



Karelia-ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikka (AMK)

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden ja tuoton selvitys jätevedenpuhdistamolle

Jätevedenpuhdistamo Outokumpu

Ville Hirvonen

Opinnäytetyö, toukokuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä(t)
Ville Hirvonen

Nimeke
Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden ja tuoton selvitys jätevedenpuhdistamolle

Toimeksiantaja
Outokummun kaupunki

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä selvitettiin Outokummun jätevedenpuhdistamolle tulevan aurinkosähköjärjestelmän taloudellista kannattavuutta viiden eritehoisen aurinkosähköjärjestelmän kannalta sekä niistä saatavaa sähkötuottoa.

Tavoitteena työssä oli löytää sopivin järjestelmä sähköntuotoltaan ja investointikustannuksiltaan kohtaamaan mittavaa sähkönkulutusta kohteessa. Työssä hyödynnettiin PV-SOL sovellusta ja PV- GIS sovellusta järjestelmien sähköntuoton selvittämiseen. Kannattavuus selvitys tehtiin käyttämällä Excel taulukkolaskentaohjelmaa. Järjestelmien hinnat saatiin interpoloimalla saatavilla olevien aurinkosähköjärjestelmien hintoja.

Laskelmissa käytetyt aurinkosähköjärjestelmät valikoituivat takaisinmaksuajan, omakulutustasteen, sisäisen koron ja saatavan nettotuoton perusteella. Katolle tulevan järjestelmän teholuokkaa rajoittaa myös järjestelmän vaatima pinta-ala.

Kieli
suomi

Sivuja 59
Liitteet 1
Liitesivumäärä 1

Asiasanat
jätevedenpuhdistamo, aurinkoenergia, kannattavuus



THESIS
May 2022
Degree Programme in Energy and Environmental Technology

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Ville Hirvonen

Title
Profitability and return study of the photovoltaic system for the wastewater treatment plant

Commissioned by
The city of Outokumpu

Abstract
In this thesis, the economic viability of the solar photovoltaic system for Outokumpu's wastewater treatment plant in terms of five efficient photovoltaic systems and the electricity output from them were investigated.

The aim of the work was to get the most suitable system for electricity production and investment costs to meet the large electricity consumption at the site. The PV-SOL application and the PV-GIS application were used in the work to determine the electricity yield of the systems. The profitability study was performed using an Excel spreadsheet program utilizing. The prices of the systems were obtained by interpolating from the prices of the available photovoltaic systems.

The photovoltaic systems used in the calculations were selected based on the payback period, occupancy rate, internal interest rate and net receivable. The power class of the system coming to the roof is also limited by the area required by the system.

Language
Finnish

Pages	59
Appendices	1
Pages of Appendices	1

Keywords
wastewater treatment plant, solar energy, viability

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Aurinkoenergia termit.....	7
2.1	Käsitteet.....	7
2.2	Auringonsäteily sähköksi	8
2.3	Auringonsäteily Suomessa	9
2.4	Sähköverkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä	10
2.5	Kannattavuus ja kannattavuuteen vaikuttavat seikat	11
2.6	Investoinnin jäännösarvo	11
2.7	Laskentakorkokanta.....	11
2.8	Takaisinmaksuaika	12
2.9	Sisäinen korko	12
2.10	Omakulutusaste.....	12
2.11	Aurinkosähköjärjestelmän tuotto.....	13
2.12	Energiatuki.....	13
2.13	Paneelien asennus	14
2.14	Aurinkosähkön varastointi.....	14
2.15	Aurinkosähköjärjestelmän huolto ja turvallisuus	15
3	Aurinkosähköjärjestelmä	16
3.1	Aurinkopaneelit	16
3.2	Aurinkopaneeleissa käytettävä teknologia	16
3.3	Half-cut teknologia	17
3.4	Lasi-lasipaneelit.....	18
3.5	Aurinkosähköjärjestelmä tyypit	18
3.6	Inventteri.....	19
3.7	Suuntauksen vaikutus tuottoon.....	19
3.8	Aurinkopaneelien kattoasennus.....	20
3.9	Maa-asennus.....	22
3.10	Lumikuorman huomioiminen katto asennuksessa	25
4	Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät	26
4.1	Menetelmät aurinkosähköjärjestelmän tuoton ja kannattavuuden laskemiseen.....	26
4.2	Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuoton laskennallinen menetelmä	26
4.3	Työssä käytetty aurinkopaneeli ja invertteri	29
5	Kohteen tiedot.....	30
5.1	Sijainti	30
5.2	Tietoja kiinteistöstä	32
5.3	Jätevedenpuhdistamon sähkönkulutustiedot	33
5.4	Päiväkohtainen profiili.....	34
5.5	Tuntikohtainen kulutus.....	35
6	Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus ja tuotto	35
6.1	Kannattavuuden ja tuoton määrittely	35
6.2	Kannattavuuden laskeminen.....	36
7	Aurinkosähkön tuotto Outokummun jätevedenpuhdistamolla	37
7.1	Katolle sijoitettavan aurinkosähköjärjestelmän tuotto vuositasolla	37
7.2	Maahan sijoitettavan järjestelmän tuotto vuositasolla	37
7.3	Katto ja maa-asennuksen sähköntuoton erotus vuositasolla	39
7.4	Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotto koko elinkaarenajalta.....	40

7.5	Aurinkosähköjärjestelmästä saatavan sähköntuoton jälkeen sähköverkosta ostettava sähkö.....	40
8	Kannattavuus.....	43
8.1	Investointikustannus	43
8.2	Verkosta ostettavan sähkön hinnan vaikutus.....	43
8.3	Omakulutusaste.....	49
8.4	Katto ja maa-asennuksen ero vuositasolla sähkönhinnan mukaan ...	50
8.5	Aurinkosähköjärjestelmän investointikulut	50
8.6	Sähkön tuotosta ja myynnistä saatu nettotuotto	51
9	Tulosten yhteenveto.....	52
10	Pohdinta.....	55
	Lähteet.....	58

Liitteet

Liite 1 Kesäkuu 2020 Excel-taulukkolaskentaohjelmalla laskettu tuotto

Kuvat

Kuva 1. (Motiva.2022). Sähköverkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä.

Kuva 2. (Lumme energia.2022). Full-Cell ja Half-Cut paneelit.

Kuva 3. (Finnwind.2022). Suuntauksen vaikutus tuottoon.

Kuva 4. (Finnwind.2022). Paneelin minimi jäädytysaika.

Kuva 5. (Finnwind.2022). Minimietäisyydet esteisiin, räystäisiin ja katonharjaan.

Kuva 6. (Kymenlaakson sähkö oy.2022). Esimerkki asennetuista paneeleista huopakatolle.

Kuva 7. (Finnwind.2022). Paneelin kiinnityskohtien malli.

Kuva 8. (Finnwind.2022). Maa-asennusjärjestelmän kiinnitystapoja.

Kuva 9. (Finnwind.2022). Maahan asennettavan aurinkopaneelikentän mitoitus.

Kuva 10. (Maaseuduntulevaisuus.2022). Inverterien ja turvakytkimien sijoitus maahan asennettavassa järjestelmässä.

Kuva 11. PV-SOL sovelluksella piirretty maahan sijoitettavasta aurinkosähköjärjestelmästä malli, missä ei ole mittasuhteita huomioitu.

Kuva 12. (Finnwind.2022). Lumen paino kasvattaa kuormitusta paneelin etureunassa.

Kuva 13. PV-GIS.20.4.2022 Vuosittainen auringonsäteilyn optimi määrä.

Kuva 14. Jätevedenpuhdistamon sijainti. (© Karttapaikka.2022)

Kuva 15. Jätevedenpuhdistamon ilmansuunta. (© Karttapaikka.2022).

Kuva 16. Katto asennuksen varjostavia tekijöitä.

Kuva 17. Maa-asennusjärjestelmän sijainnin mahdollinen paikka.

Kuva 18. Taulukko kesäkuun sähkönkulutus ja tuotto 2020.

Kuva 19. PV-SOL 23.4.2022. Verkosta ostettavan sähkön määrä 100 kw aurinkosähköjärjestelmästä saatun sähköntuoton jälkeen.

Kuviot

Kuvio 1. Sähkön vuosikulutus.

Kuvio 2. Sähkönkulutus maaliskuusta syyskuuhun.

Kuvio 3. Kesäkuun 2020 päiväkohtainen kulutus.

Kuvio 4. Kesäkuun 2020 tuntikohtainen pohjakulutus ja keskimääräinen kulutus.

Kuvio 5. Sähköntuotto kWh/kW_p

Kuvio 6. Sähköntuotto eri tehoisilla järjestelmillä, sekä asennustavoilla.
Kuvio 7. Takaisinmaksuaika katolle asennettuna.
Kuvio 8. Takaisinmaksuaika maahan asennettuna.
Kuvio 9. Takaisinmaksuaika maahan asennettua sekä maansiirtotyöt.
Kuvio 10. Sisäinen korko kattoasennus järjestelmällä.
Kuvio 11. Sisäinen korko maa-asennus järjestelmällä.
Kuvio 12. Sisäinen korko maa-asennus ja maansiirtotyö.
Kuvio 13. Kattoasennus järjestelmästä saatava tuotto.
Kuvio 14. Maahan asennettavan järjestelmän tuotto.
Kuvio 15. Maahan asennettavan järjestelmän tuotto sisältäen maansiirtotyöt.
Kuvio 16. Sähkön tuotosta ja myynnistä saatu nettotulo €/MWh. Osto sähkön hinta on €/kWh.

Taulukot

Taulukko 1 (Aurinkolaskenta opas.2012). F1 on ilmansuunnan kerroin (-)
Taulukko 2 (Aurinkolaskenta opas.2012). F2 on kallistuskulmakerroin (-)
Taulukko 3 (Aurinkolaskenta opas.2012). Käyttötilanteen toimivuuskerroin F käyttö [-]
Taulukko 4. Omakulutusaste katolla sijaitsevilla järjestelmissä.

Taulukko 5. Sähköntuotto kattoasennusjärjestelmistä kWh/kW_p.
Taulukko 6. Saatava sähköntuotto kattoasennusjärjestelmistä kWh/a.
Taulukko 7. Sähköntuotto maa-asennusjärjestelmistä kWh/kW_p
Taulukko 8. Saatava sähköntuotto maa-asennusjärjestelmistä kWh/a.
Taulukko 10. Saatava sähkö kattoasennusjärjestelmistä koko elinkaarenajalta MWh.
Taulukko 11. Saatava sähkö maa-asennusjärjestelmistä koko elinkaarenajalta MWh.
Taulukko 12. Verkosta ostettava sähkönmäärä eri tehoisilla aurinkosähköjärjestelmillä katolla sijaitsevalla aurinkosähköjärjestelmällä.
Taulukko 13. Verkosta ostettava sähkönmäärä eri tehoisilla aurinkosähköjärjestelmillä maahan asennettuna.
Taulukko 14. Investointikustannus €/kWh
Taulukko 15. Omakulutusaste
Taulukko 16. Maa-asennuksesta saatava vuotuinen tuotto eri sähkönhinnoilla verrattuna katolla sijaitsevaan järjestelmään.
Taulukko 17. Investoinnin hinnat.

Lyhenteet

kWh kilowattitunti
kW_p kilowattipiikki
MWh Megawattitunti

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tarkastellaan Outokummun kaupungin jätevedenpuhdistamolle tulevan aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta sekä siitä saatavaa aurinkosähköntuottoa. Tavoitteena saada taloudellisesti kannattava aurinkosähköjärjestelmä vähentämään verkosta ostettavan sähkön määrää. Työssä tarkastellaan taloudellista kannattavuutta ja sähköntuottoa 30 vuoden ajanjaksolla.

Kohteeseen tulevan aurinkosähköjärjestelmän tehokkuuslaskelmat perustuvat toimeksiantajalta saatuun sähkönkulutustietoon. Sähkönkulutustiedot ovat vuodelta 2020. Sähköä jätevedenpuhdistamolla kuluu lähinnä jäteveden käsitteilyprosessiin. Sähkönkulutustietojen perusteella kohteen sähkönkulutus on melko tasainen tuntitasolla, mikä on aurinkosähköjärjestelmän investoinnin kannalta erinomainen asia.

Kohteen katto pinta-ala on n. 1 600 m². Katto on kohteessa remontoitu kesällä 2021, mikä onkin jo merkittävä asia, kun aurinkosähköjärjestelmää katolle suunnitellaan. Investointi on kuitenkin pitkäaikainen. Yleensä järjestelmiä suunniteltaessa käyttöikäksi lasketaan 25–30 v. Katolla on kaksi isompaa siiloa, mistä aiheutuu hieman varjostuksia. Varjostukset tuleekin huomioida paneelien sijoituksessa sekä asennettavan aurinkosähköjärjestelmän pinta-ala.

Maa-asennus aurinkosähköjärjestelmälle huomioidaan myös työssä. Paneelit sijoittuisivat kiinteistöstä etelän ja kaakon väliin käytöstä poistetun jätealtaan paikalle. Maa-asennuksen hyvänä puolena on järjestelmän optimaalinen sijoittaminen auringonsäteilyn suhteen. Tässä vaihtoehdossa tulee myös huomioida maanrakennuskustannukset lopullisissa investointikuluissa.

Tässä työssä käytetään järjestelmän mitoituksessa ja sijoittelussa PV-SOL-mallinnus ohjelmaa. Laskelmissa käytetään myös PV-GIS sovelluksesta saatavan auringon säteilyn määrää vuodessa neliömetrille (kWh/m²). Kannattavuuslaskelmat tehdään Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.

2 Aurinkoenergia termit

2.1 Käsitteet

Aurinkoenergia: Auringosta saatavaa energiaa, joka tulee maapallon pinnalle säteilyinä eri aallonpituuksilla: pääasiassa näkyvänä valona, sekä erilaisina säteilyinä, jotka ovat ultraviolettisäteily, infrapunasäteily ja lämpösäteily. Maahan tullessa aurinkoenergia muuttuu muotoaan säteilystä muihin energiamuotoihin, kuten tuuleksi, aalloiksi, maa- ja vesistölämmöksi sekä biomassaksi. (Motiva 2022b.)

Aurinkokenno: Sen avulla muutetaan auringosta saatava säteily tasavirraksi. (Motiva 2022b.)

Aurinkopaneeli: Sarjaan ja rinnan kytketyistä aurinkokennoista koostuva sähköntuotantolaite, johon kennojen lisäksi kuuluu kehikko, taustatuki, johdotukset, kytkentärasia ja pintalasi. (Motiva 2022b.)

Aurinkosähkö: Auringonsäteilyä aurinkopaneeleiden avulla tuotettua sähköä. (Motiva 2022b.)

Suora säteily: Aurinkopaneeleihin kohdistuva säteily suoraan auringosta. (Motiva 2022b.)

Hajasäteily: Auringonsäteily, joka tulee muualta kuin suoraan auringosta. Suomessa noin puolet kokonaissäteilyästä on hajasäteilyä. (Motiva 2022b.)

Heijastunut säteily: Jostain pinnasta esim. veden pinnasta tuleva säteily. (Motiva 2022b.)

Kokonaissäteily: Suora säteily + hajasäteily + heijastunut säteily = kokonaissäteily. (Motiva 2022b.)

Mitoitusteho: Järjestelmän enimmäisteho, joka valitaan niin, että teho riittää kattamaan energiatarpeen kaikissa laitteiston eliniän aikana todennäköisissä ääriolosuhteissakin. Tarkemmin aurinkovoimalan mitoituksen voi toteuttaa tuntitason sähkön kulutustietoihin sekä auringon säteilytietoon pohjautuen. (Motiva 2022b.)

Piikkiwatti: Piikkiwatti (lyhenne: W_p) tarkoittaa standardi olosuhteissa tuotettua enimmäistehoa. (Motiva 2022b.)

Ylijäämä sähkö: Sähköntuotannon ollessa suurempi kuin kulutuksen jää ns. ylijäämä sähköä, jota ei voida itse käyttää. (Motiva 2022b.)

Tracking: Järjestelmä mikä seuraa aurinkoa. (Motiva 2022b.)

Vaihtosuuntaaja eli invertteri muuttaa tasavirran vaihtovirraksi ja optimoi paneelien napajännitettä siten, että paneeleista saadaan paras mahdollinen teho. Invertterin avulla aurinkosähköjärjestelmä liitetään valtakunnalliseen sähköverkkoon. (Motiva 2022b.)

PV-GIS: Aurinkosähkölaskenta ohjelma.

PV-SOL: Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ohjelma.

2.2 Auringonsäteily sähköksi

Aurinkosähkö tuotetaan hyödyntämällä auringosta saatavaa säteilyenergiaa. Auringosta tuleva säteily on fotoneita eli hiukkasia, joiden tarkoitus on kuljettaa auringonsäteilyenergiaa. Fotonit luovuttaa energiansa osuessaan aurinkokennoihin ja kennojen sisältämiin elektroneihin. Elektronit muodostavat sähkövirran aurinkokennojen virtajohtimiin, kun on saanut energiansa fotoneilta. (Motiva 2022 c.)

Aurinkokennot, jotka on kytketty sarjaan ja/tai rinnan sekä koteloitu paneelikehyksen avulla siten, että kennon eteen sijoitetaan auringonsäteilyä läpäisevä suojalasi muodostaa aurinkopaneelin. Aurinkopaneeleita on saatavilla monen

kokoisina ja moniin käyttötarkoituksiin. (Motiva 2022c.)

Aurinkokennojen kytkentöjä muuttamalla saadaan halutun suuruinen jännite ja virta. Sarjaan kytkettyjen aurinkokennojen jännitteiden summa on aurinkopaneelin jännite. Rinnan kytkettyjen kennojen yhteenlaskettu virta muodostuu rinnan kytkennän kokonaisvirrasta. Aurinkopaneeleista saatava tasasähkö eroaa sähköverkossa käytettävästä vaihtosähköstä. (Motiva 2022c.)

2.3 Auringonsäteily Suomessa

Auringosta saatava kokonaissäteily perustuu auringosta saatavaan suoraan säteilyyn ja hajasäteilyyn, joka koostuu ilmakehänsäteilystä, pilvienheijastuksesta sekä maasta heijastuvaan säteilyyn.

(Motiva 2022a.)

