



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

AURINKOVOIMALAN KAN- NATTAVUUS 2020-LUVULLA

TEKIJÄ: Matti Eskelinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Matti Eskelinen	
Työn nimi Aurinkovoimalan kannattavuus 2020-luvulla	
Päiväys 5.6.2020	Sivumäärä/Liitteet 47/2
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sorros Oy / Petteri Koponen, Kari Väänänen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka kannattavaa on aurinkovoimalan pitäminen sekä ostaminen 2020-luvulla. Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa asiakirja mistä ilmenee aurinkovoimalan kannattavuuden laskeminen sekä aurinkovoimalan rakenne ja komponentit. Opinnäytetyön aihe muodostui tarpeesta päivittää tietoja vastaamaan nykyhetkeä alan nopean kehityksen takia.</p> <p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin pienaurinkovoimalan kannattavuutta, järjestelmän rakennetta ja komponentteja, järjestelmän hankintaan liittyviä säädöksiä sekä kuinka kannattavaa aurinkosähköjärjestelmän ylläpitäminen on Suomessa. Työn aluksi käsiteltiin olosuhteiden vaikutusta kannattavuuteen, sekä tekijöitä, jotka ovat vaikuttaneet siihen, että ihmisten kiinnostus voimaloita kohtaan on lisääntynyt. Tämän jälkeen tarkasteltiin aurinkosähköjärjestelmän rakennetta ja komponentteja. Työn neljännessä kappaleessa esitellään järjestelmän koon mitoittaminen ja säädökset, jotka liittyvät järjestelmän hankintaan ja liittämiseen. Työn viimeisenä asiana pohdittiin sähkönhinnan nousua viime vuosikymmenellä sekä esimerkkijärjestelmien kannattavuutta.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena muodostui asiakirja, jossa on laskennallisesti esitetty eri aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus. Työn pohjalta pystyy maallikko saamaan hyvän käsityksen, mitä asioita järjestelmän hankinnassa on hyvä ottaa huomioon ja kuinka kannattavaa järjestelmän ostaminen on.</p>	
Avainsanat Aurinkosähkö, Aurinkovoimala, Aurinkosähköjärjestelmä, Aurinkopaneeli	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Matti Eskelinen			
Title of Thesis Photovoltaic Plant Profitability in 2020s			
Date	5.6.2020	Pages/Appendices	47/2
Client Organisation /Partners Sorros Oy. Ltd			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of the thesis was to find out how profitable it is to keep and buy a photovoltaic plant in the 2020s. The aim of the thesis was to create a document which shows via calculations the profitability and the structure and components of a photovoltaic plant. The topic of the thesis originated from the need to update the data to reflect the current state of the field due to the rapid development of the industry.</p> <p>The thesis dealt with the profitability of a small solar power plant, the structure and components of the system, the regulations related to the acquisition of the system and how profitable it is to maintain a solar system in Finland. The impact of conditions on profitability and the factors that have contributed to the increase in people's interest in power plants were studied in thesis. After that, the structure and components of the photovoltaic system were analysed. The sizing of the system size was studied, and the regulations related to the acquisition and connection of the system. Finally, the increase in the price of electricity in last decade and the examination of the profitability of example systems was studied.</p> <p>As a result of this thesis, a document which shows via calculations the profitability of different photovoltaic system was drawn up. Based on this thesis a layman can gain a good idea of what things to consider when purchasing a system and how profitable it is to buy a system.</p>			
<p>Keywords Photovoltaic, Photovoltaic plant, Photovoltaic system, Solar panel</p>			

ESIPUHE

Insinööritutkinnon lopputyö on toteutettu Sorros Oy:lle Kuopiossa keväänä 2020. Opinnäytetyön aihe muodostui tarpeesta päivittää tietoja alan viimevuosien kehityksestä vastaamaan nykypäivää. Työn alkuvaiheessa vastaan tuli paljon uusia asioita, sillä koulutuksen yhteydessä ei käsitelty aurinkosähköteknologiaa juuri ollenkaan. Työn aluksi aikaa kului paljon uusien asioiden opettelemiseen sekä alan kokonaisuuden opettelemisessa. Alun opiskelun jälkeen työn tekeminen alkoi sujumaan mallikkaasti ja olen tyytyväinen työn lopputulokseen.

Työn aikaisten ongelmien ratkaisemiseksi sain apua työn tilaajilta Petteri Kuposelta sekä Kari Väänäseltä. Työn kielirakenteen muokkaamiseen sain tärkeitä neuvoja työn ohjaavalta opettajalta Sami Tiilikaiselta. Haluan kiittää Sorros Oy:tä mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta sekä työn ohjaavaa opettajaa Sami Tiilikaista hänen antamistaan neuvoista opinnäytetyön tekemiseksi.

Kuopiossa 5.6.2020

Matti Eskelinen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
1.1	Työn tausta	8
1.2	Työn tavoitteet ja rakenne	8
2	AURINKOSÄHKÖ SUOMESSA	9
2.1	Olosuhteiden vaikutus kannattavuuteen.....	9
2.2	Lisääntynyt kiinnostus voimaloita kohtaan.....	10
2.3	Aurinkosähköjärjestelmän hankintatuet.....	11
2.3.1	Yksityishenkilöt sekä yritykset	11
2.3.2	Maatilat	12
2.4	Alan kehittymisen odote.....	13
3	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTAPERIAATE	14
3.1	Aurinkopaneelien rakenne	14
3.1.1	Ohutkalvokennot	15
3.1.2	Lasi/lasi-aurinkopaneelit	16
3.1.3	Kaksipuoleinen paneeli	17
3.2	Aurinkopaneelien toimintaperiaate.....	19
3.3	Asentaminen, suuntaaminen sekä sijoittaminen	19
3.4	Vaihtosuuntaajat.....	22
3.4.1	Mikroinvertteri	22
3.4.2	String-invertteri	22
3.4.3	Off-Grid-invertteri	23
3.4.4	Keskusinvertteri.....	24
4	JÄRJESTELMÄN HANKINTA.....	25
4.1	Järjestelmän mitoittaminen	25
4.2	Järjestelmän kytkeminen sähköverkkoon.....	26
4.2.1	Yleiset säännökset	26
4.2.2	Sähkön laadun vaatimukset.....	27
4.2.3	Järjestelmän suojaaminen.....	28
4.2.4	Järjestelmän sähkönkulutuksen ja -tuoton mittaaminen.....	29
5	TALOUELLINEN TARKASTELU.....	31
5.1	Sähköenergian ja siirron hintojen nouseminen	31

5.2	Kannattavuuden tarkasteluun käytettävät laskentamenetelmät.....	33
5.2.1	Takaisinmaksuajan menetelmä.....	33
5.2.2	Laskennassa käytettävät lähtöarvot sekä skenaariot.....	33
5.3	Aurinkovoimalan kannattavuus	34
5.3.1	Verkosta irrallaan olevan aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus kesämökillä	34
5.3.2	Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus omakotitalossa	36
5.3.3	Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus maatilalla.....	38
5.4	Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden pohdinta	40
6	YHTEENVETO.....	42
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT.....	43
	LIITE 1: ENERGIANHINNAN KEHITYS.....	46
	LIITE 2: SIIRTOHINNAN KEHITYS.....	47

LYHENTEEN JA MÄÄRITELMÄT

a-Si	Amorphous silicon
Aurinkopaneeli	Puolijohdemateriaalista rakentuva laite, joka on kykenevä muuntamaan auringon säteilyenergian sähköenergiaksi.
CdTe	Cadmium telluride
CIGS	Copper indium gallium selenide solar cell
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
EMV	Energiamarkkinavirasto
EU	Euroopan unioni
LoM	Loss of Mains
pn-liitos	Kahden puolijohteen välinen liitos, johon muodostuu tyhjennysalue valosähköisessä ilmiössä
PV	Photovoltaic
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
Säteilyintensiteetti	Säteilyenergian teho pinta-alayksikköä kohden
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
TVPE	Tuotannon verkkopalveluehto
Valosähköinen ilmiö	Auringon säteilyenergian muuttuminen varauksen kuljettajien liike-energiaksi ja tätä kautta sähköksi
VPE	Verkkopalveluehto
Wh	Wattitunti
Wp	Wattipiikki
Ylijäämä sähkö	Aurinkopaneelien tuottama sähkö, jota ei voida käyttää kohteessa vaan myydään verkkoon

1 JOHDANTO

Tässä luvussa käydään läpi työn tausta, tavoitteet ja rakenne. Työn taustaosiossa käydään läpi, kuinka työn aihe on syntynyt ja minkä takia työn tilaaja on halunnut tilata opinnäytetyön kyseisestä aiheesta. Työn tavoitteet ja rakenneosiossa käydään läpi mistä aiheista lopputyö koostuu, kuinka se tehdään ja millainen lopullinen tuotos tulee olemaan.

1.1 Työn tausta

Ihmiset ovat heränneet viimevuosien aikana kunnioittamaan ympäristöä ja tavoittelemaan ympäristöystävällisempiä kulutustapoja. Uusiutuva energia on noussut yhdeksi viimeaikojen puhutuimmaksi asiaksi ympäristöön liittyvissä keskusteluissa. Aurinkosähkö on yksi parhaimmista tavoista tuottaa uusiutuvaa energiaa sen tilanviennin vähäisyyden takia. Verrattaessa esimerkiksi tuulivoimaloihin, aurinkosähköä voidaan tuottaa miltein jokaisen rakennuksen katolla, kun vastaavasti tuulivoimala vie suunnattoman paljon tilaa. Verrattaessa vesivoimaan aurinkosähköä voidaan tuottaa missä paikassa tahansa, kun vesivoiman tuottaminen vaati veden välittömän läheisyyden.

Työn aihe syntyi tarpeesta päivittää tietoja aurinkovoimalankannattavuudesta. Aurinkovoimaloiden hinnat ovat pudonneet merkittävästi kuluneen vuosikymmenen aikana ja täten aurinkosähkön tuottaminen on tullut entistä edullisemmaksi sekä järjestelmät maksavat itsensä takaisin tavallista nopeammin. Olettaessa huomioon sähkön hinnan vuosittainen nouseminen, tulee aurinkosähkö olemaan vuosivuodelta kannattavampaa. Aurinkosähköteknologia on kehittynyt viime vuosien aikana nopeasti. On keksitty entistä parempia materiaali- ja rakenneratkaisuja, joilla on saatu paneelien hintatasoa laskettua ja paneelien tuottavuutta parannettua. Yritykset ovat muun muassa alkaneet liittää aurinkopaneeleita suoraan kattorakenteisiin jo tehtaalla, saaden täten asentamiskustannuksia matallettua. Aurinkosähköpaneelit ovat löytäneet tiensä myös julkisivun osiin, jolloin niitä käytetään paikoitellen seinämateriaalina lasi-ikkunoiden sijasta.

1.2 Työn tavoitteet ja rakenne

Työn tavoitteena on selvittää, kuinka kannattavaa on aurinkovoimalan perustaminen 2020-luvulla. Työn tekeminen aloitetaan alan taustatutkimuksella, jossa perehdytään alan tuotteisiin, niiden ominaisuuksiin, käyttötarkoituksiin, hankintatukiin, kannattavuuteen, olosuhteiden vaikutuksiin, sekä lainsäädännöllisiin asioihin kuten standardeihin. Taustatutkimuksen tarkoituksena on saavuttaa tekijälle, sekä tilaajalle laaja taustapohja alasta, jonka pohjalta on hyvä aloittaa syvälinen perehtyminen eri aihealueisiin. Perusteellinen taustatutkimus on erittäin olennaisessa osassa lopputyön tekemistä, sillä sen aikana tekijälle vahvistuu kokonaiskuva ja käsitys alasta, joka luo pohjan onnistuneelle lopputyölle.

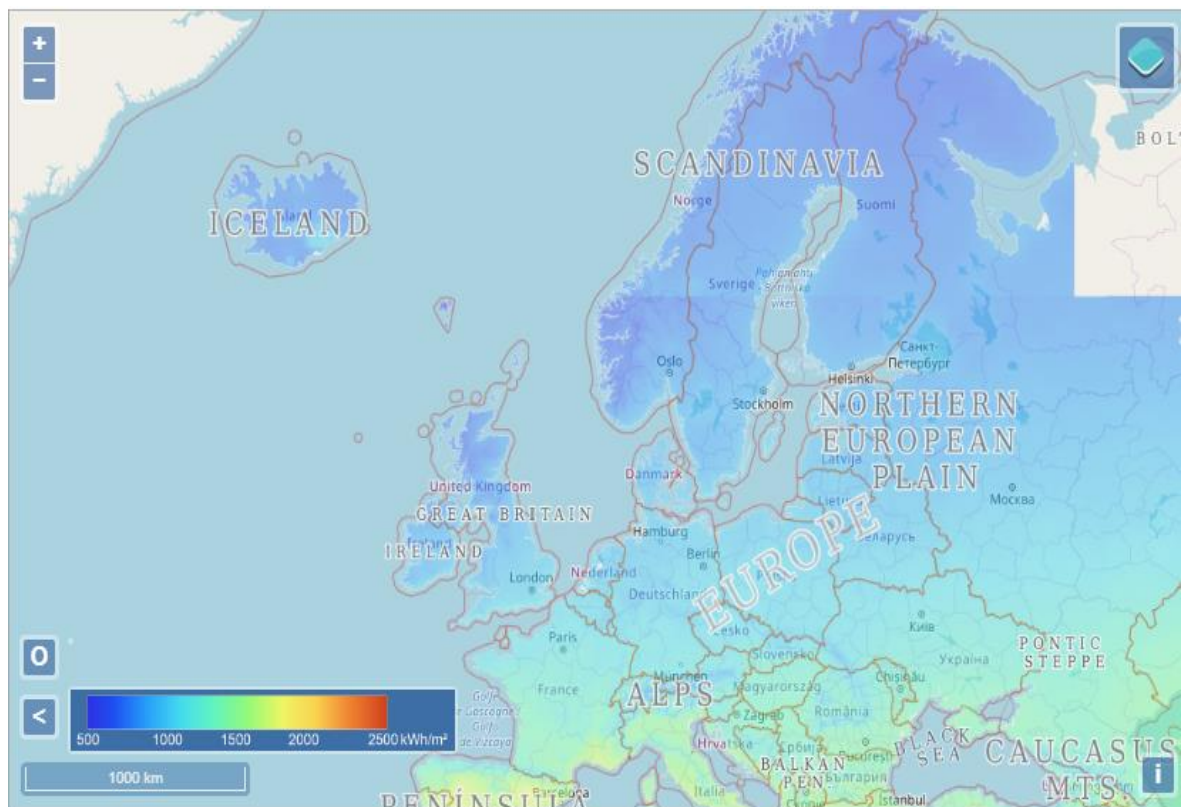
2 AURINKOSÄHKÖ SUOMESSA

Tässä luvussa perehdytään Suomen ilmasto-olosuhteiden merkitykseen paneelien tuottavuuden kannalta. Lisäksi luvussa esitetään eri tekijöitä, joiden takia aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistyneet Suomessa, sekä järjestelmään hankintaan liittyvät avustukset. Luvun lopuksi perehdytään, kuinka aurinkosähköntuotanto tulee mahdollisesti muuttumaan lähitulevaisuudessa.

2.1 Olosuhteiden vaikutus kannattavuuteen

Ilmasto-olosuhteilla on suuri vaikutus paneelien toimintaan ja sähköenergian tuotantoon. Auringonsäteilyn intensiteetti eli teho pinta-alaa kohden on oleellisin asia, joka vaikuttaa aurinkopaneelien antamaan tehoon. Täten on tärkeää varmistaa, ettei paneeleihin lankea varjostumista. Paneelien asennuskulma ja lämpötila ovat myös tuotantoon vaikuttavia tekijöitä. Paneelien tuottavuusaste on parempi viileämmässä säässä. Lämpötilan nousu vastaavasti laskee aurinkopaneelien tehokkuutta. Aurinkopaneelit ovat miltein yhtä kannattavia Suomessa verrattaessa Pohjois-Eurooppaan Suomen viileämmän ilmaston ansiosta. Etelä-Suomessa sijaitsevan aurinkosähköjärjestelmän vuosittainen tuotto on noin 850 kWh/kWp (Yhtiöt, 2013). Yksiköllä Wp tarkoitetaan paneelien enimmillään tuottamaa tehoa standardiolosuhteissa. Standardin määrittelemä lämpötila on 25°C ja säteilyn voimakkuus on 1 kW / m². Kyseinen standardi on luotu helpottamaan erivalmistajien tuotteiden vertailemista keskenään. Kyseistä Wp arvoa ei kuitenkaan voida käyttää suoraan eri paikoissa sijaitsevien paneelijärjestelmien tuotannon vertailemiseen keskenään sillä tuotantoon vaikuttaa monia eri asioita kuin vain ja ainoastaan paneelien tehokkuus. Tuotantoon vaikuttavia asioita on muun muassa ohjaukskulma, varjostuminen, säteilyenergian määrä, sekä kallistuskulma. Paneelien todellinen tuotantomäärä voi vaihdella jopa kymmenesosan odotetusta. (Lehtonen, 2019)

Alla olevasta PVGIS tarjoamasta kartasta nähdään, että 1 kWp aurinkosähköjärjestelmä Etelä-Suomessa tuottaa suunnilleen 900 kWh vuodessa ja Pohjois-Savon alueella vastaavasti noin 850 kWh vuodessa.



Kuva 1 Vuotuinen aurinkosähkön säteilyenergia suhteessa pinta-alaan. (PVGIS, 2015)

2.2 Lisääntynyt kiinnostus voimaloita kohtaan

Ympäristöystävällisten ajattelutapojen noustessa yhä suurempaan rooliin ihmisten kulutus päätöksissä on nostattanut aurinkovoimaloiden kysyntää. Aurinkopaneelien hintatason laskeminen on tehnyt aurinkosähköstä kannattavampaa ja täten ihmiset ovat alkaneet hankkia aurinkosähkölaitteita investointina. Suuren kysynnän seurauksena markkinoille on tullut useita yrityksiä, jotka myyvät aurinkopaneelilaitteita. Tarjonnan lisääntyminen on yksi olennaisista asioista, jotka ovat vaikuttaneet paneelien hintatason laskemiseen. Aurinkosähkölaitteiden hankintaan on mahdollista hakea investointitukea Business Finlandilta. Näiden tekijöiden seurauksena aurinkosähkön pientuotanto on kasvanut viime vuosina suuresti.

