



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus (AMK)

# Aurinkoenergiaselvitys Joensuun Veden tuotantolaitoksille

Tuomas Tikka

Opinnäytetyö, Huhtikuu 2022

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2022**  
**Energia- ja ympäristötekniikan**  
**koulutus**  
Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Tekijä(t)  
Tuomas Tikka

Nimeke  
Aurinkoenergiaselvitys Joensuun veden tuotantolaitoksille

Toimeksiantaja  
Joensuun Vesi

#### Tiivistelmä

Opinnäytetyön aiheena oli aurinkoenergiaselvitys Joensuun Veden tuotantolaitoksille, jossa tutkittiin kolmen Joensuun Veden tuotantolaitoksen potentiaalia aurinkoenergiajärjestelmille. Kohteet olivat Kuhasalon jätevedenpuhdistamo, Onttolan alkalointilaitos ja Rantakylän alkalointilaitos.

Tavoitteena opinnäytetyössä oli suunnitella kohteille aurinkoenergiajärjestelmät, jotka ovat taloudellisesti kannattavia. Aurinkopaneelijärjestelmien suunnittelussa käytettiin Pvsol-premium-ohjelmaa apuna simuloinnissa ja aurinkopaneelijärjestelmien tuoton laskennassa. Kannattavuus laskennat tehtiin Excel-ohjelmalla. Aurinkopaneelijärjestelmien valintakriteereiksi muodostuivat pinta-ala ja takaisinmaksuaika.

Kuhasalon jätevedenpuhdistamon aurinkopaneelijärjestelmäksi valittiin 120 kWp:n tehoinen aurinkopaneelijärjestelmä, jonka korollinen takaisinmaksuaika on noin 10 vuotta. Onttolan alkalointilaitoksen aurinkopaneelijärjestelmäksi valittiin 66 kWp:n tehoinen järjestelmä, jonka korollinen takaisinmaksuaika olisi noin 9,5 vuotta. Rantakylän alkalointilaitoksen aurinkopaneelijärjestelmäksi valittiin 95,2 kWp:n tehoinen järjestelmä, jonka korollinen takaisinmaksuaika olisi noin 12 vuotta. Kohteitten suuren sähkönkulutuksen vuoksi jokaiselle kohteelle pystyisi asentamaan suuritehoisemman aurinkopaneelijärjestelmän, mutta kohteissa ei ole riittävästi pinta-alaa aurinkopaneeleille.

Kieli  
suomi

Sivuja 58  
Liitteet 5  
Liitesivumäärä 5

Asiasanat  
aurinkoenergia, aurinkopaneelit, kannattavuus, pinta-ala, tuotantolaitokset



**THESIS**  
**April 2022**  
**Degree Programme in Energy and Environmental Technology**  
Tikkarinne 9  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. +350 13 260 600

Author  
Tuomas Tikka

Title  
Solar Energy Research for Joensuun Vesi Production Plants

Commissioned by  
Joensuun Vesi

#### Abstract

The topic of the thesis was a solar energy research for Joensuu Vesi production plants, in which the potentials of three Joensuu Vesi production plants for solar energy systems were examined. The targets were Kuhasalo Wastewater Treatment Plant, Onttola Alkalization Plant and Rantakylä Alkalization Plant.

The goal of the thesis was to design solar energy systems that are economically viable. The PVSOL premium program was used in the design of solar panel systems as an aid in simulation and calculation of the yield of solar panel systems. Profitability calculations were made by using the Excel program. The criteria for selecting solar panel systems consisted of the area and the payback period.

A 120 kWp powered solar panel system with an interest-bearing payback period of approximately ten years was chosen as the solar panel system. A 66 kWp powered system with an interest-bearing payback period of approximately 9.5 years was chosen as the solar panel system of the Onttola alkalization plant. A 95.2 kWp power system was chosen as the solar panel system at Rantakylä alkalization plant, with an interest-bearing payback period of about 12 years.

Due to the high electricity consumption of the sites, each plant would be able to install a more high-powered solar panel system, but the plants do not have enough surface area for solar panels.

Language  
Finnish

Pages 58  
Appendices 5  
Pages of Appendices 5

Keywords<sup>i</sup>  
solar energy, solar panels, profitability, surface area, production plants

## Sisältö

1	Johdanto .....	6
2	Aurinkopaneelien toiminta.....	6
2.1	Säteilyn määrä Suomessa ja Joensuussa .....	7
2.2	Aurinkopaneelityypit.....	9
2.2.1	Yksi- ja monikide aurinkopaneelit .....	9
2.2.2	Ohutkalvo aurinkopaneelit .....	10
2.3	Half-cut aurinkopaneeli .....	11
2.4	Invertterin toiminta .....	12
2.5	Aurinkopaneelien asennustavat.....	12
2.5.1	Kattoasennus.....	13
2.5.2	Maa-asennus.....	15
2.5.3	Seinäasennus.....	16
2.6	Aurinkopaneelijärjestelmän lupa-asiat .....	17
2.7	Aurinkopaneelijärjestelmän mitoitus .....	18
2.8	Aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuuden laskeminen .....	20
2.9	Laskenta kaavat.....	21
3	Opinnäytetyön tavoite ja tehtävä.....	22
4	Menetelmälliset valinnat.....	22
5	Kohteiden aurinkopaneelijärjestelmien mitoitus .....	23
6	Tulokset .....	24
6.1	Kuhasalon jätevedenpuhdistamo.....	24
6.1.1	Aurinkopaneelijärjestelmien vertailu ja valinta .....	25
6.1.2	Valittu aurinkopaneelijärjestelmä .....	26
6.1.3	Aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuus laskelmat.....	29
6.1.4	Vaihtoehtoinen aurinkopaneelijärjestelmä .....	31
6.2	Onttolan alkalointilaitos .....	32
6.2.1	Aurinkopaneelijärjestelmien vertailu ja valinta .....	33
6.2.2	Valittu aurinkopaneelijärjestelmä .....	34
6.2.3	Aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuus laskelmat.....	38
6.3	Rantakylän alkalointilaitos.....	40
6.3.1	Aurinkopaneelijärjestelmien vertailu ja valinta .....	40
6.3.2	Valittu aurinkopaneelijärjestelmä .....	41
6.3.3	Aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuus laskelmat.....	45
6.4	Yhteenveto.....	48
7	Pohdinta.....	49
7.1	Tarkastelu .....	49
7.2	Luotettavuus ja eettisyys .....	50
	Lähteet.....	52

## Liitteet

Liite 1	Valittujen aurinkopaneelien tekninen osa
Liite 2	Kuhasalon jätevedenpuhdistamon kustannus takaisinmaksuaikalaskelmat
Liite 3	Onttolan alkalointilaitoksen kustannus ja takaisinmaksuaika laskelmat

- Liite 4 Rantakylän alkalointilaitoksen kustannus ja takaisinmaksuaika laskelmat
- Liite 5 Kuhasalon vaihtoehtoisen aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuuslaskelmat

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on aurinkoenergiaselvitys Joensuun Veden tuotantolaitoksille. Aihe valinta tuli ajankohtaiseksi, kun tekijä sai kesätöitä Ramboll Finland Oy:lta kyseiseen aiheeseen liittyen. Joensuun Vedellä on tarkoitus kartoittaa omavaraisuutta ja pienentää hiilidioksidipäästöjä aurinkoenergiaa hyödyntämällä. Kesätöissä tehtiin 33 kohteen aurinkoenergiaselvitys, mutta opinnäytetyössä tehdään Joensuun Veden kolmen kohteen aurinkoenergiaselvitykset. Kohteet ovat Kuhasalon jätevedenpuhdistamo, Rantakylän alkalointilaitos ja Onttolan alkalointilaitos.

Kaikki kolme kohdetta ovat tuotantolaitoksia, joissa on kohtalaisen suurta sähkönkulutusta ympäri vuoden kellonajasta riippumatta, eli kohteet sopivat hyvin aurinkoenergian hyödyntämiseen. Potentiaalista kattopinta-alaa ei kaikissa kohteissa ole riittävästä, jotta saataisiin maksimaalinen hyöty aurinkopaneeleista, eli aurinkopaneeleja ei välttämättä mahdu riittävästi kyseisiin kohteisiin.

Opinnäytetyössä käytettiin PVsol-premium-ohjelmaa apuna aurinkopaneelijärjestelmien sähköntuoton, sijainnin ja varjostuksien simuloinnissa. Excel-ohjelmaa käytettiin apuna kohteiden kustannus ja kannattavuuslaskelmien tekemisessä.

## 2 Aurinkopaneelien toiminta

Puolijohdetekniikkaan tukeutuva aurinkopaneelien sähköntuotto perustuu valosähköilmiöön. Valosähköilmiössä puolestaan on kyse sähkömagneettisen säteilyn ja sähkövarauksen välisestä vuorovaikutuksesta. Valosähköilmiössä fotonit absorboituu atomiin irrottaen siitä elektronin, jolloin fotonit häviää ja sen energia siirtyy elektronille. (Lännen omavoima 2020, 3–4.)

Kennossa olevat elektronit saavat energiaa auringonsäteilyn fotoneilta, ja pn-liitoksen ansiosta ne jakaantuvat liitoksen toiselle puolelle positiivisten energia-aukkojen jäädessä liitoksen toiselle puolelle. Seuraavaksi elektronit kulkeutuvat ulkoiseen sähköpiiriin saaden aikaan sähkövirran. Aurinkopaneelin tuottama sähkö on tasavirtaa, jos aurinkopaneeleista saatua sähköä halutaan käyttää, tarvitaan invertteri, joka muuntaa tasasähkön vaihtosähköksi. (Motiva Oy 2021g.)

Aurinkopaneelit valmistetaan pääsääntöisesti yksittäisistä piikenneista. Piikennot ovat puolijohteita ja ne asennetaan aurinkopaneelissa sarjaan, jotta aurinkopaneelin kokonaisteho saataisiin nousemaan noin 200–400 wattiin, riippuen tietysti aurinkopaneelin tavoitellusta tehosta. (Salo Solar 2022.)

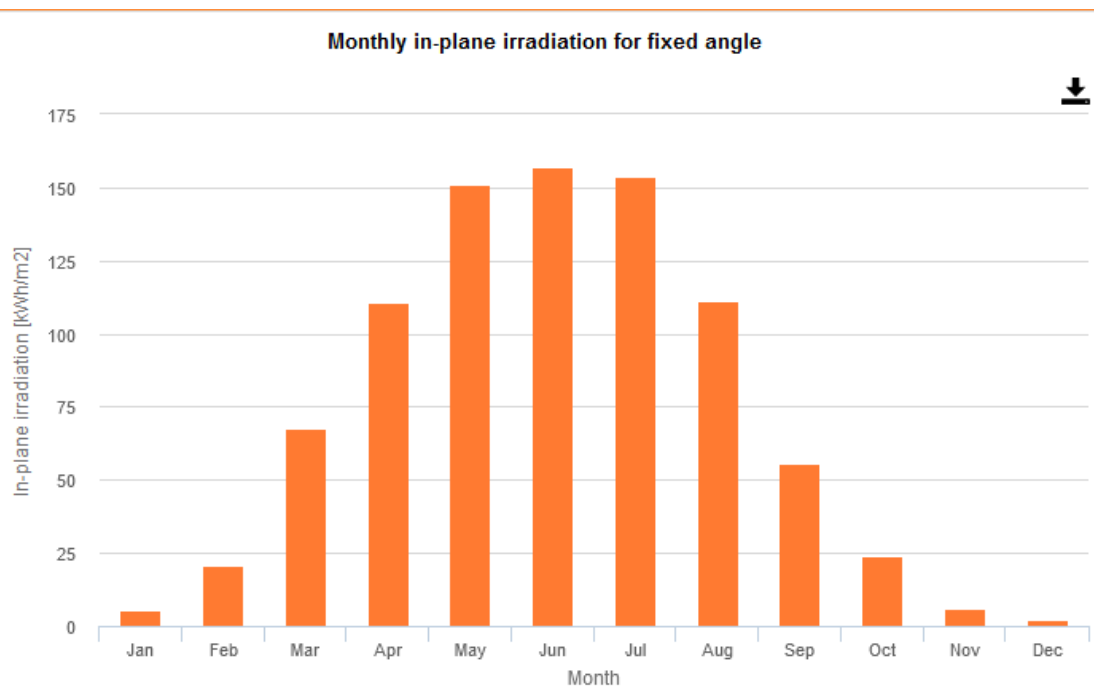
Aurinkopaneelien nimellisteho ilmoitetaan piikkiwatteina ( $W_p$ ). Tämä tehomäärä ei kuitenkaan määritä paneelin maksimitehoa, sillä aurinkopaneelit voivat olosuhteista riippuen tuottaa huomattavasti enemmän, mitä nimellistehoksi ilmoitetaan. (Tahkokorpi 2016, 139)

Aurinkopaneelin teknisenä käyttöikänä pidetään noin 30 vuotta. Eri valmistajat antavat jopa 25 vuoden tehontuottotakuun eli luvataan että aurinkopaneelit tuottavat vielä 25 vuoden päästä tietyn verran sähköä, yleensä noin 80 prosenttia valmistajan ilmoittamasta nimellistehosta. (Motiva Oy 2021d.)

## 2.1 Säteilyn määrä Suomessa ja Joensuussa

Aurinkopaneelien toimintaan ja tuottavuuteen vaikuttaa eniten auringonsäteilyn määrä. Mitä enemmän auringonsäteilyä tulee aurinkopaneeleille, sitä enemmän paneelit tuottavat sähköä (RT 103076, 6). Suomessa auringonsäteilyn määrään vaikuttaa paljon kohteen sijainti. Esimerkiksi Etelä-Suomessa kokonaissäteilyenergia vaakatasolle on keskimäärin 980 kWh/m<sup>2</sup>, Keski-Suomessa 890 kWh/m<sup>2</sup> ja Pohjois-Suomessa 790 m<sup>2</sup> kWh/m<sup>2</sup>. Eniten auringonsäteilyä Suomessa on touko-heinäkuussa, loka-helmikuun välisenä aikana auringonsäteily on vähäisintä Suomessa. (Motiva Oy 2021b.)

Joensuussa auringonsäteilyn määrä on keskimäärin Keski-Suomen luokkaa. PVGIS tietoperustan mukaan Joensuun säteily määrä vaakatasolla olisi 865,65 kWh/m<sup>2</sup> (kuvio 1). Tämä tietoperusta ei ota huomioon laskelmissa lunta, jota kuitenkin vuosittain Joensuun leveysasteilla on. Jos aurinkopaneelit ovat lumenpeitossa, auringonsäteily ei pääse paneelille asti, jolloin sähköenergiaa ei synny.



Kuvio 1. Joensuun vuotuinen säteilyenergia vaakatasolle kWh/m<sup>2</sup> (PVGIS).

Aurinkopaneelit pyritään suuntaamaan Suomessa aina etelää kohti, koska etelän suunnasta tulee suurimmat auringonsäteilymäärät. Ajallisesti auringonpaiste vaihtelee paljon Suomessa. Esimerkiksi joulukuussa Helsingissä, milloin päivä on lyhimillään Suomessa, aurinko paistaa maksimissaan noin 5 h päivän aikana, kun taas kesäkuussa aurinko paistaa noin 20 tuntia. Myös sijainnilla on paljon merkitystä auringonpaisteen määrään. Esimerkiksi Inarissa kaamosaikana auringonpaistetta ei ole ollenkaan, kun taas kesäisin aurinko ei laske tietynä ajanjaksona ollenkaan. (Ilmatieteen laitos 2022.)

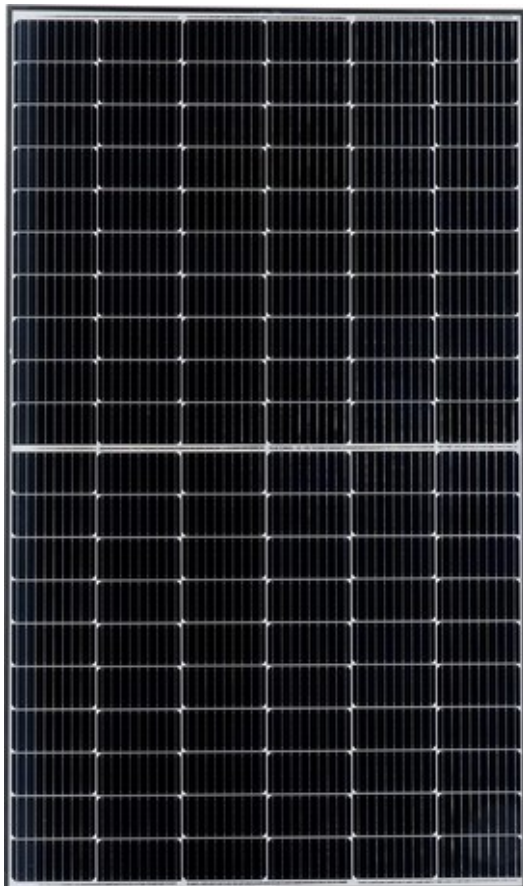


## 2.2 Aurinkopaneelityypit

Aurinkopaneelit voidaan jakaa kolmeen sukupolveen. Yksi- ja monikide, ohutkalvo- ja nanokidepaneeleihin. Yksi- ja monikide aurinkopaneelien tekniikka on vakiintunutta, ja noin 90 % kaupallisesti tarjolla olevista aurinkopaneeleista on yksi- tai monikide aurinkopaneeleja. Ensimmäisen ja toisen sukupolven aurinkopaneelit voidaan luokitella puolijohde paneeleiksi. Kolmannen sukupolven aurinkopaneelit, eli nanokidepaneeelit ovat vielä tutkimusasteella. (Motiva 2021g.)

