

Eetu Aimola

## Aurinkosähköjärjestelmän esisuunnittelu asuinrakennukselle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Opinnäytetyö

18.05.2017

Tekijä Otsikko	Eetu Aimola Aurinkosähköjärjestelmän esisuunnittelu asuinrakennukselle
Sivumäärä Aika	43 sivua + 3 liitettä 18.05.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaaja	Lehtori Jarmo Perttula
<p>Opinnäytetyö tehtiin kirjallisuustyönä Metropolia Ammattikorkeakoululle. Työn tavoitteena oli tehdä tarkasteltavaan Nurmijärvellä sijaitsevaan asuntoon esisuunnittelu aurinkosähköjärjestelmää varten. Suunnittelu sisältää eri aurinkopaneelijärjestelmien arvioita ja soveltuvuutta asuinrakennukseen.</p> <p>Työssä perehdyttiin uusiutuviin energianlähteisiin, aurinkovoimaan, eri kenno- ja keräintekniikoihin sekä järjestelmän käyttöönottoon. Lisäksi käytiin läpi erilaisia Vattenfallin ja Fortumin tarjoamia valmiita aurinkopaketteja, joista sovellettiin yhdeksi vaihtoehdoksi omanlainen ratkaisu. Opinnäytetyössä tutkailtiin myös asuinrakennuksen vuosittaista sähkönkulutusta ja pohdittiin energiantarvetta.</p> <p>Investointeja laskiessa huomattiin, että tuotetun energian määrä vaihteli vuosittain riippuen siitä, mitä lähdettä käytettiin. Myös takaisinmaksuaika vaihteli vuosia eri järjestelmäkoko-panoissa.</p> <p>Parhaaksi vaihtoehdoksi todettiin kolmas vaihtoehto, jossa sovellettiin yritysten tarjoamia paketteja valitsemalla tarvittavat ominaisuudet itse. Opinnäytetyön tulosten on tarkoitettu edesauttaa asuinrakennuksen omistajaa sähköjärjestelmän valinnassa ja suunnittelussa.</p>	
Avainsanat	Aurinkovoima, Aurinkosähköjärjestelmä, Aurinkopaneelit

Author(s) Title	Eetu Aimola Pre-design of a Photovoltaic System for a Residential Building
Number of Pages Date	43 pages + 3 appendices 18.05.2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Machinery and Production Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Technology
Instructor(s)	Jarmo Perttula, Senior Lecturer
<p>The objective of the Bachelor's thesis was to pre-design a photovoltaic system for a residential building in Nurmijärvi. This design contains estimates of different solar panel systems and their suitability for residential buildings.</p> <p>The project focused on renewable energy sources, solar power, various cell and collecting techniques and the introduction of the system. In addition, various prefabricated solar solutions and solar kits offered by companies such as Vattenfall and Fortum were examined. One solution was suggested by the author of this thesis. The thesis also investigated the annual electricity consumption of the particular building and the needs for energy were discussed as well.</p> <p>As the investment calculations were made, it was discovered that the amount of energy produced varied annually depending on which source was used. The length of the payback period also varied several years in different system configurations.</p> <p>In conclusion, the third option was considered to be the best. In this solution, the prefabricated solar kits or solutions offered by companies were applied so that the required options were chosen by the author. The results of the thesis are intended to assist the owner of a residential building in the selection and design of the photovoltaic system.</p>	
Keywords	Solar panel systems, photovoltaics, renewable energy

# Sisällys

1	Sanastoa	
2	Johdanto	1
3	Uusiutuva ja uusiutumaton energia	2
4	Aurinkoenergia	4
5	Aurinkokennot	6
5.1	Aurinkokennojen toimintaperiaate	7
5.2	Yksikiteiset aurinkokennot	8
5.3	Monikiteiset aurinkokennot	9
5.4	Ohutkalvokennot	9
6	Aurinkokeräimet	11
6.1	Tasokeräin	12
6.2	Tyhjiöputkikeräin	13
7	Syöttötariffit ja tuet	14
8	Aurinkosähköjärjestelmä	15
8.1	Invertterin asentaminen	16
8.2	Aurinkopaneelien sijoittaminen	17
9	Esimerkkikohde	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.1	Rakennuksen sijainti	19
9.2	Sähkön hinta	23
9.3	Sähkönkulutus	24
9.4	Vaihtoehdot aurinkosähköjärjestelmäksi	27
9.5	Järjestelmän kannattavuus	30
10	Kustannukset ja takaisinmaksuajat	32
10.1	Aurinkosähköjärjestelmä A	32
10.2	Aurinkosähköjärjestelmä B	34
10.3	Aurinkosähköjärjestelmä C	35
11	Päätelmät	38

Liitteet

Liite1. Nykyarvolaskut 8,8 kWp järjestelmään 2 %:n sähkön hinnannousulla

Liite2. Nykyarvolaskut 8,8 kWp järjestelmään 5 %:n sähkön hinnannousulla

Liite3. Nykyarvolaskut 5,0 kWp järjestelmään 2 %:n sähkön hinnannousulla

## 1 Sanastoa

Diskonttaus	Tulevien maksujen arvon siirto nykyaikaan vertailun vuoksi
Hyötysuhde	Hyödyksi saadun energiamäärän suhde käytettyyn energiaan
Inflaatio	Ostovoiman heikkeneminen ja hintojen nousu
kWh	Kilowattitunti
kWp	Kilowattipiikki, paneelin enimmillään tuottama teho
Nimelliskorko	Lainan korko joka sisältää viitekoron ja marginaalin
NPV	Net Present Value, nykyarvosumma
Photovoltaics	Aurinkokennotekniikka
Reaalikorko	Nimellinen korko miinus odotettu inflaatiovauhti

## 2 Johdanto

Polttoaineiden hintojen noustessa eri energiayhtiöt ovat kiinnostuneet aurinkovoiman tuottamisesta ja sen kannattavuudesta. Energian kulutuksen jatkuva kasvu sekä fossiilisten polttoaineiden huolestuttava väheneminen pakottavat meidät uusiin energiaratkaisuihin. Uusiutuvilla energialähteillä tuotetaan Suomessakin neljännes energiasta ja samalla aurinkovoimaan tehdyistä investoinnista on tullut kannattavia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia eri vaihtoehtoisia järjestelmiä, joilla aurinkoenergiaa voitaisiin hyödyntää tarkasteltavassa kohteessa, joksi valittiin Nurmijärvellä sijaitseva asuinrakennus. Tarkoituksena on tutkia eri järjestelmien sopivuutta kohteeseen sekä tehdä arvioita kustannuksista ja takaisinmaksuajoista. Idea tutkimukselle lähti mahdollisuudesta lisätä energiantuotannon omavaraisuutta sähkön hinnan jatkuvan nousun aikana. Työn tarkoituksena oli myös innoittaa muita harkitsemaan uusiutuvien energialähteiden käyttöä vallitsevien ilmastonmuutoskysymysten vuoksi.

### 3 Uusiutuva ja uusiutumaton energia

Uusiutuviksi energianlähteiksi luokitellaan luonnonvarat, jotka uusiutuvat itsestään luonnollisten prosessien kautta vähintään niin nopeasti kuin ihmiskunta niitä käyttää. Kaikki uusiutumattomat energianlähteet ovat lopulta auringon aikaansaamia. Energianlähteet saavat energiansa auringon säteilystä poislukien geotermisen energian ja vuorovesivoiman. Auringon energiaa voidaan käyttää suoraan lämmityksessä aurinkokeräimillä tai epäsuorasti vesivoimaloissa, tuulivoimaloissa tai biopolttovoimaloissa. Viisaasti käytettäessä uusiutuvat energianlähteet voivat kestää ikuisesti. Maailmanlaajuisen energiankäytön osalta ja vallitsevien ympäristökysymysten aikana aurinkoenergialla tunnustetaan olevan tärkeä rooli kestävässä kehityksessä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään jo aiemmin mainitusti uusiutuvan aurinkoenergian hyötyihin sähköntuotossa tavallisen kuluttajan näkökulmasta.

Uusiutumattomat energianlähteet, kuten fossiiliset polttoaineet, ovat syntyneet satojen ja tuhansien miljoonien vuosien aikana eloperäisen aineen puristuessa kokoon korkean paineen ja lämmön vuoksi (öljy, kivihiili, maakaasu, turve). Tällä hetkellä 40 % kaikesta maailmassa käytetystä energiasta ja 95 % liikenteessä hyödynnettävästä energiasta tulee öljystä. Tulee tietty aika, jolloin näiden energianlähteiden varannot käytetään loppuun. Öljyn ja maakaasun on katsottu loppuvan liikakäytön myötä tällä vuosisadalla.<sup>(1)</sup>

Vaihtoehtoisia energianlähteitä etsitään jatkuvasti. Laivoissa on mahdollista käyttää nesteytettyä maakaasua polttoaineena öljyn sijaan. Metanolia on myös mahdollista käyttää moottoreissa muutoksien jälkeen. Metanoli valmistetaan yleensä maakaasusta ja joskus hiilestä, ja sitä on mahdollista tehdä kaikista hiiliyhdisteistä, jopa hiilidioksidista. Toisen maailmansodan aikana kehitetyllä Fischer-Tropsch-menetelmällä on mahdollista muuttaa hiilimonoksidia ja vetyä erilaisiksi nestemäisiksi hiilivedyiksi. Menetelmä kehitettiin tuottamaan synteettistä öljyn korviketta öljypulan vuoksi. Tekniikkaa voitaisiin käyttää väliratkaisuna öljyvarojen käydessä vähiin.



Fossiilisilla polttoaineilla on myös vaikutusta ilmastonmuutoksessa. Ihmisen roolia ilmaston lämpenemisessä on käsitelty jo kauan. Maailman energiankulutus on kasvanut kolmella prosentilla joka vuosi viimeisen kahden vuosikymmenen aikana. Tämän seurauksena fossiilisten polttoaineiden käyttö on lisääntynyt ja ilmakehään vapautuu koko ajan enemmän hiilidioksidia, joka lisää kasvihuoneilmiötä. Kasvihuonekaasut edesauttavat auringon lyhytaaltoisen säteilyn pääsemistä ilmakehään ja estävät samalla maanpinnan ja ilmakehän pidempiaaltoisen säteilyn poistumisen. Ilmasto on jatkuvasti lämmennyt muutamia asteita vuosikymmenten aikana. Omalla toiminnallamme voimme kuitenkin vaikuttaa ilmastonmuutoksen etenemiseen. Kokonaan sitä ei voi pysäyttää, mutta voimme hillitä ilmaston lämpenemistä siedettävälle tasolle.<sup>(2)</sup>