Pientuotannon kapasiteetti oli 66 MW vuoden 2017 loppuun mennessä. Vuonna 2018 pientuotannon määrä kasvoi 54 MW:lla. Vuoden 2018 lopussa pientuotannon kokonaismäärä Suomessa oli 120 MW. Tämän lisäksi suomessa on yli 50 000 pientaloa, jotka omaavat aurinkopaneelilaitteiden ei-vätkä ole liitettyinä sähköverkkoon. Näiden laitteistojen tuottama energia määrä on reilut 20 MW. Suurin osa pientaloista on vapaa-ajan asuntoja. Voidaan siis todeta Suomessa olleen vuoden 2018 lopussa 140 MW aurinkosähkön pientuotanto kapasiteetti. Kaikkiaan Suomen pientuotannosta aurinkosähkön osuus on noin 60 % yksikköä. (Energiavirasto, 2019)

Taulukossa 2.1 on esitetty sähköverkkoon liitetty sähkön pientuotanto vuosina 2017 ja 2018.

Taulukko 2.1 Sähköverkkoon liitetty pientuotanto vuosina 2017 ja 2018. (Energiavirasto, 2019)

Tuotantomuoto	Nimellisteho [MW] 31.12.2018	Nimellisteho [MW] 31.12.2017	Muutos [%]
Aurinko	120	66	82 %
Tuuli	14	14	0 %
Bio	13	12	8 %
Vesi	31	31	0 %
Diesel	21	22	-5 %
Muut	2	2	0 %
Yhteensä	201	47	37 %

2.3 Aurinkosähköjärjestelmän hankintatuet

Aurinkosähköjärjestelmän hankintaa varten voidaan hakea Innovaatorahoituskeskus Business Finlandilta investointi- tai energiatukea. Tuen tavoitteena on uusien ja innovatiivisten ratkaisuiden edistäminen sekä kehittäminen. Innovaatiokeskus Business Finland myöntää energiatuen enintään viiteen miljoonaan euroon asti. Uuden teknologian hankkeissa tukea voi saada enintään miljoonaan euroon asti. Edellä mainittuja summia suuremmat tuet myöntää työ- ja elinkeinoministeriö. Riippumatta haettavan tuen suuruudesta kaikki hakemukset tulee jättää Innovaatorahoituskeskus Business Finlandille. Hakijan on tärkeää muistaa, ettei tukea myönnetä hankkeille, jotka on käynnistetty ennen tukipäätöstä ja että tukea voidaan myöntää aikaisintaan rahoituspäätöspäivästä alkaen aiheutuviin kustannuksiin. (Innovaatorahoituskeskus Business Finland, 2020)

Energiatuen myöntämisen edellytyksenä on, että hanke edistää:

1. uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä
2. energiansäästöä tai energian tuotannon tai käytön tehostamista
3. muutoin energijärjestelmä muuttamista vähähiiliseksi. (Innovaatorahoituskeskus Business Finland, 2020)

2.3.1 Yksityishenkilöt sekä yritykset

1.1.2020 kotitalousvähennyksen enimmäismäärä muuttui 2 250 € henkilöä kohden vuodessa. Yksityishenkilöt ovat oikeutettuja hakemaan 40 % kotitalousvähennystä aurinkosähköjärjestelmän asennuskustannuksista. Huomioitavaa on, että vähennystä ei myönnetä tarvikkeista tai matkakuluista vaan vähennys myönnetään ainoastaan työn osuudesta. Henkilön on tärkeää vaatia yrittäjältä sellainen lasku, jossa ilmenee työn osuuden sekä tarvikkeiden erittely kotitalousvähennystä varten. Henkilön palkatessa työntekijän voi hän vähentää palkan sivukulut sekä 15 % maksetusta palkasta. Kotitalouden vähennyksen suuruus on 2 250 € per henkilö. Täten yksin asuva on oikeutettu 2 250 €

suuruiseen kotitalousvähennykseen. Kotitalousvähennyksen voi jakaa puolison kanssa, jolloin vähennyksen kokonaissuuruudeksi tulee 4 500 €. Kotitalousvähennykseen kuuluu vuosittainen 100 € omavastuu osuus. Molempien puolisoitten on maksettava 100 € omavastuu omasta kotitalousvähennysosuudestaan. Tilanteessa, jossa työn osuus ei ylitä yhden henkilön rajaa on kannattavaa merkitä kotitalousvähennys vain toisen puolison nimelle, jolloin ei tarvitse maksaa omavastuuta kuin vain toisen puolison osalta. Mikäli vähennys on merkattu vain toisen puolison nimelle ja kokonaisvähennyksen määrä ylittyy siirtää Verohallinto ylimenevän osuuden puolisolalle automaattisesti. Tilanteessa, jossa hakijan verot eivät riitä vähennykseen, vähentää Verohallinto automaattisesti vähentämättä jääneen summan puolison veroista. Maksimivähennyksen saa, kun työn osuus on 5 875 €. Vastavasti parisuhteessa oleville maksimivähennyksen 4 500 € saa, kun työn osuus on 11 750 €. (Verovirasto, 2020)

$$5\,875\text{ €} * 0,40 = 2\,350\text{ €} - 100\text{ €} = 2\,250\text{ €}$$

$$11\,750\text{ €} * 0,40 = 4\,700\text{ €} - 200\text{ €} = 4\,500\text{ €}$$

Yritykset voivat hakea aurinkosähköinvestointeihin 20 % suuruista energiatukea Business Finlandilta. Tuen saamiseksi investoinnin kokonaiskustannuksen tulee olla yli 10 000 € suuruinen. (Innovaatorahoituskeskus Business Finland, 2020)

2.3.2 Maatilat

Maatilat voivat hakea aurinkosähköinvestointiin 40 % suuruista investointitukea Business Finlandilta. Investointitukea voi hakea:

- viljelijä tai yksityisoikeudellinen yhteisö, joka elinkeinonaan harjoittaa tai ryhtyy harjoittamaan maatilalla maataloutta
- maatalousyrittäjien yhteenliittymä (esimerkiksi kuivuriosakeyhtiö) (Ruokavirasto, 2014)

Investointituen saamisen edellytyksenä ovat:

- hakijan täytyy olla 18-vuotias
- maatila on hakijan omistuksessa tai vuokralla
- rakennettaessa vuokramaalle, sinun tulee liittää kopio Maanmittauslaitoksen kirjauspäätöksestä tukihakemukseen
- vuokraoikeuden tulee olla siirrettävissä kolmannelle kiinteistön omistajaa kuulematta, ja sen voimassaolon tulee jatkua vähintään 10 vuotta.
- saat vähintään 25 000 euroa maatalouden yrittäjätuloa viimeistään viidentenä kalenterivuonna tuen myöntämisestä. Yrittäjätulo lasketaan maataloudesta saatavista tuotoista vähentämällä maatalouteen kohdistuvat muuttuvat ja kiinteät kulut, poistot ja velkojen korot.

- noudatet tilallasi pakollisia vaatimuksia, jotka perustuvat ympäristöä, hygieniaa ja eläinten hyvinvointia koskevaan Euroopan unionin ja kansalliseen lainsäädäntöön. ELY-keskus voi tarkistaa, täyttyvätkö lain vaatimukset tarkastusten tai valvontojen perusteella, viranomaisen päätösten perusteella, oman selvityksesi perusteella tai tekemällä maatilakäynnin.
- investoinnin kokonaiskustannuksen on oltava vähintään 17 500 €, tuen vähimmäismäärän on oltava vähintään 7 000 € (40 % / 17 500 €). (Ruokavirasto, 2014)

Mikäli palvelu- tai tavarahankintojen arvo ylittää 209 000 €, tulee kilpailutus tehdä EU-kynnysarvot ylittäviä hankintoja koskevien menettelyjen mukaisesti. (Ruokavirasto, 2014)

2.4 Alan kehittymisen odote

Base-skenaario perustuu työ- ja elinkeinoministeriön, liikenne- ja viestintäministeriön sekä ympäristöministeriön sisäisiin tai teettämiin arvioihin. Pohjoismaita koskevat oletukset perustuvat pääosin SKM Market Predictorin arvioihin. RES-skenaariossa oletetaan kasvun olevan teknologian kehityksen seurauksena nopeampaa kuin base-skenaariossa. RES-skenaariossa odotetaan tuuli- ja aurinkovoiman tuotannon kolminkertaistuvan vuoteen 2030 mennessä. Työ- ja elinkeinoministeriö on vastaanottanut skenaarioiden määrittelystä. (TEM, 2019)

Taulukko 2.2 Aurinkovoiman tuotannon kasvun ennuste Suomessa sekä Pohjoismaissa. (TEM, 2019)

Base	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Aurinkovoiman tuotanto								
Suomi, TWh	0.1	0.1	0.3	1.1	2.1	3.2	4.5	6.0
Pohjoismaat, TWh	1.0	1.4	3.4	6.3	9.6	13.0	16.4	20.3
RES-skenaario								
Aurinkovoiman tuotanto								
Suomi, TWh		0.1	0.5	1.7	2.8	4.4	6.1	7.7
Pohjoismaat, TWh		1.7	3.9	8.7	13.6	18.8	23.8	28.6

Vuoden 2019 lopussa aurinkovoiman kapasiteetti oli 150 MW huippukulutuksen aikana. Vuoden 2020 loppuun mennessä on oletettavissa 100 MW:n kapasiteetin kasvu kokonaismäärän noustessa 250 MW. 2030 Vuoden loppuun mennessä on odotettavissa aurinkovoiman kokonaiskapasiteetin olevan huippukulutuksen aikana 2 300 MW. (TEM, 2019)

Taulukko 2.3 Ennuste voimalaitoskapasiteetista huippukulutuksen aikana Suomessa. (TEM, 2019)

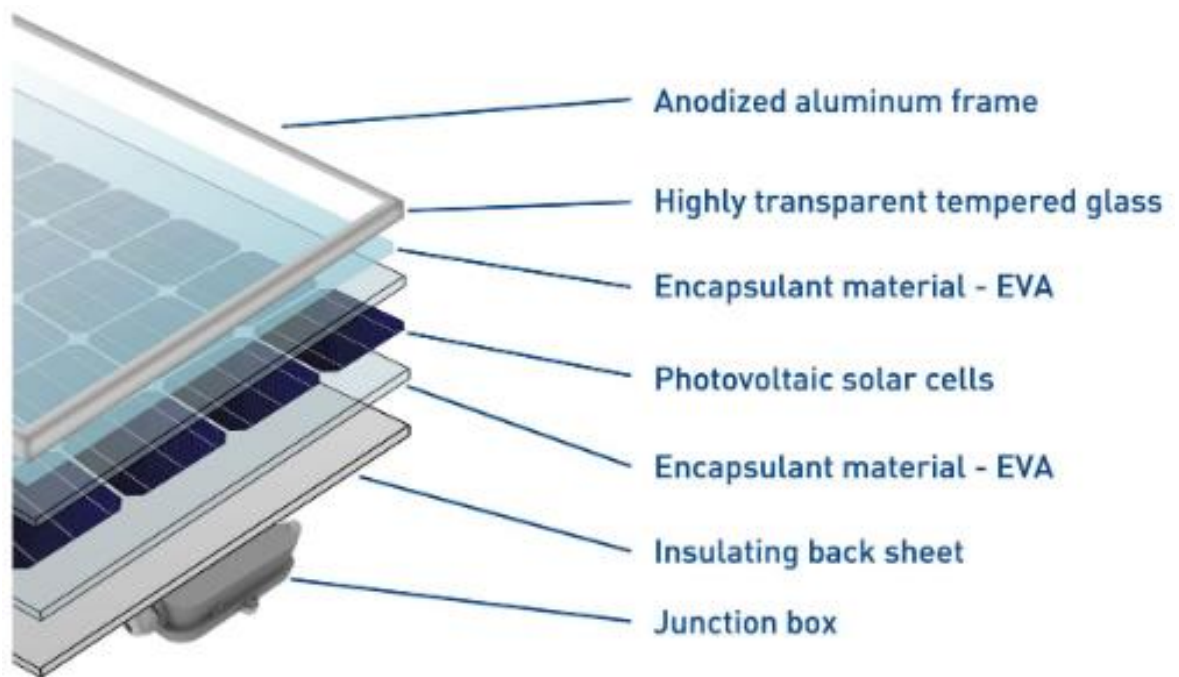
	2019**	2020	2025	2030	2035	2040
Vesivoima	1,757	2,670	2,830	3,000	3,000	3,000
Tuulivoima	1,225	2,500	4,100	5,500	6,600	8,300
Ydinvoima	2,799	4,400	4,400	5,600	5,600	4,584
Lauhdevoima	250	250	565	0	0	0
Yhteistuotanto						
Teollisuus	1,958	2,250	2,375	2,500	2,500	2,500
Kaukolämpö	2,989	3,250	2,650	2,600	2,600	2,600
Aurinkovoima	150	250	1,200	2,300	2,500	3,550

3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTAPERIAATE

Tässä luvussa perehdytään eri mallisten aurinkopaneelien rakenteeseen sekä niiden hyötysuhteeseen, käyttökohteisiin ja rakennemateriaaleihin. Lisäksi kappaleessa tarkastellaan aurinkopaneelin toimintaperiaatetta sekä aurinkopaneelien asentamiseen, suuntaamiseen ja sijoittamiseen vaikuttavia tekijöitä. Luvussa käsitellään erinäisiä invertteri malleja, jotka ovat erittäin keskeisessä osassa järjestelmän toimintaa sekä eri invertteri mallien suositeltuja käyttökohteita.

3.1 Aurinkopaneelien rakenne

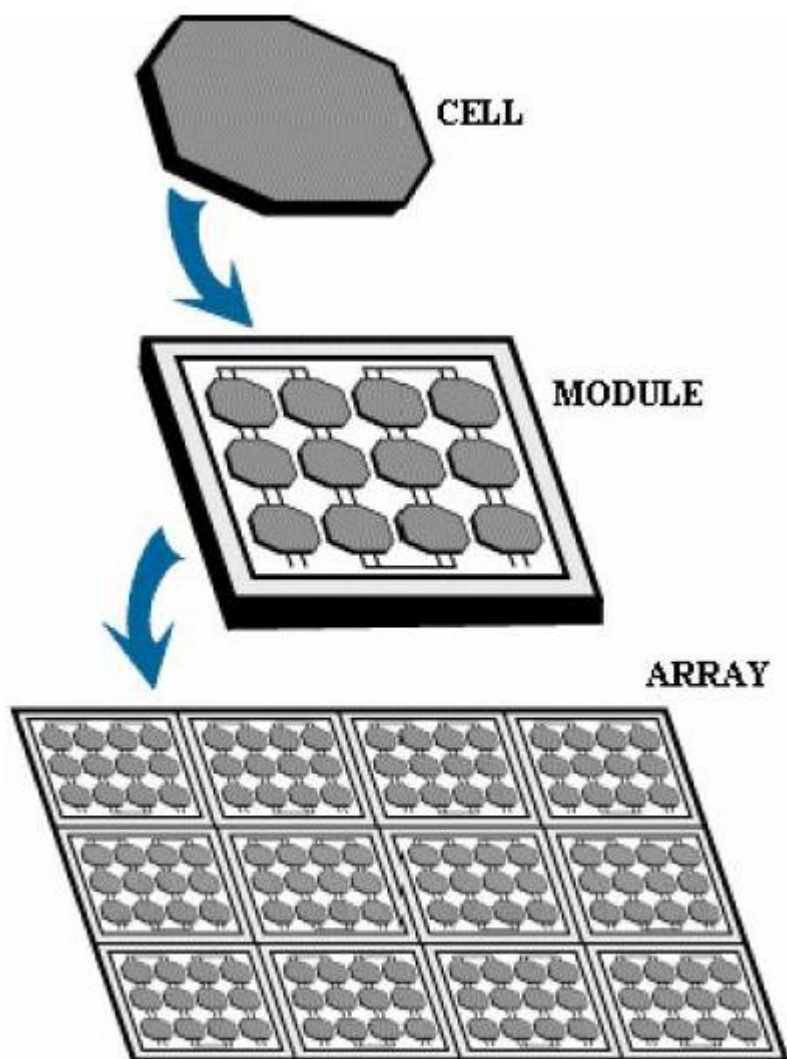
Aurinkopaneelit rakentuvat sarjaan kytketyistä puolijohdemateriaalista valmistetuista aurinkokennoista. Aurinkokennojen yleisin valmistusmateriaali on kiteinen pii. Aurinkokennojen teknologiat esitetään kolmessa eri polvessa. Ensimmäisen polven kennot ovat valmistettu kiteisestä piistä. Ohutkalvoteknologialla valmistetuista kennoista käytetään toisen sukupolven nimitystä. Kolmannen sukupolven kennoihin kuuluu nanoteknologialla valmistetut paneelit, sekä tulevaisuudessa kehitettävät teknologiat. (Aalam, 2016)



Kuva 2 Aurinkopaneelin rakenne. (Ecoprogetti, 2020)

