



AURINKOENERGIAN LISÄÄMISMAHDOLLISUUDET ETELÄ-SAVOSSA VUOTEEN 2035 MENNESSÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan diplomityö

2023

Venla Valtokari

Tarkastaja: Professori Tapio Ranta

Ohjaajat: DI Mika Laihanen

DI Antti Karhunen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Energiatekniikka

Venla Valtokari

Aurinkoenergian lisäämismahdollisuudet Etelä-Savossa vuoteen 2035 mennessä

Energiatekniikan diplomityö

2023

76 sivua, 24 kuvaa ja 7 taulukkoa

Tarkastaja: Professori Tapio Ranta

Avainsanat: Aurinkoenergia, aurinkosähköjärjestelmät, uusiutuva energia

Suomen hallitus hyväksyi keskipitkän ilmastopolitiikan suunnitelman kesällä 2022. Sen tavoitteena on saavuttaa hiilineutraalius Suomessa vuoteen 2035 mennessä. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi päästöjen määrää on vähennettävä jokaiselta sektorilta ja hiilinieluja on vahvistettava. Suurin osa kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Aurinkoenergia on päästötöntä ja uusiutuvaa energiaa. Sähkön tuottaminen aurinkopaneelien avulla on Suomessa taloudellisesti kannattavaa, vaikka tuotantoa on vähän talvi-kuukausina.

Diplomityön tavoitteena on selvittää aurinkoenergian ja erityisesti aurinkosähkön lisäämismahdollisuuksia Etelä-Savossa vuoteen 2035 mennessä. Lisäysmahdollisuuksia arvioidaan eri kokoluokissa asuinrakennuksissa, julkisissa ja yritysten rakennuksissa sekä teollisen mittakaavan aurinkopuistoissa. Lisäksi arvioidaan aurinkosähkön tuotannon vaikutuksia sähköntuotantoon, päästöjen määrään ja työllisyyteen alueella. Etelä-Savon alueella on edellytyksiä aurinkosähkön tuotannolle. Alueella on asennettua aurinkosähkökapasiteettia vuonna 2021 noin 13 MW. Etelä-Savossa tuotetaan melko vähän sähköä verrattuna kulutukseen.

Yhteensä vuonna 2035 Etelä-Savossa voisi olla asennettua kapasiteettia arvion mukaan noin 135 MW, jolloin vuosituotanto olisi noin 106 GWh. Se vastaisi kesällä noin 10 % sähkön kulutuksesta Etelä-Savossa verrattuna vuoden 2021 sähkön käyttöön. Vuositasolla se olisi noin neljännes kaikesta tuotetusta sähköstä alueella verrattuna vuoden 2021 sähköntuotantoon. Tällainen asennettu aurinkosähkökapasiteetti voisi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä arvioituna noin 4–9 kt CO₂. Se olisi noin 10 % käyttösähkön hiilidioksidipäästöistä Etelä-Savossa vuonna 2021. Aurinkosähkö ei yksin riitä vähentämään alueen hiilidioksidipäästöjä niin voimakkaasti mitä Suomen hiilineutraaliustavoite vuoteen 2035 mennessä vaatisi.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Energy Technology

Venla Valtokari

The possibilities of increasing Solar energy in Southern Savonia by 2035

Master's thesis

2023

76 pages, 24 figures and 7 tables

Examiner: Professor Tapio Ranta

Keywords: Solar energy, photovoltaics, renewable energy

The Finnish government approved a medium-term climate policy plan in the summer of 2022. Its goal is to achieve carbon neutrality in Finland by 2035. To achieve this goal, the number of emissions must be reduced from each sector and carbon sinks must be strengthened. The majority of greenhouse gas emissions are caused by the use of fossil fuels. Solar energy is an emission-free and renewable energy source. Producing electricity using solar panels is financially viable in Finland, even though there is little production in the winter months.

The goal of this Master's thesis is to find out the possibilities of increasing solar energy and especially solar electricity in Southern Savonia by 2035. Possibilities are evaluated in different size categories in residential buildings, public and commercial buildings, and industrial-scale solar parks. The effects of solar electricity production on electricity production in the area, the number of emissions and employment are evaluated. In the Southern Savonia area, there are prerequisites for the production of solar electricity. The installed solar power capacity in 2021 is about 13 MW in the area. In Southern Savonia, relatively little electricity is produced compared to consumption.

Installed capacity is estimated to be 135 MW in 2035 in the area. The annual production would be 106 GWh. It would correspond to about 10% of the electricity consumption in Southern Savonia in summer compared to the electricity use in 2021. On an annual basis, it would be about a quarter of all electricity produced in the region compared to the electricity production of 2021. Such installed solar power capacity could reduce greenhouse gas emissions by 4–9 kt CO₂. That would be about 10% of the emissions of utility electricity in Southern Savonia in 2021. Solar electricity alone is not enough to reduce the region's carbon dioxide emissions as strongly as Finland's carbon neutrality goal by 2035 would require.

KIITOKSET

Haluan kiittää vanhempiani, jotka ovat aina jaksaneet kuunnella ja kannustaa. Kiitos kaikille tutuille, kavereille ja ystäville, joihin olen tutustunut opiskelujen aikana, ja jotka ovat tehneet ajastani yliopistossa unohtumattoman. Kiitos diplomityön ohjauksesta Mika Laihanen ja Antti Karhunen. Sain tärkeitä neuvoja sekä rohkaisua oikeaan aikaan. Rapsutukset koiralleni Lululle, joka huolehti tunnollisesti tauotuksesta tätä työtä tehdessäni.

Lappeenrannassa 19.3.2023

Venla Valtokari

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

A	pinta-ala	[m ²]
E	energia	[Wh]
P	teho	[W]
t	aika	[h]

Kreikkalaiset

η	hyötysuhde	[-]
--------	------------	-----

Alaindeksit

max	huippu
-----	--------

Lyhenteet

CHP	Combined heat and power (Sähkön ja lämmön yhteistuotanto)
EU	Euroopan unioni
IEA	International Energy Agency (Kansainvälinen energiajärjestö)
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
IRENA	International Renewable Energy Agency
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
STC	Standard Test Condition (Standardiolosuhte)
V2H	Vehicle-to-home
V2G	Vehicle-to-grid
YK	Yhdistyneet kansakunnat
YVA	Ympäristövaikutusten arviointimenettely
WMO	World Meteorological Organization (Maailman ilmatieteen järjestö)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

Symboli- ja lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	8
2	Etelä-Savo.....	11
2.1	Energian tuotanto Etelä-Savossa.....	12
2.2	Sähkön käyttö Etelä-Savossa	14
2.3	Kasvihuonekaasupäästöt Etelä-Savossa.....	15
3	Aurinkoenergia	17
3.1	Aurinkoenergia Suomessa.....	18
3.2	Aurinkopaneelit.....	21
3.3	Tuotannon ja hyötysuhteen laskeminen	23
3.4	Tuotantoon vaikuttavat tekijät.....	24
3.5	Varastointi	26
3.6	Muut komponentit aurinkosähköjärjestelmässä.....	27
3.7	Kuntien keinot edistää aurinkoenergian kasvua.....	28
3.8	Aurinkosähkön tuotannon edut ja haasteet	29
3.8.1	Edut.....	30
3.8.2	Haasteet.....	31
3.9	Muu aurinkoenergian tuotanto	32
4	Aurinkosähköjärjestelmät eri kohteissa.....	34
4.1	Pienikiinteistöt.....	34
4.2	Taloyhtiöt	36
4.3	Julkiset ja liikerakennukset	37
4.4	Suuret paneelientilat	38
5	Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuus.....	40
5.1	Aurinkosähköjärjestelmien hinta	41
5.2	Sähkön hinta.....	41

6	Lisäämismahdollisuudet Etelä-Savossa.....	45
6.1	Edellytykset aurinkosähkön tuotannolle Etelä-Savossa.....	45
6.2	Suunnitteilla olevat aurinkovoimalat vuonna 2022.....	46
6.3	Pienkiinteistöt.....	47
6.4	Energiayhteisöt rivi- ja kerrostaloissa.....	51
6.5	Julkiset ja liikerakennukset	54
6.6	Paneelientät	56
7	Vaikutukset alueelle	59
7.1	Vaikutukset sähköntuotantoon	59
7.2	Vaikutukset talouteen ja työllisyyteen	65
7.3	Vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin.....	66
8	Johtopäätökset	68
	Lähteet	71

1 Johdanto

Suomen hallituksen keskipitkän ilmastopolitiikan suunnitelma laaditaan vaalikausittain, ilmastolain mukaan. Hallitus hyväksyi nykyisen suunnitelman 2.6.2022. Sen tavoitteena on puolittaa Suomen taakanjakosektorin päästöt vuoteen 2030 mennessä, saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä ja olla ensimmäinen fossiilivapaa hyvinvointiyhteiskunta. Taakanjakosektorilla tarkoitetaan maataloutta, liikennettä, rakennusten erillislämmitystä ja jätehuoltoa. Rakennusten lämmittämisestä erityisesti öljyllä ja kaasulla tulisi luopua ja siirtymää vähäpäästöisiin ratkaisuihin tuetaan investointiavustuksilla ja kotitalousvähennyksellä. (Ympäristöministeriö, 2022b.)

Tavoitteen saavuttamiseksi päästöjen vähennyksiä on tehtävä jokaisella sektorilla, jonka lisäksi hiilinieluja on vahvistettava. Tavoitteena on lähes päästötön sähkön- ja lämmöntuotanto 2030-luvun loppuun mennessä. Muita keinoja tavoitteen saavuttamiseksi on pienentää rakentamisen hiilijalanjälkeä, edistää kiertotaloutta, ilmastoystävällinen ruokapolitiikka ja ympäristöhaittojen verotuksen painottaminen. (Ympäristöministeriö, 2022a.)

YK:n ilmastosopimus sekä sitä täydentävä Kioton pöytäkirja ja Pariisin ilmastosopimus ohjaa Euroopan unionin ilmastopolitiikkaa. Euroopan unionin ilmastopolitiikka ohjaa Suomen ilmastopolitiikan tavoitteita ja toimia. Euroopan unioni on ilmoittanut Pariisin ilmastosopimuksessa vähentävänsä kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 55 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Vuoteen 2050 mennessä Euroopan unionin tavoite on olla hiilineutraali maanosa. (Ympäristöministeriö.) Suomen tavoitteet ovat kunnianhimoisemmat kuin Euroopan unionilla.

Kasvihuonekaasuja tarvitaan, jotta luonnollinen kasvihuoneilmiö pitää ilmakehän alimmat kerrokset lähellä maanpintaa lämpiminä ja asuttavina. Kuitenkin erityisesti fossiilisten polttoaineiden polttaminen on kasvattanut ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuutta, mikä on tehostanut kasvihuoneilmiötä ja aiheuttanut maan keskilämpötilan nousua. Vesihöyry (H₂O), hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄), dityppioksidi (N₂O) ja otsoni (O₃) ovat luonnollisia kasvihuonekaasuja. Typpi (N₂) ja happi (O₂) ovat ilmakehän yleisimmät kaasut, mutta ne eivät aiheuta kasvihuoneilmiötä. (Nevanlinna, 2008, p. 45.)

Energiasektori on suurin ihmisten toimista johtuva kasvihuonekaasujen lähde. Fossiilisten polttoaineiden polttaminen aiheuttaa suoraan kasvihuonekaasujen, erityisesti hiilidioksidin, syntymistä, mutta hajapäästöjä syntyy lisäksi polttoaineiden tuotannosta, kuljetuksesta ja varastoinnista. Fossiilisten polttoaineiden käytön lisäksi maankäytön muutos, esimerkiksi trooppisten sademetsien hävittäminen on merkittävä hiilidioksidipäästöjen lähde. (Nevanlinna, 2008, p. 46.)

Maanviljelystä, karjan kasvatuksesta ja teollisista prosesseista syntyy myös kasvihuonekaasuja. Metaania syntyy, kun eloperäinen aines hajoaa hapettomissa olosuhteissa. Tällaisia päästöjä syntyy muun muassa riisipelloilla, märehitijöiden suolistossa ja kaatopaikoilla. Voimakkain kasvihuonekaasu on vesihöyry, mutta koska sen kiertokulku on nopeaa, ihmisen toiminta ei juuri vaikuta sen määrään ilmakehässä. Ilmakehän lämpötilan noustessa ilman absoluuttinen kosteus voi kasvaa, jolloin vesihöyryä on enemmän ilmakehässä ja kasvihuoneilmiö voimistuu. Ilmiötä kutsutaan vahvistavaksi palauteilmiöksi. (Nevanlinna, 2008, pp. 50-54.)

Ilmaston lämpeneminen on koko maapalloa koskeva kriisi, joka aiheuttaa muun muassa äärisääolosuhteita, ruuan ja veden puutetta, jäätiköiden sulamista, merenpinnan nousua ja koralliriuttojen tuhoutumista. Ihmisten toimesta ilmakehään päästetyn kasvihuonekaasun määrä ei ole vähentynyt, vaan sen määrä on ennätyskorkea. Vuonna 2019 WMO (World Meteorological Organization) arvioi maan keskilämpötilan kasvaneen ainakin yhden celsiusasteen esiteollisesta ajasta. Vuonna 2100 maan keskilämpötilan on odotettu olevan yli 3 celsiusasteen, mikäli kasvihuonekaasujen määrän kasvua ei hidasteta. (United Nations, 2020.)

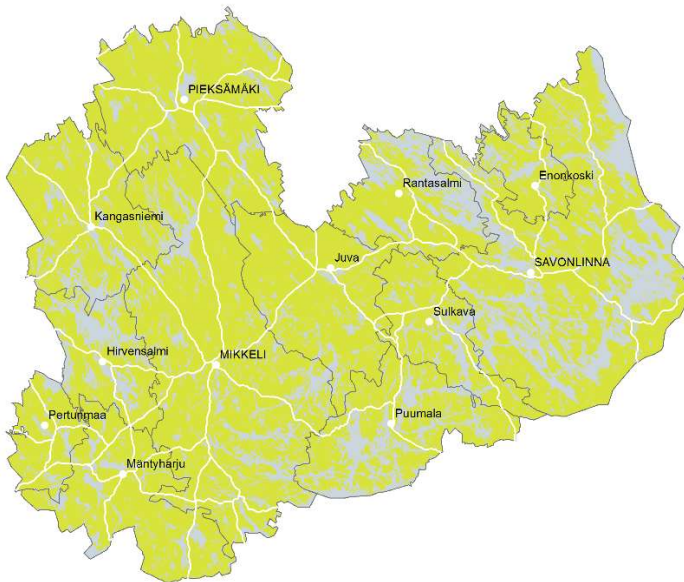
Suomessa ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat olla pienempiä kuin lähempänä päiväntasaajaa. Keskilämpötilan nousu pidentää kasvukautta Suomessa ja lisää kasvinviljelyn mahdollisuuksia Pohjois-Suomessa. Samalla kuitenkin vieraslajien ja kasvitautien määrä voi lisääntyä ja haitata metsiä ja maataloutta. Tulvat, kuivuus ja myrskyt lisääntyvät, koska sään ääri-ilmiöt voimistuvat. (MTK.)

Aurinkosähkön tuotanto aurinkopaneelien avulla ei tuota kasvihuonekaasupäästöjä ja lisäksi aurinkoenergia on uusiutuva energianlähde. Suomessa aurinkosähköä tuotetaan vielä vähän, mutta kapasiteetin kasvaessa se voisi olla yksi osatekijä hiilineutraalin Suomen rakentamisessa. Tässä tutkielmassa keskitytään aurinkoenergian mahdollisuuksiin Etelä-Savossa,

erityisesti sähköntuotantoon aurinkopaneelien avulla. Aurinkopaneeleista keskitytään erityisesti piikennopaneeleihin. Etelä-Savon esittelyn lisäksi tarkastellaan kasvihuonekaasupäästöjä sekä sähkön tuotantoa ja käyttöä alueella. Teoriaosuus käsittelee yleisesti aurinkosähkön tuotantoa, siihen vaikuttavia tekijöitä ja tilannetta tällä hetkellä koko maailmassa sekä Suomessa. Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta käsitellään lyhyesti, kuten myös eri kokoluokkien erityispiirteitä. Lisäämismahdollisuudet käsitellään kokoluokittain pientalojen pienistä aurinkosähköjärjestelmistä suuriin teollisen kokoluokan aurinkopuistoihin. Lisäämismahdollisuuksia käsitellään verkkoon liitettyjen aurinkosähköjärjestelmien osalta, vapaa-ajanasuntojen off-grid-järjestelmien lisäämismahdollisuuksia ei käsitellä tarkemmin. Lopuksi arvioidaan, mikä vaikutus aurinkosähkön tuotannon lisäämisellä olisi muun muassa sähköntuotantoon ja kasvihuonekaasupäästöihin alueella.

2 Etelä-Savo

Etelä-Savon maakunta sijaitsee Itä-Suomessa ja sen maakuntakeskus on Mikkeli. Muita kaupunkeja ovat Savonlinna ja Pieksämäki. Kuvassa 1 on Etelä-Savon maakunnan kaupungit ja kunnat. Muut Etelä-Savon kunnat ovat Enonkoski, Hirvensalmi, Juva, Kangasniemi, Mäntyharju, Pertunmaa, Puumala, Rantasalmi ja Sulkava. Kokonaispinta-ala on 17 100 km², josta maapinta-alaa on 12 650 km². Kokonaispinta-alasta noin neljännes on sisävesiä. (Etelä-Savon maakuntaliitto, 2022b.)



Kuva 1. Etelä-Savon maakunta (Etelä-Savon maakuntaliitto, 2022a)

Maakunnan väkiluku vuoden 2022 lopussa on noin 130 500 henkilöä. Väkiluvun odotetaan alenevan vuoteen 2040 saakka koko alueella, noin 107 000 henkilöön. Väestön ikärakenne Etelä-Savossa on painottunut vanhempiin ikäluokkiin, joiden osuus kasvaa nopeammin kuin muualla maassa, lisäksi yli 65-vuotiaiden osuus koko väestöstä on suurempi kuin muualla Suomessa. Työikäisten osuus on pienempi kuin keskimäärin Suomessa, joten huoltosuhde on erittäin korkea, ja sen odotetaan myös heikkenevän tällä vuosikymmenellä. Maakunnassa ei ole yliopistoa, jolloin poismuuttoa nuorten ikäryhmissä on paljon. Väestön koulutustaso on alhaisempi kuin muualla Suomessa keskimäärin, minkä selittää Etelä-Savon korkea ikärakenne. Tutkinnon suorittaneita on 72,7 % yli 15-vuotiaista, koko Suomessa 74,6 %. (Etelä-Savon maakuntaliitto, 2022d.)

Palveluala on maakunnan suurin työllistäjä. Kaksi kolmesta työllisestä työskentelee palvelualalla. Vajaa neljännes työskentelee jalostuksen toimialoilla ja vajaa kymmenes alkutuotannossa. Työttömänä vuoden 2022 loppupuolella on ollut noin 9 % työvoimasta. Työllisyysaste vuonna 2020 oli 69,6 % ja se on hieman alhaisempi kuin koko maan 71,6 %. Työttömyysaste on samalla tasolla kuin koko maassa vuonna 2020, ollen 7,8 %. vuoden 2022 lopussa nuoria, alle 25-vuotiaita työttömiä oli 521 henkilöä, joka on 13 % vähemmän verrattuna edelliseen vuoteen. (Etelä-Savon maakuntaliitto, 2022d.)

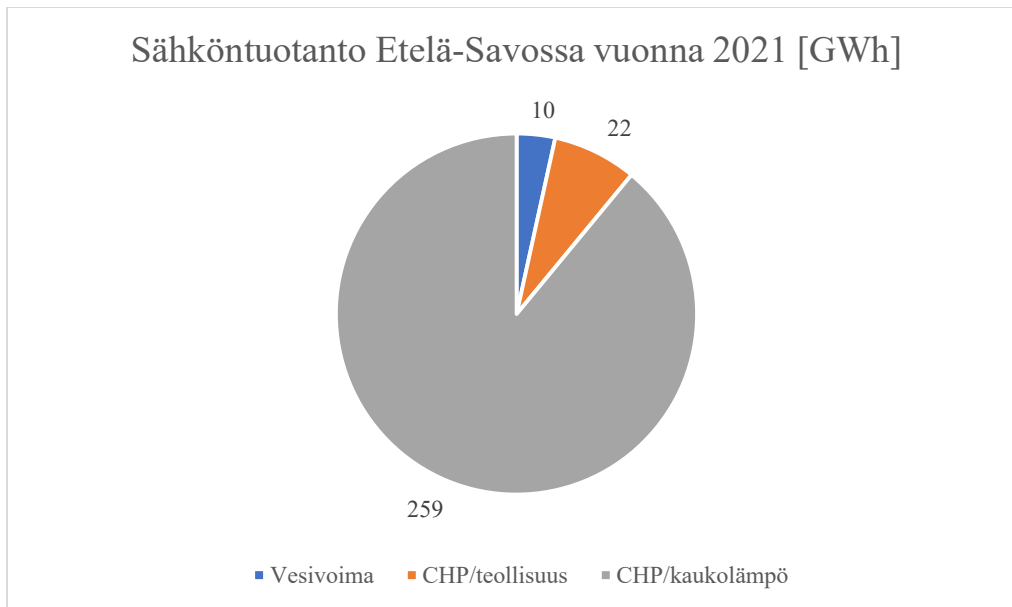
Bruttokansantuote asukasta kohden jää muiden maakuntien vertailussa Päijät-Hämeen ja Pohjois-Karjalan jälkeen kolmanneksi viimeiseksi. Sen sijaan matkailun osuus bruttokansantuotteesta on suurempi kuin koko maassa, ollen 4,1 % vuonna 2020, vaikka koronapandemia vähensi erityisesti ulkomaalaisten matkustamista. Etelä-Savossa on paljon mökki- vuokraustoimintaa ja maaseutumatkailua. (Etelä-Savon maakuntaliitto, 2022d.)

Etelä-Savon alueella on paljon vapaa-ajan asuntoja eli kesämökkejä, vuonna 2021 noin 46 600 kappaletta. Vain Varsinais-Suomessa ja Pirkanmaalla on enemmän kesämökkejä. Asukasta kohden Etelä-Savossa merkittävästi eniten kesämökkejä verrattuna muihin maakuntiin. Mikkelissä kesämökkejä on noin 10 300 kappaletta ja Savonlinnassa noin 8 760 kappaletta, ollen toiseksi ja neljänneksi mökkirikkaimmat kunnat Suomessa. Yhteensä vuonna 2021 Etelä-Savossa on 46 601 kesämökkiä. Kesäasukkaiden määrä suhteessa asuntoväestöön Etelä-Savossa on korkea, yli 40 %. Puumalassa ja Hirvensalmella asuntoväestöön verrattuna kesäasukkaista on yli kaksinkertainen määrä. Muualla maassa kesäasukkaiden määrä on alle 20 %. (Etelä-Savon maakuntaliitto, 2022c.)

2.1 Energian tuotanto Etelä-Savossa

Kuvassa 2 on esitetty sähköntuotanto Etelä-Savossa vuonna 2021 tuotantomuodoittain. Yhteensä sähköntuotantoa Etelä-Savossa on vuonna 2021 ollut 291 GWh. Se on vain noin 0,4 prosenttia koko Suomen sähköntuotannosta, joka oli noin 70 TWh. Ainoastaan Ahvenanmaalla tuotetaan vähemmän sähköä Suomen maakunnista. Suurin osa tuotannosta on sähkön ja lämmön yhteistuotantoa, noin 259 GWh, jonka lisäksi pieni osa on teollisuuden yhteistuotantoa, yhteensä 22 GWh. Lisäksi Etelä-Savossa tuotetaan sähköä vesivoimalla, vuonna 2021 noin 10 GWh. Sen määrä vähentyi vuonna 2021, verrattuna edellisvuosiin, ollen esimerkiksi vuotta aikaisemmin 48 GWh. Etelä-Savossa ei ole asennettua tuulivoimaa.

Teollisuuden yhteistuotannon määrä on pieni verrattuna moneen muuhun maakuntaan. Niissä maakunnissa, esimerkiksi Etelä-Pohjanmaalla ja Kainuussa, joissa on vähän teollisuuden yhteistuotantoa, on sen sijaan tuulivoimaa enemmän. Aurinkosähkön osuutta ei ole tilastoitu tässä tilastossa. (Energieateollisuus, 2022b.)



Kuva 2. Sähköntuotanto Etelä-Savossa vuonna 2021 (Energieateollisuus, 2022b)

Mikkelissä sijaitseva Pursialan voimalaitos tuottaa lämpöä ja sähköä. Polttoaineesta suurin osa on puuta, noin 80 %, jonka lisäksi turvetta on 20 % ja öljyä alle 1 %. Laitoksen lisäksi Etelä-Savon energialla on vesivoimala-alueita (Etelä-Savon Energia Oy, 2022).