### 2.2.1 Yksi- ja monikide aurinkopaneelit

Yksikiteinen aurinkokenno muodostuu yhdestä piikiteestä, joka sahataan kiekkoiksi. Yksi piikiekkko puolestaan muodostaa yhden aurinkokennon, ja aurinkopaneeli muodostuu useasta sarjaan kytketyistä aurinkokennoista. Aurinkopaneelissa yksikiteisen piikennon tunnistaa sen pyöreistä nurkista. Yksikiteisen paneelin eduksi lasketaan sen parempi hyötysuhde. (Finnwind.fi 2021a.)



Kuva 1. Yksikide aurinkopaneeli (eurosolar.fi).

Monikiteinen aurinkopaneeli puolestaan muodostuu useista piikiteistä, ja sen tunnistaa neliskulmaisista aurinkokennoista. Monikiteisen aurinkopaneelin eduksi puolestaan katsotaan parempi hajasäteilyn vastaanotto. Sähkön tuotannollisesti yksi- tai monikidepaneeli ei suuremmin eroa, eli kuluttajalle ei ole suurta merkitystä, hankkiiko yksi- vai monikideaurinkopaneelit. (Finnwind 2021a.)



Kuva 2. Monikide aurinkopaneeli (thermosun.fi).

## 2.2.2 Ohutkalvo aurinkopaneelit

Ohutkalvoaurinkopaneelit valmistetaan laittamalla todella ohuita kerroksia valoherkkää ainetta pohjamateriaalin päälle, esimerkiksi muoville, lasille tai ruostumattomalle teräkselle. Ohutkalvoaurinkopaneelien hyötysuhde on normaalisti noin 9–11 %. Hajasäteilyä ohutkalvopaneeli kerää hiukan paremmin kuin piikidepaneelit, mutta toisaalta ohutkalvopaneeli päästää auringonsäteilyä huomattavasti enemmän lävitseen, joten sähköntuotanto jää heikommaksi kuin

piikidepaneeleilla. Ohutkalvopaneelien hyödyksi lasketaan myös paneelin paino, eli se on melko kevyt. Tästä syystä ohutkalvopaneeleja suositaan etenkin veneilyssä. (Motiva 2021g.)



Kuva 3. Ohutkalvo aurinkopaneeli (ssthpower.net).

### 2.3 Half-cut aurinkopaneeli

Half-cut aurinkopaneelissa aurinkokenno puolitetaan kahteen osaan. Tämä toimenpide parantaa aurinkopaneelin hyötysudetta, kestävyyttä ja suorituskykyä. Half-cut aurinkopaneelissa on kaksi kertaa enemmän aurinkokennoja kuin normaalissa aurinkopaneelissa. Half-cut aurinkopaneelissa on pienemmät varjostushäviöt verrattuna normaaliin aurinkopaneeliin. Kennot ovat yhdistetty toisiinsa siten, että halkaistun kennon ylä- ja alaosa eivät ole vaikutuksissa toisiinsa eli, jos kennon alaosa on varjonpeitossa, niin yläosa toimii normaalisti tuottaen sähköä. Halkaistu aurinkokenno kestää myös paremmin ulkopuolista rasitusta kuin normaali aurinkokenno. (Finnwind 2022a.)

## 2.4 Invertterin toiminta

Aurinkopaneelin tuottaessa tasasähköä 3-vaihe invertteriä tarvitaan muuttamaan tasasähkö sähköverkossa käytettäväksi vaihtosähköksi, jolloin sähkö pysytään käyttämään suoraan kiinteistössä ja myymään ylijäämäsähkö verkkoyhtiölle (Aurinkovirta.fi 2021b). 3-vaiheinvertteri tarkoittaa, että siitä tulevaa sähköä voidaan käyttää kaikissa kiinteistön sähkölaitteissa, jolloin aurinkosähköstä saadaan suurin mahdollinen hyöty (Motiva Oy 2021a).

Yksityiseen käyttöön tarkoitetut aurinkopaneelit tuottavat tyypillisesti 30–40 V:n tasajännitettä, ja tämän vuoksi aurinkopaneelit kytketään sarjaan, jolloin jännite saadaan nousemaan. Matalaa jännitettä ei ole järkevää muuntaa 230 V:n vaihtojännitteeksi. Sarjaan kytkettynä aurinkopaneelien jännite nousee invertterille edullisemmaksi. (RT 103076 2019, 5.)

Invertterin asennuspaikaksi on hyvä valita tila, jossa laitteen lämpöhäviöt pääsevät haihtumaan ongelmitta. Jos invertterin joutuu asentamaan ulkotilaan, täytyy invertteriksi valita laite, joka sopii ulkokäyttöön. Ulkoasennuksessa on hyvä muistaa, että invertteriä ei suositella asennettavaksi taivasalle. Invertterin tuottaessa lämpöä, lumi sulaa invertterin päältä ja kovilla pakkasilla lumi jäätyy invertteriin, jolloin mahdollinen jäätyvä ja sulava lumi voi rikkoa invertterin mekaniikkaa. Invertterin päälle suositellaan laitettavaksi lumikatos, joka poistaa kyseisen ongelman. (ST-KÄSIKIRJA 2021, 119.)

## 2.5 Aurinkopaneelien asennustavat

Aurinkopaneelien asennustapoja on normaalisti kolme kappaletta: kattoasennus, maa-asennus ja seinäasennus (Motiva Oy 2021c). Aurinkopaneelien valmistajat ja kiinnitysjärjestelmien valmistajat ilmoittavat, miten paljon heidän valmistamansa tuotteet kestävät päältäpäin kohdistuvaa voimaa, esimerkiksi lumikuorman. Erilaisilla asennustavoilla voidaan suurentaa aurinkopaneelien lumikuorman kestoa, mutta huomioon täytyy ottaa myös katon kantavuus. (ST-

KÄSIKIRJA 2021, 149.) Lumikuormia huomioitaessa huomioon täytyy ottaa paikalliset olosuhteet ja kohteen rakenteelliset tiedot (RT 103076, 2019 11).

Tuulikuorman huomiointi täytyy myös ottaa asennuksessa huomioon. Laskettaessa tuulikuormaa, huomioon tulee ottaa rakennuksen korkeus, katon kallistuskulma, katon rakenteiden kestävyys ja rakennuksen sijainti. (ST-KÄSIKIRJA 2021, 149.)

Kaikissa asennustavoissa tulee huomioida aurinkopaneelien ja rakennuksen väliin jäävä ilmarako eli tuuletusväli, jotta aurinkopaneelit eivät ylikuumene. Tuuletusväli pitää huolen siitä, että ilma kiertää rakennuksen ja aurinkopaneelin välissä, jolloin kuumenemista ei isossa määrin tapahdu. Aurinkopaneelin ylikuumeneminen heikentää aurinkopaneelin hyötysuhdetta. (Motiva Oy 2021e.)

Aurinkopaneelien oikeanmukaisiin kiinnitystyyleihin kannattaa myös kiinnittää kaikissa asennustavoissa huomiota. Aurinkopaneelien käyttöikä on ainakin 30 vuotta, joten kiinnitystarvikkeet pitää myös olla pitkäkestoisia. Tästä syystä on hyvä käyttää ruostumattomia kiinnitysvälineitä. Kiinnityksien tulee myös kestää suurimmat lumi- ja tuulikuormat. (Aurinkovirta.fi 2021a.)

### **2.5.1 Kattoasennus**

Kattoasennuksia on monenlaisia, kuten kelluva-asennus eli painoperustainen asennus, pilariasennus ja nelipisteinen asennus. Kattoasennuksen tapa määräytyy yleensä katonmateriaalin mukaan, ja ne yleisimmin ovat mm. kone-sauma-, profiiliteräs-, tiili- tai huopakatot. (RT 103076 2019, 9–10.)

Painoperusteinen asennus (kuva 4) on vain mahdollista tasakattoisille rakennuksille, koska aurinkopaneeleja ei kiinnitetä kattoon, vaan aurinkopaneelitelien päälle laitetaan riittävät painot pitämään aurinkopaneelit paikallaan.

Tämä asennustyyppi on helpoin asentaa. Painoperusteisessa asennuksessa pitää kuitenkin ottaa huomioon lisäpainot mitä asennuksessa tulee, jotta katon kantavuus on riittävä. (RT 103076 2019, 10.)



Kuva 4. Aurinkopaneelin painoperustainen asennus.

Nelipisteinen asennus (kuva 5) tarkoittaa, että aurinkopaneelit kiinnitetään niiden kannakkeiden päälle kattoon neljästä eri kohtaa, jolloin aurinkopaneelin paino jakautuu tasaisesti. Tätä asennusmuotoa käytetään paljon harjakattoisissa kohteissa. Nelipisteasennuksessa täytyy olla tarkkana, että kiinnikkeet kohdistuvat kantaviin rakenteisiin. (RT 103076 2019, 9.)



Kuva 5. Nelipisteinen aurinkopaneelien asennus.

Pilariasennusta (kuva 6) käytetään tasakattoisissa rakennuksissa. Aurinkopaneelit ovat nostettu katonpinnasta ylöspäin ns. pilareiden avulla. Tämä helpottaa huomattavasti aurinkopaneelien asennuskulmien muuttamista/asentamista ja katon kunnossapitoa. Pilariasennus helpottaa hallitsemaan tuulikuormia ja aurinkopaneeli saadaan helposti hyvään säteilykulmaan. Asennus on myös kevyempi kuin painoperustainen asennus. (Aurinkopilari.fi 2021.)



Kuva 6. Aurinkopaneelien pilariasennus (Aurinkopilari.fi 2021).

### 2.5.2 Maa-asennus

Maa-asennuksissa käytetään eniten pilariasennustyyliä (kuva 7). Pilariasennuksen etuja on, että aurinkopaneelien alle jäävä maa on helpompi huoltaa. Maa-asennuksessa on hyvä huomioida riittävä maavara, eli aurinkopaneelit olisivat vähintään 0,5 metriä irti maasta helpottaen huoltotoimenpiteitä. (Finnwind 2021b.) Maa-asennuksessa on myös otettava huomioon riittävä väli aurinkopaneelirivien välillä, jotta maa pystytään auraamaan talvella lumesta ja kesällä pystytään leikkaamaan nurmi tai muu kasvillisuus, jotta ne eivät aiheuta varjostuksia/haittaa aurinkopaneeleille. (RT103076 2019, 11.)



Kuva 7. Aurinkopaneelien maapilariasennus (Finnwind 2021b).

### 2.5.3 Seinäasennus

Aurinkopaneelit asennetaan julkisivulle mielellään etelään päin, jos tämä on mahdollista. Seinäasennuksessa pitää muistaa riittävä tuuletusväli paneelien ja seinän välissä, jotta aurinkopaneeli ei ylikuumene. Aurinkopaneelin ylikuumenemisesta seuraa paneelin tuoton lasku ja mahdollisesti ylikuumeneminen lyhentää aurinkopaneelien elinkaarta. (RT 103076 2019, 11.)

Pystyasennossa olevat aurinkopaneelit tuottavat kesäisin noin 30 % vähemmän sähköä, koska kallistuskulma ei ole optimaalinen aurinkoon nähden. Talvella pystyasennossa olevat paneelit tuottavat hieman enemmän sähköä, sillä niiden päälle ei helposti jää lunta ja aurinko paistaa silloin optimaalisemmasta kulmasta. (RT 103076 2019, 11.)





Kuva 8. Aurinkopaneelien seinäasennus (Aurinkovirta.fi 2021).

## 2.6 Aurinkopaneelijärjestelmän lupa-asiat

Aurinkopaneelijärjestelmien lupa-asiat riippuvat hyvin pitkälti siitä, että minkälaisen aurinkopaneelijärjestelmän on asentamassa. Jos aurinkopaneelijärjestelmä muuttaa merkittävästi kaupunkikuvaa tai vaikuttaa ympäristöön merkittävästi, niin silloin on mahdollista, että kunta/kaupunki vaatii toimenpideluvan kyseiselle järjestelmälle. Olemassa on kuitenkin poikkeuksia. Esimerkiksi suojeltuihin kohteisiin ei saa asentaa aurinkopaneelijärjestelmää, tai jos kyseessä on todella iso järjestelmä, niin se voi vaatia rakennusluvan. Kaikki lupa-asiat kuitenkin riippuvat kunnasta minne aurinkopaneelijärjestelmä tulisi asennettavaksi eli luvat ovat kunta kohtaisia. (Motiva, 2021f.)

Joensuun kaupungin luvat aurinkopaneelijärjestelmistä on seuraavat. Enintään 26 neliömetrin aurinkopaneelijärjestelmä asennettuna katon lappeen suuntaisesti, tai tasakatolla maisemaan näkymättömästi asennettu järjestelmä ei tarvitse lupaa tai ilmoitusta missään kaupungin osassa. Yli 26 neliömetrin aurinkopaneelijärjestelmä vaatii toimenpideluvan kantakaupungin yhtenäisellä

asemakaava-alueella ja muilla asemakaava-alueilla. Ilmoitus kaupungille vaaditaan yli 26 neliömetrin aurinkopaneelijärjestelmästä suunnittelutarvealueella, ranta-alueilla ja muilla alueilla esimerkiksi haja-asutusalueilla. (Joensuun kaupungin rakennusjärjestys, 2020, 8.)

Sähköverkkoon kytkettyjen aurinkopaneelijärjestelmien asennuksen sähkötyöt saa tehdä ainoastaan yritys, jolla on riittävät pätevyudet siihen eli sähköasennusoikeudet. Järjestelmille pitää myös tehdä käyttöönottotarkastus. Työn tilaajan on hyvä vaatia työntekijältä tarkastuspöytäkirja asennusten käyttöönottotarkastuksesta. (Motiva, 2021f.)

Aurinkopaneelijärjestelmää ei saa asentaa suoraan sähköverkkoon ilman sähköverkkoyhtiön lupaa. Sähköverkkoyhtiöön kannattaa olla yhteydessä ennen aurinkopaneelijärjestelmän hankintaa, sillä sähköverkkoyhtiöltä saa ohjeet järjestelmän sähköverkkoon kytkemisestä. Verkkoon kytkennän saa suorittaa ainoastaan riittävät pätevyudet omaava sähköurakoitsija. (Motiva, 2021f.)

## **2.7 Aurinkopaneelijärjestelmän mitoitus**

Aurinkopaneelijärjestelmien mitoitusperusteet pohjautuvat pitkälti sähkönkulutus tietoihin, kohteen sijaintiin, kohteen aurinkopaneeleille soveltuvaan pinta-alaan, aurinkopaneelien kallistuskulmaan ja ilmansuuntaan. Näiden tietojen perusteella pystytään laskemaan kannattavan aurinkopaneelijärjestelmän teho. Aurinkopaneelijärjestelmän teho pyritään mitoittamaan niin, että mahdollisimman paljon aurinkopaneelien tuottamasta sähköstä käytetään itse kohteessa. (Aurinkojärjestelmän hankintaopas maataloille 2018, 6.)

Mitoitus voidaan tehdä kohteen minimisähkönkulutuksen mukaan, jolloin aurinkopaneelijärjestelmän tavoitteena on tasoittaa kohteen sähkönkulutusta. Tällöin tarvitaan kohteen tuntikohtaiset sähkönkulutustiedot. Minimisähkönkulutuksella tarkoitetaan kohteen sähkönkulutusta, joka minimissään kuluu kohteessa, riippumatta vuorokauden- ja vuoden ajasta. (Paavola 2013, 34–35.) Aurinkopaneelijärjestelmän mitoitus voidaan myös tehdä pinta-alan mukaan eli mitataan

mahdollinen aurinkopaneeleille soveltuva pinta-ala ja lasketaan kuinka paljon aurinkopaneeleja pinta-alalle mahtuu. Mitoitus kuitenkin kannattaa tehdä aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuuden mukaan eli taloudellisesta näkökulmasta.

Aurinkopaneelien suuntaukseen vaikuttaa suurimmissa määrin rakennuksen ilmansuunta. Etenkin jos kyseessä on harjakattoinen rakennus, jolloin aurinkopaneelien asennus on käytännössä mahdollista vain lappeen suuntaisesti. Yleisesti aurinkopaneelit suunnataan etelään kohti, koska Suomessa suurin säteilymäärä tulee etelästä. Kuitenkin, jos sähkönkulutuksessa havaitaan esimerkiksi aamupäivisin suurta kulutusta, silloin paneelien suuntaus itään/kaakkoon voisi olla perusteltua, tai vastaavasti, jos sähkönkulutus olisi iltapäivällä suurta aurinkopaneelit voitaisiin suunnata lounaaseen/länteen, jolloin saataisiin suurimmalle kulutuspiikille mahdollisimman paljon omavaraistasähköntuottoa. (Motiva 2021c.)