Yksi- tai monikiteinen pii on yleisimmin käytetty aurinkokennojen valmistusmateriaali. Aurinkokennojen valmistamiseen käytetään myös galliumarsenidista ja amorfista piitä. Paneelin hyötysuhde ja kyky tuottaa sähköenergiaa vaihtelee eri tyyppien mukaan. Yksikiteisen kennon hyötysuhde on 13–17 % ja monikiteisen kennon 11–15 % välillä. Paneelin hyötysuhteella ilmoitetaan paneelin kykyä muuttaa siihen osuva auringonsäteily sähköenergiaksi. Yksi- ja monikite paneelit eroavat toisistaan ulkoisesti värin mukaan. Yksikiteinen paneeli on pääsääntöisesti musta, kun taas monikitepaneelit

ovat tummansinistä marmoria. Yleisesti yksikidepaneelit ovat edullisempia valmistaa kuin monikidepaneelit. Materiaalin suuren hinnan takia kennot leikataan neliönmuotoisiksi, jolloin minimoidaan hukkamateriaali, joka muodostuu paneelien valmistamisesta. (Rexel, 2019)



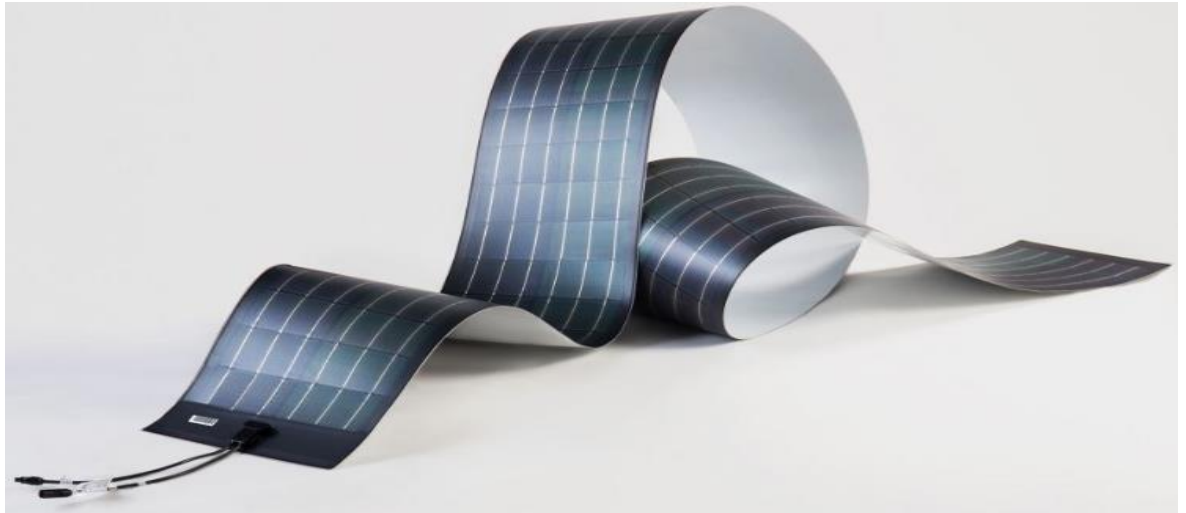
Kuva 3 Aurinkokennon rakenne. (Kolgri, 2020)

3.1.1 Ohutkalvokennot

Piikkenoja halvempi ratkaisu on ohutkalvokennot. Ohutkalvokennojen hyötysuhde ei kuitenkaan ole yhtä suuri kuin perinteisen piikennon. Ohutkalvopaneelien hyötysuhde liikkuu 5–12 % välillä. Ohutkalvokennojen etuna on niiden monipuoliset käyttökohteet verrattaessa perinteisiin piikkenoihin. Ohutkalvo kennot valmistetaan taipuisasta materiaalista ja ne ovat läpinäkyviä. Tämän takia niitä voidaan käyttää esimerkiksi ikkunoiden päällysteenä tai niillä voidaan kattaa kokonainen lasitettu rakennus. Ohutkalvokennojen valmistamiseen käytetään muun muassa amorfista piitä (a-Si), kadmium telluuria (CdTe), ja kupari-indium-(gallium)-diselenidiä (CIGS). (Aalam, 2016)

Amorfisen piin hyötypuolia on, että siitä voidaan valmistaa erivärisiä ohutkalvopaneeleita ja tätä ominaisuutta voidaan käyttää hyödyksi julkisivuilla esimerkiksi siten, että paneelit ovat saman värisiä kuin seinämateriaali ja sulautuvat täten rakenteeseen. Ohutkalvopaneelit ovat paksuudeltaan paljon

ohkaisempia kuin yksi- tai monikidepaneelit ja täten valmistusmateriaalia kuluu vähemmän paneelin valmistamisessa, jonka takia ohutkalvopaneelien hinta pinta-ala yksikköä kohden on kidepaneeleja alhaisempi. Ohutkalvopaneeleja käytetään yleisesti lisänä aurinkosähkötuottamisessa sen alhaisen hyötysuhteen mutta erittäin monipuolisten käyttötapojen puolesta. (Veijo, 2014)

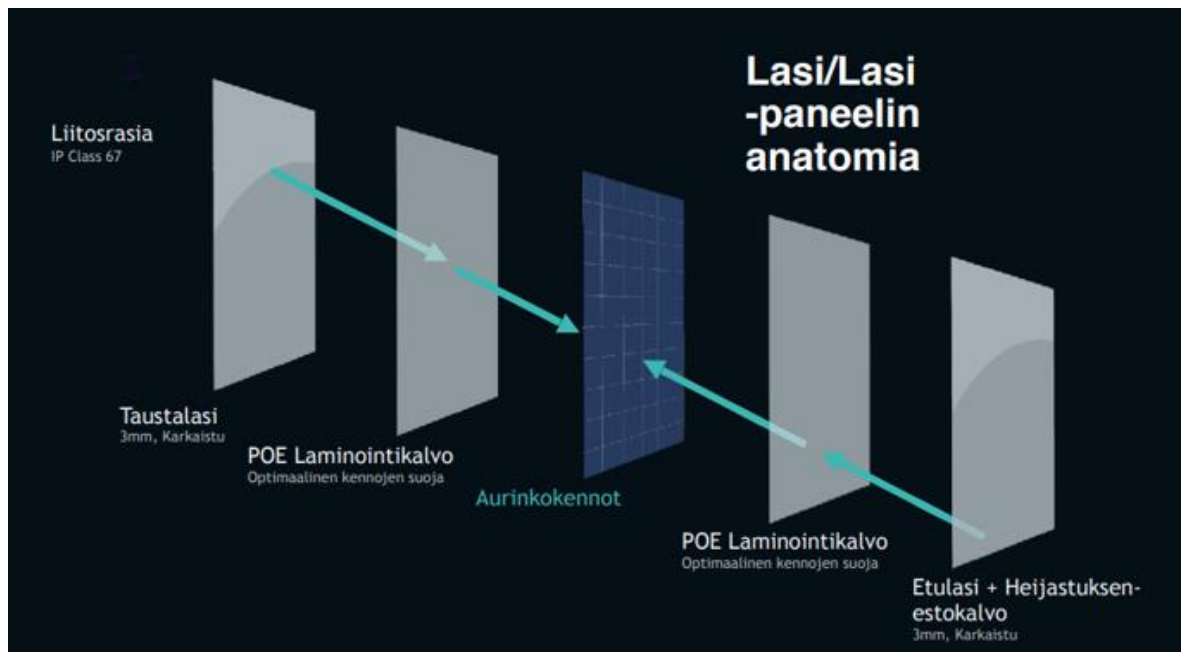


Kuva 4 Ohutkalvopaneeli. (Zhejiang Dongshuo New Energy Co, 2019)

3.1.2 Lasi/lasi-aurinkopaneelit

Lasi/lasi-aurinkopaneeleille luvataan markkinoilla jopa 30 vuoden takuuta. Lasi/lasi paneelien ennustettu elinkaari on jopa 50 vuotta kun perinteisillä paneeleilla vastaava ennuste on 25–30 vuotta. Paneelien valmistamiseen käytettävällä tekniikalla kyetään nostattamaan paneeleille myönnettävää tehotuotantotakuuta. Lasi/lasi paneelien tehotuottotakuu on 30 vuoteen asti jopa 90 % kun perinteisen paneelien tehotuottotakuu on keskimäärin 80 % 25 vuoteen asti. Lasi/lasi paneeleilla on A-luokan paloluokitus, joka takaa paloturvallisen paneeliratkaisun kohteisiin, joissa vaaditaan korkeaa paloluokitusta, sillä aurinkopaneelit vaikuttavat rakennuksen paloluokitukseen. (Aurinkorakennus, 2020)

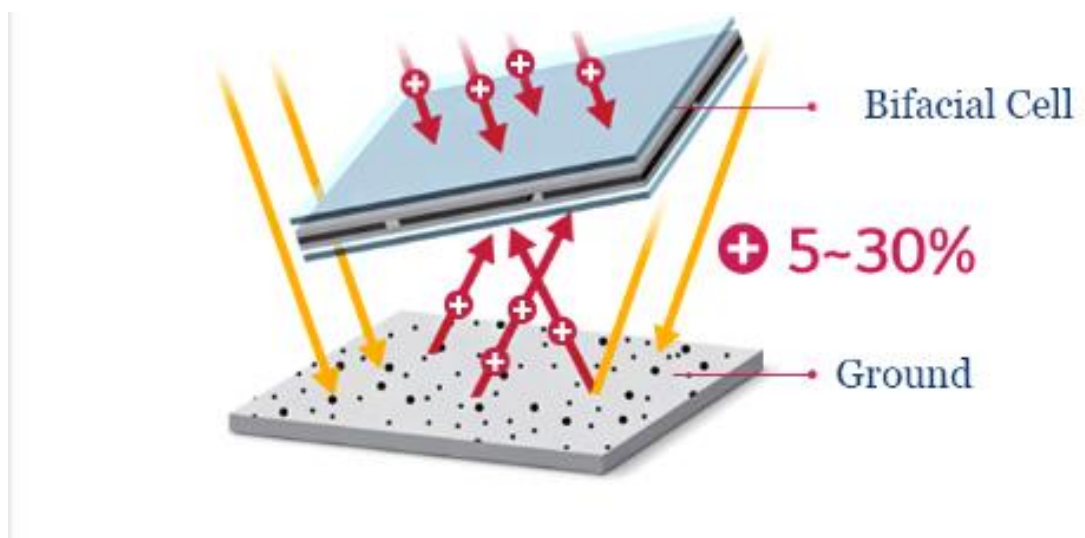
Lämpötilan nouseminen aiheuttaa aurinkopaneelien kennoissa lämpölaajenemista. Lämpölaajeneminen kohdistaa sisäistä jännitettä paneelissa sijaitsevien komponenttien välille ja täten nopeuttaa paneelin kennojen kalvojen irtoamista. Verrattaessa lasi/lasi paneeliin, perinteisen paneelin muovinen taustakelmu laajenee lämpötilan noustessa moninkertaisesti enemmän. Lasi/lasi paneelien rakenteella saadaan pienennettyä lämpötilan kasvun aiheuttamaa lämpölaajenemista ja täten pidentettyä kennojen elinikää. 25°C lämpötilan nouseminen vaikuttaa paneelien materiaaleihin siten, että perinteisen paneelin muovikelmu laajenee 4,5 mm ja vastaavasti lasi/lasi paneeli laajenee ainoastaan 0,37 mm. (Aurinkorakennus, 2020)



Kuva 5 Lasi/lasi-aurinkopaneelin anatomia. (Aurinkorakennus, 2020)

3.1.3 Kaksipuoleinen paneeli

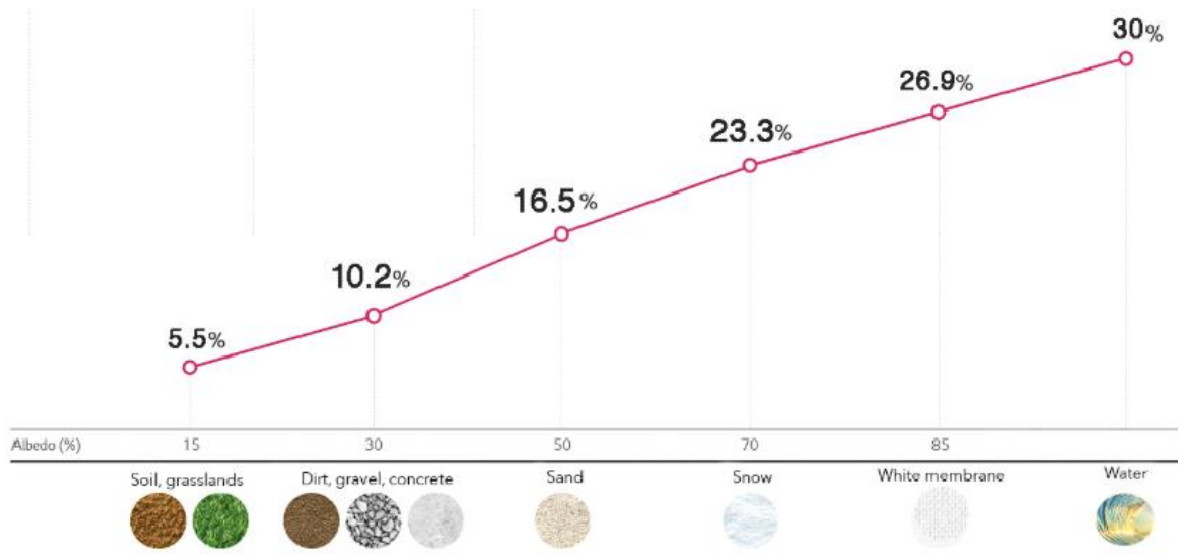
Kaksipuoleinen aurinkopaneeli eroaa tyyliltään muista paneeleista siten, että kaksipuoleisella paneelilla ei ole takalevyä. Tämän ansiosta auringon lähettämä säteilyenergia, sekä hajasäteily kyetään keräämään myös paneelin takapuolelta kasvattaen paneelin kokonaistuotanto määrää ja hyötysuhdetta. (Wiles-Purdue, 2019)



Kuva 6 Kaksipuoleinen paneeli kerää säteilyenergiaa paneelin molemmilta puolilta maksimoidakseen energian tuotannon. (Giocosolutions SRL, 2017)

Kaksipuoleinen paneeli kykenee tuottamaan jopa 30 % enemmän energiaa hyödyntämällä paneelin takapuolta. Tuotannon määrä vaihtelee sen mukaan, mistä materiaalista hajasäteily muodostuu. Parhaimpia pintoja hajasäteilyn muodostumiselle ovat valkeat ja kirkaat pinnat kuten lumi, vesi sekä valkea maali. Paneelien asentaminen on erittäin kannattavaa vesistöjen lähistöllä tai katoilla,

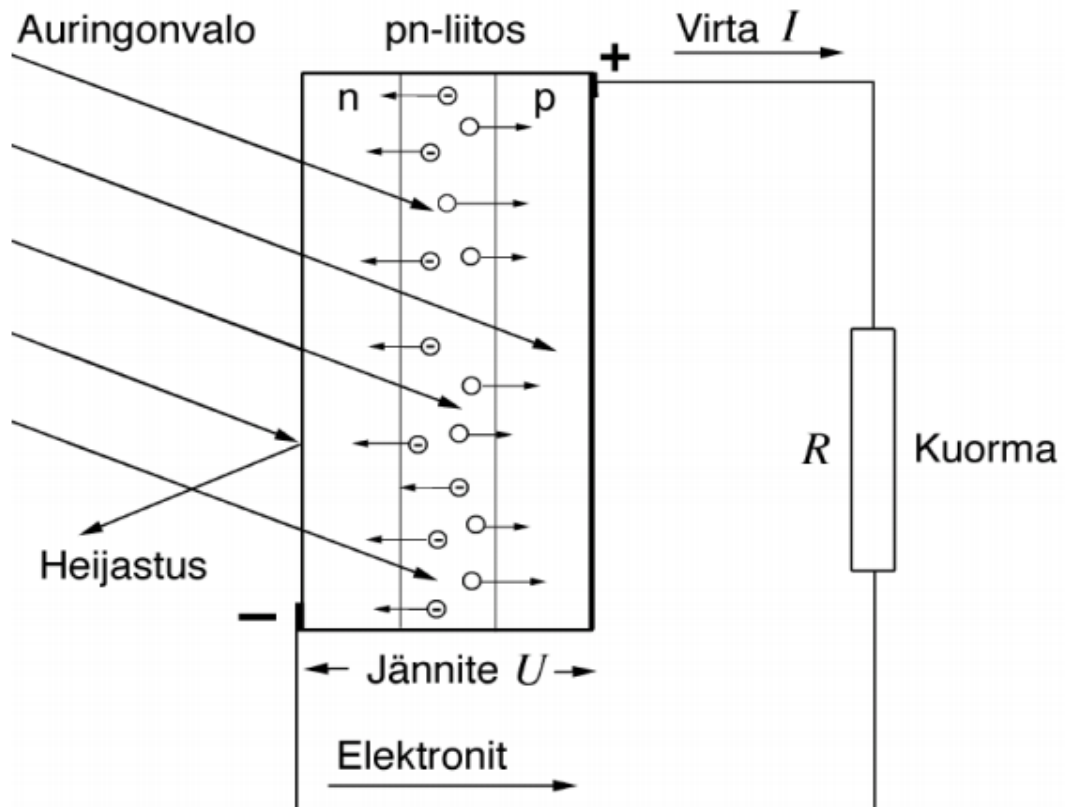
joista käsin ne kykenevät hyödyntämään pinnoista kimpoavaa hajasäteilyä. Kuvassa 7 on esitettyinä prosentuaalinen vaihtelu eri materiaalien hajasäteilyn määrässä. (Gicosolutions SRL, 2017)



Kuva 7 Hajasäteilystä saatavan tuotannon vaihtelu eri pintojen mukaan. (Gicosolutions SRL, 2017)

3.2 Aurinkopaneelien toimintaperiaate

Aurinkopaneelin rakentuu puolijohdemateriaaleista valmistetuista aurinkokennoista. Auringonsäteilyenergian sisältämien fotonien osuessa puolijohdemateriaaliin syntyy puolijohhteessa positiivisten ja negatiivisten atomien jakautuminen pn-liitoksessa. Sähköenergia syntyy elektronien kulkeutuessa pn-liitoksen n-puolelta ulkoisen piirin kautta liitoksen p-puolelle. Kyseistä ilmiötä kutsutaan valosähköiseksi-ilmieksi. (Suntekno, 2012)

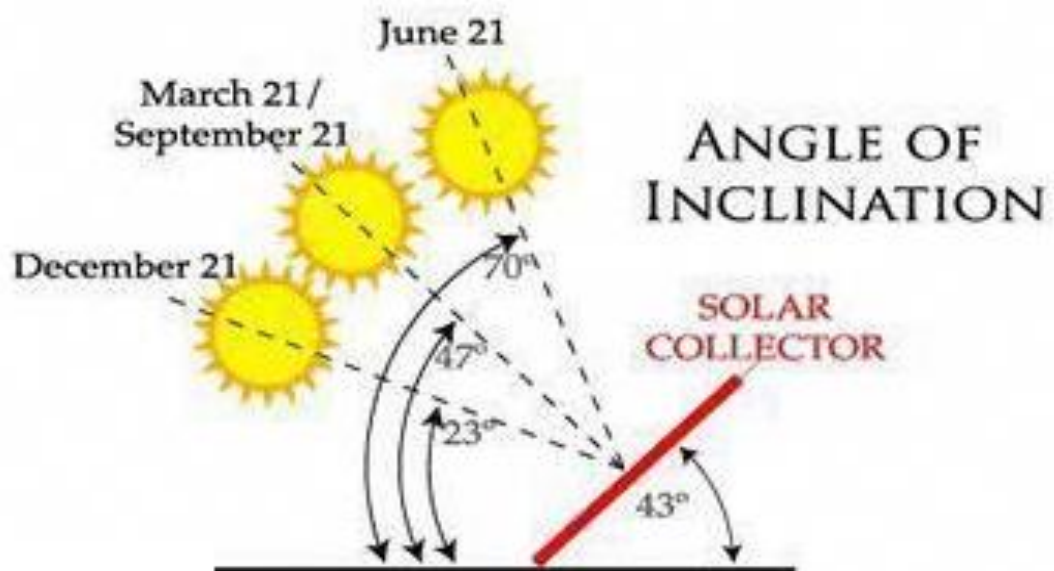


Kuva 8 Aurinkopaneelin kennon toimintaperiaate (Suntekno, 2012).

