

Hannu Paananen

AURINKOENERGIAN KARTOITUS KOKKOLAN ALUEELLA

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Joulukuu 2016**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Joulukuu 2016	Tekijä/tekijät Hannu Paananen
Koulutusohjelma Sähkötekniikka		
Työn nimi AURINKOENERGIAN KARTOITUS KOKKOLAN ALUEELLA		
Työn ohjaaja Yrjö Muilu	Sivumäärä 23	
Työelämäohjaaja Rea Tienhaara		
<p>Opinnäytetyöni käsittelee aurinkoenergian kartoitusta Kokkolan alueella. Työni tein Caverionille, tarkoituksena tutkia ja kartoittaa potentiaalisia kohteita aurinkosähkön käyttöön. Kohteista tuli selvittää sopivat kattopinta-alat, ilmansuunnat, sähkön kulutustiedot sekä sähkön oston kokonaishinta.</p> <p>Verkkoon kytkettävän aurinkojärjestelmän mitoittaminen on erittäin tärkeää kartoitusvaiheessa. Opinnäytetyössäni tarkoitus oli mitoittaa juuri oikean kokoinen järjestelmä kohteiden käyttöön. Mitoituksessa on otettava huomioon sähkön hetkellinen tarve, kustannukset, kannattavuus ja takaisinmaksuaika.</p> <p>Kohteena olevat yritykset saavat lopuksi hyvät pohjalaskelmat verkkoonkytkettyjen aurinkosähköjärjestelmiin liittyen. Tehtyjen laskelmien ja tutkimusten pohjalta yritysten on helpompi tehdä ratkaisu omasta kustannustehokkaasta järjestelmästä.</p>		
Asiasanat aurinkoenergia, aurinkopaneeli, aurinkosähköjärjestelmä		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date December 2016	Author Hannu Paananen
Degree programme Electricity technic		
Name of thesis SOLAR ENERGY MAPPING THE REGION OF KOKKOLA		
Instructor Yrjö Muilu	Pages 23	
Supervisor Rea Tienhaara		
<p>My bachelor thesis talks about surveying of solar energy in Kokkola and nearby. I worked for Caverion, and my purpose was to research and survey potential subjects for using solar energy. I was expected to report the suitable roof areas, compass points, energy consumption as well as total electricity purchase price.</p> <p>It is very important that the solar power system that will be connected to the power grid is precisely measured in the surveying stage. The purpose in my thesis was to measure exactly right sized system for the subjects' use. In the measuring stage a momentary need of power, cost estimates, profitability and repayment time have to be taken into account.</p> <p>The companies which were my subjects will get really good basic calculations at the end, when it comes to solar power systems connected to the grid. From the basis of the calculations and surveys it is easier to the companies to make a decision about their own cost-effective system.</p>		

<p>Key words solar energy, solar panel, photovoltaic system</p>
--

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

ABSORPTIO	Sähkömagneettinen säteily.
AMORFINEN PII	Piin ja vedyn seos, jossa on epämääräinen atomien järjestys.
AURINGONSÄTEILY	Auringosta tuleva suora- ja hajasäteily.
FOTODIODI	Valolle herkkä diodi, joka muuntaa valon sähköiseksi signaaliksi
GEOTERMINEN	Maan sisäinen energia.
Wp	Piikkiwatti, paneelin nimellisteho.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 AURINKO	2
2.1 Auringon säteily	2
2.2 Aurinkoenergia.....	3
3 AURIKOPANEELIT JA INVERTTERIT	4
3.1 Aurinkokenno.....	4
3.2 Aurinkokennon teho	6
3.3 Aurinkopaneelin teho.....	7
3.4 Invertteri	10
4 VERKKOON LIITETTÄVÄ AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....	12
5 LASKENNAN POHJATIEDOT	13
5.1 Kokkolan sijainnin soveltuvuus aurinkoenergialle.....	13
5.2 Investointi.....	14
6 YRITYS ABCD	15
6.1 Järjestelmä.....	15
6.2 Tuotto	15
6.3 Yrityksen investointi ja investoinnin tuotto.....	16
7 YRITYS EFGH	18
7.1 Järjestelmä.....	18
7.2 Tuotto	18
7.3 Yrityksen investointi ja investoinnin tuotto.....	19
8 YRITYS IJKL	20
8.1 Järjestelmä.....	20
8.2 Tuotto	20
8.3 Yrityksen investointi ja investoinnin tuotto.....	21
9 POHDINTA	22
LÄHTEET	23
KUVIOT	
KUVIO 1. Yrityksen kilpailuetua tuottavat menestystekijät	5
KUVIO 2. Otsikko	5
KUVAT	
KUVA 1. Auringon vuotuinen kokonaissäteily määrä kWh/m ² Suomessa.....	3
KUVA 2. Aurinkopaneeliston muodostuminen.....	4
KUVA 3. Aurinkopaneelin toimintaperiaate	5

KUVA 4. Yksikiteinen piikkenno ja paneeli	6
KUVA 5. Monikiteinen piikkenno ja paneeli	6
KUVA 6. Kallistuksen vaikutus tuottoon	9
KUVA 7. Paneelin suuntaus aurinkoa kohti	9
KUVA 8. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän periaatekuva.....	12
KUVA 9. Säteilymäärän mukaan jaetut vyöhykkeet	13
KUVA 10. Alku investoinnin jakautuminen.....	14

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Säteilyn kuukausi vaihtelut	2
TAULUKKO 2. Kuorman vaikutus 45 Wp aurinkopaneelin tehoon	8
TAULUKKO 3. Aurinkoinen kesäkuun päivän säteilymäärä Etelä – Suomessa.....	9
TAULUKKO 4. Vuosituoton suhde kokonaiskulutukseen.....	16
TAULUKKO 5. Tuottojakauma optimi vuosituotolle	16
TAULUKKO 6. Vuosituoton suhde kokonaiskulutukseen.....	18
TAULUKKO 7. Tuottojakauma optimi vuosituotolle	19
TAULUKKO 8. Vuosituoton suhde kokonaiskulutukseen.....	20
TAULUKKO 9. Tuottojakauma optimi vuosituotolle	21

1 JOHDANTO

Aurinko on ihmiskunnan merkittävin energianlähde. Sieltä energia tulee erilaisina säteilyinä maapal-
lolle. Lähes kaikki maapallon energia tulee auringosta. Sen ulkopuolelle jäävät ydinvoima, geoterminen-
ja vuorovesienergia. Tuulivoima, vesivoima, bio- ja fossiiliset polttoaineet ovat auringosta tullutta ener-
giaa (Wikipedia 2016.) Aurinkoenergia on auringon säteilemän energian hyödyntämistä erilaisin järjes-
telmin. Auringosta säteilevää energiaa käytetään lämmön ja sähkön tuottamiseen. Sähköön käytettävä
säteilyenergia kerätään aurinkopaneelien avulla ja muutetaan valosähköisen ilmiön avulla sähköener-
giaksi. Aurinkoenergiaa on perinteisesti hyödynnetty vapaa-ajan asunnoissa ja erilaisissa liikkuvissa va-
paa-ajan kohteissa esim. asuntovaunu. Nyt on lisääntyvässä määrin alettu käyttämään verkkoon kytket-
tyjä aurinkosähköjärjestelmiä rinnakkain sähköverkon kanssa. Järjestelmän tarkoitus on tuottaa osa
omaan kulutukseen tulevasta sähköstä.

Euroopan alueella verkkoon kytkettyjä aurinkosähköjärjestelmiä on otettu käyttöön koko ajan enemmän.
Järjestelmän komponentit ja niiden hyötysuhteet ovat kehittyneet paremmiksi. Samalla järjestelmien ko-
konaishinnat ovat laskeneet. Teknologian kehittyessä saadaan hyötysuhteet vieläkin paremmiksi.

Suomessa on yleisesti havaittavissa epätietoisuutta verkkoon kytkettyjen järjestelmien hyödyistä. Kun
ei ole todellista tietoa asiasta, niin se herkästi aiheuttaa vastarintaa. Oletetaan että Suomessa aurinko ei
paista riittävästi ja järjestelmät ovat liian kalliita tuottaakseen hyötyä käyttäjälleen. Saksassa on tuotettu
kesällä hetkellisesti jopa puolet sähkön tarpeesta. Kuitenkin Suomessa on lähes yhtä hyvät olosuhteet
aurinkosähkön tuottamiseen.