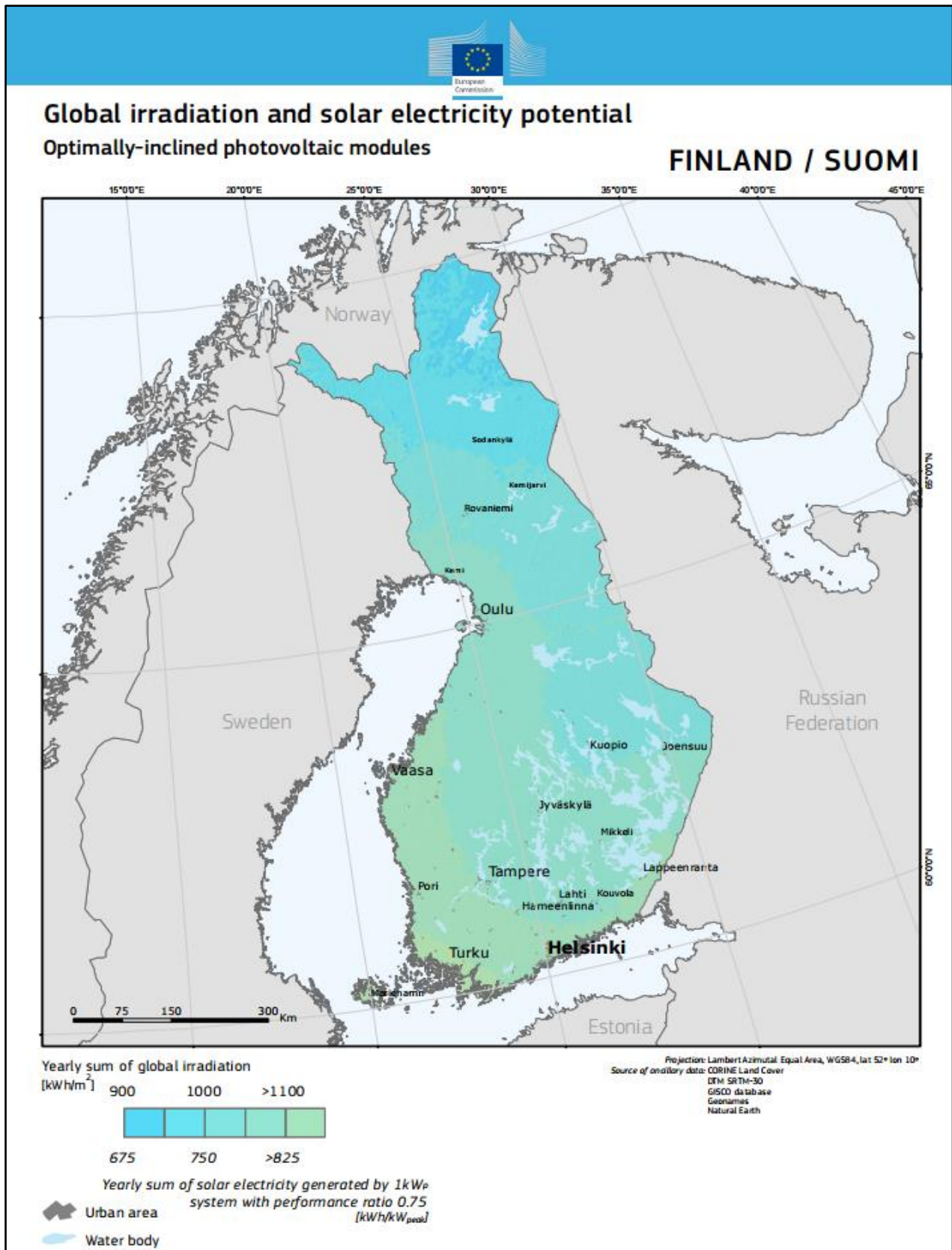
## 4 Aurinkoenergia

Auringosta hyödynnettävä säteilyenergia energiantuotannossa on niin sanottua aurinkoenergiaa. Tällä energiamuodolla on monta etua, sitä ei voida monopolisoida muutamien valtioiden toimesta, käyttö- ja huoltokustannukset ovat vähäisiä eikä se tuota haitallisia savukaasuja tai jätettä. Säteilyenergiaa hyödynnetään tavallisesti aurinkokennojen, aurinkokeräimien tai keskitettävien aurinkovoimaloiden avulla.

Aurinkokennoilla muunnetaan Auringon säteilyä sähköenergiaksi valosähköisen ilmiön avulla. Aurinkokeräimillä säteily muutetaan käyttökelpoiseksi lämmöksi, joka voidaan myös hyödyntää sähköenergiaksi.

Maapallolle saapuu valtava määrä säteilyä, noin 170 000 TW. Suurin osa tästä säteilystä osuu ulkoiselle ilmakehälle, ja energiamäärä joka voidaan hyödyntää on pieni. Maapallon muodon vuoksi napa-alueille saapuva säteily on vähäisempää pinta-alayksikköä kohti kuin päiväntasaajalle. Maan radan soikeuden vuoksi säteilyn määrä vaihtelee eri vuodenaikoina.<sup>(3)</sup>

Kuvassa 1 näkyy aurinkosäteilyn määrä ja aurinkosähkön potentiaali Suomessa.



Kuva 1. Säteilyn määrä ja aurinkosähkön potentiaali Suomessa optimaalisesti kallistetuille pinnoille<sup>(24)</sup>

## 5 Aurinkokennot

Aurinkokennot (kuva 2.) ovat laitteita, jotka perustuvat valosähköiseen ilmiöön muuttamalla Auringon valon sähköenergiaksi. Tehokkuus on riippuvainen auringon säteilyenergiasta, eli siihen vaikuttavat alueen leveysasteet, vallitseva ilmasto ja ilmansaasteet. Suurin hyöty saadaan luonnollisesti maissa, jotka sijaitsevat päiväntasaajan molemmilla puolilla. Kuluttajakäytössä yleisiä käyttökohteita ovat muun muassa vesipumput sekä kesämökkien, veneiden ja autojen ilmastointilaitteet. Nykyisen uusiutuvan energiabuumin aikana aurinkokennoilla on merkittävä rooli energiantuotannossa. Tämä näkyy aurinkokennojen kehitykseen käytettävien resurssien kasvun määrässä.

Materiaalina käytetään yleisimmin maaperästä saatavaa piitä, joka muutetaan teollisesti aurinkopaneeliksi. Puolijohdeena käytettävää piitä on olemassa yksi- ja monikiteistä sekä amorfista. Uusimmat tekniikat perustuvat ohutkalvo- ja nanoteknologiaan.<sup>(4)</sup>

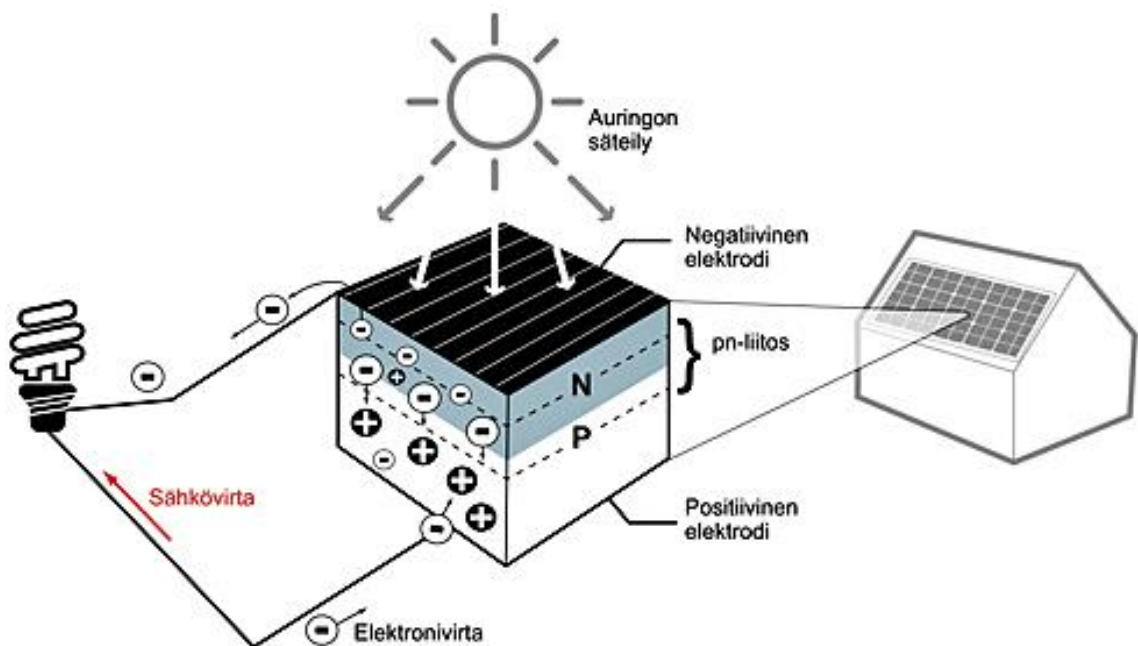


Kuva 2. Aurinkokennot asennettuina omakotitaloon <sup>(25)</sup>

## 5.1 Aurinkokennojen toimintaperiaate

Aurinkokennojen toimintaperiaate perustuu säteilyn kykyyn irroittaa elektroneja, eli valosähköiseen ilmiöön. Auringonsäteilyn fotonien energia irroittaa puolijohdemateriaalin elektroneja, jolloin elektroni-aukkoparit syntyvät. Kennon P- ja N-kerrosten sisäinen sähkökenttä ohjaa elektronit kennon negatiiviselle elektrodille ja aukot positiiviselle. Sähkövirta syntyy, kun kuorma kytketään johtimien avulla elektrodien välille. Tämä aikaansaa virtapiirin, jonka läpi elektronit kulkevat. Yhden aurinkokennon aikaansaama jännite on noin 0,5 V. (Kuva 3.) <sup>(5)</sup>

Puolijohteet ovat niin sanottuja seostettuja materiaaleja. Puolijohdinaineeseen on lisätty hallitusti epäpuhtauksia haluttujen sähköisten ominaisuuksien aikaansaamiseksi.



Kuva 3. Aurinkokennon toimintaperiaate <sup>(5)</sup>



## 5.2 Yksikiteiset aurinkokennot

Yksikiteinen aurinkokenno (Kuva 4.) koostuu piikiteestä, joka on sahattu piihiosta 0,2 - 0,3 mm:n paksuisiksi, pinta-alaltaan (90 - 160) mm x (120 - 160) mm kiekkoiksi. Yksikiteinen aurinkokenno on tunnistettavissa pyöreistä nurkista piitangon pyöreiden vuoksi. Raaka-aineen kalliin hinnan vuoksi kiekkoista ei ole kannattavaa tehdä neliskulmaisia.<sup>(4)</sup> Yksikiteisen piikennon etu on parempi hyötysuhde monikiteiseen nähden, sillä yhdenmukainen kiderakenne vähentää rekombinaatiota.<sup>(5)</sup>

Tavallisesti piiaurinkokennon mitat ovat 156 mm x 156 mm ja vahvuus 200 µm. Kenno tuottaa standardiolosuhteissa noin 0,6 V:n jännitteen ja sähkövirtaa 35 mA/cm<sup>2</sup>.<sup>(6)</sup>

### 5.3 Monikiteiset aurinkokennot

Monikiteisiä piikennoja (Kuva 4.) tehdään yleensä neliskulmaisista aihioista, jolloin raaka-aine saadaan hyödynnettyä paremmin. Monikiteisestä piistä on helposti nähtävissä kennossa olevat kiteet. Polykiteisen piin etuna ovat edullinen hinta ja valmistamisen helppous. Hilavirheiden vuoksi hyötysuhde on kuitenkin huonompi yksikiteiseen verrattuna.<sup>(6)</sup>

