



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

JUSSI MIKKONEN

# **Aurinkoenergian käyttö kohteessa Fortum Mäntyluodon tuhkanjalos- tuslaitos**

ENERGIA JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN  
KOULUTUSOHJELMA  
2020

Tekijä(t) Mikkonen, Jussi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2021
	Sivumäärä 29	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi <b>Aurinkoenergian käyttö kohteessa Fortum Mäntyluodon tuhkanjalostuslaitos</b>		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella aurinkosähköjärjestelmä Fortum Mäntyluodon tuhkanjalostuslaitoksen katolle. Aurinkosähköjärjestelmällä saataisiin kattua osa laitoksen sähkönkulutuksesta ja näin säästää vuosittain sähkölaskussa.</p> <p>Työssä kerrotaan aurinkovoiman teoriasta Suomessa ja mitä erilaisia asioita pitää ottaa huomioon järjestelmän suunnittelussa. Työssä myös avataan hieman mitä Fortumin tuhkanjalostuslaitos tekee Porin Mäntyluodossa. Opinnäytetyössä käydään läpi aurinkojärjestelmän pääkomponentteja ja kaksi eri vaihtoehtoa toteuttaa aurinkopaneelien asennus katolle.</p> <p>Tuhkanjalostuslaitoksen sähkönkulutus ylösajovaiheessa vuonna 2020 on 421,2 MWh. Opinnäytetyössä valitulla aurinkosähköjärjestelmällä tuottoa vuodessa tulee simuloituna 32,1 MWh, joka on koko vuodelta 7,6% sähkön kulutuksesta. Kesäkuussa aurinkosähköllä voidaan kattaa 18% sähkön kulutuksesta. Valittu aurinkosähköjärjestelmä säästää sähkölaskussa vuodessa 2400 euroa. Järjestelmän takaisinmaksuaika on 12,4 vuotta.</p>		
<p><a href="#">Asiasanat</a> Aurinkoenergia, Aurinkopaneeli</p>		

Author(s) Mikkonen, Jussi	Type of Publication Bachelor's thesis	Date May 2021
	Number of pages 29	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Use of solar energy in Fortum Mäntyluoto Ash Refinery</b>		
Degree program Energy- and environmental engineering		
Abstract  The purpose of this thesis was to design solar energy system on the roof of Mäntyluoto ash refinery. Solar energy system would cover part of the plant's electricity consumption, thus saving annually on the electricity bill.  The thesis describes the theory of solar power in Finland and what different things need to be taken when considering solar energy system. The research also opens up a little of what Fortum's ash refinery does in Mäntyluoto, Pori. The thesis examines the components and two different options for implementing the installation of solar panels to the roof of ash refinery.  Ash refinery's electricity consumption in 2020 initial startup is 421,2 MWh. With simulation the solar energy system which is selected in this thesis will produce 32,1 MWh. This is 7,6% of ash refinery's annual electricity consumption. Solar energy system can cover 18% of electricity consumption in June. With the selected solar energy system, we can save annually 2400 euros. The payback time of the solar system is 12,4 years.		
<a href="#">Key words</a> Solar thermal, photovoltaic		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 AURINKOENERGIA.....	6
2.1 Auringon säteily .....	6
2.2 Aurinkokeräimen suuntaus.....	7
2.3 Aurinkoenergian tuoton tehostaminen .....	8
3 AURINKOSÄHKÖ JA -LÄMPÖ.....	9
3.1 Aurinkosähkö (PV) .....	9
3.2 Aurinkolämpö (ST) .....	9
4 FORTUM WASTE SOLUTIONS OY .....	10
4.1 Porin mäntyluodon tuhkanjalostamo.....	10
4.2 Sähkönkulutus .....	11
5                  AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄN                  SUUNNITTELU	
TUHKANJALOSTUSLAITOKSEN KATOLLE .....	13
5.1 Aurinkopaneelijärjestelmän koko .....	13
5.2 Paneelien sijoitus 270 Watin paneeleilla.....	13
5.3 Paneelien sijoitus 415 Watin Eurener Paneeleilla.....	14
5.4 Varjostukset .....	15
5.5 Aurinkopaneeli vaihtoehdot .....	16
5.5.1 Paneeli 1 Amerisolar monikidepaneeli 285 W.....	16
5.5.2 Paneeli 4 Amerisolar 285W .....	18
5.5.3 Paneeli 5 Eurener MEPV 415W .....	19
5.6 Aurinkopaneelin valitseminen .....	19
5.7 Invertteri.....	20
5.8 Paneelien kiinnitys kattoon .....	21
6 SÄHKÖNTUOTTO .....	22
6.1 Takaisinmaksuaika.....	23
7 YHTEENVETO .....	25
LÄHTEET	
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on pienentää Fortum Mäntyluodon tuhkanjalostamon sähkönkulutusta ottamalla osa prosessissa tarvittavasta energiasta aurinkoenergiajärjestelmästä. Tavoitteena on myös verrata miten paljon järjestelmä säästäisi vuosittain.

Fortumin tuhkanjalostuslaitoksessa puhdistetaan APC-tuhkaa (Air Pollution Control), joka on lopputuote jätteenpolttolaitoksista.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi aurinkoenergian teoriaa ja mitä asioita pitää ottaa huomioon järjestelmän suunnittelussa. Etelä-Suomeen säteilevä energia vastaa noin Pohjois-Saksan auringon säteilyä. Työssä käydään myös läpi aurinkojärjestelmän pääkomponentteja ja eri vaihtoehtoja niille. Fortum Mäntyluodon tuhkanjalostamon katalle on kaksi eri aurinkojärjestelmä vaihtoehtoa.

Työssä käydään myös läpi laitoksen sähkönkulutusta ja verrataan aurinkojärjestelmän sähkön tuottoon. Loppuun on vielä laskettu takaisinmaksuaika aurinkosähköjärjestelmälle.

## 2 AURINKOENERGIA

Maan pinnalle säteilee vuosittain noin 15 000 kertainen määrä energiaa, kun mitä maa käyttää. NykYTEKNIKALLA pystytään hyödyntämään vain pieni osa auringon energiämäärästä. Noin puolet maahan tulevasta säteilystä heijastuu takaisin avaruuteen tai absorboituu ilmakehän pilviin tai muihin aineisiin, kuten erilaisiin kaasumolekyyleihin ja epäpuhtauksiin ilmakehässä. (Hellgren, Heikkinen, Suomalainen & Kala 1999, 27)

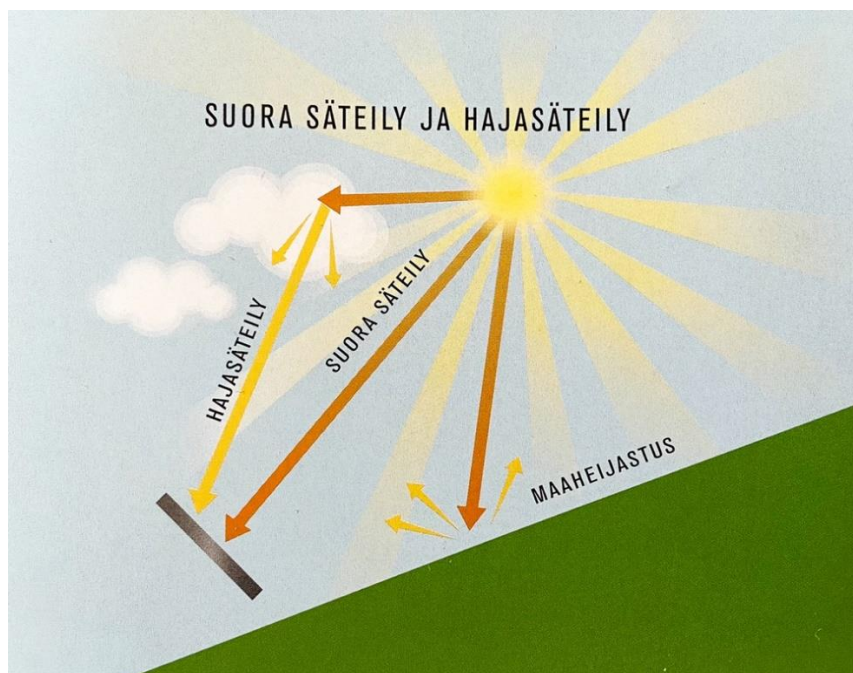
Maapallon ilmakehän ulkopuolelle säteilee neliometriä kohden noin 1,35-1,39 kW:n teho, mutta ilmakehän läpi kulkiessaan siitä häviää parhaimmillaan noin 40 prosenttia. Parhaimmillaan maapallon pinnalle saadaan yhden kilowatin säteilyteho per neliometri. Maanpinnalle tulevan säteilyn määrä vähenee, mitä pidemmän matkan säteily kulkee ilmakehän läpi. Tämän takia säteilyteho on suurempi keskipäivällä verrattuna aamu- ja iltapäivään ja suurempi kesällä kuin talvella. (Tahkokorpi 2016, 13)

