



Optimaalinen aurinkopaneelien asennus ikkunatehtaalle

Topi Munne

OPINNÄYTETYÖ
Elokuu 2019

Energy and Environmental Engineering

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Energy and Environmental Engineering

MUNNE, TOPI:
Optimaalinen aurinkopaneelien asennus ikkunatehtaalle

Opinnäytetyö 36 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Elokuu 2019

Tämä opinnäytetyö tehtiin ikkunoita valmistavalle yritykselle, ja päätavoitteena oli löytää yrityksen tehdasta parhaiten palveleva aurinkopaneelijärjestelmä. Yrityksen vuosittainen sähkönkulutus selvitettiin aluksi, jotta tiedettiin, mikä olisi optimaalisesti aurinkosähköllä korvattava määrä. Vuosittaisesta sähkönkulutuksesta huomattiin, että kevään aikana kulutus kasvoi noin 10 000 kilowattituntia tuotannon lisääntyessä ja laski syksyllä yhtä paljon. Tätä kasvua pyrittiin nyt kattamaan aurinkosähköllä.

Yrityksen alueen aurinkosähköpotentiaali selvitettiin, ja tämän pohjalta pystyttiin laskemaan erikokoisten aurinkopaneelijärjestelmien kokonaistuottopotentiaali. Tätä hyödyntäen luotiin kolme erikokoista järjestelmävaihtoehtoa, joiden sähkön- tuotantoa, rahallista tuottoa sekä alkuinvestointisummaa vertailtiin, jotta sopivin järjestelmä yrityksen tarpeisiin löytyi.

Työn tulosten tarkastelun pohjalta voidaan todeta, että mitä suurempi järjestelmä on kooltaan, sitä kannattavammaksi se tulee niin rahallisesti kuin sähköntuotannon kannalta. Yrityksen sähkönkulutusta parhaiten palvelisi tulosten perusteella 50 kilowatin kokoinen järjestelmä, koska sillä pystyttäisiin kattamaan tarvittava sähkönkulutuksen kasvu kesän aikana.

Kaikki työhön käytetyt tulokset ja luvut ovat keskiarvoja, ja aurinkosähköstä puhuttaessa tulee huomioida lukemattomat muuttujat, jotka vaikuttavat lopulliseen sähköntuotantomäärään. Työssä esitettyjen tulosten pohjalta voidaan kuitenkin konkreettisesti lähteä valitsemaan aurinkopaneelijärjestelmää.

Asiasanat: aurinkosähkö, aurinkosähköpotentiaali, aurinkopaneelijärjestelmä

ABSTRACT

Tampereen Ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Energy and Environmental Engineering

MUNNE, TOPI:
Optimal Solar Panel Installation On A Window Factory

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 6 pages
August 2019

This Bachelor thesis was done for company that manufactures windows and the goal was to find a solar panel system, that best served the company's needs. First the company's annual electricity consumption was researched so that, the amount that could be optimally covered with solar electricity was found out. It was discovered from the annual electricity consumption that, the usage of electricity increased approximately 10 000 kilowatts during the spring when production grew and decreased the same amount during the fall, this was the difference that was aimed to cover with solar electricity.

The company's area's solar electricity potential was investigated and from that different sized solar panel system's gross profit potential could be calculated. Using this, three different sized system alternatives were created, which electricity production, gross revenue and initial investment were then compared, so that, the most suitable system for the company's needs was found.

Based on the results, it can be established that the bigger the system is by its size the more beneficial it will be, both financially and electricity production-wise. The company's electricity consumption would be best served with a 50-kilowatt system, since it would be enough to cover the required increase in the electricity consumption during the summer.

All the results and figures utilized in this work are average values and when discussing about solar electricity there are numerous variables that need to be considered, that will affect the final amount of electricity production. Based on the results presented in this work there are solid plans that can be formed for solar panel system.

Key words: solar electricity, solar electricity potential, solar panel system

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	AURINKOENERGIA	7
2.1	Aurinkoenergia	7
2.1.1	Auringonsäteily Suomessa	8
2.2	Aurinkopaneeli	9
2.2.1	PV-Aurinkokenno.....	10
2.2.2	Aurinkopaneelin vahvuudet ja heikkoudet	12
3	TAUSTATIETOA YRITYKSESTÄ	14
3.1	Kannattavuuslaskuri.....	15
4	AURINKOPANEELIJÄRJESTELMIEN VERTAILU	16
4.1	30 kWp aurinkopaneelijärjestelmä	18
4.2	40 kWp aurinkopaneelijärjestelmä	20
4.3	50 kWp aurinkopaneelijärjestelmä	22
5	POHDINTA	25
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	28
	LÄHTEET	29
	LIITTEET	32
	Liite 1. 30 kWp järjestelmän kokonaistuotto.....	32
	Liite 2. 40 kWp järjestelmän kokonaistuotto.....	34
	Liite 3. 50 kWp järjestelmän kokonaistuotto.....	36

LYHENTEET JA TERMIT

eV	elektronivoltti
GW	gigawatti
km	kilometri
kWh	kilowattitunti
kWp	kilowattipeak
m ²	neliömetri
nm	nanometri
PV	photovoltaic
snt	sentti
v	vuosi

1 JOHDANTO

Aurinkoenergia on jatkuvasti kasvava osa maailman sähköntuotantoa, se on nähnyt eksponentiaalista kasvua viimeisen kymmenen vuoden aikana ja tämä tulee kaikkien ennusteiden mukaan jatkumaan myös tulevaisuudessa. Vuonna 2015 aurinkoenergialla tuotettiin noin 227 GW (gigawattia), mikä kattoi tuolloin 1% koko maailman sähkönkulutuksesta (World Energy Council 2016, 28). Pieni osa, mikä auringon energiasta yltää maan pinnalle vuoden aikana kattaa suurin piirtein 10 000 kertaisesti ihmiskunnan koko energiankulutuksen samalta ajalta (Richter, Lincot & Gueymard, 2013,1).

Auringonvalosta pystytään keräämään energiaa kahdella eri tavalla, aurinkopaneeleilla ja keskittävällä aurinkovoimalla. Aurinkopaneeleilla auringonvalosta luodaan sähköä ja keskittävällä aurinkovoimalla auringonsäteet kohdistetaan peilien avulla lämmittämään nestettä, mikä vastavuoroisesti luo höyryä, mikä ohjataan turbiinin läpi luoden sähköä (IRENA 2019; Helioscsp 2019).

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda optimaalinen aurinkopaneelien asennussuunnitelma ikkunatehtaalle. Työn agendana on selvittää, minkä kokoinen aurinkopaneelijärjestelmä palvelee tehtaan sähkönkulutusta parhaiten. Ikkunatehdas oli luonnollinen valinta kyseiselle työlle, sillä tehtaan tuotanto on kii-vaimmillaan juuri kesäkuukausien aikaan, milloin myös auringonvaloa, ja näin ollen myös aurinkoenergiaa on eniten valjastettavissa sähköksi. Ikkunatehtaan sähkönkulutus lisääntyy huomattavasti kevään aikana ja tämä jatkuu aina syksyyn asti.

Aurinkopaneelijärjestelmällä pyritään kattamaan kesän aikana syntyvä sähkönkulutuksen kasvu. Järjestelmä pyritään suunnittelemaan niin, että se tuottaa sähköä vain sen verran, että kaikki järjestelmän tuottama sähkö saadaan kulutettua tehtaan sisäisesti. Työssä tutkitaan kolmea eri aurinkopaneelijärjestelmää, mitkä eroavat toisistaan kooltaan, tuotantopotentialiltaan sekä kustannuksiltaan. Järjestelmien vertailun pohjalta luodaan johtopäätökset, joiden mukaan yritystä ohjataan valitsemaan sopiva aurinkopaneelijärjestelmä.

2 AURINKOENERGIA

Tässä kappaleessa käydään läpi työn tavoitteet sekä annetaan pohjatietoa niin aurinkoenergiasta kuin aurinkopaneeleista, niiden vahvuuksista ja heikkouksista.

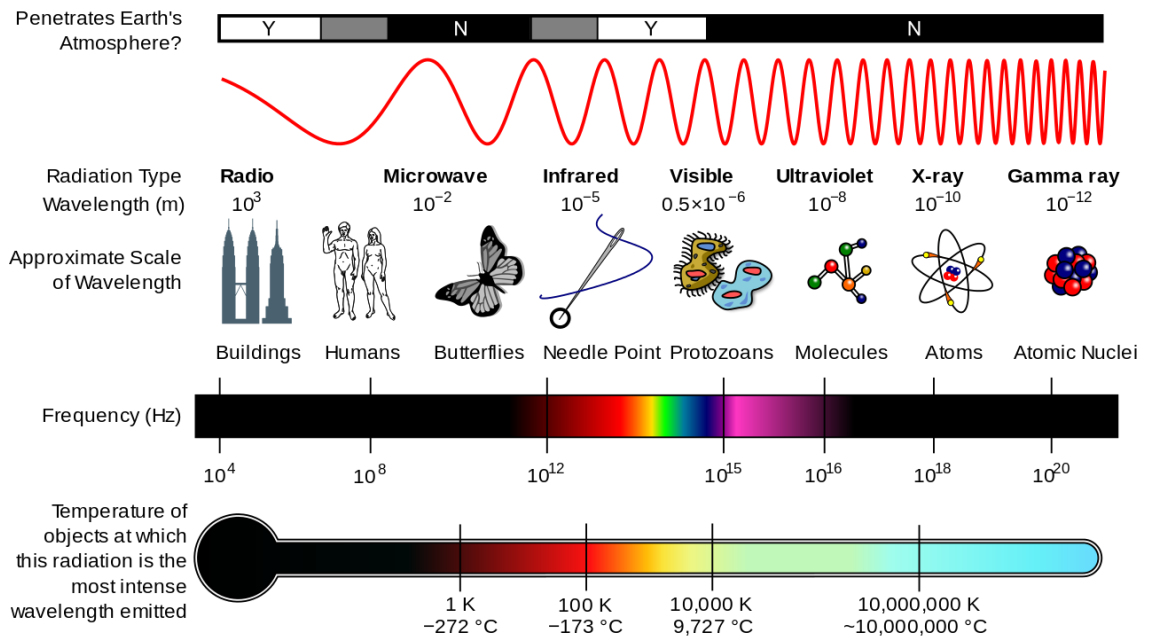
2.1 Aurinkoenergia

Aurinko on maattamme lähinnä oleva tähti ja se on noin $1,5 \times 10^8$ km etäisyydellä maasta. Auringon korkea lämpötila johtuu fuusioreaktiosta, mikä tapahtuu sen ytimessä, tämä reaktio muuttaa vetyä heliumiksi. Tämän reaktion seurauksena auringosta säteilee suuria määriä energiaa avaruuteen. Tämä energia koetaan auringonvalona, mikä on itsessään sähkömagneettista energiaa (Villanueva 2010).

Sähkömagneettinen energia välittyy sähkömagneettisten aaltojen välityksellä, sähkömagneettinen energian vaikutus riippuu täysin sen aallonpituudesta. Sähkömagneettisen säteilyn välittäjänä toimii fotonit (Korpela, A, 2014).

Mitä pienempi aallonpituus, sitä vaarallisempaa säteily on eläville organismeille, esimerkkinä gammasäteily, minkä aallonpituus on 10^{-9} μm (mikrometri = 10^{-6}m). Gammasäteily on kaikelle elävälle hyvin haitallista sen takia, koska näin pienellä aallonpituudella fotonin energia on 124 000 eV (elektroni voltti), mikä saa sen läpäisemään lähes kaiken sen tiellä. Auringonvalosta puhuttaessa aallonpituus on välillä 250 – 2500 nm (nanometriä). 250 nm aallonpituus on ultravioletti säteilyä, tällöin fotonin energia on 5 eV, mikä aiheuttaa ihon rusketusta ja mahdollista palamista. 2500 nm aallonpituus on infrapuna säteilyä, minkä me koemme lämpönä, tällöin fotonin energia on 0,5 eV (Korpela A, 2018; Bhatia S.C 2014, 1).

Kuvassa 1 on visualisoitu eri aallonpituudet, mitä maan päällä on, gammasäteistä radioaaltoihin. Kuvion alaosassa näkyy lämpötila, missä tietty säteily on kaikkein voimakkain.



KUVA 1. Sähkömagneettinen spektri (NASA 2013).