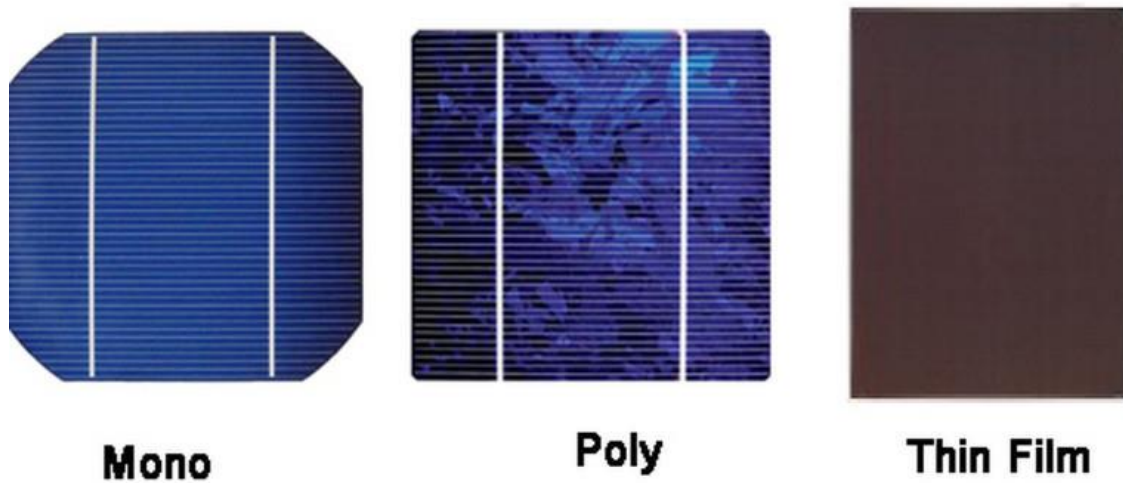
Etuna amorfiseen piihin nähden monikiteisen piin varausten siirtäjien liikkuvuus on monia kertoja parempi ja näin pysyvämpää sähkökentässä. Tämä mahdollistaa monipuolisten ja nopeiden piirien valmistamisen niin lasille kuin amorfisille piille. Polypiistä valmistettua aktiivista kalvoa tarvitaan esimerkiksi nestekidetekniikkaa käyttäviin videoprojektoreihin pienen pikselikoonsa vuoksi.<sup>(7)</sup>

Aurinkokenno voidaan tehdä myös monesta kerroksesta käyttäen eri materiaaleja. Ominaisuuksia parantamalla hyötysuhdetta voidaan nostaa jopa yli 30 %. Materiaalilla onkin hyötysuhteeseen suurin vaikutus. Parhaiden monikerroskennojen hyötysuhde on teoreettisesti 30-40 % ja halvempien monikiteisten 10 - 15 %. Hyötysuhdetta alentavat kuitenkin metallijohteiden liitokset paneelien pinnalla, resistanssi sekä heijastukset paneelien lasista.<sup>(4)</sup> Näiden vuoksi nykypiikennoilla päästään konkreettisesti kaupallisessa käytössä 16-22 % hyötysuhteeseen.<sup>(8)</sup>

### 5.4 Ohutkalvokennot

Ohutkalvokennot (Kuva 4.) ovat toisen sukupolven aurinkokennoteknologiaa. Puolijohteina käytetään galliumarsenidia, kadmiumtelluridia ja amorfista piitä. Ohutkalvopaneelien etuna ovat ulkonäkö ja integrointi esimerkiksi julkisivuihin.<sup>[8]</sup> Hyödyllisenä etuna nähdään myös mahdollisuus tehdä kennoista taipuvia ja valoja läpäiseviä niiden huomattavasti ohuemman koostumuksen vuoksi.

Epästabiilisen kiderakenteen vuoksi amorfisen piin hyötysuhde jää noin 7 % kiteistä piitä huonommaksi. Lisäksi ensimmäisten käyttövuosien jälkeen kenno voi menettää jopa 15 – 50 % maksimitehostaan.<sup>(9)</sup>



Kuva 4. Yksi- ja monikiteinen sekä amorfinen ohutkalvokenno <sup>(25)</sup>

Aurinkokennoja pyritään kehittämään hyötysuhteen parantamiseksi sekä valmistuskustannusten alentamiseksi. Piistä valmistettujen aurinkokennojen saattaminen lopulliseen muotoonsa kuluttaa paljon energiaa, joten mahdollisia vähemmän ympäristöä kuluttavia materiaaleja tutkitaan jatkuvasti.

Erityisesti pohjoisen oloihin sopivia kennoja on myös valmisteilla. Aalto-yliopiston tutkijat ovat valmistaneet tähän tarkoitukseen mustia nanorakenteisia piikennoja. Näiden tutkimusten tuloksena saatiin aikaan uusi 22,1 %:n hyötysuhde-ennätys Fraunhoferin tutkintalaboratoriossa. Atomikerroskasvatuksella tehty ohutkalvo estää varauksenkuljettajien eksymisen kennon nanorakenteisiin. Niin kutsuttu varauksenkuljettajien pintarekombinaatio on ollut ongelma mustien piikennojen kehityksessä. Erityiseksi kennot tekee se, että ne pystyvät vangitsemaan auringon säteilyn matalasta kulmasta. Piikennojen hyöty on erityisesti pohjoisessa, jossa aurinko paistaa suuren osan vuodesta matalalta.<sup>(10)</sup>



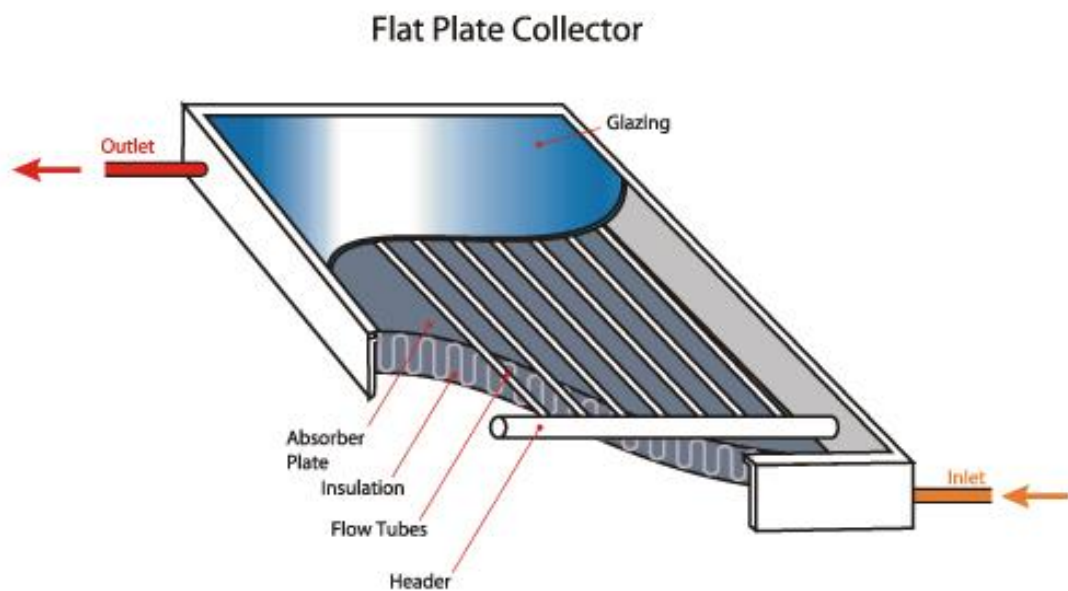
## 6 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimet on tarkoitettu keräämään auringon energian talteen lämpöenergiana. Keräimen sisällä on nestettä tai ilmaa, joka sitoo itseensä lämpöä auringonsäteilystä. Tavallisesti aurinkolämpöä hyödynnetään asunnossa jonkin muun lämmitysmuodon tukena. Uusien rakennusten suunnittelussa voidaan ottaa huomioon niin sanottu passiivinen aurinkolämmitys, jolloin talon sijainnilla, arkkitehtuurilla ja eri rakenteilla voidaan optimoida säteilyä saatava lämpö. Lämmönjako eri huoneisiin toimii matalalämpöjärjestelmillä, kuten vesikiertoisella lattialämmityksellä tai ilmalämmityksellä.<sup>(11)</sup> Matalissa lämpötiloissa keräimen hyötysuhde ja tuotto ovat parhaimmillaan.

Aurinkolämpöjärjestelmä sisältää aurinkokeräimiä, varaajan, putkistoja, turvayksikön, pumppuyksikön ja ohjausyksikön. Absorbaattori muuttaa säteilyn lämmöksi. Se voi olla esimerkiksi tummapintainen kuparipelti, jonka alapinnalla on putkisto. Putkistoissa liikkuu jäätymätön vesi-glykoliseos, jonka tehtävänä on siirtää auringon lämpö varaajaan. Varaajan alaosassa sijaitseva kierrukka lämmittää kylmän veden, minkä jälkeen lämmön luovuttanut seos pumpataan takaisin keräimeen ja kierto alkaa alusta.<sup>(12)</sup>

## 6.1 Tasokeräin

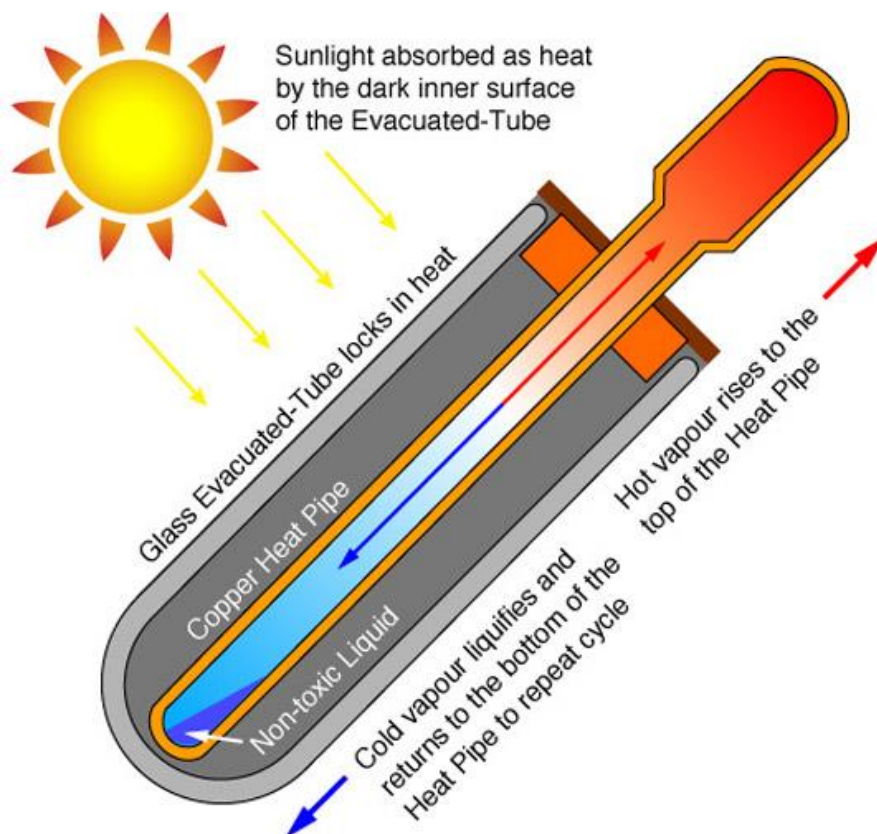
Tasokeräimessä (Kuva 5.) on vaakatasoon asennettu yleensä kupariputkesta tai alumiinista tehty keruuputkisto, jossa väliaine sijaitsee. Keruuputkisto on pinnoitettu mustanvärisellä absorptiopinnalla, joka imee lämpöenergiaa. Aurinkoon suunnatulla keräimellä on ulkopinnallaan lasi, joka läpäisee hyvin säteilyä, mutta ei kuitenkaan keräimestä päin tulevaa infrapunasäteilyä. Lasipinnan tehtävänä on myös estää ilman mukana siirtyvät lämpöhäviöt.<sup>(11)</sup>



Kuva 5. Tasokeräin, eli Flat Plate Collector <sup>(27)</sup>

## 6.2 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimissä (Kuva 6.) lämmönkeruuputkisto on nimensä mukaisesti tyhjiöksi imetyn lasiputkilon sisällä, jonka sisäpintaa peittää selektiivinen pinnoite. Tällä tekniikalla saadaan maksimoitua kerätty auringonsäteily ja samalla johdettua ulos mahdollinen lasiputken sisään tuleva infrapunasäteily. Rakenteen avulla väliaineen lämpötilat saadaan korkeammaksi kuin tasokeräimellä. Hyötynä tyhjiöputkikeräimellä on myös sen mahdollisuus hyödyntää ympäristön hajasäteilyä pilvisellä säällä.



