



School of Energy Systems

Energiatekniikka

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS MAALÄMPÖKOhteessa

Työn tarkastaja: Tapio Ranta
Työn ohjaajat: Mika Laihanen & Antti Karhunen
Lappeenrannassa 11.11.2020
Kari Aspegren

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikka

Kari Aspegren

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus maalämpökohteessa

Kandidaatintyö 2020

Tarkastaja: Tapio Ranta

Ohjaajat: Mika Laihanen & Antti Karhunen

30 sivua, 10 kuvaa ja 6 taulukkoa

Hakusanat: aurinkosähkö, aurinkosähköjärjestelmä, maalämpö, kannattavuus, omakotitalo

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on arvioida kolmen erikokoisen aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta Etelä-Savossa Mikkeliissä sijaitsevaan 137 m² omakotitaloon, johon kuuluu myös 20 m² lämmitettävä autotalli. Talo on rakennettu vuonna 1969 ja peruskorjattu 2007, jolloin maalämpö asennettiin lämmitysjärjestelmäksi. Maalämpöjärjestelmä tukee aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta kasvattamalla passiivista sähkönkulutusta myös aikoina, kun muuta kulutusta ei ole, mistä syystä aurinkosähköjärjestelmään investointia alettiin harkita.

Kandidaatintyön laskelmien perusteella voidaan todeta, että nykyisillä investointien ja sähkön hinnoilla, aurinkosähköjärjestelmään investoinnilla ei saavuteta merkittävää rahallista voittoa. Kaikkien eri järjestelmien takaisinmaksuajat olivat pitkiä, ja nykyarvot positiivisia vain hyvin pienillä tuottovaatimuksilla. Mikään työssä käsiteltävästä kolmesta aurinkosähköjärjestelmästä ei kuitenkaan pitkän ajan sijoituksena ole tappiollinen. Aurinkosähkö edistää myös nykyistä ilmastopolitiikkaa, jolloin aurinkosähköjärjestelmään investointi on varteen otettava vaihtoehto, mikäli haluaa olla osana tukemassa ilmastotavoitteita.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO

1	JOHDANTO	5
2	AURINKOSÄHKÖ	6
2.1	Aurinkopaneelin toimintaperiaate	6
2.2	Hyötysuhteeseen vaikuttavia tekijöitä	8
2.3	Paneelityypit	8
3	MAALÄMPÖ	11
3.1	Keruujärjestelmät	11
3.2	Maalämpöpumppu	12
4	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS	13
4.1	Kohteen esittely	13
4.2	Säteilytiedot	14
4.3	Sähkön tuotanto	15
4.4	Omakäyttöaste	16
4.5	Kustannuslaskelmat	17
4.6	Takaisinmaksuaika	18
4.7	Nykyarvo	19
5	TULOKSET	21
5.1	Tulosten tarkastelu	25
6	YHTEENVETO	28
7	LÄHTEET	29

SYMBOLILUETTELO

Roomalaiset

<i>A</i>	Pinta-ala	[m ²]
<i>E</i>	Sähköenergia	[Wh]
<i>G</i>	Säteilyteho	[W/m ²]
<i>h</i>	Sähkön hinta	[€]
<i>I</i>	Investointikustannus	[€]
<i>i</i>	Laskentakorko	[%]
<i>n</i>	Lukumäärä	[kpl]
<i>P</i>	Teho	[W]
<i>S</i>	Säästö	[€]
<i>t</i>	Tarkasteltava vuosi	[a]

Kreikkalaiset

η	Hyötysuhde	[%]
--------	------------	-----

Alaindeksit

<i>i</i>	Invertteri
<i>k</i>	Kulutus
<i>o</i>	Omakäyttö
<i>p</i>	Peak/Huippu
<i>pan</i>	Paneeli
<i>s</i>	Sähkölasku
<i>SPOT</i>	Sähkön tuntikohtainen markkinahinta
<i>t</i>	Todellinen
<i>y</i>	Ylijäämä

Lyhenteet

NA	Nykyarvo
TMA	Takaisinmaksuaika

1 JOHDANTO

Aurinkosähköjärjestelmien määrä on kasvanut viime vuosikymmeninä ja yhä enenevässä määrin aurinkopaneeleita voi nähdä pienkiinteistöjen katoilla osana hajautettua energiantuotantoa. Monelle kuluttajalle aurinkopaneelit ovat tapa osallistua ilmastotalkoisiin tai saada kesämökki sähköistettyä ilman liittymistä sähköverkkoon. Tarkoituksena on huolimatta investointi aurinkosähköjärjestelmään on sen verran suuri, että järjestelmän kannattavuus kiinnostaa.

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan kolmen eri aurinkosähköjärjestelmän suorituskykyä, ja kannattavuutta omakotitalokohteessa, jossa lämmitysjärjestelmänä toimii maalämpö. Työn laskelmissa on käytetty yksilöllisiä sähkönkulutustietoja, aurinkosähköjärjestelmien tarjouksia, sekä sopimusriippuvaisia sähkön hintoja, joten työtä ei voi pitää yleispätevänä ohjeena muille kohteille. Työ on kuitenkin suuntaa antava vastaavissa kiinteistöissä.

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuksista on tehty useita kannattavuuslaskelmia, mutta tässä työssä tarkennetaan enemmän kohteeseen, jossa lämmitysjärjestelmänä on käytössä maalämpö. Maalämpö kuluttaa sähköä kiinteistön lämmityksessä, jolloin passiivinen sähkönkulutus lisääntyy. Aurinkosähköjärjestelmä on kannattavimmillaan, kun suurin osa sen tuottamasta sähköstä saadaan omaan käyttöön, joten voidaan olettaa, että maalämpö parantaa aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta.

Kandidaatintyö alkaa lyhyellä teoriaosuudella, jossa käsitellään aurinkosähköä, sekä maalämpöä. Teoriaosuuden jälkeen esitellään kohde, johon laskelmat on tehty ja kerrotaan, kuinka laskelmat on suoritettu. Laskentaosuudessa käsitellään aurinkosähkön tuotantoa, suorituskykyä kyseisessä kohteessa, sekä aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta. Kandidaatintyö päättyy laskelmien tulosten esittelyyn, sekä niistä vedettäviin johtopäätöksiin.

2 AURINKOSÄHKÖ

International Energy Agency kertoo, että 90 minuutin aikana aurinko lähettää niin paljon säteilyä, että sillä kattaisi koko maailman energiankulutuksen vuodeksi. Vaikka suoraan auringosta tuotetun energian määrä suhteessa muihin energialähteisiin on nykyisin pieni, niin tämä on muuttumassa lähitulevaisuudessa energian saatavuuden ja toimitusvarmuuden turvaamiseksi sekä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. (IEA 2011)

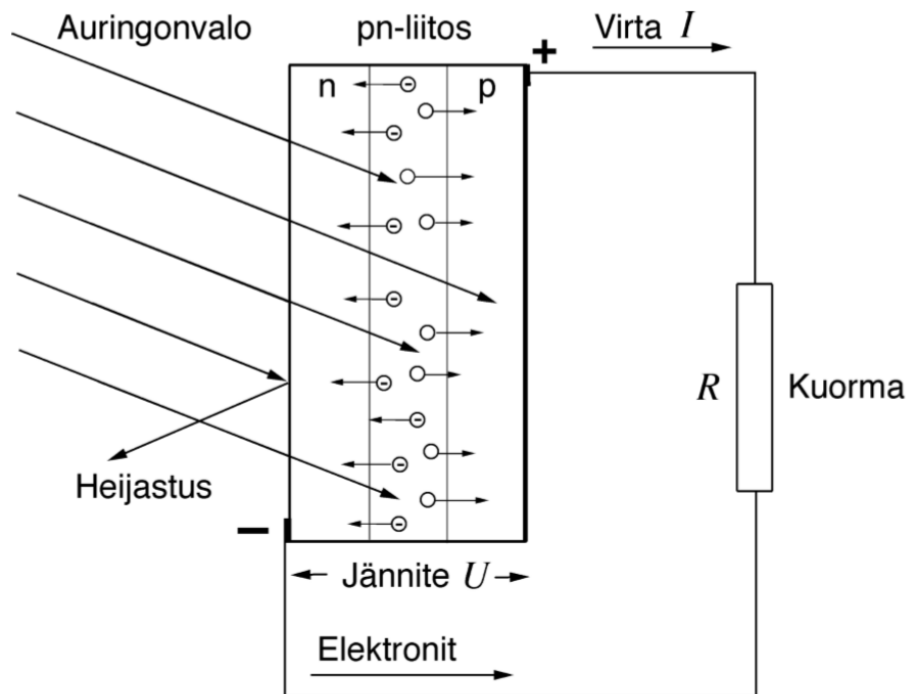
Aurinkosähkö on uusiutuvaa energiaa ja sen tuotannossa syntyy päästöjä vain laitteiden ja komponenttien valmistuksessa sekä kierrätyksessä. Aurinkosähköä tuotetaan aurinkokennoteknologiaan perustuvien sovellusten avulla, joiden käyttö- ja huoltokustannukset ovat vähäisiä. Aurinkosähkön tuottamisessa ei synny polttoainekustannuksia, mutta niiden käyttöä on hidastanut paneelien korkea hinta. Viime vuosina paneelien investointikustannus on kuitenkin laskenut voimakkaasti.