Opinnäytetyöni tein Caverionille. Tarkoitukseni oli kartoittaa aurinkosähkölle sopivia kohteita Kokkolan
alueella. Työn tarkoitukseni oli mitoitaa kohteeseen oikean kokoinen verkkoon kytkettävä aurinkosähköjär-
jestelmä. Kartoituksen aluksi etsin kohteita karttaohjelmien perusteella, jolloin kriteereinä oli riittävän
iso kattopinta-ala aurinkopaneelille sopivaan ilma-suuntaan. Sopivien yritysten löytyttyä alkoi sähkön
kulutustietojen analysointi ja sähkön ostohintojen selvitys. Mitoitus tehtiin kesäajan pienimmän puolen-
päivän tuntikulutuksen mukaan. Kun tiedot oli kartoitettu, alkoi järjestelmän koon ja kustannusten las-
kenta. Laskelmissa näkyy myös tuotto- ja takaisinmaksun odotukset. Hiilidioksidi päästöjen vähennyk-
set, kulutus tiedot ja koko järjestelmän investointilaskelmat.

2 AURINKO

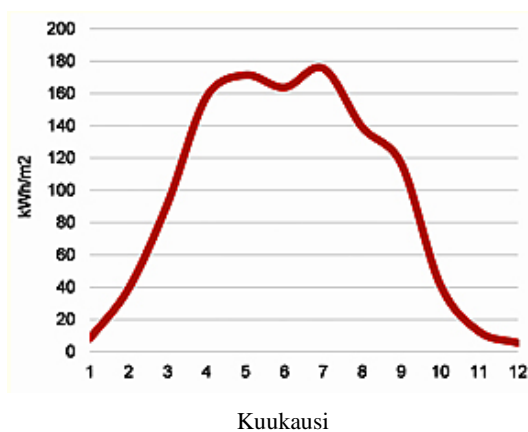
Auringon ytimen lämpötila on noin 15 miljoonaa astetta. Ytimessä tapahtuu koko ajan fuusioreaktioita. Vety-ytimet yhdistyvät heliumiksi, josta vapautuva energia siirtyy säteilyvyöhykkeen läpi konvektiovyöhykkeeseen. Siellä plasma kuumenee ja nousee ylös. Jäähdyttyään plasma painuu alas ja samalla energiaa siirtyy auringon pinnalle ja siitä avaruuteen (Otavan opisto 2016.)

2.1 Auringon säteily

Maapallolle tuleva auringon kokonaissäteily koostuu suoraan kohteeseen tulevasta säteilystä ja hajasäteilystä. Hajasäteily on ilmakehästä, pilvistä ja maanpinnasta heijastuvaa säteilyä. Auringon säteily on maapallon tärkein energianlähde. Auringonsäteistä kaikki eivät tule maanpinnalle vaan säteily vaimenee ilmakehässä. Maapallolle tuleva auringon säteilyn kokonaisteho on noin 170 000 terawattia. Absorboituminen ja siroaminen ilmakehän molekyyliessä vaimentavat säteilyä vähintään 30 % (Tampereen teknillinen yliopisto 2009.)

Ilmakehään tulee auringon säteilyä noin 1368 W/m^2 , jota nimitetään aurinkovakioksi. Suomeen tulevan säteilyn määrä on hyvissä olosuhteissa $800 - 1000 \text{ W/m}^2$ vuodessa. Helsingissä aurinko paistaa keskimäärin noin 300 tuntia kuukaudessa toukokuun ja heinäkuun välissä. Sodankylässä vastaavana aikana keskimäärin 250 - 270 tuntia kuukaudessa. Koko vuoden auringonpaiste Suomessa Etelä-Suomen vaajaasta 1900 tunnista pohjoisen 1550 tuntiin. (Ilmatieteenlaitos.)

TAULUKKO 1. Säteilyn kuukausi vaihtelut (Ilmatieteenlaitos 2016.)





KUVA 1. Auringon vuotuinen kokonaissäteily määrä kWh/m² Suomessa (EU 2016)

2.2 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on uusiutuva energia. Lähes kaikki muutkin uusiutuvat energiat ovat lähtöisin auringosta. Aurinkoenergialla tarkoitetaan auringon säteilystä saatavaa passiivista ja aktiivista energiaa. Passiivisella energialla tarkoitetaan sitä, että auringonsäteet lämmittävät kohdetta ilman mitään erillisiä toimenpiteitä. Aktiivisella energialla vastaavasti tarkoitetaan keräimillä ja paneeleilla kerättyä energiaa, joka käytetään lämmön- ja sähköntuotantoon.

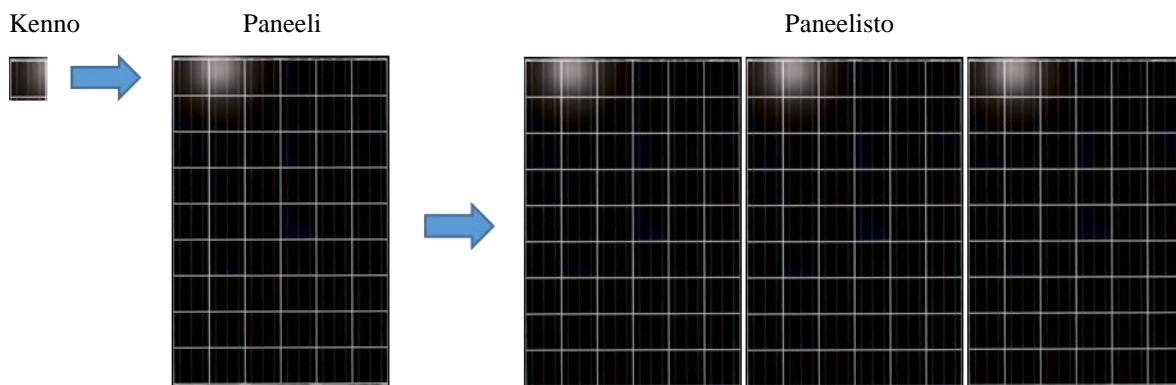
Esimerkiksi omakotitalossa voidaan hyvin käyttää näitä kaikkia energia muotoja. Keväällä aurinko alkaa lämmittämään ikkunoiden kautta talon sisäilmaa, eli käytetään passiivista energiaa. Samaan aikaan voidaan aurinkokeräimien avulla tuottaa lämmintä vettä talon lämmitykseen ja käyttöveteen. Talon katolle tai pihamaalle voidaan myös asentaa aurinkopaneeleita tuottamaan sähköä omiin tarpeisiin tai jakeluverkkoon. Aurinkokeräimet ja paneelit kuuluvat aktiiviseen energiaan. Pääsääntöisesti näiden on tarkoitus toimia olemassa olevan järjestelmän rinnalla.

Kesämököt ja muut vapaa-ajan asunnot saattavat olla hyvinkin kaukana olemassa olevista sähköverkoista, silloin aurinkoenergian käyttö on hyvä ratkaisu. Samoin liikutettavissa ja liikkuvissa kohteissa pystytään hyvin hyödyntämään aurinkoenergiaa, koska se ei ole sidoksissa muuhun kuin aurinkoon.

3 AURIKOPANEELIT JA INVERTTERIT

Aurinkopaneeli muodostuu sarjaan ja rinnan kytketyistä piikivikenneistä. Paneeleja on kolmenlaisia, monikide-, yksikide- ja ohutkennopaneeleita. Piikennon teoreettinen maksimihyötysuhde on 30 %, mutta käytännössä monikidepaneelin hyötysuhde on noin 15 %. Aurinkopaneelit ovat teknisesti kestäviä. Tekninen elinikä on parhaillaan noin 40 vuotta. Paneelin pinnan rosoisuus auttaa keräämään myös hajasäteilyä. Aurinkopaneeleita on saatavilla eri tehoisia. (Caverion 2016.)

Kennoja päältäpäin suojaa noin neljä – viisi millimetriä paksu lasi. Paneelin takaosa on komposiitimuovia ja koko paketti on kehystetty alumiinilla. Paneelit on tehty kestämään lumikuorma ja muutkin sääolosuhteet.