Kuva 6. Tyhjiöputkikeräin eli Evacuated Tube Collector <sup>(28)</sup>

## 7 Syöttötariffit ja tuet

Tukea maksetaan syöttötariffina, jonka tarkoituksena on lisätä uusiutuvien energianlähteiden tuotantoa. Euroopan unioni käyttää uusiutuvan energian edistämiseen myös vihreitä sertifikaatteja, tarjouskilpailujärjestelmiä ja verokannustimia. Näillä syöttötariffeilla tuetaan tuulivoimalla, metsähakkeella, biokaasulla ja puupolttoaineella tuotettua sähköä.<sup>(14)(15)</sup>

Euroopan unionin tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian osuudeksi 20 % koko energiasta vuoteen 2020 mennessä.<sup>(17)</sup>

Suomessa syöttötariffit ovat voimassa uusiutuvien energianlähteiden osalta tuulivoimalle ja biokaasulle, mutta eivät aurinkovoimalle.

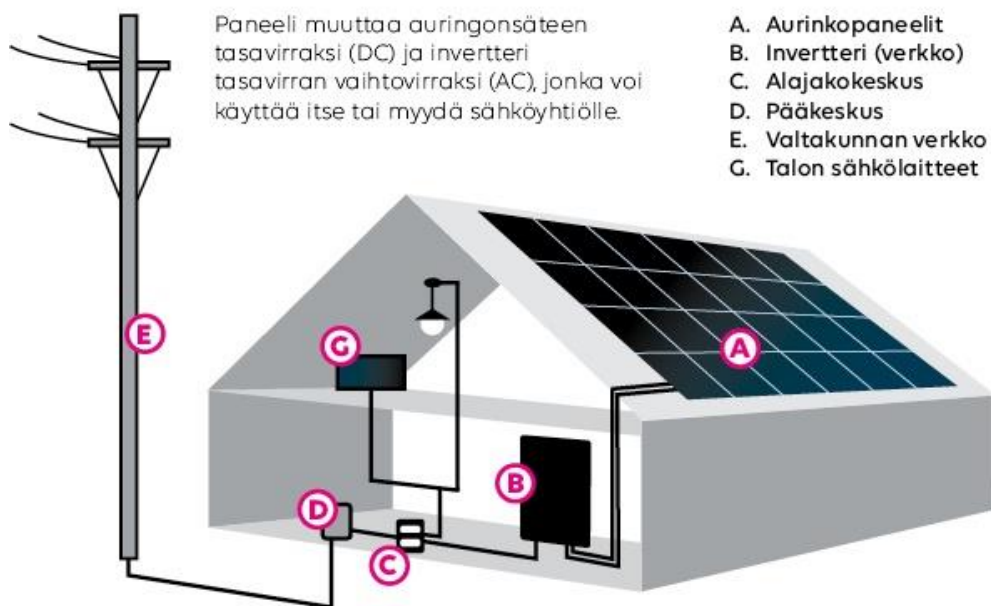
Työ- ja elinkeinoministeriö TEM myöntää energiatukea uusiutuvan energian investointeihin yrityksille, kunnille ja muille yhteisöille sekä kotitalousvähennystä kuluttajille. Kotitalousvähennys lasketaan työkuluista, joihin sisältyy esimerkiksi aurinkojärjestelmän asennuksen kustannukset. Kotitalousvähennys on 45 % vähennykseen oikeuttavista kuluista.<sup>(16)</sup>

## 8 Aurinkosähköjärjestelmä

Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä sisältää yksinkertaisuudessaan aurinkopaneelit, vaihtosuuntajan eli invertterin sekä asennustarvikkeet. Verkkoon kytkemätön järjestelmä vaatii akut, joihin sähkö varastoidaan, mikäli energiaa ei hyödynnetä heti. Aurinkopaneeleissa syntyvä tasavirta muutetaan 1- tai 3-vaiheisella invertterillä 230 voltin vaihtovirraksi, joka voidaan käyttää omiin tarpeisiin. Valtakunnan sähköverkkoon kytkettäessä invertteri seuraa yleisen sähkövirran jännitettä ja vaihtovirran taajuutta. Ylimääräinen sähköenergia siirtyy sähköverkkoon, mikäli kaikkea tehoa ei käytetä. (Kuva 7.) <sup>(21)</sup>

Sähkön tuotto omiin tarpeisiin on hyödyllisempää, kuin sen syöttäminen jakeluverkkoon. Tämä voidaan minimoida jos 3- vaiheinen invertteri kytketään suurta kulutusta vaativiin sähkölaitteisiin, kuten vesivaraajiin, kiukaisiin ja helloihin. 1- vaiheisilla inverttereillä pystytään kytkemään vain kyseiseen vaiheeseen kytketyt laitteet, joten se on sopiva pienempiin alle 3 kWp järjestelmiin.

### AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN TOIMINTA



Kuva 7. Aurinkosähköjärjestelmän toiminta <sup>(27)</sup>

Invertteri sisältää yleensä integroidut suojalaitteet ja tasavirtapiirin turvakytkimen, mutta mikäli näin ei ole, on ne asennettava erikseen. Aurinkosähköjärjestelmän on myös oltava erotettavissa sähköverkosta vaihtovirtapiirin turvakytkimellä. Verkkoon kytketyssä kokoonpanossa on myös mukana energiamittari, jolla mitataan syötettyä ja otettua tehoa.<sup>(22)</sup>

### 8.1 Invertterin asentaminen

Invertteri (Kuva 8.) liitetään aurinkopaneelien ja talon sähkökeskuksen väliin suojalaitteiden kera. Asennus on tehtävä invertterin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Asennukseen liittyviä vaatimuksia ovat muun muassa tila invertterin ympärillä, ympäristövaatimukset ja suojalaitteet. Invertteri voidaan asentaa ulos, halliin, katokseen tai sisälle.

Sisälle asennettuna on varmistettava sisäilman lämpötila, jottei invertteri kuumene liikaa. Inverttereissä on tavallisesti tuulettimet, mutta mikäli näin ei ole, on lisätuuletuksesta huolehdittava.<sup>(23)</sup>



Kuva 8. Ulos asennettu invertteri <sup>(22)</sup>

## 8.2 Aurinkopaneelien sijoittaminen

Suurimman säteilyannoksen maksimoimiseksi paneelit asennetaan mahdollisimman ylös, kuitenkin siten, etteivät katon harjalla olevat savupiiput tai esteet aiheuta varjoja. Joissain asennusohjeissa käsketään asentamaan paneelit pois harjan lähetyviltä, jotta vastakkaiselta puolelta tuleva tuuli ei puhalla aurinkopaneelien alle.

Kahden aurinkopaneelin väliin jää pysty- ja vaakasuunnassa 22 mm rako jäähdytystä varten. Lämpölaajenemisen seurauksena puolitoista metrisen aurinkopaneelin pituus voi muuttua jopa 3,8 mm 60 ° C:n asteen vaihtelussa.

Aurinkopaneelit pyritään suuntaamaan etelään suurimman tuoton aikaansaamiseksi. Ympärivuotiseen käyttöön tarkoitetun paneelin ihanteellinen kulma on 30 – 60 astetta Auringon korkeuden ja säteilykulmien muutoksien vuoksi. Suurimman vuosituoton takaamiseksi aurinkopaneelit pyritään suuntaamaan 45 ° kulmaan.<sup>(22, 23)</sup>

Esimerkkejä aurinkopaneelien leveyksistä pystyasennossa (Heckert NeMo 60P 255 1640 x 991 mm.):

- 8 aurinkopaneelia – 8082 mm
- 9 aurinkopaneelia – 9095 mm
- 10 aurinkopaneelia – 10108 mm
- 11 aurinkopaneelia -11121 mm
- 12 aurinkopaneelia -12134 mm
- 13 aurinkopaneelia -13147 mm
- 14 aurinkopaneelia -14160 mm
- 15 aurinkopaneelia -17173 mm

Esimerkkejä paneelien korkeuksista samaisilla paneeleilla

- 1 rivi, 1640 mm, 1,64 m
- 2 riviä, 3302 mm, 3,3 m
- 3 riviä, 4964 mm, 5 m

## 9 Esimerkkikohde

Tässä kirjallisuustyössä tarkastellaan omakotitaloon sijoitettavaa potentiaalista aurinkosähköjärjestelmää. Esimerkinä käytetään Nurmijärvellä sijaitsevaa, 1991 valmistunutta 125 m<sup>2</sup>:n kokoista, yksikerroksista perheasuntoa. Aurinkojärjestelmää suunniteltaessa kysymyksiä heräsi muun muassa sähköjärjestelmän investoinnista, takaisinmaksuajasta, sähköntarpeesta sekä aurinkokeräinten yhdistämisestä nykyiseen lämpöjärjestelmään ja käyttöveteen. Rakennuksessa on suora sähkölämmitys. Lämmityksestä huolehtii rakennuksen kattava kattolämmitys, sekä kodinhoituhuoneen ja saunan lattian kaapelilämmitys.

Suunnittelussa päädyttiin lopulta pelkkään aurinkopaneelijärjestelmään, sillä aurinkokeräinten hyödyntäminen aktiivisesti lämmittämiseen ei ole kannattava vaihtoehto. Aurinkokeräimillä olisi mahdollista lämmittää käyttövettä, mutta tämä edellyttäisi toisen vesivaraajan hankkimista.

Tutkimuksessa selvitettäviä asioita olivat muun muassa seuraavat

- vuosittainen mahdollinen säästö ja tuotto
- asennuskulmat ja paneelien sijoitus
- verkkoon yhdistetyn järjestelmän taloudellinen kannattavuus
- takaisinmaksuaika
- auringon säteily kyseisellä alueella
- investoinnit paneeleihin, asennukseen, invertteriin, huoltoihin
- ostosähkön korvaus



## 9.1 Rakennuksen sijainti

Asuinrakennus sijaitsee taajama-alueella Nurmijärvellä hyvällä paikalla aurinkoenergian hyödyntämiseen. Kohteen vieressä ei ole korkeita rakennuksia tai varjostavia puita, jotka häiritsevät auringonsäteilyä. Vattenfallin aurinkolaskurilla saatu kuva (Kuva 9.) kohteesta näyttää aurinkopaneeleille kohdistetun eteläpuoleisen harjanteen. Harjakaton kallistuskulma on noin  $18^\circ$  mutta paneelien tukikehikot voitaisiin asentaa siten, että paneelien kallistuskulma olisi optimaalinen  $25 - 45^\circ$ .

Eteläpuoleisen katon pinta-ala on noin  $100 \text{ m}^2$  (5 m leveä, noin 20 m pitkä). Heckert NeMo paneeleita voitaisiin täten asentaa halutessa jopa  $3 \times 15$  kpl. Aivan täyteen katon pinta-alaa ei kuitenkaan kannata varata. Kohteessa on aaltokatto, joten paneelien kiinnityselineet asennettaisiin peltikaton läpi ankkuripulttien avulla.