Tuottoisin aurinkopaneelien kallistuskulma on noin 35–45 astetta. Perussääntönä on, että 15 asteen poikkeama parhaasta mahdollisesta kulmasta pienentää aurinkopaneelien vuosituotantoa noin 5 prosenttia. Mitä vaakatasoisessa asennossa aurinkopaneelit ovat, sitä suurempi teho huippu niillä keskikesällä on, mutta tehohuippu on silloin melko lyhyt kestoinen, ja aurinkopaneelit eivät tuota esimerkiksi syksyllä enää kovin paljoa, koska aurinko paistaa silloin paljon matalammalta. Kun taas, mitä pystympään asentoon aurinkopaneelit asennetaan, sitä tasaisempaa tuotto on kevästä syksyyn. Mutta ns. tehopiikkiä keskikesällä silloin ei juuri tule, koska aurinkopaneelin ja auringon kulma ei ole optimaalinen. Eli vuosituotannon kannalta suotavinta on asentaa aurinkopaneelit optimikulmaan, mikäli se on mahdollista. (Motiva 2021c.)

PVsol-premium-ohjelmaan pystytään suoraan syöttämään tuntikohtaiset sähkönkulutus arvot vuoden ajalta, jolloin pystytään helpommin simuloimaan oikean tehoista aurinkoenergiajärjestelmää. Kyseiseen tietokone ohjelmaan on asennettu valmiiksi auringonsäteily data, jonka perusteella Pvsol-premium-ohjelma laskee tietyn tehoisen aurinkopaneelijärjestelmän sähköntuoton. Ohjelmassa pystyy vaikuttamaan moneen asiaan; esimerkiksi aurinkopaneelien

kallistuskulmaan, ilman suuntaan, pystyy muodostamaan varjoja, rakennukset pystytään piirtämään melko tarkasti kohteen mukaisiksi. Kaikki nämä pyritään tekemään mahdollisimman tarkasti, jotta kohteen simulointi olisi mahdollisimman todenmukainen. (Valentin software 2022.)

## 2.8 Aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuuden laskeminen

**Diskonttauksella** tarkoitetaan nykyarvon laskemista tulevaisuuden rahavirrasta. Tämänhetkistä ja tulevaisuuden rahaa ei voi verrata keskenään, vaan tulevien maksujen arvo joudutaan diskonttaamaan eli siirtämään nykyarvoksi. Eli mitä pidemmälle maksu tulevaisuudessa sijoittuu, sitä vähemmän maksulla on nykyhetkelle arvoa. (Visma, 2022.)

**Energiatuki** myönnetään hankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa, energiasäästöä ja energiajärjestelmän muuntamista vähähiiliseksi. Energiatuki aurinkosähköjärjestelmälle vuonna 2022 on 15 %. Tuettavien hankkeiden investointikustannuksen tulee olla minimissään 10 000 euroa. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2022.)

**Investointiajalla** tarkoitetaan aikaa, jolloin investoinnilla on taloudellista käyttöarvoa. Aurinkopaneelijärjestelmän investointiaika riippuu teknisistä tekijöistä. (Yritystulkki.fi 2021.)

**Kannattavuuden** laskeminen on investoinnin elinkaarelle tehty laskelma, jolla pyritään näkemään mahdollisimman tarkasti investoinnin kannattavuus ja järkevyys. Laskelmaa tehtäessä täytyy kiinnittää huomiota tuleviin kustannuksiin ja tuottoihin. (Yritystulkki.fi 2021.)

**Sisäisen koron** laskennassa lasketaan korkokantaa, jolla investoinnin nettonykyarvo on nolla. Tuloksessa nähdään investoinnin tuotto prosentteina investointiin sijoitetulle pääomalle. Mitä suurempi on sisäinen korko, sitä parempi on investoinnin kannattavuus. (Pankkiasiat.fi 2021.)

**Takaisinmaksuajalla** tarkoitetaan, miten nopeasti investoinnin kustannukset on maksettu kokonaan. Mitä lyhyempi takaisinmaksuaika sitä kannattavampi investointi on. (Pankkiasiat.fi 2021.)

## 2.9 Laskenta kaavat

Aurinkopaneelijärjestelmästä tuleva säästö:

$$= \text{Aurinkopaneeleista saatu sähkö (kWh)} * \text{sähkön hinta } \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}}\right) + \\ \text{myyntiin menevä sähkö (kWh)} * \text{myyntiin menevän sähkön hinta } \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}}\right)$$

Vuosittainen sähköntuotannon alenema:

$$= \text{Aurinkopaneeleista saatu sähkö (kWh)} * 99,5\%$$

Vuosittainen sähkönhinnan nousu:

$$= \text{sähkön hinta (kWh)} * 101,5\%$$

Kaikille 30 vuodelle lasketaan oma vuosittainen säästö, koska sähkönhinnan oletetaan nousevan 1,5 prosenttia, joten se on aina eri joka vuotena ja aurinkopaneelien vuosittainen tuotannon alenema oletetaan olevan 0,5 prosenttia, joten sähköntuotanto ei ole sama joka vuosi.

Oletetaan, että invertterit tulee vaihtaa 15 vuoden päästä aurinkopaneelijärjestelmän asennuksesta, joten invertterin hinta diskontataan nykyarvoon ja lisätään diskontattu hinta 15 vuoden kohdalla oleviin kustannuksiin.

Invertterin diskonttaus nykyarvoon:

$$= \frac{\text{invertterin hinta}}{(1+\text{korkokanta})^{\text{vuodet}}}$$

Aurinkopaneelijärjestelmien kannattavuuslaskelmat löytyvät liitteistä.

### 3 Opinnäytetyön tavoite ja tehtävä

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa Joensuun veden tuotantolaitoksien aurinkoenergianpotentiaali. Eli onko kyseisissä tuotantolaitoksissa mahdollista käyttää aurinkoenergiaa sähkönlähteenä ja onko se taloudellisesti kannattavaa. Tehtävänä on mitoitaa kannattavuudeltaan oikeankokoiset aurinkopaneelijärjestelmät kyseisille kohteille sähkönkulutustietojen, auringonsäteilyn, sijainnin ja asennustyylin perusteella käyttäen apuna PVsol-premium-tietokoneohjelmaa. Tavoitteena opinnäytetyössä on saada selville:

- vesilaitosten aurinkojärjestelmien kannattavuus
- vesilaitosten aurinkojärjestelmien tuottavuus
- vesilaitosten aurinkojärjestelmien sijoittelu
- vesilaitosten aurinkojärjestelmien kustannusarviot.

### 4 Menetelmälliset valinnat

Kyseessä on tutkimuksellinen opinnäytetyö, jonka tulokset pohjautuvat laskelmiin ja maastokäynteihin. Opinnäytetyö sisältää kohteiden maastokäynnit ja siellä tehtävät/tarkasteltavat asiat:

- kohteen sijainti
- rakennuksen ilmansuunta
- ympäristön tarkastelu (metsät, korkeat rakennukset, yms. varjostuksiin liittyvät asiat)
- kohteen katolla olevat ilmastointikanavat yms. vastaavat varjostuksiin vaikuttavat asiat.

Aurinkopaneelien sijoittelussa/suunnittelussa käytettiin PVsol-ohjelmaa apuna hahmottamaan kokonaisuutta. Mitoitusperusteena käytettiin toimeksiantajan antamia kohteiden tuntikohtaisia sähkönkulutustietoja, jotka syötettiin PVsol-premium-ohjelmaa. Käytössä ovat apuna kohteiden rakennuspiirustukset, jotta

PVsol-ohjelmalla pystytään piirtämään mahdollisimman tarkat kuvat rakennuksista.

## 5 Kohteiden aurinkopaneelijärjestelmien mitoitus

Kohteiksi opinnäytetyöhön valittiin Kuhasalon jätevedenpuhdistamo, Onttolan alkalointilaitos ja Rantakylän alkalointilaitos. Valinta tehtiin kohteiden potentiaaliperusteella, eli kyseiset kohteet ovat todennäköisesti potentiaalisia kohteita aurinkoenergiajärjestelmille. Kaikista kohteista on tehty mahdollisimman tarkka mallinnus Pvsol-premium-ohjelman avulla. Kaikissa kohteissa käytetään Suntech Power STP400S-C54/Umh half-cut yksiköiden aurinkopaneeleja (Liite 1) ja Fronius inverttereitä. Invertterit eivät ole kaikissa kohteissa saman tehoisia, vaan teho ja inverttereiden määrä riippuu aurinkopaneelijärjestelmän tehosta.

Kohteille tehdään useampia simulointeja, jolloin pystytään todentamaan, että mikä simulaatio on paras vaihtoehto kullekin kohteelle. Aurinkopaneelijärjestelmien vertailut tehdään Pvsol-premium-ohjelmalla ilman 3D-mallinnusta. Vertailun jälkeen valitaan paras aurinkopaneelijärjestelmä, jolloin päästään tekemään 3D-simulointia ja tarkempaa suunnitelmaa. 3D-simuloinnissa aurinkopaneelijärjestelmien sähköntuotanto todennäköisesti tippuu, johtuen varjostuksista, jotka pystytään ottamaan 3D-simuloinnissa huomioon. Kaikissa 2D-simuloinneissa aurinkopaneelien suuntaus on etelään ja niiden kulma on 20 astetta. Lähtökohdaksi pidetään, että omakulutusaste pyritään pitämään melko korkealla, jolloin aurinkoenergiajärjestelmä on myös kannattavampi.

Aurinkoenergiajärjestelmän elinkaarikustannukset on laskettu seuraavin oletuksin:

- yhden kWp hinta "avaimet käteen" periaatteella 920 € (alv. 0%)  
(Pykäläinen, S)
- sähkön osto hinta 0,12 €/kWh (Nygren, S)
- ylijäämä sähkön myyntihinta 0,03 €/kWh (Nygren, S)

- invertterien vaihto huomioitu 15 vuoden kohdalla, hinta vaihtelee invertterin tehon mukaan
- laskentakorkokantana käytettiin 3,5 % (korollinen takaisinmaksuaika) ja 0 % (koroton takaisinmaksuaika) (Nygren, S)
- kustannuksissa otettu huomioon 15 %:n energiatuki
- järjestelmän arvioitu sähköntuoton alenema -0,5 %/v
- sähkön hinnan oletetaan nousevan 1,5 %/v
- järjestelmän arvioitu käyttöikä 30 vuotta.

Opinnäytetyön laskelmat perustuvat Solarworksiltä saatuihin kustannusarvioihin (920 €/kWp alv. 0 %). Aurinkopaneelijärjestelmien arvioidut vuosituotannot perustuvat PVsol-premium-ohjelman arvioihin. Invertterien hinnat perustuvat markkinoilla olevien invertterien hintoihin (alv. 0 %).

## **6 Tulokset**

### **6.1 Kuhasalon jätevedenpuhdistamo**

Kuhasalon jätevedenpuhdistamo sijaitsee Kuhasalossa, Joensuun torilta linnuntietä noin 2 kilometriä lounaaseen. Aurinkopaneelien kannalta jätevedenpuhdistamo sijaitsee hyvällä paikalla. Aurinkopaneelien paikka tulisi olemaan suurimman selkeytsaltaan päällä eli suurimman pyöreän rakennuksen katolla. Tämä paikka on tarkasteltu ja keskusteltu Joensuun Veden jätevedenkäsittelyn käyttöpäällikön Pasi Kakkosen kanssa. Selkeytsallas on tasakattoinen, joten aurinkopaneelit saadaan hyvin asennettua oikeaan suuntaan eli etelään päin.

Selkeytsaltaan länsipuolella on jonkin verran puustoa, mutta paneelien sijoittelulla pystytään välttämään varjostusten muodostuminen aurinkopaneeleille. Sähkön kulutus Kuhasalon jätevedenpuhdistamolla vuonna 2020 oli 1 351 677 kWh. Kuhasalon jätevedenpuhdistamon aurinkopaneelijärjestelmä tulisi hieman ”ylimitoittaa” eli suunnitella aurinkopaneelijärjestelmä ylitehoiseksi. Sami Nygrenin kanssa käymän keskustelun pohjalta Kuhasalon jätevedenpuhdistamon



sähkönkulutus tulee hyvin todennäköisesti kasvamaan lähitulevaisuudessa, mikä on seurausta Joensuun kaupungin kasvusta, mikä lisää jätevedenpuhdistamon käyttöä.



Kuva 9. Kuhasalon jätevedenpuhdistamo (Joensuun karttapalvelu).

### 6.1.1 Aurinkopaneelijärjestelmien vertailu ja valinta

Kuhasalon jätevedenpuhdistamon aurinkopaneelijärjestelmän vertailussa on seuraavan tehoiset järjestelmät; 240, 340, 440, 540 ja 640 kWp. Vertailussa saatiin seuraavat tulokset (taulukko 1 ja 2).

Järjestelmän teho (kWp)	Aurinkopaneelijärjestelmän sähkön tuotto (kWh/vuosi)	Omaan käyttöön tuleva sähkö (kWh/vuosi)	Myyntiin menevä sähkö (kWh/vuosi)	Omakulutusaste (%)	Omavaraisuusaste (%)	Aurinkopaneelin pinta-ala (m <sup>2</sup> )
240	213 086.00	158 632.00	54 454.00	74.40	11.70	1 173.00
340	300 654.00	203 962.00	96 692.00	67.80	15.10	1 662.00
440	389 082.00	243 642.00	145 440.00	62.60	18.00	2 150.00
540	477 510.00	275 385.00	202 125.00	57.60	20.40	2 639.30
640	565 938.00	300 180.00	265 758.00	53.00	22.20	3 128.00

Taulukko 1. Kuhasalon jätevedenpuhdistamon aurinkopaneelijärjestelmien vertailu.

Järjestelmän teho (kWp)	Aurinkopaneelijärjestelmän kustannus, energiatuki huomioituna (€)	Koroton takaisinmaksuaika (vuosi)	Korollinen takaisinmaksuaika (vuosi)	Sisäinen korko (%)	30 vuoden säästö (€)
240.00	187 680.00	9.00	10.50	11.19	230 978.00
340.00	265 880.00	9.50	12.00	10.38	288 519.00
440.00	344 080.00	10.00	12.50	9.72	332 489.00
540.00	422 280.00	10.50	13.00	9.11	363 392.00
640.00	500 480.00	11.00	15.00	8.53	381 907.00

Taulukko 2. Kuhasalon jätevedenpuhdistamon aurinkopaneelijärjestelmien kannattavuus vertailu.

Vertailussa huomattiin, että Kuhasalon jätevedenpuhdistamolle kannattavin aurinkopaneelijärjestelmä tulisi olemaan 340–440 kWp välissä, johtuen hyvästä takaisinmaksuajasta, sisäisestä korosta ja omavaraisuusasteesta. 30 vuoden säästö tulisi myös olemaan hyvä tuolla kyseisellä välillä. Pystytään huomamaan, että Kuhasaloon voisi asentaa huomattavasti suuremman aurinkopaneelijärjestelmän kannattavasti.

