

Timo Kokko

AURINKOPANEELIEN KÄYTTÄMINEN SÄHKÖNTUOTANTOON SATAMA-ALUEELLA

Opinnäytetyö
Energiatekniikka

2019



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä	Tutkinto	Aika
Timo Kokko	Insinööri (AMK)	Helmikuu 2019
Opinnäytetyön nimi		
Aurinkopaneelien käyttäminen sähköntuotantoon satama-alueella		35 sivua 2 liitesivua
Toimeksiantaja		
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, IntoPort-hanke		
Ohjaaja		
Yliopettaja Merja Mäkelä		
Tiivistelmä		
<p>Energiantuotantoa pyritään muuttamaan ympäristöystävällisemmäksi niin kansainvälisesti kuin valtakunnallisella. Fossiilisten polttoaineiden osuutta energiantuotannossa vähennetään ja ympäristöä vähemmän saastuttavien tuotantomuotojen käyttöä lisätään. Jotta uusiutuvien energiamuotojen osuus energiantuotannossa kasvaisi edelleen, niiden tekniikkaa tulee kehittää paremmaksi ja energiantuotantokustannuksen tulee olla kilpailukykyinen fossiilisten energialähteiden kanssa. Yksi ympäristöystävällinen energiantuotantotapa on aurinkopaneelien käyttäminen sähköntuottamiseen. Aurinkosähkön tuottamiseen otollisia kohteita ovat ympäristöltään avarat ja paljon sähköä tarvitsevat kohteet, kuten esimerkiksi satamat.</p>		
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa aurinkosähkön hyödyntämismahdollisuuksia satamaympäristössä ja tehdä aurinkosähkövoimalan esisuunnittelu Steveco Oy:n käyttöön Mussalon satamaan. Aurinkosähköä käyttämällä yritys pystyy pienentämään hiilijalanjälkeään ja säästämään rahaa, kun sähköä ei enää tarvitse ostaa yhtä paljon kuin aikaisemmin. Työssä suunniteltiin sataman tarpeisiin rakennettava aurinkovoimala, joka mitoitettiin sataman sähkönkulutuslukemia silmällä pitäen. Voimalan teho tulee mitoittaa tarkasti sähkönkulutuskohteeseen sopivaksi, jotta voimalaan investoiminen on kannattavaa. Jos sähköä tuotetaan enemmän kuin sitä tarvitaan omaan käyttöön, ylijäävä osuus myydään yleiseen jakeluverkkoon. Myynti on vähemmän kannattavaa kuin sähkön käyttäminen itse.</p>		
<p>Työn tuloksena saatiin mitoituslaskelmat, joiden perusteella Steveco Oy:ssa voidaan pohdita, haluaako yritys investoida aurinkopaneelijärjestelmään ja onko investoiminen yritykselle kannattavaa. Lisäksi työssä selvitettiin aurinkovoimalan käyttöönottoon liittyviä käytännön toimenpiteitä ja ne koottiin toteuttamisprosessia havainnollistavaksi vuokaavioksi. Näillä toimenpiteillä varmistetaan, että aurinkovoimala on määräystenmukainen ja turvallinen. Tässä työssä keskityttiin HaminaKotka Sataman Mussalon satamanosaan, mutta samantyyppisen aurinkovoimalan voisi toteuttaa sataman muihinkin osiin. Edellytyksenä on, että aurinkosähkö on sopiva sähköntuotantomuoto tuottamaan kohteessa käytettävien sähkölaitteiden tarvitsemää sähköä.</p>		
Asiasanat		
aurinkopaneeli, aurinkovoimala, satama		

Author (authors)	Degree	Time
Timo Kokko	Bachelor of Engineering	February 2019
Thesis title		
Use of solar panels for electricity production in port area		35 pages 2 pages of appendices
Commissioned by		
IntoPort –project, South-Eastern Finland University of Applied Sciences		
Supervisor		
Merja Mäkelä, Principal Lecturer		
Abstract		
<p>Efforts are being made to change energy production more environmentally friendly both internationally and nationwide. The share of fossil fuels in energy production is reducing and the use of less polluting energy sources is increasing. In order to further increase the share of renewables, their technology should be improved and the cost of energy production should be competitive with that of fossil fuels. One environmentally friendly way to produce electricity is the use of solar panels. A suitable building for solar panels is located in an open area and requires substantial amounts of electricity.</p> <p>The goal of this thesis was to study the potential of solar power in a port area and to make a feasibility study for Steveco Ltd in the port of Mussalo. By using solar electricity a company is able to reduce their carbon footprint and save money as they no longer need to buy as much electricity as they used to. A solar power plant was designed to meet the needs of the port by paying attention to the recent electricity consumption numbers. The power of the power plant needs to be scaled according to these numbers for the power plant investment to be profitable. If electricity is produced more than needed at the panel site, it has to be sold to the national grid. Selling is less profitable than using it where it is produced.</p> <p>As a result of the thesis, the calculations of the desired solar power plant were made. Based on the calculations Steveco can consider if they want to invest in solar power and if this is profitable for them. In addition, the practical steps of commissioning a small-scale solar power plant were studied and a flow chart showing the steps was compiled. Following these steps ensures that the power plant complies with all the instructions, including safety related issues. This thesis concentrates on the Mussalo part of HaminaKotka port, but a similar solar power plant could be commissioned elsewhere in the port as well, provided that solar power is suitable for powering the devices in the chosen location.</p>		
Keywords		
solar panel, solar power plant, port		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	MUSSALON SATAMAYRITYKSEN ENERGIAN KÄYTTÖ	6
3	AURINKOPANEELIT ENERGIALÄHTEENÄ.....	8
3.1	Aurinkopaneelien tekniikka.....	10
3.2	Aurinkopaneeli-investointi	14
3.3	Asennus ja suuntaaminen	17
4	AURINKOSÄHKÖÖN OHJAAVAT SEIKAT	20
4.1	Energiatuki aurinkopaneeleille	23
4.2	Verkkoon kytkeminen	24
4.3	Koulutuksen ja tiedonvälityksen merkitys	25
5	AURINKOVOIMALAN TOTEUTTAMINEN SATAMA-ALUEELLA	26
5.1	Satamarakennusten soveltuvuus aurinkopaneeleille.....	27
5.2	Käytännön toimenpiteet aurinkopaneeliprojektiin	27
5.3	Paneelitehon mitoittaminen	28
5.4	Ilmastovaikutukset.....	32
5.5	Ostosähkön osuuden vähentämismahdollisuudet	33
6	YHTEENVETO	34
	LÄHTEET	36
	LIITTEET	

Liite 1. Näyttökuva aurinkosähkölaskurista

1 JOHDANTO

Tänä päivänä energiantuotannossa hyödynnetään useita erilaisia energialähteitä, sekä fossiilisia että uusiutuvia. Lukuun ottamatta vuorovesivoimaa kaikkien energialähteiden alkuperä voidaan jäljittää aurinkoon, vaikkakin fossiilisten polttoaineiden kehittämisessä on kulunut todella pitkä aika. Auringon säteilyä saapuu maapallolle jatkuvasti niin suuri määrä, että sillä kattaisi moninkertaisesti koko planeetan energiatarpeen. Yksi monista energiantuotannon muodoista on auringon säteilyä suoraan hyödyntävä aurinkosähkö. Satama-alueelle on luontevaa suunnitella aurinkosähkön käyttämistä avaran ympäristön ansiosta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia Kotkassa Mussalon satama-alueella. Työssä ei suunnitella valmista voimalaa laitteineen, vaan karkea malli satamaympäristössä toimivan yrityksen tarpeisiin soveltuvasta aurinkosähköjärjestelmästä. Järjestelmän teho mitoitetaan käyttäen hyödyksi sähkönkulutuslukemia yrityksen tiloissa. Tekemisen pohjana hyödynnetään mm. sähkönkulutuslukemia. Lisäksi työssä selvitetään aurinkosähköjärjestelmän rakentamiseen liittyviä käytännön toimenpiteitä, kuten lupa-asioita.

Opinnäytetyö on osa Innovations to Port eli IntoPort -hanketta. IntoPort on monivuotinen hanke, jonka avulla on tarkoitus kehittää HaminaKotka sataman toimintaa, saada tietoa uusien ympäristöystävällisten teknologioiden hyödyntämisestä satamassa ja tarjota testausalusta teknologioille. Hankkeen hallinnoija on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Muita hankkeessa mukana olevia toimijoita ovat Kotkan-Haminan kehittämissyhtiö Cursor, HaminaKotka Satama Oy, Kotkan Energia, Cargotec Finland ja Suomen Satamatekniikka Oy.

HaminaKotka Satama Oy on Suomen suurin yleis-, vienti- ja konttisatama. Satama koostuu eri satamanosista, jotka ovat Halla, Hamina, Hietanen ja Hietanen Etelä, Kantasatama, Mussalo ja Sunila. Satamanosat tarjoavat keskenään erilaisia palveluita. Mussalon tarjonta käsittää mm. konttiliikennettä, Ro-Ron, StoRon ja projektilastit. Koko sataman liikennemäärä vuonna 2017 oli 14,7 miljoonaa tonnia.

2 MUSSALON SATAMAYRITYKSEN ENERGIAN KÄYTTÖ

Satama-alueilla on monta toimijaa, joista yksi on logistiikkapalveluita tuottava Steveco Oy. Stevecolla on kalustoa, jolla pystytään liikuttamaan kontteja ja rahtia muissa muodoissa satama-alueella. Tavaraa liikutellaan muun muassa erikokosilla trukeilla sekä lukeilla. Stevecon hallinnassa on Mussalon satama-alueella useita rakennuksia. Tässä työssä esiteltävistä rakennuksista kaksi lämmitetään maakaasulla ja loput ovat kylmiä varistorakennuksia. Stevecon sähkönkulutusta mitataan kulutuskohteittain kymmenellä sähkömittarilla. Useimmissa tapauksissa kulutuskohteella tarkoitetaan käytännössä yhden rakennuksen sähkönkulutusta. Ainakin yhdessä kulutuskohteessa mittaukseen sisältyy rakennuksen lisäksi lukkiparkki, jossa sähköä käyttää huomattava määrä erilaisia sähkölämmittimiä. Taulukossa 1 on esitetty kolmen kulutuskohteen sähkönkulutuslukemat yhdeltä vuodelta kuukausittain.

Taulukko 1. Steveco Oy:n eräiden kulutuskohteiden sähkönkulutuslukemia vuodelta 2017 (Hasko 2018)

	Käyttöpaikka6 kulutus (kWh)	Käyttöpaikka1 kulutus (kWh)	Käyttöpaikka2 kulutus (kWh)
tammikuu	30 626	100 341	85 621
helmikuu	26 788	78 374	77 354
maaliskuu	31 829	71 345	75 509
huhtikuu	29 407	52 547	58 335
toukokuu	25 591	35 209	57 174
kesäkuu	21 561	25 825	47 773
heinäkuu	22 344	30 844	50 701
elokuu	22 594	46 665	53 816
syyskuu	22 653	56 934	65 292
lokakuu	26 225	75 431	116 258
marraskuu	27 343	85 727	139 893
joulukuu	28 717	101 045	145 645
yhteensä	315 678	760 287	973 371

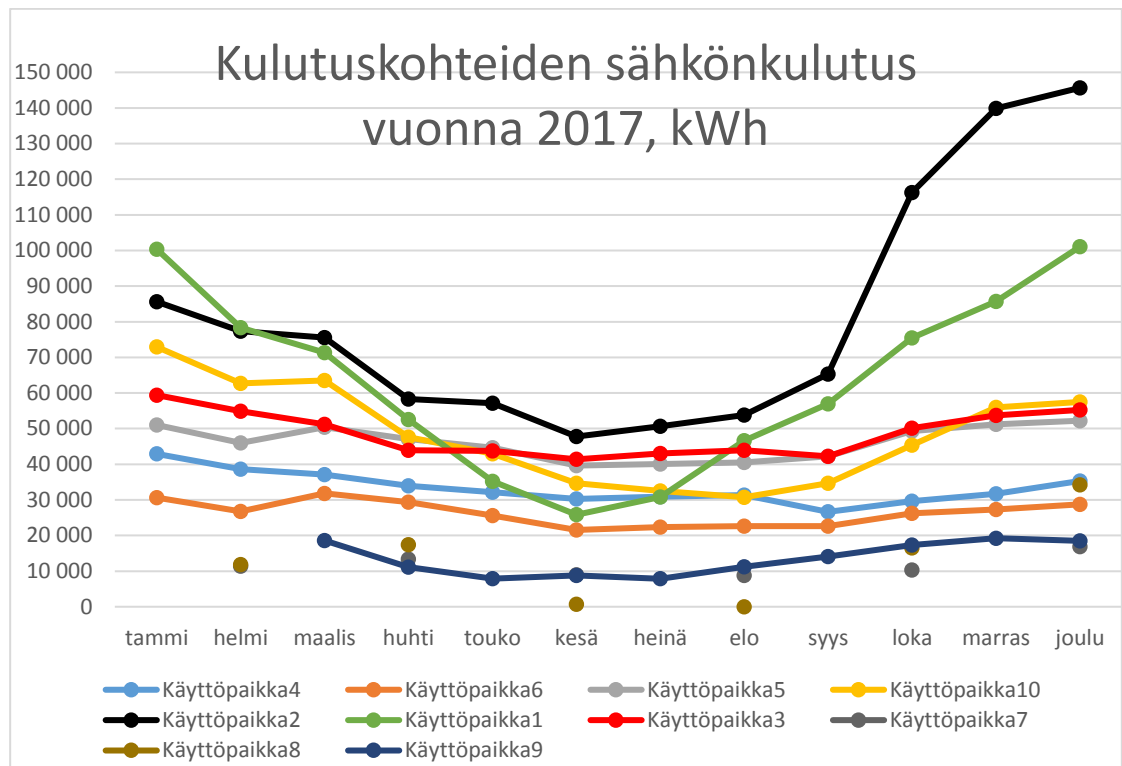
Käyttöpaikka6 on kontitusvarasto, jossa sähköä käytetään valaistukseen. Kontitusvaraston sähkönkulutus ei vaihtele vuodenaikojen mukaan yhtä voimakkaasti kuin kulutuskohteiden Käyttöpaikka1 ja Käyttöpaikka2, jotka ovat valaistuja ulkokenttiä. Sähkön kulutus näissä kahdessa mittarointikohteessa vaihtelee huomattavasti vuodenajan ja päivän pituuden mukaan. Mitä isompi osa vuorokaudesta pärjätään päivänvalolla, sitä vähemmän tarvitaan sähkövaloja. Varastorakennuksessa taas päivänvalo ei päivisinäkään välttämättä tarjoa riittävästi valaistusvoimakkuutta, vaan sähkövaloja tarvitaan silloinkin. Taulukossa 2 on esitetty kaikkien Stevecon hallinnassa olevien rakennusten vuotuiset sähkönkulutuslukemat.