3.3 Asentaminen, suuntaaminen sekä sijoittaminen

Aurinkosähköjärjestelmän asentamisen käyttökohteita on useita. Yleisimmin järjestelmä asennetaan rakennuksen katolle. Katolle asennettaessa tulee huolehtia, että paneelin ja kattorakenteen väliin jätetään tarvittavan suuri ilma rako, josta ilma pääsee kulkemalla toimien jäähdytyksenä. Asentamisessa on tärkeää suunnata paneelit oikeaan asennuskulmaan tuottavuuden maksimoimiseksi.

Paneeli tuottaa kaikkein parhaiten, kun se on suunnattu kohtisuoraan auringonsäteilyä vasten, jolloin hajasäteilyn kimpoaminen saadaan minimoitua. Paras asennuskulma järjestelmälle on 40–45 asteen välillä riippuen asennuspaikan sijainnista. Etelä-Suomessa asennuskulma tulisi olla 40–41 asteen tietämillä, kun vastaavasti pohjoisemmaksi siirryttäessä asennuskulmaa kasvatetaan. Pohjois-Savon alueella asennuskulmaa tulisi kasvattaa 43 asteen paikoille. Paneelien kallistuskulma on jopa tärkeämpi tekijä paneelien tuottavuuden kannalta verrattaessa ilmansuuntaan. (Aalam, 2016)



Kuva 9 Aurinkopaneelin kallistuskulma. (Bal, 2018)

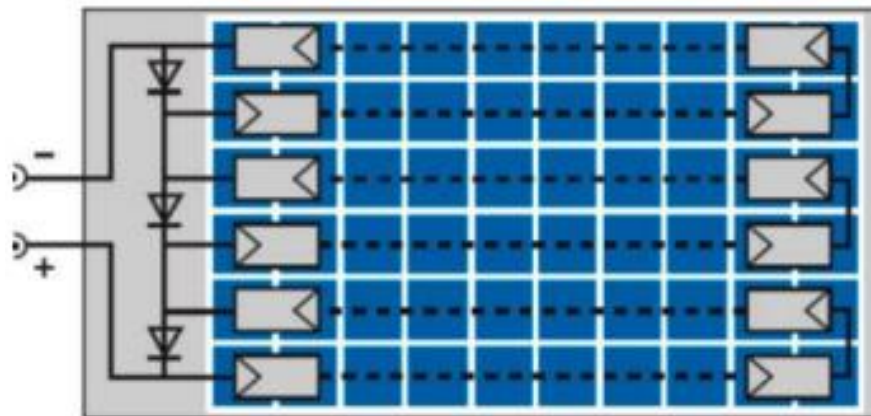
Paneelien suuntaaminen suositellaan tehtäväksi etelään tai lievästi kaakkoon. Kaikki järjestelmän paneelit tulisi suunnata samaan ilmansuuntaan ja kallistus kulmaan. Haluttaessa maksimoida paneelien tuottama sähköenergian määrä tulisi paneelien asennuskulmaa vaihtaa eri vuoden aikojen mukaan. Kesäaikaan asennuskulmaa tulisi pienentää 30 asteen tietämille ja talvella asennuskulman tulisi olla 75–85 astetta. (Reko, 2012)

Asennettaessa aurinkopaneeleja osana julkisivua esimerkiksi ohutkalvopaneeleita lasi-ikkunoiden päälle ei voida asennuskulmaa muuttaa. Suositeltavaa on, että paneeleilla päällystettävät julkisivut ovat suunnattuina joko etelään tai kaakkoon. Yritykset ovat alkaneet yhdistää aurinkopaneeleita jo tehtaalla katto- ja seinärakenteiden rakennusvaiheessa rakenteisiin. Tällä tavalla saadaan pienennettyä asentamisesta aiheutuvia kuluja. (Luotola, 2016)



Kuva 10 Aurinkopaneelit osana rakennuksen julkisivua. (Kauppalehti, 2018)

Aurinkosähköjärjestelmän sijoittamisessa on tärkeää huomioida, että auringonvalo pääsee paistamaan suoraan aurinkopaneelisiin ilman varjostumista. Koska aurinkopaneelin kennosarja rakentuu sarjaan kytketyistä aurinkokennoista, on tärkeää huomioida, ettei paneelisiin lankea varjostumista ympäröivästä ympäristöstä, sillä varjostuminen paneelissa laskee koko kennosarjan tuotantoa. Kennosarjojen ohitusdioidien ansiosta teho ei laske koko paneelissa vaan rajautuu ainoastaan varjostuneeseen kennosarjaan. On tärkeää huomioida paneelien asentaessa katolle, etteivät katolla sijaitsevat lumiesteet aiheuta paneelisiin varjostumista. (Yhtiöt, 2013)



Kuva 11 Aurinkopaneelin sisältämien kennosarjojen rakenne. (Yhtiöt, 2013)

Suunniteltaessa aurinkojärjestelmän sijoittamista on hyvä valita asennuspaikka siten, että aurinkopaneelit voivat kerätä hajasäteilyä, joka muodostuu auringonvalonsäteiden kimmoissa ympäröivistä pinnoista.

3.4 Vaihtosuuntaajat

Aurinkopaneelien tuottama virta on tasavirtaa. Tasavirta ei sellaisenaan sovellu käytettäväksi kiinteistöissä, joissa on suunniteltu käytettävän vaihtovirtaa ja täten tarvitaan inverttereitä muuntamaan aurinkopaneelin tuottama tasavirta vaihtovirraksi, joka kytetään käyttämään hyödyksi kohteessa tai siirrettäväksi sähköjakeluverkkoon. Invertteri on aurinkosähköjärjestelmän yksi keskeisimmistä komponenteista. Riippuen järjestelmän koosta invertteri voi olla 1- tai 3-vaiheinen.

3.4.1 Mikroinvertteri

Mikroinverttereitä käytetään aurinkosähköjärjestelmässä siten, että jokaiselle järjestelmän paneelille asennetaan oma mikroinvertteri. Tällöin vältetään tilanteelta, jossa yhden paneelin vikaantuminen, varjostuminen tai likaantuminen vaikuttaisi koko järjestelmän toimivuuteen. Mikroinverttereillä kytetään katkaisemaan paneelien tuottama jännite sähkökeskukselle ja täten parantamaan käyttöturvallisuutta esimerkiksi tulipalon sattuessa. Mikroinvertteri kattaa järjestelmän täydellisen suojauksen. (Electrotori, 2020)



Kuva 12 Mikroinvertterin liittäminen aurinkosähköjärjestelmään. (Electrotori, 2020)

3.4.2 String-invertteri

String-invertteri on suosituin invertteri tyyppi sen monipuolisuuden vuoksi. String-inverttereitä voidaan käyttää niin pienissä kuin suurissa järjestelmissä. Tarvittaessa string-inverttereitä voidaan kytkeä hajautetusti järjestelmään jännitteen ja virran jakamiseksi. Hajautettua kytkentätapaa käytetään pääsääntöisesti yli 6 kWp järjestelmissä. String-inverttereitä käytetään jopa 10 MWp kokoisiin järjestelmiin asti. Tätä suuremmissa järjestelmissä käytetään yleisesti keskusinverttereitä. (Misbrener, 2018)

3.4.4 Keskusinvertteri

Keskusinvertterit keskittävät aurinkovoimalan tehon yhteen paikkaan. Keskusinvertterit eroavat string-inverttereistä siten, että ne ovat kooltaan paljon suurempia, käyttävät pidempiä johtimia ja kykenevät muuttamaan enemmän tehoa yksikköä kohden. Keskusinverttereitä käytetään yli 10 MWp:n järjestelmissä niiden suuren hinnan takia, mutta isompien järjestelmien kohdalla ne ovat kannattavampi ratkaisu kuin string-invertterit. Esimerkiksi 20 MWp:n järjestelmä toteutus tapahtuu 5–7 keskusinvertterillä tai vaihtoehtoisesti sadoilla string-inverttereillä. (Misbrener, 2018)

Keskusinverttereiden huono puoli on, että niiden huoltamista varten tarvitaan tekninen asiantuntija. Mikäli keskusinvertteri hajoaa voi asiantuntijan saaminen nopealla aikataululla olla erittäin haastavaa. Haastavaa on myös saada asiantuntijan tarvitsemat laitteet, sekä osat kohteeseen, joita he tarvitsevat korjatakseen vikaantuneen invertterin. (Misbrener, 2018)



Kuva 15 Keskusinvertterillä varustettu aurinkojärjestelmä. (Rajkumar trading, 2019)

4 JÄRJESTELMÄN HANKINTA

Tässä luvussa perehdytään järjestelmän mitoittamiseen. Lisäksi luvussa käsitellään järjestelmän sähköverkkoon kytkemiseen liittyvät asiat kuten säännökset, laadun vaatimuksen suojaaminen sekä mittaaminen.

4.1 Järjestelmän mitoittaminen

Järjestelmän oikea oppinen mitoittaminen on aurinkovoimalan hankinnassa kaikista olennaisin asia. Mikäli järjestelmän koko on liian pieni, tällöin ei saavuteta kaikkein optimaalisinta tuotantoa suhteessa sähkön kulutukseen. Tämä johtaa siihen, että järjestelmän takaisinmaksu aika kasvaa suuremmaksi kuin optimaalisesti mitoitettulla järjestelmällä.

On tärkeää arvioida jokainen kohde omanaan eikä soveltaa yhtenäistä taulukkomallia jokaiseen kohteeseen. Tarkastelussa tärkeimpiä asioita ovat kohteen sähkönkulutuksen huomioiminen sekä asennuspaikan ominaisuudet ja haasteet kuten varjostuminen tai korkealla työskentely. Suunniteltaessa kohteeseen järjestelmää täytyy miettiä mihin ilmansuuntaan ja kallistuskulmaan paneelit on kaikkein kannattavin asentaa, jotta saavutetaan maksimaalinen tuotto järjestelmälle. Mikäli huomataan, että kohteeseen lankeaa varjostumista, esimerkiksi ympäröivistä puista on syytä miettiä, onko järjestelmää kannattavaa asentaa kyseiseen kohtaan tai onko mahdollista kaataa kyseiset puut ja täten päästä eroon varjostumisen aiheuttajasta.

Järjestelmän mitoittamisessa on tärkeää huomioida mitkä kaikki asiat tulevat vaikuttamaan järjestelmän kokonaishankintahintaan, kuten kiinteät pohjakulut. Kiinteitä kuluja on muun muassa työskentelyyn ja työturvallisuuteen liittyvät asiat. Näihin lukeutuu esimerkiksi asennustelineet, johdot ja johdoreitit, joita tarvitaan asentamisen yhteydessä. Joissain tapauksissa on kannattavaa kasvattaa järjestelmän kokoa hieman optimaalisesti mitoitetusta koosta, silloin kun järjestelmän laajentamisesta ei aiheudu lisäkuluja. Tällöin saadaan hyödynnettyä esimerkiksi asennustelineistä ja johtoreittien tekemisestä aiheutuvat kustannukset maksimaalisella tuotannolla.

Kohteen tarkastelussa on tärkeää huomioida mihin vuorokauden aikaan sähkönkulutus on kohteessa suurimmillaan. Kohde, joka käyttää suuren määrän sähköä päiväsaikaan kuten esimerkiksi työpajat, sekä tehtaat, on järjestelmä kannattavaa mitoittaa suureksi, sillä tällaisissa kohteissa pystytään käyttämään koko järjestelmän tuottama sähkö kohteessa eikä sitä tarvitse myydä verkkoon. Kaikista kannattavinta on mitoittaa järjestelmä siten, että järjestelmän tuottama sähkö käytetään hyödyksi kohteessa eikä siirretä verkkoon.

4.2 Järjestelmän kytkeminen sähköverkkoon

Suomessa vallitsee sähköverkko toiminnassa monopoli, jota valvoo Energiamarkkinavirasto. Paikallisia verkkoyhtiöillä on vastuu monopoliaseman takia verkonkehittämiseen, sähkökäyttöpaikkojen ja voimalaitosten liittämisenvelvollisuus sekä sähkön siirtovelvollisuus. Energiamarkkinavirasto valvoo kuluttajien puolesta jokaisen verkkoyhtiön siirtohintojen pysymisen edullisena sekä verkkoyhtiöille kohtuullisen vuosituoton takaamisen.

Kuopion alueella sähköverkon omistaa Kuopion Sähköverkko Oy, joka on Kuopion Energia Oy:n tytäryhtiö. Sähkön siirrosta Kuopion alueella vastaa aina Kuopion Sähköverkko Oy riippumatta siitä, minkä yrityksen kanssa kuluttajalla on sähkösopimus.

4.2.1 Yleiset säännökset

Pientuottajan liittyessä sähköverkkoon liittyy kyseinen kohde alueen monopolitoiminnan hallitsevan verkkoyhtiön verkkoon. Verkkoon liittymiseen täytyy olla aina lupa alueen verkkoyhtiöltä, sillä heidän täytyy olla tietoisia takasyöttöriskistä sekä järjestelmän laitteiden yhteen sopivuudesta heidän verkonsa kanssa. Hankintasopimusta ei kannata solmia ennen laitteiston yhteen sopivuuden varmistamista paikalliselta verkkoyhtiöltä, jotta vältetään vahinkojen syntymiseltä (Energiateollisuus, 2016). Kuluttaja tai erinäinen taho solmii paikallisen verkkoyhtiön kanssa mikrotuotanto sopimuksen. Kuopion Energian enintään 100 kVA voimalan mikrotuotanto sopimus sisältää muun muassa:

- tuotantolaitteiston perustiedot
- tuotantolaitteiston tekniset tiedot
 - tuotantolaitteiston suojaus
 - tuotantolaitteiston erottaminen (Kuopion Energia Oy, 2017):

Pientuottajan tulee varmistaa kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta rakennus- ja toimenpideluvan tarve ennen laitteiston hankintaa. Luvan vaatimuksissa on vaihtelua eri kuntien välillä ja täten on tärkeää tarkistaa luvan kriteerit aina kyseessä olevalta kunnalta. Ennen tuotantolaitoksen hankinnan solmimista täytyy pientuottajan varmistaa sähköverkonhaltijalta, että aurinkosähköjärjestelmän laitteisto täyttää sähköverkon ja sähköturvallisuusmääräysten vaatimukset. Pientuotantolaitoksen tulee myös täyttää sille määritellyt tekniset turvallisuusvaatimukset. Pientuotantolaitos ei minkään laisissa olosuhteissa saa aiheuttaa häiriötä muille sähköverkon käyttäjille tai verkonhaltijalle. Mikäli pientuottaja aiheuttaa vahinkoja muille käyttäjille tai verkonhaltijalle, on hän korvausvelvollinen maksamaan vahingosta aiheutuneet kulut sekä verkkoyhtiöllä on oikeus poistaa häiriötä aiheuttava laitteisto verkosta. Ainoastaan sähköasennusluvat omaava ammattitaitoinen henkilö saa kytkeä tuotantolaitoksen jakeluverkkoon. Verkkoyhtiö myöntää sähköurakoitsijalle kytkentäluvat pyynnöstä sen jälkeen, kun he ovat varmistuneet laitteiston yhteensopivuudesta sähköverkkoon. (Energiateollisuus, 2016)

Liitettäessä tuotantolaitos verkkoon siten, että laitoksen tuottama energia kyetään siirtämään osittain tai kokonaisuudessaan jakeluverkkoon, täytyy tuottajan tehdä verkkopalvelusopimus verkonhaltijan kanssa. Yleisemmin verkkopalvelusopimuksella laajennetaan olemassa oleva sopimus koskemaan myös sähköntuotantoa. Verkkopalvelusopimuksessa käytetään Energiateollisuus ry:n suosittelemia verkkopalveluehtoja (VPE2014) sekä tuotannon verkkopalvelua (TVPE11). (Energiateollisuus, 2016)

4.2.2 Sähkön laadun vaatimukset

Standardissa SFS-EN 50160 määritetään mikrotuotantolaitokselle rajat, joissa jännitteen laadun täytyy pysyä. Mikäli järjestelmä ei pysy sille määritetyissä jännitteen laadun rajoissa tai aiheuttaa häiriötä verkkoon tulee verkkoyhtiön puuttua asiaan ja tarvittaessa poistaa laitteisto verkosta, jotta muille verkon käyttäjille ei tule vahinkoa vikaantuneesta järjestelmästä. Liittämiskohdassa harmoninen kokonaissärö saa olla maksimissaan 8 %. Kokonaissärö määrä ei saa ylittyä, vaikka kohteeseen lisätään pientuotantoa. (Energiateollisuus, 2016)

Mikrotuotantolaitoksen EMC-vaatimuksille on olemassa alla listattuja standardeja, joita voidaan soveltaa laitteistoille.