Kokonaissäteilystä merkittävin osa Suomessa on hajasäteilyä. Suomen etelä osissa hajasäteilyä on puolet vuoden säteilystä. Aurinkopaneelien sähköntuotannon kannalta on samantekevää, onko säteily suoraa vai hajasäteilyä. Suomessa aurinkoa seuraavat tracking järjestelmät ei ole taloudellisesti järkeviä, kun suurin osa on hajasäteilyä. Tracking järjestelmät perustuu suoran säteilyn tehokkaaseen hyödyntämiseen. (Motiva 2022a.)

Aurinkopaneelien sijoittelulla ja kallistuskulmalla on merkittävä vaikutus kokonaissäteilyn määrään. Tähän vaikuttaa lumesta, kiiltävistä kattopinnoista ja vedestä heijastuva säteily. (Motiva 2022a.)

Hetkellinen vaikutus kokonaissäteilyyn voi olla jopa 20 %. Vuositasolla kuitenkin pinnoilta saatava heijastuva säteily on muutamien prosenttien luokkaa. (Motiva 2022a.)

Vuosittainen säteilynmäärä ilmoitetaan kWh/m². Säteilyn määrä saadaan PV-GIS ohjelman avulla. Esimerkiksi 100 kW:n järjestelmällä ohjelma antaa optimaalisissa olosuhteissa vuosituotoksi 86 500 kWh. Optimaalisilla olosuhteilla tarkoitetaan, että paneelin kulma on 45° ja paneelit on suunnattu suoraan etelään.

2.4 Sähköverkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkopaneeleista saatava tasavirta muutetaan invertterin avulla vastaamaan kohteen sekä sähköverkon vaatimaa vaihtovirtaa. Aurinkosähköjärjestelmä, joka liitetään verkkoon, tarvitsee invertterin joka on 1- tai 3- vaiheinen. Vaikka järjestelmä liitetään osaksi sähköverkkoa, ilman lisätoimenpiteitä se ei voi toimia täysin itsenäisenä saarekkeena. Aurinkosähkö ei siis voi taata sähkön saantia, jos verkossa on sähkökatkoksia. Kuvassa 1 näytetty esimerkki miten aurinkosähköjärjestelmä on kytketty sähköverkkoon. (Motiva 2022c.)



Kuva 1. Sähköverkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä. (Motiva 2022).

2.5 Kannattavuus ja kannattavuuteen vaikuttavat seikat

Lähtökohtaisesti auringosta saatava energia on Suomessa taloudellisesti kannattavaa, kun sillä korvataan kalliimpaa ostoenergiaa. Aurinkoenergiajärjestelmän hankinnan kannattavuuden olennaisin seikka on, miten saadaan kohteen kulutus huippu vastaamaan järjestelmästä saatavaa tuottoa. (Finsolar 2016.) Tässä työssä kannattavuutta sekä siihen vaikuttavaa aurinkosähköjärjestelmällä saatavaa tuottoa tutkitaan ja vertaillaan mm. PV-SOL sovellusta käyttämällä. Tuottoa lasketaan myös Excel-ohjelmalla sekä hyödyntämällä PV-GIS sovelluksesta

saatavaa auringon säteilyn määrää. Kannattavuutta tässä työssä tarkastellaan nykyarvomenetelmän diskonttauskaavalla. Tällä kaavalla saadaan kustannusten nykyarvo sekä tuottojen nykyarvo suhteessa investoituun pääomaan. Kannattavuuslaskelmien nettotuottoaikana käytetään 30 vuotta. Investoinnin sisäinen korko sekä takaisinmaksuaika on myös kannattavuuteen oleellisesti vaikuttavia seikkoja. Kannattavuutta laskiessa huomioitavat arvot on Pv-SOL sovelluksesta saatavat arvot, omakäyttöaste, saatavatuotto sekä ylijäämä sähkö mitä ei mene omaan käyttöön. Sekä aurinkosähköjärjestelmän eri teholuokissa, mitä tässä työssä on muutama eri tehoinen järjestelmä. Niistä saatavan tuoton jälkeen ostettava sähkön määrä on ratkaisevia tekijöitä kannattavuuden kannalta.

2.6 Investoinnin jäännösarvo

Investoinnin jäännösarvoa ei tässä tapauksessa huomioida kannattavuuslaskelmissa. Investoinninjäännösarvolla tarkoitetaan myyntituloa, joka saadaan myydessä investointi sen käyttöajan jälkeen. (Tevä-Helminen, V. 2013. 8.)

2.7 Laskentakorkokanta

Laskentakorko asetetaan investointilaskelmiin riippumatta siitä, kuinka investointi rahoitetaan. Laskentakorkokanta on oltava vähintään lainarahoituksella tehtävän investoinnin lainan korko. Tällä hetkellä lainan korko kaupungeilla ja kunnilla on 1,5–2,05 prosenttia. Vaihtelua on tällä hetkellä vaikea ennustaa maailman tilanteen takia. Korkokanta on tarkistettu puhelimitse Osuuspankista 22.4.2022.

Laskentakorko ilmaisee investoinnista odotettavaa tuottoa. Tuotto odotuksiin vaikuttaa onko kyseessä välttämätön investointi vai onko kyseessä laajennus. Yritysten laajennuksessa tuotto odotus voi olla korkeampi, kun kyseessä on isomman riskin investointi. Välttämättömissä investoinneissa tuoton odotus on maltillisempi. (Tevä-Helminen, V. 2013. 8). Aurinkosähköjärjestelmään kohdistuva investointi kaupungin jätevedenpuhdistamolla ei ole välttämätön, eikä investoinnilla haeta kasvua, mutta sillä haetaan vuosittaista säästöä energiakuluissa. Voidaan olettaa, että kohteen investoinnin laskentakorkokanta on maltillinen.

2.8 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan menetelmällä saadaan aika vuosina, jolloin investointi maksaa itsensä takaisin. Pelkällä takaisinmaksuajan menetelmällä ei saada selville investoinnin kannattavuutta. Siksi on syytä käyttää myös jotain toista laskentamenetelmää. Takaisinmaksumenetelmä soveltuu pitkän aikavälin investointeihin, joissa on hankala ennakoida tuottoa. (Tevä-Helminen, 2013, 22.) Aurinkosähköjärjestelmän tuottoa on vaikea ennakoida pitkällä aikavälillä, joten takaisinmaksumenetelmä sopii sen kannattavuuden laskemiseen.

2.9 Sisäinen korko

Tässä työssä sisäistä korkokantaa on laskettu eri tehoisten järjestelmien tuoton perusteella käyttäen Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Sisäisen korkokannan menetelmällä saadaan laskettua, onko investointi kannattava. Kannattavan investoinnista tekee, jos sisäinen korko eli investoinnin tuottoprosentti on suurempi kuin laskentakorko, joka on pääoman tuottotavoite. (Tevä-Helminen, 2013, 19.)

2.10 Omakulutusaste

Omakulutusasteella tarkoitetaan sähkön määrää, joka pystytään hyödyntämään itse aurinkosähköjärjestelmästä saadusta tuotosta. Taulukossa 4 on näytetty

esimerkkinä tässä työssä käytettyjen katolle tulevien aurinkosähköjärjestelmien tehot ja niiden omakulutusaste.

Teho (kW)	80	90	100	110	125
Omakulutusaste, (%)	98,8 %	97,9 %	96,5 %	94,9 %	91,7 %

Taulukko 4. Omakulutusaste katolla sijaitsevilla järjestelmissä.

2.11 Aurinkosähköjärjestelmän tuotto

Aurinkosähköjärjestelmän tuoton kannalta oleelliset seikat on kohteen sijainti, ilmansuunta mihin järjestelmä asennetaan, myös mahdolliset varjostustekijät on syytä ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa.

Huipputeho ilmoitetaan aurinkosähköjärjestelmissä piikkiwatteina(kW_p). Yhden paneelinteho watteina(W). Koko vuoden sähkönkulutus ja tuotto ilmoitetaan kilowattitunteina(kWh). (Lumoenergia.2022.)

2.12 Energiatuki

TEM- eli Työ- ja elinkeinoministeriö myöntää energiataukea yritysten ja yhteisöjen hankkeisiin, joilla edistetään uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä, energian säästöä sekä energijärjestelmän muuttamista vähähiilisemmäksi. Tukea on mahdollista saada vuonna 2022 15 %. Hankkeisiin on kuitenkin tiettyjä ehtoja. Esimerkiksi hankkeen kustannukset tulee olla vähintään 10000 € sekä sähkön- tuotannon ylittäessä 5MW tukea ei myönnetä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2022.)

2.13 Paneelien asennus

Paneelien asennuksessa huomioitavia seikkoja on ilmansuunnat. Suomessa pyritään suuntaaman paneelit etelään mahdollisuuksien mukaan. Kohtuulliset poikkeamat ilmansuunnassa $\pm 15^\circ$ ei vielä hirveästi vaikuta paneeleista saatavaan tuottoon. Aurinkopaneelien asennus voi olla kiinteä tai aurinkoa seuraava

tracking asennus. Kiinnitysjärjestelmiä on kaikille kattotyypeille. Tasakatoilla paneelit voidaan asentaa vapaasti mihin ilmansuuntaan tahansa. Harjakatoilla paneelit asennetaan yleensä lappeen suuntaisesti. Kallistuskulma on parhaimmillaan 35–45 asteen välillä. Yleisenä sääntönä voidaan olettaa, että 15 asteen poikkeama optimikulmasta vähentää vuosituottoa n. 5 prosenttia. Paneelin sijoittelussa on syytä varmistaa jo suunnitteluvaiheessa mahdolliset varjostavat tekijät. Paneelien tausta tulisi jäädä tuulettuvaksi. Tuulettamaton rakenne johtaa paneelien lämpötilan nousuun, mikä aiheuttaa varsinkin parhaan tuotantoajan eli kevään ja kesän aikana kymmenien asteteitten lämmön nousun. Varsinkin kiteisen piin paneelien kohdalla se laskee hyötysuhdetta selvästi. (Motiva 2022d.)

2.14 Aurinkosähkön varastointi

Itse tuotettu sähkö on mahdollista, mutta vielä toistaiseksi melko kallista varastoida. Varastointi akustolla on vain lyhytaikaista, painotettu lähinnä kohtaamaan omaa kulutushuippua vastaavaan ajankohtaan. Akkujärjestelmien lisäksi on mahdollista myös hankkia ns. verkko tai virtuaaliakku. Tämä järjestelmä ei pidä sisällään akustoja, vaan on käytännössä vain sopimustekninen toimenpide. Verkko tai virtuaaliakku sopimuksen periaatteena on, että myyjä saa sähköverkkoon menevästä ylijäämästä saman taloudellisen hyödyn, kuin jos käyttäisi sen itse omassa käytössä. (Aurinkosahkoakotiin.fi.2022a.)

2.15 Aurinkosähköjärjestelmän huolto ja turvallisuus

Aurinkosähköjärjestelmiin, kuten kaikkiin sähköjärjestelmiin, liittyy aina tulipalon riski. Suomessa kuitenkin aurinkosähköjärjestelmistä alkaneet tulipalot ovat harvinaisia. Paloturvallisuus on syytä ottaa huomioon kuitenkin jo suunnitteluvaiheessa. (Motiva 2022e.)

Asiantuntevasti suunniteltu ja asennettu aurinkosähköjärjestelmä on lähtökohtaisesti paloturvallinen. Huolellisesti suunniteltu ja standardit täyttävien laitteiden ja komponenttien käyttö takaa järjestelmän toimivuuden ja varmuuden. Kohteelle tehdään lopuksi asianmukainen käyttöönottotarkastus ja huolehditaan, että omistaja saa kaikki dokumentit sekä käyttöopastuksen. (Motiva 2022e.)

Yksi osa turvallisen toiminnan laadunvarmistusta on laadittu tietokortti ja dokumentointi. Tietokortti on tiivistetty dokumentti järjestelmästä ja sen sijainnista kohteessa. Siitä löytyvät turvallisuustiedot helpottavat esimerkiksi pelastuslaitosta työssään hälytystehtävissä. Tietokortista tulisi toimittaa kopio pelastuslaitokselle. Tietokortti tulisi olla myös sähköpääkeskuksen läheisyydessä saatavilla. Tietokortin saa yleensä toimittajalta. (Motiva 2022e.)

Aurinkosähköjärjestelmäkin vaatii huoltoa ja ylläpitoa. Järjestelmälle kannattaa laatia huolto- ja kunnossapitosuunnitelma. Järjestelmässä on osia ja komponentteja, joita kannattaa tarkastella väliajoin. Samalla voi tarkastella myös katon kuntoa, jos järjestelmä sijaitsee katolla. (Motiva 2022e.)

3 Aurinkosähköjärjestelmä

3.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelin tehtävä on muuttaa auringon säteily sähköksi. Aurinkopaneeli itsessään tuottaa vain tasasähköä. Tasasähkö muutetaan invertterin avulla sähköverkkoon sopivaksi vaihtosähköksi.

Aurinkopaneeli tyyppinä on useita, ne luokitellaan valmistusmateriaalin ja valmistusmenetelmien mukaan. Yksikidepii ja monikidepii paneelit ovat kuitenkin valtavirtaa, koska ne muodostaa järjestelmä mikä on mahdollista kytkeä sähköverkkoon. Ohutkalvopaneelit ovat käytössä lähinnä pienissä kohteissa, kuten kesämökeillä käytettävissä Off-Grid järjestelmissä. (Aurinkovirta. 2022a.)

3.2 Aurinkopaneeleissa käytettävä teknologia

Aurinkokennoissa yleisin materiaali on yksi tai monikidepii. Yksi- ja monikidepii kennot ovat ns. ensimmäisen sukupolven aurinkokennoja. Tällä hetkellä valmistetuista kennoista on 90 % piikidekennoja. Myös ohutkalvokenno on saanut jalansijaa markkinoilla. Ohutkalvoaurinkokennoilla tarkoitetaan toisen sukupolven aurinkokennoja. Niiden valmistus on hieman erilainen kuin piikidekennoilla. Ohutkalvopaneeleilla saadaan hajasäteilyä tehokkaammin kuin kide paneeleilla.

Vuositasolla vaikutus on kuitenkin vähäistä. Ohutkalvopaneelien hyötysuhde on vuositasolla n. 10 % luokkaa, kun taas piikidekennoissa hyötysuhde on n. 16 %. Hyötysuhteeseen vaikuttaa ympäröivä ilman lämpötila. Piikidekennoissa viileä ilma parantaa hyötysuhdetta suhteessa ohutkalvokennoihin enemmän. (Motiva.2022e.)

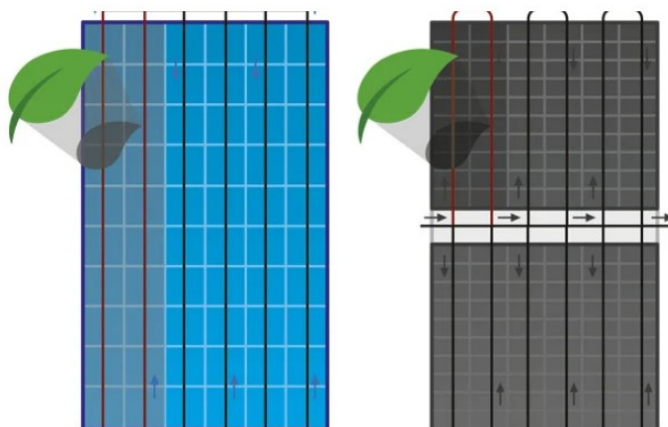
Kolmannen sukupolven aurinkokenno on vielä tutkimusasteella. Kolmannen sukupolven aurinkokennot ovat nimeltään nanokidekennoja. Kutsutaan myös väriaineherkistetyiksi aurinkokennoiksi sekä Grätzel – kennoiksi. Nämä kolmannen

sukupolven aurinkokennot eroavat ensimmäisen ja toisen sukupolven aurinkokennoista muokattavuudeltaan ja toiminta periaatteelta. Joustavat aurinkokennot voidaan painaa vaikka rullattavaan muoviin ja näin ollen voidaan käyttää lukuisissa kohteissa.

3.3 Half-cut teknologia

Yksi uusimmista aurinkosähkö tekniikoista on Half-cut teknologia. Nimi Half-cut tulee siitä, kun paneelin aurinkokennot puolitetaan. Tällä tavoin saadaan tehokkaammin tuottavat kennot, eikä myöskään hukkalämpöä synny niin paljon kuin perinteisessä Full-cell paneelissa. Full-cell paneelissa kennoja on 60 ja 72, kun Half-cut paneelissa niitä on tuplaten (120 ja 144). Tästä syystä kennojen kestävyys on parempi, kun kennot ovat pienempiä. Käyttöikä on myös pidempi, koska kennoihin ei tule helposti mikrohalkeamia. Tämä tekniikka mahdollistaa

tehokkaamman energian tuotannon olosuhteissa missä on mahdollisesti varjostavia tekijöitä. Esimerkiksi puitten lehdet, lumi, lipputanko tai yms. Half-cutin kaksoismoduulirakenteen ansiosta kennoston ylä- ja ala osa on riippumattomia toisistaan. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka yläosaan osuisi varjo, niin alaosa paneelista tuottaa vielä sähköä. Tämä teknologia parantaa aurinkopaneelien hyötysuhdetta. Kuvassa 2 on hyvä esimerkki lumme energian havainnollistama tapaus, kun varjo osuu vanhaan Full-cell paneeliin ja Half-cut paneeliin. (Oomi.fi.2022 half-cut ja lasipaneelit.)



Kuva 2. Full-Cell ja Half-Cut paneelit. (Lumme energia 2022).

3.4 Lasi-lasipaneelit

Lasi/lasi aurinkopaneeleissa on erilainen valmistustapa kuin perinteisessä paneelissa. Lasipaneelissa kenno on sijoitettu kahden lasin väliin, kuten jo nimestä voi päätellä. Perinteisessä paneelissa taas taustana on muovikalvo. Tästä syystä lasi/lasipaneelit ovat kestävämpiä, ja niille voidaan luvata jopa 30 vuoden tuottotakuuaika. Paloturvallisuus on myös parempi kuin perinteisellä monikide tai yksikidepaneelilla. (Half-cut ja lasipaneelit 2022.)