Taulukko 2. Steveco Oy:n kulutuskohteiden sähkönkulutuslukemat vuodelta 2017 (Hasko 2018)

kulutuskohteen numero	sähkönkulutus vuodessa (kWh)
Käyttöpaikka1	760 287
Käyttöpaikka2	973 371
Käyttöpaikka3	582 804
Käyttöpaikka4	400 449
Käyttöpaikka5	554 331
Käyttöpaikka6	315 678
Käyttöpaikka7	69 719
Käyttöpaikka8	80 685
Käyttöpaikka9	134 562
Käyttöpaikka10	581 162
yhteensä	4 453 048

Kuvassa 1 on esitetty sähkönkulutuskohteiden kulutuksia yhden vuoden ajalta. Talvisaikaan eniten sähköä kuluttavat kohteet, ulkokentät Käyttöpaikka1 ja Käyttöpaikka2, erottuvat selvästi muista kohteista varsinkin syysaikaan, kun valaistusta tarvitaan paljon. Käyttöpaikka3:ssa on sosiaali- ja toimistotiloja. Käyttöpaikat 4–10 ovat varastorakennuksia, jossa sähköä tarvitaan vain valaistukseen. Käyttöpaikka7 on kohde, jossa kahden rakennuksen sähköt mitataan yhteisellä mittarilla. Rakennusten sähkönkulutus on yhteenlasketunakin niin pieni, että se jää kulutuskohteista pienimmäksi. Käyttöpaikka10 on korjaamorakennus, jonka sähkönkulutukseen sisältyy myös lukkiparkissa käytettävät sähkölämmittimet. Jokaisessa lukissa on erilaisia sähkölämmittimiä,

joiden yhteenlaskettu tehontarve on noin 6 000 wattia yhtä lukkia kohden. Rakennuksessa on myös sosiaali- ja toimistotiloja sekä varaosavarastoa.



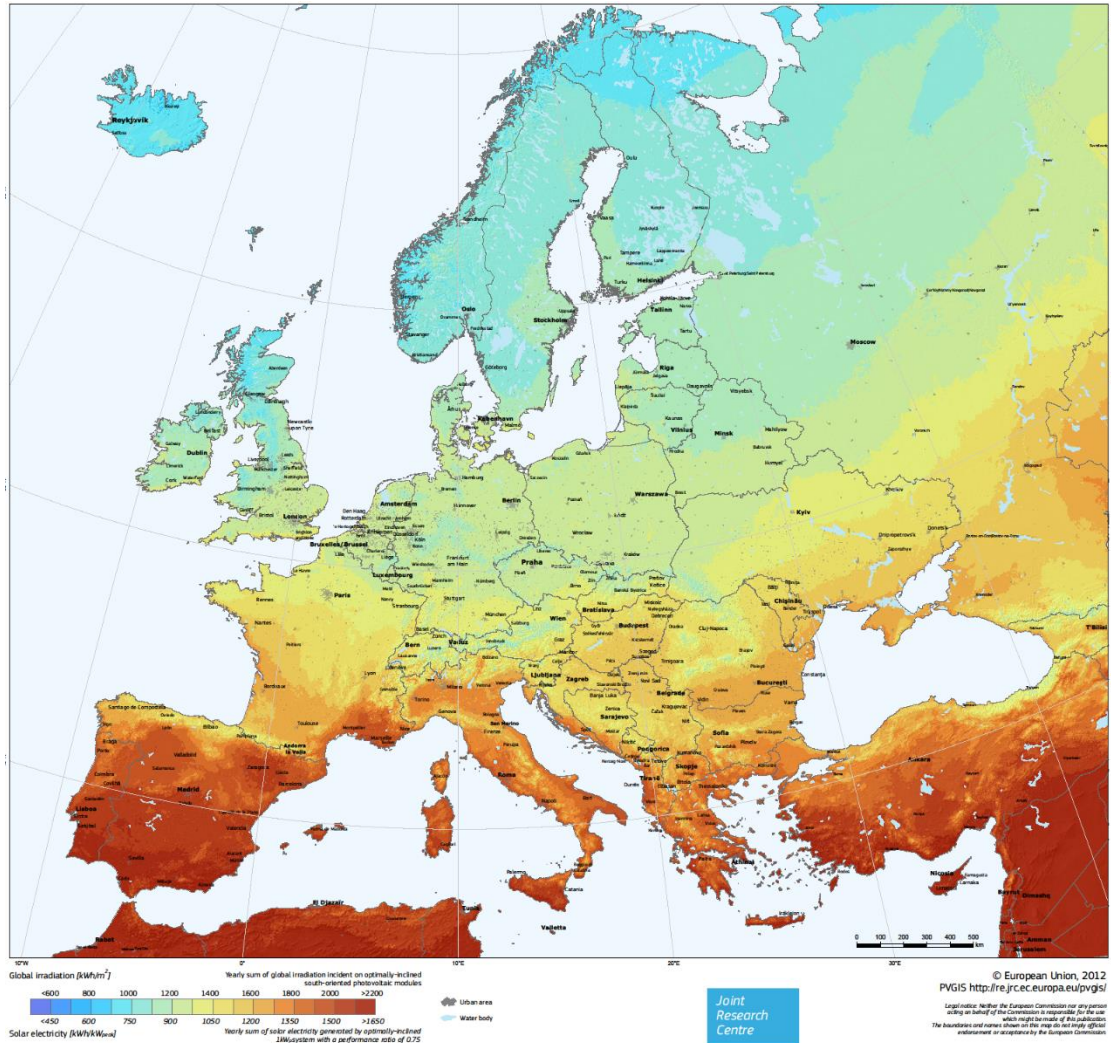
Kuva 1. Steveco Oy:n sähkönkulutus Mussalon satama-alueella kulutuskohteittain

3 AURINKOPANEELIT ENERGIALÄHTEENÄ

Maapallon ilmakehän ulkopinnalle saapuu auringon säteilyä noin $1\,367\text{ W/m}^2$, ja merenpinnan tasolle maapallon pinnalle saapuessaan säteilyn intensiteetin arvo on alle $1\,000\text{ W/m}^2$. Kaikki säteily ei päädy maanpinnalle asti, sillä säteilyä imeytyy muun muassa ilmakehän otsoniin, hiukkasiin ja vesihöyryyn, ja osa säteilyn spektristä sirotaan tai heijastuu pilvistä pois päin maasta. Maantasoon pinnalle asti päätyvä, aurinkopaneelien osuva säteily koostuu suorasta säteilystä ja epäsuorasta, heijastuneesta säteilystä. Osa auringon säteilystä voi heijastua maasta takaisin ylöspäin aurinkokennoihin, mutta aurinkosähköjärjestelmiä mitoitettaessa sitä ei oteta huomioon, koska osuus on kokonaisuuden kannalta niin pieni. (Jenkins & Ekanayake 2016, 121.)

Suomessa on mahdollista tuottaa saman verran aurinkosähköä vuoden aikana kuin joissain eteläisemmissäkin maissa. Kuvassa 2 on esitetty auringon säteilyn määrä Euroopassa. Kartan mukaan Suomen etelä- ja länsirannikoilla auringon säteilyä on tarjolla yhtä paljon kuin esimerkiksi joissakin osissa

Keski-Saksaa. Suomessa tuotanto kuitenkin painottuu vahvasti kesään, sillä silloin aurinko paistaa isomman osan vuorokaudesta kuin talvella. Aurinkosähkön tuotantoon vaikuttaa positiivisesti Etelä-Eurooppaa keskimäärin ilman alhaisempi lämpötila, jossa aurinkokennot toimivat paremmalla hyötysuhteella kuin kuumissa helleolosuhteissa.



Kuva 2. Auringon säteilyn voimakkuus Euroopassa (Photovoltaic Solar Energy Potential in European Countries 2012)

Auringosta saapuu maapallolle jatkuvasti suuri määrä energiaa, mutta sen tehokas valjastaminen hyötykäyttöön ei ole ongelmattonta. Sähköä tuottavia aurinkokennoja on monta erilaista tyyppiä, ja niistä maailmanlaajuisesti eniten käytetyn hyötysuhde on noin 15–17 %. Aurinkokennon hyötysuhde kertoo sen, kuinka ison osan auringon säteilyn sisältämästä energiasta aurinkokenno pystyy muuntamaan sähköenergiaksi standarditestiolosuhteissa. Taulukossa 3 on esitetty joidenkin kennotyyppien ennätyshyötysuhteet ja tyypilliset hyöty-

suhteet kaupallisessa käytössä oleville kennoille. Ohutkalvoteknologiaan perustuva CdTe eli kadmiumtelluridikkenno edustaa toisen sukupolven aurinkokennotekniikkaa. Piikidekennot ovat perinteisiä, ensimmäisen sukupolven kennoja.

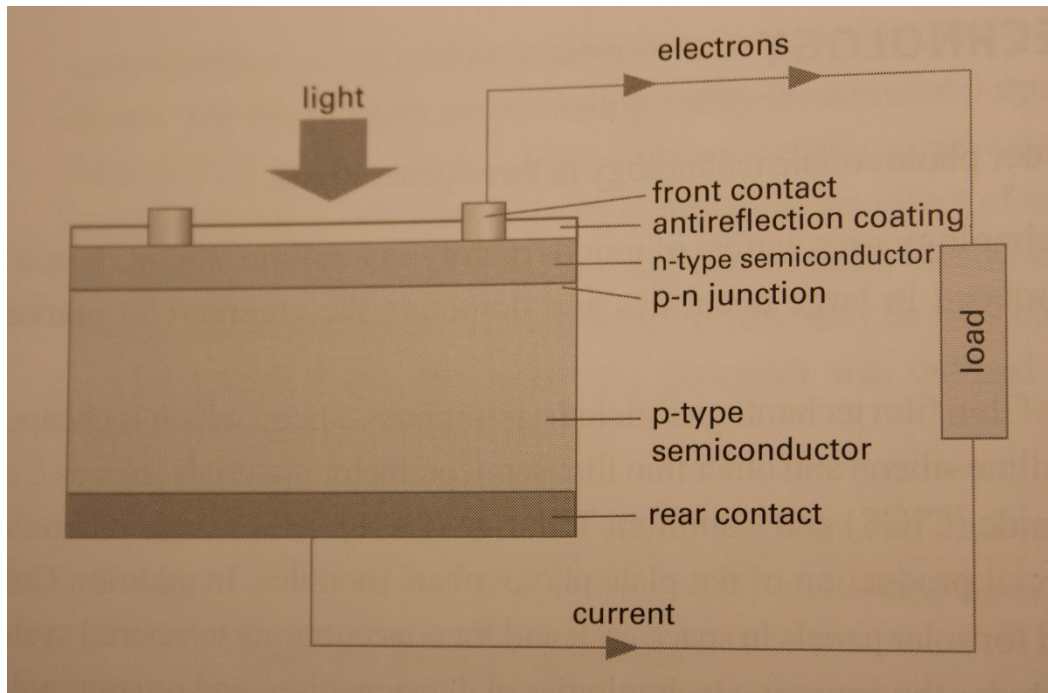
Kennon tyyppi	Kennon maksimihyötysuhde (laboratoriossa) [%]	Kennon hyötysuhde kaupallisessa käytössä [%]
Yksikidepii	25	13–17
Monikidepii	20,8	11–15
Ohutkalvo, CdTe	21,5	11

Taulukko 3. Erityyppisten aurinkokennojen hyötysuhteita, maksimihyötysuhteet vuodelta 2015 (Jenkins & Ekanayake 2017, 171)

Kolmannen sukupolven aurinkokennoja on muutamia erityyppisiä, ja niistä tehokkaimmalla, moniliitoskennolla, on tuotettu sähköä 46 % hyötysuhteella. Korkean hyötysuhteen mahdollistaa kennon kompleksinen rakenne, jonka avulla auringon säteilyn spektristä voidaan hyödyntää useampia aallonpituuksia kuin aikaisempien sukupolvien kennoilla. Pienten valmistusmäärien ja monimutkaisen rakenteen takia näiden kennojen valmistuskustannukset ovat korkeat, eikä niitä juuri käytetäkään sähköntuotantoon maaperällä. (Jenkins & Ekanayake 2017, 173.)

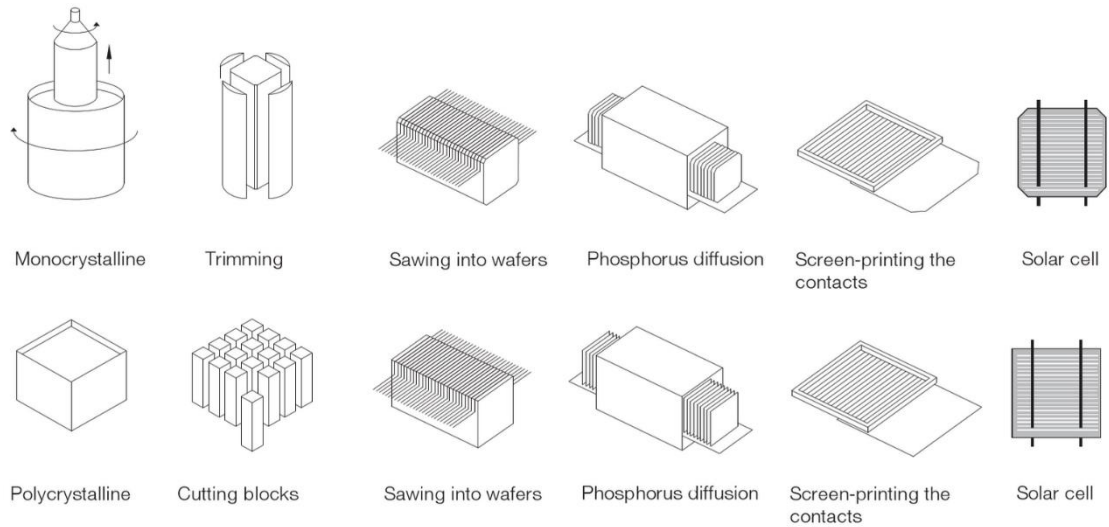
3.1 Aurinkopaneelien tekniikka

Aurinkopaneeli on sähköntuottamiseen käytettävä laite, jonka tärkein komponentti on vankasti suojattu aurinkokenno. Sähkövirta syntyy aurinkokennossa, kun siihen osuu riittävä määrä valoa. Ensimmäisen sukupolven kennorakenne koostuu ylä- ja alapintojen sähkökontaktipinnoista sekä negatiivisesta ja positiivisesta puolijohdekerroksesta kontaktipintojen välissä. Ylempi puolijohdekerros on käsitelty boorilla, minkä takia se on negatiivisesti varautunut. Alempi puolijohdekerros on käsitelty fosforilla, ja siten on aikaansaatu positiivisesti varautunut kennomateriaali. Puolijohdekerroksien välillä on rajapinta, joka mahdollistaa sähkövirran synnyn. Lisäksi kennon yläpinnassa on valon heijastumista estävä pinnoite. Pinnoitteen ansiosta kennon sisälle pääsee myös matalasta kulmasta tuleva säteily, joka muutoin heijastuisi pinnasta takaisin ilmaan. Kuvassa 3 on esitetty ensimmäisen sukupolven aurinkokennon rakenne.