Etelä-Savon alueella toimii useita sähkönsiirtoyhtiöitä. ESE-Verkko Oy toimii Mikkelin alueella ja Järvi-Suomen Energia toimii pääosin Etelä-Savon alueella. Pieksämäellä toimii lisäksi Savon Voima Oyj, joka toimii muuten Pohjois-Savon ja Keski-Suomen alueella.

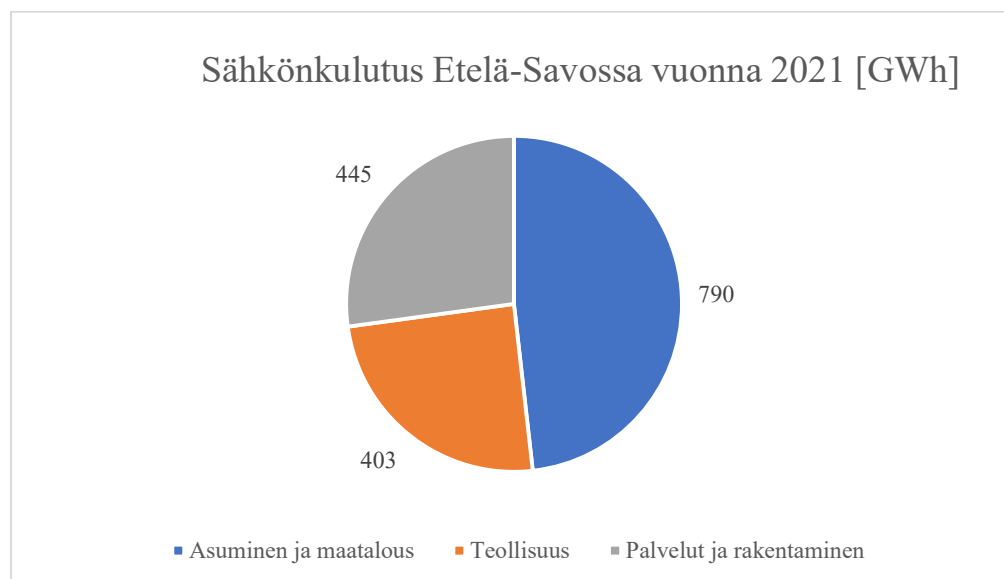
Energiavirasto julkaisee vuosittain tilastotietoa verkkotoiminnasta, kuten verkkoon liitetyn pientuotannon, eli alle 1 MW tuotantoyksiköiden, nimellistehon yhteensä tuotantomuodotain. ESE-Verkko Oy:n verkossa on vuonna 2021 liittynyt aurinkovoimaa nimellisteholtaan yhteensä 1911 kW. Järvi-Suomen Energia Oy:n verkkoon on liitetty sen sijaan 11 415 kW. Savon Voima Verkko Oy:n verkossa on 18 233 kW. (Energiavirasto, 2022b.) Täytyy ottaa kuitenkin huomioon, että Savon Voima Verkko Oy toimii Etelä-Savossa Pieksämäen alueella, mutta pääasiassa Etelä-Savon ulkopuolella. Myös Järvi-Suomen Energia Oy toimii Etelä-Savon ulkopuolella, mutta pääasiassa Etelä-Savossa. Aurinkosähkön pientuotannon

nimellisteho Etelä-Savossa vuonna 2021 on ollut siis arviolta noin 13 MW. Karkeasti arvi-
oituna 13 MW asennettu huipputeho voisi tuottaa vuodessa noin 10 GWh sähköä, jolloin
tuotetun aurinkosähkön osuus Etelä-Savossa on samaa kokoluokkaa kuin vesivoiman tuo-
tanta vuonna 2021.

YLE uutisten mukaan Järvi-Suomen Energian verkkoon on liittynyt kesällä 2021 hieman yli
1600 aurinkovoimalaa, joista suurin osa on pientalojen aurinkovoimaloita. Määrä kasvanut
muutamassa vuodessa merkittävästi, noin 400–500 voimalan vuosivauhdilla, myös järjestel-
mien koko on hieman kasvanut. (YLE, 2021.)

2.2 Sähkön käyttö Etelä-Savossa

Etelä-Savossa käytettiin vuonna 2021 yhteensä 1638 GWh sähköä. Se on noin 2 prosenttia
sähkönkulutuksesta koko Suomessa. Kuvasta 3 nähdään, että asumisen ja maatalouden
osuus on lähes puolet sähkönkulutuksesta. Palveluiden ja rakentamisen osuus sähkönkulu-
tuksesta Etelä-Savossa on hieman alle kolmannes. Teollisuussektori käytti Etelä-Savossa
hieman alle neljänneksen maakunnan sähkönkulutuksesta ja sen osuus on pienempi kuin te-
ollisuuden osuus koko Suomessa. Teollisuussektori käyttää Etelä-Savossa vähemmän säh-
köä verrattuna suurimpaan osaan muista maakunnista, myös asukasluvultaan samankokoi-
siin. Etelä-Savossa kulutetaan merkittävästi enemmän sähköä verrattuna sähkön tuotantoon
alueella, joka oli 291 GWh vuonna 2021. (Energiateollisuus, 2022).



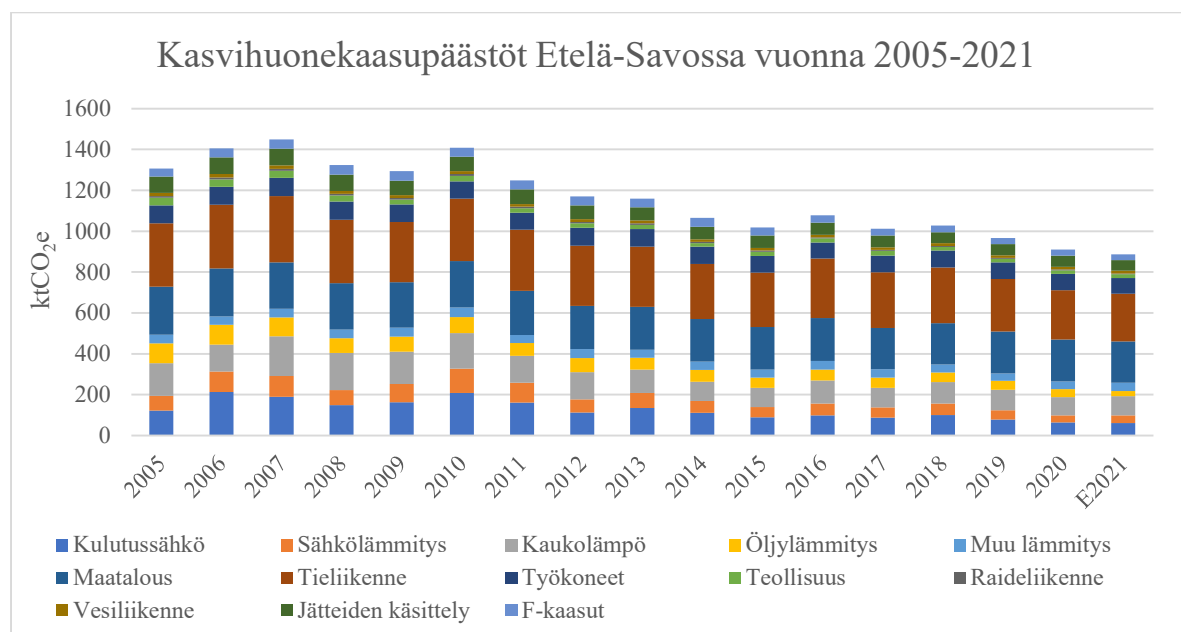
Kuva 3. Sähkönkulutus Etelä-Savossa vuonna 2021 (Energiateollisuus, 2022)

2.3 Kasvihuonekaasupäästöt Etelä-Savossa

Etelä-Savossa on vähän saastuttavaa teollisuutta ja kasvihuonekaasupäästöjen määrä maakunnassa on alhainen moniin Suomen muihin maakuntiin verrattuna. Koko Suomen kasvihuonekaasupäästöistä Etelä-Savon osuus on noin 2 %. (Etelä-Savon maakuntaliitto, 2022d.)

Etelä-Savossa kasvihuonekaasupäästöt asukasta kohden ovat vähentyneet vuodesta 2010. Vuonna 2020 tieliikenne, maatalous ja lämmitys olivat merkittävimmät sektorit, jotka tuottivat kasvihuonekaasupäästöjä. (Hiilineutraali Suomi, 2022.)

Kuvasta 4 nähdään, että kasvihuonekaasupäästöjen määrä on vähentynyt Etelä-Savossa 2010-luvulla. Erityisesti päästöt ovat vähentyneet kulutussähkön ja lämmityksen osalta. Maatalouden päästöt ovat vähentyneet hieman 2000-luvun alusta, mutta pysyneet 2010-luvulla melko tasaisena. Tieliikenteen päästöt eivät ole vähentyneet tasaisesti. Vuosittaista vaihtelua on jonkin verran, mutta viime vuosina ne ovat olleet hieman pienemmät kuin ennen vuotta 2013. Vuonna 2020 ne olivat alemmat kuin aikaisemmin vuosina 2005–2020. Vuoden 2021 päästöjen määrä on ennakkotieto ja lopullinen määrä voi muuttua, sillä laskentatavat eivät vastaa lopullista laskentaa. Ennakkotiedon mukaan kokonaispäästöt vähenivät vuodesta 2020 hieman.



Kuva 4. Kasvihuonekaasupäästöt Etelä-Savossa vuonna 2005–2021 (Hiilineutraali Suomi, 2022)

Kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttaa useat seikat. Etelä-Savossa väestön määrä on vähentynyt, mikä voisi osittain selittää kulutussähkön ja lämmityksen kasvihuonekaasupäästöjen vähentymistä. Kuitenkin näiden päästöjen määrä on puolittunut vuodesta 2005, eli myös energianlähteet ovat muuttuneet. Lisäksi päästöt myös asukasta kohden ovat vähentyneet. Koko Suomessa sähkön- ja lämmöntuotannon kasvihuonekaasupäästöt ovat vähentyneet 2000-luvulla, mikä vähentää myös Etelä-Savossa kasvihuonekaasupäästöjen määrää (Hiilineutraali Suomi, 2022). Myös esimerkiksi Etelä-Savossa Mikkelissä sijaitsevassa Purssialan voimalaitoksessa on vähennetty turpeen käyttöä energiantuotannossa 2010-luvulla (Etelä-Savon Energia Oy, 2018). Se on vähentänyt paikallisen energian tuotannon kasvihuonekaasupäästöjä. Tieliikenne nojaa edelleen vahvasti fossiilisiin polttoaineisiin, joka onkin yksi suurimmista haasteista hiilineutraalin Suomen saavuttamiseksi vuoteen 2035 mennessä. Pieni päästöjen vähentyminen tieliikenteen osalta voi selittyä liikennemäärän vähentymisellä ja autokannan uudistumisella.

3 Aurinkoenergia

Lähes kaikki energia maapallolla on suorasti tai epäsuorasti peräisin auringon säteilystä. Suoraan auringon säteilyn avulla voidaan tuottaa lämpöä ja sähköä. Sähköä voidaan tuottaa aurinkopaneelilla ja keskittävällä aurinkovoimalla. Erilaiset aurinkokeräimet sen sijaan tuottavat lämpöä. Aurinkoenergia on hajautettua energiantuotantoa, sillä laitokset ovat yleensä pieniä ja tuotanto tapahtuu lähellä sähkön käyttäjiä. Hajautetussa energiantuotannossa sähköntuottaja myös usein kuluttaa itse osan tai kaiken tuottamansa energian.

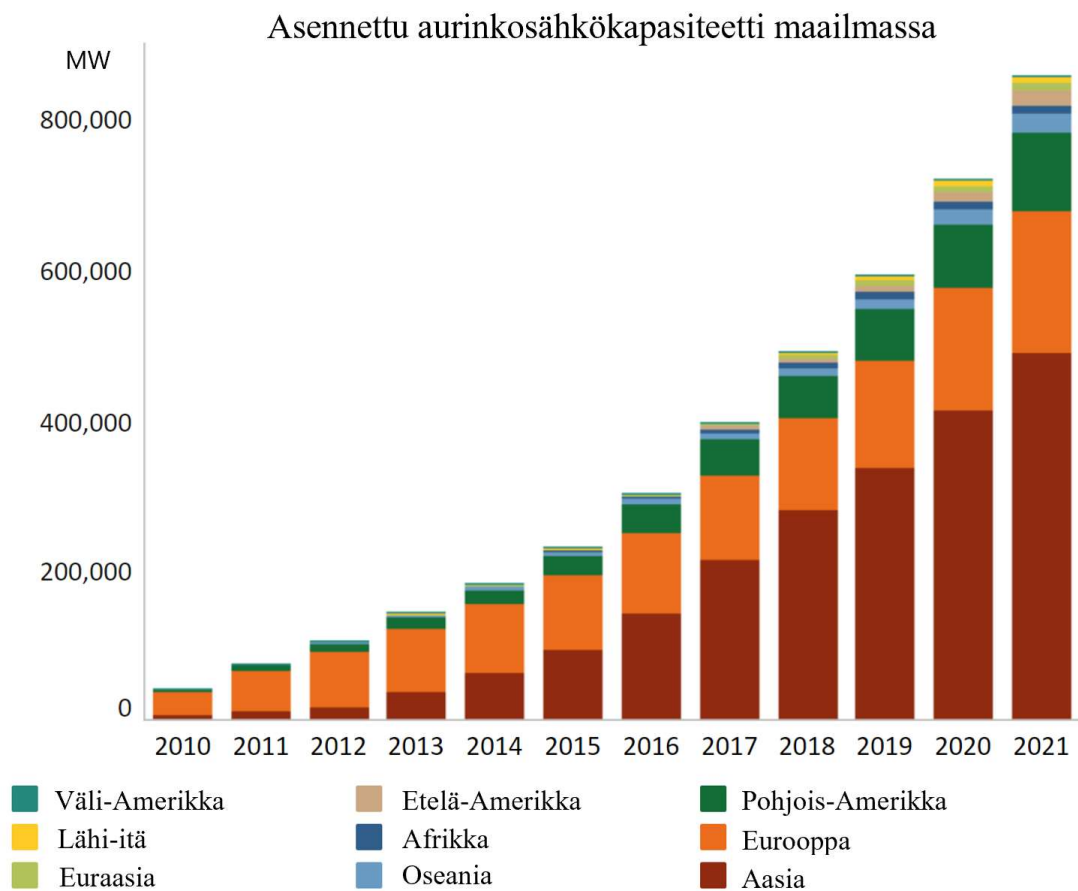
Vuonna 2021 aurinkosähkön tuotanto maailmassa oli yhteensä noin 1000 TWh. Tuotanto kasvoi edellisestä vuodesta 179 TWh, eli noin 22 %. Absoluuttinen kasvu oli vain hieman pienempi kuin tuulivoimalla. Erityisesti tuotanto lisääntyi Kiinassa, jonka osuus uudesta tuotannosta oli 38 % vuonna 2021. Toiseksi eniten, 17 % kasvusta oli Yhdysvalloissa ja noin kymmenes Euroopassa. Kapasiteetti kasvoi vuonna 2021 lähes 190 GW, joka on suurin vuosittainen kasvu tähän asti. Tämän odotetaan kasvattavan aurinkosähkön tuotantoa entisestään vuonna 2022. (IEA, 2022b.)

Erityisesti erilaiset kansainväliset ja kansalliset säädökset ja tavoitteet kannustavat aurinkovoiman lisäämistä. Esimerkiksi Kiina ilmoitti kesällä 2022 tavoitteekseen, että vuoteen 2025 mennessä kolmannes sähköntuotannosta on uusiutuvista energianlähteistä. ”Inflation Reduction Act” julkaistiin Syksyllä 2022 Yhdysvalloissa. Se laajentaa uusiutuvien energianlähteiden tukea seuraavaksi kymmeneksi vuodeksi esimerkiksi verovähennyksillä. Euroopan komissio on asettanut keväällä 2022 tavoitteeksi kasvattaa uusiutuvien energianlähteiden osuutta 45 prosenttiin. Se vaatisi noin 1236 GW uusiutuvien energianlähteiden kapasiteetin lisäämistä, josta aurinkovoiman osuus olisi noin 600 GW. Venäjän hyökkäys Ukrainaan keväällä 2022 ja sen aiheuttama energiakriisi on saanut monet eurooppalaiset maat lisäämään erilaisia uusiutuvan energian tukimekanismeja. (IEA, 2022b.)

Aurinkopaneelit ovat muuttumassa edullisimmaksi vaihtoehdoksi sähköntuotantoon lähes joka puolella maailmaa, joten kasvun odotetaan jatkuvan. Kuitenkin esimerkiksi IEA:n ”Net Zero Emissions by 2050” skenaario vaatisi toteutuakseen 25 % vuosittaisen tuotannon kasvun vuosina 2020–2030. Tämän skenaarion tavoite vuonna 2030 on saavuttaa noin 7400 TWh tuotanto. Vaikka viimeisen viiden vuoden aikana vuosittainen kasvu on ollut lähellä

tavoitetta, tarvitaan edelleen toimenpiteitä, jotta kasvutahti pysyy yllä markkinoiden kasvaessa. (IEA, 2022b.)

Yli puolet asennetusta aurinkosähkökapasiteetista maailmalla on Aasiassa, erityisesti Kiinassa. Aasian jälkeen Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa on eniten aurinkosähkökapasiteettia. Kuvasta 5 nähdään, että vuosittainen kapasiteetin kasvu kiihtynyt viime vuosina. Kapasiteetti on yli kaksinkertaistunut vuodesta 2017 vuoteen 2021. Lähes kaikki nykyisestä kapasiteetista on asennettu vasta viimeisen 10 vuoden aikana.



Kuva 5. Asennettu aurinkosähkökapasiteetti maailmassa, muokattu (IRENA, 2022a)

3.1 Aurinkoenergia Suomessa

Vuonna 2021 asennettua aurinkosähkökapasiteettia Suomessa oli 404 MW. Lisäystä edelliseen vuoteen verrattuna oli 86 MW. Aurinkosähköä tuotettiin Suomessa vuonna 2020 218,5 GWh, mikä on 0,6 % uusiutuvasta sähköntuotannosta. (IRENA, 2022b.)

Kuvassa 6 nähdään aurinkosähkön tuotanto vuosittain Suomessa. Tuotantomäärän kasvu on kiihtynyt edellisvuosina. Määrä on kuitenkin alkanut kasvanut vasta noin viimeisen viiden vuoden aikana. Tuotanto on edelleen hyvin pientä verrattuna sähkön kokonaistuotantoon Suomessa. Vuonna 2021 sähkön tuotanto oli yhteensä hieman yli 70 000 GWh, josta aurinkosähkön osuus on noin 0,42 prosenttia. (IEA, 2022a.)



Kuva 6. Aurinkosähkön tuotanto Suomessa vuonna 2005–2021 (IEA, 2022a)

Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti on kasvanut Suomessa viime vuosina merkittävästi. Suurin osa kapasiteetista on niin sanottua pientuotantoa, eli alle 1 MW laitoksia. Energiaviraston ylläpitämässä voimalaitosrekisterissä on listattu yli 1 MW voimalaitosyksiköitä. Aurinkovoimalaitoksia on marraskuussa 2022 päivitetystä rekisteristä 3 kappaletta, joiden kapasiteetti on yhteensä 4,2 MW. Lempäälässä sijaitsee Lempäälän energian kaksi aurinkopaneelikenttää, joiden molempien kapasiteetti on 1,8 MW. Lisäksi Nurmon Aurinko Oy:n laitos Seinäjoella on 1 MW laitos. Voimalaitosrekisterin tiedot perustuvat voimalaitosten haltijoiden ilmoituksiin. (Energiavirasto, 2022c.) Rekisterissä ei ole kaikkia Suomessa olevia suuria aurinkopuistoja, esimerkiksi sellaisia, joiden tuotanto myydään suoraan asiakkaalle.

Nurmossa Atrian tehtaiden yhteydessä on tällä hetkellä Suomen suurin aurinkopuisto (kuva 7), jonka teho on 5,9 MW ja paneelipinta-ala on yhteensä 36 000 m². Paneeleita on noin 22 000 kappaletta, joita on asennettu sekä maa- että kattoasennuksena. Laitos tuottaa sähköä noin 4250 MWh vuodessa, joka on noin 5 prosenttia Atrian vuotuisesta sähkönkulutuksesta. Puisto valmistui vuonna 2018 ja oli Suomen ensimmäinen suuremman kokoluokan

aurinkosähköhanke. Aurinkovoimalassa on myös syksyllä 2022 aloitettu aurinkopuiston laajennuksen asennukset. Puistoon asennetaan kaksipuoleisia aurinkopaneeleita (bi-facial), joiden hyötysuhde on parempi, sillä ne hyödyntävät myös paneelin takapuolelle heijastuvan hajasäteilyn sähköntuotannossa. Laajennusosan teho on arviolta 5 MW, ja laajennusosan jälkeen koko laitoksen arvioitu vuotuinen sähköntuotanto on noin 9 000 MWh, mikä vastaa 8 prosenttia Atrian vuotuisesta sähkönkulutuksesta. Laajennusosan kokonaiskustannusarvio on 2,7 miljoonaa euroa. Business Finland on myöntänyt hankkeen toteuttajalle Nurmon Aurinko Oy:lle 20 prosentin energiatuen. (Solarigo, 2022.)



Kuva 7. Atrian aurinkopuiston kenttä (Solarigo, 2022)

Suurempien yli 1 MW laitosten lisäksi Suomessa on pienempiä aurinkovoimalaitoksia pientaloissa ja esimerkiksi kauppakeskusten tai muiden suurten rakennusten katoilla, kuten myös maa-asennettuina. Esimerkiksi Etelä-Savossa Enonkoskella on asennettu vuonna 2017 huipputeholtaan 9,5 kW aurinkosähköjärjestelmä liikuntatalon katolle. Se tuottaa sähköä lähinnä valaistukseen ja ilmastoinnille, sillä rakennusta lämmitetään kaukolämmöllä. Yhteensä 40 aurinkopaneelia tuottaa lähes kaiken liikuntatalon tarvitsemasta sähköstä. Järjestelmän kokonaiskustannus oli 12 500 euroa, josta 25 % on saatu avustuksena elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselta. Vuoden 2017 sähkön hinnoilla laskettu takaisinmaksuaika järjestelmälle on noin 12 vuotta. (Puruvesi, 2017.)

Suomessa vuonna 2021 verkkoon liitetty pientuotantokapasiteetti oli lähes 400 MW. Vuotta aikaisemmin asennettu kapasiteetti oli hieman alle 300 MW ja vuonna 2019 noin 200 MW. Aurinkosähkökapasiteetti, jota ei ole kytketty verkkoon, oli arviolta noin 22 MW vuonna 2021. Verkkoon kytkemätön pientuotantokapasiteetti on asennettu yli 55 000 pientaloon, suurimmaksi osaksi vapaa-ajan asuntoihin. (Energiavirasto, 2022a.)

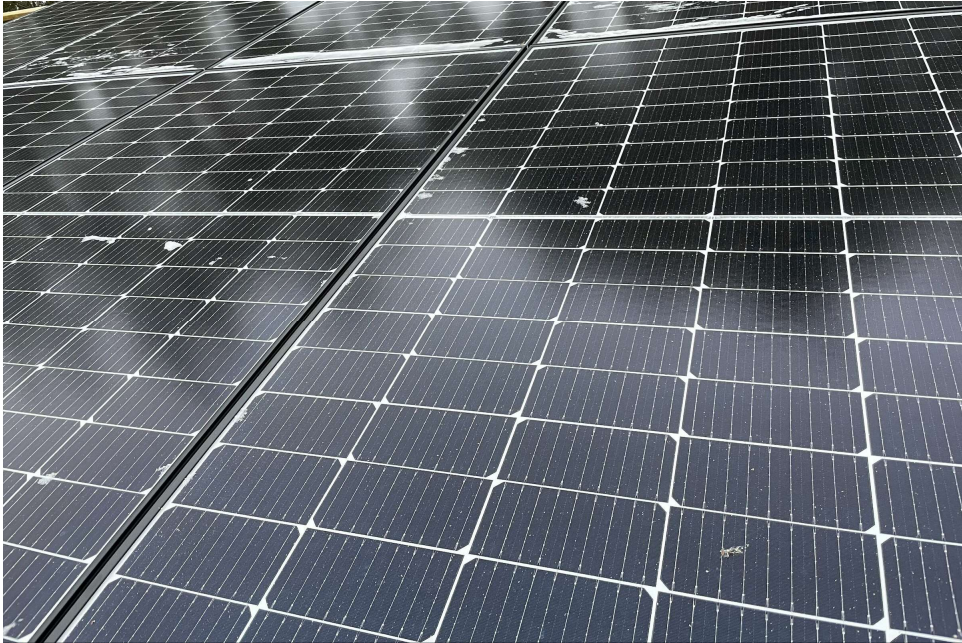
3.2 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeleilla voidaan tuottaa sähköä auringon säteilyn avulla. Sähkön tuotanto aurinkopaneelissa perustuu valosähköiseen ilmiöön. Sähkövirta muodostuu, kun auringon säteilyn fotonit luovuttavat energiansa puolijohdemateriaalin pinnalla olevalle elektronille ja irrottaa sen. (Lehto, et al., 2021.)

