Opinnäytetyö AMK

Energia- ja ympäristötekniikka

2019

Mikko Salminen

ESISELVITYS AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMISESTÄ

– Turun Seudun Vesi Oy

TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Energia-ja ympäristötekniikka

2019 | 31 sivua, 16 liitesivua

Mikko Salminen

ESISELVITYS AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMISESTÄ

- Turun Seudun Vesi Oy

Opinnäyteyön tarkoituksena oli suunnitella raakaveden esikäsittelylaitokselle aurinkovoimala, jonka avulla saataisiin kustannussäästöjä korvaamalla esikäsittelylaitoksella verkosta ostettua sähköä aurinkoenergialla. Työn tavoitteena oli selvittää aurinkovoimalan kannattavuutta ja löytää kustannustehokkain tapa mitoittaa kohteeseen soveltuva aurinkovoimala, jossa auringolla tuotettu energia kulutettaisiin enimmäkseen omassa käytössä. Työ tehtiin Turun Seudun Vesi Oy:lle.

Aurinkovoimalan mitoittamisessa hyödynnettiin simulointiohjelmistoa, jossa käytettiin esikäsittelylaitoksen vuoden 2018 sähkönkulutuksen tuntikohtaista dataa ja eri laitetoimittajilta saatuja budjettitarjouksia. Ohjelmistosta saatujen tulosten pohjalta laskettiin aurinkovoimalan vuosittaista tuottoarviota ja taloudellista kannattavuutta. Lisäksi työssä selvitettiin aurinkovoimalan hankintaan tarvittavia lupa-asioita kunnan rakennusvalvonnasta ja paikalliselta sähkönverkonhaltijalta.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin yritykselle kattava aineisto aurinkovoimalan kannattavuudesta, hankinnasta ja vaadittavista lupa-asioista. Tulosten perusteella yritys voi suunnitella investointipäätöstä aurinkovoimalasta.

ASIASANAT:

aurinkosähkö, aurinkoenergia, aurinkovoimala, aurinkopaneeli

BACHELOR´S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and Environmental Engineering

2019 | 31 pages, 16 pages in appendices

Mikko Salminen

PRELIMINARY REPORT ON UTILISING OF SOLAR ENERGY

- Turun Seudun Vesi Oy

The objective of this thesis was to plan a solar power plant for the raw water pretreatment facility, which would result in cost savings by replacing electricity purchased from the network with solar energy at a pre-treatment facility. The aim of this work was to analyze the profitability of the solar power plant and to find the most cost-efficient way to dimension the solar power plant which is suitable for a target and in which the energy that has been produced with the sun would be spent mostly on own use. The thesis was commissioned by Turun Seudun Vesi Oy.

The simulation software was used in the plan of the solar power plant, which used hourly data of the 2018 electricity consumption of the pre-treatment facility and the budget offers received from different equipment suppliers. Based on the results of the software, the annual yield estimate of the solar power plant and economic profitability were calculated. In addition, the license issues for the acquisition of a solar power plant were examined by discussing with the municipal building supervision and the local electricity grid operator.

As a result of the thesis, the company received comprehensive material on the profitability, acquisition and required permission of the solar power plant. Based on the results, the company can make an investment decision about the solar power plant.

KEYWORDS:

photovoltaic, solar panel, solar power, solar energy

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO **6**

1 JOHDANTO **7**

2 AURINKOSÄHKÖ **8**

2.1 Aurinkoenergia Suomessa 8

2.2 Aurinkopaneelit 10

2.3 Aurinkopaneelin toimintaperiaate 12

2.4 Aurinkopaneelien teknisiä ominaisuuksia 13

2.5 Aurinkosähköjärjestelmät 15

2.6 Aurinkosähköjärjestelmien kustannukset 17

3 AURINKOSÄHKÖN HYÖDYNTÄMINEN ESIKÄSITTELYLAITOKSELLA **19**

3.1 Hankintaprosessi 21

3.2 Aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen 22

3.3 Simulointiohjelmisto 23

3.4 Energian kulutus 24

3.5 Ilmoitukset ja luvat 25

3.6 Energiatuki 26

4 TULOKSET **27**

4.1 Järjestelmän tuotto 27

4.2 Tarjouspyynnöt 29

4.3 Takaisinmaksuaika ja nettonykyarvo 29

5 YHTEENVETO **31**

LÄHTEET **32**

LIITTEET

Liite 1. Budjettitarjous 1.
Liite 2. Budjettitarjous 2.
Liite 3. Yhteenveto budjettitarjouksista.

KUVAT

Kuva 1. Auringon säteilymäärät Suomessa (Institute for Energy and Transport 2016). 9
Kuva 2. Kallistuskulman määritelmä (Tahkokorpi 2016, 16). 10
Kuva 3. Aurinkopaneelien rakenne (Erat ym. 2008, 135). 11
Kuva 4. Yksi- ja monikidekenno sekä ohutkalvopaneeli (Suntekno 2015). 12
Kuva 5. Aurinkokennon rakenne ja toimintaperiaate (Ahjo energia 2019). 13
Kuva 6. 50 W_p aurinkopaneelin ominaiskäyrä (Suntekno 2015). 14
Kuva 7. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä (Motiva 2018b). 16
Kuva 8. Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä (Motiva 2018b). 16
Kuva 9. Aurinkosähköjärjestelmän hintarakenne (Motiva 2017a). 17
Kuva 10. Aurinkosähkövoimaloiden hintakehitys vuosina 2009-2014 (Tahkokorpi 2016, 189). 18
Kuva 11. Veden matka Kokemäenjoelta Turun seudulle (TSV 2019). 20
Kuva 12. Sähkön hinnan muodostuminen esikäsittelylaitoksella. 21
Kuva 13. Aurinkovoimalan EPC-tyyppinen hankintamalli (IFC 2015). 22
Kuva 14. Aurinkopaneelien suunniteltu asennuspaikka. 23
Kuva 15. Esikäsittelylaitoksen sähkönkulutus vuonna 2018. 24
Kuva 16. Esikäsittelylaitoksen vuorokauden sähkönkulutus satunnaisena päivänä. 25
Kuva 17. 500 kWp:n aurinkovoimalan arvioitu vuosituotto. 28
Kuva 18. 850 kWp:n aurinkovoimalan arvioitu vuosituotto. 29
Kuva 19. Aurinkovoimalan investoinnin takaisinmaksuaika ja nettonykyarvo. 30

TAULUKOT

Taulukko 1. Eri kallistuskulmien vaikutus vuosituotantoon (Käpylehto 2016, 121). 10

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys
Invertteri	Laite, joka muuttaa tasavirran vaihtovirraksi
kW	Kilowatti
kWh	Kilowattitunti
MW	Megawatti
MWh	Megawattitunti
W_p	Aurinkokennon huipputeho standardiolosuhteissa
EKL	Esikäsittelylaitos
EPC	Engineering, Procurement, Construction

1 JOHDANTO

Aurinkoenergia on uusiutuvaa ja fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna puhdasta energiaa. Uusiutuvan energian lisääminen on tarpeellista esimerkiksi ilmastonmuutoksen ehkäisimeksi sekä estämään vesien ja maaperän happamoitumista. Sähkön hinnan noustessa ja fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiseksi aurinkoenergia onkin erittäin varteenotettava vaihtoehto energian tuottamisessa.

Aurinkoenergian markkinat ovat kasvaneet viimeisten kymmenien vuosien aikana maailmalla voimakkaasti uuden teknologian ja erilaisten sovellusten kehittymisen myötä. Kehitystyön seurauksena aurinkoenergian tuotantokustannukset ovat laskeneet vuosi vuodelta ja parantaneet aurinkoenergian kannattavuutta entisestään.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä esiselvitys aurinkoenergian hyödyntämisestä raakaveden esikäsittelylaitoksessa. Työn toimeksiantaja on Turun Seudun Vesi Oy, joka on yhdeksän Turun seudun kunnan omistama tukkuvesiyhtiö. Se omistaa ja hallitsee osakkaiden yhteistä vedenhankintajärjestelmää, joka koostuu Virttaa–Littoinen-järjestelmästä sekä Virttaankankaan tekopohjavesijärjestelmästä.

Opinnäytetyössä suunnitellaan kohteeseen sopivaa aurinkovoimalaa energian kulutuksen ja käytettävissä olevan tontin pinta-alan mukaan. Suunnittelussa on käytetty simulointiohjelmistoa, jonka avulla on laskettu taloudellista kannattavuutta ja arvioitu aurinkovoimalan vuosittaista tuottoarviota. Lisäksi opinnäytetyössä pyydetään suunniteltuun aurinkovoimalaan budjettitarjouksia eri yrityksiltä, selvitetään aurinkovoimalaan vaadittuja lupa-asioita ja mahdollisuutta energiatuen saamisesta hankkeeseen.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia esikäsittelylaitoksella ja laskea taloudellista kannattavuutta. Aurinkovoimalan oman tuotannon avulla saadaan kustannustehokuutta pienentämällä verkosta ostetun energian määrää. Opinnäytetyön tulosten pohjalta yritys tekee investointipäätöksen aurinkovoimalasta.

2 AURINKOSÄHKÖ

Aurinkosähkö tarjoaa lukuisia mahdollisuuksia sähköistää erilaisia kohteita, kuten esimerkiksi kesämökkejä, kauppakeskuksia tai teollisuudenkiinteistöjä. Aurinkopaneeleja ja -keräimiä hyödynnetään pelkän energiantuotannon lisäksi nykyisin myös rakennusten julkisivu- ja katemateriaaleina. Aurinkosähkö onkin tällä hetkellä nopeimmin kasvava sähköntuotantomuoto maailmalla ja yksi mahdollinen ratkaisu maailman energiahuollon turvaamiseksi kestävällä tavalla. Aurinkosähkön hyödyntämisen lähtökohtana on energian kulutuksen ja tuoton kohtaaminen. (Tahkokorpi 2016, 135–137.)