Kuva 3. Ensimmäisen sukupolven aurinkokennon rakenne (Jenkins & Ekanayake 2016, 144)

Ensimmäisen sukupolven aurinkopaneeleissa sähkö syntyy yksi- tai monikiteisen piikennon avulla. Yksi- ja monikiteiset kennot eroavat toisistaan hieman johtuen eroavaisuudesta niiden valmistusprosesseissa. Kuvasta 4 nähdään kennojen valmistusvaiheita. Yksikidekennot ovat peräisin pitkistä lieriönmuotoisesta piitangosta. Tanko valmistetaan nostamalla se ylös sulasta piistä samaan aikaan hitaasti pyörittäen sitä. Tanko leikataan ensiksi neliskanttiseksi. Tanko sahataan ohuiksi, noin 0,2 mm:n paksuisiksi levyiksi, jotka toimivat aurinkokennojen aihioina. Valmistusprosessin sahausvaiheessa piitä menee pölynä hukkaan huomattava määrä, mutta pyörötangosta irti sahatut sivut ja päädyt voidaan sulattaa uudelleen seuraavien tankojen raaka-aineeksi. Sahatuista levyistä puhdistetaan pölyt pois kemiallisella käsittelyllä, ja levyt käsitellään fosforilla korkeassa lämpötilassa. Fosforikäsittely muodostaa kennon yläpintaan ohuen, noin 0,3 μm :n paksuisen n-tyypin puolijohdekerroksen. Seuraavaksi kennon yläpintaan lisätään heijastumista estävä pinnoite, ja lopuksi kontaktipinnat, joita pitkin sähkövirta pääsee kulkemaan. (Weller ym. 2010, 15.)



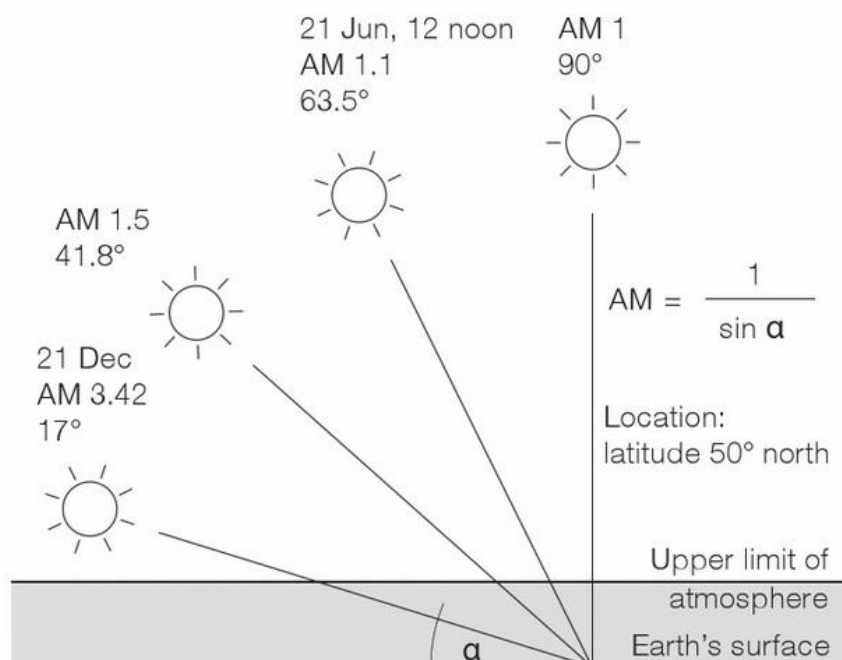
Kuva 4. Yksi- ja monikidekennojen valmistusprosessin vaiheita (Weller ym. 2010, 14)

Monikidekennoja ei tehdä pyörötangosta, vaan sulalla piillä täytetään kuutionmuotoinen muotti. Kuutiosta voidaan sitten sahata tankoja, joiden poikkileikkauksen mitat saadaan päättää vapaasti. Kuten yksikiteisiäkin kennoja tehdessä, tangot sahataan levyiksi, jotka käsitellään samalla tavalla kuin yksikiteisetkin levyt. Kuvassa 4 olevista valmiista kennoista voidaan huomata, että monikidekennot ovat suorakulmaisia. Muodon ansiosta niistä valmistetussa aurinkopaneelissa on hiukan enemmän kennopinta-alaa kuin yksikidekennoista valmistetussa. Tänä päivänä monikiteisiä kennoja näkee enemmän kuin aikaisemmin, sillä monikiteisten valmistusprosessi on halvempi ja yksinkertaisempi. Monikiteisistä kennoista valmistetun paneelin hyötysuhde on kuitenkin hieman huonompi kuin yksikiteisistä valmistetun paneelin. Ero johtuu monikidekennojen valmistusprosessin vaiheesta, jossa sula pii jähmettyy kiinteäksi. Piikiteet asettuvat eri suuntiin, ja niiden rajat käyttäytyvät kuin virhekohdat kiderakenteessa. Näissä rajapinnoissa valosähköistä ilmiötä ei tapahdu, eikä sähkövirta kulje. (Weller ym. 2010, 15.)

Kaupallisista aurinkovoimaloista valtaosa, noin 90 %, käyttää ensimmäisen sukupolven kennoja energiantuotannossa (Wirth ym. 2016, 3). Näiden paneelien on todettu kestävän vaativissakin olosuhteissa yli 20 vuotta käyttöä ilman isoja huoltotoimenpiteitä. Kaupallisten moduulien sähköntuotannon hyötysuhde on saatu nostettua 18 prosenttiin 30 vuoden kehityksen tuloksena.

(Jenkins & Ekanayake 2017, 144.) Todellisuudessa ympärivuotisessa käytössä olevat aurinkokennot eivät tuota sähköä nimellishyötysuhteensa mukaisesti. Jotkin tekijät kuten johdinhäviöt, invertterissä tapahtuva muuntohäviö, vaihtelevat säteilyolosuhteet ja kennon kohonnut lämpötila laskevat hyötysuhdetta 80-90 %:iin nimellisestä hyötysuhteesta. (Wirth 2018, 41.)

Erityyppisten aurinkokennojen vertailua varten on sovittu standarditestiolosuhteet, jossa kennon hyötysuhde mitataan. Hyötysuhdetta mitattaessa kennoon kohdistetaan säteilyä $1\,000\text{ W/m}^2$ kennon lämpötilan ollessa 25 °C ja ilmassan arvon ollessa 1,5. Ilmassan arvo muuttuu todellisissa olosuhteissa auringon sijainnin mukaan, sillä auringon paistaessa matalammalta valon on kuljettava pitempi matka ilmakehässä ennen osumista aurinkokennoon. Kuvassa 5 on havainnollistettu auringon kulman vaikutusta ilmassan (AM) arvoon. Standarditestiolosuhteiden arvo 1,5 vastaa auringon säteilyn osumista kennoon $41,8^\circ$ kulmassa kun ollaan 50. leveysasteella. Vastaavasti ilmassan arvo on 1 tilanteessa, jossa auringon säteily osuu kennon pintaan kohtisuoraan ylhäältäpäin. (Weller ym. 2010, 11–12.)



Kuva 5. Auringon sijainnin vaikutus ilmassan AM-arvoon (Weller ym. 2010, 12)

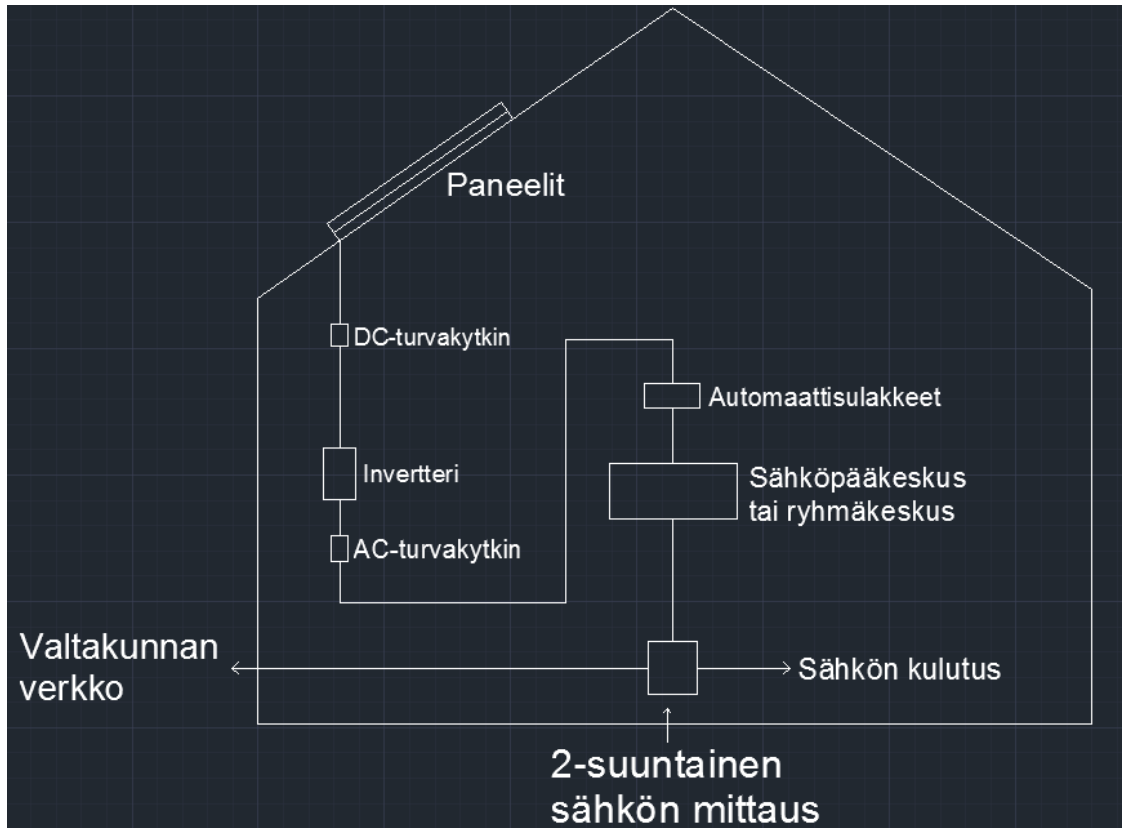
Toisen sukupolven ohutkalvoaurinkokennon valmistamiseen tarvitaan vähemmän piitä, minkä takia ne ovat varteenotettava vaihtoehto yksi- ja monikiteisille aurinkokennoille. Ohutkalvokennot ovat vain joitakin mikrometrejä paksuja, minkä ansiosta niiden valmistamiseen tarvitaan paljon vähemmän piitä kuin

200 µm paksujen kidekennojen. Piitä ei välttämättä tarvita ollenkaan, sillä ohutkalvokennon materiaaleina voi toimia muutkin alkuaineet. P-n puolijohteen rajapinnan voivat muodostaa esimerkiksi n-johtava kadmiumsulfidikerros sekä p-johtava kadmiumtelluridikerros. Kennon sähköä johtavat kontaktipinnat ovat omat kerroksensa kennorakenteessa. Yläpinnan läpinäkyvä miinuskontakti voi olla esimerkiksi sinkkioksidia tai tinadioksidia. Alapinnan läpinäkyvyyden pluskontakti voidaan tehdä esimerkiksi molybdeenistä. Toisen sukupolven kennojen valmistuksessa energiaa kuluu vähemmän, sillä kiteisten kennojen valmistusprosessissa tarvitaan jopa 1 500 °C lämpötiloja, kun taas ohutkalvokennojen kanssa riittää 150–600 °C. (Weller ym. 2016, 16.)

Aurinkokennolla on mahdollista tuottaa sähkövirta auringonvalon avulla. Kun auringon säteilyn fotonit osuvat kennoon, sen n-johtavassa osassa olevien piiatomien uloimpien elektronikuorien vapaat elektronit saavat tarpeeksi energiaa irrotakseen kovalenttisista sidoksista. Elektronikuorelta irtoava elektroni jättää jälkeensä tyhjän tilan, johon voi siirtyä elektroni viereisestä atomista. Kun kennoon on kytketty jokin kuorma, elektronit voivat alkaa liikkumaan yhteen suuntaan tasaisena virtana, ja tällöin vastakkaiseen suuntaan kulkee sähkövirta. (Jenkins & Ekanayake 2017, 144.)

3.2 Aurinkopaneeli-investointi

Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit ovat sähköä tuottavat aurinkopaneelit sekä invertteri, joka muuttaa tasasähkön vaihtosähköksi. Järjestelmässä on lisäksi sen turvallista toimintaa varten erilaisia turvakytkimiä ja automaattisulakkeet. Kaksisuuntainen sähkömittari mittaa sekä valtakunnan verkkoon syötetyn että sieltä otetun sähkömäärän. Kuvassa 6 on esitettyä keskeisimpiä aurinkosähköjärjestelmän osia. DC-turvakytkin voi joissain tapauksissa olla integroituna invertteriin. Turvakytkimellä saadaan kytkettyä invertteri irti tasasähköstä, jos niin halutaan tehdä. Invertterin jälkeen olevan AC-turvakytkimen avulla paneelit saadaan irrotettua sähköverkosta. Automaattisulakkeet, tai johdonsuojakatkaisimet ja vikavirtasuojat toimivat, kuten muissakin sähkökytkennöissä, ja suojaavat laitteistoja mahdollisissa vikatilanteissa. Kaikki komponenttien kytkennät toisiinsa tulee tehdä kuhunkin kohteeseen soveltuvilla kaapeleilla.



