouden tuottamiin hiilidioksidipäästöihin sekä valtakunnallisen sähkötuotannon tarpeeseen. Työssä käytettiin kolmea tutkimuskysymystä. Mikä on kotitaloudelle soveltuvin piensähkötuotantomenetelmä, kuinka se toimii sekä mikä sen potentiaali Suomessa on? Millaisia akkuteknologioita voidaan hyödyntää piensähkötuotannossa? Kuinka akkuja hyödyntämällä voidaan vaikuttaa aurinkosähkön tuotantopotentiaaliin ja millaisia ympäristövaikutuksia tällaisilla yhdistelmäjärjestelmillä on? Kandidaatintyö suoritettiin kirjallisuusselvityksenä ja sen pohjana toimivat jo olemassa olevat tutkimukset ja dokumentit.

Aurinkopaneelit ovat kotitaloudelle soveltuvin piensähkötuotantomenetelmä. Paneelijärjestelmät tuottavat auringon säteilyn avulla tasavirtaa, joka voidaan muuntaa invertterin avulla vaihtovirraksi ja näin kotitalouden hyödynnettäväksi. Suomessa aurinkosähkön vuosittainen tuotantopotentiaali on lähellä Keski-Euroopan tasoa. Piensähköä voidaan varastoida usealla akkutyypillä, mutta yleisin ja turvallisin akkutyyppeistä on litiumioniakku. Markkinoilla on juuri aurinkosähkön varastointiin

tarkoitettuja akkuja. Hyödyntämällä 12 aurinkopaneelin ja akun muodostamaa yhdistelmäjärjestelmää omakotitaloasumisessa, voitaisiin pienentää kotitalouden hiilidioksidipäästöjä keskimäärin 213 kiloa vuosittain. Mikäli puolet Suomen omakotitaloasujista hyödyntäisi tällaista 12 paneelia sisältävää yhdistelmäjärjestelmää, voitaisiin tällä kattaa valtakunnallisesta sähköntarpeesta 4 %. Lisäksi käyttämällä kaiken tuottamansa aurinkosähkön, saavuttaisi kotitalous vuosittain noin 430 euron taloudellisen säästön.

Avainsanat: akut, aurinkopaneelit, energiatehokkuus

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
SISÄLLYSLUETTELO	4
1 Johdanto	5
2 Piensähkön tuotanto Suomessa	6
2.1 Sähkön pientuotannon menetelmät kotitalouksissa	6
2.2 Aurinkosähkötekniikka	8
2.2.1 Aurinkopaneelien toimintaperiaate	8
2.2.2 Paneelityypit	9
2.2.3 Kotitaloudelta vaadittava tekniikka	10
2.3 Aurinkosähkön tuotantopotentiaali Suomessa	11
3 Pienakkuteknologiat	15
3.1 Teknologiat.....	15
3.1.1 Pienakkuteknologiat	15
3.1.2 Aurinkosähkön varastointiin soveltuvat akut	16
3.2 Akkujen toiminta	18
4 Pienakkuteknologiat ja piensähkön tuotanto	20
4.1 Akkujen hyödyntäminen	21
4.1.1 Vaikutus valtakunnalliseen sähköntuotantoon	21
4.2 Piensähköntuotannon ympäristövaikutukset	22
4.2.1 Vaikutukset CO ₂ -päästöihin	23
4.2.2 Akkujen ja aurinkopaneelien kierrättäminen	23
4.3 Taloudelliset kannustimet	24
5 Johtopäätökset ja yhteenveto	25
5.1 Pohdinta.....	26
Lähdeluettelo	28

1 JOHDANTO

Euroopan Unioni (EU) on halunnut toimia johtavana esimerkkinä muille maanosille asettamalla tavoitteeksi vähentää nettopäästöjään vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi pidemmällä aikavälillä EU:n tavoitteena on saavuttaa ilmastoneutraali yhteiskunta ja samalla hiilineutraali energiajärjestelmä viimeistään vuonna 2050. Nämä tavoitteet ovat kirjattuna eurooppalaiseen ilmastolakiin ja sen kautta velvoittavat jäsenmaita konkreettisiin toimiin. Tavoitteisiin pääsemisessä uusiutuvien energianlähteiden monipuolinen hyödyntäminen on avainasemassa. (Euroopan komissio, 2021)

Tehokkaalla päästökaupalla ja hiilen hinnoittelulla pyritään vaikuttamaan myös rakennusteollisuuteen ja sitä kautta asumisen energiatehokkuuteen. Kiristyvät päästövaatimukset ja ilmastotavoitteet aiheuttavat pakotteita muokata sekä yhteiskunnan infrastruktuuria että energiajärjestelmiä uudenaikaisiksi. Hyödyntämällä älyratkaisuja sekä lisäämällä rakennusten valmiutta toimia myöskin energian tuottajana voidaan asumisessa saavuttaa lähes hiilineutraalius. (Euroopan komissio, 2021)

Tässä työssä perehdytään aurinkokennojen ja akkujärjestelmien liittämiseen kotitalouksien sähköverkkoon ja niiden vaikutuksiin. Kandidaatintyön ensimmäisenä tutkimuskysymyksenä on, että mikä on kotitaloudelle soveltuvin piensähköntuotantomenetelmä, kuinka se toimii sekä mikä sen potentiaali Suomessa on? Toisena tutkimuskysymyksenä on, millaisia akkuteknologioita voidaan hyödyntää piensähköntuotannossa. Kolmas tutkimuskysymys käsittelee, kuinka akkuja hyödyntämällä voidaan vaikuttaa aurinkosähkön tuotantopotentiaaliin ja millaisia ympäristövaikutuksia tällaisilla yhdistelmäjärjestelmillä on. Työ suoritetaan kirjallisuusselvityksenä ja laskutoimituksina.

2 PIENSÄHKÖN TUOTANTO SUOMESSA

Sähkön pientuotannolla on useita määritelmiä ja usein nämä määritelmät perustuvat laitoksen nimellis- tai maksimitehoon. Sähkön pientuotantolaitokset ovat teholtaan alle 2 MW. Tästä pienempitehoisia laitoksia kutsutaan mikrotuotantolaitteistoiksi ja nämä ovat teholtaan alle 5 kW. Mikrotuotantolaitteisto on usein kytkettyä kulutuskohteeseen ja laitoksen tarkoitus on tuottaa energiaa ensisijaisesti kulutuskohteen tarpeisiin, mutta se on myös mahdollista kytkeä sähkönjakeluverkkoon. (Motiva, 2020a)

2.1 Sähkön pientuotannon menetelmät kotitalouksissa

Kotitalouksissa on mahdollista hyödyntää aurinkopaneelijärjestelmiä, pientuulivoimaloita, pienimuotoisia sähkön ja lämmöntuotannon yhteistuotantolaitoksia (pien-CHP, Combined Heat and Power) sekä aggregaatteja. Jälkimmäisenä mainitut menetelmät ovat useimmin käytössä maatalouden tai vapaa-ajan asuntojen tarpeisiin. Maatalous hyödyntää pientuotantomenetelmiä usein verkkosähkön rinnalla suuriin energiantarpeisiin erityisesti satoaikaan. Vapaa-ajan asunnoilla nämä menetelmät voivat toimia päätoimisena energianlähteenä, mikäli kyseessä ei ole talviasuttu, sähkölämmitystä vaativa asunto. (Luonnonvarakeskus, 2022) Tässä kappaleessa perehdytään yleisesti sähkön pientuotantomenetelmiin, sillä loppu työ keskittyy aurinkosähkön tuotantoon.

Pientuulivoimalan käsite määritellään tämän potkurin pyyhkäisy-pinta-alan sekä nimellistehon mukaan. Alle 200 m² pyyhkäisevät potkurit määritellään pientuulivoimaloiksi. Yleisesti tällaiset laitokset tuottavat nimellistehonaan alle 50 kW. (Motiva, 2021a) Kaikkien tuulivoimaloiden toimintaperiaate on lähes sama. Tuulen liike-energia muutetaan lapojen avulla akselin pyörimisenergiaksi ja generaattorin kautta sähköksi. Voimalan tuotantomäärä on suorassa yhteydessä lapojen pyyhkäisy-pinta-alan, eli mitä suurempi pinta-ala sitä suurempi tuotanto. Tuulivoimalan hyötysuhde voidaan optimoida minimoimalla roottorin pinta-ala suhteessa pyyhkäisy-pinta-alan. (Tuulivoimary., 2019) Johtuen tuotantomäärän verrannollisuudesta pyyhkäisy-pinta-alan, pientuulivoimalat eivät ole vielä kovin yleisiä tai kannattavia yksityiskäytössä.