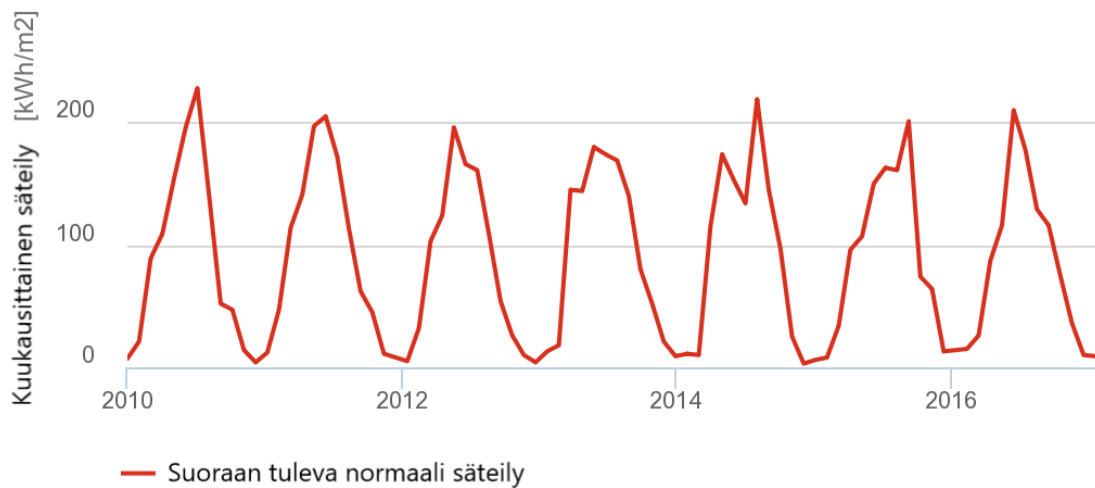
Kun auringon valoa valjastetaan energiaksi, keskitytään aallonpituuksiin 250-2500 nm. Kun aurinko paistaa suoraan johonkin saadaan siitä 250nm aallonpituudella hyödynnettyä 5 eV, mikä tarkoittaa enemmän energiaa, kun taas jyrkemmässä kulmassa saapuva säteily tuottaa 2500 nm aallonpituudella 0,5 eV, milloin energiaa on vähemmän valjastettavissa (Korpela A, 2018).

2.1.1 Auringonsäteily Suomessa

Suomen sijainti lähellä maapallomme pohjoisnapaa tarkoittaa, auringonsäteilyn kannalta sitä, että suurimman osan ajasta auringonsäteet osuvat tänne tietyssä kulmassa, eikä suoraa säteilyä tule kuin muutaman kuukauden ajan vuodessa. Suurin osa Suomeen osuvista auringonsäteistä ovat siis aallonpituudeltaan lähempänä 2500 nm kuin 250 nm. Aurinko paistaa suoraan Suomen yllä kesäaikaan, milloin auringonvalosta kerättävä energia on myös korkeimmillaan (Motiva 2018).

Kuviosta 1 huomataan selkeästi, kuinka kesällä auringonsäteilystä on selkeästi eniten aurinkosähköä kerättävissä. Kuviosta 2 käy myös ilmi, että parhaimmillaan yrityksen alueelta on kerättävissä yli 200 kWh/m² kuukausittain aurinkosähköä.

Vuosittainen auringonsäteily



KUVIO 1. Vuosittainen auringon säteily yrityksen tehtaan alueella (European Commission, PVGIS, 2017).

2.2 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneeli on kokonaisuus, mikä koostuu useammasta aurinkokennosta. Aurinkokennoja on käytetty ensimmäistä kertaa sähköntuotannon lähteenä satelliiteissa, näistä ensimmäinen lähetettiin avaruuteen 61 vuotta sitten. Yleisin aurinkokennon materiaali, mitä käytettiin jo yli 60 vuotta sitten, on pii. Vielä 2010 pii aurinkokennot kattoivat noin 87% kaikista maailman aurinkokennoista (Martinuzzi ym. 2013).

Aurinkopaneelit pyritään asettelemaan joko rakennusten katoille tai maahan niin, että paneelit keräävät mahdollisimman paljon suoraa säteilyä, milloin niillä on mahdollista kerätä 5 eV energia. Tämä saavutetaan asentamalla paneelit telineelle ja säätämällä ne tiettyyn kulmaan. Suomessa optimaalinen kulma tähän tarkoitukseen olisi noin 45 astetta suunnattuna etelään päin, tällöin pystytään lisäämään hyödynnettävän säteilyn määrää jopa 20-30 prosenttia vuodessa (Motiva 2018). Aurinkopaneeleista käytetään termiä PV (photovoltaic), mikä tarkoittaa valosähköistä.

Aurinkopaneelissa syntyvä sähkövirtaus kulkee vain yhteen suuntaan, tätä kutsutaan tasavirraksi (Direct Current). Jotta aurinkopaneeleista syntyvää sähkövirtaa pystytään hyödyntämään normaaleissa kotitalouksien laitteissa, tulee se muuttaa vaihtovirraksi (Alternative Current). Vaihtovirrassa sähkövirtaus liikkuu edestakaisin piirin sisällä. Tasavirrasta vaihtovirraksi muuttaminen tapahtuu invertterin avulla, minkä jokainen aurinkopaneelijärjestelmä tarvitsee toimiakseen (WatElectrical 2019).

2.2.1 PV-Aurinkokenno

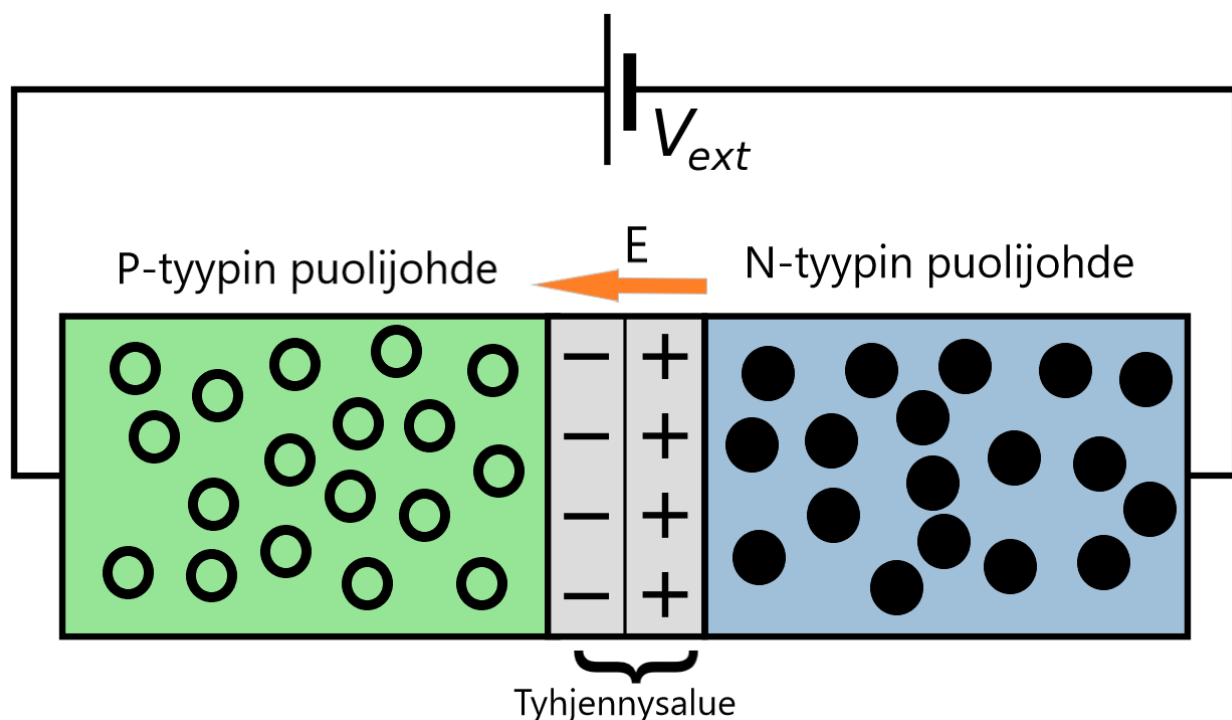
PV-kenno muodostetaan puolijohdeesta, näistä yleisin tässä tapauksessa on pii. Pii ei luonnollisessa muodossaan riitä, sillä vaikka auringonsäteet saavat piissä olevat elektronit varautumaan, ne eivät kykene pitämään varausta yllä vaan se purkautuu itsestään. Tästä syystä piin sekaan lisätään joko arseeni tai fosfori atomeja, millä on enemmän valenssielektroneja kuin piillä, näin syntyy n-tyyppinen puolijohde (Electronics Tutorials: Semiconductor Basics 2016).

Jos piihin lisätään sen sijaan atomeja, millä on vähemmän valenssielektroneja, kuten booria, saadaan aikaan p-tyypin puolijohde. Kun p- ja n-tyypin puolijohdeet yhdistetään, saadaan PN-liitos, mikä on perusta, kun muutetaan auringonsäteilyä sähköksi (Electronics Tutorials: Semiconductor Basics 2016).

N-tyypin pii puolijohdeessa on nyt vapaasti liikkuvia elektroneja, kun taas p-tyypissä on vapaita elektronipaikkoja (KUVA 2). Kun nämä puolijohdeet yhdistetään, n-tyypin vapaat elektronit täyttävät p-tyypin vapaat paikat. Tämän seurauksena n-tyypin puolelle jää vapaita paikkoja sieltä pois siirtyneiden elektronien tilalle. Näin p-puolesta tulee negatiivisesti varautunut ja n-puolesta positiivisesti varautunut. P- ja n-tyyppien välille muodostuu näin sähkökenttä, minkä suunta on n-puolelta p-puolelle (Korpela A, 2018; Hanania, Stenhouse, Donev 2015).

N- ja p-puolien väliin syntyy ”tyhjennysalue” (KUVA 2), mikä saavuttaa tasapainotilan, kun tarpeeksi monta elektronia on siirtynyt n-tyypistä p-tyyppiin. Aurinkokenno pyritään luomaan niin, että auringonsäteet osuvat mahdollisimman paljon tyhjennysalueelle. Kun säteily osuu tyhjennysalueelle, se absorboi

tästä fotonin, tämän seurauksena syntyy varauksenkuljettajia, mitkä vuorostaan siirtävät elektroneja n-puolelle ja luovat aukkoja p-puolelle. Tällöin p-puolesta tulee positiivisempi kuin n-puolesta. Jotta tyhjennysalueen tasapainotila pysyy yllä, n-puolen elektronit siirtyvät ulkoista piiriä pitkin p-puolelle ja näin puolijohdeiden välille on syntynyt jännite auringonsäteilyn seurauksena. Tyhjennysalue ja siellä oleva sähkökenttä muodostavat aurinkokennolta vaadittavan rakenteen, mikä erottelee fotonien synnyttämät varauksenkuljettajat toisistaan (Electronics Tutorials: PN Junction Theory 2016).



KUVA 2. Periaatekuva PN-liitoksen muodostumisesta.

Käytännön tasolla PN-liitos muodostetaan aurinkokennoon niin, että p-tyypin piin pinnalle kerrostetaan ohut ja voimakkaasti seostettu n-tyyppinen kerros. Voimakkaan seostuksen seurauksena tyhjennysalue ja sen sähkökenttä ulottuvat pitkälle p-tyypin materiaaliin, minkä seurauksena sähkökenttä pystyy hyvin erottelemaan aurinkokennossa virittyviä varauksia (Korpela A, 2018).