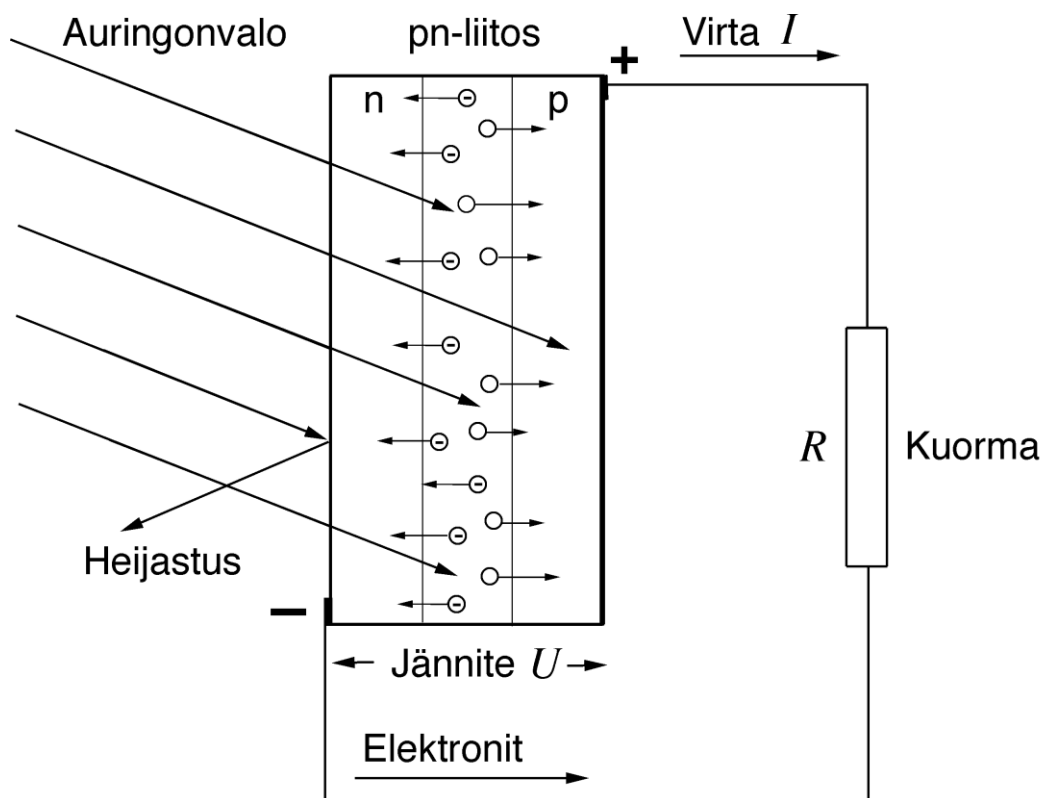


KUVA 2. Aurinkopaneeliston muodostuminen

3.1 Aurinkokenno

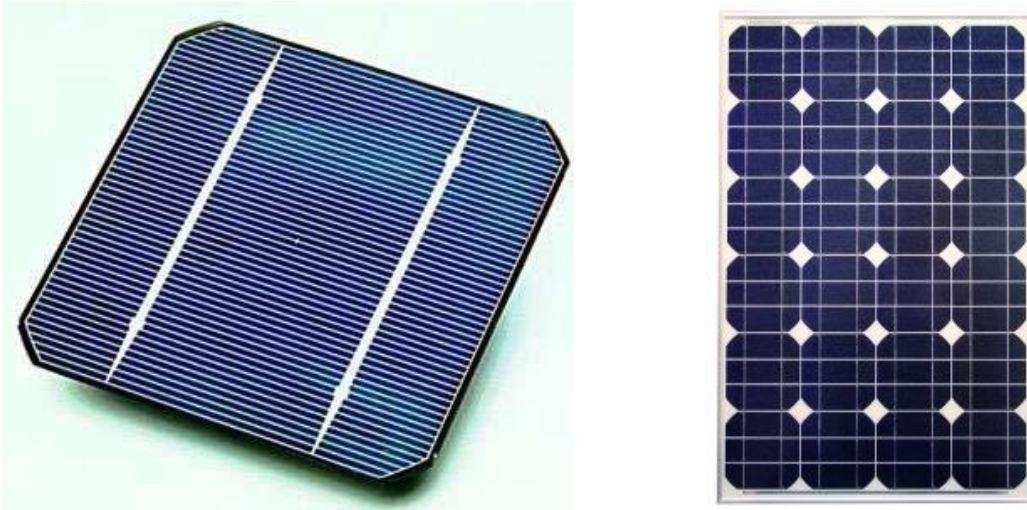
Aurinkokennot ovat noin 0,2 – 0,3 mm paksuja ja pinta-alaltaan noin 90 – 160 mm x 120 – 160 mm. Aurinkokennon toimintaperiaate ja rakenne on esitetty kuvassa 3. Aurinkokennon toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen, se on kuin suuri fotodiode. Siinä on yhdistetty kaksi eri tyyppistä puolijohdetta p ja n kuvassa 3. Auringonvalon osuessa kennoon, osa fotoneista eli valohiukkasista heijastuu pois ja osalla on niin suuri energia, että pääsevät pintakerroksen läpi pn-liitokseen. Siellä ne voivat muodostaa elektroni-aukkopareja. Lähellä pn-liitosta muodostuvista pareista aukot kulkeutuvat p-puolelle ja elektronit n-puolelle. Koska rajapintaan muodostuu sähkökenttä, elektronit voivat kulkea vain yhteen suuntaan. Elektronit kulkevat ulkoisen johtimen kautta p-tyypin puolijohteeseen. Siellä elektronit voivat

yhdistyä sinne kulkeneiden aukkojen kanssa. Valaistun liitoksen eri puolilla on siten jatkuvasti vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat, ja liitos voi toimia ulkoisen piirin jännitelähteenä (Suntekno Oy, Aurinkopaneelit.pdf.)

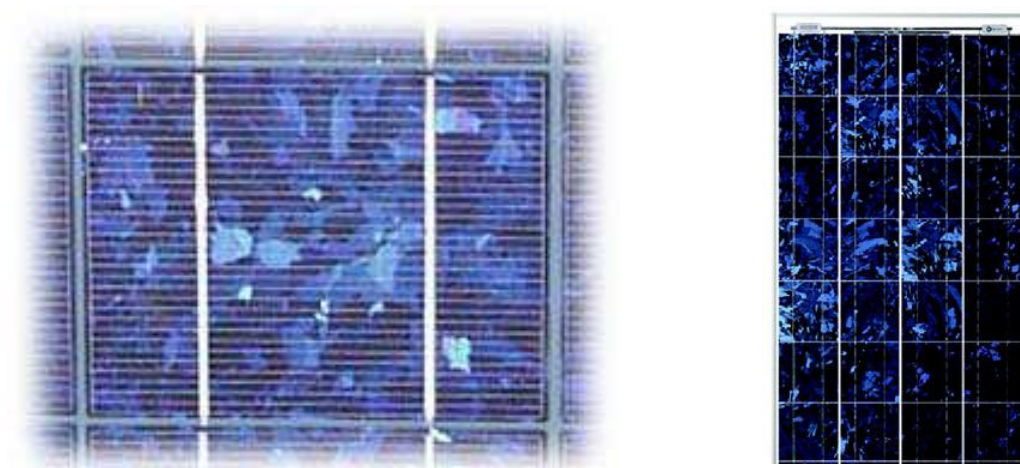


KUVA 3. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Suntekno Oy, Aurinkopaneelit.pdf.)

Piikenoja on olemassa kolmenlaisia, yksi- ja monikiteiset sekä amorfisesta piistä valmistetut kennot. Yksikiteiset piikennot ovat kalleimmat, koska ne sahataan yhtenäisestä piiaihiosta ja raaka-aine on hyvin arvokasta. Sahattu aihio on ohut pyöreä kiekko. Tämän takia neliskulmaisissa yksikidekennoissa jätetään kennon nurkkiin tyhjät aukot (KUVA 4). Monikiteiset kennot voidaan valmistaa nelikulmaisista aihioista (KUVA 5). Tällöin raaka-ainetta ei mene hukkaan ja saadaan hintaa alemmaksi. Amorfisesta piistä saadaan valmistettua halvempi ja taipuisa, mutta huonommalla hyötysuhteella toimiva kenno. Amorfisesta piistä valmistettuja kennoja käytetään ohutkalvopaneelien valmistukseen (Suntekno Oy, Aurinkopaneelit.pdf.)