### 2.1 Auringon säteily

Maanpinnalle tuleva säteily voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: suora auringonsäteily, haja-diffuusinen säteily ja ilmakehän vastasäteily. Ilmakehän läpi suoraan tuleva auringonsäteily eli (IA). Hajasäteily eli (ID) on pilvien, ilmakehässä olevien molekyylien sekä heijastunutta säteilyä maasta. Vastasäteily (IV) on ilmakehästä takaisin maahan kimpoava säteily. Vastasäteilyn aiheuttaa ilmakehässä vesihöyry, otsoni ja hiilidioksidi. Vastasäteilyä kutsutaan myös nimellä kasvihuonevaikutus. Kokonaissäteilyenergiaan sisältyy täten hajasäteily, suora auringonsäteily ja ilmakehän vastasäteily. Kokonaissäteilyenergiasta pitää vähentää pitkäaaltoinen säteily (IU), joka heijastuu takaisin avaruuteen. Täten voidaan laskea maan pinnalle jäävä teho:

$$I = IA + ID + IV - IU$$

Jopa 80 prosenttia aurinkokeräimeen saapuvasta valosta voi olla hajasäteilyä pilvisenä päivänä. Pilvettömänä kesäpäivänä hajasäteilyn osuus aurinkokeräimen pinnalle on noin 20 prosenttia. Keskimäärin Suomessa kokonaissäteilystä noin puolet vaakatasolle tulevasta säteilystä on hajasäteilyä. (Tahkokorpi 2016, 14)



Kuva 1 Auringon säteily (Tahkokorpi 2016, 13)

## 2.2 Aurinkokeräimen suuntaus

Säteilystä saatavan energian määrään vaikuttaa myös aurinkosähköpaneeliin tai -keräimen suuntaus. Atsimuuttikulma eli poikkeama etelästä ja kallistuskulma eli deklinaatio. ”Atsimuuttikulma määritellään siten, että suuntaus etelään on  $0^\circ$ , länteen  $+90^\circ$  ja itään  $90^\circ$ .” (Tahkokorpi 2016, 17)

Kun maa liikkuu akselinsa ympäri, aurinko näyttää liikkuvan taivaalla ja tuleva säteily osuu laitteeseen jatkuvasti eri kulmissa. Tulevan säteilyn ja laitteen pinnan välistä kulmaa kutsutaan tulokulmaksi. Tulokulma on  $0^\circ$ , kun säteily tapahtuu kohtisuorassa laitteen pintaan nähden, mikä on paras energiantuotantokulma. Kiinteillä pinnoilla se tapahtuu vain kerran tai kahdesti koko vuoden aikana. (Tahkokorpi 2016, 17)

### 2.3 Aurinkoenergian tuoton tehostaminen

Aurinkokeräin ja erityisesti aurinkosähköpaneeli, tulisi sijoittaa varjottomaan paikkaan. On tärkeää, että keräin saa tasaisesti säteilyä koko keräin pinnalle. Suomen leveysasteilla talvella varjot ovat pidempiä kuin kesällä. Etelä-Suomeen tuleva auringon säteily vastaa noin Pohjois-Saksaan tulevaa auringonsäteilyä. Aurinkopaneelit voidaan myös asentaa telineeseen, joka seuraa aurinkoa päivän mittaan. Tällöin taataan paras mahdollinen aurinkoenergian talteenotto. Aurinkoa seuraava asennus tietysti maksaa enemmän ja usein ei ole taloudellisesti paras vaihtoehto korkeamman hinnan takia. Kiinteä asennus on taloudellisempi ja luotettavampi asennustapa, ottaen huomioon myös mahdolliset kunnossapitokustannukset. (Tahkokorpi 2016, 10-40)

Aurinkopaneelin ja katon väliin tulisi jättää rako tuuletusta varten. Jokainen aurinkopaneelin lisälämpöaste pienentää sähköntuottotehoa noin 0,4%. Lappeen suuntaisessa asennuksessa tulisi olla katon ja aurinkopaneelin välillä vähintään viisi-kymmenen senttimetriä, jotta lämpenemisestä aiheutuva häviö jäisi mahdollisimman pieneksi. (Tahkokorpi 2016, 182)

Virran optimoijalla saadaan aurinkosähköjärjestelmästä vielä hieman enemmän irti. Virran optimoijan avulla saadaan jokaisesta yksittäisestä paneelistä paras mahdollinen teho irti ja MPPT-säätimellä saadaan optimoitua tuotto sopivalle tasolle. Tämän komponentin avulla myös mahdollinen vioittunut tai muuten likainen paneeli saadaan helposti löydettyä, eikä joka ikistä paneelia aurinkosähköjärjestelmässä tarvitse käydä mittaamassa ja tutkimassa. Virran optimoijan avulla voidaan myös seurata tuottoa tehokkaammin ja reagoida jos paneelit eivät tuota sähköä takuuehtojen mukaisesti. (Solnet Group:n www-sivut 2021)



### 3 AURINKOSÄHKÖ JA -LÄMPÖ

Aurinkoenergiaa voidaan ottaa talteen useammalla eri tavalla. Auringon energiaa voidaan ottaa talteen veden avulla, jolloin auringonsäteilyllä lämmitetään vettä. Tätä tapaa hyödyntää auringon energiaa kutsutaan nimellä ”Solar Thermal” (ST) ns. aurinkolämpökeräin. Auringon säteitä hyödyntämällä voidaan myös tuottaa sähköä photovoltaic (PV) paneeleilla ns. aurinkokenno.

#### 3.1 Aurinkosähkö (PV)

Photovoltaic paneelit tuottavat sähköä suoraan auringonvalosta elektronisella prosessilla. Tämä tapahtuu luonnollisesti materiaaleissa, jotka ovat puolijohteita. Näissä materiaaleissa sähkö kulkee huonommin kuin metallissa, mutta paremmin kuin eristeessä. Elektronit näissä materiaaleissa vapautuvat auringon energian myötä ja täten induoituen saadaan elektronit liikkumaan virtapiirissä. Näin saadaan sähkö talteen paneelistä, josta se etenee muuntajalle ja niin edelleen. (SEIA:n [www-sivut](#) 2021)

#### 3.2 Aurinkolämpö (ST)

Solar Thermal järjestelmässä, auringon säteillä lämmitetään aurinkokeräimen sisällä olevaa lämmönsiirto nestettä. Tästä nesteestä lämpö siirtyy veteen, jota voidaan käyttää veden lämmitykseen. Usein kotitalouksissa Solar Thermal System eli aurinkolämpöjärjestelmä toimii rinnan talon yleensä vanhemman käyttöveden lämmitysjärjestelmän kanssa, esimerkiksi sähkö tai kevyt polttoöljy. Aurinkolämpöjärjestelmän aurinkolämpökierukka lisätään lämminvesivaraajaan. Täten voidaan lämmintä vettä aurinkoisella säällä aurinkolämmöllä ja pimeällä sähköllä. (CaplorEnergy:n [www-sivut](#) 2021)

## 4 FORTUM WASTE SOLUTIONS OY

Fortum on eurooppalainen energiayhtiö. Se toimittaa sähköä, lämpöä, kaasua ja jäähdytystä asiakkailleen ja ratkaisuja resurssitehokkuuden parantamiseen. Fortum ja heidän tytäryhtiönsä Uniper ovat Euroopan kolmanneksi suurin CO<sub>2</sub>-päästöttömän sähkön tuottaja. (Monster:in www-sivut 2021)