Nykyaikana kasvaneen ilmastotietoisuuden myötä on alkanut kiinnostus panostaa uusiutuvaan polttoaineeseen, joista yksittäiselle kuluttajalle helpoiten tarjolla on aurinkosähkö. Myös sähkön hinnan nousu on lisännyt kiinnostusta omaan tuotantoon. Aurinkopaneeleja alkaa näkymään kasvavissa määrin omakotitalojen ja kesämökkien katoilla sekä myös suurempien yritysten toimitilojen katoilla. Erityisesti suuret kaupanalan yritykset ovat panostaneet aurinkosähköön ja hankkineet isoja voimaloita suurten kauppakeskusten katoille. Tällä hetkellä kerros- ja rivitaloasujat eivät voi hyötyä aurinkoenergiasta Suomen energiapolitiikan takia, joten aurinkosähkön kehitys on naapurimaita jäljessä. Kehittyneen tekniikan myötä paneelien hyötysuhteet ovat parantuneet ja järjestelmien hinnat laskeneet, jotka puolestaan kannustavat omakotitalouksia aurinkosähköjärjestelmien hankkimiseen.

2.1 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Aurinkopaneelit koostuvat puolijohdetekniikalla valmistetuista yhteen kytketyistä aurinkokennoista. Aurinkokennot muuttavat auringon säteilyn sähköenergiaksi valosähköisen ilmiön avulla, mikä tarkoittaa sitä, että puolijohdemateriaalin elektronit saavat niin suuren

määrän energiaa sähkömagneettisesta säteilystä, että ne irtautuvat atomiytimistä. Kennojen puolijohdemateriaalit alkavat johtaa sähköä, kun niihin osuu energiaa, mikä paneelien tapauksessa tarkoittaa auringon säteilyä. Auringon säteilyn lähettämät fotonit eli valokvantit osuvat kennon valoherkkään puolijohderajapintaan, kulkevat n-tyyppin kerroksen ja n/p-liitoksen läpi, jonka jälkeen absorboituvat p-tyyppin puolijohteen atomeihin irrottaen näistä elektroneja muodostaen elektroniaukkopareja. Elektronien liike luo jännitteen kennon ylä- ja alapinnan välille, joka saadaan muutettua erilaisilla kytkennöillä halutun suuruiseksi jännitteeksi ja virraksi. Aurinkopaneelin toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 1. (Vikman 2018, s.13-15; Suntekno 2010, s.1)



Kuva 1. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Suntekno 2010, s.1)

Puolijohdemateriaalin johtavuutta parannellaan lisäämällä siihen ”epäpuhtauksia” eli erilaisia atomeja. Lisättyjen atomien ansiosta p-tyyppin puolijohdemateriaaliin saadaan elektronivajaus eli aukkoja, jotka pyrkivät täyttymään elektroneilla ja n-tyyppin puolijohdemateriaaliin saadaan puolestaan ylimääräisiä elektroneita. Ylimääräiset elektronit luovat n-tyyppin puolijohdeeseen negatiivisen varauksen, kun taas elektronivajaus luo p-tyyppin puolijohdeeseen positiivisen varauksen. Sekä ylimääräiset elektronit, että aukot siirtävän varausta. (Kauranen 2012, s.9)

2.2 Hyötysuhteeseen vaikuttavia tekijöitä

Aurinkopaneelien käytön kasvamista on hidastanut niiden korkea investointikustannus suhteessa tuotannon määrään. Tekniikan kehittymisen ja suurtuotannon myötä paneelien hinnat ovat laskeneet paljon ja myös paneelien hyötysuhteet ovat parantuneet. Paneelien hyötysuhdetta saadaan parannettua esimerkiksi oikeanlaisilla materiaalivalinnoilla. Auringon säteilystä osa heijastuu pois jo kennon pinnalta, mitä pyritään vähentämään heijastusta vähentävällä pinnoitteella tai mahdollisimman vähän heijastavalla pintamateriaalilla. Osa säteilystä absorboituu kennon pintakerrokseen heikentäen hyötysuhdetta, mikä tulee ottaa huomioon myös materiaalivalinnassa. (Vikman 2018, s. 14; Suntekno 2010, s.2)

Ympäristön korkeat lämpötilat heikentävät myös aurinkopaneelin hyötysuhdetta. Tyypillisesti aurinkopaneelit on suunniteltu toimimaan 25 celsiusasteen lämpötiloissa, jolloin tätä korkeammassa lämpötiloissa paneelin tyhjäkäyntijännite putoaa heikentäen tehontuottoa. Muita sähköntuotantoon vaikuttavia tekijöitä ovat paneelien varjostukset ja säteilyn kulma, mitkä tulisi ottaa huomioon paneelien sijoittelussa. (Suntekno 2010)

Aurinkopaneelien hyötysuhdetta voidaan parantaa vesijäähdytyksellä. Vesijäähdytys voidaan asentaa kulkemaan katon ja paneelin välissä, jolloin lämpötilavaikutus aurinkopaneelin tuotantoon pienenee. Jäähdytysjärjestelmän asentaminen lisää investoinnin kustannuksia merkittävästi, mutta lyhentää koko järjestelmän takaisinmaksuaikaa parannellun tuotannon avulla. Tutkimus suoritettiin Englannissa, jossa paneelin jäähdytykselle ei ole niin suurta tarvetta, kuin lämpimämissä maissa, mutta testien mukaan jäähdytyksen lisääminen kasvatti silti investoinnista saatavia voittoja 40 % ja vuotuista sähköntuottohyötysuhdetta jopa 35 %. (Z.Peng et al. 2017.)

2.3 Paneelityypit

Käytetyin puolijohdemateriaali aurinkopaneelin valmistuksessa on pii. Pii on maankuoren toiseksi yleisin alkuaine, joten sen saatavuus on hyvä ja piin avulla aurinkopaneeliin saadaan hyvä hyötysuhde. Piistä voidaan tuottaa aurinkokennoja usealla eri menetelmällä, mutta

yleisimmät paneelit, mitä pienkuluttajalle tarjotaan, on koottu monikide-, tai yksikidekennoista. Yksikiteisen aurinkokennon (Kuva 2) ja monikiteisen aurinkokennon (Kuva 3) erottaa niiden muotojen, sekä kennojen kiderakenteen perusteella.

Yksi- ja monikidekennot ovat ensimmäisen sukupolven kennoja, mutta myös toisen sukupolven aurinkokennoja, kuten ohutkalvokennoja, on saatavilla kaupallisesti. Kolmannen sukupolven aurinkokennot kuten esimerkiksi nanokidekennot ovat vasta kehitysasteella. (Vikman 2018)



Kuva 2. Yksikiteinen aurinkokenno (Swordlightning 2019)



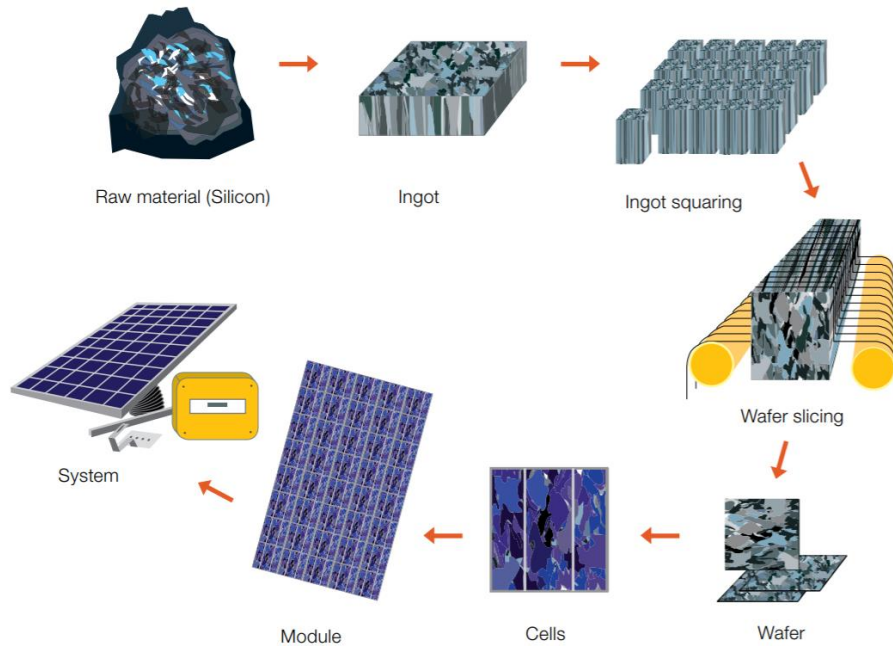
Kuva 3. Monikiteinen aurinkokenno (Swordlightning 2019)