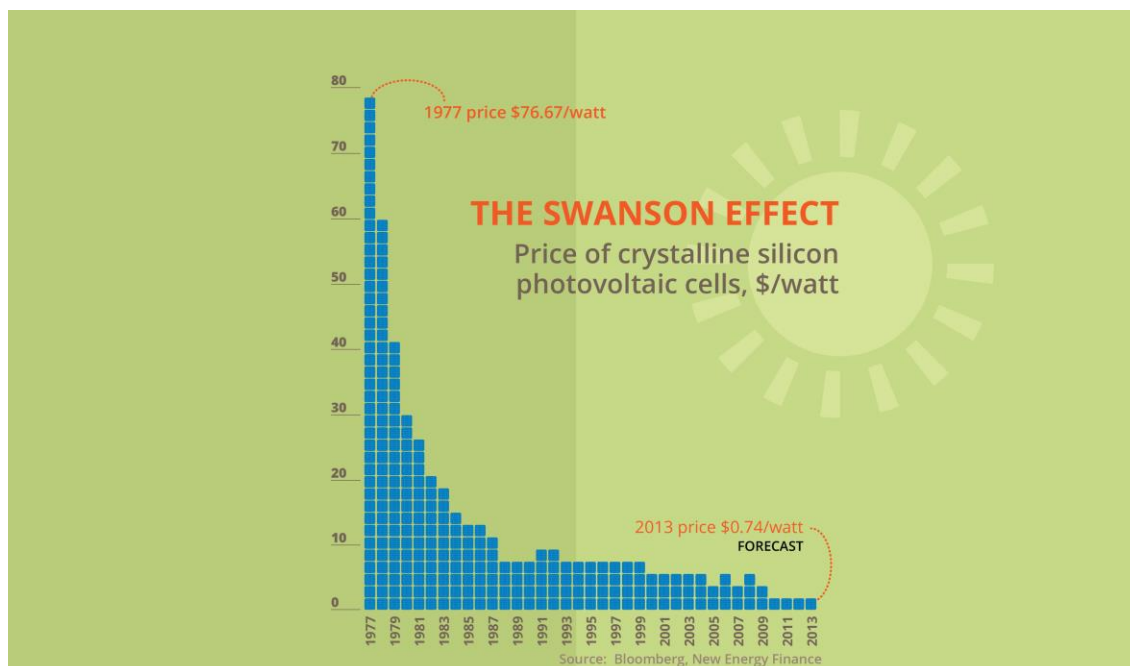
2.2.2 Aurinkopaneelin vahvuudet ja heikkoudet

Aurinkoenergian ainoa merkittävä rajoite on kyky, millä siitä saadaan sähköä mahdollisimman paljon ja kustannustehokkaasti. Aurinkopaneelien käytöstä ei synny yhtään kasvihuonekaasuja, mikä tekee niistä ihanteellisen vaihtoehdon fossiilisille polttoaineille. Uusiutuvana ja hiilidioksidipäästöttömänä energianlähteenä, aurinkoenergian ympäristövaikutukset ovat huomattavasti pienemmät kuin usean muun nykyhetkellä käytössä olevan energianlähteen (FORTUM 2019). Aurinkoenergian ympäristövaikutukset liittyvät pääasiallisesti aurinkopaneelien valmistukseen ja niissä käytettävien materiaalien hankintaan. Jos aurinkoenergiaa tuotetaan suurella mittakaavalla myös paneelien sijainnilla, on ympäristövaikutuksia, sillä paneelit tulevat kattamaan hyvin suuren pinta-alan ja täten vaikuttavat alueen eliöstöön (Greenmatch 2019; REN21 2019).

Aurinkopaneeleissa käytettävää piitä löytyy maankuoresta runsaasti ja tämä on merkittävä attribuutti, kun mietitään kyseistä energianlähdettä tulevaisuudessa. Paneeleissa tarvittavia muita alkuaineita on myös hyvin saatavilla ja uusien kenojen kehityksen myötä myös paneelien hyötysuhteet paranevat entisestään ja niiden elinikä tulee pidentymään (Sawe, B 2018; Kerr, E 2019).

Aurinkopaneelien hinnat ovat tulleet vuosien mittaan merkittävästi alas, mikä näkyy kuvasta 3, kuvan graafi esittää "Swanson's law" efektiä, mikä on nimetty sen tekijän Richard Swansonin mukaan, joka arvioi, että jokaisen aurinkopaneelin valmistusmäärän tuplauksen mukaan paneelien hinnat putoavat 20 prosenttia (The Economist 2012).

Tämän mallin mukainen lasku paneelien hinnoissa jatkuu yhä tänä päivänä ja tulee jatkumaan todennäköisesti myös tulevaisuudessa, sillä mitä enemmän aurinkokennoja luodaan käyttäen eri tekniikoita, pääasiassa ainoa asia, mitä pyritään muuttamaan, on hyötysuhde, millä aurinkoenergiaa muutetaan sähköksi ja tämä tapahtuu kehittämällä nykyisiä piikennoja entisestään (The Economist 2012).



KUVA 3. Swansonin efekti aurinkokennojen hintasuhteesta.

Aurinkopaneeleista saatu sähkö on parasta käyttää yksityistentuottajien omaan kulutukseen, niin tuottajien kuin myös sähköverkonkin puolesta. Yksittäisten tuottajien näkökulmasta se on kannattavaa, koska saatu sähkö on aina todennäköisesti halvempaa, kuin korvaava verkosta hankittu sähkö. Sähköverkon kannalta taas hyöty on siinä, että mitä enemmän aurinkopaneelijärjestelmiä alkaa yksityisellä puolella olla, tulee sähköverkolle huomattavaa raskautusta, jos useat yksityiset aurinkosähkön tuottajat päättävät siirtää sähköä verkkoon sen sijaan, että käyttää sitä itse (Seel, Mills, Wiser 2018).

Tämä skenaario tulee todennäköisesti tapahtumaan ensimmäisenä USA:ssa tai Australiassa, missä yksityisten kotitalouksien aurinkopaneelit lisääntyvät todella kovaa vauhtia. Ongelmana on, että suurin sähkönkulutus kotitalouksissa tapahtuu aamuisin, kun ihmiset valmistautuvat töihin lähtöön ja uudelleen iltaisin, kun he palaavat koteihinsa. Tämä jättää iltapäivän sähkönkulutuksen hyvin vähäiseksi yksityisissä kotitalouksissa, mikä on juuri se aika, kun aurinkoenergiaa on eniten valjastettavissa sähköksi. Tästä syystä yksityisten käyttäjien luoma aurinkosähkö siirretään yleiseen sähköverkkoon, jotta sen hyöty ei mene hukkaan, mutta samalla se altistaa verkon liialliselle kuormitukselle ja saattaa raskauttaa sitä liikaa, minkä seurauksena voi syntyä sähkökatkoja. Ratkaisu tähän olisi aurinkopaneelien kytkeminen akkuihin, mikä kuitenkin lisää merkittävästi kokonaishintaa järjestelmään (Energy matters 2018; Foote K 2013).

3 TAUSTATIETOA YRITYKSESTÄ

Yritys, mille opinnäytetyö tehdään valmistaa ovia sekä ikkunoita ja on tehnyt tätä jo yli 50 vuoden ajan. Tällä hetkellä yritys työllistää noin 110 henkilöä ja tuottaa ovia ja ikkunoita kahdelta eri paikkakunnalta käsin. Yritys toimii maanlaajuisesti ja toimittaa tuotteita niin kotimaahan kuin myös ulkomaille ja valmistaa tuotteensa vain kotimaisista materiaaleista. Työn suunnitelma on suunniteltu vain yrityksen ikkunoita valmistavan tehtaan tuotantotiloihin.

Tehdas, mille järjestelmää suunnitellaan, pyörii ympärivuotisesti, mutta tuotannon määrässä on vaihteluita vuodenajasta riippuen. Tuotanto on vähäisempää talviaikaan, koska rakennuksiin ei voida asentaa ikkunoita alle -15 °C kelillä. Koska ikkunoita ei voida asentaa, ei niitä myöskään kannata tehdä. Kun kevät alkaa ja rakennustyömaat lisääntyvät alkaa myös ikkunoiden tuotanto kasvaa.

Graafista 1 voidaan havaita, että vuosittaisella tasolla, sähkönkulutus kasvaa noin 10 000 kWh maaliskuun ja toukokuun välillä ja laskee yhtä paljon elokuun ja lokakuun välillä. Tämä nouseva sähkönkulutus johtuu tehtaan tuotantomäärän kasvusta, mikä johtaa tuotannon laitteiden lisääntyvään käyttöön.

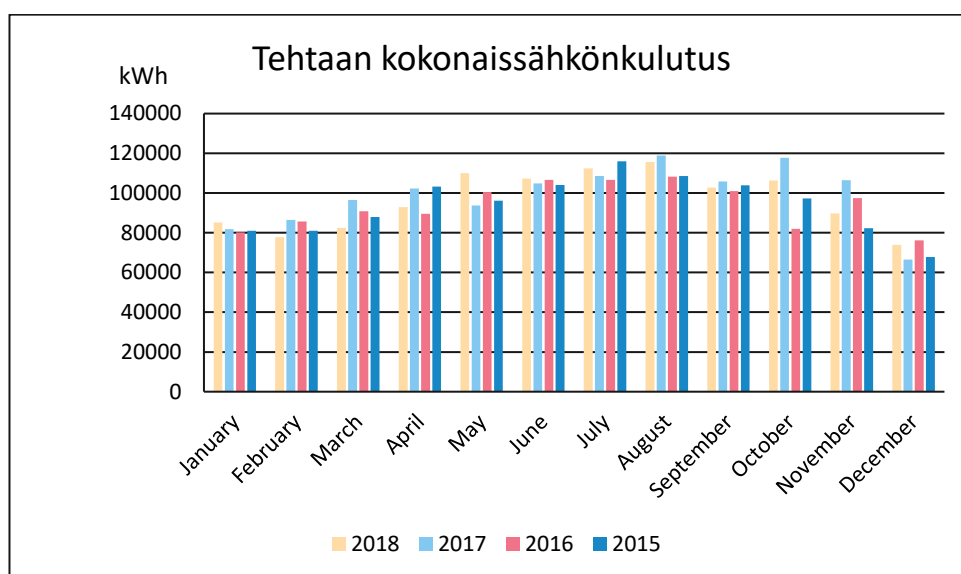
Tätä edellä mainittua 10 000 kWh:n kasvua pyritään korvaamaan aurinkopaneelijärjestelmällä, milloin aurinkosähkö kohdistuisi tuotannon laitteisiin sekä valaistukseen tehtaan sisällä.



KUVA 4. Tehtaan katon mitat sekä rakennuksen sivut ilmansuuntiin nähden.

Kuten kuvasta 2 näkyy tehtaan katonharjat ovat suuntautuneena lähes täydellisesti itä – länsi suunnassa, mikä on oivallista aurinkopaneelien asennukselle. Kesän aikana, kun aurinko paistaa koko päivän on katolla sijaitsevilla aurinkopaneeleilla mahdollista kerätä kaikki tarjolla oleva energiapotentiaali.

Kun vertaillaan kuviota 2, mikä kuvastaa vuosittaista sähkönkulutusta kuvion 1 kanssa, mikä puolestaan kuvastaa auringonsäteilyn luomaa aurinkosähkötuotannon potentiaalia, huomataan, että kun sähkönkulutus on korkeimmillaan, myös aurinkosähkön tuotantopotentiaali on huipussaan.



KUVIO 2. Tehtaan sähkönkulutus vuosina 2018-2015.

3.1 Kannattavuuslaskuri

Aurinkopaneelijärjestelmien kokoluokan, rahallisen tuoton ja sähköntuotantomäärän selvittämisessä käytettiin hyödyksi Finsolarin tarjoamaa kannattavuuslaskuria. Laskuri laskee 30 vuoden käyttöiällä järjestelmän kokonaisvaltaisen tuoton. Tässä kyseisessä työssä tehdyissä laskuissa laskuriin syötettiin tehtaan vuoden 2018 sähkönkulutustiedot, mikä kattoi koko vuoden sähkönkulutuksen, kuin myös sähköenergian ostohinnan sekä siirtomaksun (Ahola & Auvinen 2017).

4 AURINKOPANEELIJÄRJESTELMIEN VERTAILU

Tässä kappaleessa käydään läpi kolmen eri kokoluokan aurinkopaneelijärjestelmän kokonaiskustannukset, sähköntuotto sekä investoinnin kannattavuus.

Aurinkosähköjärjestelmien tehosta puhuttaessa käytetään lyhennettä kWp eli ”kilowattipeak”. Tämä symboloi maksimitehoa, mitä aurinkopaneelijärjestelmällä saadaan parhaimmillaan tuotettua. Keskimääräisesti 1 kWp on sähköntuotantomääränä vuosittain noin 800-850 kilowattituntia sähköä (Green Connect 2019).