3.5 Aurinkosähköjärjestelmä tyypit

Aurinkosähköjärjestelmät eli aurinkovoimalat voidaan jakaa kahteen eri ryhmään, Off-Grid ja On-Grid. Off-Grid on ns. mökkijärjestelmä, joka toimii yleensä 12/24V:n tasasähköjärjestelmänä omana saarekkeenaan. On-Grid on sähköverkon kanssa rinnan toimiva järjestelmä. On-Grid järjestelmä toimii 230/400V:n sähköverkossa. Vaihtosuuntaaja eli invertteri muuttaa paneelien tuottaman tasasähkön vaihtosähköksi. Invertterin avulla aurinkosähköjärjestelmä kytketään kohteen sähköverkkoon ja sitä kautta jakeluverkkoon. (Tukes.2022.)

3.6 Invertteri

Invertteri, kansan kielellä vaihtosuuntaaja. Invertteri muuttaa paneelien tuottaman tasasähkön (DC) sähköverkossa käytössä olevaan vaihtosähköksi (AC). Aurinkopaneelit kytketään On-Grid järjestelmässä suoraan sähköverkkoon invertterin avulla. Off-Grid järjestelmässä paneelien tuotto ohjattaisiin invertterin avulla akkujärjestelmään. Hyötysuhteeltaan invertterit on yleensä 97,5–98,5 %. Tehot riittävät useisiin satoihin kilowatteihin. (Aurinkovirta.fi. 2022.Invertteri.)

Invertterissä on otettava huomioon, että se riittävän tehokas muuttamaan kaiken tuotetun sähkö käyttökelpoiseksi. Aurinkopaneelien yhteenlaskettu nimellisteho määrittää aina invertterin tehon. Suomessa riittää invertterin tehoksi n.85 % aurinkopaneelien nimellistehosta. Koska Suomessa ei aurinkopaneelit yllä tehontuotossa niiden nimellistehoon asti. Useimmilla inverttereillä on viiden vuoden takuu. Voidaan kyllä olettaa, että laadukkaimmat invertterit kestää huomattavasti pidempään, jopa paneelien käyttöiän. Kannattavuuslaskelmissa otetaan huomioon yksi invertterien/invertterin vaihto takuusta huolimatta. (Lumoenergia.fi. 2022.Aurinkosähköjärjestelman-osat.)

3.7 Suuntauksen vaikutus tuottoon

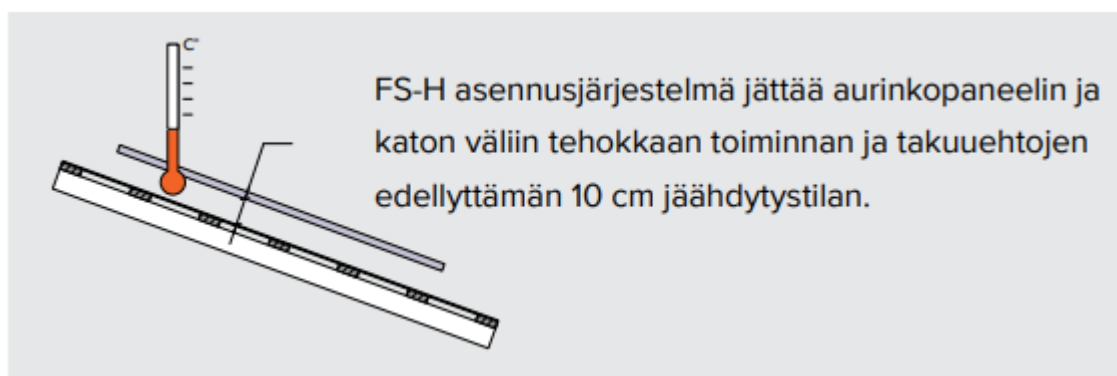
Aurinkopaneeliston suuntauksella on tuoton kannalta varsin huomioon otettava vaikutus. Kuvan 3 esimerkissä esitetty Finnwindin toimesta suuntauksen vaikutusta tuottoon. Kuvassa 3 olevan esimerkin vaikutus tuottoon on esitetty Helsingissä, eikä Outokummussa. Vaikutus on noin 6 % optimaaliseen suuntaan etelään verrattuna jätevedenpuhdistamon katon ollessa lounaaseen päin. Asennus kulman vaikutus tässä esimerkissä jää noin 10 %:a optimaalisesta tuotosta.



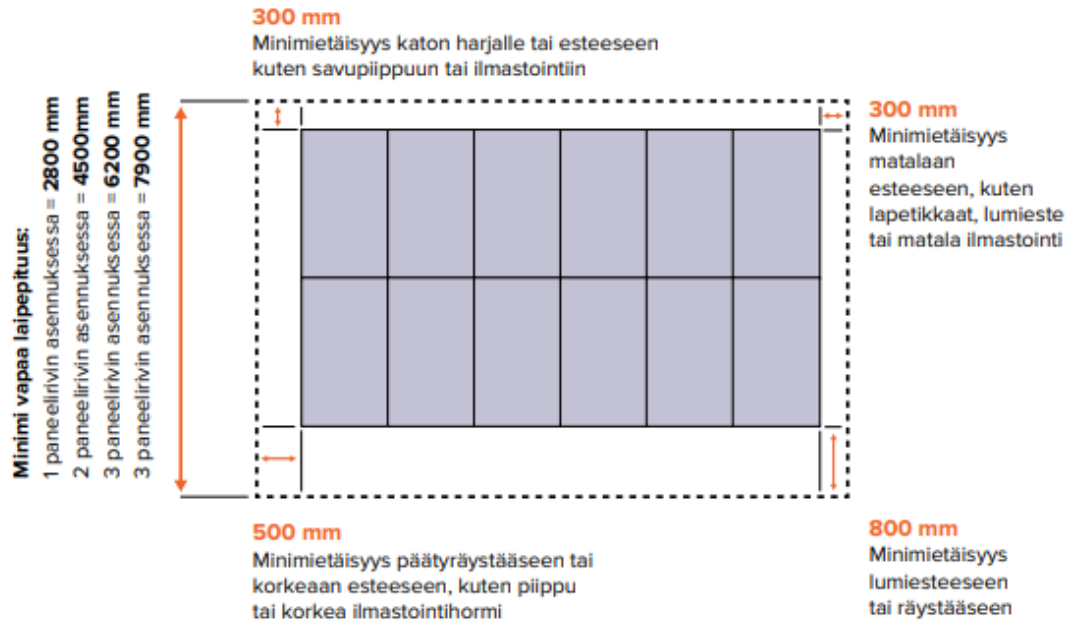
Kuva 3. Suuntauksen vaikutus tuottoon. (Finnwind 2022).

3.8 Aurinkopaneelien kattoasennus

Harjakatolle tuleva aurinkopaneelisto asennetaan katon lappeen suuntaisesti. Harjakatolla asennuskulma on sama kuin katon kulma. Tasakatolla asennuskulmaa voi paremmin optimoida asennustelineitten avulla. Kuvassa 5 on esitetty minimietäisyyksiä mm. katonharjaan ja muihin etäisyyksiin. Minimi etäisyydet on syytä ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa isojen järjestelmien ollessa kyseessä. Aurinkopaneelien asennuksia säätelee Standardi SFS-EN IEC 62938:2020. Tämä standardi on julkaistu 28.07.2020. Tämä standardi on luotu poistamaan asennusvirheitä ja parantamaan aurinkovoimaloiden asennusten turvallisuutta. Aurinkopaneelien jäähdytys on tuoton kannalta varsin oleellinen seikka. Kuvassa 4 on esitetty Finnwindin takuujärjestelmän ja toiminnan edellyttämä minimi jäähdytystila. (Finnwind.2022b.)



Kuva 4. © Finnwind. 8.4.2022. Paneelin minimi jäähdytystila.



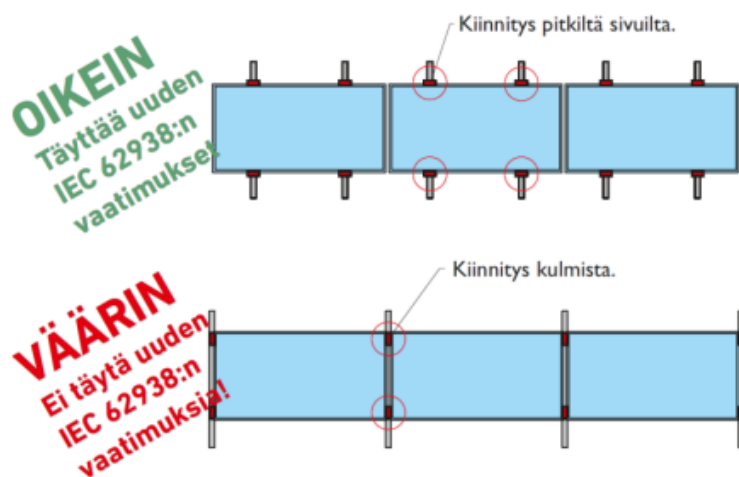
Kuva 5. Minimietäisyydet esteisiin, räystäisiin ja katonharjaan. (Finnwind 2022).



Kuva 6. Esimerkki asennetuista paneeleista huopakatolle. (Kymenlaakson sähkö oy 2022).

Kuvassa 6 on harjakattoisen omakotitalon katolle asennettu aurinkosähköpaneelit. Aluskatteena toimii huopa. Kuvassa ovat kiinnitykset on tehty standardin SFS-EN IEC 62938:2020:n mukaisesti, eli kiinnitykset paneeliin ovat pitkiltä sivuilta.

Huomioitavaa on myös tuuletusväli katon ja paneeleiden välissä sekä etäisyydet räystääisiin ja kuvassa näkyvään savupiippuun. Kuvassa 7 on esitetty vaatimusten mukainen kiinnitystapa aurinkopaneeleille. (Finnwind.2022b.)



Kuva 7. Paneelin kiinnityskohtien malli. (Finnwind.2022).

3.9 Maa-asennus

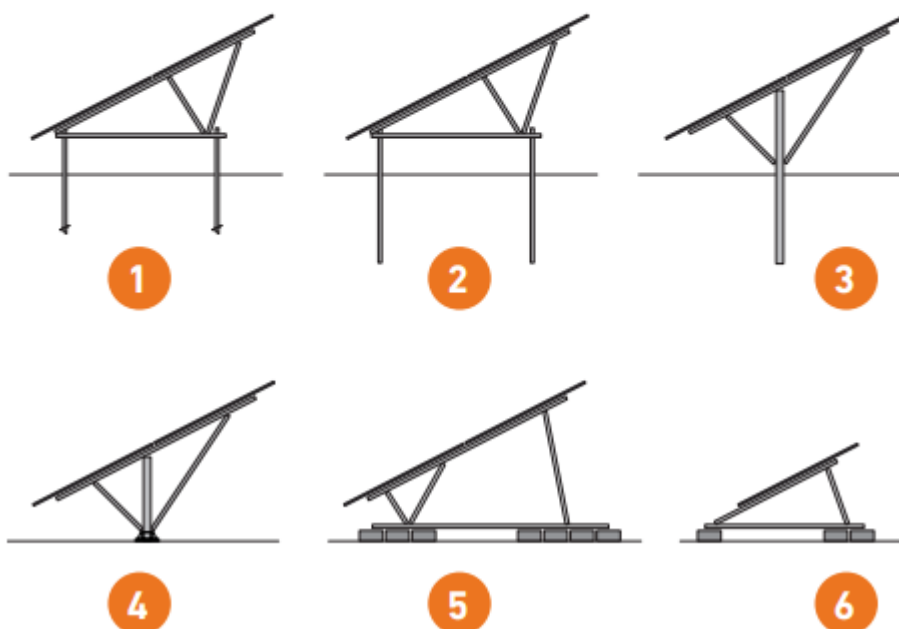
Aurinkosähköjärjestelmän maa-asennus on vaihtoehto kattoasennukselle. Maa-asennusjärjestelmä nostaa investoinnin hintaa n.25–30 %. Tämä arvio on saatu Suomisolar Oy:n Toimitusjohtajalta Jarmo Tiaiselta. Tarkkaa hinta arviota ei pysty tällä hetkellä tekemään, koska materiaalien hinta on täysin arvoitus tämän hetken markkinoilla. Investoinnin kannattavuus laskelmissa käytetään maa-asennusjärjestelmän hinnan korotuksena 25 %.

Maassa oleva järjestelmä saadaan suunnattua optimaaliseen suuntaan ja kulmaan erilaisilla kiinnitys ja asennusjärjestelmillä. Jäähdytys on aurinkopaneeleissa tärkeä seikka tuoton kannalta. Maa-asennuksessa saadaan parempi jäähdytys kuin kattoasennuksessa tuulettavuuden vuoksi. Maalis-huhtikuussa aurinkopaneeleista saadaan merkittävä osa vuoden tuotosta. Monesti vielä maalis-huhtikuussa paneeleita voi varjostaa lumi ja heikentää saatavaa tuottoa. Maa-asennuksessa paneelit on helppo puhdistaa lumesta.

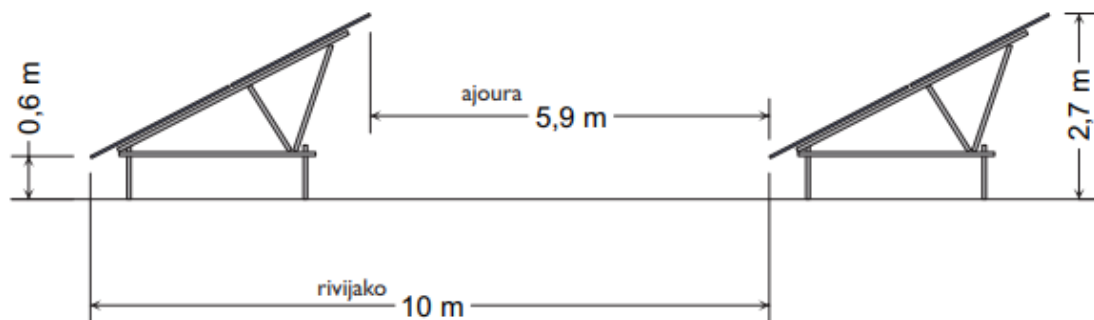
Tässä esimerkissä käytetään Finnwindin toimittamaa maa-asennusjärjestelmää. Kiinnitystapa on aina riippuvainen maaperästä mihin järjestelmä tullaan sijoittamaan. Finnwindillä on muutamia erilaisia järjestelmiä tähän tarkoitukseen. Näistä kiinnitysjärjestelmistä on liitetty tähän työhön kuva 8 Finnwindin järjestelmistä. Kuvassa 9 on maahan asennettavan aurinkosähköjärjestelmän mitoitus, missä huomioidaan riviväli ja ajo/huoltoura. (Finnwind. 2022.d. Aurinkopaneeli maateiline) Kuvassa 10 on maaseuduntulevaisuus lehdestä otettu kuva missä näkyy erittäin hyvin painollinen maa-asennus järjestelmä. Samassa kuvassa on näkyvillä invertterien sijoitus sekä turvakytkimet.

KIINNITYMISTAPA VALITAAN MAAPERÄN MUKAAN

1. Ruuvipaalu - FS-J maa-asennusjärjestelmä
2. Putkipaalu - FS-I maa-asennusjärjestelmä
3. Maapilari - FS-B maa-asennusjärjestelmä
4. Kalliopilari - FS-P maa-asennusjärjestelmä
5. Painollinen asennus - FS-A2 maa-asennusjärjestelmä
6. Painollinen asennus - FS-A1 maa-asennusjärjestelmä



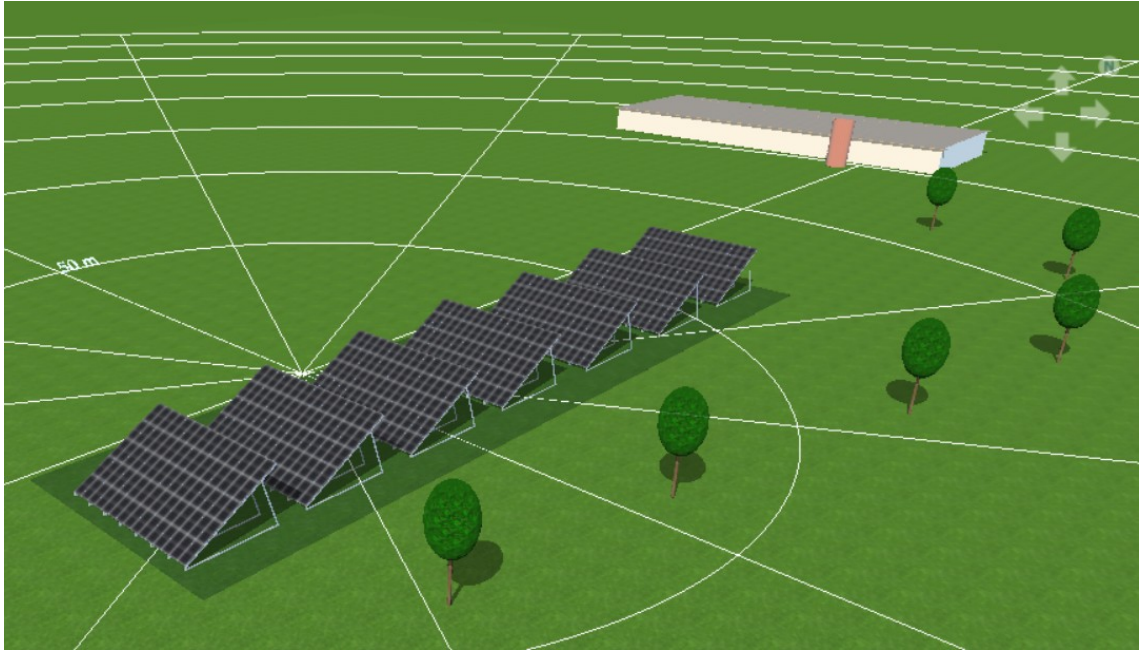
Kuva 8. Maa-asennusjärjestelmän kiinnitystapoja. (Finnwind.2022).



Kuva 9. Maahan asennettavan aurinkopaneelikentän mitoitus. (Finnwid.2022).