Kuva 6. Aurinkosähköjärjestelmän keskeisiä komponentteja

Aurinkosähköjärjestelmän voidaan olettaa investointina olevan noin 20–25 vuoden ikäinen. Tämä ikähaarukka on melko yleinen arvio, jonka valmistajat ovat valmiita lupaamaan paneelien käyttöiksi. Paneelit tuottavat sähköä todennäköisesti vielä sen jälkeenkin, mutta niiden teho on heikentynyt niin paljon, että sillä on jo huomattava vaikutus tuotettavan sähkön määrään. Lähes 2 000 tutkittavan kohteen, joko kokonaisien järjestelmien tai pelkkien paneelien keskimääräinen hyötysuhteen heikkeneminen oli 0,8 % vuodessa. (Jordan & Kurtz 2012.) Jos paneelien hyötysuhde heikkenisi esimerkiksi alkuperäisestä 13 %:sta vuosittain 0,1 %:lla, 25 vuoden jälkeen paneelien hyötysuhde olisi enää noin 10,1 %. Tämä tarkoittaisi huomattavaa, yli 20 % laskua sähkötuotannossa.

Aurinkopaneelien kiinnikkeiden olisi hyvä kestää muuttuvia sääolosuhteita koko aurinkopaneelien eliniän ajan. Voimakkaiden tuulenpuuskien, suurien lämpötila- ja ilmankosteuserojen kestäminen edellyttää kiinnikkeiltä kestävyyttä ja riittävää tukea. Alumiiniseoskiinnikkeet ovat kevyitä ja kestäviä erityisesti kylmissä olosuhteissa. Kun alumiini on yhteydessä ilmaan, sen pintaan muodostuu nopeasti ohut korroosiolta suojaava oksidikerros. Alumiinisten paneelikiinnikkeiden pettämisestä kertovia dokumentteja ei tunnu löytyvän.

Aurinkopaneelien hinnat ovat laskeneet tämän vuosituhaten aikana paljon, mutta aurinkosähkö on silti verrattain kallis sähköntuotantomuoto isossakin mittakaavassa. Paneelijärjestelmä käsittää itse paneelit ja niiden lisäksi invertterin, kytkentätarvikkeet ja asennustelineet. Katolle asennettavien 10–100 kWp teholuokan aurinkopaneelijärjestelmien keskimääräinen hinta Saksassa vuonna 2017 on ollut enää noin 1 150 €/kWp, kun se vielä vuonna 2006 oli noin 4 700 €/kWp. Aurinkopaneelijärjestelmän hinta on pudonnut siis noin neljännekseen reilun kymmenen vuoden takaisesta hintatasosta. Vielä suurempi hinnanlasku on tapahtunut pelkissä paneeleissa, joiden hinta oli vuonna 2006 noin 3 310 €/kWp ja noin 520 €/kWp vuonna 2017. (Fraunhofer ISE 2018.) Tehon yksikkö kWp tarkoittaa järjestelmästä optimiolosuhteissa saatavissa olevaa huipputehoa.

Lappeenrannan teknillisen yliopiston julkaisemassa vertailussa aurinkopaneelit on kallein tapa tuottaa sähköä (Vakkilainen & Kivistö 2017). Aurinkovoiman tuotantokustannukseksi saatiin tutkimuksessa määritettyä 99,6 €/MWh. Luku on yli kaksinkertainen verrattuna maatuulivoiman vastaavaan kustannukseen, joka on vain 41,4 €/MWh ja vertailun halvin tuotantomuoto. Tuotantokustannukset on laskettu sellaisille laitoksille, joiden teho on niin suuri, että kustannukset ovat mahdollisimman alhaiset valitun tehon skaalaedun ansiosta. Tuulivoimalan teho on 50 MW ja aurinkovoimalan 10 MW. Tämän verran tuottava aurinkovoimala on huomattavasti isompi kuin tässä opinnäytetyössä suunniteltava voimala. Pienemmän voimalan tuotantokustannukset tehoon nähden eivät kuitenkaan todennäköisesti tule olemaan ainakaan alhaisemmat kuin isomman voimalan.

10–250 kW:n tehoisen aurinkosähköjärjestelmän ns. avaimet käteen -hankinnan investointikustannus Suomessa on vuonna 2016 ollut keskimäärin 1 050–1 350 €/kWp (Auvinen & Jalas). Esimerkiksi 30kWp tehoisen järjestelmän investointikustannukset voivat siis olla noin 30 000 €. Investointiin mahdollisesti saatavan energiatuen osuus kokonaiskustannuksista vaihtelee vuositasolla. Vuoden 2019 alussa tuen määrä on ollut 25 % investoinnista.

3.3 Asennus ja suuntaaminen

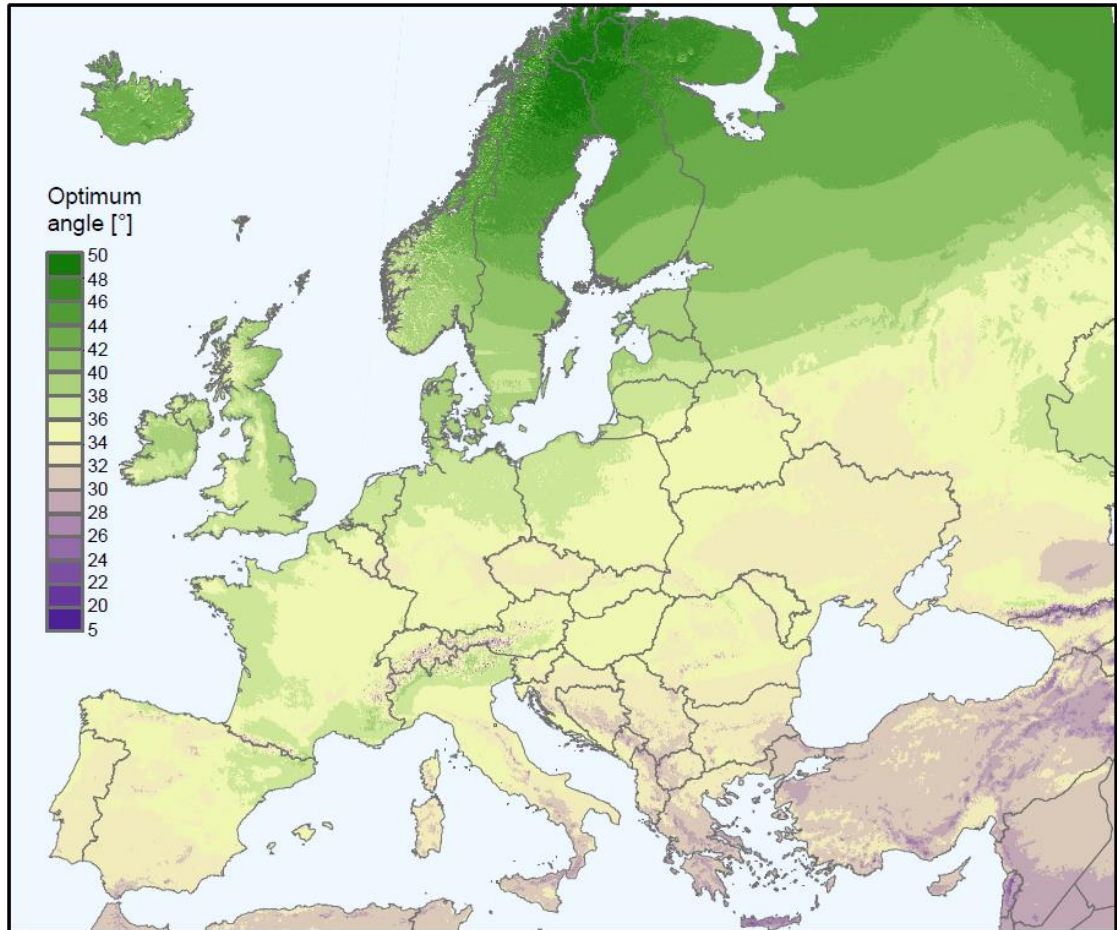
Aurinkopaneelit voidaan asentaa telineiden varaan joko maahan tai kiinni rakennuksiin, seinille tai katolle. Yksityisessä käytössä, esimerkiksi omakotitaloissa paneelit asennetaan toistaiseksi käytännössä aina rakennuksen katolle eikä maahan. Harjakatto toimii valmiiksi kallistettuna kiinnityspintana paneeleille, eikä erillisiä telineitä tarvita. Myös isommissa kohteissa, kuten julkisissa rakennuksissa ja teollisuudessa, paneelit on järkevintä asentaa katoille. Tämän kokoluokan rakennukset eivät kuitenkaan välttämättä ole harjatta vaan tasakattoisia. Näin ollen katolle on asennettava paneeleille telineet, joilla mahdollistetaan paneelien kallistaminen haluttuun asennuskulmaan. Asennuskulmalla tarkoitetaan aurinkopaneelin ja vaakasuoran pinnan välistä kulmaa. Tasakatolla pystytään vaikuttamaan enemmän paneelien suuntaukseen kuin harjakatolla. Tasakatolla paneelit voidaan asentaa siten, että ne ovat suunnattuina mahdollisimman hyvin etelän suuntaan. Jos harjakaton lappeet on suunnattu länteen ja itään, auringon säteilystä ei tulla saamaan parasta mahdollista hyötyä.

Jos aurinkopaneelit päädytään asentamaan maahan eikä rakennuksen katolle, tarvitaan erilliset asennustelineet, jotka nostavat investointikustannuksia. Telineistä voi kuitenkin saada lisähyötyä, kun tavoitellaan parasta mahdollista vuosituotantoa voimalalla. Sähköntuotantoa voidaan kasvattaa jonkin verran, jos telineet ovat säädettävät. Aurinkoa seuraava paneeli tuottaa päivän aikana enemmän sähköä kuin vain kiinteästi yhteen suuntaan suunnattu paneeli. Minimissään telineiden säätömahdollisuudet voivat olla sellaiset, että paneelien asennuskulma voidaan muuttaa erikseen kesä- ja talvikaudeksi paremmin soveltuvaksi. Talviaikaan paneelit voidaan asentaa lähes pystysuoraan, sillä aurinko ei nouse kovinkaan korkealle horisontin yläpuolelle. Suuren, lähes pystysuoran asennuskulman ansiosta lumi ei pääse helposti kerääntymään paneelin pinnalle. Maahan asennettaessakin paneelit kannattaa luonnollisesti suunnata etelään.

Aurinkopaneelien asennuskulma vaikuttaa merkittävästi siihen, kuinka paljon voimalalla saadaan tuotettua sähköä vuoden aikana. Jos aurinkovoimalalla halutaan tuottaa vuoden aikana mahdollisimman paljon sähköä, asennuskulma on lähellä parasta mahdollista, kun aurinkovoimalan sijainnin leveyspiiri

on sama kuin asennuskulma. Esimerkiksi Kotkassa, joka sijaitsee 60. leveyspiirillä, asennuskulman tulisi olla 60. Tällä asennuskulmalla auringon suora säteily osuu aurinkopaneelin pintaan kohtisuorasti kevät- ja syyspäiväntasauksina keskipäivällä. Kesäpäivänseisauksena aurinko paistaa keskipäivällä 23,5° korkeammalta, ja talvipäivänseisauksena vastaavasti 23,5° matalammalta kuin tasauspäivinä. Sähköntuotantoa voidaan painottaa talviaikaan asentamalla paneelit isompaan kulmaan. Tällöin auringon ja paneelin välinen kulma on talvipäivänseisauksena lähempänä kohtisuoraa kuin 60 asteen asennuksella. (Jenkins & Ekanayake 2017, 130–131.)

Korkeammilla leveyspiireillä toimittaessa suurin vuotuinen sähköntuotanto saavutetaan kuitenkin todennäköisesti 10–15°:tta pienemmällä asennuskulmalla, kuin suoraan leveyspiirin mukaisesti asentamalla. Suurin vaikuttava tekijä tähän on se, että pohjoisessa Suomen leveyspiireillä valtaosa aurinkosähköstä tuotetaan kesäaikana auringon ollessa esillä suuremman osan vuorokaudesta. Näin ollen paneelien suuntaus kannattaa valita siten, että kesäaikana tarjolla olevasta auringonsäteilystä hyödynnetään mahdollisimman paljon. Kuvan 7 kartassa on esitetty asennuskulma, jota käyttämällä paneeleilla saadaan suurin mahdollinen sähköntuotto vuoden aikana.



Kuva 7. Aurinkopaneelien asennuskulma, jolla saadaan suurin mahdollinen vuotuinen sähköntuotto (Photovoltaic Solar Energy Potential in European Countries 2012)

Aurinkopaneelit olisi hyvä asentaa siten, että ne eivät jää varjoon missään vaiheessa päivää auringon liikkuesssa taivaalla. Aurinkopaneelijärjestelmää ei kannatakaan asentaa sellaiseen sijaintiin, jossa paneelien pinnalle osuu voimakkaita varjoja. Tasakatolle asennettaessa telinerivien tulee olla riittävän kaukana toisistaan, jotta paneelit eivät varjosta toisiaan. Lankeavan varjon pituuteen voidaan vaikuttaa myös asennuskulmalla. Lähes vaakasuoraan asennetut paneelit eivät aiheuta läheskään niin pitkiä varjoja kuin esimerkiksi 45° kulmaan asennetut. Myös esimerkiksi puun oksasta tai vastaavasta muusta esteestä lankeava kova varjo heikentää aurinkopaneelin tuottoa merkittävästi.