Kaikki aurinkojärjestelmää koskevat laskutoimitukset on tehty oletuksella, että 100 prosenttia järjestelmän tuottamasta sähköstä käytetään yrityksen sisäisesti. Tämä tarkoittaa, ettei yhtään tuotettua sähköä myydä takaisin verkkoon sähköyhtiölle. Järjestelmän luoma sähkö käytetään itse sen takia, koska tällöin siitä saadaan paras hyöty. Sähköyhtiölle myytynä aurinkosähköstä saa 2-6 senttiä per kilowattitunti, mistä otetaan vielä pois sähköyhtiön määrittelemä välityspalkkio. Vattenfall tarjoaa yksityisten tuottajien luomasta sähköstä pörssisähkön energiahinnan (snt/kWh), mutta tuottaja joutuu maksamaan Vattenfallille 0,30 snt/kWh välityspalkkion (Vattenfall 2019).

Aurinkojärjestelmään kuuluvan invertterin oletettu vaihtoväli on 15 vuotta, invertterin hinnaksi on oletuksena otettu 10 prosenttia koko investoinnin arvosta. Tämä on suuri muuttuja lopullisen hinnan arvioinnissa, mutta tässä tapauksessa se antaa suuntaa investoinnin arvosta (Finsolar 2017).

Aurinkojärjestelmää koskevissa laskuissa on käytetty yrityksen toimittamia vuoden 2018 sähkönkulutuksen tietoja (Taulukko 1). Koska kyseessä on yritys eikä yksityinen kotitalous ei sähkönostohintaan kuulu arvolisävero (ALV), tämä pätee myös aurinkopaneelijärjestelmässä, sillä yrityksille myös järjestelmän kaikki kustannukset paneeleista niiden asennukseen ovat 0% alv. Kannattavuus laskelmat perustuvat yrityksen ostosähkön hinnan sekä aurinkosähkön tuotantohinnan rinnakkaisvertailuun. Ostosähkön hintana on yrityksen vuoden 2018 keskiarvo 8,8 senttiä/kWh.

Sähköenergian ostohinta	3,7025	snt/kWh
Energiaperusteinen sähkön siirtohint	4,4	snt/kWh
Sähkövero ja huoltovarmuusmaksu	0,703	snt/kWh
Ostosähkön arvonlisävero	0 %	
Aurinkosähkön vertailuhinta eli aurinkosähkön vaihtoehtoiskustannus	8,8	snt/kWh
Arvio vertailuhinnan noususta	0,2%	%/vuosi
Aurinkosähkön asennuskohteen (kiinteistö/ kiinteistöryhmä) sähkönkulutus	1156782	kWh/v

TAULUKKO 1. Tiedot aurinkojärjestelmän asennuskohteesta ja vertailukustannuksista (Finsolar 2017).

Yrityksille tarkoitettujen yli 250 kW aurinkopaneelijärjestelmien kattoasennusten ”avaimet käteen” periaatteella toteutettujen asennusten hinnat ovat 1300 – 950 euroa/kWp, kun arvonlisävero on 0 prosenttia (Finsolar 2017). Tähän opinnäyte-työhön tehtyihin laskuihin on käytetty asennuksen hintoja 1300 euroa/kWp sekä 950 euroa/kWp.

4.1 30 kWp aurinkopaneelijärjestelmä

Ensimmäinen ehdotettu vaihtoehto aurinkopaneelijärjestelmästä on laskettu 30 kWp:n kokoisena. Tällöin järjestelmän koko paneelien pinta-ala olisi noin 204 neliometriä ja vuosituotto alussa 25 980 kWh (Taulukko 2). Vuosituotto alussa on ilmoitettu sen takia, että paneelien sähköntuotantokyky tulee oletetusti laskemaan noin 0,5% vuodessa, tämän aiheuttaa eri olosuhteet, mille paneelit altistuivat tuona aikana. Suomessa paneelien tehokkuutta heikentävät yleisimpänä kylmyys sekä raskas lumipeite talvisin (Solar power world 2017). 25 980 kWh vuosituotto on noin 2,25 prosenttia tehtaan vuosittaisesta sähkönkulutuksesta.

Taulukosta 2 nähdään, että kun järjestelmän asennushintana käytetään 1300 €/kWp, niin alkuinvestoinniksi saadaan 39 000 euroa. Tästä summasta saadaan kuitenkin 20 prosentin kevennys, sillä Suomen valtio tukee yrityksiä, mitkä ovat valmiita sijoittamaan uusiutuviin energianlähteisiin (Business Finland 2019). Kun valtion myöntämä tuki otetaan huomioon, tulee investoinnin arvoksi 31 200 euroa. Järjestelmä tulee korvaamaan itsensä näillä oletusarvoilla 20 vuoden aikana, minkä jälkeen se alkaa tuottaa voittoa, mitä kertyy järjestelmän jäljellä olevasta oletetusta 30 vuoden käyttöiästä kokonaisuudessaan noin 8500 euroa. Jos järjestelmä rahoitetaan yrityksen sisäisesti, eikä siihen oteta rahoitusta ulkopuolelta maksaa järjestelmä itsensä takaisin 16 vuoden kuluessa (Liite 1). 20 vuoden takaisin maksuun on laskuissa otettu rahoituksen koroksi 1 prosentti.

Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	30,0	kWp
Järjestelmän koko paneelien pinta-ala	204	m ²
Aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen -investointikustannus € (laitteet ja asennus, myös mahdollinen ALV)	€39 000	euroa
Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia	1 300 €	€/kWp
Mahdollinen investointituki, kotitalousvähennys tms. alkuinvestoinnista, %	20 %	
Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen mahdolliset tuet €	31 200 €	euroa
Rahoituksen korko	1,0%	
Investoinnin tuottovaatimus	2,0%	
Välitulos: Investoinnin laskentakorko	3,0%	
Aurinkosähkön oman käytön osuus, %	100 %	
Aurinkosähkön myyntihinta verkkoon snt/kWh	5,0	snt/kWh

Invertterin vaihdon kustannus, osuus alkuinvestoinnista. Oletettu tapahtuvan kerran aurinkosähköjärjestelmän elinaikana 15. vuotena.	10 %	
Vuotuiset ylläpitokulut (vakuutukset, huolto tms. kulut) % alkuinvestoinnista	0,1 %	
Aurinkosähkön vuosituotto järjestelmän sijainnin mukaan	866	kWh/kWp
Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto alussa	25980	kWh
Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä %/v	-0,5%	%
Investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat		
Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 30 vuoden käyttöiällä	8 535 €	euroa
Takaisinmaksuaika laskentakorolla	20	vuotta

TAULUKKO 2. Tiedot 30 kWp:n kokoisesta aurinkojärjestelmästä ja sen investointikustannuksista 1300 €/kWp hinnalla (Finsolar 2017).

Koska aurinkopaneelijärjestelmän asennukselle ei ole kiinteää hintaa löydettävissä on tässä työssä laskettu myös vaihtoehtoinen kokonaisinvestointi, missä asennustyön hintana on käytetty 950 euroa/kWp. Tällä oletus arvolla 30 kWp järjestelmän kokonaishinnaksi tulisi valtion myöntämän tuen jälkeen 22 800 euroa. Tällä investoinnin arvolla takaisin maksu aika järjestelmälle olisi 1 prosentin rahoituskorolla vain 12 vuotta ja ilman rahoitusta se hoituu 10 vuodessa (Liite 1). Järjestelmän tuotto olisi näin ollen myös yli kaksinkertainen, sillä kokonaistuottoa kertyisi noin 17 500 euroa (Taulukko 3).

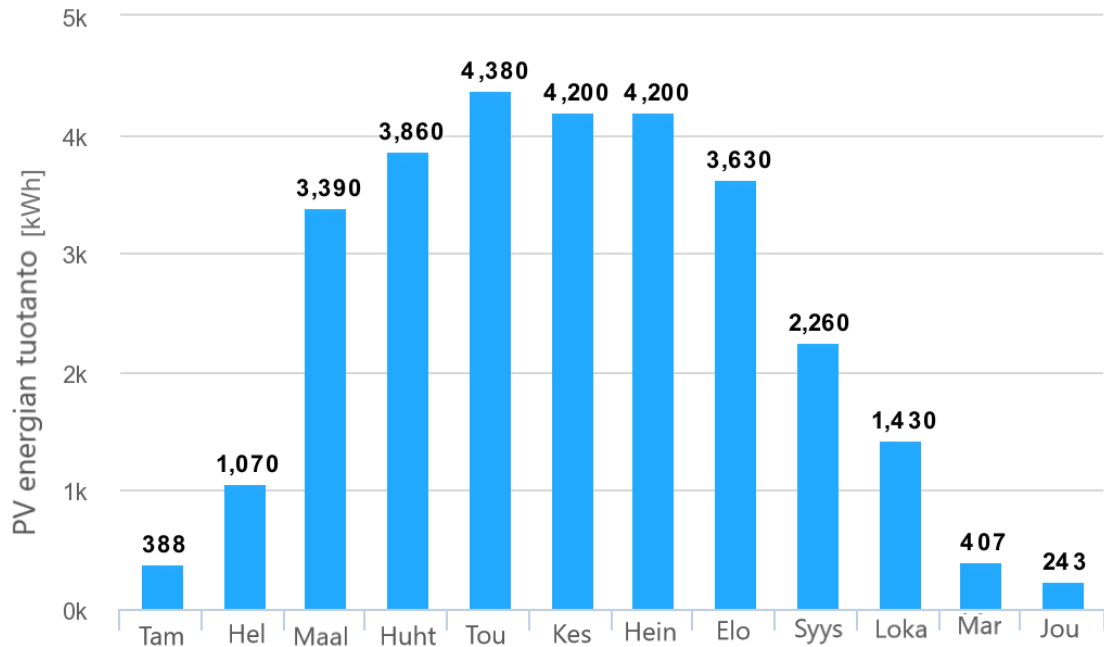
Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	30,0	kWp
Järjestelmän koko paneelien pinta-ala	204	m ²
Aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen -investointikustannus € (laitteet ja asennus, myös mahdollinen ALV)	€28 500	euroa
Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia	950 €	euroa/kWp
Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen mahdolliset tuet €	22 800 €	euroa
Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto alussa	25980	kWh
Investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat		
Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 30 vuoden käyttöiällä	17 505 €	euroa
Takaisinmaksuaika laskentakorolla	12	vuotta

TAULUKKO 3. Tiedot 30 kWp:n kokoisesta aurinkojärjestelmästä ja sen investointikustannuksista 950 €/kWp hinnalla (Finsolar 2017).

Kuviosta 3 nähdään, että järjestelmä olisi mahdollista saavuttaa optimaalisissa olosuhteissa maksimituotolla lähes 5000 kWh kuukausittain, mikä kattaisi puolet

halutusta 10 000 kWh:sta kesäkuukausina. Koko elinikänsä aikana tämä järjestelmä tulee tuottamaan noin 725 000 kWh sähköä (Liite 1).

Kuukausittainen energiantuotanto kulmaan asennetusta PV-järjestelmästä



KUVIO 3. Kuukausittainen energian tuotanto 30 kWp:n PV-järjestelmästä (EC, PVGIS 2017).

4.2 40 kWp aurinkopaneelijärjestelmä

Seuraava vaihtoehtoinen aurinkopaneelijärjestelmä on kokoluokaltaan 40 kWp ja kattaa paneelien pinta-alana noin 272 neliometriä. Vuosituotto alussa on tällä järjestelmällä 34 640 kWh, mikä on noin 3 prosenttia yrityksen koko sähkönkulutuksesta. Tämän kokoisen järjestelmän investoinnin suuruudeksi tulee 1300 euroa/kWp asennushinnalla, valtion myöntämän tuen jälkeen 41 600 euroa (Taulukko 4). Järjestelmä maksaa itsensä takaisin tuottamallaan sähköllä 20 vuoden aikana, kun rahoituskorko on 1 prosentti ja ilman rahoitusta se suoriutuu siitä 16 vuodessa (Liite 2). Kun järjestelmä on maksanut itsensä takaisin, tuottaa se vielä noin 11 400 euroa voittoa yritykselle oletetulla 30 vuoden käyttöiällä.

Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	40,0	kWp
Järjestelmän koko paneelien pinta-ala	272	m ²
Aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen -investointikustannus € (laitteet ja asennus, myös mahdollinen ALV)	€52 000	euroa
Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia	1 300 €	€/kWp
Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen mahdolliset tuet €	41 600 €	euroa
Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto alussa	34640	kWh
Investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat		
Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 30 vuoden käyttöiällä	11 380 €	euroa
Takaisinmaksuaika laskentakorolla	20	vuotta

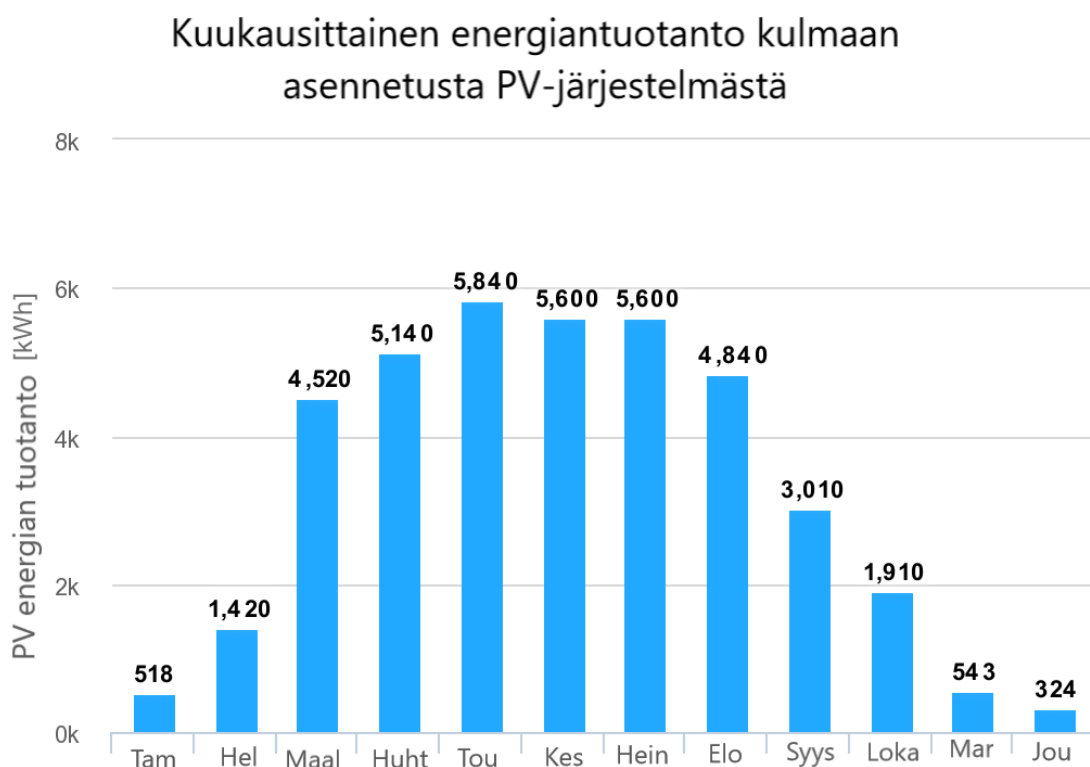
TAULUKKO 4. Tiedot 40 kWp:n kokoisesta aurinkojärjestelmästä ja sen investointikustannuksista 1300 €/kWp hinnalla (Finsolar 2017).

Kun järjestelmän asennushinnaksi oletetaan 950 euroa/kWp, tulee loppuinvestoinnille hintaa 30 400 euroa. Tämän summan järjestelmä maksaa takaisin 12 vuoden aikana ja tuottaa sen jälkeen 23 400 euroa kokonaistuottoa (Taulukko 5). Ilman rahoituskorkoa järjestelmä on maksanut itsensä takaisin 10 vuoden kuluessa sen käyttöönotosta (Liite 2).

Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	40,0	kWp
Järjestelmän koko paneelien pinta-ala	272	m ²
Aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen -investointikustannus € (laitteet ja asennus, myös mahdollinen ALV)	€38 000	euroa
Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia	950 €	euroa/kWp
Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen mahdolliset tuet €	30 400 €	euroa
Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto alussa	34640	kWh
Investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat		
Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 30 vuoden käyttöiällä	23 339 €	euroa
Takaisinmaksuaika laskentakorolla	12	vuotta

TAULUKKO 5. Tiedot 40 kWp:n kokoisesta aurinkojärjestelmästä ja sen investointikustannuksista 950 €/kWp hinnalla (Finsolar 2017).

Kuviosta 4 näkyy, kuinka optimaalinen aurinkosähköntuotanto voi saavuttaa lähes 6000 kWh kuukausittaisen tuoton. Kun oletetaan, että aurinkopaneelijärjestelmän tuottama sähkö käytetään tehtaan valaistukseen muihin sisäisiin toimintoihin, on tämä kuukausittainen tuotantomäärä varsin kattava, ja se saadaan hyvin todennäköisesti kulutettua kokonaisuudessaan tehtaan sisällä, milloin sen hyöty on korkein. Kaiken kaikkiaan 40 kWp aurinkopaneelijärjestelmä tulee tuottamaan 30 vuoden aikana noin 967 000 kWh (Liite 2).



KUVIO 4. Kuukausittainen energian tuotanto 40 kWp:n PV-järjestelmästä (EC, PVGIS 2017).

4.3 50 kWp aurinkopaneelijärjestelmä

Viimeisin tässä työssä käsiteltävä aurinkopaneelijärjestelmä on kooltaan 50 kWp:n suuruinen ja kattaa paneeli pinta-alana noin 340 neliometriä. Alkuinvestointi järjestelmälle on 65 000 euroa kun asennushintana on 1300 euroa/kWp, mutta kun valtion tuki vähennetään summasta jää investoinnin arvoksi 52 000

euroa. Alkuun tämän kokoisen järjestelmän vuosituotto on 43 300 kWh, mikä kattaa noin 3,75 prosenttia yrityksen koko sähkönkulutuksesta (Taulukko 6). Kuten aiemmilla järjestelmillä myös tämän takaisinmaksu aika 1300 euroa/kWp asennushinnalla ja prosentin rahoituskorolla, on 20 vuotta, ja ilman rahoituskoroa 16 vuotta (Liite 3). Järjestelmä tuottaa 30 vuoden oletetun käyttöiän viimeisen 10 vuoden aikana noin 14 000 euroa voittoa yritykselle.

Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	50,0	kWp
Välitulos: järjestelmän koko paneelien pinta-alana noin m ²	340	m ²
Aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen -investointikustannus € (laitteet ja asennus, myös mahdollinen ALV)	€65 000	euroa
Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia	1 300 €	€/kWp
Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen mahdolliset tuet €	52 000 €	euroa
Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto alussa	43300	kWh
Investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat		
Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 30 vuoden käyttöiällä	14 225 €	euroa
Takaisinmaksuaika laskentakorolla	20	vuotta

TAULUKKO 6. Tiedot 50 kWp:n kokoisesta aurinkojärjestelmästä ja sen investointikustannuksista 1300 €/kWp hinnalla (Finsolar 2017).

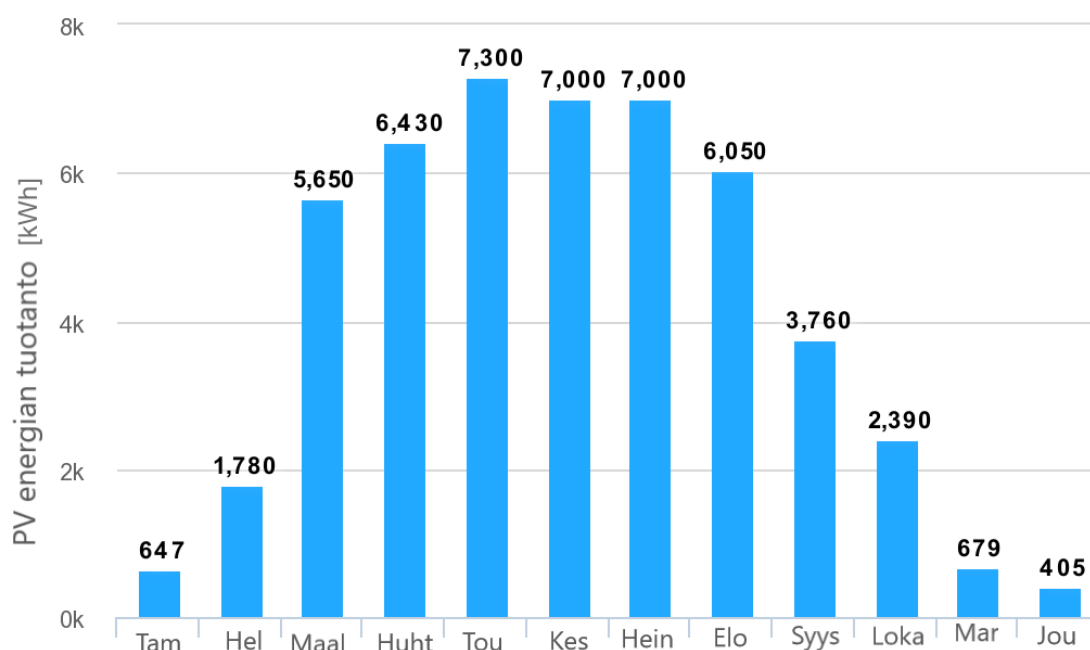
Jos 50 kWp järjestelmän asennushinnaksi oletetaan 950 euroa/kWp, saadaan investoinnin suuruudeksi valtion tuen jälkeen 38 000 euroa, minkä järjestelmä tuottaa takaisin 12 vuoden aikana ja ilman rahoitusta 10 vuodessa (Liite 3). Näillä oletusarvoilla järjestelmä luo voittoa maksettuaan itsensä takaisin, sähköntuotannon myötä lähes 30 000 euroa, mikä on siis kokonaisuudessaan lähes kaksinkertainen alkusijoitukseen nähden (Taulukko 7).

Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	50,0	kWp
Välitulos: järjestelmän koko paneelien pinta-alana noin m ²	340	m ²
Aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen -investointikustannus € (laitteet ja asennus, myös mahdollinen ALV)	€47 500	euroa
Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia	950 €	euroa/kWp
Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen mahdolliset tuet €	38 000 €	euroa
Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto alussa	43300	kWh
Investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat		
Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 30 vuoden käyttöiällä	29 174 €	euroa
Takaisinmaksuaika laskentakorolla	12	vuotta

TAULUKKO 7. Tiedot 50 kWp:n kokoisesta aurinkojärjestelmästä ja sen investointikustannuksista 950 €/kWp hinnalla (Finsolar 2017).

Tämän kokoinen aurinkopaneelijärjestelmä kykenee parhaimmillaan tuottamaan tehtaalle kesäkuukausien aikaan yli 7000 kWh sähköä, mikä kattaa halutun 10 000 kWh kasvun lähes kokonaan (Kuvio 5). Koko oletetun elinkaaren aikana tämä järjestelmä tuottaa yhteensä noin 1 210 000 kWh sähköä.

Kuukausittainen energiantuotanto kulmaan asennetusta PV-järjestelmästä



KUVIO 5. Kuukausittainen energian tuotanto PV-järjestelmästä (EC, PVGIS 2017).

5 POHDINTA

Tässä kappaleessa pohditaan aiemmin käsiteltyjen aurinkopaneelijärjestelmien vahvuuksia sekä heikkouksia ja mietitään, mikä järjestelmä olisi sopivin yrityksen tarpeisiin. Lisäksi käsitellään valtion tuen merkitystä takaisinmaksuajalle ja järjestelmien elinkaaren pituutta sekä sen aikana tuotetun kokonaissähköntuotannon määrää.

Työn lähtökohtana oli löytää optimaalisin aurinkopaneelijärjestelmä tehtaalle, minkä sähkönkulutus on korkeimmillaan kevään ja kesän aikana. Optimaalisella haetaan sopivinta sähköntuotanto määrää, alkuinvestoinnin määrää, kuin myös investoinnin takaisinmaksu aikaa. Kuten tehtaan vuosittaisesta sähkönkulutuksesta huomattiin, tapahtuu kulutuksessa huomattava nousu kevään aikana ja vastaavanlainen lasku syksyllä. Tämä on täysin riippuvainen tehtaan tuotannon määrästä. Sopivimman aurinkopaneelijärjestelmän tulisi siis kattaa ylimääräinen sähkönkulutus, kun tuotanto on korkeimmillaan. Järjestelmältä haetaan myös vain sen kokoista tuotantokapasiteettia, että kaikki sen tuottama sähkö pystytään hyödyntämään tehtaan sisällä, eikä sitä näin ollen tarvitse siirtää takaisin sähköverkkoon, milloin tuotetun sähkön hyöty olisi pienempi.