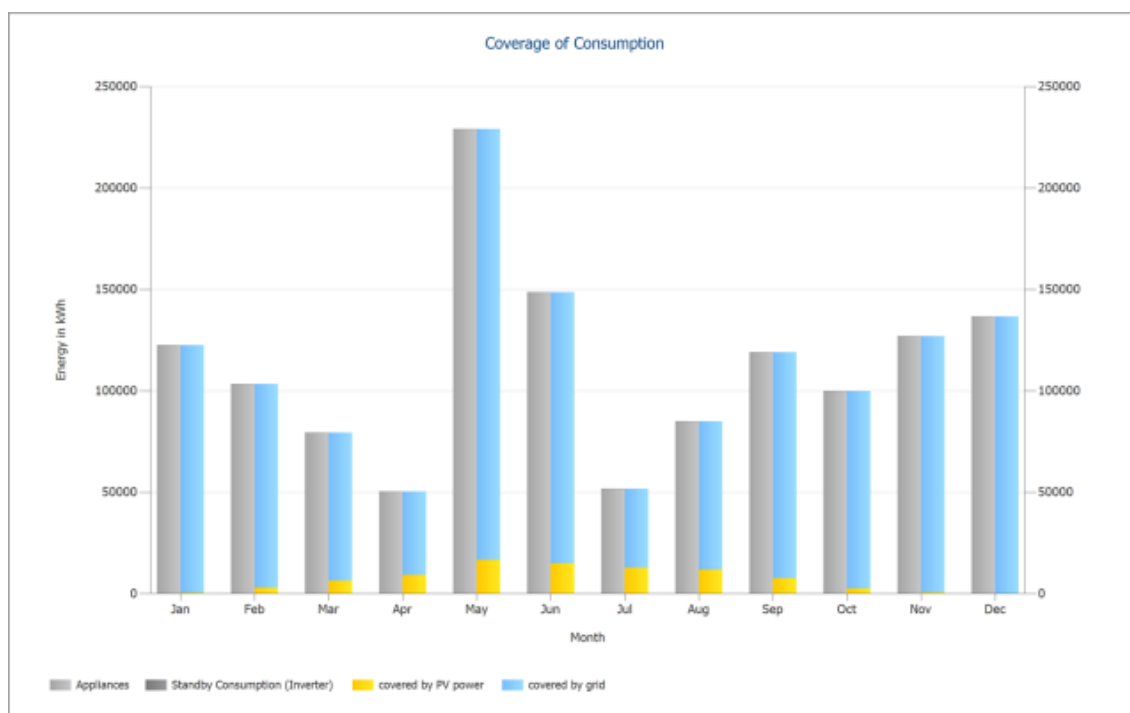
Ottaen huomioon, että aurinkopaneelit tulee asentaa Kuhasalon jätevedenpuhdistamolla suurimman selkeytys altaan päälle, jonka länsipuolella on puustoa, joten asennuspaikaksi määräytyy selkeytysaltaan itäpuoli, jotta pystytään ns. väistämään puuston aiheuttamat varjostukset. 3D-simulointia tehdessä huomattiin, että selkeytysaltaan katolle ei mahdu noin suuri tehoista järjestelmää, vaan maksimi kokoinen järjestelmä olisi 120 kWp. Tästä paikanvalinnasta johtuen aurinkopaneelijärjestelmän teho jää melko pieneksi sähkönkulutukseen nähden.

### 6.1.2 Valittu aurinkopaneelijärjestelmä

Kuhasalon jätevedenpuhdistamolle tultiin siihen johtopäätökseen, että kaikista paras vaihtoehto olisi 120 kWp tehoinen järjestelmä. Aurinkopaneeleja tulisi yhteensä 300 kappaletta, ja niiden pinta-ala olisi 586.5 m<sup>2</sup>. Inverttereitä tulisi yhteensä viisi kappaletta.

Vuodessa kyseinen aurinkopaneelijärjestelmä tuottaisi 99 855 kWh, josta myyntiin sähköverkkoon menisi 14 727 kWh, eli omakulutusta tulisi olemaan noin

85 %. Aurinkopaneelijärjestelmä tuottaisi 6,3 % sähköntarpeesta. Kaikki viisi inverteriä tulisi olemaan Fronius Symo 20.0-3-M mallisia.



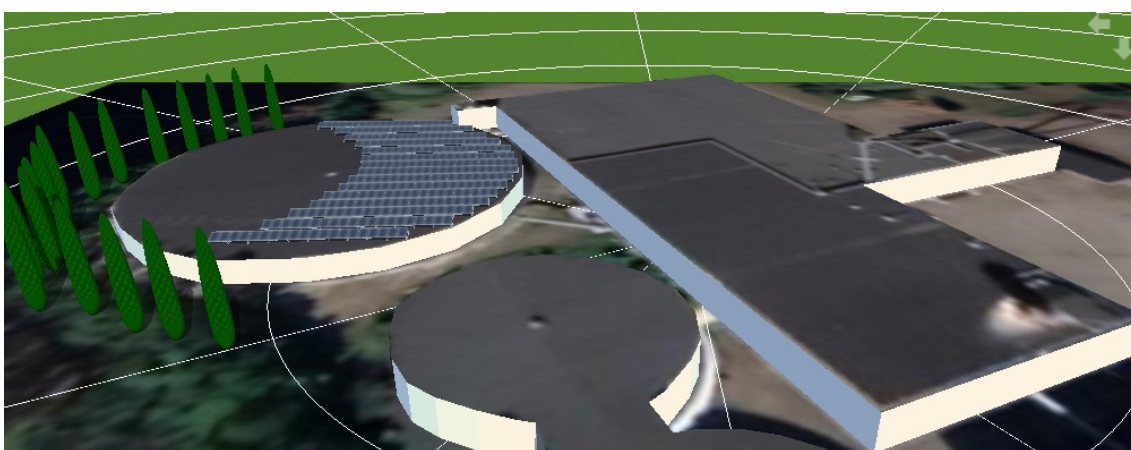
Kuvio 2. Kuhasalon jätevedenpuhdistamon sähkönkulutus (harmaa palkki) ja 120 kWp aurinkopaneelijärjestelmän tuotto (keltainen palkki).

Aurinkopaneelien asennuspaikka on suunniteltu selkeytysaltaan päälle, koska Pasi Kakkosen kanssa käymän keskustelun perusteella muualle niitä ei kannataisi asentaa suurten lumimassojen takia. Kyseessä on melko tuulinen paikka, joten muille kohteen katoille lumi pakkautuu talvisin todella paksusti, jolloin aurinkopaneelit voisivat vaurioitua ja ne olisivat edessä talvella, kun lumen pudotukset suoritetaan.

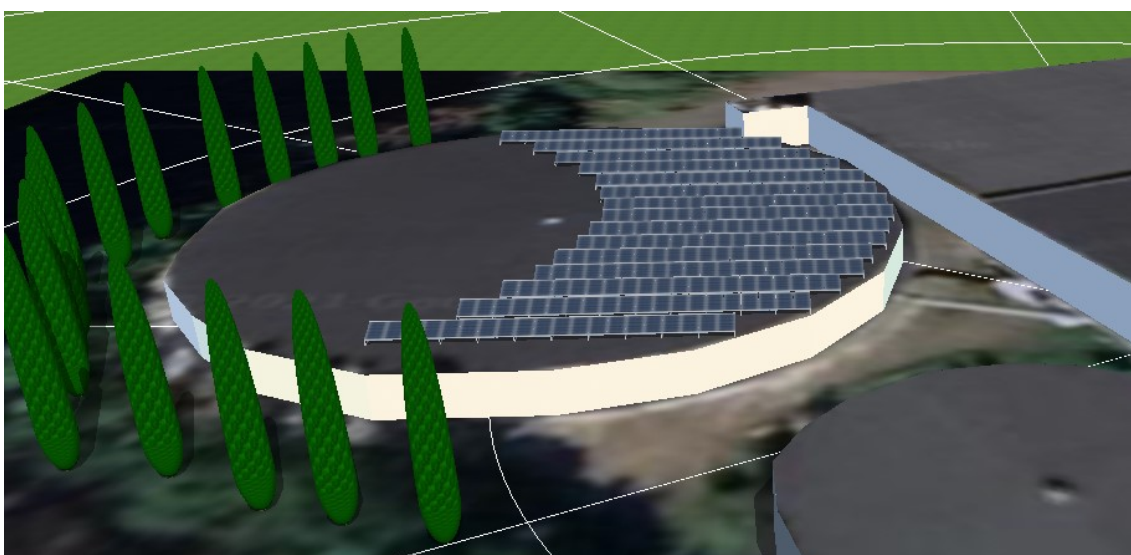
Simuloinnissa aurinkopaneelit ovat asennettu 20 asteen kulmaan. Tuotannollisesti tämä ei ole optimikulma, mutta ero sähköntuotossa on melko pieni, ja 20 asteen kulmassa aurinkopaneelit eivät muodosta toisilleen varjoja yhtä helposti. Myös tuulikuorma on pienempi tuolloin. Aurinkopaneelien kulman ollessa pienempi voidaan aurinkopaneeleja asentaa lähemmäksi toisiaan, jolloin pystytään hyödyntämään aurinkopaneeleille varattu pinta-ala tehokkaammin. Myös aurinkopaneelien valinta kohdistuu tähän ns. pinta-alaongelmaan, eli valittiin 400 W:n tehoinen aurinkopaneeli, joka on käytännössä pinta-alaltaan

samankokoinen kuin 300 W:n tehoinen aurinkopaneeli. Tuolloin saadaan pienemmältä pinta-alalta enemmän tehoa.

Kuhasalon jätevedenpuhdistamon länsi ja lounas puolella on jonkin verran puustoa, jotka luovat hieman varjostuksia aurinkopaneeleille. Suurimpien puitten kaato parantaisi hieman aurinkopaneelien vuosittaista tuotantoa. Puitten varjostukset otettu huomioon aurinkopaneelijärjestelmän sähkön tuotannossa. Selkeytysaltaan länsipuolen suurten puitten kaato/poisto mahdollistaisi huomattavasti suuremman aurinkopaneelijärjestelmän käytön. Eli pystyttäisiin käyttämään koko selkeytysaltaan katto pinta-ala hyväksi.



Kuva 10. Pvsol-premium ohjelmalla luotu mallinnus Kuhasalon jätevedenpuhdistamon aurinkopaneelijärjestelmästä



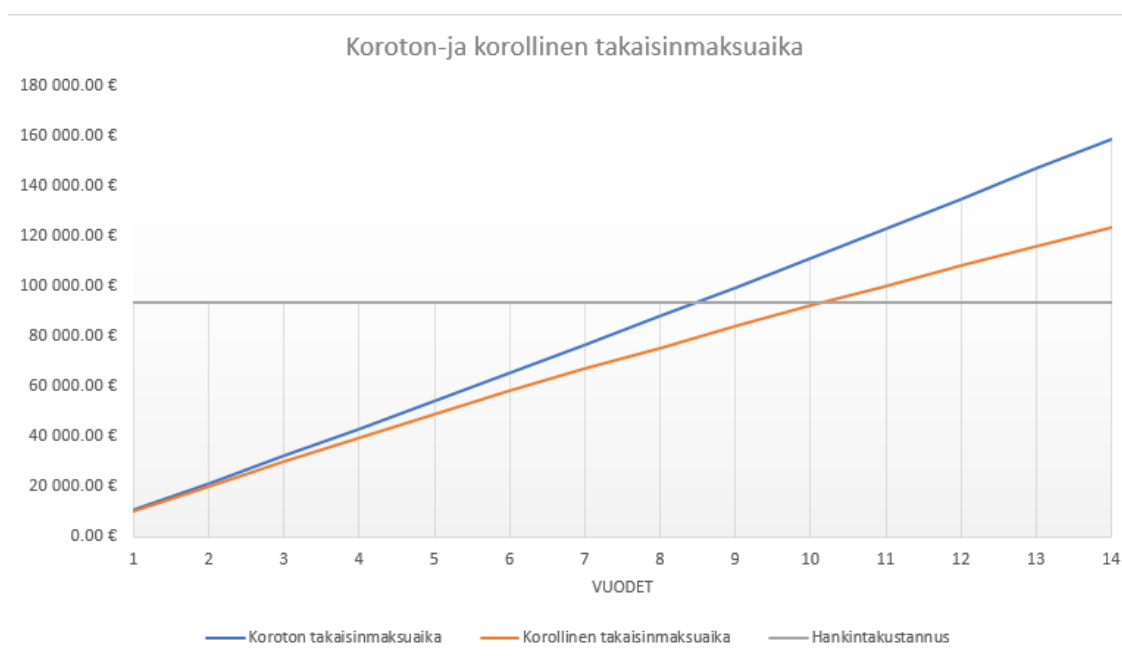
Kuva 11. PVsol-ohjelmalla luotu simulointi Kuhasalon jätevedenpuhdistamon aurinkopaneelijärjestelmästä

### 6.1.3 Aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuus laskelmat

120 kWp:n tehoinen aurinkopaneelijärjestelmä maksaisi 920 €/kWp (alv. 0 %) hinnalla 110 400 € (ilman energiatukea), energiatuen (15 %) kanssa investointikustannus olisi 93 840 €.

Viiden Fronius Symo 20 kW-invertterien hinta on nykymarkkinoilla yhteensä 13 129 € (alv. 0), yhden invertterin hankintahinta on 2 626 € (alv. 0 %) (Kärkkäinen 2022d). Invertterien diskontattu hinta 15 vuoden päähän on 7 836,6 €, joka huomioidaan laskelmissa 15 vuoden kohdalla.

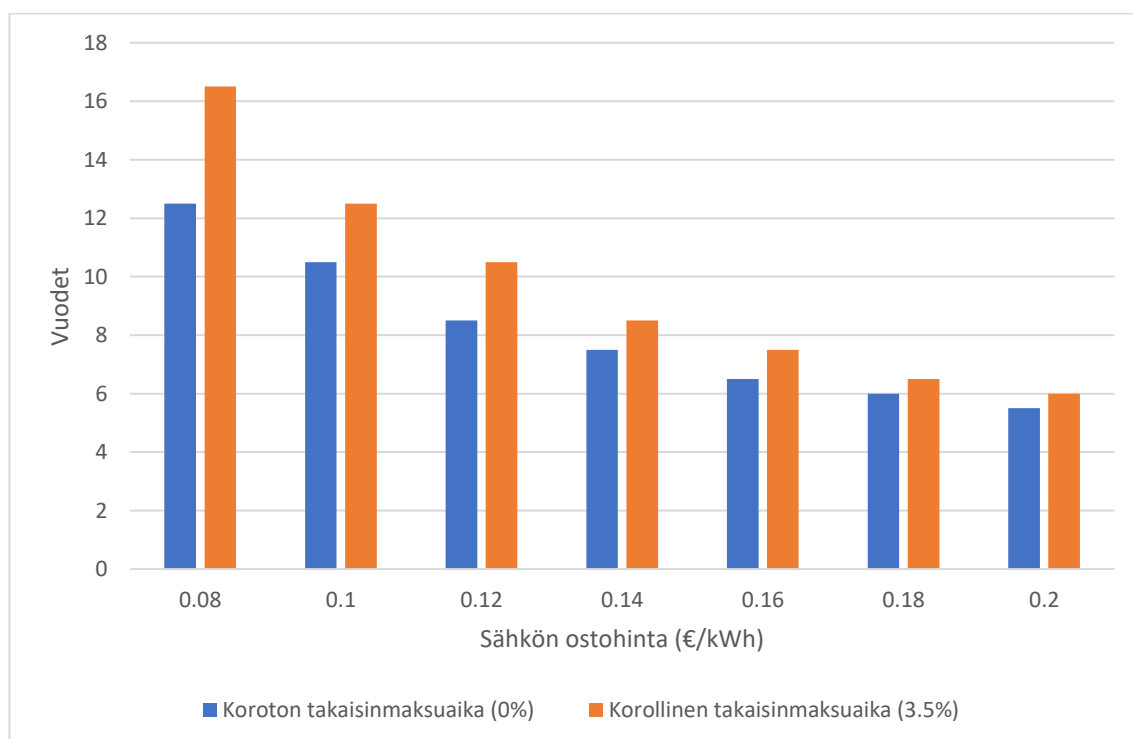
Koroton takaisinmaksuaika tulisi Kuhasalon jätevedenpuhdistamon aurinkoenergiajärjestelmälle olemaan noin 8,5 vuotta, ja korollinen takaisinmaksuaika tulisi olemaan noin kymmenen vuotta. (kuvio 1.)



Kuvio 3. Kuhasalon jätevedenpuhdistamon aurinkopaneelijärjestelmän koroton ja korollinen takaisinmaksuaika.

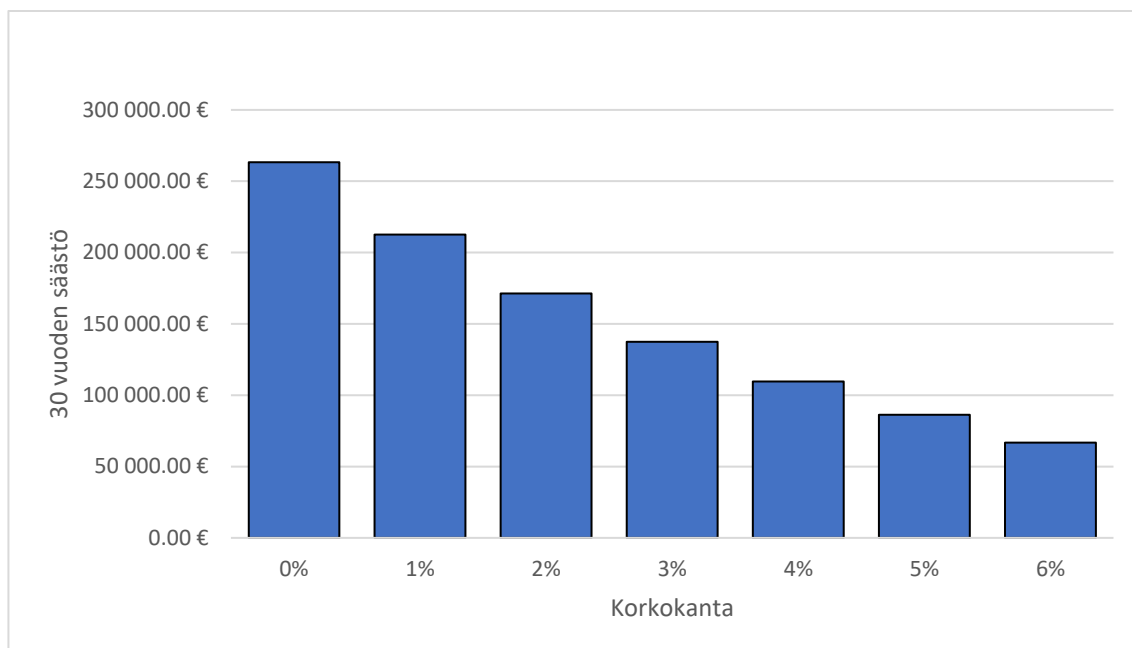
Sisäinen korko tulisi olemaan näillä laskelmissa 11,61 %. Se kuvastaa, että Kuhasalon aurinkopaneelijärjestelmä olisi kannattava investointi. Kolmessakymmenessä vuodessa säästöä tulisi yhteensä 122 854 euroa. Kannattavuus laskelmat liitteessä 2.

