

Matti Oja

AURINKOSÄHKÖN KÄYTÄNNÖN TIETOPAKETTI

Tietoa asiakkaalle verkkoon kytketystä aurinkosähköjärjestelmästä

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus
Toukokuu 2019**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Toukokuu 2019	Tekijä/tekijät Matti Oja
Koulutusohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi AURINKOSÄHKÖN KÄYTÄNNÖN TIETOPAKETTI		
Työn ohjaaja Aki Suokko	Sivumäärä 74 + 59	
Työelämäohjaaja Tomi Vähäkangas		
<p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Selkämaan Suunnittelu Oy. Toimeksiantajayritys on erikoistunut sähkösuunnittelupalveluihin. Yritys suunnittelee myös aurinkosähköjärjestelmiä, joissa suunnittelun pääpaino on verkkoon kytketyissä aurinkosähköjärjestelmissä.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisena opinnäytetyönä, jonka tarkoituksena oli tuottaa tuotos eli produktio tietopakettina toimeksiantajayritykselle. Tietopaketin avulla yritys pystyy antamaan yleistä ensikäden tietoa aurinkosähköstä ja verkkoon kytketyistä aurinkosähköjärjestelmistä asiakkaille ennen järjestelmän hankintaa. Lisäksi opinnäytetyön tarkoituksena oli lisätä omaa tietämystä aurinkosähköstä ja sen eri osa-alueista.</p> <p>Työn teoriaosuudessa keskitytään yleisesti aurinkosähkön teoriaan, sivutaan verkkoon kytkemättömiä aurinkosähköjärjestelmiä painottaen verkkoon kytkettyjä aurinkosähköjärjestelmiä sekä aurinkosähkön tilanne katsausta yleisesti Suomessa. Toiminnallisessa osuudessa käsitellään tietopaketin rakentumisen vaiheita suunnittelun ja toteutuksen kautta.</p> <p>Opinnäytetyön tuotoksena valmistettiin laaja tietopaketti toimeksiantajayritykselle, jossa käsiteltiin verkkoon kytkettyjä aurinkosähköjärjestelmiä, mitoitusta, sähköntuottoa, kannattavuutta, käyttöikä ja huoltoa. Työn teoriaosuudessa käsiteltyjä asioita ja lähteitä hyödynnettiin tietopaketin rakentamisessa.</p>		

Asiasanat

Aurinkoenergia, aurinkosähkö, aurinkosähköjärjestelmä, kannattavuus, mitoitus, tietopaketti

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date May 2019	Author Matti Oja
Degree programme Electrical and automation engineering		
Name of thesis PRACTICAL INFORMATION PACKAGE FOR SOLAR POWER		
Instructor Aki Suokko	Pages 74 + 59	
Supervisor Tomi Vähäkangas		
<p>The client of this thesis was Selkämaan Suunnittelu Oy. The Company is specialized in producing electrical engineering services. The Company also plans solar power systems which primary stress is into on-grid solar power systems.</p> <p>The thesis was carried out as a functional thesis, whose purpose was to produce throughput as information pack for company clients. With the information pack the company can give general first-hand information about photovoltaic and on-grid solar power systems for their customers before purchasing the system. In addition the objective of this thesis was to increase own general knowledge about photovoltaic and different parts of it.</p> <p>The Theoretical part focuses on general knowledge of photovoltaic, and discusses briefly off-grid solar power systems with the main emphasis on on-grid solar power systems. In addition, the theoretical part includes a review of the solar power situation in Finland. The functional part discusses the steps of building an information package through design and implementation.</p> <p>As of result of the thesis a wide information package was completed for the client which is dealt with on-grid solar power systems, dimensioning, power generation, viability, lifetime and services. Things and sources from theoretical part was used to exploit the information package.</p>		

Key words

Dimensioning, information package, profitability, photovoltaic, photovoltaic system, solar power

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Albedo	Kappaleen kyky heijastaa säteilyä
Amorfinen pii	Piin ja vedyn seos, jossa epämääräinen atomien järjestys
Ampeeri	Virran yksikkö (A)
FLA-akku	Vapaasti hengittävä lyijyakku, Flooded Lead Acid
IRR	Investoinnin sisäinen korkokanta, Internal Rate Of Return
Oikosulkuvirta	Sähkövirran arvo, kun paneelin johtimet oikosuljetaan (I_{sc})
Kilovolttiampeeri	Näennäistehon yksikkö (kVA)
Kilowattipiikki	Paneeleista saatavan huipputehon yksikkö (kWp)
LCOE	Kannattavuuden mittari, tasoitettu tuotantokustannus
Maksimitehopiste	Paneelin virran ja jännitteen arvot, joilla saavutetaan suurin ulostuloteho, MPP, Maximum Power Point
NOCT	Aurinkopaneelin ominaisuuksia mittaava normaalikäyttötesti, Normal Operating Cell Temperature
NPV	Investoinnin nettonykyarvo, Net Present Value
SLA-akku	Suljettu lyijyakku, Sealed Lead Acid
STC	Aurinkopaneelin ominaisuuksia mittaava standarditesti, Standard Testing Conditions
Tyhjäkäyntijännite	Paneelin jännite, kun paneelia ei ole kytketty kuormaan (V_{oc})

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
1.1 Opinnäytetyön tavoite	2
1.2 Opinnäytetyön rakenne	2
1.3 Toimeksiantaja	2
2 AURINKO JA AURINKOENERGIA	4
2.1 Auringon toiminta ja siitä saatava säteily maanpinnalle	4
2.2 Auringon säteily Suomessa	7
3 AURINKOSÄHKÖN TILANNEKATSAUS SUOMESSA	9
3.1 Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti	9
3.2 Aurinkosähkön säädökset ja tuet	10
3.2.1 Veroetuudet	10
3.2.2 Sähkön jakelu kiinteistön rajojen sisäpuolella	11
3.2.3 Kuntien ja kaupunkien lupakäytännöt	11
3.2.4 Aurinkosähköjärjestelmät kiinteistöverotuksessa	12
3.2.5 Aurinkosähkön tuloverotus kotitalouksissa	13
3.2.6 Aurinkosähkön tuet	13
3.3 Sähkön myynti verkkoon	14
4 AURINKOKENNOISTA PANEELIKSI	17
4.1 Aurinkokennon rakenne ja toiminta	17
4.2 Aurinkopaneelin tekniset ominaisuudet	19
4.2.1 Aurinkopaneelin ominaisuustestit, STC ja NOCT	19
4.2.2 Paneelin nimellisteho W_p	20
4.2.3 Virtajännitekäyrä kennossa	20
4.2.4 Maksimitehopiste	22
4.2.5 Paneelin lämpötila	23
4.3 Hyötysuhteet	24
4.3.1 Kennojen ja paneelien hyötysuhde	24
4.3.2 Järjestelmän hyötysuhde	25
4.3.3 Paneelien tekninen käyttöikä	25
4.4 Aurinkokennotyypit	26
4.4.1 Yksikiteinen piikkenno	26
4.4.2 Monikiteinen piikkenno	27
4.4.3 Amorfinen piikkenno	28
4.4.4 Nanokiteinen kenno	29
5 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT	30
5.1 Sähköverkkoon kytkemätön järjestelmä	30
5.2 Sähköverkkoon kytketty järjestelmä	32
5.3 Aurinkosähköjärjestelmien komponentit	33
5.3.1 Aurinkopaneeli	34
5.3.2 Lataussäädin	36
5.3.3 Akku	38

5.3.4 Invertterit	39
6 AURINKOENERGIAN KERUUN TEHOSTAMINEN.....	44
6.1 Sijainti	44
6.2 Suuntaus	44
6.3 Kallistuskulma.....	45
6.4 Seurantalaitteet	47
7 ON-GRID AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN HANKINTAPROSESSI	49
7.1 Kiinteistön nykyinen sähkönkulutus.....	49
7.2 Kiinteistön sijainti ja säteilypotentiaali	50
7.3 Kiinteistön arvonnousu	50
7.4 Kannattavuus	51
7.5 Aurinkosähköinvestoinnin kannattavuuden arviointi.....	52
7.6 Hankintakustannukset ja hinnat	54
7.7 Mitoitus	57
8 TIETOPAKETIN RAKENTUMINEN JA KUVAUS	61
8.1 Tietopaketista toiminnalliseksi opinnäytetyöksi.....	61
8.1.1 Toiminnallinen opinnäytetyö	61
8.1.2 Tietopaketin tarve toimeksiantaja yrityksessä	62
8.2 Tietopaketin rakentumisen vaiheet	64
8.2.1 Tietopaketin suunnittelu.....	64
8.2.2 Tietopaketin toteutus.....	65
8.2.3 Työn asalähteet.....	65
8.2.4 Työn rajaus.....	66
8.2.5 Työn graafisuus	66
9 POHDINTA	68
LÄHTEET	7
LIITTEET	
LIITE 1. Tietopaketti verkkoon kytketystä aurinkosähköjärjestelmästä asiakkaalle	76
KUVIOT	
KUVIO 1. Pientuotantomuotojen kapasiteettien kasvunkehitys	10
KUVIO 2. Sähkön osto ja myyntihinnan rakenne ja hyödyt.....	14
KUVIO 3. Suomen tuntispot-hinnan vaihtelu vuorokauden aikana	15
KUVIO 4. Aurinkokennon virta-jännitekäyrä standardiolosuhteissa	21
KUVIO 5. Maksimitehopiste ja valonintensiteetin muutokset ominaiskäyrällä.....	23
KUVIO 6. Paneelin lämpötilan vaikutus ominaiskäyrään	24
KUVIO 7. Modifioidun siniaaltoinvertterin käyrämuoto	41
KUVIO 8. Aidon siniaaltoinvertterin käyrämuoto	41
KUVIO 9. Suuntauksen vaihtelun vaikutus kokonaistuottoon	45
KUVIO 10. Kallistuskulman määritelmä	45
KUVIO 11. Verkkoon kytketyn järjestelmän hankintakustannusten jakautuminen	55
KUVIO 12. Sähkönkulutuksen ja tuotannon profiili	58

KUVAT

KUVA 1. Selkämaan Suunnittelu Oy:n logo	2
KUVA 2. Säteilyn matka Auringosta maapallolle	5
KUVA 3. Auringon suorasäteily ja hajasäteily	6
KUVA 4. Aurinkokennon poikkileikkaus ja liitokset	18
KUVA 5. Yksikiteinen piikkenno.....	26
KUVA 6. Monikiteinen piikkenno.....	27
KUVA 7. Amorfinen piikkenno	28
KUVA 8. Väriaineherkistettykenno eli nanokiteinen kenno	29
KUVA 9. Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano.....	30
KUVA 10. Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano.....	32
KUVA 11. Tyypillinen Aurinkopaneeli	34
KUVA 12. Aurinkopaneelin tasot.....	35
KUVA 13. Lataussäädin.....	36
KUVA 14. AGM syväpurkausakku	39
KUVA 15. Verkkoon kytketyn järjestelmän vaihtosuuntaaja.....	40
KUVA 16. Toimeksiantajan tietopaketin raakaversioiden suunnittelu	67
KUVA 17. Tietopaketin kirjasintyyli	67
KUVA 18. Tietopaketin lopullinen ulkoasu	67

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Vuosituotannon vaihtelu optimi kalliskulmaan nähden	47
TAULUKKO 2. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasoja Suomessa vuonna 2016	56

1 JOHDANTO

Aurinkosähkön ja aurinkoenergian kasvu ja kiinnostus yleisesti uusiutuviin energiantuotanto muotoihin on kasvanut voimakkaasti viimeisen vuosikymmenen aikana. Kasvua ja kiinnostusta ovat lisänneet yleinen tiedottamisen kasvu uusiutuvista energioista, aurinkoenergia teknikoiden kehitys sekä poliittiset päätökset ilmastonmuutostavoitteista maailmanlaajuisesti. Aurinkoenergiateknikoiden kehitys on ollut voimakasta, joka on näkynyt komponenttien ja järjestelmien hintatasojen laskuna. Sen myötä esimerkiksi aurinkosähkön hyödyntämisestä on tullut kuluttajan näkökulmasta kiinnostavampaa ja kannattavampaa.

Suomen mittakaavassa tarkasteltuna aurinkoenergian hyödyntäminen ja aurinkosähkö ovat saaneet jalansijan ja kehitys on ollut nousujohteista. Vuoden 2016 jälkeen verkkoon kytkettyjen aurinkosähkijärjestelmien kapasiteetti on tuplaantunut vuosittain jolloin esim. vuodesta 2016 vuoteen 2017 kapasiteetti kasvoi 43MW yhteiskapasiteetin ollessa yli 80MW. Aurinkoenergian kehityksen jatkumiseksi Suomessa tarvitaan jo olemassa olevien kasvuun vaikuttavien tekijöiden lisäksi parannuksia muihin maihin nähden mittaustietojen käsittelyssä, tukimuodoista aurinkosähkön syöttötariffiin siirtymiseen sekä yleisesti laajempaan viestintään ja tiedottamiseen aurinkosähköstä ja järjestelmistä kuluttajan ja asiakkaiden näkökulmasta. Joidenkin tutkimuksien mukaan aurinkosähköstä ei ole tarpeeksi tietoa ja kuluttajien on vaikea hahmottaa aurinkosähkön toimintaa, hintatasoja ja kuluja.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on perinteisiä sähkösuunnittelupalveluja tarjoava yritys, joka suunnittelee myös aurinkosähkijärjestelmiä. Aurinkosähkijärjestelmistä suunnittelun pääpaino on keskittynyt verkkoon kytkettyihin aurinkosähkijärjestelmien suunnitteluun. Työn aiheeseen päädyttiin vuoden 2018 joulukuussa. Toimeksiantajayrityksessä oli huomattu puutteita yleisesti tiedottamisessa aurinkosähköön ja aurinkosähkijärjestelmiin liittyen asiakkaille asiakassuhteiden alussa, joten tietopaketin suunnittelu ja kokoaminen nähtiin ajankohtaisena.

1.1 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa käytännön tietopaketti aurinkosähköstä ja verkkoon kytketyistä aurinkosähköjärjestelmistä toimeksiantajan asiakkaille. Tietopaketin avulla asiakkaalle pystytään tarjoamaan perustavaa ja yleistä tietoa aurinkosähköstä ja verkkoon kytketyistä järjestelmistä, huomioiden kustannukset kokonaistaloudellisessa mielessä. Opinnäytetyössä tuotettiin tietopaketti eli produkti, joka on julkaistuna työn liitteissä.

1.2 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyö muodostuu teoriaosuudesta, toiminnallisesta osuudesta, yhteenvedosta, pohdinnasta sekä liiteosuudesta, jossa toiminnallisessa osuudessa tuotettu produktio on esillä liitteissä kokonaisuutena. Opinnäytetyön seuraavassa *luvussa 1.3* esitellään opinnäytetyön toimeksiantajayritys. Teoriaosuudessa esitellään aurinkosähkön ja aurinkosähköjärjestelmien teoriaa ja järjestelmän hankinnan hankintaprosessia. Aurinkosähköjärjestelmän tyyppien osalta pääpaino on verkkoon kytketyissä aurinkosähköjärjestelmissä, mutta työn teoriaosuudessa on käsitelty myös verkkoon kytkemättömiä aurinkosähköjärjestelmiä, jotta niiden väliset eroavaisuudet olisi helpommin hahmotettavissa ja ymmärrettävissä. Teoria toimii samalla toiminnallisen osuuden viitekehyksenä, jota on myös käytetty apuna tietopaketin rakentamisessa. Toiminnallinen osuus sisältää myös lukuja, joissa käsitellään tarkemmin tuotteen suunnittelua ja tuotoksia, sekä työn kehitystä toiminnalliseksi opinnäytetyöksi.

1.3 Toimeksiantaja

Selkämaan Suunnittelu Oy on sähköinsinööritoimisto, jonka toimenkuvaan kuuluu sähkösuunnittelupalveluiden tuottaminen. Yritys on perustettu 1982 ja sen toimipiste sijaitsee Haapajärvellä, Pohjois-Pohjanmaalla. Yritys toimii koko Suomen alueella ja sen tärkeimmät asiakkaat ovat kuntien ja valtionhallinnon rakennuttajat sekä teollisuus, liike sekä sähkö- ja rakennusurakoitsijat. Selkämaan Suunnittelu Oy kuuluu Suomen Tilaaavastuu Oy:n Luotettava Kumppani-ohjelmaan. (Selkämaan Suunnittelu 2018.)



KUVA1. Selkämaan Suunnittelu Oy:n logo (Selkämaan Suunnittelu Oy)

Yritys työllistää tällä hetkellä Haapajärvellä kuusi henkilöä, joista suunnittelijoilla on Sähkösuunnittelijat NSS:ryn, Senaatti-kiinteistöjen, Sähkötarkastusyhdistys SÄTY ry:n sekä Insinööriliiton edustajien lautakunnan todentamat sähkösuunnittelupätevyudet. Yrityksen toimintaa ohjaa laatujärjestelmä, jota on rakennettu Rakentamisen Laatu ry (RALA) sertifikaatin ohjeiden mukaisesti. (Selkämaan Suunnittelu 2018.)

2 AURINKO JA AURINKOENERGIA

Aurinko on ihmisen aikaskaalassa ehtymätön energiavarasto, joka tuottaa lämpöä, valoa ja energiaa. Siitä saatava energia on välttämätöntä toimintojen ja maapallolla elinolojen ylläpitämiseksi. Auringosta saatavat hyödyt ovat aina olleet ihmiskunnan tiedossa ja hyödynnettävissä, etenkin edellä mainittujen konkreettisten hyötyjen, lämmön eli passiivisen energian sekä näkyvän valon muodossa. Energiankäytön kasvu, tekniikan kehitys sekä suuri kiinnostus uusiutuviin energiamuotoihin on avannut uuden aseman auringolle yhtenä merkittävimpänä energianlähteenä sekä sähkön – ja lämmöntuotantomuotona.

2.1 Auringon toiminta ja siitä saatava säteily maanpinnalle

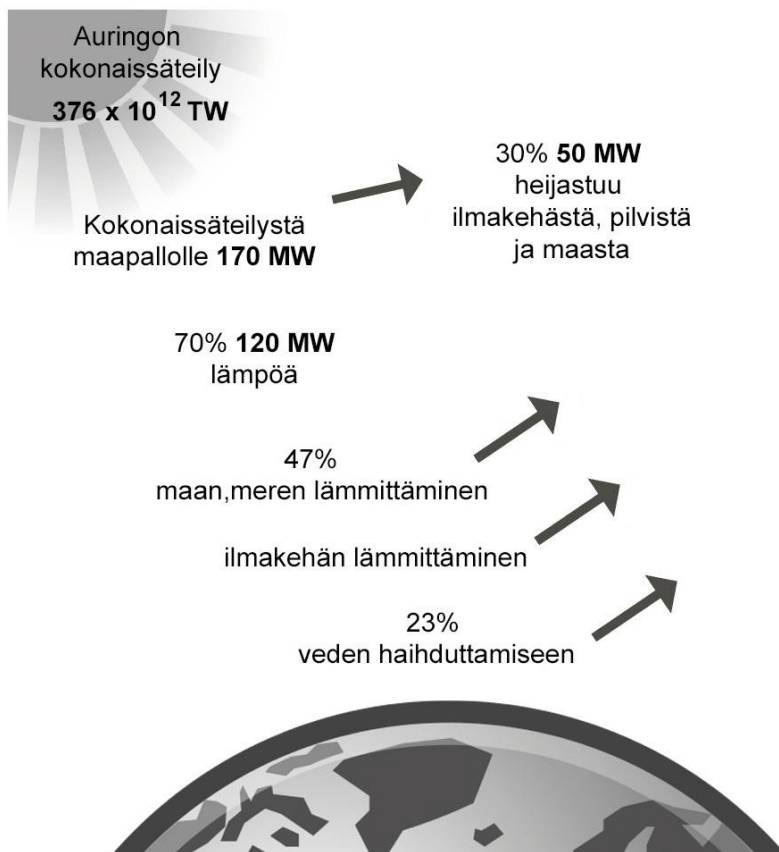
Auringosta saatava säteily eli aurinkoenergia on peräisin auringon ytimessä tapahtuvasta fuusioreaktiosta. Fuusioreaktiossa vapautuu valtava energiamäärä kahden vetyatomien yhdistyessä heliumatomiksi. Reaktiossa liikkuvat massat ovat esitettävissä yhden sekunnin aikajaksona. Jakson aikana 600 miljoonaa tonnia vetyä yhdistyy 596 miljoonaksi tonniksi heliumia vapauttaen samalla 4 miljoonaa tonnia energiaa. Fuusioreaktion eli lämpöydinreaktion vapauttama energiamäärä antaa auringolle $3,8 \times 10^{23}$ kilowatin kokonaistehon. Kokonaistehoa maapallolle säteilee $1,7 \times 10^{14}$ kilowattia. (Tahkokorpi ym. 2016, 11–12; Perälä 2017, 7.)

Maapallon pinnan tavoittaakseen auringon säteilyenergian tulee kulkeutua maapallon ilmakehän lävitse. Ilmakehän ulkorajalla auringon säteilyn intensiteetti on keskimäärin 1353 wattia/m², jota kutsutaan myös aurinkovakioksi. Auringon säteilyenergian määrästä käytetään myös usein termiä insolaatio, jolla tarkoitetaan auringosta maanpinnalle saapuvaa säteilyn määrää tietyssä ajassa. Säteilyn kulkeutuessa ilmakehästä maanpinnalle osa säteilystä heijastuu takaisin avaruuteen ilmakehän ja pilvien vaikutuksesta osa säteilystä imeytyy eli absorboituu ilmassaan. Absorboitumiseen vaikuttavat ilman kaasumolekyylien, vesihöyryjen ja epäpuhtauksien määrä ilmakehässä sekä auringon asema suhteessa maahan. (Tahkokorpi ym. 2016, 13 – 27; Perälä 2017, 16 - 17.)

Säteilyn heijastumisen ja imeytymisen ohella auringonsäteilyn kulkema kokonaismatkan pituus on merkittävä tekijä tarkasteltaessa säteilytehoa maanpinnalla. Auringon säteilyteho heikkenee sitä enemmän mitä pitemmän matkan säteily joutuu kulkemaan ilmakehän lävitse.

Säteilyn kulkemaan matkaan vaikuttavia tekijöitä ovat tarkasteltavan säteilypisteen etäisyys päiväntasaajasta, maankiertorata sekä maan kiertokulma akseliinsa nähden. (Tahkokorpi ym. 2016, 14; Perälä 2017, 17.)

Ilmakehän vaikutuksien jälkeen maanpintaan saadaan keskimäärin 1000 W/m^2 säteilytehoa. Huomioimatta ilmakehän vaikutuksia säteilyn heikentymiseen on se verraten runsasta maanpintaa osuessaan. Maahan saapuu säteilyä joka hetki teholla, joka kattaa 10000 kertaisesti ihmiskunnan kuluttaman tehon. (Perälä 2017, 17). Auringonsäteilyn kulkema matka on esitetty yhteen alla olevassa kuvassa KUVA 2.



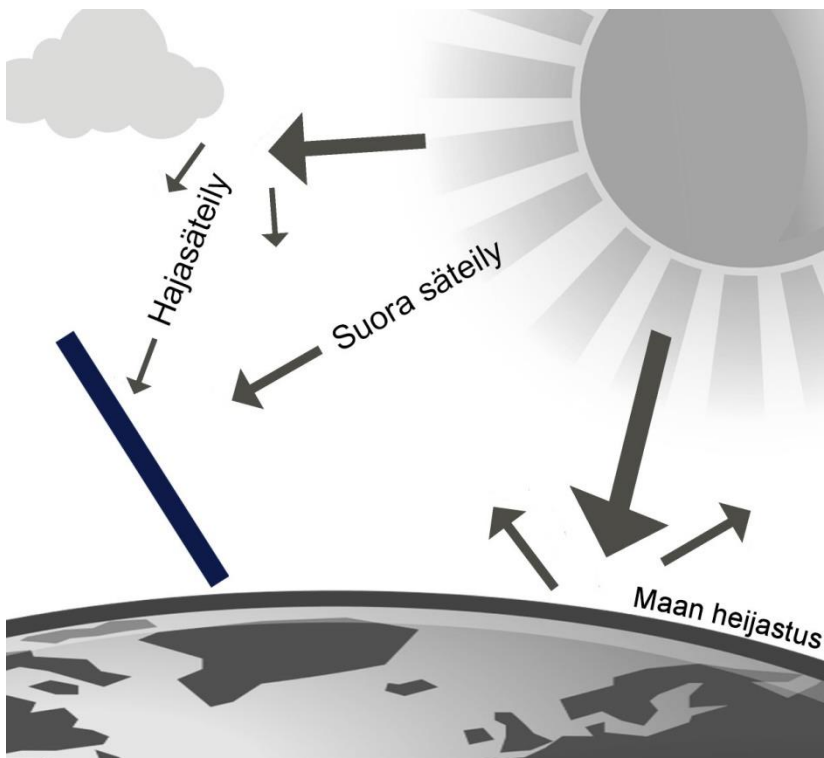
KUVA 2. Säteilyn matka Auringosta maapallolle (mukaihen Tahkokorpi ym. 2016, 12)

Auringon säteily koostuu erilaisista aallonpituuksista eli yleisnimitään säteistä, joita ovat näkyvä, infrapuna sekä ultraviolettiaallonpituudet. Ilmakehä vaikuttaa maan pinnan tavoittavaan säteilyyn eri tavoin osittain heikentäen ja suodattaen sitä. Maanpinnan tavoittavat säteilyt ovat jaettavissa kolmeen eri säteilytyyppiin, jotka ovat seuraavanlaiset:

- Suora auringonsäteily
- Haja eli diffuusinen säteily
- Ilmakehän vastasäteily

.(Tahkokorpi ym. 2016, 14-28.)

Suoralla auringonsäteilyllä tarkoitetaan ilmakehän läpi suoraa tullutta auringonsäteilyä. Hajasäteily eli toiselta nimeltään diffuusinen säteily koostuu ilmakehän molekyylien ja pilvien heijastamasta säteilystä sekä maasta heijastuneesta hajasäteilystä. Ilmakehän vastasäteilyä aiheuttavat kasvihuonekaasut, kuten ilmakehän vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni. Kaasujen vaikutuksesta säteilystä muodostuva lämpö säteilee takaisin maanpinnalle, mikä saa aikaan fysikaalis-kemiallisen kasvihuoneilmion. Edellä mainittujen säteilymuotojen summasta saadaan maanpinnalle vaikuttava kokonaissäteilyenergia, josta on todellisen maanpinnalle vaikuttavan säteilytehon saamiseksi vähennetty avaruuteen heijastuva pitkäaaltoinen säteily. (Tahkokorpi ym. 2016, 14-28.)



KUVA 3. Auringon suorasäteily ja hajasäteily (mukailen Tahkokorpi ym. 2016, 13)

Maanpinnalle saatava kokonaissäteily sekä säteilyn eri muodot ovat tärkeä osa kokonaiskuvaa kerätessä säteilyä aurinkokeräinlaitteeseen sähkön tai lämmöntuottamiseksi eri kohteis-

sa. Tulevissa luvuissa 5 ja 6 käsitellään tarkemmin säteilyn hyödyntämistä energian keruun tehostamisen tavoilla sekä eri kohteiden säteilypotentiaalia.

2.2 Auringon säteily Suomessa

Suomeen saatava auringon säteily omaa merkittävän potentiaalin, vaikka yleinen harhakäsitys on vastakkainen. Auringosta saadaan Suomessa olosuhteissa hyvin energiaa, jotta sitä voidaan hyödyntää lämmön ja sähkön tuotannossa. Säteilyn hyödyntämisen kannattavuutta aurinkosähköjärjestelmien osalta tukee niiden oikeanlainen sijoitus ja mitoitus. Energian keruun tehostaminen oikeanlaisella mitoituksella ja sijoituksella on Suomessa erittäin tärkeää auringon säteilyn jakautuessa epätasaisesti vuositasolla auringon paistepisteen aiheuttamien laajojen varjostuksien sekä maantieteellisen etelä-pohjoissuunnan pituuden takia. (Motiva 2016g.)

Auringon kokonaissäteilyenergiaa saadaan Suomeen hyvin kokonaisuutena vuositasolla. Eteläisessä Suomessa neliömetrille saadaan vaakatasossa vuoden aikana n. 1kWh/m² auringonsäteilyä, joka vastaa samaa suurusluokkaa kuin Pohjois-Saksassa. Suomessa säteilyenergian pääpaino sijoittuu kesäkuukausille verraten eteläiseen Eurooppaan tuotannon määrän vaihdellessa laajalti vuodenaikojen mukaan. (Motiva 2018b.)

Auringon säteilystä merkittävä osuus Suomessa koostuu hajasäteilystä. Hajasäteilyn osuus yleisellä tasolla kattaa noin puolet saatavilla olevasta kokonaissäteilystä. Energiantuotannon kannalta säteilyn hajanaisuus tai heijastuneisuus ei kuitenkaan vaikuta olennaisesti energiantuottoon esim. aurinkopaneeleissa. Heijastuneella säteilyllä on etenkin kevä-talvella puolestaan positiivinen vaikutus energiantuotantoon. Heijastunutta säteilyä saadaan myös lumen vaikutuksesta keväisin, sillä lumi heijastaa voimakkaasti auringonsäteilyä sen hyvän heijastuskyvyn eli albedon myötä, jolloin aurinkopaneelit saavat paremmin säteilyä. (Motiva 2018b; Ilmatieteenlaitos 2017.)

Hajasäteily vaikuttaa olennaisesti järjestelmä komponenttien valintaan siten, että aurinkoon keskittäviin ja seuraaviin järjestelmiin ei ole taloudellisesti kannattava sijoittaa Suomessa. Edellä mainittujen sijaan suurin hyöty saadaan tuotannon kannalta oikeanlaisella aurinkoenergiajärjestelmien sijoittamisella, paneelien kallistuskulmilla ja suuntauksella, jotka vaikuttavat oleellisesti energian keruun tehostamiseen Suomen olosuhteissa. (Motiva 2018b;

Tahkokorpi ym. 2016, 17.) Edellä mainittuja käsitteitä tarkastellaan tarkemmin luvussa.6 Aurinkoenergian keruun tehostaminen.

3 AURINKOSÄHKÖN TILANNEKATSAUS SUOMESSA

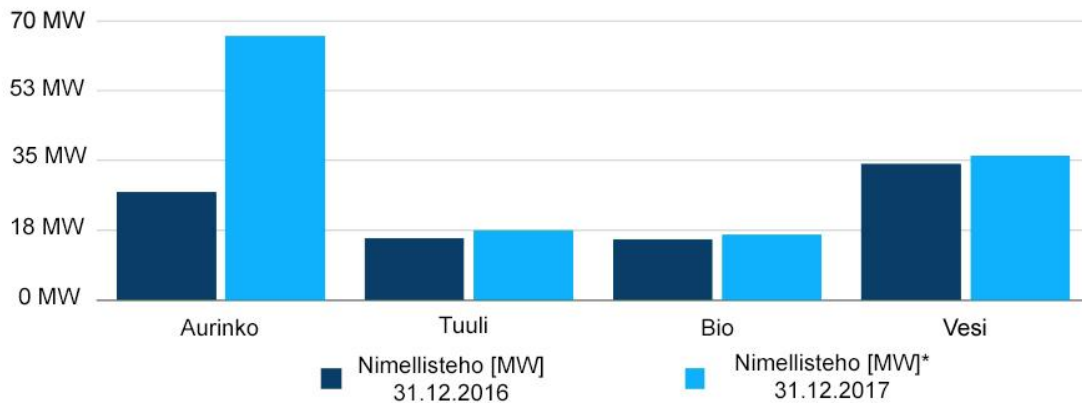
Luvussa käsitellään aurinkosähkön tilaa Suomessa aurinkosähkön tuotannon, tukien ja verojen ja niiden säädösten osalta.

3.1 Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti

Sähköverkkoon liitettyjen aurinkosähkölaitteiden aurinkosähkön nimellisteho oli Suomessa vuonna 2017 noin 70 MW eli 70 megawattia. Verkkoon kytkemättömien aurinkosähkölaitteiden osalta ei ole saatavilla ajantasaista tutkimus- tai tilastotietoja, mutta Käpylehdön (2016, 42) mukaan verkkoon kytkemättömiä järjestelmiä on vapaa-ajan asunnoissa arviolta noin 80000 kappaletta. (Energialalous 2018; Käpylehto 2016, 42.)

Suomessa aurinkosähkön tuotanto on suurimmilta osin pientuotantoa verkkoon kytketyissä aurinkosähkölaitteissa. Vuonna 2017 verkkoon liitetystä aurinkosähkölaitteista ja niiden kokonaistuotantokapasiteetista pientuotantoa oli 66 MW ja 4 MW mikroproduktiota. Kokonaisuudessa vuonna 2017 alle 1MW pientuotantoa Suomessa oli 178 MW ja yli 1MW laitteita vain yksi. Sähkön pientuotannoksi Suomessa luetaan lain määritelmän mukaan kaikki näennäisteholtaan enintään 2 MVA eli kahden megavoltin tuotantolaitteistot ja mikroproduktioksi tehorajana pidetään yleisesti 100 kVA. Sähkönpienproduktio muotona Suomessa ovat yleisesti aurinko, tuuli, pienvesivoima sekä biokaasu. (Energia 2019; Energialalous 2018.)

Aurinkosähkön pientuotanto on ollut voimakkaassa kasvussa viimeisinä vuosina. Vuodesta 2016 pientuotannon kapasiteetti on noussut 40 megawattilla. Vastaavalla kasvutahdilla vuoden 2018 asennetun tehon odotetaan nousevan yli 100 megawatin. (Lähienergia 2018.) Alle esitettyssä kuviossa (KUVIO 1) nähdään aurinkosähkön pientuotannon voimakas kasvu suhteessa muihin sähkönpienproduktio muotoihin.



KUVIO 1. Pientuotantomuotojen kapasiteettien kasvunkehitys 2016–2017 (mukaillen Lähienergia 2018)

Kuviossa on esitetty vain pientuotantomuotojen kehitys, mutta lisäämällä edellä esitettyyn kapasiteetin kasvunkehitykseen yli 1 MW laitokset, saadaan kokonaiskapasiteetiksi vuoden 2017 lopussa yhteensä noin 70 MW. Suomessa asennettua sähköntuotantokapasiteettia vuonna 2017 oli yhteensä yli 17000 MW eli 17 GW, joista aurinkosähkön rinnalla 2 GW oli tuulivoimaa ja 3 GW vesivoimaa. (Energiatalous 2018.)

3.2 Aurinkosähkön säädökset ja tuet

Aurinkosähkön tuottamiseen kiinteistön omaan käyttöön liittyy useita säädöksiä ja tukia, joista on hyvä ottaa selvää ennen kuin järjestelmää lähdetään hankkimaan.

3.2.1 Veroetuudet

Kiinteistön omaan käyttöön tuotettu sähkö on laissa rajattu energiaverottomaksi ja siirtomaksuttomaksi. Rajaukseen vaikuttavia tekijöitä ovat järjestelmän nimellisteho ja vuosituotanto. Kiinteistökohtaiset järjestelmät, joiden nimellisteho ei ylitä 100 kVA:n tehoa tai 800 MWh:n vuosituotantoa, ovat sähköverotuksen ja huoltovarmuusmaksun ulkopuolella. Järjestelmän nimellistehon ylittäessä 100 kVA tulee laitteiston omistajan rekisteröityä verovelvolliseksi vuotuisen tuotantorajan valvomiseksi. Lisäksi laitteiston omistajan tulee vuosittain tehdä veroilmoitus tuottamastaan sähköstä Tullille. (Auvinen, Lovio, Jalas, Juntunen, Liuksiala, Nissilä & Müller 2016, 21–22.)

Nimellistehon ja vuosituotannon rajat ovat tällä hetkellä Suomessa pientalojen, teollisuuden ja isojen kiinteistöjen näkökulmasta järkevät. Pientalokohteissa aurinkosähköjärjestelmien nimellistehot ovat varsin alhaiset verraten 100 kVA:n rajaan, jolloin ne eivät ole edes ilmoitusvelvollisia. Teollisuuden ja isojen kiinteistöjen osalta 800 MWh vuosituotantoraja mahdollistaa jopa 900 kWp:n tehoisen aurinkosähköjärjestelmän rakentamisen kulutuspisteeseen ilman sähkövero ja huoltovarmuusmaksua. (Auvinen ym. 2016, 21–22.)

3.2.2 Sähkön jakelu kiinteistön rajojen sisäpuolella

Aurinkosähköä käytetään lähtökohtaisesti itse tai myydään ylijäänyt sähkö ylijäämäsihtinä verkkoon. Omavaraisesti tuotettua sähköntuotantoa säätelee sähkömarkkinalaki, niin kuin kaikkia muitakin sähköntuottajia. Sähköverkon hallinta on luvanvaraista toimintaa ja sähkön jakelu kiinteistönrajan ulkopuolelle vaatii paikallisen jakeluverkkoyhtiön suostumuksen. (Auvinen ym. 2016, 22.)

Sähkömarkkinalaissa on kuitenkin poikkeuksena mainittu tilanne, jos sähkönjakelu tapahtuu kiinteistöä vastaavan kiinteistöryhmän sisällä. Kiinteistö ryhmällä tarkoitetaan kiinteistöjä, jotka rajautuvat lähelle toisiaan tai jotka ovat saman tahon hallinnassa omistuksen tai sopimushallinnollisen järjestelyn eli vuokrauksen kautta. Yksinkertaistettuna sähköä voidaan jakaa oman pihapiirin tai tontilla oleviin kiinteistöryhmiin, ilman että jakelu on luvanvaraista. Kiinteistöjen läpi tai rajoilla kulkevat tiet eli niin sanotut ei-yleiset tiet eivät myöskään ole esteenä kiinteistöryhmän sisäiselle sähkönsiirrolle. (Auvinen ym. 2016, 22.)