Pien-CHP-laitteella tarkoitetaan alle 1 MW:n laitosta. CHP-laitteistot tuottavat kuitenkin pääosassa lämpöä ja minimaalisen määrän sähköä. Johtuen suhteellisen pienestä sähköntuotannon hyötysuhteestaan, pien-CHP-laitteet eivät ole vielä suuressa nosteessa sähköenergian pientuotannossa. (Gaia Consulting Oy, 2014)

Pien-CHP hyödyntää pääosin kaasumaista polttoainetta kuten maa- tai biokaasua, mutta myös puupohjaiset polttoaineet ovat mahdollisia. Tulevaisuudessa myös vedyn hyödyntäminen CHP-laitosten polttoaineena voi olla mahdollista (Rand & Dell 2007, s.1-4). Kuten taulukko 1 osoittaa, polttoainevaatimukset vaihtelevat CHP-tyypin mukaan. Kaikilla laitostyypeillä kuitenkin päästään korkeisiin yhteistuotannon hyötysuhteisiin, jonka vuoksi CHP on hyvä menetelmä suurempina laitospokoina. (Gaia Consulting Oy, 2014)

Taulukko 1. Pien-CHP-teknologiat ja niiden keskeisimmät ominaisuudet (Gaia Consulting Oy, 2014)

	Kehitysaste	Kokoluokka [kWe]	Sähköntuotannon hyötysuhde [%]	Yhteistuotannon hyötysuhde [%]	Polttoaine
Kaasumoottorit	Laajasti käytössä	10 – 20 000	25 – 40	n. 80	Kaasumaiset polttoaineet
Pien-höyryturbiinit/-koneet	Laajasti käytössä	100 – 500 000	15 - 35	75 - 85	Ei rajoitteita
Kaasuturbiinit	Esikaupallinen	1 – 1 000	n. 15	n. 85	Kaasumaiset polttoaineet
Stirling-moottorit	Kehitysvaihe	0,5 - 75	15 – 30	75 - 90	Ei rajoitteita
Polttokennot	Kehitysvaihe esikaupallinen	0,5 – 2 000	30 – 50	75 - 95	Kaasumaiset polttoaineet
ORC-generaattorit	Esikaupallinen vaihe	50 – 10 000	10 - 20		Ei rajoitteita

Aggregaatti on bensiini- tai dieselkäyttöinen sähkövoimakone, joka koostuu polttomoottorista ja generaattorista. Polttomoottori muuttaa syötetyn polttoaineen kaasuksi ja kaasu pyörittää generaattorin turbiinia tuottaen sähköä. (The Economic Times, 2019) Kotitaloudet ja vapaa-ajan asunnot hyödyntävät usein 1 - 10kW aggregaattijärjestelmiä, mutta vahva kytkös fossiilisten polttoaineiden hyödyntämiseen on vähentänyt systeemien kysyntää. (Yamaha Motor Co, 2021; Gaia Consulting Oy, 2014)

2.2 Aurinkosähkötekniikka

Aurinko tuottaa vuosittain valtavan määrän säteilyenergiaa, josta tällä hetkellä hyödynnetään vain murto-osa. Hyödynnetty säteilyenergia voidaan jakaa tekniikasta riippuen sähköä ja lämpöä tuottaviksi. (Energiateollisuus ry, 2021) Tässä työssä keskitytään aurinkosähkön tuotantoon.

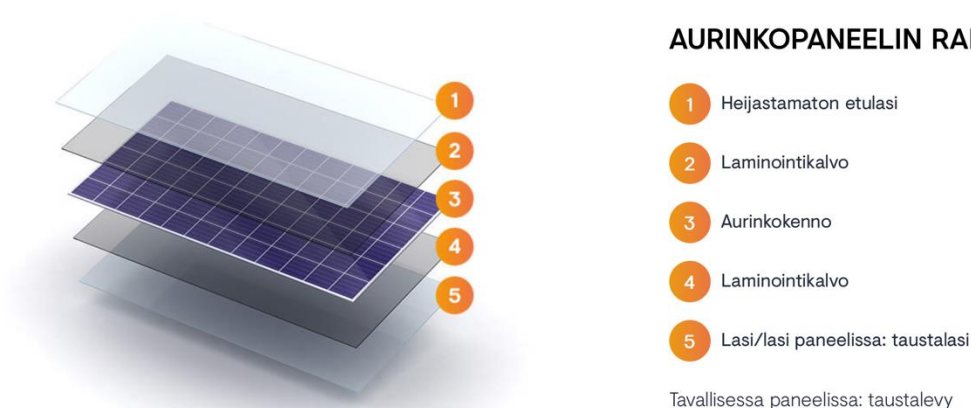
Aurinkosähköllä tarkoitetaan auringon tuottaman säteilyenergian muuttamista sähköenergiaksi. (Vattenfall, 2020) Muuntamisessa hyödynnetään aurinkopaneeleja, joiden toiminta perustuu valosähköilmiöön. Auringon säteily koostuu fotoneista, jotka osuessaan aurinkopaneelin pintaan irrottavat pintamateriaalista elektroneita. Näiden irronneiden elektronien muodostama elektronivirta aiheuttaa vastakkaiseen suuntaan kulkevan sähkövirran. (Motiva, 2021b)

2.2.1 Aurinkopaneelien toimintaperiaate

Aurinkopaneelit koostuvat kennoista, jotka yleisimmin sarjaan kytkettyinä tuottavat toivotun jännitteen tason. Paneelien tuottama sähkövirta on riippuvainen auringon säteilyn voimakkuudesta. Mitä pilvisempi sää, sitä vähemmän auringon tuottamaa säteilyä pääsee osumaan paneeleihin ja sitä pienempi on paneeleissa kulkeva sähkövirta. (Energiateollisuus ry., 2021)

Aurinkopaneelit rakentuvat pääosin menetelmällä, jota kuva 1 havainnollistaa hyvin. Päällimmäisenä paneelissa on heijastamaton etulasi, jonka avulla voidaan estää auringon

säteilyn takaisin heijastuminen ja näin maksimoitua säteilyn kerääminen paneeliin. Tämän alla on laminointikalvo, joka peittää itse aurinkokennon. (Aurinkocenter Oy, 2021) Kennoissa kulkee puolijohdemateriaalia, joka johtaa sähköä paremmin kuin eriste, mutta huonommin kuin metallit. Kennossa puolijohdemateriaaleja on p- ja n-tyyppisiä, jotka tarkoittavat positiivista ja negatiivista varausta. Eli, kun fotonit osuessaan puolijohteeseen irrottaa n-tyypin puolijohteesta elektroneja, siirtyvät ylimääräiset elektronit p-tyypin puolijohteeseen ulkoisen sähköverkon kautta. (Motiva, 2021b)



Kuva 1. Aurinkopaneelin rakenne. (Aurinkocenter Oy, 2021)

Koska aurinkopaneelit tuottavat tasasähköä, tarvitaan lisäksi erillinen invertteri muuttamaan sähkövirta vaihtosähköksi. Laite myös kytkee samalla paneelit kiinteistön sähköverkkoon. (Aurinkocenter Oy, 2021)

2.2.2 Paneelityypit

Yleisin käytetty valmistusmateriaali aurinkopaneeleissa on kiteinen, monikiteinen tai amorfinen pii. Valtaosa markkinoilla olevista kennoista, eli noin 90 %, on piikidekennoja, jotka voivat sisältää yksi- tai monikiteistä piitä. Tämän paneelityypin hyötysuhde on noin 15–17 %, mikä on merkittävästi parempi kuin markkinoilla olevien korvaavien teknologioiden hyötysuhde. (Motiva, 2021b)

Markkinoilla on myös ohutkalvokennoja, joiden tekniikka eroaa piikidekennoista. Ohutkalvokennot koostuvat nimensä mukaisesti ohuista valo läpäisevistä kalvoista,

jotka on pinottu matalakustanteisen materiaalin kuten lasin tai ruostumattoman teräksen päälle. Tämän paneelityypin hyötysuhde on noin 9–11 %. (EPIA, 2009)

Paneelityyppien hyötysuhteet voivat vaihdella suurestikin riippuen valmistajasta. Yllä mainittujen paneelityyppien lisäksi markkinoilla on muitakin kennoteknologioita. Esimerkiksi keskittävät aurinkosähköjärjestelmät ja joustavat kalvomaiset paneelit luovat uusia mahdollisuuksia kerätä aurinkoenergiaa. (EPIA, 2009)

2.2.3 Kotitaloudelta vaadittava tekniikka

Yleensä aurinkopaneelit asennetaan rakennuksen katolle, joten aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa on hyvä huomioida sekä talon ikä että katon kunto. Suuremmat kattoremontit olisi hyvä olla suoritettuna vastikään, jotta paneeleja ei tarvitsisi turhaan irrottaa lähitulevaisuudessa, sillä aurinkopaneelien käyttöikä on noin 25 vuotta. (Lumo Energia Oy, 2021)

Aurinkopaneelien kytkeminen rakennuksen sähköverkkoon vaatii erillisen invertterin, joka muuttaa paneelien tuottaman tasasähkön vaihtosähköksi. Invertterin hankinnassa on perusteltua miettiä, kannattako tämä ylimitoittaa, mikäli on lähivuosina aikomusta laajentaa paneeleita esimerkiksi talon toiselle kattolapellelle. (Lumme Energia, 2021)

Inverttereitä on olemassa 1- ja 3-vaiheisia. Yleensä 5 - 16 paneelin järjestelmillä käytetään 3-vaiheista invertteriä. Sähköteknillisistä syistä johtuen, Suomessa on järkevämpää hyödyntää 3-vaiheista invertteriä. 1-vaiheisen invertterin käyttöä enää harvoin suositellaan muille kuin alle 3 paneelin järjestelmille. Tällöin tuotettu sähkö voidaan hyödyntää suoraa verkkovirtana esimerkiksi kesämökillä kahvinkeitinille tai muulle pienkoneelle. (Aurinkovirta, 2022)

Jotta ylimääräsähkö voidaan syöttää sähkönjakeluverkkoon, on invertterin ja sähköpääkeskuksen välissä oltava lukittava turvakytkin. Verkkoon syötetty virta kulkee kotitalouden sähkömittarin kautta, joka mittaa jakeluverkosta otettua ja syötettyä virtamäärää. Kotitalouden sähkömittarin on oltava riittävän uusi, jotta tekniikka mahdollistaa virran liikkumisen kahteen suuntaan. (Motiva, 2021c) Kuva 2

havainnollistaa, millaisen järjestelmän lävitse aurinkopaneelien tuottama sähkö kulkee kulutettavaksi ja mahdollisesti sähköverkkoon.