Fortum Recycling & Waste Solutions Oy tarjoaa ympäristöasioiden hallinta- ja materiaalitehokkuuspalveluja Pohjoismaissa. Fortum Recycling & Waste Solutions Oy tarjoaa asiakkailleen uudelleenkäyttö-, kierrätys ja loppusijoitusratkaisuja sekä ympäristörakennuspalveluita ja maaperänkunnostusta ja täten parantaen asiakkaiden materiaali- ja energiatehokkuutta. Fortum Recycling & Waste Solutions Oy:n päätoimialoja ovat loppusijoitus, kierrätys, vaarallisten jätteiden käsittely sekä ympäristörakentaminen ja maaperän kunnostus. (Fortum Oy:n www-sivut 2021)

### 4.1 Porin mäntyluodon tuhkanjalostamo

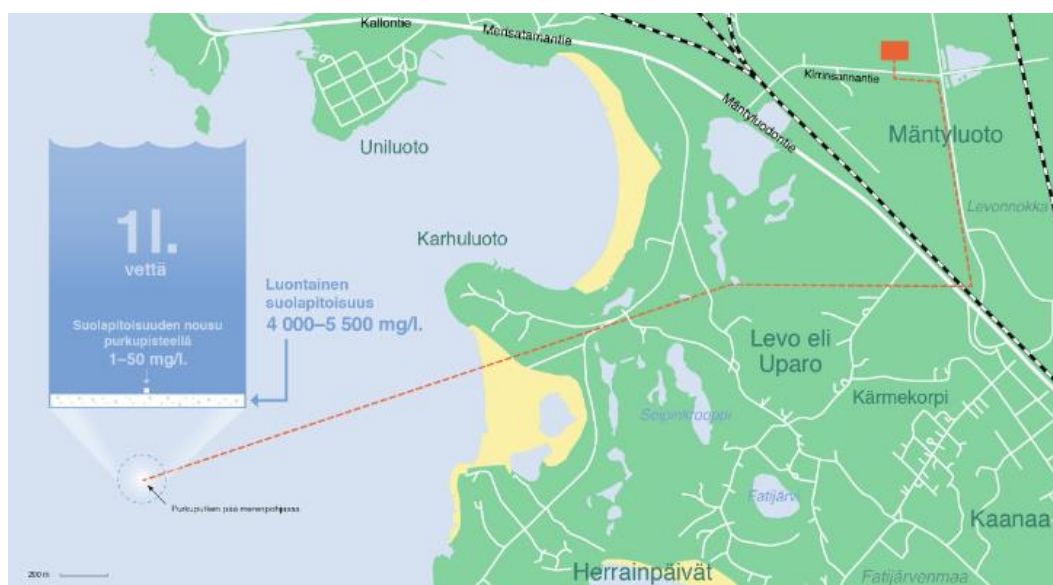
Jätteenpolttolaitokset Suomessa tuottavat vuodessa noin 45 000 tonnia APC-tuhkaa (Air Pollution Control), josta kolmannes on suolaa. Euroopan unionin kaatopaikkadirektiiviin perustuvien lakivaatimuksien mukaan suolaa sisältävää jätettä ei voi sijoittaa kaatopaikalle nykyisellä tavalla. (Fortum Oy:n www-sivut 2021)

Poriin on rakennettu Fortumin toimesta tuhkanjalostamo, jossa voidaan käsitellä tuhkaa EU:n kaatopaikkadirektiivien mukaan. Tuhkanjalostamon puhdistusprosessissa tuhkasta poistetaan suola. Raskasmetallit sidotaan tuhkaan, minkä jälkeen tuhka voidaan sijoittaa kaatopaikalle. Prosessin ansiosta tuhkien kaatopaikkauksen CO<sub>2</sub>-päästöt ovat 94,3 % vähemmän ja kaatopaikattavat kuutiot 27 % vähemmän mitä vanhalla menetelmällä. Myöskään kaatopaikkaukseen ei tarvita sementtiä lainkaan. (Fortum Oy:n www-sivut 2021)

Poistovesi ja suola johdetaan purkuputkea pitkin avomerelle (kuva 2). Porin edustalla merivedessä on suolaa noin 4000-5500 mg/l. Tuhkanjalostamolta tuleva poistovesi

nostaa veden suolapitoisuutta noin 1-50 mg/l vain purkupuutken välittömässä läheisyydessä, mikä on lähes olematon muutos. Ulkoisen asiantuntijamallinnuksen perusteella pystytään tarkasti arvioimaan purkuveden vaikutukset meriveteen. Mereen prosessista poistuvan veden laatu tunnetaan hyvin. Valvontaviranomaiset tarkkailevat veden laatua jatkuvasti. Purkupuutken pää on merellä neljä kilometriä Yyterin rannasta. Poistovedellä ei ole vaikutusta vesieliöille tai muulle vesialueen käytölle.

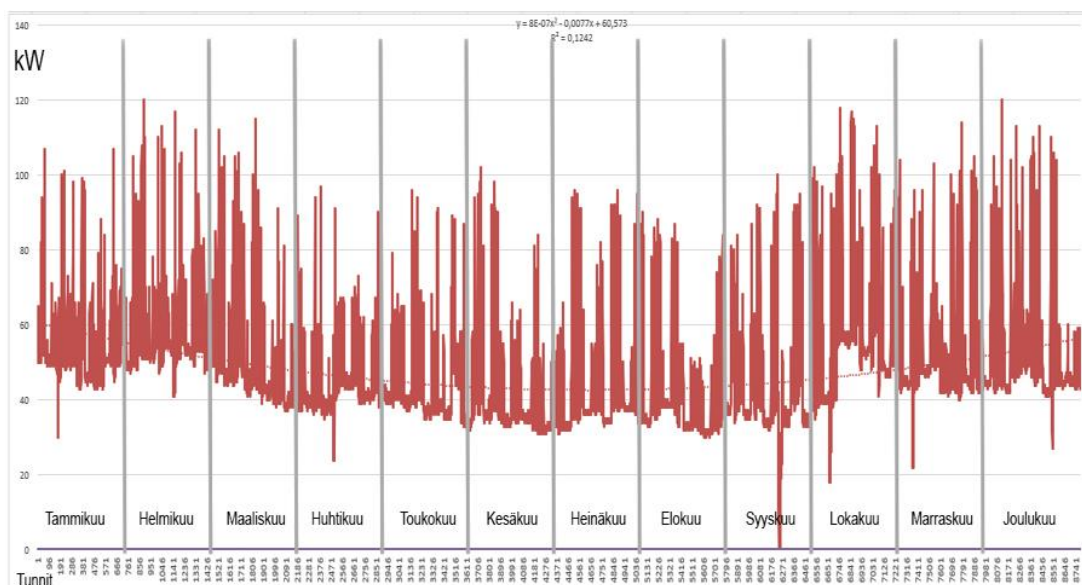
(Fortum Oy:n www-sivut 2021)



Kuva 2. Purkupuutken sijainti (Fortum Oy:n www-sivut 2021)

## 4.2 Sähkönkulutus

Sähkönkulutustiedot ovat saatavilla tunnin tarkkuudella Porin Energian WattiVahti palvelusta. Koko vuoden 2020 keskiarvo yhdelle tunnille on 48 kWh. Vuoden sähkönkulutuksen hajonta on suuri, vaihdellen noin 35 kWh jopa 120 kWh, lukuun ottamatta sähkökatkoja, jotka näkyvät kuvaajassa. Kuvaajan Pystyakselilla on sähkön kulutus kilowatteina ja poikkiakselilla vuoden 2020 tunnint. (Kuva 3)



Kuva 3. Vuoden 2020 sähkönkulutus per tunti

Tarkastellaan sähkön kulutusta vielä kuukausitasolla, jotta voidaan myöhemmin vertailla aurinkosähkijärjestelmän tuottoa. Lämpiminä kuukausina sähkön kulutus on vähäisempää, koska lämmitykseen ei kulu niin paljon energiaa. Koko vuoden sähkön kulutus on 421222 kWh eli 421,22 MWh.