Koroton ja korollinen takaisinmaksuaika on hyvin riippuvainen ostosähkön hinnasta. Laskelmissa on käytetty ostosähkön hintana 0,12 €/kWh, joka nousee aina vuosittain 1,5 %. Kuviossa on kuvattu, jos ostosähkön aloitus hinta muuttuu, niin miten se vaikuttaa aurinkopaneelijärjestelmän takaisinmaksuaikoihin (kuvio 3).



Kuvio 4. Ostosähkön hinnan muutoksen vaikutus takaisinmaksuaikoihin.

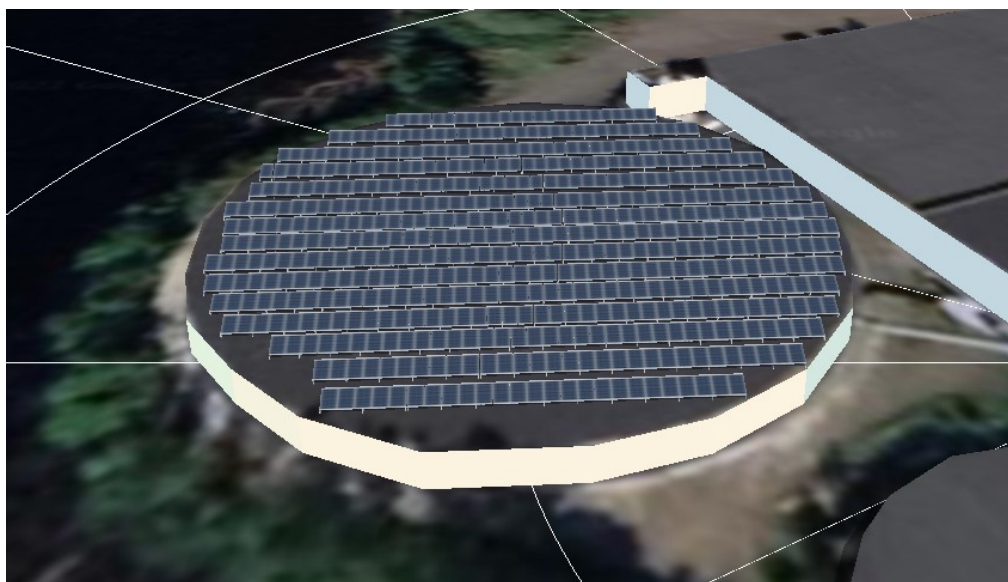
Laskenta korkokannan vaikutus 30 vuoden säästöihin on suuri. Mitä suuremalla korolla investointi lasketaan, sitä pienempi on tulevaisuuden säästö. Taulukosta huomataan Kuhasalon jätevedenpuhdistamon 30 vuoden säästö, jos korko kanta onkin eri kuin laskelmissa käytetty 3,5 % (kuvio 4).



Kuvio 5. Kuhasalon jätevedenpuhdistamon aurinkopaneelijärjestelmän korkokannan muutoksen vaikutus kolmessakymmenessä vuodessa tulevaan säästöön

#### 6.1.4 Vaihtoehtoinen aurinkopaneelijärjestelmä

Kuhasalon jätevedenpuhdistamolle mitoitettiin vaihtoehtoinen aurinkopaneelijärjestelmä sillä perusteella, että selkeytysaltaan länsipuolella olevat puut poistettaisiin varjostuksia muodostamasta ja pystyttäisiin käyttämään selkeytysaltaan kattopinta-ala kokonaan hyödyksi. Tällä vaihtoehdolla saatiin seuraavia tuloksia.



Kuva 12. Vaihtoehtoinen aurinkopaneelijärjestelmä Kuhasalon jätevedenpuhdistamolle.

Tämän vaihtoehtoisen aurinkopaneelijärjestelmän teho olisi 229,6 kWp. Vuodessa 229,6 kWp:n tehoinen järjestelmä tuottaisi 192 642 kWh, josta omaan käyttöön tulisi 144 163 kWh ja verkkoon myyntiin menisi 48 478 kWh. Omakulutusta tulisi olemaan 74,8 % ja omavaraisuusaste 10,7 %. Kyseiselle järjestelmälle tulisi 10 kappaletta Fronius Symo 20.0-3-M inverttereitä, joiden diskontattu hinta tulisi olemaan 15 vuoden päästä 15 700 euroa.

Kyseinen aurinkopaneelijärjestelmä kustantaisi ilman energiatukea 211 232 euroa ja energiatuen (15 %) kanssa kustannus tulisi olemaan 179 547 euroa. Koroton takaisinmaksu aika olisi laskelmien mukaan noin 9,5 vuotta ja korollinen takaisinmaksuaika (3,5%) olisi noin 11,5 vuotta. Sisäinen korko olisi 10,56 %. 30 vuoden säästö olisi 200 657 euroa. Kannattavuuslaskelmissa ei ole otettu huomioon puiden kaadosta mahdollisesti tulevia kustannuksia.

Kyseinen järjestelmä olisi kannattava vaihtoehto Kuhasalon jätevedenpuhdistamolle. Tämä järjestelmä tuottaisi huomattavasti enemmän sähköä omaan käyttöön kuin 120 kWp:n tehoinen järjestelmä, eli omavaraisuusaste olisi huomattavasti suurempi. Takaisinmaksuajoissakaan (liite 5) ei tulisi olemaan suuria eroja.

## **6.2 Onttolan alkalointilaitos**

Onttolan alkalointilaitos sijaitsee Kydön alueella Joensuussa, noin 6 kilometriä linnuntietä Joensuun torilta katsottuna luoteeseen. Paikkana Onttolan alakalointilaitos aurinkoenergiajärjestelmälle on hyvä. Rakennus on tasakattoinen ja se on etelä-pohjoinen suuntaisesti. Aurinkopaneelit saadaan hyvin asennettua etelään kohti kyseisessä kohteessa. Rakennuksen itä ja etelä puolella on hieman puustoa, mutta ne eivät muodosta suuria varjostuksia rakennuksille, jotka haittaisivat huomattavasti aurinkopaneelien tuotantoa. Onttolan alkalointilaitoksen sähkönkulutus oli vuonna 2020 345 364 kWh.





Kuva 13. Onttolan alkalointilaitos (Joensuun karttapalvelu)

### 6.2.1 Aurinkopaneelijärjestelmien vertailu ja valinta

Alustavat vertailut tehtiin PVsol-premium-ohjelmalla, ilman 3D-mallinnusta, eli vertailussa ei ole huomioitu mahdollisia varjostuksia. Vertailussa käytettiin seuraavan tehoisia aurinkopaneelijärjestelmiä: 60, 90, 120 ja 150 kWp ja saatiin seuraavia tuloksia (taulukko 3 ja 4).

Järjestelmän teho (kWp)	Aurinkopaneelijärjestelmän sähkön tuotto (kWh/vuosi)	Omaan käyttöön tuleva sähkö (kWh/vuosi)	Myyntiin menevä sähkö (kWh/vuosi)	Omakulutussaste (%)	Omavaraisuusaste (%)	Aurinkopaneelien pinta-ala (m <sup>2</sup> )
60	53 057.00	52 460.00	597.00	98.90	15.20	294.00
90	79 645.00	71 703.00	7 942.00	90.00	20.80	440.00
120	106 543.00	85 099.00	21 444.00	80.00	24.60	586.00
150	132 806.00	94 689.00	38 117.00	71.30	27.40	734.00

Taulukko 3. Onttolan alkalointilaitoksen vertailussa olevat aurinkopaneelijärjestelmät.

Järjestelmän teho (kWp)	Aurinkopaneelijärjestelmän kustannus, energiatuki huomioituna (€)	Koroton takaisinmaksuaika (vuosi)	Korollinen takaisinmaksuaika (vuosi)	Sisäinen korko (%)	30 vuoden säästö (€)
60.00	46 920.00	7.50	8.50	13.59 %	78 472.00
90.00	70 380.00	8.00	9.50	12.92	109 024.00
120.00	93 840.00	8.50	10.00	11.82	126 300.00
150.00	117 300.00	10.50	13.00	9.19	102 840.00

Taulukko 4. Onttolan alkalointilaitoksen aurinkopaneelijärjestelmien kannattavuus vertailu.

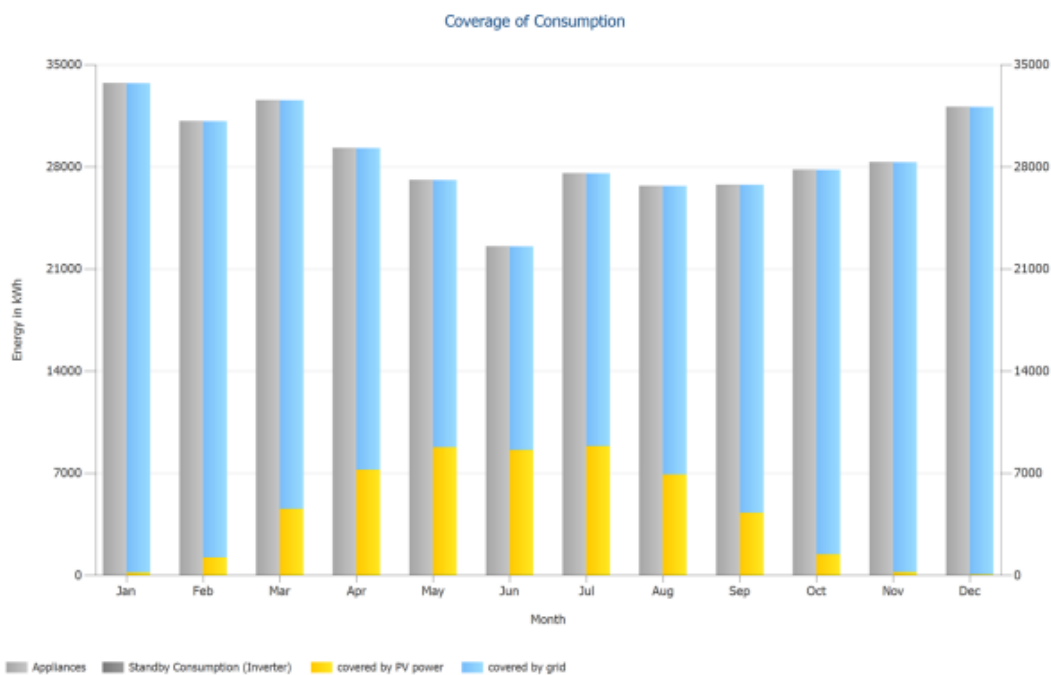
Vertailussa huomattiin, että kaikista kannattavin aurinkopaneelijärjestelmä tulisi olemaan 120 kWp:n tehoinen aurinkopaneelijärjestelmä. Aurinkopaneelijärjestelmän valinnan perusteeksi muodostui takaisinmaksuajat ja omavaraisuusaste. 120 kWp:n tehoisessa järjestelmässä takaisinmaksuajat ovat melkein yhtä hyviä kuin pienempitehoisissa järjestelmissä, mutta 120 kWp:n tehoinen järjestelmä tuottaa sähköä omaan käyttöön huomattavasti enemmän kuin pienemmät aurinkopaneelijärjestelmät.

3D-mallinnusta tehdessä huomattiin, että 120 kWp:n tehoinen aurinkopaneelijärjestelmä ei tule mahtumaan Onttolan alkalointilaitoksen katolle. Järjestelmän tehoa pienennettiin, kunnes huomattiin, että 66 kWp:n tehoinen järjestelmä on suuritehoisin järjestelmä, joka mahtuu Onttolan alkalointilaitoksen katolle, jolloin valinnaksi muodostui pinta-alasta johtuen 66 kWp:n tehoinen aurinkopaneelijärjestelmä.

### 6.2.2 Valittu aurinkopaneelijärjestelmä

3D-mallinnuksessa pystytään ottamaan mahdolliset varjostukset huomioon, jolloin myös aurinkopaneelijärjestelmäsähkön tuotto pienenee, mikä on seurausta juuri varjostuksista, joita aina hieman muodostuu.

Onttolan alikalointilaitokselle paras vaihtoehto tulisi olemaan 66 kWp:n tehoinen aurinkoenergiajärjestelmä (kuva 14). Tämän tehoinen järjestelmä kattaisi yhteensä 165 aurinkopaneelia ja neljä invertteriä. Aurinkopaneelien pinta-ala olisi yhteensä 322,6 m<sup>2</sup>. 66 kWp:n tehoinen aurinkoenergiajärjestelmä tuottaisi vuodessa 53 369 kWh sähköä, joista 1 032 kWh menisi myyntiin sähköverkkoon. Omakulutusaste olisi tämän tehoisella järjestelmällä 98,1 %. 15,2 % Onttolan alikalointilaitoksen tarvitsemasta sähköstä pystyttäisiin tuottamaan itse aurinkopaneeleilla. Aurinkopaneelit ovat simuloinnissa asetettu 20 asteen kulmaan, jotta pystytään hyödyntämään mahdollisimman paljon katon pinta-alasta luomatta varjostuksia paneeleille.



Kuvio 6. Onttolan alikalointilaitoksen sähkönkulutus (harmaa palkki) ja suunnitelman mukaisen aurinkoenergiajärjestelmän sähköntuotto (keltainen palkki).



Kuva 14. Pvsol-premium ohjelmalla luotu mallinnus Onttolan alkalointilaitoksen aurinkoenergiajärjestelmästä

Eteläisimmän rakennuksenosan katolle tulisi 36 aurinkopaneelia eli 14,4 kWp, jotka olisivat kytketty yhteen 12,5 kW:n Fronius Symo-inverteriin.



Kuva 15. Eteläsin osa Onttolan alkalointilaitoksen suunnitellusta aurinkoenergiajärjestelmästä.

Keskimmäinen osa rakennuksesta kattaisi yhteensä 24 aurinkopaneelia eli 9,6 kWp, jotka olisi kytketty 10 kW:n Fronius Symo-inverteriin.



Kuva 16. Keskimäinen suunniteltu aurinkoenergiajärjestelmän osa Onttolan alkalointilaitosessa.

Suurin ja itäisin osa Onttolan alkalointilaitoksessa kattaisi yhteensä 105 aurinkopaneelia, jotka olisi kytketty kahteen 17,5 kW Fronius Symo-invertteriin. Aurinkopaneelien nimellisteho olisi 42 kWp.

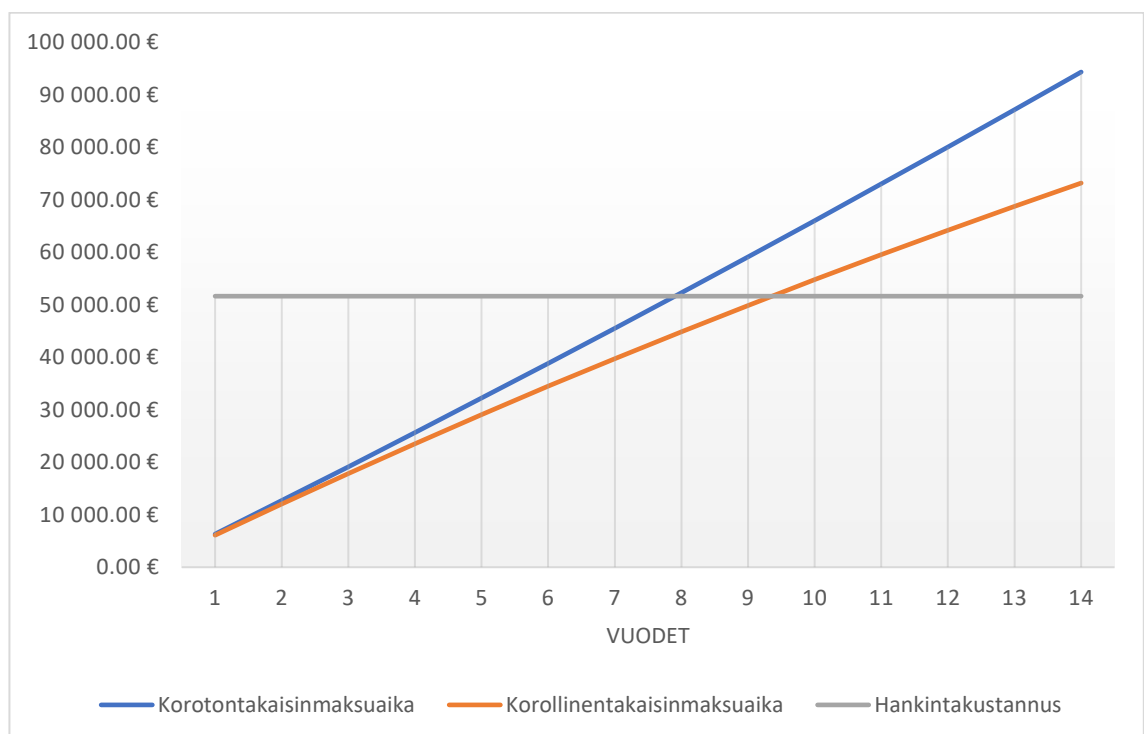


Kuva 17. Onttolan alkalointilaitoksen suurin suunniteltu aurinkoenergiajärjestelmän osa.