Aurinkokennoja on erilaisia, joista yksi- ja monikiteiset piikennot ovat yleisimpiä kaupallisissa aurinkopaneeleissa. Monikiteiset piikennot ovat hyötysuhteeltaan hieman heikompia kuin yksikiteiset piikennot (kuvassa 8), mutta ne ovat edullisempia. (Lehto, et al., 2021, p. 12.) Tässä tutkielmassa tarkastellaan tarkemmin yksi- ja monikiteisiä piikennoja. Lisäksi on erilaisia ohutkalvopaneeleita sekä orgaanisia aurinkokennoja, jotka ovat kehittämisasteella.

Ohutkalvopaneelit ovat nimensä mukaisesti ohuita ja kevyempiä kuin piikennot. Niiden hyötysuhde on noin 4–11 prosenttia, eli heikompi kuin piikennoilla ja osassa on käytetty myrkyllisiä aineita, kuten kadmiumia. CIGS-ohutkalvopaneeleilla (Copper, indium, gallium, selenide) hyötysuhde voi olla suurempi, jopa 15 prosenttia. Orgaaniset aurinkokennot ovat edullisia, mutta ne ovat hyvin lyhytikäisiä. (Singh, et al., 2021, p. 23.)

Tulevaisuudessa erilaiset aurinkopaneelit ja järjestelmät voivat yleistyä perinteisten piikennopaneelien lisäksi. Esimerkiksi rakennusten katoille voidaan asentaa suoraan kattomateriaaliin integroitu aurinkovoimala, eli niin sanottu aurinkokatto. Aurinkokatoissa voidaan käyttää ohutkalvopaneeleita tai piikennoja, jotka ovat integroitu suoraan kattomateriaaliin. Ne ovat huomaamattomampia kuin perinteiset katolle asennetut aurinkopaneelit ja aurinkokaton kustannukset voivat olla pienemmät kuin uuden katon ja erillisten paneelien hankinta yhteensä. Aurinkokatot voivat olla siis varteenotettava vaihtoehto erityisesti uudiskohteissa sekä vanhan katon uusimisen yhteydessä.



Kuva 8. Yksikiteinen piikkenno

Aurinkopaneeli koostuu useista kennoista, jotka ovat liitetty sarjaan kasvattaen jännitettä sekä rinnan kasvattaen virtaa. Kennot on päällystetty karkaistulla lasilla ja takaa vedenpitävällä laminoidulla suojalla. Aurinkopaneelin reunat on päällystetty vedenpitäviksi ja koko paneelia ympäröi alumiininen kehys. Liitännät on aurinkopaneelin takana. (Singh, et al., 2021, pp. 20-21.)

Standardiolosuhteissa (Standard Test Condition, STC), jossa aurinkokennon lämpötila on 25 °C ja siihen tuleva säteily määrä on 1000 W/m², aurinkopaneelin enimmillään tuottamaa tehoa kutsutaan piikkiwatiksi W_p . Se on aurinkopaneelin nimellisteho. Todellisuudessa paneeli voi tuottaa sähköä hetkellisesti suuremmalla teholla, jos säteilyä on enemmän kuin 1000 W/m² ja vastaavasti vähemmän, jos säteilyä on vähemmän. Myös lämpötila vaikuttaa paneelin sähköntuotantoon, sillä lämpötilan kasvaessa paneelin teho heikkenee. Yleisesti 1 kW_p järjestelmä vaatii noin 5 m² paneelipinta-alan ja sillä voidaan tuottaa Etelä-Suomessa sähköä noin 800–1000 kWh vuodessa ja Pohjois-Suomessa karkeasti 100 kWh vähemmän. (Motiva Oy, 2022c.)

Aurinkopaneelien tekninen elinikä voi olla jopa yli 30 vuotta. Tehotuottotakuu takaa tietyn tehon tietyllä ajanjaksolla. Esimerkiksi tavallinen tehotuottotakuu voi olla, että aurinkopaneeli tuottaa sähköä teholla, joka on vähintään 90 prosenttia valmistajan ilmoittamasta

nimellistehosta ensimmäisen 10 vuoden aikana ja 80 prosenttia 25 vuoden aikana. Yleisesti paneelien materiaali- ja valmistusvirhetakuu on 12 vuotta, mutta niiden pituus vaihtelee. Muiden komponenttien elinikä on yleensä noin puolet paneelien eliniästä. (Motiva Oy, 2022c.)

Energian takaisinmaksuaika tarkoittaa aikaa, jolloin energiantuotantolaitos, esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmä, on tuottanut sen valmistamiseen kuluneen energiamäärän takaisin. Aurinkosähköjärjestelmillä tämä aika on noin alle vuodesta viiteen vuoteen. Sähkö, joka on tuotettu aurinkopaneelien avulla, on päästötöntä, mutta aurinkopaneelien elinkaareen liittyy muita ympäristövaikutuksia. Niiden valmistukseen käytetään materiaaleja, joiden saatavuus voi aiheuttaa ongelmia tulevaisuudessa. Esimerkiksi hopean, alumiinin, indiumin, telluurin ja galliumin riittävyys voi olla haasteellista. Materiaalien kierrätys aurinkopaneelien elinkaaren lopussa olisi erityisen tärkeää, jotta metalleja voitaisiin kierrättää. Tämä on myös muiden teknologioiden ja valmisteteollisuuden haaste, aurinkoenergian lisäksi. (Finsolar, 2015.)

3.3 Tuotannon ja hyötysuhteen laskeminen

Paneelin hyötysuhde voidaan laskea

$$\eta = \frac{P_{max}}{A * 1000 \text{ W/m}^2} \quad (1)$$

jossa on hyötysuhde [-], P_{max} on paneelin huipputeho [W], A paneelin pinta-ala [m^2] ja 1000 W/m^2 on standardiolosuhteiden säteily määrän [W/m^2].

Esimerkiksi, standardiolosuhteissa 1000 W/m^2 säteily määrällä ja paneelilla, jossa 1 kW vaatii noin 5 m^2 pinta-alan, paneelin hyötysuhde on 20% . Kun säteily määrä on pienempi, paneeli tuottaa sähköä pienemmällä teholla.

Paneelin hyötysuhteen, lämpötilan sekä säteilyn määrän lisäksi tuotantoon vaikuttaa paneelin suuntaus, kallistus, varjostukset ja puhtaanapito. Myös järjestelmän muiden osien kuten invertterin ja mahdollisen akuston hyötysuhde vaikuttaa koko järjestelmän hyötysuhteeseen. (Motiva Oy, 2022c.)

Tuotetun energian määrä voidaan laskea

$$E = P * t * \eta \quad (2)$$

jossa P on järjestelmän teho [W], t on aika [h] ja η on paneelin hyötysuhde [-].

Tuotanto voidaan laskea myös säteilyvoimakkuuden avulla

$$E = \text{säteilyvoimakkuus} * A * \eta \quad (3)$$

jossa säteilyvoimakkuus [Wh/ m²], A on paneelin pinta-ala [m²], η paneelin hyötysuhde [-].

Säteilyvoimakkuus riippuu kallistuksesta, suuntauksesta, sijainnista. Se voidaan esittää esimerkiksi kuukausittain tai vuoden kokonaissäteilyvoimakkuutena. Se vaihtelee myös hie- man sään mukaan. Esimerkiksi Helsingissä vuotuinen säteilyvoimakkuus 45 asteen kallis- tuksella, etelään päin on noin 1200 kWh/ m² (Motiva, 2022a). Paneeli, hyötysuhde on 20 % ja jossa 1kW vaatii 5 m² pinta-alan tuottaa vuodessa siis noin 1200 kWh. Todellisuudessa häviöitä syntyy muun muassa invertteristä ja kaapeleista, liasta ja varjostuksista.

Vuosittaista tuotantoa voi kuitenkin mallintaa helposti erilaisilla vapaasti saatavilla mallin- nustyökaluilla ja laskureilla. Muutamia niistä on esitelty myöhemmin.

3.4 Tuotantoon vaikuttavat tekijät

Suuntaus, kallistus, varjostukset ja lämpötila vaikuttavat merkittävästi aurinkosähköjärjes- telmän tuottoon ja ne on otettava huomioon järjestelmän suunnittelussa ja asennuksessa. Suuntauksella tarkoitetaan ilmansuuntaa mihin päin paneelit ovat asennettu. Etelään suun- nattujen aurinkopaneelien suuntauskulma on 0°, itään -90° ja länteen 90°. Suuntauksesta voidaan käyttää myös nimitystä variaatio tai atsimuutti. Suuntauksella on vaikutusta aurin- kosähköjärjestelmien tuotannon määrään ja myös tuotannon ajankohtaan erityisesti vuoro- kauden aikana. Lounaaseen päin suunnatun aurinkopaneelin tuotanto painottuu iltaan, kaak- koon suunnatun sen sijaan aamuun. Etelään suunnattu aurinkopaneeli tuottaa vuositasonla- eniten. (Lehto, et al., 2021, pp. 19-20.)

Kallistus vaikuttaa erityisesti vuosituotannon jakautumiseen. Paneelit, jotka makaavat maan pinnan mukaisesti ovat kallistuskulmassa 0° ja poikkisuuntaan maanpinnasta 90°. Yli 60° ja alle 30° kallistus alkaa heikentää vuosituotantoa. Kesällä suurin tuotanto saadaan lähes 0° kallistuksella, sen sijaan talvella paras tuotanto saadaan 90° kallistuksella. Tällainen kallis- tus ei ole järkevää, jos vuosittainen tuotanto halutaan optimoida mahdollisimman suureksi.

Kuitenkin jossain tilanteissa voi olla tarve maksimoida tuotanto tietyssä vuodenaikana. Noin 45° kallistus tuottaa vuositasolla eniten. (Lehto, et al., 2021, p. 21.)

Varjostus vaikuttaa merkittävästi aurinkopaneelien tuotantoon. Aurinkopaneeliin osuva pienikin varjo heikentää koko paneelin tuotantoa. Varjostukset on varmistettava ennen järjestelmän hankintaa ja asennusta. Lämpötila vaikuttaa myös tuotantoon. Paneelien korkea lämpötila heikentää tuottoa, joten tuuletus on otettava huomioon asennettaessa. Suomessa viileä sää on etu, sillä paneelien tuotanto on parempaa viileässä lämpötilassa. Piikennoissa yhden asteen lämpötilan nousu paneelissa vähentää noin 0,4 prosenttia tehoa verrattuna STC eli standardiolosuhteisiin (25 °C). (Lehto, et al., 2021, pp. 21-23.)

Näiden tekijöiden huomioon ottaminen ja yhteisvaikutuksen arvioiminen voi olla haastavaa, sillä eri kohteissa olosuhteet vaihtelevat. Esimerkiksi jotta varjostus vältetään, voi suuntausta joutua muuttamaan huonommaksi. Tällöin tuotto saattaa kuitenkin olla parempi sillä varjostusta ei ole. Jossain tapauksissa ei ole mahdollista vaikuttaa esimerkiksi suuntaukseen tai kallistukseen, jolloin on päätettävä, onko järjestelmän asennus kannattavaa. (Lehto, et al., 2021, p. 21.) Vaikka pientuotannossa katolle asennus on yleensä suositumpaa, on paneelien asentaminen maa-asennuksena myös vaihtoehto. Mikäli sopivaa kattoa ei ole esimerkiksi varjostusten tai suuntauksen takia, voi maa-asennus olla järkevää. Maa-asennusta varten täytyy löytyä sopiva paikka ja etäisyys kiinteistön sähkökeskukseen on huomioitava.



Kuva 9. Asennusvaiheessa oleva maa-asennettu 7,6 kWp aurinkosähköjärjestelmä vapaa-ajan asunnon tontille

3.5 Varastointi

Aurinkosähköjärjestelmien haasteena on, että tuotantoa ei voi säädellä. Tuotanto perustuu ainoastaan auringon säteilylle, sekä osittain hajasäteilylle. Suomessa tuotanto on erityisen pientä varsinkin talven pimeimpinä kuukausina, sekä luonnollisesti yöllä. Sen sijaan kesällä tuotantoa on enemmän. Tuotannon vaihtelun haasteeseen voidaan vastata varastoimalla tuotettua sähköä sekä joustamalla kulutusta.

Pienkiinteistöjen on-grid-järjestelmissä akut ovat harvinaisia, sillä ne eivät ole taloudellisesti kannattavia. Akkujärjestelmät ovat kallis investointi ja ne vaativat huoltoa. Tulevaisuudessa tekniikan kehittyessä ja akustojen hintojen alentuessa sekä energian hinnan vaihtelun lisääntymisen myötä akut voivat yleistyä myös on-grid-järjestelmissä. (Lehto, et al., 2021, p. 63.) Akut voivat toimia lisäksi varalähteenä, mikäli yleisessä verkossa on häiriö.

Varastointi on sen sijaan yleistä off-grid-järjestelmissä. Esimerkiksi mökkijärjestelmissä akusto on kannattava osa järjestelmää, jotta tuotettu sähkö voidaan hyödyntää lähes kokonaan. Usein sähköntarve on pieni ja se sijoittuu kesälle, jolloin aurinkosähkön tuotantokin on suurinta. Lisäksi tällaiset kohteet eivät usein ole yhteydessä yleiseen verkkoon.

Varastointimenetelmät ovat kalliita suuressakin kokoluokassa. Akut ja pumppuvoimalaitokset ovat yleisimpiä varastointimenetelmiä maailmassa. Pumppuvoimalaitoksissa vettä pumpataan korkeampaan potentiaaliin silloin kun sähkön ylituotantoa on. Kun sähköä tarvitaan lisää, voi vettä juoksuttaa vesivoimalan läpi, jolloin se tuottaa sähköä. Akkuja voi olla myös teollisen mittakaavan sähkönvarastona, mutta ne ovat kallis investointi. (Singh, et al., 2021, pp. 109-113.) Suomessa sähkön teolliseen kokoluokan varastointia ei juurikaan vielä ole.

Älykäs sähköverkko (Smart grid) tarkoittaa sähköverkkoa, jossa automaation avulla sääriippuvaisen sähköntuotannon vaihtelua vakautetaan ohjaamalla kulutusta. Hetkellisiä sähkökuormia ja vaihtelevaa tuotantoa liitetään hallitusti yhteen, kuten myös ohjattavia sähkökuormia ja tuotantoa. Mikäli sääriippuvaisen sähköntuotannon, eli aurinko- ja tuulivoiman tuotanto ylittää kulutuksen, ylituotantoa voitaisiin esimerkiksi varastoida eri tavoilla ja sitä voitaisiin hyödyntää vedyn tuotannossa. (Motiva Oy, 2022g.)

Sähköautot toimivat myös eräänlaisina sähkövarastoina ja ne voivat olla ratkaisu vakauttamaan sähköverkkoja, kun säästä riippuvainen sähköntuotanto lisääntyy. Esimerkiksi pienkiinteistöissä voidaan ajoittaa sähköauton lataaminen aurinkosähköjärjestelmän

ylituotannon ajaksi tai kun sähkö on edullista. Akkua voitaisiin hyödyntää pienkiinteistön energiantarpeeseen ajankohtina, jolloin omaa sähköntuotanto ei vastaa kulutusta tai kun sähkön hinta on korkea. Tällaista kutsutaan V2H eli ”Vehicle-to-home” järjestelmäksi. V2G eli ”Vehicle-to-grid” järjestelmässä sähköauton akkua voidaan purkaa verkkoon silloin kuin sähkön kokonaiskysyntä on suurta. Nykyisissä sähköautoissa ei juurikaan ole tekniikkaa, mikä mahdollistaisi tämän järjestelmän käyttämistä. Kuitenkin joitain malleja on jo markkinoilla. Lisäksi tarvitaan latausasemia, joissa tekniikkaa voidaan hyödyntää. Sähköautoja tarvitaan myös määrällisesti lisää. Tällaiset järjestelmät ovat testausvaiheessa. (Verkor, 2022.)

Sähköautojen hyödyntäminen sähkön varastoinnissa hyödyttäisi sekä yksittäisiä sähkön pientuottajia, joilla on sähköauto käytössä, että koko energiamarkkinoita kulutuksen ja tuotannon tasapainottamisessa. Vaikka sähköautossa ei olisi tällaisia ominaisuuksia, kannattaa sen lataaminen ajoittaa mahdollisuuksien mukaan silloin, kun ylituotantoa on, sillä se on taloudellisinta.

Useammat varastointimahdollisuudet eivät kuitenkaan ole ratkaisu talven energiantarpeeseen, vaan lyhyempiaikaisiin kulutuksen ja tuotannon vaihteluihin, esimerkiksi muutaman vuorokauden sisällä. Aurinkosähkön lisäksi Suomessa täytyy panostaa muihin uusiutuviin energianlähteisiin.

3.6 Muut komponentit aurinkosähköjärjestelmässä

Aurinkopaneelijärjestelmä voi olla liitetty valtakunnalliseen verkkoon, jolloin puhutaan on-grid-järjestelmästä. Sen sijaan off-grid-järjestelmä ei ole yhteydessä valtakunnan verkkoon. Tällaiset itsenäiset järjestelmät ovat yleisiä erityisesti vapaa-ajanasunnoissa. Aurinkosähköjärjestelmä, joka on liitetty verkkoon, tarvitsee vaihtosuuntaajan eli invertterin. Vaihtosuuntaaja muuttaa aurinkopaneelin tuottaman tasavirran vaihtovirraksi, jolloin se on käytettävissä kiinteistön sähköverkossa ja jakeluverkossa. Kiinteistön sähköpääkeskukseen aurinkopaneelit liitetään invertterin kautta. On hyvä huomioda, että mikäli yleisessä sähköverkossa on häiriöitä, tulee verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän pysäyttää sähkönsyöttö verkkoon. On-grid-aurinkosähköjärjestelmää ei voida siis käyttää varavoimana sähkökatkon aikana ilman erillisiä toimenpiteitä maadoituksessa ja verkon erotuksessa. Tällaiset järjestelmät eivät ole kovin yleisiä. (Lehto, et al., 2021, pp. 49-50.)

Invertteri voi olla 1- tai 3-vaiheinen. Pienissä alle 3kWp järjestelmissä 1-vaiheinen invertteri on usein ainoa vaihtoehto, koska 3-vaihteisia inverttereitä ei ole saatavilla markkinoilla. 1-vaihteinen invertteri muuttaa tasavirran vaihtovirraksi, joka kytketään verkon yhteeseen vaiheeseen, kolmen sijasta. Vain sähkölaitteet, jotka ovat kytketty siihen vaiheeseen voivat hyödyntää tuotettua aurinkosähköä. 3-vaiheinen invertteri muuttaa tasavirran vaihtovirraksi ja se kytketään kaikkiin kolmeen vaiheeseen. Näin saadaan usein suurin hyöty aurinkosähköjärjestelmästä, sillä 3-vaiheista sähköä voidaan syöttää kaikkiin sähkölaitteisiin. Hyöty riippuu kuitenkin siitä, millaisia sähkölaitteita kiinteistössä on ja miten ne on ryhmitelty. (Motiva Oy, 2022e.)

Pienikiinteistöissä on mahdollista asentaa yhden invertterin sijasta useampi mikroinvertteri. Mikroinvertteri liitetään paneelikohtaisesti järjestelmään. Kun osa paneeleista on varjossa, järjestelmä, jossa on mikroinverttereitä tuottaa tehokkaammin sähköä verrattuna yhden keskitetyn invertterin järjestelmään, jossa sarjaan kytketty järjestelmän tehontuotto pienenee varjostuksen takia. Vaikka tuotanto voi olla hieman suurempaa järjestelmällä, jossa on mikroinverttereitä, niiden investointikustannukset ovat tavallisesti suuremmat kuin yhden invertterin järjestelmällä. Koska mikroinverttereitä käytettäessä komponenttien määrä kasvaa, samalla järjestelmän huoltovarmuus heikkenee. Myös komponenttien takuu-aika olisi hyvä ottaa huomioon. (Motiva Oy, 2022e.)

3.7 Kuntien keinot edistää aurinkoenergian kasvua

Kunnat voivat edistää aurinkoenergiaan investointia ja käyttöönottoa alueellaan erilaisilla keinoilla. Aurinkoenergian tukeminen on kannattavaa, sillä se kasvattaa energiaomavaraisuutta, tukee paikallista työllisyyttä ja vähentää päästöjä. Kunnan asettamat kunnianhimoiset tavoitteet liittyen päästöjen vähentämiseen, energiaomavaraisuuteen ja uusiutuvaan energiaan ajavat aurinkoenergian hankintaan. Myös Suomen tavoite hiilineutraalista yhteiskunnasta vuoteen 2035 kannustaa kuntia asettamaan kunnianhimoisia ilmastotavoitteita.

Kaavoituksessa, maankäyttösopimuksissa ja tontinluovutusehdoissa voidaan ottaa huomioon edellytykset aurinkoenergian käyttöönotolle. Esimerkiksi rakennusten lappeat voidaan kaavoittaa niin, että niihin on optimaalista asentaa aurinkopaneeleita tulevaisuudessa, eli lounaaseen, etelään tai kaakkoon. Lisäksi varjostukset puista ja muista rakennuksista tulisi ottaa huomioon kaavoituksessa ja ehkäistä niiden synty. Energiatehokkaaseen

rakentamiseen ja aurinkoenergian käyttöön voidaan velvoittaa maankäyttösopimuksissa ja tontinluovutusehdoissa. Myös laatutavoitteilla, suunnitteluvaatimuksilla ja -suosituksilla voidaan rakennusalueen suunnittelijoita kannustaa mahdollistamaan aurinkoenergian käyttöönotto ja hyödyntäminen. Maksullinen toimenpideluvan vaatiminen aurinkoenergiajärjestelmien asentamiseen vaikeuttaa ja viivästyttää aurinkosähköjärjestelmien määrän kasvua. Kuntien kannattaisi vapauttaa aurinkoenergiajärjestelmät toimenpideluvan piiristä, jolloin ilmoitus riittäisi, ellei järjestelmä vaikuta oleellisesti kaupunkikuvaan tai ympäristöön. Eri kunnissa voi olla vielä erilaisia lupamenettelyt. (Finsolar, 2016.)

Kunnat voivat tarjota maata ja kiinteistöjen kattoja edullisella vuokralla aurinkoenergiajärjestelmien käyttöön, mikä on matalan riskin keino tukea paikallista aurinkoenergian tuotantoa. Kunnan alueelle tehtäviä aurinkoenergiainvestointeja voidaan myös tukea lainan takauksella. Se on mahdollista, mikäli takaus ei vääristä markkinoiden kilpailutilannetta. (Finsolar, 2016.)

Kunnat voivat myös itse suoraan investoida aurinkoenergiaan. Se on tietenkin tehokas tapa lisätä aurinkoenergian tuotantoa paikallisesti ja samalla myös edistää aurinkoenergian tunnettavuutta alueella. Hankintayhteistyötä toisten kuntien kanssa tai paikallisten yritysten ja yhteisöjen kanssa kannattaa erityisesti pienten kuntien harkita. Kunnille aurinkoenergian hyödyntäminen on myös imagoa kohentava tekijä. Aurinkoenergiaan investoiminen vaikuttaa välillisesti myös aluetalouteen, elinkeinoelämään ja ympäristöön. Nämä vaikutukset tulisi ottaa huomioon julkisen sektorin hankinnoissa. (Finsolar, 2016.)

3.8 Aurinkosähkön tuotannon edut ja haasteet

Aurinkosähkön tuotantoon liittyy sekä etuja että haasteita, kuten muihinkin energiantuotantotapoihin. Etuja ja haasteita on taulukoitu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Aurinkosähkön tuotannon edut ja haasteet, mukailten (Singh, et al., 2021, pp. 3-4)

Edut	Haasteet
Uusiutuva energianlähde	Tuotanto vaihtelee
Päästötön sähköntuotantotapa	Varastointi kallista
Nopea asentaa	Vaatii paljon pinta-alaa
Pitkä käyttöikä	Luonnonvarojen riittävyys?
Vähäinen huollontarve	Tuotannon niukkuus talvella tietyillä alueilla
Sopii erilaisiin kohteisiin	Suuri alkuinvestointi
Voidaan asentaa lähelle asutusta	Tuottaa tasasähköä, verkkoon kytkettynä vaatii invertterin
Laitoksen koko muunneltavissa	
Ei merkittävää maisema- tai meluhaittaa	
Ei polttoainekustannuksia	

3.8.1 Edut

Aurinkoenergian yksi merkittävä etu on se, että aurinkopaneeleilla tuotettu sähkö on uusiutuvaa, eikä se tuota kasvihuonekaasupäästöjä, kuten hiilidioksidia. Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää lähes joka puolella maapalloa.