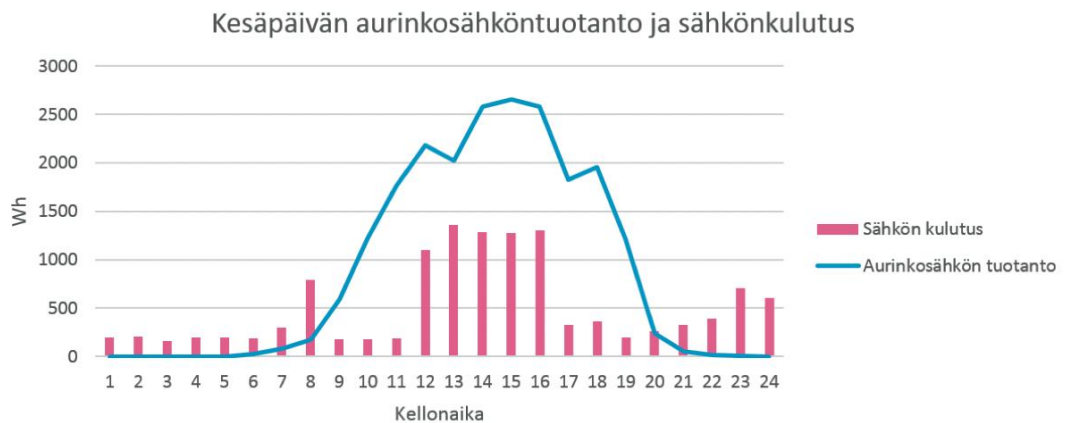
Kuva 2. Aurinkosähköjärjestelmän kokonaisuus sähköjakeluverkkoon kytkettynä (Motiva, 2021c.)

2.3 Aurinkosähkön tuotantopotentiaali Suomessa

Suomessa aurinkosähköä voidaan tuottaa vuositasolla lähes saman verran kuin Keski-Euroopassa. Kesäisin Suomessa aurinko paistaa suurimman osan vuorokaudesta. Lisäksi aurinkopaneelien tuottavuuteen vaikuttaa ilman ja paneelin lämpötila, joten Suomessa viileämmässä ilmastossa paneelien tuottavuus on parempi. (Fortum, 2020) Vuonna 2020 Suomessa Energiavirastolle ilmoitetut sähköverkkoon liitettyjen aurinkovoimaloiden tuotantoteho oli yhteensä lähes 300 MW. Voimaloiden määrä on kuitenkin jatkuvassa kasvussa. (Energiavirasto ry., 2021)

Aurinkopaneelien tehon yksikkönä käytetään wattipiikkejä eli Wp. Omakotitaloihin asennettavan aurinkopaneelin teho vaihtelee 270–325 Wp:n välillä, mutta yleensä paneeli on teholtaan 275 Wp. Mitoitusta tehdessä ratkaiseva tekijä on kodin sähkön kulutus. Mitoitus lasketaan kesäajan pohjakulutuksen mukaan eli sen kulutuskuorman mukaan, joka kuuluu vuorokauden jokaisena tuntina. Kuvassa 3 on mallinnettu erään esimerkkikohteen sähkön kulutusta kesäpäivänä ja verrattu tätä aurinkosähkön tuotantoon samaan aikaan. Kuten kuvasta 3 voidaan huomata, aurinkosähköä voidaan tuottaa huomattavasti enemmän kuin mitä hetkellisesti kulutetaan. Tässä on kyse kuitenkin järjestelmän ylimitoittamisesta. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että mitoitukselta riippuen

järjestelmä pystyy tuottamaan 15 – 30 % kotitalouden vuosittaisesta sähkönkulutuksesta. Järjestelmää mitoitettaessa voidaan kuitenkin huomioida lähitulevaisuudessa tapahtuvat mahdolliset laajennukset, sähkön kulutuksen lisääntyminen tai halu myydä ylimääräinen aurinkoenergia valtakunnalliseen sähköverkkoon. Mitoitusta rajoittaa myös asennuspinta-ala esimerkiksi kattolapteen pinta-ala. (Helen, 2020)

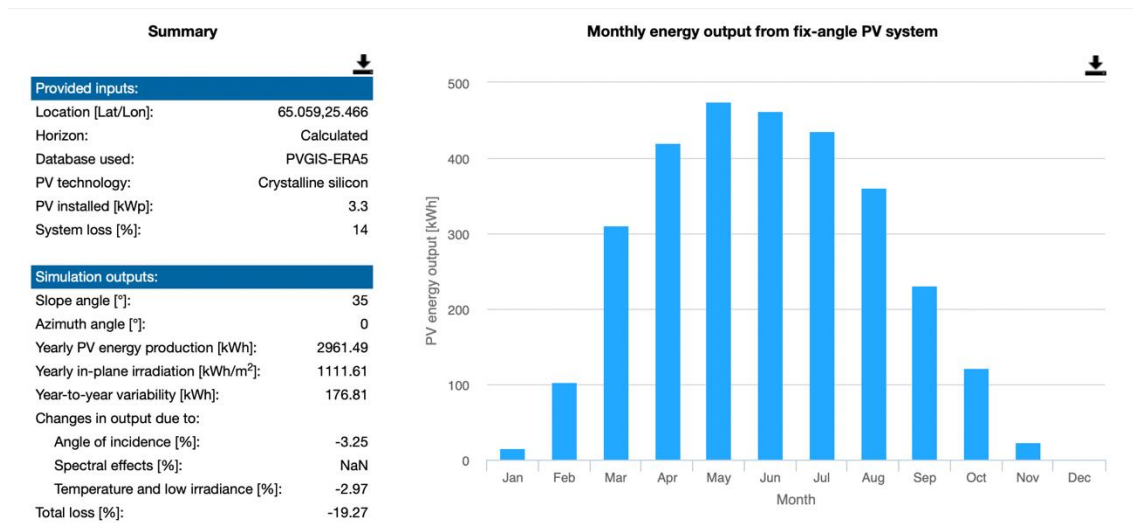


Kuva 3. Kesäpäivän aurinkosähköntuotanto ja sähkönkulutus. (Helen, 2020)

Neljän henkilön sähkölämmitteisessä omakotitalossa, jonka asuinpinta-ala on 120 m², sähköä kuluu keskimäärin 15 000 kWh vuodessa (Vattenfall, 2021). Lasketaan seuraavaksi, kuinka paljon esimerkkikohteeseen maksaisi aurinkopaneelijärjestelmä ja minkälaiset taloudelliset hyödyt tästä olisi mahdollista saavuttaa.

Esimerkkitalon kattolapteen pinta-alalle on usein mahdollista sijoittaa 12 aurinkopaneelia. Tämän paneelimäärän hinta vaihtelee toimittajan mukaan 5000 euron molemmin puolin riippuen otetaanko paneelit asennettuina. (Vattenfall, 2020) Valitaan alkuinvestoinnin määräksi 5000 €. Paneeleita asentaessa on hyvä muistaa, että pienetkin varjostumat esimerkiksi puiden latvoista vaikuttavat tuottoon heikentävästi (Helen, 2020).

Hyödynnetään Euroopan komission ylläpitämää PVGIS-laskuria määrittämään paneelijärjestelmän kuukausittainen tuotanto 12 paneelilla Oulun yliopiston kohdalla. Kuten kuvasta 4 nähdään, järjestelmän tuottavimmat piikit ovat keskittyneet kesäkuukausille, mutta tuotantoa saadaan silti hyvin ympärivuoden. (PVGIS, 2022)



Kuva 4. Aurinkosähköjärjestelmän kuukausittainen tuotanto Oulussa. (PVGIS, 2022)

Kuvan 4 tiedoissa yhteenlaskettu vuosituotanto on 2961 kWh. On kuitenkin huomioitava, että Oulun korkeudelle sijoitetut paneelit ovat suurella todennäköisyydellä lumen peittäminä marraskuusta maaliskuuhun, mikä pienentää vuosituotantoa noin 400 kWh. (PVGIS, 2022)

Tämä laskettu vuosituotanto kattaa $\frac{2\,961\text{ kWh}}{15\,000\text{ kWh}} * 100\% = 19,7\%$ kotitalouden vuosittaisesta kulutuksesta.