- Häiriön sieto: EN 61000-6-1
- Häiriön päästö: EN 61000-6-3
- Harmoniset yliaallot: EN 61000-3-2
- Nopeat jännitteenmuutokset ja välkyntä: EN 61000-3-3

4.2.3 Järjestelmän suojaaminen

Suomessa aurinkojärjestelmän verkkoon liittämiseen on useita standardeja. Käytössä olevia standardeja on suomalainen mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, saksalainen VDE-AR-N 4105 ja Energiateollisuus ry:n suositukset. Mikäli laitteisto kattaa jonkin muun standardin määrittämät ehdot voi se soveltua käytettäväksi, mutta on syytä tarkistaa järjestelmän yhteensopivuus paikalliselta verkkoyhtiöltä. Välttämätöntä on aina noudattaa paikallisen verkkoyhtiön ohjeita järjestelmän liittämiseksi verkkoon sillä ne voivat poiketa yleisesti käytössä olevista standardeista sekä suosituksista. (Motiva, 2019)

Aurinkosähköjärjestelmä tulee varustaa yli- ja alijännite sekä yli- ja alitaajuus suojauksella. Standardissa SFS-EN 50438 on määritetty suojauksille asetteluarvot, jotka ovat esillä taulukossa 2. (Energiateollisuus, 2016)

Taulukko 4.1 Tuotantolaitoksen suojauksen asetteluarvot.

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite	0,2 s	$U_n + 15 \%$
Alijännite	0,2 s	$U_n - 15 \%$
Ylitaajuus	0,2 s	51,5 Hz
Alitaajuus	0,2 s	47,5 Hz
Saarekekäytönestonsuojaus (LoM)	Enintään 5 s	

Verkkoon liitettävä aurinkosähköjärjestelmä täytyy varustaa takasyötön estolla. Takasyötöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa verkon jännite katkeaa ja järjestelmä syöttää jännitettä verkkoon. Yleisesti verkkoon kytkettävät invertterit ovat varustettu takasyötön estolla. Takasyötön esto toimii siten, että verkon jännitteen katketessa niin sanotussa Loss of Mains (LoM) tilanteessa estetään järjestelmän sähkön syöttö verkkoon. Takasyötön esto on välttämätön koska sillä suojataan verkkoa huoltavien työntekijöiden työturvallisuus, ettei aurinkojärjestelmä syötä verkkoon sähköä silloin kun verkkoa huolletaan ja aiheuta sähkötapaturman vaaraa työntekijöille. Mikäli verkkoon liitetyssä järjestelmässä ei ole LoM suojausta, täytyy siihen liittää erillinen suojaus LoM tilanteiden varalta. (Paavola, 2012)

Sähköturvallisuusstandardissa SFS 6002 määritetään, että tuotantolaitos tulee olla erotettavissa verkosta. Standardissa SFS 6000 määritetään, että jakeluverkonhaltijalla tulee olla rajoittamaton pääsy erottimelle tai kaukokytkentämahdollisuus. Järjestelmä tulee varustaa lukittavalla erotuskytkimellä, jossa on näkyvä ilmaväli tai muuten luotettava mekaaninen asennonosoitus, tai kohteen pääsulakkeet pitää voida irrottaa. Järjestelmän erotuslaite voidaan sijoittaa myös verkonhaltijan verkkoon ennen liittämiskohtaa esimerkiksi jonovarokeytkimen yhteyteen kaapelijakokaapissa. (Energiateollisuus, 2016)



Kuva 16 Turvakytkimen sisältävä aurinkopaneelijärjestelmä. (Kuopion Sähköverkko Oy, 2015)

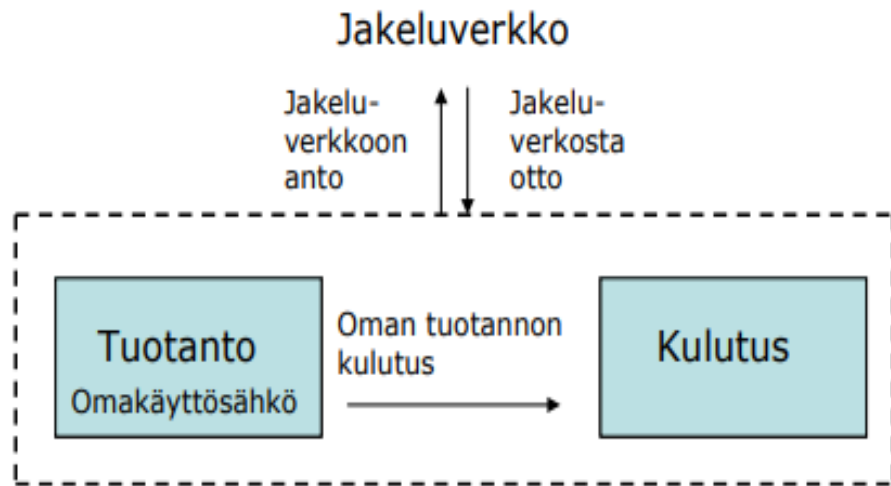
4.2.4 Järjestelmän sähkönkulutuksen ja -tuoton mittaaminen

Enintään 100 kVA järjestelmille ei tarvitse asentaa erillistä mittauslaitetta mittaamaan järjestelmän tuottamaa sähkön määrää verkkoon (verkkoon anto) sekä sähköverkosta otetun tehon mittaamiseen (verkosta otto). Enintään 100 kVA järjestelmissä riittää yksi mittari, joka mittaa sekä verkkoonannon määrän sekä verkosta oton määrän. Yli 100 kVA sähköntuotantolaitos vaatii erillisen mittauksen verkkoonannon ja verkosta oton mittaamiseksi. (Energiateollisuus, 2016)



Kuva 17 Aurinkopaneelijärjestelmän havainnollistaminen. (Kuopion Sähköverkko Oy, 2015)

Vastuu verkosta oton ja verkkoonannon mittaamisesta on verkonhaltijalla. Verkonhaltija omistaa mittalaitteen ja verkonhaltijan täytyy huolehtia sen luennasta ja toiminnasta. Vastaavasti sähkön tuottajalla on vastuu oman tuotannon kulutuksesta. (Energiateollisuus, 2016)



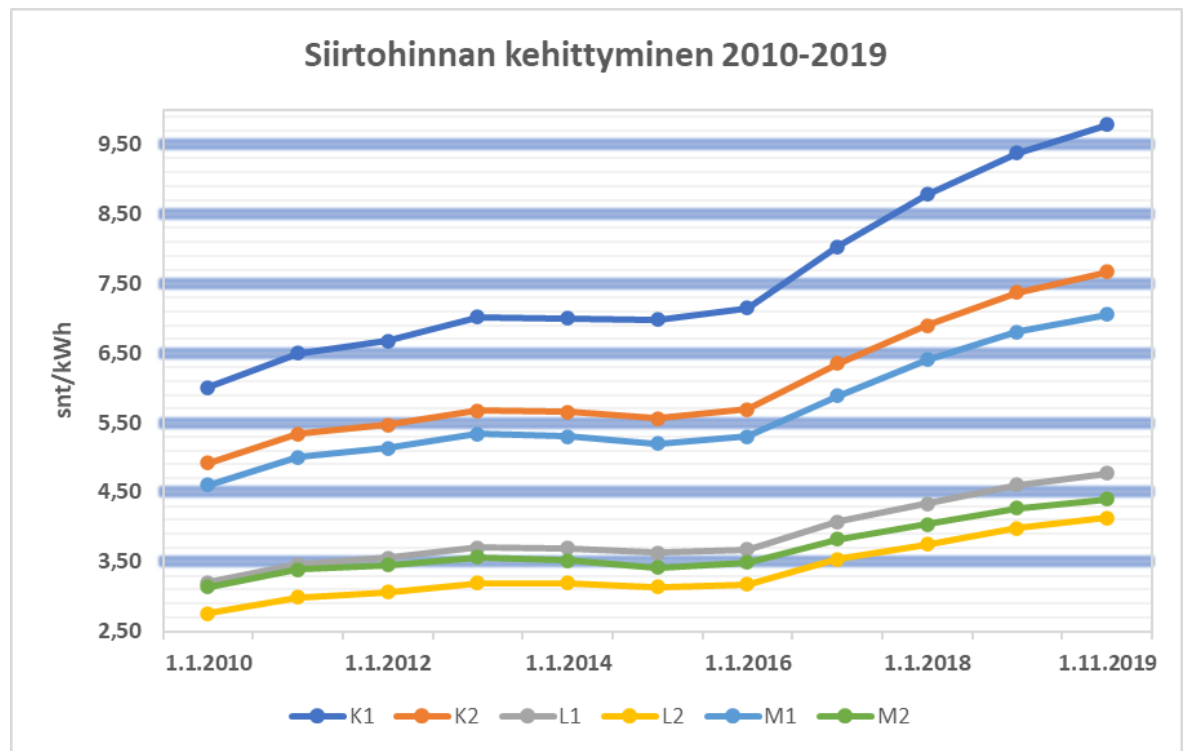
Kuva 18 Mittaamisen toimintaperiaate. (Energiateollisuus, 2016)

5 TALOUDELLINEN TARKASTELU

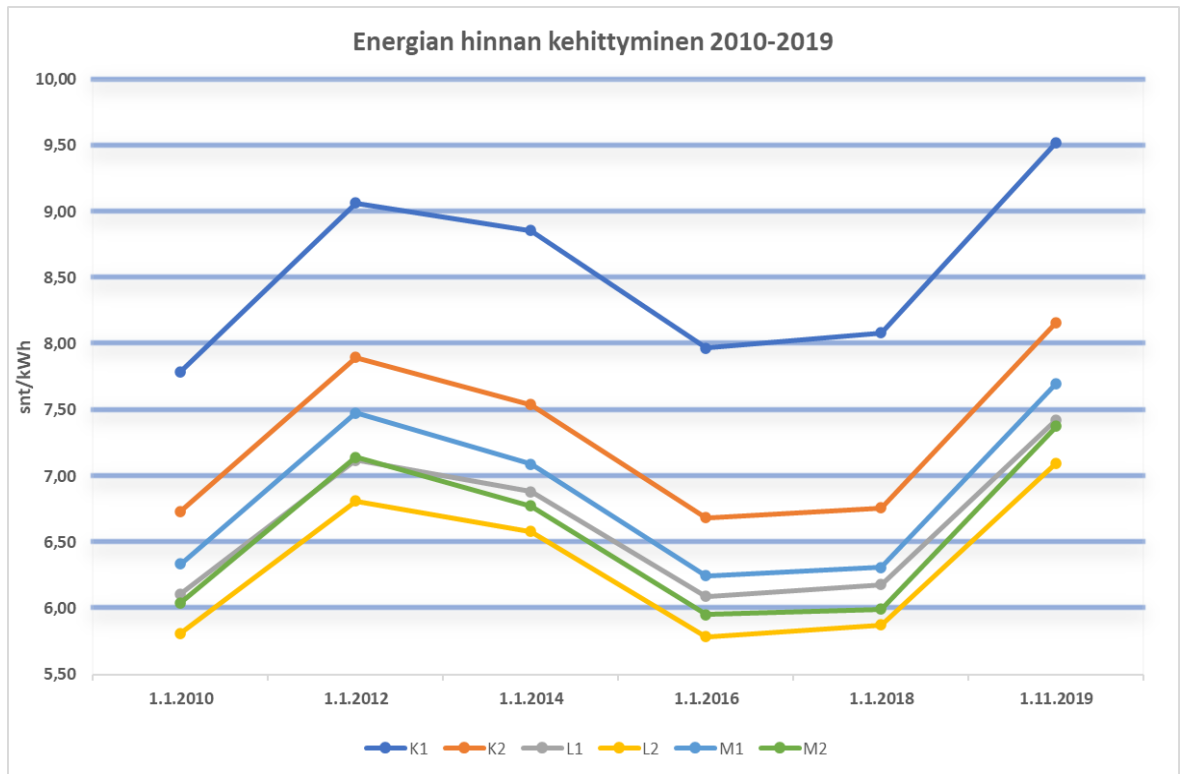
Tässä luvussa perehdytään järjestelmän hankinnan kannattavuuteen. Luvun aluksi käsitellään sähköhinnan kasvaminen viime vuosikymmenellä sekä odote sähköhinnan nousemiselle 2020-luvulla. Luvussa esitetään kannattavuuden laskentaan käytettävät laskentamenetelmät ja luvut. Luvussa käsitellään myös aurinkovoimalan kannattavuuden laskenta.

5.1 Sähköenergian ja siirron hintojen nouseminen

2000-luvulla ovat sähkönsiirtohinnot nousseet vuosittain. Esimerkiksi omakotitalo, jonka sähkönkulutus on 5 000 kWh vuodessa maksoi sähkönsiirrosta tammikuussa 2000 3,73 snt/kWh kun taas vastaavasti marraskuussa 2019 hinta oli 8,16 snt/kWh. (Energiamarkkinavirasto, 2019)

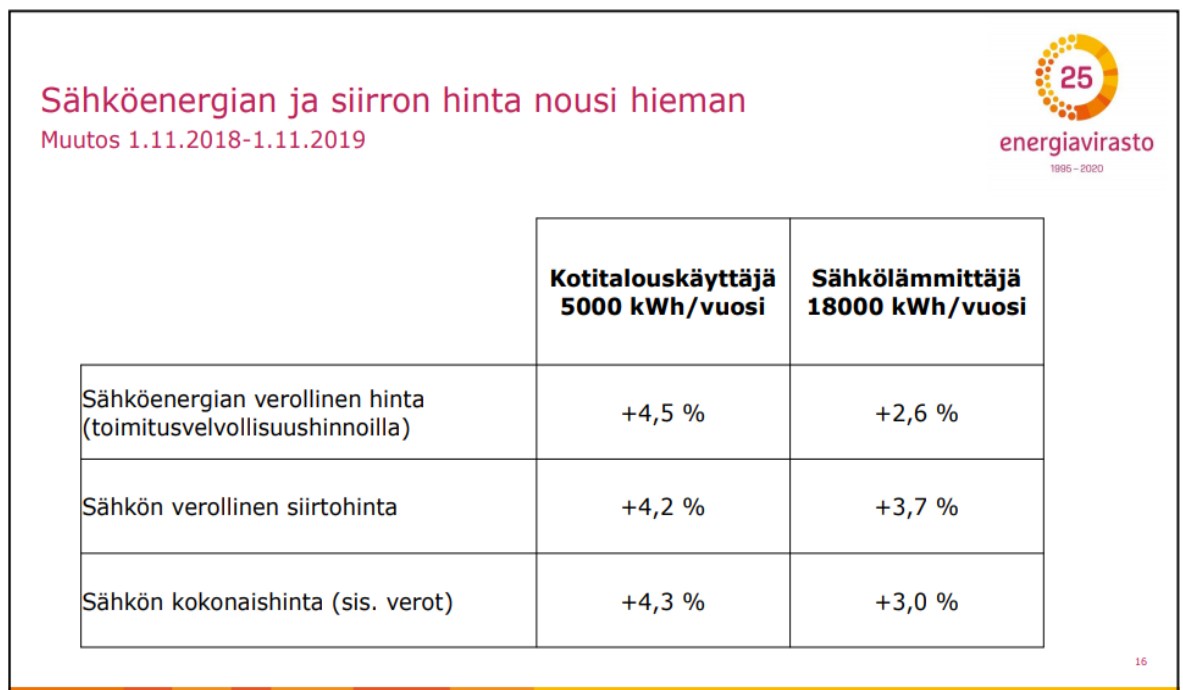


Kuva 19 Siirtohinnan kehittyminen 2010-luvulla.



Kuva 20 Energian hinnan kehittyminen 2010–luvulla.

Vuoden 2019 aikana sähköenergian ja sähkönsiirtohinnot kasvoivat, jonka seurauksena kotitaloudet joutuivat maksamaan kokonaisuudessaan 4,3 % enemmän vuodentakaiseen verrattuna. Hintojen kasvu jakautui siten, että sähköenergian hinta kasvoi 4,5 % ja sähkönsiirtohintaa kasvoi 4,2 %. Sähkölämmitteisille talouksille tuli laskuun kasvua kokonaisuudessaan 3 prosenttia. Energian hinta nousi 2,6 % ja siirtohintaa 3,7 %. 2010–luvulla energian- ja siirtohintaa kasvoi keskimäärin 8 % vuodessa. Liitteissä 2 ja 3 esitetään energian- ja siirtohintojen muuttuminen vuosina 1997–2019. (Energiavirasto, 2019)



Kuva 21 Sähköenergian ja siirron hintojen nouseminen 11.2018–11.2019. (Nurmi, 2020. Mediainfo)

5.2 Kannattavuuden tarkasteluun käytettävät laskentamenetelmät

Tässä luvussa käydään läpi aurinkovoimalan kannattavuuden laskemiseen käytettävät laskentamenetelmät sekä käytännöt. Luku pitää sisällään takaisinmaksuajan menetelmän sekä laskentaan käytettävien lähtöarvojen esittämisen.