KUVA 4. Yksikiteinen piikkenno ja paneeli (Suntekno Oy, Finnwind Oy)



KUVA 5. Monikiteinen piikkenno ja paneeli (Suntekno Oy, Finnwind Oy)

3.2 Aurinkokennon teho

Yksi aurinkokenno tuottaa jännitettä 0,5 – 0,6 V. Kennoja kytketään sarjaan paneeleiksi tehontarpeen mukaan. Tällöin 36 kennon muodostamalla paneelilla saadaan riittävä jännite 12 V akun lataamiseen. Aurinkokennon tuottama sähkövirta on suoraan verrannollinen muodostuvien elektroniaukkoparien lukumäärään. Tämän takia sähkövirran määrä riippuu kennon pinta-alasta ja auringon säteilyn voimakkuudesta. Kirkkaalla auringonpaisteella kennot tuottavat sähkövirtaa 32 mA/cm^2 . Jos kennon mitat ovat 90 mm x 120 mm, tuottaa se virtaa maksimissaan 3,5 A (Suntekno Oy, Aurinkopaneelit.pdf.)

3.3 Aurinkopaneelin teho

Aurinkopaneelien tehon tuotto lasketaan tehon, sähköenergian, hyötysuhteen ja kuorman kaavoilla.

Teho saadaan kaavasta:

$$P = UI \quad (1)$$

jossa P on paneelin tuottama teho (W), U paneelin napajännite (V) ja I virta (A). Kun lasketaan paneelin tuottamaa sähköenergiaa, tarvitaan myös aika:

$$E = Pt \quad (2)$$

E tarkoittaa sähköenergiaa, eli tehon määrää tunnissa (kWh), P teho ja t on aika tunneissa. Esimerkiksi paneelin napajännitteen ollessa 15 V ja virta 3 A kuuden tunnin ajan, paneelin teho on $P = UI = 45$ W ja tällöin tuotettu energia $E = Pt = 0,27$ kWh.

Hyötysuhde lasketaan paneelin tuottaman tehon ja paneelille tulevan auringon säteilyn suhteena:

$$\eta = (P / SA) \times 100 \% \quad (3)$$

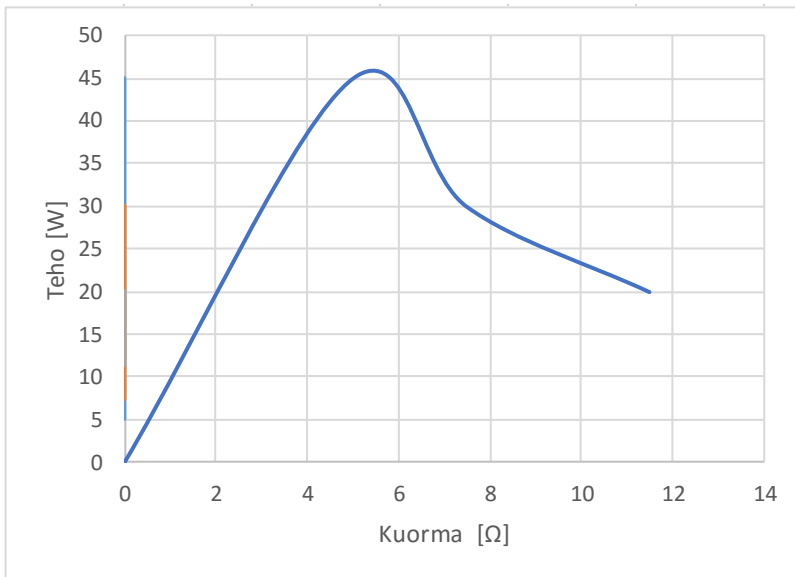
jossa η on hyötysuhde, P paneelin teho, S on auringonsäteilyn voimakkuus ja A paneelin pinta-ala. Jos jännite on 15 V, Virta 3 A, teho 45 W, auringonsäteilyn voimakkuus 800 W/m² ja paneelin pinta-ala 0,4 m², saadaan kaavalla laskettua hyötysuhteeksi 14 %.

Paneelin jännite määräytyy kytketyn kuorman tai akuston mukaan. Virta hakeutuu vastaavaan pisteeseen säteilyn ja lämpötilan ominaiskäyrällä. Kuorman suuruus voidaan laskea ohmin laista:

$$R = U/I \quad (4)$$

jossa R on kuorman resistanssi (Ω), U paneelin napajännite ja I virta.

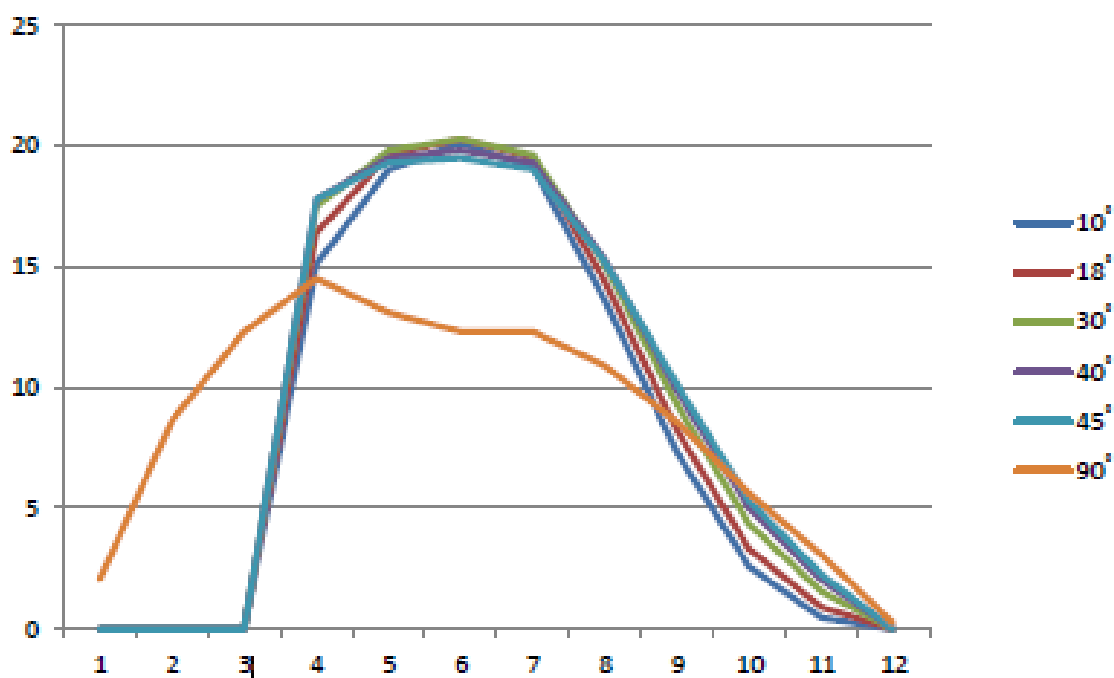
TAULUKKO 2. Kuorman vaikutus 45 Wp aurinkopaneelin tehoon



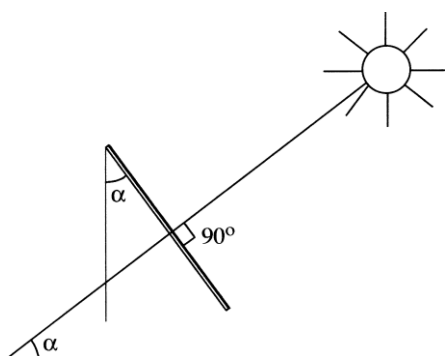
Taulukossa 2 kuvataan kuorman vaikutusta 45 Wp aurinkopaneelin tehoon. Kuorman resistanssin ollessa pieni, jää paneelin jännite myös pieneksi. Vastaavasti suuri resistanssi pienentää virtaa ja silloin teho laskee pieneksi. Paneelista saadaan suurin teho täydellä auringonpaisteella, kun resistanssi on oikean kokoinen. Tässä 45 Wp paneelissa se on 5 Ω, joka määräytyy jännitteen ja virran suhteesta toimintapisteessä ($15 \text{ V} / 3 \text{ A} = 5 \text{ Ω}$). Toimintapiste siirtyy silloin, kun auringonsäteilyn määrä muuttuu tai paneelin lämpötilassa tapahtuu muutoksia.