Aurinkopaneelien asentaminen on nopeaa ja ne vaativat vain vähän kunnossapitoa. Niiden käyttäminen ei myöskään vaadi jatkuvasti henkilökuntaa, eikä luonnollisesti mitään polttoainetta tai esimerkiksi suuria määriä vettä, joita tarvitaan monessa muussa energiantuotantotavassa. Tuotannon aikaiset kulut ovat hyvin pieniä verrattuna alkuinvestointiin. Laitoskoko on helposti säädettävissä, koska laitokset koostuvat useista komponenteista. Se mahdollistaa myös laitokseen kasvattamisen myöhemmin ja helpottaa huoltoa. (Singh, et al., 2021, p. 25.)

Myös sähkökäyttäjät voivat ryhtyä energiantuottajiksi, koska aurinkopaneeleita voidaan asentaa muun muassa omakotitalojen katolle. Tämä vähentää asumisen hiilidioksidipäästöjä.

Aurinkopaneelit soveltuvat erinomaisesti pieneen sähköntuotantoon kohteissa, jotka eivät ole yhteydessä yleiseen sähköverkkoon. Aurinkosähköjärjestelmien sijainnille ei ole paljon kriteerejä, eivätkä aurinkosähköjärjestelmät vaadi suurta etäisyyttä esimerkiksi asutuksesta. Myös esimerkiksi rakennusten pintoja voidaan hyödyntää. Aurinkopaneeleista ei synny äänipäästöjä, eivätkä ne vaikuta merkittävästi maisemaan kuten esimerkiksi tuulimyllyt.

3.8.2 Haasteet

Aurinkoenergian tuotanto on täysin riippuvainen säästä ja auringon liikkeistä, eli tuotanto vaihtelee, eikä sitä voi säätää. Tuotantoa ei luonnollisesti ole öisin ja lisäksi vuodenaajat vaikuttavat tuotantoon erityisesti alueilla, joissa päivän pituus on talvella lyhyempi. Suomessa aurinkosähkön tuotanto talvella on merkittävästi pienempää kuin kesällä. Tuotantoon vaikuttaa negatiivisesti lisäksi paneelien päälle kasautuvat asiat, kuten lumi, hiekka tai muu roska.

Tuotannon vaihtelu on haaste, sillä sähkön käytön täytyy tapahtua samaan aikaan kuin tuotannon. Haasteeseen voidaan vastata osittain sähkön varastoinnilla, kuten akuilla. Akkuja voidaan käyttää kuitenkin pääsääntöisesti vain lyhytaikaiseen sähkön varastointiin. Akut ovat lisäksi kalliita ja niiden elinikä on lyhyehkö. (Singh, et al., 2021, p. 25.)

Vaikka laitoskoko on hyvin säädeltävissä, ei yksittäisen laitoksen kokoa pystytä kasvattamaan kovinkaan suureksi, koska samalla vaadittu pinta-ala kasvaa hyvin suureksi. Aurinkopaneelit vaativat paljon pinta-alaa tehoon nähden verrattuna muihin sähköntuotantotapoihin (Singh, et al., 2021, p. 25) Aurinkosähköjärjestelmien laitoskoot ovat melko pieniä verrattuna perinteisiin energiantuotantomuotoihin. Vaikka aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovat laskeneet, on alkuinvestointi suuri, sen sijaan käytön aikana kuluja on vähemmän.

Aurinkopaneelien valmistukseen tarvitaan erilaisia metalleja. Muun muassa hopean, telluurin ja indiumin tuottamiseen ja riittävyteen liittyy haasteita (Singh, et al., 2021, p. 25). Ohutkalvopaneeleissa voi olla esimerkiksi kadmiumia, joka on myrkyllistä. Tulevaisuudessa käytöstä poistettujen aurinkopaneelien materiaalien kierrätykseen olisi tärkeää kiinnittää huomiota.

3.9 Muu aurinkoenergian tuotanto

Keskittävä aurinkovoima on sähkön tuotantoa, jossa kuumennetaan väliainetta keskittämällä auringon säteilyä. Kuumennetun väliaineen avulla tuotetaan sähköä esimerkiksi pyörittämällä turbiinia. Auringon säteilyä keskittävät peilit voivat olla säteilyn vastaanottavan tornin ympärillä tai lineaarisesti, jolloin peilit keskittävät auringonsäteilyä poikittaisiin keräimiin. Tällaiset laitokset ovat usein teollisen mittakaavan laitoksia. (EERE.) Keskittävän aurinkovoiman tuotantoa on merkittävästi vähemmän kuin tuotantoa aurinkopaneeleilla. Vuonna 2021 keskittävällä aurinkovoimalla tuotettiin yhteensä noin 13 TWh sähköä maailmassa, kun taas aurinkopaneeleilla yli 830 TWh (IRENA, 2022c). Keskittävän aurinkovoiman tuotantoa ei ole Suomessa.

Sähköntuotannon lisäksi aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää lämmöntuotannossa. Aurinkoenergian hyödyntäminen voidaan tehdä passiivisesti ja aktiivisesti. Passiivinen hyödyntäminen perustuu aurinkoenergian hyödyntämiseen ilman erillisiä laitteita, jolloin rakennus toimii suoraan lämpövarastona. Esimerkiksi rakennusten ikkunoiden läpi saatava auringonsäteily voi vähentää tilojen lämmitystarvetta. (Motiva Oy, 2020a.) Aurinkokeräimillä tuotettu lämpö on aurinkoenergian aktiivista hyödyntämistä. Aurinkokeräimillä tuotettu lämpö varastoidaan lämmönsiirtonesteen tai ilman avulla lämpövarastoon.

Pientaloissa aurinkolämpöä hyödynnetään yleensä käyttöveden lämmitykseen, ja siihen voidaan yhdistää myös pesu- ja saunatilojen tai kuivauspattereiden lämmitys. Varaajan koosta sekä lataus- ja purkauskytkennöistä riippuu, kuinka kauan lämpöä on käytettävissä. On mahdollista, että aurinkolämpöä voi varastoida myös pilvisempien päivien varalle. Aurinkolämmön tuotanto painottuu kuitenkin talvikauden ulkopuolelle. (Motiva Oy, 2020d.) Aurinkolämpöä voidaan varastoida myös esimerkiksi lämpökaivoihin ja rakennusten alle maaperään.

Teollisen kokoluokan järjestelmiä, eli 50–500 m², on Suomessa vielä melko vähän. Kannattavinta aurinkolämpöä on kohteissa, joissa on suuri tarve suhteellisen alhaisessa lämpötilassa olevalle nesteelle ja kulutusta olisi myös kesäkaudella. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi panimot, pesulat, lomakylät tai uimahallit. (Motiva Oy, 2020c.)

Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää myös kaukolämpönä, mutta Suomessa se on vielä kehitysasteella. Haasteena on, että tuotanto painottuu kesälle, jolloin kaukolämmön kulutus on pienempää. Mikäli aurinkolämmöllä voitaisiin korvata fossiilisia polttoaineita ja se olisi

kilpailukykyinen vaihtoehto tai rakennusmääräykset ja uusiutuvan energian tavoitteet kiristyvät, voi aurinkolämpö lisääntyä kaukolämmön tuotannossa pitkällä aikavälillä. On kuitenkin arvioitu, että Suomessa potentiaali olisi korkeintaan noin 20 GWh vuodessa. (Motiva Oy, 2020b.)

Aurinkolämmön mahdollisuuksia Etelä-Savossa ei käsitellä tarkemmin tässä tutkielmassa.

4 Aurinkosähköjärjestelmät eri kohteissa

Aurinkopaneelit voivat olla toimiva ratkaisu hyvin erilaisiin kohteisiin. Määrällisesti Suomessa on eniten pientuotantolaitoksia, joilla sähkön kuluttaja tuottaa sähköä pääsääntöisesti omaan tarpeeseen. Suuremmat aurinkopaneelientilat voivat tuottaa sähköä esimerkiksi teollisuuden tarpeisiin, tai sähkö voidaan myydä suoraan verkkoon.

Erilaisilla sähköntuottajilla voi olla erilaiset motiivit ja odotukset sähkön tuotantoon aurinkopaneeleilla. Kotitaloudet voivat haluta investoida aurinkosähköjärjestelmään, vaikka sen takaisinmaksuaika voi olla pitkäkin, sillä sähköä voidaan tuottaa itse, ilman hiilidioksidipäästöjä. Myös yritykset ja julkinen sektori haluavat panostaa entistä enemmän päästöjen vähentämiseen. Toisaalta myös asiakkaat vaativat ja kiinnittävät entistä enemmän huomiota tuotteiden ja palveluiden vastuullisuuteen, johon myös päästötön energiantuotanto vaikuttaa.

4.1 Pienkiinteistöt

Käytännön esteitä aurinkopaneelien hankintaan ei juurikaan enää ole, mikäli aurinkosähkön tuotantoon soveltuva kohde löytyy. Kun järjestelmä on asennettu määräysten mukaan ja se täyttää vaatimukset, sen saa liittää verkkoon. Tuotetulle sähkölle saa myös ostajan nykyään helposti. Kaikkialle aurinkopaneeleita ei ole kuitenkaan kannattavaa asentaa.



Kuva 10. Omakotitalon katolle asennettu 7,2 kWp aurinkosähköjärjestelmä

Pientuottajan on selvitettävä kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta, vaatiiko aurinkopaneelien asennus rakennus- tai toimenpidelupaa. Vaatimukset voivat vaihdella kunnittain. Lisäksi ennen verkkoon liittymistä on oltava sähköverkonhaltijan lupa. Luvan saamiseksi tuotantolaitoksen on täytettävä sähköverkon ja sähköturvallisuusmääräysten vaatimukset. Kotitaloudet voivat liittää vaatimusten mukaisen pientuotantolaitoksensa verkkoon halutessaan, jolloin se tuotettu sähkö, jota kotitalous ei kuluta, syötetään yleiseen jakeluverkkoon. Sähköllä tulee olla kuitenkin ostaja, eli tuottajan täytyy tehdä sopimus ostajan kanssa. Esimerkiksi sähkön vähittäismyyjät voivat toimia ostajaosapuolena. (Energiateollisuus, 2021.)

Kotitalouksien ylijäämänsähkön myymisestä ei pääsääntöisesti muodostu maksettavaa veroa, sillä sähkön tuotannon menot ovat lähes poikkeuksetta selkeästi sähkön myynnistä saatuja tuloja korkeammat. Menoihin voi laskea mukaan ylläpito- ja huoltokustannukset sekä vuotuisen poiston hankintahinnasta. Jos kuitenkin sähkön myynnistä saadut tulot ylittävät menot eli sähkön myynti on voitollista, se on verotettavaa tuloa. (Verohallinto, 2020.)

Vuonna 2021 astui voimaan valtioneuvoston asetus, joka parantaa pientuottajan asemaa. Viimeistään 1.1.2023 kaikki suomalaiset pientuottajat ovat oikeutettuja niin sanottuun tuntinetotukseen. Pientuottaja ei enää osta ja myy sähköä saman tunnin aikana vaan jokaista tuntia kohden netotetaan sähkön kulutus ja tuotanto. Sähkön kulutuksesta vähennetään itse tuotetun sähkön määrä. Esimerkiksi, jos tunnin aikana sähköä on myyty 2 kWh ja ostettu 4

kWh, netotettuna ostetun sähkön määrä on 2 kWh. Tämä vähentää pientuottajan ostosähkön kustannuksia. (Kymenlaakson Sähköverkko Oy, STT, 2022.)

Yksityishenkilö voi hakea kotitalousvähennystä, joka vähentää maksettavien henkilökohtaisten verojen määrää. Vähennystä voi saada, kun kotiin tai vapaa-ajan asunnolle hankitaan työtä, kuten esimerkiksi siivousta, lastenhoitoa tai asunnon remonteja. Kotitalousvähennystä ei kuitenkaan saa, jos samaan työhön saadaan muuta tukea kuten ELY-keskuksen öljylämmityksestä luopumiseen tarkoitettua tukea. Aurinkopaneelien asennus omakotitalossa tai vapaa-ajan asunnossa oikeuttaa vähennykseen ja se lasketaan remontoinniksi eli asunnon perusparannus- ja kunnostustyöksi. Vuonna 2022 sen osuus henkilöä kohden voi olla enintään 2250 euroa, omavastuu 100 euroa. Koska vähennys on henkilökohtainen, pariskunnat saavat yhteensä enintään 4500 euroa kotitalousvähennystä. Työn osuudesta voi vähentää 40 %, mikäli työ on tilattu yritykseltä. Suurimman mahdollisen henkilökohtaisen vähennyksen saa, kun työn osuus on yhteensä 5875 euroa. (Verohallinto, 2022.)

Täytyy kuitenkin ottaa huomioon kotitalousvähennyksen enimmäismäärä, esimerkiksi jos muitakin remonteja on suunnitteilla, ei vähennystä voida hyödyntää välttämättä kaikissa projekteissa.

4.2 Taloyhtiöt

Taloyhtiöiden ei ole ollut aikaisemmin kannattavaa investoida aurinkosähköjärjestelmiin, sillä tuotettu sähkö on voitu käyttää taloyhtiöissä ainoastaan kiinteistösähköä, eli esimerkiksi porraskäytävien valaistukseen. Taloyhtiön tuottaman sähkön käyttö asunnoissa on ollut mahdollista, mutta koska sähkö kulkee verkkoyhtiöiden sähkömittarin kautta, siitä on pitänyt maksaa siirtomaksu ja sähkön energiavero. Tämän takia taloyhtiöiden ei ole ollut kannattavaa investoida aurinkopaneelisiin. Lakimuutos, joka mahdollistaa niin sanotut energiayhteisöt, tekee taloyhtiöiden investoimisen aurinkopaneelisiin kannattavammaksi, sillä tuotettu sähkö voidaan käyttää asunnoissa ilman siirtomaksua ja sähkön energiaveroa. Energiayhteisössä yhteisön jäsenet tuottavat yhdessä energiaa, ja tuotettu energia jaetaan jäsenille yhteisön päättämien jakosuhteiden mukaisesti. Taloyhtiössä jako voi olla esimerkiksi huoneistojen pinta-alan mukaan tai sama osuus jokaiselle huoneistolle. Yhtiöjärjestyksestä ei tarvitse muuttaa, jos jako määräytyy samalla perusteella kuin vastikkeet. (Keravan energia, 2020.)

Viimeistään vuoden 2023 alusta alkaen taloyhtiöt ovat voineet hyödyntää energiayhteisömallia ja niin sanottua netotusmenetelmää ja hyvityslaskentamallia, jotka mahdollistavat taloyhtiöissä itse tuotetun sähkön tehokkaamman käytön. Hyvityslaskentamallissa yhdistetään laskennallisesti aurinkosähkötuotanto sekä taloyhtiön kiinteistön ja osakkaiden kulutukset, jolloin voimalan tuotanto jaetaan sovitulla suhteella osakkaille ja osuudet vähennetään asuntojen ostosähkön määrästä. (Lehto, et al., 2021, pp. 76-82.)

4.3 Julkiset ja liikerakennukset

Varsinkin rakennuksissa, joissa sähkönkulutus on myös kesällä merkittävä, voi olla erityisen kannattavaa investoida aurinkopaneelijärjestelmiin. Tällaisia rakennuksia voisi olla esimerkiksi maitotilat, liikuntahallit, liiketilat ja kauppakeskukset. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu julkisiin rakennuksiin tai liikerakennuksiin koostuu pitkälle samoista tekijöistä kuin pientalojen kohdalla. Sopiva mitoitus suhteessa sähkön käyttöön tekee järjestelmästä kannattavamman.

Julkista sektoria kannustetaan hankkimaan Valtioneuvoston periaatepäätöksessä uusiutuvaa energiaa. Sen tavoitteet eivät ole sitovia muille kuin valtion hankintayksiköille, mutta myös muiden julkisten hankkijoiden olisi suositeltavaa toimia tavoitteen mukaisesti. Kunnilla on edelleen öljy- ja sähkölämmitteisiä rakennuksia, joissa olisi kannattavaa investoida esimerkiksi aurinkosähkön tuotantoon. Kunnat voivat investoida aurinkoenergiainkintoihin suoraan itse, tai esimerkiksi leasing-rahoituksella tai pitkäaikaisella energian ostosopimuksella. Järjestelmän toimittajalle voi ulkoistaa rahoituksen lisäksi ylläpidon ja huollon. (Motiva Oy, 2022d.)

Business Finlandilta yritykset ja yhteisöt voivat saada tukea hankkeisiin, jotka tukevat uusiutuvan energian käyttöä. Energiatukea on mahdollista saada, jos uusiutuvan energian käyttöä lisäävän hankkeen investointikustannus on yli 30 000 euroa, ylärajaa ei ole. Tukiprosentti aurinkosähköhankkeissa on 15 %. Maatilat eivät voi hakea energiatukea. (Business Finland.)

4.4 Suuret paneelientät

Aurinkopaneeleja voi asentaa myös maahan, jolloin laitoskoko voi olla suurempi. Silloin voidaan valita myös optimaalisin kallistuskulma ilman rajoitteita. Suurikaan paneelienttä ei aiheuta merkittävää maisemahaittaa, eikä alueelle ole suuria vaatimuksia. Koska aurinkopaneelit eivät aiheuta melu- tai päästöhaittoja, voi niiden etäisyys esimerkiksi asutuksesta olla lyhytkin. Tärkeää on ottaa huomioon varjostukset, joita voi tulla esimerkiksi metsästä tai rakennuksista, mutta myös toisista paneeleista. Paneelienttän voi myös asentaa maa-alueelle, jota ei voi hyödyntää muuhun käyttöön. Esimerkiksi entisiä turvetuotantoalueita, kairoalueita tai vanhoja kaatopaikkoja voisi olla mahdollista hyödyntää aurinkokenttien rakentamiseen.

Suurten aurinkovoimaloiden rakentaminen vaatii erilaisia lupia, mutta niiden rakentamiseen liittyvistä luvista ja menettelyistä ei ole yhtenäistä ohjeistusta Suomessa. Vaaditut suunnitelmat ja menettelyt riippuvat muun muassa hankkeen sijainnista, alueen kaavatilanteesta ja hankkeen koosta. Aurinkovoimalan rakentamista on mahdollista käsitellä maakuntakaavassa, yleiskaavassa ja asemakaavassa. Suuret aurinkovoimalat edellyttävät vähintään toimenpidelupaa tai rakennuslupaa, jos sitä mittaluokkansa takia voidaan pitää rakennuksena (ELY-keskus, 2022.)

Teollisen mittakaavan aurinkovoimalat eivät tarvitse lähtökohtaisesti ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (YVA), mutta jos hankkeeseen sisältyy suurjännitejohtojen tai energiarastojen rakentamista, ympäristövaikutusten arviointimenettelyä sovelletaan hankkeeseen. Suurien paneelienttien liittäminen verkkoon voi vaikuttaa koko verkon toimintaan. Energiavirastolta tulee hakea hankelupa suurjännitejohdon rakentamiseen, jos rakennettava sähköjohdon jännite on vähintään 119 kV. (ELY-keskus, 2022.)

Aurinkopuistoja voi hankkia niin kunnat kuin yritykset. Kuten rakennuksiin asennettavia aurinkosähköjärjestelmiä, myös aurinkopuistoja voi hankkia suoran investoinnin lisäksi erilaisilla rahoituksilla tai yhteishankinnalla.

Aurinkovoimasta voi tehdä myös niin sanotun PPA-sopimuksen eli pitkäaikaisen sähköostosopimuksen. Siinä jokin suuri sähkökäyttäjä tai joukko sähkökäyttäjiä sopii sähköntuottajan kanssa ostavansa sähköä tietyllä hinnalla esimerkiksi 10–20 vuoden ajan. Tällainen sopimus takaa sähköntuottajalle eli aurinkovoimalaan investoivalle varmuuden siitä, millä

hinnalla tuotettu sähkö myydään ja se tuo varmuutta investoinnin tekemiselle. Sähkön ostaja saa myös varmuuden ostettavan sähkön hinnasta pitkälle tulevaisuuteen, mikä vakauttaa esimerkiksi yrityksen toimintaa. Sähkön käyttäjä saa myös uusiutuvaa sähköä varmuudella käyttöönsä ilman omaa investoimista laitokseen. (Suomen Tuulivoimalayhdistys.)

5 Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuus

Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuteen vaikuttaa merkittävästi huolellinen ja onnistunut suunnittelu. Vuosituotannon määrään vaikuttaa oleellisesti mitoitus, suuntaus ja varjostukset. Pientuottajan aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta lisää yleensä se, että tuotettu sähkö käytetään mahdollisimman pitkälle itse. Suunnittelun vaativuus riippuu kohteesta, vaikeimmissa kohteissa suunnittelun osuus kustannuksista voi kasvaa. (Lehto, et al., 2021, p. 69.)

Käytettävissä on erilaisia laskentaohjelmia, joilla voi esimerkiksi arvioida vuosituotantoa. Euroopan komission sivuilta löytyy laskentatyökalu PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), jolla voidaan laskea sähköntuotantopotentiaali erilaisilla aurinkosähköteknologioilla valitsemassa sijainnissa (Euroopan komissio, 2022). Laskentaan voi lisätä valitsemia alkuarvoja, kuten järjestelmän koko, suuntaus, kallistus ja hyötysuhde. Työkalulla voidaan tarkastella myös aurinkosäteilyn määrää tunneittain valitsemassa sijainnissa.

Suomessa sijaitsevien rakennusten katoille voi laskea vuosittaista tuotantopotentiaalin Sun Energian työkalulla. Laskurissa on valmiiksi tiedot rakennusten kattojen suuntauksista, kallistuksesta, rakenteista ja varjostuksista. Myös pilvisuus ja lämpötila on otettu huomioon. Tietoja ei ole vielä saatavilla uudemmissa kohteista. (Sun Energia, 2016.)

Erilaisilla valmiilla laskureilla voidaan hahmotella hankkeen kannattavuutta. Esimerkiksi hiilineutraali suomi.fi sivustolla on saatavissa yleiseen käyttöön aurinkosähköön kannattavuuslaskuri pientaloille sekä kuntakohteille. Laskurilla voi laskea investoinnin takaisinmaksuajan, netto nykyarvon ja sisäisen korkokannan. (Hiilineutraali Suomi, 2021a.)

Investoinnin kannattavuutta voi arvioida erilaisilla menetelmillä, joita ovat nykyarvo, annuiteetti, sisäinen korkokanta, pääoman tuottoaste ja takaisinmaksuaika. Mitä suurempi investointi, sitä tärkeämpää on arvioida hankkeen kannattavuutta usealla eri menetelmällä. Nämä menetelmät sopivat myös eri investointivaihtoehtojen vertailuun. Sisäisen korkokanta ja takaisinmaksuaika ovat käytetyimpiä laskentamenetelmiä. Takaisinmaksuajan menetelmä on melko yksinkertainen, se kertoo kuinka nopeasti investoinnin nettotuotot maksavat investoinnin takaisin. Siinä ei kuitenkaan oteta huomioon korkoa, mutta se voidaan ottaa huomioon laskemalla vuosituotoille nykyarvo. (BusinessOulu, Yritystulkki.)

Takaisinmaksuaikaa nähdään käytettävän usein pientaloihin suunniteltujen aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuden arvioinnissa. Sähkölämmitteisessä omakotitalossa aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika voi vaihdella paljon ja se voi olla jopa alle 10 vuodesta yli 15 vuoteen.

5.1 Aurinkosähköjärjestelmien hinta

Aurinkosähköjärjestelmien hinta on laskenut 2000-luvulla, johon on vaikuttanut erityisesti paneelien hintojen lasku. Järjestelmien hinnat ovat kuitenkin tasaantuneet viime vuosina. Suomessa ei ole tutkittu tai tilastoitu kattavasti asennettujen aurinkosähköjärjestelmien hintojen kehitystä, mutta kehitys on samansuuntaista kuin muualla Euroopassa, kuten Saksassa. Keväällä 2021 tyypillinen pientaloon asennetun 5 kWp järjestelmän hinta oli Suomessa noin 5000–7000 euroa, sisältäen arvonlisäveron 24 %. (Motiva Oy, 2022b.)

Aurinkosähköjärjestelmien hinta koostuu laitteistoista sekä työvoimakustannuksista. Asennuksen, suunnittelun ja ylläpidon osuus voi olla myös merkittävä koko järjestelmän elinkaarikustannuksista. Laitteiston osuus kustannuksista kasvaa suuremmissa järjestelmissä. Kustannus asennettua tehoa kohden sen sijaan usein laskee, mitä suurempi järjestelmä on kyseessä. Suomessa Motiva Oy on tutkinut vuonna 2020 aurinkosähköjärjestelmien ”avaimet käteen”-toteutustavan keskimääräisiä hintoja eri kokoluokissa. Alle 10 kW järjestelmien hintahaarukka on vuonna 2020 ollut noin 1200–2000 €/kW. Keskisuurissa järjestelmissä eli 10kW-100 kW keskihinta on ollut noin 900–1600 €/kW ja siitä suuremmissa noin 800–1300 €/kW. Alle 10 kW mökkijärjestelmissä, joissa on mukana akku, hintahaarukka on 2000–4000 €/kW. Nämä hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %. (Lehto, et al., 2021, p. 67.)