Kuva 9. Rakennuksen katon suunta suhteessa etelään

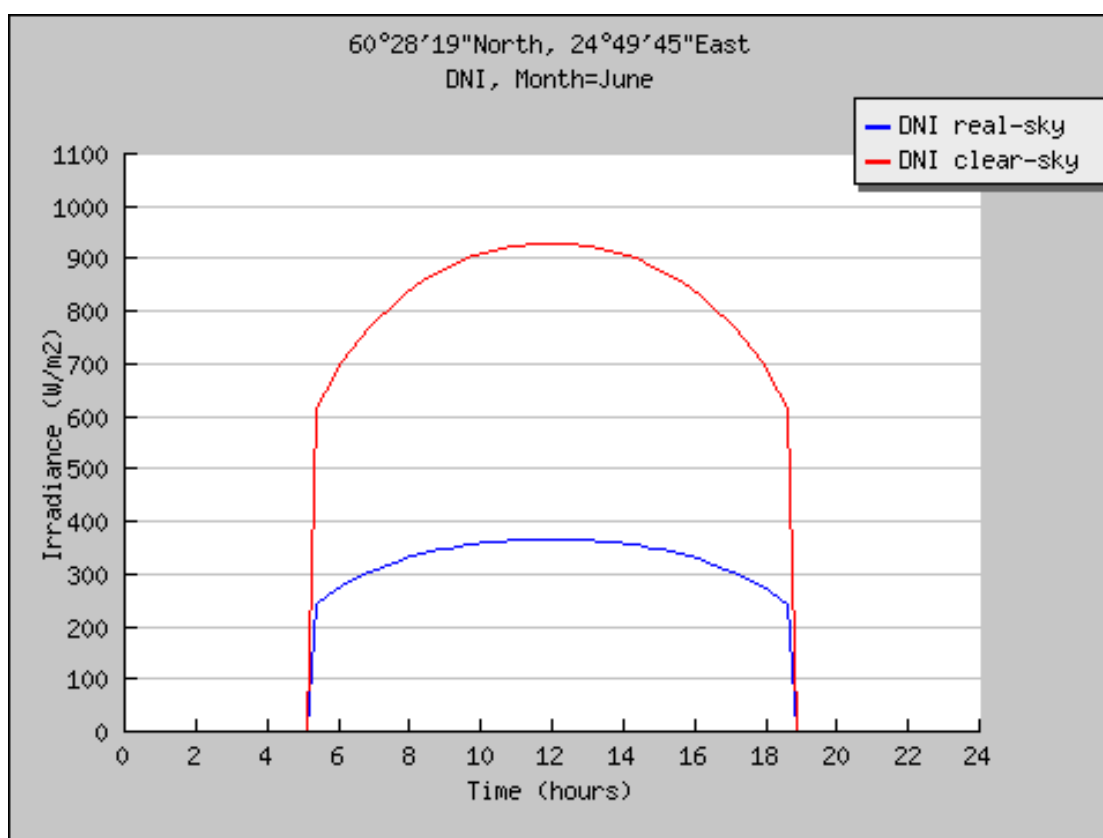


Kuva 10. Asuinrakennus kuvattuna eteläpuolelta



Kuva 10. Harjakatto kuvattuna yläpuolelta

Seuraavissa kuvissa (Kuva 11. ja 12.) on tarkasteltu Auringon säteilyn määrää Euroopan komission ylläpitämän PVGIS tietokannan laskureiden mukaan. Laskureilla voidaan laskea päivä- ja kuukausikeskiarvotuotto- arvio tiettyyn osoitteeseen satelliittimittauksien perusteella.<sup>(21)</sup> Kyseisiin laskureihin lisättiin Nurmijärvellä sijaitsevan asuinrakennuksen koordinaatit, jolloin pystyttiin selvittämään säteilyn määrä eri vuodenaikoina.



Kuva 11. Nurmijärven keskimääräinen säteily määrä kesäkuulta. Punainen käyrä esittää optimaalista säteilyä kirkkaalta taivaalta ja sininen käyrä todellisen säteilyn tarkasteltavassa kohteessa <sup>(29)</sup>

## Performance of Grid-connected PV

### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 60°28'19" North, 24°49'45" East, Elevation: 65 m a.s.l.,  
Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 3.1 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 7.1% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.7%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 23.1%

Fixed system: inclination=20 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	1.08	33.6	0.42	13.1
Feb	3.86	108	1.46	41.0
Mar	6.77	210	2.64	81.8
Apr	10.70	320	4.34	130
May	13.10	406	5.58	173
Jun	13.20	396	5.75	172
Jul	12.90	401	5.72	177
Aug	9.73	302	4.21	130
Sep	6.33	190	2.63	79.0
Oct	3.31	103	1.33	41.1
Nov	1.16	34.7	0.46	13.8
Dec	0.58	18.0	0.23	7.09
Year	6.91	210	2.90	88.3
Total for year		2520		1060

Kuva 12. Esimerkki 3.1 kWp sähköjärjestelmästä ja sen tuotosta kohteessa. Mukana ovat myös arvioidut häviöt lämmöstä, matalasta säteilystä, kulman heijastuksesta, kaapeleista ja inverteristä. <sup>(29)</sup>

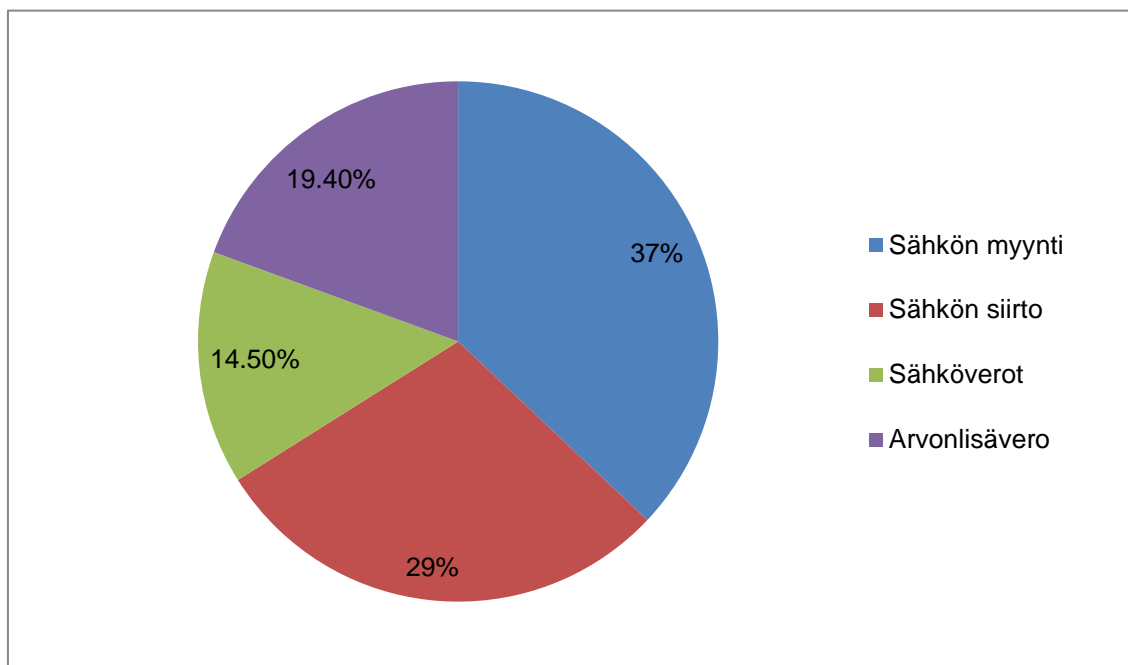
Ed = Keskimääräinen päivittäinen sähköntuotto (kWh)

Em = Keskimääräinen kuukausittainen sähköntuotto (kWh)

Hd = Keskimääräinen päivittäinen vastaanotettu säteilyn määrä neliometriä kohden (kWh/m<sup>2</sup>)

Hm = Keskimääräinen kuukausittainen vastaanotettu säteilyn määrä neliometriä kohden (kWh/m<sup>2</sup>)

## 9.2 Sähkön hinta



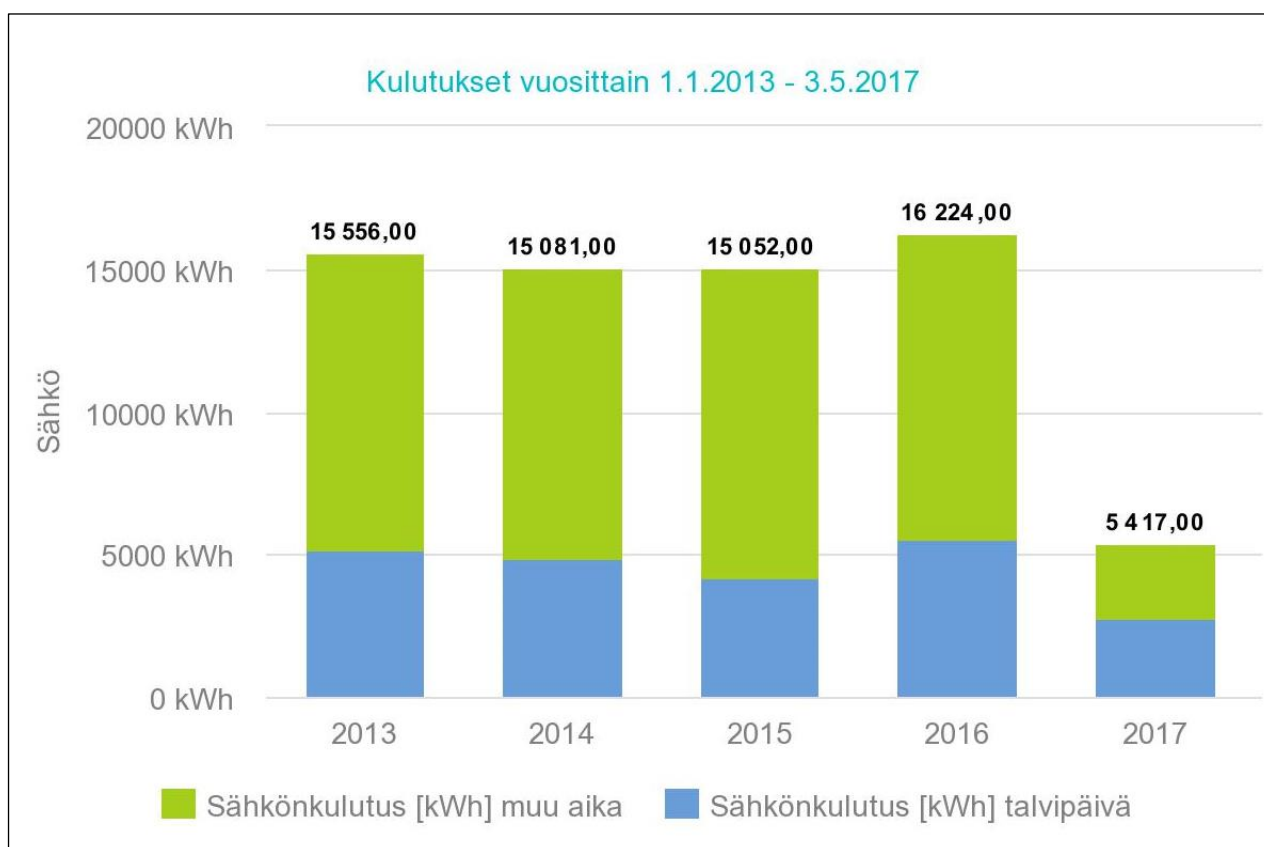
Kuvio 1. Keskimääräinen hinnanmuodostus kotitalousasiakkaalle

Sähkön hintaa ei voi tarkastella tulevissa laskuissa, mikäli ei käytetä niin sanottua todellista sähkön hintaa. Sähkö nimittäin koostuu kolmesta osasta; sähköenergian myynnin osuudesta, sähkönsiirrosta ja veroista. Sähköenergian hinta on kilpailutettavissa oleva hinta, jonka sähkönmyyjä määrittelee. Siihen vaikuttavat monet tekijät, kuten tuotantokustannukset ja pörssihinnat. Sähköenergian hinta eli myyntihinta on yleensä 40 - 50 % sähkölaskun osuudesta. Sähköenergian hinta sisältää kuukausittaisen perusmaksun ja sähkön käytöstä riippuvan kulutusmaksun. Yleissähkö määräytyy yksihintaisena senttiä / kilowattitunnilta periaatteella, kun taas aikasähkössä on erillinen hinta yö- ja päiväenergialle. Perusmaksun sekä kulutusmaksun määrät vaihtelevat yhtiöstä riippuen. (Kuvio 1.)