Yksikiteinen piikenno saadaan leikattua yhtenäisestä pyöreäksi kiteytyneestä piitangosta. Yksikiteisten piikennojen tuotantoon vaaditaan erittäin puhdasta raaka-ainetta, mitä on haastavaa valmistaa, joten pyöreistä kiekkoista ei materiaalihävikin vuoksi tehdä neliskulmaisia. Pyöreiden kennojen vuoksi yksikidepaneelissa on aukot kennojen kulmissa, mitkä huonontavat paneelin hyötysuhdetta. Yksikidepaneelin valmistustapa on hyvin kallis ja hidas verrattuna monikidepaneelin valmistukseen, mistä johtuu yksikidepaneelien korkeampi hinta. Yksikidepaneelilla on kuitenkin paremmat hyötysuhteet, kuin monikidepaneelilla. (Vikman 2018 s.15)

Monikiteisten aurinkokennojen valmistus on huomattavasti helpompaa ja halvempaa, kuin yksikiteisten kennojen. Raaka-ainepiitä sulatetaan korkeassa lämpötilassa harkoksi, jonka jälkeen jäähtyvä pii kiinteytyy muodostaen kiderakenteen. Harkosta leikataan sopivan kokoisia piilevyjä, joista saadaan monikiteisiä kennoja. Monikiteisten aurinkokennojen

epäsäännöllisestä kiderakenteesta johtuen monikidepaneelien hyötysuhteet jäävät pienemmiksi, kuin yksikidepaneelien. (Kauranen 2012, s.13 ; Vikman 2018, s.16)

Monikiteisten aurinkopaneelien valmistusprosessia havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. Monikiteisen aurinkopaneelin valmistusprosessi (Q-cells, viitattu lähteessä EPIA 2009, s. 4)

Yksi- ja monikidekennojen lisäksi valmistetaan myös ohutkalvokennoja. Ohutkalvokennot voidaan valmistaa esimerkiksi amorphisessa muodossa olevasta piistä, kun yksi-, ja monikidekennoissa pii on kristallisessa muodossa. (Vikman 2018, s. 20) Ohutkalvokenno valmistetaan yleensä edulliselle pohjamateriaalille, kuten muovi, lasi tai teräs ja ne pystyvät keräämään hajasäteilyä hieman tehokkaammin, kuin ensimmäisen sukupolven kidepaneelit. Ohutkalvopaneelien hyötysuhteet ovat tyypillisesti 9–11 % luokkaa, minkä takia myös ensimmäisen sukupolven aurinkopaneeleita käytetään enemmän. (Motiva 2020)

3 MAALÄMPÖ

Maalämmöksi kutsutaan lämpöenergiaa, joka on varastoitunut maa- ja kallioperään. Maalämpö voidaan luokitella uusiutuvaksi energiaksi, koska sen pääasiallinen lähde on aurinko. Maa- ja kallioperän vuosittainen keskilämpötila Suomessa on keskimäärin kaksi astetta korkeampi, kuin ilman keskilämpötila, jolloin maasta kerättävää lämpöenergiaa voidaan käyttää ympärivuotisesti kiinteistöjen ja käyttöveden lämmitykseen. (Juvonen & Lapinlampi 2013)

3.1 Keruujärjestelmät

Maalämpöjärjestelmään kuuluu lämmön keruupiiri, jolla lämpöenergia kerätään maa- ja kallioperästä, mutta keruupiirillä voidaan kerätä lämpöä myös vesistöstä. Maaperän pintaosasta lämpöenergia kerätään maapiirin avulla, jolloin lämmönkeruupiiri kulkee noin metrin syvyydessä, mutta vaatii paljon pinta-alaa kerätäkseen tehokkaasti lämpöä maaperästä. (Juvonen & Lapinlampi 2013)

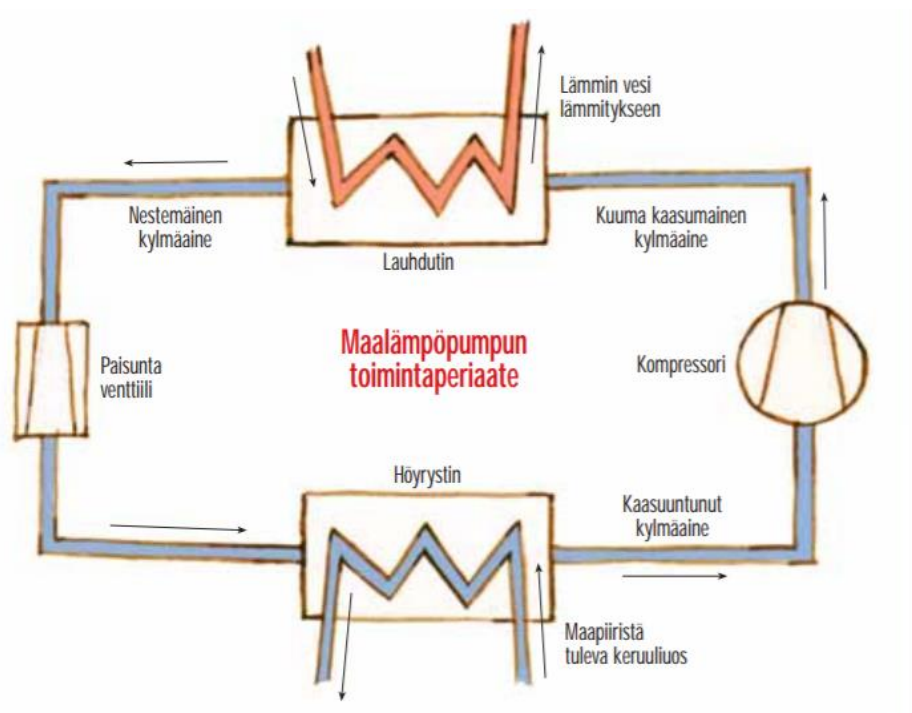
Syvemältä maa- ja kallioperästä lämpö kerätään porakaivon avulla. Porakaivon syvyys riippuu lämmityksen tarpeesta, mutta tyypillisesti se porataan maksimissaan 200-250 m syvyyteen. Porakaivoon asennetaan lämmönkeruupiiri, jonka sisällä kulkeva lämmönkeruuneste kerää lämpöä porakaivosta rakennuksen käyttöön. Tätä järjestelmää kutsutaan energiakaivoksi ja se kerää lämpöä maan geotermisestä energiasta sekä lämpimästä pohjavedestä. Energiakaivo sopii hyvin pienemmille tonteille ja voidaan porata sekä maa- että kallioperään. Maaperään porattaessa kustannukset kuitenkin nousevat, koska porakaivoon on asennettava suojaputki pitämään porausreiän auki ja estämään pintavesien sekoittumista pohjaveteen. (Motiva 2012 ; Juvonen & Lapinlampi 2013)

Lämmönkeruuputkistolla voidaan myös kerätä lämpöä vesistöstä upottamalla lämmönkeruuputkisto vesistön pohjaan tai pohjamutiiniin, kuitenkin vähintään kahden metrin syvyyteen, jotta putket eivät vaurioituisi talvella jäätyminen seurauksena. Tämä on hyvä vaihtoehto rakennuksille, mitkä ovat vesistön välittömässä läheisyydessä. (Motiva 2012)

3.2 Maalämpöpumppu

Lämmönkeruupiirin lisäksi maalämpöjärjestelmä tarvitsee maalämpöpumpun, jolla siirretään kerätty lämpöenergia sähkön avulla kiinteistön käyttöön. Yksinkertaistettuna maalämpöpumpussa pumpun kylmäaine höyrystetään kaasuksi lämpöenergialla, joka on saatu kerättyä lämmönkeruupiirissä. Kaasuuntunut kylmäaine puristetaan kompressorissa korkeaan paineeseen, jolloin myös kaasu lämpenee. Tämän jälkeen kaasu lauhdutetaan nesteeksi toisessa lämmönvaihtimessa lämmitettävällä kiertovedellä, josta lämpö saadaan rakennuksen lämmitysjärjestelmään ja käyttöveden lämmitykseen. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine pudotetaan alas, jonka jälkeen kierto alkaa alusta. (Motiva 2012)

Maalämpöpumpun toimintaperiaate esitettynä kuvassa 5.