### 6.2.3 Aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuus laskelmat

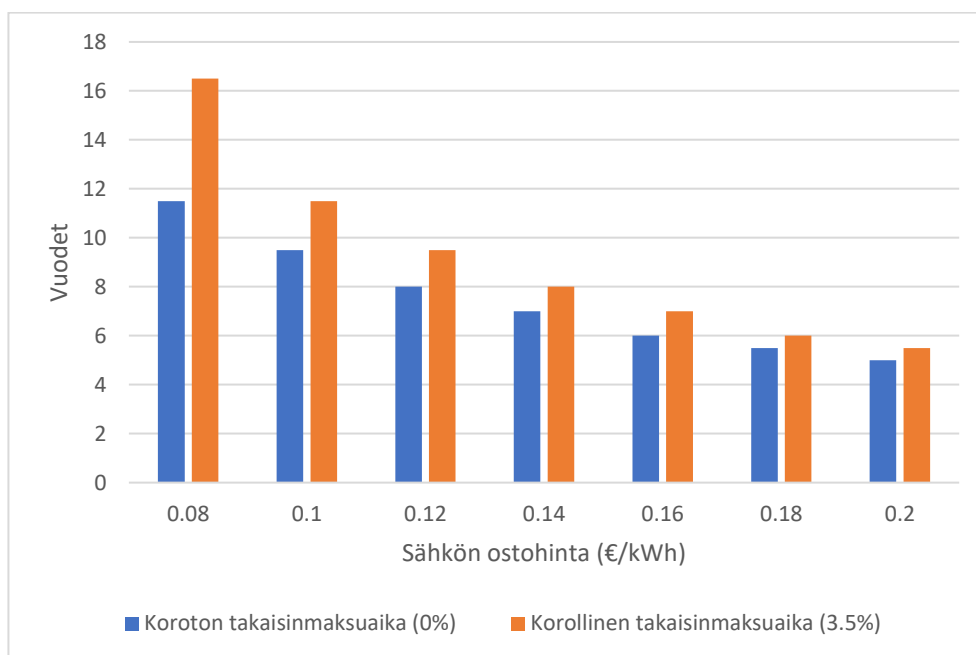
66 kWp:n tehoinen aurinkopaneelijärjestelmä maksaisi ilman energiatukea 60 720 euroa, ja energiatuki (15 %) huomioituna 51 612 euroa. Inverttereiden hinta tulisi olemaan yhteensä 9 123 euroa. Kyseessä siis kaksi kappaletta Fronius Symo 17,5-3-M, yksi kappale Fronius Symo 12,5-3-M ja yksi kappale Fronius Symo 10,0-3-M (Kärkkäinen, 2022abc). 15 vuoden päähän diskontattu inverttereiden hinta tulisi nykyarvossa olemaan 5 446 euroa, joka on huomioitu laskelmissa 15 vuoden kohdalla.

Energiatuki huomioituna Onttolan alkaolintilaitoksen aurinkopaneelijärjestelmän koroton takaisinmaksuaika tulisi näillä arvoilla olemaan noin 8 vuotta, ja korollinen takaisinmaksuaika (3,5 %) tulisi olemaan noin 9,5 vuotta (kuvio 7.). Sisäinen korko olisi 12,54 %, joka kuvastaa, että investointi tulisi olemaan kannattava. Kyseisillä arvoilla laskettuna kolmessakymmenessä vuodessa säästöä tulisi 76 238 euroa (liite 3).



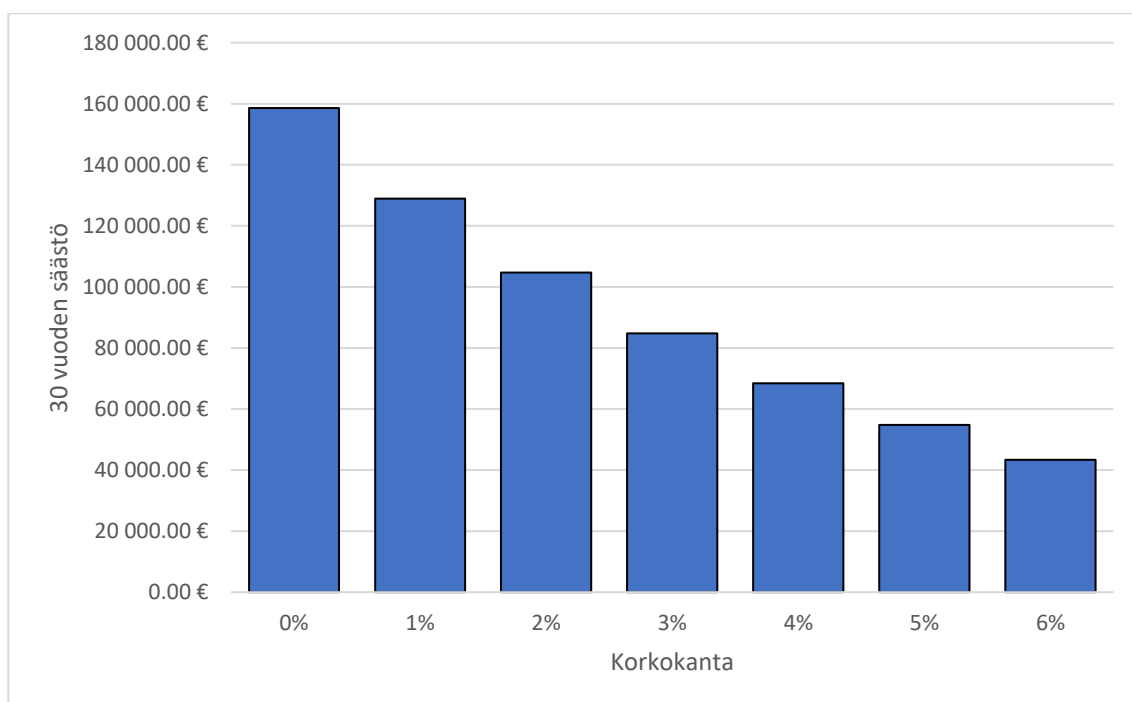
Kuvio 7. Onttolan alkaolintilaitoksen aurinkopaneelijärjestelmän koroton- ja korollinen takaisinmaksuaika.

Onttolan alalointilaitoksen aurinkopaneelijärjestelmän takaisinmaksuaikaan vaikuttava ostosähkön hinnan muutos (kuvio 8).



Kuvio 8. Onttolan alalointilaitoksen ostosähkön hinnan vaikutus takaisinmaksuaikoihin.

Onttolan alalointilaitoksen aurinkopaneelijärjestelmän korkokannan muutoksen vaikutus 30 vuoden säästöihin (kuvio 9).



Kuvio 9. Korkokannan muutoksen vaikutus aurinkopaneelijärjestelmästä saatavaan 30 vuoden säästöön.

### 6.3 Rantakylän alkalointilaitos

Rantakylän alkalointilaitos sijaitsee Joensuun Rantakylässä, linnuntietä noin 3,5 kilometriä Joensuun torilta koilliseen. Rantakylän alkalointilaitoksen aurinkopaneelien asennuspaikat olisivat maassa, tasakatolla ja harjakatolla. Kaikki nämä kyseisen kohteen paikat ovat potentiaalisia paikkoja aurinkopaneeleille, sillä varjostuksia ei juurikaan muodostu. Rantakylän alkalointilaitoksen sähkönkulutus vuonna 2020 oli 610 924 kWh.



Kuva 18. Rantakylän alkalointilaitos (Joensuun karttapalvelu).

#### 6.3.1 Aurinkopaneelijärjestelmien vertailu ja valinta

Rantakylän alkalointilaitoksen aurinkopaneelijärjestelmien vertailussa käytettiin seuraavan tehoisia aurinkopaneelijärjestelmiä; 90, 150, 210, 270 ja 340 kWp. Kyseisillä aurinkopaneelijärjestelmillä saatiin seuraavia tuloksia (taulukko 5 ja 6).



Järjestelmän teho (kWp)	Aurinkopaneelijärjestelmän sähkön tuotto (kWh/vuosi)	Omaan käyttöön tuleva sähkö (kWh/vuosi)	Myyntiin menevä sähkö (kWh/vuosi)	Omakulusaste (%)	Omavaraisuusaste (%)	Aurinkopaneelien pinta-ala (m <sup>2</sup> )
90.00	79 645.00	79 451.00	193.00	99.80	13.00	440.00
150.00	132 806.00	121 628.00	11 178.00	91.60	19.90	734.00
210.00	185 770.00	148 351.00	37 418.00	79.80	24.30	1 027.00
270.00	238 740.00	167 070.00	71 670.00	70.00	27.30	1 320.00
340.00	301 198.00	182 513.00	118 685.00	60.60	29.90	1 662.00

Taulukko 5. Rantakylän alkalointilaitoksen vertailussa olevat aurinkopaneelijärjestelmät

Järjestelmän teho (kWp)	Aurinkopaneelijärjestelmän kustannus, energiatuki huomioituna (€)	Koroton takaisinmaksuaika (vuosi)	Korollinen takaisinmaksuaika (vuosi)	Sisäinen korko (%)	30 vuoden säästö (€)
90.00	70 380.00	7.50	8.50	14.00	123 154.00
150.00	117 300.00	8.00	9.00	13.10	185 715.00
210.00	164 220.00	8.50	10.00	11.74	218 198.00
270.00	211 140.00	9.50	12.00	10.59	236 607.00
340.00	265 880.00	10.00	12.50	9.50	246 987.00

Taulukko 6. Rantakylän alkalointilaitoksen aurinkopaneelijärjestelmien kannattavuus vertailu

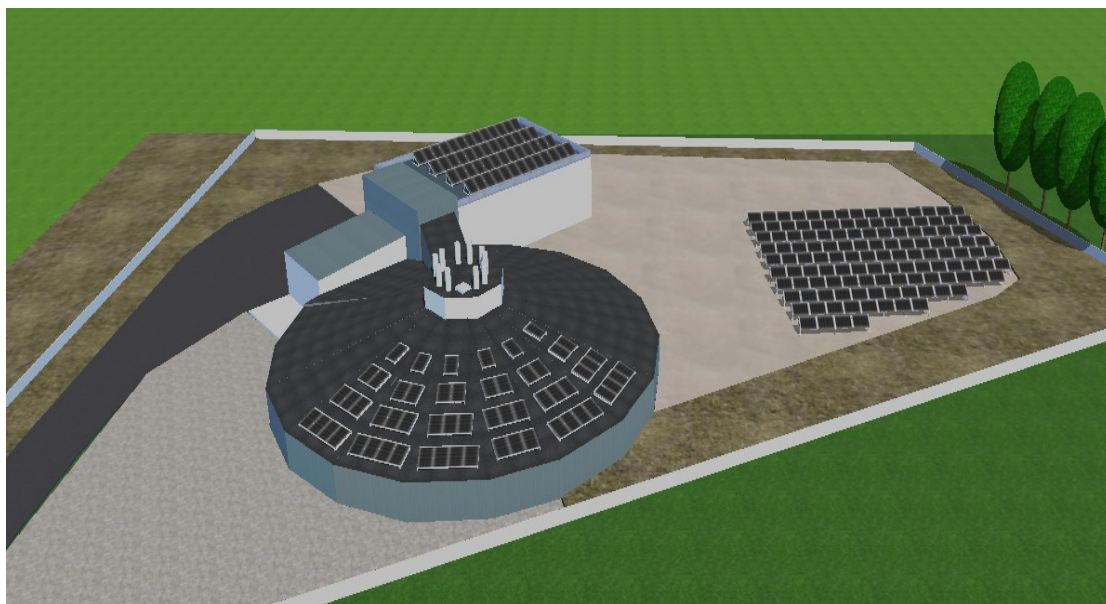
Rantakylän alkalointilaitoksen vertailussa huomattiin, että sähkönkulutus on suurta, joten sinne pystyisi teoriassa asentamaan melko suuren aurinkopaneelijärjestelmän, jopa 340 kWp:n tehoinen järjestelmä. Kannattavin vaihtoehto rantakylän alkalointilaitokselle olisi 210 kWp:n tehoinen aurinkopaneelijärjestelmä, missä korollinen takaisinmaksuaika jää 10 vuoteen, mutta omavaraisuusaste on kuitenkin 24,3 %, eli saadaan tuotettua paljon sähköä omaan käyttöön kannattavasti.

3D-simulointia tehdessä huomattiin, että Rantakylän alkalointilaitokselle ei pysty asentamaan noin suuritehoista aurinkopaneelijärjestelmää, koska sinne ei sellainen mahdu. Huomattiin, että suurin aurinkopaneelijärjestelmä, joka mahtuu Rantakylän alkalointilaitokselle on 95,2 kWp:n tehoinen järjestelmä. Näin ollen 95,2 kWp:n tehoinen valittiin kyseiseen kohteeseen.

### 6.3.2 Valittu aurinkopaneelijärjestelmä

Simuloinnissa kannattavimmaksi aurinkopaneelijärjestelmän tehoksi muodostui 95,2 kWp:n tehoinen järjestelmä. Tämä sisältää 238 aurinkopaneelia ja 7

Fronius invertteriä. Invertterien lukumäärään vaikuttaa paljon aurinkopaneelien sijoittelu, eli paneelit ovat kahden rakennuksen katolla ja maassa. 95,2:n kWp tehoinen järjestelmä Rantakykän alkalointilaitoksella tuottaisi simuloinnin mukaan 60 716 kWh, josta ainoastaan 50 kWh menisi myyntiin sähköverkkoon. Omakulutusaste olisi 99,9 % ja aurinkopaneeleilla tuottama sähkö kattaisi 9,9 % koko sähkön tarpeesta.



Kuva 19. Rantakykän alkalointilaitoksen aurinkopaneelijärjestelmän simulointi.

Pyöreän rakennuksen katolle tulisi yhteensä 59 aurinkopaneelia ja 3 Fronius Symo 8,2-3-M-invertteriä eli 8,2 kW:n tehoisia. Aurinkopaneelien nimellisteho olisi yhteensä 23,6 kWp. Kahdella invertterillä on 20 aurinkopaneelia ja yhdellä invertterillä 19 aurinkopaneelia käytössään.

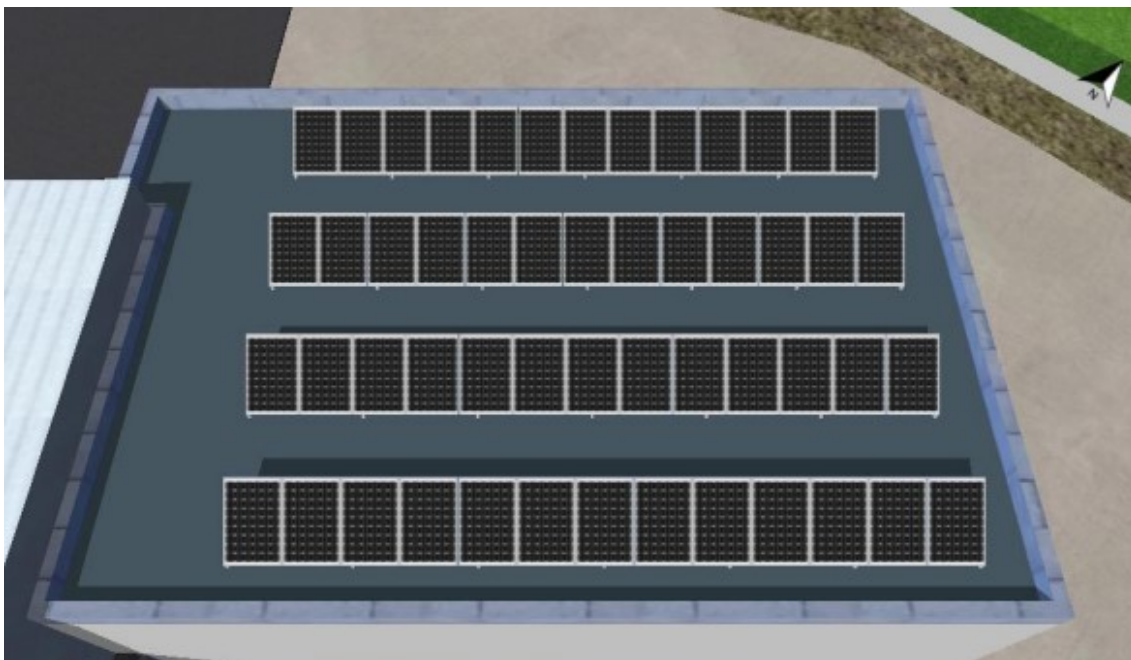
Pyöreän rakennuksen aurinkopaneelit on jaettu kolmelle invertterille (kuva 20). Koska aurinkopaneelien suuntaukset ovat kaakosta lounaaseen pyöreästä rakennuksesta johtuen, pyritään samaan mahdollisimman paljon auringon säteilyä talteen ja sitä kautta sähköksi. Pyritään siis siihen, että vähemmän auringonsäteilyä saavat aurinkopaneelit eivät häiritse paremmin auringonsäteilyä saavia aurinkopaneeleita, vaan jokainen invertteri ja sen aurinkopaneelit muodostavat ns. oman järjestelmänsä. Näin ollen pyöreän rakennuksen kokonais-sähköntuotto muodostuu yhteensä kolmesta järjestelmästä. Aurinkopaneelit

ovat samassa kulmassa katon kaltevuuden kanssa eli tässä tapauksessa 15 asteen kulmassa.