Valmistajat määrittelevät paneelien nimellistehot standardiolosuhteissa. Olosuhteissa on määritelty paneelin lämpötilaksi +25 °C, auringon säteilyn voimakkuudeksi 1000 W/m² ja 35 asteen kulmassa. Aurinkopaneelin nimellisteho kerrotaan yksikkönä Wp (Watt-peak).

Paneeli suuntaus vaikuttaa tehontuottoon. Auringon korkeus muuttuu koko päivän ajan. Lisäksi eri vuodenaikoina muutokset auringon korkeudessa vaihtelevat. Aamulla voidaan lähteä 0 asteesta ja kesäkuussa päivällä olla maksimikorkeudessa noin 50 asteessa horisontin yläpuolella. Keskiarvo on noin 30 astetta. Optimikulma Suomessa kiinteästi asetetulle paneelille on suoran säteilyn kannalta 30 – 45 astetta (KUVA 6).



KUVA 6. Kallistuksen vaikutus tuottoon (Caverion 2016)



KUVA 7. Paneelin suuntaus aurinkoa kohti (Suntekno Oy)

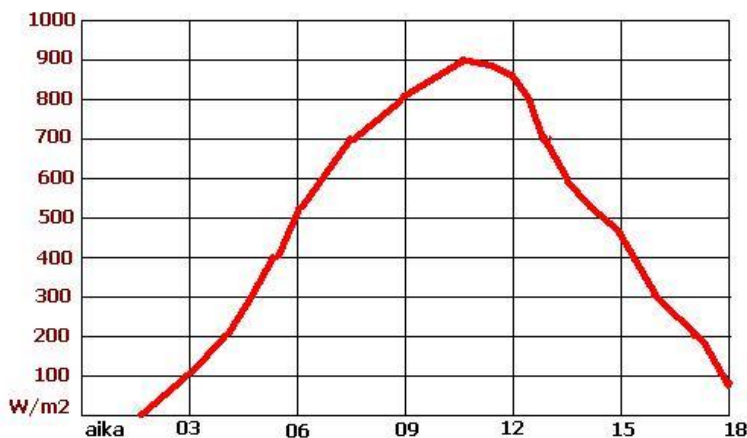
Saatavana on myös kääntyvillä telineillä olevia paneeleja. Paneelit seuraavat automaattisesti auringon kulkua ja ovat koko päivän optimaalisessa suunnassa aurinkoon nähden. Silloin kun aurinko paistaa koko päivän kirkkaalta taivaalta, saadaan noin 30 % parempi tuotto kuin kiinteillä telineillä olevista paneeleista. Mutta pilvisellä säällä tulee vain hajasäteilyä ja kääntämisestä ei ole silloin hyötyä.

Ilmansuunnan vaikutus tuottoon:

- Etelä 100 %
- Kaakko ja lounas 95 %
- Itä ja länsi 75 %
- Koillinen ja luode 50 %
- Pohjoinen 40 %

Ilmansuunnilla on suuri merkitys paneelin suuntauksessa. Paneelit olisi hyvä saada idän – etelän – lännen väliin. Etelän suunnasta aurinko paistaa eniten ympäri vuoden ja samalla aurinko on korkeimmillaan, eikä varjostuksia ole niin herkästi. Auringon suurin säteily määrä on vähän ennen puoltapäivää (TAULUKKO 3).

TAULUKKO 3. Aurinkoinen kesäkuun päivän säteily määrä Etelä – Suomessa (Suntekno Oy)



3.4 Invertteri

Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa (VAC), jota voivat kaikki esimerkiksi 12 V tasajännitelaitteet käyttää. Mutta omakotitalot, liikekiinteistöt, teollisuus ja näiden laitteistot käyttävät pääsääntöisesti vaihtovirtaa. Vaihtojännitettä on yksi- ja kolmevaiheista. Vaihtosuuntaajalla eli invertterillä tarkoitetaan elektronista laitetta, jolla muutetaan tasajännite halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi. Inverttereitä on monen kokoisia erilaisiin tarpeisiin. Pienimmät ns. mikroinvertterit ovat esimerkiksi yhden paneelin käyttöön sopivia. Kun järjestelmään kytketään monia mikroinverttereitä, saadaan tuotettua tehokkaammin sähköä sellaisissa tilanteissa, kun kaikki paneelit eivät ole yhtä aikaa auringonpaisteessa. Jos sarjaan kytketyistä paneeleista osa on varjossa ja käytetään yhtä keskitettyä invertteriä, tehontuotto

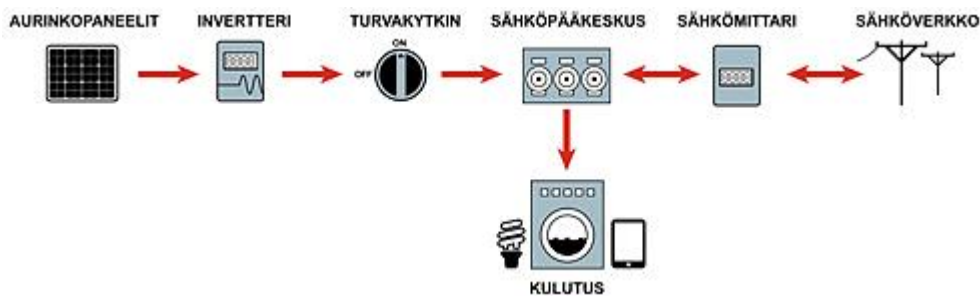
laskee huomattavasti. Usean mikroinvertterin järjestelmän alkuinvestoinnin hinta kasvaa. Tällöin komponenttien määrä kasvaa ja huoltovarmuus heikkenee. Aurinkovoimala, jossa on paljon paneeleja ja halutaan 3-vaiheista vaihtovirtaa, tarvitsee tehokkaamman invertterin.

1-vaiheinen invertteri on hankalampi mitoittaa toimivaksi, koska se voidaan kytkeä nimensä mukaan yhteen vaiheeseen. Kaikki laitteet jotka ovat kytketty tähän vaiheeseen, voivat käyttää invertterin siihen syöttämää virtaa. Käytännössä tämä soveltuu parhaiten pieniin järjestelmiin, joissa on maksimissaan 3 kWp tehontuotto. Kun 3-vaihejärjestelmää syötetään invertterillä yhteen vaiheeseen, on vaarana, että kuormitus vinoutuu (Motiva 2016.)

3-vaiheisella invertterillä syötetään verkon kaikkia kolmea vaihetta. Aurinkosähköjärjestelmistä 3-vaihe invertterin avulla saadaan yleensä parempi hyöty, koska sen avulla tuotettua sähköä voidaan syöttää verkon kaikkiin laitteisiin. Hyöty riippuu myös siitä, minkälaisia laitteita verkkoon on kytketty ja miten ne on ryhmitelty. Pienimmät 3-vaiheiset invertterit ovat teholtaan 3 kWp (Motiva 2016.)

4 VERKKOON LIITETTÄVÄ AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Verkkoon liitetyn aurinkovoimala tarvitsee kaksi pääkomponenttia, aurinkopaneelit ja invertterin. Paneelien tuottama tasavirta muutetaan vaihtovirraksi invertterillä, joka voidaan sen jälkeen käyttää esimerkiksi omassa kiinteistössä tai syöttää se jakeluverkkoon. Invertterillä muutettu vaihtovirta täyttää sähkön laadun vaatimukset jakeluverkkoihin (Motiva 2016.)



KUVA 7. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän periaatekuva (Motiva 2016)

Invertteri syöttää paneelien tuottaman virran sähköpääkeskukselle. Sähköpääkeskus jakaa sähkön eri kulutusasteille. Jos tämän jälkeen jää ylimääräistä virtaa, syötetään se mittarin kautta sähkön jakeluverkkoon. Sähkön syöttö jakeluverkkoon on vähemmän kannattavaa, kuin omaan käyttöön tuottaminen. Verkkoon syötettävän sähkön määrä voi minimoida, kun suunnittelee kaikille kolmelle vaiheelle kuormaa yhtä paljon. Helpoin tapa saada tasainen kulutus on käyttää lämminvesivaraajaa, sähkökiuasta tai muita kaikkiin kolmeen vaiheeseen kytkettyjä laitteita.