Taulukko 1. Vuoden 2020 sähkön kulutus kuukausittain

Kuukausi	Kulutus (kWh)
Tammikuu	40510
Helmikuu	40442
Maaliskuu	37865
Huhtikuu	33197
Toukokuu	32589
Kesäkuu	28881
Heinäkuu	31441
Elokuu	29394
Syyskuu	30919
Lokakuu	41377
Marraskuu	36368
Joulukuu	38239
<b>Koko vuosi yhteensä:</b>	<b>421222</b>

## 5 AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU TUHKANJALOSTUSLAITOKSEN KATOLLE

### 5.1 Aurinkopaneelijärjestelmän koko

Ottaen huomioon sähkön kulutustiedot, aurinkojärjestelmä, jonka huipputeho eli peak power olisi noin 35 kWp Tarkastellen tuhkanjalostuslaitoksen vuosikulutusta ja sen keskiarvoa (kuva 3). Tämä huipputeho saataisiin saavutettua, jos paneelien teho on 270 W ja niitä olisi 131 kappaletta. Paneelin teho on 270 W tässä, koska ensimmäinen aurinkopaneelijärjestelmä vaihtoehto on tehty 270 W paneeleilla.

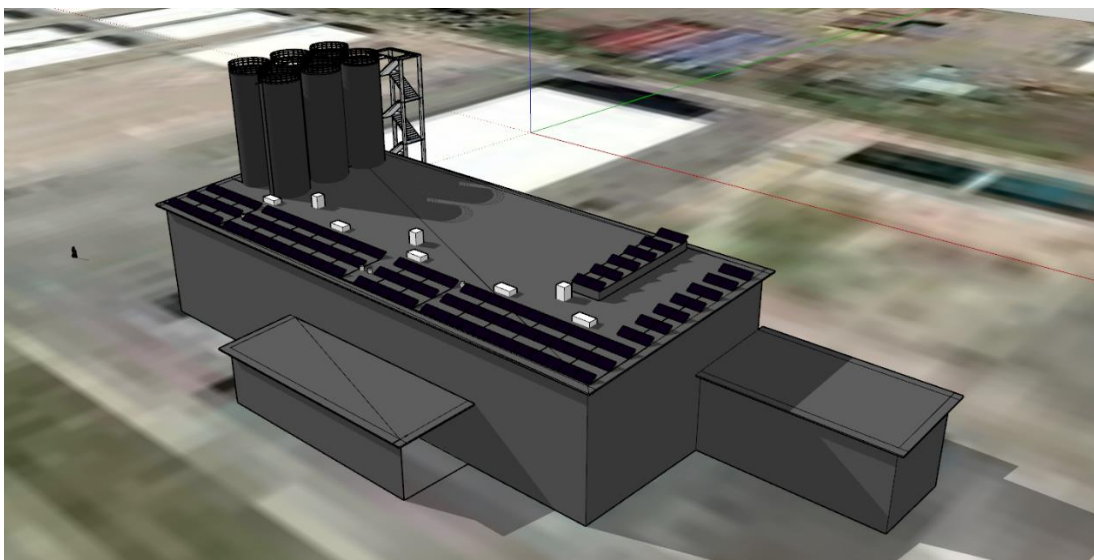
$$270 \text{ W} \times 131 = 35,37 \text{ kWp}$$

Budjettihinnan saavuttua Toimittaja 1:ltä, Paneelien teho muuttui korkeammaksi verrattuna edelliseen vaihtoehtoon, jolloin paneeleja tarvitaan vähemmän aurinkosähköjärjestelmään. 415 Watin aurinkopaneeleja tarvittaisiin 86 kappaletta.

$$415 \text{ W} \times 86 = 35,69 \text{ kWp}$$

### 5.2 Paneelien sijoitus 270 Watin paneeleilla

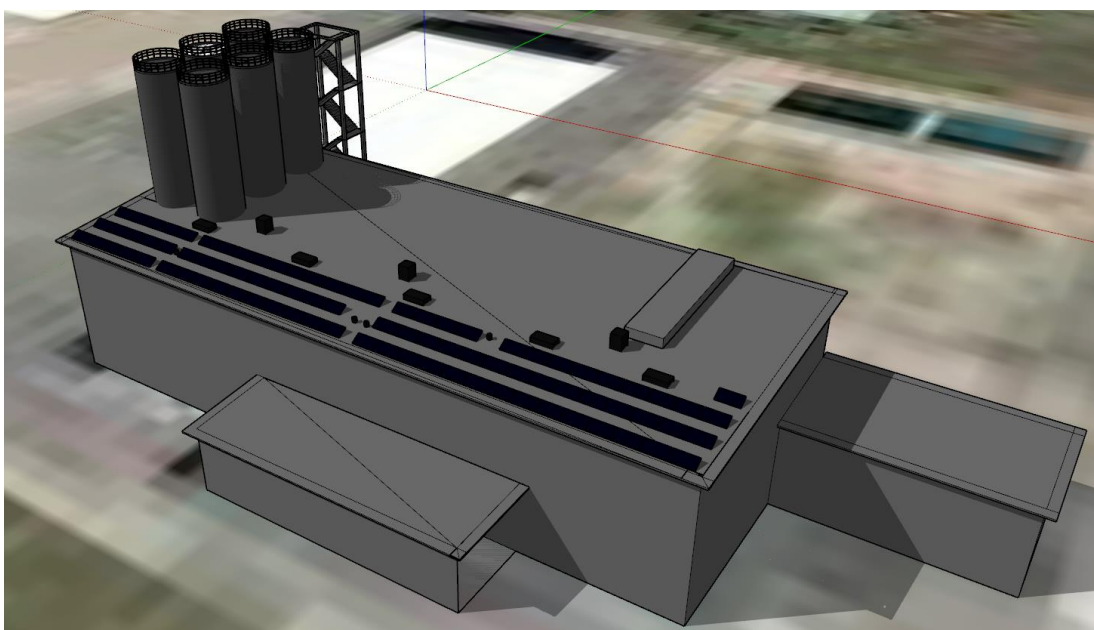
Suurin osa aurinkopaneeleista asennetaan tuhkanjalostamon katon eteläpuolelle, suunnaten paneelit etelään päin 30° asteen kulmassa (kuva 4). Tuhkanjalostamon katto on 3,9° asteen kulmassa etelään päin, joten paneelit asennetaan 26,1° kattoon nähden. Paneelit ovat metrin päässä katon reunasta. Jotta tehoa saataisiin vielä lisää, sijoitetaan aurinkopaneeleja vielä tuhkanjalostamon itäpuolelle ja haalausaukon päälle, suunnatuna myös eteläpuolelle samassa 30° kulmassa. Siilojen varjoja yritetään välttää mahdollisimman paljon paneelien sijoittelussa.