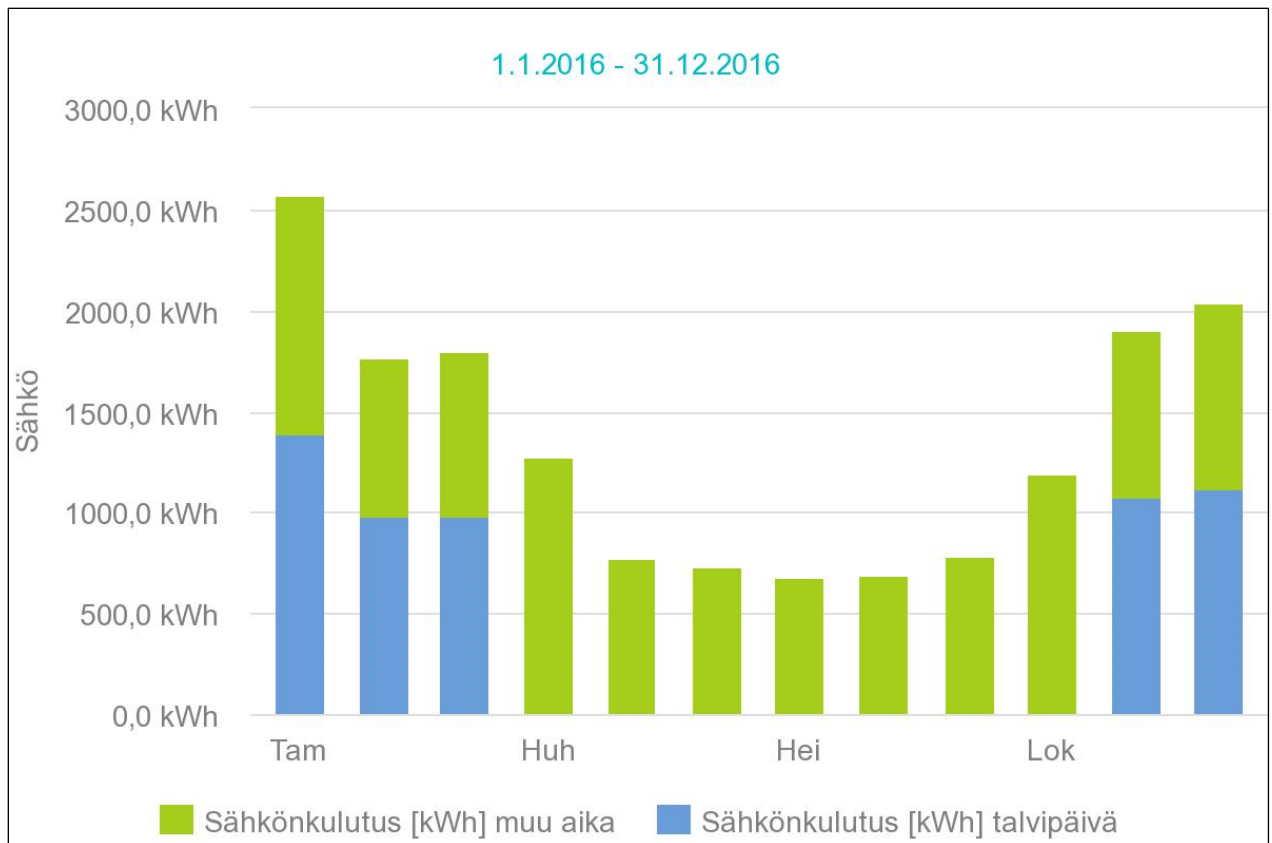
Sähkön siirtopalvelu koostuu sähkön siirrosta, kulutuksen mittaamisesta ja tasaselvityksestä. Sähkön siirto on nimensä mukaisesti sähkön tuomista verkon kautta kuluttajan käytettäväksi. Siirron vastuulla on paikallinen sähköverkkoyhtiö, jonka omistuksessa on jakeluverkko. Sähkön siirron hintaa valvoo Energiamarkkinavirasto. Paikallinen sähköverkkoyhtiö laskuttaa myös sähköveron. Lisäksi kuluihin sisältyy myös arvonlisävero sähköenergiasta, siirrosta, sähköverosta ja huoltomaksuista.<sup>(20)</sup>

### 9.3 Sähkönkulutus

Alla olevassa kuvassa (Kuvio 2.) on kohteen asuinrakennuksen energiankulutuksen vuosittaisia vertailuarvoja vuosina 2013 – 2016. Kuvassa näkyy myös vuoden 2017 tähänastinen kulutus. Kuviossa 3 on esitetty kulutus vuonna 2016 kuukausittain.



Kuvio 2. Asuinrakennuksen vuosittainen sähkönkulutus



Kuvio 3. Asuinrakennuksen sähkönkulutus kuukausittain 2016



Neljän vuoden energiankulutuksen keskiarvona voidaan pitää 15 500 kWh / vuosi. Talo lämmitetään suoralla sähkölämmityksellä, joka nostaa talviarkipäivän sähkökulutusta. Lämmintä käyttövettä taloudessa kuluu arviolta 60 - 80 l / vrk henkilöä kohti. Kotitaloudessa asuu kaksi ihmistä, joten käyttöveden arvio on päivässä on 160 l.

Sähkön vuosittainen kokonaishinta on ollut asunnon omistajan mukaan arviolta 1800 euroa. Tämä tarkoittaa noin 150 € suuruista sähkölaskua kuukausittain. Keskimääräinen kuukausittainen energiankulutus on täten  $15\,500 \text{ kWh} / 12 = 1291 \text{ kWh}$ . Todelliseksi sähkön hinnaksi kilowattia kohden saadaan näin  $\sim 11,6 \text{ snt/kWh}$ . Sähkön myyntihinta vaihtelee vuosittain, mutta on kuitenkin nousussa. Otetaan tutkimusta varten sähkön myynnistä, siirrosta ja veroista muodostuvaksi todelliseksi sähkön hinnaksi  $0,13 \text{ € / kWh}$ .



#### 9.4 Vaihtoehdot aurinkosähköjärjestelmäksi

Työssä tutkittiin erilaisia valmiita vaihtoehtoja, tuotantotehoiltaan eri suuruisia aurinkopaneelipaketteja ja näiden kilpailukykyisiä eroja. Paketit sisälsivät tarvittavat osat asennettuina ja verkkoon liitettynä. Mahdollisuutena olisi myös asentaa aurinkopaneelit itse. Invertterin liittäminen järjestelmään vaatii kuitenkin valtuutetun ammattilaisen tekemään kiinteän kaapeloinnin ja asennuksen.

Ensimmäisenä vaihtoehtona **A** käytettiin Vattenfallin esimerkkeihin perustuvaa keskisuurta aurinkopaneelipakettia. Paketista saatiin seuraavat tiedot:

- aurinkopaneeliteho 3,1 kWp, 12 x 260 Wp Vikram Solar Polykide
- energiantuotantoarvio n. 2790 kWh / vuosi
- aurinkopaneelien pinta-ala n. 21 m<sup>2</sup>
- kattoasennustelineet, kattokiinnikkeet katemateriaalin mukaan
- aurinkokaapelit 2 x 30m (DC) ja liittimet, turvakytin
- välttämättömät ja tavanomaiset sähkötarvikkeet sis. hintaan
- kolmivaiheinen Fronius Symo verkkoinvertteri
- kokonaishinta 7000 e

Avaimet käteen asennettuna hinta sisältää verkkoonliityntäilmoituksen, aurinkopaneelien asennuksen, kaapelivedot ja sähkötyöt.

Toisena vaihtoehtona **B** käytettiin Fortum Oy:n tarjoamaa Aurinkopakettia. Aurinkolaskuriin annettavat tiedot olivat seuraavat:

- omakotitalo
- sähkölämmitys
- 1 kerros
- 1990- luvun rakennus
- huoneistoala 120 m<sup>2</sup>
- arvioitu kulutus 15 000 kWh / vuosi

Fortum tarjosi keskisuuruista aurinkopakettia mutta vertailun vuoksi paketiksi valittiin suuri järjestelmä, johon on hypoteettisesti otettava lainaa. Aurinkolaskurilla saadut tiedot:

- 33 paneelia
- kolmivaiheinen invertteri
- aurinkoenergian tuotanto 8 261 kWh/vuosi
- arvioitu myynti sähköverkkoon 166 € / vuosi
- aurinkopaketti 9 700€ + asennus 5 600 €
- kokonaishinta 15 300 €
- arvioitu asennusvähennys 2 200 €

Vaihtoehdoksi **C** otettiin opinnäytetyön tekijän oma hypoteettinen järjestelmä. Hintarviot perustuvat Vattenfallin ja Fortumin paketti- ja asennushintoihin. Järjestelmän tiedot ovat seuraavat:

- 18 x 260 Wp Vikram Solar Polykide paneelia
- paneeliteho 5.0 kWp
- arvioitu säästö sähkölaskussa 509 € / vuosi
- arvioitu sähköntuotto 4 505 kWh / vuosi
- takaisinmaksuaika 16,5 vuotta
- itseasennus

Hinnaksi arvioidaan 9 500 € asennuksen kanssa. Asennus fortumin mukaan samankokoiselle järjestelmälle on 3 500 €, joten kokonaishinnaksi saadaan noin 6 000 €.

Taulukko 1. Vertailussa olevien järjestelmien investointikulut

Järjestelmän koko (kWp)	Systeemin hinta	Asennus	Kokonaisinvestointi
A: 12 paneelia (3,1 kWp)	~4 000 €	~3 000 €	7 000 €
B: 33 paneelia (arvioitu 8, 8 kWp)	9 700 €	5 600 €	15 300 €
C: 18 paneelia (Arvioitu 5 kWp)	6 000 €	0	6000 €

### 9.5 Järjestelmän kannattavuus

Tutkimuksessa arvioitiin investointien kannattavuutta takaisinmaksuajalla ja nettonykyarvomenetelmällä. Takaisinmaksuaika ei ole sinänsä yksinään sopiva kannattavuuden arviointimenetelmä aurinkoenergiajärjestelmälle. Se ei ota huomioon muun muassa paneelien 30 vuoden käyttöikää, mahdollisia huoltokuluja, investoinnin pitoaikaa eikä jäännösarvoa. Kuitenkin pienemmissä investoinneissa, joihin ei välttämättä kuluttajana tarvitse ottaa lainaa, se voi antaa viitettä takaisinmaksun pituudesta.

Nykyarvomenetelmällä lasketaan investoinnin kannattavuus tietyn ajanjakson aikana. Vuotuiset nettotuotot diskontataan investointiajankohdan rahamääräksi eli nykyarvoiksi. Nykyarvojen yhteenlaskettu määrä on nykyarvosumma (Net Present Value). Nykyarvosummaa verrataan investoinnin hankintamenuun, ja mikäli se on suurempi, on investointi kannattavaa.<sup>(18)</sup>

Nykyarvomenetelmää käytettäessä otetaan huomioon investoinnin suuruus, kulut, tuotot, lainojen nimelliskorkokannat ja inflaation korko.<sup>(19)</sup>

Jotta tämänhetkistä ja tulevaisuudessa olevaa rahaa voitaisiin verrata keskenään, on rahavirta siirrettävä nykyaikaan eli diskontattava. Vuosittain saatavat nettotuotot kerrotaan diskonttaustekijällä ja se voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$d_n = \frac{1}{(1+r)^n} \quad (3)$$

jossa

$d_n$  = vuosittainen diskonttaustekijä

$r$  = reaalikorko

$n$  = se vuosi, jonka tuloja diskontataan

Reaalikorko  $r$ , joka on siis nimelliskoron ja inflaation erotus, lasketaan kaavasta

$$r = \frac{(i - f)}{(1 + f)} \quad (4)$$

jossa

$i$  = lainan nimelliskorkokanta

$f$  = inflaatio

(19)

## 10 Kustannukset ja takaisinmaksuajat

### 10.1 Aurinkosähköjärjestelmä A

Vaihtoehto A sisälsi 7 000 € maksavan 3,1 kWp:n järjestelmän 12 paneelilla. Energian arvioitu vuosituotto 2 790 kWh. Oletetaan, että kyseistä investointia varten ei ole otettu lainaa. Vaihtoehto A:n tapauksessa käytetään kustannusarvion laskemisessa takaisinmaksuaikaa vertailujen vuoksi.