Kun työtä aloitettiin, käytiin läpi laajasti eri kokoisia aurinkopaneelijärjestelmiä, niiden sähköntuotantokykyä ja investointikustannuksia, kunnes päädyttiin kolmeen vaihtoehtoon, mitä työssä käsiteltiin. Koska alkuperäisenä ajatuksena oli kattaa pelkästään tehtaan valaistuksen luoma sähkönkulutus aurinkosähköllä, keskityttiin järjestelmien kokoluokissa, niihin kolmeen, mihin työssä on keskitytty. Todellisuudessa myös isompia järjestelmiä pystyttäisiin hyvin hyödyntämään tehtaan omaan sähkönkulutukseen ja myymään käyttämätöntä sähköä verkkoon. Koska tämä on yrityksen ensimmäinen aurinkosähköhanke, on kuitenkin käytännöllisempää aloittaa pienemmästä järjestelmästä ja mahdollisesti tulevaisuudessa laajentaa isompaan, jos järjestelmä koetaan hyödylliseksi.

Kolmen erikokoisen järjestelmän vertailussa huomattiin, että kokonaistuotannossa on huomattavia eroja, vaikka järjestelmien pinta-alat eivät eroaisikaan niin paljoa. Todelliset sähköntuotanto määrät tulevat eroamaan työssä esitetyistä, sillä aurinkosähkön keräämiseen liittyy useita eri muuttujia, yleisimpinä

ovat pilvien luoma hajasäteily, milloin paneelit eivät pysty keräämään sähköä auringonsäteistä suoraan, toisena merkittävänä tekijänä on varsinkin Suomessa lumipeitteen aiheuttama hajasäteily, mikä heikentää paneelien sähköntuottamiskykyä.

Kaikkien kolmen järjestelmän takaisinmaksu aika oli 20 vuotta, kun oletettiin, että järjestelmän ”avaimet käteen” asennushinta oli 1300 euroa/kWp, tähän vaikutti myös se, että kustannettiinko järjestelmä yrityksen omista varoista vai haettiin siihen rahoitusta. 20 vuotta on varsin pitkä aika ennen kuin järjestelmä alkaa tuottaa rahallista voittoa, etenkin kun huomioi, että paneelien valmistajat antavat tuotteilleen tällä hetkellä vain 30 vuoden eliniän. Kun asennushinnaksi otettiin 950 euroa/kWp tuli järjestelmien takaisinmaksu aika merkittävästi alas, 12 vuoteen ja mahdollisesti myös 10 vuoteen ilman ulkopuolista rahoitusta ja sen korkoa. Tällä hinnalla asennettuna järjestelmien rahalliset tuotot olivat erittäin positiivisia alkuinvestointeihin nähden. Järjestelmien investointisumma ja lopullinen tuotto siis riippuu hyvin paljon järjestelmän asennushinnasta, mutta kuten aiemmin käsiteltiin aurinkopaneelin hintoja menneisyydestä nykyhetkeen, itse paneelien hinnat ovat tulleet vuosi vuodelta alemmaksi ja voidaan olettaa, että ne tulevat jatkamaan tätä vielä enemmän tulevaisuudessa, kun aurinkokennojen teknologiaa kehitetään ja uusia innovaatioita saapuu markkinoille (Kuva 3).

Koska useimmat paneelien valmistajat antavat tuotteilleen 30 vuoden takuun, on myös takaisinmaksuaika laskettu vain tähän pisteeseen. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että paneelit lopettaisivat toiminnan tässä pisteessä. Aurinkopaneelit ovat ideaali väline energiantuotannossa juuri siitä syystä, että niissä käytetty tekniikka on niin yksinkertaista, että juuri mikään ei voi mennä rikki. Ainoa asia, mikä yleisesti heikentää paneelien energiantuotantopotentiaalia, ovat rajut sääolosuhteet, kuten liika kuumuus tai kylmyys, mutta näistä huolimatta paneelit pysyvät silti toimintakuntoisina. Koska paneelit koostuvat useasta kennosta, ei haittaa, vaikka yksi menisikin rikki, sillä muut kennot jatkavat yhä toimintaansa tästä huolimatta. Ainoa asia, mikä aurinkopaneelijärjestelmässä joudutaan vaihtamaan, on invertteri, mikä muuttaa paneelien tuottamaa tasavirtaa (DC) vaihtovirraksi (AC), jotta tätä voidaan hyödyntää rakennusten sähkökulutuksessa (WatElectrical 2019).

Isoimman 50 kWp:n järjestelmän tuottama noin 43 000 kWh vuosittainen sähköntuotanto eroaa suuresti pienimmästä 30 kWp:n tuottamasta noin 26 000 kWh:sta. Järjestelmien hintaeroa on halvimmillaan noin 15 000 euroa, mikä tulee 30 vuoden aikana korvautumaan. Aurinkopaneelijärjestelmissä on selkeästi kannattavampaa sijoittaa isompaan järjestelmään, sillä tällöin sähköntuotanto ja rahallinen tuotto ovat molemmat merkittävästi suurempia. Aurinkopaneelijärjestelmää ostaessa, myös asennuspaketin hinta määräytyy sen koon mukaan. Yritykset, mitkä kauppaavat aurinkopaneeleita ja niihin kuuluvia järjestelmiä, joustavat paketin kokonaishinnassa, mitä isompi tilaus on (Venäläinen, V 2019). Tämä on kannattavampaa niin yritykselle, kuka asennuksen suorittaa koska kokonaiskauppasumma on aina iso ja tuotto myös näin ollen, mutta myös asiakas hyötyy, kun loppusummasta otetaan pois valtion tuki sekä luetaan mukaan pitkällä aikavälillä isommasta järjestelmästä saatu hyöty.

Valtion tarjoama 20 prosentin tuki uusiutuville energianlähteille on merkittävä kevennys alkuinvestoinnista. Tuen tarkoitus on rohkaista yrityksiä siirtymään pois fossiilisista polttoaineista, mitkä saastuttavat ympäristöä, näitä ovat pääasiassa raakaöljy sekä kivihiili. Valtion tarjoaman tuen lisäksi, aurinkoenergiaan investointi on ihanteellista yrityksille, koska ne kuuluvat veroluokkaan 2, mikä antaa aurinkopaneelijärjestelmät asennuksineen nollan prosentin arvolisäverolla (Business Finland 2019).

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn pohjalta voidaan hyvin todeta, että aurinkoenergia on oivallinen sähkön-
tuotannonlähde ikkunatehtaan tarpeisiin. Se edistää yrityksen imagoa vihreäm-
pänä ja ympäristöystävällisenä sekä myös tuottaa voittoa pidemmällä aikaväl-
lillä. Aurinkopaneelijärjestelmissä on ideana, että mitä isompi järjestelmä on
kooltaan sitä halvemmaksi W/€ (wattia per euro) se käy. Tässä kyseisessä ta-
pauksessa aurinkosähköntuotanto kannattaa pyrkiä rajaamaan noin 10 000 kilo-
wattituntiin vuosittain, sillä tämä pystytään hyödyntämään kokonaisuudessaan
tehtaan sisällä, eikä näin ollen ole tarvetta myydä aurinkopaneelijärjestelmällä
luotua sähköä eteenpäin.

Työssä käsitellyistä aurinkopaneelijärjestelmistä kooltaan 50 kWp olisi yrityk-
selle paras vaihtoehto, sillä sen sähköntuotantopotentiaali vastaa hyvin, halut-
tua 10 00 kWh:n sähkökulutuksen nousua. Järjestelmä ei tuota pelkästään eni-
ten sähköä vaan myös rahallista tuottoa elinikänsä aikana, alkuinvestoinnin
suuruudesta huolimatta sen hyödyt ovat selkeästi paremmat kuin kahden muun
työssä vertailun järjestelmän.

Aurinkopaneelien hinnat tulevat jatkuvasti alaspäin, mutta investointi tässä vai-
heessa takaa varman sähköntuotannon seuraavaksi 30 vuodeksi, minkä aikana
ja jälkeen aurinkoenergia tulee olemaan merkittävä osa koko maailman sähkö-
tuotantoa ja uusien paneeliteknologioiden myötä auringonsäteilyn kerääminen
myös Suomen vaihtelevissa olosuhteissa käy entistä tehokkaammaksi. Vaikka
tällä hetkellä todellinen hyöty paneeleista nähdään kesäkuukausien aikana, tul-
laan tulevaisuudessa keräämään aurinkoenergiaa tehokkaammin ympärivuoti-
sesti.

Kaikki työssä käytetyt arvot ovat keskiarvoja sekä maksimilukuja aurinkoenergi-
alle ja auringonsäteilyyn liittyen. Näiden pohjalta luodut tulokset eivät välttämättä
vastaa todellista tilannetta, sillä auringonsäteilyn ja siitä kerättävän energian
määrään liittyy lukemattomia muuttujia, mitä ei voida ottaa kaikkia huomioon.
Työn tulokset antavat kuitenkin kuvan siitä, mikä on järjestelmien maksimipoten-
tiaali. Tulosten pohjalta nähdään selkeästi eri järjestelmien tuotanto- sekä kus-
tannuserot.

LÄHTEET

Ahola, J., Auvinen, K. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien hintakartoitus: keskeisten aurinkosähköjärjestelmätoimittajien sähköposti- ja puhelinhaastattelut. Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulu. Luettu 25.5.2019.

Bhatia, S.C. 2014. Advanced Renewable Energy Systems. Woodhead, India PVT. Luettu 28.8.2019

Business Finland. 2019. Energiantuki. luettu 12.8.2019 <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Electronics Tutorials. 2016. PN junction theory. Luettu 20.8.2019. https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_2.html

Electronic Tutorials. 2016. Semiconductor Basics. Luettu 20.8.2019. https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_1.html

Energymatters. 2018. New software helps monitor how solar power impacts grid. Luettu 22.8.2019. <https://www.energymatters.com.au/renewable-news/software-monitors-solar-power-impacts-grid/>

European Commission. 2017. Photovoltaic Geographical Information System. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

Foote, K. 2013. Keeping the grid from overloading. Alternative Energy. Luettu 12.8.2019. <http://www.altenergy.org/renewables/grid-overloading.html>

FinSolar. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien hintataso ja kannattavuus. Luettu 12.6.2019. <http://www.finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

Green Connect. Aurinkosähköjärjestelmät. luettu 25.5.2019. <http://greenconnect.fi/aurinkosahkojarjestelmat#new-page-3>

Greenmatch. 2019. Pros and cons of solar energy. Luettu 20.8.2019. <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/08/5-advantages-and-5-disadvantages-of-solar-energy>

Hanania, J., Stenhouse, K., Donev, J. 2015. Energy Education. PN-junction. Luettu 10.6.2019. https://energyeducation.ca/encyclopedia/P-n_junction

Helioscsp. 2019. Concentrated solar power (CSP) vs Photovoltaics (PV). Luettu 29.8.2019. <http://helioscsp.com/concentrated-solar-power-csp-vs-photovoltaic-pv/>

IRENA. 2019. International renewable energy agency. Solar energy. Luettu 22.8.2019. <https://www.irena.org/solar>

- Kerr, E. 2019. The future of solar is bright. Harvard University. SITN20. Luettu 22.8.2019. <http://sitn.hms.harvard.edu/flash/2019/future-solar-bright/>
- Korpela, A. 2014. Aurinkosähkön Perusteet. Luettu 12.8.2019
- Korpela, A. 2018. Solar Electricity part 1. Luento. Renewable Energy -kurssi 25.10.2018. TAMK. Tampere
- Korpela, A. 2018. Solar Electricity part 2. Luento. Renewable Energy -kurssi 1.11.2018. TAMK. Tampere
- Martinuzzi, S., Richter, C., Gueymard, C.A., Lincot, D. Silicon Solar Cells, Crystalline. Solar Energy. Springer, New York, NY. Luettu. 12.8.2019.
- Motiva. 2018. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Luettu. 20.8.2019. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa
- NASA. 2013. The Electromagnetic Spectrum. <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html>
- REN21. 2019. Renewables 2019 Global Status Report. Luettu 10.8.2019 https://www.ren21.net/gsr-2019/chapters/chapter_01/chapter_01/
- Richter, C., Lincot, D., Gueymard, C. 2013. Solar Energy. New York: Springer. Luettu 12.8.2019.
- Sawe, B. 2018. The Most Abundant Elements In The Earth's Crust. WorldAtlas. Luettu 22.8.2019. <https://www.worldatlas.com/articles/the-most-abundant-elements-in-the-earth-s-crust.html>
- Seel, J., Mills, A., Wiser, R. 2018. The Conversation. As more solar and wind come onto the grid, prices go down, but more questions come up. Luettu 12.8.2019. <http://theconversation.com/as-more-solar-and-wind-come-onto-the-grid-prices-go-down-but-new-questions-come-up-96704>
- Solar Power World. 2017. What causes solar panel degradation. Luettu 12.8.2019. <https://www.solarpowerworldonline.com/2017/06/causes-solar-panel-degradation/>
- Solar Factory. 2019.
- The Economist. 2012. Sunny Uplands. Luettu 20.8.2019. <https://www.economist.com/news/2012/11/21/sunny-uplands>
- Vattenfall. 2019. Sähkösopimukset – omatuotanto. Luettu 10.6.2019. <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/>
- Villanueva, J. 2010. Radiation from the Sun. Luettu 20.8.2019. <https://www.universetoday.com/60065/radiation-from-the-sun/>

World Energy Council. World Energy Resources. 2016. Luettu 10.8.2019
<https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>

WatElectrical. 2019. Power Electronics. How does solar inverter work and its applications. Luettu 22.8.2019. <https://www.watelectrical.com/how-solar-inverter-works-applications/>

Venäläinen, V. CEO. 2019. Solar Factory: Aurinkopaneelijärjestelmä yritykselle. Sähköpostiviesti. ville.venalainen@solarfactory.fi. Luettu 20.8.2019.