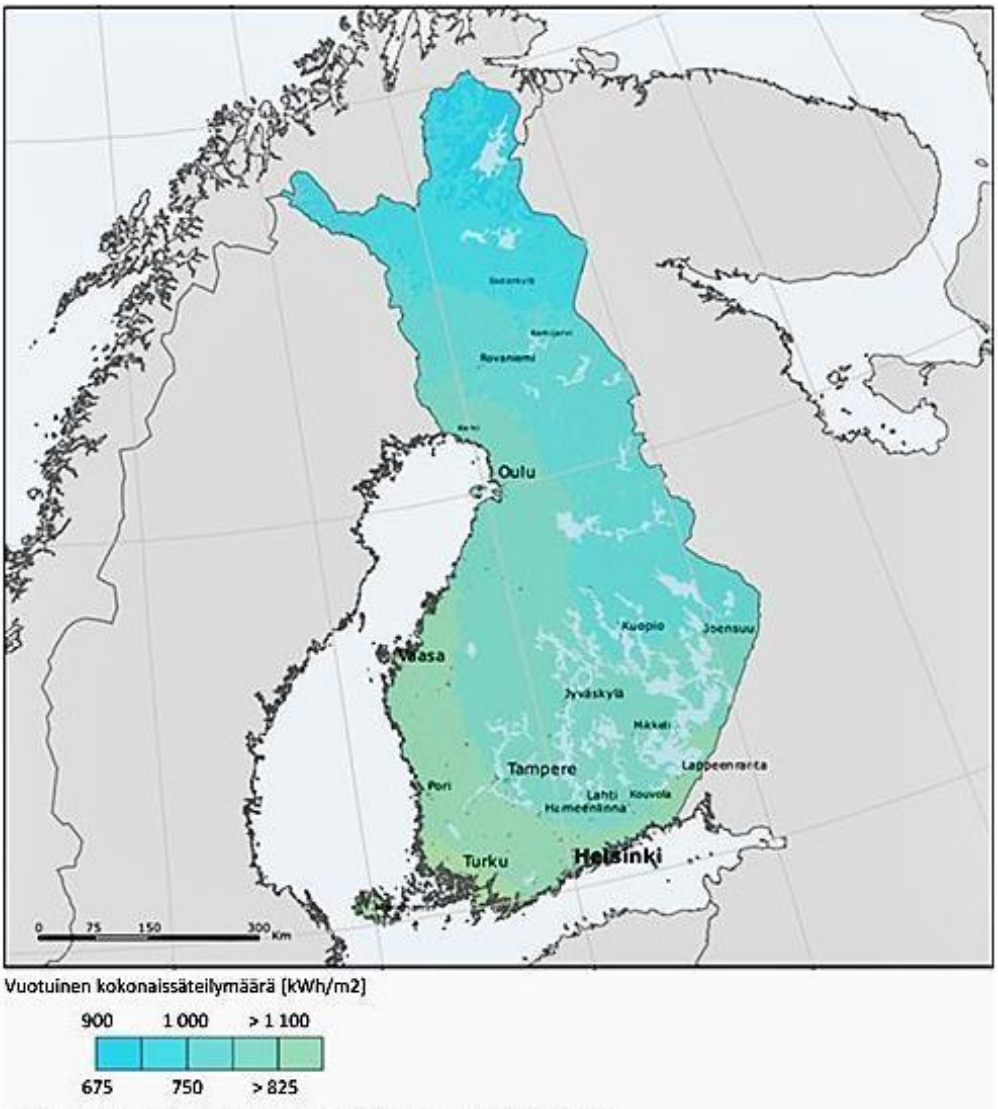
Aurinkosähkön etuja perinteisiin voimantuotanto tapoihin ovat ympäristöystävällisyys, yksinkertaisuus ja asennuksen helppous, luotettavuus ja vähäinen huollon tarve, pitkäikäisyys sekä järjestelmien helppo laajennettavuus. Huonoja puolina on tuotannon suuri vuodenaikaisvaihtelu Suomessa. (Vattenfall 2018.)

2.1 Aurinkoenergia Suomessa

Auringon kokonaissäteily muodostuu auringosta suoraan tulevasta säteilystä ja hajasäteilystä. Hajasäteilyn osuus kokonaissäteilyssä on Etelä-Suomessa noin puolet ja pilvisinä päivinä jopa 80 %, joka on huomattava verrattuna lähempänä päiväntasaajaa sijaitseviin maihin. Tällä ei kuitenkaan ole suurta merkitystä aurinkopaneelien tuottaman energian kannalta. (Motiva 2018a.)

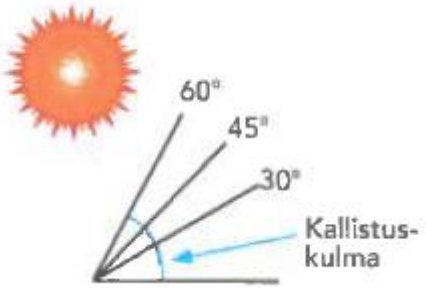
Auringonsäteilyn teho ja auringonpaisteen määrä vaihtelevat sään vaihtelujen ja maapallon liikkeiden mukaan. Pohjoisena maana Suomessa auringonsäteily jakautuu vuositasolla melko epätasaisesti. Suomessa säteily on suurimmillaan kesäkuukausina, joten tuotanto vaihtelee merkittävästi vuodenaikojen mukaan. Pitkät kesäpäivät sekä alkuvuoden kylmät ja aurinkoiset päivät lisäävät tuotantoa. Tyypillistä on se, että aurinko paistaa Suomessa suhteellisen alhaalla, joten ympäristön varjostuksista on suurempi haitta. (Tahkokorpi 2016, 26–30.)

Kuvassa 1 on kuvattu auringonsäteilyn määrää Suomessa optimaalisesti kallistetuille pinnoille yhden vuoden aikana. Etelä-Suomessa auringonsäteily vaakatasolla on vuositasolla noin 1100 kWh/m^2 ja Pohjois-Suomessa noin 800 kWh/m^2.



Kuva 1. Auringon säteilymäärät Suomessa (Institute for Energy and Transport 2016).

Suomessa optimaalisin paneelien kallistuskulma vaakatasoon nähden on 30–60 astetta, riippuen vuodenajasta. Kuvassa 2 on kuvattu kallistuskulman määritelmä. Kesällä parhaan sähköntuotannon antaa 30 astetta, kun taas talviaikaan se on 75–90 astetta. Jos painotetaan koko vuoden tuottoa, paras kallistuskulma on Etelä-Suomessa noin 40 astetta. (Aurinkosähköä kotiin 2019.)



Kuva 2. Kallistuskulman määritelmä (Tahkokorpi 2016, 16).

Aurinkopaneeleiden suuntaus vaikuttaa merkittävästi sähköntuotantoon. Yleensä aurinkopaneelit tulisi suunnata kohti etelää parhaan vuosituoton saavuttamiseksi. Järjestelmä voidaan suunnata myös länteen tai itään, mutta tällöin energiantuotto jää huomattavasti pienemmäksi. Aurinkopaneelit sijoitetaan paikkaan, johon tulee eniten auringonvaloa ja samalla varmistetaan, etteivät paneelit jää minkään lähellä olevan esteen varjoon. Varjot vähentävät merkittävästi paneelien tuottoa. Suuntauksen ohella tuottoon vaikuttavat muun muassa paneeleiden tuulettuvuus ja sijoituspaikan kuumuus, mahdollinen heijastuksien antama lisäsäteily ja asennuspaikan etäisyys sähkön käyttöpaikasta. (Tahkokorpi 2016, 179–181.)

Taulukossa 1 on esitetty nimellisteholtaan yhden kilowatin aurinkosähköjärjestelmän vuosituotanto eri puolilla Suomea erilaisilla kallistuskulmilla, missä paneelisto on suunnattu kohti etelää.

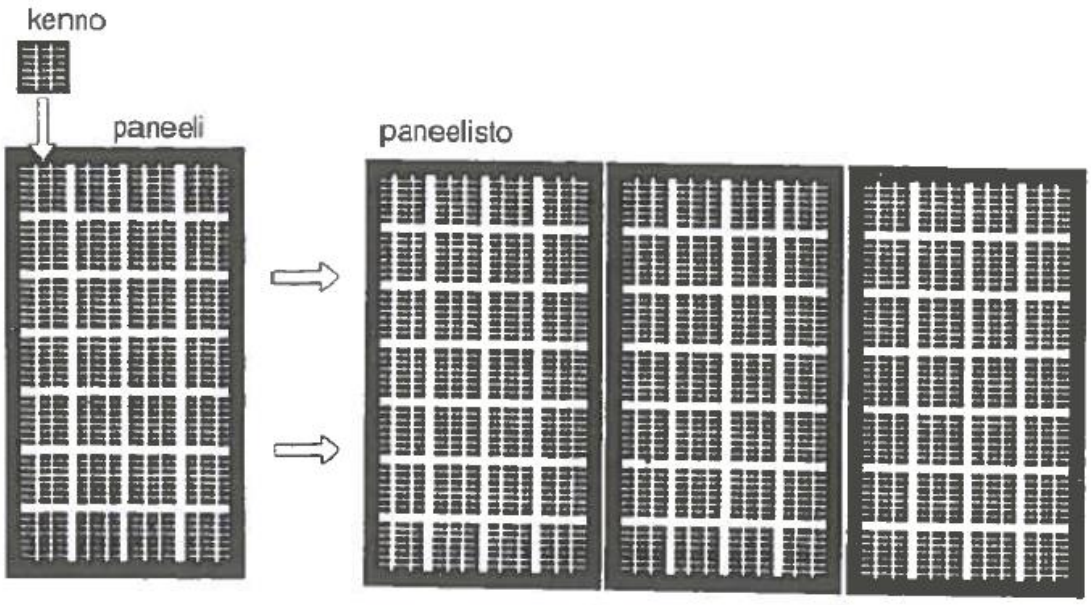
Taulukko 1. Eri kallistuskulmien vaikutus vuosituotantoon (Käpylehto 2016, 121).