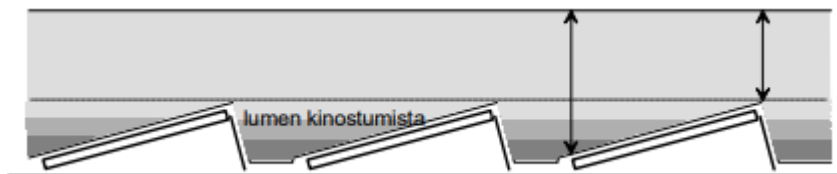
Kuva 10. Invertterien ja turvakytkimien sijoitus maahan asennettavassa järjestelmässä. (Maaseuduntulevaisuus.2022).



Kuva 11. PV-SOL sovelluksella piirretty maahan sijoitettavasta aurinkosähköjärjestelmästä malli, missä ei ole mittasuhteita huomioitu.

3.10 Lumikuorman huomioiminen katto asennuksessa

Lumenkinostuminen on syytä ottaa huomioon asennettaessa aurinkosähköjärjestelmää katolle. Lumenapainosta ja virheellisestä asennuksesta saattaa aiheutua kattorakenteisiin ja aurinkosähköjärjestelmiin vakavia vaurioita. Mistä voi aiheutua merkittäviä taloudellisia tappioita, sekä henkilövahinkoja. Kuvassa 12 on esimerkki lumenpainon vaikutuksesta aurinkopaneeliin kohdistuvasta paineesta sen etureunaan. (Finnwind.2022b.)



Kuva 12. Lumen paino kasvattaa kuormitusta paneelin etureunassa. (Finnwind.2022).

4 Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät

4.1 Menetelmät aurinkosähköjärjestelmän tuoton ja kannattavuuden laskemiseen

Aurinkosähköjärjestelmien hinnat on tässä työssä selvitetty kuuden eri tehoisen järjestelmän hinnan mukaan interpolointi kaavalla Excel - taulukkolaskentaohjelmalla. Hinnat näihin laskuissa huomioitaviin järjestelmiin on eri jälleenmyyjien sivustoilta, koska oikeaa kustannus arviota ei saatu tähän työhön yhdeltäkään jälleenmyyjältä. Hinnat on siis suuntaa antavia, mutta niillä pystytään näyttämään tarpeeksi tarkasti tulevan aurinkosähköjärjestelmän investointikustannus.

Kannattavuuteen aurinkosähköjärjestelmässä vaikuttaa ostettavan sähkön hinta ja määrä. Huomioitavaa on myös ns. ylijäämä sähkön myynti verkkoon. Verkkoon myytävän sähkönhintana käytetään laskelmissa paikalliselta energia yhtiöltä saatua hintaa.

Investoinnin kannattavuutta mitataan, myös sähkön hinnan muutoksilla järjestelmän elinkaarena aikana.

4.2 Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuoton laskennallinen menetelmä

Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuoton selvityksessä käytetään PV-SOL sovellusta ja siitä saatavia tuloksia. Järjestelmän kannattavuuteen tehdyt laskelmat toteutetaan PV-SOL sovelluksesta saaduilla tuloksilla.

Aurinkosähköjärjestelmiä suunniteltaessa on syytä käyttää myös Excel-taulukkolaskenta ohjelmaa, millä saadaan karkeampi tulos aurinkosähköjärjestelmän tehosta ja tuotosta.

Lähtötietoina aurinkosähköjärjestelmien laskemisessa tarvitaan tiedot asennustavasta, mikä on säteily vaakapinnalle. Säteilyn määrä saadaan PV-GIS sovelluksella. Kuvassa 13 on esitetty vuosittainen auringonsäteilyn optimi määrä, joka

on 1072 kWh/m². Tuoton laskentaan tarvitaan myös kennojen huipputehokerroin, kennojen pinta-ala, suuntaus sekä kallistus.

Standardissa SFS EN 15316-4-6 annetun menettelytavan avulla saadaan rakennukseen liitetyn aurinkosähköjärjestelmän sähköenergian kWh/vuosi.

Tämä menetelmä ei koske sähkön siirtoa, varastointia eikä jakelua. Tällä menetelmällä lasketaan ainoastaan rakennuksen läheisyydessä tai rakennuksessa sijaitsevan aurinkosähköjärjestelmän tuottoa. (Aurinkolaskenta opas.2012.)

Liitteessä 1 on esitetty Excel-taulukkolaskentaohjelmalla tehty laskelma kesäkuun 2020 sähkönkulutustietojen perusteella. Liitteessä 1 on tuntikohtainen auringonsäteilyn määrä (w/m²), sekä aurinkosähköntuotto (kWh/h). Liitteessä 1 oleva laskelma on laskettu tuulettuvalle aurinkosähköjärjestelmälle katto asennuksena. Kesäkuun sähkönkulutus on vuonna 2020 ollut n.39000 kWh. 90kW tehoisella aurinkosähköjärjestelmällä tuotto pohjakulutukseen verrattuna kesäkuussa on 49,1 %, kun keskikulutukseen tuottoa verrattaessa luku on 31 %.

Laskenta menetelmässä käytetty kaava

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{sol} \cdot P_{maks} \cdot F_{käyttö}}{I_{ref}}$$

$$E_{s,pv,out} = 1027 \text{ kWh/m}^2 \times 90 \text{ kW} \times 0,8 / 1 \text{ kW / m}^2 = 77172 \text{ kWh / a}$$

Vuotuinen sähköntuotto voidaan laskea aurinko laskentaoppaan taulukoista ko. kaavalla. Vuosittainen auringonsäteilyn(kWh/m²) määrä saadaan PV-GIS soveluksesta.

Jossa:

E_{sol} on vuosittainen säteilyenergia, joka kohdistuu aurinkosähkökennoihin [kWh/m², a].

P_{maks} aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa ($I_{ref}=1 \text{ kW/m}^2$, referenssilämpötilassa 25°C) [kW].

$F_{käyttö}$ käyttötilanteen toimivuuskerroin [-].

I *ref* referenssisäteilytilanne [1 kW/m²].
(Aurinkolaskenta opas.2012).

Laskenta kaava kennostoon kohdistuvasta auringonsäteilyn energia vuoden aikana.

$$E_{sol} = E_{sol,hor} \cdot F_{asento}$$

Jossa:

$E_{sol,hor}$ on rakennuksen sijaintipaikasta riippuva vaakatasolle osuvan auringonsäteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa [kWh/m², a].

F_{asento} aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin [-]. (Aurinkolaskenta opas.2012).

$$F_{asento} = F_1 \times F_2$$

Jossa:

F_1 on ilmansuunnan mukainen kerroin.

F_2 on kallistuksen mukainen kerroin.

Suuntaus	F_1
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

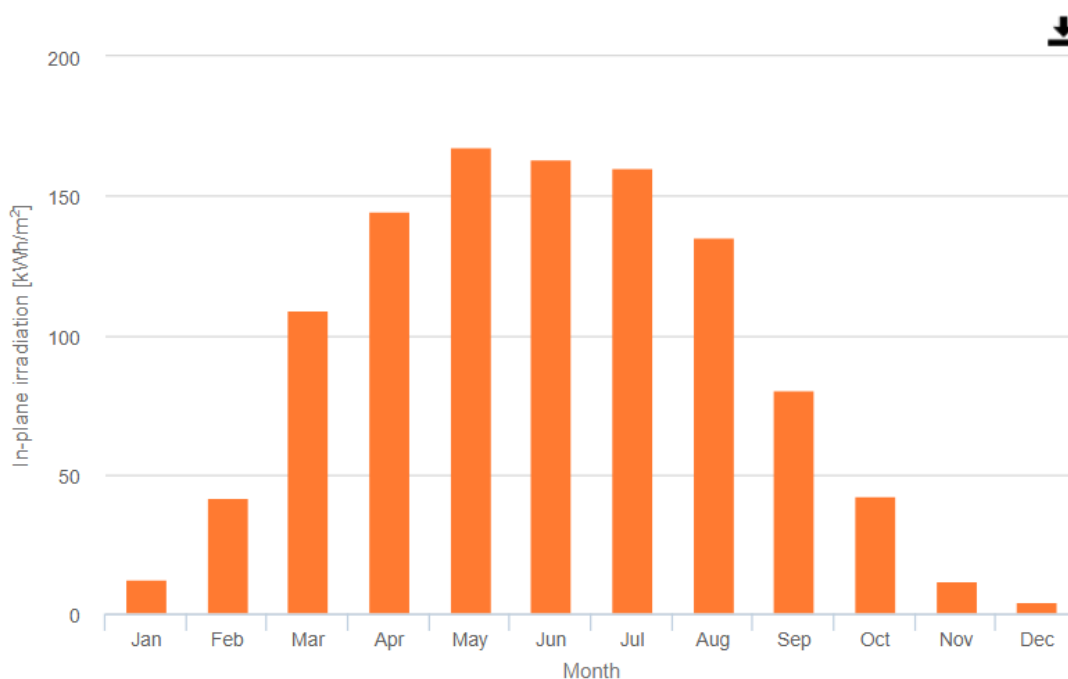
Taulukko 1 © Aurinkolaskenta opas.2012. F_1 on ilmansuunnan kerroin (-)

Kallistus- Kulma	Kerroin
<30°	1
30°...70°	1,2
>70°	1

Taulukko 2 © Aurinkolaskenta opas.2012. F_2 on kallistuskulmakerroin (-)

Aurinkokennon asennustapa	Käyttötilanteen toimivuuskerroin F käyttö[-]
Tuulettumaton moduli	0,70
Hieman tuulettuva moduli	0,75
Voimakkaasti tuulettuva tai koneellisesti tuulettu moduli	0,80

Taulukko 3 © Aurinkolaskenta opas.2012. Käyttötilanteen toimivuuskerroin F käyttö [-]



Kuva13. Vuosittainen auringonsäteilyn optimi määrä. (© PV-GIS.20.4.2022)

4.3 Työssä käytetty aurinkopaneeli ja invertteri

Työhön valikoitui Canadian Solar Inc. Valmistama CS3W-425MS paneeli. Paneelin ilmoitettu teho valmistajalta on 425W. Paneeli valikoitui sen hyvän hyötysuhteen ja lämmönsietokyvyn perusteella. Valmistaja lupaa myös hyvän lumikuorman kestävyys. Paneelien määrä laskelmissa käytetyn pienimmän järjestelmän 80kW järjestelmässä on 190 kpl. Pinta-alaa paneelit vaativat n. 420 m². Isoin

järjestelmä mitä laskemissa on käytetty 125 kW, jossa paneeleiden määrä on 296 kpl. Pinta-alaa ko. järjestelmä vaatii jo n. 654 m².

Invertterinä on käytetty Fronius International valmistavaa FRONIUS Syno 20.0-3M. 80 KW järjestelmässä käytetään neljää invertteriä. Invertterin teho suomessa riittää 85 % järjestelmän tehosta.

5 Kohteen tiedot

5.1 Sijainti

Jätevedenpuhdistamo sijaitsee Outokummussa (kuva 14), lähellä Sysmäjärveä. Kuvassa 15 on havaittavissa ilmansuunnat, mihin kiinteistö sijoittuu. Ilmansuunnat on suunniteltaessa aurinkosähköjärjestelmää otettava hyvin huomioon. Ilmakuva (kuva 16) näkyy jätevedenpuhdistamon katto sekä mahdolliset varjostustekijät. Kuvassa 17 jätevedenpuhdistamon eteläpuolella näkyy kaksi käytöstä poistettua allasta, joihin mahdollinen maahan asennettava aurinkopaneelisto sijoittuu. Kuvassa 17 näkyy jätevedenpuhdistamo etelän suunnalta kuvattuna.



Kuva 14. Jätevedenpuhdistamon sijainti. (© Karttapaikka 2022).



Kuva 15. Jätevedenpuhdistamon ilmansuunta. (© Karttapaikka.2022).



Kuva 16. Katto asennuksen varjostavia tekijöitä.



Kuva 17. Maa-asennusjärjestelmän sijainnin mahdollinen paikka.

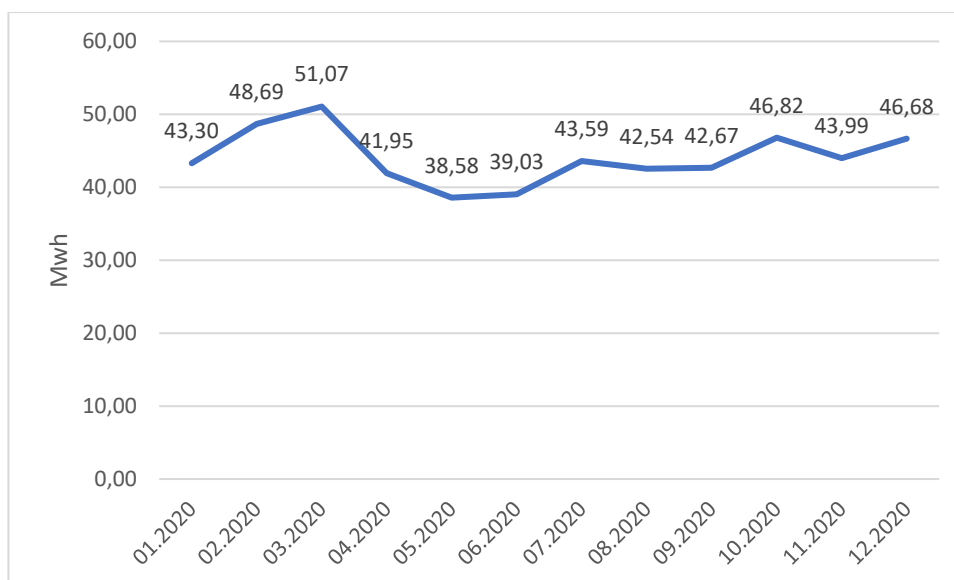
5.2 Tietoja kiinteistöstä

Kiinteistö on ilmansuunnassa kaakko – luode. Katolle asennettuna paneelin tuotosta häviää luoteeseen suunnattuna jonkin verran optimaalisesta tehosta. Katon kaltevuus on melko loiva n. 12° . Mikä osaltaan pienentää tuottoa katolle asennettavasta aurinkosähköjärjestelmästä. Katon pinta – ala on n. 1600 m^2 . Katolle asennettava aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa on otettava myös järjestelmän vaatima pinta-ala huomioon. Kohteen merkittävimmät varjotekijät ovat hieman katon yli nousevat siilot. Nämä varjostukset otetaan huomioon PV-SOL ohjelmalla. Kiinteistön osalta paneelien asennusta ei vaikeuta katon kunto, kun se on uusittu kesällä 2021. Mikä on tässä investoinnissa hyvä puoli ottaen huomioon, kun paneelien käyttöikä on n. 25–30 vuotta. Katon kate materiaali on huopa.

5.3 Jätevedenpuhdistamon sähkökulutustiedot

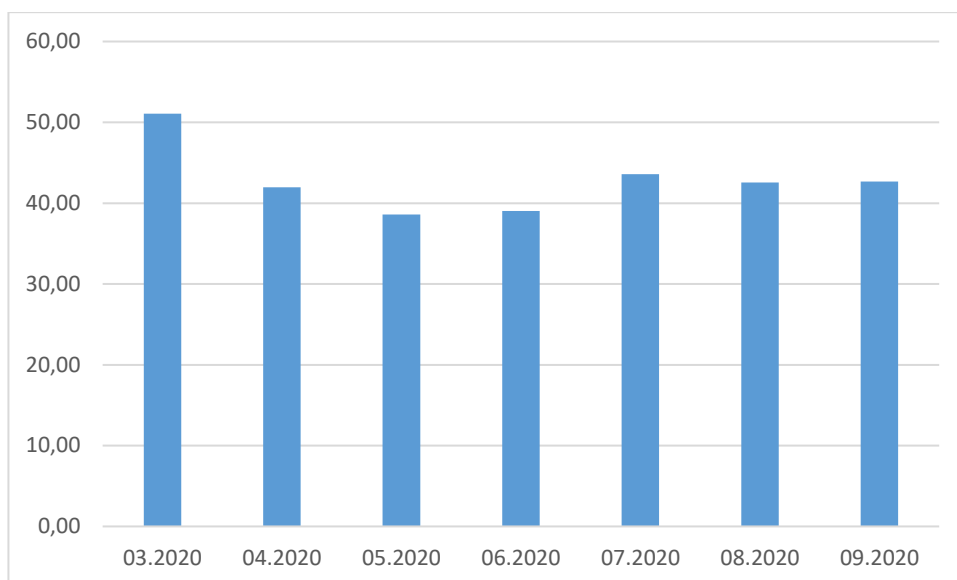
Kuviossa 1 on esitetty vuoden 2020 sähkökulutus. Kulutus tiedot osoittavat, että sähkökulutus on ollut tasainen koko vuoden ajan. Vuosikulutus jätevedenpuhdistamolla on n. 500 000 kWh. Suurin osa kulutuksesta menee jäteveden ilmastusprosessiin.

Pelkästään vuosikulutuksen mukaan ei voi laskea aurinkosähköjärjestelmän kokoa. Järjestelmän kokoa laskettaessa on hyvä tietää kohteen tuntikohtainen kulutus. Jonka saa omalta sähkötoimittajalta pyydettäessä. Tässä työssä sähkökulutustiedot on saatu Outokummun kaupungilta Jarkko Karvoselta.



Kuvio 1. Sähkön vuosikulutus.