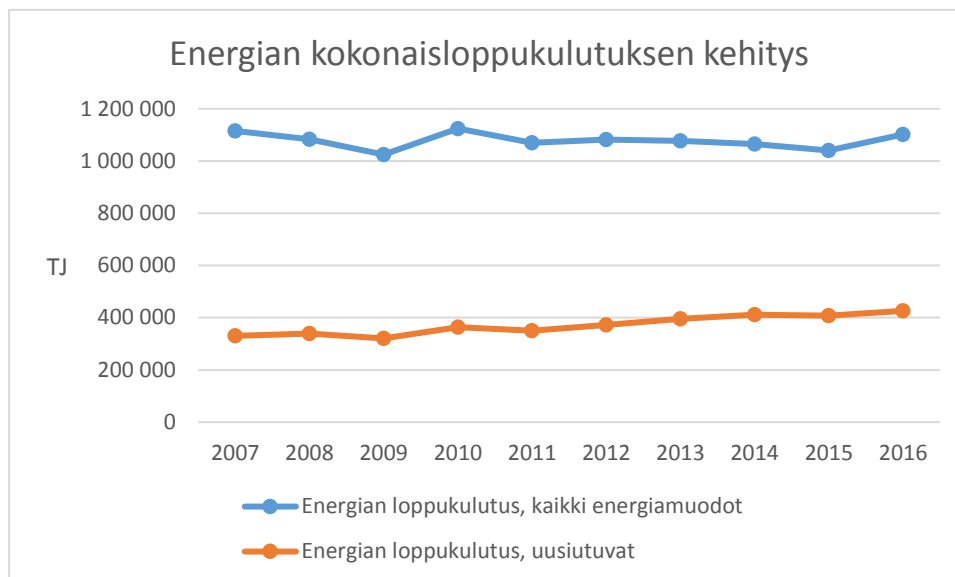
Piikidepaneelin rakenteesta riippuen yksi vahvasti varjostettu kenno paneelissa voi johtaa siihen, että paneelin sähköntuotto putoaa lähes nolnaan. Tilanne johtuu sarjaan kytketyistä kennoista, joista kokonainen paneeli koostuu. Alkeellisissa, yksinkertaisissa aurinkopaneeleissa voimakkaat varjot ovat voineet aiheuttaa jopa tulipalovaaran. Kun yksi kenno on varjossa, se ei tuota sähköä. Sähköä tuottavien kennojen virta kuitenkin kulkee varjossa olevan kennon läpi, ja se alkaa lämpenemään voimakkaasti. Yksittäinen kenno voi

varjostettuna imeä itseensä paljon enemmän energiaa kuin se voi oikein toimissaan tuottaa. Laadukkaissa aurinkopaneeleissa on tekniikkaa, joka pystyy ehkäisemään aikaisemmin kuvatun kaltaisen tilanteen. Sähköä ei tuoteta paneelin sellaisessa kennoketjussa, joka on voimakkaassa varjossa. Koko paneelin tehontuotto heikkenee enemmän tai vähemmän riippuen siitä kuinka monta kennoketjua paneelissa on. (Boxwell 2012.)

4 AURINKOSÄHKÖÖN OHJAAVAT SEIKAT

EU-direktiivin 2009/28/EY mukaan Euroopan yhteisössä käytetystä energiasta 20 prosenttia on tuotettava uusiutuvia energiamuotoja käyttäen vuoteen 2020 mennessä. Yhteiseen tavoitteeseen pääsemisen taakkaa jaetaan jäsenvaltioiden mukaan siten, että jokaisen valtion lähtökohdat ja edellytykset uusiutuvien energiamuotojen käyttämiseen liittyen otetaan huomioon. Esimerkiksi Suomessa uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian osuus kokonaisloppukulutuksesta oli 28,5 % vuonna 2005, ja vuonna 2020 sen tulisi olla 38 %. (EUR-Lex 2009.)

Energian kokonaiskulutus käsitteenä sisältää energian tuotantoon ja jalostukseen käytetyt polttoaineet sekä loppukäytössä käytetyn energian. Energian kokonaisloppukulutus tai energian loppukäyttö taas tarkoittaa energiamäärää, joka käytetään energian lopullisessa kulutuskohteessa, esimerkiksi kotitalouksissa. Energian loppukäyttö on siis kokonaiskulutus, josta on vähennetty energian siirto- ja muuntohäviöt. Suomessa uusiutuvien energialähteiden osuus energian loppukulutuksesta ylitti EU:n asettaman tavoitteen ensimmäisen kerran vuonna 2014 osuuden ollessa 38,7 %. Seuraavina kahtena vuonna osuus on edelleen ollut yli 38 %. Kuvassa 8 esitetään uusiutuvien energialähteiden osuus energian kokonaisloppukulutuksesta. Osuus on ollut hienoisessa kasvussa kuluneen kymmenen vuoden aikana. (Tilastokeskus 2018.)



Kuva 8. Energian kokonaisloppukulutuksen kehitys Suomessa 2007–2016 (Tilastokeskus 2018)

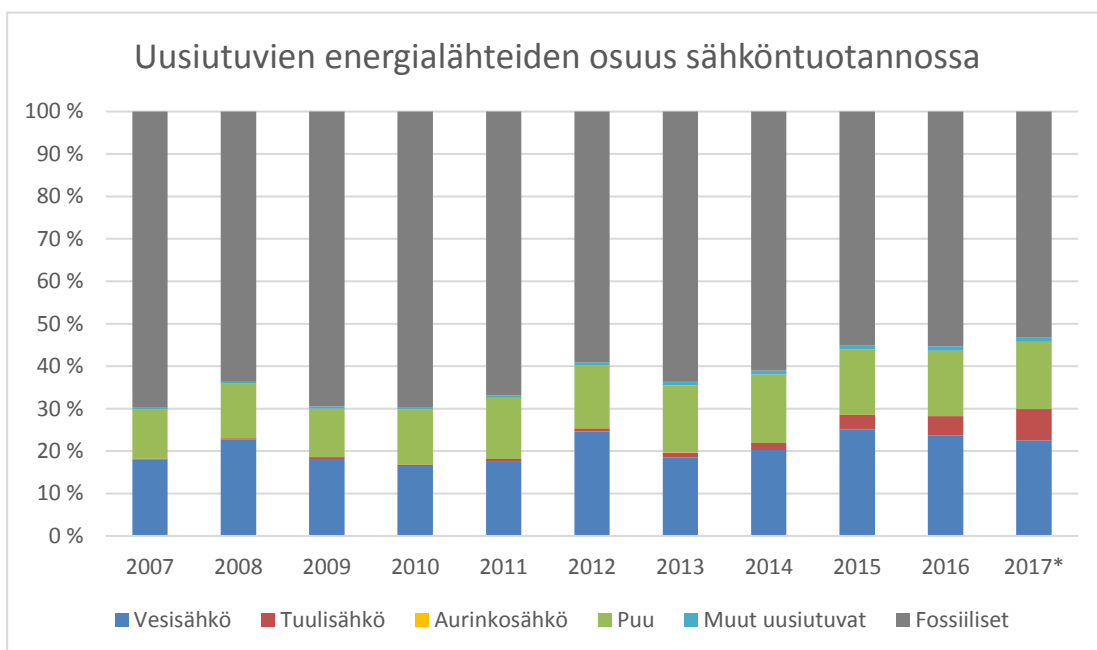
Vuonna 2016 Suomessa tuotetusta sähköstä 45 % oli peräisin uusiutuvista energialähteistä. Valtaosa uusiutuvasta sähköstä tuotetaan vesivoimalla ja puuperäisillä polttoaineilla. Tuulivoiman osuus uusiutuvista on kasvanut lähes nollasta jo yli viiteen prosenttiin. Aurinkovoiman osuus on edelleen häviävän pieni, vaikka viime vuosina aurinkosähköjärjestelmiä onkin asennettu enenevässä määrin. Taulukosta 4 käyvät ilmi uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön määrät vuosina 2007–2017. Muut uusiutuvat -sarake kattaa lämpöpumpputekniikalla tuotetut maa- ja ilmalämpöenergiat, biokaasun, kierrätys- ja jätepolttoaineiden biohajoavan osuuden sekä kasvi- ja eläinperäiset polttoaineet, pois lukien puupohjaiset, joille on oma sarakkeensa. (Uusiutuvilla tuotettiin 45 % sähköstä ja 57 % lämmöstä 2017.)

Taulukko 4. Uusiutuvilla energiamuodoilla tuotetun sähkön määrä Suomessa, GWh. Vuoden 2017 arvot ovat ennakkollisia. (Tilastokeskus 2018)

	Vesi	Tuuli	Aurinko	Puu	Muut uusiutuvat
2007	13990,6	188,4	3,8	9103,7	327,9
2008	16909,5	260,5	3,9	9511,8	359,8
2009	12573,0	276,6	4,3	7899,0	374,8
2010	12743,0	294,3	4,7	9968,6	431,3
2011	12278,3	481,4	5,3	10145,3	443,1
2012	16666,9	494,3	5,7	10053,8	492,4
2013	12672,4	773,7	6,5	10793,7	551,8

2014	13240,2	1107,2	7,8	10525,8	595,8
2015	16584,2	2327,4	9,5	10124,6	626,7
2016	15634,2	3068,0	17,8	10182,2	667,7
2017*	14642,0	4802,0	27,0	10273,8	679,2

Kuvan 9 kaaviossa on esitetty uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön osuudet suhteessa kaikkeen Suomessa tuotettuun sähkseen. Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön osuus vaikuttaa nousevan puoleen kaikesta Suomessa tuotetusta sähköenergiasta, kun noin kymmenen vuotta sitten se on ollut noin kolmasosa.



Kuva 9. Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön osuus kaikesta Suomessa tuotetusta sähköstä (Tilastokeskus 2018)

Energiavirasto on luokitellut alle 1 MW:n tehoiset aurinkosähkön tuotantoyksiköt pientuotannoksi. Vuoden 2016 lopussa valtakunnan verkkoon oli liitetty 27,2 MW aurinkosähkön pientuotantoa ja vuoden 2017 lopussa määrän arvioitiin olevan 66,2 MW. Pientuotannon lisäksi vuoden 2018 kesäkuussa Suomessa on ollut vain yksi yli 1 MW:n aurinkosähkövoimala. (Energiavirasto 2018.) Sähkömarkkinalaissa pienimuotoiseksi sähköntuotannoksi luetaan tuotantolaitokset, joiden teho on alle 2 MW. Valtakunnan verkkoon kytkettyjen aurinkopaneelien määrä on ollut kovassa kasvussa viimeisten vuosien aikana, ja on arvioitu että, kapasiteetti nousisi jopa 150 megawattiin vuoden 2018 aikana.

Liikenteen ydinverkko TEN-T on EU:n alueen laajuinen verkosto, jonka tarkoitus on yhdistää maanosan liikennejärjestelyjä henkilö- ja tavaraliikenteen osalta (Euroopan komissio 2019). Suomen määriteltyyn ydinverkkoon kuuluu mm. maanteitä ja rautateitä, sisävesireittejä ja Etelä-Suomen satamia, mukaan lukien HaminaKotka. EU-direktiivi 2014/94/EU edellyttää, että vuoden 2025 loppuun mennessä TEN-T ydinverkon satamiin on asennettava maasähkön syöttö, jos kysyntää on ja kustannukset eivät ole suhteettoman korkeat hyötyihin nähden. (EUR-Lex 2014.)

4.1 Energiatuki aurinkopaneeleille

Työ- ja elinkeinoministeriön energiatuen tarkoitus on lisätä uusiutuvien energiamuotojen käyttämistä ja edistää uuden teknologian hyödyntämistä energiansäästöissä. Energiatukea voidaan myöntää yrityksille, kunnille ja muille yhteisöille muun muassa investointeihin, joilla edistetään uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä. Tuen osuus aurinkosähköinvestoinnin kustannuksista vuoden 2019 huhtikuun loppuun asti on 25 % ja toukokuun alusta alkaen 20 % (Business Finland s.a.).

Taulukosta 4 voitiin nähdä, että aurinkosähkön tuotanto on kasvanut viimeisinä vuosina huomattavan nopeasti uusien paneeliasennuksien myötä, vaikka Suomessa ei ole käytössä syöttötariffia aurinkosähkölle. Aurinkosähköjärjestelmiä on asennettu innokkaasti isoihin kiinteistöihin, kuten esimerkiksi kauppoihin tai kauppakeskuksiin. Niiden tyyppisissä rakennuksissa aurinkosähkö on omiaan kattamaan osan jatkuvasta sähköntarpeesta. Varsinkin kesällä voidaan tuottaa paljon sähköä kylmäkalusteiden ja valaistuksen tarpeisiin. Energiatuki on helpottanut päätöksentekoa, kun yritykset ovat suunnitelleet aurinkosähköjärjestelmän hankkimista. Energiatuen myöntäminen ei toteudu automaattisesti, vaan tapauskohtaisen harkinnan jälkeen. Yksityiset henkilöt eivät voi saada energiatukea, ja aurinkosähkөөn sijoittaminen on iso investointi järjestelmän maksaessa lähes kymmenenkin tuhatta euroa. Asennustyön osuudesta voi saada kotitalousvähennyksen.

Valtiot voivat kannustaa ihmisiä hyödyntämään tiettyä energiamuotoa ottamalla käyttöön syöttötariffin. Suomessa hyvä esimerkki syöttötariffin vaikutuk-

sesta tietyn energiamuodon yleistymiseen on tuulivoima. Syöttötariffijärjestelmä otettiin käyttöön Suomessa vuonna 2011. Asennettu tuulivoimakapasiteetti on kasvanut vuoden 2011 noin 200 MW:sta vuoden 2016 noin 1 500 megawattiin (Suomen tuulivoimayhdistys 2016). Saksassa on ollut käytössä syöttötariffi aurinkosähkölle. Vuonna 2000 tariffi oli peräti 50 snt/kWh, mutta vuonna 2017 uuden katolle asennettavan pienen voimalan tariffi oli enää noin 13 snt/kWh. Saksassa verkkoon kytketyn aurinkosähkön määrä on kasvanut vuoden 2004 noin 2–3 gigawatista vuoden 2017 yli 40 gigawattiin. (Wirth 2018, 10–12.)

4.2 Verkkoon kytkeminen

Aurinkosähkijärjestelmä voidaan kytkeä valtakunnan sähköverkkoon, jolloin ylimääräinen sähkö voidaan myydä muille sähkönkuluttajille. Verkkoon kytkemisen edellytyksenä on, että muun muassa tietyt sähköturvallisuuteen ja sähkön laatuun liittyvät lakeihin ja standardeihin perustuvat vaatimukset toteutuvat. Vaatimusten täytyessä on huolehdittu siitä, että verkosta energiansa saavat laitteet toimivat häiriöttömästi ja että sähköverkon kanssa tekemisissä olevat henkilöt eivät altistu turvallisuusriskeille. Jakeluverkonhaltija asettaa sähköntuotantolaitokselle vaatimukset, joiden täyttymisestä sähköntuottaja on velvollinen vastaamaan.

Riippuen käyttöpaikan pääsulakekoosta sähköntuotantolaitos on varustettava tietynlaisella sähkönmittauslaitteistolla. Mittauksen tulee olla 2-suuntainen, jotta sekä verkosta ostettava että verkkoon myytävä sähkö voidaan mitata. Aurinkopaneelien omistajan ja verkonhaltijan tulee tehdä 2-suuntainen sähkömyyntisopimus. Mikäli pääsulakekoko on alle 3x63 A, niin mittarin tulee mitata sekä verkosta otettu että verkkoon syötetty sähkön määrä tuntikohtaisesti. Käyttöpaikan pääsulakekoon ylittäessä 3x63 A tuottajan tulee pystyä määrittämään myös oman sähköntuotannon kulutus. Mittauslaitteistojen tulee olla etäluettavia pienimuotoisessa sähköntuotannossa. (Opas sähkön pientuottajalle 2012.)