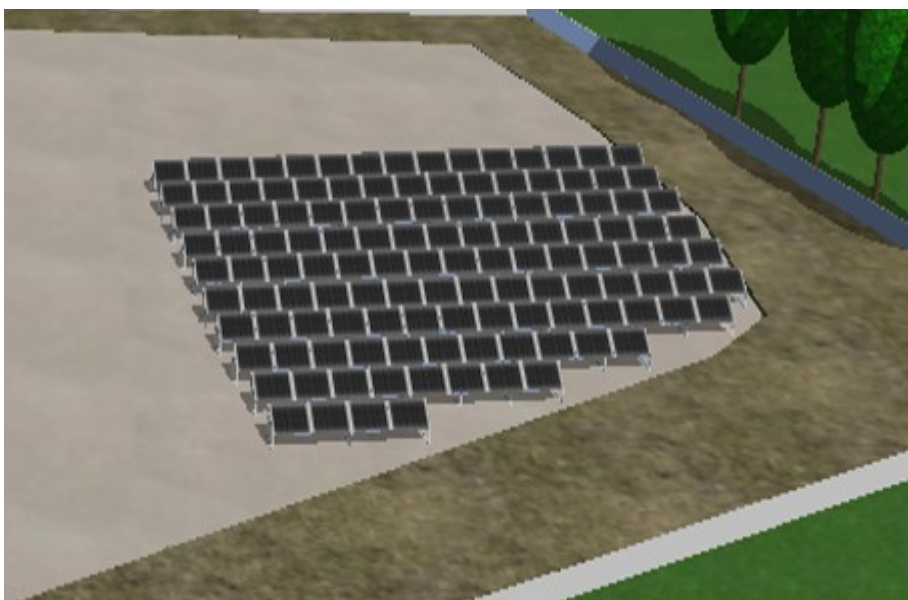
Kuva 20. Rantakylän alkaloitilaitoksen aurinkopaneelien simulointi, pyöreä rakennus.

Pohjoisimman rakennuksen katolle tulisi yhteensä 52 aurinkopaneelia (kuva 21) ja yksi Fronius Symo 17,5-3-M invertteri, eli 17,5 kW tehoinen invertteri ja aurinkopaneelien nimellistehoksi tulisi 20,8 kWp. Aurinkopaneelit ovat suunnattu kaakkoon rakennuksen suuntaisesti. Aurinkopaneelit olisi pysytty myös suuntaamaan etelää kohti, mutta silloin pinta-ala olisi loppunut huomattavasti nopeammin kesken ja aurinkopaneeleja ei olisi mahtunut katolle yhtä paljon. Aurinkopaneelien kulma on 20 astetta.

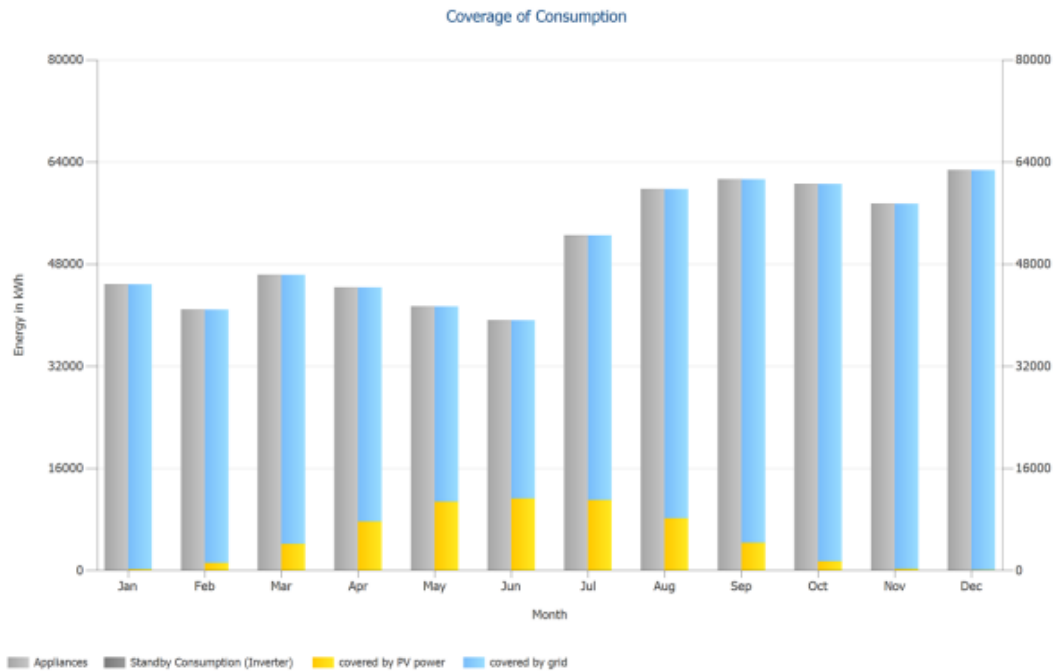


Kuva 21. Pohjoisimman rakennuksen suunnitellut aurinkopaneelit Rantakylän alkaloitilaitoksella.

Maalle asennettavien aurinkopaneelien lukumäärä olisi 127 kappaletta (kuva 22). 3 kappaletta Fronius invertterejä, eli kaksi Fronius Symo 17,5-3-M ja yksi Fronius Symo 12,5.3-M.invertteriä. Tämän 127 aurinkopaneelin aurinkopaneelijärjestelmän nimellisteho olisi 50,8 kWp. Aurinkopaneelit asennettaisiin maahan 30 asteen kulmassa etelää kohti. Tontille pitää jättää kääntöpaikka raskaammallekin ajoneuvolle, jonka vuoksi tontille ei pysty asentamaan enempää aurinkopaneeleja.



Kuva 22. Rantakylän alkaloitilaitoksen aurinkopaneelien maa-asennus.

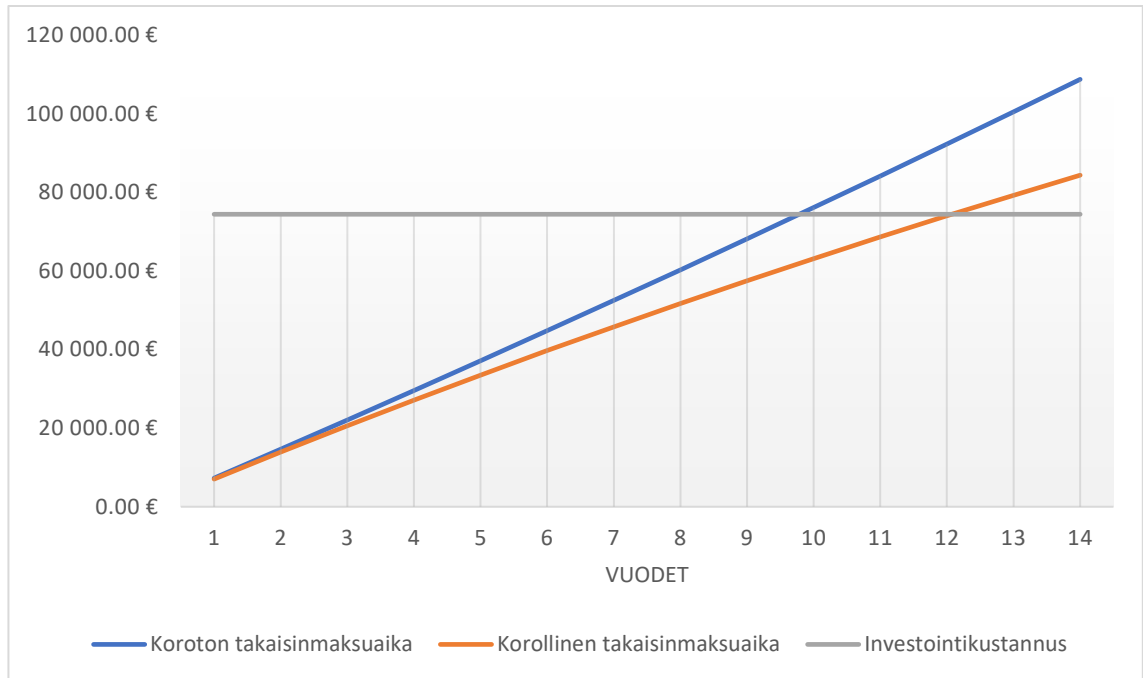


Kuvio 10. Rantakylän alkalointilaitoksen sähkönkulutus (harmaa palkki) ja kyseisen aurinkopaneelijärjestelmän tuottama sähkön määrä (keltainen palkki).

### 6.3.3 Aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuus laskelmat

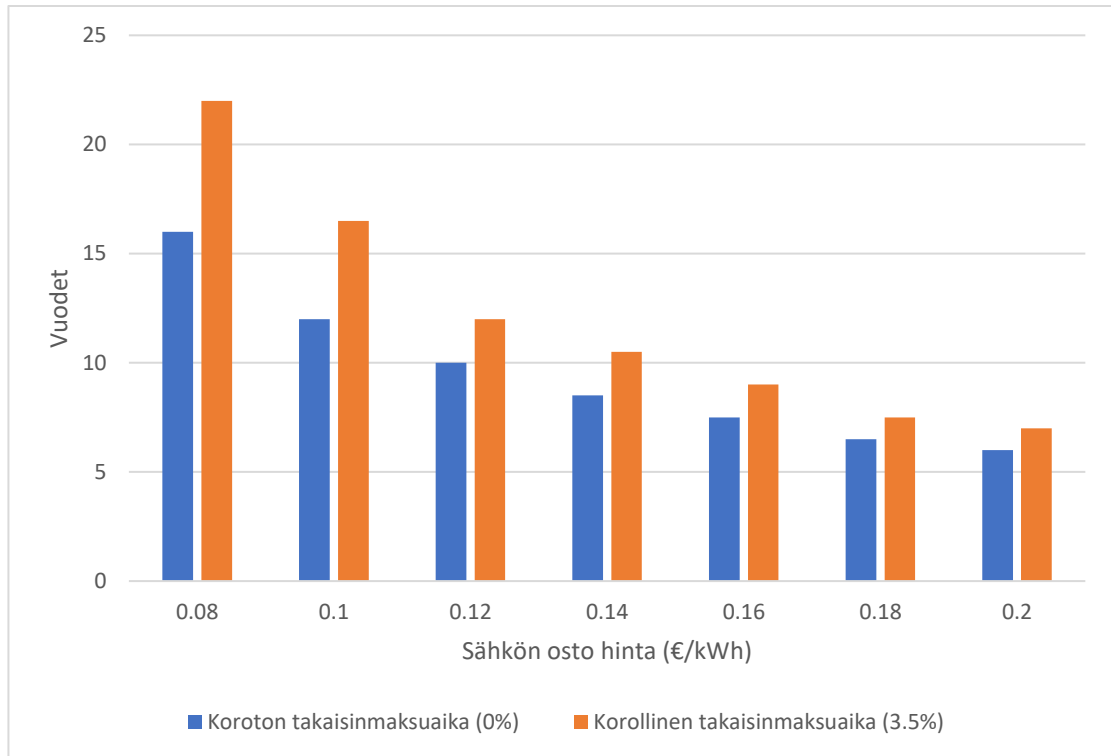
95,2 kWp:n tehoinen aurinkopaneelijärjestelmä tulisi maksamaan ”avaimet käteen” periaatteella (920 €/kWp) ilman energiatukea 87 584 euroa, energiatuki (15 %) huomioituna 74 446,4 euroa. Inverttereiden hinta yhteensä tulisi nykymarkkinahinnoilla olemaan 14 770,6 euroa (alv. 0 %) (Kärkkäinen, 2022abc). Diskontattu hinta 15 vuoden päähän inverttereillä olisi 8 816,43 euroa.

Koroton takaisinmaksuaika olisi noin 10 vuotta ja korollinen takaisinmaksuaika (3,5 %) olisi noin 12 vuotta. Sisäinen korko tulisi näillä laskelmilla olemaan 9,7 %, eli investointi olisi kannattava. 30 vuoden säästö tulisi olemaan 71 541 euroa. (liite 4)



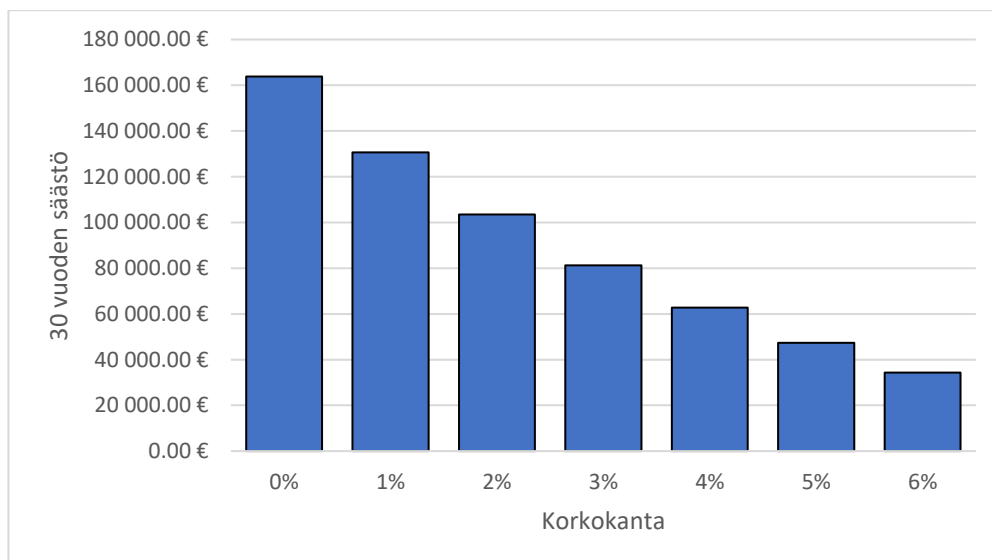
Kuvio 11. Rantakylän alkalointilaitoksen aurinkopaneelijärjestelmän koroton- ja korollinen takaisinmaksuaika.

Rantakylän alkalointilaitoksen aurinkopaneelijärjestelmän ostosähköhinnan vaikutus takaisinmaksuaikoihin on huomattava (kuvio 12). Mitä kalliimmaksi sähkön hinta nousee, sitä nopeammin aurinkopaneelijärjestelmä maksaa itsensä takaisin, eli sen kannattavuus kasvaa.



Kuvio 12. Rantakylän alkalointilaitoksen sähkönhinnan muutoksen vaikutus takaisinmaksuaikoihin.

Rantakylän alkalointilaitoksen laskennallisen korkokannan muutoksen vaikutus aurinkopaneelijärjestelmästä saatuun 30 vuoden säästöön on suuri. Taulukosta voidaan havaita, että mitä suurempi on korkokanta, sitä pienempi on aurinkopaneelijärjestelmästä saatu 30 vuoden säästö.



Kuvio 13. Korkokannan vaikutus aurinkopaneelijärjestelmästä saatavaan 30 vuoden säästöön.

## 6.4 Yhteenveto

Sähkönkulutus on joka kohteella melko suurta ja tasaista, joten kohteet soveltuvat mainiosti aurinkopaneelijärjestelmille. Kohteiden sijainnit ovat hyviä, eli eivät sijaitse keskellä metsää tai kaupunkia, joissa olisi paljon varjostuksia aiheuttavia tekijöitä. Aurinkopaneelit saadaan suunnattua melko hyvin etelää kohti.

Aurinkopaneelijärjestelmien simulointia tehdessä huomattiin, että jokaisessa käsiteltävänä olevassa kohteessa ongelmaksi muodostui aurinkopaneeleille soveltuva pinta-ala. Eli kohteisiin ei pysty asentamaan niin suuritehoista järjestelmää, mikä olisi kaikista kannattavin. Kohteisiin suunnitellut aurinkopaneelijärjestelmät ovat siis mahdollisimman suuritehoisia, jotka mahtuvat kohteisiin.