3.2.3 Kuntien ja kaupunkien lupakäytännöt

Aurinkosähköjärjestelmien asentamiseen on myös määritelty kunnasta tai kaupungista riippuen erilaisia lupakäytäntöjä kuntakohtaisessa rakennuslupasäädännössä. Paikasta riippuen ennen asentamista vaaditaan toimenpidelupa tai tapauskohtainen käsittely, mutta on myös kuntia ja kaupunkeja, joissa aurinkosähköjärjestelmien asennus on vapautettu toimenpidelupien osalta. Alueellisista eroista johtuen kuluttajat on asetettu eriarvoiseen asemaan, sillä lupa-asioista aiheutuvat kulut voivat kasvaa jopa yli tuhanteen euroon, kun huomioidaan toimenpideluvan hakemisesta aiheutuneet piirustuksien palkkakulut, menetetty tuotantoaika sekä toimenpidelupamaksu. Lisäksi alueelliset erot aiheuttavat alan yleisen ennustettavuus-

den heikentymistä sekä lisäävät järjestelmätoimittajien riskiä, sillä monet järjestelmätoimittajat sisällyttävät lupa-asioiden hoitamisen kokonaistoimituksiinsa. (Auvinen ym. 2016, 24)

3.2.4 Aurinkosähköjärjestelmät kiinteistöverotuksessa

Aurinkosähköjärjestelmän vaikutus kiinteistöveroon on hyvin pieni ja se on riippuvainen järjestelmän asennustavasta sekä asennuskohteesta. Aurinkosähköjärjestelmät ovat kiinteistöverotuksen kohteena joko osana rakennusta tai rakennelmaa tai itsenäisinä rakennelmina. Kiinteistöveroon liittyy myös jälleenhankinta-arvo, ja arvon laskemiseksi Valtiovarainministeriö antaa vuosittain ohjeistuksen jälleenhankinta-arvon laskemisen perusteista. Jälleenhankinta-arvo on siis Valtiovarainministeriön asetuksissa säädetty kaavamainen arvio tietyn rakennus- tai rakennelmatyyppin keskimääräisistä rakennuskustannuksista. (Auvinen ym. 2016, 25–26.)

Rakennuksen eri ominaisuudet vaikuttavat jälleenhankinta-arvoon nostavasti tai laskevasti. Aurinkosähköjärjestelmää ei kuitenkaan ole laskettu vaikuttavaksi ominaisuudeksi, jos se on asennettu rakennuksen seinälle tai katolle. Aurinkosähköjärjestelmä ei siis vaikuta laskennalliseen jälleenhankinta-arvoon asuin-kiinteistöistä eikä täten myöskään perittävään kiinteistöveron määrään, jos se on asennettu kiinteistön seinälle tai katolle. (Auvinen ym. 2016, 25–26.)

Kiinteästi omaan tukirakenteeseen maan tai veden pinnalle asennettu aurinkosähköjärjestelmä lasketaan erilliseksi rakennukseksi, joka on kiinteistöveron piirin kuuluva mutta vain osittain. Verohallinnon käsityksen mukaan aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat aurinkopaneeli ja sen toimintaan liittyvät laitteet ja mahdolliset aurinkopaneelin suuntaa muuttavat moottorit ja ohjauslaitteet lasketaan kiinteistöveron ulkopuolelle. Kiinteistöveron piirin kuuluvat tällöin pelkästään järjestelmän tukirakenteet ja perustukset. Vapaa-ajan asunnoissa sähkövarustus on laskettu myös korottavaksi tekijäksi jälleenhankinta-arvossa, mutta korotus ei ole sähkön tuotantotavasta riippuvainen. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän asentaminen vapaa-ajan asuntoon on siis jälleenhankinta-arvoltaan sama, kuin esim. sähkön tuottamiseksi asennettu aggregaatti tai jokin muu sähköntuotantolaitteisto. (Auvinen ym. 2016, 25–26.)

3.2.5 Aurinkosähkön tuloverotus kotitalouksissa

Aurinkosähköntuotannon tuloverotuksen ohjeet määrittelevät pääomatulon alaisen sähkön-
tuotannon rajat kotitalouksissa. Aurinkopaneeleilla kotitaloudet voivat tuottaa sähköä omaan
käyttöön ilman verovelvollisuutta. Tilanteessa, jossa sähkö syötetään takaisin verkkoon eli
sähkö menee myyntiin ylijäämäsihtinä, myydyn sähkön arvosta vähennetään tulon hankin-
nasta aiheutuvat kulut ja muut aurinkosähköjärjestelmän menot, kuten järjestelmän hankin-
nasta johtuvat kustannukset verovuoden ajalta. Suomen nykyisessä tuotantotukijärjestel-
mässä kulut ovat aina lähtökohtaisesti suuremmat kuin myydyn sähkön arvo, joten verotetta-
vaa tuloa ei tuloveron muodossa yleensä ole. (Auvinen ym. 2016, 27.)

3.2.6 Aurinkosähkön tuet

Uusiutuvien energian investointeihin on saatavissa valtioneuvoston energiatukea. Suomessa
tukea myöntää työ- ja elinkeinoministeriö, TEM. Tukea myönnetään yrityksille, julkisille toimi-
joille sekä maataloille. Energiatukea eli TEM-tukea myönnetään investointi- tai selvityshank-
keisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä, energiansäästöä tai energi-
an tuotannon tai käytön tehostamista ja jos nykyistä energiatukijärjestelmää ollaan muuttamassa
vähähiiliseksi. Aurinkosähköinvestoinneille myönnetään vuonna 2019 investointihankkeiden
kokonaiskustannuksista 25 % tukea huhtikuun loppuun asti, jonka jälkeen mahdollisen tuen
määrä muuttuu 20 prosenttiin. (Auvinen 2016, 27; Työ -ja elinkeinoministeriö 2019.)

Kotitalouksien ei ole mahdollista saada samankaltaista energiatukea kuin yritykset, julkiset
toimijat ja maatilat, mutta kotitaloudet voivat hakea kotitalousvähennystä verohallinnolta. Koti-
talousvähennyksiä lasketaan aurinkosähköinvestointien työkuiluista, joihin lasketaan esimer-
kiksi asennuksen työvoimakustannukset. Vähennyksiä ei voi saada oman työnosuudesta,
eikä matkakuluista tai tarvikkeista. Keskimääräisellä kotitalousvähennyksellä joka on Vero-
hallinnon (2019) mukaan 2400 € vuodessa henkilöä kohden, voidaan kattaa esim. 14-18 %
koko aurinkosähköinvestoinnin kokonaiskustannuksista. (Auvinen 2016, 28; Verohallinto
2019.)

3.3 Sähkön myynti verkkoon

Suomessa aurinkosähköjärjestelmän tuottamaa ylijäämäsähköä voidaan myydä, jos aurinkosähköjärjestelmä on kytketty sähköverkkoon ja sähkön tuottaja on tehnyt sopimuksen sähkön myymiseksi verkkoon sähkön myyjän eli verkkoyhtiön kanssa. Yleisesti ottaen ylijäämäsähkön myynti verkkoon ei ole kannattavaa, sillä verkkoyhtiö maksaa vain sähköenergian hinnan mukaisesti ja kun taas korvatessa ostettavaa sähköä omaan kulutukseen nähden vältetään maksamasta siirto-maksuja ja veroja, joista sähkön korkea ostohinta koostuu. (Motiva 2016d; Auvinen ym. 2016, 85.)

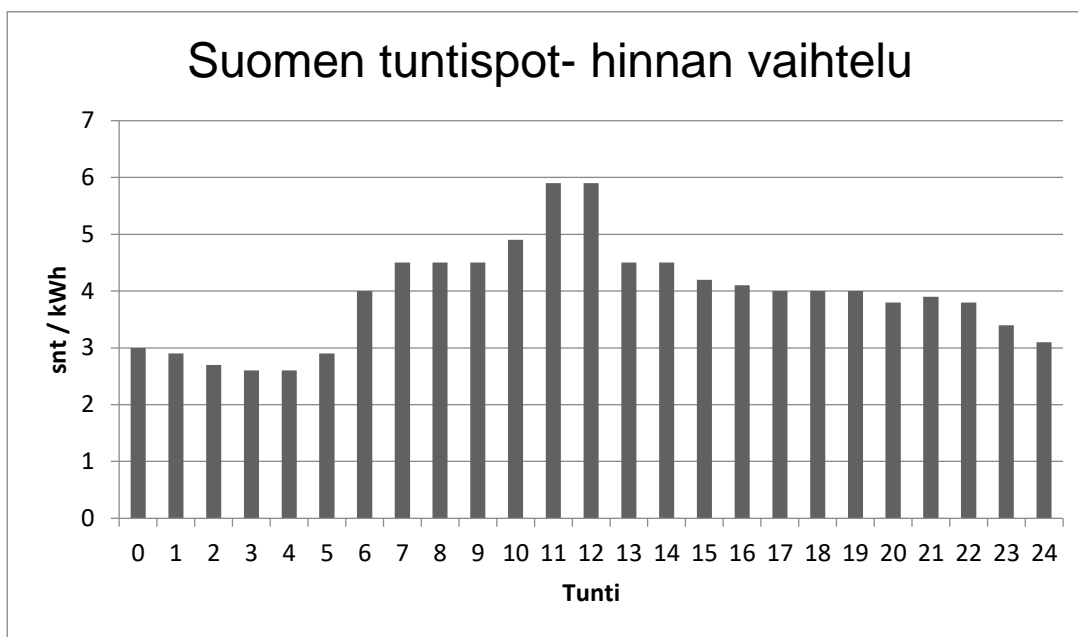
Ylijäämäsähköä verkkoon myytäessä verkkoyhtiöt maksavat erilaisia hintoja tuotetusta sähköstä ja usein sähkön myyjät hinnoittelevat ostosähkön ajankohtaisen markkinahinnan perusteella. Aurinkosähkön tuottajan kannattaa olla itse yhteyksissä sähköyhtiöiden ja selvittää ostosähkön hinta sekä mahdolliset ehdot järjestelmän hankinta hetkellä. Hinnoitteluun on siis erilaisia käytäntöjä verkkoyhtiöistä riippuen. Lisäksi on syytä huomioida sähkön hinnan muutokset kesäisin ja talvisin, talvella sähkön hinnan ollessa korkeimmillaan ja kesäisin alhaisimmillaan. (Motiva 2016d; Sähkö 2019.)

Verkkoyhtiöiden ostaessa tuotettua aurinkosähköä tuottajilta hinnoittelussa käytetään yleisesti ottaen sähköpörssissä eli (Nord Pool Spotissa) tunnettua muuttuvaa hintaa eli tuntispot-hintaa. Tuntispot-hinnalla sähkön tuottaja saa suunnilleen saman korvauksen kuin ostetun sähkön hinta kyseisellä hetkellä. Korvauksessa ei kuitenkaan ole huomioitu sähkön ostosta syntyviä muuttujia eli sähkönsiirron – ja verojen osuutta. Hintatasoltaan tuntispot-hinta vaihtelee 2-4 senttiä kilowattituntia kohden molemman puolin nousten ja laskien. (Motiva 2016d.) Ostetun ja myydyn sähkön hinnan suhde on esitetty alla olevassa kuviossa KUVIO 2.



KUVIO 2. Sähkön osto – ja myyntihinnan rakenne ja hyödyt (mukaillen Motiva 2016d)

Pientuottajan myyntitulot eivät sisällä verojen ja siirron osuutta, joka voi tilanteesta riippuen muodostaa jopa kaksi kolmasosaa kokonaishinnasta. Kokonaishinnan muodostumista on havainnollistettu yllä olevassa kuvassa. Myyntikuluihin kuuluvat verot ja mahdolliset myyntimarginaalit sähkönmyyjästä riippuen sekä jakeluverkkoyhtiöiden palvelumaksut. Sähkön sen hetkiseen hintaan ja hinnan muodostumiseen vaikuttavat monet tekijät, ja etenkin on huomioitava, että sähkön vuorokausikohtainen hinta voi vaihdella huomattavasti, ks. (KUVIO 3). Korkeimmillaan tuntispot-hinta on päivällä ja etenkin aamuisin ja alkuillan aikaan. Tuolloin sähkön tuottajan kannattaa periaatteessa keskittyä korvaamaan päiväajan kulutustaan omalla tuotannolla mahdollisimman paljon. Tuntispot-hintaa tulisi tällöin hyödyntää muuna halvempana aikana. (Motiva 2016d.)



KUVIO 3. Suomen tuntispot-hinnan vaihtelu vuorokauden aikana heinäkuussa 2013 (mukaillen Motiva 2016d)

Toisena sähkönmyyntitapana on yleisesti sähkön myynti pankkisopimuksella. Pankkisopimuksessa sähkönsopimukseen valitaan joko vaihtuva tai kiinteä sähkönhinta. Pankkisopimuksessa sähköenergia liikkuu syklinä edestakaisin kuluttajan ja verkkoyhtiön välillä kiinteällä hinnalla. Syklissä tuotettu ylituotanto kerääntyy niin sanotusti pankkiin, josta kuluttaja voi sitä tulevana kuukausina hyödyntää. (Käpylehto 2016, 96- 97.)

Sähkönmyyjiä eli potentiaalisia piensähköntuottajan ostajia on markkinoilla paljon. Pientuotettua sähköä ostavat verkkoyhtiöt voi tarkastaa Energiaviraston ylläpitämästä sähköhintapalvelusta. Palvelusta saa myös tietoa verkkoyhtiöiden käyttämistä myyntitavoista, kuten tuntispot-hinta ja pankkisopimukset. Yleisesti ottaen yhtiöt käyttävät tuntispot-hintaa ja joillakin yhtiöillä on käytössä myös lisänä perusmaksuja ja välityspalkkioita myytävään sähköön liittyen. Sähkönmyyjien perimät välityspalkkiot myydystä sähköstä ovat luokaltaan noin. 0,2 – 0,3 senttiä kilowattituntia kohden. Sähkönmyyjien ohella jakeluverkkoyhtiöt ovat oikeutettuja perimään verkkopalvelumaksuja sähköverkkoon syötetynsähkön osalta. Jakeluverkkoyhtiöiden perimät verkkopalvelumaksut voivat olla enintään 0,07 senttiä kilowattituntia kohden. (Energia 2019; Energiavirasto 2019; Motiva2016d.)

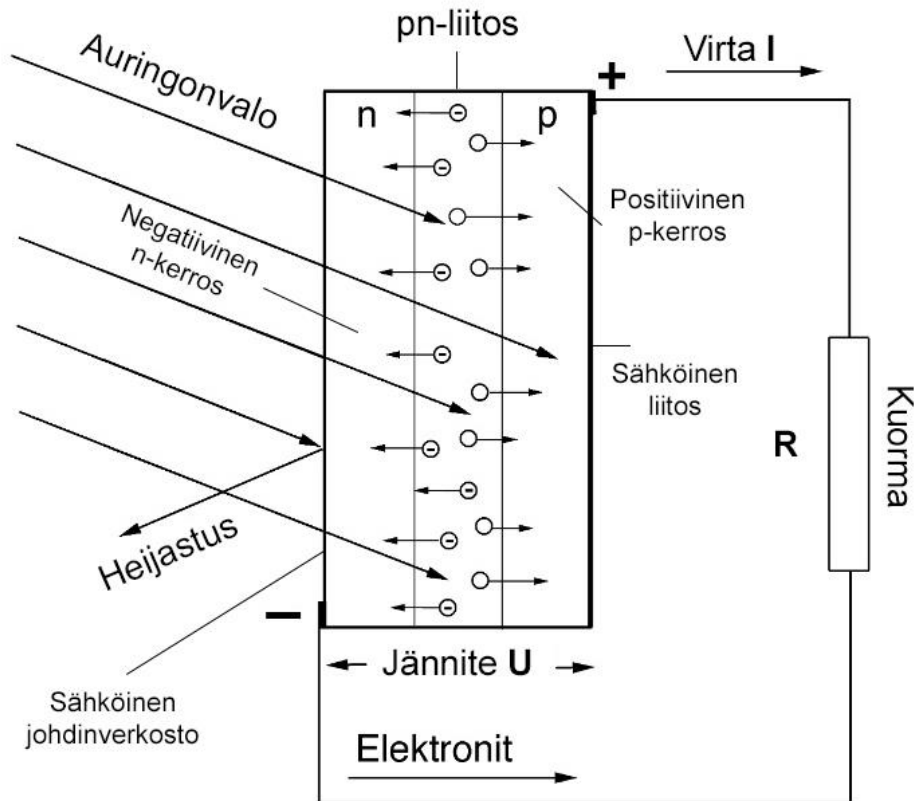
4 AURINKOKENNOISTA PANEELIKSI

Aurinkokennojen ja niistä koostuvien paneelien rakenne ja ominaisuudet ovat aurinkosähköjärjestelmän keskipiste. Aurinkokennojen ja paneelien toiminnasta ja teknisistä ominaisuuksista eri kennojen ja paneelien välillä on hyvä tietää, jotta ymmärtää paremmin niiden toimintaa käytännössä ja kokonaisuutena, kun niillä tuotetaan aurinkosähköä.

4.1 Aurinkokennon rakenne ja toiminta

Aurinkokennot ovat puolijohdetekniikalla valmistettuja aurinkopaneelin peruskomponentteja. Kennoista koostuvan paneelin sähköiset ominaisuudet ovat keskeinen kokonaisuus aurinkosähköjärjestelmässä, kun auringon tuottamaa säteilyenergiaa muunnetaan suoraan sähkövirraksi puolijohdeessa valosähköistä ilmiötä hyödyntämällä. Puolijohdeet ovat normaalissa tilassa eristäviä, mutta energiaa kohdatessa ne alkavat johtaa sähköä. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 121)

Aurinkokennojen raaka-aineena käytetään pääsääntöisesti puolijohdeista piitä (Si) sen monipuolisen saatavuuden ja hyvän hyötysuhteen vuoksi. Aurinkokenno koostuu kahdesta erityyppisestä seostetusta puolijohdekerroksesta: esim. boorilla seostetusta p-kerroksesta ja esim. arseenilla seostetusta n-kerroksesta, joita erottaa rajapinta. Puolijohdekerrokset ovat keskenään tasapainossa, vaikka niiden sisäänrakennetut ominaisuudet eroavat toisistaan. Kokonaisuutena kerrokset ja rajapinta muodostavat ns. suuripinta-alaisen puolijohdediodin, joka on esitelty alla olevassa kuvassa (KUVA 4). (Erat ym. 2008, 121.)



KUVA 4. Aurinkokennon poikkileikkaus ja liitokset (mukaillen Suntekno 2012)

Kennoon kohdistuva auringon valo ja siinä liikkuvista valohiukkasista (fotoneista) osa läpäisee ohuen n-pinta kerroksen (negatiivisen pintamateriaalin) saavuttaen pn-liitoksen. Pn-liitokseen saapuva fotonin luovuttaa energiansa eli (absorboituu) siellä vallitseviin atomeihin, irrottaen niistä elektroneja ja synnyttäen valosähköisen ilmiön. Fotonin energiamäärästä ja aallonpituudesta riippuen elektroniaukkopariensynnyttämisessä osa ylimääräisestä energiasta suodattuu kennoon läpi ja osa muuttuu lämmöksi. Absorboituvat fotonit synnyttävät puolijohdemateriaalien välillä elektroni-aukkopareja, joiden myötä kennoon rajapintaan syntyy sisäinen sähkökenttä. Sähkökenttä estää varausten kulkeutumisen n- ja p kerrosten välillä, jolloin kerrosten välille muodostuu jännite-ero. Elektronien ja aukkojen erottuessa kennoa voidaan käyttää tuottamaan virtaa ulkoiseen kuormaan, kuten aurinkosähköjärjestelmään. (Erat ym. 2008, 120–121; Suntekno 2012.)

Aurinkokennot ovat kooltaan erikokoisia, sillä usein ratkaisevaksi tekijäksi nousee valmiin aurinkopaneelin koko. Tyypilliset aurinkokennot ovat kooltaan pinta-alallisesti noin. 100x100mm tai jopa 156 x 156mm kokoisia ja paksuusluokaltaan noin. 0,1-0,4mm. Yhden kennon tuottama jännite on noin 0,5V. Kennojen sarjaan tai rinnan kytkennällä saadaan ha-

luttu virta ja jännite josta rakentuu kokonaisuutena toimiva aurinkopaneeli. (Erat ym. 2008, 121; Käpylehto 2016, 65; Perälä 2017, 44-46.)

4.2 Aurinkopaneelin tekniset ominaisuudet

Aurinkopaneelien teknisiin ominaisuuksiin liittyy muutamia oleellisia asioita, kuten testiolosuhteet, kennon virta- ja jännitekäyrä sekä erilaiset hyötysuhteet. Seuraavissa kappaleissa käsitellään näitä teknisiä ominaisuuksia. Lisäksi aurinkopaneeleja ja aurinkokennoja käsiteltäessä on syytä huomioida niiden kahden tekniset erot, niistä puhuttaessa.

4.2.1 Aurinkopaneelin ominaisuustestit, STC ja NOCT

Aurinkopaneelien tekniset ominaisuudet kuten sähkötehon suorituskyky mitataan standarditestiolosuhteissa (*STC, Standard Testing Conditions*). STC on alan laajuinen standardi ja sen tarkoituksena on varmistaa, että eri valmistajien aurinkosähkömoduulien tuoton arviointi ja suhteellinen vertailu on mahdollista. STC-standarditestiolosuhteiden rinnalle on myös kehitetty normaalikäyttötesti NOCT, (*Normal Operating Cell Temperature*). Normaalikäyttötesti on kehitetty silmällä pitäen STC-testin arvoja, jotka saavutetaan käytännön olosuhteissa vain harvakseltaan ja esim. Suomessa näihin olosuhteisiin päästään todella harvoin. (Sinovoltaics 2011; Perälä 2017, 48.)

Standarditestiolosuhteissa suorituskyky mitataan säteilytehon ollessa $1000\text{W} / \text{m}^2$, jossa teho vastaa auringonsäteilyä kohti suoraan hyvissä olosuhteissa maanpinnalla. Testiolosuhteisiin on myös määritelty muita vakiostandardeita, kuten että aurinkopaneelin kennot ovat $+25^\circ\text{C}$ lämpötilassa sekä ilmassa (*AM, Air Mass*) ollessa 1,5, joka vastaa auringon säteilyn spektriä. Spektri syntyy, kun säteily suodattuu ilmakehässä matkan, joka on 1,5 kertainen verraten ilmakehän paksuuteen. STC – standarditestiolosuhteissa tuulen nopeus $1,5\text{ m/s}$. (Tahkokorpi ym. 2016, 139.)

Normaalikäyttötestissä arvot ovat alemmat verrattain standardiolosuhteiden testiin. NOCT-testissä säteilyn voimakkuus on $800\text{W} / \text{m}^2$, ilmassa AM 1,5, tuulen nopeus 1m/s ja ympäristön lämpötila $+20\text{ }^\circ\text{C}$. Edellä määritellyissä standarditestiolosuhteissa mitataan erinäisiä virran, jännitteen ja tehon suureita, jotka ovat myös ilmoitettu valmistajan puolesta aurinkopaneelin tyyppikilvessä. Mitattavia suureita ovat maksimiteho, jännite – ja virta maksimitehol-

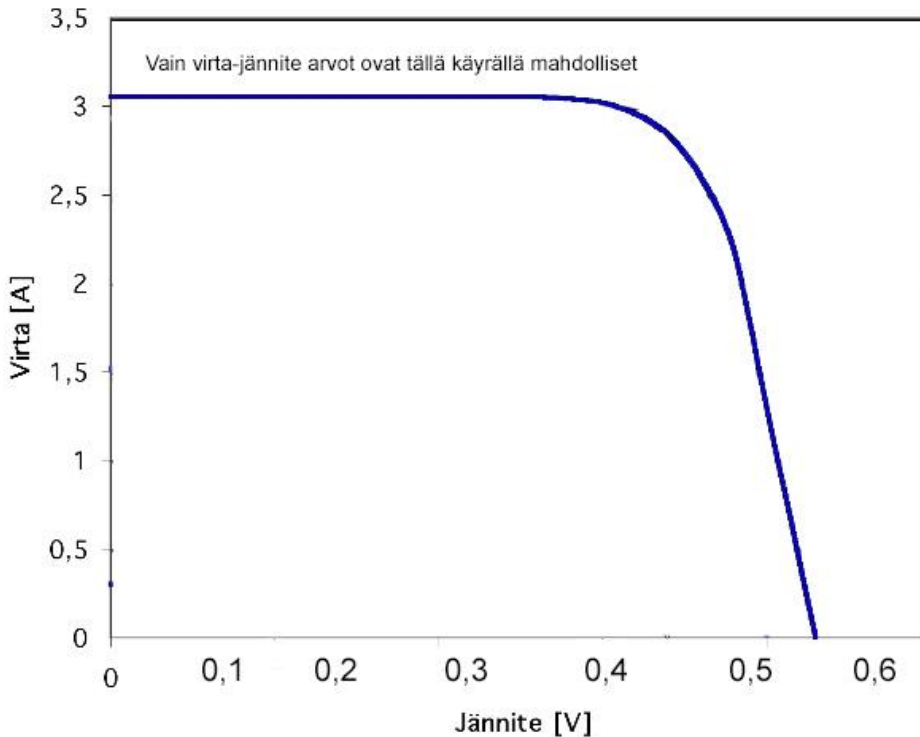
la, oikosulkuvirta, tyhjäkäynti sekä järjestelmäjännite. Suomessa standardiolosuhteet (STC) toteutuvat vain harvoin, jolloin normaalikäyttötestin (NOCT) arvot ovat helpommin saavutettavissa ja sovellettavissa Suomen ilmasto-olosuhteisiin. (Perälä 2017, 47-48.)

4.2.2 Paneelin nimellisteho Wp

Aurinkopaneelien nimellistehot ilmoitetaan tyypillisesti piikkiwatteina Wp. Piikkiwatilla tarkoitetaan aurinkopaneelin enimmillään tuottamaa tehoa standardiolosuhteisessa STC. Käytännössä aurinkopaneeli voi tuottaa jopa hetkellisesti enemmänkin sähköä kuin ilmoitetun nimellistehonsa verran säteily intensiteetin ylittäessä $1000\text{W} / \text{m}^2$. (Motiva 2017c.)

4.2.3 Virtajännitekäyrä kennossa

Virtajännitekäyrä eli ominaiskäyrä kuvaa aurinkopaneelin toimintaa virran ja jännitteen suhteella ilmoittaen, millä virran arvoilla paneeli voi toimia ja milloin siitä saadaan suurin mahdollinen teho hyödynnetyksi. Virtaa ja jännitettä tarkastellessa on huomattavaa, että vaikka paneeli tuottaa tasasähköä, se tuottaa epäsäännöllisesti virtaa. Tällöin tasaisessa valomäärässä aurinkokennon jännite muuttuu, vaikka virta pysyy samana tiettyyn jännitteeseen asti. Yhdistämällä kaikki nämä virtajännitekombinaatiot saadaan edellä mainittu aurinkokennon virtajännitekäyrä, ks. (KUVIO 4). (Käpylehto 2016, 63; Erat ym. 2008, 121–122.)



KUVIO 4. Aurinkokennon virta-jännitekäyrä standardiolosuhteissa (mukaillen Erat ym. 2008, 122)

Aurinkokennossa teho on jännite kertaa virta $P = U I$. Jos kenno ei ole kytketty mihinkään, virta ei kulje ja käyrällä virran arvo on nolla. Virran arvolla 0 saadaan kennon jännitteeksi 0,6 V, joka on kennon tyhjäkäyntijännite (V_{oc}). Tyhjäkäyntijännite on korkein jännite, jonka kenno saavuttaa tietyssä valonintensiteetissä ja lämpötilassa. Kytkemällä kennon molemmat puolet johtimella yhteen eli oikosulkemalla kenno saadaan jännite-eroksi 0V. Oikosulussa virta on tällöin 3,2 A, jota kutsutaan kennon oikosulkuvirraksi (I_{sc}). Oikosulkuvirta ilmoittaa, suurimman virran joka kulkee kennossa tietyssä valonintensiteetissä ja lämpötilassa. (Erat ym. 2008, 121–122.)

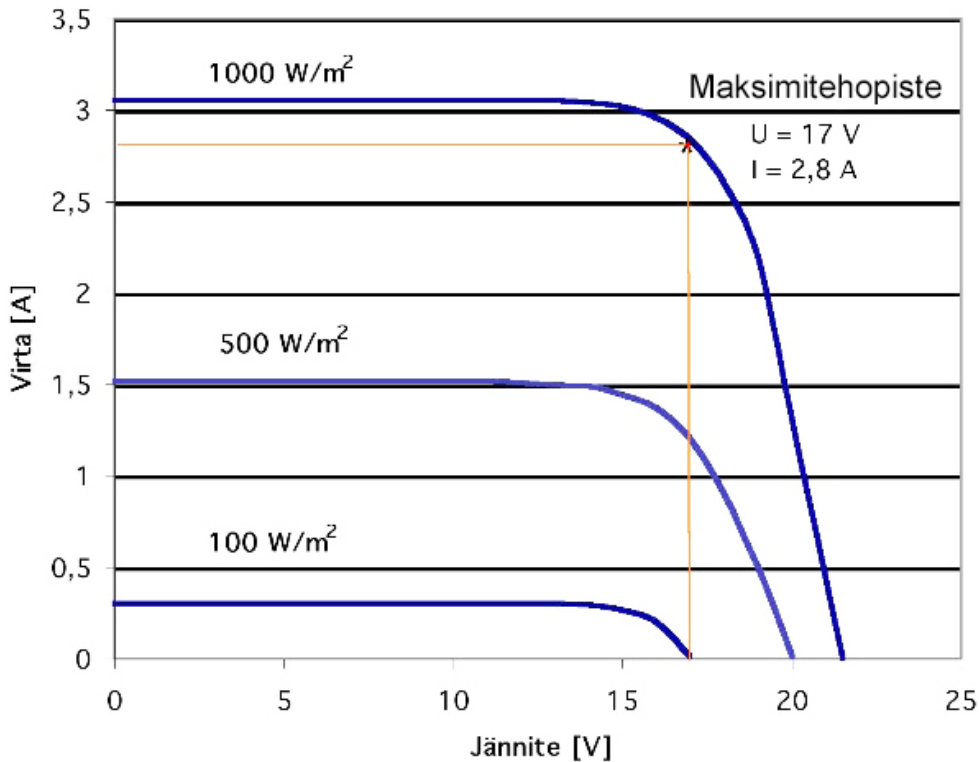
Käyrän kaikki virta-jännitearvot ovat käytettävissä, mutta käytännössä kenno pystyy toimimaan vain yhdellä arvolla kerrallaan. Käytettyyn arvoon vaikuttaa suoraan se sähköinen piiri, johon kenno on kytketty. (Erat ym. 2008, 121–122.)

4.2.4 Maksimitehopiste

Sähköisen piirin kuormitusvirrasta johtuen paneelin tehontuotto on riippuvainen suoranaisesti virrasta. Suurimman tehontuoton saavuttamiseksi ominaiskäyrällä on virran ja jännitteen suhde optimoitava. Muuttamalla virtaa asteittain pienemmäksi saadaan virta-arvon piste, jossa paneeli tuottaa eniten energiaa, ks. TAULUKKO X. Tätä pistettä kutsutaan maksimitehopisteeksi (MPP, Maximum Power Point). (Perälä 2017, 49-50.)

Maksimitehopisteen saavuttamiseksi on kehitetty aurinkosähköjärjestelmästä riippuen älykkäitä toimilaitteita, kuten MPPT – lataussäätimiä sekä verkkoinverttereitä eli vaihtosuuntaajia. (Perälä 2017, 50.) Toimilaitteita käsitellään tarkemmin luvussa 5. Aurinkosähköjärjestelmien komponentit.

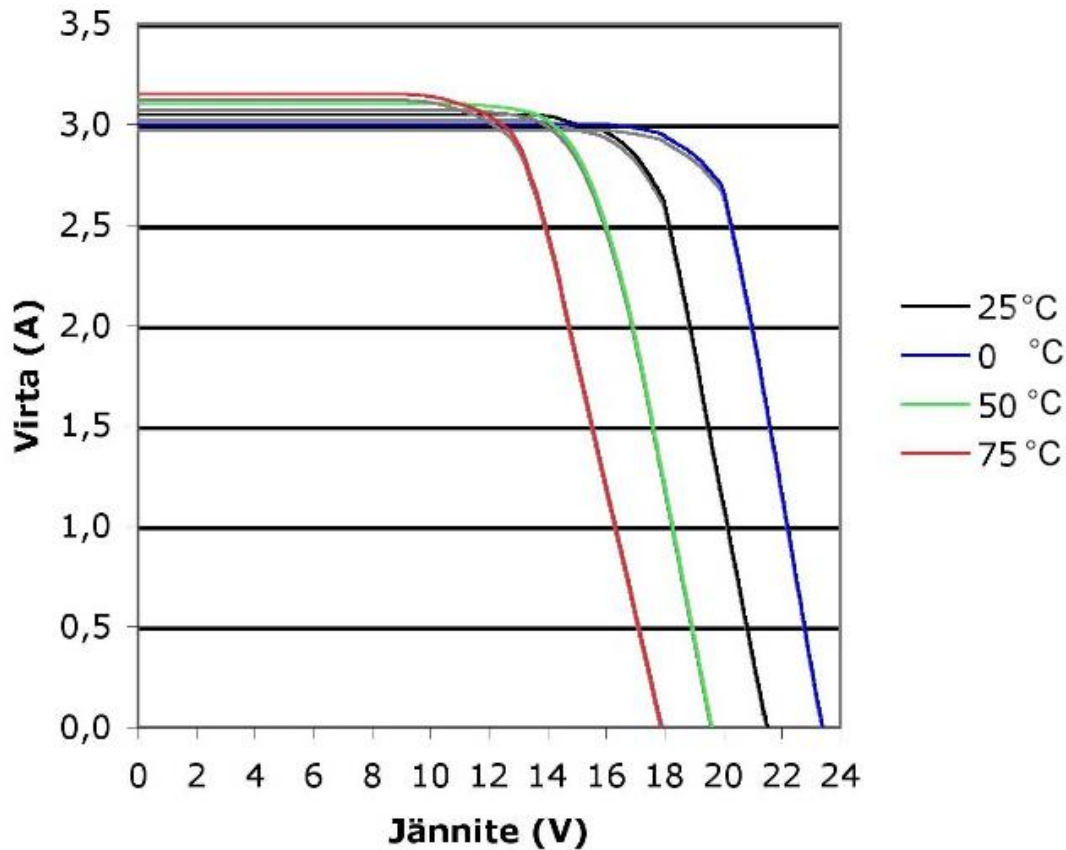
Edellä esitettyjen ominaiskäyröjen kautta paneelien tehon tuottoon vaikuttaa myös olennaisesti seuraavat ominaisuudet: valon intensiteetti, kennon koko ja kennoteknologia sekä lämpötila. Näistä tärkeimmät ominaisuudet tuoton kannalta ovat valon intensiteetti ja lämpötila. Aurinkopaneeliin kohdistuvan valon intensiteetti vaikuttaa käyrään siten, että pienentyessään oikosulkuvirta (I_{sc}) laskee lineaarisesti ja tyhjäkäyntijännite (V_{oc}) laskee vain vähän, jolloin saatavan tehon pinta-ala virtajännitekäyrässä pienenee, ks. (KUVIO 5). (Perälä 2017, 51.) Auringon valon säteily intensiteetti on tällöin suoraan verrannollinen ominaiskäyrään (Erat ym. 2008, 123.)



KUVIO 5. Maksimitehopiste ja valonintensiteetin muutokset ominaiskäyrällä (mukaillen Sun-tekno 2012)

4.2.5 Paneelin lämpötila

Lämpötila vaikuttaa paneelin tehontuottoon parantamalla tai heikentämällä sen hyötysuhdetta. Alhainen paneeli lämpötila eli alle +25 °C parantaa hyötysuhdetta ja yli +25 °C vastaavasti heikentää. Lämpötilan vaikutus johtuu puolijohdemateriaalin ominaisuuksien muutoksista, joiden myötä paneelin teho laskee n. 0,4 - 0,5 % jokaista nousevaa astetta kohti. Tehot vastaavasti kasvavat alhaisemmissa lämpötiloissa. (Erat ym. 2008, 123–127.)



KUVIO 6. Paneelin lämpötilan vaikutus ominaiskäyrään (mukaillen Suntekno 2012)

Ominaiskäyrästä nähdään miten lämpötilan vaihtelu vaikuttaa paneelin toimintaan. Lämpötilan kasvaessa paneelin virta kasvaa ja jännite putoaa, mikä on selkeästi nähtävissä ominaiskäyrältä. Jännitteen muutoksen ollessa paljon voimakkaampi suhteessa virran muutokseen, on tehon alenemakin samaa luokkaa kuin jännitteen lasku. (Suntekno 2012.)

4.3 Hyötysuhteet

Aurinkosähkön hyötysuhteita käsitellessä on hyvä tunnistaa eri hyötysuhteiden määritelmät, niiden teknisten merkitysten ja ominaisuuksien takia.

4.3.1 Kennojen ja paneelien hyötysuhde

Aurinkokennojen hyötysuhteella tarkoitetaan sitä osuutta auringonsäteilystä, joka voidaan muuttaa sähköksi. Yhteenlaskettujen kennojen hyötysuhde ei ole sama kuin paneelin hyötysuhde, koska paneelissa kennojen kytkemisestä aiheutuu häviöitä. Tällöin paneelien hyö-

tysuhde jää 1-2% pienemmäksi kuin kennojen yhteenlaskettu hyötysuhde. Aurinkopaneelin hyötysuhde määritellään jakamalla sen nimellisteho sen pinta-alalla ja STC- standardiolosuhteiden säteilymäärällä $1000W/m^2$. (Erat ym. 2008, 125.)

Tällöin esimerkiksi nimellisteholtaan 250 piikkiwatin ja pinta-alaltaan 1,65 neliömetrin aurinkopaneelin hyötysuhde voidaan laskea seuraavasti:

$$W_p / m^2 \times 1000W/m^2 = \%$$

jossa W_p on paneelin nimellisteho
 m^2 on paneelin pinta-ala
 $1000W/m^2$ on standardiolosuhteiden säteily määrä
 % on paneelin laskettu hyötysuhde.

jolloin

$$250W_p / 1,65m^2 \times 1000W / m^2 = 15 \%$$

.(Tahkokorpi ym. 2016, 142.)