Paikallisen jakeluverkonhaltijan kanssa kannattaa keskustella jo hyvissä ajoin, kun sähköntuotantolaitoksen toteuttamista aletaan suunnittelemaan. Jakeluverkonhaltijalla on todennäköisesti sanottavaa liittyen sähköntuotantolaitoksen

ominaisuuksiin, sillä laitoksen tulee olla paikallisen sähköverkon vaatimusten mukainen. Uuden tuotantolaitoksen vaikutus jakeluverkkoon arvioidaan aina tapauskohtaisesti, sillä järjestelmien tulee sopia yhteen. Verkkoon kytkemisen lupa ja ohjeet varsinaiseen kytkemiseen saadaan verkkoyhtiöltä.

Suomen sähköjakeluverkon jänniteominaisuuksista määrää eurooppalainen standardi SFS-EN 50160, josta käy ilmi muun muassa pien- ja keskijänniteverkon jännitteen vaadittavat ominaisuudet. Standardissa määritellään sähkön perustaajuuden keskiarvolle sallitut raja-arvot, kun taajuutta tarkastellaan 10 sekunnin mittausaikana. Taajuuden keskiarvon tulee pienjänniteverkossa olla 49,5–50,5 hertsiä 99,5 % vuodesta, ja 47–52 hertsiä koko ajan. Jakelujännitteen vaihteluista verkossa on standardissa sanottu, että normaaleissa käyttöolosuhteissa ”kunkin viikon pituisen mittausjakson aikana, jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin jaksoilta mitatuista keskiarvoista 95 % tulee olla välillä $U_n \pm 10 \%$, ja kaikkien jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee olla välillä $U_n + 10 \%$ / -15% .” (SFS-EN 50160: 2011.) Aurinkosähköjärjestelmällä tuotetun sähkön on oltava laadultaan sekä kansallisten SFS-että kansainvälisten IEC- ja CENELEC-standardien mukaista. Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä ei saa heikentää sähkön laatua. (Energiateollisuus 2011.)

4.3 Koulutuksen ja tiedonvälityksen merkitys

Uusiutuvien energiamuotojen käyttämisen lisääminen on olennaisessa osassa, kun Suomessa pyritään muun muassa täyttämään EU:n asettamat päästötavoitteet. Useissa korkeakouluissa opetetaan kursseja uusiutuvaan energiaan ja aurinkoenergiaan liittyen. Aurinkoenergiaa käsitteleviä opintojaksoja opetetaan mm. Tampereen ammattikorkeakoulussa ja Savonia-ammattikorkeakoulussa, ja yliopistoista Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa ja Aalto-yliopistossa. Tampereen ammattikorkeakoulu koordinoi hanketta, johon sisältyy kaksi energia- ja rakennusalan ammattilaisille ja opiskelijoille suunnattua verkkokurssia. Kurssi käsittelee aurinkoenergiaa noin 81 oppitunnin, eli kolmen opintopisteen laajuisesti, ja lisäksi muita uusiutuvia energiamuotoja. Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulussa suoritettavassa energiatekniikan koulutuksessa voi suuntautua uusiutuviin energiamuotoihin. Kotkan toimipiste tekee myös yhteistyötä Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston kanssa

vetämällä yhdessä aurinko- ja tuulivoimateknologiaa käsittelevän opintojakson. Loppujen lopuksi uusiutuvia energiamuotoja ei opeteta valtakunnallisesti kuitenkaan niin laajalti kuin voisi aluksi arvella.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, Sähköinfo Oy, Energiateollisuus ry ja Adato Energia Oy järjestävät jakeluverkonhaltijoille ja sähköurakoitsijoille suunnatun kurssin, joka käsittelee aurinkosähköjärjestelmiä ja niiden verkkoon liittämistä (Sähköinfo s.a.). Sertifiointitoimikunta järjestää moninaisia 1–3 päivän mittaisia aurinkosähköasentajille suunnattuja kursseja liittyen muun muassa aurinkosähköjärjestelmien suunnitteluun, asennuksiin ja niihin liittyviin standardeihin (Motiva 2018).

Ihmisten ajatuksiin voidaan vaikuttaa tuomalla aurinkosähköasiaa näkyville jokapäiväisessä elämässä. Hangon kaupunki on tehnyt huomattavia aurinkopaneeliasennuksia muun muassa koulujen katolle. Haagapuiston koulussa on nähtävillä näyttö, jossa on näkyvillä kuinka paljon sähköä paneeleilla on tuotettu ja kuinka suurella teholla sitä tuotetaan parhaillaan. Tieto siitä, että koulun katolla on sähköä tuottavat aurinkopaneelit, voi vaikuttaa lasten ajattelutapoihin ja lisätä tietoisuutta ympäristöystävällisestä sähköntuottamisesta. Konkreettinen havainnollistaminen aurinkopaneelien sähköntuottamiskyvystä voi herättää mielenkiintoa niin koululaisissa kuin opettajissakin.

Aurinkosähkön yleistymistä edesauttaneet koulutuksen ja tietoisuuden lisääminen järjestelmistä ja niissä oleva potentiaali osana sähköntuotantojärjestelmää. Aurinkopaneelien hinnat ovat laskeneet niinkin paljon, että sähköntuottaminen niillä voi olla tietyin ehdoin kannattavaa. Aurinkosähköjärjestelmien voisi siis olettaa yleistyvän yhä enemmän tietoisuuden lisääntyessä. Kun aurinkosähkön tuottamista harkitseva kuluttaja tai isompi taho tietää, että aurinkosähköllä voidaan säästää rahaa ympäristöystävällisin keinoin, sen luulisi kannustavan hankintapäätökseen.

5 AURINKOVOIMALAN TOTEUTTAMINEN SATAMA-ALUEELLA

Sataman voidaan ajatella tarjoavan otollisen ympäristön sähkön tuottamiseen aurinkopaneeleilla. Suurin yksittäinen paneelien sähköntuotantoa heikentävä

tekijä on varjot. Satamassa ei useastikaan ole paljon kasvavia puita, ja jos vie-rekkäiset rakennukset ovat jokseenkin samankorkuisia, voimakkaita varjoja ei helposti pääse syntymään paneelien pinnalle.

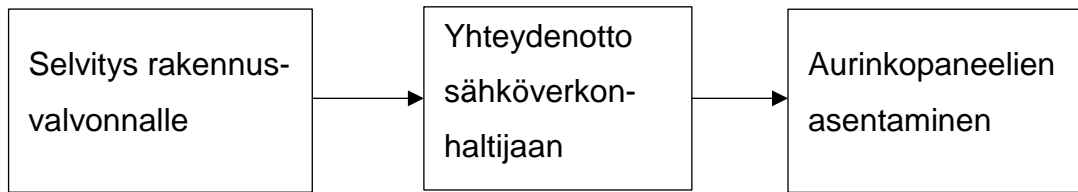
5.1 Satamarakennusten soveltuvuus aurinkopaneeleille

Aurinkopaneelien sijoittamispaikaksi ei kannata valita mitä tahansa raken-nusta. Aurinkosähköjärjestelmän investointipäätökseen vaikuttaa moni asia al-kaen siitä, soveltuvatko paneelit kattamaan rakennuksen sähkönkulutuksen tarvetta. Lisäksi katon tulee kestää järjestelmästä muodostuva ylimääräinen, mahdollisesti satojen kilojen painoinen kuorma. Paneeleita ei kannata asentaa katolle, mikäli on arvioitavissa tai tiedetään, että se kaipaa remonttia lähivuo-sina. Paneelien poistaminen katto remontin tieltä aiheuttaa ylimääräisiä kus-tannuksia.

Vuotuiseen sähköntuotantoon vaikuttaa huomattavasti se, mihin ilmansuuntiin harjakattoisen rakennuksen katonlapeet ovat suunnattuina. Yksinkertaisen etelä-pohjoissuunnassa olevan kaksilappeisen katon tapauksessa paneelit voidaan asentaa suotuisasti etelälapelle, mutta itä-länsisuunnassa oleva katto rajoittaa tuotantomahdollisuuksia. Etelään suunnatut paneelit tuottavat sähköä tehokkaimmin, mikä lyhentää paneelien takaisinmaksuaikaa.

5.2 Käytännön toimenpiteet aurinkopaneeliprojektiin

Kotkan kaupungin alueella toteutettavat aurinkopaneeliasennukset arvioidaan tapauskohtaisesti. Rakennusvalvonnalle on toimitettava selvitys, josta ilmenee mm. asennettavien paneelien tyyppi, koko, asennustapa ja väri. Selvityksessä tulee olla mukana myös rakennuksen julkisivupiirustus, jossa on esitettyä au-rinkopaneelit asennettuina. (Kotkan kaupunki 2018.) Rakennusvalvonnan li-säksi aurinkosähköjärjestelmästä tulee ilmoittaa paikallisen sähkönjakeluver-kon haltijalle. Aurinkopaneelien asentaminen voidaan aloittaa, jos kaupungin rakennusvalvonnalta ja sähköverkon haltijalta saadaan sille lupa. Kuvasta 10 selviää aurinkopaneelien käyttöönottoprosessi yksinkertaisimmillaan ilman yk-sityiskohtia.



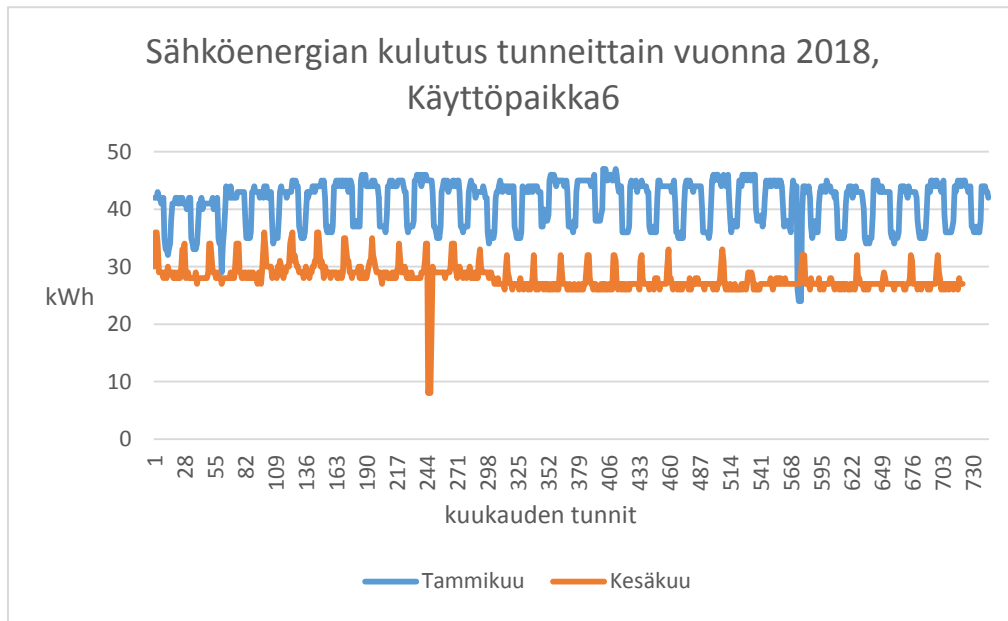
Kuva 10. Yksinkertainen havainnollistus aurinkopaneelien hankintaprosessin vaiheista

Aurinkosähköjärjestelmän sähköasennukset saa tehdä sähköurakoitsija, jolla on sähköurakointioikeudet. Asentajalla tai yrityksellä tulee olla riittävä pätevyys, jotta urakointioikeudet voi saada.

5.3 Paneelitehon mitoittaminen

Aurinkovoimala tulee mitoittaa kulutuskohteeseen sopivaksi. Sopivankokoisen voimalan rakentamisen investointikustannuksessa ei ole ylimääräistä, ja kaikki tuotettu sähkö saadaan käytettyä itse. Jos aurinkopaneeleilla tuotettaisiin sähköä enemmän kuin sillä hetkellä kulutetaan itse, sähkö jouduttaisiin myymään valtakunnan verkkoon. Tällöin siitä saatava korvaus ei ole yhtä iso kuin ostettavan sähköenergian hinta. Voimalan kannattavuus perustuu siis siihen, että ostosähköä tarvitaan vähemmän, kun sähköä tuotetaan itse.

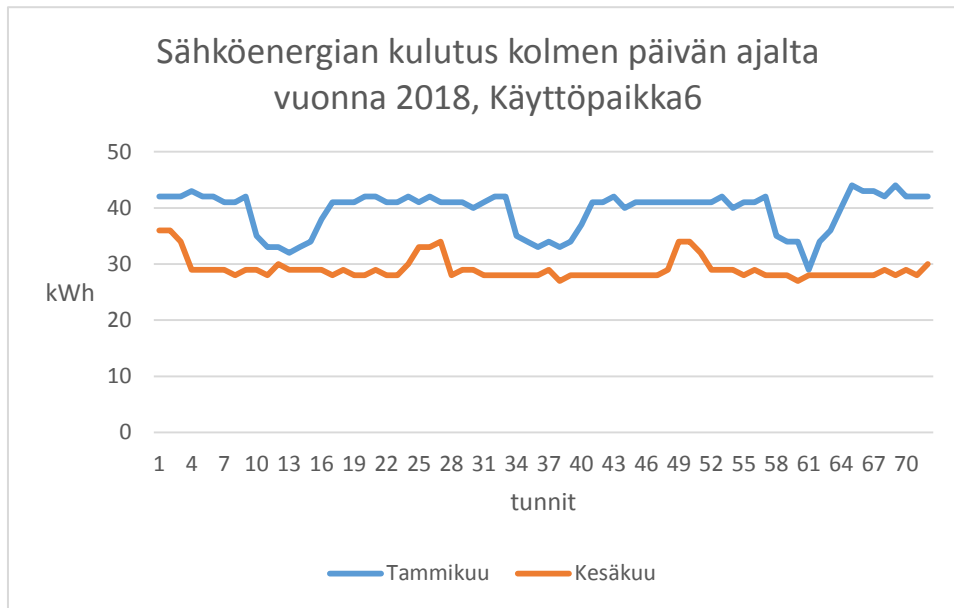
Satama hyötyy eniten voimalasta, jolla pystytään kattamaan sähkönkulutuksen perusosa. Perusosa on se sähkötehon määrä, joka kulutuskohteessa käytetään käytännössä koko ajan. Teho nähdään kuvaajasta, jossa on esitetty kohteen käyttämä sähköteho tuntikohtaisesti. Kuvassa 11 on esitetty Steveco Oy:n yhden rakennuksen sähkönkulutus tuntitasolla. Rakennus on varastokäytössä ja sähkön kulutus muodostuu valaisimista. Rakennuksen katon lappeet ovat itä-länsisuunnassa, mikä rajoittaa mahdollista tuotantoa. Paras vuosituotanto saataisiin etelään suunnatuilla paneeleilla.