	15 astetta	35 astetta	60 astetta	Optimikulma	Tuotanto optimikulmassa
Helsinki	811 kWh	869 kWh	837 kWh	40°	872 kWh
Jyväskylä	754 kWh	816 kWh	793 kWh	42°	821 kWh
Rovaniemi	709 kWh	790 kWh	790 kWh	47°	802 kWh

2.2 Aurinkopaneelit

Aurinkokennon tehtävänä on muuttaa auringonsäteily sähköenergiaksi. Tuotetun sähkön määrä siis vaihtelee radikaalisti sen mukaan, kuinka paljon aurinko säteilee paneeleihin. Aurinkopaneelit koostuvat sarjaan kytketyistä aurinkokennoista, ja yhdistämällä useita

aurinkopaneeleita sarjaan tai rinnan, muodostuu aurinkopaneelisto. (Erat ym. 2008, 134.) Kuvassa 3 on havainnollistettu paneelistojen koostumista.

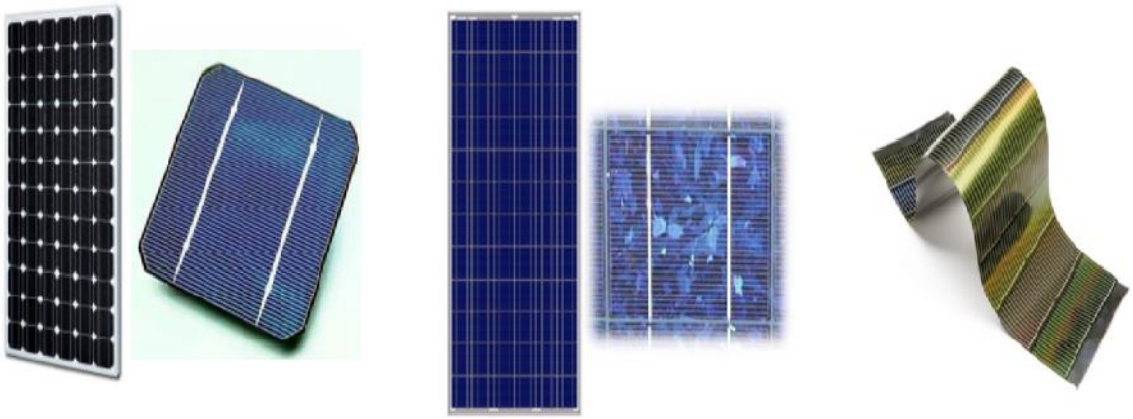


Kuva 3. Aurinkopaneelien rakenne (Erat ym. 2008, 135).

Aurinkopaneelit valmistetaan yleisimmin yksikiteisestä tai monikiteisestä piistä. Kuvassa 4 on esitetty kyseiset paneelit. Yksikidepaneeli valmistetaan puhdistamalla ja jalostamalla luonnossa esiintyvä piitä. Piikide kasvatetaan tankomuotoon, joka sahataan 0,35–0,45 mm:n paksuiksi kennoiksi. Monikiteiset kennot valmistetaan valamalla, jolloin niihin muodostuu selvästi havaittava kiderakenne. Yksi- ja monikiteisen piin erona onkin niiden kiderakenteessa. Atomien paikka monikiteisessä kennossa on jonkin verran epämääräisempi kuin yksikiteisessä. Teknisessä käyttöiässä ei kennoilla kuitenkaan ole merkittävää eroa, vaan se on useita kymmeniä vuosia molemmilla. Piikiteiden olomuodon pysyvyyden ansiosta aurinkopaneelit ovat huoltovapaita ja säilyttävät erinomaisesti tehokkuutensa vuosien saatossa. (Erat ym. 2008, 132–134.)

Ohutkalvoisten paneelien valmistuksessa käytetään yleisimmin kadmium telluridia (CdTe), kupari-indium-gallium-diselenida (CIGS) ja amorfista piitä (a-Si). Ohutkalvokennot valmistetaan erittäin ohuesta kalvosta, jonka päälle asennetaan puolijohdemateriaalia. Ohutkalvokennoista valmistetut paneelit ovat erittäin joustavia, ja ne toimivat hyvin heikoissakin valaistusolosuhteissa. Ohutkalvoteknologian etuina ovat niiden yksinkertainen valmistus ja edulliset valmistusmateriaalit. Niiden tekninen käyttöikä ja hyötysuhde ovat kuitenkin huomattavasti alhaisempia verrattuna kiteisistä valmistettuihin paneeleihin

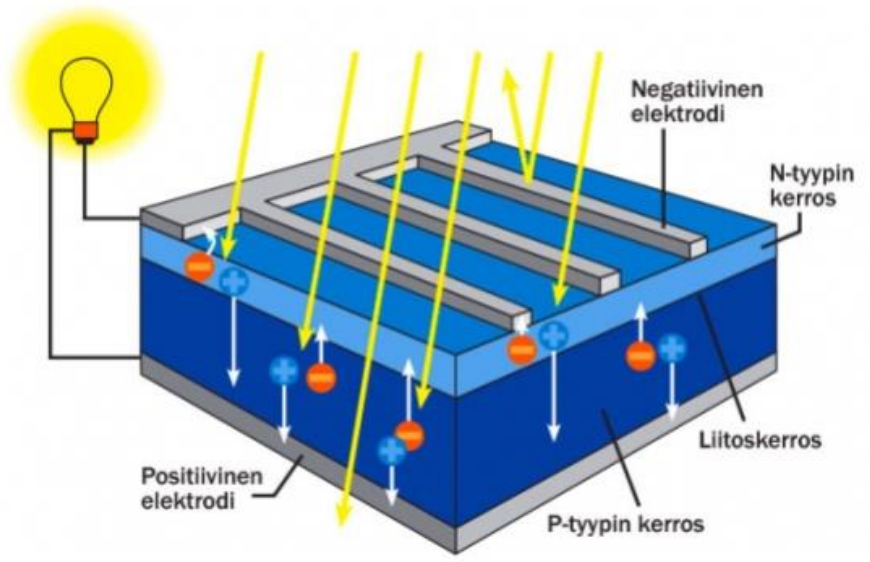
(Motiva 2017b). Noin 90 % tarjolla olevista aurinkopaneeleista on piikidekennoja, joiden teoreettinen hyötysuhde on noin 30 %. Loput noin 10 % valmistetuista aurinkopaneeleista on ohutkalvotekniikkaan perustuvia kennoja. (Suntekno 2015.)



Kuva 4. Yksi- ja monikidekenno sekä ohutkalvopaneeli (Suntekno 2015).

2.3 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Aurinkokennon rakenne ja toimintaperiaate mahdollistavat auringon valon muuttamisen suoraksi sähkövirraksi. Aurinkokenno on teoriassa kuin suuri fotodiodi, jossa auringon valo muuttuu suoraksi sähköksi. Kuvassa 5 on esitetty aurinkokennon toimintaa ja rakennetta. Säteilyn fotonien energia irrottaa aurinkokennon puolijohdemateriaalin elektroneja, mistä muodostuu elektroni-aukkopareja. Näihin vaikuttavat kennon P- ja N-kerrosten sisäinen sähkökenttä, jolloin elektronit menevät kennon negatiiviselle elektrodille ja aukot vastaavasti positiiviselle. Kuorma kytketään johtimilla elektrodien välille, jolloin syntyy virtapiiri, mistä elektronit kulkeutuvat muodostaen sähkövirtaa. Aurinkokennon rakenne on kemiallisesti hyvin stabiili, eikä siinä ole liikkuvia osia. Tästä johtuen aurinkopaneeleilla on verrattain pitkä tekninen käyttöikä. (Ahjo energia 2019.)



Kuva 5. Aurinkokennon rakenne ja toimintaperiaate (Ahjo energia 2019).

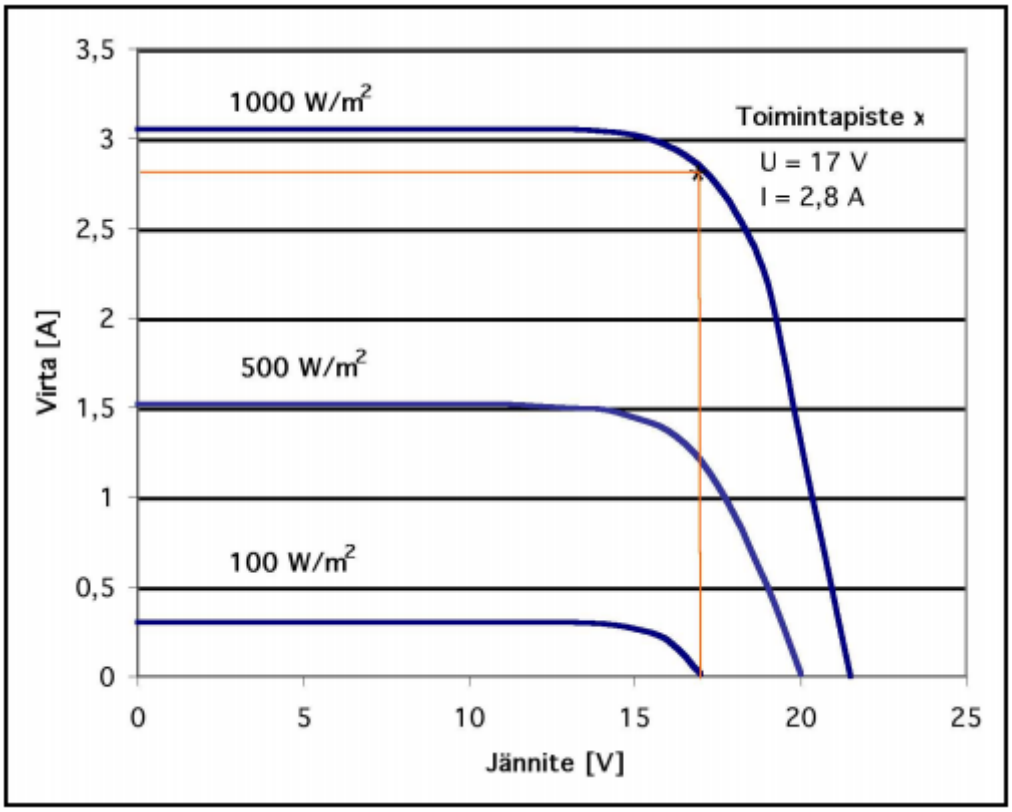
Aurinkokennon koko on tyypillisesti noin 15 cm x 15 cm ja paksuus 0,15–0,2 mm. Yksittäisen aurinkokennon tuottama jännite on noin 0,5–0,6 volttia. Kytkemällä useita kennoja sarjaan paneeleiksi, on mahdollista saada haluttu jännite käyttötarvetta vastaavaksi. Aurinkokennosta saatavaan tehoon vaikuttavat säteilyteho ja kennon pinta-ala. Aurinkokennolle ominaista on, että valaistusintensiteetin muuttuessa virran ja jännitteen suhde ei pysy samanlaisena. (Käpylehto 2016, 63–64.)