Kuva 5. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Motiva 2012)

Maalämpöpumpun järjestelmän avulla pienet lämpötilaerot saadaan tehokkaasti muutettua suureksi määräksi lämpöä ja hyödynnettyä kiinteistön sekä käyttöveden lämmityksessä.

4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS

Aurinkosähkön kannattavuutta esimerkkikohteessa tarkastellaan kolmella järjestelmällä. Ensimmäiseen järjestelmään kuuluu 12 kappaletta 280 W_p nimellistehoaltaan olevia moniki-deaurinkopaneeleita, toiseen järjestelmään kuuluu 10 kpl 305 W_p yksikidepaneeleita ja kolmanteen järjestelmään 12 kpl 315 W_p yksikidepaneeleita. Kaikkien tarjouksien paneelit ovat saman valmistajan ZNShine Solarin valmistamia ja kaikkiin tarjouksiin lukeutuu mukaan 5,5 kW_p invertteri.

Säteilytietojen avulla on laskettu kolmen eri tarjouksen aurinkosähköjärjestelmille tuotettu sähkön määrä vuodessa ja verrattu tätä tuntikohtaiseen sähkönkulutukseen kohteessa (kulutustiedot vuosilta 2018 ja 2019). Näin saadaan vertailukelpoinen tieto siitä, kuinka paljon tuotetusta aurinkosähköstä saadaan omaan käyttöön ja kuinka paljon ylimääräisenä tuotettua sähköä myydään verkkoon. Ylijäämäsähkön myyntituottoja varten on myös käytetty tuntikohtaisia sähkömarkkinoiden spot-hintoja vuosilta 2018 ja 2019, jotta saataisiin realistinen vastaus ylijäämäsähköstä saatavista tuotoista. Lopuksi järjestelmälle on laskettu takaisinmaksuaika sekä nykyarvo, jotta järjestelmän kannattavuutta voidaan arvioida.

Laskennassa on tehty laskentaa helpottavia oletuksia, esimerkiksi lumen vaikutuksia järjestelmän tuotantoon ei ole huomioitu, koska järjestelmä tuottaa talvisin erittäin vähän sähköä ja lumen vaikutus lopputulokseen on täten merkityksettömän pieni.

4.1 Kohteen esittely

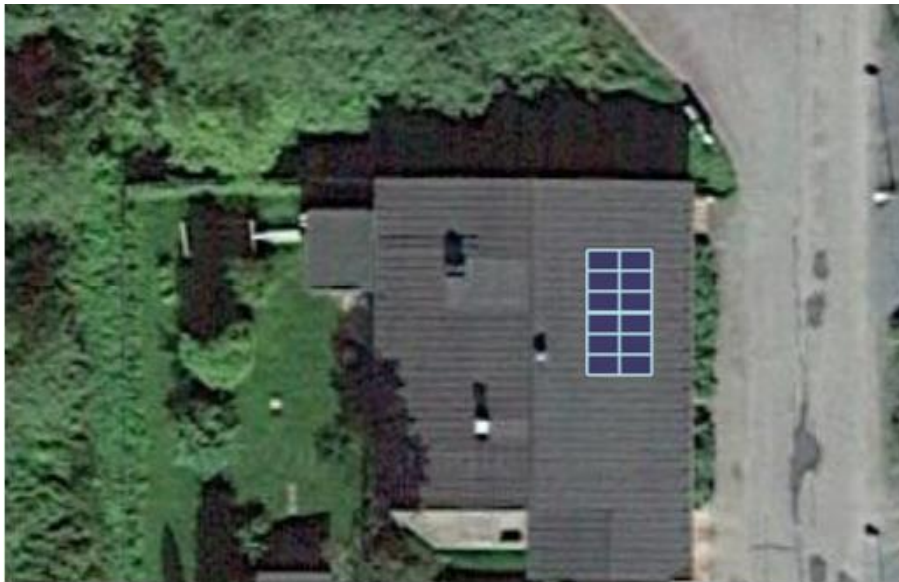
Tässä työssä tarkastellaan erikokoisten aurinkosähköjärjestelmien sopivuutta ja kannattavuutta Etelä-Savossa Mikkelissä sijaitsevaan 137 m² omakotitaloon, johon kuuluu myös 20 m² lämmitettävä autotalli. Talo on tiiliverhottu puurunkoinen talo, joka on rakennettu vuonna 1969 ja peruskorjattu 2007. Peruskorjauksen yhteydessä asennettiin porakaivosta saatava maalämpö uudeksi lämmitysjärjestelmäksi.

4.2 Säteilytiedot

Kannattavuustarkasteluissa on käytetty vuosien 2015 ja 2016 tuntikohtaisia auringonsäteilytietoja, koska uudempia säteilytietoja EU:n ylläpitämään järjestelmään (PVGIS EU) ei ole ladattu. Järjestelmään asetettiin paneelien kallistuskulmaksi 18.4 astetta, sekä suuntakulmaksi -90 astetta tarkoittaen paneelien olevan itään päin.

Mahdollisuuksien mukaan aurinkopaneelit tulisi suomessa suunnata etelään päin maksimaalisen tuotannon varmistamiseksi. Itään päin suunnatulla aurinkosähköjärjestelmällä vuosittainen tuotanto putoaa merkittävästi. Suuntaukseen vaikuttaa kuitenkin se, miten rakennuksen katto on suunnattu, minkä takia aurinkosähköjärjestelmää ei saada aina suunnattua etelää kohti. Myös kallistuskulma on loivempi, kuin Suomessa suositeltu 35-45°, mutta paneelit asennetaan yleisesti katon kallistuskulmaan. (Motiva 2020)

Esimerkkiasettelu paneeleille kohteessa on kuvassa 6.



Kuva 6. Paneelien asettelu

4.3 Sähkön tuotanto

Aurinkosähköjärjestelmän tuotantoa laskiessa tarvitaan auringon säteilyteho G , jonka tiedot saatiin ladattua tunneittain EU:n ylläpitämältä sivustolta Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Tämän lisäksi tarvitaan tiedot paneelin hyötysuhteesta ja pinta-alasta. Nämä löytyvät, kun tiedetään että tarjottavat paneelit ovat ZNShine Solar ZXM6-HLD120 sarjaa. (Scanoffice). Yksikidepaneeleiden pinta-alat ovat ZNShine Solarin mukaan noin $1,67 \text{ m}^2$, kun monikidepaneeleiden pinta-alat ovat noin $1,64 \text{ m}^2$. Tarkemmat arvot paneelien ominaisuuksista nähdään taulukosta 1.

Table 1. Tarjouksien 1, 2 ja 3 tiedot

Tarjous	1	2	3
Paneelien lukumäärä	12	10	12
Tyyppi	Monikide	Yksikide	Yksikide
Teho [W]	280	305	315
Pinta-ala [m^2]	1,645	1,667	1,667
Kokonaispinta-ala [m^2]	19,74	16,67	20,004
Hyötysuhde [%]	16,72	18,36	18,96
Investoinnin suuruus [€]	6700	6181	7180
Kotitalousvähennys v.2020 [€]	960	865	960

Taulukon 1 tietojen perusteella, sekä tunti-kohtaisten auringonsäteilytietojen avulla lasketaan yksittäisen aurinkopaneelin energiantuotanto tunneittain yhtälöllä 1.

$$E_{pan} = G * \frac{\eta_{pan}}{100} * A \quad (1)$$

Jossa	E_{pan}	= yksittäisen aurinkopaneelin sähköntuotanto	[kWh]
	G	= auringon säteilyteho tunnin aikana	[W/m^2]
	A	= aurinkopaneelin pinta-ala	[m^2]
	η_{pan}	= aurinkopaneelin hyötysuhde	[%]

Yhden paneelin sähköntuotannon avulla saadaan laskettua koko aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotanto kertomalla paneelien lukumäärällä. Kun koko järjestelmän tuottama sähköenergia on laskettu, vähennetään siitä vielä invertterissä hukkalämmöksi muuttuva energia

invertterihyötysuhteen avulla. Yksinkertaistuksen vuoksi jokaiselle tarjoukselle on valittu invertterin hyötysuhteeksi 98 %. Todellinen järjestelmän tuottama sähköenergian määrä tunneittain saadaan siis yhtälöllä 2.

$$E_t = E_{pan} * n * \eta_i \quad (2)$$

Jossa	E_t	= järjestelmän todellinen sähköntuotanto tunneittain	[kWh]
	n	= paneelien lukumäärä	[kpl]
	η_i	= invertterin hyötysuhde	[%]