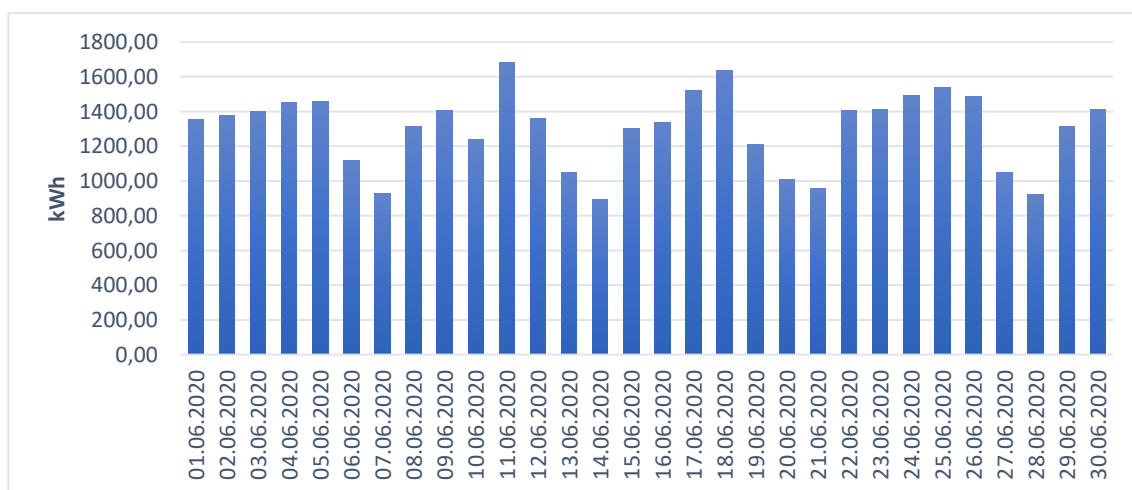
Kuviossa 2 on esitetty sähkökulutus maalisi- syyskuun ajalta. Auringonsäteilyä saatava hyöty on mainittuina kuukausina hyötysuhteeltaan parhaiten hyödynnettävissä. Lokakuusta helmikuuhun saatava auringonsäteilyn määrä ei ole enää kovin merkittävää.



Kuvio 2. Sähkönkulutus maalisi- syyskuu.

5.4 Päiväkohtainen profiili

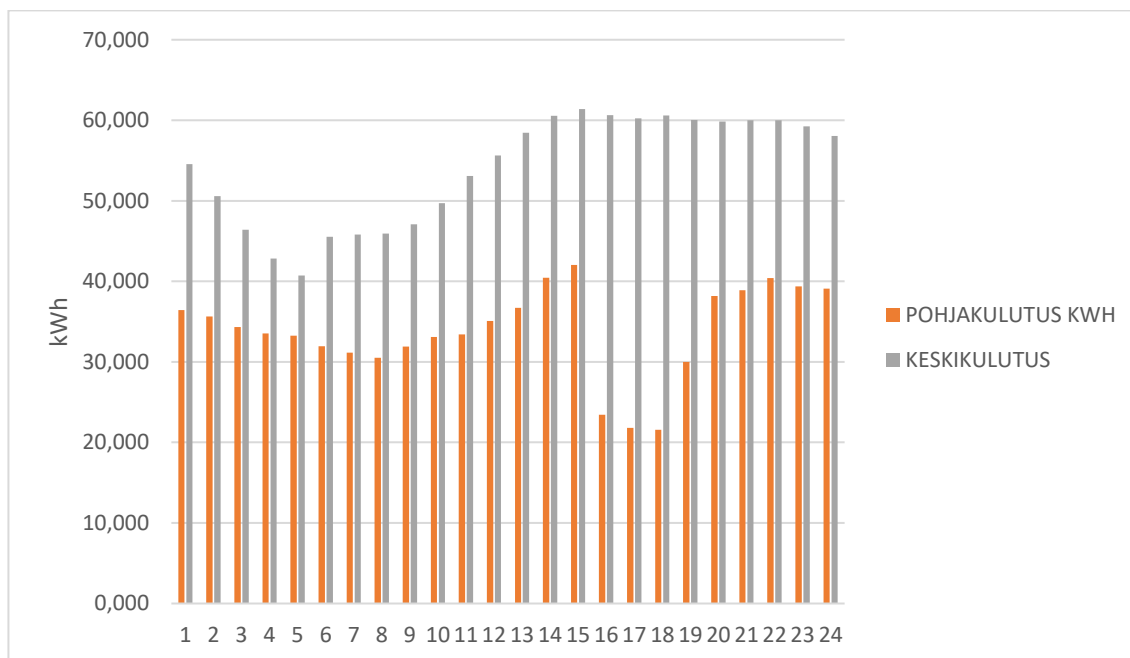
Kuviossa 3 on esitetty kesäkuun 2020 päiväkohtainen sähkönkulutus. Kaaviossa näkyy erinomaisesti jätevedenpuhdistamon kuormitus myös viikkokohtaisesti. Kuviossa on huomattavissa viikonloppujen kohdalla selvä kuormituksen lasku.



Kuvio 3. Kesäkuun 2020 päiväkohtainen kulutus.

5.5 Tuntikohtainen kulutus

Kuviossa 4 on esitetty tuntikohtainen pohjakulutus sekä keskimuututus vuonna 2020 kesäkuussa.



Kuvio 4. Kesäkuun 2020 tuntikohtainen pohjakulutus ja keskimuututus.

6 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus ja tuotto

6.1 Kannattavuuden ja tuoton määrittely

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden määrittää hankittavan aurinkosähköjärjestelmän tarvittava teho sekä asennustapa. Teholuokka vaikuttaa olennaisesti aurinkosähköjärjestelmän investointikustannuksiin. Aurinkosähköjärjestelmän haluttuun tehoon vaikuttaa sähkönkulutus kohteessa. Tässä kohteessa toimitaan ns. On-Grid- järjestelmällä eli sähköverkon kanssa rinnan, jolloin kannattavuuden kannalta aurinkosähköjärjestelmää ei kannata ylivoimaisesti, koska verkkoon

myytävästä ylijäämä sähköstä saatava korvaus on melko pieni. Sähköverkkoon myytävän sähkön määrä saadaan omakulutusasteen perusteella.

Asennustapa katolle tai maahan on myös kustannuskysymys. Maa-asennus tässä kohteessa nostaa kustannuksia melko paljon, maansiirtotöistä ja maahan sijoitettavien aurinkopaneelien telineistä johtuen, mitkä huomioidaan laskelmissa myös ilman maansiirtotöitä. Maa-asennuksesta saatava tuotto on parempi kuin katolle sijoitettavassa aurinkosähköjärjestelmässä. Maassa oleva aurinkosähköjärjestelmä saadaan optimiasentoon ja suuntaan sekä sen tuulettavuus on parempi kuin katolla.

Tässä kohteessa aurinkosähköjärjestelmästä saatavaa tuottoa vertaillaan muutamien eritehoisten järjestelmien avulla. Aurinkosähköjärjestelmien tehot ovat 80 kWp, 90 kWp, 100 kWp, 110 kWp sekä 125 kWp. Kannattavuutta tarkastellaan tässä työssä aurinkosähköjärjestelmästä saatavan tuoton, laskentakorkokannan, takaisinmaksuajan ja sisäisen koron menetelmillä.

6.2 Kannattavuuden laskeminen

Aurinkosähköjärjestelmän investoinnin kannattavuutta työssä arvioidaan eri menetelmillä. Monet jälleenmyyjät antavat paneeleille 25 vuoden tuottotakuun.

Laskelmissa aurinkopaneeleille lasketaan 0,5 % vuosittainen tuotantotehonlasku. Tässä työssä käytetään 30 vuoden ajanjaksoa koko aurinkosähköjärjestelmälle. Inverttereillä takuu ajat ovat 5–7 vuotta. Inverttereiden takuusta, määrästä, tehosta ja merkistä riippumatta laskelmissa huomioidaan yksi invertterien vaihto aurinkosähköjärjestelmän elinkaaren aikana. Ostettavan sähkön hinnalle on laskettu vuosittain järjestelmän käyttöänsä ajalle 2 % korotus. Verkkoon myytävän ylijäämä sähkön hinnalle on myös huomioitu 2 % vuosittainen korotus.

7 Aurinkosähkön tuotto Outokummun jätevedenpuhdistamolla

7.1 Katolle sijoitettavan aurinkosähköjärjestelmän tuotto vuositasolla

Laskelmat on tehty jätevedenpuhdistamon 2020 vuosikulutukseen (528977 kWh) perustuen. Katolla sijaitsevan järjestelmän tehoon vaikuttaa olennaisesti katon kulma ja suunta mihin aurinkosähköjärjestelmä katolle asennetaan. Tuulettavuus on myös huomioitu lähtötiedoissa, jotka on PV-SOL sovellukseen laitettu.

Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty ensimmäisen vuoden tuotto aurinkosähköjärjestelmistä, jotka on sijoitettu katolle. Koko aurinkosähköjärjestelmien elinkaari laskennassa on otettu huomioon 0,5 % paneelien vuosittainen tuotantotehon lasku. Taulukossa 5 esitetty tuotto kWh/kWp on saatu PV-SOL sovelluksesta. Taulukossa esitetty tuotto kWh/kWp tarkoittaa paljonko yksi kilowattipiikistä saadaan energiaa, eli kilowattituntia vuodessa. Kaikissa eri tehoissa järjestelmissä suorituskyky suhde oli 90–92 %. Kertomalla tuotto(kWh/kWp) ja järjestelmän teho saadaan järjestelmän vuosituotto. Taulukossa 6 katolle asennettavien aurinkosähköjärjestelmien vuosi tuotto (kWh/a) on saatu PV-SOL ohjelmasta.

Katto asennus	80kW	90kW	100kW	110kW	125kW
Tuotto kWh/kWp	855,71	858,44	861,92	858,15	861,72

Taulukko 5. Sähköntuotto kattoasennusjärjestelmistä kWh/kW_p.

Järjestelmä, teho	80 kW	90 kW	100 kW	110 kW	125 kW
Saatava tuotto kWh/a	69160	77406	86510	94901	108479

Taulukko 6. Saatava sähköntuotto kattoasennusjärjestelmistä kWh/a.

7.2 Maahan sijoitettavan järjestelmän tuotto vuositasolla

Maahan sijoitettavan aurinkosähköjärjestelmän paneelien sähkön tuotto on parempi kuin katolla. Johtuen siitä, että paneelit saadaan optimi kulmaan ja suuntaus voidaan tehdä suoraan etelään sekä tuulettavuus on parempi.

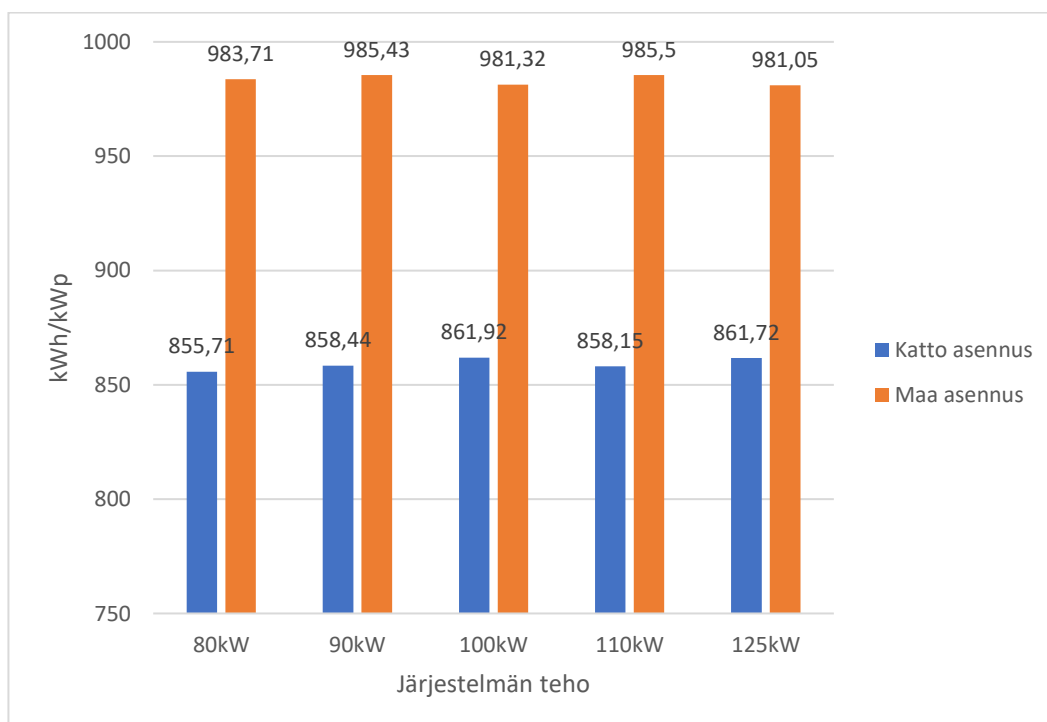
Maahan sijoitettavien aurinkopaneeleiden tuotto kWh / kWp on esitetty taulukossa 7. Taulukossa 8 on maahan sijoitetun aurinkosähköjärjestelmästä saatava vuosituotto eri tehoisilla järjestelmillä. Taulukoissa 7 ja 8 on ensimmäisen vuoden tuotto. Kuviossa 5 on havainnollistettu tuottojen kWh/kWp erotus pylväsdiagrammilla. Kuviossa 6 nähdään pylväsdiagrammilla eroteltu sähkön tuotto (kWh) maassa ja katolla sijaitsevilla eri tehoisilla järjestelmillä.

Maa asennus	80kW	90kW	100kW	110kW	125kW
Tuotto kWh/kWp	983,71	985,43	981,32	985,5	981,05

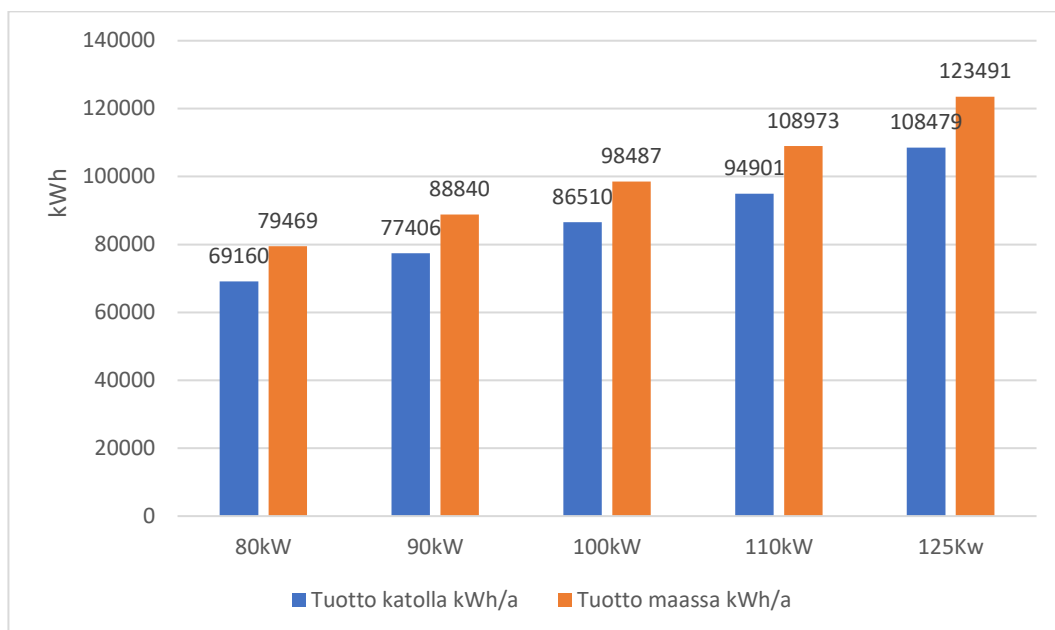
Taulukko 7. Sähköntuotto maa-asennusjärjestelmistä kWh/kW_p

Järjestelmä, teho	80kW	90kW	100kW	110kW	125Kw
Saatava tuotto kWh/a	79469	88840	98487	108973	123491

Taulukko 8. Saatava sähköntuotto maa-asennusjärjestelmistä kWh/a.



Kuvio 5. Sähköntuotto kWh/kW_p



Kuvio 6. Sähköntuotto eri tehoisilla järjestelmillä, sekä asennustavoilla.

7.3 Katto ja maa-asennuksen sähköntuoton erotus vuositasolla

Taulukossa 9 on näytetty katto- ja maa-asennuksen sähköntuoton ero. Taulukossa 9 on eritelty aurinkosähköjärjestelmien tehot ja erotus kilowattitunteina sekä prosentuaalinen nettoerotus paljonko sähköä saa maa-asennuksesta enemmän vuositasolla.

Järjestelmä, teho	80 kW	90 kW	100 kW	110 kW	125 kW
Erotus (kWh)	10309	11434	11977	14072	15012
Erotus (%)	12,97 %	12,87 %	12,16 %	12,91 %	12,16 %

Taulukko 9. Sähköntuoton erotus katto ja maa-asennusjärjestelmien välillä.

7.4 Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotto koko elinkaarenajalta

Saatavan sähkönmäärä koko elinkaaren ajalta aurinkosähköjärjestelmästä on esitetty taulukoissa 10 ja 11. Laskelmissa on huomioitu 0,5 % paneelien tehontuoton vuosittainen lasku.

Katto asennus					
Teho (kW)	80 kW	90 kW	100 kW	110 kW	125 kW
Sähkön tuotto (MWh),30 v	1924	2154	2407	2641	3018

Taulukko 10. Saatava sähkö kattoasennusjärjestelmistä koko elinkaarenajalta MWh.

Maa-asennus					
Teho (kW)	80 kW	90 kW	100 kW	110 kW	125 kW
Sähkön tuotto (MWh), 30 v	2211	2472	2740	3032	3436

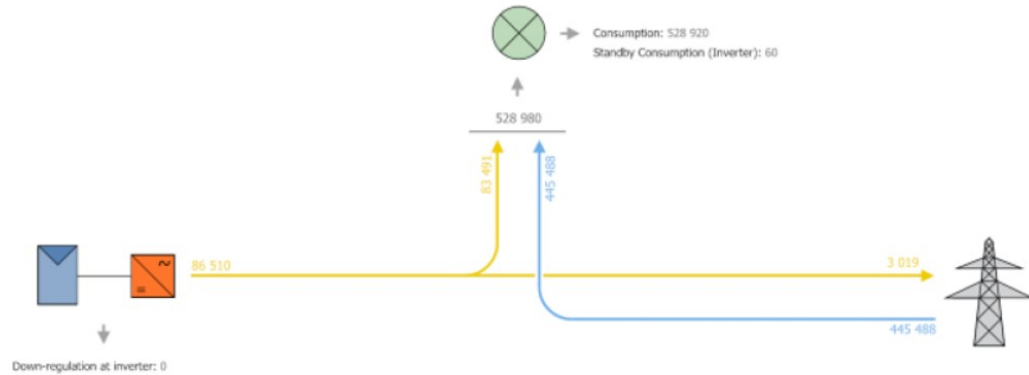
Taulukko 11. Saatava sähkö maa-asennusjärjestelmistä koko elinkaarenajalta MWh.