2.4 Aurinkopaneelien teknisiä ominaisuuksia

Aurinkosähköpaneelin ominaiskäyrä kuvaa, millä jännitteen ja virran suhteella paneelia pitää kuormittaa, jotta siitä saadaan suurin mahdollinen teho. Tärkeä piste ominaiskäyrällä on maksimitehopiste (MPP). Tästä pisteestä saadaan selville paneelin virran ja jännitteen arvot, jolla saavutetaan suurin ulostuloteho käyttöolosuhteista riippuen. Oikosulkuvirta on paneelin suurin tuottama virta, kun paneelin navat on kytketty oikosulkuun. Tyhjäkäyntijännite puolestaan ilmoittaa paneelin jännitteen silloin, kun kuormaa ei ole kytketty. Aurinkopaneeliin kytketty kuorma määrittää paneelin jännitteen, jota vastaavaan pisteeseen virta suuntautuu kulloistakin lämpötilaa ja säteilyä vastaavalla ominaiskäyrällä. (Suntekno 2015.)

Kuvassa 6 on kuvattu 50 W_p aurinkopaneelin ominaiskäyrä eri auringonsäteilyn voimakkuuksilla. Kuvasta on havaittavissa, kuinka paneelin tuottama virta pienenee suorassa

suhteessa auringonsäteilyyn verrattuna. Maksimitehopiste on esitetty keltaisilla viivoilla, jossa virtakäyrä on alkanut laskea.



Kuva 6. 50 W_p aurinkopaneelin ominaiskäyrä (Suntekno 2015).

Paneelien nimellisteho ilmoitetaan piikkiwatteina (W_p), joka kertoo paneelien tehon standarditestiolosuhteissa (STC). Standardiolosuhteissa paneeleita voidaan verrata keskenään esimerkiksi laadullisesti ja teknisiltä tasoiltaan. Suomessa tämänkaltaiset olosuhteet voivat esiintyä kirkkaana ja kylmänä kevät- tai syyspäivänä. Standarditestilolosuhteet on määritelty seuraavanlaisesti (Suntekno 2015):

- Auringon säteily 1000 W/m^2
- Paneelin lämpötila 25 °C
- Ilmamassa 1.5

Aurinkopaneelien hyötysuhde tarkoittaa sitä osuutta auringon säteilyenergiasta, joka voidaan muuttaa sähköksi. Tavallisempien kiteisestä piistä valmistettujen paneeleiden hyötysuhde on 14–18 prosenttia. Paneelien hyötysuhteeseen vaikuttaa muun muassa paneelien mekaaninen rakenne sekä kennojen ja etulasin laatu. (Käpylehto 2016, 57–60.)

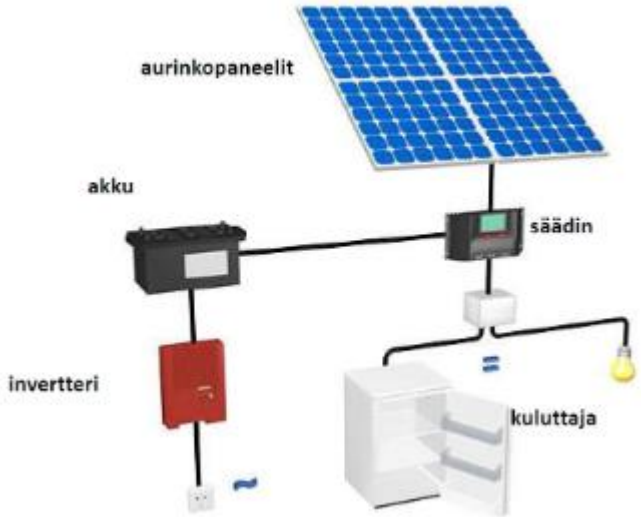
2.5 Aurinkosähköjärjestelmät

Aurinkosähköjärjestelmiä on mahdollista kytkeä suoraan verkkoon (on-grid) tai sähköverkon ulkopuolelle (off-grid), joista yleisempi hyödyntämistapa on maailmanlaajuisesti verkkoon kytketyt järjestelmät. Kohteen käyttökohde kuitenkin määrittää, kumpi tapa on järkevämpi toteuttaa. Aurinkosähköjärjestelmän keskeisimpiä osia ovat aurinkopaneelit, vaihtosuuntaaja, turvakytkin sekä kaapelit. Kuvassa 7 on esitetty verkkoon kytketyn järjestelmän periaate. (Motiva 2017b.)

Suurimpana erona näiden järjestelmien välillä on off-grid-järjestelmän vaativat akut, joihin sähköenergia varastoidaan. Verkkoon liitetyissä järjestelmissä sähkön varastointi ei ole tarpeellista, sillä aikana, jolloin aurinkopaneelit eivät tuota sähköä, tarvittava energia saadaan otettua sähköverkosta. Toiminnaltaan järjestelmät ovat pääpiirteittäin samanlaisia. Sähköverkon piirissä olevassa kohteessa (omakotitalot, liikehuoneistot) yleisin kytkentätapa on käyttää vaihtosuuntaajaa eli invertteriä. Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa, joka muutetaan invertterin avulla vaihtovirraksi. Paikallinen kulutus hyödyntää reaaliaikaisesti kaiken aurinkopaneelistossa tuotetun energian. Tilanteessa, jossa tuotettu energia on suurempi kuin kulutus, tuotantoa voidaan siirtää sähköverkkoyhtiölle ja siitä on mahdollista saada sopimuksen mukaista korvausta. Vastaavasti verkosta otetaan tarvittava teho, kun aurinko ei paista. Keskeisintä on, että tuotannosta käytetään itse mahdollisimman suuri osa ja näin vähennetään ostosähkön tarvetta (Käpylehto 2016, 70–75).

Kuva 7. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä (Motiva 2018b).

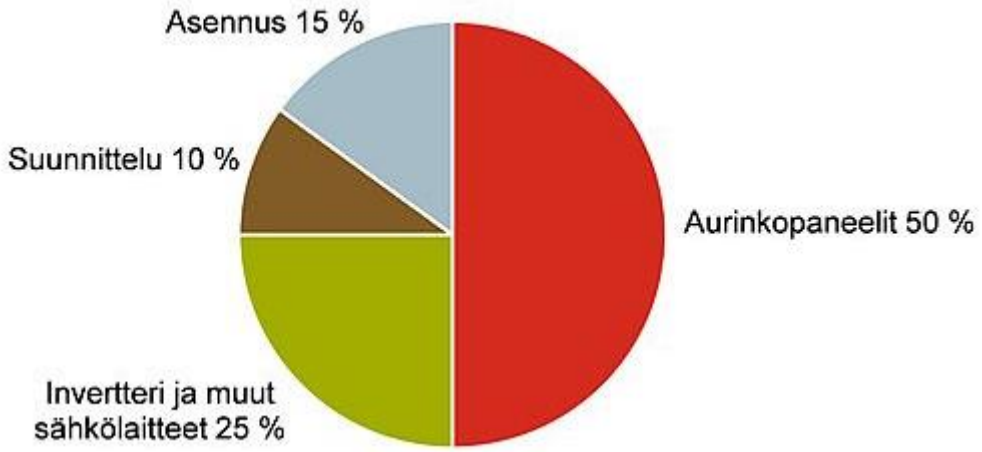
Sähköverkon ulkopuolelle kytkettäviä kohteita ovat esimerkiksi kesämökit, joissa ei ole sähköverkkoa. Kuvassa 8 on kuvattu verkkoon kytkemättömän järjestelmän komponentteja. Näissä kytkennöissä tarvitaan akkuja, joihin aurinkopaneeleilla tuotettu energia varastoidaan myöhempään käyttöön ja joista kuorma saa jatkuvasti tarvitsemansa energian. Lisäksi järjestelmään kuuluu lataussäädin, joka asennetaan aurinkopaneelien ja akuston väliin. Säätimellä säädetään aurinkopaneelien ulostulojännite toimimaan maksimitehopisteessä, jolloin aurinkopaneelit tuottavat sähköä mahdollisimman suurella hyötysuhteella. Se myös suojaa akkua ylilatautumiselta rajoittamalla latausvirtaa. (Tahkokorpi 2016, 164–167.)



Kuva 8. Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä (Motiva 2018b).

2.6 Aurinkosähköjärjestelmien kustannukset

Aurinkosähköjärjestelmien kehitys on ollut nopeaa ja hinnat ovat laskeneet vuosittain voimakkaasti. Hintojen laskuun vaikuttavia tekijöitä ovat vaikuttaneet muun muassa uudet tuotantomenetelmät, markkinoiden kasvu sekä suuremmat tuotantovolyymit. Merkittävin tekijä on kuitenkin ollut aurinkopaneelien hintojen lasku, joissa hinta on laskenut kuluvan vuosikymmenen aikana yli 80 prosenttia. (Motiva 2017a.) Kuvassa 9 on esitetty, miten aurinkosähköjärjestelmien kulut jakautuvat. Aurinkopaneelien osuus asennuksesta on noin puolet.