*Kuva 4. Aurinkopaneelien sijoitus*

### 5.3 Paneelien sijoitus 415 Watin Eurener Paneeleilla

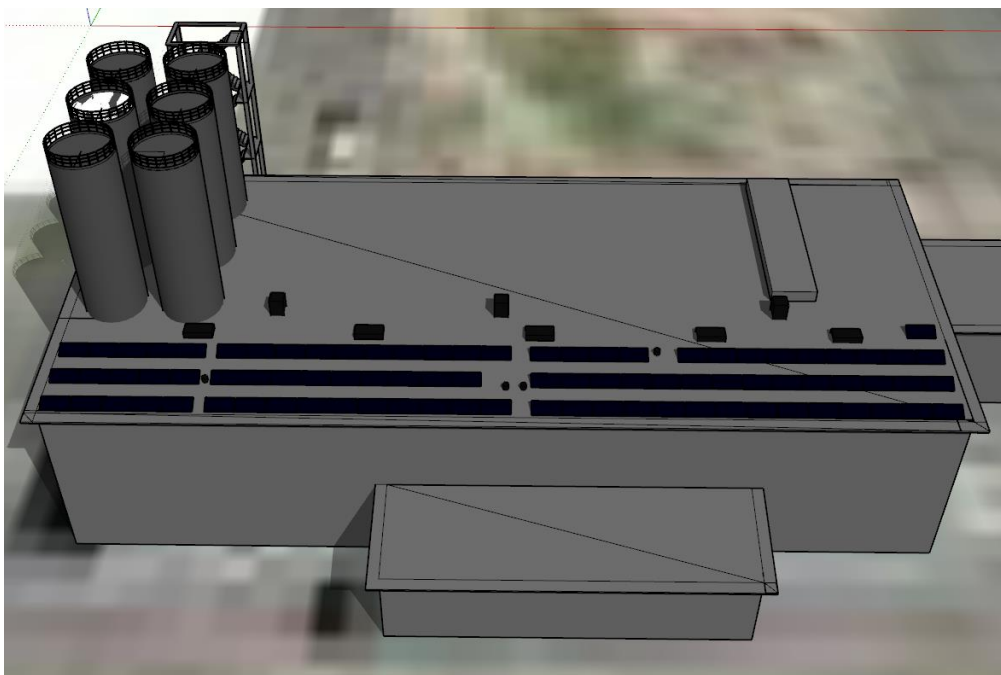
Koska Eurener paneelien yksittäinen teho 145 wattia suurempi kuin Satsolar 270 watin paneeli, Eurener paneeleja tarvitaan huomattavasti vähemmän aurinkosähköjärjestelmään. Kaikki aurinkopaneelit mahtuvat tuhkanjalostuslaitoksen katon eteläpuolelle, eikä paneeleja tarvitse sijoittaa katon itäpuolelle eikä haalausaukon päälle. Aurinkopaneelit tulevat samaan 30° kulmaan. (kuva 5)



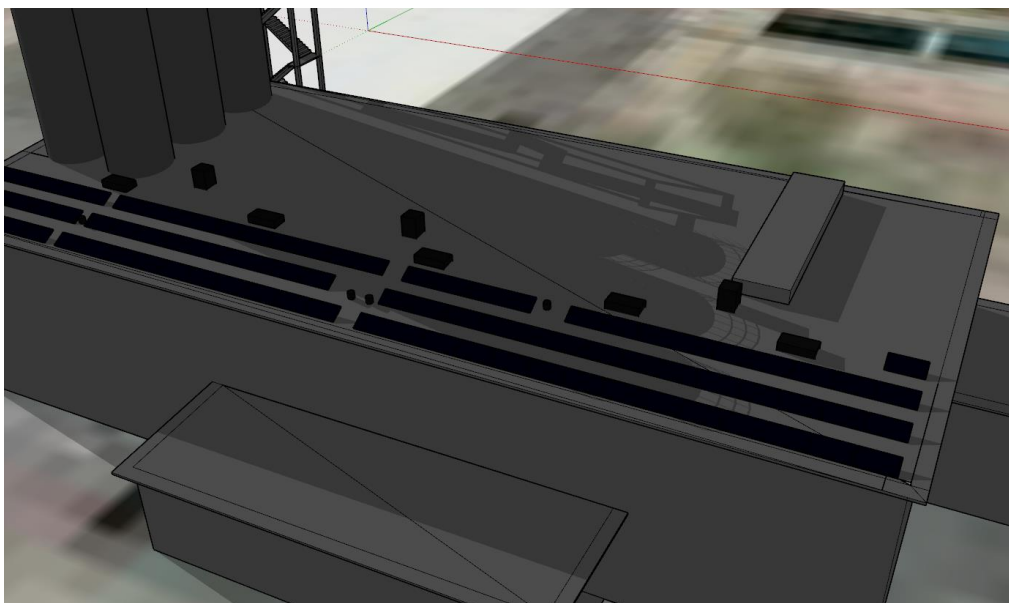
*Kuva 5. Aurinkopaneelien sijoitus Eurener 415 W paneeleilla*

## 5.4 Varjostukset

Varjostuksissa pitää ottaa huomioon siilot, jotka varjostavat paljon katon pinta-alaa. Myös paneelien omat varjot tulee ottaa huomioon. Paneelirivien väli on 2,5 metriä, jotta paneelien omat varjot eivät osuisi aurinkopaneeleihin. Alla olevista kuvista nähdään (kuva 6 ja 7), että heinäkuussa aurinko osuu paneeleihin hyvin jo aamusta alkaen, kunnes illalla varttia vaille kuusi siilojen varjot osuvat idän puoleisiin aurinkopaneeleihin (kuva 8).



*Kuva 6. Katon varjostukset klo. 10.00 heinäkuun 15 pv.*



Kuva 7. Katon varjostukset klo. 17.45 heinäkuun 15 pv. Siilot varjostavat paneeleita.

## 5.5 Aurinkopaneeli vaihtoehdot

Tavoitteena valita mahdollisimman tehokas paneeli sen pinta-alaan nähden, ottaen huomioon hinnan. Hinnan pitäisi olla tarpeeksi alhainen, jotta takaisinmaksuaika ei olisi mahdottoman pitkä. Aurinkopaneelin laatu pitää ottaa myös huomioon, että paneelit kestävät tuhkanjalostamon katolla useampia vuosikymmeniä.

### 5.5.1 Paneeli 1 Amerisolar monikidepaneeli 285 W

Ensimmäisenä tutkin olisiko aurinkosahko.fi sivulta Amerisolar monikidepaneeli hyvä valinta sähkön tuotantoon hallin katolla. Paneeli tuottaa 24 V:n jännitteen, tehollinen jännite noin 31 V. Tällä hetkellä 21.10.2020 Paneeli on tarjouksessa hinnalla 115 € kpl. ovh. 170 €. (Aurinkosahko.fi www-sivut 2020)

Paneelin ominaisuudet:

paneelin tuotenimi: AS-6P30-285W PERC  
 kestävä ja jäykkä elaksoitu alumiinirunko  
 PERC-kennot  
 5BB-tekniikka (bushbars)



karkaistu 3.2mm AR-pinnoitettu lasipinta (anti reflective)  
paineenkesto 5400 Pa, esim. lumikuorma.  
tehon säilyvyystakuu lineaarinen, 80% = 30 vuotta  
suojausluokka kytkentärasia IP67  
90cm kytkentäkaapelit  
MC4-liittimet yhteensopiva  
paneelin hyötysuhde 17.52%  
valmistajan materiaali takuu 12 vuotta



*Kuva 8. Amerisolar monikidepaneeli 285W (Aurinkosahko.fi www-sivut 2020)*

Yhden paneelin pinta-ala

$$1,64 \text{ m} \times 0,992 \text{ m} = 1,627 \text{ m}^2$$

Yhden paneelin teho pinta-alaa kohden

$$285 \text{ W} / 1,627 \text{ m}^2 = 175,2 \text{ W/m}^2$$

(Aurinkosahko.fi www-sivut 2020)

### 5.5.2 Paneeli 4 Amerisolar 285W

Amerisolar 285W olisi hyvä vaihtoehto sen alhaisen hinnan takia verrattuna muihin aurinkopaneelivaihtoehtoihin. SketchUp mallinnukseen on piirretty katolle 131 paneelia joten, jos tämä paneeli valittaisiin asennettavaksi, saataisiin tehoksi:

$$\begin{aligned} \text{Paneelin teho (Wp)} \times \text{Paneelien lukumäärä} &= \text{huipputeho kWh} \\ 285 \text{ Wp} \times 131 &= 37,3 \text{ kWh huipputeho} \end{aligned}$$

Paneeli

Hinta 98,00 €, OVH 109,00 €.