Seuraavaksi lasketaan paneeleista syntyvä vuosittainen säästö sekä, kuinka kauan kestää, että järjestelmä maksaisi itsensä takaisin. Sähkön myyntihinta on jatkuvassa nousussa ja vuoden 2021 lopussa sähkön keskimääräinen hinta oli 8,7 snt/kWh sisältäen arvonlisäveron. Tämä keskihinta on koko maassa tarjolla olevien tarjouksien painotettu keskiarvo toistaiseksi voimassa olevalla sopimuksella. Keskihinnan asuntotyyppinä on pientalo osittain varaavalla sähkölämmityksellä. Koska sähköverkosta otetun energian hintaan lisätään myös siirto- ja myyntihinta sekä 24 %:n arvonlisävero, otetaan tämä huomioon laskuissa. Vuoden 2021 lopussa keskimääräinen siirtohintaa Oulun alueella oli noin 5,92 snt/kWh sisältäen arvonlisäveron. Yhteensä siis sähkön hinta olisi 14,59

snt/kWh sisältäen myyntihinnan, sähkön siirtohinnan ja sähköveron. (Energiavirasto, 2022)

Mikäli vuosittain voitaisiin hyödyntää kaikki paneelien tuottama energia hyöty olisi seuraavanlainen.

$$2\,961 \frac{kWh}{vuosi} * 0,1459 \frac{€}{kWh} = 432 \frac{€}{vuosi}$$

Seuraavaksi lasketaan kuinka kauan järjestelmällä kestäisi maksaa itsensä takaisin.

$$\frac{5000 €}{432 €} = 11,5 \text{ vuotta}$$

Näin ollen 12 vuoden päästä alkuinvestoinnista, paneelien tuotto on maksanut itsensä takaisin. Tämä on tehokas takaisinmaksuaika verrattuna paneelijärjestelmän elinikään, jonka odotetaan olevan noin 25 vuotta. Paneelijärjestelmiä voidaan tarvittaessa myös ylimitoitaa, mikä laskee takaisinmaksuaikaa entisestään.

Koska kesällä sähkön kulutus on pienempää kuin talvella, on epätodennäköistä pystyä suoraan hyödyntämään kaikki tuottamansa sähkö. Sähkövirran taseus tehdään tuntitasolla, minkä vuoksi tässä yksinkertaisessa esimerkissä päädytään ylituotantoon kesäaikaan. Tämän takia muutamat sähköyhtiöt ovat ottaneet käyttöön virtuaaliakut. Esimerkiksi sähkösopimus Helen Oyn kanssa mahdollistaa ylituotannon syöttämisen verkkoon. Verkkoon syötetyn aurinkosähkön määrä kilowatteina on suoraan verrannollinen asiakkaalle annettavaan alennukseen sähkölaskusta. Helenin sopimuksessa luvataan 13 snt/kWh hyvitys. (Helen, 2021) Yllä olevat laskut ovat käytännössä laskettu virtuaaliakkuja hyödyntäen. Normaalissa tilanteessa tuottaja saa vain markkinahinnan sähköverkkoon syöttämästään sähköstä. Tämän vuoksi kuluttajalle on kannattavampaa kuluttaa kaikki tuottamansa sähkö itse, koska tämä itsetuotettu sähkö on arvokkaampaa.

3 PIENAKKUTEKNOLOGIAT

Auringon tuottama säteilyenergia on mahdollista varastoida useilla tavoilla. Varastoinnissa energia säilytetään useimmiten lämpöenergiana energiatiheässä tai halvassa aineessa kuten vedessä, kivessä tai maassa. Kotitalouksien yleisin energianvarastointiratkaisu ovat lämminvesivaraajat. (Motiva, 2020b) Akkuteknologioita hyödyntämällä aurinkoenergia on mahdollista varastoida sähköenergiana.

3.1 Teknologiat

3.1.1 Pienakkuteknologiat

Maailman markkinoilla on useita erilaisia akkutyyppisiä. Yleisimpiä ovat lyijyhappo- ja litiumioniakku sekä nikkeli-metallihydridi- ja nikkeli-kadmiumakku. Menneinä vuosina lyijyhappoakut ovat olleet hyvin suosittuja monenlaisessa käyttötarkoituksessa ja niitä hyödynnetään edelleen esimerkiksi autojen akkuina. Lyijyakut kuitenkin sisältävät laimennettua rikkihappoa, mikä on merkittävä turvallisuusriski akkua käsiteltäessä. (Varta, 2022) Lisäksi lyijyhappoakkujen käyttöikä on huomattavasti lyhyempi kuin muiden markkinoilla olevien akkujen. (Greencycle, 2021)

Litium-ioniakkujen elektrodimateriaalit vaihtelevat akusta riippuen. Markkinoilla on esimerkiksi litium-rauta fosfaatti-, litium-titanaatti- ja litium-polymeeriakkuja. Nämä akut eivät sisällä raskasmetalleja ja ovat siksi ympäristöystävällisin vaihtoehto yleisimmistä akkutyypeistä. Litium-ioniakun käyttöikä, tehoteho, ladattavuus ja paino ovat parempia suhteutettuna muihin. (Motiva, 2020c)

Myös nikkeli-kadmiumakku (NiCd) sisältää ympäristölle ja terveydelle haitallisia aineita. Elektrodit ovat nikkelihydroksidia ja kadmiumia. Akun sisältämä nestemäinen elektrolyyttiliuos on hyvin emäksistä kaliumhydroksidia. Tämän akkutyypin käyttöikä on pitkä ja virranantokyky hyvä, mikäli käyttötapa on oikeanlainen. Väärin käytettynä, akussa tapahtuu muisti-ilmio, joka lyhentää sen käyttöikää. (Motiva, 2020c)

Nikkeli-metallihydridiakun (NiMH) elektrodit on valmistettu nikkelihydroksidista ja metallihydridistä. Elektrolyytti on kaliumhydroksidia. Akun kestoikä on paljon lyhyempi kuin NiCd-akulla ja täyteen latauksien määrän kesto puolet pienempi. (Motiva, 2020c)

3.1.2 Aurinkosähkön varastointiin soveltuvat akut

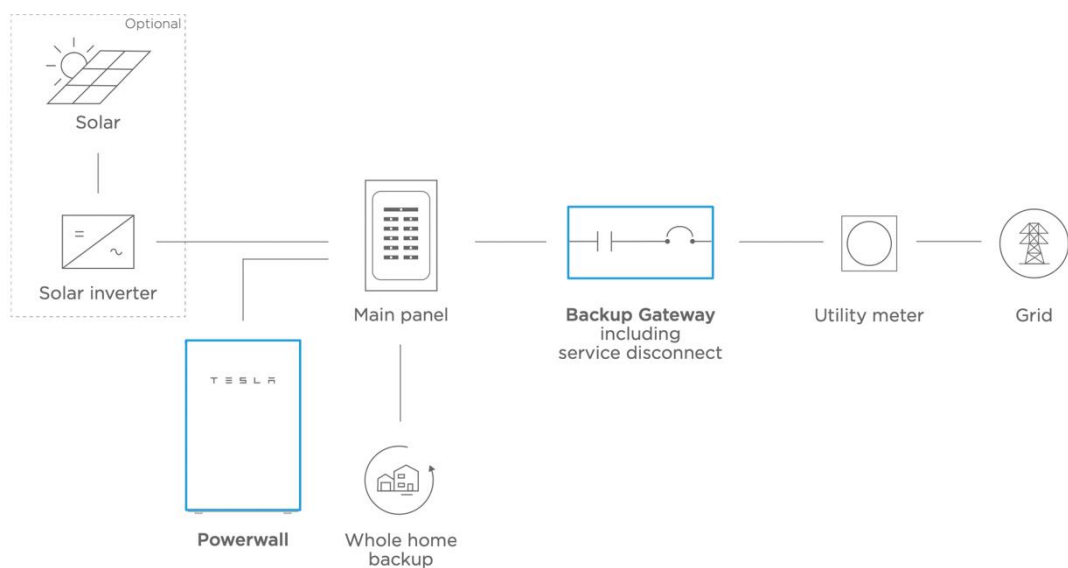
Aurinkosähkön varastointiin on mahdollista käyttää perinteisen mallisia akkuja kytkemällä näitä rinnan. Kuitenkin markkinoilla on pientuotetun energian varastointiin tarkoitettuja suurempia seinäakkuja. Nämä seinäakut mahdollistavat ylimääräsähkön hyödyntämisen silloin, kun sille on tarvetta, esimerkiksi yöaikana tai pilvisellä säällä. (Sonnen, 2022) Kuluttajien yleisin käyttötarkoitus on varavoiman lähteenä. Akkujen varastoima energia voidaan hyödyntää esimerkiksi sähkökatkojen tai muiden häiriötilanteiden aikana. Harva kotitalous vaatii keskeytymättömän sähköntuotannon, mutta mikäli häiriötilanteen kesto venyy pitkäksi, voi varavoima helpottaa esimerkiksi ruoanlaittoa. (Enertec Oy, 2018) Esimerkkejä Suomeen toimitettavista akkuteknologioista ovat SonnenBatterie (Sonnen, 2022) ja Teslan Powerwall (Tesla Inc., 2022)