Vaikka aurinkopaneelit ovat melko huoltovapaita, täytyy alkuinvestoinnin lisäksi koko elinkaaren kustannuksissa ottaa huomioon muun muassa invertterin vaihto ainakin kerran, sekä mahdollisesti muita huoltoja tai kunnossapitoa. Elinkaaren kustannukset ovat kuitenkin pienet verrattuna alkuinvestointiin.

5.2 Sähkön hinta

Investointikustannusten lisäksi aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuteen vaikuttaa sähkön hinta. Aurinkosähköjärjestelmissä, jotka tuottavat sähköä ainoastaan myyntiin,

kannattavuuteen vaikuttaa oleellisesti millä hinnalla tuotettu sähkö myydään. Tällaiset laitokset ovat usein suuria aurinkopuistoja, jotka eivät välttämättä ole kannattavia, jos sähkön markkinahinta on hyvin alhainen ja laitosten investointikustannukset suuria. Suurissa teollisen kokoluokan laitoksissa sähköllä voi olla myös tiedossa suoraan ostaja, joka ostaa sähköä kiinteällä hinnalla tai sähköä voidaan tuottaa myös suoraan omaan käyttöön.

Taulukossa 2 on sähkön spot-hintojen keskiarvot kuukausittain vuodelta 2018–2022. Voidaan nähdä, että erityisesti ennen vuotta 2021 sähkön spot-hinta on ollut melko tasainen koko vuoden aikana. Kuitenkin vuonna 2021 ja erityisesti vuonna 2022 sähkön hinta on vaihdellut paljon kuukausittain ja ollut myös merkittävästi korkeampi kuin aikaisimpina vuosina. Vuonna 2022 korkeat hinnat johtuvat erityisesti Venäjän aloittamasta hyökkäyssodasta Euroopassa. Päästöoikeuksien hinnat ovat kasvaneet myös, mikä tekee fossiilisilla polttoaineilla energian tuottamisesta kalliimpaa. Kuiva sää heikentää vesivoiman käyttöastetta Pohjoismaissa, mikä nostaa sähkön hintaa. Todennäköisesti sähkön hinta laskee lähivuosina Suomessa huippulukemista, mutta sähkön hinnan vaihtelu voi kasvaa säästä riippuvaisen sähköntuotannon lisääntyessä. Olkiluoto 3 ydinvoimalan käyttöönotto lisäisi sähköntuotantoa Suomessa, mikä alentaisi sähkön hintaa.

Taulukko 2. Sähkön spot-hintojen (c/kWh) keskiarvot Suomessa kuukausittain 2018–2022, sisältäen arvonlisäveron 24 % (joulukuussa 2022 10 %) (Nordic Green Energy, 2022)

Kuukausi	2022	2021	2020	2019	2018
Tammikuu	13,23	6,35	3,37	6,92	4,6
Helmikuu	10,05	7,08	3,05	5,8	5,38
Maaliskuu	10,72	4,76	2,53	4,96	5,65
Huhtikuu	9,84	4,56	2,46	4,14	4,99
Toukokuu	16,45	5,7	2,41	4,94	4,79
Kesäkuu	17,37	6,96	3,5	3,81	5,85
Heinäkuu	22,83	9,77	2,51	5,69	6,7
Elokuu	32,42	8,45	5,03	6,05	6,88
Syyskuu	26,66	11,07	4,69	6,05	6,32
Lokakuu	14,07	8,04	3,85	5,74	5,75
Marraskuu	24,22	10,65	3,42	5,67	6,12
Joulukuu	27,06	23,98	4,87	4,76	6,49
Keskiarvo	18,74	8,95	3,47	5,38	5,79

Järjestelmissä, joissa tuottaja käyttää itse tuottamaansa sähköä sekä myös ostaa sähköä, kannattavuuteen vaikuttaa merkittävästi se, kuinka iso osuus tuotetusta sähköstä voidaan käyttää itse. Se johtuu siitä, että käyttämällä itse tuotettua sähköä, sähkön hinnan lisäksi sähkön ostaja säästää siirtomaksun ja sähkön energiaveron, jotka ovat usein merkittävä osa sähkön kokonaishinnasta.

Sähkön energiavero Suomessa vuonna 2023 on 2,253 snt/kWh veroluokassa I, johon kuuluu kotitaloudet, julkinen sektori, maataloussektori sekä palvelutoiminnot. Veroluokassa II energiavero on 0,05 snt/kWh ja se koskee teollisuutta, kaivostoimintaa, ammattimaista kasvihuoneviljelyä ja yli 5 MW konesaleja. Maataloussektori saa veronpalautuksen kautta käytetyn sähkön energiaveron palautettua veroluokan II mukaan. Energiaverosta maksetaan lisäksi arvonlisävero 24 %, jolloin energiavero on yhteensä 2,794 snt/kWh veroluokassa I ja 0,078 snt/kWh veroluokassa II. Lisäksi kaikki käyttäjät maksavat huoltovarmuusmaksun, joka on 0,013 snt/kWh. (Valtiovarainministeriö.)

Siirtomaksu vaihtelee Suomessa riippuen alueen sähkönsiirtoyhtiöstä. Siirtomaksu voi olla kiinteä tai siirtomaksu voi vaihdella kausittain tai vuorokauden mukaan, jolloin sähkönsiirron hinta on talvipäivänä korkeampi kuin muina aikoina tai ollen edullisempi yöllä kuin päivällä (Omakotiliitto). Yleisesti pientaloissa voi olla käytössä vaihteleva siirtomaksu ja kerrostaloissa usein kiinteä. Sähkönsiirtomaksut ovat usein muutamia senttejä. Esimerkiksi Mikkelin alueella toimivan ESE-Verkko Oy:n yksiaikasisähkön siirtomaksu on tällä hetkellä 3,4 snt/kWh, kausisähkön talviarkipäivät 5 snt/kWh ja muulloin 1,46 snt/kWh sekä yösähköllä päivisin 4,26 snt/kWh ja yöllä 1,33 snt/kWh (ESE-Verkko Oy, 2021).

Varsinaisen sähkönhinnan lisäksi pientuottaja maksaa siis noin 4–8 snt/kWh muita maksuja ostettua sähköä kohden, riippumatta sähkön hinnasta. Tämä on oleellinen tekijä, joka tekee aurinkosähköjärjestelmään investoimisen usein kannattavaksi silloin kuin tuottaja myös itse ostaa sähköä, vaikka sähkön hinta olisi alhainen. Automaation avulla itse tuotettua sähköä voidaan hyödyntää entistä tehokkaammin siirtämällä paljon sähköä kuluttavien laitteiden ja järjestelmien käyttöä tuotannon kanssa samaan aikaan.

Tuotettu sähkö, jota tuottaja ei käytä itse myydään verkkoon yleensä sähkön spot-hinnalla, eli niin sanotulla pörssihinnalla. Se vaihtelee tunneittain kysynnän ja tarjonnan mukaan.

Lisäksi sähköyhtiöt, jotka ostavat sähkön, saattavat periä pienen välityspalkkion. Kaikki yhtiöt eivät peri välityspalkkiota.

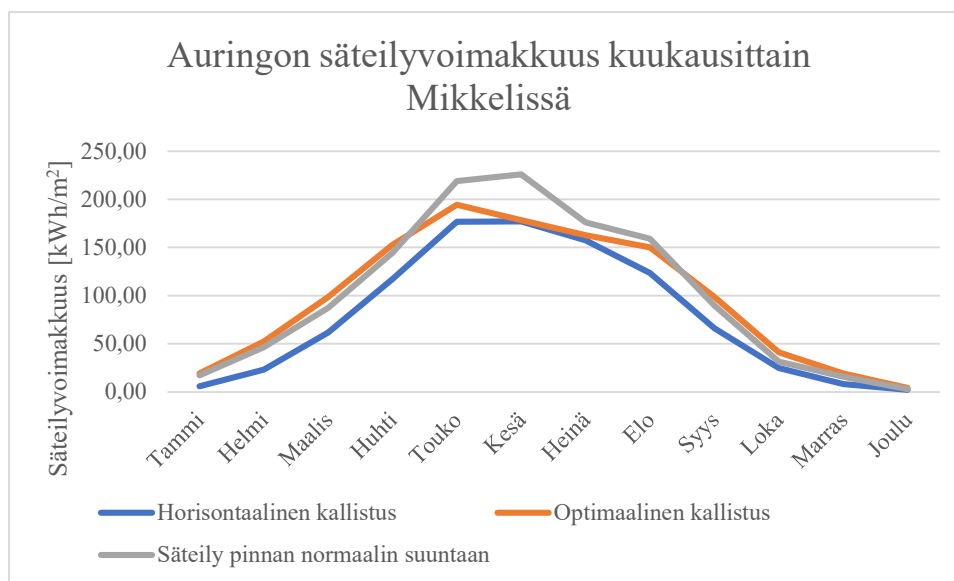
Vuonna 2022 on voinut olla tilanne, jossa pientuottajien on ollut järkevä käyttää mahdollisimman vähän tuottamastaan sähköstä, ja ajoittaa sähkön käyttöä ajankohtiin, jolloin omaa tuotantoa ei ole. Tällainen on mahdollista, jos pientuottajalla on määräaikainen edullinen sähkö sopimus, samalla kun pörssisähkön hinta on monin kerroin suurempi. Tällainen tilanne on kuitenkin melko poikkeuksellinen, eikä kannattavuusarvioita kannata tehdä tällaisilla olettamilla. Sähkön spot-hinnan suuri vaihtelu voi tehdä yksinkertaisista kannattavuuslaskelmista epäluotettavia. Kannattavuuslaskelmia kannattaa suorittaa erilaisilla skenaarioilla.

6 Lisäämismahdollisuudet Etelä-Savossa

Etelä-Savon alue soveltuu aurinkoenergian hyödyntämiseen, ja alueella on jo aurinkosähköjärjestelmiä erityisesti pienkiinteistöissä. Etelä-Savoon on suunnitteilla muutama suuren kokuokan aurinkopuisto. Näiden hankkeiden toteutuminen tulisi lisäämään alueen aurinkosähkön tuotantoa merkittävästi. Etelä-Savossa verkkoon liitetty aurinkosähkökapasiteetti oli arviolta noin 13 MW vuonna 2021 (Energiavirasto, 2022b).

6.1 Edellytykset aurinkosähkön tuotannolle Etelä-Savossa

Etelä-Savon alue soveltuu aurinkosähkön tuotantoon. Kokonaissäteily määrä vuoden aikana on hieman pienempi kuin Etelä-Suomessa, mutta silti riittävä. Kuvassa 11 on auringon säteilyn voimakkuus Mikkelissä vuoden aikana, kun suuntaus on etelään. Säteilymäärät on arvioitu Euroopan unionin PVGIS-laskurilla (Photovoltaic Geographical Information System). Sijainti on asetettu Mikkelin torille. Käytetty tietokanta on PVGIS-ERA5 ja valittu vuosi on 2020. Säteilyn määrä hieman vaihtelee vuosittain, mutta erot eivät ole suuria. Kuten nähdään, kesällä säteilyn määrä on suurinta ja talvella säteilyä on merkittävästi vähemmän. Kuitenkin myös keväällä säteilyä on jonkin verran. Optimaalinen kallistus on tässä mallinnuksessa 47 astetta. Säteilyn määrä vuodessa on suurin, kun kallistusta säädetään aina niin, että säteily on aina paneelin normaalin suuntaan. Silloin kallistus vaihtelee auringon säteilyn mukaan. Horisontaalisella kallistuksella, eli suoraan maanpinnan mukaisesti, säteilyn määrä on pienempi. Säteily optimaalisella kallistuksella koko vuoden aikana on yhteensä noin 1171 kWh/m². Horisontaalinen säteily on vuoden aikana yhteensä noin 943 kWh/m².



Kuva 11. Auringon säteilyvoimakkuus kuukausittain Mikkelissä, PVGIS-mallinnus (Euroopan komissio, 2022)

6.2 Suunnitteilla olevat aurinkovoimalat vuonna 2022

Etelä-Savon alueelle on suunnitteilla vuonna 2022 useampi merkittävän kokoinen aurinkosähkövoimala. Toteutuessaan ne lisäävät merkittävästi aurinkosähkön tuotantoa alueella.

Sulkavaan on suunnitteilla huipputeholtaan 5 MW aurinkosähkövoimala. Sen on arvioitu tuottavan sähköä 4500 MWh vuodessa, mikä riittäisi kattamaan Sulkavan kunnan oman sähköntarpeen. Aurinkosähköpuisto tulee noin 7 hehtaarin kokoiselle alueelle ja paneeleita on suunniteltu olevan 9216 kappaletta. Aurinkovoimala rakennetaan vuosien 2022 ja 2023 aikana ja hanke on saanut valtion energiatuen Business Finland Oy:ltä. (Solarigo, 2021.)

Pertunmaalle on suunnitteilla huipputeholtaan 15 MW aurinkosähkövoimala. Voimalan pinta-ala tulee olemaan noin 20 hehtaaria ja siinä on 28000 paneelia. Vuosituotannon odotetaan olevan 13 200 MWh ja kaupallinen tuotanto on suunniteltu alkavan vuonna 2024. Voimalaan on suunniteltu erilaisia teknisiä ratkaisuja, joilla demonstroidaan aurinkosähkön tuotannon optimointia, jonka lisäksi tavoitteena on kehittää akustoratkaisuja ja varastointimenetelmiä. Tuotannosta syntyvää dataa jaetaan hyödynnettäväksi tutkimuskäyttöön ulkoisille sidosryhmille kuten oppilaitoksille ja asiantuntijajärjestöille aurinkosähköalan kehittämiseksi koko Suomessa. Hankkeelle on haettu Työ- ja elinkeinoministeriön uuden

energiateknologian ja suurten demonstraatiohankkeiden investointitukea, jonka saaminen on edellytys hankkeen toteutumiselle. (Suur-Savon Sähkö Oy, STT, 2022b.)

Hirvensalmelle on suunnitteilla 9200 paneelin aurinkosähkövoimala, jonka pinta-ala on noin 9 hehtaaria. Sen huipputeho on noin 5 MW ja vuosituotannon odotetaan olevan 4500 MWh. Aurinkovoimalan on arvioitu valmistumistuvan vuoden 2023 lopussa. (Suur-Savon Sähkö Oy, STT, 2022a.)

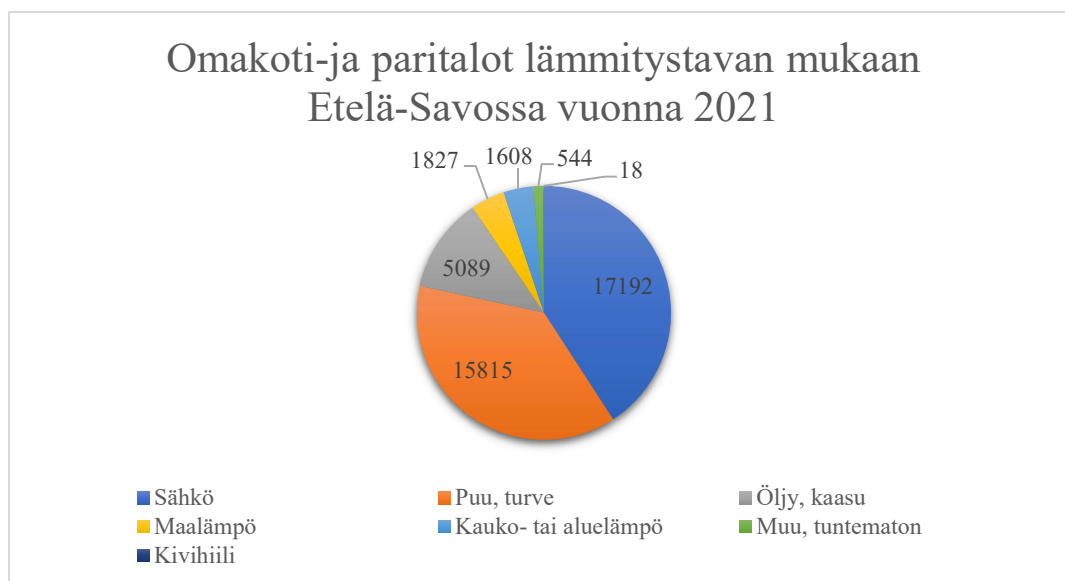
Näiden suunnitteilla olevien suurien aurinkovoimaloiden vuosituotanto olisi arviolta yhteensä 22,2 GWh. Etelä-Savossa sähkönkulutus vuonna 2021 oli noin 1638 GWh. Se olisi noin 1,3 prosenttia vuoden 2021 sähkön kulutuksesta alueella.

6.3 Pienkiinteistöt

Pienkiinteistöön asennetun yksittäisen aurinkosähköjärjestelmän tuotantokapasiteetti on pieni, mutta niiden määrän kasvaessa ne voivat vähentää asumisen hiilidioksidipäästöjä merkittävästi. Muutaman viime vuoden aikana pienkiinteistöihin asennettujen uusien aurinkosähköjärjestelmien määrän kasvu on ollut suurta.

Etelä-Savossa oli vuonna 2021 yhteensä hieman yli 42 000 omakoti- ja paritaloa, joista sähkölämmitystä käyttää noin 17 200 rakennusta. Puuta tai turvetta lämmitykseen käytetään hieman alle 16 000 rakennuksessa. Öljy- tai kaasulämmitys on hieman yli 5 000 omakoti- ja paritalossa. Noin 1 600 omakoti- ja paritalolla on kauko- tai aluelämpöä ja maalämpöä sen sijaan noin 1 800. Tarkemmat luvut on esitelty kuvassa 12. Täytyy ottaa huomioon, että lämmitysmuodoista kerätään tieto rakennusvaiheessa ja rakennusluvan vaativien remonttien yhteydessä. Jos lämmitystavan muutos ei vaadi kuin toimenpideluvan, ei tieto muutoksesta kirjaudu automaattisesti rekisteriin. Öljylämmitys on vähäisempää ja maalämpö yleisempää kyselytutkimusten perusteella kuin rakennuskantarekisterin tietojen mukaan. (Tilastokeskus, 2022.)

Koska aurinkosähköjärjestelmien kannattavuus paranee, kun tuotettua sähköä käytetään mahdollisimman paljon itse, on erityisesti sähkölämmitteisten pientalojen usein kannattavampaa investoida aurinkosähköjärjestelmään. Aurinkosähköjärjestelmä voi olla myös varteenotettava vaihtoehto pientaloissa, joissa halutaan luopua fossiilisilla polttoaineilla lämmityksestä.



Kuva 12. Omakoti- ja paritalot lämmitysmuodoittain 2021

Tilastokeskuksen tiedoissa omakoti- ja paritaloja ei ole eritelty. Paritaloissa voisi olla mahdollista investoida hieman suurempaan aurinkosähköjärjestelmään kuin omakotitaloissa. Tätä eroa ei ole eritelty tarkemmin tässä tutkimuksessa, sillä vastaavasti omakotitaloissa voi olla pienempiä aurinkosähköjärjestelmiä kuin esimerkkilaskelmissa on oletettu. Etelä-Savon alueella on lisäksi paljon vapaa-ajan asuntoja. Vapaa-ajan asunnot, joita ei ole kytketty valtakunnan verkkoon, hyötyisivät erityisesti off-grid-aurinkosähköjärjestelmästä. Kaikki tuotettu sähkö käytetään itse, ja usein nämä järjestelmät ovat melko pieniä. Niiden osuutta ei käsitellä tarkemmin tässä tutkielmassa.

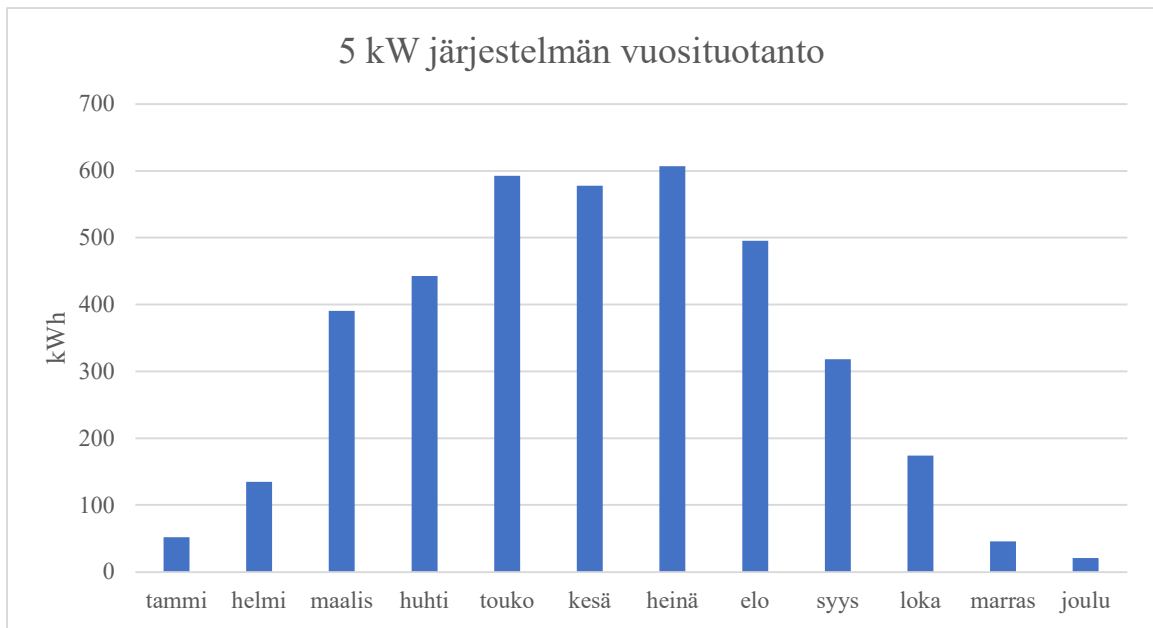
Jos Etelä-Savossa joka kymmenenteen omakoti- ja paritaloon asennetaan 5 kWp aurinkosähköjärjestelmä, kapasiteetti olisi yhteensä huipputeholtaan 21 MW. Vuosituotanto olisi yhteensä noin 16,2 GWh. Tällaisen asennetun aurinkopaneelikapasiteetin pinta-ala olisi yhteensä noin 105 000 m², mikäli 1 kWp vaatii noin 5 m² paneelia. Tämän saavuttamiseksi vuoteen 2035 mennessä, 12 vuoden aikana, vuosittain aurinkosähköjärjestelmiä tulisi asentaa 350 kappaletta, eli yhteensä vuoteen 2035 mennessä noin 4200 kappaletta. Se on hieman vähemmän kuin alueella asennettiin esimerkiksi vuonna 2021. Tämä määrä aurinkosähköjärjestelmiä on kapasiteetiltaan useamman suuren aurinkopaneelientän verran. Esimerkiksi Sulkavalle ja Hivensalmelle suunniteltujen aurinkopuistojen huipputeho on yhteensä 10 MW. Pienkiinteistöihin asennetut aurinkosähköjärjestelmät voivat olla siis myös merkittävä osa aurinkosähköntuotantoa.

Aikaisemmin esitetyllä PVGIS-aurinkoenergian laskentaohjelmalla voidaan mallintaa muun muassa erilaisten järjestelmien vuosittaista tuottoa. Esimerkiksi 5 kWp aurinkosähköjärjestelmän vuosittainen tuotanto on esitetty kuvassa 13. Tämän kokoisen aurinkosähköjärjestelmän paneelipinta-ala on noin 25 m², riippuen hieman paneelin hyötysuhteesta. Mallinnuksessa käytetyt alkuarvot ja ohjelmiston asettamat tai laskemat arvot on taulukoitu, taulukko 3. Mallinnuksessa sijainti on asetettu Mikkelin keskustaan Kirkkopuistoon, mutta suuria eroja mallinnuksessa ei ole, vaikka valittaisiin jokin muu sijainti Etelä-Savon alueelta, mikäli suuntaus ja kallistus on samanlaiset. PVGIS-mallinnuksessa voidaan valita paneelityyppiä Crystalline silicon eli yksi- ja monikide piikennot tai CIS/CdTe eli ohutkalvopaneelit. Asennustavaksi voidaan valita maa-asennus tai katto/rakennusasennus. Asennustapa vaikuttaa siihen, miten paneeli jäähtyy, joka vaikuttaa täten myös tuotantoon. Esimerkissä on valittu yksi- ja monikide piikennot ja asennustavaksi kattoasennus, sillä tämä on tavallisin vaihtoehto pienkiinteistöille. Häviöksi ohjelmisto ehdottaa 14 %, joka sisältää kaikki mahdolliset häviöt, kuten invertterin ja kaapeleiden häviöt, sekä varjostukset. Tämä on ainoastaan arvio, jota voidaan käyttää yksinkertaisissa mallinuksissa, mutta ohjelmistoon voi lisätä myös tarkemmat tiedot tietyn kohteen horisontista ympärillä, eli varjostuksista. Esimerkissä on käytetty optimaalisinta kallistusta ja suuntausta, jotka ohjelma on laskenut. Tässä tapauksessa optimaalinen kallistus on 42 astetta ja suuntaus -1 astetta, eli etelään päin. Ohjelma laskee lisäksi tuotetun sähkön kustannuksen, mikäli järjestelmän kokonaiskustannus tiedetään.