Edellisen esimerkin mukaan aurinkopaneeliin kohdistuvasta säteilystä 15 % muuttuu sähköenergiaksi. Aurinkopaneelien hyötysuhteeseen vaikuttaa myös kennojen ja etulasin laatu sekä paneelin mekaaninen rakenne. (Tahkokorpi ym. 2016, 142.)

4.3.2 Järjestelmän hyötysuhde

Aurinkosähköjärjestelmän kokonaishyötysuhde on riippuvainen koko järjestelmän komponenteista. Paneelin hyötysuhteen ohella siihen vaikuttaa oleellisesti johdotusten ja akuston laatu ja oikeanlainen mitoitus. (Erat ym. 2008, 125; Perälä 2017, 94.)

4.3.3 Paneelien tekninen käyttöikä

Aurinkopaneelien tekninen käyttöikä vaihtelee eri paneelityyppien välillä. Yksi – ja monikiteiset paneelit säilyttävät toimintakykynsä lähes ikuisesti, mutta niiden sähköntuotantokyky laskee ajan myötä. Paneelin tuotantokyky laskee vähitellen ja tyypillisesti se on luokkaa 0,5 % vuodessa. Paneeleille on määritelty valmistajasta riippuen tehontuottotakuita. Useimmat valmistajat takaavat paneelien tuoton olevan 25 käyttövuoden jälkeen vielä vähintään 80 % uuden paneelintuotosta. Luotettava käyttöikä on siten vähintään 25 vuotta, mutta usein paljon enemmänkin. (Perälä 2017, 47.)

Toisen ja kolmannen sukupolven amorfisilla piipaneeleilla käyttöiät ovat huomattavasti alhaisemmat kuin yleisesti kiinteistökäytössä olevilla yksi- ja monikidepaneeleilla. Amorfisilla piipaneeleilla tuotantokyky voi vähentyä vuodessa jopa 10-15 %. Nopeasti heikentyvän tuotantokyvyn takia amorfisten paneelien järkevä käyttöikä on vain 4–6 vuotta. (Perälä 2017, 47.)

4.4 Aurinkokennotyypit

Aurinkokennoteknologiat ovat jaettavissa kolmeen sukupolveen. Ensimmäisenä markkinoille tulleet eli ensimmäisen sukupolven kaupallisiin käytössä oleviin yksi – ja monikidekennoihin, toisen sukupolven amorfisiin piikennoihin eli niin sanottuihin ohutkalvokennoihin sekä kolmannen sukupolven nanokidekennoihin. (Motiva 2017a.)

4.4.1 Yksikiteinen piikkenno

Yksikiteiset piikennot valmistetaan luonnossa esiintyvistä piistä jalostamalla ja puhdistamalla. Piikiteet kasvatetaan tankomuotoon, josta ne sahataan pyöreiksi 0,35-0,45mm paksuiksi piikiekoiksi. Lopullisen muodon ne saavat, kun niistä leikataan palat pois kennomaisen muodon ja pinta-alan maksimoimiseksi. (Erat ym. 2008, 124; Käpylehto 2016, 57-58.)



KUVA 5. Yksikiteinen piikkenno ja paneeli. (mukaillen Ledwatcher 2016)

Yksikiteisessä puolijohteessa kiteen rakenne on hyvin yhtenäinen, mikä antaa sille hyvin korkean hyötysuhteen, 16–25%. Yhtenäinen rakenne kiteessä on kuitenkin alttiimpi varjostuksille, jolloin tuotantoteho laskee. Hidas valmistaminen ja vaativa työ tekevät yksikiteisestä piistä kalliin. Teknologia on yleinen kiinteistökäytössä. (Erat ym. 2008, 124; Käpylehto 2016, 57–58.)

4.4.2 Monikiteinen piikkenno

Monikiteiset piikennot valmistetaan valamalla, mistä johtuen niissä on selkeästi havaittavissa monikiteinen muoto. Valutekniikan ansiosta kennosta saadaan helpommin juuri sopivan kokoinen, jotta se kattaa lopullisen aurinkopaneelin kokonaan. Kennojen tekniset ominaisuudet ja jatkokäsittely ovat vastaavat kuin yksikidekennoilla. (Erat ym. 2008, 124; Käpylehto 2016, 57–58.)



KUVA 6. Monikiteinen piikkenno. (mukaillen Ledwatcher 2016)

Monikiteisissä kennoissa kiteiden rakenne ei ole niin yhtenäinen, jolloin hyötysuhde jää hieman matalammaksi eli alle 20 %:iin. Epämääräisempi rakenne kiteessä lieventää varjojen haittoja kennon sähköntuotannossa. Kennojen valmistustavasta johtuen niiden hinta on alhaisempi kuin yksikide kennoissa. Teknologia on yleinen kiinteistöikäytössä. (Erat ym. 2008, 124; Käpylehto 2016, 57-58.)

4.4.3 Amorfinen piikkenno

Amorfiset piikennot eli toiselta nimeltään ohutkalvokennot valmistetaan höyryttämällä amorfinen pii halutulle alusmateriaalille, jolloin saadaan yhtenäinen ohut valoa absorboiva kerros sekä yhtenäinen kennorakenne. Valmistustavasta johtuen piitä tarvitaan hyvin vähän ja ohuen ja taipuisan rakenteen ansiosta kennot ovat kestävämpiä. Ohutkalvokennojen teho pinta-alaa kohti on pienempi kuin kiteisissä. (Erat ym. 2008, 125; Käpylehto 2016, 58; Perälä 2017, 45.)

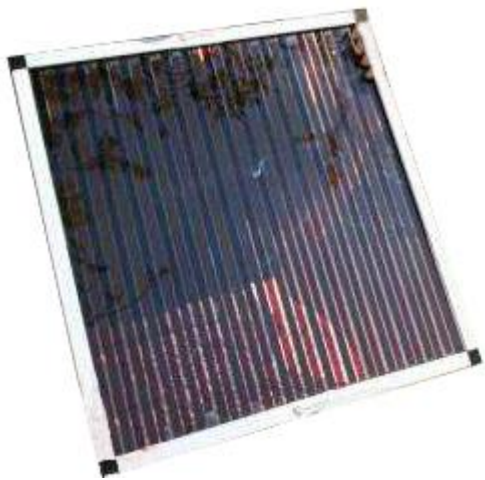


KUVA 7. Amorfinen piikkenno (mukaillen Ledwatcher 2016)

Amorfisessa piikennossa ei ole kiderakennetta, jonka myötä kiderakennettomuus laskee käyttöikää ja hyötysuhteen lähemmäs 9-13 prosenttia. Hyvin valoa absorboivan kerroksen myötä varjonsietokyky on yleensä parempi kuin kiderakenteisissa kennoissa. Kennojen valmistustavasta johtuen ne ovat edullisia. Käyttökohteena ovat rakenteeseen integrointi, vaatteet ja rakennuksen julkisivumateriaalit. (Erat ym. 2008, 125; Käpylehto 2016, 58; Perälä 2017, 45.)

4.4.4 Nanokiteinen kenno

Nanokidekennot eli toiselta nimeltään väriaineherkistetyt aurinkokennot (Grätzel) ovat vielä tutkimus – ja kehitysasteella. Kennot valmistetaan nanokokoisista titaanidioksidhiukkasista, jotka pinnoitetaan säteilyä absorboivilla väriainehiukkasilla ja käsitellään elektrolyyttiliuoksella. Auringon säteilyn saavuttaessa kennon väriainehiukkaset kenno vapauttaa elektroneja, jotka kulkeutuvat puolijohtavalta titaanidioksidikerrokselta ulkoiseen piiriin. Nanokidekenno tekniikka ei siis sisällä perinteistä pn-liitoksen aikaan saamaa sähkökenttää, vaan se perustuu täysin kemiallisiin reaktioihin. (Motiva 2017a.)



KUVA 8. Väriaineherkistettykenno eli nanokiteinen kenno. (mukaillen Phys 2013.)

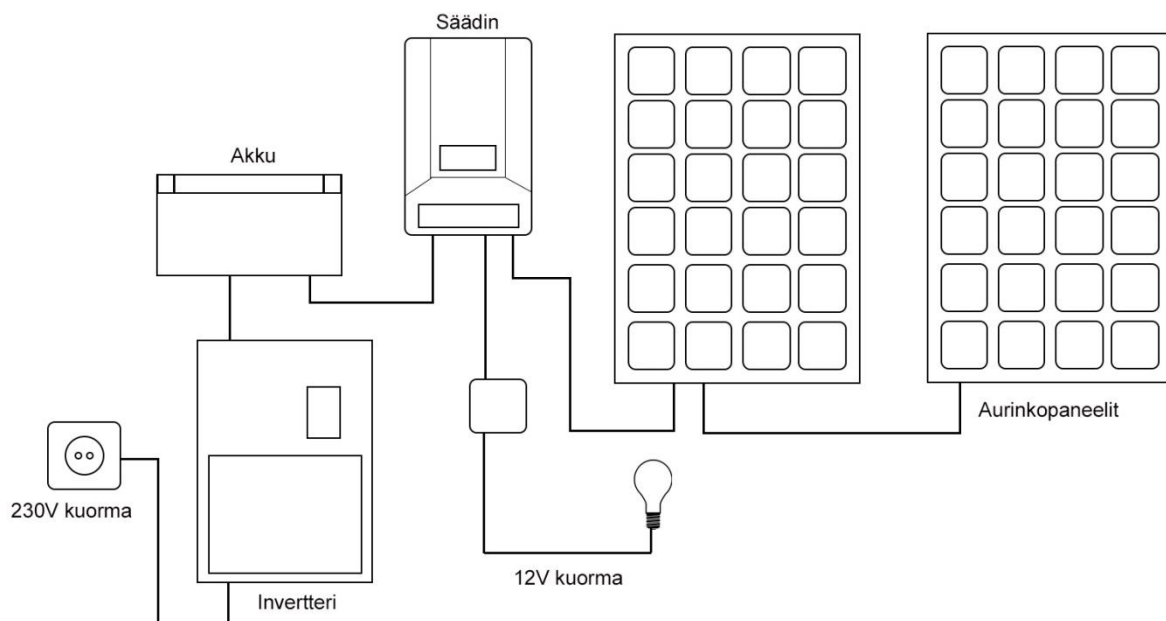
Nanokiteisille kennoille on ennustettu erittäin hyvää hyötysuhdetta ja alhaista valmistuskustannusta. Hyötysuhteenkehitys on ollut verrattain nopeaa, mutta kennojen kaupallistumiseen menee vielä useita vuosia. Nanokide ohella kolmannen sukupolven aurinkokennojen tutkimus- ja kehitysvaiheissa on muitakin kennotyyppejä. Harvinaisemmista kennotyypeistä on jo käytännön sovelluksia maailmalla, keskitettäviin järjestelmiin kehitettyjen ja joustavien kennojen muodossa. (Tahkokorpi ym. 2016, 137; Motiva, 2017a.)

5 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Aurinkosähköjärjestelmillä tuotetaan kohteesta riippuen tasasähköä tai vaihtosähköä 12–230V. Aurinkosähköjärjestelmät luokitellaan pääsääntöisesti kahteen eri järjestelmämuotoon kohteesta riippuen: verkkoon kytkettyyn ja kytkemättömään järjestelmään. Molempien järjestelmien tarkoituksena on pyrkiä tuottamaan kulutettava sähköenergia, mutta järjestelmien kytkentätapojen ja toiminnan välillä on kuitenkin merkittäviä eroavaisuuksia. (Käpylehto 2016, 43–44.)

5.1 Sähköverkkoon kytkemätön järjestelmä

Sähköverkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä on omavarainen järjestelmä, jota ei ole liitetty valtakunnan sähköverkkoon ja jota kutsutaan myös Off-grid- järjestelmäksi. Omavaraisessa järjestelmässä sähkön riittävyys on riippuvainen aurinkopaneelien ja säteilyn määrästä, sähkön tarpeen vaihteluista ja järjestelmän rinnalle liitetyistä laitteistoista, kuten aggregaattista, akustosta tai muusta lisäsähkön tuotantolaitteesta esim. tuulivoimalasta. (Motiva 2016a.) Sähköverkkoon kytkemättömän aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano on esitetty alla olevassa kuvassa (KUVA 9).



KUVA 9. Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano (mukaillen Lehto 2017, 45.)

Verkkoon kytkemättömässä aurinkosähköjärjestelmässä paneelin tuottama sähkö varastoidaan akkuihin, mikäli sähköntuotanto ja kulutus eivät osu samaan hetkeen. Akuston ohella verkkoon kytkemättömän aurinkosähköjärjestelmän komponentteihin kuuluvat paneeli, lataussäädin sekä halutusta jännitetasosta riippuen invertteri. Akuista voidaan ottaa suoraan virtaa tasavirtaa käyttäviin laitteisiin, mutta invertterin avulla virta voidaan muuttaa vaihtovirraksi 230V AC, kuten verkkoon kytketyissä järjestelmissä. Suurena etuna vaihtovirran käyttämisessä verkkoon kytkemättömässä järjestelmässä on verkkojännitelaitteiden saatavuus. (Perälä 2017, 90; Motiva 2016b.)

Verkkoon kytkemättömät järjestelmät ovat yleisiä etenkin taajamien ulkopuolella ja saaristoissa ns. vapaa-ajan asunnoissa, joissa ei ole sähköverkkoa lähettyvillä tai saatavilla. Suomessa tosin on jo laaja sähköverkko, joten sähköverkottomia alueita on enää hyvin vähän. Laajasta kattavuudesta huolimatta sähköverkkoon liittyminen voi usein tulla usein kalliiksi sähköntarpeeseen nähden, jolloin hankintakustannukseltaan selvästi alhaisempi verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä tulee kyseeseen (Motiva 2016a.; Tahkokorpi ym. 2016, 164.)

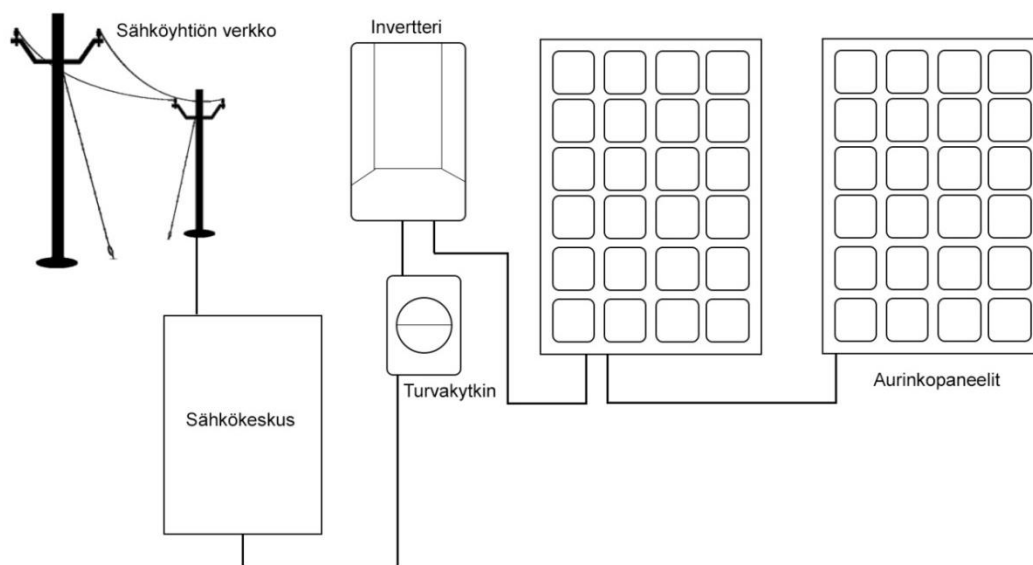
Omavaraisessa järjestelmässä hankintakustannus on siis kohtuullisen alhainen, mutta tuotetun sähkön laskennallinen hinta on helposti suurempi kuin verkkosähkön hinta. Järjestelmä voidaan kuitenkin määritellä kannattavaksi hinnoista huolimatta, sillä aurinkosähköjärjestelmä tuottaa kohteeseen tarvittavan sähköenergian ja periaatteessa maksaa itsensä heti takaisin. (Käpylehto 2014b, 21.)

Ennen omavaraisen järjestelmän hankkimista on kuitenkin kannattavaa tehdä tai teettää vertailevat kannattavuuslaskelmat sähköverkkoon liittymisen ja järjestelmän hankkimisen välillä. Sähköverkkoon kytkemättömän järjestelmän hankkiminen vaatii myös huolellisen arvion sähkön käyttötarpeista sekä verkkoon kytkemättömän järjestelmän kokoonpanosta ja kustannuksista. Verkkoon kytkemättömän järjestelmän mitoituksessa olennaista on järjestelmän kokoonpano paneeliston ja akun osalta. Paneelisto ja akusto pyritään mitoittamaan siten, että tuotannon ja kulutuksen ajallinen vaihtelu on otettu huomioon. Mitoitukseen vaikuttavat myös järjestelmän kokoonpanon erilaiset vaihtoehdot. Aurinkosähköjärjestelmä voi toimia, akustolla ilman aggregaattia, akustolla ja aggregaatilla, pelkällä aggregaatilla tai jopa ainoastaan paneelin tai paneeliston avulla. (Motiva 2016a; Motiva 2016b; Motiva 2016e.)

Mitoituksessa on myös huomioitava ja ymmärrettävä eri sähkölaitteiden kulutuksia kokonais-sähkönkulutuksen nähden. Suuritehoiset laitteet, kuten vedenkeitin, kahvinkeitin, lämpöpuhallin ja jääkaappi vaativat järjestelmältä suurempaa tuotantokapasiteettia ja sitä kautta järjestelmän kokonaishinta kasvaa korkeammaksi. Suunnittelussa kannattaa pyrkiä rajaamaan tärkeät ja tarvittavat sähköllä toimivat laitteet, jotta kokonaisuus saadaan mahdollisimman energiatehokkaaksi. Suuritehoisia laitteita voidaan korvata esimerkiksi kaasukäyttöisillä laitteistoilla. (Käpylehto 2014b, 20-21.)

5.2 Sähköverkkoon kytketty järjestelmä

Sähköverkkoon kytkettyjä järjestelmiä eli On-grid järjestelmiä käytetään sähköntuottamiseen yleisen valtakunnan sähköverkon rinnalla. Verkkoon kytketyn järjestelmän tukena on siis tällöin aina sähköverkko, jolloin sen toiminta on myös riippuvainen sähköverkon häiriöistä, kuten sähkökatkoksista. Sähkökatkon aikana järjestelmän paneelit eivät tuota sähköä kulutuskohteisiin. Kohteissa, joissa on verkkoliittymä, on luontevinta, että aurinkosähköjärjestelmä kytketään verkkoon. Tällöin aurinkosähköä voidaan hyödyntää samoissa jo olemassa olevissa verkkosähkön laitteissa. (Motiva 2016a; Motiva 2016c.) Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano on esitetty alla olevassa kuviossa yksinkertaisettuna (KUVA 10).



KUVA 10. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano (mukaillen Lehto 2017, 44.)

Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmäkokonaisuus on verkkoon kytkevämmään järjestelmään nähden tyypillisesti yksinkertaisempi. Osa järjestelmän komponenteista on samoja molemmissa järjestelmissä. Eroavaisuuksia järjestelmien välillä kuitenkin on esimerkiksi järjestelmien laitteistoissa ja sekä tuotetun sähkön kulutuksessa ja varastoinnissa. Verkkoon kytketyssä järjestelmässä tuotettu sähkö pyritään kuluttamaan kokonaan ja toissijaisesti sitä voidaan myydä takaisin sähköverkkoon ylijäämänsä muodossa. Verkkoon kytketyissä järjestelmissä akkuja ei siis pääsääntöisesti käytetä. (Tahkokorpi ym. 2016, 142; Käpylehto 2016a, 71-72.)

Verkkoon kytketyissä järjestelmissä aurinkopaneelit tuottavat niin ikään tasavirtaa, joka muutetaan verkkoinvertterin eli vaihtosuuntaajan avulla vaihtovirraksi. Verkkoinvertterin kautta paneelit kytketään osaksi kiinteistön sähköjärjestelmän syöttöä sähköpääkeskuksessa. Verkkoinvertterin tuottama vaihtovirta vastaa kiinteistön sähköverkon sekä jakeluverkon vaatimuksia. Suomessa käytettävien verkkoinverttereiden on täytettävä turvallisuuskriteerit suomalaisen standardin SFS-EN-50438 tai saksalaisen standardin VDE-AR-N 4105 (2011) mukaisesti. (Tahkokorpi ym. 2016, 142; Käpylehto 2016a, 71-72.)

Järjestelmän komponentteihin kuuluvat yllä mainittujen komponenttien lisäksi suojalaitteet, tasavirtapiirinturvakytkin, energiamittari sekä kaapelointi. Suojalaitteet ja tasavirtapiirinturvakytkin ovat järjestelmässä pakolliset, mutta usein nämä on integroitu valmiiksi järjestelmän verkkoinvertteriin. Energiamittarin eli kaksisuuntaisen mittarin avulla mitataan sähköverkkoon syötettyä ja sieltä otettua sähköenergiaa. Mittarin toimituksesta ja asennuksesta vastaa sähköverkonhaltija. Näiden suojalaitteiden lisäksi aurinkosähköjärjestelmä on oltava erotettavista sähköverkosta lukittavalla vaihtovirtapiirin turvakytkimellä. Turvakytkimen tulee sijaita verkkoinvertterin ja pääkeskukseen tai ryhmäkeskuksen välillä, siten että verkkoyhtiöllä on siihen vapaa pääsy. (Motiva 2016c.)

5.3 Aurinkosähköjärjestelmien komponentit

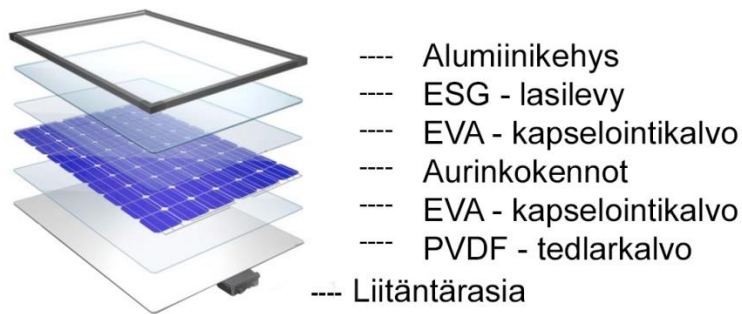
5.3.1 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneeli koostuu sarjaan kytketyistä aurinkokennoista, ks. (KUVA.11). Kennojen sarjankytkennällä saavutetaan haluttu tyhjäkäyntijännite (V_{oc}) käyttötärpeesta ja kohteesta riippuen. Perinteisessä aurinkopaneelissa on 36 kennoa sarjassa. Tällä määrällä kennoja saavutetaan 20 voltin jännite ja 150 watin huipputeho kW_p . Kennot ovat paneelissa järjestyksessä esim. 36 kennonsarjassa neljässä rivissä, joissa 9 kennoa kussakin. Käyttötärpeesta ja kohteesta riippuen paneelissa voi olla myös 60 kennoa järjestettynä kuuteen kymmenen kennon riviin. Tällöin paneelin tyhjäkäyntijännitteeksi saadaan noin 35 voltia ja huipputehoksi 250 wattia. Paneelien fyysiseen kokoon vaikuttaa yksittäisten kennojen koko. Kennot ovat kooltaan tyypillisesti luokkaa esim. 100 x 100 mm tai 156 x156 mm. (Perälä 2017, 44-46.)



KUVA 11. Tyypillinen Aurinkopaneeli (mukaillen Ledwatcher 2016)

Kenkokokojen ollessa yllä olevissa esimerkeissä 156 mm x 156mm saadaan paneelien fyysiseksi kooksi 150 watin paneelissa 670 mm x 1480 mm ja 250 watin paneelissa 1000 mm x 1650 mm. Paneeliin voidaan myös sijoittaa vieläkin enemmän kennoja. Kennoja voidaan sijoittaa kokonaiseen paneelin esimerkiksi 72 kappaletta. (Perälä 2017, 44-46.) Aurinkopaneelit koostuvat rakenteeltaan erilaisista tasoista, jotka on esitetty alla olevassa kuviossa (KUVA 12).



KUVA 12. Aurinkopaneelin tasot (mukaan Clean Energy Reviews 2018)

Aurinkopaneelin kennot on tyypillisesti suojattu ulkokehältä alumiinikehyksellä. Alumiinikehystä käytetään kokoonpanon helpottamiseksi sekä paneelin kerrosten jäykistämiseksi tiiviiksi aurinkopaneeli moduuliksi. Moduulin pintakerros koostuu 3-5 mm paksuisesta ESG – lasilevystä. ESG-lasilevyllä on erinomainen, paineen, iskun ja lämpötilankestä. Lasilevyyn voidaan lisätä myös heijastuksia ehkäisevä pinnoite, jonka avulla saadaan lisättyä paneelin tuottamaa tehoa pois heijastuksia vähentämällä. (Renewable Energy Concepts 2019; Porex 2018a; Porex 2018b.)

Paneelin pyrkivän kosteuden ja ilman estämiseksi paneelissa on kaksi kapselointikalvoa, jotka sulkevat aurinkokennon väliinsä, suojaten sitä korroosiolta. Molemmat kapselointikalvot ovat valmistettu joustavasta ja huokoisesta etyylivinyyliasetaatista (EVA, Ethylene-Vinyl Acetate) tai valuhartsikerroksesta. Etyylivinyyliasetaatista on materiaalina elastinen kumin tapainen materiaali, joka kestää hyvin alhaista lämpötilaa ja rasitusta. Etyylivinyyliasetaatista omaa materiaalina hyvän vedenpitävyyden ja kestävyden ultraviolettiärsityltä. Kapselointikalvot on kiinnitetty aurinkokennoihin hitsaamalla, jolla taataan tiivis kokonaisuus. Aurinkopaneelin taakasa koostuu tedlar- laminoidusta kalvosta sekä haaroitusrasia. Tedlar- laminoitu kalvo koostuu huokoisesta polyvinyylifluoridista (PVDF, Polyvinylidene Fluoride). Polyvinyylifluoridi on materiaalia kestävä. Polyvinyylifluoridi kestää altistumisen korkeille lämpötiloille, kemikaaleille sekä ultraviolettiärsitylle. Aurinkopaneelin haaroitusrasia koostuu pikaliittimistä sekä joustavasta kaksoiseristetyistä kaapelista. (Renewable Energy Concepts 2019; Porex 2018a; Porex 2018b.)

Aurinkopaneelissa on fyysisten ominaisuuksien lisäksi tärkeää tekniset ominaisuudet. Tunnetuin paneelin tekninen ominaisuus on hyötysuhde. Hyötysuhteet muuttuvat kun aurinkoken-

noista kootaan aurinkopaneeli. Yksikiteisellä kennolla hyötysuhteeksi voidaan teoriassa saavuttaa jopa 31 % hyötysuhde mutta lopullisessa paneelissa paneelin sisällä vaikuttavat ominaisuudet heikentävät kokonaisen paneelin hyötysuhdetta, ja paneelin lopulliseksi hyötysuhteeksi saadaan 17-21 prosenttia. Monikidepaneeleilla hyötysuhde on hiukan pienempi kuin yksikiteisellä, sillä monikiteiseissä kennossa on enemmän kidevirheitä, joka laskee hyötysuhdetta. Monikiteisillä paneeleilla hyötysuhteeksi saadaan noin. 16-19 prosenttia. Hyötysuhde on kenties paneelin tärkein tekninen ominaisuus ja sen olisi hyvä olla mahdollisimman suuri, mutta ei kuitenkaan hinnalla millä hyvänsä. (Perälä 2017, 43-44.)

5.3.2 Lataussäädin

Lataussäädintä käytetään yleisesti verkkoon kytkemättömissä aurinkosähköjärjestelmissä. Lataussäätimen tehtävä on ladata järjestelmän akkuja oikealla paneelista saatavalla jännitteellä ja virran suhteella. Verkkoon kytkemättömässä järjestelmässä lataussäädin sijaitsee aurinkopaneeliston ja akuston välillä. Lataussäädin alentaa paneelin jännitteen akulle sopivaksi esim. 12 – 24 volttiin akun lataamista varten. Säädin seuraa myös akun varaustilaa ja järjestelmän sähkön kulutusta estäen mahdolliset ylilataukset sekä akun syväpurkautumisen akun jännitteen laskiessa liian alhaiselle tasolle. Näin akkujen elinikä kasvaa. (Perälä 2017, 70-73.)



KUVA 13. Lataussäädin (mukaillen JN-Solar 2019a.)

Verkkoon kytkemätön järjestelmä vaatii yleisesti aina jonkinlaisen lataussäätimen tarpeista riippuen. Lataussäätimiä on kahta eri tyyppiä, PWM- ja MPPT-säätimiä.. PWM (Pulse Width Modulation) eli pulssinleveysmodulaatiosäätimet, ovat toiminnaltaan ja rakenteeltaan yksin-

kertaisia ja edullisia. PWM - säädin katkoo ja kytkee tiheästi paneelin virtaa muuttaen kytkentä ja katkaisuaikojen suhdetta siten, että paneelin jännite alenee sopivalle tasolle akun lataamista varten. (Perälä 2017, 70-73.)

Latausjännite on riippuvainen akun lämpötilasta ja varaustilasta. PWM-lataussäädin seuraa akun ja paneelin jännitteitä. Näitä seuraamalla säädin säätää pulssisuhteen akulle siten, että latausjännite on aina optimaalinen. MPPT-säädin eli (Maximum Power Point Tracking) on tehokas, mutta hieman kalliimpi lataussäädin. MPPT-säädin kuormittaa paneelia joka hetki suurimmalla maksimiteholla, joka siitä on mahdollisuus hyödyntää. Maksimiteholla kuormittaessa säätimet lataavat myös akkua tällä kyseisellä maksimiteholla, jolloin paneeli toimii kokoajan tehokkaasti. (Perälä 2017, 70-73.)

Sopivan latausjännitteestä huolehtii lataussäätimen hakkurijännitemuunnin. Hakkurijännitemuunnin alentaa latausjännitteen akulle sopivaksi kasvattaen samalla latausvirtaa. Muuntimen toiminta perustuu tasasähkön jännitteen katkomiseen pulsseiksi ja järjestämällä ne taas uudelleen, jolloin jännitteen arvo muuttuu. Säätimen katkoessa jännitettä on etuna se, että säädin antaa paneelin jännitteen vaihdella laajalla alueella. Toimintatavasta johtuen säädin tuottaa silloin suurimman hyödyn, kun paneelin tai sarjankytkettyjen paneelien jännite ylittää selvästi akkujännitteen. Akkujen osalta MPPT-säätimissä on myös akun latauspiiri, joka osaa PWM-säätimen tapaan ladata akkua oikealla tavalla ylikuormituksista ja syväpurkauksia silmällä pitäen. (Perälä 2017, 70-73.)

Maksimiteholla toimiakseen säädin ei ole riippuvainen auringonsäteilyn, paneelien lämpötilojen eikä akunvaraustilan muutoksista, mutta hyödynnettävissä oleva maksimiteho on kuitenkin riippuvainen näistä säätimen pyrkiessä hakeutumaan suurimman tehonpisteeseen eli maksimitehopisteeseen. Paneelin maksimitehopiste eli (MPP, Maximum Power Point) on se paneelin tuotantokäyrän piste, jossa paneelin antama teho on suurimmillaan. Lataussäädin pyrkii aina seuraamaan tätä pistettä kohdistamalla toimintansa tuotantokäyrällä siihen. Maksimitehopisteen löytääkseen säädin voi toimia usealla eri tavalla. Toimintatapoina ovat kokeile ja vertaa, sisäisen differentiaalisen resistanssin määrittäminen, virtapyyhkäisy sekä vakiojännitemenetelmä. (Perälä 2017, 70-73.)

5.3.3 Akku

Aurinkosähköjärjestelmissä akkuja käytetään pääsääntöisesti vain verkkoon kytkemättömissä järjestelmissä. Verkkoon kytkemättömissä järjestelmissä sähköenergiaa varastoidaan akkuihin, jotta energiaa on saatavilla ilta- ja yöaikana. Verkkoon kytketyissä järjestelmissä akkuja ei vielä käytetä kovinkaan yleisesti. Akkuista saatava hyöty on samanlainen kuin verkkoon kytkemättömässä järjestelmässä eli sähköenergiaa voitaisiin hyödyntää silloinkin, kun aurinko ei paista. Keskeistä hyödyn tarkastelussa on kuitenkin laskea, paljonko varastoidulle kilowattitunnille tulee hintaa akun kulumisen kustannukset huomioiden verrattuna ostomyyntisähkön hintaeroon eli saatavaan suoranaiseen hyötyyn. (Perälä 2017, 53; Käpylehto 2016a, 80.)

Akut ovat iso osa aurinkosähköjärjestelmän kokonaisinvestointia. Akkujen liittäminen osaksi järjestelmää nostaa kokonaishintaa ja pidentää takaisinmaksuaikaa, mutta akkujen avulla järjestelmän kokonaisteho on kasvatettavissa. Tulevaisuudessa akkujen hintojen odotetaan laskevan valmistusvolyyymien kasvaessa vastaavalla tavalla kuin aurinkopaneeleillakin. Suomessa ostomyyntisähkön erotuksen myötä akkujen käyttö verkkoon kytketyssä järjestelmässä ei ole vielä kannattavaa moniin muihin maihin verrattuna (Käpylehto 2016a, 81.) Ostomyyntisähkön rinnalla taloudelliset investointituet Suomessa järjestelmää hankkiessa eivät ole myöskään riittävän korkeat akkujen hankkimiseksi verrattuna esimerkiksi Saksaan ja Ruotsiin, jossa voi saada tukea akkuvaraston hankintaan. (Niemi & Blomqvist 2017, 4-7.)

Verkkoon kytkemättömän aurinkosähköjärjestelmän akkuja suunniteltaessa on hyvä tietää saatavilla olevista erilaisista akkutyypeistä, sillä akkutyyppejä on useita kymmeniä. Verkkoon kytkemättömissä aurinkosähköjärjestelmissä käytetään akkutyypiltään lyijyakkuja niiden edullisen hinnan vuoksi. Lyijyakkuja on pääsääntöisesti kahden tyyppisiä: vapaasti hengittäviä (Flooded Lead Acid) ja suljettuja (Sealed Lead Acid) akkuja. Näiden lisäksi molemmista on saatavissa kolmea erivaihtoehtoa käyttötarkoituksesta riippuen, startti-, yleis- ja syväpurkausakkujen muodossa. Aurinkosähköakkuina käytetään syväpurkausakkuja (Deep Cycle Battery), jotka ovat suljettuja AGM (Absorbed Glass Mat) tai geeliakkuja (Gel Battery). Syväpurkausakut ovat suunniteltu niin, että ne kestävät jatkuvia lataus ja purkauskertoja siten, että niitä voidaan purkaa enemmän ilman, että akun elinikä kärsii. Hyvä akun kestävyys perustuu akun kennon levyjen paksuuteen. Verkkoon kytkemättömissä järjestelmissä käytetään tavanomaisesti nimellijännitteeltään 12 voltin akkuja. Tavanomaisessa 12 voltin akussa on 6 sar-

jaan kytkettyä akkukennoa yksittäisen kennon nimellisjännitteen ollessa 0,2 voltia. Suuremmissä järjestelmissä voidaan käyttää myös 24 voltin jännitettä kytkemällä kaksi 12 voltin akkua sarjaan, jolloin saadaan nimellisjännite kaksinkertaistettua (Battery University 2017; Perälä 2017, 55-61.)



KUVA 14. AGM syväpurkausakku (mukaillen JN-Solar 2019c)

5.3.4 Invertterit

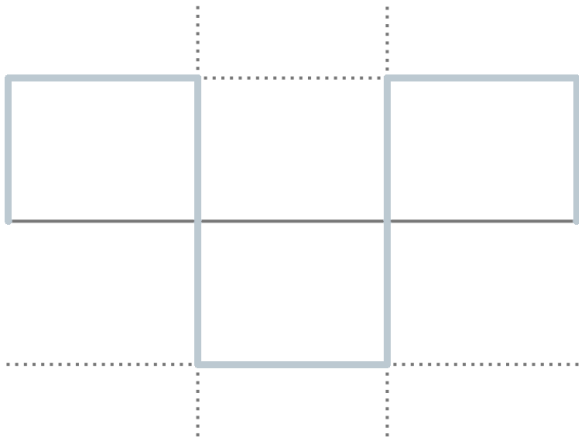
Inverttereitä eli vaihtosuuntaajia käytetään aurinkosähköjärjestelmissä, kun halutaan muuttaa aurinkosähköjärjestelmän tuottama tasavirta (DC, Direct Current) vaihtovirraksi (AC, Alternating Current). Invertteri muuttaa tasavirran vaihtovirraksi katkomalla aurinkopaneelin tai akun jännitettä ja vaihtaen sen suuntaa kasvattaen jännitteen moninkertaiseksi. Verkkoon kytkemättömässä järjestelmässä käytetään kielellisesti invertteri käsitettä, mutta verkkoon kytketyssä järjestelmässä käytetään yleensä yleisnimitystä verkkoinvertteriä tai vaihtosuuntaajaa (Perälä 2017, 75.; Aurinkovirta 2019.)