Kuva 11. Steveco Oy:n erään rakennuksen tuntikohtaiset sähkökulutuslukemat vuoden 2018 tammi- ja kesäkuussa

Kuvaajasta nähdään, että kyseisessä rakennuksessa sähkötehontarve on käytännössä jatkuvasti vähintään 25 kilowattia. Kesäaikaan sähköä ei käytetä niin paljon kuin talviaikaan. Kuvaajassa näkyy yksi poikkeustilanne, jossa sähkötehoa on otettu verkosta alle 10 kilowattia parin tunnin ajan. Vuoden 2018 joulukuun puoleen väliin mennessä samankaltaisia alle 20 kilowatin kulutuksia on ollut noin 40 tuntia. Vastaavasti alle 25 kilowatin kulutuksia on ollut noin 300 tuntia, joka vastaa vähän yli kolmea prosenttia vuoden tunneista.

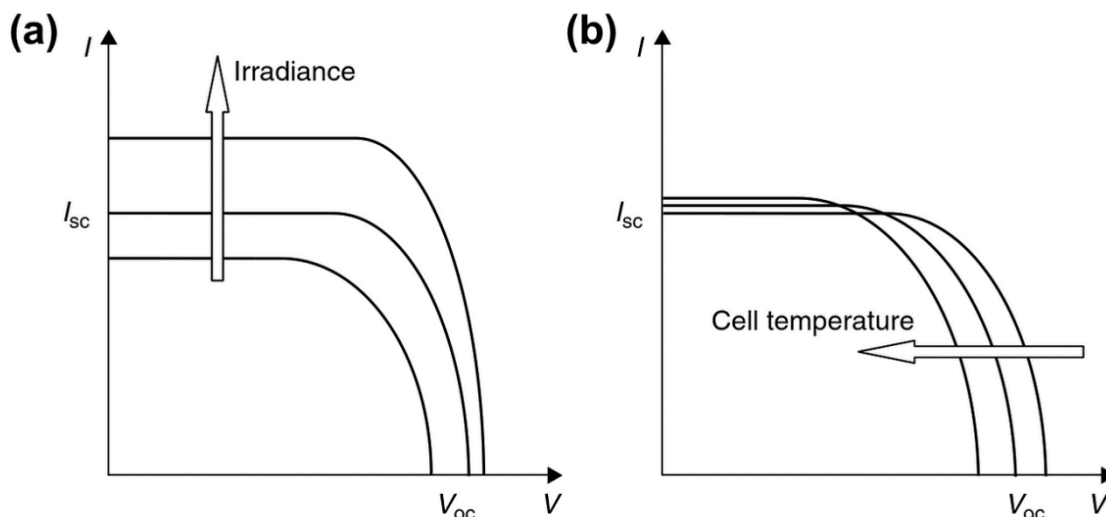
Kuvan 11 tammi- ja kesäkuun kuvaajien muodot eroavat toisistaan, koska vuorokauden valoisan ajan pituus on erilainen talvella ja kesällä. Talvella päivittäinen korkeampi, leveä piikki kulutuksessa johtuu siitä, että pimeään vuorokauden aikaan sähkövalojen tarve on pitempiaikaisempi. Kesäkuussa kulutuspiikit ovat kapeampia ja sijoittuvat keskiyön paikkeille. Kuvassa 12 on esitetty kuvaajina tammi- ja kesäkuun ensimmäisten kolmen vuorokauden ajalta mitatut sähkökulutuslukemat samasta rakennuksesta. Kuvaajista nähdään, että kesäkuussa vuorokauden valoisaan aikaan sähkökulutuksen perusosa on hieman alle 30 kW. Piikit, joiden aikana tarvitaan enemmän sähkövaloa, ajoittuvat vuorokauden pimeään aikaan ja ovat lyhytkestoisia. Tammikuussa kulutuksen perusosa on noin 30–35 kW. Kesäkuun kulutuspiikkejä vastaavat suuremmat kulutuspiikit ovat pidempikestoisia ajoittuen vuorokauden pimeään aikaan.



Kuva 12. Sähköenergian kulutus vuoden 2018 tammi- ja kesäkuun ensimmäisten kolmen vuorokauden ajalta

Käytännössä sähköä ei pystytä tuottamaan asennettujen aurinkopaneelien yhteenlasketulla nimellisteholla, koska järjestelmässä tapahtuu tehohäviöitä muun muassa johdoissa ja invertterissä. Tämän rakennuksen tarpeisiin voitaisiin asentaa aurinkopaneelit, joiden yhteenlaskettu teho on 32 kilowattia. Tämän tehon paneeliasennuksen tarvitsema yhteenlaskettu pinta-ala olisi noin 200–250 m². Todellisuudessa sääolosuhteet eivät useastikaan vastaa standarditestiolosuhteita, ja sähköntuotanto heikkenee esimerkiksi pilvisen sään takia. Toisaalta auringon paistaessa pilvettömältä taivaalta paneelien lämpötila nousee kesäaikana yli 25 celsiusasteeseen, mikä jälleen heikentää sähköntuottoa. Heikkeneminen johtuu puolijohteen, tässä tapauksessa piin käyttäytymisestä muuttuvassa lämpötilassa. Mitä enemmän lämpötila nousee, sitä pienempi jännite kennossa pystyy muodostumaan. Tästä johtuen yksittäisen piikidekennon teho voi pienentyä esimerkiksi 11 % kennon lämpötilan noustessa 25 celsiusasteesta 55:een. (Jenkins & Ekanayake 2017, 151–153.)

Kuvassa 13 on esitettyä vasemmalla auringon säteilyvoimakkuuden ja oikealla kennon lämpötilan vaikutukset kennon oikosulkuvirtaan I_{sc} ja avoimen piirin jännitteeseen V_{oc} . Oikeanpuoleisessa koordinaatistossa on kolme käyrää, jotka kuvaavat kennon ominaisuuksia kolmessa eri lämpötilassa. Kylmimmän lämpötilan tapausta kuvaa käyrä, joka ulottuu oikeassa reunassa x-akselilla kauimmas origosta. Kennossa voi siis syntyä sitä korkeampi jännite, mitä kylmempi se on. Tällöin myös kennon hyötysuhde on korkeampi.



Kuva 13. Säteilyvoimakkuuden (a) ja kennon lämpötilan (b) muutoksen vaikutus aurinkokennon ominaisuuksiin (Kalogirou 2014, 494)

Tuulella voi olla positiivinen vaikutus sähköntuotantoon, sillä liikkuva ilmavirta voi auttaa paneeleita jäähtymään. Asennustapa vaikuttaa siihen, kuinka vapaasti ilma pääsee liikkumaan paneelien taustapuolella. Tasakatolle kallistettujen telineiden varaan asennetut paneelit jäähtyvät paremmin kuin harjakatolle lappeenmukaisesti asennetut paneelit. Erilaiset liat, pölyt ja puiden lehdet aiheuttavat sähköntuotantoa heikentäviä varjoja.

Järjestelmän 32 kilowatin huipputeho perustuu Euroopan unionin komission tarjoaman Photovoltaic Geographical Information Systemin, eli PVGIS-työkalun arvioihin. Työkalu toimii nettiselaimessa ja se on vapaasti kenen tahansa käytettävissä. Liitteessä 1 on esitetty työkalun käyttöliittymä. Työkalun avulla saadaan tietoa auringon säteilyn määrästä ja siitä, kuinka paljon aurinkosähköjärjestelmällä voidaan tuottaa sähköä. Käyttäjä antaa työkalulle sijainnin, johon aurinkopaneelit halutaan, sekä muut tarvittavat tiedot. Tulokseksi työkalu ilmoittaa arvion siitä, kuinka paljon voimalla voidaan tuottaa sähköä ja kuinka tuotanto jakautuu kuukausitasolla. Kuva 14 on näyttökuva aurinkosähkölaskurista. Laskuriin tulee syöttää ainakin paneelien nimellisteho. Muut arvot laskuri määrittää itse automaattisesti, mutta myös käyttäjä voi ne määrittää. Tässä tapauksessa työkalu arvioi järjestelmän kokonaishäviöiksi 22,2 %, eli tarvittava 25 kW:n sähköteho saadaan käytännössä tuotettua 32 kW:n paneeliteholla. (Photovoltaic Geographical Information System 2017.)

Cursor:
Selected: 60.430, 26.902
Elevation 0
(m):

Use terrain shadows:

Calculated horizon ↓ CSV

Upload horizon file Selaa... Ei valittua tiedostoa.

GRID CONNECTED

TRACKING PV

OFF-GRID

MONTHLY DATA

DAILY DATA

HOURLY DATA

TMY

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV
?

Solar radiation database* PVGIS-SARAH

PV technology* Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]* 32

System loss [%]* 14

Fixed mounting options

Mounting position* Building integrated

Slope [°]* 35 Optimize slope

Azimuth [°]* 90 Optimize slope and azimuth

PV electricity price

PV system cost (your currency)

Interest [%/year]

Lifetime [years]

👁 Visualize results

↓ Download csv

Kuva 14. Näyttökuva aurinkosähkölaskuriin syötettävistä lähtötiedoista (Photovoltaic Geographical Information System 2017)

5.4 Ilmastovaikutukset

Ensimmäisen sukupolven aurinkopaneelit voivat tuottaa niiden valmistamiseen käytetyn energiamäärän verran sähköä noin viidessä vuodessa. Riippuen paneelityypistä ja saatavilla olevasta auringon säteilyn määrästä aika voi olla huomattavasti lyhyempi. Pohjois-Euroopassakin paneelin valmistamiseen käytetty energiamäärä voidaan tuottaa alle kolmessa vuodessa (Fraunhofer ISE 2018). Energian takaisinmaksuajan jälkeen paneelit tuottavat päästötöntä sähköä.

Aurinkopaneeleilla voidaan vähentää fossiilisia polttoaineita käyttävien voimalaitosten käyttötarvetta, mikä johtaa myös hiilidioksidipäästöjen määrän pienenemiseen. 32 kilowatin tehoisen aurinkovoimalan voidaan arvioida tuottavan vuodessa noin 21 600–22 600 kWh sähköä riippuen vuoden sääolosuhteista.

Lukema vastaa noin yhden kesäkuukauden sähkönkulutusta Käyttöpaikka6:ssa, johon voimalaa voitaisiin miettiä toteutettavaksi. Vuonna 2017 kuukausittainen sähkönkulutus kyseisessä rakennuksessa oli 21 500–32 000 kWh eli 21,5–32 MWh. Suomessa sähköntuotanto aiheuttaa 164 kg hiilidioksidipäästöjä tuotettua megawattituntia kohtaan, kun tarkastellaan viiden vuoden liukuvaa keskiarvoa (CO₂-päästökertoimet 2018). Tämän kokoluokan aurinkovoimalalla voitaisiin siis vähentää paikallisia hiilidioksidipäästöjä 3 500–3 700 kg vuodessa.

Tänä päivänä laivat käyttävät omia generaattoreitaan sähköntuotantoon satamassa ollessaan. Generaattoria käyttäviä moottoreita voi olla tarpeen pitää käynnissä esimerkiksi RoRo-aluksen lastaus- ja purkuvaiheessa puhaltimien käyttämiseen. Dieselkäyttöisten trukkien pakokaasut jäisivät muuten pyörimään aluksen kannelle. Generaattoria käyttävä dieselmoottori tuottaa haitallisia päästöjä ilmakehään ja sen tuottamaa sähköä voisikin korvata päästöttömästi tuotetulla aurinkosähköllä. Vaikutus on pieni, mutta dieselmoottoareiden tuottamat lähipäästöt vähenisivät satama-alueella.

Kun aurinkopaneelit otetaan käyttöön, ne tuottavat päästötöntä sähköä. Paneelien aiheuttamat ympäristöhaitat syntyvät epäsuorasti aikana ennen paneelien käyttöönottoa. Päästöjen määrään vaikuttavat muun muassa paneelien valmistamiseen tarvittavien raaka-aineiden alkuperä, niiden kuljetusetäisyydet ja tuotantolaitosten käyttämät energianlähteet. Paneelien elinkaaren päästöt ovat pienentyneet kennojen hyötysuhteen parantuessa ja niiden valmistamiseen tarvittavan materiaalin määrän pienetessä (Hertwich ym. 2015, 15.)

5.5 Ostosähkön osuuden vähentämismahdollisuudet

Steveco Oy:n rakennuksen Käyttöpaikka6 tarpeisiin asennettu aurinkosähkövoimala voisi tuottaa noin 22 000 kWh sähköä vuodessa. Kaikki itsetuotettu sähkö on pois sähköyhtiöltä ostetusta sähköstä, ja sähkölasku pienenee. Jos sähkön hintana käytetään vuoden 2017 keskimääräistä arvoa 8,3 snt/kWh, sähkölaskussa voitaisiin säästää noin 1 820 € vuodessa.

Mikäli valmiin avaimet käteen -asennetun aurinkosähkövoimalan kustannukset ovat tässä työssä aikaisemmin mainittu 1 050–1 350 €/kWp, 32-kilowattisen voimalan kustannukset olisivat 33 600–43 200 €. 20 prosentin energiatuella investointi olisi siis 26 880–34 560 €. Takaisinmaksuaika on pitkä, 15–19 vuotta, vaikka laskennassa ei ole vielä otettu huomioon esimerkiksi paneelien sähköntuotantokyvyn heikkenemistä niiden vanhentuuessa. Muita takaisinmaksuaikaa pidentäviä tekijöitä voivat olla muun muassa mahdolliset huoltotoimenpiteet, paneelien puhdistamiseen tarvittava työ ja invertterin uusiminen esimerkiksi 10 vuoden kuluttua asennuksesta. Jos taas energiayhtiöltä ostettavan sähkön hinta nousee tulevaisuudessa, aurinkopaneeliasennus maksaa itsensä takaisin nopeammin.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, soveltuvatko aurinkopaneelit pienimuotoiseen sähköntuotantoon satamaympäristössä Kotkassa ja onko investoiminen aurinkosähkövoimalaan taloudellisesti kannattavaa. Lisäksi selvitettiin, minkälainen prosessi aurinkosähkövoimalan rakentaminen ja käyttöönotto lupineen ja muine toimenpiteineen on. Jos voimalaa aletaan toteuttaa, kannattaa varautua siihen, että kaikkien lupa-asioiden tekemisessä ja käsittelyssä voi mennä kauankin aikaa.