Taulukko 3. PVGIS-mallinnuksen alkuarvot ja tuloksia

Alkuarvot:	
Sijainti [Lat/Lon]:	61.690,27.275
Horisontti:	Laskettu
Käytetty data:	PVGIS-SARAH
Teknologia:	Piikide
Asennettu teho [kWp]:	5
Häviöt [%]:	14
Mallinnuksen tulokset:	
Kallistus [°]:	42 (optimaalinen)
Suuntaus [°]:	-1 (optimaalinen)
Vuosittainen tuotanto [kWh]:	3850.66
Vuosittainen säteily paneelin pinnalle [kWh/m ²]:	1002.42
Vuosittainen vaihtelu [kWh]:	219.95
Häviöt:	
Tulokulma [%]:	-3.06
Lämpötila ja heikko säteily [%]:	-7.84
Häviöt yhteensä [%]:	-23.17

Esimerkkilaitos tuottaa vuodessa noin 3 850 kWh sähköä. Pienin tuotanto sijoittuu marras-, joului-, ja tammikuulle. Eniten tuotantoa on kesällä sekä keväällä, jonkin verran myös syyskuussa.



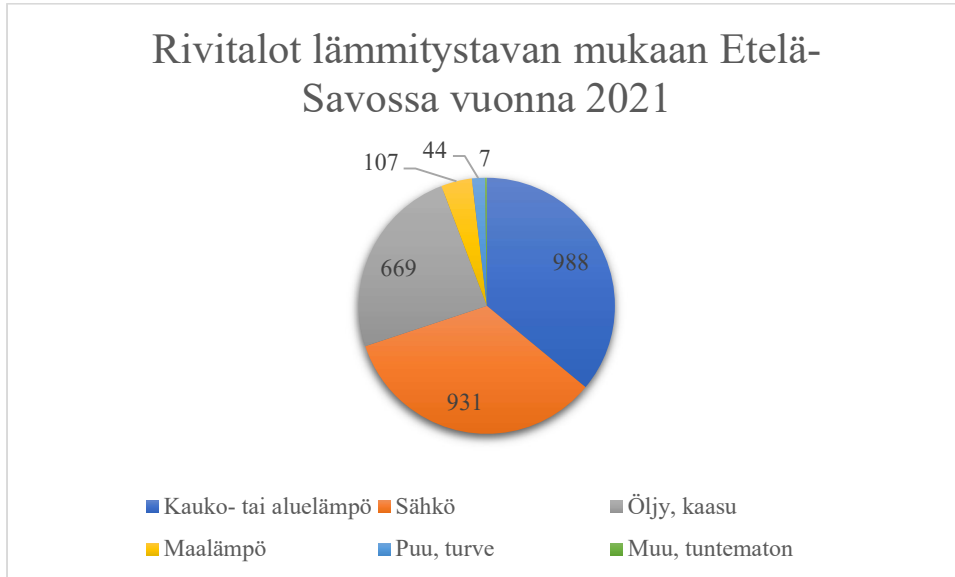
Kuva 13. PVGIS-laskurilla saatu vuosittainen tuotantomäärä 5 kWp asennetulla paneeliteholla

PVGIS-ohjelmisto antaa suuntaa antavan tuloksen, mutta se ei ota huomioon esimerkiksi erityisesti Suomessa merkittävän hajasäteilyn määrää lumesta tai vesistöistä. Lisäksi käytetty tietokanta voi vaikuttaa hieman tuloksiin, sillä tietokannat perustuvat laskentoihin eri satelliittien ja sääasemien mittauksista. Ohjelma valitsee automaattisesti valitulle asennuspaikalle parhaimman tietokannan. (Lehto, et al., 2021, pp. 87-89). Talvella heikkoa tuotantoa voi vähentää entisestään paneelien päällä oleva lumi.

6.4 Energiayhteisöt rivi- ja kerrostaloissa

Asunto-osakeyhtiöissä voi uuden energiayhteisön lainsäädännön takia hyödyntää aurinkosähkön tuotantoa myös osakkaiden kesken ilman erillistä siirtomaksua, jolloin aurinkosähköjärjestelmä on kannattavampi. Etelä-Savon alueella on 2746 rivitaloa ja 1833 kerrostaloa vuonna 2021. Rivi- ja kerrostaloissa lämmitystavalla ei ole välttämättä niin suurta vaikutusta aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuteen kuin pientaloissa, sillä sähkönkäyttäjiä on enemmän, jolloin tuotettua sähköä voidaan käyttää usein mahdollisimman paljon itse huolimatta lämmitystavasta. Kuvassa 14 on rivitalojen lukumäärät vuonna 2021

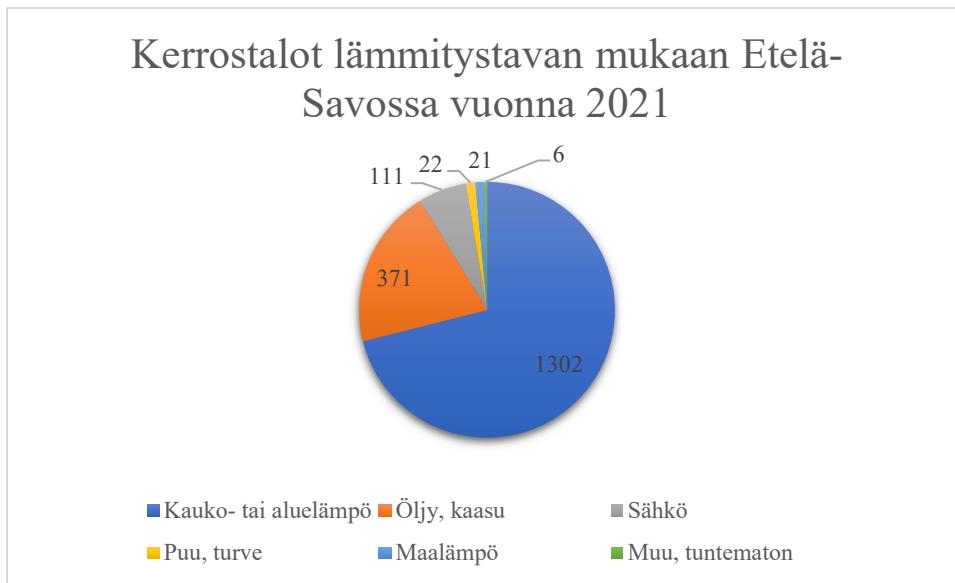
lämmitystavan mukaan. Kauko- tai aluelämpö sekä sähkö ovat yleisimmät lämmitystavat rivitaloissa. Öljyä ja kaasua käytetään noin neljännessä rivitalossa.



Kuva 14. Rivitalot lämmitysmuodoittain Etelä-Savossa vuonna 2021

Jos joka kymmenenteen rivitaloon asennetaan 10 kW aurinkosähköjärjestelmä vuoteen 2035 mennessä, niiden yhteenlaskettu huipputeho olisi noin 2,7 MW. Tarvittava paneelipinta-ala olisi noin 13 730 m². Tämä vastaisi noin 2111 MWh tuotantoa vuodessa. Määrä edellyttäisi noin 23 aurinkosähköjärjestelmän vuosilisäystä vuoteen 2053 mennessä.

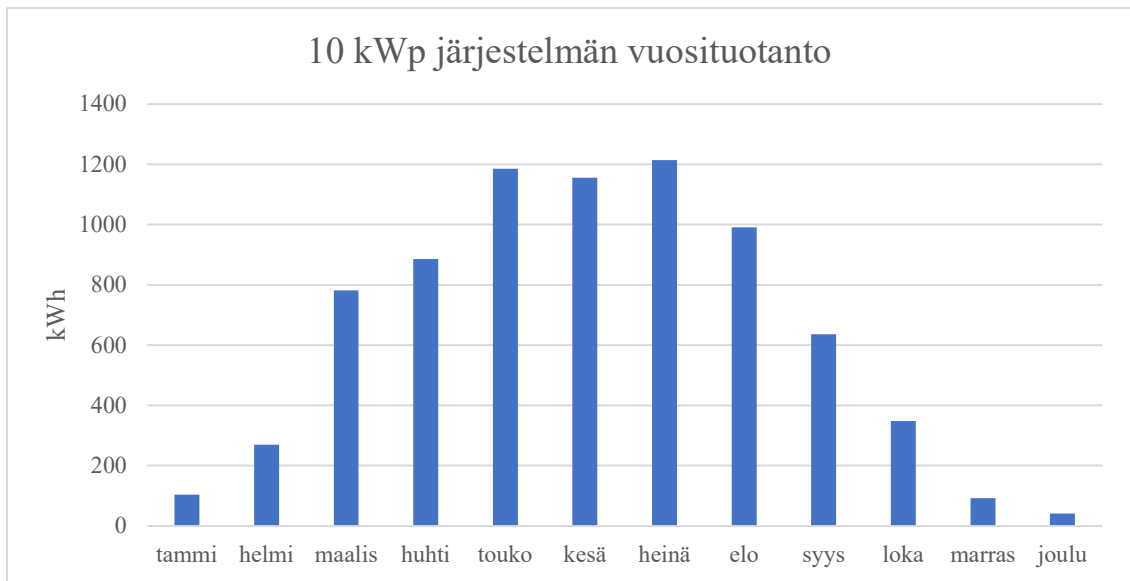
Kuvassa 15 on esitetty kerrostalojen lukumäärä Etelä-Savossa vuonna 2021 lämmitystavan mukaan. Suurin osa kerrostaloista on kauko- tai aluelämmöllä lämpiäviä, öljyä tai kaasua lämmityslähteenä käytetään hieman alle neljännessä kerrostalossa.



Kuva 15. Kerrostalot lämmitysmuodoittain Etelä-Savossa vuonna 2021

Jos joka kymmenenteen kerrostaloon asennetaan 10 kW aurinkosähköjärjestelmä vuoteen 2035 mennessä, niiden yhteenlaskettu huipputeho olisi 1,8 MW. Tämä vastaisi noin 1410 MWh tuotantoa vuodessa ja paneelipinta-ala olisi noin 9165 m². Määrä edellyttäisi noin 15 aurinkosähköjärjestelmän vuosilisäystä vuoteen 2053 mennessä. Kerrostaloissa on vielä verrattain vähän aurinkosähköjärjestelmiä.

Tällainen 10 kWp aurinkosähköjärjestelmä tuottaa vuoden aikana noin 7700 kWh sähköä. Sen kokoisen laitoksen paneelipinta-ala olisi noin 50 m². Tuotanto kuukausittain on eritelty kuvassa 16. Mallinnus on tehty PVGIS-ohjelmistoa käyttämällä ja syötetyt lähtöarvot ovat samat kuin edellisessä kappaleessa esitetyt, järjestelmän huipputehoa lukuun ottamatta.



Kuva 16. PVGIS-laskurilla saatu vuosittainen tuotantomäärä 10 kWp asennetulla paneeliteholla

6.5 Julkiset ja liikerakennukset

Pienkiinteistöihin asennettujen aurinkosähköjärjestelmien ja suurien aurinkopuistojen lisäksi aurinkosähköjärjestelmiä voidaan asentaa erilaisiin julkisiin ja yritysten rakennuksiin. Monissa kuntien ja yritysten rakennuksissa sähkönkulutusta on merkittävästi myös kesällä, jolloin sähköntuotanto aurinkopaneelilla on kannattavampaa, koska tuotettu sähkö voidaan käyttää itse.

Taulukossa 4 on koostettu Etelä-Savossa vuonna 2021 olevien muiden rakennusten kuin pientalojen sekä rivi- ja kerrostalojen määrä. Eniten alueella on liikerakennuksia, liikenteen rakennuksia, teollisuuden ja kaivannaistoiminnan rakennuksia ja varistorakennuksia. Maatalousrakennusten määrää ei ole saatavilla julkisesti Tilastokeskukselta.

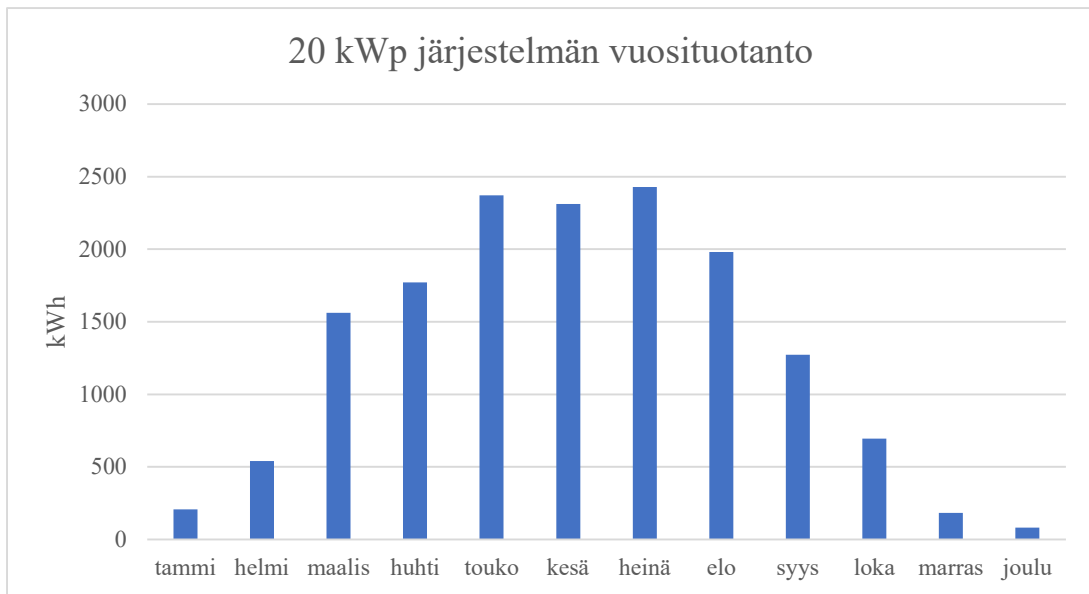
Taulukoitujen rakennusten lisäksi Etelä-Savossa on muiksi rakennuksiksi luokiteltuja yhteensä 99 kappaletta. Muut rakennukset sisältävät muun muassa ranta- ja mökkisaunat, vajat, pyöräsuojat, majat, tuvat ja julkiset käymälät. Tällaiset rakennukset eivät sovellu ainakaan tässä käsiteltävän kokoluokan aurinkosähköjärjestelmien asennuspaikaksi, joten niiden määrä jätetään huomioimatta.

Taulukko 4. Muiden kuin asuinrakennusten lukumäärä Etelä-Savossa vuonna 2021

Rakennukset (pois lukien asuinrakennukset)	kpl
Asuntolarakennukset ja erityisryhmien asuinrakennukset	125
Liikerakennukset	1327
Toimistorakennukset	361
Liikenteen rakennukset	1644
Hoitoalan rakennukset	303
Kokoontumisrakennukset	574
Opetusrakennukset	428
Teollisuuden ja kaivannaistoiminnan rakennukset	1045
Energiahuoltorakennukset	196
Yhdyskuntatekniikan rakennukset	247
Varastorakennukset	1035
Pelastustoimen rakennukset	52
Yhteensä	7337

Kymmenesosa olisi 733 rakennusta, jos näihin asennettaisiin huipputeholtaan keskimäärin 20 kW aurinkosähköjärjestelmä, olisi kapasiteetti yhteensä noin 14,7 MW. Näiden aurinkosähköjärjestelmien tuotanto vuodessa olisi yhteensä noin 11,3 GWh. Vaadittava paneelipinta-ala olisi noin 73 300 m². Vuoteen 2035 mennessä tämä määrä vastaisi 61 laitoksen vuosittaista lisäystä. Näiden rakennusten aurinkosähköjärjestelmien lisäysmahdollisuuksia ei ole yhtä suoraviivaista arvioida kuin esimerkiksi omakotitalojen yhteydessä, sillä rakennusten kokoluokka ja käyttötarkoitus vaihtelee paljon. Suurissa rakennuksissa, joissa sähkönkulutusta on myös kesällä paljon, voi olla kannattavaa investoida paljon suurempaan aurinkosähköjärjestelmään.

Vuoden aikana yksi tällainen aurinkosähköjärjestelmä tuottaisi noin 15 400 kWh sähköä. Tuotanto kuukausittain on eritelty kuvassa 17. Tämän kokoisen paneeliston vaadittava pinta-ala on noin 100 m². Tuotanto on mallinnettu PVGIS-laskurilla ja alkuarvoina käytetty samoja arvoja kuin aikaisemmassa kappaleessa, pois lukien järjestelmän huipputeho.



Kuva 17. PVGIS-laskurilla saatu vuosittainen tuotantomäärä 20 kWp asennetulla paneeliteholla

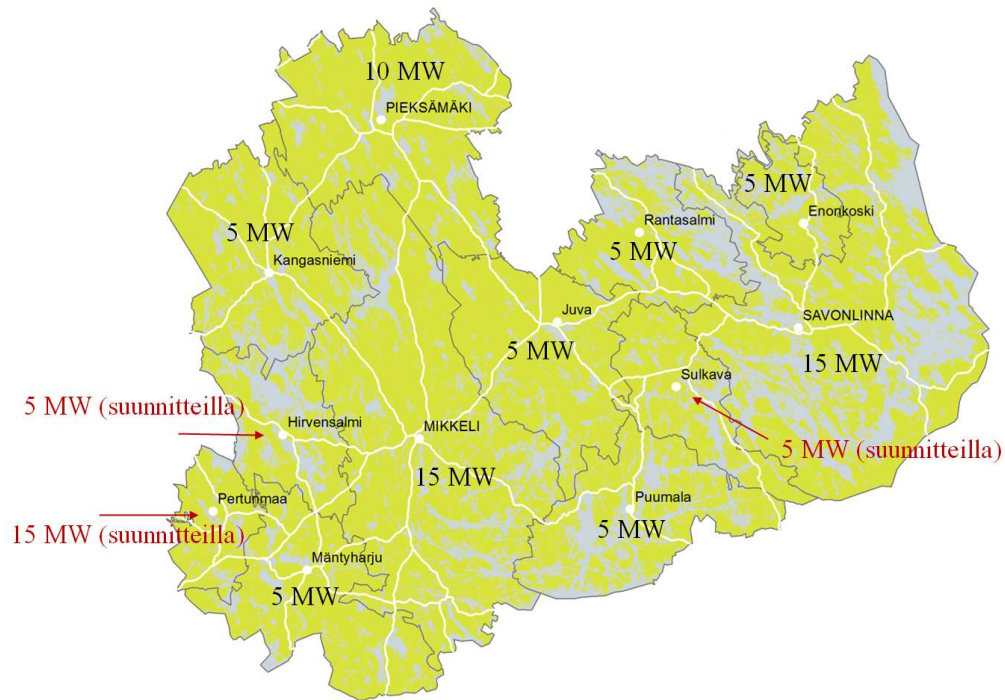
6.6 Paneelientät

Suuret aurinkopaneelientät ovat tehokas tapa lisätä aurinkosähköntuotantoa nopeasti. Koska aurinkosähköjärjestelmiä voidaan asentaa erilaisiin paikkoihin, eikä niiden sijaintia rajoita merkittävästi esimerkiksi asutus, on mahdollisia sijainteja hyvin paljon. Sen takia uusien aurinkosähköjärjestelmien asentamista rajoittaa enemmän saatavissa oleva rahoitus, kuin esimerkiksi sopivan paikan löytäminen. Suuremman kokoluokan teolliset aurinkopuistot edellyttävät kuitenkin melko paljon maa-alaa. Esimerkiksi Sulkavaan suunnitteilla olevan 5 MW huipputehon aurinkovoimalaitos vaatii noin 7 hehtaarin tilan.

Tällä hetkellä Etelä-Savoon suunnitteilla olevien suurempien laitosten kapasiteetti on huipputeholtaan ainakin yhteensä 25 MW. Ne tuottaisivat sähköä arviolta noin 21,3 GWh vuodessa.

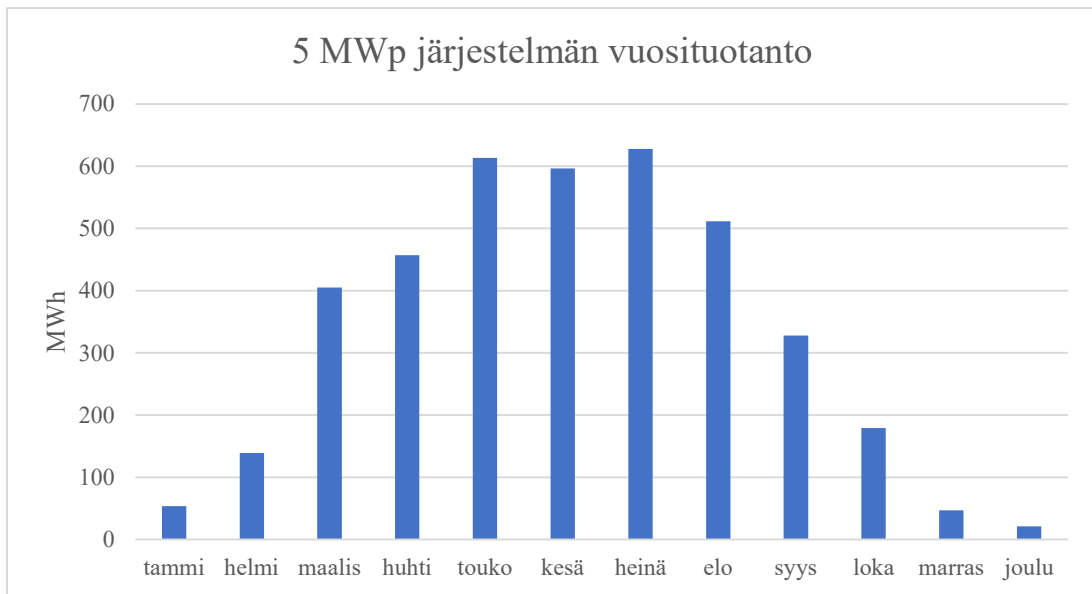
Kuvassa 18 nähdään tällä hetkellä suunnitteilla olevat suuremmat laitokset ja niiden lisäksi yksi hahmotelma siitä, kuinka paljon kapasiteettia voisi olla, jos samanlaisia laitoksia rakennettaisiin myös muihin kuntiin. Tässä esimerkissä suuremmissa kaupungeissa on suurempi kapasiteetti, pienemmissä kunnissa sen sijaan pienempi. Laitoksia voisi olla myös useampi pienempi, eikä ainoastaan yhtä isoa. Yhteensä asennettu huipputeho olisi noin 95 MW, sisältäen jo nyt suunnitteilla olevat kolme laitosta. Tämän kapasiteetin, pois lukien jo

suunnitteilla olevat laitokset, saavuttaminen vaatisi noin 6 MW lisäyksen vuosittain vuodesta 2023 vuoteen 2035.



Kuva 18. Skenaario suuremmista aurinkopuistoista Etelä-Savossa vuonna 2035. Alkuperäinen kuva: (Etelä-Savon maakuntaliitto, 2022a)

PVGIS mallinnus tehdään kuten edellisissä tapauksissa, mutta asennustavaksi valitaan maa-asennus. Se parantaa hieman tuotantoa, sillä aurinkopaneelien lämpötila pysyy matalampana paremman tuuletuksen takia. Kattoasennuksella optimisuuntauksella ja kallistuksella tässä mallinnuksessa valitulla sijainnilla vuosituotanto asennettua 1 kWp kohden on noin 770 kWh. Maa-asennus kasvattaa vuosituotantoa asennettua 1 kWp kohden jonkin verran, sillä se on noin 796 kWh. Kuvasta 19 nähdään, miten huipputeholtaan 5 MW aurinkovoimalaitoksen tuotanto jakautuu vuoden aikana. Kuten pienemmissä laitoksissa, tuotanto on suurinta keväällä ja kesällä. Vuodessa tämän kokoinen laitos tuottaa yhteensä noin 3,9 GWh sähköä. Paneelipinta-ala 5 MW aurinkopuistolla olisi noin 25 000 m². Se ei kuitenkaan vastaa suoraan tarvittavaa maa-alaa, sillä paneeleita ei asenneta yleensä maanpinnan suuntaisesti. Yhteensä 95 MW vaatisi noin 475 000 m² paneelipinta-alan.