KUVA 15. Verkkoon kytketyn järjestelmän vaihtosuuntaaja. (mukaillen JN-Solar 2019)

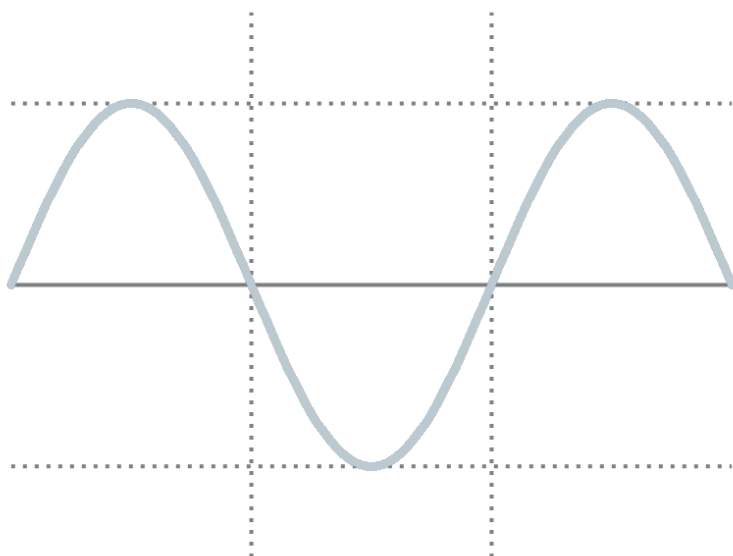
Inverttorien elinikä vaihtelee verkkoon kytketyn ja verkkoon kytkemättömien järjestelmien välillä. Verkkoon kytkemättömissä järjestelmissä akkuun liitettävien inverttereiden elinikää on vaikea arvioida, koska niiden elinikään vaikuttavat oleellisesti, asennuspaikka, jäähdytys, kytketyt kuormat ja niiden käyttö sekä invertterin laatu. Hyvälaatuisissa verkkoon kytketyissä inverttereissä elinikää on helpompi arvioida asetettujen standardien ja helpomman kuormien seurannan avulla. Verkkoon kytkettyjen invertteireiden elinikä on todennäköisimmillään 20 vuotta, joten järjestelmän kokonaiseliniän aikana se joudutaan vaihtamaan kerran. Invertterin vaihto on myös syytä huomioida järjestelmän kustannuslaskelmissa. (Tahkokorpi ym. 2016, 143-144.)

Verkkoon kytkemättömässä järjestelmässä invertteri ei ole pakollinen järjestelmän toiminnan kannalta, mutta sen avulla saadaan laajempi mahdollisuus käytettävissä laitteissa, kun voidaan käyttää vaihtosähköllä toimivia laitteita. Invertterityyppejä verkkoon kytkemättömässä järjestelmässä on kahdenlaisia, modifioituja siniaaltoinverttereitä ja aitoa siniaalto tuottavia inverttereitä. Modifioidut siniaaltoinvertterit ovat yksinkertaisia ja hinnaltaan huokeita. Invertteri tuottaa ns. modifioitua sinijännitettä, jonka jännitteen käyrämuoto poikkeaa selvästi sähköverkon vaihtojännitteen sinimuodosta. Hyötysuhteeltaan invertteri on edellä mainittua aitoa siniaalto tuottavaa invertteriä parempi. Hyötysuhde perustuu invertterin ottamaan joutokäyntivirran määrään, jonka se ottaa akusta kun kulutusta ei ole. (Perälä 2017, 75-77.) Modifioidun siniaalto invertterin jännitteen käyrämuoto on esitetty alla olevassa kuviossa (KUVIO 7).



KUVIO 7. Modifioidun siniaaltoinvertterin käyrämuoto. (Wikipedia)

Modifioidun siniaalto invertterin vaihtojännite on käyrämuodosta huolimatta yhteensopiva useimmille verkkosähkölaitteille. Yhteensopimattomuutta voi esiintyä herkemmällä laitteilla, kuten tietokoneilla, joissa modifioitu sinijännite voi aiheuttaa häiriöitä. Aitoa siniaaltoa tuottavat invertterit ovat huomattavasti kalliimpia kuin modifioidut siniaaltoinvertterit. Invertterin tuottaa tarkemmin jakeluverkon jännitemuotoa vastaavaa sinimuotoista vaihtojännitettä, jolloin se on yhteensopivampi herkempien laitteiden kanssa. (Perälä 2017, 75- 77.)



KUVIO 8. Aidon siniaaltoinvertterin käyrämuoto. (Wikipedia)

Aidon siniaalto invertterin toiminta on hyvin samankaltainen kuin modifioidussa siniaaltoinvertterissä. Invertteri katkoo paneelilta tai akulta tulevaa jännitettä vaihtaen sen suuntaa ja kasvattaen jännitteen moninkertaiseksi modifioidun siniaalto invertterin tapaan. Jännitteen

katkomisen ja kytkemisen ohella aito siniaaltoinvertteri katkoo myös virtaa. Virran katkomisen ja kytkeminen tapahtuu puolialtojen aikana useita kertoja. (Perälä 2017, 77.)

Verkkoon kytketty järjestelmä vaatii aina verkonliityntälaitteen eli vaihtosuuntaajan. Vaihtosuuntaajan avulla paneelin tuottama tasasähkö muutetaan vastaamaan kiinteistön sähköverkkoa sekä jakeluverkon vaatimuksia sekä liitetään yleisen sähköverkonrinnalle. Yleisesti verkkoinvertterin tuottama jännite tulee olla sinimuotoista vaihtojännitettä sekä sen tulee tahdistua yleisen sähköverkon taajuuteen. Verkkoon liitettävän invertterin tulee myös täyttää Suomalaisen SFS 50438 ja / tai saksalaisen VDE-AR-N-4105 asettavat standardin vaatimukset. Verkkoon kytketyssä järjestelmässä verkkoinvertteri voi olla 1–vaiheinen tai 3-vaiheinen. Vaiheistus on riippuvainen siitä, missä kiinteistön vaiheissa sähkönkulutusta halutaan korvata aurinkosähköjärjestelmän tuottamalla sähköllä tai syöttää takaisin sähköverkkoon ylijäämäsähkön muodossa. Kiinteistöjen sähköliittymät ovat lähes aina kolmivaiheisia, jolloin kulutus pyritäänkin jakamaan tasaisesti näiden vaiheiden kesken. (Perälä 2017, 78; Lehto 2017, 53; Motiva 2016c.)

Yksivaiheinen verkkoinvertteri kytketään vain verkon yhteen vaiheeseen. Yhteen vaiheeseen kytkettäessä vain tähän vaiheeseen kytketyt kiinteistön sähkölaitteet voivat hyödyntää tuotettua aurinkosähköä ja verkkoinvertteri voi syöttää ylijäämäsähkön verkkoon vain tämän kytketyn vaiheen kautta. Yksivaiheisten invertterien käyttö rajoittuu tällä hetkellä pienempiin, kokoluokaltaan alle 3kWp:n aurinkosähköjärjestelmiin, sillä markkinoilla ei ole saatavilla pienempiä 3-vaiheisia inverttereitä. Kolmivaiheinen verkkoinvertteri kytketään toimimaan verkon kaikissa kolmessa vaiheessa. 3- vaiheisella invertterillä saadaan tällöin aikaan suurin hyöty, kun aurinkopaneelilla tuotettua sähköä voidaan syöttää kaikkiin vaiheisiin ja täten se kulutetaan kohteen kaikissa sähkölaitteissa. Hyöty on kuitenkin riippuvainen kohteen sähkölaitteiden sähköisistä ominaisuuksista ja niiden ryhmittelyistä kiinteistön sähköjärjestelmässä. (Motiva 2016c.)

Yleisesti on-grid järjestelmissä vaihtosuuntaajia on yksi, jolloin käytetään termiä keskitetty vaihtosuuntaaja. Keskitetyn vaihtosuuntaajan sijaan paneelisiin voidaan asentaa paneelikohtaiset mikroinvertterit. Mikroinvertterien avulla saadaan varjostuksien aiheuttamat tehontuoton vähentymät minimoitua, jotka ovat ongelmana keskitettyjä vaihtosuuntaajia käytettäessä. Mikroinverttereitä käytettäessä on kuitenkin syytä huomioida, että järjestelmän investointikustannukset kasvavat, sillä komponenttien määräkin kasvaa. Lisäksi laitteiden huolto-

varmuus heikkenee ja takuuajat voivat poiketa perinteisestä keskitetystä vaihtosuuntaajasta.
(Motiva 2016c.)

6 AURINKOENERGIAN KERUUN TEHOSTAMINEN

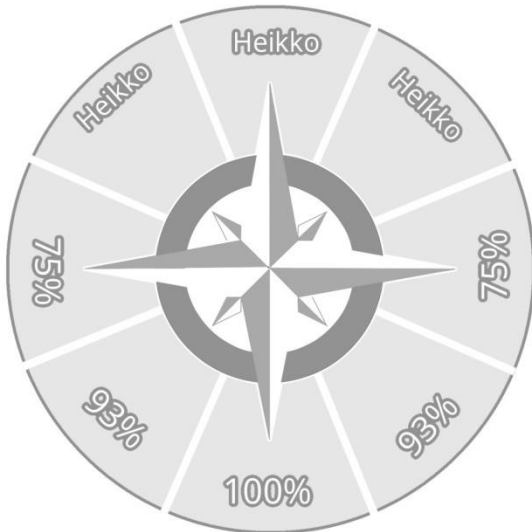
6.1 Sijainti

Aurinkopaneelit tulisi sijoittaa mahdollisimman varjottomaan paikkaan, siten että koko aurinkopaneeliston saisi tasaisesti säteilyä. Aurinkopaneeliin kohdistuvat varjostukset vaikuttavat merkittävästi energiantuotantoon, ja vaikutus on suurimmillaan Suomessa talvisin, kun aurinko on alhaalla ja varjot muodostuvat pitemmiksi kuin kesällä. Optimaalisin aurinkopaneelien sijoituspaikka on korkealla siten, että lähellä olevat auringon säteilyä estävät esteet ovat tarpeeksi kaukana siitä. Haitallisia esteitä ovat esimerkiksi, korkea puusto, rakennukset, lipputangot ja maan korkeuserot. (Tahkokorpi ym. 2016, 17; Motiva 2016f.)

6.2 Suuntaus

Aurinkopaneelien suuntauksella voidaan vaikuttaa energian tuottoon ja siihen, mihin aikaa vuorokaudesta tuottoa halutaan. Yleensä aurinkopaneelit pyritään suuntaamaan etelään eli kohti suoraan päiväntasaajaa nähden. Mahdollisten varjostavien esteiden takia aurinkopaneelit voidaan suunnata myös lännen ja idän väliselle alueelle, mutta tällöin energian tuotto jää hieman pienemmäksi kuin optimaalisella etelään suuntauksella. Paneelien suuntaus kaakon ja lounaan välille ei laske merkittävästi vuosituotantoa, mutta vaikuttaa lähinnä siihen, mihin aikaan vuorokaudesta tuottoa saadaan. (Tahkokorpi ym. 2016, 17-18)

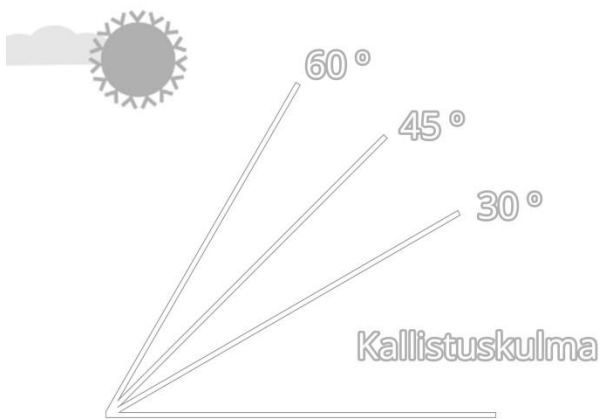
Suuntauksessa voidaan myös huomioida järjestelmän kuormitushuiput eli milloin sähköä käytetään eniten. Kuormitushuipun ollessa aamulla aurinkopaneelit kannattaa tällöin suunnata idän suunnalle ja vastaavasti länteen, jos kuormituksen huippu on illalla. Aurinkosähköjärjestelmän ympärivuotuisen tuoton kannalta suuntauksen kulma voi vaihdella etelän molemmin puoleisesti 45 asteella. Suuntauksen vaihtelusta johtuen järjestelmän kokonaistuotto vähenee optimitilanteeseen nähden vain alle 7 prosenttia. (Tahkokorpi ym. 2016, 17-18.) Suuntauksen vaihtelun vaikutus kokonaistuottoon on esitetty alla olevassa kuviossa (KUVIO 9).



KUVIO 9. Suuntauksen vaihtelun vaikutus kokonaistuottoon. (mukaillen Motiva 2016f)

6.3 Kallistuskulma

Kallistuskulma eli asennuskulma määritellään aurinkopaneeleissa asennuspisteen vaakatason ja auringon kulman välillä. Kallistuskulman määritelmä on esitetty alla olevassa kuviossa (KUVIO 10) (Käpylehto 2016a, 120.)



KUVIO 10. Kallistuskulman määritelmä. (mukaillen Käpylehto 2016a, 120)

Aurinkopaneelien edullisin kallistuskulma vaihtelee Suomessa voimakkaasti vuodenaikojen mukaan auringon korkeuden vaihdellessa horisontissa. Kesällä aurinko on korkealla ja talvel-

la matalammalla. Paneelien suuntaaminen vuodenaikojen mukaan on kannattavaa, mutta vuorokaudenvaihteluiden mukaan siitä saatava hyöty jää vähäiseksi, kun huomioidaan kiinteästi asennettavien aurinkopaneelien luotettavuus ja taloudellisuus, vaikka kaikkea säteilyä ei voida hyödyntää verrattain aurinkopaneelisiin joissa käytetään seurantalaitteita. (Tahkokorpi ym. 2016, 18; Perälä 2017, 94.)

Paneelien kallistuskulmaa säädetään yleensä kesän ja talven tuoton optimointia varten. Aurinkopaneeleista saadaan optimaalisin teho irti silloin, kun auringonsäteily tulee paneeliin nähden kohtisuoraan eli kun tulokulma on 0° astetta. Optimointia varten paneelien telineissä on hyvä olla kaksi eri asentoa kyseisiä vuodenaikoja varten, jotta suuntaus käy helposti. Kesällä paneelit voidaan kääntää loivaan asentoon, kun aurinko on korkeimmillaan. Talvisin paneelit voidaan kallistaa lähelle 90° astetta, kun aurinko on matalammalla. Suosituksena parhaalle kallistuskulmalle vuositason pidetään sijainnin astelukua, josta on vähennetty -20° astetta, sillä sijainnin leveysaste eli latitudi vaikuttaa keskimääräiseen auringon korkeuteen. (Tahkokorpi ym. 2016, 18; Perälä 2017, 94.)

Vuositason optimaalinen kallistuskulma voidaan laskea seuraavasti. Käytetään esimerkkikohteena kiinteistöä Jyväskylässä, Jyväskylän Paviljonki. Koordinaatit kohteessa Jyväskylän Paviljonki ovat $62^\circ 14' 23.65''$ N $25^\circ 45' 27.08''$ E (Jyväskylä Paviljonki 2019.)

$$a^\circ - b^\circ$$

jossa a° on sijainnin pohjoinen leveysaste
 b° on astelukuvakio -20°

jolloin

$$62^\circ - 20^\circ = 42^\circ$$

Vuositasolla optimaalisimmaksi kallistuskulmaksi saadaan täten 42° astetta Jyväskylän Paviljongissa. Keskimääräisenä optimikallistuksena aurinkopaneeleissa pidetään Suomessa yleisesti 45° asteen kallistuskulmaa, kun paneeli on suunnattu etelään. (Tahkokorpi ym. 2016, 18.)

Vuositasen optimaalinen kulma on täten riippuvainen sijainnista ja sijainti vaikuttaa tuotantoon optimikulmassa. Asiaa voidaan tarkastella vielä tarkemmin alla esitettyssä taulukossa (TAULUKKO 1). Taulukossa on nähtävissä vuosituotanto-optimi kallistuskulmalla sekä vertailukohtana eri kallistuskulmilla. Taulukossa aurinkosähköjärjestelmänä on käytetty nimellistehoaltaan yhden kilowatin järjestelmää ja aurinkopaneeleiden ollessa suunnattuna kohti etelää. (Käpylehto 2016a, 121.)

TAULUKKO 1. Vuosituotannon vaihtelu optimi kalliskulmaan nähden (mukaillen Käpylehto 2016a, 121.)

Sijainti	15°	35 °	60 °	Opt.kulma	Tuotanto opt.kulma
Jyväskylä	754 kWh	816 kWh	793 kWh	42 °	821kWh
Helsinki	811 kWh	869 kWh	837 kWh	40 °	872 kWh
Rovaniemi	709 kWh	790 kWh	790 kWh	47 °	802 kWh

6.4 Seurantalaitteet

Seurantalaitteiden avulla auringonsäteilyä voidaan seurata vuorokausivaihtelun mukaan, jotta säteilyn tulokulma pysyisi lähellä optimaalista 0° asteen tulokulmaa auringonsäteilystä saatavan tuoton kasvattamiseksi. Aurinkopaneeliin asennettu seurantalaite lisää siis energiantuottoa laitteen liikkeiden mukaan. Markkinoilla on tällä hetkellä saatavissa kolme erityyppistä seurantalaitetta, yhden–ja kahden akselin sekä atsimuutin seurantalaitteet. Kahden akselin seurantalaitteessa laite säätää aurinkopaneelin kallistuskulmaa ja suuntaa eli atsimuuttia siten, että tulokulma saadaan lähelle 0° astetta. Atsimuuttiseurantalaitteessa toiminta on samantapainen, mutta seurantalaite kääntyy vain suunnan mukaan eli idästä länteen kallistuskulman pysyessä kiinteänä. Yksinkertaisin laitteista on yhden akselin seurantalaite, joka kääntyy akselinsa ympäri samassa tasossa aurinkosähköpaneelin kanssa pysty – tai vaakasuunnassa. (Tahkokorpi ym. 2016, 19–20.)

Kahden akselin seurantalaitteella saadaan kerättyä eniten säteilyä laitteen hyödyntäessä kallistuskulman ja suunnan seurannan, joten se on seurantalaitteista tehokkain. Atsimuutti- ja yhden akselin seurantalaitteen ovat tehokkaimmillaan leveyspiirin vaihdellessa. Korkeilla leveyspiireillä atsimuuttiseuranta tuottaa hieman enemmän kuin yhden akselin seuranta, mutta vuorostaan matalilla leveyspiireillä yhden akselin seuranta tuottaa enemmän. Seurantalaitteiden avulla voidaan kesällä nostaa tuottoa teoreettisesti jopa 30 – 60 prosenttia, mutta on syytä kuitenkin huomioida, että seurantalaite vaatii toimiakseen energiaa ja huoltoa verrattain kiinteään auringonsäteilyn seurantaan. Nämä huomioidessa saadaan seurantalaitteella tuotettua lisäenergiaa noin 30 prosenttia, kun käytetään seurantalaitteen kahden akselin seurantalaitetta. (Tahkokorpi ym. 2016, 19–20.)

7 ON-GRID AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN HANKINTAPROSESSI

Aurinkosähköjärjestelmän hankintaprosessiin kuuluu monenlaisia vaiheita ja tarkastelukohtia ennen kuin järjestelmä on toiminnassa ja tuottoa saadaan, vaikka järjestelmien asennukset ja käyttöönotto ovatkin suhteellisen yksinkertaisia ja nopeita. Yleensä kuluttajan eli aurinkosähköjärjestelmää hankkivan asiakkaan ei tarvitse olla kovinkaan perehtynyt aurinkosähköjärjestelmiin, sillä järjestelmät hankintaankin usein avaimet käteen -periaatteella. Järjestelmän myyjän eli toimittajan ollessa esimerkiksi energianmyyjä tai valtuutettu sähköliike, joka vastaa suunnittelusta, asennuksista ja tarvittavista lupa-asioista. Usein kuitenkin aurinkosähköjärjestelmiä miettivät ja hankkivat kuluttajat ovat kiinnostuneet omasta energiasta, energiankulutuksesta ja uusiutuvista energiantuotantomuotoista, sillä aurinkosähköjärjestelmän hankinta ja sen avulla energian tuottaminen ovat arvovaltaista toimintaa.

7.1 Kiinteistön nykyinen sähkönkulutus

Aurinkosähköjärjestelmän hankintaprosessin alkuvaiheessa selvitetään kiinteistön nykyinen sähkönkulutus. Sähkönkulutustiedot tarvitaan järjestelmän mitoitusta ja taloudellista arviointia varten riippuen siitä haetaanko taloudellisesti kannattavaa ratkaisua vai kesäajan kulutuksen mahdollisimman hyvin kattavaa tuottoa. Tiedot sähkönkulutuksesta tarvitaan vuosi- ja kuukausitasolla ja etenkin kesäkuukausilta kulutustiedot tuli saada tuntikohtaisesti. Sähkönkulutustiedot ovat saatavissa ilmaiseksi omalta sähköyhtiöltä. (Motiva 2019.)

Tuntikohtaisilla kulutustiedoilla järjestelmän kannattavuudesta saadaan luotettavin arvio, sillä kuukausitasolla tarkastelu ei kerro paljoa siitä sähkön tuoton osuudesta, jonka tullaan käyttämään. Vertailemalla eri kuukausia päiväkohtaisesti tuntitasolla hahmottaa helpoiten omaan käyttöön tuotettavan ja verkkoon myydyn sähkön osuutta. Sähkönkulutuksen nykytilanteen tarkastelussa tulisi myös huomioida tulevaisuuden mahdolliset sähkönkulutukseen vaikuttavat tekijät, jos edessä on kulutukseen vaikuttavia remontteja tai hankintoja, kuten ilmalämpöpumpun hankinta tai lämmitysjärjestelmän ja sen ohjausjärjestelmän uusiminen. Ohjausjärjestelmien avulla sähkölämmityksen tai käyttöveden lämmityksen voi ajoittaa päivän aurinkoisille tunneille. (Motiva 2019.)

7.2 Kiinteistön sijainti ja säteilypotentiaali

Auringon säteilypotentiaalin mittaamiseen on kehitetty erilaisia kansainvälisiä aurinkotietokantoja ja kaupallisia aurinkoenergiasovelluksia, joiden avulla saadaan tietoa auringon tuotantopotentiaalista. Tunnetuimpana säteilypotentiaalin mittaus ja simulointi ohjelmana on yleisesti käytetty Euroopan Komission, PVGIS-simulointityökalua, jolla saadaan simuloitua esimerkiksi saatava auringonsäteily määrä ja erikokoisten järjestelmien vuotuiset tuotannot paikasta ja paneelien ominaisuuksista riippuen. Suomessa on kehitetty myös oma Ilmatieteenlaitoksen auringonsäteilyn mittausverkosto, johon on liitetty 25 eri mittausasemaa. Mittalaitosten lukumäärä ei kuitenkaan ole tarpeeksi iso Suomen tarpeisiin, sillä niistä ei saada riittävästi tietoa säteilyn alueellisista vaihteluista. Kokonaisvaltainen arvio koko maan auringonsäteilystä saadaan kuitenkin selvitettyä Ilmatieteen laitoksen satelliittien avulla. (Ilmatieteenlaitos 2017; Lehto 2017 72.)

Kiinteistön sijainnilla on merkitystä saatavaan säteilypotentiaalin, sillä vaakatasolle saatava kokonaissäteily määrä laskee Suomessa mitä pohjoisemmaksi mennään. Ilmatieteenlaitoksen yhden testivuoden mukaan etelässä saadaan 980kWh/ m², Keski-Suomessa 890kWh/ m² ja Pohjois-Suomessa 790kWh/ m². Pohjois-etelä suunnan vaihtelun lisäksi saatavaan säteilypotentiaalin vaikuttavat merkittävimmin yleisesti paikallinen sijainti Suomessa sekä siellä vallitsevat sääolosuhteet, kuten pilvisuus ja sateet. (Motiva 2018b; Erat 2008, 26-27.)

7.3 Kiinteistön arvonnousu

Kiinteistön arvonnousuun vaikuttavat ensisijaisesti Suomessa kiinteistömuodosta riippuen kiinteistön kunto, taloyhtiö ja tärkeimpänä kriteerinä sijainti Kiinteistömaailman (2017) tekemän tutkimuksen mukaan. Sijainnin vaikutus kiinteistön arvonnousuun johtuu sen mahdollistavasta vuokrauksen tai myynnin kasvusta, josta näiden perusteella kiinteistö saa arvonsa. Aurinkosähköjärjestelmien vaikutus kiinteistön arvon nousuun ja markkina-arvoon on vaikeasti mitattavissa. Aurinkosähköjärjestelmän lisääminen kiinteistöön investointina ei vaikuta samantyyllisesti kiinteistön arvon nousuun, kuten edellä mainitut kriteerit, vaikka sillä säästettäisiin tai tuotettaisiin energiaa. (Junnila 2015; Kiinteistömaailma 2017.)

Suomessa ei ole vielä ajankohtaisia tutkimuksia uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämisen vaikutuksesta kiinteistön arvonnousuun, koska kaupallisista kiinteistöjen aurinkosähköjärjes-

telmistä ei ole vielä tarpeeksi tilastoja. Suomen vertailukohteena kiinteistöjen arvonnousussa voidaan pitää esimerkiksi Yhdysvaltoja. Yhdysvalloissa aurinkosähköjärjestelmän paneelit tuottavat noin 6 prosentin markkinakorkolisän eli aurinkopaneeleihin voidaan investoida jopa 6 % asunnon myyntihinnasta, jotta kiinteistön myyntihetkellä aurinkopaneeleista saadaan sijoitetun investoinnin arvon verran takaisin. Mitä arvokkaampi asuinalue, sitä suuremman tuoton voi saada aurinkosähkön hyödyntämiselle kiinteistöissä (Junnila 2015; Auvinen ym. 2016, 83.)

Aurinkosähköjärjestelmien asennus on lisäinvestointi kiinteistöissä. Nämä lisäinvestoinnit kiinteistöissä perustuvat päätökselle, jossa joko investoidaan kiinteistöön tai mietitään, onko investointi järkevä kiinteistön arvon rinnalla eli tullaanko kiinteistöä vielä käyttämään tulevaisuudessa. Aurinkosähköjärjestelmäinvestointia voidaan pitää myös indikaattorina kiinteistölle siten, että kiinteistöä tullaan käyttämään tulevaisuudessakin. Toisin sanoen aurinkosähköinvestointi on laatutekijä kiinteistön arvonnousussa, joka viestii rakennuksen nykyaikaisuudesta. (Junnila 2015.)

7.4 Kannattavuus

Aurinkoenergian kannattavuus on kokonaisuutena monien tekijöiden summa ja laaja osa-alue, johon vaikuttaa ensisijaisesti kustannukset ja sitä kautta ensisijaisesti komponenttien hinnat, mutta myös asennus, suunnittelu sekä ylläpito niiden muodostaessa jopa kolmanneksen järjestelmän elinkaaren kokonaiskustannuksista. Kokonaisuutena aurinkoenergiainvestoinnin taloudellista hyötyä ja tuottoa tulisi tarkastella koko elinkaaren yli. (Auvinen ym. 2016, 32; Lehto 2017, 60.)

Aurinkoenergia on taloudellisesti kannattavaa Suomessa, kun itse tuotetulla aurinkoenergialla korvataan sähköverkosta ostettavaa energiaa. Lisäksi on tärkeää huomioida, että verkkoon syötettävän ylijäämänsähkön määrä jää mahdollisimman pieneksi, sillä sähköä ostavat verkkoyhtiöt maksavat tuotetusta sähköstä vain kolmasosan ostosähkön hintaan nähden. Nämä seikat huomioimalla on mahdollista saada tuotettu aurinkoenergia taloudellisesti kannattavaksi. (Auvinen ym. 2016, 32; Junnila 2015.)

Ostetun ja myydyn sähköenergian lisäksi, aurinkosähkön kannattavuuteen vaikuttavat seuraavat tekijät kiinteistötyypistä riippuen:

- Kiinteistön sähkönkulutus tunneittain kWh/h
 - Arvio ostettavan sähkön hinnan ja verojen muutoksista % / vuosi
 - Investointituki tai kotitalousvähennys alkuinvestoinnista, %
 - Investoinnin laskentakorko %
 - Aurinkosähkön oman käytön osuus %
 - Aurinkosähkön myyntihinta ylijäämäsihköinä verkkoon snt / kWh
 - Ylläpitokulut (invertterin vaihto, vakuutukset, huolto yms. kulut) % tai € / MWh
 - Aurinkosähkön vuosituotanto sijainnin mukaan kWh/kWp
 - Aurinkovoimalan sähköntuotannon vähenemä paneelien ikääntymisen johdosta noin 0,5 %/v [5]
 - Järjestelmän käyttöikä v
- .(Junnila 2015.)

Aurinkosähkijärjestelmän kannattavuuteen vaikuttavat ensisijaisesti järjestelmän kokonais-hinta, mutta sen ohella paneelien suuntaus ja sijainti, asennusalusta ominaisuudet eli energi-ankeruun tehostamiseen liittyvät vaikutukset, joita käsiteltiin aikaisemmassa *luvussa 6*. Näiden fyysisten tekijöiden lisäksi ostoenergian hinta sekä järjestelmän oikeanlainen mitoitus ja suunnittelu suhteessa kohteen kulutukseen vaikuttavat oleellisesti aurinkosähkijärjestelmän kannattavuuteen. (Auvinen ym. 2016, 32.)

Yhteenvetona voidaan todeta, että taloudellisesti järkevä ja kannattava aurinkosähkijärjestelmäinvestointi edellyttää huolellista suunnittelua, mitoitusta ja sijoittelua. Näiden seikkojen lisäksi on huomioitava aurinkosähköinvestointiin tarvittava pääoman korko, sillä se vaikuttaa merkittävästi aurinkosähkön tuotantohintaan. (Junnila 2015.) Investoinnin kannattavuutta voidaan arvioida erilaisten laskennallisten kannattavuusmittareiden avulla, joita tarkastellaan seuraavassa luvussa.

7.5 Aurinkosähköinvestoinnin kannattavuuden arviointi

Aurinkosähkijärjestelmän hankinnassa ja investoinnin kannattavuutta arvioidessa tulisi huomioida asiaa kokonaisuutena, vaikka usein merkittävimpänä tekijänä nähdään Auvisen

(2016, 37.) mukaan järjestelmän takaisinmaksuaika. Kannattavuuden tarkastelussa ja arvioinnissa tulisi huomioida, myös että järjestelmä tuottaa käytännössä ilmaista sähköä takaisinmaksuajan ja kuluja ei kerry etenäkään polttoaineen hankinnan muodossa. Aurinkosähköjärjestelmien komponentit ovat pääsääntöisesti pitkäikäisiä, sillä esimerkiksi aurinkopaneelien käyttöikä on lähes 30 – 40 vuotta. Järjestelmän elinkaaren aikana laitevaihdoksiakin joudutaan tekemään, mutta lähinnä invertterin eli vaihtosuuntaajaan osalta sen teknisen eliniän ollessa vähintään noin 15 vuotta. Lisäksi muita kustannuksia ovat mahdolliset huoltotyöt ja tarkistukset, kuten paneelien puhdistus sekä ulkopuolisista tekijöistä johtuvat laitteen rikkoutumiset. (Auvinen ym. 2016, 32-37; Tahkokorpi ym. 2016, 187-188.)

Aurinkosähköinvestoinnin kannattavuuden tarkasteluun on kehitetty erilaisia mittareita, joista osa soveltuu aurinkosähköinvestoinnin kannattavuuden arviointiin paremmin kuin toiset. Kannattavuutta voidaan arvioida aurinkosähköinvestoinnin nettonykyarvon (NPV, Net Present Value) avulla, jossa tarkastellaan tulo- ja menovirtojen nykyarvon. Tulevaisuuden tuottoja ei siis arvosteta yhtä suureksi kuin tuloja tänään. Nettonykyarvon ja takaisinmaksuajan lisäksi on mahdollista tarkastella kannattavuutta sisäisen korkokannan (IRR, Internal Rate Of Return) menetelmällä. Sisäisen korkokannan menetelmällä saadaan investoinnin prosentuaalinen tuottoaste aurinkosähköjärjestelmään sijoitetulle pääomalle tietyinä ajanjaksona. (Lehto 2017, 65-68; Auvinen ym. 2016, 32; Tahkokorpi ym. 2016, 188.)

Kannattavuuden arviointi edellä mainituilla mittareilla on kuitenkin ongelmallista, sillä ne sisältävät muuttuvia suureita ja niiden investoinnin aikajänne antaa väärän kuvan kannattavuudesta. Muuttuvien suureiden osalta tulisi tietää sähkön hintamuutokset oston- ja myynnin osalta vähintään seuraavan 30 vuoden ajalta. Aikajänne tarkastelussa ei huomioida aurinkosähköjärjestelmän pitkää teknistä käyttöikää ja toimintavarmuutta. Lisäksi investoinnin pitoaikaa ja jäännösarvoa ei huomioida eli aikaa jona järjestelmää käytetään ja arvoa, joka järjestelmällä on investointiajan päätyttyä eli pitoajan jälkeistä myyntiarvoa. Toisaalta taloudellinen elinikä on usein eri asia kuin tekninen elinikä. Esimerkiksi jos kuluttajan oletettu elinikä on vaikkapa 10 vuotta, niin onko tällä intressejä sähkөөn jota tulee ilmaiseksi 20 vuoden päästä? Jos perillisiä on arvostavatko he aurinkosähköä? (Auvinen ym. 2016, 32; Tahkokorpi ym. 2016, 188; Lehto 2017, 66.)

Aurinkosähköjärjestelmien pääsääntöiset kulut toteutuvat siis aurinkosähköjärjestelmän hankinnan alussa ja järjestelmän tekninen elinkaari on pitkä. Näin voidaan perustella, että inves-

toinnin kannattavuuden arvioinnissa tulisi käyttää energian tasoitetun tuotantokustannuksen arviointia eli (*LCOE, Levelized Cost Of Energy*) menetelmää. LCOE:n avulla voidaan laskea eri tuotantomuodoille vertailukelpoisia tuotantohintoja tuotantohinnan muodostuessa alkuinvestoinnista, käyttöiän aikaisesta tuotosta sekä ylläpitokuluista. Käytännössä hyvin yksinkertaistettuna lasketaan siis kustannukset kokonaisuutena suhteessa tuotettuun energiaan nähdessä ks. kaava X, josta saadaan tuotantohinta, joka yksiköksi senttiä / kilowattitunti tai euroa / megawattitunti. Lisäksi Holopaisen (2016, 20) mukaan voidaan sanoa, että LCOE vastaa sähköntuotossa ja kustannuksista omilleen pääsemiseen käytännön hintana. LCOE-tunnusluku ei ota huomioon taloudellista pitoajasta johtuvaa investoinnin riskiä. Jos kahdella investoinnilla on sama LCOE, mutta toisessa takaisinmaksuaika puolittuu. (Auvinen ym. 2016, 34; Lehto 66-67; Holopainen 2016, 20.)

$$LCOE = \frac{\text{Tuotetun energian kokonaiskustannus}}{\text{Tuotettu energiamäärä vuodessa}}$$

(Vähätiitto 2015, 21.)

LCOE menetelmässä huomioidaan tuotetun sähkön hinta koko elinkaaren ajalta, minkä takia siinä huomioidaan myös tulevaisuudessa tapahtuvien kustannuksien muuttaminen nykyrahasiksi. (Holopainen 2016, 20-21.)

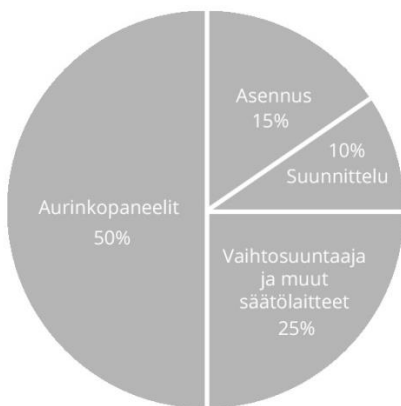
Kannattavuuden laskennallisiin metodeihin perustuen on kehitetty erilaisia kannattavuuslaskureita, joita on tarjolla eri tahoilla eri internetsivustoilla. Suomalainen Finsolar-hanke on kehittänyt puolueettoman kannattavuuslaskurin vuonna 2015, joka on kaikkien käytettävissä. Laskurin avulla voidaan laskea aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta investointina takaisinmaksuajan, nettonykyarvon ja LCOE:n avulla. (Lehto 2017, 70.) Tässä työssä aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta on arvioitu työn toiminnallisen osan produktiossa, joka löytyy työn liitteistä. LIITE 1. Tietopaketti verkkoon kytketystä aurinkosähköjärjestelmästä asiakkaalle. Produktion kannattavuusarvioinnissa on hyödynnetty Finsolar-hankkeen laskuria

7.6 Hankintakustannukset ja hinnat

Aurinkosähköjärjestelmän kustannukset muodostuvat pääsääntöisesti energian keruu -ja varastointijärjestelmän investointikustannuksista. Investointikustannuksien muodostumiseen

vaikuttaa oleellisesti se, onko järjestelmä verkkoon kytketty vai verkkoon kytkemätön sekä järjestelmän koko, toimittaja ja toimitusmuoto. (Tahkokorpi 2016,197; Motiva 2017b.)

Verkkoon kytketyssä järjestelmässä kokonaisuutena hintaan vaikuttavia tekijöitä ovat aurinkopaneelit, invertteri, säätölaitteet, tarvikkeet, suunnittelu ja asennustyö, aurinkopaneelit muodostavat tavallisesti noin puolet hinnasta. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kustannuksien karkea jakautuminen on esitetty alla olevassa kuviossa (KUVIO 11).



KUVIO 11. Verkkoon kytketyn järjestelmän hankintakustannusten jakautuminen (mukaillen Motiva 2017b)

Kustannuksien jakautumisessa kuvioon 11 nähden on huomioitavaa, että ne ovat riippuvaisia edellä mainituista järjestelmän tyypistä, koosta, kohteesta, toimittajasta ja toimitusmuodosta. Asennuksien ja suunnittelun osuus jakautumisessa on riippuvainen kohteen vaativuudesta, sillä kohteiden suunnittelun vaikeusaste vaihtelee. Tämän myötä myös suunnittelu prosessin pituus ja siitä aiheutuvat kustannukset vaihtelevat. Ylimääräisiä suunnittelukustannuksia saattaa kertyä etenkin asennusalustan vaativuudesta, kuten kattorakenteesta ja harjakorkeudesta. Lisäksi asennuskuluissa voidaan säästää jos järjestelmä asennetaan uudiskohteeseen, jolloin järjestelmä voidaan asentaa muun rakentamisen yhteydessä. Jos paneelin asennuspaikalle tarvitaan telineet tai on muita erikoistarpeita, on asennuksen yksikkökustannus sitä pienempi mitä suurempi paneelijärjestelmä asennetaan. (Motiva 2017b; Lehto 2017, 63.)