5.2.1 Takaisinmaksuajan menetelmä

Laskennoissa on käytetty paneeleille 25 vuoden minimissään 80 % tehotakuuta sekä oletuksena on, että invertteri vaihdetaan järjestelmän 25 vuoden elinkaaren aikana yhden kerran. Laskennoissa invertterin vaihto on sijoitettu järjestelmän kymmenennen vuoden kohdalle. Laskennoissa ei huomioida mahdollisen investoinnin takia hankitun lainan vaikutusta takaisinmaksu-aikaan tai kannattavuuteen. Lähtökohtana käytetään, että järjestelmä hankitaan ilman ulkopuolista rahoitusta, jolloin ei järjestelmän hankkijalle muodostu lainakorkoja hankinnasta. Takaisinmaksuajan laskennassa ei huomioida rahan aika-arvoa sekä korkoa. Takaisinmaksu-aika laskenta tehdään kuudella eri sähkönhinnan kehittymisen skenaariolla.

5.2.2 Laskennassa käytettävät lähtöarvot sekä skenaariot

Työssä käytettävät hinnat pohjautuvat kotimaisten yritysten tarjoamiin keskihintoihin. Järjestelmän takaisinmaksuajan laskennan lukuarvot sisältävät arvolisäveron. Taulukossa 5.1 on esitettyä aurinkosähköjärjestelmän keskimääräiset hankintahinnat eri järjestelmän kokoluokkien mukaan.

Taulukko 5.1 Aurinkosähköjärjestelmän keskimääräinen hankintahinta.

Järjestelmän kokoluokka	järjestelmän hinta asennettuna	Järjestelmän hinta asennettuna alv 24 %
3–4,5 kW	1 810 € / kW	2 240 € / kW
4,5–6 kW	1 570 € / kW	1 950 € / kW
6–8 kW	1 480 € / kW	1 840 € / kW
8–10 kW	1 320 € / kW	1 640 € / kW
10–15 kW	1 160 € / kW	1 440 € / kW
15–20 kW	900 € / kW	1 120 € / kW
20–25 kW	830 € / kW	1 030 € / kW

2010-luvulla sähkön hinta nousi keskimäärin 4,03 % vuodessa. 1.1.2010 sähkön hinta oli 14,88 snt/kWh ja vuoden 2019 lopussa sähkön hinta oli 22,10 snt/kWh. Sähkön kokonaishinta muodostuu sähköenergian hinnasta, sähkön siirtohinnasta sekä sähköverosta. Sähköveron suuruus on noin 2,8 snt ja osuus sähkön kokonaishinnasta noin 12,6 %.

Taulukossa 5.2 esitetään laskennassa käytettävät skenaariot. Skenaarioita on kuudesta eri sähkön hinnan noususta. Skenaarioita käytetään laskennassa järjestelmän takaisinmaksuajan laskemiseksi. Laskennoissa on oletuksena, että aurinkovoimalan tuotto saadaan hyödynnettyä pääsääntöisesti omassa sähkönkulutuksessa.

Taulukko 5.2 Sähkön hinnan kehittymisen vertaamiseen käytettävät skenaariot.

Skenaario 1	Sähkön hinta pysyy ennallaan
Skenaario 2	Sähkön hinta nousee 1 % vuodessa
Skenaario 3	Sähkön hinta nousee 2 % vuodessa
Skenaario 4	Sähkön hinnan nousu pysyy ennallaan 4 % vuodessa
Skenaario 5	Sähkön hinta nousee 5 % vuodessa
Skenaario 6	Sähkön hinta nousee 6 % vuodessa

Skenaarioissa käytetään tuotetun sähkön hintana 10 snt / kWh. Taulukossa 5.3 esitetään skenaarioiden snt / kWh hinnan nouseminen 25 vuoden ajalta.

Taulukko 5.3 Sähkönhinta snt / kWh eri laskennan skenaarioilla.

Vuosi	Snt / kWh						
	1	2	5	10	15	20	25
Skenaario 1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Skenaario 2	10,0	10,1	10,4	10,9	11,5	12,1	12,7
Skenaario 3	10,0	10,2	10,8	12,0	13,2	14,6	16,1
Skenaario 4	10,0	10,4	11,7	14,2	17,3	21,1	25,6
Skenaario 5	10,0	10,5	12,2	15,5	19,8	25,3	32,3
Skenaario 6	10,0	10,6	12,6	16,9	22,6	30,3	40,5

5.3 Aurinkovoimalan kannattavuus

Tässä luvussa tarkastellaan kolmen eri käyttökohteen järjestelmien kannattavuutta. Ensimmäisenä kohteena on kesämökki, joka varustetaan akustolla. Toisena kohteena on 7 kWp aurinkosähköjärjestelmä omakotitalossa, joka kytketään verkkoon. Viimeisenä kohteena on yli 24 kWp aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden laskenta maatilalle. Järjestelmät ovat avaimet käteen periaatteella toimittavia järjestelmiä eli jokaisen paketin hinta sisältää asennuksen.

5.3.1 Verkosta irrallaan olevan aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus kesämökillä

Tässä luvussa tarkastellaan kesämökille suunnatun aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta, joka varustetaan akustolla ja täten toimii omana saarekkeena. Järjestelmän koko on 5,7 kWp ja hankintahinta on noin 1 842 € / kWp. Paneeleille luvataan 25 vuoden takuu 80 % tehotakuulla ja laskennoissa invertteri vaihdetaan kymmenennen vuoden kohdalla. Järjestelmä varustetaan kahdella 12 V:n 270 Ah AGM akulla. Taulukossa 5.4 esitetään aurinkosähköjärjestelmän tiedot.

Taulukko 5.4 3,42 kWp aurinkosähköjärjestelmän tiedot

Järjestelmän koko	5,7 kWp
Hankintahinta	1 842 € / kWp
Paneelien takuu	25 vuotta
Invertterin takuu	10 vuotta
Verkkoon kytkentä	Ei
Akusto	Kyllä

Taulukossa 5.5 esitetään järjestelmän odotettu vuosituotto-odotus mukaa huomioiden järjestelmän tehontuoton alenema järjestelmän ikääntyessä.

Taulukko 5.5 Järjestelmän odotettu hyötysuhteen aleneman.

Järjestelmän ikä vuosissa	Odotettu hyötysuhteen alenema	Järjestelmän vuosituotto-odotus
1–5	0 %	5,35 kWh
5–10	5 %	5,02 kWh
10–15	10 %	4,71 kWh
15–20	15 %	4,42 kWh
20–25	20 %	4,15 kWh

Taulukossa 5.6 esitetään järjestelmän hankintahinnan muodostuminen. Järjestelmän kokonaishinnaksi muodostui 10 500 € asennettuna. Asennuksen osuus kokonaishinnasta on 2 728 €, josta järjestelmän hankkija voi hakea 40 % suuruisia kotitalousvähennystä. Kotitalousvähennyksen osuus asennuksen hinnasta on 1 091 €. Kotitalousvähennykseen kuuluu 100 € omavastuu, jolloin vähennykseksi muodostuu 991 €. Kotitalousvähennyksen 100 € omavastuu on vuosikohtainen ja maksetaan vain kerran vuodessa. Tällöin järjestelmän hinnaksi jää 9 509 €. On tärkeää muistaa, että hankinta hetkellä järjestelmän ostaja joutuu maksamaan 10 500 € järjestelmästä ja saa kotitalousvähennyksen ensivuoden verotuksen yhteydessä eikä ostohetkellä.

Taulukko 5.6 Järjestelmän hankintahinnan muodostuminen.

Järjestelmän kokonaishinta	10 500 €
Asennuksen osuus kokonaishinnasta	2 728 €
Kotitalousvähennyksen suuruus	1 091 €
Kotitalousvähennyksen omavastuu	100 €
Maksettavaksi jäävä osuus	9 509 €

Järjestelmän kannattavuutta tarkastellessa on tärkeää huomioida, onko tontille tai tontin läheisyydessä sähköverkkoa. Sähkönverkkoon liittyminen voi maksaa paikoitein erittäin paljon, mikäli verkkoa joudutaan rakentamaan pitkiä matkoja. Turku energian liittymisjohdon kustannukset AXMK 4x16 S johtimelle on 538 € 30 metriin asti ja 30 metrin ylittävältä osuudelta 5,10 € / m. Mikäli joudutaan vetämään liittymisjohtoa esimerkiksi 1,5 km pituinen matka tulee tämä toimenpide maksamaan melkein 7 500 €, eikä maanrakennustyöt tontilla sisälly hintaan. Pienen kokoluokan aurinkosähköjärjestelmä on edullisempi asentaa tällaisessa tilanteessa, kun jo pelkän liittymisjohdon hinnalla voidaan asentaa alle 5 kWp aurinkosähköjärjestelmä. Liittymisjohdon asentamisen lisäksi liittymiseen kuuluu muun muassa kytkentämaksu 148,80 €, mittarointimaksu on 66,96 € sekä liittymismaksu 1 x 25 A liittymälle on 979,60 €. (Turku Energia, 2016)

5.3.2 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus omakotitalossa

7,41 kWp aurinkosähköjärjestelmä omakotitaloon muodostuu 26:sta 285 Wp aurinkopaneelista ja invertterinä toimii Fronius Symo 7 kW invertteri. Järjestelmän hankintahinta on noin 1 480 € / kWp. Aurinkopaneeleille luvataan 25 vuoden takuu minimissään 20 tehontuotannon laskulla. Järjestelmä kytketään sähköverkkoon eikä sen rinnalle kytketä akustoa saarekekäyttöä varten. Taulukossa 5.7 esitetään järjestelmän tiedot.

Taulukko 5.7 7,41 kWp aurinkosähköjärjestelmän tiedot.

Järjestelmän koko	7,41 kWp
Hankintahinta	1 480 € / kWp
Paneelien takuu	25 vuotta
Invertterin takuu	10 vuotta
Verkkoon kytkentä	Kyllä
Akusto	Ei

Taulukossa 5.8 esitetään laskennallisesti järjestelmän vuosituotto-odotus huomioiden odotettu hyötysuhteen alenema järjestelmän ikääntyessä.

Taulukko 5.8 Järjestelmän odotettu hyötysuhteen alenema.

Järjestelmän ikä vuosissa	Odotettu hyötysuhteen alenema	Järjestelmän vuosituotto-odotus
1–5	0 %	6,95 kWh
5–10	5 %	6,60 kWh
10–15	10 %	6,26 kWh
15–20	15 %	5,91 kWh
20–25	20 %	5,56 kWh

Taulukossa 5.9 esitetään ennuste järjestelmän tuottamalle vuosittaiselle säästölle laskennallisesti eri skenaarioilla. Järjestelmän vuosittainen tuotto laskee keskimäärin noin 0,93 % vuodessa jolloin 25 vuoden kuluttua asennuksesta järjestelmä tuottaa vuodessa 80 % sen alkuperäisestä vuosituotosta.

Taulukko 5.9 Aurinkosähköjärjestelmän laskettu vuosikohtainen säästö.

Vuosi	Järjestelmän vuosittainen säästö						
	1	2	5	10	15	20	25
Järjestelmän tuotto kWh vuodessa	6950	6886	6696	6392	6102	5825	5560
Skenaario 1	695 €	689 €	670 €	639 €	610 €	582 €	556 €
Skenaario 2	695 €	695 €	697 €	699 €	701 €	704 €	706 €
Skenaario 3	695 €	702 €	725 €	764 €	805 €	849 €	894 €
Skenaario 4	695 €	716 €	783 €	910 €	1 057 €	1 227 €	1 425 €
Skenaario 5	695 €	723 €	814 €	992 €	1 208 €	1 472 €	1 793 €
Skenaario 6	695 €	730 €	845 €	1 080 €	1 380 €	1 762 €	2 251 €

Taulukossa 5.10 on esitettyä järjestelmän hankintahinnan muodostuminen järjestelmän ostajalle. Järjestelmän kokonaishankintahinta on 10 970 €, josta asennuksen osuus on 3 100 €. Asennuksen osuudesta järjestelmän ostaja voi hakea kotitalousvähennyistä, jonka suuruus on 40 % asennuksen kustannuksista. Kotitalous vähennykseen kuuluu 100 € omavastuu. Kotitalousvähennyksen ja siihen kuuluvan omavastuun jälkeen aurinkosähköjärjestelmän lopulliseksi hinnaksi muodostuu 9 830 €. On tärkeää muistaa, että hankintahetkellä järjestelmän ostaja joutuu maksamaan 10 970 € järjestelmästä ja saa kotitalousvähennyksen ensivuoden verotuksen yhteydessä eikä ostohetkellä.

Taulukko 5.10 Järjestelmän hankintahinnan muodostuminen.

Järjestelmän kokonaishinta	10 970 €
Asennuksen osuus kokonaishinnasta	3 100 €
Kotitalousvähennyksen suuruus	1 240 €
Kotitalousvähennyksen omavastuu	100 €
Maksettavaksi jäävä osuus	9 830 €

Taulukossa 5.11 esitetään järjestelmän takaisinmaksuaika eri skenaarioilla. Laskennassa on huomioituna invertterin vaihto kymmenennen vuoden kohdalla. Invertterin vaihtohinnaksi on määritetty laskennassa 2 000 €. Skenaariolla 6 järjestelmän takaisinmaksuaika on 13 vuotta, skenaarioilla 4 ja 5 takaisinmaksuaika on 14 vuotta. Kaikkein pisin takaisinmaksuaika 19 vuotta on skenaariolla 1.

Taulukko 5.11 Aurinkosähköjärjestelmän laskettu takaisinmaksuaika vuosikohtaisesti.

Vuosi	Takaisinmaksuaika						
	13	14	15	16	17	18	19
Skenaario 1	-3 180 €	-2 564 €	-1 954 €	-1 349 €	-751 €	-157 €	431 €
Skenaario 2	-2 660 €	-1 959 €	-1 257 €	-555 €	147 €	850 €	1 553 €
Skenaario 3	-2 100 €	-1 303 €	-498 €	316 €	1 138 €	1 969 €	2 808 €
Skenaario 4	-850 €	175 €	1 232 €	2 321 €	3 442 €	4 598 €	5 789 €
Skenaario 5	-154 €	1 008 €	2 216 €	3 472 €	4 780 €	6 140 €	7 555 €
Skenaario 6	595 €	1 909 €	3 289 €	4 737 €	6 259 €	7 857 €	9 535 €

Laskennoissa on käytetty järjestelmälle 25 vuoden maksimikäyttöaika, vaikka todellisuudessa järjestelmä tulee tuottamaan aurinkosähköä tätä pidemmäksi ajaksi. Järjestelmän kokonaistuotanto ennuste 25 vuoden ajalta on noin 156 00 kWh. Skenaariolla 4 laskettuna järjestelmän kokonaistuotto on noin 25 500 € järjestelmän 25 vuoden elinkaaren aikana. Järjestelmän hinnan 9 830 € lisäksi järjestelmän elinkaaren aikana järjestelmän huoltamiseen kuluu noin 2 000–2 500 €, jolloin järjestelmän elinkaaren kokonaiskustannukseksi muodostuu 11 830–12 330 €. Järjestelmän hankinta sijoituksena on kyseenalainen sillä sijoitus tulee maksamaan itsensä takaisin vasta 14 vuoden päästä laskettaessa skenaariolla 4. Järjestelmä on kannattava siinä mielessä, että 14 vuoden jälkeen järjestelmä tuottaa vuosittain rahaa taloudelle. Heikoimman skenaarion skenaario 1 mukaan järjestelmän tuotto olisi 15 576 € - 12 330 € = 3 246 € 25 vuoden aikana. Skenaariolla 4 mukaan järjestelmän tuotto on noin 13 100 € 25 vuoden aikana.

5.3.3 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus maatilalla

Laskennan esimerkki kohteena käytetään Siilinjärvellä sijaitsevaa maatilaa. Järjestelmän koon mitoituksessa otettiin huomioon, että innovaatorahoituskeskus Business Finlandin vaatima 17 500 € alv 0 % täyttyy, jotta kohde voi hakea investointitukea hankinnalle, jonka suuruus on 40 % järjestelmän kokonaishankintahinnasta. Järjestelmän hankinnasta järjestettiin tarjouskilpailu, jonka pohjalta valikoitiin kannattavin tarjous, jonka kannattavuuden laskenta esitetään tässä luvussa.

Järjestelmä koostuu 72:sta Trina TSM 335 Wp aurinkopaneelistä ja invertterinä toimii Fronius Symo 20 kW invertteri, jossa on mahdollisuus etäseurantaan siihen asennettavan Wlan-kortin avulla. Taulukossa 5.12 on listattuna aurinkosähköjärjestelmän hankintatiedot.

Taulukko 5.12 Aurinkosähköjärjestelmän tiedot.

Järjestelmän koko	24,12 kWp
Hankintahinta	770 € / kWp
Hankintahinta tukien jälkeen	460 € / kWp
Paneelien takuu	25 vuotta
Invertterin takuu	10 vuotta
Verkkoon kytkentä	Kyllä
Akusto	Ei

Taulukossa 5.13 on laskennallisesti ilmoitettu järjestelmän keskimääräinen vuosituotto-odotus siten, että 25 vuoden päästä asennuksesta paneelien hyötysuhde on laskenut maksimissaan 20 %, jonka laitevalmistaja on sopimuksessa ilmoittanut.

Taulukko 5.13 Järjestelmän odotettu hyötysuhteen alenema.

Järjestelmän ikä vuosissa	Odotettu hyötysuhteen alenema	Järjestelmän keskimääräinen vuosituotto-odotus 5-vuoden välillä
1–5	0 %	22,61 kWh
5–10	5 %	21,48 kWh
10–15	10 %	20,35 kWh
15–20	15 %	19,22 kWh
20–25	20 %	18,09 kWh

Taulukossa 5.14 on laskennallisesti esillä järjestelmän tuottama vuosittainen säästö laskettuna eri skenaarioille. Keskimääräinen tuoton alenema on noin 0,93 % vuodessa. 25 vuoden alenema on maksimissaan 20 % alkuperäisestä tuotanto arvosta.