SonnenBatterie on saksalaislähtöinen kotitalouksia varten kehitetty jättiakku, joka katodimateriaalina toimii litiumrautaofosfaatti. Akku toimii älykkäästi seuraamalla sähkön tuotantoa sekä kulutusta ja tämän tiedon avulla lataa akkua silloin, kun tuotetaan ylimääräistä energiaa. Akun koosta riippuen tämän nimellisteho vaihtelee 3,4 ja 4,6 kW:n välillä. Laitteiston koko on pienimmillään 5 kWh ja laajennettavissa aina 50 kWh asti. Tämä akku suositellaan sijoitettavaksi sisätiloihin, koska laite on suunniteltu toimimaan -5–45 °C lämpötilassa. SonnenBatterien odotettu käyttöikä on 20 vuotta ja valmistaja antaa 10 vuoden takuun. (Sonnen, 2022)

Myös Tesla Inc. valmistaa vastaavanlaisia sähkövarastoja tuotenimellä Tesla Powerwall, joka myöskin on litium-ioniakku. Powerwall:n käyttökapasiteetti on 13,5 kWh ja nimellisteho on 5 kW. Akku on mahdollista sijoittaa myös ulkotiloihin, koska tämä on suunniteltu toimivan -20–30 °C lämpötilassa. Kuva 5 havainnollistaa akkujärjestelmän kytkentää kotitalouden sähköverkkoon. Kodin aurinkopaneelien tuottama tasasähkövirta muokataan invertterin avulla vaihtosähköksi virraksi ja syötetään sähköpääkeskukseen, josta virta voidaan ohjata joko akulle tai suoraan kotitalouden käyttöön. Akkua voidaan

ladata myös ottamalla virtaa valtakunnallisesta sähköverkosta. Tesla Powerwall hyödyntää uutta tekniikkaa käyttämällä akussaan sisäänrakennettua invertteriä. Tämä tarkoittaa, että sähkö syötetään tasavirtana akkuun ja akku muuntaa purkautuvan sähkövirran vaihtovirraksi. Kuvassa 5 havainnollistetaan Powerwallin liittämistä kodin sähköverkkoon ja kuinka akkua voidaan käyttää suoraan vaihtovirtajärjestelmässä. (Tesla Inc., 2022)

WHOLE HOME BACKUP



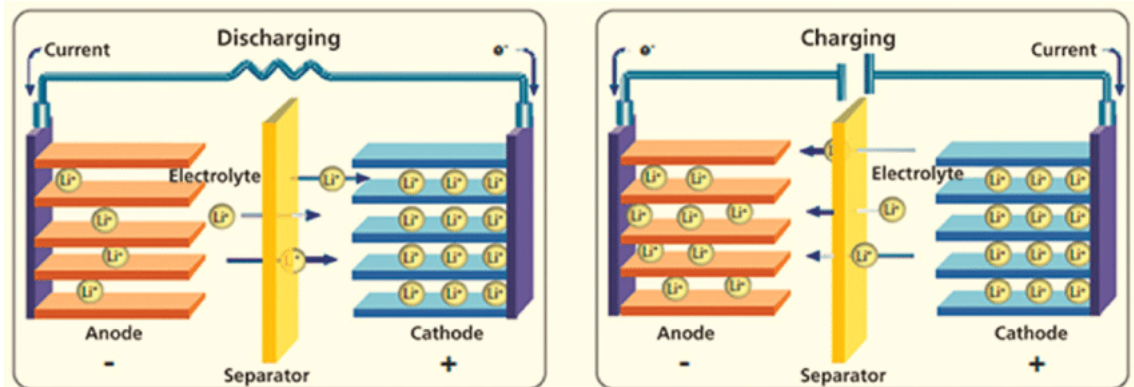
Kuva 5. Tesla Powerwall yhdistettynä kulutuskohteen sähköverkkoon. (Tesla Inc., 2022)

Litiumioniakkujen suosio perustuu niiden kestävyteen ja tehokkuuteen. Litiumrautafosfaatti-akuissa ei ole myöskään hyödynnetty haitallisia raskasmetalleja, joten akun ympäristökuormitus on näiltä osin pienempi kuin esimerkiksi vanhanaikaisen lyijyakun. Akuston hinta on myös kohtuullisen alhainen verrattuna muihin vastaaviin teknologioihin. Sekä sonnenBatterien että Tesla Powerwall:n hinta on noin 9000 € asennuksineen. Ilman asennusta akkujen hinta pyörii 7000 € molemmin puolin. (Tekniikan Maailma, 2017; TM Rakennusmaailma, 2017)

3.2 Akkujen toiminta

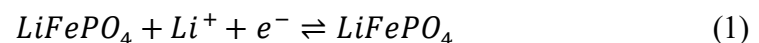
Kaikki akut toimivat sähkökemiallisen reaktion seurauksena. Litiumioniakun toiminta perustuu hapetus-pelkistysreaktioon. Akku koostuu katodista eli positiivisesta elektrodista ja anodista eli negatiivisesta elektrodista sekä elektrolyytistä, joka eristää elektrodit toisistaan. (Linden & Reddy 2011, s. 1.3 – 1.6)

Tarkasteltaessa SonnenBatterie:ta sekä Powerwall:ia, jotka ovat litium-ioniakkuja, näiden katodi koostuu litium-rautafosfaatista ja anodi grafiitista. Akun purkautuessa anodi luovuttaa litiumioneja katodille elektrolyytin lävitse aiheuttaen sähkövirran. Tällöin sähkövirta kulkee vastakkaiseen suuntaan kuin elektronivirta. Latautuessaan elektroni- ja sähkövirran suunnat ovat päinvastaiseen suuntaan kuin purkautuessaan eli katodi luovuttaa litiumionit takaisin anodille elektrolyytin lävitse. Kuva 6 osoittaa litium-ioniakun toimintaperiaatteen yksinkertaistettuna. (Chawla et al. 2019)

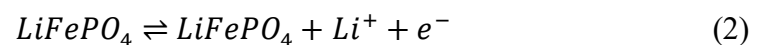


Kuva 6. Litium-ioniakun toiminta (Chawla et al. 2019)

Katodilla tapahtuva pelkistysreaktio latautuessa:



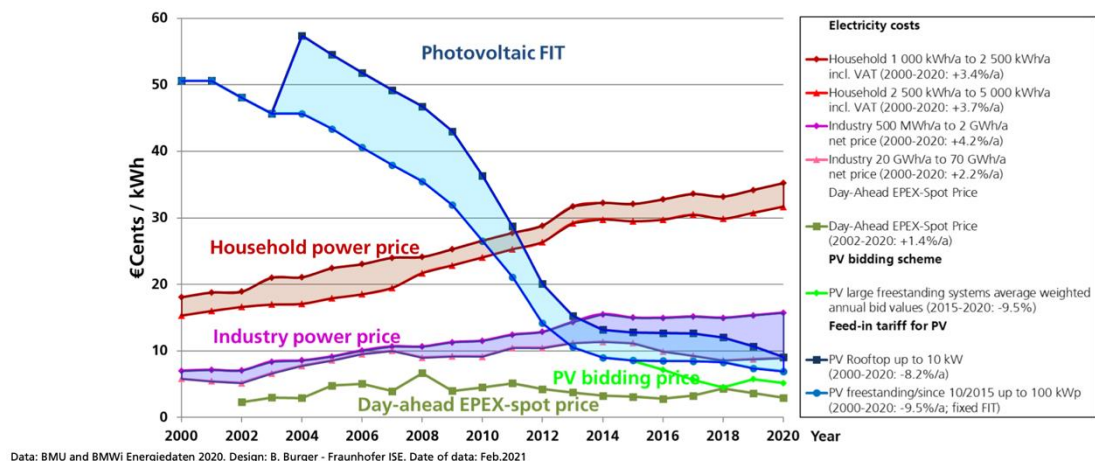
Anodilla tapahtuva hapetusreaktio latautuessa:



Suurille seinäakuille ennustettu käyttöikä on noin 20 vuotta. Tämä arvio pitää aika hyvin paikkaansa ja tuotteille usein taataan 10 vuoden takuu. Kuitenkin akun säilytysolosuhteet ja käyttötapa voivat osittain vaikuttaa kestävyYTEEN. Esimerkiksi kovissa pakkasissa akun lataaminen vahingoittaa akkua ja lyhentää tämän käyttöikää, jonka takia on syytä harkita seinäakun sijoituspaikkaa. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes), 2018)