4.4 Omakäyttöaste

Kaikkea aurinkopaneelien tuottamaa sähköä ei saada omaan käyttöön vaan osa myydään takaisin sähköverkkoon. Omaan käyttöön saadaan sähköä, kun tuotanto ja kulutus tapahtuu yhtäaikaaisesti. Omakäyttöastetta pystyisi nostamaan liittämällä järjestelmään akkuja, jolloin ylimääräisenä tuotettu sähkö varastoitaisiin akkuihin odottamaan tulevaa kulutusta, mutta koska akkujen hinnat ovat melko korkealla, tämä nostaisi investoinnin suuruutta merkittävästi. Takaisinmyynnistä tehdään sopimus sähköyhtiön kanssa, jossa selviää ylijäämästä maksettava korvaus sekä mahdolliset välityspalkkiot. Ylijäämästä voidaan laskea yhtälöllä 3. Ylijäämästä syntyy vain siinä tilanteessa, kun tuntikohtainen aurinkosähkön tuotanto on kulutusta suurempaa.

$$E_y = E_t - E_k \quad ; \quad E_t > E_k \quad (3)$$

Jossa	E_y	= sähköverkkoon myytävän ylijäämästä määrä	[kWh]
	E_k	= tuntikohtainen sähkön kulutus kohteessa	[kWh]

Omaan käyttöön saatavan sähkön määrä voidaan vastaavasti laskea yhtälöllä 4, kun tiedetään järjestelmän kokonaistuotanto, sekä ylijäämästä määrä.

$$E_o = E_t - E_y \quad (4)$$

Jossa E_o = omaan käyttöön saatava sähkön määrä [kWh]

Kun omaan käyttöön saatava sähkön määrä tiedetään, voidaan laskea järjestelmän omakäyttöaste, mitä pidetään yhtenä merkinä järjestelmän optimoinnille suunnittelussa. Omakäyttöasteen tulisi olla mahdollisimman suuri, koska suurin hyöty järjestelmästä saadaan, kun mahdollisimman paljon tuotetusta sähköstä saadaan hyödynnettyä kohteessa. Tuntikohtainen omakäyttöaste lasketaan yhtälöllä 5.

$$\text{Omakäyttöaste} = \frac{E_o}{E_t} \quad (5)$$

4.5 Kustannuslaskelmat

Jokaisessa investoinnissa voidaan tarkastella investoinnin kannattavuutta useammalla eri mittarilla. Yksi mittari ei monesti riitä kuvaamaan koko totuutta investoinnin kannalta. Aurinkosähköjärjestelmäin investointia tarkastellaan tässä työssä takaisinmaksuajan menetelmällä, sekä nykyarvomenetelmällä. Takaisinmaksuajan menetelmä ei välttämättä suoranaisesti tarkastele investoinnista syntyvää rahallista voittoa, vaan sen avulla saadaan konkreettinen käsitys vuosittain syntyvistä säästöistä ja niiden suhteesta investoinnin kokoon.

Investoinnin kannattavuudessa yleensä tarkastellaan investoinnista syntyviä säästöjä. Tässä tapauksessa säästöt koostuvat sähkölaskussa säästetystä osuudesta, sekä takaisin verkkoon myydystä määrästä sähköä. Ylijäämästä tehdään sähköyhtiön kanssa sopimus takaisinmyynnistä, ja ylijäämästä saatava hinta vaihtelee riippuen sähköyhtiöstä. Ylijäämästä määrää on kuitenkin tämän mittakaavan järjestelmillä sen verran pieni, että merkittävää rahallista hyötyä ylijäämästä myynnistä ei saada. Kyseisessä tapauksessa sähköyhtiö tarjoutui maksamaan ylijäämästä spot-hinnan mukaisen korvauksen, joka tarkoittaa käytännössä sähköpörssin raakaa markkinahintaa sähkölle alueittain. Spot-hinta vaihtelee tunneittain, mutta välityspalkkiota yhtiö ei veloita.

4.6 Takaisinmaksuaika

Säästöjen laskemista varten on selvitettävä sähkön hinta asiakkaalle, joka riippuu aina tehdystä sähkö Sopimuksesta. Kyseisessä tapauksessa kulutuksen mukana muuttuvaan sähkön hintaan kuuluu energiamaksu 6,06 snt/kWh, sähkön siirrosta tuleva energiamaksu 3,26 snt/kWh sekä energiaverro 2,79372 snt/kWh. Näiden lisäksi sähkön hintaan vaikuttaa myös arvonlisävero (24 %), jolloin sähkön hinta kilowattia kohden on:

$$\left(6,06 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + 3,26 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + 2,79372 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}}\right) * 1,24 = 15,02 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \approx 0,15 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \quad (6)$$

Säköenergian ja sähkönsiirron perusmaksuja ei oteta mukaan tarkasteluun, koska ne joudutaan maksamaan joka tapauksessa.

Vuosittainen säästö sähkölaskussa S_s voidaan laskea yhtälöllä 7. eri tarjouksille.

$$S_s = E_o * 0,15 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \quad (7)$$

Jossa S_s = vuosittainen säästö sähkölaskussa [€]

Investointi tuottaa myös rahaa ylijäämänsähkön myynnillä. Ylijäämänsähköstä saataviin tuottoihin on käytetty vuosien 2018 sekä 2019 tuntikohtaisia sähkön spot-hintoja (nordpool, 2020). Säästöt ylijäämänsähkön tuotannolla lasketaan yhtälöllä 8.

$$S_y = E_y * h_{SPOT} \quad (8)$$

Jossa S_y = ylijäämänsähköllä saatavat tuotot [€]
 h_{SPOT} = sähkön tunnitainen spot- hinta. [€/kWh]

Investoinnista koitua vuosittainen säästö kokonaisuudessaan lasketaan yhtälöllä 9.

$$S = S_s + S_y \quad (9)$$

Jossa S = Investoinnista saatavat vuotuiset säästöt [€]

Investoinnin koroton takaisinmaksuaika voidaan puolestaan selvittää, kun tiedetään investoinnista koituvat säästöt, sekä investoinnin suuruus. Koroton takaisinmaksuaika voidaan laskea yhtälöllä 10.

$$TMA = \frac{S}{I} \quad (10)$$

Jossa I = Investoinnin suuruus [€]
 TMA = Takaisinmaksuaika vuosissa [a]

4.7 Nykyarvo

Investoinnin kannattavuutta tarkastellaan myös laskemalla investoinnin nykyarvo. Positiivista nykyarvoa voidaan pitää merkinä kannattavasta sijoituksesta. Laskennassa investoinnista syntyvien säästöt tulevaisuudessa diskontataan nykyhetkeen ja vähennetään investoinnin määrästä.

Nykyarvon laskemista varten tulee päättää laskentakoron suuruus, sekä investoinnin pitoaika. Aurinkosähköjärjestelmien pitoaikana voidaan pitää n. 30 vuotta, jonka jälkeen paneelin teho on noin 82,5 % maksimista. Tehonalennus ei vaikuta suuresti tuotantoon, sillä erittäin aurinkoisia päiviä, jolloin paneeleista saataisiin maksimiteho ulos, ei juurikaan ole. Tämän takia vuosittain investoinnista syntyvät säästöt pidetään vakiona. Laskennassa on myös vertailtu laskentakoron vaikuttavuutta nykyarvoon laskemalla kannattavuutta useammalla laskentakorolla. Jäännösarvo jätetään laskuissa huomioimatta.

Tässä tapauksessa laskentakorko tarkoittaa käytännössä investoinnin tuottovaatimusta, koska investointia ei harkita tehtäväksi lainarahalla. Mikäli investointia varten otetaan laina, laskentakoron avulla voidaan tarkastella investoinnin kannattavuutta kyseisellä lainan korolla.

Vuosittaiset säästöt voidaan laskea yhtälön 9 avulla, jonka jälkeen nykyarvo lasketaan yhtälöllä 11.