Saaduilla tiedoilla voidaan laskea yksittäisen paneelin nimellishyötysuhde kaavalla

$$\eta = \frac{Wp}{A * Q} \quad (5)$$

jossa

$\eta$  = nimellishyötysuhde (Wp)

A = yksittäisen paneelin pinta-ala (m<sup>2</sup>)

Q = Auringon säteilyteho = 1000 (W/m<sup>2</sup>)

$$\eta = \frac{260 \text{ Wp}}{1,75 \text{ m}^2 \cdot 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \approx 15 \%$$

Arviotu energiantuotto oli 2 790 kWh / vuosi. Tällä perusteella voidaan laskea vuosittaiseksi säästöksi todellista sähkönhintaa 13 snt / kWh käyttäen 2 790 kWh \* 0,13 € / kWh = 363 €.

Järjestelmän asennus kuului mukaan ”avaimet käteen” -periaatteella, joten investointiin on mahdollisuus saada Työ- ja elinkeinoministeriön 20 - 45 % vähennys asennuksen kuluista. Arvioidaan näin kokonaisinvestoinniksi 6 100 €

Sähköjärjestelmän takaisinmaksuaika lasketaan seuraavasta kaavasta:

$$TMA = \frac{X}{Y} \quad (6)$$

TMA = takaisinmaksuaika (vuosi)

X = aurinkojärjestelmän investointi (€)

Y = vuosittainen tuotto (€)

$$TMA = \frac{6100 \text{ €}}{363 \text{ €}} = 16,8 \text{ vuotta}$$

Kyseisen aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuajaksi saatiin laskujen mukaan noin 17 vuotta. Laskuissa ei otettu kuitenkaan huomioon inflaatiota ja mahdollisen lainan korkoja eikä sähkön hinnan nousua, joten todellinen takaisinmaksuaika voi vaihdella.

## 10.2 Aurinkosähköjärjestelmä B

Fortumin ehdottama suurempi arviolta 8,8 kWp:n aurinkopaketti sisälsi 33 paneelia 8 261 kWh:n vuosituotolla ja 15 300 €:n kokonaishinnalla. Fortumin antamia arvioita säästöistä olivat sähkölaskussa (740 € / vuosi), sekä mahdollisesta myynnistä sähköverkkoon (166 € / vuosi). Tuottona tämä olisi tällöin 906 € vuodessa.

Aurinkosähköjärjestelmä B:n ja C:n investoinnin kannattavuuslaskuissa investoinnin lainan nimelliskorkona käytettiin 4 % ja sähkön hinnan vuosittaisena nousuna 2 - 5 %. Inflaationa käytettiin 2 % sekä sähkön hintana 13 snt / kWh. Investoinnin jäännösarvoa pudottaa joka vuosi tuotetun energian arvo, joten oletetaan se nolaksi. Sähköntuoton ja vuosittaisen rahavirran laskemisessa käytettiin Fortumin vuosittaista arviota aurinkoenergian tuotannosta, sekä keskimääräisesti muodostunutta sähkönhintaa. Ensisijaisesti kaikki tuotettava energia käytetään itse ja näin säästetään kalliimman pörssisähkön käytössä. (Taulukko 3. ja 4.)

Arvioitu TEMin asennustukivähennys on 1 680 € joten kokonaisinvestoinniksi saadaan täten 13 620 €.

Taulukko 2. 8,8 Kwp aurinkosähköjärjestelmän kannattavuustarkastelu 5 %:n vuosittaisella sähkön hinnan nousulla.

Kokonaisinvestointi	13 620 €
Inflaatio	2 %
Nimelliskorkokanta	4 %
Investointiavustus	30 %
Sähkönhinta	0,13 €/kWh
Energian vuosituotantoarvio	8 261 kWh

Diskontattu rahavirta 11 vuoden jälkeen	14 150 €
Nykyarvo	530 €

Kyseinen investointi siis maksaa itsensä takaisin 11 vuoden jälkeen kyseisellä vuosituotannolla ja 5 %:n sähkön hinnan nousulla.



Taulukko 3. 8,8 Kwp aurinkosähköjärjestelmän kannattavuustarkastelu 2 %:n vuosittaisella sähkön hinnan nousulla ja Fortumin laskurin antamalla sähköntuotolla.

Kokonaisinvestointi	13 620
Inflaatio	2 %
Nimelliskorkokanta	4 %
Investointiavustus	30 %
Sähköntuoton rahavirta / vuosi (€)	906 € / vuosi
Energian vuosituotantoarvio	8 261 kWh
Diskontattu rahavirta 15 vuoden jälkeen	13 632 €
Nykyarvo	12 €

Kyseisillä arvoilla takaisinmaksuaika venyy realistisempaan 15 vuoteen, jolloin nettonykyarvoksi saadaan positiivinen 12 €.

### 10.3 Aurinkosähköjärjestelmä C

Tarkasteltava vaihtoehto C sisälsi 18 x 260 Wp polykidepaneelia. Arvioitu aurinkopaneeliteho on 5,0 kWp, säästö sähkölaskussa 509 € / vuosi, arvioitu sähköntuotto 4 505 kWh / vuosi ja arvioitu takaisinmaksuaika 16,5 vuotta. Kustannuslaskelmat tehtiin siinä oletuksessa, että asennukset tehtäisiin itse. Pakollisten kaapelivetojen ja sähkötöiden asennukseen arvioidaan menevän 1 500 €.

Tässä vaihtoehdossa käytettiin myös hyväksi jo aikaisemmin hyödynnettyä PVGIS-aurinkosähkölaskuria (Kuva 10) arvioimaan vuosittainen sähköntuotto paremmin ottaen huomioon lämpö, heijastus, kaapeli ja invertterihäviöt.

<b>Fixed system: inclination=25°, orientation=0°</b>				
<b>Month</b>	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	2.01	62.4	0.46	14.3
Feb	6.88	193	1.59	44.4
Mar	11.50	356	2.77	85.8
Apr	17.50	525	4.45	133
May	21.00	651	5.62	174
Jun	21.00	629	5.74	172
Jul	20.70	641	5.74	178
Aug	15.80	489	4.27	132
Sep	10.60	317	2.72	81.6
Oct	5.73	178	1.40	43.4
Nov	2.08	62.3	0.49	14.7
Dec	1.08	33.4	0.25	7.75
<b>Yearly average</b>	<b>11.3</b>	<b>345</b>	<b>2.96</b>	<b>90.2</b>
<b>Total for year</b>		<b>4140</b>		<b>1080</b>

Kuva 10. Aurinkojärjestelmä C:n kuukausittainen sähköntuotto <sup>(29)</sup>

jossa

Lämpö ja matalan säteilyn häviöt: 11,6 %

Heijastushäviöt: 3,5 %

Kaapelin ja invertterin häviöt 10,0%

Taulukko 4. 5,0 Kwp:n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuustarkastelu 2 %:n vuosittaisella sähkön hinnan nousulla ja PVGIS:n arvioimalla sähköntuotolla.

Sähkötyöt	1500 €
Kokonaisinvestointi	7 500 €
Inflaatio	2 %
Nimelliskorkokanta	4 %
Sähköhinta	13 snt/kWh
Energian vuosituotantoarvio	4140 kWh / vuosi
Sähköntuoton rahavirta	538,2 € / vuosi
Diskontattu rahavirta 13 vuoden jälkeen	7556,6 €
Nykyarvo	56,6 €

Takaisinmaksuaikaa kyseisellä kokoonpanolla on siis arvioitu olevan noin 13 vuotta. Sähkötöiden hinnat olivat myös arvioita, sekä muitakin häviöitä voi ilmetä. Hyvälaatuiset aurinkopaneelit menettävät myös tehoaan noin 0,6 % vuodessa, joten tehohäviöt myös nostattavat takaisinmaksuaikaa entisestään. Sähkön myyntihinta on myös arvaamaton, mutta sen oletetaan nousevan tulevaisuudessa. Mukana laskuissa ei myöskään ollut mahdollisia veroetuuksia, joita on mahdollista saada kotitalouksille.

## 11 Päätelmät

Työssä käytiin läpi aurinkoenergian teoriaa ja aurinkosähköjärjestelmän mahdollisuutta tarkasteltavassa asuinrakennuksessa. Opinnäytetyötä tehdessä käytiin läpi monenlaisia lähteitä sekä tutkimuksia aiheesta. Alkuperäinen suunnitelma oli yhdistää aurinkosähköjärjestelmä aurinkokeräinten kanssa. Eri tutkimusten tuloksena päädyttiin kuitenkin järjestelmään, joka perustuu vain sähköntuottoon ja pörssisähkön korvaamiseen omatuotolla. Nurmijärvellä sijaitsevaan asuinrakennukseen tutkittiin kolmea eri aurinkosähköjärjestelmävaihtoehtoa. Järjestelmät vaihtelivat kokonsa, hintojensa sekä takaisinmaksuaikojensa perusteella. Vaihtoehdot perustuivat Vattenfallin ja Fortumin tarjoamiin aurinkopaketteihin ja niiden hintoihin. Parhaaksi vaihtoehdoksi valittiin lopulta vaihtoehto C, jossa yhdisteltiin aurinkopakettien parhaimpia ominaisuuksia. Investoinnin ja takaisinmaksuajan laskelmissa päädyttiin tarkempiin takaisinmaksuajoihin, kuin mitä yleensä kuluttajille tarjotaan. Nämä tulokset ovat kuitenkin viitteellisiä vaihtelevien verotusten, sähkön hinnan, energiatukien, paneelien, asennuskulujen ja erilaisten häviöiden vuoksi.

Työtä tehdessäni opin lisää minua kiinnostavasta aiheesta. Työ antoi myös mahdollisuuden perehtyä lisää aurinkoenergiajärjestelmän suunnitteluun. Kirjallisuustyö ei yksin anna ratkaisua sille, mikä valinta tulee tehdä aurinkopaneelijärjestelmän suhteen, mutta antaa siitä viitteitä perusteellisemmän tarkastelun tueksi. Nurmijärven asuinrakennus on hyvin potentiaalinen kyseisille järjestelmille. Se sijaitsee hyvällä paikalla, paneeleille on paljon tilaa eikä ympäristössä sijaitse esteitä. Mikäli järjestelmä hankitaan ja se tuottaa, käyttäjä hyötyy käyttäessään kaiken energian itse. Tähän voidaan vaikuttaa muun muassa käynnistämällä suurta sähkönkulutusta vaativat laitteet päivällä illan sijaan. Jos ylijäämä sähköä syntyy, voidaan sähkön myyjän kanssa tehdä sopimus mikäli sähkön ostaja löytyy. Näin ollen tästä saatava tuotto voi olla muutamia kymmeniä euroja vuodessa.

Aurinkosähköjärjestelmä on kannattava sijoitus tulevaisuuteen. Se tuottaa investoinnin takaisinmaksuajan jälkeen vuosittain ilmaista energiaa aurinkopaneelien käyttöäin ajan. Mikäli sähkön hinta nousee ja paneelien kustannukset laskevat, tulee investoinnista entistä kannattavampaa. Järjestelmä ei myöskään sellaisenaan tuota päästöjä. Kehitystä tehdään jatkuvasti, jotta ympäristöystävällisempiä materiaaleja saataisiin markkinoille. Suomessa ei ole tällä hetkellä syöttötariffeja aurinkovoiman osalta, mutta mikäli näin olisi, voitaisiin uusiutuvien energialähteiden käyttöön kannustaa entisestään.