4 PIENAKKUTEKNOLOGIAT JA PIENSÄHKÖN TUOTANTO

Aurinkosähköjärjestelmät ovat hyvin nopeasti kasvava markkina-ala. Vuosien 2010 ja 2020 välissä aurinkosähköjärjestelmien määrä kasvoi maailmanlaajuisesti 34 %. Vuonna 2020 Euroopan osuus koko maailman aurinkosähköjärjestelmistä oli 22 %. Merkittäviä syitä aurinkosähkön suosion kasvuun ovat energian hinnan jatkuva nousu sekä aurinkosähköjärjestelmien hinnan alenema. Kuvasta 7 huomataan kuinka aurinkosähkön hinta ja kotitaloussähkön hinta kilowattituntia kohden kehittyvät vastakkaisesti suuntiin. Aurinkosähköjärjestelmillä tuotetun sähkön hinta on Saksassa painunut teollisuussähkön hinnan tasolle ja osittain sen allekin. Vaikka kuva 7 mallintaa Saksan tilannetta, voidaan sitä käyttää suuntaa antavana mallina kilowattitunnin hinnan kehityksessä koko Euroopassa. (Fraunhofer ISE, 2022)



Kuva 7. Energian hintojen kehitys Saksassa vuosina 2000–2020 (Fraunhofer ISE, 2022)

Piensähköntuotannon kannattavuutta voidaan arvioida useilla mittareilla, mutta yleisin niistä on takaisinmaksuaika. Tätä voidaan tarkastella taloudellisesta näkökulmasta sekä energiamäärällisesti. (Fraunhofer ISE, 2022) Puhuttaessa energian takaisinmaksuajasta tarkoitetaan sitä, kuinka kauan voimalan on oltava toiminnassa, jotta järjestelmän valmistuksen sekä sen ylläpidon vaatima energiamäärä on tuotettu takaisin. Usein tämä aika aurinkosähköjärjestelmällä on 1–5 vuotta. Kun takaisinmaksuaikaa verrataan

käyttökään, joka on noin 25–30 vuotta, voidaan todeta järjestelmän olevan energiatehokas. (Weißbach et al. 2013)

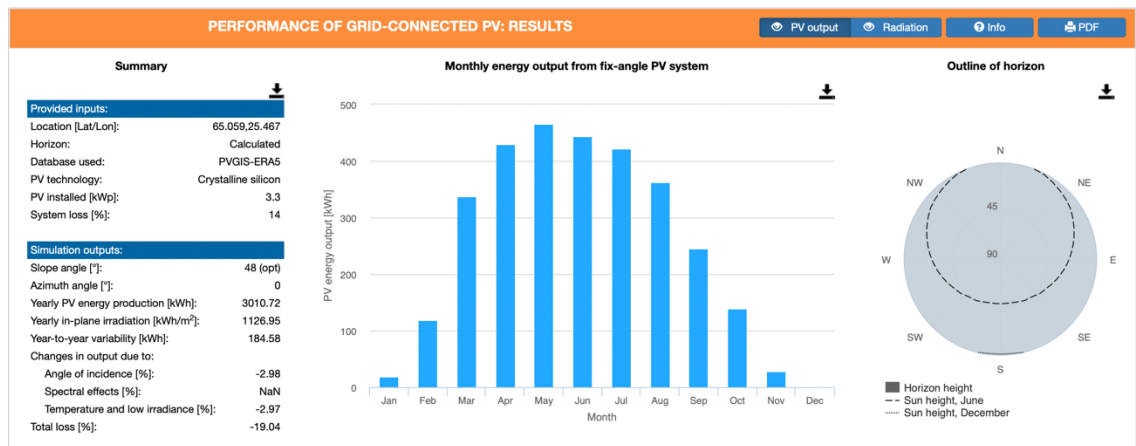
4.1 Akkujen hyödyntäminen

Liittämällä akkujärjestelmä yhteen aurinkosähköjärjestelmän kanssa voidaan maksimoida aurinkopaneelien potentiaali. Kun aurinkopaneelit tuottavat enemmän sähköä kuin kohde kuluttaa, akku latautuu. Päinvastoin, kun kohde kuluttaa enemmän kuin paneelit tuottavat, akku purkautuu. Hyödyntämällä yhdistelmäjärjestelmää, voidaan päästä tilanteeseen, että vain murto-osa kulutetusta sähköstä otetaan valtakunnan sähköverkosta. On kuitenkin huomioitava, että tällainen tilanne on mahdollinen silloin, kun paneelien päällä ei ole lumikuormaa. (Salpakari & Lund, 2016)

4.1.1 Vaikutus valtakunnalliseen sähköntuotantoon

Vuonna 2021 Suomessa kului sähköä yhteensä 86 775 GWh. Tästä 28 % eli 24 535 GWh kului asumisen ja maatalouden piirissä. (Tilastokeskus, 2022a) Suomessa on noin 1,17 miljoonaa omakotitaloa (Tilastokeskus, 2022b). Yhteensä nämä omakotitalot kuluttavat 15 000 kWh:n keskiarvokulutuksella noin 17 550 GWh. Sähkön kulutuksessa on suuria eroja sekä vuosi- että tuntitasolla, joten tämä on otettava huomioon laskujen luotettavuutta arvioidessa.

Mikäli puolet näistä omakotitaloasujista investoisi 12 aurinkopaneelia sisältävään järjestelmään, tuottaisivat jokainen paneelit omaava omakotitalo vuosittain hieman yli 3000 kWh, kuten Oulun alueelle sijoitettu laskuri kuvassa 8 osoittaa. (PVGIS, 2022) Seinäakkujen avulla voitaisiin hyödyntää lähes kaikki itse tuotettu sähköenergia, joten 3000 kWh on 20 % omakotitalon vuosittain kuluttamasta 15 000 kWh:sta.



Kuva 8. Omakotitalon vuosittainen aurinkosähkön tuotanto Oulussa 12 paneelin avulla. (PVGIS, 2022)

Puolet Suomen omakotitaloista tarkoittaa 585 000 kappaletta. Kun jokainen näistä tuottaisi 3000 kWh vuodessa piensähköä vastaa se määrällisesti 1 755 GWh. Tämä tuotettu määrä vastaa 10 % kaikkien omakotitalojen kuluttamasta energiämäärästä. Näin ollen, jos jokainen omakotitalo tuottaisi keskimäärin 3000 kWh vuodessa ja hyödyntäisi kaiken tuottamansa sähköenergian, verkkovirran tarve pienenesi 3 510 GWh vuodessa. Valtakunnallisesta sähköhankinnasta voitaisiin näin kattaa 4 %.

4.2 Piensähköntuotannon ympäristövaikutukset

Vuonna 2021 yhden kilowattitunnin tuottamisesta Suomessa syntyi keskimäärin 71 grammaa hiilidioksidia, kun taas vuonna 2018 vastaava arvo oli 101 grammaa hiilidioksidia kilowattituntia kohden. Suomessa on viime vuosina lisätty vihreän sähkön tuotannon osuutta, mikä näkyy tuotetun kilowattitunnin CO_2 -päästökertoimen pienenemisenä. Suomessa kulutetun sähkön päästökerroin on hieman korkeampi kuin tuotetun kilowattitunnin. (Fingrid, 2022) Ottamalla aurinkopaneelijärjestelmän käyttöönsä, kotitalous voi korvata verkosta otettua sähköä hiilineutraalilla aurinkosähköllä ja näin vähentää tuottamiaan päästöjä.

4.2.1 Vaikutukset CO₂-päästöihin

Keskimääräinen suomalainen tuottaa vuosittain noin 10 300 kg hiilidioksidipäästöjä, joista 2 100 kg on asumisesta lähtöisin olevia päästöjä (Sitra, 2019). Mikäli omakotitalo hyödyntäisi 12 paneelia sisältävää järjestelmää Oulun korkeudella ja tuottaisi vuosittain noin 3000 kWh puhtaampaa energiaa. Voitaisiin edeltävää päästömäärää pienentää 213 kg. Tämä hiilidioksidipäästö määrä vastaa noin 2000 ajokilometriä vuonna 2021 ensirekisteröidyllä autolla (Traficom, 2021).

$$3000 \text{ kWh} * 0,071 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} = 213 \text{ kg}$$

Aurinkopaneelijärjestelmillä säästetty 213 kg on reilu 10 % tästä vuosittaisesta asumisen päästömäärästä. (Sitra, 2019) Näin ollen kotitalouden hiilijalanjälki pienenesi merkittävästi paneelijärjestelmän avulla.