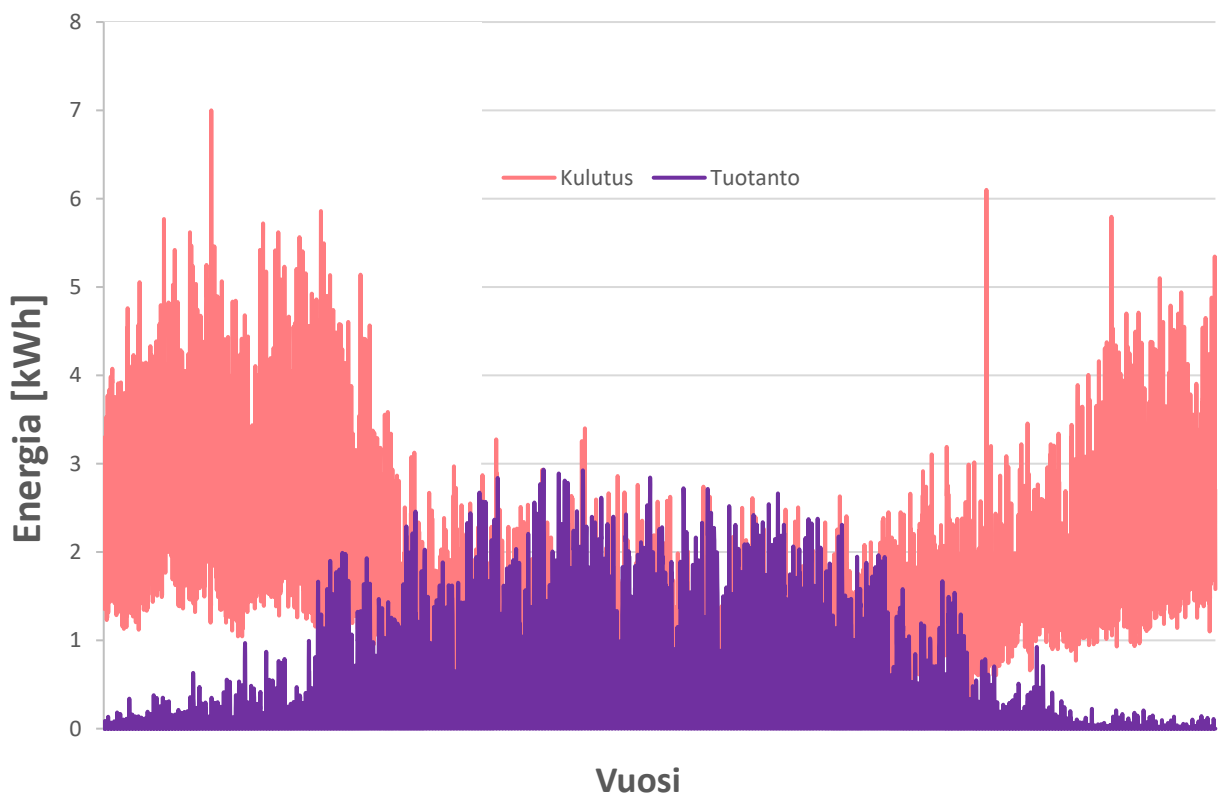
$$NA = \sum_{t=1}^{30} \frac{S}{(1+i)^t} - I \quad (11)$$

Jossa	NA	= nykyarvo	[€]
	t	= tarkasteltava vuosi	[-]
	i	= laskentakorko	[%]
	S	= investoinnista syntyneet säästöt vuodessa	[€]
	I	= investoinnin suuruus	[€]

5 TULOKSET

Työssä esitetyt laskelmat on tehty tuntikohtaisten tietojen perusteella, mutta tulosten yksinkertaistamiseksi osa tuloksista on esitetty kuukausikohtaisesti.

Vuosien 2015 ja 2016 auringonsäteilytietojen tuntikohtaisen keskiarvon perusteella laskettu aurinkosähkön tuotanto ja tuntikohtainen sähkönkulutus kohteessa on esitetty kuvassa 7. Kuvassa esiintyvä aurinkosähkön tuotanto on laskettu tarjouksen 3 järjestelmällä.



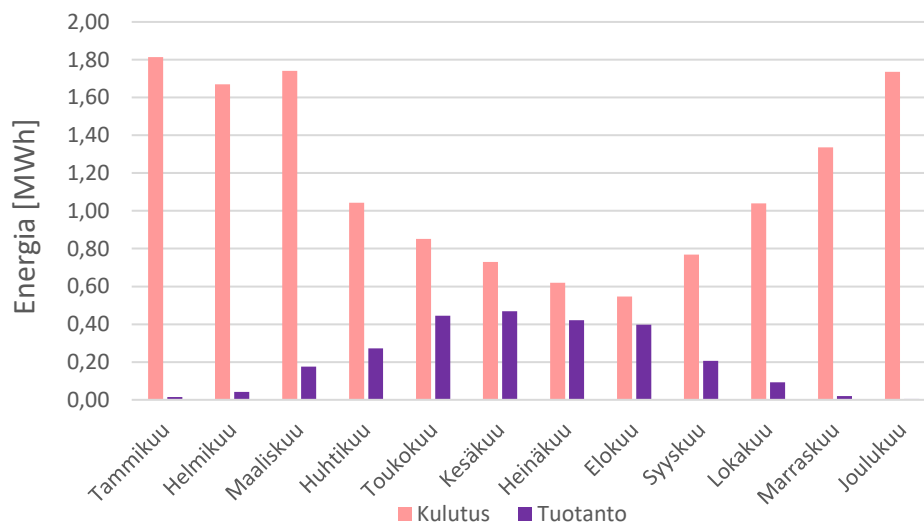
Kuva 7. Tuntikohtainen sähkön kulutus ja aurinkosähkön tuotanto vuoden aikana

Ensimmäinen tarjous koski 12 kappaletta 280 W_p nimellisteholtaan olevia monikidepaneeleita. Järjestelmän nimellisteho on 3,36 kW_p ja tarjoukseen kuuluu 5,5 kW_p invertteri. Investoinnin suuruus on 6700 euroa, josta kotitalousvähennyksen jälkeen maksettavaa jää 5740 euroa. Järjestelmälle suoritettujen tuotantoon liittyvien laskelmien tulokset ovat koottuna taulukkoon 2 kuukausikohtaisesti.

Taulukko 2. Tarjouksen 1 tuotannon laskelmat

Kuukausi	Kulutus MWh	Tuotanto MWh	Omakäyttö MWh	Verkkoon myytävä MWh	Omakäyttöaste %	Aurinkosähkön osuus %
Tammikuu	1,81	0,02	0,02	0,00	100 %	1 %
Helmikuu	1,67	0,04	0,04	0,00	100 %	3 %
Maaliskuu	1,74	0,18	0,17	0,00	98 %	10 %
Huhtikuu	1,04	0,27	0,24	0,03	88 %	23 %
Toukokuu	0,85	0,45	0,30	0,15	67 %	35 %
Kesäkuu	0,73	0,47	0,29	0,18	62 %	40 %
Heinäkuu	0,62	0,42	0,24	0,18	57 %	39 %
Elokuu	0,55	0,40	0,19	0,21	48 %	35 %
Syyskuu	0,77	0,21	0,15	0,05	74 %	20 %
Lokakuu	1,04	0,09	0,09	0,00	95 %	8 %
Marraskuu	1,34	0,02	0,02	0,00	100 %	1 %
Joulukuu	1,74	0,01	0,01	0,00	100 %	0 %
yhteensä	13,89	2,56	1,76	0,81	82 %	18 %

Sähkön kulutuksen suhdetta tuotettuun aurinkosähkön määrään kuukausittain on vertailtu kuvassa 8.

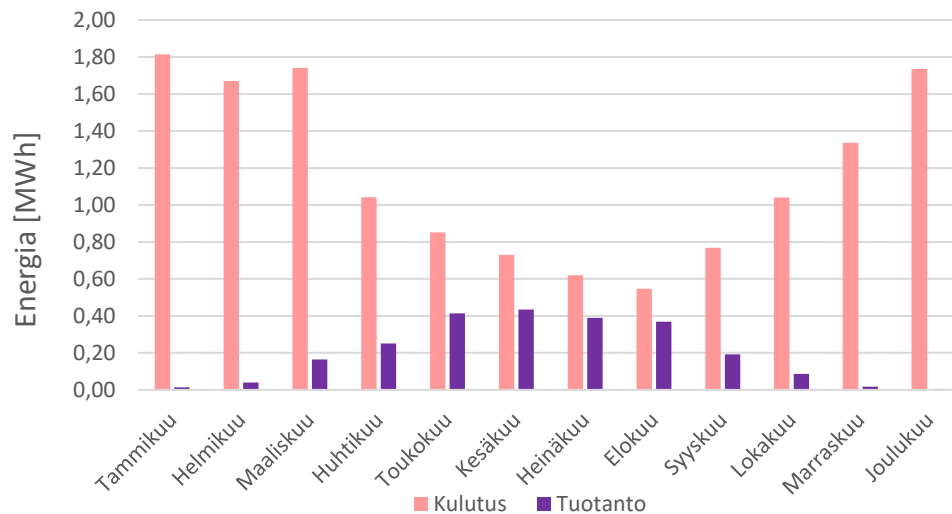
**Kuva 8.** Kulutuksen ja tuotannon vertailu kuukausittain

Toinen tarjous koski 10 kappaletta 305 W_p nimellisteholtaan olevia yksikidepaneeleita. Järjestelmän nimellisteho on 3,05 kW_p ja tarjoukseen kuuluu myös 5,5 kW_p invertteri. Investoinnin suuruus on noin 6181 euroa, josta kotitalousvähennyksen jälkeen investoinnin suuruudeksi jää noin 5316 euroa. Kyseiselle järjestelmälle suoritettujen tuotannon liittyvien laskelmien tulokset ovat koottuna taulukkoon 3.