Taulukossa 7 ja 8 on esillä kaikkien kohteiden aurinkopaneelijärjestelmien suunnittelusta saamat tulokset.

	Sähkönkulutus (kWh/vuosi)	Aurinkopaneelijärjes- telmän teho (kWp)	Aurinkopaneelijärjes- telmän sähkön tuotto (kWh/vuosi)	Omaan käyttöön menevä sähkö (kWh/vuosi)	Myyntiin menevä sähkö (kWh/vuosi)	Omakulutuste (%)	Aurinkopaneelijärjest- elmän tuottaman sähkön osuus koko kulutuksesta (%)
<b>Kuhasalon jätevedenpuhdi- stamo</b>	1 351 677.20	120.00	99 855.00	85 128.00	14 727.00	85.25 %	6.30 %
<b>Onttolan alkalointilaitos</b>	345 364.00	66.00	53 372.00	52 358.00	1 014.00	98.10 %	15.16 %
<b>Rantakylän alkalointilaitos</b>	610 924.00	95.20	60 716.00	60 655.00	61.00	99.90 %	9.93 %

Taulukko 7. Yhteenveto kohteitten aurinkopaneelijärjestelmien sähkön-  
tuotoista.



	Aurinkopaneelijärjestelmän kustannus, energiatuki huomioitu (€)	Koroton takaisinmaksuaika (vuosi)	Korollinen takaisinmaksuaika (3.5 %) (vuosi)	Sisäinen korko (%)	30 vuoden säästö (€)
<b>Kuhasalon jätevedenpuhdistamo</b>	93 840.00	8.5	10.0	11.61 %	122 854.00
<b>Onttolan alkalointilaitos</b>	51 612.00	8.0	9.5	12.54 %	76 238.00
<b>Rantakylän alkalointilaitos</b>	74 446.40	10.0	12.0	9.7 %	71 541.00

Taulukko 8. Kohteiden yhteenveto kustannus ja kannattavuus laskelmista.

## 7 Pohdinta

### 7.1 Tarkastelu

Kyseisen opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoista etenkin tämän kaltaisille tuotantolaitoksille, joissa sähkönkulutus on melko suurta. Rantakylän alkalointilaitokselle, Kuhasalon jätevedenpuhdistamolle ja Onttolan alkalointilaitokselle pystyisi ainakin teoriassa asentamaan suurempitehoisen aurinkopaneelijärjestelmän, mutta näissä kohteissa potentiaalista aurinkopaneelien asennuspinta-alaa ei ole riittävästi. Päädyttiin 120 kWp:n (Kuhasalo), 95,2 kWp:n (Rantakylä) ja 66 kWp:n (Onttola) tehoisiin aurinkopaneelijärjestelmiin.

Kannattavuus näissä kaikissa kolmessa kohteessa on hyvä, eli aurinkopaneelijärjestelmä maksaa itsensä takaisin kohtalaisen nopeasti, noin kymmenessä vuodessa. Suurimpi taloudellisia tekijöitä aurinkopaneelijärjestelmien kannattavuuteen on sähkönostohinta ja järjestelmän investointi kustannukset. Sähkönostohinnan noustessa aurinkopaneelijärjestelmien kannattavuus paranee ja toisinpäin ostosähkönhinnan laskiessa kannattavuus huononee

Opinnäytetyötä tehdessä huomattiin, että aurinkopaneelit ovat tällä hetkellä melko loppu markkinoilta, ja niiden raaka-aineita on tämänhetkisen maailmantilanteen takia hankala saada, tästä johtuen aurinkopaneelit voivat todennäköisesti kallistua tulevaisuudessa. Samoin myös aurinkopaneelien telineiden raaka-aine (alumiini) on kallistunut huomattavasti, joten aurinkopaneelien paketti hinnat tulevat todennäköisesti nousemaan. Hintojen nousu puolestaan

vaikuttaa negatiivisesti aurinkopaneelijärjestelmien kannattavuuteen. Aurinkopaneelijärjestelmien hinta muodostuu aurinkopaneeleista, inverttereistä, aurinkopaneelientelineistä ja asennuksesta. Kustannuksissa monesti huomataan, että mitä suuritehoisempi aurinkopaneelijärjestelmä on, sitä halvempi kWp hinta on. Eli suurempi järjestelmä tulee monesti kannattavammaksi juuri halvemman kWp hinnan takia.

Mielenkiintoista olisi myös tutkia kyseisiä kohteita sähkönkulutuksen puolelta. Sähkönkulutus on melko suurta jokaisessa kohteessa, ja huomattiin, että sähköä kulutetaan melko paljon myös kesäöisin. Olisikohan tämä kesäyön sähkönkulutus mahdollista siirtää keskipäivälle, eli sille ajankohdalle milloin aurinkopaneelit tuottaisivat eniten sähköä, ja näin ollen saataisiin aurinkopaneeleista suurempi hyöty irti. Pitäisi siis selvittää, onko suuri sähkönkulutus öisin vain ns. halvemman yösähkön takia vai johtuuko tämä yösähkön käyttö ihan tuotannollisista syistä.

Opinnäytetyön tuloksia pystytään hyödyntämään tulevaisuudessa kohteiden aurinkopaneelijärjestelmien asennuksessa ja aurinkopaneelien sijoittelussa. Opinnäytetyö on hyvä pohja aurinkopaneelijärjestelmien rakennuttamiselle, jota pystytään myös hyödyntämään muissakin kohteissa. Varteenotettavia jatkokehitys mahdollisuuksia olisivat esimerkiksi aurinkopaneelijärjestelmän hiilidioksidipäästöt ja niiden minimoiminen, eli kuinka paljon aurinkopaneelijärjestelmä vähentää kohteen hiilidioksidipäästöjä, minkä verran niiden valmistus ja kuljetus muodostaa hiilidioksidipäästöjä.

## **7.2 Luotettavuus ja eettisyys**

Opinnäytetyötä tehtäessä apuna käytetään valmiita laskentaohjelmia ja laskentakaavoja, joilla pystytään laskemaan aurinkosähköjärjestelmän tuottoa ja niiden kannattavuutta. Käytettävien tietokoneohjelmien (PVsol, Excel) tuloksia voidaan pitää luotettavina. Laskurit ja ohjelmat, joita tutkimuksessa käytettiin, ovat asiaankuuluvia ja ovat ammattimaisessa käytössä. Kaikki laskelmat ja tietokoneohjelmien tulokset ovat kuitenkin arvioita eivätkä 100-prosenttisen tarkkoja,

koska aurinkopaneelien tuottavuudessa on paljon ulkoisia muuttujia, joihin ei pystytä vaikuttamaan.

## Lähteet

- Aurinkopilari.fi. 2021. Aurinkopilari voidaan asentaa kaikille tavanmukaisille tasakattotyypeille Aurinkopaneeli tasakatolle - Aurinkopilarilla yli 10% parempi tuotto. 13.12.2021.
- Aurinkosähköjärjestelmän hankintaopas maataloille. 2018. PIKES OY. 20.12.2021.
- Aurinkovirta.fi. 2021a. Kiinnitysteline. <https://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/kiinnitysteline/>. 1.3.2022.
- Aurinkovirta.fi. 2021b. Invertteri. <https://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>. 25.11.2021.
- Business Finland. 2021. Energiatuki. <https://www.businessfinland.fi/suomalaisilleasiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>. 17.12.2021.
- Finnwind. 2021a. FAQ aurinkopaneeli usein kysyttyä. <https://finnwind.fi/aurinkopaneeli-usein-kysyttya/>. 15.3.2022.
- Finnwind. 2021b. Maa-asennus järjestelmät. Finnwind-FS-MP-maapilari-asennusjärjestelmä.pdf. 13.12.2021.
- Ilmatieteen laitos. 2022. Kesäsään tilastoja. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kesatilastot> 1.3.2022
- Joensuun karttapalvelu. <https://oskari.joensuu.fi/>. 1.3.2022.
- Joensuun kaupungin rakennusjärjestys. 2020. Joensuun Kaupunki. 8.4.2022.
- Lännen omavoima. 2020. Aurinkosähköopas, <https://lannenomavoima.fi/files/sites/2154/aurinkos-hk-opas-lov.pdf>. 25.11.2021.
- Kakkonen, P. 2021. Jäteveden käsittelyn käyttöpäällikkö. Haastattelu 8.9.2021.
- Kärkkäinen. 2022a. Fronius Symo 17,5-3-M WLAN 3-vaihe-aurinkosähköinvertteri. <https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/fronius-symo-17-5-3-m-wlan-3-vaihe-aurinkosahkoinvertteri>. 4.4.2022.
- Kärkkäinen. 2022b. Fronius Symo 12,5-3-M WLAN 3-vaihe-aurinkosähköinvertteri. <https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/fronius-symo-12-5-3-m-wlan-3-vaihe-aurinkosahkoinvertteri-taajuusmuuttaja>. 4.4.2022.
- Kärkkäinen. 2022c. Fronius Symo 10.0-3-M WLAN 3-vaihe-aurinkosähköinvertteri. <https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/fronius-symo-10-0-3-m-wlan-3-vaihe-aurinkosahkoinvertteri-taajuusmuuttaja?search-Term=fronius%20symo>. 4.4.2022.
- Kärkkäinen. 2022d. Fronius Symo 20.0-3-M WLAN 3-vaihe-aurinkosähköinvertteri. [https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/fronius-symo-20-0-3-m-wlan-3-vaihe-aurinkosahkoinvertteri-taajuusmuuttaja?id=102592339&gclid=EAlalQobChMI1Oybx67t9gIVigZ7Ch0OtwzxEAQYASABEgKf-vD\\_BwE](https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/fronius-symo-20-0-3-m-wlan-3-vaihe-aurinkosahkoinvertteri-taajuusmuuttaja?id=102592339&gclid=EAlalQobChMI1Oybx67t9gIVigZ7Ch0OtwzxEAQYASABEgKf-vD_BwE). 30.03.2022.
- Monikide aurinkopaneeli. 2022. <https://www.thermosun.fi/Aurinkopaneeli-285W/-kpl>. 15.3.2022.
- Motiva Oy. 2021a. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä - Motiva. 10.12.2021.
- Motiva Oy. 2021b. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Auringonsäteilyn määrä Suomessa - Motiva. 10.12.2021.
- Motiva Oy. 2021c. Aurinkopaneelien asentaminen. Aurinkopaneelien asentaminen - Motiva. 13.12.2021.

- Motiva Oy. 2021d. Aurinkosähköjärjestelmän teho. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelman\\_teho](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho). 1.3.2022.
- Motiva Oy. 2021e. Hankinta ja asennus. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus). 1.3.2022.
- Motiva Oy, 2021f. Lupa-asiat. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/ennen\\_jarjestelman\\_hankintaa/lupa-asiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lupa-asiat). 6.4.2022.
- Motiva Oy. 2021g. Aurinkosähköteknologiat. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat). 25.11.2021.
- Nygren, S. 2021. Tuotantopäällikkö. Joensuun Vesi. Haastattelu 8.9.2021.
- Ohutkalvo aurinkopaneeli. 2022. <http://fi.ssthpower.net/solar-panel/flexible-solar-panel/flexible-solar-panel-300w.html>. 15.3.2022.
- Paavola, M. 2013. Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköpotentiaali Tampereella. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. Paavola.pdf (tuni.fi). 1.3.2022.
- Pankkiasiat.fi. 2021. Sisäinen korko. <https://pankkiasiat.fi/sisainen-korko>. 17.12.2021.
- Pankkiasiat.fi. 2021. Takaisinmaksuaika. <https://pankkiasiat.fi/takaisinmaksuaika>. 17.12.2021.
- Photovoltaic Gergraphical Information System. 2021. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) | EU Science Hub (europa.eu). 10.12.2021.
- Photovoltaik4all. 2022. Aurinkopaneelin hinta. <https://www.photovoltaik4all.de/en/solarmodule/suntech-power-stp400s-c54/umh-ultra-v>. 20.3.2022.
- Pykäläinen, S. 2022. Solarworks. Sähköposti viesti. 25.03.2022
- Salo Solar. 2022. Aurinkopaneeli. <https://www.arevasolar.fi/fi/aurinkopaneeli>. 1.3.2022.
- ST-KÄSIKIRJA. 2021. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja mitoitus. Sähkö-tieto Ry. 10.12.2021.
- RT 103076. 2019. Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät. Rakennustieto. 8.12.2021.
- Tahkokorpi M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into Kustannus. 16.3.2022.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2022. Tuettavat hankkeet ja tuen enimmäismäärät. Tuettavat hankkeet ja tuen enimmäismäärä - Työ- ja elinkeinoministeriön verkkopalvelu (tem.fi). 13.4.2022.
- Valentin software.2022. PVsol-premium. <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>. 16.3.2022.
- Visma. 2022. Diskonttaus- Mitä on diskonttaus? <https://www.visma.fi/epaseli/kirjanpidon-sanakirja/d/diskonttaus/>. 27.3.2022.
- Yksikide aurinkopaneeli. 2022. <https://www.eurosolar.fi/tuotteet/aurinkopaneelit/yksikide-aurinkopaneeli-370w>. 15.3.2022.
- Yritystulkki.fi. 2021. Investoinnin kannattavuus. Yritystulkki - Investoinnin kannattavuus. 13.12.2021.

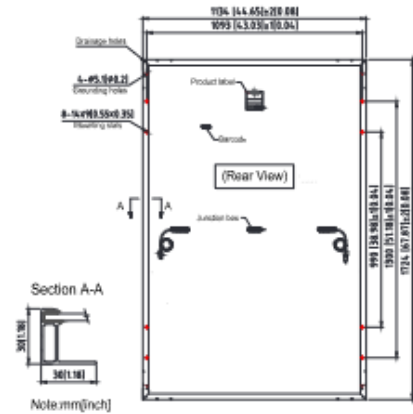
Valittujen aurinkopaneelien tekninen osa



**Ultra V** STPXXXS - C54/Umh 390-410W

**Mechanical Characteristics**

Solar Cell	Monocrystalline silicon 182 mm
No. of Cells	108 (6 × 18)
Dimensions	1724 × 1134 × 30 mm (67.9 × 44.6 × 1.2 inches)
Weight	22.1 kgs (48.7 lbs.)
Front Glass	3.2 mm (0.126 inches) fully tempered glass
Output Cables	4.0 mm <sup>2</sup> , (+) 350 mm (+) 160 mm in length or customized length
Junction Box	IP68 rated (3 bypass diodes)
Operating Module Temperature	-40 °C to +85 °C
Maximum System Voltage	1500 V DC (IEC)
Maximum Series Fuse Rating	25 A
Power Tolerance	0/+5 W



**Electrical Characteristics**

Module Type	STP410S-C54/Umh		STP405S-C54/Umh		STP400S-C54/Umh		STP395S-C54/Umh		STP390S-C54/Umh	
	STC	NMOT	STC	NMOT	STC	NMOT	STC	NMOT	STC	NMOT
Maximum Power (Pmax/W)	410	399.6	405	396.0	400	392.3	395	388.6	390	384.9
Optimum Operating Voltage (Vmp/V)	31.59	29.2	31.38	29.0	31.18	28.8	30.98	28.6	30.76	28.4
Optimum Operating Current (Imp/A)	12.98	10.62	12.91	10.56	12.83	10.50	12.76	10.44	12.69	10.38
Open Circuit Voltage (Voc/V)	37.45	35.2	37.24	35.0	37.04	34.8	36.84	34.6	36.62	34.4
Short Circuit Current (Isc/A)	13.88	11.16	13.81	11.10	13.73	11.04	13.66	10.98	13.59	10.93
Module Efficiency (%)	21.0		20.7		20.5		20.2		19.9	

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, module temperature 25 °C, AM=1.5, NMOT: Irradiance 800 W/m<sup>2</sup>, ambient temperature 30 °C, AM=1.5, wind speed 1 m/s, Tolerance of Pmax is within ± 3%

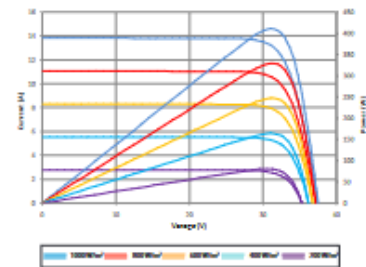
**Temperature Characteristics**

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	42 ± 2 °C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.36%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.304%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.050%/°C

**Packing Configuration**

Container	40' HC
Pieces per pallet	36
Pallets per container	26
Pieces per container	936
Packaging box dimensions	1755x1130x1255 mm
Packaging box weight	804 kg

**Graphs** Current Voltage & Power Voltage Curve (I003)



Information on how to install and operate this product is available in the installation instructions. All values indicated in this data sheet are subject to change without prior announcement. The specifications may vary slightly. All specifications are in accordance with standard EN 50381. Color differences of the modules relative to the figures as well as discolorations of the modules which do not impact their proper functioning are possible and do not constitute a deviation from the specification.