7.5 Aurinkosähköjärjestelmästä saatavan sähköntuoton jälkeen sähköverkosta ostettava sähkö

Kuvassa 19 on PV-SOL- sovelluksella tehty malli, josta nähdään 100 kW:n järjestelmän tuotto keltaisella viivalla piirrettynä sekä verkkoon myytävän sähkön osuus. Sinisellä viivalla on havainnollistettu verkosta ostettava sähkönmäärä aurinkosähköjärjestelmästä saatavan tuoton lisäksi.

Energy Flow Graph

Project: Jätevedenpuhdistamo



Kuva 19. Verkosta ostettavan sähkönmäärä 100 kW:n aurinkosähköjärjestelmästä saadun sähköntuoton jälkeen. (PV-SOL 2022).

Taulukossa 12 on esitetty katolla sijaitsevan eri teholuokan aurinkosähköjärjestelmistä tuotetun sähkön jälkeen ostettava sähkön määrä investoinnin ensimmäisenä vuotena. Aurinkosähköjärjestelmästä saatava hyöty on ilmoitettu taulukossa prosentteina. Hyöty saadaan vertailemalla saatua tuottoa 2020 kulutettuun energian määrään. 2020 sähkönkulutus on ollut 528977 kWh.

Taulukossa 13 on kuvattu sama asia, mutta maahan sijoitettavan järjestelmän tiedoilla.

Järjestelmä, teho	80 kW	90 kW	100 kW	110 kW	125 kW
kWh/a	460656	453215	445486	438949	429543
Saatava hyöty (%)	12,9 %	14,3 %	15,8 %	17,0 %	18,8 %

Taulukko 12. Verkosta ostettava sähkönmäärä eri tehoisilla aurinkosähköjärjestelmillä katolla sijaitsevalla aurinkosähköjärjestelmällä.

Järjestelmä, teho	80 kW	90 kW	100 kW	110 kW	125 kW
kWh/a	452184	444918	437873	432115	423868
Saatava hyöty (%)	14,5 %	15,9 %	17,2 %	18,3 %	19,9 %

Taulukko 13. Verkosta ostettava sähkönmäärä eri tehoisilla aurinkosähköjärjestelmillä maahan asennettuna.

8 Kannattavuus

8.1 Investointikustannus

Opinnäytetyön olennainen osa on vertailla eri teholuokkien kannattavuutta aurinkosähköntuottamiseen. Samalla vertailla investoinnin kannattavuutta ostettavan sähkön hinnan muutoksilla. Huomioiden tuoton muutokset katolla sijaitsevan aurinkosähköjärjestelmän ja maassa sijaitsevan järjestelmän välillä.

Aurinkosähköjärjestelmän investointi kustannukset taulukossa 14 on laskettu €/tuotettu kWh / järjestelmän teho. Tämä laskelma koskee vain ensimmäistä vuotta, koska aurinkosähköjärjestelmän paneeleille lasketaan vuosittain 0.5 % tehon aleneminen. Huomioiden myös, onko järjestelmä asennettu maahan tai katolle.

Investointi kustannus					
Teho	80 kW	90 kW	100 kW	110 kW	125 kW
Kattojärjestelmä €/kWh	0,712	0,714	0,708	0,709	0,704
Maajärjestelmä €/kWh	0,801	0,777	0,778	0,799	0,80
Maajärjestelmä + maansiirtotyöt €/kWh	1,74	1,62	1,54	1,48	1,40

Taulukko 14. Investointikustannus €/kWh

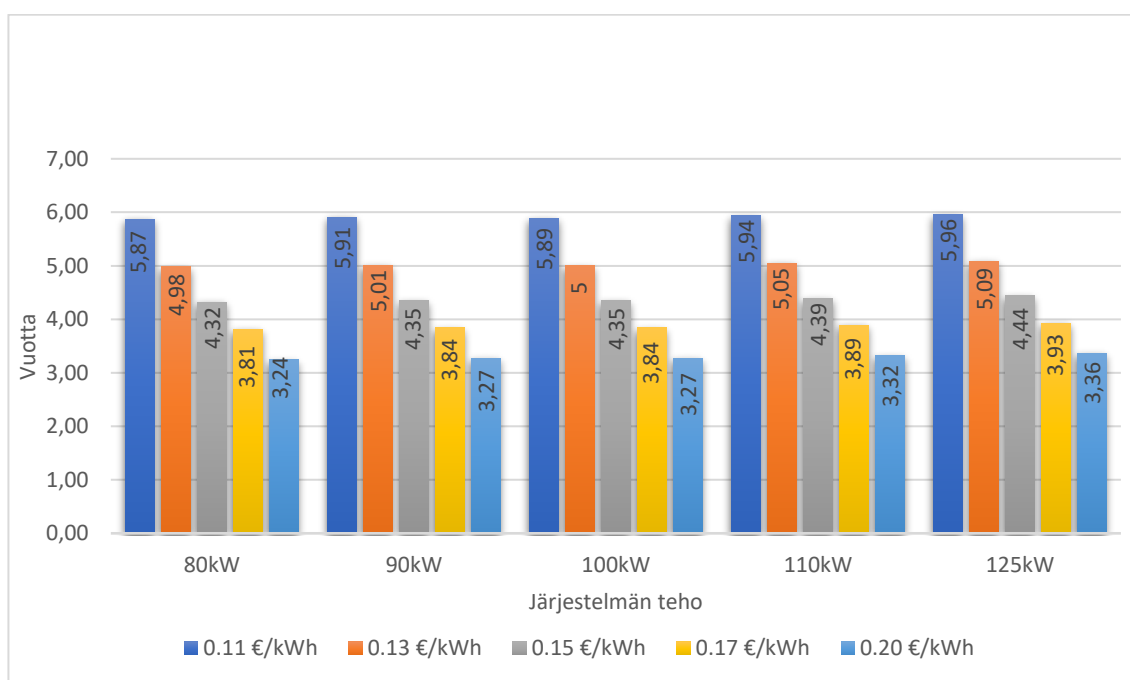
8.2 Verkosta ostettavan sähkön hinnan vaikutus

Jätevedenpuhdistamon ostosähkö on sidottu pörssi hintaan. Näin ollen vaihtelua sähköverkosta ostettavan sähkön ostohinnassa tulee esiintymään. Ero voi olla

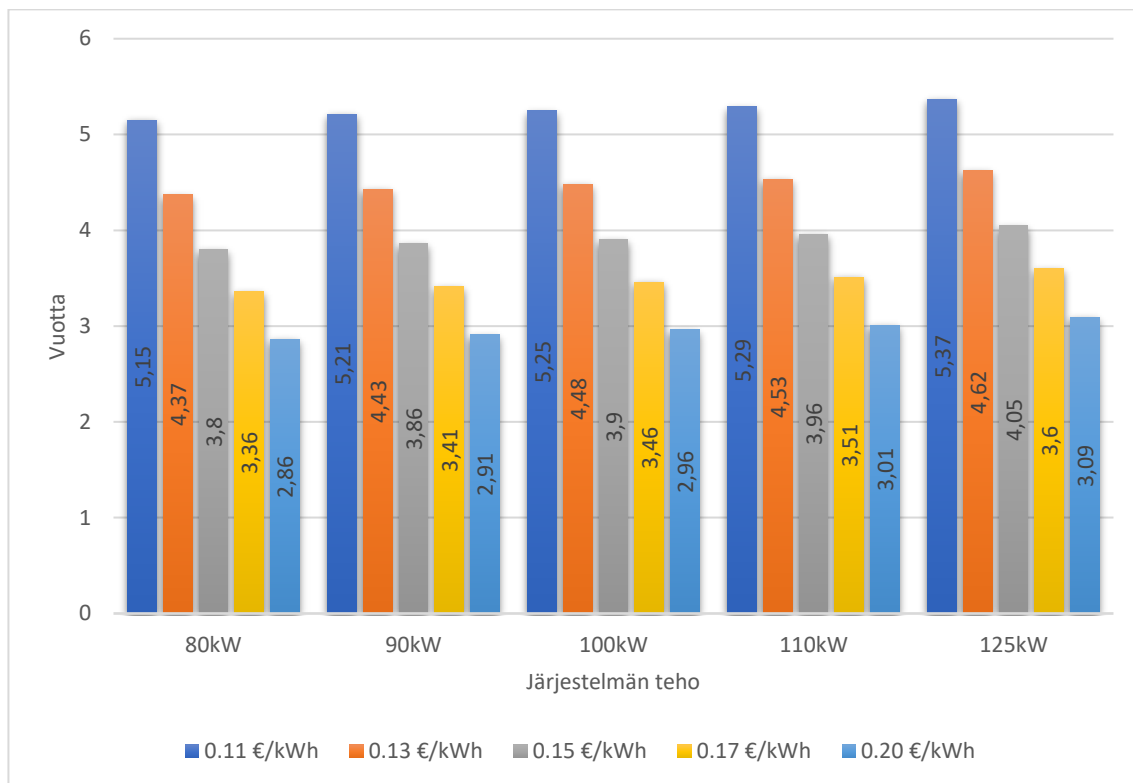
merkittävä pienilläkin sähkön hinnan vaihteluilla. Työssä tarkastellaan eri vaihtoehtoja sähköhinnan muutoksien vaikutusta takaisinmaksuaikaan, sisäiseen

korkoon ja aurinkosähköjärjestelmästä saatavaan tuottoon elinkaaren ajalla. Laskelmissa on eritelty katolle ja maahan asennettavat aurinkosähköjärjestelmät. Laskentakorkokanta (5 %) pysyy laskelmissa samana. Verkkoon myytävän sähkön hinta (0,07 €/kWh) on laskelmissa myös sama koko aurinkosähköjärjestelmän elinkaaren ajan. Verkkoon myytävän sähkön hinta vaihtelee myös, mutta sen osuudella ei ole lopputuloksen kannalta merkittävää vaikutusta.

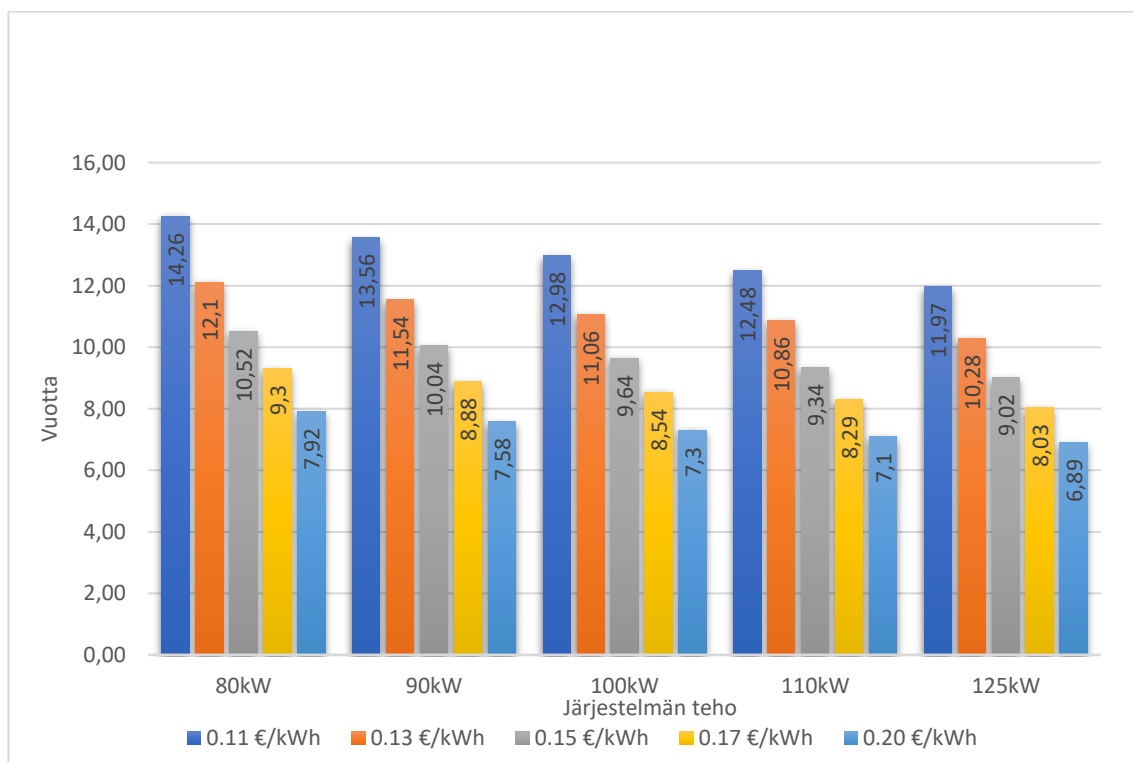
Kuvioissa 7–15 on eritelty sähköhinnan muutoksista tulevat erot. Kuvioissa olevien tulosten perusteella voidaan olettaa, että ostettavan sähköhinnan noustessa saadaan investoinnille parempi tuotto. Kuvioissa 7–9 vertailtu takaisinmaksuaikaa eri tehoisten järjestelmien, eri ostosähköhinnoilla sekä eri asennusmahdollisuuksilla.



Kuvio 7. Takaisinmaksuaika katolle asennettuna.

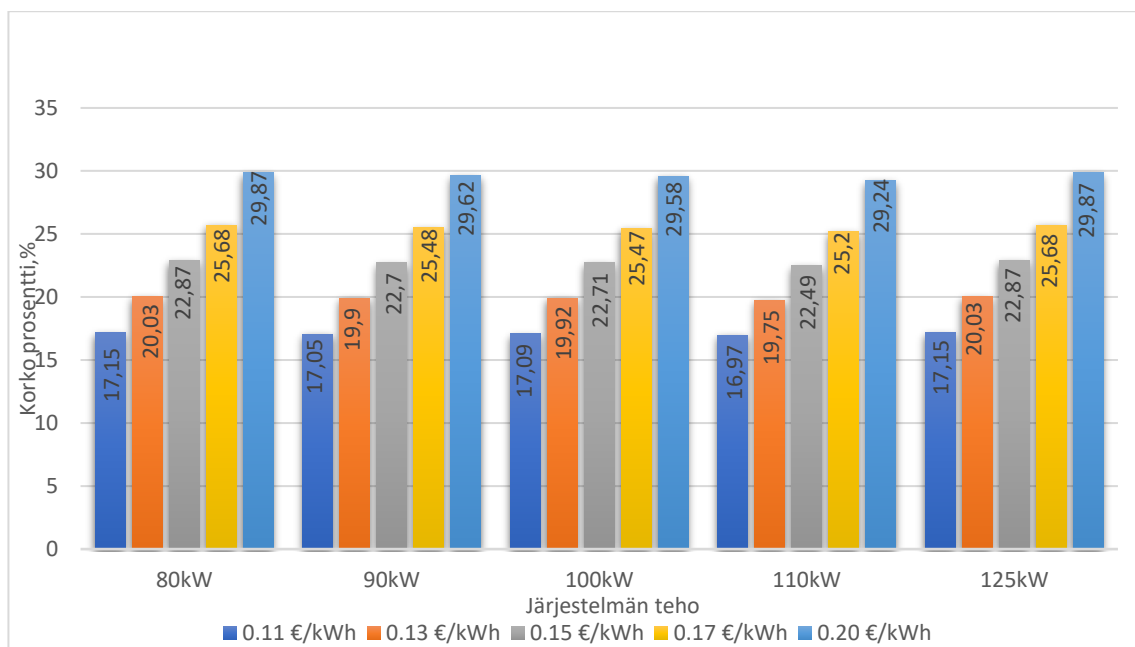


Kuvio 8. Takaisinmaksuaika maahan asennettuna.

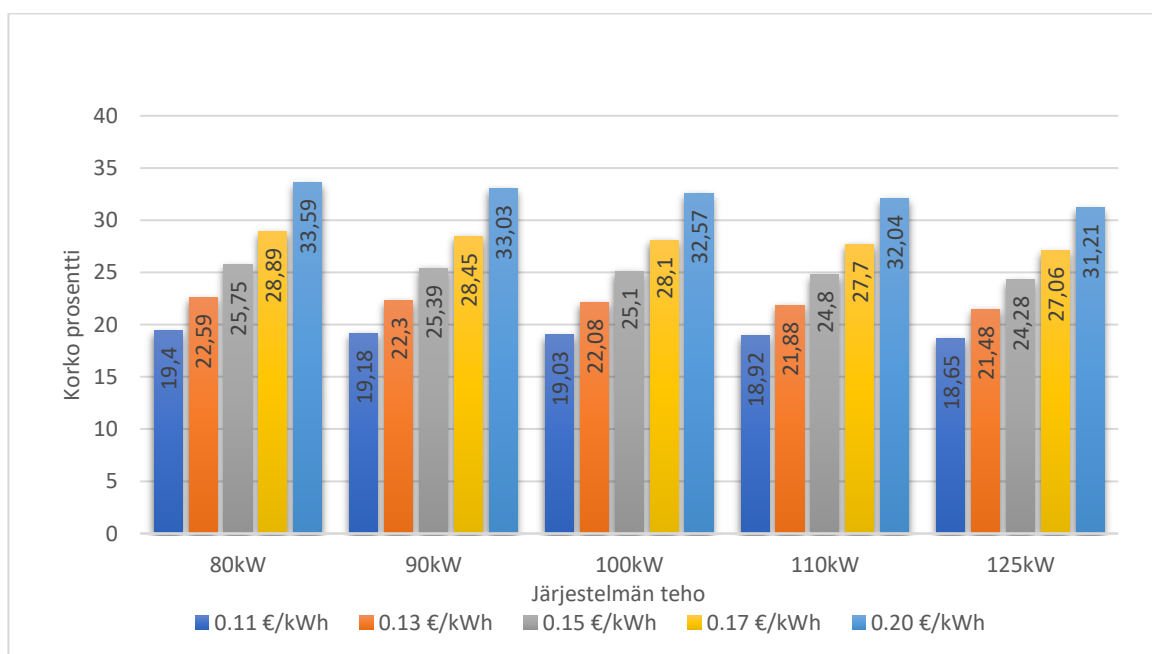


Kuvio 9. Takaisinmaksuaika maahan asennettua sekä maansiirtotyöt.