Kuva 9. Aurinkosähköjärjestelmän hintarakenne (Motiva 2017a).

Aurinkovoimaloiden hintaerot johtuvat monista eri tekijöistä, kuten esimerkiksi järjestelmän koosta, komponenttien laadusta, alustasta johon paneelit asennetaan sekä asennustyöstä. Suurempi järjestelmä on kuitenkin yksikkökustannuksiltaan halvempi kuin pieni järjestelmä. (Tahkokorpi 2016, 187–189.)

Kuvassa 10 on kuvattu aurinkosähköpaneelin ja systeemin nimellishinnan (€/W_p) hintakehitystä Saksassa. Hinnat ovat laskeneet merkittävästi tällä vuosituhannella, ja koska hintakehitys on edelleen laskeva, on odotettavissa, että aurinkosähkön kilpailukyky energiamarkkinoilla paranee entisestään. Sähkön hinnan kehitystä on vaikea arvioida, mutta viimeisen 10 vuoden aikana kokonaishinta on noussut muutaman prosentin vuodessa. Korotukset ovat lisänneet aurinkopaneelistojen kysyntää. (Tahkokorpi 2016, 190–191.)

Kuva 10. Aurinkosähkövoimaloiden hintakehitys vuosina 2009-2014 (Tahkokorpi 2016, 189).

3 AURINKOSÄHKÖN HYÖDYNTÄMINEN ESIKÄSITTELYLAITOKSELLA

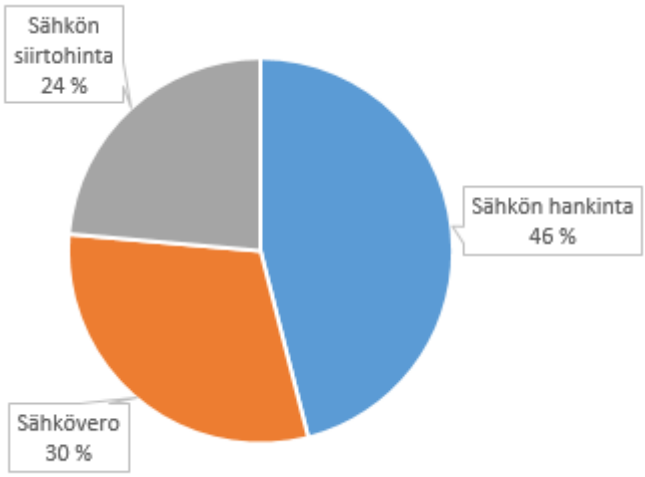
Työn tarkoituksena on selvittää Turun Seudun Veden esikäsittelylaitoksen verkkoon kytkettävän aurinkovoimalan kannattavuutta. Lähtökohtaisesti aurinkovoimalan asentaminen on taloudellisesti järkevää laitoksen suuren sähkönkulutuksen takia, koska lähes kaikki tuotettu energia saadaan heti omaan käyttöön ja näin vältytään sähkön myymiseltä verkkoon. Taloudellisen säästön lisäksi oma aurinkovoimala tuo yritykselle myös imagollista näkyvyyttä.

Kuvassa 11 on kuvattu Turun Seudun Veden tekopohjavesijärjestelmän eri kohteet ja tärkeimmät toimenpiteet. Ensimmäiseksi prosessissa raakavesi otetaan Kokemäenjoesta, jonka jälkeen se pumpataan esikäsittelylaitokseen. Esikäsittelyssä raakavesi siivilöidään, saostetaan ja poistetaan kiintoaine sekä osa humuksesta. Esikäsitelty vesi kerätään puhdasvesialtaisiin, joista vesi pumpataan tekopohjavesilaitokselle Virttaankankaalle, missä vesi imeytetään. Harjuun imeytetty vesi virtaa pohjavesimuodostumassa noin kolmen kuukauden ajan, jonka jälkeen vesi pumpataan tuotantokaivoista puhdasvesisäiliöön, josta se johdetaan siirtovesilinjoja pitkin Turkuun ja Lietoon. Saramäen vesisäiliöstä vesi pumpataan Turun Halisten vesilaitoksen kautta Turun, Raision ja Naantalin jakeluverkostoihin sekä suoraan säiliöstä Turun pohjoisosan jakeluverkostoon. (TSV OY 2019.)

Kuva 11. Veden matka Kokemäenjoelta Turun seudulle (TSV 2019).

Yksittäisistä kohteista esikäsittelylaitos kuluttaa noin 50 prosenttia koko Turun Seudun Veden sähkönkulutuksesta. Esikäsittelylaitoksessa lähes kaksi kolmasosaa energiasta kuluu siirtopumppuihin, jotka siirtävät esikäsitellyn veden Virttaankankaalle. Siirtopumppuja on laitoksessa yhteensä viisi, joista kolme on jatkuvasti käytössä. Pumput ovat teholtaan 415 kilowattia. Sähköä kuluu laitoksessa myös kiinteistön lämmitykseen, valaistukseen ja muihin esikäsittelyn prosessin vaiheisiin.

Kuvassa 12 on kuvattu esikäsittelylaitoksen sähkön hinnan muodostuminen verkosta ostetusta sähköstä. Tiedot on saatu paikalliselta sähköverkkoyhtiöltä Sallila Energialta. Aurinkosähkön kannattavuus johtuu osittain siitä, ettei siinä tarvitse maksaa kulutusperusteisia sähkönsiirtomaksuja eikä energiaveroja.

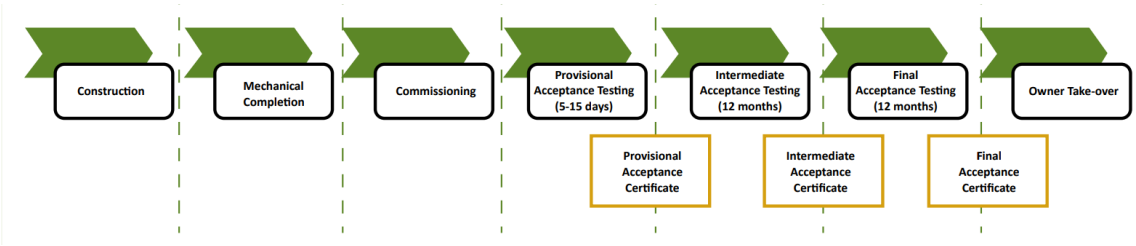


Kuva 12. Sähkön hinnan muodostuminen esikäsittelylaitoksella.

3.1 Hankintaprosessi

Aurinkosähköjärjestelmän hankinta lähti yrityksen toiveesta vähentää ostosähkön tarvetta ja näin lisätä uusiutuvan energian määrää. Ennen järjestelmän hankintaa on selvitettävä kohteen vuotuinen sähkön kulutus, sijainti ja rakennustiedot, joiden perusteella on mahdollista suunnitella optimaalisimman kokoinen voimala. Sähköverkkoon kytketyissä kohteissa käyttöpaikkojen kulutustiedot ovat saatavilla tunneittain jakeluverkkoyhtiöiltä. Tämän jälkeen kartoitetaan potentiaalisia toimittajia sekä lähetetään tarjouspyyntöjä suunnittelusta aurinkovoimalasta. Eri laitetoimittajista valikoidaan ne, jotka sopeutuvat yrityksen tarpeisiin parhaiten. Vertailun ja neuvottelujen jälkeen tehdään sopimus aurinkovoimalan toimittajan kanssa. Kaikki tekniset vaatimukset tulee kirjata sopimukseen yksityiskohtaisesti, jotta vältyttäisiin mahdollisilta ongelmilta. Näitä ovat esimerkiksi toimitusaika, hinta, spesifikaatiot sekä takuu. (Logistiikan maailma 2019.)

Kuvassa 13 on kuvattu EPC-tyyppistä (Engineering, Procurement, Construction) hankinta- ja sopimusmallia, jota yleisesti käytetään aurinkovoimaloiden hankinnassa. EPC-tyyppisessä sopimuksessa järjestelmän toimittaja ottaa vastuun suunnittelun eri vaiheista, rakentamisesta ja hankinnoista. Hankintamalli koostuu rakentamisesta, käyttöönotosta, testauksista ja mittauksista. Käyttöönoton tarkoituksena on varmistaa, että voimalaitos täyttää turvallisuuteen liittyvät vaatimukset ja mahdollistaa hyväksytyn käytön. (IFC 2015.)

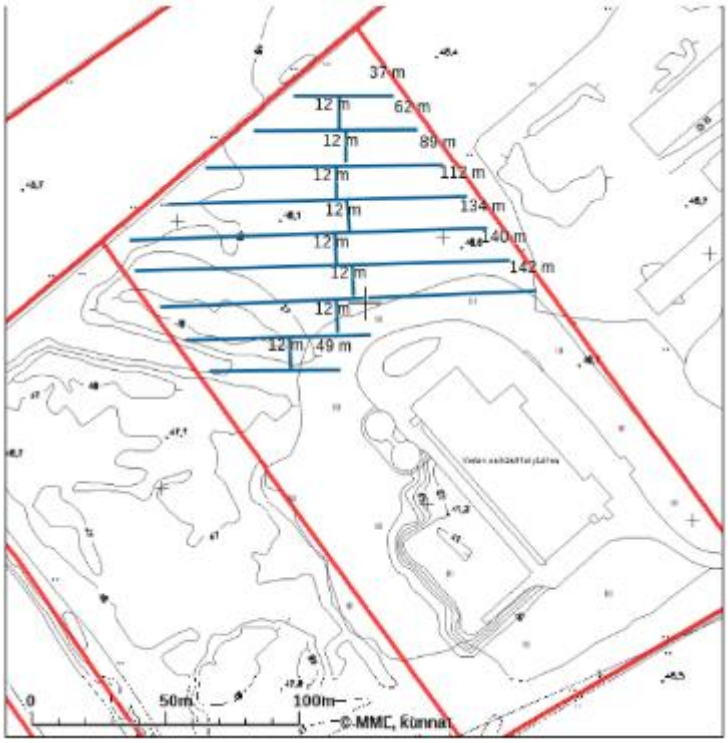


Kuva 13. Aurinkovoimalan EPC-tyyppinen hankintamalli (IFC 2015).