## Lähteet

1. EREC's Position on the Framework Directive for Renewable Energy Sources 1.10.2007. Luettu 16.02.2017
2. Husika Azrudin. Caponigro Marco. Handbook on Renewable Energy Sources. <https://www.ardahan.edu.tr/resaveerasmusplus/upload/HandbookAlternativeEnergy.pdf>. Verkkodokumentti. Luettu 14.02.2017
3. Aurinkoteknillinen Yhdistys Ry. Aurinko Opas 06- Aurinkosähkö ja Aurinkokennot. [http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/?page\\_id=173](http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/?page_id=173). Verkkodokumentti. Luettu 16.02.2017
4. Suntekno. Aurinkopaneelit. <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>. Verkkodokumentti. Luettu 14.02.2017
5. Ahjo Energia. Periaatteet. <http://www.ahjoenergia.fi/index.php/periaatteet/aurinkopaneelien-toiminta>. Luettu 15.03.2017
6. Finnwind. Aurinkosähkö. <http://www.finnwind.fi/aurinko/Aurinkoenergiaopas-Finnwind.pdf>. Verkkodokumentti. Luettu 05.04.2017
7. Viitanen Janne (2010) Aalto-yliopisto. Aurinkosähköjärjestelmän yhdistäminen LED-valaistuksenn tasajännitteellä. Opinnäytetyö. Luettu 25.04.2017
8. Jussilainen Timo & Riikola Heikki (2015) lin aurinkoenergiapuisto. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/100807/jussilainen\\_timo.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/100807/jussilainen_timo.pdf?sequence=1). Opinnäytetyö. Luettu 25.04.2017
9. Kolehmainen Kati. (2011) Nanoteknologia aurinkokennoissa. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/kolehmainen-k-2011.pdf>. Kandidaatintutkielma. Luettu 24.04.2017

10. Hele Savin, Päivikki Repo, Guillaume von Gastrow, Pablo Ortega, Eric Calle, Moises Garin & Ramon Alcubilla  
<http://www.nature.com/nnano/journal/v10/n7/full/nnano.2015.89.html>  
/ Black silicon solar cells with interdigitated back-contacts achieve 22.1% efficiency. Verkkodokumentti. Luettu 05.04.2017
11. Motiva. Auringosta lämpöä ja sähköä.  
[https://www.motiva.fi/files/12322/Auringosta\\_lampoa\\_ja\\_sahkoa\\_2016.pdf](https://www.motiva.fi/files/12322/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_2016.pdf).  
Verkkodokumentti. Luettu 14.04.2017
12. [www.energiakauppa.fi](http://www.energiakauppa.fi). Verkkosivusto. Luettu 20.04.017
13. [https://www.motiva.fi/files/12322/Auringosta\\_lampoa\\_ja\\_sahkoa\\_2016.pdf](https://www.motiva.fi/files/12322/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_2016.pdf)[https://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4050/seminaarit07/aurinkokennot\\_ja\\_keraimet.pdf](https://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4050/seminaarit07/aurinkokennot_ja_keraimet.pdf)
14. Energia virasto. Alan toimijat. Tuotantotuki. [www.energiavirasto.fi/tuotantotuki1](http://www.energiavirasto.fi/tuotantotuki1).  
Verkkosivusto. Luettu 05.04.2017
15. Verohallinto.fi. Verkkosivu. Luettu 04.04.2017
16. EREC's Position on the Framework Directive for Renewable Energy Sources (2007). Verkkosivu. Luettu 05.02.2017
17. [www2.amk.fi/digma.fi/eetu/www.amk.fi/opintojaksot/500/1138278559722/1138279515236/1138270720180/1138284629391.html](http://www2.amk.fi/digma.fi/eetu/www.amk.fi/opintojaksot/500/1138278559722/1138279515236/1138270720180/1138284629391.html). Verkkosivu. Luettu 26.04.2017
18. Järvenpää Jaakko (2014) Aurinkolämmön Hyödyntäminen Kerrostalojen Käyttöveden Lämmityksessä.  
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/75669/Opinnaytetyo.pdf?sequence=1>. Opinnäytetyö. Luettu 05.04.2017

19. Vattenfall. Yksityisasiakkaat. Asiakaspalvelu. Sähkön hinnan muodostuminen.  
<http://www.vattenfall.fi/fi/sahkon-hinnan-muodostuminen.htm>. Verkkosivusto.  
Luettu 15.04.2017
20. Ahjo Energia. Periaatteet. Aurinkosähkö yksinkertaisesti.  
<http://www.ahjoenergia.fi/index.php/periaatteet/aurinkosahko-yksinkertaisesti>.  
Verkkosivusto. Luettu 04.05.2017
21. Motiva. Ratkaisut. Uusiutuva energia. Aurinkosähkö. Järjestelmän valinta.  
Tarvittava laitteisto. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_liitetty\\_aurinkosahkojarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma).  
Verkkosivusto. Luettu 22.04.2017
22. Aurinkovirta. Aurinkosähkö. Verkkoinvertteri.  
<http://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkosahkovoimala/verkkoinvertteri/>.  
Verkkosivusto. Luettu 21.04.2017
23. Institute for Energy and Transport (IET)
24. Puro Vesa-Matti. Aurinkovirta. Aurinkosähkö. Verkkodokumentti.  
<http://aurinkovirta.fi>. Luettu 15.02.2017
25. <https://www.quora.com/Do-solar-panels-need-to-be-blue>. Verkkodokumentti.  
Luettu 15.02.2017
26. Gogreen Heat Solutions. Solar Water Heating.  
<http://www.gogreenheatsolutions.co.za/?q=project-type/solar-water-heating/flat-plate-collector>. Verkkodokumentti. Luettu 15.02.2017
27. Lapinakkumaailma.fi. Verkkosivusto. Luettu 06.04.2017
28. Silicon Solar. Products. Evacuated Tube Solar Collectors.  
<http://www.siliconsolar.com/30-vacuum-tube-collector-p-18102.html>.  
Verkkosivusto. Luettu 04.04.2017



29. Photovoltaic-Software. <http://photovoltaic-software.com/pvgis.php>.  
Verkkosivusto. Luettu 05.04.2017

Linnamurto Petri (2015) Kannattavuustarkastelu aurinkosähkön  
hyödyntämisestä kauppakeskuksessa. Opinnäytetyö. Luettu 05.04.2017

## Liitteet

Liite1. Nykyarvolaskut 8,8 kWp järjestelmään 2 %:n sähkön hinnannousulla

				Nimelliskorko 4 %				
				Inflaatio 2 %				Rahavirran nykyarvo
				Sähkön hinnannousu 2 %				13631,9
8,8 kWp Aurinkopaneelijärjestelmä				Sähkön hinta				0,13 €/ kWh
Vuodet	investointi	tuotot	kulut	rahavirta	reaalikorko	diskonttaustekijä	diskontattu rahavirta	
0	13620	906,0	0	12714	0,019607843	1		
1		924,1		924,1	0,019607843	0,980769231	906,3485	
2		942,6		942,6	0,019607843	0,961908284	906,6971	
3		961,5		961,5	0,019607843	0,943410048	907,0458	
4		980,7		980,7	0,019607843	0,925267547	907,3947	
5		1000,3		1000,3	0,019607843	0,907473941	907,7436	
6		1020,3		1020,3	0,019607843	0,890022519	908,0928	
7		1040,7		1040,7	0,019607843	0,872906701	908,442	
8		1061,5		1061,5	0,019607843	0,856120034	908,7914	
9		1082,8		1082,8	0,019607843	0,839656188	909,141	
10		1104,4		1104,4	0,019607843	0,823508953	909,4907	
11		1126,5		1126,5	0,019607843	0,807672243	909,8405	
12		1149,0		1149,0	0,019607843	0,792140084	910,1904	
13		1172,0		1172,0	0,019607843	0,776906621	910,5405	
14		1195,4		1195,4	0,019607843	0,761966109	910,8907	
15		1219,4		1219,4	0,019607843	0,747312915	911,241 TMA	
16		1243,7		1243,7	0,019607843	0,732941513	911,5915	
17		1268,6		1268,6	0,019607843	0,718846484	911,9421	
18		1294,0		1294,0	0,019607843	0,705022513	912,2929	
19		1319,9		1319,9	0,019607843	0,691464388	912,6437	
20		1346,3		1346,3	0,019607843	0,678166996	912,9948	

## Liite 2. Nykyarvolaskut 8,8 kWp järjestelmään 5 %:n sähkön hinnannousulla

				Nimelliskorko 4 %					Rahavirran nykyarvo
				Inflaatio 2 %					14150,7
				Sähkön hinnannousu 5 %					
8,8 kwp Aurinkopaneelijärjestelmä				Sähkönhinta					0,13 €/ kWh
Vuodet	investointi	tuotot	kulut	rahavirta	reaalikorko	diskonttaustekijä	diskontattu rahavirta		
0	13620	1073,9		0	12546,07	0,019607843	1		
1		1127,6			1127,6	0,019607843	0,980769231	1105,941	
2		1184,0			1184,0	0,019607843	0,961908284	1138,907	
3		1243,2			1243,2	0,019607843	0,943410048	1172,855	
4		1305,4			1305,4	0,019607843	0,925267547	1207,815	
5		1370,6			1370,6	0,019607843	0,907473941	1243,817	
6		1439,2			1439,2	0,019607843	0,890022519	1280,893	
7		1511,1			1511,1	0,019607843	0,872906701	1319,073	
8		1586,7			1586,7	0,019607843	0,856120034	1358,392	
9		1666,0			1666,0	0,019607843	0,839656188	1398,882	
10		1749,3			1749,3	0,019607843	0,823508953	1440,58	
11		1836,8			1836,8	0,019607843	0,807672243	1483,52 TMA	
12		1928,6			1928,6	0,019607843	0,792140084	1527,74	
13		2025,1			2025,1	0,019607843	0,776906621	1573,279	

## Liite 3. Nykyarvolaskut 5,0 kWp järjestelmään 2 %:n sähkön hinnannousulla

				Nimelliskorko 4 %				
				Inflaatio 2 %		Rahavirran nykyarvo		
				Sähkön hinnannousu 2 %		7556,6		
				Sähkön hinta			0,13 €/ kWh	
				5,0 kwp Aurinkopaneelijärjestelmä				
Vuodet	investointi	tuotot	kulut	rahavirta	reaalikorko	diskonttaustekijä	diskontattu rahavirta	
0	7500	538,2	0	6961,8	0,019607843	1		
1		549,0		549,0	0,019607843	0,980769231	538,407	
2		559,9		559,9	0,019607843	0,961908284	538,6141	
3		571,1		571,1	0,019607843	0,943410048	538,8212	
4		582,6		582,6	0,019607843	0,925267547	539,0285	
5		594,2		594,2	0,019607843	0,907473941	539,2358	
6		606,1		606,1	0,019607843	0,890022519	539,4432	
7		618,2		618,2	0,019607843	0,872906701	539,6507	
8		630,6		630,6	0,019607843	0,856120034	539,8582	
9		643,2		643,2	0,019607843	0,839656188	540,0659	
10		656,1		656,1	0,019607843	0,823508953	540,2736	
11		669,2		669,2	0,019607843	0,807672243	540,4814	
12		682,6		682,6	0,019607843	0,792140084	540,6893	
13		696,2		696,2	0,019607843	0,776906621	540,8972	TMA
14		710,1		710,1	0,019607843	0,761966109	541,1053	
15		724,3		724,3	0,019607843	0,747312915	541,3134	