Taulukko 3. Tarjouksen 2 tuotannon laskelmat

Kuukausi	Kulutus MWh	Tuotanto MWh	Omakäyttö MWh	Verkkoon myytävä MWh	Omakäyttöaste %	Aurinkosähkön osuus %
Tammikuu	1,81	0,01	0,01	0,00	100 %	1 %
Helmikuu	1,67	0,04	0,04	0,00	100 %	2 %
Maaliskuu	1,74	0,16	0,16	0,00	99 %	9 %
Huhtikuu	1,04	0,25	0,23	0,02	90 %	22 %
Toukokuu	0,85	0,41	0,29	0,13	70 %	34 %
Kesäkuu	0,73	0,43	0,28	0,15	65 %	38 %
Heinäkuu	0,62	0,39	0,23	0,16	59 %	37 %
Elokuu	0,55	0,37	0,19	0,18	51 %	34 %
Syyskuu	0,77	0,19	0,15	0,05	76 %	19 %
Lokakuu	1,04	0,09	0,08	0,00	96 %	8 %
Marraskuu	1,34	0,02	0,02	0,00	100 %	1 %
Joulukuu	1,74	0,01	0,01	0,00	100 %	0 %
yhteensä	13,89	2,38	1,68	0,70	84 %	17 %

Sähkön kulutuksen suhdetta tuotettuun aurinkosähkön määrään kuukausittain on vertailtu kuvassa 9.

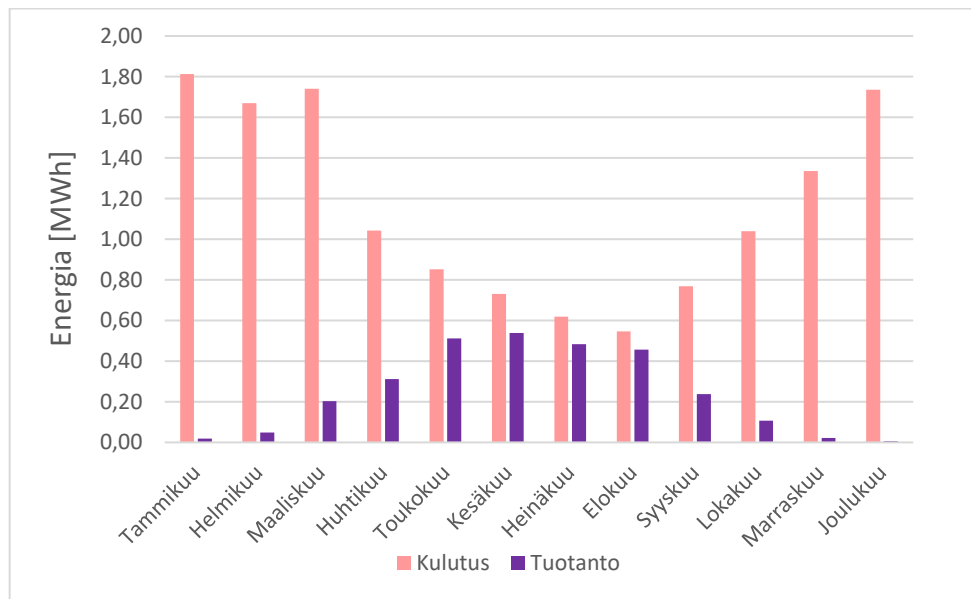
**Kuva 9.** Kulutuksen ja tuotannon vertailu kuukausittain.

Viimeinen tarjous koski 12 kappaletta 315 W_p nimellisteholtaan olevia yksikidepaneeleita. Järjestelmän nimellisteho on 3,78 kW_p ja tarjoukseen kuuluu mukaan 5,5 kW_p invertteri. Investoinnin suuruus kyseisessä tarjouksessa on 7180 euroa, josta kotitalousvähennyksen jälkeen maksettavaa jää 6220 euroa. Järjestelmälle suoritettujen tuotannon liittyvien laskelmien tulokset ovat koottuna taulukkoon 4.

Taulukko 4. Tarjouksen 3 tuotannon laskelmat

Kuukausi	Kulutus MWh	Tuotanto MWh	Omakäyttö MWh	Verkkoon myytävä MWh	Omakäyttöaste %	Aurinkosähkön osuus %
Tammikuu	1,81	0,02	0,02	0,00	100 %	1 %
Helmikuu	1,67	0,05	0,05	0,00	100 %	3 %
Maaliskuu	1,74	0,20	0,20	0,01	97 %	11 %
Huhtikuu	1,04	0,31	0,26	0,05	84 %	25 %
Toukokuu	0,85	0,51	0,32	0,20	62 %	37 %
Kesäkuu	0,73	0,54	0,31	0,23	57 %	42 %
Heinäkuu	0,62	0,48	0,25	0,23	52 %	41 %
Elokuu	0,55	0,46	0,20	0,26	44 %	37 %
Syyskuu	0,77	0,24	0,16	0,07	69 %	21 %
Lokakuu	1,04	0,11	0,10	0,01	92 %	9 %
Marraskuu	1,34	0,02	0,02	0,00	100 %	2 %
Joulukuu	1,74	0,01	0,01	0,00	100 %	0 %
yhteensä	13,89	2,95	1,89	1,05	80 %	19 %

Sähkön kulutuksen suhdetta tuotettuun aurinkosähkön määrään on vertailtu kuvassa 10.



Kuva 10. Kulutuksen ja tuotannon vertailu kuukausittain

Kustannuslaskelmissa ensimmäisenä tarkasteltiin korotonta takaisinmaksuaikaa, johon liittyvät laskelmien tulokset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Kustannuslaskelmat sekä koroton takaisinmaksuaika

Tarjous	1	2	3
Investoinnin suuruus [€]	6700	6181	7180
Kotitalousvähennys v.2020 [€]	960	865	960
Hinta kuluttajalle [€]	5740	5316	6220
Ss [€/a]	263,7	252,5	284,6
Sy [€/a]	42,8	37,0	55,4
S [€/a]	306,5	289,4	340,0
TMA [a]	18,7	18,4	18,3

Lisäksi aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta arvioitiin laskemalla investoinneille nykyarvot useammalla eri tuottovaatimuksella (laskentakorko). Investointien nykyarvot eri laskentakoroilla on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Nykyarvot eri laskentakorolla

	Nykyarvo [€]	Tarjous		
		1	2	3
Laskentakorko	3 %	268	357	444
	3,5 %	-103	8	33
	4 %	-440	-311	-341

5.1 Tulosten tarkastelu

Laskennassa käytettiin vuosien 2015 ja 2016 auringonsäteilytietoja, kun puolestaan sähkönkulutustiedot ja sähkön spot-hinnat olivat vuosilta 2018 ja 2019. Tämä aiheuttaa pientä virhettä tuloksiin, mutta laskelmien perusteella voidaan kuitenkin saada hyvä käsitys siitä, kuinka aurinkosähköjärjestelmä soveltuu kyseiseen kohteeseen.

Kuvasta 7 nähdään, että tuntikohtainen kulutuksen ja tuotannon vaihtelu on hyvin suurta. Tuotannon ja kulutuksen vaihtelua on hankalampi erottaa kuukausikohtaisista kuvista 8, 9 ja 10. Tuntikohtaisten omakäyttöasteiden kuukausittaiset keskiarvot taulukoissa 2, 3 ja 4 kuitenkin kertovat, että tuotettu aurinkosähkö saadaan melko hyvin käytettyä itse hyväksi.

Laskelmissa huomattiin, ettei näiden paneelien tehoilla ollut Suomessa suurta merkitystä tuotannon kannalta. Vuosien 2015 ja 2016 aikana ei ollut Suomessa yhtään niin aurinkoista päivää, että teho olisi tullut rajoittavaksi tekijäksi edes 280 W_p paneeleilla. Paneelien teho laskee kuitenkin käyttöiän mukana noin 0,5 % vuosittain ja ensimmäisenä vuonna 3 % ollen 82,5 % maksimitehosta 30 vuoden kohdalla käytön aloittamisesta (ZNShineSolar). Tehon laskun seurauksena käyttöiän lähestyessä loppuaan 280 W_p paneeleilla tuli 2015 ja 2016 vuosien tiedoissa vastaan vain muutama päivä, milloin teho olisi näillä paneeleilla rajoittava tekijä. Tämä ei kuitenkaan suuresti vaikuta lopputulokseen.

Tärkeimpänä muuttujana tuotannon kannalta voidaan nähdä paneelin hyötysuhde. Tuotannon erot syntyivät lähes kokonaan hyötysuhteen ja paneelien lukumäärien eroista tarjousten välillä, mutta useamman paneelin tarjoukset olivat puolestaan kalliimpia. Yksikidepaneeleilla on monikidepaneeleita korkeammat hyötysuhteet, jonka puolesta ne ovat houkuttelevampi vaihtoehto monikidepaneelille.