Suojalaitteet ja tasavirtapiirin kytkin ovat pakollisia aurinkosähköjärjestelmässä. Monesti nämä ovat invertteriin sisäisesti asennuttuna, mutta jos ei ole, ne pitää asentaa erikseen. Kaapelien paksuuden oikeanlainen mitoitus on tärkeää, ettei tule turhia häviötä.

Turvakytkin kuvassa 7, pitää asentaa invertterin ja keskuksen väliin. Kiinteistön aurinkosähköjärjestelmä pitää pystyä erottamaan sähköverkosta vaihtovirtapiirin lukittavalla turvakytkimellä. Verkkoyhtiöllä tulee olla vapaa pääsy turvakytkimelle, jotta jakeluverkkoa voidaan turvallisesti korjata ja huoltaa. Sähkömittari kuuluu sähköyhtiölle. Sähköyhtiö vaihtaa mittarin kaksisuuntaiseksi (Motiva 2016.)

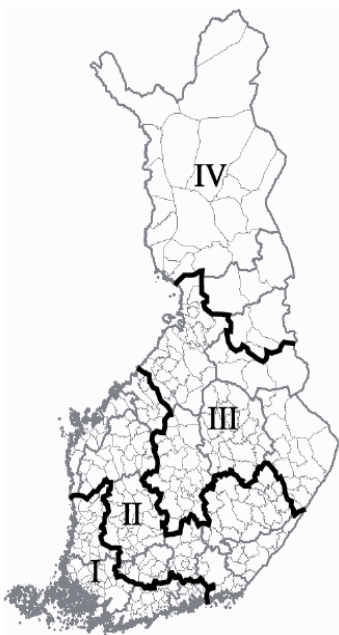
5 LASKENNAN POHJATIEDOT

Kartoituksessa ja laskelmissa käsitellään kolmea erilaista yritystä. Yritykset ovat kaikki eri toimialoilla. Toiminta keskittyy eri vuodenaikoihin ja sähkön kulutukset ovat eri vuodenaikoina hyvin erilaisia. Sähkönkulutus tiedoista tarvitaan ns. pohjakulutus. Pohjakulutus tarkoittaa näissä laskelmissa touko- ja heinäkuun välillä, keskellä päivää olevaa pienintä tuntikulutusta. Yritysten ovat nimetty kirjainyhdistelmillä tässä opinnäytetyössä nimillä ABCD, EFGH ja IJKL.

5.1 Kokkolan sijainnin soveltuvuus aurinkoenergialle

Kokkola sijaitsee Länsi-Suomessa, Keski-Pohjanmaan maakunnassa meren rannalla. Aurinkosähkön tuotantoon paikkakunta soveltuu hyvin. Talvella keskimääräinen lumen syvyys on paksuimmillaan helmikuussa noin 35 cm. Lämpötila nousee toukokuun ja syyskuun välillä keskimääräisesti ylimmillään heinäkuussa noin 25 °C asteeseen (Ilmatieteenlaitos.)

Auringonsäteilyn määrä on hyvä Kokkolan alueella. Suomi jaetaan auringonsäteilyn määrän mukaan neljään vyöhykkeeseen. Kokkola sijaitsee vyöhykkeellä II (KUVA 9). Vyöhykkeet I/II (KUVA 9) Etelä-Suomi ja Länsi-Suomi ovat säteilyn määrältään lähes saman tasoisia.

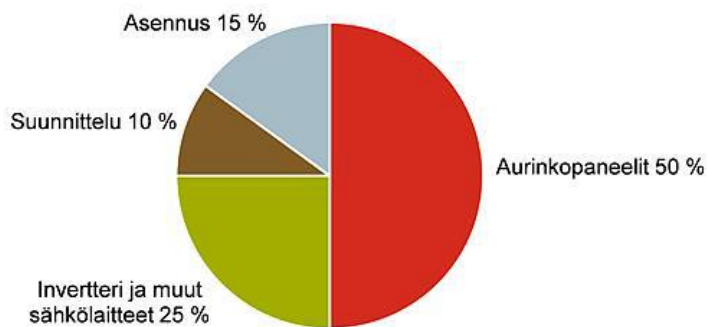


KUVA 9. Säteilymäärän mukaan jaetut vyöhykkeet (Caverion 2016)

5.2 Investointi

Vuonna 2016 työ- ja elinkeinoministeriö myöntää yrityksille ja yhteisöille energiatukea hankkeisiin jotka edistävät uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Oikein mitoitettuun aurinkosähköjärjestelmään on mahdollista saada tukea. Tukea aurinkosähkölle myönnetään 25 % investointikustannuksista. Tukea voi hakea myös uudiskohteille. Tuki haetaan oman alueen ELY-keskuksesta (Työ- ja elinkeinoministeriö.)

Kokonaishinta jakaantuu ”avaimet käteen” toimitusperiaatteessa neljään osaan. Suurin kustannus tulee aurinkopaneelien hinnasta. Loput koostuvat invertteristä, pienemmistä sähkölaitteista ja kaapeleista, suunnittelusta ja asennuksesta.



KUVA 10. Alku investoinnin jakautuminen

Invertteri on ainut uusittava komponentti aurinkosähköjärjestelmän aikana. Järjestelmän laskennallinen ikä on noin 40 vuotta, jolloin invertterin vaihto tapahtuu järjestelmän iän ollessa noin 20 vuotta. Uusi-
misen kustannukset ovat noin 10 % järjestelmän hinnasta eli noin vuoden tuotto.

6 YRITYS ABCD

Rakennuksen kattopinta-alaa on niin paljon, että se ei aseta rajoja laskelmien tekoon. Katto on huopapinnoitettu ja tasakatto eli kattokaltevuus 0 astetta. Muutaman puun kaadolla saadaan kaikki varjostukset pois, matalalta paistavan aamupäivän auringon tieltä. Sähkön kulutus koko vuodelle on noin 300 MWh. Sähkön pohjakulutus oli heinäkuussa pienimmillään 19 kWh.

6.1 Järjestelmä

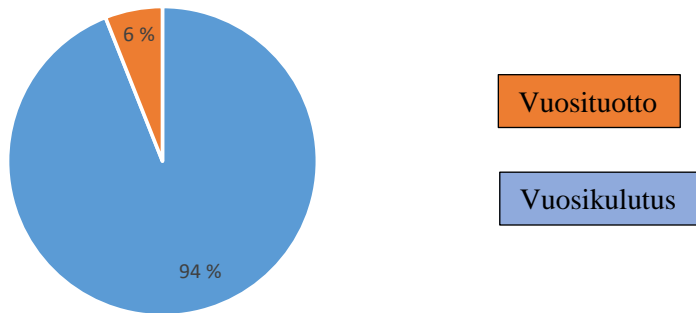
Yritys ABCD:lle mitoitin kelluvan järjestelmän, joka voidaan asentaa tasakatoille. Aurinkopaneelit ovat suunnattu etelään ja kallistettu 35 asteen kulmaan. Paneelisto koostuu 260 W aurinkopaneeleista, joita tuli järjestelmään 73 kappaletta. Järjestelmään kuuluu yksi keskitetty invertteri. Yksittäinen aurinkopaneeli ja sen aiheuttama varjo vaatii kattopinta-alaa 3 m². Katon pinta-alaa paneelit vaativat yhteensä 219 m².

6.2 Tuotto

Järjestelmän tehoksi saadaan 19 kWp. Huomioiden auringonsäteilyn määrän Kokkolassa, koko järjestelmän optimi vuosituotoksi saadaan laskettua 16 672,50 kWh. Tuotto suhteutettuna koko vuoden kulutukseen jää pieneksi (TAULUKKO 4).

Talvi kuukausien lokakuun – helmikuun sähköenergian tuotto on vähäistä. Maaliskuussa ja syyskuussa saadaan noin puolet vähemmän kuin kesä kuukausina (TAULUKKO 5). Kesällä päivisin järjestelmä tuottaa pohjakulutuksen verran sähköä. Aurinkoisina päivinä tuotetaan melkein oma tarve sähköenergiaa. Yritys ABCD:ssä kesällä on pieni kulutus verrattuna vuoden kokonaiskulutukseen, kun vastavasti aurinkosähköjärjestelmästä saadaan kesällä paras tuotto. Tämän takia yritys ei voi hyödyntää enempää aurinkoenergiaa sähköntuotannossa (TAULUKKO 5).