Kuva 19. PVGIS-laskurilla saatu vuosittainen tuotantomäärä 5 MWp asennetulla paneeliteholla

7 Vaikutukset alueelle

Aurinkosähkön tuotannon kasvulla on vaikutuksia muun muassa päästöihin ja talouteen alueella. Lisäksi tarkastellaan vaikutusta sähkön tuotantoon alueella ja järjestelmien lisättävää määrää kunnittain. Näihin tuloksiin ei ole otettu huomioon jo tällä hetkellä asennettua ja käytössä olevaa aurinkosähkökapasiteettia, vaan ainoastaan edellisessä kappaleessa arvioitu uusi kapasiteetti ja sen vaikutuksia vuonna 2035. Jo asennetusta kapasiteettista ei ole yksityiskohtaista tietoa saatavilla, kuten järjestelmien lukumäärää, tehoa tai asennuspaikkaa. Vuonna 2021 asennettua aurinkosähköä on ollut Etelä-Savossa arviolta noin 13 MW. Tässä arvioissa aurinkosähkön kapasiteetti hieman yli kymmenkertaistuisi reilussa 10 vuodessa, vuoteen 2035. Uutta kapasiteettia tulisi asentaa yhteensä noin 10 MW vuodessa, jotta tämä arvioitu määrä saavutettaisiin.

7.1 Vaikutukset sähköntuotantoon

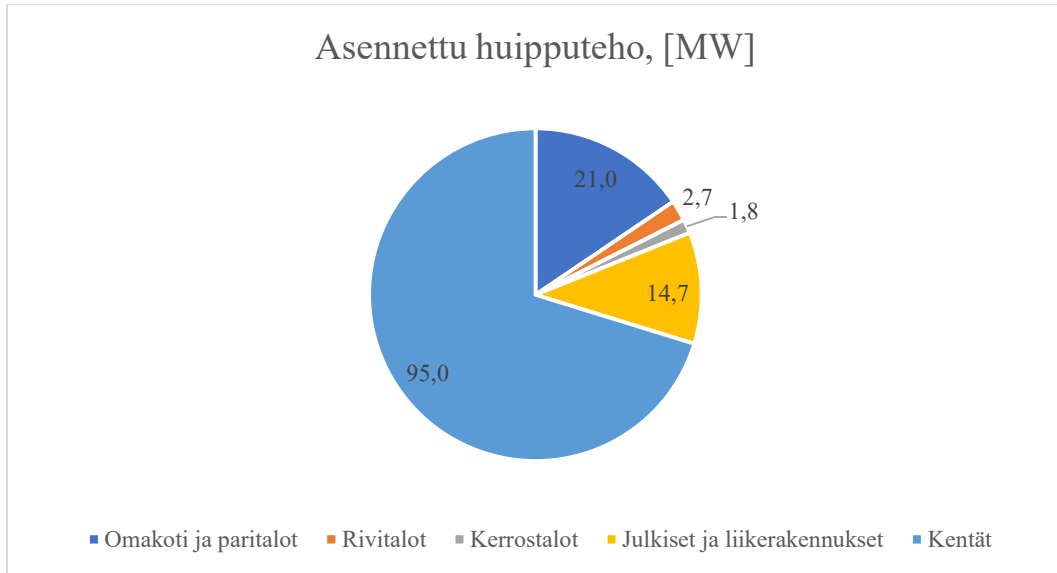
Taulukkoon 5 on kerätty yhteen eri kokoluokkien mahdollinen aurinkosähkön uusi asennettu huipputeho ja arvioitu vuosituotanto vuonna 2035.

Taulukko 5. Skenaarion uusi asennettu huipputeho ja arvioitu vuosituotanto 2035

	Teho [MW]	Vuosituotanto [GWh]
Omakoti- ja paritalot	21	16,2
Rivi- ja kerrostalot	4,6	3,5
Julkiset ja yritysten rakennukset	14,7	11,3
Aurinkopuistot	95	75,6
Yhteensä	135,2	106,6

Kuvassa 20 on vielä jaoteltu skenaarion huipputeho eri kokoluokissa. Nähdään, että kenttien osuus on suuri, jos niitä on joka kunnassa ja ne ovat merkittävän kokoisia. Kuitenkin

erityisesti omakoti- ja paritalojen osuus on myös merkittävä. Etelä-Savossa on melko vähän kerrostaloja ja rivitaloja pientaloihin verrattuna, joten niiden osuus on vähäisempi.



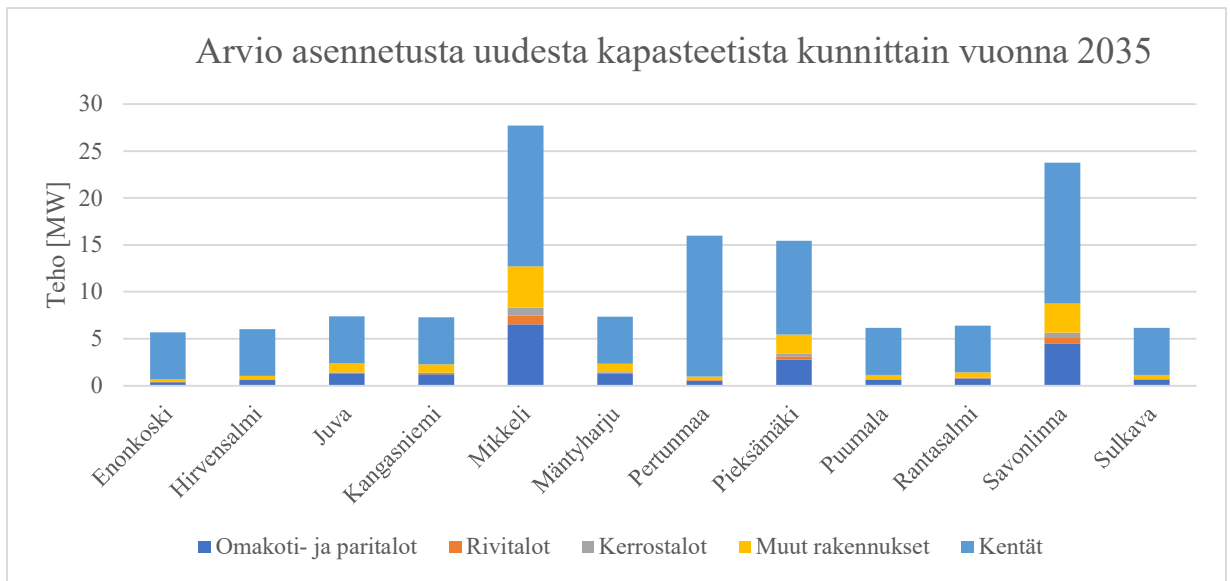
Kuva 20. Skenaarion asennettu huipputeho

Asennettujen järjestelmien lukumäärät vaihtelevat kunnittain melko paljon, koska rakennusten lukumäärä vaihtelee. Taulukossa 6 on eritelty tässä arvioissa suunniteltujen aurinkosähköjärjestelmien lukumäärä kunnittain, perustuen rakennusten lukumääriin. Kerrostaloja on melko vähän alueella, lukuun ottamatta suurempia kaupunkeja Mikkeliä, Savonlinnaa ja Pieksämäkeä.

Taulukko 6. Arvio uusien aurinkosähköjärjestelmien määristä kunnittain vuonna 2035

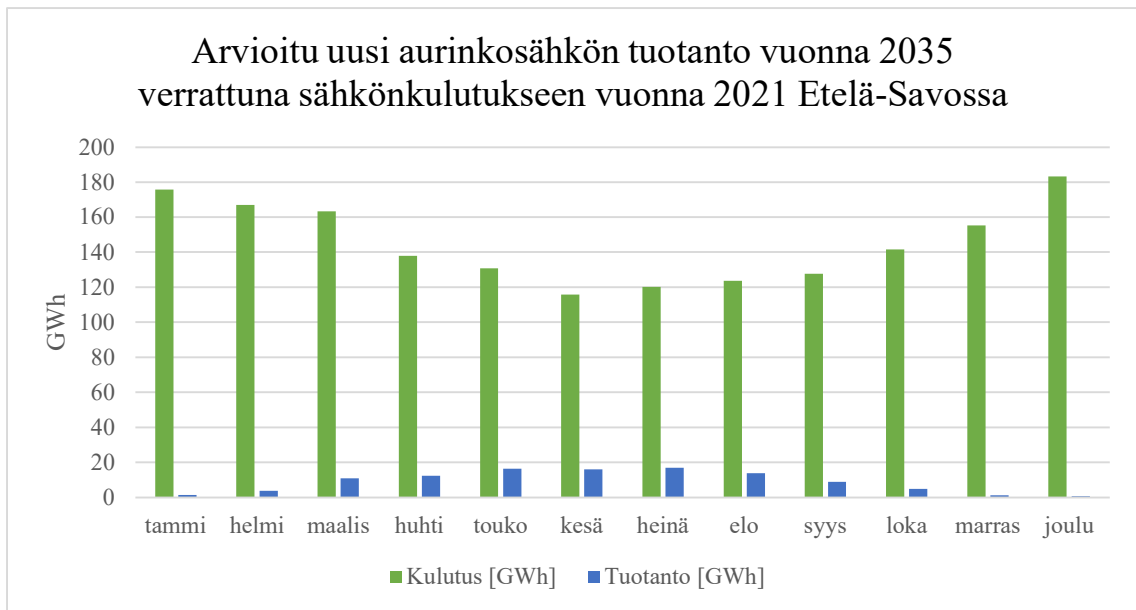
Järjestelmien lukumäärä	Omakoti- ja paritalot	Rivitalot	Kerrostalot	Muut rakennukset
Enonkoski	71	5	0	13
Hirvensalmi	123	7	0	17
Juva	251	13	5	47
Kangasniemi	242	14	3	45
Mikkeli	1305	94	86	220
Mäntyharju	250	14	6	44
Pertunmaa	106	6	1	20
Pieksämäki	560	34	27	101
Puumala	124	6	2	23
Rantasalmi	155	6	3	27
Savonlinna	894	69	50	154
Sulkava	129	7	1	22
Yhteensä	4209	275	183	734

Kuvasta 21 nähdään, miten arvioitu uusi asennettu kokonaiskapasiteetti vaihtelee paljon kunnittain. Kuvassa ei ole otettu huomioon jo asennettua kapasiteettia. Eniten tässä arvioissa uutta asennettua kapasiteettia olisi Mikkelissä, Savonlinnassa, Pieksämäellä ja Pertunmaalla. Näistä kolme ensimmäistä ovat suurempia kaupunkeja, joissa on paljon asuinrakennuksia sekä muita rakennuksia. Niiden lisäksi kapasiteettia kasvattaa arvio siitä, että suurempiin kaupunkeihin asennettaisiin suurempia aurinkopuistoja kuin pienempiin kuntiin. Pertunmaalle on jo suunnitteilla suuri huipputeholtaan 15 MW aurinkopuisto, joka on tässä arvioissa oletettu toteutuvan. Muihin kuntiin arvioidaan samankokoiset huipputeholtaan 5 MW aurinkopuistot, jonka lisäksi asuinrakennusten määrä vaihtelee. Tuotantomäärät jakautuvat kuntien välillä melko samassa suhteessa kuin asennettu kapasiteetti, vaikkakin suuri maa-asennettujen laitosten kapasiteetti tuottaa suhteessa hieman enemmän kattoasennettuun kapasiteettiin verrattuna paneelien lämpötilan takia.



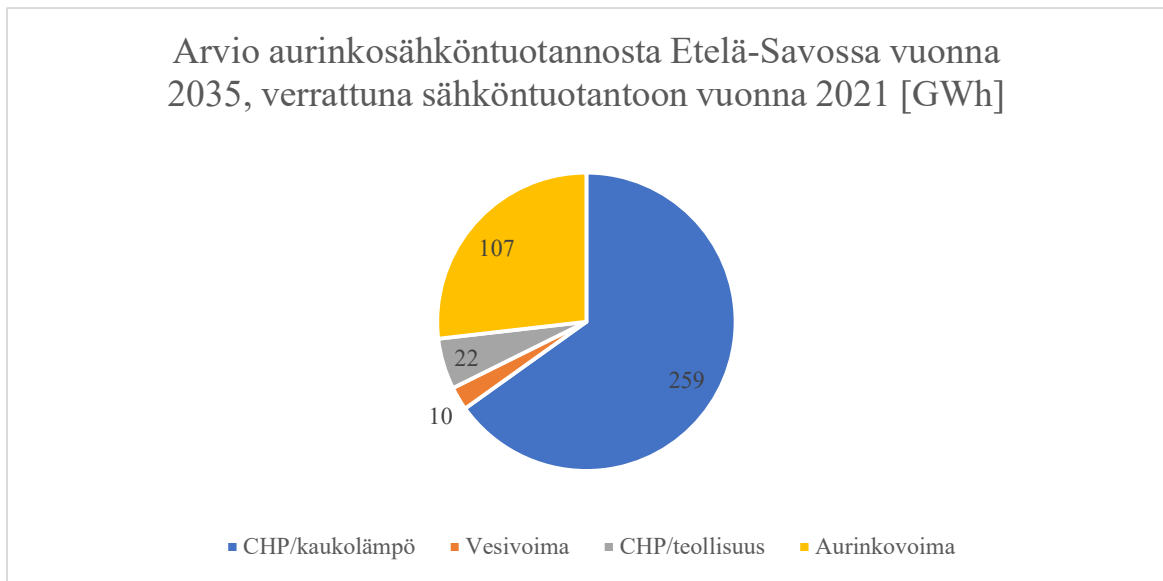
Kuva 21. Arvio asennettavasta kapasiteetista kunnittain Etelä-Savossa vuonna 2035

Kuvassa 22 on tämän skenaarion aurinkosähkön tuotanto verrattuna sähkön nykyiseen kulutukseen vuonna 2021 Etelä-Savossa kuukausittain. Koska kuukausittaista sähkönkulutusta maakunnittain ei ole saatavissa, on tässä käytetty arviota. Vuonna 2021 Etelä-Savo kulutti noin 2 % koko Suomen sähkönkulutuksesta, josta on laskettu kuukausittainen arvio Etelä-Savon sähkön kulutuksesta verrattuna koko Suomen sähkönkulutukseen kuukausittain. Etelä-Savon suhteessa pieni sähkönkulutus koko Suomeen verrattuna johtuu erityisesti teollisuussektorin pienemmästä kulutuksesta. Kuten nähdään, aurinkosähkön tuotannon lisäys ei tässä arviossa kata kuin melko pienen osan sähkönkulutuksesta. Touko-, kesä- ja heinäkuussa aurinkosähkön tuotanto kattaisi hieman yli 10 % nykyisestä sähkönkulutuksesta Etelä-Savossa.



Kuva 22. Skenaarion aurinkosähkön tuotanto vuonna 2035 verrattuna arvioituun sähkön kulutukseen Etelä-Savossa vuonna 2021

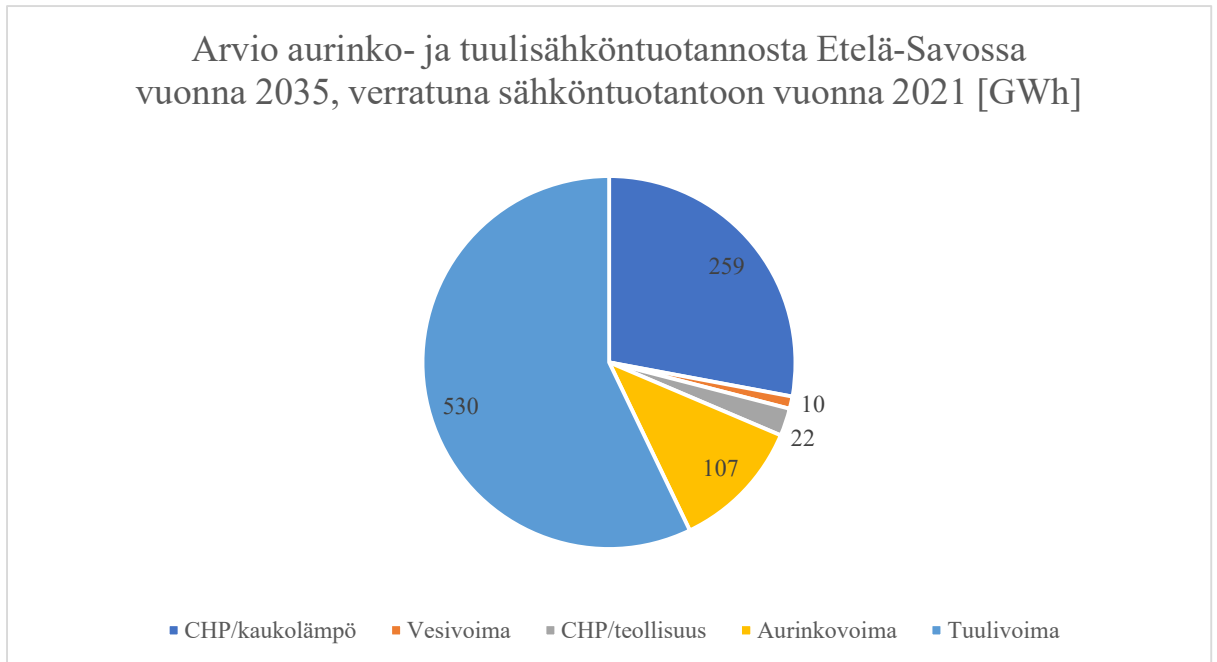
Sen sijaan tällainen aurinkosähkön tuotanto olisi merkittävä osa Etelä-Savossa tuotetusta sähköstä verrattuna vuoteen 2021. Kuvasta 23 nähdään, että tällainen aurinkosähkön vuosituotanto olisi noin neljännes sähköntuotannosta, mikäli sähkön ja lämmön yhteistuotanto sekä vesivoiman tuotanto pysyisi vuoden 2021 tasolla. Vuodessa sähköntuotantoa olisi silloin yhteensä noin 291 GWh ja se vastaisi noin 17 % vuoden 2021 kokonaissähkönkulutuksesta Etelä-Savossa. Sähköntuotannosta Etelä-Savossa ei ole kuukausittaista määrää saatavilla, mutta voidaan olettaa, että ainakin kaukolämmön yhteistuotanto painottuu kuukausille, milloin on suurin tarve lämmitykselle ja kesällä tuotanto on yleensä vähäisempää. Aurinkosähkön osuus tuotetusta sähköstä voisi olla kesällä vielä suurempi.



Kuva 23. Arvio aurinkosähköntuotannosta Etelä-Savossa vuonna 2035 verrattuna sähköntuotantoon vuonna 2021

Etelä-Savossa ei ole vielä asennettua tuulivoimaa vuonna 2022. Tuulivoimahankkeiden etenemisen esteeksi alueella on muodostunut Puolustusvoimien puoltamisen saaminen, tutkille aiheuttavien vaikutusten takia. Lisäksi monet tuulisimmat alueet eivät sovellu tuulivoimala-alueiksi, sillä vaikutustenarvioinnissa Vuoksen vesistöalueen ainutlaatuisen järvimaiseman säilyttämistä on korostettu. Myös lentorajoitukset aiheuttavat esteitä tuulivoimalahankkeille. (Ymparisto.fi, 2022.) Tällä hetkellä Pieksämäellä Niinimäkeen on suunnitteilla enintään 27 tuulivoimalan hanke, jonka arvioitu vuosituotanto on 530 GWh ja tuulivoimaloiden kokonaiskorkeus 258 metriä. Hankkeen yleiskaava on saanut lainvoiman sekä tuulivoimaloille on myönnetty rakennusluvut vuoden 2022 alussa ja rakentaminen on tarkoitus aloittaa vuonna 2023. (OX2.) Tämä hanke lisäisi uusiutuvan sähkön tuotantoa Etelä-Savossa merkittävästi.

Voidaan tarkastella, miten Pieksämäelle suunniteltu tuulivoimapuisto tulee toteutuessaan lisäämään sähköntuotantoa Etelä-Savossa ja mikä sen osuus olisi verrattuna arvioidun aurinkosähkön tuotantoon. Kuvassa 24 nähdään, että tällaisen suuren tuulivoimapuiston vuosituotanto tulisi olemaan merkittävä lisä sähköntuotannossa Etelä-Savossa. Yhdessä aurinkovoiman kanssa niiden osuus sähköntuotannosta Etelä-Savossa voisi olla jopa 70 %, mikäli muu tuotanto olisi vuoden 2021 tuotannon tasolla. Tässä arvioissa vuositasolla sähköntuotanto kattaisi hieman yli puolet vuoden 2021 sähkönkulutuksesta Etelä-Savossa.



Kuva 24. Arvio aurinko- ja tuulisähköntuotannosta Etelä-Savossa vuonna 2035, verrattuna sähköntuotantoon vuonna 2021

7.2 Vaikutukset talouteen ja työllisyyteen

Suurin osa Suomeen asennetuista aurinkopaneeleista valmistetaan ulkomailla. Ne tuottavat kuitenkin verotuloja valtiolle ja lisäksi erityisesti aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu, myynti, asennus ja huolto tuovat työtä Suomeen. Aurinkopaneeleita valmistetaan myös vähän Suomessa. Valoe Oy on aurinkosähköteknologiaan erikoistunut suomalainen yritys, jolla on toimisto Mikkelissä ja tehdas Juvalla, jossa yritys valmistaa aurinkopaneeleita (Valoe Oy, ei pvm).

Erityisesti isojen aurinkopaneelikenttien kuntotarkastuksilla on myös työllistävä vaikutus. Aurinkopaneelien kunto tulisi tarkastaa tasaisin väliajoin, jotta tuotanto säilyy hyvänä. Pientalojen aurinkopaneelien puhdistaminen lumesta ei ole välttämättä kannattavaa, jos niiden puhdistaminen on hankalaa tai on riskinä paneelien vahingoittuminen, sillä niiden tuotanto on melko pientä talvella muutenkin. Sen sijaan suurissa aurinkopuistoissa lumien putsaaminen saattaa olla järkevämpää, jos se lisääisi tuotantoa merkittävästi. Lisäksi esimerkiksi pölyn tai muun roskan putsaaminen paneeleista parantaa tuotantoa, vaikka pienemmät roskat saattavat puhdistua sateen mukana.

Tässä arvioidun aurinkosähköjärjestelmien lisäsmäärän kustannuksia voi arvioida keskimääräisten kustannusten määrällä asennettua kW kohden. Tässä käytetään aiemmassa kappaleessa aurinkosähköjärjestelmien hintaa käsiteltyjä lukujen keskiarvoja, jotka sisältävät arvonlisäveron 24 %. Tulokset on taulukoitu taulukkoon 7. Arvioitu uusien aurinkosähköjärjestelmien määrä vuonna 2035 vaatisi siis yhteensä noin 143 miljoonan euron investoinnin.

Taulukko 7. Uusien aurinkosähköjärjestelmien kustannusten arvio

	Järjestelmien määrä	Järjestelmän teho [kW]	Teho yhteensä [MW]	Kustannus per kW [€]	Kustannukset per laitos [m€]	Kustannukset yhteensä [m€]
Pientalot	4200	5	21,0	1200	0,006	25,2
Rivi- ja kerrostalot	458	10	4,6	1200	0,012	5,5
Julkiset ja liikeraennukset	733	20	14,7	1200	0,024	17,6
Kentät			95	1000	5*	95
						143,3

*5 MW laitos

Jos hinnat olisivat 200 euroa pienemmät asennettua kW kohden, olisi kustannukset yhteensä noin 116 miljoonaa euroa ja vastaavasti kun 200 euroa suuremmat, yhteensä 170 miljoonaa euroa.

7.3 Vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin

Tuotettu aurinkosähkö vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, mikäli sillä korvataan energianlähteitä, jotka tuottavat kasvihuonekasvupäästöjä. Aurinkosähkö voi vastata myös sähkön kysynnän kasvuun tulevaisuudessa. Asuinrakennusten aurinkosähköjärjestelmät vähentävät asumisen hiilidioksidipäästöjä, joita syntyy käyttösähköstä ja lämmittämisestä. Suuremmat aurinkovoimalat vähentävät teollisuuden päästöjä, mikäli tuotetulla sähköllä korvataan ostosähköä tai muita aikaisemmin fossiilisia polttoaineita käytäviä toimintoja. Maatalous, tie- ja liikenne ja työkoneet tuottavat merkittävän osan kasvihuonekaasupäästöistä Etelä-Savossa. Aurinkosähkö ei voi vähentää merkittävästi näiden sektorien päästöjä, ellei ajoneuvokanta samalla sähköisty. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt koostuvat suurimmaksi osaksi

maaperästä ja kotieläinten ruuansulatuksesta vapautuvista kasvihuonekaasuista. Näiden päästöjen vähentäminen vaatii muita toimenpiteitä.