LIITTEET

Liite 1. 30 kWp järjestelmän kokonaistuotto

Taulukko X kuvastaa 30 kWp järjestelmän kokonaistuottoa 30 vuoden ajalta, kun asennushintana on 1300 €/kWp (Finsolar 2017).

(1/2)

Järjestelmän elinikä vuosina	Oman sähköntuotannon arvo ja myyntituotot €	Investointi- ja ylläpito-kustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin sisäisiä korkokantoja % (IRR)	Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (0% korko)	Investoinnin nettomykyarvoja	Aurinkosähkön tuotanto kWh/v
0	0,0 €	-31 200,0 €	-€31 200		-31 200 €		0
1	2 281,7 €	-31,2 €	€2 250	-92,8%	-28 950 €	-28 170 €	25980
2	2 274,8 €	-31,2 €	€2 244	-69,3%	-26 706 €	-26 117 €	25850
3	2 267,9 €	-31,2 €	€2 237	-49,9%	-24 469 €	-24 129 €	25721
4	2 261,1 €	-31,2 €	€2 230	-36,3%	-22 239 €	-22 206 €	25592
5	2 254,3 €	-31,2 €	€2 223	-26,7%	-20 016 €	-20 344 €	25464
6	2 247,5 €	-31,2 €	€2 216	-19,9%	-17 800 €	-18 542 €	25337
7	2 240,8 €	-31,2 €	€2 210	-14,9%	-15 590 €	-16 798 €	25210
8	2 234,0 €	-31,2 €	€2 203	-11,0%	-13 387 €	-15 110 €	25084
9	2 227,3 €	-31,2 €	€2 196	-8,1%	-11 191 €	-13 475 €	24959
10	2 220,6 €	-31,2 €	€2 189	-5,8%	-9 002 €	-11 894 €	24834
11	2 213,9 €	-31,2 €	€2 183	-3,9%	-6 819 €	-10 363 €	24710
12	2 207,2 €	-31,2 €	€2 176	-2,4%	-4 643 €	-8 881 €	24586
13	2 200,6 €	-31,2 €	€2 169	-1,2%	-2 474 €	-7 447 €	24463
14	2 194,0 €	-31,2 €	€2 163	-0,1%	-311 €	-6 059 €	24341
15	2 187,4 €	-31,2 €	-€1 744	-1,0%	-2 055 €	-7 145 €	24219
16	2 180,8 €	-31,2 €	€2 150	0,0%	95 €	-5 845 €	24098
17	2 174,2 €	-31,2 €	€2 143	0,9%	2 238 €	-4 586 €	23978
18	2 167,7 €	-31,2 €	€2 136	1,5%	4 374 €	-3 368 €	23858
19	2 161,1 €	-31,2 €	€2 130	2,1%	6 504 €	-2 188 €	23739
20	2 154,6 €	-31,2 €	€2 123	2,6%	8 628 €	-1 047 €	23620
21	2 148,2 €	-31,2 €	€2 117	3,0%	10 744 €	58 €	23502
22	2 141,7 €	-31,2 €	€2 110	3,4%	12 855 €	1 127 €	23384
23	2 135,2 €	-31,2 €	€2 104	3,7%	14 959 €	2 162 €	23267
24	2 128,8 €	-31,2 €	€2 098	4,0%	17 057 €	3 164 €	23151
25	2 122,4 €	-31,2 €	€2 091	4,2%	19 148 €	4 134 €	23035
26	2 116,0 €	-31,2 €	€2 085	4,5%	21 233 €	5 072 €	22920
27	2 109,7 €	-31,2 €	€2 078	4,6%	23 311 €	5 981 €	22805
28	2 103,3 €	-31,2 €	€2 072	4,8%	25 383 €	6 860 €	22691
29	2 097,0 €	-31,2 €	€2 066	5,0%	27 449 €	7 711 €	22578
30	2 090,7 €	-31,2 €	€2 059	5,1%	29 508 €	8 535 €	22465
YHT	41 850,4 €	-36 036,0 €					725444

Taulukko XX kuvastaa 30 kWp järjestelmän kokonaistuottoa 30 vuoden ajalta, kun asennushintana on 950 €/kWp (Finsolar 2017).

(2/2)

Järjestelmän elinikä vuosina	Oman sähköntuotannon arvo ja myyntituotot €	Investointi- ja ylläpito-kustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin sisäisiä korkokantoja % (IRR)	Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (0% korko)	Investoinnin nettonykyarvoja	Aurinkosähkön tuotto kWh/v
0	0,0 €	-22 800,0 €	-€22 800		-22 800 €		0
1	2 281,7 €	-22,8 €	€2 259	-90,1%	-20 541 €	-20 007 €	25980
2	2 274,8 €	-22,8 €	€2 252	-63,2%	-18 289 €	-17 946 €	25850
3	2 267,9 €	-22,8 €	€2 245	-42,8%	-16 044 €	-15 951 €	25721
4	2 261,1 €	-22,8 €	€2 238	-29,1%	-13 806 €	-14 020 €	25592
5	2 254,3 €	-22,8 €	€2 232	-19,8%	-11 574 €	-12 151 €	25464
6	2 247,5 €	-22,8 €	€2 225	-13,3%	-9 349 €	-10 343 €	25337
7	2 240,8 €	-22,8 €	€2 218	-8,6%	-7 132 €	-8 592 €	25210
8	2 234,0 €	-22,8 €	€2 211	-5,1%	-4 920 €	-6 897 €	25084
9	2 227,3 €	-22,8 €	€2 204	-2,5%	-2 716 €	-5 257 €	24959
10	2 220,6 €	-22,8 €	€2 198	-0,4%	-518 €	-3 669 €	24834
11	2 213,9 €	-22,8 €	€2 191	1,2%	1 673 €	-2 132 €	24710
12	2 207,2 €	-22,8 €	€2 184	2,5%	3 858 €	-645 €	24586
13	2 200,6 €	-22,8 €	€2 178	3,6%	6 035 €	795 €	24463
14	2 194,0 €	-22,8 €	€2 171	4,4%	8 206 €	2 189 €	24341
15	2 187,4 €	-2 872,8 €	-€685	4,2%	7 521 €	1 762 €	24219
16	2 180,8 €	-22,8 €	€2 158	4,9%	9 679 €	3 067 €	24098
17	2 174,2 €	-22,8 €	€2 151	5,5%	11 830 €	4 331 €	23978
18	2 167,7 €	-22,8 €	€2 145	6,0%	13 975 €	5 554 €	23858
19	2 161,1 €	-22,8 €	€2 138	6,4%	16 114 €	6 738 €	23739
20	2 154,6 €	-22,8 €	€2 132	6,7%	18 246 €	7 884 €	23620
21	2 148,2 €	-22,8 €	€2 125	7,0%	20 371 €	8 993 €	23502
22	2 141,7 €	-22,8 €	€2 119	7,3%	22 490 €	10 067 €	23384
23	2 135,2 €	-22,8 €	€2 112	7,5%	24 602 €	11 106 €	23267
24	2 128,8 €	-22,8 €	€2 106	7,7%	26 708 €	12 112 €	23151
25	2 122,4 €	-22,8 €	€2 100	7,9%	28 808 €	13 086 €	23035
26	2 116,0 €	-22,8 €	€2 093	8,1%	30 901 €	14 028 €	22920
27	2 109,7 €	-22,8 €	€2 087	8,2%	32 988 €	14 940 €	22805
28	2 103,3 €	-22,8 €	€2 081	8,3%	35 068 €	15 823 €	22691
29	2 097,0 €	-22,8 €	€2 074	8,4%	37 143 €	16 677 €	22578
30	2 090,7 €	-22,8 €	€2 068	8,5%	39 210 €	17 505 €	22465
YHT	41 850,4 €	-26 334,0 €					725444

Liite 2. 40 kWp järjestelmän kokonaistuotto

Taulukko XXX kuvastaa 40 kWp järjestelmän kokonaistuottoa 30 vuoden ajalta, kun asennushintana on 1300 €/kWp (Finsolar 2017).

(1/2)

Järjestelmän elinikä vuosina	Oman sähköntuotannon arvo ja myyntituotot €	Investointi- ja ylläpito-kustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin sisäisiä korkokantoja % (IRR)	Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (0% korko)	Investoinnin nettonykyarvoja (NPV) valitulla laskentakorolla	Aurinkosähkön tuotto kWh/v
0	0,0 €	-41 600,0 €	-€41 600		-41 600 €		0
1	3 042,2 €	-41,6 €	€3 001	-92,8%	-38 599 €	-37 560 €	34640
2	3 033,1 €	-41,6 €	€2 991	-69,3%	-35 608 €	-34 822 €	34467
3	3 023,9 €	-41,6 €	€2 982	-49,9%	-32 626 €	-32 173 €	34294
4	3 014,8 €	-41,6 €	€2 973	-36,3%	-29 652 €	-29 608 €	34123
5	3 005,7 €	-41,6 €	€2 964	-26,7%	-26 688 €	-27 125 €	33952
6	2 996,7 €	-41,6 €	€2 955	-19,9%	-23 733 €	-24 723 €	33783
7	2 987,7 €	-41,6 €	€2 946	-14,9%	-20 787 €	-22 397 €	33614
8	2 978,7 €	-41,6 €	€2 937	-11,0%	-17 850 €	-20 146 €	33446
9	2 969,7 €	-41,6 €	€2 928	-8,1%	-14 922 €	-17 967 €	33278
10	2 960,8 €	-41,6 €	€2 919	-5,8%	-12 003 €	-15 858 €	33112
11	2 951,9 €	-41,6 €	€2 910	-3,9%	-9 092 €	-13 817 €	32946
12	2 943,0 €	-41,6 €	€2 901	-2,4%	-6 191 €	-11 841 €	32782
13	2 934,1 €	-41,6 €	€2 893	-1,2%	-3 298 €	-9 929 €	32618
14	2 925,3 €	-41,6 €	€2 884	-0,1%	-415 €	-8 078 €	32455
15	2 916,5 €	-5 241,6 €	-€2 325	-1,0%	-2 740 €	-9 527 €	32292
16	2 907,7 €	-41,6 €	€2 866	0,0%	126 €	-7 793 €	32131
17	2 899,0 €	-41,6 €	€2 857	0,9%	2 984 €	-6 115 €	31970
18	2 890,2 €	-41,6 €	€2 849	1,5%	5 832 €	-4 490 €	31810
19	2 881,5 €	-41,6 €	€2 840	2,1%	8 672 €	-2 918 €	31651
20	2 872,9 €	-41,6 €	€2 831	2,6%	11 503 €	-1 396 €	31493
21	2 864,2 €	-41,6 €	€2 823	3,0%	14 326 €	77 €	31336
22	2 855,6 €	-41,6 €	€2 814	3,4%	17 140 €	1 503 €	31179
23	2 847,0 €	-41,6 €	€2 805	3,7%	19 945 €	2 883 €	31023
24	2 838,4 €	-41,6 €	€2 797	4,0%	22 742 €	4 219 €	30868
25	2 829,9 €	-41,6 €	€2 788	4,2%	25 530 €	5 512 €	30714
26	2 821,4 €	-41,6 €	€2 780	4,5%	28 310 €	6 763 €	30560
27	2 812,9 €	-41,6 €	€2 771	4,6%	31 082 €	7 975 €	30407
28	2 804,4 €	-41,6 €	€2 763	4,8%	33 844 €	9 147 €	30255
29	2 796,0 €	-41,6 €	€2 754	5,0%	36 599 €	10 282 €	30104
30	2 787,5 €	-41,6 €	€2 746	5,1%	39 345 €	11 380 €	29953
YHT	55 800,5 €	-48 048,0 €					967258

Taulukko XXXX kuvastaa 40 kWp järjestelmän kokonaistuottoa 30 vuoden ajalta, kun asennushintana on 950 €/kWp (Finsolar 2017).