Ominaisuudet:

Paino 18,5 kg

Liitin MC4 yhteensopiva

Teho 285 Wp

Mpp jännite 31,8 V

MPPvirta 8,97 A

lepojännite 39 V

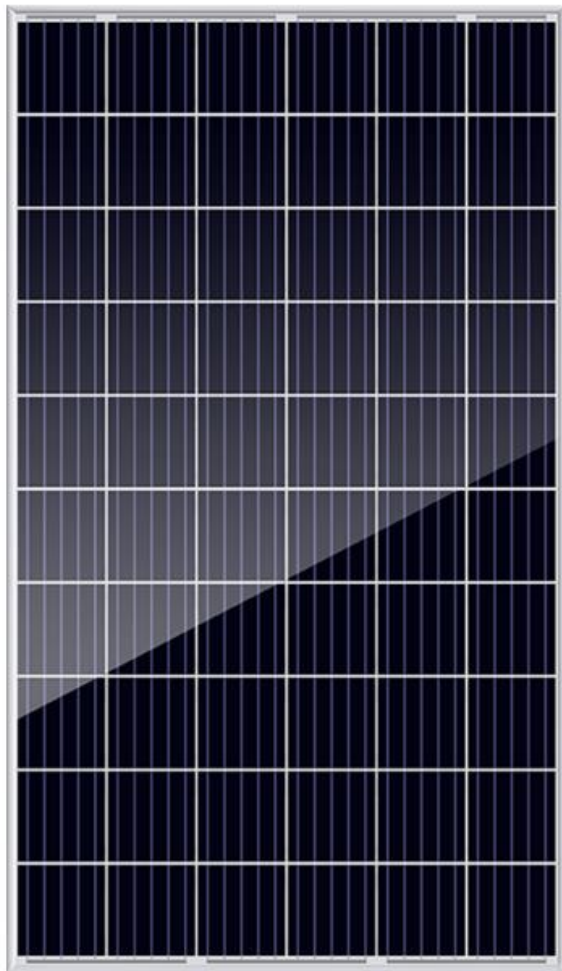
Oikosulkuvirta 9,48 A

Hyötysuhde 17,52 %

Korkeus 1640 mm

Leveys 992 mm

Syvyys 40 mm



*Kuva 9. Amerisolar 285 W (Eurenergroupp.com WWW-sivut 2021)*

### 5.5.3 Paneeli 5 Eurener MEPV 415W

Eurenerin paneeli (liite 2) on muita vaihtoehtoisia paneeleita isompi fyysisesti ja tuotto on myös suurempi. Paneeli toimii monokristalli (Monocrystalline Photovoltaic, MEPV) tekniikalla. Paneelin kehys on anodisoitua alumiinia 0.0015 mm. Paneelia on hyvä korroosion kestävyys. (Eurenergroupp.com WWW-sivut 2021)

### 5.6 Aurinkopaneelin valitseminen

Aurinkopaneeliksi valitaan toimittaja 1:n tarjouksen mukaan Eurener MEPV 415W. Eurenerin aurinkopaneeli on hieman suurempi verrattuna muihin vaihtoehtoihin. Eurener MEPV paneelit valmistaa Espanjalainen Eurener group.

## 5.7 Invertteri

Perustuen toimittaja 1:n tarjoukseen, invertteriksi valitaan kaksi kappaletta Fronius Symo 15.0-3-M (Liite 1). Invertterissä on DC ylijännitesuoja ja LAN/WLAN yhteydet etäseurantaan (kuva 9). Invertteri muuttaa paneelien tasajännitteen (DC) vaihtojännitteeksi (AC) jolloin, tuotettu sähkö voidaan käyttää laitoksen prosessissa hyödyksi. Fronius Solar.web Classic työkalun avulla voidaan seurata aurinkosähköjärjestelmän tuotantotietoja. Tätä voidaan käyttää analysointiin, valvontaan ja muiden asetusten määrittämiseen. Yllä mainitut toiminnot toimivat www-selaimella tai/ja mobiilisovelluksen avulla. (Fronius.com WWW-sivut 2021)



Kuva 10. Invertteri Fronius Symo (Fronius.com WWW-sivut 2021)

## 5.8 Paneelien kiinnitys kattoon

Laitoksen katto on joustava, joka tulee ottaa huomioon paneelien kiinnityksessä kattoon. Paneelien paino pitää ottaa huomioon katon päällä, jotta katto kestää paneelien ja telineiden painon. Paneelien kiinnityksessä pitää ottaa huomioon, voidaanko katon veden kestävään muoviin tehdä reikiä vai pitääkö asennus tehdä ilman rei'ittämättä katon ensimmäistä kerrosta, eli asentamalla painot telineille. Paneelien kiinnitykseksi valittiin aurinkopaneelien telineiden asennus hallin kattoristikoon. Katon joustavan rakenteen takia tarvitaan lujuuslaskelmat sopivan telineen valitsemiseksi, mitä ei ole kustannussyistä tehty vielä.



*Kuva 11. Mahdollinen vaihtoehto telineestä, mutta suuremmalla kulmalla. (Renusol Europe GmbH:n www-sivut 2021)*

## 6 SÄHKÖNTUOTTO

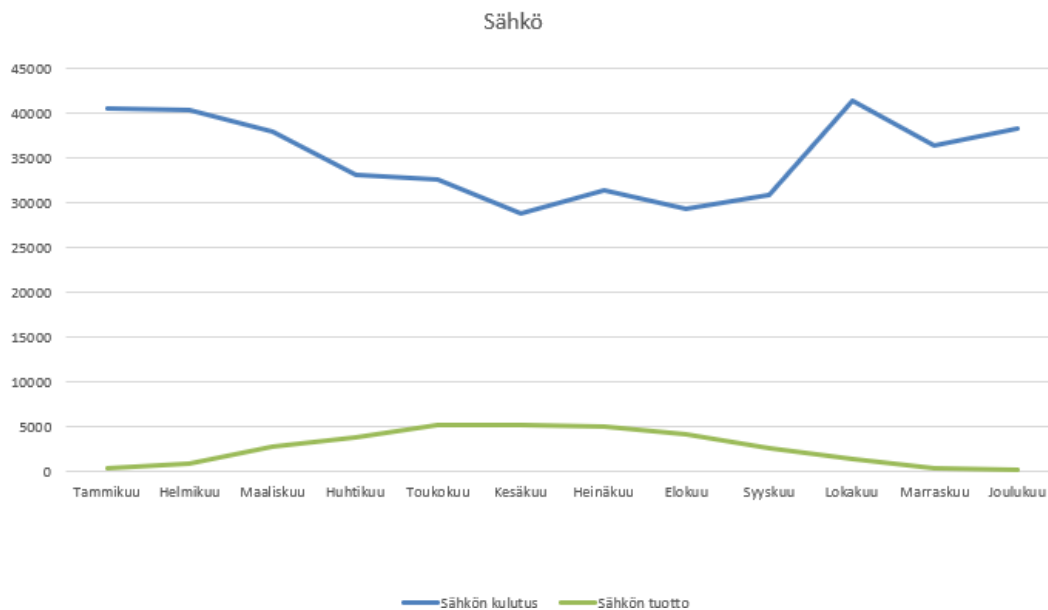
Sähkön tuoton laskentaan käytettiin PVGIS-aurinkosähkölaskuria, jolla simuloitiin vuoden sähköntuotanto, ottaen huomioon paneelien kulma, atsimuutti ja tuhkanjalostuslaitoksen sijainti. Arvioitu vuosituotto nykyisellä aurinkojärjestelmällä on 32119,07 kWh eli 32,12 MWh. Verrattuna sähköntuottoa laitoksen kulutukseen, kaikki energia mitä aurinkojärjestelmästä saadaan ulos, tulee käyttöön itse laitoksella.

Alla olevasta taulukosta nähdään, että vuoden lämpiminä kuukausina voidaan sähkönkulutusta kattaa aurinkojärjestelmällä 16 % molemmin puolin. Vaikka aurinkojärjestelmä on suuri, tuhkanpesulaitoksen prosessi vie paljon sähköenergiaa ja aurinkosähkøjärjestelmä ei kovin suurta osaa kulutuksesta kata. Koko vuoden sähköenergiasta aurinkopaneelit kattaisivat 7,6 prosenttia.

Taulukko 2. Sähkön kulutus ja tuotto

Kuukausi	Kulutus (kWh)	Aurinkosähkö tuotto (kWh)	Aurinkosähköllä katettu kulutus
Tammikuu	40510	288,29	0,7 %
Helmikuu	40442	913,16	2,3 %
Maaliskuu	37865	2851,23	7,5 %
Huhtikuu	33197	3888,46	11,7 %
Toukokuu	32589	5117,21	15,7 %
Kesäkuu	28881	5221,88	18,1 %
Heinäkuu	31441	5094,01	16,2 %
Elokuu	29394	4117,45	14,0 %
Syyskuu	30919	2669,11	8,6 %
Lokakuu	41377	1422,81	3,4 %
Marraskuu	36368	394,41	1,1 %
Joulukuu	38239	141,05	0,4 %
Koko vuosi yhteensä:	421222	tuotto yhteensä: 32119,07	Koko vuosi 7,6%

Alla olevasta kuvaajasta nähdään, millainen ero on laitoksen sähkön kulutuksella ja aurinkosähkøjärjestelmän tuotolla.