Taulukko 5.14 Aurinkosähköjärjestelmän laskettu vuosikohtainen säästö.

Vuosi	Järjestelmän vuosittainen säästö						
	1	2	5	10	15	20	25
Järjestelmän tuotto kWh vuodessa	22610	22401	21785	20795	19850	18949	18088
Skenaario 1	2 261 €	2 240 €	2 178 €	2 080 €	1 985 €	1 895 €	1 809 €
Skenaario 2	2 261 €	2 262 €	2 267 €	2 274 €	2 282 €	2 289 €	2 297 €
Skenaario 3	2 261 €	2 285 €	2 358 €	2 485 €	2 619 €	2 760 €	2 909 €
Skenaario 4	2 261 €	2 330 €	2 548 €	2 960 €	3 437 €	3 992 €	4 637 €
Skenaario 5	2 261 €	2 352 €	2 648 €	3 226 €	3 930 €	4 788 €	5 834 €
Skenaario 6	2 261 €	2 374 €	2 750 €	3 513 €	4 488 €	5 733 €	7 324 €

Taulukossa 5.15 on esitetty järjestelmän hankintahinta 18 500 €. 18 500:sta vähennetään 40 % investointituki, jonka suuruus on 7 400 €, jonka jälkeen jäljelle jäävä osuus on 11 100 €. 11 100 € lisätään 24 % arvolisävero, jonka jälkeen hinnaksi muodostuu 13 764 €. 13 764 € on se hinta, joka järjestelmän hankkijalle jää maksettavaksi järjestelmän hankinnasta.

Taulukko 5.15 Järjestelmän hankintahinnan muodostuminen.

Järjestelmän kokonaishinta alv 0 %	18 500 €
Investointituen suuruus %	40 %
Investointituen suuruus €	7 400 €
Maksettavaksi jäävä osuus alv 0 %	11 100 €
Maksettavaksi jäävä osuus alv 24 %	13 764 €

Taulukossa 5.16 on esitetty järjestelmän takaisinmaksuaika laskennallisesti eri skenaarioille. Skenaarioilla 3,4,5 ja 6 järjestelmä maksaa itsensä takaisin 6 vuodessa kun skenaarioilla 1 ja 2 takaisinmaksuun menee 7 vuotta. Taulukosta 5.15 nähdään myös, että skenaariolla 6 laskettuna takaisinmaksu aika on kaikkein nopein, kun skenaariolla 1 laskettuna takaisinmaksuun menee eniten aikaa. Järjestelmän invertterin vaihto toteutetaan kymmenennen vuoden kohdalla, jonka vaihtamisen hinta on noin 3 500 €. Järjestelmä on maksanut jokaisella laskenta skenaariolla 10 vuoteen mennessä itsensä takaisin eikä kymmenennen vuoden kohdalla takaisinmaksuaika tipu enää negatiivisen puolelle, vaikka invertterin vaihto toteutetaankin.

Taulukko 5.16 Aurinkosähköjärjestelmän laskettu takaisinmaksuaika vuosikohtaisesti.

Vuosi	Takaisinmaksuaika						
	1	2	3	4	5	6	7
Skenaario 1	-11 503 €	-9 263 €	-7 044 €	-4 845 €	-2 666 €	-508 €	1 630 €
Skenaario 2	-11 503 €	-9 241 €	-6 977 €	-4 711 €	-2 444 €	-176 €	2 094 €
Skenaario 3	-11 503 €	-9 218 €	-6 909 €	-4 576 €	-2 218 €	165 €	2 573 €
Skenaario 4	-11 503 €	-9 173 €	-6 773 €	-4 300 €	-1 751 €	875 €	3 581 €
Skenaario 5	-11 503 €	-9 151 €	-6 704 €	-4 159 €	-1 511 €	1 244 €	4 109 €
Skenaario 6	-11 503 €	-9 129 €	-6 635 €	-4 016 €	-1 266 €	1 622 €	4 656 €

5.4 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden pohdinta

Työssä käsiteltyjen tarjouksien aurinkokennoille luvataan 25 vuoden käyttöikä. Pitkän käyttöiän seurauksena aurinkojärjestelmien kokonaistuotanto määrä paneelien eliniällä on suuri ja täten järjestelmien hankinta investointimielessä on kannattavaa. Innovaatorahoituskeskus Business Finlandin myöntämän investointituen ansiosta järjestelmän takaisinmaksuaika pienenee miltein puolella ja täten takaa järjestelmälle kannattavuuden. Laskennoissa on käytetty järjestelmälle 25 vuoden maksimikäyttöaikaa, vaikka todellisuudessa järjestelmä tulee tuottamaan aurinkosähköä tätä pidemmäksi ajaksi. Maatilan 24,1 kWp järjestelmän kokonaistuotanto ennuste 25 vuoden ajalta on noin 506 700 kWh. Skenaariolla 4 laskettuna järjestelmän kokonaistuotto on noin 82 800 € järjestelmän 25 vuoden elinkaaren aikana. Järjestelmän hankintahinnan 13 764 € lisäksi järjestelmän elinkaaren aikana järjestelmän huoltamiseen kuluu noin 4 000–4 500 €, jolloin järjestelmän elinkaaren kokonaiskustannukseksi muodostuu 17 764–18 264 €. Suurin osa huoltokustannuksista muodostuu invertterin vaihtamisesta. Järjestelmän hankinta sijoituksena on erittäin kannattava sillä sijoitus tulee maksamaan itsensä takaisin alle 7 vuoden aikana ja tämän jälkeen tuottaa vuosittain rahaa tilalle. Heikoimman skenaarion skenaario 1 mukaan järjestelmän tuotto olisi $50\,600\text{ €} - 18\,000\text{ €} = 32\,600\text{ €}$ 25 vuoden aikana. Skenaariolla 4 mukaan järjestelmän tuotto olisi vajaa 65 000 € 25 vuoden aikana.

Aurinkosähköjärjestelmän koko vaikuttaa takaisinmaksuaikaa siten, että ylimitoitettu järjestelmä tuottaa enemmän sähköä kuin kohde kuluttaa. Tämä johtaa siihen, että järjestelmän tuottama ylijäämä sähkö joudutaan myymään verkkoon. Kaikkein parhaimman taloudellisen hyödyn saa, kun järjestelmän tuottamaa sähköä ei myydä verkkoon vaan se pystytään käyttämään kohteessa itse. Myyntisähkön korvaus, joka järjestelmän tuottaman ylijäämä sähkö myymisestä verkkoon ei ole kovinkaan suuri. Yleensä myynti sähkö hinta vaihtelee 2 ja 6 snt / kWh välillä riippuen sopimuksesta ja paikallisesta verkkoyhtiöstä.

Vastaavasti alimitoitettu järjestelmä pidentää takaisinmaksuaikaa siten, että järjestelmän rakentamiseen liittyvät pohjakulut ovat korkeat ja täten ei saada hyödynnettyä pohjakuluja kokonaan. Mitä pienempi sähköjärjestelmän koko on niin tätä suurempi € / kWp hinta muodostuu. Joissain tapauksissa järjestelmän vähäinen ylimitoittaminen on kannattavaa kyettäessä pitämään asennuksesta aiheutuvien pohjakulujen kasvaminen hyvin minimaalisena. Pohjakuluja on muun muassa asennustelineiden asentamisesta ja vuokraamisesta aiheutuvat kulut. € / kWp hinta laskee mitä suurempi järjestelmä on sen takia, että pohjakulut eivät kasva yksi yhteen järjestelmän koon kanssa. Joissain tapauksissa järjestelmän kokoa voidaan isontaa siten, etteivät pohjakulut kasva miltein ollenkaan.

Kiinteistön käyttötarkoitus vaikuttaa kannattavuuteen siten, että esimerkiksi maatilat voivat hakea 40 % suuruista investointitukea innovaatorahoituskeskus Business Finlandilta. Ehtona tälle on muun muassa se, että investoinnin suuruuden tulee olla vähintään 17 500 € alv 0 %. Jo pelkästään investointituki pienentää takaisinmaksu aikaa miltein puolella. Vastaavasti yritykset voivat hakea energiatukea, jonka suuruus on 20 %. Energiatuen edellytyksenä on muun muassa, että investoinnin suuruuden on oltava vähintään 10 000 €.

Teollisuuden kiinteistöiden järjestelmien takaisinmaksuaika on yksi kaikkien kohteiden lyhyimmistä ajoista, mikäli ei huomioida kesämökki kohteita, jotka sijaitsevat kaukana kantaverkosta. Tämä perustuu siihen, että teollisuuden kohde voi hakea investoinnille tukea ja tämän lisäksi kohteessa on päiväsaikaan erittäin suuri sähkönkulutus. Tämän takia kohteeseen voidaan mitoittaa erittäin suuri aurinkosähköjärjestelmä ja sen tuottama sähkö pystytään käyttämään hyödyksi kohteessa. Suuren järjestelmä koon takia järjestelmän € / kWp hintaa saadaan pienennettyä. Suuremmalla järjestelmällä on alhaisempi € / kWp hinta, kuin pienemmän koon järjestelmällä ja tämä seurauksena takaisinmaksuaika lyhenee. Mitä pienempi € / kWh hinta on, sitä nopeampi takaisinmaksuaika yleisesti on.

Kesämökeillä kannattavuuden laskeminen on erittäin tapaus kohtaista. Joissain tapauksissa, jossa kesämökki sijaitsee kaukana kantaverkosta voi jo pelkästään verkkoon liittyminen olla niin kallista, että aurinkosähköjärjestelmän hankinta on ratkaisuna edullisempi, kuin liittyminen sähköverkkoon. Tällaisessa tapauksessa voidaan miltein sanoa, että järjestelmä on maksanut itsensä takaisin jo heti asennuksen jälkeen. Esimerkiksi Turun Energiän liittymismaksu 1 x 25 A koolle maksaa 979,60 €. Tämän lisäksi liittymisen kytkentä ja mittarointi maksu on yhteensä 215 € luokkaa. Liittymiskaapelin asentaminen Turun Energialla on 30 metriin saakka 538 € hintainen ja jokaiselta metriltä 30 metrin ylittävältä osuudelta maksaa 5,10 € / m. Tämä johtaa siihen, että mikäli kesämökin tontti sijaitsee esimerkiksi 5 km päässä jakeluverkosta tulee liittymiskaapelin yhdistäminen maksamaan yli 25 000 €. 25 000 € hinnalla voidaan asentaa yli 25 kWp akustolla varustettu järjestelmä ja tämän lisäksi vielä järjestelmän tuottama sähkö on ilmaista verrattuna siihen, että kesämökin omistaja joutuisi ostamaan sähkön ja tämän lisäksi maksamaan vielä sähköliittymän kiinteitä kuukausi maksuja. Lisäksi kesämökeillä, jotka kuluttavat vain vähän sähkö vuodessa muodostuu suurin osa sähkölaskusta jo liittymän kiinteistä kuukausimaksuista. Lisäksi kesämökin järjestelmän hankkija on oikeutettu hakemaan kotitalousvähennyistä järjestelmän asennuksesta. Kotitalousvähennyksen osuus on 40 % asennuskustannuksista. Kotitalousvähennykseen kuuluu vuosittainen 100 € omavastuu ja vähennyksen maksimi määrä on 2 250 € per henkilö.

6 YHTEENVETO

Ympäristöystävällisyys on viime aikoina noussut hyvin keskeiseen rooliin ihmisten valinnoissa. Yritykset kehittävät päivittäin ympäristöystävällisempiä tapoja toimia ja valmistaa tuotteita. Energiayritykset kehittävät jatkuvasti entistä parempia tapoja tuottaa sähköä ympäristöystävällisesti. Ympäristöystävällisyys on noussut myös politiikassa avainasemaan esimerkiksi Euroopan unionissa, jonka tavoitteena on päästä eroon hiilen käytöstä ja siirtyä ympäristölle ystävällisempiin energiantuotantotapoihin. Aurinkosähköteknologia on yksi parhaimmista uusiutuvista energialähteistä. Aurinkosähköjärjestelmät ovat erittäin hyviä, sillä ne vievät paljon vähemmän tilaa kuin esimerkiksi tuulivoimalat, ja aurinkojärjestelmä voidaan asentaa miltein jokaisen talon katolle kaupungissa. Aurinkosähköteknologian käyttö on yleistynyt, sillä järjestelmien hinnat ovat laskeneet viime vuosikymmenellä nopeasti. Aurinkosähköjärjestelmän hankintaa on myös haettavissa investointitukea, minkä seurauksena järjestelmillä on entistä lyhyempi takaisinmaksuaika, sekä sen myötä niistä on muodostunut entistä kannattavampi investointikohde.

Opinnäytetyön tarkoituksena on ollut selvittää aurinkovoimalan takaisinmaksuaika, järjestelmän komponentit ja rakenne, investoinnin kannattavuus, sekä järjestelmän hankintaan liittyvien tukien sisältö ja suuruus. Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden tärkein tekijä on järjestelmän optimaalinen mitoittaminen. Järjestelmä on kaikista kannattavin silloin kun se on mitoitettu siten, että järjestelmän tuottama sähköenergia voidaan käyttää kohteessa, eikä sitä myydä verkkoon. Maatilakohdeissa on syytä miettiä järjestelmän kokoa myös siten, että onko kannattavaa ylimitoittaa järjestelmää, jotta saadaan järjestelmän hankinta investointituen määrittelemiін rajoihin. Aurinkosähköjärjestelmän pää komponentit ovat aurinkopaneelit sekä invertteri. Järjestelmien hintojen laskemisen sekä järjestelmän hankintaan saatavien tukien ansiosta järjestelmien hankinta investointimielessä on kannattavaa suurissa kohteissa. Omakotitalouksien takaisinmaksu aika on vielä yli 10 vuotta, joka johtaa siihen, ettei järjestelmät omakotitalouksissa tule kasvamaan yhtä nopeasti kuin teollisuudessa ja maataloilla.

Työntekijän mielestä opinnäytetyön lopputulos on onnistunut ja työn tuloksena muodostunut asiakirja pitää sisällään työn alkaessa määritellyt asiat. Aiheena työ oli mielenkiintoinen ja tarjosi sopivasti haasteita työntekijälle. Opinnäytetyön tekeminen toi mukavaa vaihtelua tekijälle kouluelämän arkeen. Haastavaa työntekijälle työssä oli aikaisemman kokemuksen puute. Aurinkosähköteknologiaa ei käsitelty koulutuksen yhteydessä juuri lainkaan, joka johti siihen, että kaikki työssä käsiteltävät asiat tulivat täysin uutena, jolloin aikaa kului paljon uuden asian oppimiseen. Vastaavasti aihe oli erittäin antoisa työntekijälle sillä työn tekemisen aikana työntekijä pääsi oppimaan uusia asioita.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- Aalam, H. (28. 4. 2016). *Maatilan sähköomavaraisuuden kehittäminen*. Haettu 21. 4. 2020 osoitteesta Theseus: <https://docplayer.fi/54956310-Maatilan-sahkoomavaraisuuden-kehittaminen.html>
- Aphazee Systems. (4. 1. 2018). *What is the meaning of Off-Grid Solar System?* Haettu 29. 4. 2020 osoitteesta Medium: <https://medium.com/@alphazee17/what-is-the-meaning-of-off-grid-solar-system-fbdd7ca629b6>
- Aurinkorakennus. (25. 4. 2020). *Aurinkokennot ja Moduulit*. Haettu 25. 4. 2020 osoitteesta Aurinkorakennus: https://www.aurinkorakennus.fi/wp-content/uploads/Product_presentation_FIN.pdf
- Bal, Z. (2018). Haettu 26. Huhtikuu 2020 osoitteesta Pinterest: <https://fi.pinterest.com/pin/434245589072611080/>
- Dufresne, S. (2011). *Off-Grid solar power systems*. Haettu 29. 4. 2020 osoitteesta Rimstar: https://rimstar.org/renewnrg/off_grid_solar_power_systems.htm
- Ecoprogetti. (2020). *The Structure of a Photovoltaic Module*. Haettu 26. 4. 2020 osoitteesta Ecoprogetti: <https://ecoprogetti.com/the-structure-of-photovoltaic-module/>
- Electrotori. (2020). *Mikroinvertteri sähköverkkoon*. Haettu 29. 4. 2020 osoitteesta Electrotori: <https://www.electrotori.net/product/251/mikroinvertteri-sahkoverkkoon-dcac-300w-230v>
- Energiamarkkinavirasto. (11. 2019). *Sähkön hintatilastot*. Haettu 6. 4. 2020 osoitteesta Energiamarkkinavirasto: <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot;jsessionid=1A3C2A7703040C371272191AB4710A15>
- Energiateollisuus. (27. 4. 2016). *Mikrotuotannon liittäminen sähköjakaiverkkoon*. Haettu 16. 5. 2020 osoitteesta Oulunenergia: https://www.ouluenergia.fi/sites/default/files/attachments/et_verkostosuositus_mikrotuotannon_liittaminen_sahkonjakeluverkkoon.pdf
- Energiateollisuus. (27. 4. 2016). *Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon*. Haettu 11. 5. 2020 osoitteesta Kuopionenergia: <https://kuopionenergia.fi/wp-content/uploads/2017/01/Tuotannon-liitt%C3%A4minen-verkkoon.pdf>
- Energiateollisuus. (27. 4. 2016). *Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon*. Haettu 29. 5. 2020 osoitteesta Kuopionenergia: <https://kuopionenergia.fi/wp-content/uploads/2017/01/Tuotannon-liitt%C3%A4minen-verkkoon.pdf>
- Energiavirasto. (26. 6. 2019). *Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti lisääntyi 82 % vuodessa*. Haettu 4. 4. 2020 osoitteesta Energiavirasto: https://energiavirasto.fi/tiedote/-/asset_publisher/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-lisaantyi-82-vuodessa
- Energiavirasto. (14. 1. 2019). *Kotitalouden sähkölasku kallistui vuodessa reilut neljä prosenttia*. Haettu 6. 4. 2020 osoitteesta Energiavirasto: https://energiavirasto.fi/tiedote/-/asset_publisher/kotitalouden-sahkolasku-kallistui-vuodessa-reilut-nelja-prosenttia
- Giocosolutions SRL. (2017). *2face bifacial*. Haettu 9. 5. 2020 osoitteesta giocosolutions: <https://www.giocosolutions.net/2face-bifacial/>
- Hemetsberger, W.;& Schemela, M. (2019). *SolarPower Europe EU-Market Outlook for Solar Power 2019–2023* (ss. 15–20). Vienna: SolarPower Europe. Haettu 28. 4. 2020 osoitteesta https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/12/SolarPower-Europe_EU-Market-Outlook-for-Solar-Power-2019-2023_.pdf?cf_id=10364
- Innovaatorahoituskeskus Business Finland. (2020). *Energiatuki*. Haettu 1. 5. 2020 osoitteesta businessfinland: <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki/>