Aurinkosähköjärjestelmien hinta on viimeisen vuosikymmenen aikana laskenut voimakkaasti. Hinnan laskuun on vaikuttanut aurinkopaneelien hinnan lasku, jonka myötä hinnat ovat las-

keneet maailmanlaajuisesti liki 80 prosenttia. Nopeasta hinnan laskusta aiheutuneet suuret tuotantomäärät ovat kuitenkin vuonna 2016 aiheuttaneet aurinkopaneeleissa käytettävän piin kallistumisen, jonka seurauksena aurinkopaneelien hinnan lasku on tällä hetkellä pysähtynyt. Samalla tavoin kuin kriittisistä metalleista todettiin aiemmin, ei piistä sinänsä ole pulaa maan-kuoressa, mutta sen louhimisessa ja rikastamisessa voi tulla pullonkauloja ainakin väliaikaisesti. (Motiva 2017b.)

Aurinkosähköjärjestelmien hintataso ilmoitetaan yleisesti muodossa euroa € / piikkiwatti Wp tai euroa € / piikkikilowatti kWp eli hinnat suhteutettuna järjestelmän nimellistehoon. Hintatasojen tarkastelussa on huomioitava globaalien ja Suomen hintatasojen erot johtuen Suomessa yksityishenkilöille hintaan lisättävässä arvolisäverosta, joka vuonna 2019 on 24 %. (Motiva 2017b.) Verkkoon kytkettyjen ja kytkemättömien aurinkosähköjärjestelmien erilaisia hintoja on esitetty vuodelta 2016 alla taulukoituna. Hinnat ovat laskettu suhteutettuna järjestelmän nimellistehoon sekä ilman arvolisäveroa 24 %. ks. taulukko (TAULUKKO 2).

TAULUKKO 2. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasoja Suomessa vuonna 2016 (mukaillen Auvinen & Jalas 2017.)

Koko: (kW)	Sovelluskohteet:	Hinta: (kWp) (ALV 0%)
alle 10 kW	Aurinkosähköä tuotetaan omakotitaloissa ja muissa pienissä rakennuksissa omaan kulutukseen.	1300 - 2000 € / kWp
10 - 250 kW	Aurinkosähköä tuotetaan toimisto- ja kaupparakennuksissa ja kuntakiinteistöissä omaan kulutukseen.	1050 - 1350 € / kWp
yli 250 kW kattoasennus	Aurinkosähköä tuotetaan teollisuus- tai isoissa kaupan alan kiinteistöissä omaan kulutukseen.	950 - 1300 € / kWp
yli 1000 kW maa-asennus	Teollisen mittakaavan aurinkovoimalat, joista tuotanto myydään sähköpörssiin. Voimalaitoksia ei vielä ole Suomessa.	1000 - 1200 € / kWp
Yli 1 kW aurinkosähkö - ja akkujärjestelmät	Aurinkosähköä tuotetaan sähköverkon ulkopuolisiin kesämökkeihin ja muihin pieniin rakennuksiin.	3500 € / kWp
Alle 1 kW aurinkosähkö - ja akkujärjestelmät	Aurinkosähköä tuotetaan veneissä, asuntovaunuissa ja pienillä kesämökeillä omaan kulutukseen.	5000 € / kWp

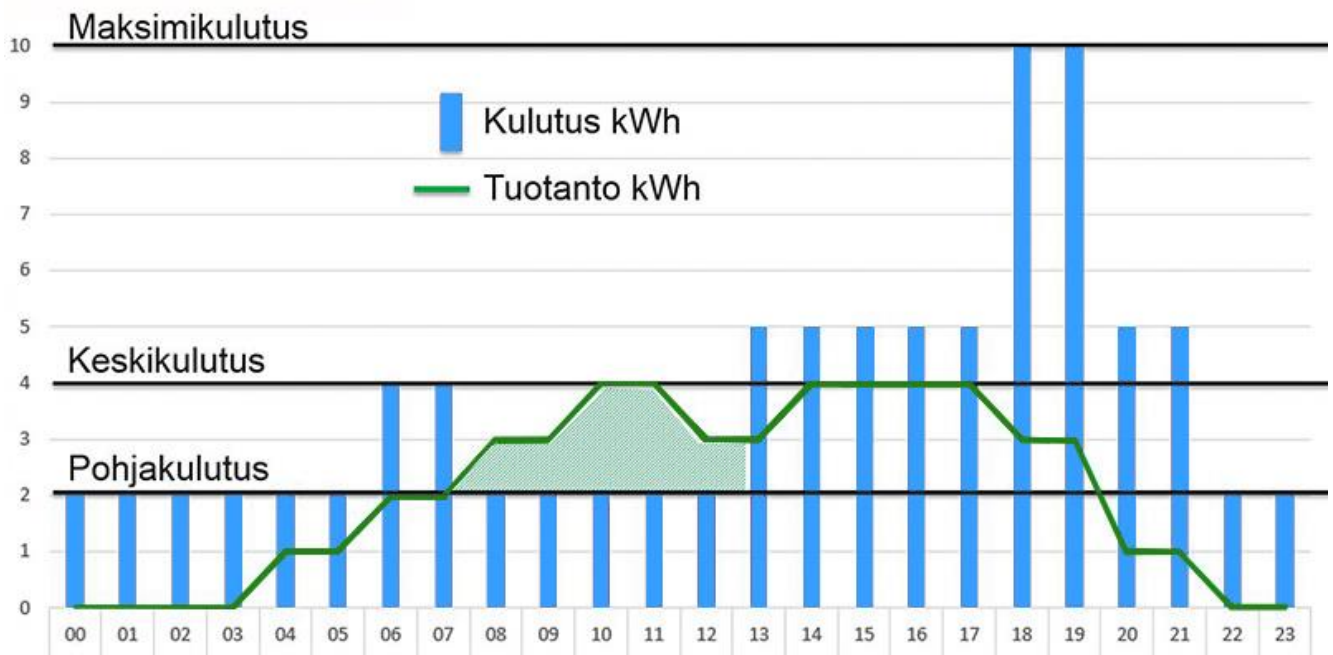
7.7 Mitoitus

Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä on monia. Mitoituksen ylärajana on kohteen sähköliittymän pääsulakkeen koko. Pääsulakkeen koon mukaisesti verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän nimellisvirta voi olla korkeintaan yhtä suuri kuin kiinteistön sähkökeskuksen etusulakkeen nimellinen arvo. Käytännössä nimellisvirrat eivät kuitenkaan ylitä normaaleissa kiinteistöissä, jolloin niistä johtuvat ongelmat mitoituksessa ovat harvinaisia. (Lehto 2017, 74-75.)

Lähtökohtaisesti verkkoon kytketyissä järjestelmissä optimaalisena mitoituksena on sellainen järjestelmä, jossa tuotettu sähkö kulutetaan itse. Ylijäämästä ei makseta ainakaan nykyisin sellaista korvausta, että olisi kannattavaa investoida kokonaisteholtaan suurempaan eli ylimitoitettuun järjestelmään. Ylimitoittamisen haittapuolena on järjestelmän takaisinmaksuajan pidentyminen kun viimeisenä mukaan tulleet tuotetut energiayksiköt ovat arvoltaan pienemmät kuin ensimmäiset. Pieni ylimitoitus voi kuitenkin tulla huomioon, jos mahdollisesti suuria kulutuksia ohjataan päälle auringon tuotantohuipun aikana, jolloin tuotannon omavaraista käyttöä saadaan hyödynnettyä eniten. (Orrberg 2017.)

Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen määrittämisessä lähdetään ensisijaisesti tarkastelemaan kohteen sähkönkäyttöä, tarpeita ja mahdollisuuksia sekä asennusolosuhteita ja niiden kokonaisvaikutusta mitoituksen kannalta. Näiden tarkastelujen jälkeen voidaan laskea mitoitus. Kohteen nykyisessä sähkön käytössä, tarpeissa ja mahdollisuuksissa huomioidaan kohteen nykyinen sähkönkulutus ja sen jakautuminen. Uudisrakennusten osalta kulutustietoja ei ole saatavilla, joten niissä kulutuksen suuruutta ja aikajakaumaa arvioidaan muiden samankaltaisten kiinteistöjen kulutustietojen pohjalta. Kohteen sähkökuormat ja niiden muokattavuus aurinkopaneeleista saatavan tehon hyödyn maksimoimiseksi on myös oleellista, kun mietitään mitoitusta nykyhetken tilanteen kannalta, mutta myös tulevaisuus huomioiden. Tehon kulutuksen kasvaessa tarvitaan usein suurempaa tehokapasiteettia esimerkiksi lämmitysjärjestelmän tai jonkin muun paljon kuluttavan laitteiston hankinnan myötä. Kohteen asennusolosuhteet vaikuttavat myös mitoitukseen. On kiinteistökohtaista kuinka paneelit saadaan asennettua ja miten ne mahtuvat olemassa olevalle kattorakenteelle. Paneelien ja paneeliryhmien suuntaukset, paneelien lämpötilat ja varjostumat on huomioitava jotta olosuhteet eivät kokonaisvaltaisesti heikennä järjestelmän toimintaa. (Lehto 2017 74-75.)

Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen ensisijaisena lähtökohtana on selvittää kohteen eli kiinteistön sähkönkulutus. Olemassa olevien kiinteistöjen osalta on saatavilla erilaisia mitattuja kulutusprofiileja sähkön kulutuksesta, joista nähdään kohteen sähkön kulutus vuosi, kuukausi, päivä ja tuntitasolla. Kulutusprofiilit ja tiedot ovat saatavissa omalta sähköyhtiöltä, jonka myötä niissä on nähtävissä myös mitoituksissa tarvittavat tiedot, kiinteistön maksimi, keski – ja pohjakulutuksista. (Orrberg 2017.) Kulutusprofiilia selventää alla oleva pylväsdiagrammi (KUVIO 12), jossa on esitetty sähkönkulutuksen ja tuotannon profiilit.



KUVIO 12. Sähkönkulutuksen ja tuotannon profiili. (mukaillen Orrberg 2017.)

Kulutusprofiilien selvittämisen jälkeen mitoitusperusteeksi valitaan, yksi seuraavista: pohjakulutus, keskimääräinen kuukausikulutus, nettonollaenergiamitoitus eli keskimääräinen kulutus vuoden aikana tai energiaomavaraisuus sähkön osalta. Mitoitus ei välttämättä pohjautu pelkästään edellä annettuihin kulutustietoihin, jos käytettävissä olevien asennuspaikkojen ja pinta-alojen tai järjestelmään käytettävissä oleva budjetti osoittautuu merkittävämmäksi päätöksentekokriteeriksi. (Lehto 2017; 76-78.)

Kulutustietojen pohjalta tehtävässä mitoituksessa käytetään usein pohjakulutustietoon perustuvaan mitoitusta, jolloin mahdollisimman suuri osa tuotetusta sähköstä saadaan hyödynnettyä ja kulutettua itse. Tällöin säästyään ylimitoitukselta ja sähkönverkkoon syötetään hyvin

vähän, tai ei ollenkaan sähköä ylijäämäsihköön muodossa. Mitoituksessa huomioidaan myös kannattavuutta, sillä ylimitoitettu järjestelmässä takaisinmaksuaika pitenee ja tuotetun sähköön keskimääräinen arvo pienenee. (Motiva 2018a; Lehto 2017, 77.)

Pohjakulutus tarkastelussa etsitään kuukausi, jolloin kohteessa on pienin kokonaiskulutus, omakotitaloissa se on usein kesäkuu, heinäkuu- tai elokuu. Kuukausikohtaisen pohjakulutuksen tarkastelun lisäksi voidaan hyödyntää tuntikohtaisia tuntikulutustietoja. Tuntikulutuksen minimi, johon mitoitus perustuu tässä vaihtoehdossa, on siis käytännössä energiamäärä, jonka kiinteistö kuluttaa vähintään jokaisena tuntina kun aurinkosähköön tuotanto on aktiivista. Tuntikohtaista mitoitusta käytettäessä on myös huomioitava, että usein kesäisin kuormat ovat normaalisti päivisin pienimillään, jolloin pohjakulutukseen perustuvassa mitoituksessa järjestelmä saattaa jäädä helposti liian pieneksi. (Motiva 2018a; Lehto 2017, 77.)

Keskimääräisen kuukausikulutukseen perustuvassa mitoituksessa aurinkopaneeleilla tuotettua sähköenergiaa käytetään niin ikään pääosin omassa kiinteistössä. Tässä menetelmässä ideana on, että verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän koko kasvaa vähän isommaksi jolloin päivänajan tuotto saadaan paremmin vastaamaan päiväajan kulutusta. Kolmantena kulutusperiaatteena voidaan käyttää keskimääräistä kulutusta vuoden aikana eli nettonollaenergiamitoitusta. Nettonollaenergiamitoituksessa järjestelmän nimellisteho eli fyysinen koko kasvaa huomattavan paljon jolloin matalan tehontarpeen aikana sähköenergiaa joudutaan syöttämään takaisin sähköverkkoon, jonka myötä nettonollaenergiamitoituksella mitoitettun järjestelmän kannattavuus laskee. Kokonaisuutena voidaan sanoa, että kulutustietoihin perustavalla mitoituksella mitoitusperiaatteesta riippuen saadaan tarkka pohja järjestelmän enimmäistuottotarpeelle. (Lehto 2017, 77-78.)

Sähkönkulutus ja aurinkosähköjärjestelmän tuotanto vaihtelevat vuorokausien ja vuodenaikojen mukaan kiinteistöstä riippuen. Kulutus on siis riippuvainen paitsi säästä myös sähkönkuluttajan tottumuksesta ja vuorokausisyklistä eli milloin sähköä käytetään. Esimerkkinä voidaan käyttää omakotitalon kulutuksen keskittymistä. Omakotitaloissa aurinkoisen ajan kulutukset saattavat jäädä varsin pieniksi verrattuna koko päivän energiakulutukseen, kun kulu- tushuiput sijoittuvat usein aamuun ja iltaan. (Motiva 2018a; Orrberg 2017.)

Kulutuksen vaihtelevuutta voidaan tasoittaa kiinteistöissä automaation avulla eri vuorokaudenaikojen välillä. Pohjakulutusta voidaan lisätä keskipäivällä eli kulutusta siirretään keskipäivään, jolloin aurinkosähkön tuotanto on korkeimmillaan. Käytännössä kulutukset eli suuret sähkökuormat voivat kytkeytyä päälle, kun tuotanto on korkeimmillaan. Näin suuremmistakin järjestelmistä saadaan kannattavampia. Esimerkkinä omakotitaloissa voidaan käyttää veden lämmittämistä lämminvesivaraajalla, kun tuotanto on korkeimmillaan. Tuotannossa kuukausivaihtelut voidaan ottaa myös huomioon myymällä parhaana tuotantoaikana tuotettu sähkö ylijäämänsähkön muodossa verkkoon. Tällä varmistetaan tuotetun aurinkosähkön riittävydestä pitemmäksi ajaksi omiin tarpeisiin kevät – ja syysaikoina ja vuositason kokonaistuotto saadaan suuremmaksi. (Motiva 2018a; Orrberg 2017.)

8 TIETOPAKETIN RAKENTUMINEN JA KUVAUS

Opinnäytetyön käytännön osuudessa tuotettiin toimeksiantajalle käytännön tietopaketti aurinkosähköstä eli produktio, joka painottuu verkkoon kytkettyihin aurinkosähköjärjestelmiin. Tietopaketti tulisi palvelemaan yrityksen asiakkaita asiakassuhteen alussa ja tarpeen tullen myös työntekijöiden tietolähteenä yleisesti aurinkosähköstä ja aurinkosähköjärjestelmistä. Toimeksiantajien asiakkaiden näkökulmasta tietopaketti tietoa verkkoon kytketyistä aurinkosähköjärjestelmistä ja niiden kannattavuuden arvioinnista.

Tietopaketti voisi sisältää esimerkkikohteen kustannusarvion tai taloussuunnitelman, jonka pohjana käytettäisiin konkreettista mittausdataa jo olemassa olevista aurinkosähköjärjestelmistä. Toimeksiantajan näkökulmasta tietopaketti tarjoaisi, ajankohtaista ja tietoon pohjautuvaa materiaalia, jota voitaisiin esittää. Lähtökohtaisesti pystyttäisiin vastaamaan siihen, että minkälaista järjestelmää voitaisiin suositella kullekin asiakkaalle huomioiden asiakkaille oleellisen näkökulman eli kokonaistaloudellisuuden. Kokonaistaloudellisessa näkökulmassa huomioidaan järjestelmän hankinta hinnan lisäksi mm. pidemmän aikavälin kestävyys, tarvittavat huollot ja päivitykset.

Aurinkosähköjärjestelmät ovat itsessään hyvin kokonaistaloudellisia, sillä ne ovat hyvin stabiileja ja kestäviä sekä huoltojen - ja päivityksien tarve ovat vähäisiä aikaisempaa teoriaosuuteen viitaten. Tietopaketin rinnalla opinnäytetyön alussa teoriaosuudessa käsitellyt perusteet aurinkosähköstä ja aurinkosähköjärjestelmistä toimivat käytännön tietopaketin rinnalla työn teoreettisena tietoperustana, sivuten tietopaketissa käsiteltyjä asioita.

8.1 Tietopaketista toiminnalliseksi opinnäytetyöksi

Tässä luvussa käsitellään toiminnallisen opinnäytetyön muotoja ja peruseriaatteita sekä tämän opinnäytetyön teoria- ja työosuuden soveltuvuutta. Tarkastellaan myös itse tietopaketista toiminnalliseksi opinnäytetyöksi.

8.1.1 Toiminnallinen opinnäytetyö

Opinnäytetyöt pohjautuvat usein johonkin tutkimukseen ja sen suunnitteluun, jolloin puhutaan perinteisesti tutkimuksellisesta opinnäytetyöstä. Toiminnallinen opinnäytetyö on vaihtoehto tutkimukselliselle työlle. Toiminnallinen opinnäytetyö pitää sisällään raportin eli teoriaosuuden lisäksi jonkinlaisen konkreettisen esityksen eli Produktion. Produktio voi olla käytännön toiminnan ohjeistamista, opastamista, toiminnan järjestämistä tai järjeistämistä. Konkreettisten tuotoksien mahdollisuudet toiminnallisessa opinnäytetyössä ovat laajat. Tuotos voi olla käytännössä ohje, ohjeistus tai opas kuten esimerkiksi turvallisuusopas, kirjan, kansion tai vihkon muodossa. Lisäksi se voi olla jonkin tapahtuman, kuten messun tai konferenssin järjestelyä tai suunnittelua. (Vilkka & Airaksinen 2003, 9.)

Toiminnallisessa opinnäytetyössä on siis edellä mainitun yhteenvedona aina jokin konkreettinen tuotos, mutta yhtenä tärkeänä yhteisenä piirteenä toiminnallisille töille pidetään Vilkan ja Airaksisen (2003,51.) mukaan, että työstä on selkeästi tunnistettavissa työn päämäärä ja että työ on visuaalisesti ja viestinnällisesti kokonaisilmeeltään tasapainossa. Toiminnallisen opinnäyte työn tavoitteena on myös olla työelämälähtöinen. Työelämälähtöisyyden lisäksi tärkeänä pidetään, että toiminnallisella opinnäytetyöllä olisi aina jokin tilaaja eli toimeksiantaja. Toimeksi annetussa työssä tekijä pääsee näyttämään kiinnostusta ja osaamistaan aiheeseen laajemmin sekä kehittämään itseään ammatillisesti jopa mahdollisen tulevaisuuden työpaikan valossa. (Vilkka & Airaksinen 2003, 9-16, 51.)

Toiminnallisen opinnäytetyön osaksi on yleensä Vilkan ja Airaksisen (2003, 26.) mukaan liitetty myös toimintasuunnitelma työstä erillisenä osiona. Toimintasuunnitelmassa pohditaan opinnäytetyön ideaa siten, että tavoitteet työssä ovat tiedostettuja, harkittuja ja perusteltuja. Käytännössä toimintasuunnitelmalla jäsenetään mitä, miten ja miksi jotakin tehdään. Tässä toiminnallisessa työssä varsinaista toimintasuunnitelmaa ei ole toteutettu, koska työtä on haluttu rajata ja yksinkertaistaa kokonaisvaltaiseen toimintasuunnitelmaan nähden, joka saattaa venyä usein suhteellisen pitkäksi. Toimintasuunnitelma ideaa on kuitenkin hyödynnetty toiminnalliseen opinnäytetyöhön kuuluvalla tavalla perustellusti tulevissa luvuissa 8.1.2 Käytännön tietopaketin tarve toimeksiantajayrityksessä, 8.2 Käytännön tietopaketin rakentumisen vaiheet, 8.2.1 Käytännön tietopaketin suunnittelu ja 8.2.2 Käytännön tietopaketin toteutus. (Vilkka & Airaksinen 2003, 26-28.)

8.1.2 Tietopaketin tarve toimeksiantaja yrityksessä

Käytännön tietopaketin tarve aurinkosähköstä ja verkkoon kytkemättömistä aurinkosähköjärjestelmistä toimeksiantajayrityksessä huomattiin yksinkertaistettuna siten, että aikaisemmin ei ole ollut mitään valmista tietopakettia, jota voitaisiin esitellä asiakkaalle suunnittelupalveluja tarjotessa ja etenkin asiakassuhteen alussa. Tarkempaa tarvetta ja sitä miten työhön päädyttiin, selvitettiin toimeksiantajayrityksestä pienen sähköpostihaastattelun avulla. Sähköpostihaastatteluun on kerätty yhteiset vastaukset yrityksen työntekijöiltä, jotta tietopaketin tarpeesta saataisiin kokonaisvaltainen kuva. Sähköpostihaastattelussa esitettiin seuraavat kysymykset:

- Miten aikaisemmin on lähestytty asiakkaan kiinnostuessa tai teidän tarjotessa palvelua aurinkosähköön liittyen?
- Minkä pohjalta tarve tietopakettiin on rakentunut ja miten se on huomattu?
- Minkälaisia ongelmia kohtia on ollut aikaisemmin, kun tietopakettia ei ole ollut?

Asiakkaan lähestyminen ja heidän tarvitsemansa palvelu on vaihdellut hankekohtaisesti. Usein osa asiakkaista ilmoittaa jo tarjouspyyntövaiheessa, että heidän kohteeseen halutaan aurinkosähköjärjestelmä. Tällöin toimeksiantajayrityksen palveluksi jää järjestelmän mitoittaminen parhaaksi katsotulla tavalla, joka on yleisesti pohjautunut LVI-tekniikan kesäkäyttöön. Aurinkosähköjärjestelmiä suunniteltaessa asiat selvitetään hankekohtaisesti, sillä järjestelmät ovat yksilöllisiä. Asiakkaalle esitellään toteutusratkaisu, kustannusarvio ja takaisinmaksuaika. Toimeksiantajayritys voi tarjota aurinkosähköjärjestelmän toteuttamista asiakkaalle hankkeiden alkuvaiheessa, kun kohteesta ollaan laatimassa hankesuunnitelmaa. Tällöin määritellään myös hankkeen kokonaisbudjetti. Kokonaisbudjetin osalta asiakkaat ovat yleisesti olleet erittäin kiinnostuneita kuulemaan hyödyistä ja kustannuksista. (Vähäkangas 2019.)

Tietopaketin tarve toimeksiantajayrityksessä on aikaisemmin huomattu esimerkiksi siten että aurinkosähköön liittyvää materiaalia on jouduttu etsimään internetistä projektikohtaisesti. Tämä on vienyt paljon työaika. Tietopaketin avulla voitaisiin jatkossa lähtökohtaisesti säästää työaika etenkin, kun tieto olisi kaikille helposti saatavilla yhtenä kokonaisuutena. Tiedon ollessa yhtenäisenä kokonaisuutena ja samansisältöisenä, kaikki työntekijät omaksuvat samaa tietoa, jolloin asiakkaalle toimitettavat perustiedot eivät ole ristiriitaisia keskenään. Lisäksi tietopaketti voidaan toimittaa asiakkaalle heidän halutessaan nopeasti kattavaa ja tarkempaa tietoa heitä kiinnostavasta aiheesta, sillä osa asiakkaista ei ole pelkästään teknisistä yksityiskohdista kiinnostuneita. Tiivistettynä tietopaketin avulla säästetään aikaa, varmistu-

taan tietotason yhtenäisyydestä sekä annetaan asiakkaalle ammattimainen kuva toiminnasta. (Vähäkangas 2019.)

8.2 Tietopaketin rakentumisen vaiheet

Käytännön tietopaketin rakentumisen vaiheisiin sisältyy kokonaisuutena opinnäytetyön teoriaosuus, käytännön osuus eli toiminnallinen osuus sekä toiminnallisessa osuudessa tuotettu tuotos tietopaketin muodossa. Rakentumisen vaiheet pitävät sisällään suunnittelun ja lopullisen toteutuksen, joita käsitellään seuraavissa luvuissa.

8.2.1 Tietopaketin suunnittelu

Käytännön tietopaketin pohjana ennen varsinaista tietopaketin suunnitteluvaihetta oli tutustua ja hankkia tietoa yleisesti aurinkosähköstä ja aurinkosähköjärjestelmistä. Tutkimisen ja tiedon hankinnan ohella saadut tiedot kasattiin opinnäytetyön teoriaosuudeksi, joka toimii myös työssä toteutetun produktion pohjatietona eli viitekehyksenä. Teoriaosuudessa on keskitytty pääpainoltaan verkkoon kytkettyihin aurinkosähköjärjestelmiin, sillä produktion tulee sisältää tietoa verkkoon kytketyistä aurinkosähköjärjestelmistä. Kattavan teoriaosuuden ja keräämisen jälkeen aloitettiin itse käytännön tietopaketin suunnitteluvaihe.

Tietopaketin valmistumisen aikataulusta keskusteltiin yhdessä työn toimeksiantajan kanssa. Toimeksiantajan puolesta tietopaketin valmistumiselle ei määritelty tarkempaa valmistusajan kohtaa, sillä ennen tietopaketin valmistumista uusien asiakkaiden tiedottaminen tapahtuisi vanhalla mallilla ilman konkreettista tietopakettia. Valmistumiselle ei siis määritelty ajankoh-
taa, mutta alustavaksi tavoite oli saada se toimeksiantajan käytettäväksi huhtikuun 2019 loppussa.

Käytännön tietopaketin suunnitteluvaihe aloitettiin tutustumalla ja hankkimalla tietoa muilta aurinkosähköalalla toimivilta yrityksiltä ja heillä mahdollisesti tarjolla olevasta tiedosta asiakkaan näkökulmaa silmällä pitäen. Aurinkosähköalan yrityksistä tiedonhankinta nojautui yrityksiin, jotka tarjoavat suunnittelua sekä aurinkosähköjärjestelmien myyntiä. Tiedon hankinnassa ja tutustumisessa painoarvona oli saada työn tietopaketin suunnitteluun ja hahmottamiseen alkusysäystä, jonka pohjalta tietopaketti lopulta rakentuisi. Olemassa olevilla yrityksillä ei tietohakujen perusteella ollut saatavissa aurinkosähköön liittyvää tietopakettia vaan asia-

kaan tiedottaminen pohjautui verkkosivuilla oleviin tietoihin, joissa vastattiin yleisesti asiakkaan esittämiin kysymyksiin aurinkosähköön liittyen. Yrityksiä lähestyttiin myös sähköpostitse yhteydenotolla koskien mahdollista tietopakettia, mutta vastauksia ei kuitenkaan kyselyn osalta saatu.

Toimeksiantajayrityksen mukaan asiakkailta on aikaisemmin saatu kysymyksiä aurinkosähköstä ja aurinkosähköjärjestelmistä muun muassa seuraavanlaisin kysymyisin:

- Minkä kokoinen järjestelmä kohteeseemme kannattaa hankkia?
- Paljonko xx kW kokoinen järjestelmä maksaa?
- Paljonko järjestelmä tuottaa vuodessa sähköä?
- Kuinka pitkä takaisinmaksuaika on?
- Kuinka pitkä järjestelmän käyttöikä on ja minkälaista huoltoa se tarvitsee?

Asiakkaiden kysymysten perusteella tietopaketille pystyttiin rakentamaan pohja. Kysymyksiä käytettiin myös herättelemään lukijan kiinnostusta kappaleen sisältöön siihen liittyvän kysymyksen avulla.

8.2.2 Tietopaketin toteutus

Tietopakettiin on rajattu toimeksiantajan puolesta keskeisimmät tiedot aurinkosähköstä ja järjestelmistä asiakkaiden kiinnostuksen mukaisesti. Toteutuksessa on huomioitu asialähteiden merkitystä, ulkonäön graafisuutta sekä työn sisältävien asioiden rajausta, jotta produktiosta tulisi kattava mutta ei liian pitkä.

8.2.3 Työn asialähteet

Käytännön tietopaketin tiedot ja teoria on kasattu ja tuotettu hyödyntämällä opinnäytetyön teoriaosuudessa käsiteltyjä asioista. Tietopaketin kasaamisessa kiinnitettiin paljon huomiota käytettyjen lähteiden oikeellisuuteen ja ajankohtaisuuteen. Työn muodostuessa toiminnalliseksi opinnäytetyöksi ja sitä kautta tietopaketin osaksi, on lähdekriittikki Vilkan ja Airaksisen (2003, 53.) mukaan ensiarvoisen tärkeää. Lähteitä valitessa on kriittisyyden ohella pyritty

monipuolisuuteen käyttämällä apuna painettuja ja digitaalisia lähteitä, kirjallisuuden ja tutkimusten muodossa. (Vilkkä & Airaksinen 2003, 53.)

Produktion asialähteiden pohjana käytettiin opinnäytetyön teoriaosuudessa käytettyjä lähteitä, ja tietopakettiin hyödynnettiin myös sellaisia lähteitä mitä ei ole käytetty itse teoriaosuudessa. Lähteiden julkaisutyyleistä on hyödynnetty painettua ja digitaalista kirjallisuutta, tietolähdesivustoja sekä yliopistollisia tutkimuksia. Lähteiden julkaisijoiden osalta työssä käytettiin pääsääntöisesti alalla pitkään vaikuttaneiden tutkijoiden ja tutkimusryhmien sisältöä huomioiden lähteiden puolueettomuuden. Tietopaketin asialähteet on esitelty tietopaketin lopussa viitteinä.

8.2.4 Työn rajaus

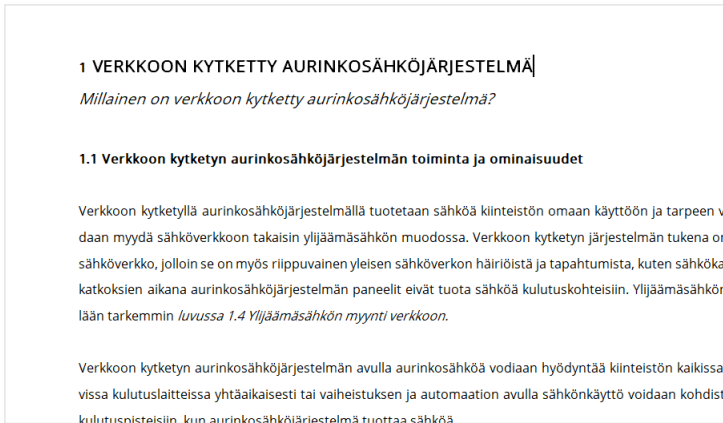
Käytännön tietopaketti on pyritty tekemään selkeästi luettavaksi. Se kertoo asiakkaalle keskeisimmät tiedot verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän osalta. Tietopakettiin on rajattu toimeksiantajayritykseltä saatujen asiakaskysymysten pohjalta kysymykset, joita asiakkaat ovat kysyneet aikaisemmin ja jotka ovat olleet eniten esillä aikaisemmissa asiakassuhteissa. Toimeksiantajayritykseltä saatujen asiakaskysymysten pohjalta tietopakettiin, on sisällytetty myös muita tärkeiksi nähtyjä asiakohtia asiakkaan näkökulmasta. Käytännössä tietopaketti on rajattu vastamaan kysymyksiin, järjestelmän toiminnasta, koosta, hinnasta, tuotosta, takaisinmaksuajasta sekä järjestelmän käyttöiästä ja huolloista.

8.2.5 Työn graafisuus

Opinnäytetyön työnosuudessa tuotetussa produktiossa eli tuotoksessa on huomioitu työn graafisuutta, jotta työ olisi mahdollisimman paljon toimeksiantajan näköinen. Toimeksiantajalla ei ollut käytettävissä visuaalista ohjetta, jonka perusteella tuotetaan materiaalia asiakkaille ja omaan käyttöön. Työssä päädyttiin käyttämään samanlaisia värejä ja kirjasintyyplejä kuin toimeksiantajan kotisivuilla on. Näin tietopaketista tuli typografisesti yhtäläinen toimeksiantajan aikaisemmin käyttämiin tuotoksiin.

Tietopaketti toteutettiin Microsoft Officen ohjelmistosta, Microsoft Wordilla. Wordilla suunniteltiin ja valmisteltiin alustava raakaversio ks. (KUVA 16) siitä miltä tietopaketti tulee näyttä-

mään ja mitä se pitää sisällään. Raakaversion valmistuttua työhön lisättiin aikaisemmin suunniteltu graafinen osuus. Graafisessa osuudessa painotettiin yhtäläisyyttä toimeksiantajan aikaisempiin dokumentaatioihin ja toimeksiantajan internetsivuilla käytössä oleviin väri-tyksiin, kirjasintyyliihin, logoihin sekä muihin näkyvillä oleviin graafisiin kuviin.



KUVA 16. Toimeksiantajan tietopaketin raakaversion suunnittelu

Tietopaketin väreiksi valikoitui internetsivujen pohjalta valkoinen, vihreä ja tumman sininen. Toimeksiantajan logoa ja muita graafisia kuvia hyödynnettiin tietopaketin rakentamisessa toimeksiantajan näköiseksi. Toimeksiantajan käyttämistä kirjasintyyleistä työhön valikoitui Open Sans-kirjasintyyli ks. (KUVA 17). Kirjasintyyli oli jo aikaisemmin käytössä toimeksiantajan internetsivuilla. Lisäksi työssä esitellyt kuvat ja taulukot muokattiin Adobe Photoshop ohjelmistolla graafisesti yhtäläisiksi. Muut työssä käytetyt kuvat valittiin Google kuvapalvelusta. Kuvien valinnassa huomioitiin, että ne oli määritelty vapaasti muokattavaksi ja käytettäväksi. Kuvien avulla tietopaketista tulisi mukavammin luettava ja eläväisempi sen suhteellisen runsaaseen tekstiin määrään nähden. Valmiin tietopaketin lopullinen ulkoasu on esitetty kuvassa (KUVA 18).



KUVA 17. Tietopaketin kirjasintyyli KUVA 18. Tietopaketin lopullinen ulkoasu

9 POHDINTA

Aloitin opinnäytetyöni tekemisen suunnittelulla ja aiheen kysymisellä toimeksiantajayrityksestä vuoden 2018 lopussa. Varsinaisen työn aloitin vuoden 2019 tammikuussa jäätyäni pois sen hetkisestä työpaikastani. Opinnäytetyöni valmistui aikataulunsa mukaisesti huhtikuun 2019 lopussa ilman toimeksiantajayrityksen määräämää aikataulua. Aurinkosähkön valitseminen työni tutkimuspohjaksi valikoitui aikaisemmin opiskelemieni aurinkoenergiaan ja aurinkosähkään liittyvien kurssien ja niistä saadun innostuksen pohjalta.

Opinnäytetyön tekeminen oli antoisaa mutta samalla myös haastavaa. Aurinkoenergiasta ja tarkemmin käsittelemästäni aiheesta eli aurinkosähköstä oli saatavilla paljon erilaista ja monipuolista tietoa eri tietolähteistä. Työssäni huomasin, että aikaisemmin selvittämäni tieto ei välttämättä myöhemmin toisesta lähteestä ilmenneen tiedon perusteella ollutkaan enää niin todenperäistä kuin olin aiemmin saanut ymmärtää. Työssäni jouduin siis vertailemaan paljon eri lähteiden luotettavuutta ja valitsemaan tutkimusten jälkeen todenperäisimmän lähteen työhöni käytettäväksi. Lähteiden merkitys työssä oli tärkeää, koska siinä pyrin etenkin kehittämään omaa tietoa aurinkosähkään liittyen sekä tuottamaan tietopakettin toimeksiantajayritykselle. Toimeksiantajayrityksen merkitys ja heidän antamansa tietopakettin aihe antoivat oman lisämerkityksensä, sillä työtä tullaan käyttämään konkreettisesti yrityksessä ja aurinkosähkösuunnittelu palvelujen kehittämisessä.

Opinnäytetyön tekemisessä haastavimmaksi koin aikataulutuksen, työn rajaamisen ja edellä mainitun todenperäisen tiedon löytämisen. Työn alussa suunnittelemani järjestelmällinen aikataulutus olisi voinut olla parempi, mutta huomasin että sitä on vaikea toteuttaa sillä kirjoittaminen ei välttämättä onnistu joka päivä yhtä hyvin. Työnrajaamisen osalta haastavuus näkyi työn pituudessa ja asiakeskeisyydessä, sillä työstä olisi voinut tulla vieläkin pidempi. Nykyisellään työ on aika kattava huomioiden itse opinnäytetyön ja siinä tuotetun tuotteen pituuden. Työn laajuus on kuitenkin mielestäni perusteltu. Tietoa ei ole ollut tässä muodossa aiemmin saatavilla.

Työni tarkoituksena ei ollut keskittyä yhteen tiettyyn osa-alueeseen aurinkosähkössä vaikka pääpaino oli verkkoon kytketyissä aurinkosähkölaitteissa. Aurinkosähkö tulee mielestäni olemaan tulevaisuudessa johtava energiantuotantomuoto maailmanlaajuisesti. Tulevaisuu-

den näkymät ovat aurinkosähkön osalta hyvät. Tekniikka kehittyy ja uusiutuvien energiamuotojen käyttö yleistyy jo ilmastotavoitteisiin pääsemiseksi. Näin kilpailukyky lisääntyisi, kun CO₂-intensiiviset energiamuodot eivät pysty kilpailemaan puhtaiden energiamuotojen kanssa. Kun aurinkosähkönkilpailukyky lisääntyy, voidaan päätyä itseään ruokkivaan kierteeseen, jossa halventunut aurinkosähkö korvaa likaisempia energiamuotoja ja sen hinta voi laskea teknologisen oppimisen ja tuotekehityksen myötä entisestään.