Keskimääräisen omakotitalon kuluttaessa 15 000 kWh sähköä vuodessa, tarkoittaa tämä 1 065 kg hiilidioksidipäästöjä. Omakotitalon sähkönkulutus siis kattaa lähes puolet keskivertosuomalaisen asumisen vuosittain tuottamasta hiilidioksidipäästö määrästä (Sitra, 2019)

$$15\ 000 \text{ kWh} * 0,071 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} = 1\ 065 \text{ kg}$$

4.2.2 Akkujen ja aurinkopaneelien kierrättäminen

Akkujen kierrättäminen on olennainen osa järjestelmän tuottaman päästö määrän minimoimisessa. Kuten kaiken muun elektroniikkajätteen, niin myös akkujen kierrätys on kehittynyt paljon viime vuosien aikana ja näiden kierrätys prosentti on jatkuvassa nousussa. Tähän osasyynä on uusien, muovaamattomien materiaalien saatavuuden heikentyminen. Litium-ioniakkujen kierrätysprosessi alkaa akkutyypin lajittelulla ja murskaamisella. Murskatusta akusta erotellaan muovit, metallit, hapot ja erinäiset vaaralliset raskasmetallit. Erottelussa voidaan hyödyntää useita erotustapoja kuten tislausta tai hydrometallurgiaa. Kaikki talteen otetut materiaalit voidaan uudelleen käyttää esimerkiksi uusissa akuissa. (European Recycling Platform, 2020)

Myös puitekologiaan perustuville aurinkopaneeleille on oma kierrätysprosessinsa. Ensiksi paneeleista irrotetaan kaapelit ja puolihohteet, jonka jälkeen paneelista erotetaan alumiini ja lasi. Myös laminointikalvot erotellaan. Tämän jälkeen otetaan talteen paneelin sisältämät kemikaalit esimerkiksi seleeni ja kadmium. Kaikki erotellut komponentit voidaan kierrättää ja käyttää uudelleen halutulla tavalla. Hyödyntämällä kierrätysmateriaaleja sekä akuissa että aurinkopaneeleissa, voidaan pienentää tuotetun energian päästöjä entisestään. (European Recycling Platform, 2020)

4.3 Taloudelliset kannustimet

Ostaessa aurinkopaneelien asennuksen yritykseltä, on mahdollista vähentää kotitalousvähennyksenä 40 % työn osuudesta. Maksimimäärä kotitalousvähennykselle on 2 250 € asuntoa remontoidessa ja kunnostaessa. (Verohallinto, 2022)

Myös Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA) voi myöntää energia-avustusta yksityishenkilölle. Tähän avustusrahaan tärkeimpinä ehtoina ovat, että asuinrakennus on käytössä ympärivuoden ja energiatehokkuuden E-luvun riittävä paraneminen muutoksien avulla. Esimerkiksi omakotitalon E-luvun on parannuttava 44 % lähtötasoon verrattuna, jotta avustusta voidaan myöntää. Nämä kaksi edellä mainittua tukimuotoa poissulkevat toisensa eli kotitalous voi saada vain toisen tukimuodon. (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus, 2022)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Yhteiskunnan ilmastotavoitteiden ja kiristyvien päästömääräyksiensä vuoksi uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämistä on lisättävä jokaisella yhteiskunnan osa-alueella. Työssä läpi käytiin yleisimpiä piensähköntuotantomenetelmiä, joita ovat aurinkopaneelijärjestelmät, pientuulivoimalat, pien CHP-laitokset sekä aggregaatit. Työssä päädyttiin kuitenkin tarkastelemaan aurinkopaneelijärjestelmien toimintaa ja tuotantopotentiaalia.

Aurinkosähköjärjestelmän tuotantopotentiaali Suomessa on lähes samalla tasolla kuin muualla Euroopassa. Kesäaikana tuotanto on suurempaa kuin Etelä- ja Keski-Euroopassa, mutta talviaikana tuotanto on lähes poikkeuksetta nollassa. Talviaikaiseen tuotantoon vaikuttaa erityisesti lumikuorma paneelijärjestelmän päällä ja pitkä pimeä ajanjakso. Työssä käytettiin esimerkkijärjestelmänä 12 aurinkopaneelia sisältävää järjestelmää, joka tuottaa Oulun korkeudella vuosittain noin 3000 kWh. Tämä määrä kattaa keskiverto-omakotitalon vuosittaisesta sähkönkulutuksesta vajaa 20 %. Hyödyntämällä kaiken itse tuotetun aurinkosähkön, voisi kotitalous säästää noin 430 € vuodessa. Paneelien takaisinmaksuaika olisi tämän mukaan 12 vuotta, joka on varsin hyvä verrattuna paneelijärjestelmän odotettuun 25 vuoden elinikään.

Työssä tutkittiin myös pienakkuteknologioita ja niiden mahdollisuuksia yhdistää aurinkosähköjärjestelmään. Yleisimpiä akkuteknologioita ovat lyijyhappo-, litium-ioniakku, nikkeli-metallihydridiakku sekä nikkeli-kadmiumakku. Näiden akkujen toiminta perustuu sähkökemialliseen reaktioon eli elektronin siirtoon. Lyijyhappoakusta pyritään vähitellen pääsemään eroon sen myrkyllisyyden vuoksi. Akkuteknologioista suurimmassa suosiossa kuitenkin on litium-ioniakku sen käyttöominaisuuksien sekä turvallisuuden vuoksi.

Kotitalouksille suunniteltuja suurikokoisempia akkuja hyödyntämällä aurinkosähkön tuotannossa voidaan maksimoida tuotetun sähkömäärän käyttöaste. Seinäakuiksi kutsutut kotitalousakut ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia. Laitteilla on pieniä eroja lämpötilavaihtelujen kestossa sekä käyttökapasiteetin koon valintamahdollisuuksissa. Seinäakkujen hinta vaihtelee valmistajan mukaan ja riippuu,

onko laite tilattu asennuksen kera. Ilman asennusta akun hinnaksi voi tulla noin 7000 € ja asennettuna alle 10 000 €. Lähes kaikkien kotitalouksille myytävien seinäakkujen ennustettu elinikä on noin 20 vuotta.

Loppujen lopuksi aurinkopaneelien ja akun muodostamalla yhdistelmäjärjestelmällä voidaan vaikuttaa kotitalouden hiilidioksidipäästöihin sekä suuressa mittakaavassa valtakunnallisen sähköntuotannon tarpeeseen. Yhdistelmäjärjestelmän avulla hyödyntämällä kaikki itse tuotettu aurinkosähkö, voidaan pienentää kotitalouden asumisesta syntyviä hiilidioksidipäästöjä jopa 10 %. Mikäli puolet Suomen omakotitaloasujista investoisi 12 aurinkopaneelia sisältävään yhdistelmäjärjestelmään, voitaisiin näillä kattaa 4 % sähköntuotannon tarpeesta Suomessa.

5.1 Pohdinta

Sekä aurinkopaneelijärjestelmien että kotitalousakkujen hinnan kehitys tulee luultavasti jatkamaan laskuaan seuraavan 5 vuoden aikana. Tästä johtuen uusien yhdistelmäjärjestelmien kannattavuus nousee, mikä voi lisätä järjestelmien kysyntää. Myös epävarmuuden lisääntyminen maailman turvallisuus- ja taloustilanteessa voivat vaikuttaa kysynnän lisääntymiseen. Muokkaamalla kotitalouksia omavaraisemmiksi, ihmiset luovat turvaa itselleen.

Tilastokeskuksen mukaan vuoden 2020 lopussa Suomessa oli omakotitaloja yli miljoona kappaletta. Mikäli nämä omakotitalot investoisivat piensähköntuotantoon, olisi sillä potentiaalia vaikuttaa myös valtakunnalliseen sähkön hankinnan tarpeeseen. On kuitenkin otettava huomioon omakotitaloasujien taloudellinen tilanne ja rahalliset mahdollisuudet sijoittaa omaan energiantuotantonsa. Myös ihmisten halukkuus ja kiinnostus asiaa kohtaan vaikuttavat järjestelmien kysyntään. Yleisesti ottaen keskiverto ja sitä korkeammilla tuloilla elävät ovat kiinnostuneempia piensähköntuotannosta kuin pienipalkkaiset suomalaiset. Näin ollen parempi tuloisilla on suuremmat taloudelliset mahdollisuudet sijoittaa energiaomavaraisuuteen.

Jotta piensähköntuotanto saataisiin yleistymään, tarvittaisiin vielä parempia kannustimia kansalaisille sekä poliittista tahtoa. Tiedon olisi myös oltava helposti kaikkien saatavilla,

koska moni voi kokea aihepiirin liian haastavaksi ja tekniseksi, jotta alkaisi ottamaan asiasta enempää selvää. Koska raha ja sen säästyminen usein motivoi ihmisiä, selkeät laskurit voisivat helpottaa päätöksen tekemistä aurinkopaneelijärjestelmiin sijoittaessa.