3.2 Aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen

Laissa on rajattu verotuksen ulkopuolelle aurinkosähköjärjestelmät, joiden nimellisteho on alle 100 kVA. Nimellisteholtaan yli 100 kVA:n aurinkosähköjärjestelmien, joiden vuosituotanto on enintään 800 MWh, tulee tuottajan rekisteröityä verovelvollisiksi vuotuisentuotantorajan valvomiseksi ja antaa veroilmoitus tuottamastaan sähköstä vuosittain verohallinnolle, mutta tuotetusta sähköstä ei kuitenkaan tarvitse maksaa sähköveroa. Yli 100 kVA:n aurinkosähköjärjestelmien, joiden vuosituotanto ylittää 800 MWh, tulee tuottajan rekisteröityä verovelvolliseksi, ja tämä joutuu antamaan veroilmoituksen kuukausittain verohallinnolle sekä maksamaan tuotetusta energiasta sähköveroa. (Verohallinto 2016.)

Rajoittavana tekijänä mitoituksessa oli tontin koko, joten aurinkosähköjärjestelmä päädyttiin mitoittamaan maa-asennuksena esikäsittelylaitoksen pohjoispuolelle noin 500 kWp kokoiseksi. Se sisältäisi yhteensä noin 1500 kappaletta teholtaan 300 watin paneeleita, mitkä sijoitettaisiin osoittamaan kohti etelää. Aurinkovoimalan vaatima pinta-ala on noin 8000 m^2. Kuvassa 14 on esitetty aurinkopaneelien asennuspaikka.



Kuva 14. Aurinkopaneelien suunniteltu asennuspaikka.

Mitoituksessa on myös suunniteltu 850 kWp:n aurinkosähköjärjestelmä, jos tulevaisuudessa aurinkovoimalan asennukseen vaadittavaa pinta-alaa saadaan alueella lisättyä ja aurinkosähköllä tuotettua energia nähdään tarpeelliseksi lisätä. Kyseinen aurinkovoimala sisältäisi teholtaan 300 watin paneeleita noin 2800 kappaletta ja järjestelmään vaadittava pinta-ala on noin 15 000 m^2. Mitoituksen perusteena oli, että suunniteltu aurinkovoimala ei ylitä laissa määriteltyjä tuotantorajoja, joten näin ollen yrityksen ei tarvitsisi maksaa tuotetusta energiasta lainkaan veroa.

3.3 Simulointiohjelmisto

Aurinkovoimalan mitoituksessa on käytetty PV-Sol- nimistä ohjelmistoa. Pv-Sol on Valentin Softwaren tekemä simulointiohjelma, jota käytetään aurinkosähköjärjestelmien suunnitteluun ja optimointiin. Ohjelmiston avulla voidaan laskea tuotantoennuste vuoden jokaiselta tunnilta ja simuloida verkkoon liitettyjä tai erillisiä aurinkosähköjärjestelmiä 2D- ja 3D-tilassa. Ohjelmiston keskeisimpiä ominaisuuksia on yksityiskohtainen varjoanalyysi, joka ottaa huomioon eri vuodenajat ja paikallisen säädatan arvioidessa järjestelmän tuottoa. Simulointiohjelmistossa on mahdollista laskea taloudellinen kannattavuus,

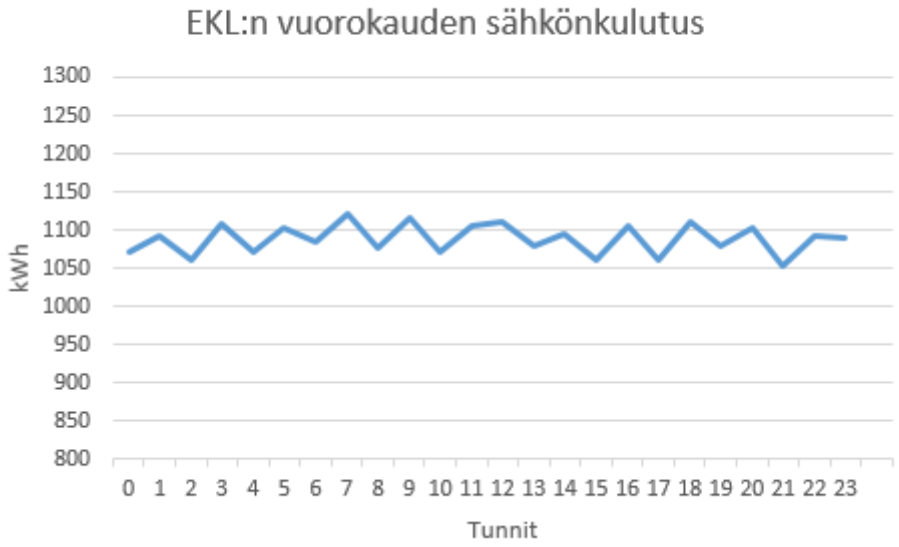
joka perustuu käyttäjän valikoimiin paneeleihin, inverttereihin sekä järjestelmän asennustapaan. Ohjelmisto huomioi laskelmissa myös invertterien vaihtamisesta sekä paneelien ikääntymisestä aiheutuvat kulut. (Valentin Software 2019.)

3.4 Energian kulutus

Esikäsittelylaitoksen sähkön vuosikulutus vuonna 2018 oli noin 8700 MWh. Kuvassa 15 on kuvattu esikäsittelylaitoksen sähkönkulutusta kuukausittain vuona 2018. Kohteessa on suuri ja melko tasainen energiankulutus ympäri vuoden, ja se vaihtelee noin 650–800 MWh:n välillä.

Kuva 15. Esikäsittelylaitoksen sähkönkulutus vuonna 2018.

Kuvassa 16 on kuvattu esikäsittelylaitoksen sähkönkulutusta yhtenä satunnaisena päivänä tunneittain. Laitoksen sähkönkulutus tunneittain on hyvin tasaista ja vaihtelua on 1050 ja- 1100 kWh:n välillä, keskiarvon ollessa 1089 kWh.



Kuva 16. Esikäsittelylaitoksen vuorokauden sähkönkulutus satunnaisena päivänä.

3.5 Ilmoitukset ja luvat

Aurinkoenergiajärjestelmien lupakäytännöt vaihtelevat kunnittain merkittävästi. Joissakin kunnissa lupaa ei vaadita, kun toisissa edellytetään asennukselta toimenpide- tai rakennuslupaa. Vaikuttavia tekijöitä luvan saamiseen ovat järjestelmän koko, sijainti ja asennustapa. (Energiateollisuus 2018.)

Opinnäytetyössä selvitettiin lupa-asioita Etelä-Satakunnan ympäristötoimiston Huittisten rakennusvalvonnasta sekä Sallila Energialta. Vastaukseksi saatiin vt. rakennustarkastaja Toivo Mäeltä, että aurinkovoimalan suuren koon takia tarvitaan ennen rakentamisen aloittamista rakennuslupa. Rakennuslupaa haetaan kunnan sähköisen asioinnin kautta ja siihen tulee liittää seuraavat asiat:

- pääpiirustukset
- asemapiirros, josta selviää sijainti ja rakennettava kohde
- tarvittaessa rakennesuunnitelmat ennen rakennustöihin ryhtymistä
- tarvittaessa naapurin kuuleminen
- muut mahdolliset rakennusvalvonnan edellyttämät lisäselvitykset.

Ennen järjestelmän kytkentää verkkoon tulee saada lupa paikalliselta sähköverkkoyhtiöltä, joka on tässä tapauksessa Sallila Energia. Sähköntuottajan tulee tehdä verkkoyhtiön kanssa asianmukaiset sopimukset laitoksen liittämisestä ja käyttämisestä. Samalla varmistetaan, että tuotantolaitteiston suojaus toimii asetettujen määräysten mukaisesti eikä siten aiheuta vaaratilanteita tai sähkön laadun heikentymistä.

Aurinkosähköjärjestelmiä myydään usein niin sanotusti avaimet käteen -paketteina, jolloin järjestelmän toimittaja tai asennusyritys vastaavat lupa-asioista sekä myös verkkoon kytkennästä. Aurinkosähköjärjestelmien rakentamista koskevaa ja sitä ohjaavaa lainsäädäntöä on esitetty maankäyttö- ja rakennuslaissa, sähköturvallisuuslaissa, sähkömarkkinalaissa ja rakennusmääräyksissä. (Motiva 2019.)

3.6 Energiatuki

Energiatuen tarkoituksena on edistää kestävää kotimaista energiantuotantoa, jolla pyritään lisäämään uuden energiateknologian käyttöönottoa. Tukea voidaan myöntää yrityksille, yhteisöille, kunnille ja säätiöille. Aurinkosähköjärjestelmän investointikustannuksiin vuonna 2019 on mahdollista saada enimmillään 20 prosenttia uusiutuvan energian tukea. Tuettavan investointikustannusten alaraja on 10 000 euroa. Energiatukea tulee hakea ennen hankkeen aloittamista eikä tukea myönnetä, jos hanke on aloitettu ennen tukipäätöstä. (Business Finland 2019.)

Turun Seudun Vedellä on mahdollisuus hakea energiatukea aurinkovoimalan hankintaan. Hakemus tehdään Business Finlandin verkkosivujen kautta, jossa on myös mahdollista seurata hakemuksen käsittelyä ja täydentää hakemusta tarvittaessa. Hakemuksen käsittely kestää arviolta noin kaksi kuukautta.