Vuonna 2021 sähköntuotannon ominaishiilidioksidipäästön keskiarvo Suomessa oli 89 g CO₂/kWh (Tilastokeskus). Täytyy ottaa huomioon, että usein kesällä sähköntuotannon ominaishiilidioksidipäästö on alhaisempi kuin vuoden keskiarvo, sillä esimerkiksi yhteistuotannon osuus tuotetusta sähköstä on pienempi kesällä. Koska myös aurinkosähkön suurin tuotanto sijoittuu kesälle, ei päästövähennyksen arviointia ole järkevä tehdä ottaen huomioon koko vuoden keskiarvoa. Tulevaisuudessa sähkön ominaishiilidioksidipäästön voidaan olettaa pienentyvän, sillä päästöttömien sähköntuotantotapojen osuus sähköntuotannossa kasvaa koko ajan. Voidaan arvioida yksinkertaistetusti, kuinka paljon hiilidioksidipäästöt vähentyisivät, mikäli tuotettu aurinkosähkö korvaisi Etelä-Savon ulkopuolella tuotettua sähköä.

Jos ominaishiilidioksidipäästö kesällä oletetaan olevan esimerkiksi 40 g CO₂/kWh, tässä arvioitu aurinkosähkön vuosituotanto (noin 106,5 GWh) vähentäisi vuodessa noin 4,3 kt CO₂. Sen sijaan vuoden 2021 sähköntuotannon ominaishiilidioksidipäästön keskiarvolla 89 g CO₂/kWh, vähentäisi aurinkovoiman vuosituotanto noin 9,5 kt CO₂. Etelä-Savossa kulutus-sähkön kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2021 ovat olleet noin 61 kt CO₂. Öljylämmityksen päästöt vuonna 2021 on ollut noin 25 kt CO₂. Öljylämmitteisiä asuinrakennuksia on vuonna 2021 ollut rakennuskantarekisterin mukaan noin 6100 kappaletta. Tässä arviossa uusia aurinkosähköjärjestelmiä olisi vuonna 2035 asuinrakennuksissa 4667 kappaletta. Jos nämä järjestelmät asennettaisiin öljylämmitystä käyttäviin rakennuksiin, voisi päästövähennysmäärä olla merkittävämpi kuin ainoastaan ostosähkön korvaus, koska öljylämmityksen käyttö tuottaa merkittävästi enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin sähkölämmitys.

Suomen Ympäristökeskus on arvioinut Etelä-Savon aurinkoenergian tuotantopotentiaalin vuonna 2030 olevan 61,4 GWh, jonka on arvioitu vähentävän hiilidioksidipäästöjä 15,51 kt CO₂ vuodessa (Hiilineutraali Suomi, 2021b). Vuonna 2020 Etelä-Savossa hiilidioksidipäästöt olivat noin 910 kt CO₂ ja ennakkotieto vuodelta 2021 on noin 887 kt CO₂ (Hiilineutraali Suomi, 2022). Jos päästövähennyksen laskee suoraan verrannollisesti tämän arvion vuosituotannolle, olisi 106,6 GWh vuosituotannolla päästövähennys noin 27 kt CO₂ vuodessa. Tämä päästövähennysarvio on hieman suurempi kuin suoraan vuoden 2021 sähkön ominaishiilidioksidipäästön avulla arvioitu. Suomen Ympäristökeskuksen arvioinnissa otettiin huomioon muun muassa aurinkovoiman tuotannon vaihtelu vuoden aikana.

8 Johtopäätökset

Etelä-Savossa kulutetaan sähköä merkittävästi enemmän kuin sitä tuotetaan. Alueella on melko vähän vesivoimaa, eikä laisinkaan tuulivoimaa tällä hetkellä. Etelä-Savossa tuotetaan sähköä lähinnä sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantolaitoksissa. Aurinkosähkön kapasiteetin kasvu lisäisi uusiutuvan energian tuotantoa Etelä-Savossa. Vaikka aurinkosähkön tuotannolle on edellytyksiä myös Etelä-Savossa, ei talvella tuotantoa ole merkittävästi. Talven vähäinen tuotanto ei tee aurinkosähköstä taloudellisesti kannattamatonta, mutta se ei yksinään riitä lisäämään uusiutuvan tai päästöttömän energian tuotantoa Suomessa.

Pienkiinteistöjen aurinkosähköjärjestelmien laitoskoot ovat pieniä, mutta niiden määrän kasvaessa ne voivat yhteensä vastata jo suuremman kokoluokan kentän tuotantoa. Etelä-Savossa on paljon pientaloja ja jos kymmenesosaan niistä asennettaisiin 5 kWp aurinkosähköjärjestelmä, niiden yhteenlaskettu huipputeho olisi noin 21 MW. Rivi- ja kerrostaloja alueella on selkeästi vähemmän, jos kymmenesosaan niistä asennettaisiin 10 kWp aurinkosähköjärjestelmä, niiden yhteenlaskettu teho olisi noin 4,5 MW. Julkisten ja yritysten rakennuksia on paljon, mutta niihin asennettujen aurinkosähköjärjestelmien keskimääräinen koko on hankala arvioida, koska rakennuksia on hyvin eri kokoisia ja eri käytössä. Tässä on arvioitu, että kymmenesosaan rakennuksista asennettaisiin 20 kWp laitos. Yhteensä niiden kapasiteetti olisi noin 14,7 MW. Suuria aurinkopuistoja on arvioitu tulevan jokaiseen kuntaan, suurempiin kaupunkeihin enemmän. Yhteensä niiden asennettu kapasiteetti arvioidaan olevan 95 MW. Yhteensä vuonna 2035 Etelä-Savossa voisi olla uutta asennettua kapasiteettia arvon mukaan noin 135 MW. Vuosituotanto olisi noin 106 GWh. Se vastaisi kesällä noin 10 % sähkön kulutuksesta kesällä Etelä-Savossa verrattuna vuoden 2021 sähkön käyttöön ja olisi vuositasolla noin neljännes kaikesta tuotetusta sähköstä Etelä-Savossa verrattuna vuoden 2021 sähköntuotantoon.

Tällainen määrä aurinkosähkön tuotantoa vähentäisi hiilidioksidipäästöjä karkeasti arvioituna noin 4–9 kt CO₂, jos aurinkosähköllä korvataan ostosähköä, jonka ominaishiilidioksidipäästön keskiarvo olisi noin 40-90 g CO₂/kWh. Kesällä se on pienempi, jolloin myös suurin osa aurinkosähkön tuotannosta tapahtuu. Kulutussähkön hiilidioksidipäästöt Etelä-Savossa vuonna 2021 ovat olleet noin 60 kt CO₂. Aurinkosähkö voisi vähentää jonkin verran käyttösähkön hiilidioksidipäästöjä Etelä-Savossa. Aurinkosähkö ei kuitenkaan riitä yksin

vähentämään alueen hiilidioksidipäästöjä niin voimakkaasti mitä esimerkiksi Suomen hiilineutraaliustavoite vuoteen 2035 mennessä vaatisi.

Aurinkoenergian lisäämisen mahdollisuuksia on tutkinut aikaisemmin esimerkiksi Suomen Ympäristökeskus. Suomen Ympäristökeskus on arvioinut Etelä-Savon maakunnan aurinkosähkön energiantuotantopotentiaalin olevan 61,4 GWh vuodessa, vuonna 2030. Koko potentiaalin käyttöönoton investointikustannus olisi 95,7 miljoonaa euroa. Asuinrakennusten osuus koko tuotannosta Suomessa olisi 40 %, muissa rakennuksissa 30 % ja energiateollisuuden tuotannossa 30 %. Asuinrakennuksista 72,5 % tuotettaisiin pientaloissa, 22,5 % rivitaloissa ja 5 % asuin kerrostaloissa. Keskimääräinen aurinkosähköjärjestelmän kokoluokan on oletettu olevan 4 kW pientaloissa, 15 kW rivi- ja kerrostaloissa ja ei-asuinrakennuksissa 50 kW. (Hiilineutraali Suomi, 2021b.)

Selvityksestä ei suoraan käy ilmi, kuinka paljon asennettua aurinkosähköä tämä tuotantopotentiaali vaatisi Etelä-Savossa. Voidaan kuitenkin arvioida, että se edellyttäisi ainakin noin 80 MW edestä asennettua aurinkosähkökapasiteettia, jos oletetaan huipputeholtaan yhden kW tuottavan vuodessa noin 770 kWh. Tämä PVGIS-laskentaohjelmalla saatu arvio Mikkelin keskustassa optimaalisella suuntauksella ja kallistuksella olevan aurinkosähköjärjestelmän tuotannosta. Todellisuudessa yhden asennetun kW:n vuosituotanto voi vaihdella hieman.

Tässä tutkielmassa asuintalojen osuus aurinkosähköntuotannossa on arvioitu pienemmäksi kuin Suomen Ympäristökeskuksen arviossa. Sen sijaan Suomen Ympäristökeskuksen arviossa energiateollisuuden tuotanto on arvioitu olevan 30 % arvioidusta tuotantopotentiaalista, eli noin 20 GWh vuodessa. Nyt suunnitteilla olevat Sulkavan, Pertunmaan ja Hirvensalmen aurinkopuistot tuottaisivat arviolta jo hieman yli tämän arvion.

Todennäköisesti suurin epävarmuus liittyy julkisten ja yritysten rakennusten aurinkosähköjärjestelmiin sekä aurinkopuistojen potentiaaliin. Aurinkopuistojen potentiaali ei ole yhtä rajoitettua kuin esimerkiksi omakoti- ja paritalojen potentiaali aurinkosähkön tuotannossa. Ei ole realistista, että jokaiseen asuinrakennukseen asennettaisiin aurinkosähköjärjestelmä, sillä paneeleita ei kannata asentaa varjoisalle katolle tai jos suuntaus on huono. Sen lisäksi kotitalouksien ja asunto-osakeyhtiöiden taloudelliset mahdollisuudet investoida aurinkosähköjärjestelmään rajoittavat aurinkosähkön potentiaalia. Tässä arviossa valittu 10 % asuinrakennuksista voisi olla realistinen osuus asuinrakennuksista vuonna 2035. Erilaiset tuet ja

kannustimet vaikuttavat kotitalouksien ja asunto-osakeyhtiöiden investointipäätöksiin, kuten myös sähkön ja aurinkosähköjärjestelmien hinta. Myös saatavilla oleva tieto voi joko kiihdyttää tai vähentää halukkuutta investoida aurinkosähköjärjestelmiin. Tällä hetkellä käytännön esteitä aurinkopaneelien asentamiselle ja käyttöön asuinrakennuksissa ei juuri-kaan ole, ja uudet asetukset ovat tehneet siitä entistä kannattavampaa.

Osaltaan julkisiin- ja liikerakennuksiin asennetut aurinkosähköjärjestelmät voivat vähentää investointihalukkuutta suurempiin aurinkopuistoihin tai vastaavasti toisin päin. Esimerkiksi, jos kunta investoi suureen aurinkopuistoon, jonka tuotanto riittää kattamaan kunnan omien toimintojen sähköntarpeen, onko kunnalla enää halua investoida kunnan rakennuksiin asennettaviin uusiin aurinkosähköjärjestelmiin. Toisaalta yrityksillä on entistä suurempi paine tehdä vastuullisia valintoja ja panostaa esimerkiksi uusiutuvien energianlähteiden käyttöön.

Sähkön tuotanto aurinkopaneeleilla ei tuota hiilidioksidipäästöjä, eikä muita kasvihuonekaasupäästöjä. Aurinkosähkön tuotannon kasvu vähentää alueen hiilidioksidipäästöjä, mikäli se korvaa fossiilisten polttoaineiden käyttöä sähkön ja energian tuotannossa. Aurinkosähkö voi vastata myös kasvavaan sähköntarpeeseen. Aurinkosähkö ei ole yksinään riittävä keino hiilineutraalin yhteiskunnan luomiseen, mutta yhdessä muiden uusiutuvien ja hiilineutraalien energianlähteiden sekä energiatehokkaiden ratkaisujen kanssa osa kokonaisuutta.

Lähteet

- Business Finland, Energiatuki. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki#stored> [Viitattu 16.3.2023].
- BusinessOulu, Yritystulkki, Investoinnin kannattavuus. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.yritystulkki.fi/fi/alue/oulu/aloittava-yrittaja/suunnittelu/taloussuunnitelmat/investoinninkannattavuus/> [Viitattu 17-3.2023].
- EERE, Concentrating Solar-Thermal Power Basics. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.energy.gov/eere/solar/linear-concentrator-system-concentrating-solar-thermal-power-basics> [Viitattu 23.02.2023].
- ELY-keskus, 2022. Uusiutuvan energian lupaneuvonta. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/aurinkoenergia> [Viitattu 16.3.2023].
- Energiateollisuus, 2021. Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. [verkkoaineisto] Saatavissa https://energia.fi/files/6065/Ohje_tuotannon_liittamisesta_asiakasviestintaan_PAIVITETTY_20210614.pdf [Viitattu 15.10.2022].
- Energiateollisuus, 2022b. Sähköntuotanto maakunnittain 2007-2021. [verkkoaineisto] Saatavissa https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/sahkontuotanto_maakunnittain_2007-2021.html#material-view [Viitattu 19.1.2023].
- Energiateollisuus, 2022. Sähkönkäyttö maakunnittain 2007-2021. [verkkoaineisto] Saatavissa https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/sahkonkaytto_maakunnittain_2007-2021.html#material-view [Viitattu 14.1.2023].
- Energiavirasto, 2022a. Aurinkosähkön kapasiteetti kasvoi Suomessa yli 100 megawattia vuonna 2021. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-kapasiteetti-kasvoi-suomessa-yli-100-megawattia-vuonna-2021> [Viitattu 23.8.2022].
- Energiavirasto, 2022b. Verkkotoiminnan tunnusluvut. [verkkoaineisto] Saatavissa https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/S%C3%A4hk%C3%B6verkon_tekniset_tunnusluvut_2021.xlsx/99814498-f505-850e-94fe-3afea9793d28?t=1666868431770 [Viitattu 14.12.2022].
- Energiavirasto, 2022c. Voimalaitosrekisteri. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12722768/Energiaviraston+voimalaitosrekisteri/467811b9-c41a-5118-15bc-d4a93713474e?t=1670408569727> [Viitattu 26.1.2023].

- ESE-Verkko Oy, 2021. Verkkopalvelumaksut. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://ese.fi/files/ese/verkkopalvelumaksut%201.3.2021%20alkaen.pdf> [Viitattu 14.3.2023].
- Etelä-Savon Energia Oy, 2018. Etelä-Savon Energia Oy (ESE) lopettaa turpeen käytön. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://ese.fi/fi-fi/article/uutiset/etela-savon-energia-oy-ese-lopettaa-turpeen-kayton/1137/> [Viitattu 24.1.2023].
- Etelä-Savon Energia Oy, 2022. ESE energiantuottajana. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://ese.fi/konserni/energian-ja-lammontuotanto> [Viitattu 23.8.2022].
- Etelä-Savon maakuntaliitto, 2022a. Aineistot Medialle. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.esavo.fi/aineistot-medialle> [Viitattu 28.8.2022].
- Etelä-Savon maakuntaliitto, 2022b. Etelä-Savon kunnat. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.esavo.fi/etela-savon-kunnat> [Viitattu 23.8.2022].
- Etelä-Savon maakuntaliitto, 2022c. Kesämökkit 2021. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.esavo.fi/resources/public/Tietoa-Etela-Savosta/Tilastot/Matkailu/kesamokit_2021.pdf [Viitattu 26.1.2023].
- Etelä-Savon maakuntaliitto, 2022d. Tilastot. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.esavo.fi/tilastot> [Viitattu 21.1.2023].
- Euroopan komissio, 2022. Photovoltaic geographical information system. [verkkoaineisto] Saatavissa https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ [Viitattu 15.10.2022].
- Finsolar, 2015. Ympäristövaikutukset. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://finsolar.net/aurinkoenergia/ymparistovaikutukset/> [Viitattu 13.03.2023].
- Finsolar, 2016. Aurinkoenergian edistämiskeinot kunnissa. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://finsolar.net/edistamisvinkit/> [Viitattu 8.10.2022].
- Hiilineutraali Suomi, 2021a. Työkalut. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Laskurit> [Viitattu 11.10.2022].
- Hiilineutraali Suomi, 2021b. Uusiutuvan energian potentiaali maakunnissa. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Paastot_ja_indikaattorit/Uusiutuvan_energian_potentiaali [Viitattu 1.12.2022].
- Hiilineutraali Suomi, 2022. SYKE-kuntien ja alueiden KHK-päästöt. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/> [Viitattu 21.1.2023].
- IEA, 2022a. Finland. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.iea.org/countries/finland> [Viitattu 14.1.2023].
- IEA, 2022b. Solar PV. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.iea.org/reports/solar-pv> [Viitattu 12.1.2023].
- IRENA, 2022a. Regional Trends. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Regional-Trends> [Viitattu 12.12.2022].

IRENA, 2022b. Renewable Energy Technologies. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Technologies> [Viitattu 13.1.2023].

IRENA, 2022c. Solar energy. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy> [Viitattu 23.02.2023].

Keravan energia, 2020. Energiayhteisö tekee aurinkopaneeleista kannattavampia taloyhtiöille. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.keravanenergia.fi/blog/artikkeli/energiayhteiso/> [Viitattu 23.8.2022].

Kymenlaakson Sähköverkko Oy, STT, 2022. Pientuottajien netotus parantaa aurinkosähkön tuottavuutta. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.sttinfo.fi/tiedote/pientuottajien-netotus-parantaa-aurinkosahkon-tuottavuutta?publisherId=69818828&releaseId=69938055> [Viitattu 15.3.2023].

Lehto, I., Orrberg, M., Ylinen, M. & Andersen, M., 2021. Aurinkojärjestelmien suunnittelu ja toteutus. 2. painos toim. Espoo: Sähkötieto ry.

Motiva Oy, 2020a. Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.Motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolammon_passiivinen_hyodyntaminen [Viitattu 11.10.2022].

Motiva Oy, 2020b. Kaukolämmön tuottaminen aurinkolämmöllä. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.Motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/kaukolammon_tuottaminen_aurinkolammolla [Viitattu 14.3.2023].

Motiva Oy, 2020c. Teollinen aurinkolämpö. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.Motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/teollinen_aurinkolampo [Viitattu 14.3.2023].

Motiva Oy, 2020d. Varastointi vesivaraajaan. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.Motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelma_n_kaytto/aurinkolammon_varastointi/varastointi_vesivaraajaan [Viitattu 14.3.2023].

Motiva Oy, 2022a. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.Motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa [Viitattu 18.3.2023].

Motiva Oy, 2022b. Aurinkosähkölaitteiden hinta. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.Motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta [Viitattu 15.3.2023].

Motiva Oy, 2022c. Aurinkosähkölaitteiden teho. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.Motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho [Viitattu 25.8.2022].

- Motiva Oy, 2022d. Energian hankinta. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.Motiva.fi/julkinen_sektori/uusiutuva_energia/energian_hankinta [Viitattu 16.3.2023].
- Motiva Oy, 2022e. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.Motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma [Viitattu 2.10.2022].
- Motiva Oy, 2022f. Ylijäämäsähkön myynti. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.Motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti [Viitattu 15.3.2023].
- Motiva Oy, 2022g. Älykkäät sähköverkot – aurinkosähkö osana tulevaisuuden sähköjärjestelmää. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.Motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/alykkaat_sahkoverkot_-_aurinkosahko_osana_tulevaisuuden_sahkojarjestelmaa [Viitattu 17.12.2022].
- MTK, Mitä me maa- ja metsätaloustuottajat voimme tehdä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi?. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.mtk.fi/ilmasto> [Viitattu 7.3.2023].
- Nevanlinna, H., 2008. Muutamme ilmastoa. Helsinki: Karttakeskus.
- Nordic Green Energy, 2022. Spot-hinta. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.nordicgreen.fi/asiakaspalvelu/spot-hinta/> [Viitattu 12.1.2023].
- Omakotiliitto, Kilpailuta ostosähkö. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.omakotiliitto.fi/asuminen/vinkit_ja_oppaat/lammitys_ja_sahko/sahkon_ostaminen [Viitattu 12.3.2023].
- OX2, Niinimäki, tiedot hankkeesta. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.ox2.com/fi/suomi/hankkeet/niinimaki/> [Viitattu 28.9.2022].
- Puruvesi, 2017. Enonkosken liikuntatalo valaistuu aurinkosähköllä. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.puruvesi.net/paikalliset/4083429> [Viitattu 23.1.2023].
- Singh, S. N. e., Tiwari, P. e. & Tiwari, S. e., 2021. Fundamentals and innovations in solar energy. Singapore: Springer.
- Solarigo, 2021. Sulkavan kunnan oma sähkönkulutus kokonaan aurinkosähköpuistosta ensimmäisenä kuntana Suomessa. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.solarigo.fi/post/sulkavan-kunnan-oma-sahkonkulutus-kokonaan-aurinkosahkokuistosta-ensimmaisena-kuntana-suomessa> [Viitattu 17.10.2022].
- Solarigo, 2022. Atrian aurinkopuiston laajennuksen paneeliasennukset ovat alkaneet. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.solarigo.fi/post/atrian-aurinkopuiston-laajennuksen-paneeliasennukset-ovat-alkaneet> [Viitattu 15.10.2022].
- Sun Energia, 2016. Sun Energia. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://sunenergia.com/> [Viitattu 11.10.2022].

Suomen Tuulivoimayhdistys, Mikä PPA?. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/ppa-pitkaaikaiset-sahkonostosopimukset-2/ppa-pitkaaikaiset-sahkonostosopimukset> [Viitattu 17.3.2023].

Suur-Savon Sähkö Oy, STT, 2022a. Hirvensalmelle rakennetaan aurinkovoimala. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.sttinfo.fi/tiedote/hirvensalmelle-rakennetaan-aurinkovoimala?publisherId=69817667&releaseId=69950722> [Viitattu 17.10.2022].

Suur-Savon Sähkö Oy, STT, 2022b. Pertunmaalle rakennetaan Suomen suurin aurinkovoimala – Voimalaa on tarkoitus käyttää myös tutkimukseen. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.sttinfo.fi/tiedote/pertunmaalle-rakennetaan-suomen-suurin-aurinkovoimala-voimalaa-on-tarkoitus-kayttaa-myos-tutkimukseen?publisherId=69817667&releaseId=69950243&lang=fi> [Viitattu 17.10.2022].

Tilastokeskus, 2022. Tilastokeskus, rakennukset ja kesämökit. [verkkoaineisto] Saatavissa https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_rakke/statfin_rakke_pxt_116h.px/ [Viitattu 12.9.2022].

Tilastokeskus, Sähkön ja lämmön tuotannon hiilidioksidipäästöt. [verkkoaineisto] Saatavissa https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2021/data/t12_03.xlsx [Viitattu 15.2.2023].

United Nations, 2020. The Climate Crisis – A Race We Can Win. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.un.org/en/un75/climate-crisis-race-we-can-win> [Viitattu 26.1.2023].

Valoe Oy, Yhtiöstä. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://valoe.fi/yhti%C3%B6st%C3%A4-1> [Viitattu 5.9.2022].

Valtiovarainministeriö, Energiaverotus. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://vm.fi/energiaverotus> [Viitattu 23.1.2023].

Verkor, 2022. Using electric vehicles for energy storage. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://verkor.com/en/using-electric-vehicles-for-energy-storage/> [Viitattu 22.2.2023].

Verohallinto, 2020. Kotitalouden sähköntuotannon tuloverotus. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/48484/kotitalouden-s%C3%A4hk%C3%B6ntuotannon-tuloverotus/> [Viitattu 15.3.2023].

Verohallinto, 2022. Kotitalousvähennys. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/tulot-ja-vahennykset/kotitalousvahennys/> [Viitattu 10.10.2022].

YLE, 2021. Aurinkopaneelien kasvu jatkuu hurjana – Etelä-Savossa lisäystä 40 prosenttia. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://yle.fi/a/3-11966419> [Viitattu 10.10.2022].

Ymparisto.fi, 2022. Tuulivoimarakentaminen. [verkkoaineisto] Saatavissa https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Elinymparisto/Tuulivoimarakentaminen?f=EtelaSavon_EL_Ykeskus [Viitattu 28.9.2022].

Ympäristöministeriö, 2022a. Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035> [Viitattu 14.12.2022].

Ympäristöministeriö, 2022b. Kohti hiilineutraalia Suomea – hallitus hyväksyi keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://ym.fi/-/kohti-hiilineutraalia-suomea-hallitus-hyvaksyi-keskipitkan-aikavalin-ilmastopolitiikan-suunnitelman> [Viitattu 14.12.2022].

Ympäristöministeriö, Euroopan unionin ilmastopolitiikka. [verkkoaineisto] Saatavissa <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka> [Viitattu 6.3.2023].