Suomen tilanne aurinkosähkön hyödyntämisessä on mielestäni vielä kaksijakoinen, sillä erot pien- ja suurtuottajien välillä ovat laajat. Aurinkosähkön hyödyntäminen on periaatteessa kannattavinta suuremmilla järjestelmillä, kuten esimerkiksi teollisuuskiinteistöihin asennetuilla järjestelmillä. Teollisuuskiinteistöissä kulutusta on paljon ja tasaisesti jolloin tuotettu sähkö voidaan käyttää lähes täysin omassa kulutuksessa ja jota edesauttavat saatavilla olevat tuet ja vero helpotukset. Tavallisen kuluttajan eli pientuottajan perspektiivistä katsottuna kannattavuus on erilaista ja tuet ovat vielä alkutekijöissä verraten muihin maihin. Tulevaisuuden kehityskohteina ovat mielestäni aurinkosähkön syöttötariffin hyväksyminen sekä akkuteknologian hyödyntämisen kehittyminen verkkoon kytketyissä aurinkosähköjärjestelmissä. Mahdollisia materiaalisia pullonkauloja silmällä pitäen olisi akkuteknologioiden tutkimukseen hyvä myöntää lisää rahoitusta. Mikäli kobolttin, nikkelin, molybdeenin tai litium tuotanto osoittautuu pullonkaulaksi akkujen leviämisessä, olisi hyvä olla vähemmän materiaali-intensiivisiä teknologioita kehityksen alla.

Kehityksen lisäksi aurinkosähköstä pitäisi saada helpommin lähestyttävää, siten että objektiivista tietoa aurinkosähköstä olisi helposti saatavilla ja helposti ymmärrettävässä muodossa esim. tietopakettina. Pientuottajissa eli kuluttajissa on vielä mielestäni hyödyntämätön voimavara, sillä usein kuluttajien on vaikea hahmottaa aurinkosähköä ja siitä saatavia hyötyjä kokonaisuutena. Kuluttajan näkökulmaa ajatellen aurinkosähköstä ei ainakaan vielä kannata lähteä hakemaan voittoa lyhyellä tähtäimellä vaan pikemminkin toimimaan pitkäjänteisenä sijoittajana ajatellen tulevaisuutta.

LÄHTEET

Aurinkovirta. 2019. Invertteri. Saatavissa:

<http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/> Viitattu 18.1.2019

Auvinen, K & Jalas, M. 2017. Aurinkosähkön hinnat ja kannattavuus. Saatavissa:

<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/> Viitattu: 29.1.2019

Auvinen, K., Lovio, R., Jalas, M., Juntunen, J., Liuksiala, L., Nissilä, H., Müller, J. 2016. Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa. Saatavissa:

<https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/20264/isbn9789526067674.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Viitattu: 21.1.2019.

Battery University. 2017. Lead Acid Batteries. Saatavissa:

https://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries Viitattu 18.1.2019

Clean Energy Reviews. 2018. Solar Panel Components. Saatavissa:

<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>. Viitattu: 15.1.2019.

Energiatalous. 2018. Aurinkovoimalan ostaminen on edelleen kuluttajalle vaikeaa. Saatavissa: <https://www.energiatalous.fi/?p=2150>. Viitattu 29.3.2019.

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltolta, S & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas. Porvoo: Painoyhtymä Oy.

Energia. 2019. Sähkönpientuotanto. Saatavissa: https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_pientuotanto Viitattu 21.1.2019

Energiatalous. 2018. Aurinkosähkö yli 2,5 kertaistui viime vuonna Suomessa. Saatavissa:

<https://www.energiatalous.fi/?p=2075>. Viitattu 21.1.2019.

Energiavirasto. 2019. Sähköhintavertailu. Saatavissa: <http://www.sahkonhinta.fi/> Viitattu 23.1.2019

European Commission. 2012. Photovoltaic Geographical Information System. Saatavissa: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> Viitattu 26.3.2019

Hirsjärvi, S., Remes, P & Sajavaara, P. 2001. Tutki ja kirjoita. Vantaa: Tummavuoren kirjapaino Oy.

Holopainen, M. 2016. Aurinkosähkön kustannukset Suomessa. Saatavissa:

http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/124729/Holopainen_Mikko_Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6n_kustannukset_suomessa.pdf?sequence=2. Viitattu 27.3.2019.

Ilmatieteen laitos. 2017. Aurinkoatlas. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/aurinkoatlas>. Viitattu 5.12.2018.

J-N Solar. 2019a. Lataussäätimet. Saatavissa: <https://www.jn-solar.fi/fi/lataussaatimet/429-bluesolar-mppt10050-lataussaeaedn.html> Viitattu 26.3.2019

J-N Solar. 2019b. Verkkoinvertterit. Saatavissa: <https://www.jn-solar.fi/fi/verkkoinvertterit/431-sma-sunny-tripower-5000-tl-20-verkkoinvertteri.html>. Viitattu 26.3.2019.

J-N Solar. 2019c. Akut. Saatavissa: <https://www.jn-solar.fi/fi/akut/194-ritar-ra12-100d-100ah-agm-akku.html>. Viitattu 26.3.2019.

Junnila, S. 2015. Aurinkoenergia kiinteistön arvon määrittämisessä. Saatavissa: <http://www.finsolar.net/aurinkoenergia-kiinteiston-arvon-maarityksessa/> Viitattu 28.1.2019

Jyväskylän Paviljonki. 2019. Sijainti Saatavissa: <http://paviljonki.fi/fi/location/yhteydet> Viitattu 24.1.2019

Kiinteistömaailma. 2017. Kiinteistöjen hintaan vaikuttavat tekijät. Saatavissa: <https://www.kiinteistomaailma.fi/pohtimassa/asuntojen-hinnat-n%C3%A4m%C3%A4-kolme-seikkaa-vaikuttavat-eniten> Viitattu 29.1.2019

Käpylehto, J. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Helsinki: Into Kustannus Oy.

Käpylehto, J. 2014. Mökille sähköt auringosta & tuulesta. Helsinki: Into Kustannus Oy.

Ledwatcher. 2016. Solar panel basics and types of solar panels. Saatavissa: <https://www.ledwatcher.com/solar-panel-basics-and-types-of-solar-panels-used-in-flood-lights/> Viitattu 26.3.2019

Lehto, I. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Tampere: Grano Kirjapaino Oy.

Lähienergia. 2018. Sähkönpuhtaus tuotanto kovassa kasvussa – Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti 2,5 kertaistui vuodessa. Saatavissa: <https://www.lahienergia.org/sahkonpuhtaus-tuotanto-kovassa-kasvussa-aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-25-kertaistui-vuodessa/> Viitattu 21.1.2019

Motiva. 2019. Järjestelmän mitoittaminen Saatavissa:
<https://aurinkosahkoakotiin.fi/jarjestelman-mitoittaminen/> Viitattu 29.1.2019

Motiva. 2018a. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus. Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus Viitattu: 30.1.2019

Motiva. 2018b. Aurinkosähkö. Aurinkosähkön perusteet. Auringon säteily määrä Suomessa. Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa Viitattu: 18.1.2019

Motiva. 2017a. Aurinkosähköt teknologiat. Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat. Viitattu 2.1.2019

Motiva. 2017b. Aurinkosähköjärjestelmien hinta. Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta Viitattu: 29.1.2019

Motiva. 2017c. Aurinkosähköjärjestelmän teho. Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho Viitattu: 1.2.2019

Motiva. 2016a. Verkkoon kytketty ja vai verkkoon kytkemätön järjestelmä Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/verkkoon_kytetty_vai_verkkoon_kytkeaton_jarjestelma Viitattu 9.1.2019.

Motiva. 2016b.. Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä. Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma Viitattu 11.1.2019

Motiva. 2016c. Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä. Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma Viitattu 18.1.2019

Motiva. 2016d. Ylijäämä sähkö myynti. Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti Viitattu 22.1.2019

Motiva. 2016e. Verkkoon kytkemättömän järjestelmän mitoitus. Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/verkkoon_kytkeattomien_jarjestelmien_mitoitus Viitattu 18.1.2019

Motiva. 2016f. Paneelien sijoitus ja suuntaus. Saatavissa:

<https://aurinkosahkoakotiin.fi/aurinkopaneelien-sijoitus-ja-suuntaus/> Viitattu 18.1.2019

Motiva. 2016g. Auringosta lämpöä ja sähköä. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/files/13518/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_2016.pdf Viitattu 14.1.2019

Niemi & Blomqvist. 2017. Poveria biomassasta-hanke. Selvitys verkkoon kytketyn akullisen aurinkosähköjärjestelmän kannattavuudesta. Saatavissa:

http://www.karelia.fi/energiaraitti/wp-content/uploads/2017/12/Haikola_Energiaraitti.pdf. Viitattu 18.1.2019.

Orrberg, M. 2017. Aurinkosähköjärjestelmä kannattaa mitoittaa oikein. Saatavissa:

http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/aurinkoenergia/fi_FI/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/ Viitattu 30.1.2019

Perälä, R. 2017. Aurinkosähköä. Helsinki: Alfamer / Karisto Oy.

Phys. 2013. Dye-sensitized solar cells. Saatavissa:

<https://phys.org/news/2013-07-dye-sensitized-solar-cells-rival-conventional.html> Viitattu 26.3.2019

Porex. 2018a. Ethyl-Vinyl-Acetate. Saatavissa:

<http://www.porex.com/technologies/materials/porous-plastics/ethyl-vinyl-acetate/> Viitattu: 15.1.2019

Porex. 2018b. Polyvinylidene – fluoride. Saatavissa:

<http://www.porex.com/technologies/materials/porous-plastics/polyvinylidene-fluoride/> Viitattu: 15.1.2019

Printed Electronics World. 2012. Taking Solar Technology Up A Notch. Saatavissa:

<https://www.printedelectronicsworld.com/articles/4438/taking-solar-technology-up-a-notch> Viitattu 8.1.2019

Renewable Energy Concepts. 2019. PV- Module - Assembly. Saatavissa:

<http://www.renewable-energy-concepts.com/solarenergy/solar-technology/pv-module-assembly.html> Viitattu 15.1.2019

Selkämaan Suunnittelu Oy. 2018. Selkämaan Suunnittelu. Yritys. Saatavissa:

<http://www.ssu.fi/yritys/>. Viitattu 7.1.2019

Sino Voltaics. 2011. Standard Test Conditions. Saatavissa:

<https://sinovoltaics.com/learning-center/quality/standard-test-conditions-stc-definition-and-problems/> Viitattu 3.1.2019

Suntekno Oy. 2012. Aurinkopaneelit. Saatavissa:
<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf><http://suntekno.bonsait.fi/age/36>. Viitattu 18.12.2018.

Sähkö. 2019. Pörssisähkön tuntispot-hinta Suomessa. Saatavissa: <http://sahko.tk> Viitattu: 11.4.2019

Tahkokorpi, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into Kustannus Oy.

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2019. Tuettavat hankkeet. Saatavissa:
<https://tem.fi/tuettavat-hankkeet> Viitattu 22.1.2019

Vähäkangas, T. 2019. Henkilökohtainen tiedonanto, sähköpostihaastattelu. 9.4.2019.

Vähätiitto, J. 2015. Energia-alan investointien kannattavuuden arviointi tuotannon optimointiohjelmalla. Saatavissa:
<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/23455/Vahatiitto.pdf?sequence=1>
Viitattu 30.1.2019

Vilka, H & Airaksinen, T. 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy.

Verohallinto. 2019. Kotitalousvähennys. Saatavissa:
<https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/tulot-ja-vahennykset/kotitalousvahennys/> Viitattu 22.1.2019

Wikipedia. 2019. Power Inverter Saatavissa:
https://en.wikipedia.org/wiki/Power_inverter. Viitattu 27.3.2019.

4/2019

1



Tietopaketti
verkkoon kytketystä
aurinkosähköjärjestelmästä
asiakkaalle

www.ssu.fi

4/2019

- 1 VERKKOON KYTKETTY AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ**
 - 1.1 Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän toiminta ja kokoonpano
 - 1.2 Ylijäämä­sähkön myynti verkkoon

- 2 JÄRJESTELMÄN KOKO JA MITOITUS**
 - 2.1 Järjestelmän mitoitus

- 3 JÄRJESTELMÄN KUSTANNUKSET**
 - 3.1 Kustannuksien muodostuminen
 - 3.2 Hintatasot ja järjestelmien kokonaishinta

- 4 JÄRJESTELMÄN SÄHKÖNTUOTTO**
 - 4.1 Auringonsäteilyn ja ympäristötekijöiden vaikutus sähköntuottoon
 - 4.2 Järjestelmän koon vaikutus sähköntuottoon
 - 4.3 Aurinkopaneelin tuoton tehostamisen tekijöiden vaikutus sähköntuottoon
 - 4.4 Esimerkki laskelma eri kokoisten järjestelmien sähköntuotosta

- 5 JÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS JA TAKAISNMAKSUAIKA**
 - 5.1 Kannattavuus investointina
 - 5.2 Aurinkosähkön säädökset ja tuet kannattavuudessa
 - 5.3 Sähkön siirtäminen kiinteistön rajojen ulko- ja sisäpuolelle
 - 5.4 Kuntien ja kaupunkien lupakäytännöt aurinkosähköjärjestelmissä
 - 5.5 Kannattavuuden arviointi ja LCOE menetelmä
 - 5.6 Kannattavuuden arviointi Finsolar-laskuri

- 6 JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖIKÄ JA HUOLTO**
 - 6.1 Aurinkosähköjärjestelmän ja aurinkopaneelin tekninen käyttöikä
 - 6.2 Aurinkopaneelin toimintatakuu eli tehontuottotakuu
 - 6.3 Aurinkopaneelien tuote- ja asennustakuut
 - 6.4 Invertterin elinikä ja takuu
 - 6.5 Aurinkosähköjärjestelmän huolto ja puhdistus

- 7 VIITTEET**

1. Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä

Millainen on verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä ja miten se toimii?

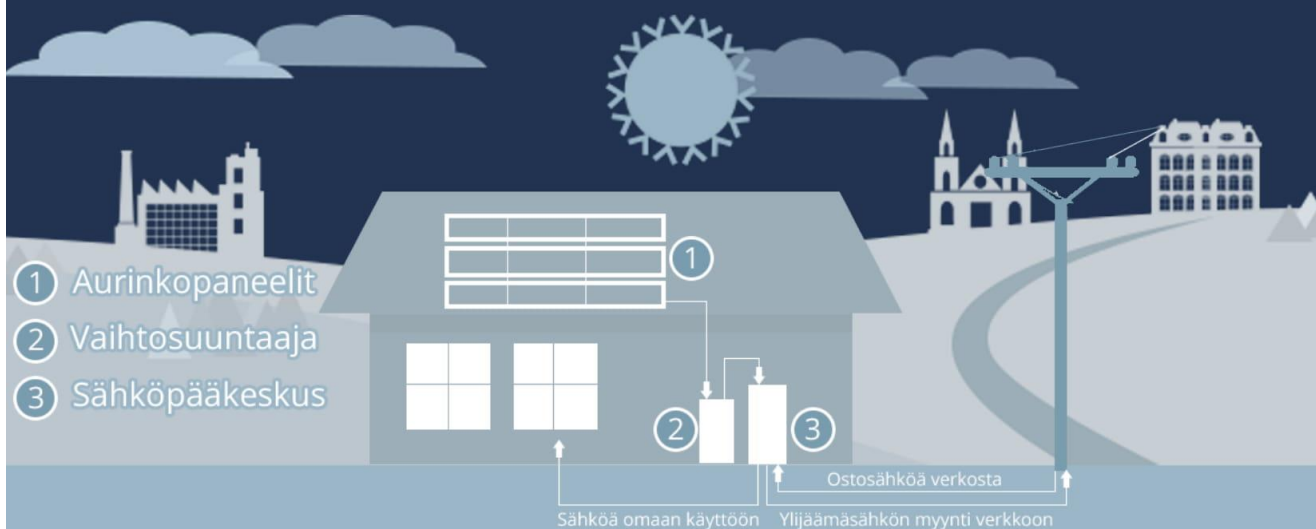


Verkkoon kytketyllä aurinkosähköjärjestelmällä tuotetaan sähköä kiinteistön omaan käyttöön ja tarpeen vaatiessa sitä voidaan myydä sähköverkkoon takaisin ylijäämänsähkön muodossa. Verkkoon kytketyn järjestelmän tukena on siis aina yleinen sähköverkko, jolloin se on myös riippuvainen yleisen sähköverkon häiriöistä ja tapah- tumista, kuten sähkökatkoksista. Sähkökatkoksien aikana aurinkosähköjärjestelmän paneelit eivät tuota sähköä kulutuskohteisiin. Ylijäämänsähkön myyntiä käsitellään tarkemmin *luvussa 1.4 Ylijäämänsähkön myynti verkkoon.*

- Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän avulla aurinkosähköä voidaan hyödyntää kiinteistön kaikissa jo olemassa olevissa kulutuslaitteissa yhtäaikaisesti tai vaiheistuksen ja automaation avulla sähkönkäyttö voidaan kohdistaa tiettyihin kulutuspisteisiin, kun aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä.
- Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa, joka muutetaan verkkoinvertterin eli vaihtosuuntaajan avulla vaihtovirraksi. Vaihtosuuntaajan avulla aurinkopaneelit kytketään osaksi kiinteistön jo olemassa olevaa sähköjärjestelmää kiinteistön sähköpääkeskuksessa.

1.1 Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano

Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän laitekokoonpanoon kuuluu aurinkosähkölaitteistojen: aurinkopaneelit ja vaihtosuuntaajaan lisäksi suojalaitteita, tasavirta - ja vaihtovirtapiirinturvakytkimet, energiamittari sekä tarvittavat kaapeloinnit. Laitteiden osalta pakollisia ovat suojalaitteet sekä tasa -ja vaihtovirtapiirinturvakytkimet. Tasavirtapiirinturvakytkin ja muut suojalaitteet ovat usein integroituna valmiina vaihtosuuntaajassa, jolla suojataan järjestelmä aurinkopaneelien ja vaihtosuuntaajan väliltä. Vaihtovirtapiirinturvakytkin asennetaan myös asennuksien yhteydessä vaihtosuuntaajan ja kiinteistön pää- tai ryhmäkeskuksen välille, jotta aurinkosähköjärjestelmä voidaan tarpeen vaatiessa erottaa kiinteistön sähköverkosta esim. huollon tai vikatilanteen vuoksi. Turvakytkimen asennuksessa on myös sen sijoituksen osalta huomioitavaa siten, että kytkimelle on oltava vapaa pääsy verkkoyhtiöllä sekä viranomaisilla.

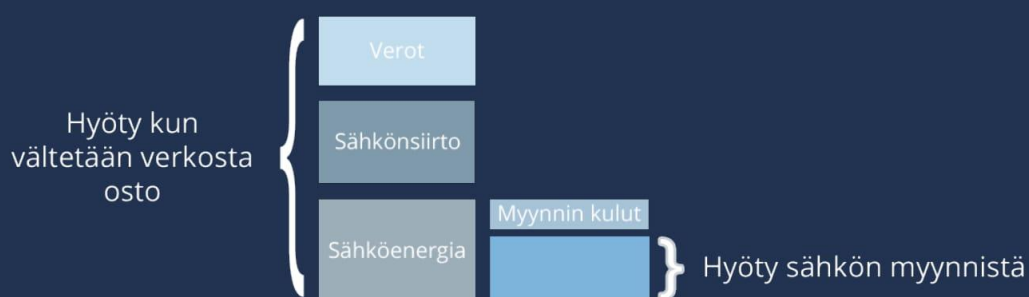


1.2 Ylijäämäsihkön myynti sähköverkkoon



Verkkoon kytketyllä aurinkosihköjärjestelmällä tuotettua sähköä voidaan myydä ylijäämäsihkön muodossa takaisin sähköverkkoon, jos sähköntuottaja eli aurinkosihköjärjestelmän haltija on tehnyt sopimuksen sähkön myynnistä verkkoon sähkömyyjän eli verkkoyhtiön kanssa. Usein sähkömyyjä toimii myös sähkönostajana riippuen minkä verkkoyhtiön kanssa sähkösopimus on tehty.

Yleisesti ottaen ylijäämäsihkön myynti verkkoon ei ole kannattavaa, sillä verkkoyhtiöt maksavat myydystä sähköstä vain sähkön hinnan mukaisesti, kun taas korvataessa ostettavaa sähköä omaan tuotantoon nähden. Omalla tuotetulla sähköllä ja sen oikeanlaisella kulutuksella vältetään maksamista siirto-maksuja ja veroja, joista yleinen sähkön korkea ostohinta koostuu. Sähkön osto- ja myyntihinnan rakenteiden osuuksia on esitelty alla olevassa kuvassa.



Ylijäämäsihkön myynnistä verkkoon maksetaan eri hinnoilla riippuen myös käytössä olevasta hinnoittelutavasta. Hinnoitteluun on siis erilaisia käytäntöjä verkkoyhtiöstä riippuen. Hinnoittelu perustuu usein ostosähkön ajankohtaiseen markkinahintaan. Sähköä voidaan tällä hetkellä myydä sähköverkkoon kahdella erilaisella sopimuksella, tuntispot- ja pankki-sopimuksella.

Tuntispot-sopimus

Tuntispot-sopimuksessa sähkön hintaan vaikuttaa yleisen sähköpörssin eli Nordpoolspotin tunneitta muuttuva sähkönhinta eli tuntispot-hinta.

Tuntispot-hinnalla sähkön tuottaja saa suunnilleen saman korvauksen kuin ostetun sähkön sen hetkisessä hinnassa. Hintatasoltaan tuntispot-hinta on noin 2-4 senttiä / kilowattitunti, sillä hinnassa ei huomioida perinteisessä sähkönostossa syntyviä muuttuvia suhdanteita eli sähkönsiirtomaksua ja verojen osuutta.

Sähkön tuntikohtaisen hinnan muodostumiseen vaikuttavat monet tekijät ja sitä tarkasteltaessa on huomioitava, että vuorokausikohtainen hinta voi vaihdella huomattavasti sillä sähkön hinta muuttuu tunneittain. Korkeimmillaan tuntispot-hinta on päivisin ja etenkin aamuisin ja alkuillan aikana, jolloin sähköntuottajan kannattaa keskittyä korvaamaan päiväajankulutusta omalla tuotannolla mahdollisimman paljon. Tuntispot-hintaa tulisi tällöin hyödyntää muuna halvempana aikana.

Pankkisopimus

Sähköä voidaan myös myydä verkkoon pankkisopimuksen avulla. Pankkisopimuksessa sähkönsopimukseen valitaan joko vaihtuva tai kiinteä sähkönhinta. Pankkisopimuksen toiminta perustuu sähköenergian liikumiseen sykleinä edestakaisin kuluttajan ja verkkoyhtiön välillä kiinteällä tai vaihtuvalla hinnalla. Syklissä tuotettu ylijäämä sähkö eli ylituotanto kerääntyy niin sanotusti pankkiin, josta kuluttaja voi sitä tulevana kuukausina hyödyntää. Pientuottajan näkökulmasta pankkisopimus katsotaan kannattavaksi, jos valitaan kiinteä sähkönhinta ja ylituotantoa on runsaasti.

Sähkönmyyjät ja ostajat

Sähkönmyyjä ja ostaja eli piensähköntuottajan ostajia on markkinoilla paljon. Verkkoyhtiö josta ostat jo sähkösi voi tarjota myös sähkönosto palvelua, jolloin osto – ja myynti tapahtuvat samassa yhtiössä. Verkkoyhtiöiden palveluita kannattaa kilpailuttaa, sillä eri yhtiöiden käytännöissä ja sopimuksissa on eroavaisuuksia. Yleisesti ottaen yhtiöt käyttävät tuntispot-hinnoittelua ja joillakin verkkoyhtiöillä peritään myös lisäksi sähkönmyynnistä perusmaksuja eli verkkopalvelumaksuja ja välityspalkkioita. Verkkopalvelumaksujen osalta verkkoyhtiöt ovat oikeutettuja perimään maksuja sähköverkkoon syötetyn sähkön osalta. Verkkopalvelumaksut voivat olla enintään 0,07 senttiä / kilowattitunti. Verkkoyhtiöiden perimät välityspalkkiot ovat tyypillisesti luokaltaan 0,2-0,3 senttiä kilowattituntia kohden. Sähkön myyjistä ja ostajista löytyy kattavasti tietoa Energiaviraston ylläpitämästä *Sähkönhinta.fi* palvelusta.

2 JÄRJESTELMÄN KOKO

Minkä kokoinen järjestelmä meidän kohteeseen kannattaa hankkia?



Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoon eli mitoitukseen vaikuttaa oleellisesti se että järjestelmästä saadaan optimaalinen ja energiantuotannon kannalta mahdollisimman hyvä hyöty ja kokonaisvaltaisesti toimiva ratkaisu. Oikeanlaisen mitoituksen myötä saadaan määritettyä oikeanlainen järjestelmän koko, jonka tuottama sähkö käytetään lähtökohtaisesti kokonaan omassa kulutuksessa. Kappaleessa käsitellään järjestelmän mitoitusta yleisesti.

2.1 Järjestelmän mitoitus

Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä on monia ja niitä tulee huomioida eritavoin kun järjestelmän kokoa lähdetään määrittelemään ja laskemaan. Suoranaisesti mitoituksen rajana on kohteen sähköliittymän pääsulakkeen koko. Pääsulakkeen koko määrittää, että verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmä nimellisvirta voi olla korkeintaan yhtä suuri kuin kiinteistön sähkökeskuksen etusulakkeen nimellinen arvo. Käytännössä nimellisvirrat eivät kuitenkaan ylity normaaleissa kiinteistöissä, jolloin niistä johtuvat ongelmat mitoituksessa ovat harvinaisia.

Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen määrittämisessä lähdetään ensisijaisesti tarkastelemaan seuraavia asiakohtia:

- Kohteen sähkönkäyttö, tarpeet ja mahdollisuudet mitoituksen kannalta
- Kohteen asennusolosuhteet ja niiden vaikutus mitoituksen kannalta
- Laskennallinen mitoitus ja arvio kannattavuudesta

Kohteen nykyisessä sähkön käytössä, tarpeissa ja mahdollisuuksissa tarkastellaan kohteen nykyistä sähkönkulutusta ja jakautumista sekä budjetia jonka perusteella järjestelmä yleisesti rakentuu ja mitoitetaan. Uudisrakennusten osalta kulutustietoja ei ole saatavilla, joten niissä kulutuksia arvioidaan muiden samankaltaisten kiinteistöjen kulutustietojen pohjalta. Kohteen sähkökuormat ja niiden muokattavuus aurinkopaneeleista saatavan tehon hyödyn maksimoimiseksi on myös oleellista, kun mietitään mitoitusta nykyhetken tilanteen kannalta sekä myös tulevaisuus huomioiden.

Tehon kulutuksen kasvaessa tarvitaan usein suurempaa tehokapasiteettia esimerkiksi lämmitysjärjestelmä tai jonkin muun suuri kulutuksisen laitteiston hankinnan myötä. Kohteen asennusolosuhteet vaikuttavat myös mitoitukseen, riippuen miten paneelit saadaan asennettua ja miten ne mahtuvat olemassa olevalle kattorakenteelle, siten että mahdollisten paneelien ja paneeliryhmien suuntaukset, paneelien lämpötilat ja varjostumat ovat tasapainossa, jotta olosuhteet eivät kokonaisvaltaisesti heikennä järjestelmän toimintaa.

Mitoituksen ensisijaisena lähtökohtana on selvittää kohteen eli kiinteistön sähkönkulutus. Olemassa olevien kiinteistöjen osalta on saatavilla erilaisia mitattuja kulutusprofiileja sähkön kulutuksesta, joista nähdään kohteen sähkön kulutus vuosi, kuukausi, päivä ja tuntitasolla. Kulutusprofiilit ja tiedot ovat saatavissa omalta sähköyhtiöltä, jonka myötä niissä on nähtävissä myös mitoituksissa tarvittavat tiedot, kiinteistön maksimi, keski – ja

pohjakulutuksista. Kulutusprofiilien selvityksen jälkeen mitoitusperusteeksi valitaan joko, pohjakulutus, keskimääräinen kuukausikulutus, nettonollaenergiamitoitus eli keskimääräinen kulutus vuoden aikana tai energiaomavaraisuus sähkön osalta. Mitoitus ei välttämättä pohjaudu pelkästään edellä annettuihin kulutustietoihin, jos käytettävissä olevien asennuspaikkojen ja pinta-alojen tai järjestelmään käytettävissä oleva rahamäärä osoittautuu merkittävämmäksi tekijäksi esimerkiksi aurinkopaneelien asennustilan tai käytettävissä olevan budjetin niukkuudesta.

Kulutustietojen pohjalta tehtävässä mitoituksessa käytetään usein pohjakulutustietoon perustuvaan mitoitusta, jolloin mahdollisimman suuri osa tuotetusta sähköstä saadaan hyödynnettyä ja kulutettua itse ja järjestelmä ei ole juurikaan ylimitoitettu ja sähkönverkkoon syötetään hyvin vähän, jos ollenkaan sähköenergiaa ylijäämäsähkön muodossa.

Ylimitoitus ei pääsääntöisesti ole vielä kannattavaa, sillä sähkönmyynnistä ylijäämäsähköä sähköverkkoon ei saada juurikaan kunnollista rahallista vastinetta. Lisäksi ylimitoituksen myötä järjestelmän takaisinmaksuaika pitenee ja pidemmällä aikavälillä se vähentää järjestelmän eliniän aikana tuotettua nettotehoa. Pohjakulutus tarkastelussa etsitään kuukausi, jolloin kohteessa on pienin kokonaiskulutus joka sijoittuu usein esimerkiksi omakotitaloissa kesä- elokuuhun. Kuukausikohtaisen pohjakulutuksen tarkastelun lisäksi voidaan hyödyntää tuntikohtaisia kulutuksia, jolloin mitoituksessa käytetään apuna pienintä mahdollista tuntikulutustietoa. Tuntikulutus on siis käytännössä energiamäärä, jonka kiinteistö kuluttaa vähintään jokaisena tuntina kun aurinkosähkön tuotanto on aktiivista. Tuntikohtaista mitoitusta käytettäessä on myös huomioitava, että usein kesäisin kuormat ovat normaalisti päivisin korkeimmillaan, jolloin pohjakulutukseen perustuvassa mitoituksessa järjestelmä saattaa jäädä helposti liian pieneksi.

Keskimääräisen kuukausikulutukseen perustuvassa mitoituksessa aurinkopaneeleilla tuotettua sähköenergiaa käytetään niin ikään pääosin omassa kiinteistössä. Kuukausikulutuksen tarkastelun erona pohjakulutukseen on, että verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän koko kasvaa vähän isommaksi jolloin päivänajan tuotto saadaan paremmin vastaamaan päiväajan kulutusta. Kolmantena kulutus pohjaisena mitoitusperiaatteena voidaan käyttää keskimääräistä kulutusta vuoden aikana eli nettonollaenergiamitoitusta. Nettonollaenergiamitoituksessa järjestelmän teho eli koko kasvaa huomattavan paljon jolloin matalan tehontarpeen aikana sähköenergiaa joudutaan syöttämään takaisin sähköverkkoon, jonka myötä nettonollaenergiamitoituksella mitoitettun järjestelmän kannattavuus laskee. Kokonaisuutena voidaan sanoa, että kulutustietoihin perustavalla mitoituksella mitoitusperiaatteesta riippuen saadaan tarkka pohja järjestelmän enimmäistuottotarpeelle.

Kulutustietoja ja mitoitusperiaatteita tarkastellessa on hyvä ymmärtää myös se, että sähkönkulutus ja aurinkosähköjärjestelmän tuotanto eivät aina kohtaa, sillä ne ovat muuttuvia suureita. Kulutukset vaihtelevat vuorokausien, vuodenaikojen mukaan kiinteistöstä riippuen sekä sähkönkuluttajan kulutus tottumuksesta ja vuorokausisyklistä, etenkin asuinkiinteistöissä kuten omakotitaloissa. Suuremmissa kohteissa, kuten esim. teollisuuskiinteistöissä sähkön kulutus on erittäin tasaista pitkillä aikaväleillä kellon ajasta riippumatta, joka myös vaikuttaa oleellisesti mitoituksen yksinkertaisempaan ratkaisuun ja sitä kautta myös kannattavuuden kasvamiseen. Vertailukohteena teollisuuskiinteistöön voidaan käyttää omakotitaloa, jossa aurinkoisen ajan kulutus saattaa jäädä varsin pieneksi verrattuna koko päivän energiankulutukseen, kun kulutushuiput sijoittuvat ilta-päivästä aamuun.

Mitoituksessa on myös huomioitavaa, että kulutuksien vaihtelevuutta voidaan tasata eri vuorokaudenaikoina lisäämällä tai käyttämällä hyödyksi kiinteistöissä jo olemassa olevaa automaatiota, kuten rele - ja kello-ohjauksia. Vaihtelevuuden tasaamiseksi pohjakulutusta voidaan lisätä keskipäivällä eli kulutusta siirretään päiväaikaan, jolloin myös aurinkosähkön tuotantohuippu on korkeimmillaan ja tuotettu sähkö saadaan hyödynnettyä kokonaan omassa kulutuksessa ja täten kannattavuutta saadaan kasvatettua. Käytännössä tällä tarkoitetaan, että kiinteistön suuria kulutuslaitteita eli sähkökuormia, kuten erilaisia lämmitysjärjestelmiä, ilmastointia ja muita isoja laitteistoja kytketään päälle automaation avulla tuotantohuipun aikana.

3 JÄRJESTELMÄN KUSTANNUKSET

Paljonko xx KW kokoinen järjestelmä maksaa?



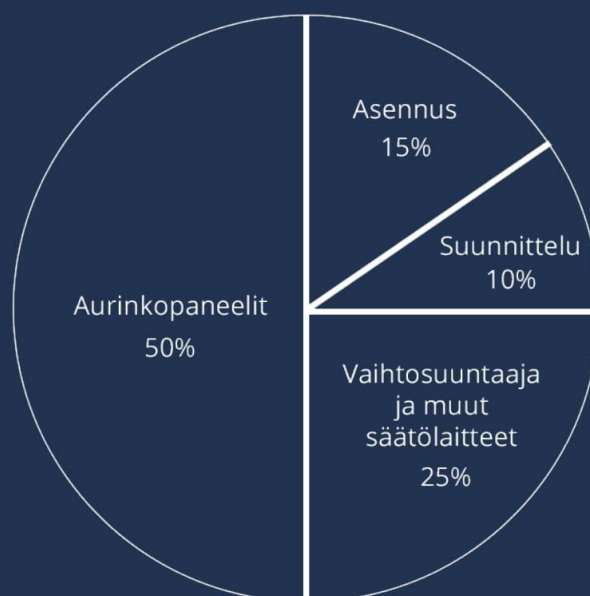
Kappaleessa käsitellään verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien kustannuksien muodostumista sekä järjestelmien hintatasoja.

3.1 Kustannuksien muodostuminen

Aurinkosähköjärjestelmien kustannukset muodostuvat pääsääntöisesti energian keruun ja varastoinnin investointikustannuksista. Investointikustannuksien muodostumiseen vaikuttaa oleellisesti järjestelmän tyyppi, koko, toimittaja sekä toimitusmuoto. Verkkoon kytkettyjen järjestelmien kohdalla kustannus keskittyy energian keruuseen, sillä varastointia ei vielä verkkoon kytketyissä järjestelmissä nähdä kannattavana esim. akkuvaraston muodossa niiden kalliin hinnan vuoksi.

Verkkoon kytketyssä järjestelmässä kokonaiskustannuksiin vaikuttavat seuraavat tekijät:

- Aurinkopaneeli
- Verkkoinverterti eli vaihtosuuntaaja
- Säätolaitteet
- Tarvikkeet
- Suunnittelu
- Asennustyö



Esimerkki. Pientalokokoluokan (2-5kWp) aurinkosähköjärjestelmän kokonaiskustannuksien jakautumisesta. Aurinkopaneelit muodostavat puolet investoinnin hinnasta, asennuksien, suunnittelun ja vaihtosuuntaajan ja muiden säätölaitteiden muodostaessa yhdessä toisen puolikkaan.

- Aurinkopaneelit 50 %
- Vaihtosuuntaaja ja muut säätölaitteet 25 %
- Suunnittelutyö 10 %
- Asennustyö 15 %

Kustannuksien jakautumisessa esimerkkiin nähden on huomioitavaa, että ne ovat muuttuvia suhteita, jotka ovat riippuvaisia edellä mainituista järjestelmän tyypistä, koosta, kohteesta, toimittajasta ja toimitusmuodosta. Asennuksien ja suunnittelun osuus jakautumisessa on myös muuttuvainen sen riippuessa kohteen vaativuudesta, sillä kohteiden suunnittelun vaikeusaste vaihtelee, jonka myötä suunnittelu prosessin pituus ja siitä aiheutuvat kustannukset vaihtelevat.

Esimerkkinä ylimääräisiä suunnittelukustannuksia kertyy etenkin asennusalustan vaativuudesta, kuten kattorakenteesta ja harjakorkeudesta. Uudisrakennuksien osalta huomioon otettavaa on asennuskuluissa säästäminen, sillä aurinkosähköjärjestelmän asennus voidaan hoitaa muun rakentamisen yhteydessä.

3.2 Hintatasot ja hinta

Suomessa aurinkosähköjärjestelmien hinta ilmoitetaan yleisesti suhteutettuna järjestelmän nimellistehoon. Muodollisesti puhutaan euroa € / piikkiwatti Wp tai euroa € / piikkikilowatti KWp. Suomen ja globaalien hintatasojen vertailussa on myös huomioon otettavaa, että Suomessa yksityishenkilöiden hintaan lisätään arvolisävero, verovuoden mukaan. Vuonna 2019 arvolisävero prosentoin ollessa 24 %.