LÄHDELUETTELO

- Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus, 2022. Energia-avustus henkilöasiakkaille [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ara.fi/download/none/%7B7A04129F-6B58-43A6-B6C7-17519E91681F%7D/154046> [viitattu 8.5.2022]
- Aurinkocenter Oy, 2021. Aurinkopaneelien rakenne [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.aurinkocenter.fi/aurinkopaneelit> [viitattu 8.3.2022]
- Aurinkovirta, 2022. Invertterit [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/> [viitattu 17.4.2022]
- Chawla, N., Bharti, N. & Singh, S., 2019. Recent Advances in Non-Flammable Electrolytes for Saler Lithium-Ion Batteries. Batteries, 5(1). MDPI AG, 19. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/batteries5010019>
- EPIA, 2009. Photovoltaic energy [verkkodokumentti]. European Photovoltaic Industry Association. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/9179/Photovoltaic_Energy_Electricity_from_the_Sun_EPIA.pdf [viitattu 12.3.2022]
- Euroopan komissio, 2021. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Valmiina 55:een: Vuoden 2030 ilmastotavoitteesta totta matkalla kohti ilmastoneutraaliutta [verkkodokumentti]. COM/2021/550 final. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:52021DC0550> [viitattu 21.5.2022]
- European Recycling Platform, 2020. Mitä jätteille tapahtuu [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://erp-recycling.org/fi-fi/kierratystieto/mita-jatteille-tapahtuu/> [viitattu 8.5.2022]

Energiateollisuus ry, 2021. Aurinkosähkö [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima> [viitattu 28.2.2022]

Energiavirasto, 2021. Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti kasvoi 45 prosenttia vuonna 2020 [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-kasvoi-45-prosenttia-vuonna-2020-pientuotantoa-lahes-300-megawattia> [viitattu 1.3.2022]

Energiavirasto, 2022. Sähkön hintatilastot [verkkodokumentti ja excel]. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot> [viitattu 5.4.2022]

Enertec Oy, 2018. Varavoima auttaa tiukoissa tilanteissa [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.enertec.fi/natiivi/500/varavoima-auttaa-tiukoissa-tilanteissa> [viitattu 25.4.2022]

Fingrid Oyj, 2022. Sähköntuotannon CO₂-päästöarvio [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/> [viitattu 20.5.2022]

Fortum Oy, 2020. Aurinkoenergia – ehtymätön energianlähde [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoammeista/yhtiomme/energiantuotantomme/aurinkoenergia-ehdymaton-energianlahde> [viitattu 1.3.2022]

Fortum Oy, 2022. Pörssisähköä – niin kuin sinä sen haluat [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/sahkoakotiin/sahkosopimukset/tarkka-porssisahko> [viitattu 14.3.2022]

Fraunhofer ISE, 2022. Photovoltaics report [pdf-dokumentti]. Saatavissa: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/photo-voltaics-report.html> [viitattu 8.5.2022]

Gaia Consulting Oy, 2014. Sähkön pientuotannon kilpailukyvyn ja kokonaistaloudellisten hyötyjen analyysi [verkkodokumentti]. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/files/9439/Sahkon_pientuotannon_kilpailukyvyyn_ja_kokonaistaloudellisten_hyotyjen_analyysi_Loppuraportti.pdf [viitattu 4.4.2022]

Greencycle Oy, 2021. Erilaiset akkutyypit [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.greencycle.fi/page/8/erilaiset-akkutyypit> [viitattu 25.4.2022]

Harrison J., 2017. Micro combined heat and power [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.microchp.info/introduction.htm> [viitattu 22.2.2022]

Helen, 2020. Aurinkopaneelien hankintaopas [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.helen.fi/globalassets/aurinko/aurinkopaneelien_hankintaopas.pdf [viitattu 13.3.2022]

Helen, 2021. Virtuaaliakulla varastoit aurinkoa myös pilvisen päivän varalle [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/sahko-varastointi/virtuaaliakku> [viitattu 5.4.2022]

Linden, D & Reddy, T., 2011. Linden's Handbook of Batteries. New York: Mc Graw Hill. ISBN 987-0-07-162421-3.

Lumo Energia Oy, 2020. Aurinkosähköjärjestelmän hankinta on kannattava investointi [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.lumoenergia.fi/aurinkopaneelit/aurinkopaneelien-hankinta-on-kannattava-investointi/> [viitattu 14.3.2022]

Lumo Energia Oy, 2021. Oikein mitoitettu aurinkopaneelijärjestelmä maksimoi taloudellisen hyödyn [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.lumoenergia.fi/aurinkopaneelit/ammattimaisesti-mitoitettu-aurinkopaneelijarjestelma-maksimoi-taloudellisen-hyodyn/>

Lumme Energia Oy, 2021. Aurinkosähkö invertterin ja aurinkopaneelien valinta aurinkosähköjärjestelmään [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.lumme-energia.fi/blogi/kuinka-aurinkosahkojarjestelman-invertteri-valitaan#5bfa0cfl>

Luonnonvarakeskus (Luke), 2022. Maatalouden energiankulutus ja uusiutuvan energian osuus [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.luke.fi/maatalouden-energiankulutus-ja-uusiutuvan-energian-osuus> [viitattu 25.5.2022]

Motiva Oy, 2020a. Sähkön pientuotanto [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto [viitattu 17.2.2022]

Motiva Oy, 2020b. Aurinkoenergian varastointi [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelman_kaytto/aurinkolammon_varastointi [viitattu 12.4.2022]

Motiva Oy, 2020c. Akut [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut [viitattu 13.4.2022]

Motiva Oy, 2021a. Pientuulivoima [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/pientuulivoima [viitattu 20.2.2022]

Motiva Oy, 2021b. Aurinkosähköteknologiat [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat [viitattu 28.2.2022]

Motiva Oy, 2021c. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma [viitattu 5.4.2022]

Motiva Oy, 2022a. Sähkön hankinta ja kulutus [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/sahkon_hankinta_ja_kulutus [viitattu 9.5.2022]

Motiva Oy, 2022b. CO₂-päästökertoimet [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-paastokertoimet [viitattu 20.5.2022]

PVGIS, 2022. Performance of grid-connected PV: results [verkkosivu]. JRC: Euroopan Komissio. Saatavissa: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html [viitattu 6.4.2022]

Rand, D. & Dell, R., 2007. Hydrogen Energy: Challenges and Prospects. Cambridge: The Royal Society of Chemistry. 300 s. ISBN 978-0-85404597-6.

Salpakari, J & Lund, P., 2016. Optimal and rule-based control strategies for energy flexibility in buildings with PV. Applied Energy, 161, 425-436. Espoo: Aalto University. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.036>

Sitra, 2019. Keskiwertosuomalaisen hiilijalanjälki [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskiwertosuomalaisen-hiilijalanjalki/> [viitattu 13.5.2022]

Sonnen, 2022. Technische Daten sonnenBatterie 10 [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sparemit solar.de/upload/41243371-sonnenBatterie-10-Datenblatt.pdf> [viitattu 17.4.2022]

Tekniikan Maailma, 2017. Ikea alkaa myydä aurinkokennoja ja kotiakkuja – Asetetun akun hinta yli 2,5-kertainen Teslaan verrattuna [verkoartikkeli]. Saatavissa: <https://tekniikanmaailma.fi/ikea-alkaa-myyda-aurinkokennoja-ja-kotiakkuja-asennetun-akun-hinta-yli-25-kertainen-teslan-verrattuna/> [viitattu 17.4.2022]

Tesla Inc., 2022. Powerwall [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.tesla.com/sites/default/files/pdfs/powerwall/Powerwall%20_AC_Datasheet_en_northamerica.pdf [viitattu 17.4.2022]

Tilastokeskus, 2022a. Energia [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.tilastokeskus.fi/tup/suoluk/suoluk_energia.htm#asuminen [viitattu 14.4.2022]

Tilastokeskus, 2022b. Asuminen ja rakentaminen [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.tilastokeskus.fi/tup/suoluk/suoluk_asuminen.html [viitattu 14.4.2022]

The Economic Times, 2019. Electric Generator: A basic introduction to how generator work, their features and applications [verkkoartikkeli]. Saatavissa: <https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/productline/power-generation/electric-generator-an-basic-introduction-to-how-generators-work-their-features-and-applications/articleshow/69343338.cms> [viitattu 20.4.2022]

TM Rakennusmaailma, 2017. Älykästä ja helppoa aurinkosähkön käyttöä [verkkoartikkeli]. Saatavissa: https://rakennusmaailma.fi/01_esirivi-3/ [viitattu 17.4.2022]

Traficom, 2021. Hiilidioksidipäästöt [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://liikenne.fakta.fi/fi/ymparisto/henkiloautot/hiilidioksidipaastot> [viitattu 25.5.2022]

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes), 2018. Litiumioniakkujen elinkaari hankinnasta hävittämiseen [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://tukes.fi/litiumioniakkujen-turvallinen-kayttaminen> [viitattu 17.5.2022]

Tuulivoimayhdistys ry., 2019. Tietoa tuulivoimasta [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimateknikka/tuulivoimaloiden-rakenne> [viitattu 21.2.2022]

Varta Oy, 2022. Perustietoa akuista [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.varta-automotive.fi/fi-fi/varta-teknista-tietoa/perustietoa/nain-akku-toimii> [viitattu 13.4.2022]

Vattenfall Oy, 2020. Aurinkovoima [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/aurinkovoima/> [viitattu 28.2.2022]

Vattenfall Oy, 2021. Kodin sähkönkulutus [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/sahkonkulutus/> [viitattu 12.3.2022]

Verohallinto, 2022. Kotitalousvähennys [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/tulo-t-ja-vahennykset/kotitalousvahennys/>

Weißbach D., Ruprecht, G., Huke, A., Czerski, K., Gottlieb, S., Hussein, A., 2013. Energy intensities, EROIs (energy returned on invested) and energy payback times of electricity generating power plants. Energy, 52, 210-221. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.029>

Yamaha Motor Co., 2021. Power products [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://global.yamaha-motor.com/business/pp/generator/lineup/220v-50hz/6-/ef7200e/>
[viitattu 4.4.2022]