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa olisi hyvä ottaa huomioon se, että omakäyttöaste saataisiin mahdollisimman suureksi, sillä omaan käyttöön saatava sähkö tuo paremmat säästöt, kuin ylijäämäsiähkön myynti. Korkein omakäyttöaste saavutettiin 10 kappaleella 305 W_p yksikidepaneeleilla ja näillä ylijäämäsiähköä jouduttiin myymään vähiten verkkoon. Tämä johtuu lähinnä siitä, että muissa tarjouksissa paneeleita oli 2 kappaletta enemmän. Samasta syystä myös kulutetun aurinkosähkön määrä muuhun sähköön verrattuna oli kyseisellä tarjouksella pienempi, koska suurten kulutusten hetkillä kyseinen järjestelmä ei riittänyt aivan yhtä hyvin vastaamaan kulutukseen.

Maalämmön huomattiin parantavan omakäyttöastetta melko paljon, sillä se lisäsi passiivista sähkön kulutusta hetkinä, jolloin muuta sähkönkulutusta ei ollut. Kohteissa, joissa lämmitys hoituu esimerkiksi öljyllä tai kaukolämmöllä, aurinkosähköjärjestelmän omakäyttöaste on hankalampi saada korkeaksi ja näin myös investoinnista saatavat säästöt eivät ole yhtä suuret. Maalämmön sähkönkulutus on kuitenkin suurinta talvella, jolloin aurinkosähköä ei ole tarjolla, mistä syystä maalämpö lämmityskeinona ei merkittävästi muuttanut lopputulosta aurinkosähköjärjestelmän kannattavuudesta.

Kaikille tarjouksille takaisinmaksuajat olivat yli 18 vuotta, mikä tarkoittaa, että merkittäviä säästöjä näillä aurinkosähköjärjestelmillä ei saavuteta verrattuna investoinnin hintaan. Lyhimpään takaisinmaksu aikaan päästiin tarjouksella 3, mutta heittoa oli hyvin vähän. Järjestelmän käyttöiän ollessa 30 vuotta, takaisinmaksuaika kertoo kuitenkin, että pitkän ajan investointina aurinkosähköjärjestelmän hankkiminen voi olla viisas ratkaisu ottaen huomioon, että samalla pääsee mukaan tukemaan uusiutuvia energialähteitä ja hillitsemään ilmastonmuutosta.

Kaikkien järjestelmien omakäyttöasteet olivat erittäin hyvät. Tästä huolimatta investointi ei tuota merkittävää hyötyä kohteessa. Kyseisten aurinkosähköjärjestelmien tuotantoa heikentää esimerkiksi paneelien suuntaus itään päin, mikä pudottaa tuotettavaa aurinkosähkön määrää vuosittain merkittävästi. Myös paneelien kallistuskulma on loivempi, kuin suositeltu kallistuskulma Suomessa, joka pudottaa myös tuotannon määrää. Paneelien suuntaus ja kallistuskulma valikoituvat rakennuksen katon suuntauksen ja jyrkkyyden mukaan, jonka takia niihin on hankala vaikuttaa.

Investoinnin kannattavuutta tarkasteltiin myös nykyarvomenetelmällä, minkä mukaan investointi on kannattava, jos nykyarvoksi saadaan positiivinen arvo. Positiiviseen nykyarvoon tarjousten 2 ja 3 kanssa päästiin 3,5 % tuottovaatimuksella (laskentakorko). Kyseinen 3,5 % tuottovaatimus on kuitenkin erittäin vähän, mikä kertoo, että merkittävää rahallista voittoa investoinnilta ei kannata odottaa. Kolmannen tarjouksen tuottovaatimus voidaan asettaa muita tarjouksia hieman korkeammalle nykyarvon pysyessä vielä positiivisena, jolloin myös nykyarvomenetelmän mukaan kolmas tarjous olisi järkevin. Kolmannen tarjouksen investointi siis tuottaa saman verran voittoa 30 vuoden aikana, kuin kyseisen summan talletus noin 3,5 % koron omaavalle tilille. Invertterin käyttöiän ollessa 10-15 vuotta, jo yksi invertterin vaihto pudottaa investoinnista saatavia voittoja merkittävästi ja tekee investoinnista entistä kannattamattomamman.

6 YHTEENVETO

Kandidaatintyön tarkoituksena oli tarkastella useamman eri aurinkosähköjärjestelmän suorituskykyä ja kannattavuutta Mikkelissä sijaitsevassa omakotitalossa päätöksenteon tueksi, kannattaako aurinkosähköjärjestelmää ostaa kyseiseen kohteeseen. Ennakko-oletuksena oli, että kyseisessä kohteessa lämmitysjärjestelmänä toimiva maalämpö nostaa sähkönkulutuksen sille tasolle, että aurinkosähköjärjestelmä olisi kannattava lisäys kohteeseen.

Kandidaatintyön laskelmien perusteella voidaan todeta, ettei kohteelle pyydettyjen tarjous-ten järjestelmiin investoimalla saavuteta merkittävää rahallista voittoa. Investointi ei kuitenkaan pitkän ajan sijoituksena ole tappiollinen ja aurinkosähkö edistää nykyistä ilmastopoliitiikkaa, jolloin aurinkosähköjärjestelmään investointi on varteen otettava vaihtoehto, mikäli haluaa olla osana tukemassa ilmastotavoitteita.

Maalämmön nostaessa passiivista sähkönkulutusta aurinkopaneeleilla omaan käyttöön saatava sähkön määrä on korkeampi, kuin muiden lämmitysmuotojen kanssa. Suomen pimeät talvet kuitenkin syövät aurinkopaneelien potentiaalista niin ison osan pois, että järjestelmien hintojen pitäisi tulla vieläkin alaspäin tai sähkönhinnan nousta, jotta aurinkosähköjärjestelmän hankkimisesta tulisi selvästi kannattavaa.

Aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovat kuitenkin lähivuosina olleet jatkuvassa laskussa kehittyneiden tuotantomenetelmien, sekä valtion tukien seurauksena, josta syystä aurinkosähköjärjestelmästä voi lähivuosina tulla vielä varteenotettavampi vaihtoehto pienkiinteistöissä.

7 LÄHTEET

European Commission. Photovoltaic Geographical Information System. Solar radiation tool. [Online-tietokanta]. Saatavissa: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR

European Photovoltaic Industry Association. 2009. Photovoltaic energy Electricity From The Sun. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.3.2020]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/9179/Photovoltaic_Energy_Electricity_from_the_Sun_EPIA.pdf

IEA. 2011. Solar Energy Perspectives. IEA. Paris. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 17.4.2020]. Saatavissa: <https://www.iea.org/reports/solar-energy-perspectives>

Juvonen, J. Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo, Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöministeriö. Ympäristöopas. Helsinki. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.10.2020]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Kauranen, Joonas. 2012. Valosähköisten aurinkopaneeleiden hyötysuhteet. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, teknillinen tiedekunta, energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenranta. 16 s. [Viitattu 10.3.2018]. Saatavissa: https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/86886/Kandi_Joonas_Kauranen.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lindfors, Peter. 2017. Aurinkosähkövoimalaitosten kustannusrakenteet ja kehitystrendit. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. [Viitattu 10.3.2020]. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127274/Lindfors_Peter.pdf?sequence=1

Motiva. 2012. Lämpöä omasta maasta. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.11.2020]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumpu.pdf

Motiva. 2020. Aurinkopaneelien asentaminen. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 16.11.2020]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen

Motiva. 2020. Aurinkosähköteknologiat. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.11.2020]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

Nordpool. 2020. Day-ahead prices. [Online-tietokanta]. [Viitattu 20.8.2020]. Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/FI/Hourly/?view=table>

Peng, Z., Herfatmanesh, M. R., & Liu, Y. 2017. Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation. *Energy Conversion and Management*. Vol 150. Elsevier BV. p.949–955. ISSN: 0196-8904

Scanoffice. ZNShine Solar ZXM6-HLD120. [Verkkodokumentti]. Saatavissa PDF-muodossa: <https://www.scanoffice.fi/tuote/znshine-solar-zxm6-aurinkopaneelit/>

Suntekno. 2010. Paneelit. [verkkodokumentti]. [viitattu 5.3.2020] Saatavissa: <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>.

Swordlightning. 2019. Solar Panel Basics and Types Of Solar Panels Used In Flood Lights. [verkkodokumentti]. [viitattu 5.3.2020]. Saatavissa: <https://www.swordlightning.com/newsinfo/205480.html>

Vikman, Pekka. 2018. Aurinkovoimaloiden toiminta. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu, energia ja ympäristötekniikan koulutusohjelma. Vaasa. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/147418/Pekka_Vikman.pdf?sequence=1&isAllowed=y