Aurinkosähköjärjestelmä hankitaan usein avaimet käteen periaatteella. Alla esitetyssä taulukossa on muutamia avaimet käteen hankintahintoja vuodelta 2016. Yksikköhinnoissa on huomion kohteena järjestelmän paneelit, invertteri, säädin, kiinnikkeet ja johdot sekä asennus.

Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien hintatasoja

Koko: (kW)	Sovelluskohteet:	Hinta: (kWp) (ALV 0%)
alle 10 kW	Aurinkosähköä tuotetaan omakotitaloissa ja muissa pienissä rakennuksissa omaan kulutukseen.	1300 - 2000 € / kWp
10 - 250 kW	Aurinkosähköä tuotetaan toimisto- ja kaupparakennuksissa ja kuntakiinteistöissä omaan kulutukseen.	1050 - 1350 € / kWp
yli 250 kW kattoasennus	Aurinkosähköä tuotetaan teollisuus- tai isoissa kaupan alan kiinteistöissä omaan kulutukseen.	950 - 1300 € / kWp
yli 1000 kW maa-asennus	Teollisen mittakaavan aurinkovoimalat, joista tuotanto myydään sähköpörssiin. Voimalaitoksia ei vielä ole Suomessa.	1000 - 1200 € / kWp

Taulukko X Erikokoisten järjestelmien hintatasoja

Taulukon hintojen ohella on huomioitava myös se, että erilaisten verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien hintoihin vaikuttavat useat tekijät, kuten aurinkosähköjärjestelmän koko, asennusalusta, komponenttien laatu ja asennustyön kokonaismäärä. Isommissa järjestelmissä on myös huomioitavaa, että yksikkökustannukset ovat alhaisempia.

4 JÄRJESTELMÄN SÄHKÖNTUOTTO

Paljonko järjestelmä tuottaa vuodessa sähköä?

Mitkä tekijät vaikuttavat aurinkosähkön tuotantoon?



Kappaleessa käsitellään verkkoon kytketyn aurinkosähkijärjestelmän sähkön tuottoon vaikuttavia tekijöitä kokonaisuutena ja selvitetään erikoisten aurinkosähkijärjestelmien sähköntuotantoa vuositasolla simuloimalla, PVGIS – laskentaohjelman avulla ja vertaamalla muutaman olemassa olevaan esimerkki kohteeseen.

Verkkoon kytketyn aurinkosähkijärjestelmän sähkön tuottoon vaikuttavat kokonaisuutena monet erilaiset tekijät:

Ympäristötekijöiden vaikutus auringon säteilyvoimakkuuteen

- Sääolosuhteet
- Vuodenaika
- Kiinteistön sijainti maantieteellisesti

Tuotannollistekijöiden vaikutus auringon säteilyvoimakkuuteen

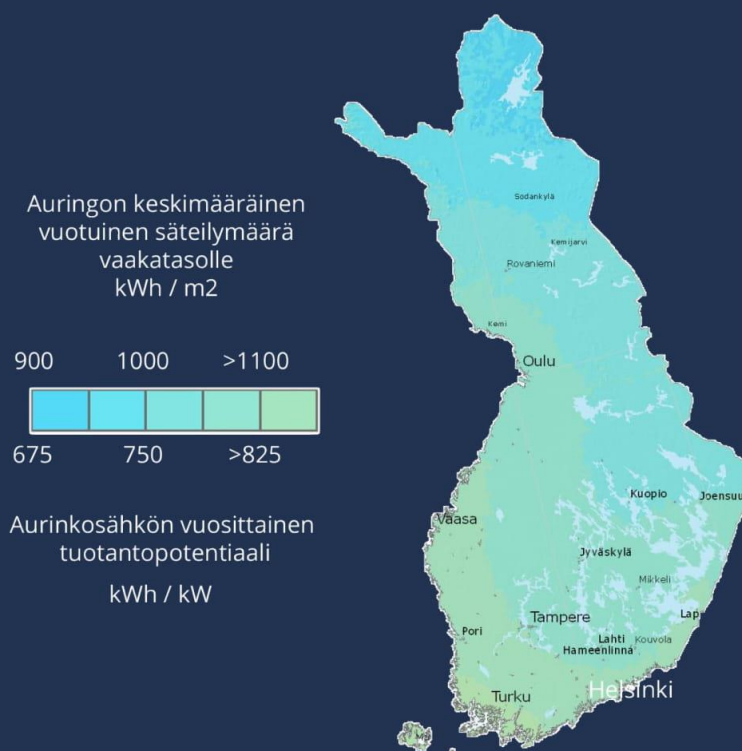
- Järjestelmän koko
- Aurinkopaneelien kallistuskulma
- Aurinkopaneelien sijainti
- Aurinkopaneelien suuntaus ja lisälaitteet
- Aurinkopaneelien ja verkkoinvertterin hyötysuhde

4.1 Auringonsäteilyvoimakkuuteen vaikuttavien ympäristötekijöiden vaikutus sähköntuottoon

Auringonsäteilyn voimakkuus eli auringon säteilyn teho ja paisteen määrä vaihtelevat ajallisesti maapallon liikkeen ja sään myötä. Maan kiertäessä aurinkoa ja maan vinon pyörimisakselin takia auringonpaisteen saanti muuttuu jatkuvasti eri puolilla maapalloa vuoden aikojen muuttuessa. Vuodenajat koetaan sijainnista riippuen sitä voimakkaampana mitä kauempana päiväntasaajasta kohde sijaitsee. Suomen mittakaavaa tarkasteltaessa vuoden aikojen muutokset näkyvät aurinkotuntien määrässä sekä auringon säteilyn tulokulman voimakkaana vaihteluna, Suomen sijaitessa keskimäärin noin 60 ja 70 asteen pohjoisen pituuspiirin ja 20 ja 30 itäisen leveyspiirin alueella päiväntasaajaan nähden.

Kokonaissäteilyenergia vuositason Suomessa

Suomeen saadaan vuositasona hyvin auringon kokonaissäteilyenergiaa. Kokonaissäteilyä saadaan esimerkiksi eteläisessä Suomessa neliömetrille vaakatasosta katsottuna vuoden aikana n. 1000 kWh / m², joka vastaa suuruusluokaltaan säteilyä Pohjois-Saksassa. Etelästä pohjoiseen päin siirryessä vuotuinen kokonaissäteily muuttuu vähentyen ja Keski-Suomessa säteilyä saadaan keskimäärin vuoden aikana 890 kWh / m² ja Pohjois-Suomessa 790 kilowattituntia neliömetrille. Keskimääräiset säteilymäärät vaakatasolle ks. *Kuva X*. Suomessa saatavan säteilyn säteilyenergia painottuu valoisaan aikaan kesäkuukausille (touko-heinäkuu), jolloin saadaan aurinkosähköjärjestelmän kannalta kerättyä lähes puolet koko vuoden sähköenergiasta. Pimeämpänä aikana loppusyksystä ja alkutalvena (marras-tammikuu) energiaa kertyy vain noin 4-5 prosenttia koko vuoden tuotosta.



Kuva X Keskimääräinen säteily määrä ja tuotantopotentiaali Suomessa

Paikallisen ympäristön ja sään vaikutus auringonsäteilyyn eri- puolella Suomea

Voimakkuuteen ja paisteen määrä tunteina päivässä vaikuttaa Suomen mittakaavassa tarkemmin tarkasteltuna asennetun järjestelmän kohdalla paikallinen sijainti ja paikalliset sääolosuhteet. Suomi on alueellisesti pituussuunnaltaan pitkä, jonka myötä suhteellinen auringonpaiste määrä jakautuu pituussuunnassa pohjoiseen päin siirtyessä vähentyen ja vaihdellen paikallisista sääolosuhteista riippuen.

Vuositasolla tarkasteltaessa auringonpaiste jakautuu Suomessa seuraavasti kolmen kuukauden aikaväleillä:

Maaliskuussa

- Auringonpaiste jakautuu varsin tasaisesti koko maan alueelle
- Keski-Suomessa saavutetaan hieman suurempia arvoja kuin muilla alueilla
- Rannikon ja sisämaan välillä ei ole havaittavissa suuria eroja

Kesäkuussa

- Merialueet vaikuttavat auringonpaisteeseen huomattavasti
- Ahvenanmaalla, saaristoissa ja rannikoilla perämeren rannikkoa myöten suuria paistearvoja
- Oulu - Kajaani linjalta siirryttäessä pohjoiseen paistearvot pienenevät

Syyskuussa

- Auringonpaisteen kannalta samanlaisia piirteitä kun kesäkuussa
- Maan eri osien väliset erot tasoittuvat samalla kun suhteellisen paisteen arvot laskevat koko maassa
- Perämeren rannikolla keskimäärin suurempaa auringonpaistetta

Joulukuussa

- Auringonpaisteen arvot ovat pieniä
- Auringonpaistetta voidaan laskea vain Etelä -ja Keski-Suomessa
- Lounaisosa on keskimäärin aurinkoisempi kuin kaakkoisosa

Sääolosuhteiden vaikutus yleisesti

Lämpötila



Aurinkopaneelien lämpötila vaikuttaa sähkön tuotantoon ja paneelin hyötysuhteeseen heikentävästi tai parantavasti. Paneelien lämpötilan tarkastelun pisteenä käytetään yleisessä aurinkopaneelien ominaisuuksia mitaavassa standardiolosuhteiden testissä *STC* määriteltyä $+25^{\circ}\text{C}$ lämpötilaa. Aurinkopaneelin lämpötilan noustessa yli $+25^{\circ}\text{C}$ paneelin jännite ja teho laskevat n. 0,5 % jokaista nousevaa astetta kohti eli hyötysuhde laskee aurinkopaneelissa. Vastaavasti alle $+25^{\circ}\text{C}$ lämpötila aurinkopaneelissa kasvattavat hyötysuhdetta. Lämpötilan vaihtelusta johtuva hyötysuhteen vaihtelu johtuu aurinkopaneelissa käytettävän puolijohdemateriaalin *Pii:n* ominaisuuksista eri lämpötiloissa.

Suomen olosuhteisiin nähden aurinkopaneelien lämpötilasta johtuvat heikentävät vaikutukset eivät ole merkittävät johtuen suhteellisen viileästä ja kylmästä ilmastosta verraten asetettuun $+25^{\circ}\text{C}$ lämpötilaan nähden. Viileästä ilmastosta huolimatta, aurinkopaneelien tuuletus tulee olla kunnossa, jotta aurinkopaneelit eivät pääse lämpenemään liikaa esim. asennus- ja alustana käytettävän peltikatteen vaikutuksesta. Tuuletusväli huomioidaan aina suunnitteluvaiheessa.

Pilvisyys



Sääolosuhteiden vaikutuksista pilvisyys on merkittävin tekijä auringonsäteilyn saannin kannalta sekä yleisen auringon korkeuskulman ohella, jota

käsiteltiin aikaisemmassa tekstiosiossa. Pilvettöminä päivinä säteilyä eli auringonpaistetta saadaan tuntimäärällisesti enemmän ja säteily on tasaisen voimakasta eli maanpintaan saadaan suoraa säteilyä, jolloin hajasäteily jää hyvin vähäiseksi.

Pilvisenä päivänä puolestaan auringonpaistetta voi kertyä paljon vähemmän ja auringon paistetunnit jäävät myös vähäiseksi. Pilvisenä päivänä suoransäteilyn osuus myös laskee ja suurin osa säteilystä on hajasäteilyä ja kokonaisuutena säteilyntaso vaihtelee päivän mukaan riippuen pilviti-lanteesta. Auringonsäteilyn määrää ja paistetunnit ovat siis riippuvaisia pilvityypistä ja pilvien määrästä. Pilvityypin ollessa paksumpi saattaa päivän säteilykertymä pudota jopa viidesosaan pilvettömän päivän arvosta. Aurinkosähköjärjestelmän kannalta auringonsäteilystä muodostuva hajasäteily ja heijastuneisuus ei kuitenkaan vaikuta oleellisesti energiantuotantoon sillä aurinkopaneelit pystyvät teknisten ominaisuuksiensa puolesta sekä oikeanlaisella sijoituksella ja suuntaamisella hyödyntämään hajasäteilyn hyvin energian tuottamiseksi.

Esimerkit. Pilvettömästä ja pilvisestä päivästä kohteessa Helsinki

Pilvettömän päivän auringonsäteily ja paistetunnit

- Päivän huippulukema keskipäivällä 800 W/ m², josta hajasäteilyä 100W/ m²
- Päivän paistetunnit yhteensä 15 tuntia
- Päivän aikana auringonsäteilyä kertyy yhteensä 8kWh/ m²

Pilvisen päivän auringonsäteily ja paistetunnit

- Päivän huippulukema $450\text{W}/\text{m}^2$, josta lähes kokonaan hajasäteilyä
- Päivän paistetunnit yhteensä 2,5 tuntia
- Päivän aikana auringonsäteilyä kertyy yhteensä $2,6\text{kWh}/\text{m}^2$

Tuuli ja sateet

Tuulen vaikutus sähköntuotantoon on rinnastettavissa edellä käsitellyn lämpötilan vaikutukseen paneeleissa. Tuulen vaikutuksella voidaan vähentää aurinkopaneelien lämpötilan noususta johtuvaa vuosituotannon laskua aurinkopaneelissa. Huonosti tuulettuva rakenne saattaa heikentää paneelien energiantuotantoa jopa 30 prosentilla, kun jokaista lisäastetta kohden heikentymä on 0,4 prosentin luokkaa. Tuuletusvälit ja rakenteen tuuletusominaisuudet huomioidaan jo suunnitteluvaiheessa, siten että esimerkiksi katon lappeen suuntaisessa asennuksessa tuuletusväli on vähintään 500mm luokkaa ja tasakattoasennuksissa telinerakenteet hyödyntävät tuulen viilentäviä ominaisuuksia tarpeen mukaisesti. Aurinkopaneelien lämpötilan laskemisen lisäksi tuulen vaikutusta hyödynnetään epäsuorasti, kun aurinkopaneelin pinta pääsee puhdistumaan paneelin pinnalle kertyneestä irtorostasta ja kevyestä lumesta.



Sateet vaikuttavat yleisesti sähköntuotantoon sateen tuoman pilvisyyden mukaan, jota käsiteltiin aiemmassa kappaleessa. Sateisena päivänä aurinkoenergian kertymät jäävät vähäisemmäksi, verraten helteiseen sateetomaan kesäpäivään. Vesisateet vaikuttavat paneeleihin myös tuulen lisäksi puhdistavasti, sillä vesisade pääsee huuhtomaan paneelin pinnalle

kertyneen lian ja roskat. Talvisin aurinkopaneelin pinnalle kertyvä lumi heikentää paneelien talven tuotantoa varjostamalla paneeleita. Talven tuotanto on kuitenkin usein hyvin vähäistä sillä valoisa aika jää talvisin Suomessa myös hyvin vähäiseksi jolloin lumen aiheuttamaa tuotannon vähentymistä ei nähdä niin merkittävänä. Lumi voi heikentää voimalan tyyppistä ja koosta sekä lumen määrästä ja kohteen sijainnista riippuen vuotuista tuotantoa noin 3-7 prosenttia.

Paneeleita ei kuitenkaan kannata puhdistaa talvisin, koska sitä ei nähdä kustannustehokkaana vaihtoehtona. Lumesta aiheutuvia varjostuksia voidaan kuitenkin ehkäistä mahdollisuuksien mukaan asentamalla paneelit kallistuskulmaltaan jyrkemmin, jolloin lumi ei pääse kinostumaan paneelin pintaan niin helposti.

4.2 Aurinkopaneelien tuoton tehostamisen tekijöiden vaikutus sähköntuottoon

Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän sähkön tuotantoon ja sitä kautta energian keruun tehostamiseen vaikuttavat oleellisesti aurinkopaneeliin liittyvät tekijät. Aurinkopaneelien kallistuskulma, sijainti, suuntaus ja lisälaitteet sekä paneelien ja invertterin hyötysuhteet.

Aurinkopaneelien sijainti

Sähkön tuotannon maksimoinnin kannalta aurinkopaneelit tulisi sijoittaa mahdollisimman varjottomaan paikkaan, jotta kaikki paneelit saavat mahdollisimman tasaisesti auringonsäteilyä. Varjostukset vaikuttavat merkittävästi aurinkopaneelien sisäisiin kytkentöihin ja sitä kautta energiantuotantoon heikentävästi. Varjostuksesta koosta ja tulosuunnasta riip-

puen voi koko paneelin tuotanto heikentyä tai pahimmillaan tuotanto lakata kokonaan. Pienetkin varjostukset vaikuttavat paneelin tuotantoon heikentävästi ja etenkin koollisesti pienempien järjestelmien kohdalla vaikutus on suuri. Yhden paneelin kennon varjostuminen saattaa vaikuttaa jopa 33–50% koko paneelin tuottoon.

Sijainnin lisäksi varjostukset huomioidaan järjestelmää suunniteltaessa myös komponenttien valinnassa esim. paneelikohtaisilla ohitusdiodeilla, joilla saadaan varjostuksen vaikutuksia minimoitua, jotta koko paneelin tuotto ei pysähdy.

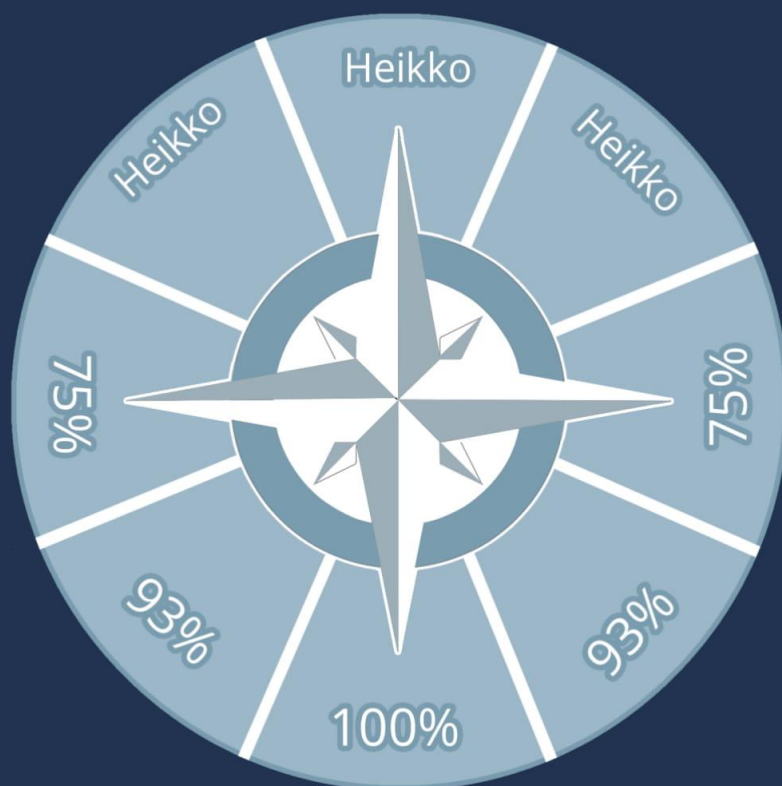
Suomessa varjostuksien vaikutukset ovat suurimmillaan talviaikaan, kun aurinko on alempana ja varjostukset muodostuvat usein pitemmiksi kuin kesäisin. Aurinkopaneelien optimaalinen sijoituspaikka on yleensä mahdollisimman korkealla ja kaukana suhteessa auringonsäteilyä estäviin esteisiin, kuten korkeaan puustoon, lipputankoihin, toisiin rakennuksiin ja maan korkeuseroista johtuviin varjostuksiin. Sijainnin määrittelyssä voidaan sanoa, että paneelit pyritään suunnittelemaan ja asentamaan niin, ettei niihin kohdistu vuoden aikana minkäänlaisia varjostuksia sekä varjostavan objektin korkeuden ja paneelien välisen etäisyyden tulisi olla vähintään kolminkertainen varjostavan objektin korkeuteen nähden. Varjostuksien lisäksi sijainnin valintaa vaikuttavat myös mahdolliset lisäheijastukset, joiden avulla paneelien tuotantoa voidaan lisätä epäsuorasti. Lisäheijastuksia voidaan hyödyntää esimerkiksi paneelien läheisyydessä olevista vaaleista pinnoista sekä vedestä ja lumesta aiheutuneista heijastuksista.

Aurinkopaneelien suuntaus

Aurinkopaneelien suuntauksella ilmansuunnallisesti voidaan vaikuttaa paneelien sähkön tuotantoon ja siihen mihin aikaan vuorokaudesta tuotantoa halutaan esimerkiksi kuormitushuippujen aikana. Suuntauksesta puhutaan myös yleiskielessä suuntauskulmana, jolla tarkoitetaan paneelin poikkeamaa etelän suunnasta asteina. Teknisesti aurinkosähköjärjestelmän suuntauskulma ilmoitetaan yleensä seuraavasti, että 0° astetta tarkoittaa etelään, -90° itään ja $+90^\circ$ länteen päin.

Yleisesti ottaen aurinkopaneelit pyritään optimaalisesti suuntamaan etelään ja suoraan päiväntasaajaan nähden, jolloin saadaan mahdollisimman suuri energian tuotto. Paneelit voidaan suunnata myös lännen ja idän alueelle esimerkiksi mahdollisista varjostuksista johtuen, mutta tällöin kokonaisenergian tuotanto jää hieman vähäisemmäksi. Vuorostaan lounaan ja kaakon välille suunnatessa kokonaisenergian tuotanto ei vähene, mutta suuntauksella voidaan vaikuttaa siihen mihin aikaan vuorokaudesta tuottoa saadaan jota voidaan hyödyntää kiinteistön kuormitushuipussa. Suuntaamalla aurinkopaneelit itään voidaan kattaa aamuun kohdistuvia kuormitushuippuja ja puolestaan länteen suuntauksella voidaan kattaa illan kuormitushuippuja.

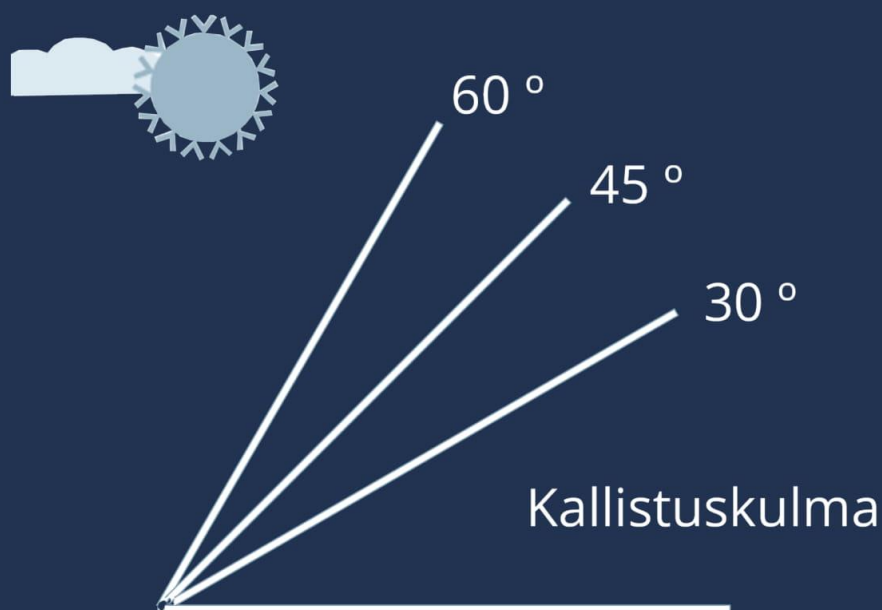
Optimaaliseen suuntaukseen etelään ja kohti suoraan päiväntasaajaan nähden, tuotannossa on aina poikkeamia. Ilmansuunnasta riippuen asiaa voidaan paremmin havainnollistaa seuraavan kuvion avulla.



Ilmansuuntien vaikutuksesta ja merkityksestä tuotantoon vaikuttaa siten, että kaakkoon ja lounaaseen suunnatessa tuotanto pieneen vain hyvin vähän luokaltaan 7 % suhteessa etelään. Itään tai länteen suunnatessa tuotanto heikkenee jopa 25 %, joka on jo neljännes kokonaistuotanto määrästä. Pohjoiseen, koilliseen ja luoteeseen suunnatessa tuotanto puutoa jo niin merkittävästi että sitä ei nähdä kannattavana.

Aurinkopaneelien kallistuskulma

Aurinkopaneelien kallistuskulma vaikuttaa sähkön tuotantoon vuosituotannon jakautumisessa. Kallistuskulma eli asennuskulma määrittää aurinkopaneeleissa paneelin asennuspisteen vaakatason ja auringon kulman välillä alla näkyvän kuvion mukaisesti.



Aurinkopaneelien kallistuskulma esitetään astekulmana suhteessa horisonttiin kahden astepisteen välillä. Astepisteiden ollessa 0° , jolla tarkoitetaan että aurinkopaneelit ovat vaakatasossa ja 90° , että aurinkopaneelit ovat pystytasossa. Aurinkopaneelien edullisin kallistuskulma vaihtelee Suomessa voimakkaasti vuodenaikojen mukaan auringon korkeuden vaihdeltaessa horisontissa. Kesällä aurinko on korkealla ja talvella matalammalla.

Vuosituotannon kannalta tuotanto alkaa heikentyä merkittävästi jos paneeli asennetaan alle 30 asteeseen tai yli 60 asteen kulmaan. Paneelien kallistuskulmaa säädetään yleensä kesän ja talven tuoton optimointia varten.

Aurinkopaneeleista saadaan optimaalisin teho irti silloin, kun auringonsäteily tulee paneeliin nähden kohtisuoraan eli kun tulokulma on 0° astetta. Optimointia varten paneelien telineissä on hyvä olla kaksi eri asentoa kyseisiä vuodenaikoja varten, jotta suuntaus käy helposti. Kesällä paneelit voidaan kääntää loivaan asentoon 30 -45°, kun aurinko on korkeimmillaan. Talvisin paneelit voidaan kallistaa lähelle 90° astetta, kun aurinko on matalammalla. Suosituksena parhaalle kallistuskulmalle vuositasona pidetään sijainnin astelukua, josta on vähennetty 20° astelukuvakio astetta, sillä sijainnin leveysaste eli latitudi vaikuttaa keskimääräiseen auringon korkeuteen.

Esimerkki. Optimaalisen kallistuskulman laskemisesta kohteessa Jyväskylä

Kohde: Jyväskylä – Jyväskylä Paviljonki

Koordinaatit: 62° 14' 23.65" N 25° 45' 27.08"

Pohjoinen leveysaste – sijainnin astelukuvakio

$$62^{\circ} - 20^{\circ} = \underline{42^{\circ}}$$

Optimaaliseksi paneelin kallistuskulmaksi saadaan 42 astetta. Vuositason optimaalinen kulma on täten riippuvainen sijainnista ja sijainti vaikuttaa tuotantoon optimikulmassa. Sijainnin vaikutusta tuotantoon optimaalisella kallistuskulmalla on helpommin ymmärrettävissä, kun tarkastelemme asiaa taulukon avulla.

Sijanti	15°	35°	60°	Opt.kulma	Tuotanto opt.kulma
Jyväskylä	754 kWh	816 kWh	793 kWh	42°	821 kWh
Helsinki	811 kWh	869 kWh	837 kWh	40°	872 kWh
Rovaniemi	709 kWh	790 kWh	790 kWh	47°	802 kWh

Taulukosta nähdään vuosituumantomäärät sijaintikohtaisella optimi kallistuskulmalla sekä vertailukohtana muutamilla eri kallistuskulmilla. Taulukossa aurinkosähköjärjestelmänä on käytetty nimellisteholtaan yhden kilowatin järjestelmää *1kWp* ja aurinkopaneeleiden ollessa suunnattuna kohti etelää.

4.3 Järjestelmän koon vaikutus sähköntuottoon

Aurinkosähköjärjestelmän koon vaikutuksesta sähköntuottoon voidaan sanoa yksinkertaisesti, että teholtaan suurempi järjestelmä tuottaa vuotuisesti enemmän sähköä. Eri kokoisten järjestelmän vertaaminen on silloin todellinen, kun verrataan juuri samaan paikkaan asennettuja erikokoisia aurinkosähköjärjestelmiä. Euroopan komission PVGIS-laskurin avulla voidaan verrata erikokoisten järjestelmien tuottoja samassa kohteessa.

Esimerkki. Simuloidaan PVGIS-laskurin avulla 1kWp ja 2kWp nimellistehoisten järjestelmien vuotuinen tuotto kilowattitunteina samassa kohteessa.

- Kohde: Jyväskylä – Suomi 62.239, 25.746
- 1kWp ja 2kWp aurinkosähköjärjestelmä perinteisillä piikidepaneeleilla
- Optimaalinen kallistuskulma 42°
- Suuntauskulma 0° etelään

- Tehohäviö 14% (häviöt kaapeleissa, invertteri, paneeli.)
- Asennustapa: vapaa (esim. talon katolla lappeen mukaisesti)

1kWp järjestelmällä saadaan:

- Vuotuisesti energiantuotannoksi saadaan 784 kWh
- Energiantuotannon vuosittaiseksi vaihteluksi 44.5 kWh
- Vuotuinen kokonaissäteily määrä vaakasuoralle pinnalle
984 kWh/ m²

2kWp järjestelmällä saadaan:

- Vuotuisesti energiantuotannoksi 1570 kWh
- Energiantuotannon vuosittaiseksi vaihteluksi 89.1 kWh
- Vuotuinen kokonaissäteily määrä vaakasuoralle pinnalle
984kWh/ m²

Yhteenveto. Järjestelmän kokoa kasvattamalla saadaan vuotuinen energiantuotto kaksinkertaistettua yllä olevan simulointi esimerkin mukaan. Yhden 1kWp järjestelmän energiantuotannon ollessa 784kWh ja 2kWp järjestelmän 1570kWh vuodessa huomioiden energian tuotannon vuosittaisen vaihtelun, joka on muuttuu vuosien mukaan riippuen vallitsevista sääolosuhteista vuosin saatossa sekä järjestelmän paneelien sähköntuoton vuotuisen heikentymisen joka vuosi.

4.4 Esimerkki simulointi ja vertailu eri kokoisten järjestelmien sähköntuotosta

Kappaleessa käydään läpi PVGIS-työkalulla simuloidun järjestelmän sähköntuoton arvoja ja verrataan niitä jo pitemmän ajan käytössä olleeseen järjestelmään, jolloin saadaan todenperäinen kuva simuloinnin tarkkuudesta. Euroopan komission PVGIS-työkalun lisäksi, käytetään Sunny Portal-palvelun julkisia tuotantotietoja jo olemassa olevista verkkoon kytketyistä aurinkosähköjärjestelmistä Suomessa.

Sunny Portal-palvelusta kohteeksi valitaan koulukiinteistön osa Jyväskylältä, Viitaniemi 1D. Palvelusta saadaan myös tekniset-tiedot järjestelmästä ja sen tuotoista vuosittain jo olemassa olevan elinkaaren ajalta.

Aurinkosähköjärjestelmän tiedot – Jyväskylä Viitaniemi 1D (62.248, 25.725)

- Käyttöönottopäivä 31.3.2014
- Järjestelmän teho 26.85 kWp
- Vuotuinen energiantuotanto arvio vuodelle 2019 keskimäärin 22823 kWh, josta 850kWh / kWp
- Vaihtosuuntajien mallit: Sunny Tripower 1700TL-10 ja 9000TL-20

Energiantuotanto eri vuosina kohteessa - Jyväskylä Viitaniemi 1D

- 2014, 16890 kWh
- 2015, 20028 kWh
- 2016, 18730 kWh
- 2017, 17560 kWh
- 2018, 22230 kWh
- 2019, Tammikuu- Maaliskuu 2700 kWh

Vuosien 2014-2018 energiantuotannon keskiarvoksi saadaan 19087 kWh vuodessa.

Energiantuotanto simulointi PVGIS-työkalulla – Jyväskylä Viitaniemi 1D

- Kohde: Jyväskylä – Suomi 62.248, 25.725
- 26.85 kWp aurinkosähköjärjestelmä perinteisillä piikidepaneeleilla
- Optimaalinen kallistuskulma 42 ° Jyväskylä
- Suuntauskulma 0 ° etelään
- Tehohäviö 14% (häviöt kaapeleissa, invertterit, paneelit.)
- Asennustapa: vapaa (esim. talon katolla lappeen mukaisesti)

26.85 kWp järjestelmällä saadaan:

- Vuotuiseksi energiantuotannoksi saadaan 22500 kWh
- Energiantuotannon vuosittaiseksi vaihteluksi 1060 kWh
- Vuotuinen kokonaissäteily määrä vaakasuoralle pinnalle
1050 kWh/ m²

Yhteenveto. Simuloinnin suhde todelliseen tuotantoon on varsin todenmukainen, joka on nähtävissä kun verrataan energiantuotannon määriä simuloinnista Sunny Portal-palvelun tuotantotietoihin. Simuloinnilla vuosittaiseksi energiantuotannoksi 26.85 kWp:n järjestelmällä saadaan noin. 22500 kWh, kun todellinen mitattu vuosituotanto määrä oli vuonna 2018 Viitaniemi 1D:ssä 22230 kilowattituntia.

5 JÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS JA TAKAISINMAKSUAIKA

Kuinka pitkä järjestelmän takaisinmaksuaika on?



Järjestelmän kannattavuus ja takaisinmaksuaika

luvussa käsitellään verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta investoinnin näkökulmasta ja takaisinmaksuaikaa yleisesti sekä esimerkkien avulla Finsolar-laskuria hyödyntäen.

5.1 Kannattavuus investointina

Aurinkoenergian kannattavuus on kokonaisuutena monien tekijöiden summa ja laaja osa-alue, johon vaikuttaa ensisijaisesti kustannukset ja sitä kautta ensisijaisesti komponenttien hinnat, mutta myös asennus, suunnittelu sekä ylläpito niiden muodostaessa jopa kolmanneksen järjestelmän elinkaaren kokonaiskustannuksista. Aurinkoenergian ja aurinkoenergiajärjestelmien taloudellista kannattavuutta tarkasteltaessa kustannuksien ohella on syytä erottaa energian ja energiajärjestelmän kannattavuusienmääritelmät, josta saadaan kokonaisuutena aurinkoenergiainvestointi. Kokonaisuutena aurinkoenergiainvestoinnin taloudellista hyötyä ja tuottoa tulisi tarkastella koko aurinkosähköjärjestelmän elinkaaren yli.

Aurinkoenergia on taloudellisesti kannattavaa Suomessa, kun itse tuotetulla aurinkoenergialla korvataan sähköverkosta ostettavan energian määrää aurinkoenergiajärjestelmien avulla.

Lisäksi on tärkeää huomioida, että verkkoon syötettävän ylijäämäsihkömäärä jää mahdollisimman pieneksi, sillä sähköä ostavat verkkoyhtiöt maksavat tuotetusta sähköstä vain kolmasosan ostosähkömäärän hintaa verran. Nämä huomioimalla on mahdollista saada taloudellista kannattavuutta ja tuottoa tuotetulle aurinkoenergialle.

Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta taloudellisessa mielessä pohtiessa on syytä erottaa kannattavuuden kokonaisuus eli aurinkoenergiainvestointi. Aurinkoenergiainvestointi pitää sisällään aurinkoenergian ja aurinkoenergiajärjestelmien eli aurinkosähköjärjestelmän erilaiset kannattavuuksien määritelmät.

Aurinkoenergian kannattavuuden tekijät

Aurinkoenergian osalta taloudellinen kannattavuus on yksinkertaistettuna parhaimmillaan, kun itse tuotetulla aurinkoenergialla korvataan sähköverkosta ostettavan energian määrää aurinkoenergiajärjestelmän avulla. Omassa tuotannossa kannattavuutta tukee, kun ylijäämäsihkömäärän myynti verkkoon jää mahdollisimman pieneksi, koska sähköä ostavat verkkoyhtiöt maksavat tuotetusta sähköstä vain kolmasosan ostosähkömäärän hintaan nähden. Sähköenergian käytön ja myyntiin ohella kannattavuuteen vaikuttaa myös laajemmassa tarkastelussa seuraavat asiat, jotka ovat myös osittain huomioitu *luvussa 5.3 Esimerkki laskelma kannattavuudesta* :

- Kiinteistön sähkönkulutus tunneittain kWh/h
- Arvio ostosähkömäärän ja verojen muutoksista % / vuosi
- Investointituki tai kotitalousvähennys alkuperäisestä, %
- Investoinnin laskentakorko %
- Aurinkosähkömäärän oman käytön osuus %
- Aurinkosähkömäärän ylijäämän myyntihinta verkkoon snt / kWh

- Ylläpitokulut (invert. vaihto, vakuutukset, huolto yms. kulut) % tai € /MWh
- Aurinkosähkön vuosituotto sijainnin mukaan kWh / kWp
- Aurinkovoimalan sähköntuotannon vähenemä noin 0,5 % /v
- Järjestelmän käyttöikä eli elinikä v

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden tekijät

Aurinkoenergian kannattavuuden rinnalla aurinkoenergiainvestointiin kokonaisuutena vaikuttavat aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden tekijät. Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuteen vaikuttavat ensisijaisesti aurinkosähköjärjestelmän kokonaishinta, mutta sen ohella energian keruun tehostamiseen vaikuttavat tekijät kuten paneelien suuntaus ja sijainti sekä asennusaluista. Fysisten tekijöiden lisäksi merkittävä vaikutus on ostoenergian hinnalla sekä aurinkosähköjärjestelmän oikeanlaisella mitoituksella suhteessa kohteen kulutukseen.

Yhteenvedona voidaan sanoa, että aurinkoenergiainvestointi on kokonaisuutena kannattavaa taloudellisesti kun aurinkosähköjärjestelmä on suunniteltu, mitoitettu ja sijoitettu oikein siten, että omaa tuotantoa hyödynnetään mahdollisimman paljon ja sähkö myydään mahdollisimman vähän sähköverkkoon takaisin. Tarkemmassa tarkastelussa on myös lisäksi huomioitavaa aurinkoenergiainvestointiin tarvittava pääoman korko, sillä se vaikuttaa merkittävästi aurinkosähköntuotanto hintaan. Tarkastelemme seuraavaksi aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta erilaisilla laskuesimerkeillä ja kannattavuusmittareilla.