Kuva 12. Sähkön kulutus ja tuotto

## 6.1 Takaisinmaksuaika

Sähkön hinta tuhkanjalostuslaitokselle koostuu itse sähkön hinnasta, sähkön siirrosta ja sähköverosta. Sähkön hintaan vaikuttaa myös perusmaksut ja muut loistehomaksut, mutta nämä ei vaikuta itse takaisinmaksuaikaan mitenkään. Sähkön hinnaksi saadaan täten 7,493 snt/kWh. Sähkön hinta ei ole kiinteä, vaan voi vaihdella. Työn tekovaiheessa sähkön hinta on ollut 7,493 snt/kWh.

$$\begin{aligned} \text{Sähkön hinta} & 4,3 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + \text{Sähkön siirto} 0,94 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + \text{Sähkövero} 2,253 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \\ & = 7,493 \text{ snt/kWh} \end{aligned}$$

Aurinkoenergiajärjestelmä tuottaa sähköenergiaa vuodessa 32119,07 kWh. Tämä kerrottuna sähkön kokonaishinnalla saadaan koko vuoden säästö, mikä saavutetaan aurinkoenergiajärjestelmällä. Säästö on yhteensä 2406,7 €.

$$32,119,07 \text{ kWh} * 7,493 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} = 2406,7 \text{ €}$$

Aurinkoenergiajärjestelmän hinta on 19 650 € ALV 0%, järjestelmän asennus toimittaja 2:lta 15 000 € ALV 0% ja läpivientien teko paneelien telineille toimittaja 2:lta 5 000 € ALV 0%. Arvioitu kokonaishinta kokonaishinta on siis 39 650 € ALV 0%. Investointi tukea tämän kokoiselle aurinkosähköjärjestelmälle saa 25%, jonka jälkeen kokonaishinnaksi jää 29 737,5 € ALV 0%.

Takaisinmaksuaika tulee näillä tiedoilla olemaan 12,356 vuotta. Jos sähkön hinta olisi 15% suurempi, takaisinmaksuajaksi jäisi 10,745 vuotta. (Koski sähköposti 17.5.2021)



## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella aurinkosähköjärjestelmä Fortum Mäntyluodon tuhkanjalostuslaitoksen katolle. Piirsin kaksi mahdollista vaihtoehtoa katolle. Ero näiden välillä on vain paneelien määrä, koska molemmissa oli yhteen laskettuna sama sähköntuottoteho. Eurener merkkiseen paneeliin päädyttiin, koska kyseistä paneelia tarjottiin toimittaja 1:n toimesta heidän budjetti hinnassa. Heiltä tilattaisiin myös muut komponentit aurinkosähköjärjestelmään. Kun aurinkosähköjärjestelmä on saatu asennettua, sitä tarvitsee hyvin vähän kunnossapitää, luultavasti ei melkein yhtään. Kunnossapitokustannus on arvioituna 1,5 % investointikustannuksesta. Mahdollisesti talvella lumelle pitää tehdä jotain.

Aurinkosähköjärjestelmän tehoksi valittiin 35,7 kWp, tarkkaillen tuhkanjalostuslaitoksen sähkönkulutustietoja. Jos järjestelmä olisi hirveästi suurempi, loppuisi järkevä tila laitoksen katolta ja sähköä pitäisi myydä takaisin verkkoon pilkkahintaan, joka ei ole kannattavaa.

Aurinkosähköjärjestelmän avulla pystytään säästämään tuhkanjalostuslaitoksen sähkölaskussa arvioituna vuosittain 2400 €. Aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuajaksi saatiin 12,4 vuotta käyttäen vuoden 2021 sähkön hintaa. Jos tulevaisuudessa sähkön hinta tulee nousemaan, mikä johtaa lyhyempään takaisinmaksuaikaan.

## LÄHTEET

Aurinkosähkö.net www-sivut 2021. Viitattu 10.3.2021. <https://www.aurinkosahko.net>

Caplor Energyn www-sivut 2021. Viitattu 21.5.2021. <https://www.caplor.co.uk/>

Electro torin www-sivut 2021. Viitattu 10.3.2021. <https://www.electrotori.net>

Eurener:n www-sivut 2021. Viitattu 15.4.2021. <https://eurenergroupp.com/>

Fortum Oy:n www-sivut 2021. Viitattu 18.3.2021. <https://www.fortum.fi>

Fronius International GmbH www-sivut 2021. Viitattu 10.5.2021. <https://www.fronius.com>

Hellgren, M., Heikkinen, L., Suomalainen, L. & Kala, J. 1999. Energia ja ympäristö. Helsinki: Hakapaino Oy.

Koski, I. Budjettihinta 17.5.2021. Vastaanottaja jussi.mikkonen@student.samk.fi. Lähetetty 17.5.2021. Viitattu 17.5.2021.

Monster / Alma Career Oy:n www-sivut 2021. Viitattu 16.3.2021. <https://www.monster.fi/>

Renusol Europe GmbH:n www-sivut 2021. Viitattu 26.5.2021. <https://renusol.com/>

SEIA:n www-sivut 2021. Viitattu 21.5.2021. <https://www.seia.org/>

Solnet Group:n www-sivut 2021. Viitattu 26.5.2021. <https://www.solnet.group/>

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

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



# Fronius symo

/ Maximum flexibility for the applications of tomorrow.



/ SnapInverter technology



/ Integrated data communication



/ SuperFlex Design



/ Dynamic Peak Manager



/ Smart Grid Ready



/ Zero feed-in



/ With power categories ranging from 3.0 to 20.0 kW, the transformerless Fronius Symo is the three-phase inverter for systems of every size. Owing to the SuperFlex Design, the Fronius Symo is the perfect answer to irregularly shaped or multi-oriented roofs. The standard interface to the internet via WLAN or Ethernet and the ease of integration of third-party components make the Fronius Symo one of the most communicative inverters on the market. Furthermore, the meter interface permits dynamic feed-in management and a clear visualisation of the consumption overview.

## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

INPUT DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Max. input current ( $I_{G1 \text{ max}}$ / $I_{G2 \text{ max}}$ *)				16.0 A / 16.0 A		
Max. array short circuit current (MPP/MPP2 *)				24.0 A / 24.0 A		
Min. input voltage ( $U_{G1 \text{ min}}$ )				150 V		
Feed-in start voltage ( $U_{G1 \text{ start}}$ )				200 V		
Nominal input voltage ( $U_{G1 \text{ n}}$ )				505 V		
Max. input voltage ( $U_{G1 \text{ max}}$ )				1,000 V		
MPP voltage range ( $U_{MPP \text{ min}} - U_{MPP \text{ max}}$ )	200 - 800 V	250 - 800 V	300 - 800 V	150 - 800 V		
Number MPP trackers	1			2		
Number of DC connections	3			2+2		
Max. PV generator output ( $P_{G1 \text{ max}}$ )	6.0 kW <sub>peak</sub>	7.4 kW <sub>peak</sub>	9.0 kW <sub>peak</sub>	6.0 kW <sub>peak</sub>	7.4 kW <sub>peak</sub>	9.0 kW <sub>peak</sub>
OUTPUT DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
AC nominal output ( $P_{AC \text{ n}}$ )	3,000 W	3,700 W	4,500 W	3,000 W	3,700 W	4,500 W
Max. output power	3,000 VA	3,700 VA	4,500 VA	3,000 VA	3,700 VA	4,500 VA
AC output current ( $I_{AC \text{ max}}$ )	4.3 A	5.3 A	6.5 A	4.3 A	5.3 A	6.5 A
Grid connection (voltage range)	3-NPE 400 V / 230 V or 3-SPE 380 V / 220 V (+20% / -30%)					
Frequency (Frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)					
Total harmonic distortion	< 3%					
Power factor (cos $\phi_{grid}$ )	0.70 - 1 ind. / cap.			0.85 - 1 ind. / cap.		
GENERAL DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Dimensions (height x width x depth)				645 x 431 x 204 mm		
Weight	16.0 kg			19.9 kg		
Degree of protection				IP 65		
Protection class				1		
Overvoltage category (DC / AC) †				2 / 3		
Night time consumption				< 1 W		
Inverter design				Transformerless		
Cooling				Regulated air cooling		
Installation				Indoor and outdoor installation		
Ambient temperature range				-25 - +60 °C		
Permitted humidity				0 - 100 %		
Max. altitude				2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)		
DC connection technology	3x DC+ and 3x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>			4x DC+ and 4x DC- screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup>		
AC connection technology	5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>			5-pole AC screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup>		
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8801-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, GR3/2, UNE 206007-1, SI 4777 <sup>3</sup> , CEI 0-21 <sup>4</sup> , NRS 097					

\*This applies to Fronius Symo 3.0-3-M, 3.7-3-M and 4.5-3-M.