- Kauppalehti. (5. 1. 2018). *Oulun Energia rakentaa 200 miljoonan euron biovoimalaitoksen*. Haettu 26. 4. 2020 osoitteesta Kauppalehti: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/oulu-energia-rakentaa-200-miljoonan-euron-biovoimalaitoksen/c344b841-f70c-3b7e-b09e-4bc400e68a69>
- Kolgri, S. (2020). Haettu 26. 4. 2020 osoitteesta Reserchgate: https://www.researchgate.net/figure/Internal-structure-of-solar-panel_fig5_318988073
- Kuopion Energia Oy. (5. 1. 2017). *Mikrotuotantolaitteiston liittäminen verkkoon*. Haettu 11. 5. 2020 osoitteesta kuopionenergia: https://kuopionenergia.fi/wp-content/uploads/2017/01/Mikrotuotantolaitteiston_yleistietolomake.pdf
- Kuopion Energia Oy. (5. 1. 2017). *Tuotannon liittäminen verkkoon*. Haettu 11. 5. 2020 osoitteesta kuopionenergia: <https://kuopionenergia.fi/wp-content/uploads/2017/01/Tuotannon-liitt%C3%A4minen-verkkoon.pdf>
- Kuopion Sähköverkko Oy. (1. 12. 2015). *Sähkön pientuotannon liittäminen sähköverkkoon*. Haettu 9. 5. 2020 osoitteesta Kuopionenergia: <https://kuopionenergia.fi/wp-content/uploads/2016/02/S%C3%A4hk%C3%B6n-pientuotannon-liitt%C3%A4minen-s%C3%A4hk%C3%B6verkkoon.pdf>
- Lehtonen, P. (3. 4. 2019). *Aurinkopaneelien markkinointi ihmetyttää: mikä ihmeen kWp?* Haettu 7. 4. 2020 osoitteesta Kuluttaja: <https://kuluttaja.fi/artikkelit/aurinkopaneelien-markkinointi-ihmetyttaa-mika-ihmeen-kwp/>
- Luotola, J. (15. 8. 2016). *Kattopeltivoimala maksaa 6 900 euroa – Mutta tämän verran sillä säästää joka vuosi*. Haettu 26. 4. 2020 osoitteesta Tekniikkatalous: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/kattopeltivoimala-maksaa-6-900-euroa-mutta-taman-verran-silla-saastaa-joka-vuosi/5b43485d-2499-35ad-806c-4b4852a3e74c>
- Misbrener, K. (13. 12. 2018). *How to choose between string and central inverters in utility-scale installations*. Haettu 29. 4. 2020 osoitteesta solarpowerworldonline: <https://www.solarpowerworldonline.com/2018/12/choose-between-string-and-central-inverters-utility-scale-solar/>
- Motiva. (21. 10. 2019). *Turvallisuus*. Haettu 16. 5. 2020 osoitteesta Motiva: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lainsaadanto_ja_muu_ohjaus/turvallisuus
- Nurmi, S. (14. 1. 2020. Mediainfo). *Sähkömarkkinat nyt – Mitä tapahtui vuonna 2019*. Haettu 6. 4. 2020 osoitteesta Energiavirasto: <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/13008633/S%C3%A4hk%C3%B6markkinat-2019-mediainfo-p%C3%A4ivitetty.pdf/c4a4e487-f431-1465-e287-34a494915f1d/S%C3%A4hk%C3%B6markkinat-2019-mediainfo-p%C3%A4ivitetty.pdf>
- Paavola, M. (5. 12. 2012). *Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien potentiaali Tampereella*. Haettu 16. 5. 2020 osoitteesta motiva: https://www.motiva.fi/files/10884/Verkkoon_kytettyjen_aurinkosahkojarjestelmien_potentiaali_Tampereella_Minna_Paavola_Diplomityo.pdf
- Piispa, O. (12. 2017). *Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän vaikutukset sähköverkonasentajien työturvallisuuteen*. Haettu 29. 4. 2020 osoitteesta Theseus: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/137978/Piispa_Oskari.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- PVGIS. (2015). *JRC Photovoltaic Geographical Information System*. Haettu 7. 4. 2020 osoitteesta re.jrc.ec.europa: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR

Rajkumar trading. (2019). *Central inverter*. Haettu 29. 4. 2020 osoitteesta Exportersindia:

https://img3.exportersindia.com/product_images/bc-full/dir_77/2292267/central-inverter-1528715882-3967632.jpeg

Reko, N. (11. 11. 2012). *Aurinkopaneelien kiinnitys eri katto- ja seinämateriaaleihin*. Haettu 26. 4. 2020 osoitteesta Theseus:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/49697/nissinen_reko.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rexel. (2019). *Miten aurinkosähkö toimii*. Haettu 21. 4. 2020 osoitteesta Rexel:

<https://www.rexel.fi/Palvelut/Aurinkosahko/miten-aurinkosahko-toimii/>

Ruokavirasto. (2014). *Investointituista menestyksen eväitä maatilalle*. Haettu 29. 4. 2020 osoitteesta Ruokavirasto:

<https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/viljelijat/tuet-ja-rahoitus/investointituet-2014-2020.pdf>

Suntekno. (18. 11. 2012). *Paneelit*. Haettu 20. 4. 2020 osoitteesta Suntekno.bonsait:

<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

Symo, F. (2020). Haettu 26. 4. 2020 osoitteesta Solarpower:

http://www.solarpower.fi/index.php?route=product/product&product_id=277

TEM. (22. 2. 2019). *Sähköntuotannon skenaariolaskelmat vuoteen 2050*. Haettu 30. 5. 2020 osoitteesta Tem:

<https://tem.fi/documents/1410877/2132100/S%C3%A4hk%C3%B6ntuotannon%20skenaariolaskelmat%20vuoteen%202050%20%E2%80%93%20selvitys%2022.2.2019/8d83651e-9f66-07e5-4755-a2cb70585262>

Turku Energia. (22. 10. 2016). *Tilaus liittymisjohdon tonttiosuuden rakentamisesta*. Haettu 1. 6. 2020 osoitteesta

Turkuenergia: <https://www.turkuenergia.fi/wp-content/uploads/2016/10/Tilaus-liittymisjohdon-tonttiosuuden-rakentamisesta.pdf>

Veijo, I. (8. 5. 2014). *Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu*. Haettu 25. 4. 2020 osoitteesta Theseus:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74844/Isojunno_Veijo.pdf?sequence=1

Verovirasto. (2020). *Kotitalousvähennys*. Haettu 29. 4. 2020 osoitteesta vero:

<https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/tulot-ja-vahennykset/kotitalousvahennys/>

Wiles-Purdue, K. (19. 11. 2019). *'Two-Faced' Solar cells generate a lot more power*. Haettu 9. 5. 2020 osoitteesta

Futurity: <https://www.futurity.org/bifacial-solar-cells-panels-power-2237612/>

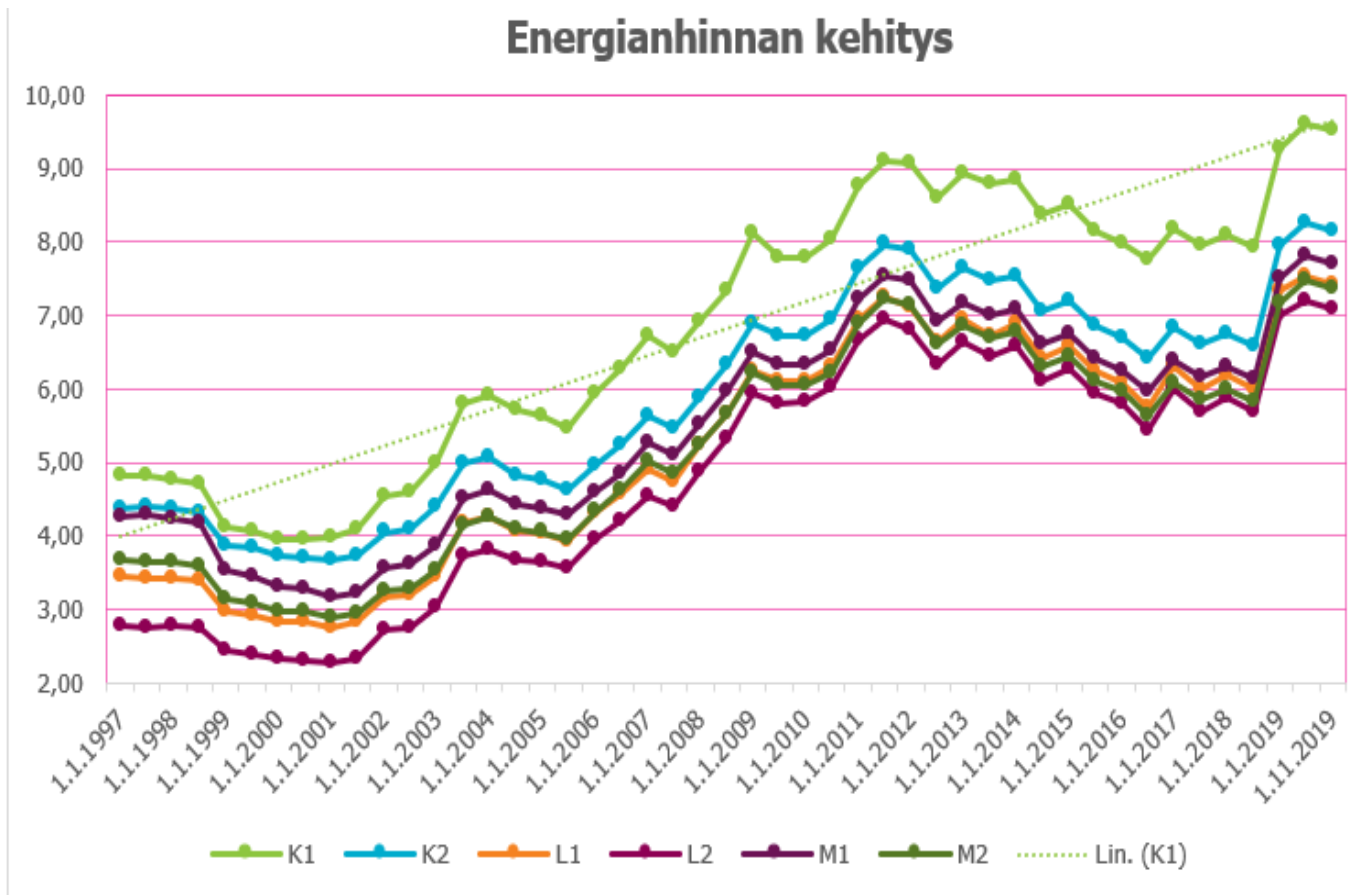
Yhtiöt, V. (2013). *Aurinkosähköopas*. Haettu 7. 4. 2020 osoitteesta vsv:

<https://www.vsv.fi/sites/default/files/aurinkosahkoopas.pdf>

Zhejiang Dongshuo New Energy Co, L. (25. 2. 2019). *Cigs solarcell technology*. Haettu 25. 4. 2020 osoitteesta

Dnsolar: <http://fi.dnsolar.com/info/cigs-solar-cell-technology-32908679.html>

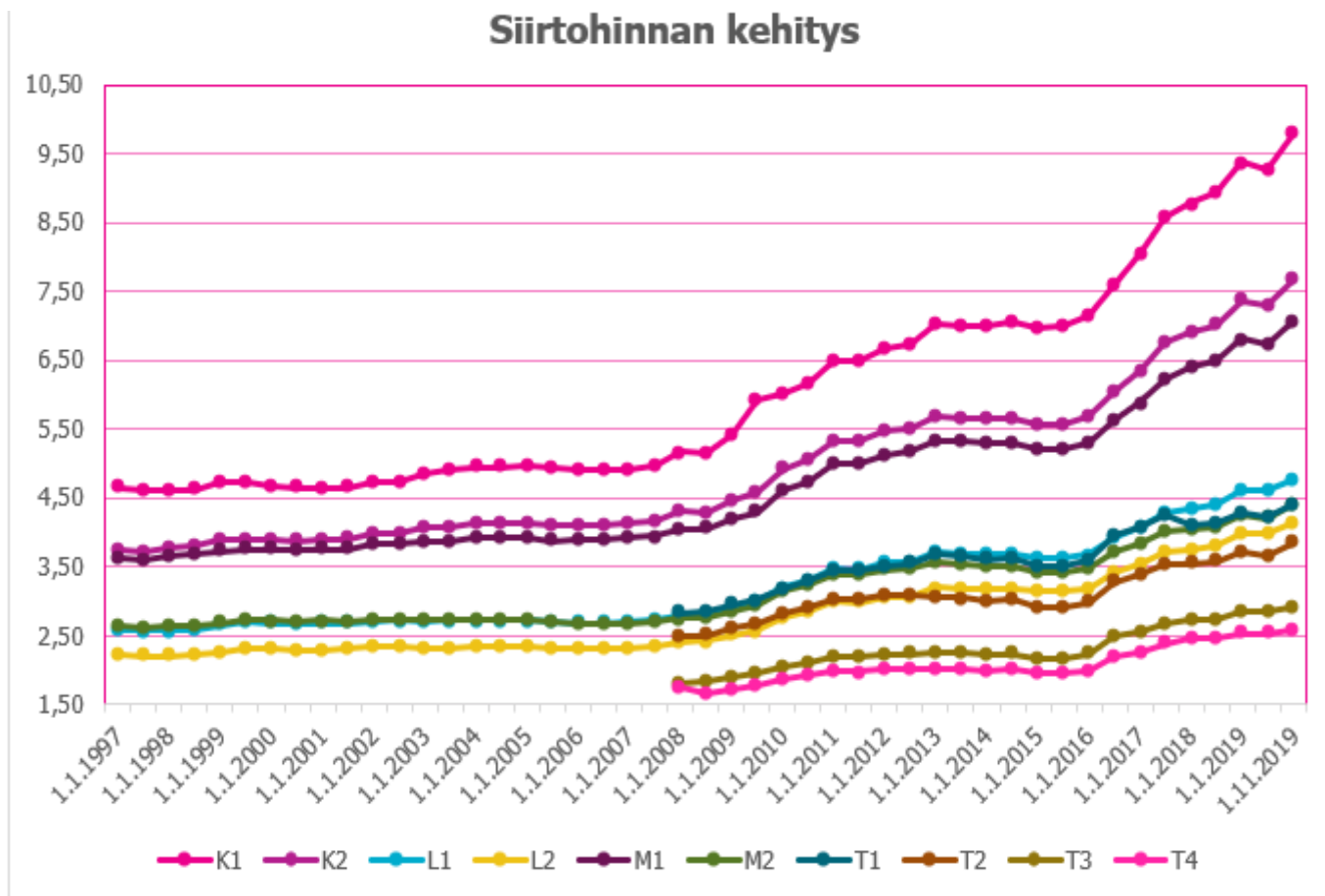
LIITE 1: ENERGIANHINNAN KEHITYS



Tyypikäyttäjien määrittelyt:

- K1 Kerrostalohuoneisto, ei sähkökiuasta, pääsulake 1x25 A, sähkön käyttö 2 000 kWh/vuosi*
- K2 Pientalo, sähkökiuas, ei sähkölämmitystä, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 5 000 kWh/vuosi*
- M1 Maatilatalous, peltoviljely, ei sähkölämmitystä, pääsulake 3x35 A, sähkön käyttö 10 000 kWh/vuosi*
- M2 Maatilatalous, karjatalous, huonekohtainen sähkölämmitys, pääsulake 3x35 A, sähkön käyttö 35 000 kWh/vuosi*
- L1 Pientalo, huonekohtainen sähkölämmitys, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 18 000 kWh/vuosi*
- L2 Pientalo, osittain varaava sähkölämmitys, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 20 000 kWh/vuosi*

LIITE 2: SIIRTOHINNAN KEHITYS



Tyypikäyttäjien määrittelyt:

- K1 Kerrostalohuoneisto, ei sähkökiuasta, pääsulake 1x25 A, sähkön käyttö 2 000 kWh/vuosi*
- K2 Pientalo, sähkökiuas, ei sähkölämmitystä, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 5 000 kWh/vuosi*
- M1 Maatilatalous, peltoviljely, ei sähkölämmitystä, pääsulake 3x35 A, sähkön käyttö 10 000 kWh/vuosi*
- M2 Maatilatalous, karjatalous, huonekohtainen sähkölämmitys, pääsulake 3x35 A, sähkön käyttö 35 000 kWh/vuosi*
- L1 Pientalo, huonekohtainen sähkölämmitys, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 18 000 kWh/vuosi*
- L2 Pientalo, osittain varaava sähkölämmitys, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 20 000 kWh/vuosi*
- T1 Pienteollisuus, sähkön käyttö 150 000 kWh/vuosi, tehontarve 75 kW*
- T2 Pienteollisuus, sähkön käyttö 600 000 kWh/vuosi, tehontarve 200 kW*
- T3 Keskiuuri teollisuus, sähkön käyttö 2 000 000 kWh/vuosi, tehontarve 500 kW*
- T4 Keskiuuri teollisuus, sähkön käyttö 10 000 000 kWh/vuosi, tehontarve 2 500 kW*