TAULUKKO 4. Vuosituoton suhde kokonaiskulutukseen



TAULUKKO 5. Tuottojakauma optimi vuosituotolle

Kuukausi	Vaakatason säteilysumma kWh/m ² , kk	Tuotto kWh/kk
Tammikuu	6	102,60
Helmikuu	22	376,20
Maaliskuu	64	1094,40
Huhtikuu	120	2052,00
Toukokuu	166	2838,60
Kesäkuu	169	2889,90
Heinäkuu	181	3095,10
Elokuu	127	2171,70
Syyskuu	82	1402,20
Lokakuu	26	444,60
Marraskuu	8	136,80
Joulukuu	4	68,40
Vuosi	975	16672,50

6.3 Yrityksen investointi ja investoinnin tuotto

Avaimet käteen periaatteella laskettuna tämän järjestelmän kokonaishinnaksi tuli 29 450 €. Uusiutuvalle energialle tarkoitettu investointituki laskee hintaa 25 %, jonka jälkeen hinnaksi jää 22 087,5 €. Yritys ABCD maksaa ostetusta sähköstä 0,0874 €/kWh.

Näillä tiedoilla järjestelmä maksaa itsensä takaisin noin 12 vuodessa. Rahoituskulut huomioiden ensimmäisen vuoden tuotto on noin 1600 €. Sijoitetun pääoman tuottoa (ROI) vertaillaan erialojen sijoituksissa. Ensimmäisen vuoden tuotto (ROI) on 7,22 %. Järjestelmän laskennallinen ikä on 40 vuotta ja kun se tulee täyteen, on järjestelmä tuottanut omistajalleen rahallista voittoa 78 208 €.

Aurinkosähköjärjestelmien hankintahintojen vertailussa käytetään monesti arvoa, sijoitettu euro suhteessa tuotettuun energiaan (W). Tämän järjestelmä osalta kokonaishinnalla laskettuna energian hinnaksi tulee 1,76 €/W ja 25 % energiatuen jälkeen hinnaksi tulee 1,32 €/W.

Kun on kysymyksessä uusiutuvan energian käytöstä, pitää tuotto laskelmissa ehdottomasti ottaa huomioon hiilidioksidipäästöt. Järjestelmän komponenttien valmistuksesta tulee ainoat hiilidioksidipäästöt. Käytössä oleva järjestelmä ei tuota päästöjä. Tämän kokoinen aurinkosähköjärjestelmän vähentää 10 003 kg hiilidioksidipäästöjä vuodessa.

7 YRITYS EFGH

Yritys EFGH:n kattopinta-alaa on 1570 m², joka mahdollistaa suurenkin järjestelmän. Katon pintamateriaalina on peltikate. Katon kaltevuus on noin 15 astetta. Rakennuksen kattoon ei kohdistu yhtään varjostumia. Sähkön kulutus koko vuodelle on noin 264 MWh. Sähkön pohjakulutus oli heinäkuussa pienimmillään 50 kWh.

7.1 Järjestelmä

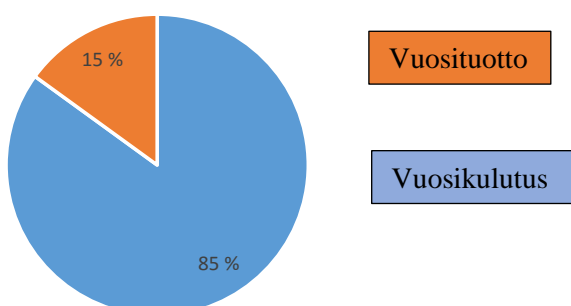
Kattorakenteen ja kaltevuuden takia yritys EFGH:lle suunnittelin kiinteästi asennettavan järjestelmän. Järjestelmän paneelit ovat 15 asteen kulmassa ja suunnattuna kohti lounasta. Paneelisto on rakennettu 260 W aurinkopaneeleista. Järjestelmään tuli yhteensä 192 kappaletta paneeleita ja yksi keskitetty invertteri. Tämän kokoinen aurinkopaneelisto tarvitsee katto pinta-alaa 315 m².

7.2 Tuotto

Järjestelmän tehoksi saadaan 50 kWp. Huomioiden auringonsäteilyn määrän Kokkolassa, koko järjestelmän optimi vuosituotoksi saadaan laskettua 40 496,63 kWh. Yksittäisistä kuukausista heinäkuun tuotto oli suurin 7517,84 kWh (TAULUKKO 6).

Talvi kuukausien (lokakuu – helmikuu) sähköenergian tuotto on vähäistä. Maalis- ja syyskuussa saadaan noin puolet vähemmän, kuin kesä kuukausina (TAULUKKO 6). Kesällä päivisin järjestelmä tuottaa pohjakulutuksen verran sähköä. Aurinkoisina päivinä ei tarvitse ostaa paljon sähköenergiaa sähköyhtiön jakeluverkosta. Yritys EFGH:ssä on läpi vuoden lähes saman suuruinen pohjakulutus.

TAULUKKO 6. Vuosituoton suhde kokonaiskulutukseen



TAULUKKO 7. Tuottojakauma optimi vuosituotolle

Kuukausi	Vaakatason säteilysumma kWh/m ² , kk	Tuotto kWh/kk
Tammikuu	6	249,21
Helmikuu	22	913,77
Maaliskuu	64	2658,24
Huhtikuu	120	4984,20
Toukokuu	166	6894,81
Kesäkuu	169	7019,42
Heinäkuu	181	7517,84
Elokuu	127	5274,95
Syyskuu	82	3405,87
Lokakuu	26	1079,91
Marraskuu	8	332,28
Joulukuu	4	166,14
Vuosi	975	40496,63

7.3 Yrityksen investointi ja investoinnin tuotto

Tämän järjestelmän kokonaishinnaksi tuli 65 000 €. Hinta sisältää koko paketin ja asennuksen, avaimet käteen periaatteella laskettuna. Uusiutuvalle energialle tarkoitettu investointituki laskee hintaa 25 %, jonka jälkeen hinnaksi jää 48 750 €. Yritys EFGH ostaa sähkön hintaan 0,0884 €/kWh.

Järjestelmä maksaa itsensä takaisin noin 10 vuodessa. Ensimmäisen vuoden tuotto (ROI) on 8,72 %. Järjestelmän laskennallinen ikä on 40 vuotta ja kun se tulee täyteen, on järjestelmä tuottanut omistajalleen rahallista voittoa 218 660 €.

Aurinkosähköjärjestelmien hankintahintojen vertailussa käytetään monesti arvoa, sijoitettu euro suhteessa tuotettuun energiaan (W). Tämän järjestelmän osalta kokonaishinnalla laskettuna energian hinnaksi tulee 1,3 €/W ja 25 % energiatuen jälkeen hinnaksi tulee 0,97 €/W. Tämän kokoinen aurinkosähköjärjestelmä vähentää 24 400 kg hiilidioksidipäästöjä vuodessa.

8 YRITYS IJKL

Rakennus on pinta-alaltaan suuri. Katto on suora tasakatto ja katon pinta materiaali on huopakate. Rakennus on aukealla paikalla, johon aurinko paistaa joka suunnalta vapaasti. Yritys IJKL:n vuosittainen sähkönkulutus on suuri 2 691 MWh. Sähköä tarvitaan kesällä paljon erilaisiin jäähdyttämisiin. Pohjakulutus pienimillään on 380 kWh tunnin aikana.

8.1 Järjestelmä

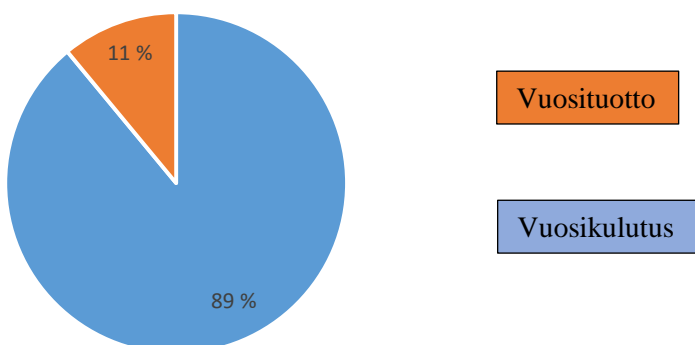
Suunnittelin kelluvan asennustavan yrityksen aurinkosähköjärjestelmälle. Järjestelmä on toteutettu 260 W aurinkopaneeleilla. Paneelistöön tuli 1462 paneelia ja nämä ovat suunnattu lounaaseen. Tässäkin järjestelmässä on yksi keskitetty invertteri. Koko paneelistö vaatii tilaa katolta 4385 m².