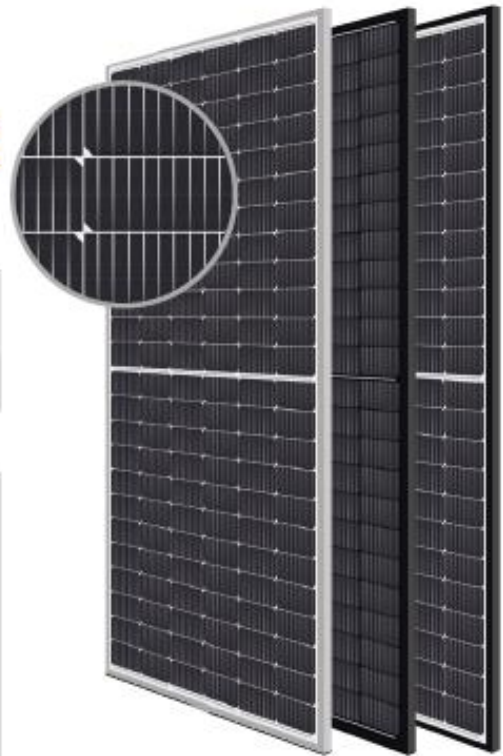
†According to IEC 62109-1.

<sup>3</sup>16 mm<sup>2</sup> without wire end ferrules. Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).



### MEPV 400-420W

Half-cut | 9 Busbar | IP68



#### Laatu

- / IP68
- / 6 diodia
- / Elektroluminesenssin testaus
- / Ympäristöystävälliset & kierrätettävät materiaalit
- / Erittäin hyvin valoa läpäisevä ja kestävä lasi
- / Kehys, jossa korkea mekaaninen lujuus ja tuplaseinä

#### Sertifikaatit

- / IEC 61215
- / IEC 61730
- / VKF-AEAI (Sveitsi)
- / Class I standardin UNI 9177 mukaisesti
- / WEEE (Saksa)
- / ETL Listed - merkintä (USA/Kanada)
- / EE018-20130528-001 (Ranska)
- / Kuorma alaspäin (lumi) 5,400 Pa
- / Paloturvallisuussertifikaatti
- / Kuorma ylöspäin (tuuli) 2,400 Pa
- / MCS (Iso-Britannia)
- / SundaHus
- / ETN

15

VUODEN TUOTETAKUU

25

VUODEN SUORITUSKYKYTAKUU

PHOTON Laboratory on todennut moduuleistamme:

*"Eurener on Euroopan vanhimpia aurinkopaneelien valmistajia. Espanjalainen yritys perustettiin vuonna 1997. / erottuu keskimääräistä paremmilla suoritusarvoillaan: lämpötilakerroin on muita testattuja paneeleja selvästi parempi. Hyötysuhde paranee merkittävästi valosäteilyn ollessa kohtalaisia tai korkeaa, ja hyötysuhteen lasku alhaisella valosäteilyllä on vähäinen. Tämä on osoitus siitä, että paneeli voisi saavuttaa keskimääräistä paremmat tulokset pitkäkestoisissa mittauksissa."*



## MEPV HALF-CUT 144

Vakio - Musta - Zebra / 400 / 410 / 415 / 420 W



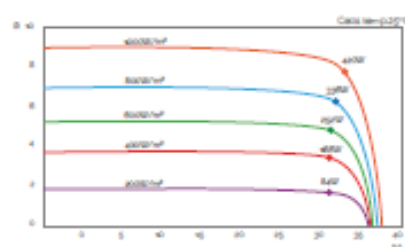
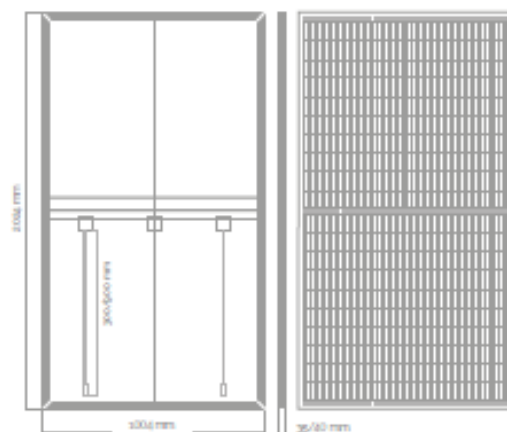
UROOPPALAISTA LAATUA

**eurener**  
energia solar



### Tekniset tiedot

Kehys
Musta/hopea anodisoitu alumiini 0,015 mm
Tukeva, hyvä korroosion kestävyys
Integroitu pistoke
Kytkenärasia
Tiivistetty, vahva ja tilava, siirtää lämpöä tehokkaasti pois
IP67/IP68 standardin IEC 60529 mukaisesti
Integroidut ohitusdiodit (3/6), minimoi kennon osavarjostuksen vaikutuksen
MC4-liitin tai vastaava
Kaapelien pituus 300/900mm (±0,1m) ja ala 4mm <sup>2</sup>
Paloturvallisuusluokka I (UNI 9177)
Etuosia
3,2 mm:n karkaistu turvalasi
Kuvioitu, erittäin kirkas, matala rautapitoisuus
Aurinkokennot
144 [2X(12X6)] kennoa, yksikeiteinen pii
Paino, mitat ja logistiikkatiedot
23 Kg   2024 x 1004 x 35/40mm(±/-1%) Pakkauk: 594/638 kpl, kuorma-auto



### Sähköiset arvot

Valtio - Musta - Zebra	MEPV 400 - HC	MEPV 410 - HC	MEPV 415 - HC	MEPV 420 - HC
Nimellinen maksimiteho, P <sub>mpp</sub>	400 W	410 W	415 W	420 W
Toleranssi, P <sub>mpp</sub>	0 / +5W	0 / +5W	0 / +5W	±1W
Paneelin pinta-ala	2,03			
Paneelin hyötysuhde	19,69 %	20,18 %	20,42 %	20,67 %
Oikosulkuvirta (I <sub>sc</sub> )	10,32 A	10,40 A	10,44 A	10,49 A
Avoimen piirin jännite (V <sub>oc</sub> )	49,0 V	49,4 V	49,6 V	49,7 V
Virta maksimikuormalla (I <sub>mpp</sub> )	9,81 A	9,91 A	9,96 A	10,01 A
Jännite maksimikuormalla (V <sub>mpp</sub> )	40,8 V	41,4 V	41,7 V	42,0 V
Maksimijännite	1000 - 1500 V			
α I <sub>sc</sub>	0,05% / °C			
β V <sub>oc</sub>	- 0,29% / °C			
γ P <sub>max</sub>	- 0,37% / °C			
Käyttölämpötila	- 40°C to +85°C			
NOCT, aurinkokennojen nimellinen toimintalämpötila	42°C ± 2°C			

HUOM: Lue tuotteen ohjekirja ja pyri vakiolämpötilaolosuhteiden kestävään asennusolosuhteisiin. Testausolosuhteet: 1000 W/m<sup>2</sup>, spektri AM 1.5 ja kennon lämpötila 25 °C. Mittaus toleranssi ±3 % (standardin IEC 60904-9 mukainen AAA-luokan aurinkosimuloitit). Eurenerilla on oikeus ilman erillistä ilmoitusta muuttaa tämän ohjeen tietoja.