Iso osa Stevecon Mussalossa omistamista rakennuksista on lämmittämättömiä varistorakennuksia. Näissä rakennuksissa käytännössä ainoita sähkölaitteita ovat valaisimet. Kahdessa rakennuksessa on sosiaali- ja toimistotiloja, joissa sähkölaitteiden kirjo on laajempi kuin varastoissa. Parkissa olevien lukkien lämmityslaitteiden käyttäminen aiheuttaa epäsäännöllisempää sähkönkulutusta.

Työn tuloksena voidaan todeta aurinkopaneelien olevan tietyin ehdoin potentiaalinen sähköntuotantotapa satamaympäristössä. Taloudellisen kannattavuuden mahdollistavat investointituki, paneelien optimaalinen suuntaus ja kallistuskulma sekä se, että käytännössä kaikki tuotettu sähkö käytetään itse eikä sitä syötetä valtakunnan verkkoon. Aurinkosähkön hyödyntämiselle otollinen kiinteistö on sellainen, jossa sähkön tarve ei heittele paljon ja katto ei ole var-

jossa. Työssä tarkastellun varaston kaltainen rakennus voisi hyvinkin olla soveltuva kohde aurinkopaneelien asentamiseksi. Rakennuksen tarpeisiin voisi soveltua 32 kilowatin tehoinen paneelisto. Paneelit tarvitsisivat katolla noin 200–250 m²:n pinta-alaa.

Työssä käytetyt aurinkopaneelien sähköntuotantolukemat perustuvat yhden työkalun, PVGIS:n, antamiin arvioihin. Työkalua on kehitetty yli 10 vuotta ja sen voidaan ajatella olevan melko hyvä arvioimaan sähköntuottoa aurinkopaneeleilla. Siltikään siihen ei voida luottaa täysin, ja sähköntuotanto voi jäädä pienemmäksi kuin työkalu arvioi. Vaikka se ottaa huomioon myös erilaiset sääolosuhteet, jotkin tulevat kesät voivat olla esimerkiksi poikkeuksellisen pilvisiä. Tällöin sähköntuotanto voi olla arvioitua vähäisempää ja aurinkosähköinvestoinnin takaisinmaksuaika pitenee.

Jos Stevecolla ollaan kiinnostuneita aurinkosähkön tuottamisesta, kannattaa heidän olla yhteydessä kaupungin rakennusvalvontaan paneelien asentamisessa. Myös paikalliseen sähköverkonhaltijaan tulee olla yhteydessä ennen kuin mahdollisesti aloitetaan aurinkopaneelilaitteistojen kilpailuttaminen. Energiatukea hankkeelle tulee hakea ennen kuin hanke käynnistetään.

LÄHTEET

Auvinen, K. & Jalas, M. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Finsolar. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/> [viitattu 22.11.2018].

Boxwell, M. 2012. Solar Electricity Handbook. Warwickshire: Greenstream Publishing.

Business Finland s.a. Energiatuki. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/pk-ja-midcap-yritys/energiatuki/> [viitattu 10.1.2019].

CO₂-päästökertoimet. 2018. Motiva. WWW-dokumentti. Päivitetty 2018. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto-suomessa/co2-laskentaohje-energiankulutuksen-hiilidioksidipaastojen-laskentaan/co2-paastoker-toimet> [viitattu 13.1.2019].

Energiateollisuus. 2011. Tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon – nimellistehoaltaan enintään 100 kVa laitoksen liittäminen. PDF-dokumentti. Päivitetty 2016. Saatavissa: https://energia.fi/fi-les/1249/tekninen_liite_1_-_enintaan_100_kva_PAIVITETTY_20160427.pdf [viitattu 14.11.2018].

Energiavirasto. 2018. Sähkönpien tuotanto kovassa kasvussa - Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti 2,5 -kertaistui vuodessa. WWW-dokumentti. Päivitetty 2018. Saatavissa: https://www.energiavirasto.fi/media/-/asset_publisher/ooK-Nxg1qkv7p/content/sahkonpien-tuotanto-kovassa-kasvussa-aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-2-5-kertaistui-vuodessa [viitattu 1.2.2019].

Euroopan komissio. 2019. The pillars of the TEN-T policy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t-guidelines/> [viitattu 30.1.2019].

EUR-Lex. 2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY. Annettu 23 päivänä huhtikuuta 2009, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä sekä direktiivien 2001/77/EY ja 2003/30/EY muuttamisesta ja myöhemmästä kumoamisesta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex:32009L0028> [viitattu 30.11.2018].

EUR-Lex. 2014. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/94/EU. Annettu 22 päivänä lokakuuta 2014, vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta ETA:n kannalta merkityksellinen teksti. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://publications.europa.eu/fi/publication-detail/-/publication/d414289b-5e6b-11e4-9cbe-01aa75ed71a1/language-fi> [viitattu 30.11.2018].

Fraunhofer ISE. 2018. Photovoltaics report. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf> [viitattu 23.11.2018].

Hasko, L. 2018. Kehittämis- ja laatupäällikkö. Sähköpostikeskustelu 11.10.–17.10.2018. Steveco Oy.

Hertwich, E. G., Gibon, T., Bouman, E. A., Arvesen, A., Suh, S., Heath, G. A., Bergesen, J. D., Ramirez, A., Vega, M. I. & Shi, L. 2014. Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Thomas_Gibon/publication/266623450_Integrated_life-cycle_assessment_of_electricity-supply_scenarios_confirms_global_environmental_benefit_of_low-carbon_technologies/links/552d44a30cf29b22c9c4d17d/Integrated-life-cycle-assessment-of-electricity-supply-scenarios-confirms-global-environmental-benefit-of-low-carbon-technologies.pdf?origin=publication_detail

Jenkins, N. & Ekanayake, J. 2017. Renewable Energy Engineering. Cambridge: Cambridge university press.

Jordan, D. & Kurtz, S. 2012. Photovoltaic Degradation Rates – An Analytical Review. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51664.pdf> [viitattu 25.11.2018].

Kalogirou, S. 2013. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. 2. painos. Oxford: Elsevier Science & Technology.

Kotkan kaupunki. 2018. Aurinkopaneelit ja -keräimet, ohje. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.kotka.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/kotka/embeds/kotkawwwstructure/31527_Aurinkopaneelit_kotka.pdf [viitattu 23.11.2018].

Motiva. 2018. Sertifiontikoulutus. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/palvelut/sertifioidut_asentajat/sertifiointikoulutus#alku [viitattu 28.11.2018].

Opas sähkön pientuottajalle. 2012. Motiva. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf [viitattu 13.11.2018].

Photovoltaic Geographical Information System. 2017. Euroopan komissio. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis.html> [viitattu 24.1.2019].

Photovoltaic Solar Energy Potential in European Countries. 2012. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu/cmsaf_opt/PVGIS-EuropeSolarPotential.pdf [viitattu 31.10.2018].

SFS-EN 50160. 2010. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet.

Suomen tuulivoimayhdistys. 2016. Tuulivoima Suomessa 2016. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/930-STY_-_Vuosisiraportti_2016_13_2.pdf [viitattu 5.11.2018].

Sähköinfo s.a. Aurinkosähköjärjestelmän toteutus ja liittäminen jakeluverkkoon. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://kauppa.sahkoinfo.fi/product/1119> [viitattu 28.11.2018].

Tilastokeskus. 2018. Energia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stat.fi/til/ene.html> [viitattu 1.2.2019].

Uusiutuvilla tuotettiin 45 % sähköstä ja 57 % lämmöstä. 2017. Tilastokeskus. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.11.2017. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/salatu/2016/salatu_2016_2017-11-02_tie_001_fi.html [viitattu 29.10.2018].

Vakkilainen, E. & Kivistö, A. 2017. Sähkön tuotantokustannusvertailu. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/143861/S%c3%a4hk%c3%b6n%20tuotantokustannusvertailu_ok.pdf?sequence=2&isAllowed=y [viitattu 22.11.2018].

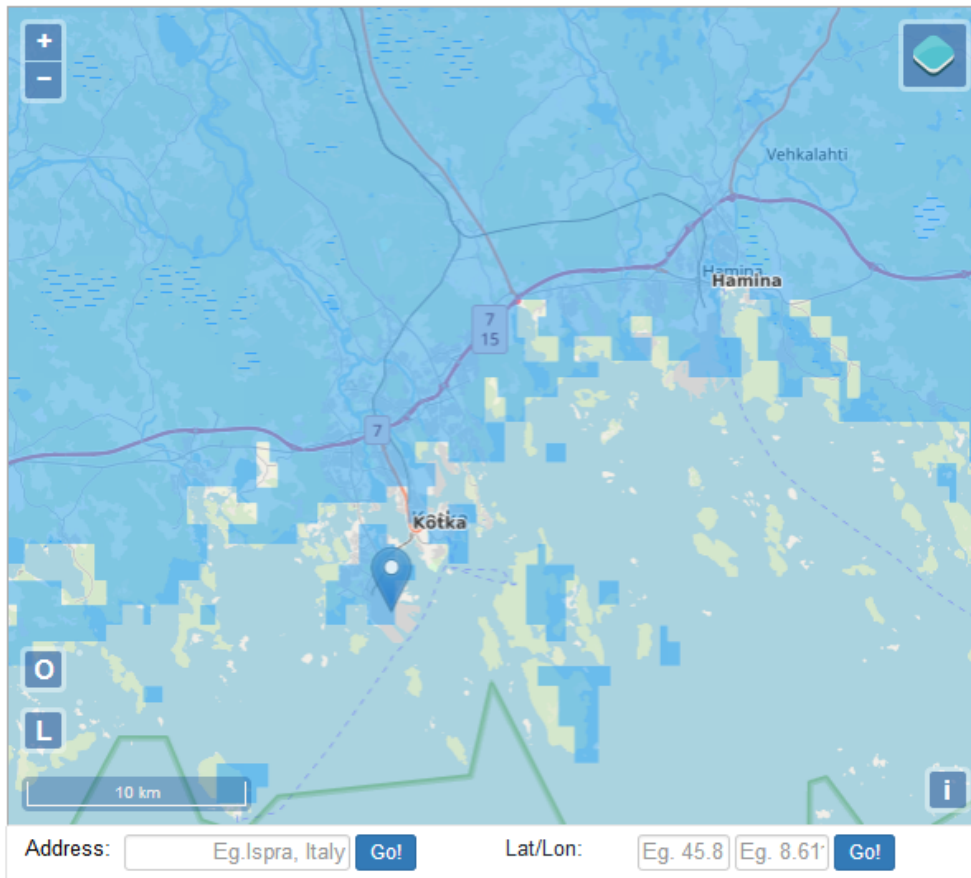
Weller, B., Hemmerle, C., Jakubetz S. & Unnewehr S. 2010. Photovoltaics. E-kirja. Regensburg: Walter de Gruyter GmbH. Saatavissa: <https://kaakuri.finna.fi/> [viitattu 2.10.2018].

Wirth, H. 2018. Recent Facts about Photovoltaic in Germany. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf> [viitattu 3.11.2018].

Wirth, H., Weiß, K.-A. & Wiesmeier C. 2016. Photovoltaic Modules: Technology and Reliability. E-kirja. Leck: De Gruyter, Inc. Saatavissa: <https://kaakuri.finna.fi/> [viitattu 1.10.2018].

Näyttökuva aurinkosähkölaskurista

Liite 1/1



Cursor:

Selected: 60.429, 26.905

Elevation 0
(m):

Use terrain shadows:

 Calculated horizon Upload horizon file Ei valittua tiedostoa.

GRID CONNECTED

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

TRACKING PV

OFF-GRID

MONTHLY DATA

DAILY DATA

HOURLY DATA

TMY

Solar radiation database*

PV technology*

Installed peak PV power [kWp]*

System loss [%]*

Fixed mounting options

Mounting position*

Slope [°]*

Azimuth [°]*

 Optimize slope Optimize slope and azimuth PV electricity price

PV system cost (your currency)

Interest [%/year]

Lifetime [years]

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV: RESULTS

PV output

Radiation

Info

PDF

Summary

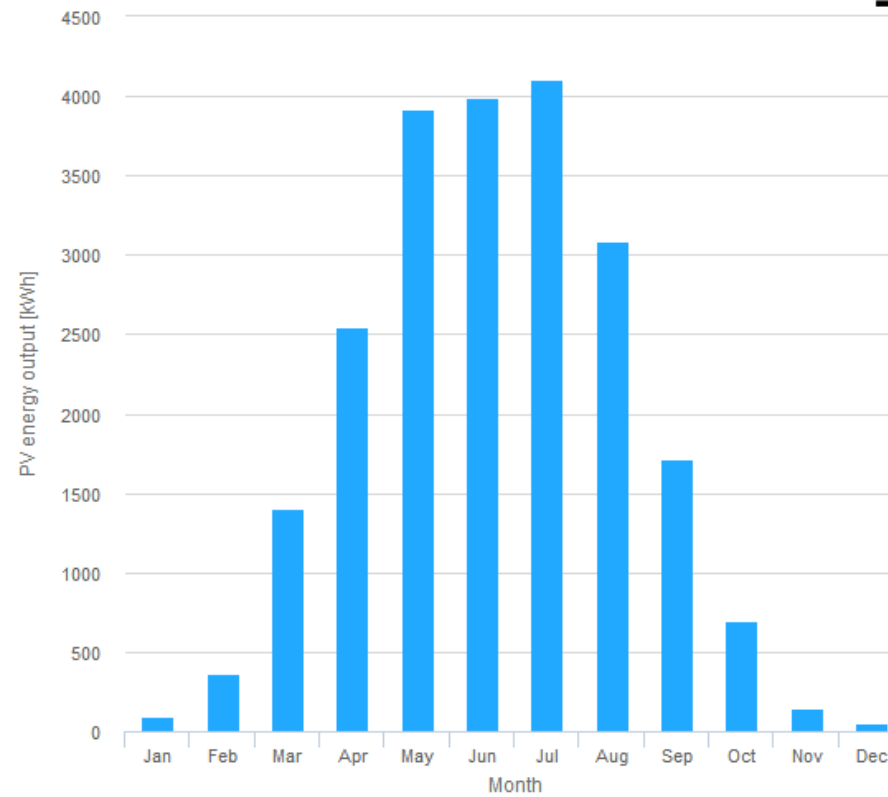
Provided inputs:

Location [Lat/Lon]:	60.429, 26.905
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	32
System loss [%]:	14

Simulation outputs:

Slope angle [°]:	35
Azimuth angle [°]:	90
Yearly PV energy production [kWh]:	22100
Yearly in-plane irradiation [kWh/m ²]:	888
Year to year variability [kWh]:	965.00
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-3.8
Spectral effects [%]:	? (0)
Temperature and low irradiance [%]:	-5.9
Total loss [%]:	-22.2

Monthly energy output from fix-angle PV system



Outline of horizon