8.2 Tuotto

Järjestelmän tehoksi saadaan 380 kWp. Huomioiden auringonsäteilyn määrän Kokkolassa, koko järjestelmän optimi vuosituotoksi saadaan laskettua 307 774,85 kWh. Kun vertaa joulukuun 1262,66 kWh ja heinäkuun 57 135,55 kWh tuottoa keskenään, niin ero on suuri (TAULUKKO 9).

Talvella auringonsäteilyn ollessa vähäistä, tuottokin on vähäistä, mutta joulukuussa tuotto on silti omakotitalon kulutuksen verran. Pohjakulutus Yritys IJKL:ssä on kesällä ja varsinkin päivällä suurempaa kuin muulloin. Järjestelmä tuottaa energiaa juuri silloin, kun sitä yrityksessä eniten tarvitaan.

TAULUKKO 8. Vuosituoton suhde kokonaiskulutukseen



TAULUKKO 9. Tuottojakauma optimi vuosituotolle

Kuukausi	Vaakatason säteilysumma kWh/m ² , kk	Tuotto kWh/kk
Tammikuu	6	1894,00
Helmikuu	22	6944,65
Maaliskuu	64	20202,62
Huhtikuu	120	37879,92
Toukokuu	166	52400,56
Kesäkuu	169	53347,55
Heinäkuu	181	57135,55
Elokuu	127	40089,58
Syyskuu	82	25884,61
Lokakuu	26	8207,32
Marraskuu	8	2525,33
Joulukuu	4	1262,66
Vuosi	975	307774,35

8.3 Yrityksen investointi ja investoinnin tuotto

Avaimet käteen periaatteella laskettuna tämän järjestelmän kokonaishinnaksi tuli 513 000 €. Uusiutuvalle energialle tarkoitettu investointituki laskee hintaa 25 %, jonka jälkeen hinnaksi jää 384 750 €.

Yritys IJKL maksaa ostetusta sähköstä 0,088 €/kWh.

Näillä tiedoilla järjestelmä maksaa itsensä takaisin noin 10 vuodessa. Ensimmäisen vuoden tuotto (ROI) on 8,35 %. Takaisinmaksuajan jälkeen järjestelmäntuotto on 1 634 937 €, järjestelmän elinkaaren ollessa 40 vuotta.

Aurinkosähköjärjestelmien hankinta hintojen vertailussa käytetään monesti arvoa, sijoitettu euro suhteessa tuotettuun energiaan (W). Tämän järjestelmän osalta kokonaishinnalla laskettuna energian hinnaksi tulee 1,67 €/W ja 25 % energiatuen jälkeen hinnaksi tulee 1,25 €/W.

Kun on kyse uusiutuvan energian käytöstä, pitää tuottolaskelmissa ehdottomasti ottaa huomioon hiilidioksidipäästöt. Järjestelmän komponenttien valmistuksesta tulee ainoat hiilidioksidipäästöt. Käytössä oleva järjestelmä ei tuota päästöjä. Tämän kokoinen aurinkosähköjärjestelmän vähentää 184 664 kg hiilidioksidipäästöjä vuodessa.

9 POHDINTA

Opinnäytetyöni aihe oli mielenkiintoinen ja hyvin ajankohtainen. Aurinkoenergian kartoitusta voi tehdä niin laajasti, kuin aikataulu antaa myöten. Aiheesta minulla oli jo ennestäänkin tietoa, joka osoittautui hyvin vähäiseksi taustatiedoksi. Materiaalia on onneksi hyvin saatavilla monista eri näkökulmista. Haasteeksi jäi poimia omaan tarpeeseen tuleva ydintieto.

Kokkola alueena osoittautui hyväksi alueeksi aurinkoenergian käytölle. Säteilymäärät ja sääolosuhteet ovat sopivia aurinkosähköjärjestelmille. Olin yhteydessä moniin erilaisiin kohdeyrityksiin aurinkosähkön tiimoilta. Pääsääntöisesti asia koettiin mielenkiintoiseksi ja ajankohtaiseksi. Toki oli myös epäilyä, että tuottaako järjestelmät koskaan hintaansa takaisin.

Omaan käyttöön tuotettu sähkö on siirto ja verovapaata aina 800 MWh asti. Kun tuotettu sähkö käytetään itse, säästetään huomattavia summia. Aurinkoenergialla tuotettu sähkö turvaa sähkön hinnan pitkälle tulevaisuuteen. Järjestelmät ovat pitkäikäisiä ja toimintavarmoja. Tämä mahdollistaa helpon budjetoinnin tuotetun sähkön osalta. Kohdeyritykset olivat erikokoisia ja eri aloilla toimivia, mutta silti kaikissa aurinkoenergian käyttö olisi pitkällä sijoituksella hyvin tuottoisaa. Ensimmäisen vuoden sijoitetun pääoman tuottoprosentin keskiarvo oli 8 %, kun vastaava kiinteistösjoiittamisessa on alle 5 %. Kaikissa yrityksissä lopullinen tuotto olisi järjestelmän iän ollessa 40 vuotta, nelinkertainen sijoitettuun summaan nähden. Sijoitus aurinkosähköön on erittäin matalan riskin sijoitus. Järjestelmän alkuinvestoinnista puolet tulee paneelien hinnasta. Paneelien hintakehitys on ollut hurja viimeisen vuosikymmenen aikana. Hinnat ovat laskeneet yli 50 %. Kehitys jatkaa samaan suuntaan koko ajan ja tämän ansiosta aurinkosähkön alkuinvestoinnit laskevat. Samalla järjestelmän rahallinen tuotto kasvaa.

Aurinkosähköenergian käytöllä säästetään suuria määriä hiilidioksidipäästöjä. Ilmasto ongelmat vähenevät, jos aurinkoenergian otettaisiin laajalti käyttöön erilaisissa kohteissa, muiden energioiden rinnalle. Lisäksi aurinkoenergiakäyttö lisää positiivista mielikuvaa yrityksestä. Uusiutuvien energioiden käyttö auttaa yritystä brändin rakentamisessa. Nämä voi olla hyvinkin suuria ja tuottoisia asioita yritykselle. Siihen varmasti vaikuttaa minkälaisella toimialalla yritys toimii. Vienti yrityksillä merkitys on suurempi. Ja voiko kaikkea mitata rahassa? Mielestäni ei voi.

Tulevaisuudessa minulla on tarkoitus käyttää saamiani tietoja hyväksi. Mutta kuinka suuressa mittapuussa, se riippuu tulevaisuuden työtehtävistä.

LÄHTEET

Sininen planeetta GE1. Aurinko 1.2 Internetix. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/ge/ge1/1_maapallo_avaavuudessa/02?C:D=iPT3.iLSo&m:sel-res=iPT3.iLSo Luettu 16.11.2016

TTY. SMG-4300 Aurinkosähkö ja Tuulivoima. Aurinkosähkön 1. Luento. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4300/luennot/luento1.pdf> Luettu 15.11.2016

WWW-dokumentti. Saatavissa: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eu_cmsaf_hor/G_hor_FI.png Luettu 15.11.2016

Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky> Luettu 15.11.2016

Aurinkosähkö. Caverion. 2016.

WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf> Luettu 16.11.2016

Finnwind Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://docplayer.fi/2580587-Aurinkoenergiaopas-tassa-oppaassa-kaydaan-lapi-ne-keskeiset-osa-alueet-jotka-sinun-on-hyva-tietaa-kun-harkitset-aurinkosahkojarjestelman-ostamista.html> Luettu 18.11.2016

Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma Luettu 18.11.2016

Suntekno Oy. Paneelin asennuspaikka. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.suntekno.fi/paneelin%20asennuspaikka> Luettu 18.11.2016

Ilmatieteentilaston tilastot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961> Luettu 23.11.2016

Työ- ja elinkeinoministeriö. Energiatuki. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://tem.fi/tuen-enimmaismaarat> Luettu 23.11.2016