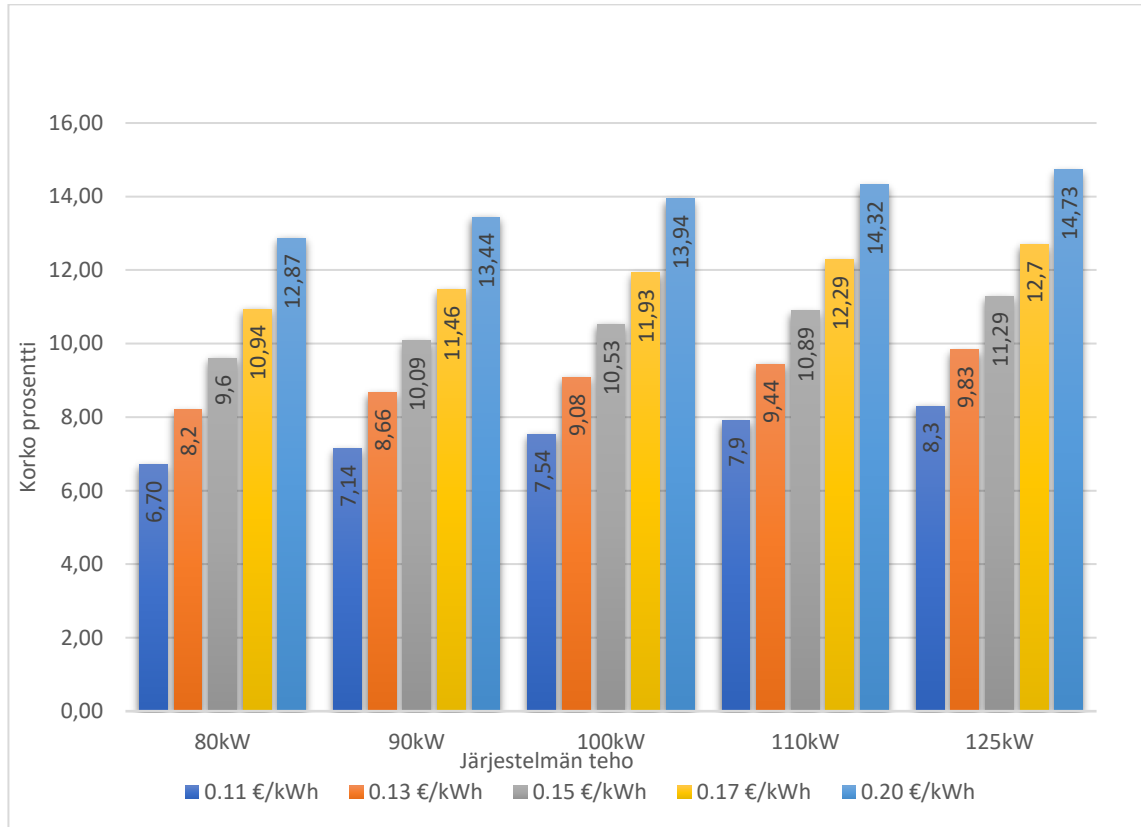
Kuvioissa 10–12 on eritelty eri asennusvaihtoehdot, ostettavan sähkönhinta sekä eri tehoistenjärjestelmien sisäinen korko.



Kuvio 10. Sisäinen korko kattoasennus järjestelmällä.

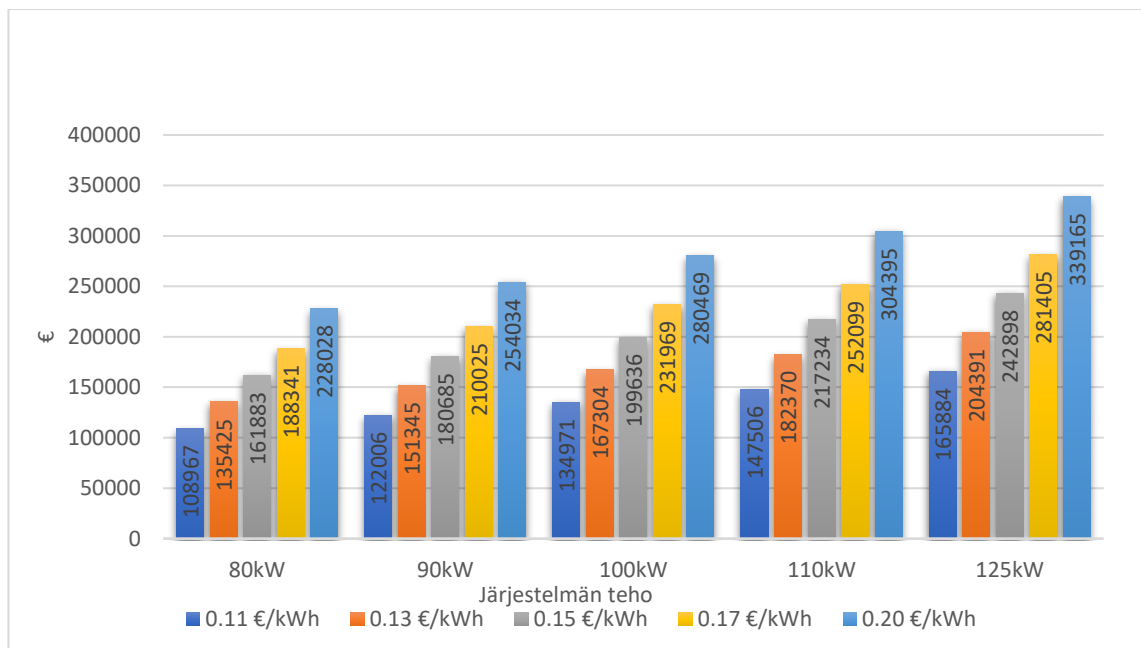


Kuvio 11. Sisäinen korko maa-asennus järjestelmällä.

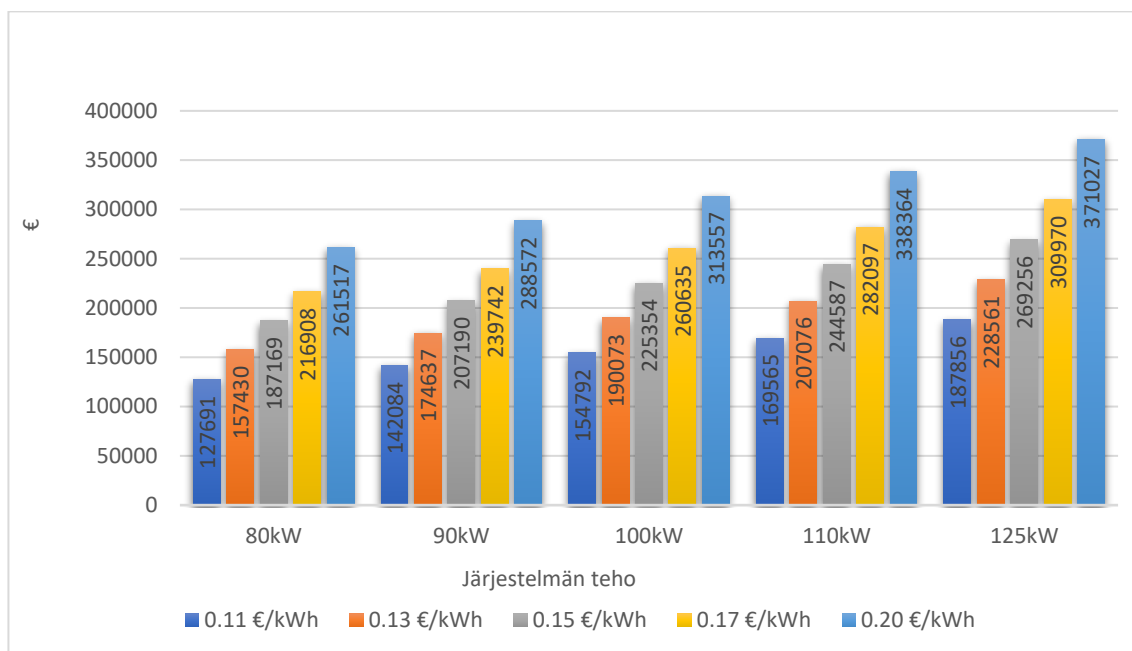


Kuvio 12. Sisäinen korko maa-asennus ja maansiirtotyö.

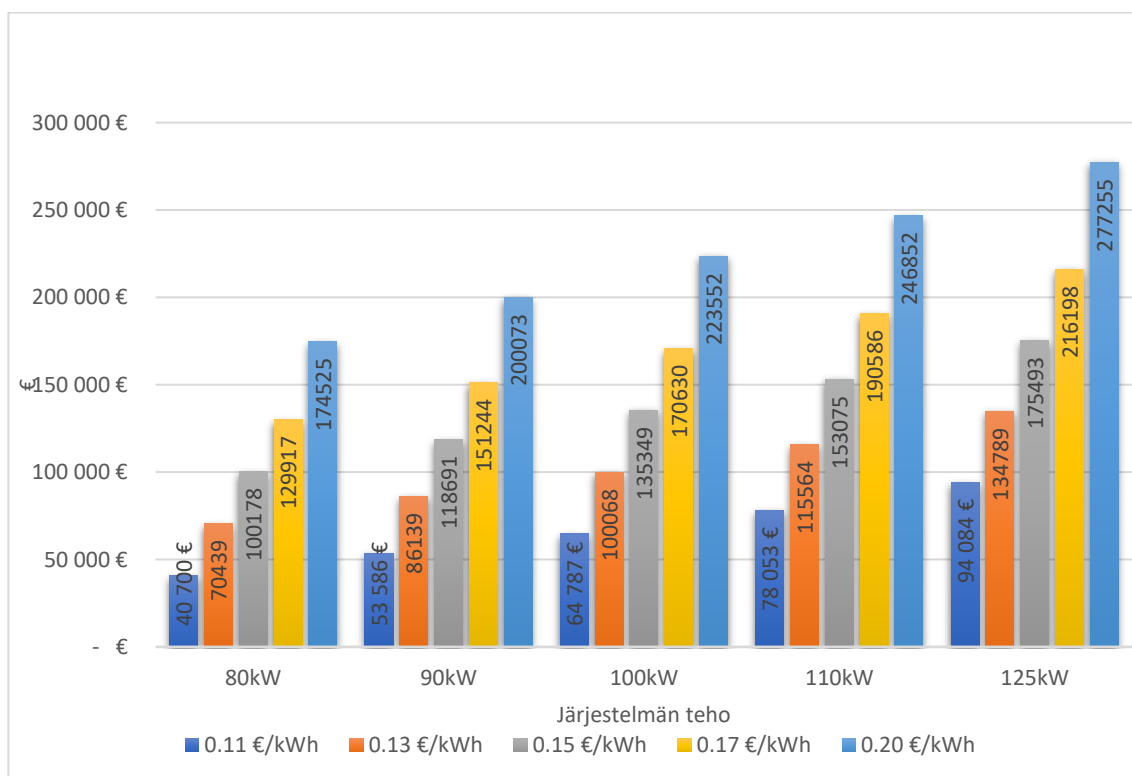
Kuvioissa 13–15 on eriteltynä aurinkosähköjärjestelmästä nykyarvolaskelmalla saatu 30 vuoden taloudellinen nettotuotto.



Kuvio 13. Kattoasennus järjestelmästä saatava tuotto.



Kuvio 14. Maahan asennettavan järjestelmän tuotto.



Kuvio 15. Maahan asennettavan järjestelmän tuotto sisältäen maansiirtotyöt.

8.3 Omakulutusaste

Omakulutusasteella voidaan osoittaa, kuinka paljon tuotetusta sähköstä saadaan omaan käyttöön ja kuinka paljon jää ns. ylijäämä sähköä verkkoon myytäväksi. Verkkoon myytävän sähkön hintana laskelmissa on käytetty energiayhtiö lumme ilmoittama 0,07 €/kWh.

Järjestelmän ollessa suhteessa pieni käytetyn sähkön määrään, omakulutusaste nousee, mutta verkosta ostettavan sähkön määrä kasvaa. Investointia ei voida tehdä pelkän omakulutusasteen perusteella.

Työssä käytettyjen eri teholuokan järjestelmien omakulutusasteissa löytyy eroja. Järjestelmän tehon kasvaessa kasvaa myös investoinnin määrä. Samalla kasvaa myös saatava sähkön tuotto ja ostettavan sähkön määrä pienenee.

Taulukossa 15 on esitetty omakulutusasteet laskelmissa käytetyissä eri tehoisten järjestelmien osalta. Omakulutusasteesta voi päätellä myös sen, että maahan asennettavasta järjestelmästä saa enemmän sähkön tuottoa.

Järjestelmä teho	80 kW	90 kW	100 kW	110 kW	125 kW
Omakulutusaste, ka- tolla (%)	99 %	98 %	97 %	95 %	92 %
Omakulutusaste, maassa (%)	97 %	95 %	93 %	89 %	85 %

Taulukko 15. Omakulutusaste.

8.4 Katto ja maa-asennuksen ero vuositasolla sähköhinnan mukaan

Taulukossa 16 on esitetty tulokset maahan sijoitettavan ja katolle sijoitettavan järjestelmän ero vuositasolla saatavasta sähköntuotosta eri sähköhinnoilla. Taulukossa 16 nähdään, kuinka paljon enemmän maahan sijoitettavasta aurinkosähköjärjestelmästä saadaan vuodessa rahallista tuottoa, kuin jos järjestelmä olisi katolla.

Sähkön hinta€/kWh	0,11	0,13	0,15	0,17	0,2
80kW	1 134 €	1 340 €	1 546 €	1 753 €	2 062 €
90kW	1 258 €	1 486 €	1 715 €	1 944 €	2 287 €
100kW	1 317 €	1 557 €	1 797 €	2 036 €	2 395 €
110kW	1 548 €	1 829 €	2 111 €	2 392 €	2 814 €
125Kw	1 651 €	1 952 €	2 252 €	2 552 €	3 002 €

Taulukko 16. Maa-asennuksesta saatava vuotuinen tuotto eri sähköhinnoilla verrattuna katolla sijaitsevaan järjestelmään.

8.5 Aurinkosähköjärjestelmän investointikulut

Taulukossa 17 on eritelty investoinnin hinnat Työ- ja elinkeinoministeriön myöntävän energiatuki huomioituna eri tehoisten järjestelmien ja asennustapojen mukaan. Katolle asennettavien järjestelmien hinnat on saatu interpoloimalla kuuden eri hintaisen ja tehoisen aurinkosähköjärjestelmän mukaan. Maa-asennus nostaa hintaa n. 25 %, joka on huomioitu laskelmia tehdessä. Maa-asennuksen hinta nostaa myös mahdolliset maansiirtotyöt, joihin on saatu kustannuslaskelma paikalliselta maansiirto yritykseltä. Nämä kaikki on eritelty taulukossa 17.

Investointi kustannus					
Järjestelmä, teho	80kW	90kW	100kW	110kW	125kW
Katto asennus	49 208 €	55 235 €	61 262 €	67 289 €	76 330 €
Maa-asennus	61 509 €	69 044 €	76 578 €	87 081 €	95 412 €
Maa-asennus ja maansiirtotyöt	136 199 €	143 733 €	151 267 €	158 801 €	170 102 €

Taulukko 17. Investoinnin hinnat.

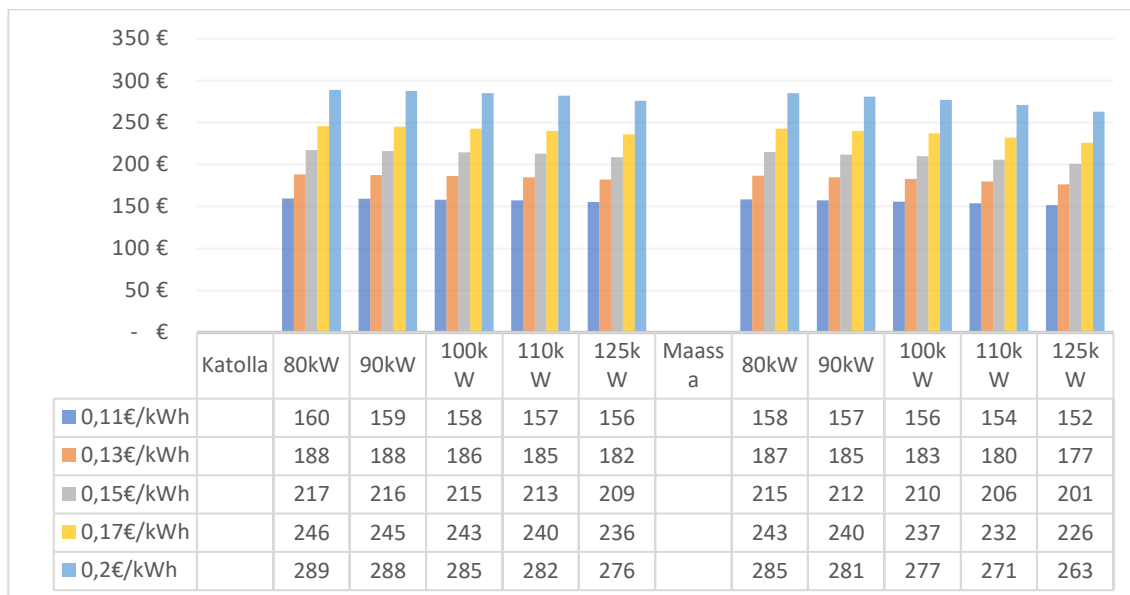
8.6 Sähkön tuotosta ja myynnistä saatu nettotuotto

Aurinkosähkijärjestelmästä saatava taloudellinen tuotto muodostuu, järjestelmästä saatavasta sähköstä ja myytävästä ylijäämästä sähköstä. Kuviossa 16 on laskettu sähköntuotto €/MWh aurinkosähkijärjestelmän koko elinkaaren aikana.

Pelkän sähköntuoton ja ylijäämästä sähkö myynnin osuudessa vaikuttaa omakulutuksesta teholuokaltaan isoimman ja pienimmän aurinkosähkijärjestelmän välillä.

Omakulutuksesta merkitys kasvaa katolle asennettavan ja maahan asennettavan järjestelmän välillä enemmän, koska maa-asennuksesta saadaan enemmän sähköntuottoa. Silloin myös verkkoon myytävän sähköntuotto määrä kasvaa. Sähköverkkoon myytävän sähköntuotto hinta on pienempi kuin ostettavan sähköntuotto. Jolloin tuotetulle sähköntuotto saadaan huonompi hinta kuin, jos se saadaan käytettyä itse.

Tässä laskelmassa on huomioitu vuosittainen sähköntuotto hinnat nousu (2 %), myytävän sähköntuotto hinnannousu (2 %) sekä aurinkopaneeleiden vuosittainen tehonalentuminen (0,5 %). Kuviossa 16 on näytetty tulokset maa- asennuksen ja katto asennuksen välillä eri sähköntuottohinnoilla.



Kuvio 16. Sähkön tuotosta ja myynnistä saatu nettotulo €/MWh. Osto sähkön hinta on €/kWh.

9 Tulosten yhteenveto

Tässä kohteessa aurinkosähköjärjestelmien teholuokiksi valikoitui 80 kW:n, 90 kW:n, 100 kW:n, 110 kW:n sekä 125 kW:n järjestelmät. Nämä teholuokat valikoituvat mahdollisesti katolle sijoitettavan aurinkosähköjärjestelmän pinta-alan vuoksi. Näissä em. teholuokissa aurinkosähköjärjestelmät pystytään asentamaan katolle huomioimalla vielä kaikki rakennusmääräykset. Pinta-alaltaan ja tehokkuudeltaan suurimman järjestelmän (125 kW_p) kattoasennuksessa täytyy ottaa huomioon kohteessa olevat varjostustekijät, jotka ovat kiinteistön katon yli tulevat siilot.

Maahan sijoitettavassa aurinkosähköjärjestelmässä ei asennuspinta-ala ole merkittävässä osassa, mutta maahan asennettavan järjestelmän omakulutusta pysyy vielä kohtuullisena näissä teholuokissa. Maa-asennusjärjestelmissä olisi voinut huomioida myös suurempitehoisia järjestelmiä, mutta tarkoitus on vertailla eroja katolle tulevien saman teholuokan järjestelmien välillä.

Aurinkosähköjärjestelmän tehon kasvaessa nousee myös järjestelmien hinnat. Hinnat eri järjestelmille ja asennustavoille on eritelty taulukossa 17.

Investointien hinnat laskettiin työssä saatua/tuotettua kilowattituntia kohden (€/kWh), mitkä on näytetty taulukossa 14. Taulukossa huomataan järjestelmän tehon kasvaessa, kasvaa myös sähkön tuotto, jolloin investointi kustannus €/kWh pienenee. Omakulutuste (taulukko 15) taas pienenee järjestelmän teholuokan kasvaessa. Mikä voidaan selittää sillä, että tehon kasvaessa järjestelmissä samalla kasvaa sähköntuotto. Sähköntuoton kasvaessa omaan käyttöön menevän sähkön osuus vähenee ja sähköverkkoon myytävän ns. ylijäämänsähkön osuus kasvaa. Sähköverkkoon myytävän ylijäämänsähkön taloudellinen tuotto ei ole niin hyvä kuin omaan käyttöön menevän sähkön taloudellinen tuotto.

Sähkön tuoton vertailu katolla sijaitsevan ja maassa sijaitsevan aurinkosähköjärjestelmän välillä on taulukoissa 5 ja 8. Taulukoissa 5 ja 8 nähdään maa-asennuksen ja katto asennuksen ero sähköntuotossa kWh/kW_p. Sähköntuotto on laskettu tässä työssä myös pelkästään tuotetusta sähköstä saatu taloudellinen nettotuotto huomioiden kuviossa 16. Kuviossa 16 huomataan ostosähkön hinnan vaikutukset tuotettuun sähkönmäärään eri tehoisten järjestelmien välillä, sekä asennustavasta riippuen. Pelkästään sähköntuotosta saatavaan taloudelliseen tuottoon perustuva kuvio 16 selvittää myös omakulutusteiden merkityksen hyvin. Juuri tässä voi tehdä aurinkosähköjärjestelmän ostaja sen päätelmän, että ostopäätös kannattaa tehdä omakulutusteiden perusteella.

Sähköntuotolla ja ostettavan sähkön hinnalla on suurimmat merkitykset laskettaessa takaisinmaksu aikaa. Nykyarvolaskenta menetelmällä laskettaessa huomioidaan myös ylijäämänsähkön eli myytävän sähkön hinta.

Tässä työssä saatujen tulosten perusteella voidaan olettaa, että ostettavan sähkön hinnalla on suurin vaikutus takaisinmaksu aikaan.

Takaisinmaksuajan erot ilmenevätkin juuri eri tehoisten järjestelmien välillä asennustavan perusteella. Takaisinmaksuajat on näytetty kuvioissa 7–9. Maa-asennuksessa saadaan paras sähköntuotto aurinkosähköjärjestelmille tässä kohteessa. Takaisinmaksu aika on pienin maahan sijoitettavan järjestelmän osalta nykyarvolaskentamenetelmää käytettäessä, jos ei oteta huomioon maansiirtotöiden kustannuksia. Työssä on myös eritelty kustannukset ja tulokset

maansiirtotyöt huomioituna taulukossa 17. Maansiirtotöiden kustannuksissa voi tulla muutoksia asennuspaikan sijainnin ja mahdollisen altaan täytön vuoksi,

mutta laskelmat on tehty maansiirtotöiden tällä hetkellä tiedossa olevat kustannukset huomioiden.

Investointi päätöstä tehdessä on syytä tarkastella myös sähkön määrää mikä jää ostettavaksi sähköverkosta. Tähän on taulukoissa 12 ja 13 eritelty sähköverkosta ostettavan sähkön määrä sekä ilmoitettu prosentteina järjestelmistä saatava hyöty. Laskelmista saaduista tuloksista huomataan, että aurinkosähköjärjestelmistä saatava hyöty on n.13–20 % vuotuisen sähkönkulutuksen perusteella.

Valinta aurinkosähköjärjestelmän investoinnin teholuokan ja asennustavan välillä perustuu tässä opinnäytetyössä taloudellisiin näkökulmiin.

Taloudellisesti kannattavinta aurinkosähköjärjestelmää on suorastaan haastavaa nimetä vain yhtä teholuokkaa. Päätöksentekoon vaikuttaa merkittävästi ostettavan sähkön hinta ja ostosähkön hinta voi olla huomattavasti korkeampi kuin tällä hetkellä laskelmissa käytetyt. Tämän työn tulosten perusteella taloudellisesti kannattavin järjestelmä on teholuokan isoimmasta päästä, jossa vielä verkkoon myytävän sähkön määrä pysyy omakulutusasteen perusteella kohtuullisena. Vaikka ostettavan sähkön hinnat on laskettu työssä kattavasti, niin tulevaisuudessa sähkön hinnan nousun myötä, paremmin sähköä tuottava järjestelmän takaisinmaksuaika pienenee entisestään. Investoinnin maksettua itsensä takaisin alkaa aurinkosähköjärjestelmä tuottamaan nopeammin taloudellista hyötyä. Investoinnin määrä suhteutettuna vuosittaiseen sähköntuottoon, myös puoltaa teholuokaltaan isomman järjestelmän hankintaa.

Työssä tarkasteltu sisäinen korko (kuviot 10–12) näyttää taloudellisesti kannattavalta kaikilla eri tehoisilla järjestelmillä, sekä asennustavoilla. Maa-asennuksessa missä on laskelmissa mukana maansiirtotyöt, päästään myös kannattavuudessa hiukan paremmalle puolelle, varsinkin ostosähkön hinnan noustessa.

Kuviossa 12 huomataan järjestelmän tehon ja ostettavan sähkön hinnan kasvaessa kasvaa myös taloudellinen tuotto.

Aurinkosähköjärjestelmän tehoksi ja asennuspaikaksi suosittelisin edellä mainittuihin tuloksiin ja perusteluihin viitaten maahan sijoitettavaa tässä työssä käytyistä aurinkosähköjärjestelmistä 125kW järjestelmää. Aurinkosähköjärjestelmä maahan asennettuna pystyisi olemaan tehokkaampikin, koska asennuspinta-ala

ei ole esteenä. Jätevedenpuhdistamon sähkön vuosikulutus huomioiden aurinkosähköjärjestelmän teholuokkaa voisi kasvattaa 125 kW:sta vielä melko paljonkin maahan sijoitettavan järjestelmän osalta. Vaikka investoinnin määrä kasvaa ja omakulutusaste laskee, sähköntuoton määrä kasvaisi ja ostettavan sähkön määrä pienenesi. Maansiirtotöihin menevä investoinnin määrä kuitenkin pysyisi samana. Tätä vaihtoehtoa ei kuitenkaan huomioitu tämän työn laskelmissa, koska vertailtiin vain katolle sopivien aurinkosähköjärjestelmien teholuokkien sähköntuottoa ja taloudellista kannattavuutta maa-asennukseen. Vaihtoehtoisena asennuspaikkana ja järjestelmän tehona suositellaan katolle asennettavaa 110 kW:n järjestelmää. Tämän tehoinen järjestelmä mahtuu vaatimansa pinta-alan vuoksi vielä hyvin jätevedenpuhdistamon katolle.

10 Pohdinta

Tällä hetkellä, kun tämä työ on ajankohtainen, maailman tilanne pistää miettimään varmasti ihmisiä, kuntia, yrityksiä ja valtioita. Sähköntuotanto ei ole aivan itsestään selvyyttä. Sähkön ja energian tuotantoon tullaan varmasti panostamaan eri lähtökohdilla kuin tähän asti. Vaikka ns. vihreäsiirtymä on ollut hallituksenkin ohjelmassa, omavaraisuus tulee olemaan yksi lähtökohta tulevaisuuden energian tuotannossa.

Työssä käsiteltävä aurinkosähkö on yksi osa-alue tätä kokonaisuutta. Pelkästään aurinkoenergia ei ole ratkaisu energiantuotantoon. Lähtökohtaisesti aurinkoenergian tuotanto on lähes fossiilivapaata, mutta liikaa kuitenkin säänarjoilla tuotukseen koko energian tarpeen. Tosin kehitys kehittyi siinä myös samalla aurinkoenergian tuotanto.

Aurinkoenergialla pystytään kuitenkin tuottamaan järkevällä kannattavuudella mitattuna n.10–20 % vuosittaisesta sähkönkulutuksen tarpeesta. Tosin aina kohteesta riippuen.

Työssä käytettyihin aurinkosähköjärjestelmien hintatietoihin olisin kaivannut hieman täsmällisempiä tietoja kuin nyt saatavilla olleet. Hintatietojen hankala

saatavuus johtui työtä tehtäessä osittain materiaalien saatavuudesta ja markkinahintojen vaihtelun takia. Näistä seikoista johtuen aurinkosähköjärjestelmien jälleenmyyjillä on hankaluuksia tehdä tarkkaa kustannusarviota pidemmälle aikavälille. Aurinkosähköjärjestelmien hinnat on tehty interpoloimalla saatavien hintatietojen perusteella, mutta myös tarkistettu kuopiolaisen yrityksen Suomisolar Oy:n Toimitusjohtajalta Jarmo Tiaiselta. Työssä käytetyt ostosähkön ja myytävän ylijäämäsähkön hinnat on tarkistettu toimeksiantajalta sekä paikalliselta energian toimittajalta.

Lähdeviitteiden käyttöön työssä olisi voinut ottaa enemmän alankirjallisuudesta, kun nyt lähdeviitteet painottuvat enemmän verkkomateriaaliin.

Työssä keskityttiin enemmän taloudellisiin ja aurinkosähköntuotannollisiin laskelmiin kuin käsittelemään aurinkosähköjärjestelmän tekniikkaa. Johtuen osittain toimeksiantajan toiveesta saada arvio kustannuksista ja saatavista tuotoista investoinnin päätöstä tehtäessä. Työn tekoon käytetty aika olisi lisääntynyt merkittävästi aurinkosähköjärjestelmän perinpohjaista tekniikan selvitystä tehtäessä.

Tämän opinnäytetyön selvityksen jatkon kannalta olisi melko järkevää selvittää esimerkiksi opinnäytetyönä katolle tulevan aurinkosähköjärjestelmän painon vaikutus lumikuorma huomioiden.

Sähkön varastointi mahdollisuus on myös olennainen asia mitä kannattaisi selvittää. Tällä hetkellä ainakaan ns. virtuaaliakkuja ei ole käytössä paikallisella sähköverkon omistajalla käytössä, ehkä tulevaisuudessa kuitenkin voi olla. Huomion arvoinen selvitys on myös pystyisikö ns. ylijäämäsähköä käyttämään tässä tapauksessa toimeksiantajan muissa kohteissa hyödyntäen paikallista sähköverkkoa?

Sähköntuoton kannalta tärkeä seikka on myös selvittää, onko mahdollista muuttaa jäteveden puhdistus prosessia sellaiseen aikaan päivästä, kun aurinkosähköjärjestelmän tuotto on parhaimmillaan. Tällä hetkellä osa kulutuspiikeistä kohdistuu iltaan. Mihin vaikuttaa omalta osaltaan Outokummussa sijaitsevan teuras-tamon HK - Scanin tuleva pesuvesi. Mikä on merkittävä kuormittaja Outokummun jätevedenpuhdistamolla.

Tämän selvityksen tekeminen oli mielenkiintoista ja työn tulokset on tehty huomioiden sähkönhinnan muutokset. Aurinkosähköjärjestelmien hintojen selvitys piti tehdä eri tavalla kuin aluksi oli tarkoitus, mutta tämänhetkistä varmaa markkina-hintaa ei pysty saamaan.

Lähteet

Aurinkolaskenta opas.2012.

Aurinko_Laskentaopas_2012_ver23082011%20(1).pdf.24.4.2022.

Aurinkosahkoakotiin. fi.2022a Akut ja varastointi.

<https://aurinkosahkoakotiin.fi/akut-ja-varastointi/>.28.3.2022.

Aurinkovirta. 2022a.Aurinkopaneelit

<https://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/aurinkopaneelit/>.2.4.2022.

Aurinkovirta. 2022b.Invertteri

<https://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>.2.4.2022.

Finsolar.2016. Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa. Karoliina Auvinen, Raimo Lovio, Mikko Jalas, Jouni Juntunen, Lotta Liuksiala, Heli Nissilä, Julia Müller. 2.4.2022.

Finnwind.2022a. Harjakattojen asennustelineet.

https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/esitteet/Finnwind-FS-H-harjakattojen-asennustelineet.pdf. 20.4.2022.

Finnwind.2022b. Aurinkopaneelien lumikuormavaatimukset tarkentuu

https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/ohjeet/Aurinkopaneelien%20lumikuormavaatimukset%20tiukentuu.pdf.22.4.2022

Finnwind. 2022 c. Finnwind-FS.MP-maapilari asennusjärjestelmä. https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/esitteet/Finnwind-FS-MP-maapilari-asennusj%C3%A4rjestelm%C3%A4.pdf.22.4.2022.

Finnwind. 2022.d. Aurinkopaneeli maateline. https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/esitteet/FS-A-aurinkopaneeli-maateline.pdf.23.4.2022.

Lumoenergia.fi.2022. Aurinkosähköjärjestelman-osat

<https://www.lumoenergia.fi/aurinkopaneelit/ostajan-opas/aurinkosahkojarjestelman-osat/>23.4.2022.

Lumme-energia.2022. Laadukkaat aurinkopaneelimme.

<https://www.lumme-energia.fi/aurinkosahko/laadukkaat-aurinkopaneelimme#pillar-page-section--2>. 23.4.2022.

Lumoenergia.2022. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto.

<https://www.lumoenergia.fi/aurinkopaneelit/ostajan-opas/aurinkosahkojarjestelman-tuotto/>. 29.3.2022.

Motiva. 2022b. Aurinkosähkösanasto. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/lisatietoja/aurinkosahkosanasto 28.3.2022.

Motiva. 2022 c. Auringosta sähköä.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa 28.3.2022.

Motiva.2022d. Aurinkopaneelien asentaminen. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen 15.2.2022

Motiva.2022e. Aurinkosähköteknologiat.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat. 28.3.2022.

Oomi.fi.2022. half-cut ja lasipaneelit

<https://oomi.fi/aurinkopaneelit/aurinkopaneelipaketit/half-cut-ja-lasi-lasi-paneelit/>. 24.4.2022

Tukes. 2022. Aurinkösähköjärjestelmät.

<https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>.
21.1.2022.

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2022. Uusiutuva energia suomessa. <https://tem.fi/uusiutuva-energia>. 28.3.2022.

Tevä-Helminen, V. 2013. Investointilaskenta ja päätöksenteko. <https://docplayer.fi/495691-Metropolia-ammattikorkeakoulu-investointilaskenta-ja-paatoksenteko-opetusmoniste.html>.21.4.2022

Liite 1

	KESÄKUU				
KLO	POHJAKULUTUS KWH	KESKIKULU- TUS	Aika	Säteily, w/m2	Tuotto, kWh/h
0	36,420	54,570	0:30	0	0,00
1	35,640	50,572	1:30	0	0,00
2	34,340	46,392	2:30	2,8	0,20
3	33,530	42,850	3:30	19,18	1,38
4	33,250	40,736	4:30	39,4	2,84
5	31,950	45,551	5:30	76,1	5,48
6	31,130	45,817	6:30	190,17	13,69
7	30,530	45,937	7:30	322,38	23,21
8	31,920	47,103	8:30	430,03	30,96
9	33,110	49,690	9:30	524,16	37,74
10	33,430	53,107	10:30	588,9	42,40
11	35,070	55,646	11:30	620,74	44,69
12	36,700	58,464	12:30	605,5	43,60
13	40,430	60,572	13:30	564,09	40,61
14	42,030	61,386	14:30	500,25	36,02
15	23,420	60,625	15:30	405,08	29,17
16	21,800	60,236	16:30	298,05	21,46
17	21,560	60,599	17:30	188,94	13,60
18	29,990	60,055	18:30	88,52	6,37
19	38,180	59,842	19:30	43,42	3,13
20	38,900	59,985	20:30	21,65	1,56
21	40,410	60,012	21:30	4,36	0,31
22	39,380	59,259	22:30	0	0,00
23	39,090	58,053	23:30	0	0,00
					398,43
YHT	812,2	1297,1		5533,7	
Tuotto, %	49,1 %	31 %		30,7 %	11953