4 TULOKSET

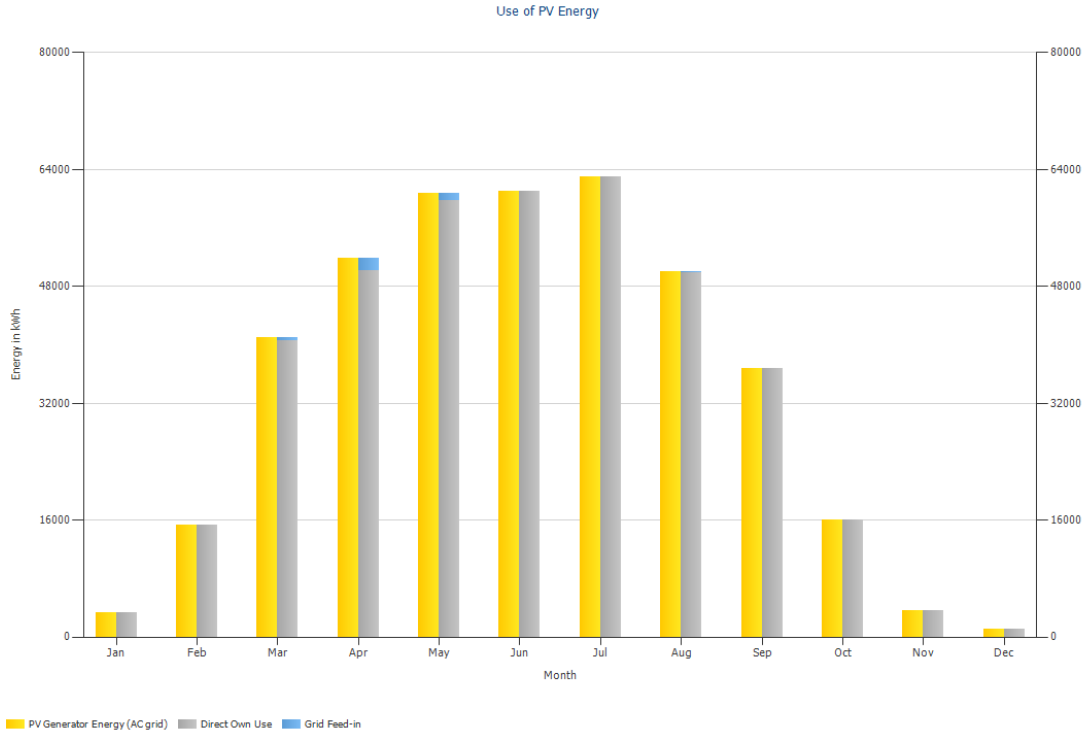
Aurinkosähköjärjestelmillä on verrattain pitkä käyttöikä, noin 25–30 vuotta. Tämän aikana invertterit joudutaan todennäköisesti uusimaan kertaalleen. Lähtökohtaisesti järjestelmä ei tarvitse huoltoa, joten aurinkovoimalan ylläpitokulut ovat pienet. Ainoastaan paneelien päälle kertyneet roskat on kannattavaa puhdistaa pois tietyin väliajoin. Järjestelmän tuotantoa on joka tapauksessa kannattavaa tarkkailla, koska muutokset voivat kertoa esimerkiksi kaapelivauriosta tai paneelien rikkoutumisesta.

Laskelmissa käytettiin simulointiohjelmistoa ja eri yrityksiltä saamia budjettitarjouksien keskimääräistä hintaa (550 000 € alv 0 %) sekä sähköverkkoyhtiöltä saamaa tuntikohtaista kulutusdataa vuodelta 2018. Laskelmissa on oletettu, että yritys saa 20 prosentin investointituen hankkeelle. Aurinkoenergiasta verkkoon myytävä osuus on niin pieni, että siitä maksettavaa korvausta ei ole otettu huomioon. Laskelmissa ei myöskään ole huomioitu maanmuokkaustöistä tulevia kustannuksia.

Opinnäytetyössä selvitettiin myös mahdollisuutta asentaa aurinkoa seuraavia kääntyviä aurinkopaneeleita, joiden tarkoituksena on suunnata aurinkopaneelit osoittamaan kohti aurinkoa lisätuoton saavuttamiseksi. Kääntyvät aurinkopaneelit ovat Suomessa toistaiseksi melko vähän käytettyjä ja niiden hyödyntäminen vaatii vielä lisätutkimusta. Kääntyvien aurinkopaneelien kysyntä on kuitenkin maailmalla kasvussa ja kehityksen jatkuessa ne ovat varteenotettava vaihtoehto tulevaisuudessa myös Suomessa.

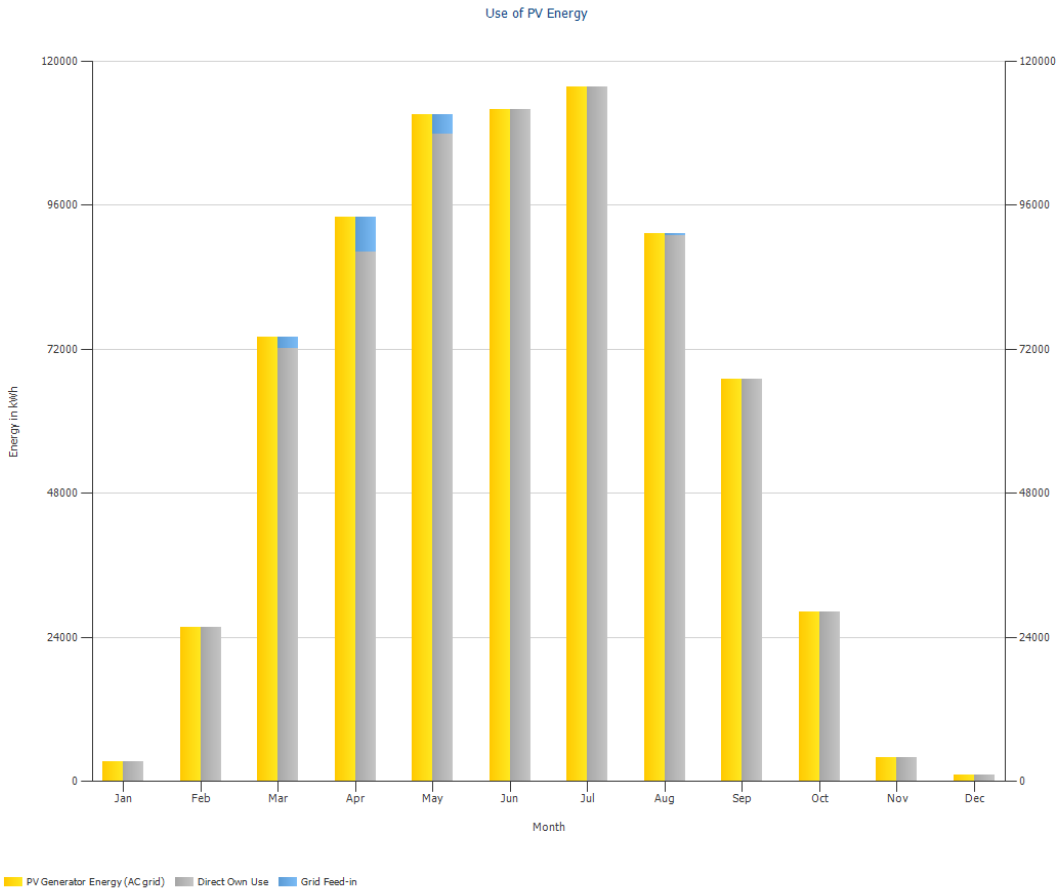
4.1 Järjestelmän tuotto

Kuvassa 15 on laskettu arviota 500 kWp:n aurinkovoimalan vuosittaisesta tuotosta, josta on havaittavissa, että lähes kaikki auringosta tuotettu energia saadaan hyödynnettyä omaan käyttöön. Aurinkovoimalan arvioiduksi vuosituotoksi tulee 300 watin paneeleilla noin 430 MWh, josta verkkoon myytävä osuus on alle 3 000 kWh. Aurinkoenergiasta saatu tuotto vastaa noin 5 % laitoksen vuotuisesta sähkön kokonaiskulutuksesta.



Kuva 17. 500 kWp:n aurinkovoimalan arvioitu vuosituotto.

Kuvassa 16 on laskettu suunnitellun 850 kWp:n aurinkovoimalan vuosittaista tuottoa. Arvioiduksi vuosituotoksi muodostui 775 MWh, josta verkkoon myytävä osuus on noin 12 000 kWh. Esikäsittelylaitoksen suuren ja tasaisen energian kulutuksen takia 850 kWp:n aurinkovoimalasta saatava energia saadaan hyödynnettyä lähes kokonaan omassa käytössä ja se vastaisi noin 9 prosenttia esikäsittelylaitoksen vuotuisesta sähkön kokonaiskulutuksesta. Verrattuna 500 kWp:n aurinkovoimalaan verkkoon myytävän sähkön osuus on suurempi, mutta kokonaistuottoon nähden verrattain vähäinen. Tuotetusta energiasta omaan käyttöön saadaan kummasakin aurinkovoimalassa yli 98 prosenttia.



Kuva 18. 850 kWp:n aurinkovoimalan arvioitu vuosituotto.