(2/2)

Järjestelmän elinikä vuosina	Oman sähkön tuotannon arvo ja myyntituotot €	Investointi- ja ylläpito-kustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin sisäisiä korkokantoja % (IRR)	Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (0% korko)	Investoinnin nettonykyarvoja (NPV) valitulla laskentakorolla	Aurinkosähkön tuotto kWh/v
0	0,0 €	-30 400,0 €	-€30 400		-30 400 €		0
1	3 042,2 €	-30,4 €	€3 012	-90,1%	-27 388 €	-26 676 €	34640
2	3 033,1 €	-30,4 €	€3 003	-63,2%	-24 386 €	-23 928 €	34467
3	3 023,9 €	-30,4 €	€2 994	-42,8%	-21 392 €	-21 268 €	34294
4	3 014,8 €	-30,4 €	€2 984	-29,1%	-18 408 €	-18 694 €	34123
5	3 005,7 €	-30,4 €	€2 975	-19,8%	-15 432 €	-16 202 €	33952
6	2 996,7 €	-30,4 €	€2 966	-13,3%	-12 466 €	-13 790 €	33783
7	2 987,7 €	-30,4 €	€2 957	-8,6%	-9 509 €	-11 456 €	33614
8	2 978,7 €	-30,4 €	€2 948	-5,1%	-6 560 €	-9 196 €	33446
9	2 969,7 €	-30,4 €	€2 939	-2,5%	-3 621 €	-7 009 €	33278
10	2 960,8 €	-30,4 €	€2 930	-0,4%	-691 €	-4 892 €	33112
11	2 951,9 €	-30,4 €	€2 921	1,2%	2 231 €	-2 843 €	32946
12	2 943,0 €	-30,4 €	€2 913	2,5%	5 143 €	-859 €	32782
13	2 934,1 €	-30,4 €	€2 904	3,6%	8 047 €	1 060 €	32618
14	2 925,3 €	-30,4 €	€2 895	4,4%	10 942 €	2 918 €	32455
15	2 916,5 €	-30,4 €	€2 886	4,2%	10 028 €	2 349 €	32292
16	2 907,7 €	-30,4 €	€2 877	4,9%	12 905 €	4 090 €	32131
17	2 899,0 €	-30,4 €	€2 869	5,5%	15 774 €	5 775 €	31970
18	2 890,2 €	-30,4 €	€2 860	6,0%	18 634 €	7 406 €	31810
19	2 881,5 €	-30,4 €	€2 851	6,4%	21 485 €	8 984 €	31651
20	2 872,9 €	-30,4 €	€2 842	6,7%	24 327 €	10 512 €	31493
21	2 864,2 €	-30,4 €	€2 834	7,0%	27 161 €	11 991 €	31336
22	2 855,6 €	-30,4 €	€2 825	7,3%	29 986 €	13 423 €	31179
23	2 847,0 €	-30,4 €	€2 817	7,5%	32 803 €	14 808 €	31023
24	2 838,4 €	-30,4 €	€2 808	7,7%	35 611 €	16 149 €	30868
25	2 829,9 €	-30,4 €	€2 799	7,9%	38 410 €	17 447 €	30714
26	2 821,4 €	-30,4 €	€2 791	8,1%	41 201 €	18 704 €	30560
27	2 812,9 €	-30,4 €	€2 782	8,2%	43 984 €	19 920 €	30407
28	2 804,4 €	-30,4 €	€2 774	8,3%	46 758 €	21 097 €	30255
29	2 796,0 €	-30,4 €	€2 766	8,4%	49 523 €	22 237 €	30104
30	2 787,5 €	-30,4 €	€2 757	8,5%	52 281 €	23 339 €	29953
YHT	55 800,5 €	-35 112,0 €					967258

Liite 3. 50 kWp järjestelmän kokonaistuotto

Taulukko XXXXX kuvastaa 50 kWp järjestelmän kokonaistuottoa 30 vuoden ajalta, kun asennushintana on 1300 €/kWp (Finsolar 2017).

(1/2)

Järjestelmän elinikä vuosina	Oman sähkön tuotannon arvo ja myyntituotot €	Investointi- ja ylläpito-kustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin sisäisiä korkokantoja % (IRR)	Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (0% korko)	Investoinnin nettonykyarvoja	Aurinkosähkön tuotto kWh/v
0	0,0 €	-52 000,0 €	-€52 000		-52 000 €		0
1	3 802,8 €	-52,0 €	€3 751	-92,8%	-48 249 €	-46 950 €	43300
2	3 791,3 €	-52,0 €	€3 739	-69,3%	-44 510 €	-43 528 €	43084
3	3 779,9 €	-52,0 €	€3 728	-49,9%	-40 782 €	-40 216 €	42868
4	3 768,5 €	-52,0 €	€3 717	-36,3%	-37 065 €	-37 010 €	42654
5	3 757,2 €	-52,0 €	€3 705	-26,7%	-33 360 €	-33 907 €	42440
6	3 745,9 €	-52,0 €	€3 694	-19,9%	-29 666 €	-30 903 €	42228
7	3 734,6 €	-52,0 €	€3 683	-14,9%	-25 984 €	-27 996 €	42017
8	3 723,4 €	-52,0 €	€3 671	-11,0%	-22 312 €	-25 183 €	41807
9	3 712,2 €	-52,0 €	€3 660	-8,1%	-18 652 €	-22 459 €	41598
10	3 701,0 €	-52,0 €	€3 649	-5,8%	-15 003 €	-19 823 €	41390
11	3 689,8 €	-52,0 €	€3 638	-3,9%	-11 366 €	-17 271 €	41183
12	3 678,7 €	-52,0 €	€3 627	-2,4%	-7 739 €	-14 802 €	40977
13	3 667,7 €	-52,0 €	€3 616	-1,2%	-4 123 €	-12 411 €	40772
14	3 656,6 €	-52,0 €	€3 605	-0,1%	-519 €	-10 098 €	40568
15	3 645,6 €	-6 552,0 €	-€2 906	-1,0%	-3 425 €	-11 909 €	40366
16	3 634,6 €	-52,0 €	€3 583	0,0%	158 €	-9 741 €	40164
17	3 623,7 €	-52,0 €	€3 572	0,9%	3 729 €	-7 643 €	39963
18	3 612,8 €	-52,0 €	€3 561	1,5%	7 290 €	-5 613 €	39763
19	3 601,9 €	-52,0 €	€3 550	2,1%	10 840 €	-3 647 €	39564
20	3 591,1 €	-52,0 €	€3 539	2,6%	14 379 €	-1 745 €	39366
21	3 580,3 €	-52,0 €	€3 528	3,0%	17 907 €	97 €	39170
22	3 569,5 €	-52,0 €	€3 517	3,4%	21 425 €	1 879 €	38974
23	3 558,7 €	-52,0 €	€3 507	3,7%	24 932 €	3 604 €	38779
24	3 548,0 €	-52,0 €	€3 496	4,0%	28 428 €	5 274 €	38585
25	3 537,4 €	-52,0 €	€3 485	4,2%	31 913 €	6 890 €	38392
26	3 526,7 €	-52,0 €	€3 475	4,5%	35 388 €	8 454 €	38200
27	3 516,1 €	-52,0 €	€3 464	4,6%	38 852 €	9 968 €	38009
28	3 505,5 €	-52,0 €	€3 454	4,8%	42 305 €	11 434 €	37819
29	3 495,0 €	-52,0 €	€3 443	5,0%	45 748 €	12 852 €	37630
30	3 484,4 €	-52,0 €	€3 432	5,1%	49 181 €	14 225 €	37442
YHT	69 750,6 €	-60 060,0 €					1209073

Taulukko XXXXXX kuvastaa 50 kWp järjestelmän kokonaistuottoa 30 vuoden ajalta, kun asennushintana on 950 €/kWp (Finsolar 2017).

(2/2)

Järjestelmän elinikä vuosina	Oman sähkötuotannon arvo ja myyntituotot €	Investointi- ja ylläpito-kustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin sisäisiä korkokantoja % (IRR)	Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (0% korko)	Investoinnin nettonykyarvoja (NPV) valitulla laskentakorolla	Aurinkosähkön tuotanto kWh/v
0	0,0 €	-38 000,0 €	-€38000		-38 000 €		0
1	3 802,8 €	-38,0 €	€3 765	-90,1%	-34 235 €	-33 345 €	43300
2	3 791,3 €	-38,0 €	€3 753	-63,2%	-30 482 €	-29 910 €	43084
3	3 779,9 €	-38,0 €	€3 742	-42,8%	-26 740 €	-26 585 €	42868
4	3 768,5 €	-38,0 €	€3 731	-29,1%	-23 009 €	-23 367 €	42654
5	3 757,2 €	-38,0 €	€3 719	-19,8%	-19 290 €	-20 252 €	42440
6	3 745,9 €	-38,0 €	€3 708	-13,3%	-15 582 €	-17 238 €	42228
7	3 734,6 €	-38,0 €	€3 697	-8,6%	-11 886 €	-14 319 €	42017
8	3 723,4 €	-38,0 €	€3 685	-5,1%	-8 200 €	-11 495 €	41807
9	3 712,2 €	-38,0 €	€3 674	-2,5%	-4 526 €	-8 761 €	41598
10	3 701,0 €	-38,0 €	€3 663	-0,4%	-863 €	-6 115 €	41390
11	3 689,8 €	-38,0 €	€3 652	1,2%	2 788 €	-3 553 €	41183
12	3 678,7 €	-38,0 €	€3 641	2,5%	6 429 €	-1 074 €	40977
13	3 667,7 €	-38,0 €	€3 630	3,6%	10 059 €	1 325 €	40772
14	3 656,6 €	-38,0 €	€3 619	4,4%	13 677 €	3 648 €	40568
15	3 645,6 €	-4 788,0 €	-€1142	4,2%	12 535 €	2 936 €	40366
16	3 634,6 €	-38,0 €	€3 597	4,9%	16 132 €	5 112 €	40164
17	3 623,7 €	-38,0 €	€3 586	5,5%	19 717 €	7 218 €	39963
18	3 612,8 €	-38,0 €	€3 575	6,0%	23 292 €	9 257 €	39763
19	3 601,9 €	-38,0 €	€3 564	6,4%	26 856 €	11 230 €	39564
20	3 591,1 €	-38,0 €	€3 553	6,7%	30 409 €	13 140 €	39366
21	3 580,3 €	-38,0 €	€3 542	7,0%	33 951 €	14 989 €	39170
22	3 569,5 €	-38,0 €	€3 531	7,3%	37 483 €	16 778 €	38974
23	3 558,7 €	-38,0 €	€3 521	7,5%	41 004 €	18 510 €	38779
24	3 548,0 €	-38,0 €	€3 510	7,7%	44 514 €	20 187 €	38585
25	3 537,4 €	-38,0 €	€3 499	7,9%	48 013 €	21 809 €	38392
26	3 526,7 €	-38,0 €	€3 489	8,1%	51 502 €	23 380 €	38200
27	3 516,1 €	-38,0 €	€3 478	8,2%	54 980 €	24 900 €	38009
28	3 505,5 €	-38,0 €	€3 468	8,3%	58 447 €	26 371 €	37819
29	3 495,0 €	-38,0 €	€3 457	8,4%	61 904 €	27 796 €	37630
30	3 484,4 €	-38,0 €	€3 446	8,5%	65 351 €	29 174 €	37442
YHT	69 750,6 €	-43 890,0 €					1209073