5.2 Aurinkosähkön säädökset ja tuet kannattavuudessa

Uusiutuvia energiantuotantomuotoja tuetaan Suomessa eritavoin riippuen kohteesta ja hankkeesta mille tukia haetaan. Lisäksi aurinkosähköjärjestelmän hankinta ja käyttö pitää sisällään erilaisia verotuksellisia asioita. Alla olevassa kuviossa ks. Kuvio X on yhteenvetona aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta tukevat säädökset ja tuet. Säädöksiä ja tukia käsitellään yksityiskohtaisemmin tulevissa luvuissa.



Kuvio X Yhteenveto säädöksistä ja tukimuodoista

Aurinkosähkön tuet eri kiinteisöissä

Uusiutuvien energioihin eli aurinkoenergian ja aurinkosähkön osalta on mahdollista saada kahta erilaista tukea aurinkosähköjärjestelmän hankintaan, riippuen hakijasta. Yritykset, julkiset toimijat ja maataloudet voivat hakea valtioneuvollista energiatukea, jota myöntää Työ- ja elinkeinoministeriö TEM. Energiatukea eli tuttavallisemmin TEM-tukea myönnetään investointi- tai selvityshankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian tuo-

tantoa tai käyttöä, energian säästöä, energian tuotannon tai käytön tehostamista ja jos nykyistä olemassa olevaa energiajärjestelmää ollaan muuttamassa vähähiilisemmäksi. Aurinkosähköjärjestelmän hankinnan osalta tuki myönnetään investointihankkeena.

Vuonna 2019 energiatukea voi saada investointihankkeiden kokonaiskustannuksista 25 prosentin tuen huhtikuun 2019 loppuun asti, jonka jälkeen tuen määrä laskee 20 prosenttiyksikköön. Energiatukeen voidaan hakea myös 10 prosentin lisä, jos hanke esim. järjestelmän muodossa sisältää uutta teknologiaa tai tapauskohtaisesti katsottuna korotettua tukea voi saada jopa 20–40 prosenttia. Investointihankkeeseen aurinkosähkön osalta vaikuttaa myös, että tuettavien hankkeiden kokonaiskustannuksien tulee olla vähintään 10 000 euroa ja maatalojen yhteydessä toteutettaviin hankkeisiin on rajattu, että tukea myönnetään ainoastaan, jos 80 % tuotetusta sähköenergiasta käytetään kyseisen maatilan ulkopuolella. Työ- ja elinkeino ministeriön tuen lisäksi Maaseutuvirasto myöntää myös tukia maaseudun uusiutuvan energiantuotantoon, joka on viraston puolesta 35 % investoinnista.

Kotitalouksien osalta samanlaista energiatukea ei ole saatavilla, mutta kotitaloukset voivat hakea kotitalousvähennyksiä verohallinnolta. Kotitalousvähennyksiä voi saada aurinkosähköinvestoinnin työkuluista, kuten asennuksista koostuvista kustannuksista. Kotitalousvähennyksiin ei sisälly oman työnosuus, matkakulut eivät tarvitse. Keskimääräisellä kotitalousvähennyksellä, joka on Verohallinnon mukaan vuonna 2019 2400 € vuodessa henkilöä kohden voidaan kattaa jopa 14-18 % aurinkosähköinvestoinnin kokonaiskustannuksista.

Yhteenveto. Energiatuista ja kotitalousvähennyksestä

Energiatuki - TEM

- Työ –ja elinkeinoministeriön – TEM myöntämä tuki
- Yritykset, julkiset toimijat ja maataloudet
- Maataloudelle tukea jos 80 % sähköenergiasta käytetään maatalan ulkopuolella
- Vuonna 2019, 25 % (tammikuu –huhtikuu 2019) 20 % (toukokuu-joulukuu) kokonaiskustannuksista
- Korotettu tuki 10-40 prosenttia kohteesta riippuen

Energiatuki – Maatalousvirasto

- Maatalousviraston myöntämä tuki
- Maataloudet
- Maataloudelle tukea uusiutuvan energian investointiin esim. aurinkosähköjärjestelmä
- Vuonna 2019, 35 % koko kokonaiskustannuksista

Kotitalousvähennys

- Verohallinnon myöntämä tuki
- Kotitaloudet
- Vuonna 2019, 2400 € / henkilö kohden
- Kattaa jopa 14-18% aurinkosähköinvestoinnin kokonaiskustannuksista

Aurinkosähkön verotus

Aurinkosähköinvestointiin liittyy erilaisia verotuksellisia asioita, joita ovat sähkövero, kiinteistö ja tulovero.

Sähköverovelvollisuus

Suomessa omaan käyttöön tuotettu sähkö on laissa määritelty energiaverottomaksi ja huoltovarmuus maksuttomaksi kiinteistöissä, tiettyyn nimellistehoon ja vuosituotantoon asti. Nimellistehon ja vuosituotannon rajaksi on asetettu kiinteistökohtaisten pienimpien sähköntuottajien järjestelmien osalta ne järjestelmät, joiden nimellisteho ei ylitä 100 kVA nimellistehoa tai enintään 800000 kWh:n vuosituotantoa. Järjestelmän nimellistehon ylittäessä 100kVA:n rajan tulee aurinkosähkijärjestelmän omistajan rekisteröityä sähköverovelvolliseksi Verohallinnolle vuotuisen tuotantorajan valvomiseksi tuottamastaan sähköstä. Sähköverovelvolliseksi ilmoittautuminen ei tarkoita, että joudutaan maksamaan sähköveroa vaan ilmoittautumisen myötä he antavat vuosiveroilmoituksen tuotantorajan valvomisen takia. Vuosituotantorajan ylittyessä järjestelmän haltija on velvollinen antamaan selvityksen tuotantomääristä ja suorittamaan sähköveron maksun. Sähköverovelvollisuuden lait ja sähkömarkkinalaki eivät ole pelkästään määritelty aurinkosähkijärjestelmille vaan lait koskevat myös kaikkia muita sähköntuotantomuotoja ja tuotannossa käytettäviä polttoaineita.

Aurinkosähkön tuottajat ja muut muilla sähköntuotanto muodot jakautuvat sähköverovelvollisuuden osalta kolmeen erilaiseen kategoriaan:

- Mikrovoimalaitokset, nimellisteholtaan enintään 100 kVA, jotka jäävät kokonaan verotuksen ulkopuolelle.
- Pienvoimalaitokset, nimellisteholtaan yli 100 kVA, mutta vuosituotanto enintään 800 000 kWh, jotka rekisteröityvät sähkön pientuottajiksi ja antavat koko vuodelta yhden veroilmoituksen tuotamastaan sähkön määrästä.
- Sähköntuottaja, voimalaitos jonka nimellisteho on yli 100 kVA ja vuosituotanto yli 800 000 kWh. Antaa normaalin veroilmoituksen (verolliset ja verottomat toimitukset) kuukausittain riippumatta siitä, syöttääkö sähköä sähköverkkoon vai ei.

Nimellistehon ja vuosituotannon rajat ovat tällä hetkellä järkevät sillä ne ylittyvät erittäin harvoin ja ovat täten kannattavuudeltaan kaikille tasarvoiset, pientalojen, teollisuuden ja isojen kiinteistöjen osalta. Esimerkiksi pientalo-kohteiden aurinkosähköjärjestelmien nimellistehot ovat erittäin pieniä suhteessa lain asettamaan 100 kVA:n nimellistehoon, jolloin ne eivät ole edes ilmoitusvelvollisia. Teollisuuden ja isojen kiinteistöjen osalta suuri 800000 kWh:n vuosituotanto raja mahdollistaa jopa 900 kWp:n tehoisen aurinkosähköjärjestelmän rakentamisen ilman sähkövero ja siirtomaksuja.

Aurinkosähkö kiinteistö –ja tuloverotuksessa

Kiinteistövero

Aurinkosähköjärjestelmän vaikutus kiinteistöverotuksessa on hyvin pieni ja se on riippuvainen järjestelmän asennustavasta ja asennuskohteesta. Aurinkosähköjärjestelmä on kiinteistöverotuksen kohteena joko osana rakennusta tai rakennelmaa tai itsenäisenä rakennelmana. Kiinteistöverotuksen osana on myös jälleen jälleenhankinta-arvo, joka on Valtiovarainministeriön asetuksissa säädetty kaavamainen arvio tietyn rakennus tai rakennelmatyyppin keskimääräisistä rakennuskustannuksista.

Jälleenhankinta-arvoon vaikuttavat rakennuksen eri ominaisuudet nostavasti tai laskevasti. Aurinkosähköjärjestelmien osalta järjestelmää ei katsota vaikuttavaksi tekijäksi, jos järjestelmä on asennettu rakennuksen seinälle tai katolle mikä on asennustavoista yleisin, jolloin se ei vaikuta myöskään perittävään kiinteistöveroon koska se katsotaan osaksi kiinteistöä.

Aurinkosähköjärjestelmä lasketaan omaksi ja erilliseksi rakennukseksi eli kiinteistöksi, jos järjestelmä on asennettu maan tai veden pinnalle omaan erilliseen tukirakenteeseen, jolloin se lasketaan osittain kiinteistöveron piiriin kuuluvaksi. Verohallinnon käsityksen mukaan aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat aurinkopaneeli ja sen toimintaan liittyvät laitteet ja mahdolliset aurinkopaneelin suuntaa muuttavat moottorit ja ohjauslaitteet lasketaan kiinteistöveron ulkopuolelle, jolloin kiinteistöverotuksen piiriin jäävät järjestelmän tukirakenteet ja perustukset.

Tuloverotus

Aurinkosähköntuotannon tuloverotuksen ohjeet määrittelevät pääomatu-
lon alaisen sähköntuotannon rajat kotitalouksissa. Aurinkosähköllä kotita-
loudet voivat tuottaa sähköä omaan käyttöön ilman verovelvollisuutta.
Tilanteessa, jossa sähkö syötetään takaisin verkkoon eli sähkö menee
myyntiin ylijäämäsihtinä, myydyin sähköin arvosta vähennetään tulon
hankinnasta aiheutuvat kulut ja muut aurinkosähköjärjestelmän menot,
kuten järjestelmän hankinnasta johtuvat kustannukset verovuoden ajalta.
Suomen nykyisessä tuotantotukijärjestelmässä kulut ovat aina lähtökoh-
taisesti suuremmat kuin myydyin sähköin arvo, joten verotettavaa tuloa ei
tuloveron muodossa yleensä ole.

5.3 Sähköin siirtäminen kiinteistön rajojen ulko- ja sisäpuolelle

Aurinkosähköjärjestelmällä tuotettua sähköä käytetään lähtökohtaisesti
itse tai myydään ylijäänyt sähkö ylijäämäsihtinä takaisin sähköverkkoon.
Sähköin siirtäminen kiinteistörajojen ulkopuolelle eli tuttavallisemmin yli-
jäämäsihtinä myynti sähköverkkoon on luvanvaraista toimintaa ja vaati-
täten aina paikallisen jakeluverkkoyhtiön suostumuksen sähkömarkkina-
lain mukaisesti. Sähkömarkkina-
laissa on kuitenkin poikkeuksena esitetty
tilanne, jossa sähköinjakelu eli siirto tapahtuu kiinteistä vastaavan kiinteis-
töryhmän sisällä. Kiinteistöryhmällä tarkoitetaan käytännössä kiinteistöjä,
jotka rajautuvat lähelle toisiaan tai jotka ovat saman tahon hallinnassa
omistuksen tai sopimushallinnollisen järjestelyn eli vuokrauksen myötä.
Yksinkertaistettuna aurinkosähköjärjestelmällä tuotettua sähkö voidaan
jakaa ja siirtää omaan pihapiiriin tai tontilla oleviin kiinteistöihin tai kiin-
teistöryhmiin ilman, että jakelu katsotaan luvanvaraiseksi.

Säädöksessä on myös rajattu, että kiinteistöjen läpi tai rajoilla kulkevat tiet eli niin sanotusti ei-yleiset tiet eivät myöskään ole esteenä kiinteistöryhmän sisäiselle sähkönsiirrolle.

5.4 Kuntien ja kaupunkien lupakäytännöt



Aurinkosähköjärjestelmien asentamiseen liittyvät lupakäytännöt uudistuvat toukokuussa 2017 uuden lakimuutoksen myötä. Uudessa lakimuutoksessa lupakäytännöt muuttuivat siten, että aurinkopaneelit ja aurinkosähköjärjestelmä voidaan asentaa ilman kunnan tai kaupungin myöntämää toimenpide tai rakennuslupaa. Aikaisempaan lakiin nähden aurinkosähköjärjestelmän hankinnasta ja käyttöönotosta on tullut vaivattomampaa ja kannattavampaa, sillä aikaisemmin laajat erilaiset lupakäytännöt kuntien ja kaupunkien välillä asettivat aurinkosähköjärjestelmän hankkijat enemmän eriarvoiseen asemaan.

Lakimuutoksessa on myös poikkeuksia jotka ovat syytä huomioida. Lakimuutos ei vaikuta niiden kuntien tai kaupunkien lupamenettelyihin, joissa on määritelty oma ohjeistus aurinkopaneeleille. Kuntien ja kaupunkien lupakäytännöt ovat kuitenkin usein suppeat ja ne tulevat kyseeseen lähinnä jos kiinteistön julkisivukuva muuttuu laajasta ja jonka kautta asennettu aurinkosähköjärjestelmä vaikuttaa merkittävästi kaupunki – tai ympäristökuvaa. Suurimassa osassa kunnista ja kaupungeista ei kuitenkaan ole käytössä minkäänlaista linjausta aurinkosähköjärjestelmien osalta, mutta joissakin tapauksissa voidaan vaatia toimenpidelupaa tai ilmoitusta. Alueittain vaihtelevat toimenpideluvat ovat tyypillisesti hintaluokaltaan 100–

200 euroa. Kuntien ja kaupunkien lupaeroista johtuen kannattaa olla aina yhteydessä kunnan tai kaupungin rakennusvalvontaan ennen järjestelmän hankintaa ja yleensä kunnan tai kaupungin internetsivuilta löytyy tietoa lupakäytännöistä koskien rakennusjärjestystä.

Kunnan –tai kaupungin lupakäytännöstä riippuen:

- Asentaminen on kokonaan kielletty (rakennus on suojeltu kohde)
- Vaatii toimenpideluvan, muun vastaavan luvan tai kaupunkikuva arkkitehdin hyväksynnän
- Vaatii toimenpideilmoituksen (lomakkeen täyttäminen ja maksu)
- Rakennusvalvonta ei vaadi mitään.

5.5 Kannattavuuden arviointi ja LCOE-menetelmä

Aurinkoenergian ja aurinkosähköjärjestelmän muodostamaa aurinkoenergiainvestointia on mahdollista arvioida erilaisilla kannattavuusmittareilla. Kannattavuusmittareilla saadaan konkreettista todennukaista tietoa investoinnista kokonaistaloudellisessa mielessä. Kannattavuusmittareita on useita ja suurin osa niistä, ei sovellu suoranaisesti arvioimaan aurinkosähkönvestoinnin kannattavuutta kokonaisuutena niissä käytettävien ja mitattavien ominaisuuksien ja aikavälin takia.

Kannattavuuden laskemisessa oleellisesti vaikuttavia tekijöitä ovat investoinnin laskentakorko, rahoituksen kulut, arvioidut riskit sekä investoinnin tarkastelu aika. Laskentakorolla tarkoitetaan korkokantaa, jossa investoinnin netto nykyarvo on nolla. Laskentakorko vaikuttaa oleellisesti kannattavuuteen, koska aurinkosähköjärjestelmät ovat pitkän aikavälin sijoituksia niiden pitkästä eliniästä johtuen. Rahoituksen kulujen osalta esimerkiksi ennen järjestelmän hankintaa nostettujen lainojen korot vaikut-

tavat myös kannattavuuteen niiden nostaessa pitkän aikavälin kustannuksia.

Investoinnin arvioitu riski vaikuttaa kannattavuuteen siten, että riskien arviointi vaikuttaa saatavan rahoituksen hintaan, ostajan tuottovaatimukseen ja laskentakoron määrittelyyn. Aurinkosähköjärjestelmät katsotaan kuitenkin matalan riskin sijoituksiksi, koska esim. aurinkopaneeleille annetaan jopa 40 vuoden takuuajkoja. Pitkän takuuajan lisäksi takuuajkoja suhteissa tuotantomäärin voidaan sopia järjestelmän tai palvelun toimittajan kanssa yksityisesti. Aurinkosähköjärjestelmien laskennallisen kannattavuuden osalta myös merkittävää on kannattavuuden tarkastelun aikajänne eli tarkastelu-aika. Investointien kannattavuutta verrataan aina johonkin aikajänteeseen ja usein aurinkosähköjärjestelmien aikajänne katsotaan lyhyemmäksi, kuin aurinkosähköjärjestelmän pitkä elinkaari. Liian lyhyt aikajänne antaa väärän kuvan aurinkosähköjärjestelmän kannattavuudesta, sillä järjestelmän kustannukset syntyvät elinkaaren alussa ja tuottoa syntyy tasaisesti koko elinkaaren ajan.

Aurinkoenergianinvestointi kannattavuuden tarkastelu on haastava riippuen miltä pohjalta asiaa tarkastellaan, jotta saataisiin mahdollisimman realistinen kuva aurinkosähköinvestoinnin kannalta. Asiakkaan näkökulmaa mietittäessä päätöksenteon pohjaksi tarvitaan ajankohtaista tietoa tarjolla olevien erilaisten energiantuotantomuotojen vertailuhinnoista – tuotetun energian kustannusmittarin *LCOE, Levelized Cost of Energy* avulla.

Tuotetun energian kustannus-mittari (*LCOE, Levelized Cost Of Energy*)

- Tuotetun energian kustannukset kokonaisuutena - tuotetun energian hinta
- Eri energiantuotanto muodoille keskenään vertailukelpoisia hintoja

- Käsittää kaikki tuotetun energian kustannukset – investointi, asennus, huolto
- Yksinkertaistettuna saadaan laskettua tuotanto hinta kilowattituntia kohden (snt/kWh)

LCOE- mittarin avulla tuotantohinnoista saadaan yksinkertainen ja vertailukelpoinen kuva. LCOE – laskentamenetelmässä kannattavuutta tarkastellaan todellisen pitoajan eli aurinkosähköjärjestelmän osalta koko elinajan ajan sekä tuotantohintojen pohjalta. Laskentamenetelmällä lasketaan vertailukelpoisia tuotantohintoja suhteessa muihin tuotantomuotoihin, tuotantohintojen kattaessa alkuinvestoinnin, käyttöiän aikaisen tuoton sekä ylläpitokulut. Käytännössä voidaan sanoa, että tuotantokustannukset kattavat ennen järjestelmän käyttöä ja käytön aikana tapahtuvat kustannukset joiden avulla lasketaan hinta, jolla yksikkö energiaa saadaan tuotettua.

LCOE-mittarin soveltuvuutta kannattavuuden tarkastelun mittariksi tukee aurinkosähköjärjestelmän toiminta ja pitkäikäisyys. Aurinkosähköjärjestelmä tuottaa periaatteessa ilmasta sähköä sen hankinnan ja asentamisen jälkeen eli kuluja ei kerry perinteisiin tuotantomuotoihin nähden polttoaineen hankinta muodossa. Järjestelmät ovat pitkäikäisiä lähes ja toimintavarmoja – aurinkopaneelien käyttöikä 30 – 40 vuotta. Laittevaihdoksia tarvitaan vain invertterin eli vaihtosuuntaajan osalta, jonka katsotaan yleisesti toimivan vähintään 15 vuotta. Aurinkosähköjärjestelmän investoinnissa käyttö – ja kunnossapidon kustannuksia on myös hyvin vähän. Vaihtosuuntaajan lisäksi kustannuksia saattaa kertyä pelkästään mahdollisista huoltotoista ja kuntotarkistuksista, kuten paneelien puhdistus ja ulkopuolisista tekijöistä johtuvista häiriöistä ja rikkoontumisista laitteissa.

5.6 Kannattavuuden arviointi Finsolar-laskuri

Suomalainen Finsolar-hanke on kehittänyt puolueettoman kannattavuuslaskurin aurinkosähkön kannattavuuden arviointiin. Laskurin avulla voidaan laskea aurinkosähkölaitteiden kannattavuutta investointina takaisinmaksuajan, nettonykyarvon ja LCOE:n avulla.



Linkki Finsolar-laskuriin:

<http://www.finsolar.net/aurinkoenergia-hankintaohjeita/kannattavuuslaskurit/>

Tarkastellaan seuraavaksi kahta kannattavuuden esimerkkiä erilaisissa kiinteistöillä Finsolar-kannattavuuslaskurin avulla. Esimerkkeinä ovat omakotitalo ja teollisuuskiinteistö, jossa kannattavuus tarkastelu suoritetaan 20 ja 30 vuoden aikavälillä ja tietyillä laskennan arvoilla, jotka käydään läpi esimerkin jälkeen.

Teollisuuskiinteistö 50kWp aurinkosähköjärjestelmä

Tiedot aurinkosähköjärjestelmän asennuskohteesta ja vertailukustannuksista:

Sähköenergian ostohinta	4,5	snt/kWh
Energiaperusteinen sähkön siirtohint	5,0	snt/kWh
Sähkövero ja huoltovarmuusmaksu	0,703	snt/kWh
Ostosähkön arvonlisävero	0 %	%
<i>Välitulos: aurinkosähkön vertailuhinta eli aurinkosähkön vaihtoehtokustannus</i>	<i>10,2</i>	<i>snt/kWh</i>
Arvio vertailuhinnan noususta	1,0%	%/vuosi
Aurinkosähkön asennuskohteen (kiinteistö/kiinteistöryhmä) sähkönkulutus	ei tiedossa	kWh/v

Tiedot hankittavasta aurinkosähköjärjestelmästä ja investointikustannuksista:

Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	50,0	kWp
<i>Välitulos: järjestelmän koko paneelien pinta-alana noin m²</i>	<i>340</i>	<i>neliometriä</i>
Aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen - investointikustannus € (laitteet ja asennus, myös mahdollinen ALV)	€65 000	euroa
<i>Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia</i>	<i>1 300 €</i>	<i>euroa/kWp</i>
Mahdollinen investointituki, kotitalousvähennys tms. alkuinvestoinnista, %	30 %	
Oma mainos-, brändi- tai ympäristötuki investoinnille €	€0	euroa
<i>Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen mahdolliset tuet €</i>	<i>45 500 €</i>	<i>euroa</i>
Rahoituksen korko	0,0%	
Investoinnin tuottovaatimus	0,0%	
<i>Välitulos: Investoinnin laskentakorko</i>	<i>0,0%</i>	
Aurinkosähkön oman käytön osuus, %	100 %	
Aurinkosähkön myyntihinta verkkoon snt/kWh	0,0	snt/kWh
Invertterin vaihdon kustannus, osuus alkuinvestoinnista. kerran elin aikana 15 vuonna	10 %	
Vuotuiset ylläpitokulut (vakuutukset, huolto tms. kulut) % alkuinvestoinnista	0,0 %	
Aurinkosähkön vuosituotto järjestelmän sijainnin mukaan	784	kWh/kWp
<i>Välitulos: aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto alus- sa</i>	<i>39200</i>	<i>kWh</i>
Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä %/v	-0,5%	%

Investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat

20 vuoden aikana

Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 20 vuoden käyttöiällä	31 867 €
Takaisinmaksuaika laskentakorolla	11 vuotta

30 vuoden aikana

Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 30 vuoden käyttöiällä	47487 €
Takaisinmaksuaika laskentakorolla	12 vuotta

Omakustannus hinta ja ostosähkön hinta

20 vuoden aikana

Aurinkosähkön omakustannushinta 20 vuoden pitoajalla	7,0	snt/kWh
Arvioitu ostosähkön keskimääräinen hinta 20 vuoden aikana	11	snt/kWh

30 vuoden aikana

Aurinkosähkön omakustannushinta 30 vuoden pitoajalla	4,8	snt/kWh
Arvioitu ostosähkön keskimääräinen hinta 30 vuoden aikana	10	snt/kWh

Yhteenveto. Kannattavuus arvioinnissa on käytetty kuvitteellista teolliskiinteistöä johon asennetaan 50 kWp aurinkosähköjärjestelmä. Järjestelmä sijaitsee Jyväskylässä, jossa vuosituotto on 784kWh/kWp. Vuosituotto on simuloitu Euroopan komission PVGIS-laskurin avulla. Aurinkosähköjärjestelmän hinta 65000€ on saatu kilowattipiikkihinnasta 1300€/kWp. Sähkönhinnan ja veron osuudessa on Veroluokka II yritykset. Rahoituskorkona on käytetty 1% olettaen, että yritys investoi järjestelmän käyttäen omaa pääomaa. Sähkönhinnan nousu arvioitu 1% Aurinkosähkön oman käytön osuudeksi on määritetty 100% osuus, jolloin sähköä ei myydä verkkoon ollenkaan vaan käytetään omassa kulutuksessa. Tukien osalta on käytetty Työ- ja elinkeinoministeriön TEM- prosentti tukea kokonaisinvestoinnista, joka arvioissa oli 30 % prosenttia kokonaisinvestoinnista.

Omakotitalokiinteistö 5,5kWp aurinkosähköjärjestelmä

Tiedot aurinkosähköjärjestelmän asennuskohteesta ja vertailukustannuksista:

Sähköenergian ostohinta	4,5	snt/kWh
Energiaperusteinen sähkön siirtohint	5,0	snt/kWh
Sähkövero ja huoltovarmuusmaksu	2,253	snt/kWh
Ostosähkön arvonlisävero	24 %	%
<i>Välitulos: aurinkosähkön vertailuhinta eli aurinkosähkön vaihtoehtokustannus</i>	14,6	snt/kWh
Arvio vertailuhinnan noususta	1,0%	%/vuosi
Aurinkosähkön asennuskohteen (kiinteistö/kiinteistöryhmä) sähkönkulutus	ei tiedossa	kWh/v

Tiedot hankittavasta aurinkosähköjärjestelmästä ja investointikustannuksista:

Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	5,5	kWp
<i>Välitulos: järjestelmän koko paneelien pinta-alana noin m²</i>	37,4	neliometriä
Aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen - investointikustannus € (laitteet ja asennus, myös mahdollinen ALV)	€8166	euroa
<i>Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia</i>	1 485 €	euroa/kWp
Mahdollinen investointituki, kotitalousvähennys tms. alkuinvestoinnista, %	16 %	
Oma mainos-, brändi- tai ympäristötuki investoinnille €	€0	euroa
<i>Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen mahdolliset tuet €</i>	6859 €	euroa
Rahoituksen korko	1,0%	
Investoinnin tuottovaatimus	0,0%	
<i>Välitulos: Investoinnin laskentakorko</i>	1,0%	
Aurinkosähkön oman käytön osuus, %	95 %	
Aurinkosähkön myyntihinta verkkoon snt/kWh	4,0	snt/kWh
Invertterin vaihdon kustannus, osuus alkuinvestoinnista. kerran elin aikana 15 vuonna	10 %	
Vuotuiset ylläpitokulut (vakuutukset, huolto tms. kulut) % alkuinvestoinnista	0,0 %	
Aurinkosähkön vuosituotto järjestelmän sijainnin mukaan	784	kWh/kWp
<i>Välitulos: aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto alus- sa</i>	4312	kWh
Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä %/v	-0,5%	%

Investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat

20 vuoden aikana

Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 20 vuoden käyttöiällä	3716 €
Takaisinmaksuaika laskentakorolla	11 vuotta

30 vuoden aikana

Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 30 vuoden käyttöiällä	8914 €
Takaisinmaksuaika laskentakorolla	11 vuotta

Omakustannus hinta ja ostosähkön hinta

20 vuoden aikana

Aurinkosähkön omakustannushinta 20 vuoden pitoajalla	9,0	snt/kWh
Arvioitu ostosähkön keskimääräinen hinta 20 vuoden aikana	16	snt/kWh

30 vuoden aikana

Aurinkosähkön omakustannushinta 30 vuoden pitoajalla	7,0	snt/kWh
Arvioitu ostosähkön keskimääräinen hinta 30 vuoden aikana	17	snt/kWh

Yhteenveto. Kannattavuus arvioinnissa on käytetty esimerkkinä 5,5kWp aurinkosähköjärjestelmään, joka asennetaan omakotitaloon. Omakotitalo sijaitsee kohteessa Jyväskylä jossa vuosituotto on 784kWh/kWp. Vuosituotto on simuloitu Euroopan komission PVGIS-laskurin avulla.. Järjestelmän tiedot ja hinta on saatu aurinkosähköäkotiin.fi sivustolta, jossa on tarjolla olevia ajankohtaisia tarjouksia aurinkosähköjärjestelmistä eri toimittajilta, jolloin se on todenmukainen. Järjestelmän hinta 8166€ eli 1485€/kWp. Sähköhinnassa ja veroissa on huomioitu hinnat yksityisasiakkaille ja veroluokka Veroluokka I Kotitaloudet. Rahoituskorkona on käytetty 1% olettaen, että asiakas investoi järjestelmän käyttäen omaa pääomaa. Sähköhinnan nousuksi on arvioitu 1% ja oman käytön osuudeksi 95%, jolloin 5% myydään verkkoon takaisin, jossa verkkoon myydystä sähköstä saadaan 4snt/kWh. Tukien osalta arvioinnissa on hyödynnetty kotitalousvähennystä, joka on saatu olettaen, että kokonaisinvestoinnista 15 % - 1224,9€ menee asennuskuluihin ja töihin, josta huomioidaan kotitalousvähennys 2400€/hklö ja omavastuu 100€. Kotitalousvähennyksistä saatava summa on tällöin 511€, joka on kokonaisinvestoinnista 16 prosenttia.

6 JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖIKÄ JA HUOLTO



Kuinka pitkä järjestelmän käyttöikä on ja minkälaista huoltoa se tarvitsee?

Kappaleessa käsitellään verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien käyttöikää ja järjestelmän ja sen osien takuu-ehdot sekä yleisesti järjestelmien huollon tarvetta. Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät ovat kokonaisuutena hyvin luotettavia ja toimintavarmoja, sillä ne eivät sisällä yleensä mekaanisesti liikkuvia osia jos ei huomioida auringon seurantalaitteita sisältäviä järjestelmiä. Järjestelmät ovat myös erittäin pitkäikäisiä ja huollon tarve on vähäinen.

6.1 Aurinkosähköjärjestelmän ja aurinkopaneelin tekninen käyttöikä

Aurinkosähköjärjestelmien käyttöikään vaikuttavia tekijöitä ovat järjestelmän komponenttien laadukkuus ja soveltuvuus tietyn tyyppisiin sääoloihin, asennuksen toteutus sekä järjestelmän hoito. Komponenttien laadukkuuden osalta tulisi pyrkiä käyttämään kohteeseen soveltuvia komponentteja, jotka ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan kestävä ja toimivat. Asennuksen toteutuksen tulisi olla myös kohteeseen sopiva, siten että järjestelmän komponentit eivät vaurioidu ja kulu poikkeavasti ajansaatossa esim. asennusvirheen myötä. Aurinkosähköjärjestelmät ovat huoltovarmoja jolloin järjestelmän hoitaminen ja huolto rajoittuu usein pelkästään aurinkopaneelien puhdistukseen tarpeen vaatiessa.

Aurinkopaneelien tekninen käyttöikä vaihtelee erilaisten aurinkopaneelityyppien välillä valmistajasta riippuen, mutta yleisesti kiinteistöikäytössä, kuten omakotitalojen ja isompien kiinteistöjen käytössä olevien yksi- ja monikidepaneelien osalta paneelit säilyttävät toimintakykynsä lähes ikuisesti niiden kiderakenteen pysyessä erittäin stabiilina.

Yksi- ja monikidepaneelien teknisen käyttöiän ilmoitetaan tyypillisesti olevan valmistajasta riippuen 25 vuotta, mutta tekninen käyttöikä saattaa ylittää helposti 30 vuoden rajapyykin.

6.2 Aurinkopaneelien toimintatakuu eli tehontuottotakuu

Teknisen käyttöiän osalta on huomioitavaa, että paneelista riippuen sähköntuotantokyky laskee ajan myötä vähitellen. Sähköntuotantokyvyn lasku on tyypillisesti paneelista riippuen keskimäärin 0,5 prosenttia vuodessa. Sähköntuotantokyvyn lasku on tyypillisesti huomioitu valmistajan puolesta toimintatakuulla eli tehontuottotakuulla. Valmistajasta riippuen tehontuotto takuut ilmoitetaan 10– 25 vuoden aikavälillä. Tyypillisin tehontuotto takuu on määritetty 25 käyttövuodelle, jolloin paneelin tuottaa vielä 80 prosenttia nimellistehostaan sähköä uuden paneelin tuottoon nähden 25 käyttövuoden jälkeen. Toinen tyypillisesti käytössä oleva tehontuottotakuu on asetettu 10 vuodelle, jolloin paneelien katsotaan tuottavan vähintään 90 % nimellistehostaan uuden paneelin tuottoon nähden.

6.3 Aurinkopaneelien tuote- ja asennustakuut

Aurinkopaneeleille on asetettu erilaisia tuotetakuita valmistajasta riippuen, joka koskee tyypillisesti paneelin materiaali, valmistus ja raaka-aineista johtuvia virheitä. Paneelien tuotetakuiden takuu aika vaihtelee 10-15 vuoden välillä, mutta parhaimmillaan luvataan myös 30 vuoden takuita esim.

paneelin tiettyjen osien kohdalla kuten paneelin lasipinnan. Asennuksien takuuksi luvataan usein 2-10 vuotta riippuen järjestelmän asentavasta yrityksestä.

6.4 Invertterin elinikä ja takuu

Invertteri eli vaihtosuuntaaja joudutaan vähintään kertaalleen vaihtamaan aurinkosähköjärjestelmän eliniän aikana, sillä invertteri koostuu elektronikasta, joka kuuluu ajansaatossa. Tekniikat ovat kehittyneet vuosien saatossa siten, että muutamien valmistajien invertterimalleissa kuluvat osat ovat vaihdettavissa, joka lisää laitteen käyttöikä. Invertterien vaihtovälinä pidetään valmistajasta ja mallista riippuen todennäköisimmillään 20 käyttövuotta, mutta joillakin laadukkaimmilla päästään jopa mahdollisesti 30 vuoteen. Tuotetakuut laitteista ovat niin ikään valmistajasta ja mallista riippuvaisia, takuiden rajautuessa 5-8 takuuvuoteen.

6.5 Aurinkosähköjärjestelmän huolto ja puhdistus

Aurinkosähköjärjestelmä on käytännössä hyvin huoltovapaa ja huolto ja puhdistus työt jäävätkin usein minimaalisen vähäiseksi. Huolto ja puhdistustyöt rajautuvat aurinkopaneelisiin. Aurinkopaneelit pysyvät kuitenkin lähestulkoon puhtaina itsestään, jos aurinkopaneelit ovat vähintään asennettu 15-20 ° kulmaan, jolloin likaa eikä lunta pääse muodostumaan niin herkästi paneelinpinnalle ja sateet pääsevät myöskin puhdistamaan paneelia. Aurinkopaneelien sijoituksella ja ympäristöllä on oma merkityksensä paneelin puhtaana pysymiseen.

Aurinkopaneeleja voidaan pestä kevyesti vesiletkun avulla pelkällä vedellä, mutta tarpeen vaatiessa voidaan käyttää hyvin mietoja pesuaineita. Pai-

nepesureita aurinkopaneelin pesussa ei kannata käyttää, sillä paneeli saattaa kärsiä vaurioita.

Talvisin lumen poistaminen paneelinpinnalta tulisi suorittaa pehmeää harjaa käyttäen, jotta paneelin pinta ei niin ikään pääse vaurioitumaan.

Hyvänä puhdistuksen ja huollon nyrkkisääntönä voidaan pitää, että aurinkopaneelit puhdistetaan ja tarkastetaan kahdesti vuodessa, kun käydään katolla tarkastamassa katon ja kattomateriaalin kuntoa keväisin ja syksyisin. Puhdistuksessa ja huollossa voidaan hoitaa tarpeen vaatiessa puhdistus ja samalla tarkastaa paneelien kiinnityksien kunto ja puhtaus.

7 VIITTEET

1. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus
Lehto. I – 2017 – Grano Oy Tampere
2. Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa
Auvinen.K, Lovio.R, Jalas.M, Juntunen.J, Liuksiala.L, Nissilä.H, Müller.J - 2016
<https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/20264/isbn9789526067674.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus
Auvinen.K, Jalas.M – 2017
<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>
4. Auringonsäteily määrä Suomessa
Motiva – 2017
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinko_sahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa
5. Auringonsäteily Helsingissä
Ilmatieteen laitos - 2014
<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135830/2014nro5.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. Aurinko-opas – Aurinkoteknillinen yhdistys ry
Erat.B, Erkkilä.V, Nyman.C, Peippo.K, Peltola.S, Suokivi.H – 2008 – Painoyhtymä Oy Porvoo
7. Aurinkosähköä
Perälä.R – 2017 – Alfamer & Karisto Oy Tampere
8. Aurinkoenergia Suomessa
Tahkokorpi.M, Erat.B, Hänninen.P, Nyman.C, Rasinkoski.A, Wiljander.M – 2016 – Dardedze Holografia Oy Riika
9. Aurinkopaneelien sijoitus ja suuntaus
Motiva – 2019
<https://aurinkosahkoakotiin.fi/aurinkopaneelien-soitus-ja-suuntaus/>

10. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

Motiva - 2018

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus

11. Auringonsäteilyn määrä Suomessa

Motiva -2018

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

12. Suomen säteilykartta

Euroopan komissio - PVGIS 2019

http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_FI.pdf

13. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus

Auvinen & Jalas - 2017

<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

14. Omatuotanto

Rovakaira - 2019

<https://www.rovakaira.fi/Palvelut/Omatuotanto>.

15. Aurinkosähkön kaupallistaminen rakennusyhtiöissä

Laaksonen - 2017

<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/24779/Laaksonen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>