4.2 Tarjouspyynnöt

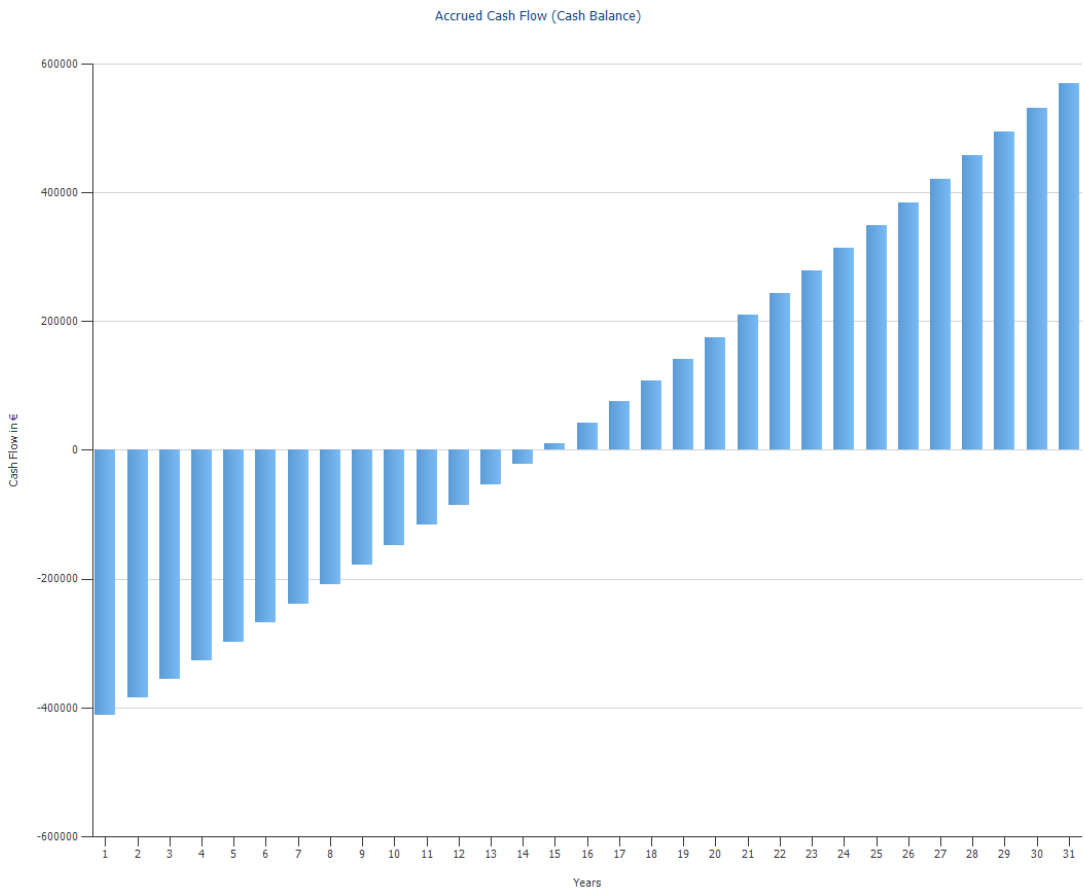
Opinnäytetyöhön haettiin budjettitarjouksia 500 kWp:n kokoisesta aurinkovoimalasta kolmelta eri yritykseltä. Hintatasot vaihtelivat 460 000–700 000 euron välillä (alv 0 %). Tarjouspyynnöt on esitetty liitteessä 1, liitteessä 2 ja liitteessä 3.

4.3 Takaisinmaksuaika ja nettonykyarvo

Takaisinmaksuajalla määritetään aika, jonka kuluessa investoinnin nettotuotot ovat hankintamenojen suuruiset. Aurinkovoimalan takaisinmaksuaikaan vaikuttavat sähkönenergian ja sähkönsiirron hintamuutokset sekä verotuksen mahdolliset korotukset, joiden muutoksia on mahdotonta ennustaa oikein. Jos näiden hinnat nousevat, aurinkovoimalan takaisinmaksuaika lyhenee merkittävästi. Esikäsittelylaitoksen kaltaiset suuremman

kokoluokan laitokset saavat yleensä sähköä huomattavasti edullisemmin verrattuna kotitalouksiin, mikä kasvattaa aurinkovoimalan takaisinmaksuaikaa.

Kuvassa 16 on esitetty simulointiohjelmistolla laskettua takaisinmaksuaikaa ja nettonykyarvoa. Laskelmissa 500 kWp:n järjestelmän keskimääräiseksi takaisinmaksuajaksi tuli noin 15 vuotta. Vuosittaista säästöä kertyy noin 30 000 euroa.



Kuva 19. Aurinkovoimalan investoinnin takaisinmaksuaika ja nettonykyarvo.

Aurinkovoimalan taloudellista kannattavuutta voidaan tarkkailla selvittämällä investoinnin nettonykyarvo, joka on tulo- ja menovirtojen nykyarvojen erotus. Nettonykyarvossa tulevat tuotot ja maksut diskontataan nykypäivän rahaksi käyttämällä tiettyä laskentakorkoa. Nettonykyarvon ollessa positiivinen on investointi kannattava. Suunnitellun järjestelmän keskimääräiseksi investoinnin nettonykyarvoksi 2 prosentin laskentakorolla muodostui 30 vuoden aikana noin 45 000 euroa.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vähentää raakaveden esikäsittelylaitoksella verkosta ostetun sähkön määrää hyödyntämällä aurinkoenergiaa ja suunnittelemalla kohteeseen sopiva aurinkovoimala. Aurinkoenergian kannattavuutta parantaa esikäsittelylaitoksen suuri ja tasainen sähkönkulutus, minkä takia lähes kaikki tuotettu energia saadaan hyödynnettyä omassa käytössä. Aurinkovoimalan investointi maksaa itsensä takaisin pienentämällä verkosta ostetun sähkön määrää ja välttämällä ostosähköstä tulevia energiaveroja sekä sähkönsiirtomaksuja.

Opinnäytetyössä selvitettiin aurinkoenergian hyödyntämistä ja mitoitettiin simulointiohjelmistolla nimellisteholtaan 500 kWp:n aurinkovoimala. Suunnitellun aurinkovoimalan arvioiduksi vuosituotoksi saatiin 430 MWh, josta ylijäämäsähköä tulisi alle 3 000 kWh. Takaisinmaksuajaksi tuli 15 vuotta ja nettonykyarvoksi 30 vuoden ajalle 450 000 euroa. Lisäksi työssä selvitettiin suuremman, nimellisteholtaan 850 kWp:n aurinkovoimalan mitoittamista ja tuottoarviota tulevaisuuden varalle. Tämän kokoisessa aurinkovoimalassa vuosituotoksi saatiin 775 MWh, josta ylijäämäsähköä tulisi 12 000 kWh. Molemmissa suunnitelluissa aurinkovoimaloissa tuotetusta energiasta omaan käyttöön menisi yli 98 prosenttia.

Opinnäytetyössä saatiin 500 kWp:n aurinkovoimalasta kolmelta eri järjestelmän toimittajalta budjettitarjouksia, joissa niiden keskimääräiseksi hinnaksi tuli noin 550 000 euroa. Lisäksi selvitettiin kunnan rakennusvalvonnasta, että suunniteltu aurinkovoimala tarvitsee rakennusluvan ennen rakentamisen aloittamista. Aurinkovoimalan sähköverkkoon liittymiseen vaadittavia lupa-asioita tiedusteltiin paikalliselta sähköverkonhaltijalta sekä selvitettiin, että Turun Seudun Vesi Oy:llä on mahdollisuus hakea aurinkovoimalan investointiin energiatukea.

Opinnäytetyössä saadut aurinkovoimalan tuottoarviot, kannattavuuslaskelmat ja lupa-asioiden selvittäminen helpottavat yrityksen mahdollista investointipäätöstä aurinkovoimalasta. Kustannussäästöjen lisäksi aurinkovoimala parantaisi yrityksen imagollista näkyvyyttä.

LÄHTEET

Ahjo energia 2019. Aurinkopaneelien toiminta. Viitattu 6.2.2019 http://www.ahjoenergia.fi/index.php/periaatteet/aurinkopaneelien-toiminta

Aurinkosähköä kotiin. 2019. Aurinkopaneelien sijoitus ja suuntaus. Viitattu 4.2.2019 https://aurinkosahkoakotiin.fi/aurinkopaneelien-sijoitus-ja-suuntaus/

Business Finland. 2019. Energiatuki. Viitattu 18.3.2019 https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/pk-ja-midcap-yritys/energiatuki/

Energiateollisuus. 2018. Sähkön pientuotanto. Viitattu 26.3.2019 https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_pientuotanto

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas: Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys ry.

Ifc 2015. Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants. Viitattu 13.3.2019 https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/f05d3e00498e0841bb6fbbe54d141794/IFC+Solar+Report_Web+_08+05.pdf

Institute for Energy and Transport. 2016. Photovoltaic Geographical Information System. Viitattu 3.2.2019 http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/

Käpylehto J. 2016 Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Helsinki: Into Kustannus Oy.

Logistiikan maailma. 2019. Hankintaprosessi. Viitattu 14.3.2019 http://www.logistiikanmaailma.fi/osto-ja-myynti/hankintaprosessi/

Motiva 2017a. Aurinkosähköjärjestelmien hinta. Viitattu 5.2.2019 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta

Motiva 2017b. Aurinkosähköteknologiat. Viitattu 5.2.2019 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

Motiva 2018a. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Viitattu 29.1.2019 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

Motiva 2018b. Aurinkosähköjärjestelmät. Viitattu 29.1.2019 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat

Motiva 2019. Lainsäädäntö ja muu ohjaus. Viitattu 28.3.2019 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lainsaadanto_ja_muu_ohjaus

Suntekno 2010. Aurinkoenergia ABC-opas. Viitattu 11.2.2019 http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki//aurinkoenergia.pdf

Suntekno 2015. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. Viitattu 11.2.2019 http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki//paneelit.pdf

Tahkokorpi, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into.

Turun Seudun Vesi Oy 2019. Toiminta. Viitattu 1.2.2019 https://www.turunseudunvesi.fi/fi

Valentin Software 2019. PV-Sol Premium. Viitattu 20.3.2019 https://www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/57/pvsol-premium

Vattenfall 2018. Aurinkovoima. Viitattu 10.2.2019 https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/aurink

Verohallinto 2016. Energiaverotus. Viitattu 11.6.2019 https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotu/