



Hybridiratkaisun kannattavuus lämpimän käyttöveden tuotannossa lypsykarjatilalla

Sanni Kapanen

Opinnäytetyö, AMK

Tammikuu 2023

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka

Kapanen, Sanni

Hybridiratkaisun kannattavuus lämpimän käyttöveden tuotannossa lypsykarjatilalla

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tammikuu 2023, 59 sivua.

Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö, AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kannattaako navetassa tarvittavan lämpimän käyttöveden tuotantoa olemassa olevalla maalämpöpumpulla tehostaa aurinkoenergiaan perustuvalla järjestelmällä. Työ toteutettiin toimeksiantona Pohjois-Karjalaiselle maatalousyhtymälle, joka harjoittaa lypsykarjataloutta. Kehittämistyöllä haluttiin saada tietoa siitä, tuoko toinen uusiutuvaan energiaan pohjautuva energijärjestelmä rinnakkaisena järjestelmänä säästöjä maalämpöpumpun tarvitsemaan ostoenergiantarpeeseen.

Selvitystä varten kohteeseen mitoitettiin kaksi vaihtoehtoista aurinkosähköjärjestelmää sekä yksi aurinkolämpöjärjestelmä. Järjestelmissä vaaditut pääkomponentit valittiin kohteen tarpeen ja ympäristön mukaan. Järjestelmien mitoitusten lisäksi järjestelmille laskettiin investointikustannukset, joiden tarkoituksena oli selvittää eri vaihtoehtojen kannattavuudet. Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin tapaustutkimuksen periaatteiden mukaisesti, kohteen yksilöllisyyden vuoksi.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin luotettava pohja eri järjestelmien kannattavuuden arvioinnille. Suoritettujen mitoitusten ja investointilaskentojen perusteella aurinkosähköjärjestelmästä voidaan saada kannattava kilpailutusella tai toisenlaisella mitoituksella. Kannattavin aurinkosähköjärjestelmän mitoitusvaihtoehto kehittämistyön kohteen kaltaisessa ympäristössä ja toiminnassa voisi olla pohjakulutukseen perustuva mitoitus. Tällöin mahdollisimman suuri osa tuotetusta energiasta saadaan käytettyä itse, tuoden samalla mahdollisia kustannussäästöjä ostosähköntarpeen vähentyessä. Saatujen tulosten perusteella, potentiaalisia järjestelmävaihtoehtoja eli pohjakuormitukselle mitoitettua aurinkosähköjärjestelmää sekä mahdollisesti aurinkolämpöjärjestelmää voitaisiin tarkastella vielä eri mitoitus- ja hintatiedoilla, jolloin voitaisiin arvioida järjestelmien todellista kannattavuutta.

Avainsanat (asiasanat)

Aurinkoenergia, aurinkopaneelit, aurinkokeräimet, energiatehokkuus, lämpöpumput, kannattavuus, lypsykarjatilat

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Kapanen, Sanni

Profitability of a hybrid solution in domestic hot water production on a dairy farm

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, January 2023, 59 pages.

Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The objective of the thesis was to find out whether it is financially profitable to make the production of domestic hot water, needed on a dairy farm, more efficient by including solar energy system alongside an existing ground heat pump. The work was implemented by commission of grouping of agricultural holdings, located in North Karelia region, that practice dairy farming. The purpose of the development work was to gain information, whether adding another energy system, that is based also on renewable energy, make savings on the need for purchasing energy.

The objective was approached by designing two alternative solar photovoltaic systems and one solar heating system. Solar panels and solar collectors were chosen based on the purpose of need and environment. In addition to designing suitable solar energy systems, the investment costs of the systems were calculated. The purpose of the calculations was to assist estimate the profitability of each option. The objective of the thesis was approached in accordance with the principles of the case study, due to the individuality of the subject.

As a result of the thesis, a reliable basis was obtained for evaluating the profitability of different systems. Based on the performed designings and investment calculations, the solar photovoltaic system can be made profitable by other types of designing or tendering. The most profitable design alternative for a solar photovoltaic system in an environment and operation similar to the target of the development work could be design based on base consumption. In that case, as much of the produced energy as possible can be used yourself, bringing possible cost savings at the same time as the need for purchased electricity decreases. Based on the results obtained, potential system alternatives such as solar photovoltaic system designed to cover the base consumption and possibly a solar heating system, could be looked at with different design and price information, in which case the real profitability of the systems could be assessed.

Keywords/tags (subjects)

Solar energy, solar panels, solar collectors, energy efficiency, heat pumps, profitability, dairy farms

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Johdanto | 4 |
| 1.1 | Opinnäytetyön tausta | 4 |
| 1.2 | Tavoitteet ja rajaukset | 5 |
| 1.3 | Toimeksiantaja | 6 |
| 1.4 | Tiedonhankinta, luotettavuus ja eettisyys | 8 |
| 1.5 | Menetelmäkuvaus..... | 8 |
| 2 | Maalämpö | 9 |
| 3 | Aurinkoenergia | 10 |
| 3.1 | Tietoa auringosta | 10 |
| 3.2 | Aurinkoenergiajärjestelmän sijoittelu..... | 12 |
| 3.3 | Aurinkosähkö..... | 14 |
| 3.4 | Aurinkolämpö..... | 15 |
| 4 | Investointilaskenta | 17 |
| 4.1 | Investoinnit..... | 17 |
| 4.2 | Investointilaskentamenetelmät | 17 |
| 5 | Energiankulutus lypsykarjatilalla | 20 |
| 5.1 | Lämpöenergia..... | 20 |
| 5.2 | Sähköenergia | 21 |
| 6 | Mitoitus | 23 |
| 6.1 | Mitoituksen lähtökohdat..... | 23 |
| 6.2 | Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus | 24 |
| 6.3 | Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus | 30 |
| 7 | Investoinnin kannattavuus | 39 |
| 7.1 | Sähkön hinta..... | 39 |
| 7.2 | Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus | 40 |
| 7.3 | Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus..... | 44 |
| 8 | Yhteenveto | 45 |
| 9 | Pohdinta | 46 |
| 9.1 | Ajatuksia työn tuloksista | 46 |
| 9.2 | Työn ja tulosten luotettavuus ja eettisyys | 47 |
| 9.3 | Jatkokehittäminen..... | 48 |

| | |
|---|-----------|
| Lähteet | 50 |
| Liitteet | 53 |
| Liite 1. Maalämpöpumpulta kerätyt tiedot..... | 53 |
| Liite 2. Lämpimään käyttövedeen liittyvät laskennat..... | 54 |
| Liite 3. Sähkönkulutukseen liittyvät laskennat..... | 55 |
| Liite 4. Sähkön vuosikulutus 2018-2022 sekä keskiarvokulutus | 56 |
| Liite 5. Aurinkosähköjärjestelmän kustannuslaskenta, vaihtoehto 1..... | 57 |
| Liite 6. Aurinkosähköjärjestelmän kustannuslaskenta, vaihtoehto 2 | 58 |
| Liite 7. Aurinkolämpöjärjestelmän kustannuslaskenta | 59 |
| | |
| Kuviot | |
| Kuvio 1. Verkostokuva tilakeskuksesta | 7 |
| Kuvio 2. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Maalämpö n.d.) | 10 |
| Kuvio 3. Auringon säteily määrä Suomessa (Aurinkopaneelit kotiin 2022)..... | 11 |
| Kuvio 4. Aurinkoenergialaitteiden suuntaus (Aurinkoenergia Suomessa 2016) | 13 |
| Kuvio 5. Aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate (Aurinkosähköjärjestelmät n.d.) | 15 |
| Kuvio 6. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate (Aurinkolämpöjärjestelmät 2020) | 16 |
| Kuvio 7. Sähköenergian kulutusjakauma kesäviikon ajalta. | 22 |
| Kuvio 8. Ilmakuva tilakeskuksesta, muokattu (Paikkatietoikkuna 2018)..... | 23 |
| Kuvio 9. Suomen säävyöhykkeet (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012)..... | 24 |
| | |
| Taulukot | |
| Taulukko 1. Vertailtavien järjestelmien mitoitusarvot. | 26 |
| Taulukko 2. Kuukausittainen aurinkosähkökennostoon kohdistuva kokonaissäteilyenergia. ... | 28 |
| Taulukko 3. Kuukausittaiset aurinkosähköjärjestelmien energiantuotot..... | 29 |
| Taulukko 4. Aurinkosähköenergian osuus energiantarpeesta. | 29 |
| Taulukko 5. Kuukausittainen lämpimän käyttöveden lämmityksen tarve. | 32 |
| Taulukko 6. Kuukausittainen auringon säteilyenergia kallistetulle pinnalle. | 33 |
| Taulukko 7. Kuukausittainen keskimääräinen auringon säteilyteho. | 34 |
| Taulukko 8. Kuukausittainen aurinkolämpöjärjestelmän energiantuotto..... | 35 |
| Taulukko 9. Kuukausittainen referenssilämpötilaero säävyöhykkeellä 3..... | 38 |
| Taulukko 10. Aurinkosähköjärjestelmä vaihtoehto 1, investointilaskennan lähtöarvot..... | 41 |
| Taulukko 11. Aurinkosähköjärjestelmä vaihtoehto 2, investointilaskennan lähtöarvot..... | 42 |
| Taulukko 12. Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuus..... | 43 |

| | |
|--|----|
| Taulukko 13. Aurinkolämpöjärjestelmä, investointilaskennan lähtöarvot..... | 44 |
| Taulukko 14. Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus..... | 45 |

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta

Maatalouden kehitystä ohjaa sekä kansalliset että kansainväliset ilmasto- ja energiatehokkuustavoitteet. Perustana tavoitteille on Yhdistyneiden kansakuntien eli YK:n vuonna 1992 allekirjoitettu ilmastopöytäkirja, jota täydentävät myöhemmin laaditut Kioton pöytäkirja sekä Pariisin ilmastopöytäkirja. Nämä kansainväliset sopimukset ohjaavat Euroopan unionin ilmastopolitiikkaa, joka taas toimii ohjenuorana Suomen ilmastolainsäädännölle. EU:n tavoite on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta ja olla hiilineutraali viimeistään vuonna 2050. Tavoitteeseen pääsyä on ryhdytty edesauttamaan 55-valmiuspaketilla, jonka sisältämät ehdotukset täydentäisivät ja päivittäisivät nykyistä lainsäädäntöä. (Euroopan unionin ilmastopolitiikka n.d.; 55-valmiuspaketti 2022.)

Suomen hallitus on asettanut tavoitteeksi olla hiilineutraali viimeistään vuonna 2035 ja hiilinegatiivinen pian sen jälkeen (Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia 2022, 12). Kuten EU:ssakin, myös Suomessa on tehty lainsäädännöllisiä toimia ilmastolakiin päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi. Uuteen ilmastolakiin lisättiin päästövähennystavoitteet vuoden 2050 lisäksi vuosille 2030 ja 2040. (Ilmastolain uudistus n.d.) Hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi eri alojen toimijat ovat tuottaneet työ- ja elinkeinoministeriön sekä hallituksen kanssa yhteistyössä toimialakohtaisia tiekarttoja kohti vähähiilisyttä (Vähähiiliset tiekartat 2035 n.d.). Maatalouden tiekartta on syntynyt Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry:n, Svenska Lantbruksproducenternas Centralförbund SLC r.f:än eli ruotsinkielisten maataloustuottajien keskusliiton ja Luonnonvarakeskus LUKE:n yhteistyöllä (Lehtonen, Saarnio, Rantala, Luostarinen, Maanavilja, Heikkinen, Soini, Aakkula, Jallinoja, Rasi & Niemi 2020, 5).

Noin 80 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä, jotka aiheuttavat ilmaston lämpenemistä, on peräisin energian tuotannosta ja kulutuksesta (Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia 2022, 9). Maataloudesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt olivat vuoden 2020 kokonaispäästöistä noin 15 % eli 7,5 miljoonaa tonnia CO₂-ekv., josta energian käytöstä syntyneitä päästöjä oli 0,9 miljoonaa tonnia CO₂-ekv (Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2020 2021, 6, 37–39). Vuoden 2020 kokonaisenergiankulutuksesta noin 3 % oli peräisin maa- ja puutarhatalou-

desta (Maatalouslaskenta 2020: Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus 2020 2022). 55-valmiuspaketissa ehdotetaan uusiutuvan energian osuuden korottamista kulutetusta energiasta 40 %:iin vuoteen 2030 mennessä (55-valmiuspaketti 2022). Maataloudessa erityisesti lämmitysratkaisujen osalta potentiaalisina vaihtoehtoina nähdään biokaasu ja aurinkoenergia.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Pohjois-Karjalainen, Juuan kunnassa sijaitseva maatalousyhtymä, joka harjoittaa lypsykarjataloutta. Tilalla lämpöenergia eli lämmin käyttövesi ja tilojen lämmitys tuotetaan maalämpöpumpun avulla. Suurin osa tuotetusta lämpimästä käyttövedestä kulutetaan navetassa, ollen lähes 300 litraa päivässä. Sähköenergian hinnan nousun myötä myös lämmöntuotantokustannukset ovat nousseet, maalämpöpumpun tarvitessa ostosähköä. Toimeksiantajan tilalla oltiin halukkaita tehostamaan navetassa tarvittavan lämpimän käyttöveden tuotantoa muun muassa säästääkseen kustannuksissa pitkällä aikavälillä sekä ollakseen osittain riippumattomia paikallisen sähköverkkoyhtiön jakeluhäiriöistä. Edes osittainen omavarainen sähköenergian tai lämpöenergian tuotanto turvaisivat toimivan maataloustuotannon myös poikkeustilanteissa, erityisesti kevät- ja kesäkuukausina. Lypsykarjatilan energiapuolijärjestelmän kokonaiskustannukset sekä kulutetun energian määrä ja siihen käytettyjen energianlähteiden hinnat vaikuttavat suoraan tuotantokustannuksiin sekä toiminnan kannattavuuteen (Lankinen, Eskelinen & Rantala 2014, 1).

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyössä selvitettiin aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia ja kannattavuutta maalämpöpumpun rinnalla, navetassa tarvittavan lämpimän käyttöveden tuotannossa. Työssä tutkittiin sekä aurinkokeräinten ja erillisen lämminvesivaraajan mahdollisuus navetassa tarvittavan lämpimän käyttöveden tuotannossa että aurinkopaneelien mahdollisuus maalämpöpumpun tarvitseman sähkön tuotannossa. Lisäksi aurinkopaneelit mitoitettiin tilan kokonaissähkökulutukselle vertailun vuoksi. Tarkoituksena oli vertailla, kumpi järjestelmä olisi kannattavampi maalämpöpumpun rinnalla. Molemmat ratkaisut mitoitettiin kohteeseen sen kulutustietojen ja tarpeen mukaisesti.

Tavoitteena oli selvittää, onko lämpimän käyttöveden tuotannon tehostaminen maalämpö-aurinkoenergia-hybridiratkaisulla kannattavaa ja tuoko se säästöjä verrattuna tämänhetkiseen tilanteeseen. Lisäksi haluttiin saada tietoa hybridiratkaisun toimivuudesta sekä siitä, onko järkevää tuottaa

energiaa rinnakkain kahdella ympäristöystävällisellä energiajärjestelmällä. Näiden tavoitteiden perusteella tärkeimmiksi kehittämiskysymyksiksi muodostuivat seuraavat kysymykset: ”Kumpi aurinkoenergiajärjestelmä on kannattavampi maalämpöpumpun rinnalla?”, ”Onko maalämpö-aurinkoenergia-hybridiratkaisuun investoiminen kannattavaa?” ja ”Miten aurinkoenergiajärjestelmät kannattaa mitoittaa kyseiseen kohteeseen?”.

Aihe rajattiin koskemaan ainoastaan navetassa tarvittavaa lämmintä käyttövedettä, vaikka samalla maalämpöpumpulla tuotetaan lämpöenergiaa myös tilalla sijaitsevaan asuinrakennukseen. Asuinrakennuksessa lämpimän käyttöveden kulutus on huomattavasti navetan kulutusta vähäisempi. Navetassa ei ole tarvetta tilojen lämmitykselle, koska lehmät tuottavat lämpöä muun muassa ai-neenvaihdunnan seurauksena. Lehmille optimaalinen ympäristön lämpötila on noin 5–15 °C. (MMM-RMO C2.2 2002, 1.) Sähköenergiaa kuluttavia kohteita tilalta kuitenkin löytyi enemmän, jonka takia järjestelmävaihtoehdoksi otettiin myös aurinkopaneelit. Suuren sähkönkulutuksen takia mahdolliselle ylimääräiselle sähköenergialle löytyi lämpöenergiaa helpommin käyttökohteita tilalta.

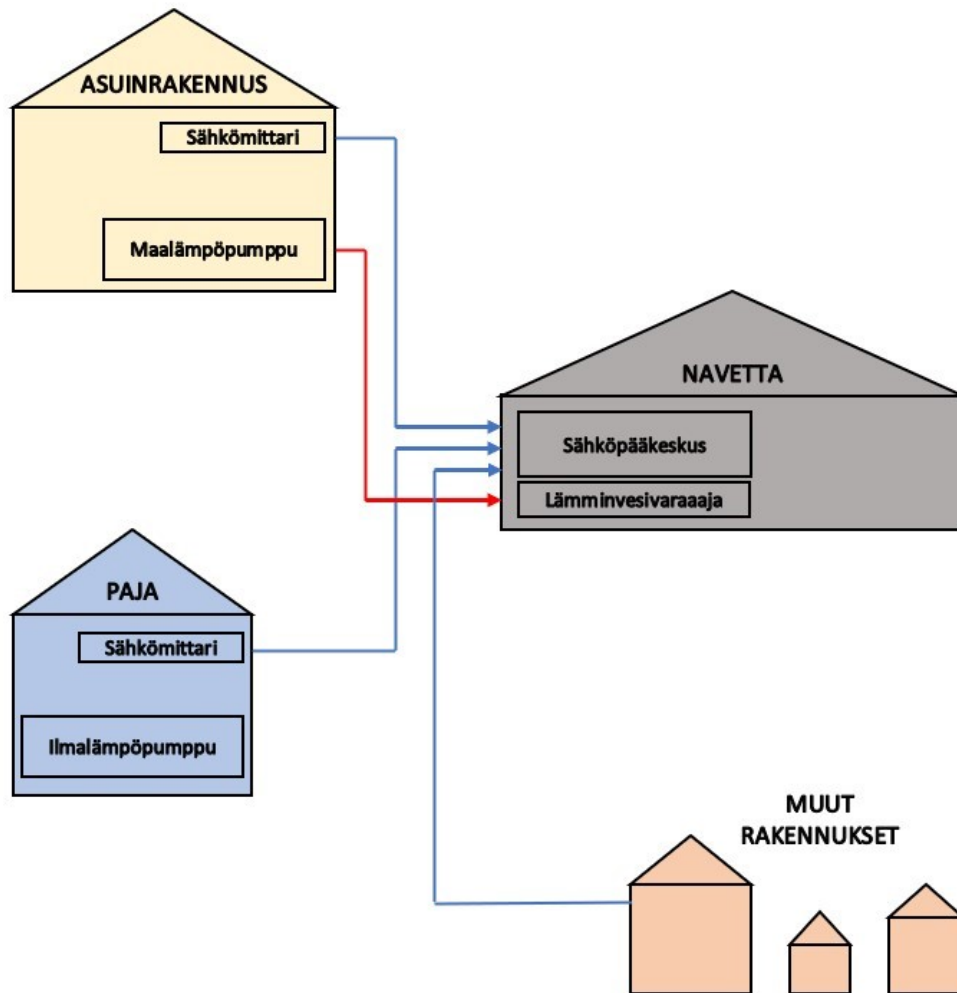
1.3 Toimeksiantaja

Tilalla on ollut varsinaista lypsykarjaa 1960-luvun loppupuolelta asti, jonka aikana on tehty kaksi sukupolvenvaihdosta. Tilalla sijaitseva navettarakennus on rakennettu 1950-luvulla, jonka jälkeen sitä on peruskorjattu useita kertoja sekä laajennettu. Navettatyypiltään kyseessä on parsinavetta. Lypsytapana tilalla on putkilypsy, jossa lypsetty maito kulkee putkien kautta maitotankkiin. Lehmien ruokinta tapahtuu automaattisen kiskoruokkijan sekä pienkuormaajan avulla. Navetassa on painovoimainen ilmanvaihto sekä kierrätysilmapuhaltimia, joilla säädetään navettaolosuhteita.

Navetan kokonaiseläinmäärä on noin 40, joista 20 on lehmiä ja loput nuorkarjaa eli hiehoja ja pieniä vasikoita. Nuorkarjan määrä vaihtelee satunnaisesti, koska osa niistä myydään välityksen kautta. Lehmät laiduntavat toukokuusta lokakuuhun tilakeskuksen ympärillä olevilla pelloilla ja hiehot hieman kauempana.

Lypsykarjan ohella tilalla harjoitetaan viljelyä, metsätaloutta sekä koneurakointia. Tilalla viljellään nurmea, josta tehdään kuivaheinää sekä noin 300 tonnia säilörehua vuodessa. Lisäksi viljellään kauraa ja ohraa, jotka jauhetaan lehmien ruoaksi. Peltopinta-alaa maatalousyhtymän käytössä on

noin 70 hehtaaria, josta kolmasosa on omassa omistuksessa. Nämä pellot ympäröivät tilakeskusta. Kaksi kolmasosaa peltopinta-alasta on vuokrapeltoja, joista kaukaisin sijaitsee noin kahdeksan kilometrin päästä tilakeskuksesta. Koneurakointia harjoitetaan tarpeen vaatiessa, pääasiassa kaivutöissä, puinnissa, traktoritöissä sekä tienhoidossa. Tilalla on kaksi kaivinkonetta, kolme traktoria ja paimuri, joilla hoidetaan koneurakointi omien töiden lisäksi.



Kuvio 1. Verkostokuva tilakeskuksesta

Tilakeskukseen kuuluu asuinrakennus, navetta ja paja sekä muita pienempiä rakennuksia, kuten kylmiä varastotiloja ja pihasauna (ks. kuvio 1). Kuviossa 1 lämpöenergian siirtyminen on kuvattu punaisella ja sähköenergian siirtyminen sinisellä. Asuinrakennuksen yhteyteen on sijoitettu NIBE F1255-16 -mallia oleva maalämpöpumppu. Maalämpöpumpulla lämmitetään asuinrakennuksen

tiloja sekä tuotetaan lämmintä käyttövedettä sekä asuinrakennuksen että navetan käyttöä varten. Navetassa on erillinen lämminvesivaraaja, joka lämmittää maalämpöpumpulta tulevan lämpimän veden edelleen 80 °C:seen. Pajalla olevaa ilmalämpöpumppua käytetään talvikuukausina lämmitämään pajan sisätiloja. Muina aikoina pajalla ei ole tilojenlämmitystarvetta.

Tilakeskuksen sähköpääkeskus sijaitsee navetan yhteydessä. Sähköpääkeskuksesta pystytään lukemaan koko tilakeskuksen sähkönkulutus. Sekä asuinrakennuksessa että pajalla on kuitenkin omat sähkömittarit. Muissa rakennuksissa, eli kylmissä varastotiloissa ja pihasaunassa, sähkönkulutus keskittyy pääasiassa valaistukseen, ollen melko vähäistä ja satunnaista.

1.4 Tiedonhankinta, luotettavuus ja eettisyys

Opinnäytetyössä tarvittu aineisto perustui suurelta osin toimeksiantajalta saatuihin kulutus- ja toimintatietoihin sekä havainnointiin. Kulutustiedot olivat selvitettävissä sähkö- ja vesimittareista sekä sähköyhtiön verkkopalvelusta. Järjestelmien mitoitusta ja suunnittelua varten sopiva asennuspaikka tutkittiin yhdessä toimeksiantajan kanssa. Työn tulosten luotettavuuteen vaikuttaa mahdollisimman tarkat lähtötiedot. Tietoperusta on koottu käyttäen lähteinä mahdollisimman ajankohtaisia teoksia ja aineistoja. Tiedonhankinnassa luotettavuuteen on pyritty käyttämällä alkuperäislähteitä.

Opinnäytetyö on toteutettu JAMKin eettisiä periaatteita noudattaen. Työssä ei ole mainittu toimeksiantajaa viralliselta nimeltään, siitä syystä, että sitä ei nähty tarpeellisena työn tuloksen kannalta. Kuitenkin kaikki järjestelmien mitoitukseen tarvittavat tiedot, kuten tilan maantieteellinen sijainti on kerrottu.

1.5 Menetelmäkuvaus

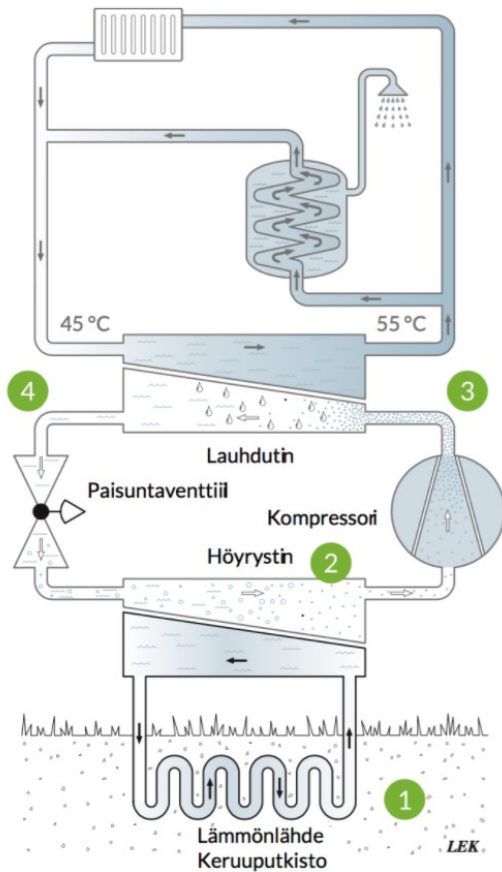
Opinnäytetyön luonne vastaa tutkimuksellista kehittämistoimintaa. Siinä käytännön ongelmia ja kysymyksiä lähestytään tutkimukselle ominaisin menetelmin ja asetelmin. Tutkimuksellisessa kehittämisessä tavoitteena on saavuttaa konkreettisia muutoksia, tutkimuksen ollessa avustavassa asemassa. Kehittämisellä pyritään asioiden käytännölliseen korjaamiseen, parantamiseen ja edistämiseen. Kehittämistoiminnan onnistuessa, tulokset ja kehittäminen saattavat levitä myös muiden toimijoiden käyttöön. (Toikko & Rantanen 2009.)

Opinnäytetyön tavoitteet oli parhaiten ratkaistavissa tapaustutkimuksen periaatteita hyödyntämällä työssä kehitettävän kohteen yksilöllisyyden vuoksi. Tapaustutkimus on yhdistelmä useista tutkimusmenetelmistä, kuten laadullisesta ja määrällisestä tutkimuksesta. Kehittämistyön aihe täytti tapaustutkimuksen ominaispiirteitä, muun muassa ajankohtaisuuden, tutkijan vähäiset vaikutusmahdollisuudet tapahtumiin sekä kysymyksien mitä, miten ja miksi esiintyminen. (Eriksson & Koistinen 2005.)

2 Maalämpö

Maalämpö on maaperästä kerättävää auringon lämpösäteilyyn ja geotermiseen lämpöön perustuva lämpöenergiaa. Tavallisimmin maalämpökohteissa lämpö kerätään syvästä lämpökaivosta tai vaakatasoon asennetusta lämmönkeruuputkistosta. Vesistöjen läheisyydessä on vaihtoehtona myös asentaa vaakasuora lämmönkeruuputkisto vesistöön, jolloin kerättävä lämpö on peräisin vedestä. (Lämpöä omasta maasta 2012, 2.) Kohteessa maalämpöpumpun lämmönkeruupiiri on asennettu vaakatasoon noin yhden metrin syvyyteen.

Maalämpöpumpun toiminta perustuu lämmön siirtoon viileämmästä tilasta lämpimämpään tilaan eli maaperästä rakennuksen lämmitysjärjestelmään (Lämpöä omasta maasta 2012, 2–3.) Maaperän lämpö sitoutuu lämmönkeruuputkistossa kiertävään jäätymättömään keruunesteeseen, joka kulkeutuu maalämpöpumpun höyrystimelle ja siitä takaisin keruupiiriin. Lämmennyt keruuneste kohtaa höyrystimellä maalämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen, joka höyrystyy keruunesteestä saatavan lämmön avulla. Höyrystyneen kylmäaineen lämpötila nousee lauhduttimelle mennessä, kompressorilla suoritettuna paineen noston seurauksena. Lauhduttimella höyrystynyt kylmäaine lauhdutetaan takaisin nesteeksi, jonka seurauksena lämpöä vapautuu rakennuksen lämmönjakoverkkoon sekä lämpimään käyttöveteen. (Maalämpöpumppu (MLP) n.d.)



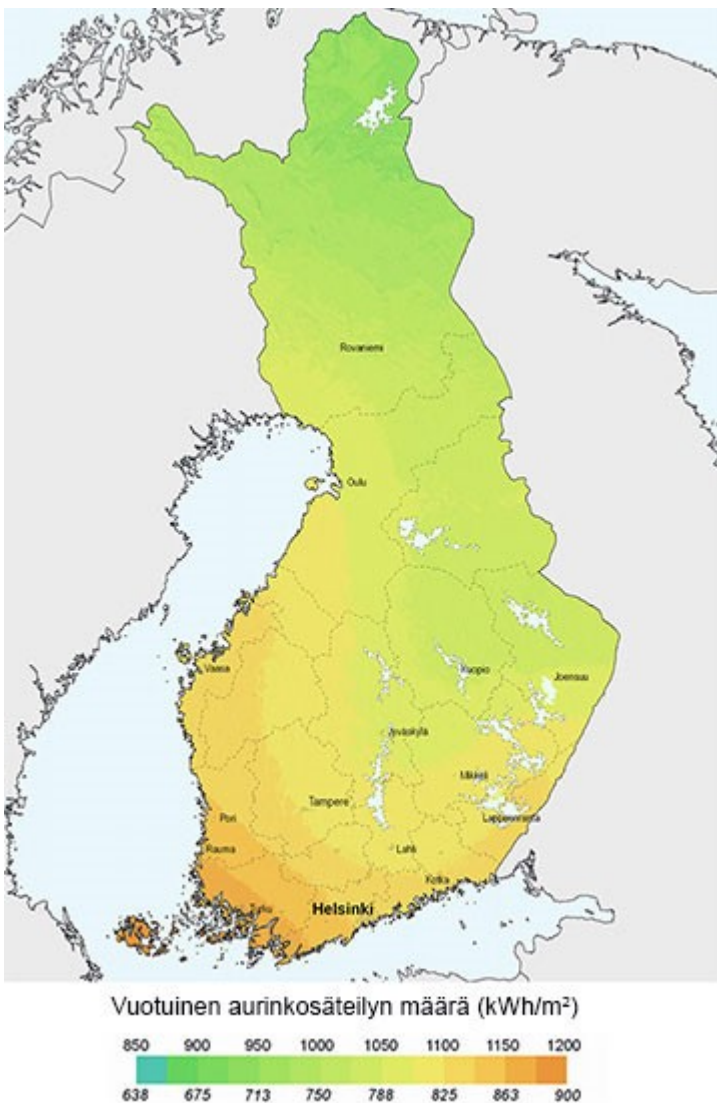
Kuvio 2. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Maalämpö n.d.)

3 Aurinkoenergia

3.1 Tietoa auringosta

Aurinko on pääasiassa vedystä ja heliumista muodostunut tähti, josta vapautuu energiaa fuusioreaktion aiheuttaman massamuutoksen seurauksena. Fuusioreaktiossa kaksi vetyatomiydintä yhtyy heliumatomiksi. Vapautuvan energian määrä eli Auringon kokonaisteho on $3,8 \times 10^{23}$ kilowattia, josta maapallolle päätyy $1,7 \times 10^{14}$ kilowattia. Maapallolle päätyvä aurinkoenergia on monituhattainen verrattuna ihmiskunnan kuluttamaan energiaan. Ilmakehän ulkopuolella olevalle auringon säteilyä vastaan kohtisuoralle pinnalle lankeavasta säteilytehosta puhutaan aurinkovakiona. Aurinkovakion suuruus on keskimäärin $1,368 \text{ kW/m}^2$. (Erat, Hänninen, Nyman, Rasinkoski, Wiljan-der & Tahkokorpi 2016, 12–13.)

Auringon säteilyä tulee maanpinnalle suorana säteilyinä, hajasäteilyinä ja heijastuksina. Säteily voidaan luokitella kolmeen tyyppiin: näkyviin valosäteilyyn, infrapunaisiin lämpösäteilyyn ja ultraviolettisäteilyyn. Säteilyn määrään ja laatuun vaikuttaa vuorokauden aika ja vuodenaika, joiden seurauksena talvisin sekä aamuisin ja iltaisin saadaan vähemmän säteilytehoa kuin keskipäivällä ja kesäaikana. Suomessa auringon säteily määrä on optimaaliseen asentoon asennetuilla järjestelmillä pääosin noin 1000 kWh/m², ollen kuitenkin hieman suurempi eteläisessä Suomessa ja rannikkoalueilla (ks. kuvio 3). Ilmakehä toimii suodattimena auringonsäteille, rajoittamalla muun muassa haitallisen ultraviolettisäteilyn määrää. Ilmakehä ja siellä olevat kaasut, vesihöyry ja epäpuhtaudet rajoittavat kuitenkin myös muun säteilyn pääsyä maapallolle heijastamalla säteilyä avaruuteen. (Erat ym. 2016, 13–14, 28.)



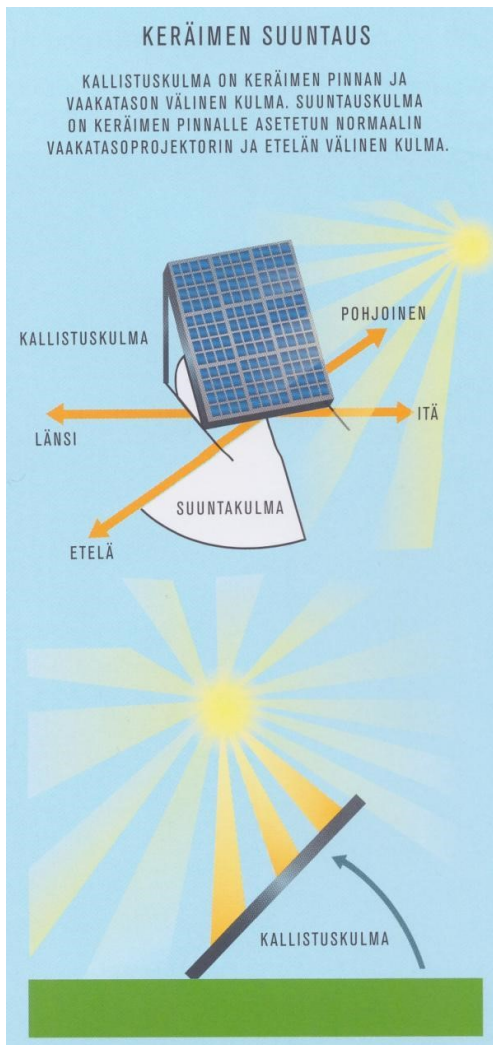
Kuvio 3. Auringon säteily määrä Suomessa (Aurinkopaneelit kotiin 2022)

3.2 Aurinkoenergiajärjestelmän sijoittelu

Aurinkoenergialaitteiden sijoittamiselle on tarkat ohjeistukset, joita noudattamalla saavutetaan mahdollisimman suuri tuottopotentiaali. Kohteen maantieteellinen sijainti toimii avainasemassa laitteiden sijoittamista suunniteltaessa. Maantieteellisen sijainnin perusteella voidaan arvioida laitteille optimaalinen suunta sekä kallistuskulma ja sopiva asennusalue. Mahdolliset muista rakennuksista, puustosta tai esteistä syntyvät varjostukset vaikuttavat asennusalueeseen, jolloin aurinkoenergialaitteet kannattaa sijoittaa varjostuksen ulkopuoliselle alueelle eli korkeammalle tai kauemmas. (Erat ym. 2016, 17.)

Suurin osa asennettavista aurinkoenergialaitteista asennetaan kiinteäkulmaisina. Kiinteäkulmaisuus tarkoittaa sitä, että laitteet suunnataan kohteelle optimaaliseen ilmansuuntaan ja kallistuskulmaan. Laitteiden suuntauksesta ilmansuuntaan nähden puhutaan atsimuuttikulmana. Yleinen tapa on suunnata laitteet päiväntasaajan suuntaan eli etelään, mutta kohteesta ja kulutuksesta riippuen energiantuottoa voidaan optimoida muuttamalla suuntausta joko länteen tai itään. Auringon liikkeiden mukaan itään suunnatut laitteet tuottavat enemmän energiaa aamulla auringon noustessa ja länteen suunnatut enemmän illalla auringon laskiessa. Mikäli aurinkoenergiajärjestelmällä tavoitellaan ympärivuotista tuottoa, kannattaa laitteet suunnata korkeintaan 45° etelästä kohti itää tai länttä eli lounaaseen tai kaakkoon. (Erat ym. 2016, 17–18.)

Kallistuskulma kertoo laitteen kaltevuuskulman vaakatasoon nähden. Kallistuskulman suuruuteen vaikuttaa vuodenaikojen mukaan vaihteleva auringon ja horisontin välinen etäisyys. Tyypillisesti Suomessa optimaalinen kallistuskulma on lähellä 45°:tta eli yleisen laskentatavan mukaan noin 20°:tta vähemmän kuin kohteen leveysaste. Suomessa leveysasteet ulottuvat noin 60°:sta lähes 70°:seen. Auringon säteiden ja laitteen pinnan ollessa keskenään kohtisuorassa, tulokulman ollessa 0°, on laitteella energiantuotannon kannalta optimaalinen kulma. Kiinteäkulmaisilla laitteilla tämä tulokulma saavutetaan korkeintaan kaksi kertaa vuodessa. (Erat ym. 2016, 18, 23.) Kuviossa 4 on kuvattu aurinkoenergialaitteiden suuntaus.



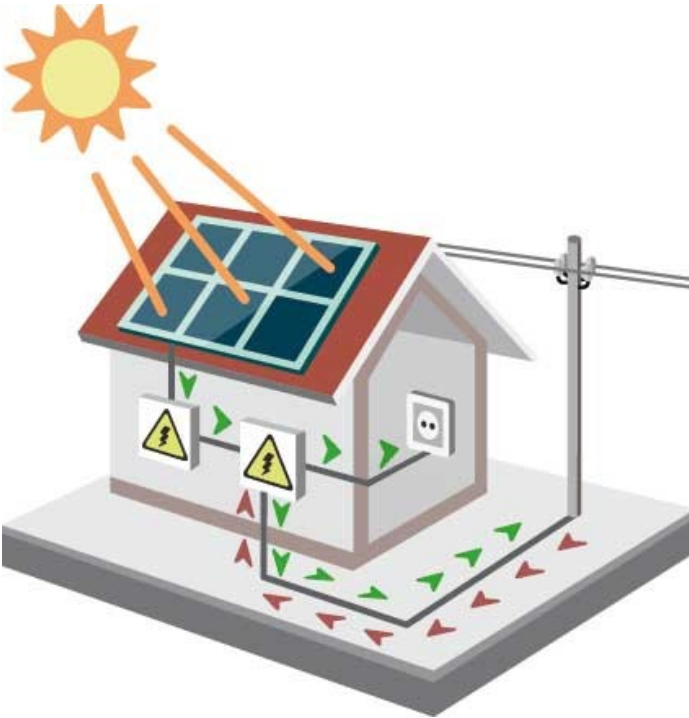
Kuvio 4. Aurinkoenergialaitteiden suuntaus (Aurinkoenergia Suomessa 2016)

Aurinkoenergialaitteiden suuntaukseen liittyviä haasteita varten on kehitetty seurantalaitteita, jotka säätävät sovelluksesta riippuen aurinkoenergialaitteiden suuntaa sekä kallistuskulmaa tai ainoastaan jompaa kumpaa. Seurantalaitteiden avulla pystytään hyödyntämään mahdollisimman paljon laitteelle tulevaa säteilyä, erityisesti kesäaikana pitkän valoisan ajan takia. Teoreettisesti tarkasteltuna seurantalaitteen asentaminen aurinkoenergialaitteiden yhteyteen voi lisätä tuottoa jopa 60 %. On kuitenkin otettava huomioon, että seurantalaitteet vaativat sähköenergiaa, jonka takia seurantalaitteiden avulla lisääntyvä tuotto ei yllä niin suuriin lukemiin. (Erat ym. 2016, 18.)

3.3 Aurinkosähkö

Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentteja ovat aurinkopaneelit sekä invertteri eli vaihtosuuntaajaa verkkoon kytketyissä järjestelmissä tai sähkövarasto verkkoon kytkemättömissä järjestelmissä. Verkkoon kytketyissä järjestelmissä varsinaista sähkövarastoa ei välttämättä tarvita, vaan sen sijaa voi toimittaa esimerkiksi lämminvesivaraaja tai lattialämmitys. Aurinkopaneelit koostuvat useista yksittäisistä sarjaan kytketyistä aurinkokennoista, jotka on koottu ilmatiiviin ja kehystetyn lasin alle. Kytkemällä useita aurinkopaneeleita yhteen, saadaan haluttu ulostuloteho. (Erat ym. 2016, 137.) Aurinkokennojen materiaalina käytetään pääasiassa yksikiteistä tai monikiteistä piitä. Toinen merkittävä teknologia ohutkalvokennot, joissa edullisemmän materiaalin, kuten ruostumattoman teräksen tai muovin päälle lisätään ohuita kerroksia valoherkkää ainetta. (Aurinkosähköteknologiat 2022.)

Aurinkosähköjärjestelmän toiminta perustuu optimaaliseen paikkaan asennettuihin aurinkopaneelisiin, jotka muuttavat auringon säteilyenergian sähköenergiaksi. Aurinkopaneelien tuottama sähkö on tasasähköä, joka voidaan sellaisenaan käyttää tasasähköä vaativissa kohteissa, mutta järjestelmän ollessa kytkettynä sähköverkkoon, pitää tasasähkö muuttua vaihtosähköksi invertterin avulla. (Erat ym. 2016, 161.)



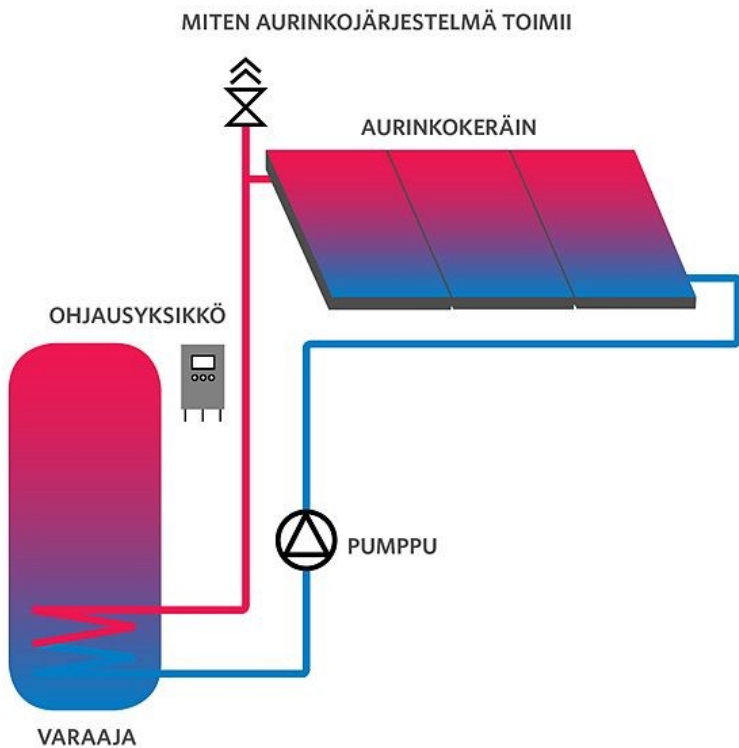
Kuvio 5. Aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate (Aurinkosähköjärjestelmät n.d.)

3.4 Aurinkolämpö

Auringon säteilyenergiasta peräisin olevaa lämpöä voidaan hyödyntää passiivisesti tai aktiivisesti. Puhutaan passiivisesta hyödyntämisestä, kun aurinkoenergiaa käytetään ilman erillisiä laitteita. Tällöin auringosta peräisin oleva lämpö varastoituu rakennusten rakenteisiin. Aurinkoenergian passiivisen hyödyntämisen suuruuteen vaikuttaa muun muassa rakennuksen maantieteellinen sijainti, suuntaus aurinkoon nähden, ikkunoiden määrä ja koko sekä käytetyt rakennusmateriaalit. (Erat ym. 2016, 55–57.)

Aurinkoenergian aktiivinen hyödyntäminen perustuu erillisiin teknologisiin järjestelmiin. Auringon säteilyenergia kerätään talteen aurinkokeräinten avulla, joka muuttaa säteilyn lämmöksi. Järjestelmästä riippuen saatu lämpö kuljetetaan lämmönsiirtoaineen eli veden, pakkasnesteen tai ilman välityksellä tavallisimmin varastoon tai suoraan käyttöön. Aurinkolämpöjärjestelmän teknologiaan vaikuttaa järjestelmän lämmönsiirtoaine. (Erat ym. 2016, 77–80.) Tyypillisesti aurinkolämpöjärjestelmä sisältää aurinkokeräimet, lämmönsiirtoverkoston ja siinä olevan pumpun ja ohjauksyksikön sekä lämpövaraajan. Lämmönsiirtoaineen mukana kulkeutuva lämpö siirretään lämpövaraajaan,

jonka alaosassa sijaitseva aurinkolämpökierukka lämmittää varaajassa olevan kylmän veden. Lämmönsiirtoaineen luovutettua sitomansa lämmön, se pumpataan takaisin aurinkokeräimeen. Järjestelmän ohjauksikön tehtävänä on säätää aurinkokeräinten ja lämpövaraajan vesisäiliön lämpötilaeron perusteella pumpun tehoa. (Aurinkolämpöjärjestelmät 2020.)



Kuvio 6. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate (Aurinkolämpöjärjestelmät 2020)

Nestekiertoisia aurinkokeräimiä on kahden tyyppisiä: tasokeräimiä ja tyhjiöputkikeräimiä. Tasokeräimien toiminta perustuu tummaan, tasaiseen elementin pintaan, joka absorboi suurimman osan siihen osuvasta auringon säteilystä muuttaen säteilyn lämmöksi. Yleisesti aurinkokeräimen materiaalina käytetään metallia, mutta myös lämpöä kestäviä muoveja. Katetuissa keräimissä katemateriaalina on erikoispinnoitettu lasi tai muovi. (Tasokeräimet 2020.) Tyhjiöputkikeräimissä lämmönkeruuputkisto sijaitsee tyhjiöksi imetyn, samalla eristeenä toimivan lasiputken sisällä.

Lämmönsiirto tyhjiöputken ja lämmönsiirtonesteen välillä tapahtuu joko läpivirtausperiaatteella tai suljetussa Heat Pipe-lämpöputkessa. Läpivirtausperiaatteen mukaisessa lämmönsiirrossa lämmönsiirtoneste virtaa u-muotoisessa putkessa tai sisäkkäin olevien putkien kokonaisuudessa. Suljetussa lämpöputkessa lämmönsiirtoneste höyrystyy kuljettaen samalla sitomaansa lämpöä lämmönsiirtimeen. (Tyhjiöputkikeräimet 2020.)

Nestekiertoisten aurinkokeräinten lisäksi on ilmakiertoisia keräimiä, joissa lämmönsiirtoaineena on ilma. Toimintaperiaatteeltaan ilmakeräimet ovat samanlaisia kuin nestekiertoiset keräimet, mutta lämmönsiirtoaineen ollessa ilmaa, käytetään lämmönsiirrossa puhallinta pumpun sijasta. (Ilmakeräimet 2020.)

4 Investointilaskenta

4.1 Investoinnit

Investoinnit ovat yleensä suurempia hankkeita, joilla on vaikutusta pitkäaikaisesti yrityksen toimintaan. Investointeja on luokiteltu eri tavoilla, hankkeen luonnon mukaan. Järvenpää, Länsiluoto, Partanen ja Pellinen (2017, 373) luokittelevat investoinnit aluksi finanssi- ja reaali-investointeihin, jonka jälkeen reaali-investoinnit ryhmitellään vielä neljään eri kategoriaan. Finanssi-investoinnit sisältävät raha- ja osakemarkkinoilla tehdyt investoinnit, kun taas reaali-investoinnit tuotannon- ja tuotantokäyttöihin vaikuttavat investoinnit. Neljä ryhmittelykategoriaa reaali-investoinneille ovat laajennusinvestoinnit, korvausinvestoinnit, pakolliset ja muut tuottamattomat investoinnit sekä tutkimusta ja tuotekehitystä varten tehtävät investoinnit. Näiden kategorioiden lisäksi Ikäheimo, Malmi ja Walden (2019, 176) esittelevät yhdeksi kategoriaksi kustannuksia säästävät investoinnit. Tässä opinäytetyössä tutkittu investointi kuuluisi korvausinvestointeihin, koska tavoitteena oli säästää kustannuksissa (Ikäheimo, Länsiluoto, Partanen & Pellinen 2017, 374). Ikäheimon ja muiden (2019, 176) teokseen viitaten, kyseessä olisi heidän esittämän kategorisoinnin mukaan kustannuksia säästävä investointi.

4.2 Investointilaskentamenetelmät

Nettonykyarvo

Nettonykyarvomenetelmässä, (NPV, Net Present Value), kaikki arvioidut kassavirrat saatetaan vertailukelpoisiksi diskonttaamalla maksut samaan hetkeen, joka on usein investoinnin alkuajankohta. Kassavirralla tarkoitetaan kustannusten ja hankintamenon erotusta syntyneistä tuotoista. Menetelmä kertoo investoinnin tuottaman lisäarvon yritykseen. (Järvenpää, Länsiluoto, Partanen & Pellinen 2017, 381.) Laskentakorkokanta on tavoitteellinen arvo, joka voi olla esimerkiksi markkinaperusteinen tai investointia harkitsevan tahon tuottotavoite (Pellinen 2019, 175–176).

Laskentakorkokantana voidaan käyttää myös samantyyppisille hankkeille muualla käytettyjä korkokantoja. Nettonykyarvomenetelmä on tulkinnaltaan yksinkertainen, koska menetelmän mukaan investointi on kannattava, jos laskennassa arvoksi saadaan positiivinen nollaa suurempi luku. Investoinnin kannattavuutta voidaan lisäksi arvioida saadun arvon suuruudella: mitä suurempi luku, sitä kannattavampi investointi. (Järvenpää ym. 2017, 381.) Nettonykyarvo lasketaan kaavalla 1.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF}{(1+i)^t} + \frac{JA_n}{(1+i)^n} - H \quad (1)$$

missä NPV = nettonykyarvo

NCF = (Net Cash Flow), nettokassavirta

i = laskentakorkokanta

t = aika

n = pitoaika vuosina

JA_n = jäännösarvo

H = hankintameno

Sisäinen korkokanta

Sisäisen korkokannan menetelmällä, (IRR, Internal Rate of Return), haetaan laskentakorkokantaa, jolla investoinnin nettokassavirta ja hankintameno ovat samansuuruiset. Sisäisellä korkokannalla voidaan arvioida investoinnin kannattavuus. Investoinnin kannattavuutta arvioidessa sisäistä korkokantaa verrataan investoinnilta edellytettyyn tuottovaatimukseen. Menetelmän perusteella investointia pidetään kannattavana, mikäli sisäinen korko on tuottovaatimusta suurempi. Sisäisen korkokannan menetelmällä ja nettonykyarvomenetelmällä saadut tulokset ovat samansuuntaisia, koska sisäisen korkokannan menetelmän perusteella todettu kannattavuus edellyttää positiivista nettonykyarvoa. Kaava 2 esittää sisäisen korkokannan laskentamenetelmän, joka yleensä kuitenkin lasketaan tietokoneen avulla sen hankaluuden takia. Jos sisäistä korkokantaa laskettaisiin käsin, jouduttaisiin sen arvoja kokeilemaan iteroimalla tai interpoloimalla. Tämä laskutapa voi antaa sisäiselle korolle useita arvoja tai arvoja ei välttämättä löydy lainkaan. (Järvenpää ym. 2017, 384–385.)

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{NCF}{(1+IRR)^t} + \frac{JA_n}{(1+IRR)^n} - H \quad (2)$$

missä IRR = investoinnin tuotto sijoitetulle pääomalle prosentteina

NCF = nettokassavirta

t = aika

n = pitoaika vuosina

JA_n = jäännösarvo

H = hankintameno

Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajanmenetelmällä saadaan laskettua investoinnin hankintahinnan ja vuotuisen nettokassavirran osamääränä hankintahinnan saavuttamiseen kulunut aika kaavan 3 mukaisesti. Saadun takaisinmaksuajan perusteella kannattavuutta voidaan verrata esimerkiksi ennakkoon asetettuihin maksimitakaisinmaksuaikoihin. Yksinkertaisesti sanottuna takaisinmaksuajanmenetelmällä investointi on sitä kannattavampi mitä lyhyempi takaisinmaksuaika on ja vastaavasti kannattavuus laskee takaisinmaksuajan pidentyessä. (Ikäheimo, Malmi & Walden 2019, 183–184.) Laskuna takaisinmaksuaika on yksinkertainen ja helppo, mutta se harvoin antaa yksinään realistista kuvaa kannattavuudesta, koska siinä ei oteta huomioon takaisinmaksuajan jälkeen syntyviä kassavirtoja. Takaisinmaksuaika voidaan laskea myös diskontatuilla kassavirroilla eli korot huomioiden, joka kuitenkin pidentää takaisinmaksuaikaa. (Pellinen 2019, 176.)

$$Takaisinmaksuaika = \frac{H}{vuotuinen\ NCF} \quad (3)$$

missä NCF = nettokassavirta vuodessa

H = hankintameno

5 Energiankulutus lypsykarjatilalla

5.1 Lämpöenergia

Lämpimän käyttöveden tehokas saanti on karjanhoidossa elintärkeää laadukkaan ja hygieenisen maidontuotannon takaamiseksi. Lypsyn aikana lämmintä käyttövettä kuluu lähinnä erilaisiin pesu-veisiin, kuten lypsykoneen puhdistamiseen. Lämpimän käyttöveden tarve on karjanhoidossa melko tasaista ympärivuotisen tarpeen takia.

Navetassa olevan erillisen 100 litran lämminvesivaraajan yhteyteen on asennettu lämpimän veden kulutusta mittaava vesimittari, josta keskimääräisesti laskettuna vuorokausikulutukseksi saatiin noin 280 litraa. Vuositasolla lämpimän veden kulutus on noin 100 m³. Navetan tämänhetkinen lämminvesivaraaja lämmittää maalämpöpumpulta tulevan noin 55 °C:sen veden 80°:seen hygienian takaamiseksi. Lypsykoneen pesujärjestelmässä on lisäksi oma sähkövastus, joka lämmittää sen tarvitseman veden vielä kuumemmaksi.

Maalämpöpumpussa on noin 180 litran lämminvesivaraaja. Asuinrakennuksessa kulutettavan lämpimän veden määrä arvioitiin Suomen rakentamismääräyskokoelman (Energiatehokkuus 2018, 27) ominaiskulutukseen perustuvaa menetelmää hyödyntäen kaavalla 4. Lämpimän veden vuorokausikulutukseksi asuinrakennuksessa saatiin 100 litraa, joka on vuositasolla laskettuna 36,50 m³.

$$V_{LKV} = n * V_{LKV,omin,henk} * \Delta t \quad (4)$$

missä V_{LKV} = lämpimän veden kulutus [m³]

n = henkilöiden lukumäärä [-]

$V_{LKV,omin,henk}$ = lämpimän veden ominaiskulutus henkilöä kohti [dm³]

Δt = ajanjakson pituus vuorokausina [-]

Navetan ja asuinrakennusten yhteenlaskettu lämpimän veden kulutus on vuorokaudessa noin 380 litraa ja vuodessa noin 140 m³. Navetan osuudeksi kokonaiskulutuksesta saatiin 74 %. Maalämpö-

pumpulta saatujen lämmöntuotantotietojen perusteella pumpulla on tuotettu sen elinkaaren aikana yhteensä noin 96 000 kWh lämpöenergiaa, josta noin kolmasosa eli 33 000 kWh on lämmintä käyttövettä. Lämmintä käyttövettä on tuotettu laskennallisesti 20,50 kWh, josta navetan osuudeksi saadaan 15,20 kWh. Vuodessa lämpimän käyttöveden kokonaistuotto on noin 7500 kWh, josta navetan osuus on noin 5500 kWh. Tarkemmat maalämpöpumpusta kerätyt tiedot on koottu liitteeseen 1 ja lämpöenergiaan liittyvät tarkastelut liitteeseen 2.

5.2 Sähköenergia

Koko tilakeskuksen sähkönkulutusta tarkasteltiin viimeisen viiden vuoden ajalta, vuodesta 2018 vuoteen 2022. Vuosikulutuksista laskettiin keskiarvo ja tulokseksi saatiin noin 52 000 kWh (ks. liite 4). Lämpöpumpun ostoenergiankulutus laskettiin käyttäen lämpöpumppujen energialaskentaoppaasta (2012, 10) löytyvää menetelmää, koska kohteesta ei saatu eriteltyä lämpöpumpun käyttämää energiaa. Tuotetun lämmitysenergian lukuarvoina käytettiin maalämpöpumpulta saatujen tuottotietojen perusteella laskettuja arvoja. SPF-luvut saatiin lämpöpumppujen energialaskentaoppaan taulukosta 6 (2012, 11). Maalämpöpumpun menoveden lämpötilan maksimiarvona on käytetty 50 °C:tta ja lämpimän käyttöveden maksimiarvona 60 °C:tta. Kaavalla 5 laskettuna maalämpöpumpun vuorokausittaiseksi ostoenergiankulutukseksi saatiin 23,5 kWh ja vuosittaiseksi kulutukseksi noin 8575 kWh. Ostoenergiankulutuksen osuus lämpimän käyttöveden tuotannossa pysyy samana ympärivuotisesti, säännöllisen lämpimän käyttöveden tarpeen takia. Talviaikana tilojen lämmitykseen kuluva osuus on suurempi kuin kesäaikana. Sähkönkulutukseen liittyvät tarkemmat tarkastelut on esitetty liitteessä 3.

$$W_{LP,lämmitys} = \frac{Q_{LP,lämmitys,tilat}}{SPF_{tilat}} + \frac{Q_{LP,lämmitys,LKV}}{SPF_{LKV}} \quad (5)$$

missä $W_{LP,lämmitys}$ = lämpöpumpun sähköenergiankulutus [kWh]

$Q_{LP,lämmitys,tilat}$ = lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia [kWh]

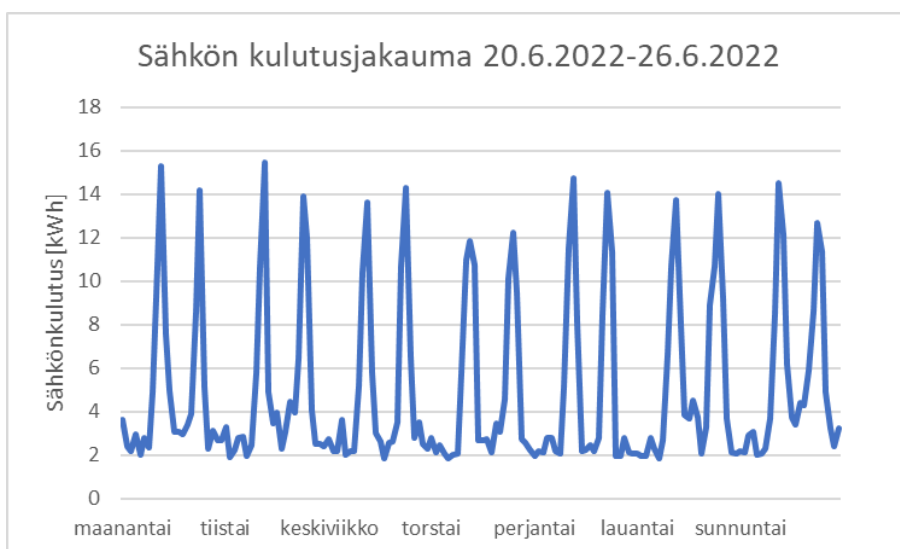
$Q_{LP,lämmitys,LKV}$ = lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia [kWh]

SPF_{tilat} = lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä [-]

SPF_{LKV} = lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä [-]

Asuinrakennuksen sähköenergiankulutusta seurattiin 28 päivän ajan, jolloin sähkönkulutukseksi mitattiin noin 1530 kWh. Laskennallisesti vuorokauden kulutukseksi saatiin noin 54,60 kWh, josta asuinrakennuksessa tapahtuva kulutus saatiin vähentämällä maalämpöpumpun ostosähkönkulutus. Asuinrakennuksen sähköenergiankulutukseksi saatiin 31,10 kWh vuorokaudessa ja 11 340 kWh vuodessa. Asuinrakennuksen sähkönkulutus muodostuu muun muassa kodinkoneista, valaistuksesta, sähköisestä lattialämmityksestä sekä saunasta. Navettaan kohdistuva sähköenergiankulutus saatiin vähentämällä kulutuksen vuosikeskiarvosta asuinrakennuksen ja maalämpöpumpun vuosikulutukset sekä tilakeskuksessa sijaitsevan pajan arvioitu vuosikulutus, joka on noin 3000 kWh. Navetan vuosikulutukseksi saatiin noin 28 000 kWh.

Sähköenergian kulutusjakauma noudattaa hyvin samanlaista trendiä ympärivuotisesti joka vuorokausi. Kuviossa 7 on havainnollistettu kesäviikon sähköenergiankulutusta. Kesäaikana sähkötehon vähimmäistarve eli pohjakuorma on keskimäärin 2 kWh, joka kuluu muun muassa maalämpöpumpun sekä jatkuvakäyttöisten sähkölaitteiden, kuten kylmälaitteiden ja kierrätysilmapuhaltimien toimesta. Vuorokauden aikana ilmenee kaksi kulutushuippua, aamuisin noin kello 9–10 sekä ilta-päivisin noin kello 18–19. Kulutushuiput eli maksimikuormat aiheutuvat aamu- ja iltalypsyjen aikana, jolloin sähköä kuluttavat erityisesti lypsykone, maidon jäähdytys, lantakone, lisääntyvä lämpimän käyttöveden tarve sekä valaistus. Kulutushuiput ovat keskimäärin noin 16 kWh.



Kuvio 7. Sähköenergian kulutusjakauma kesäviikon ajalta.

6 Mitoitus

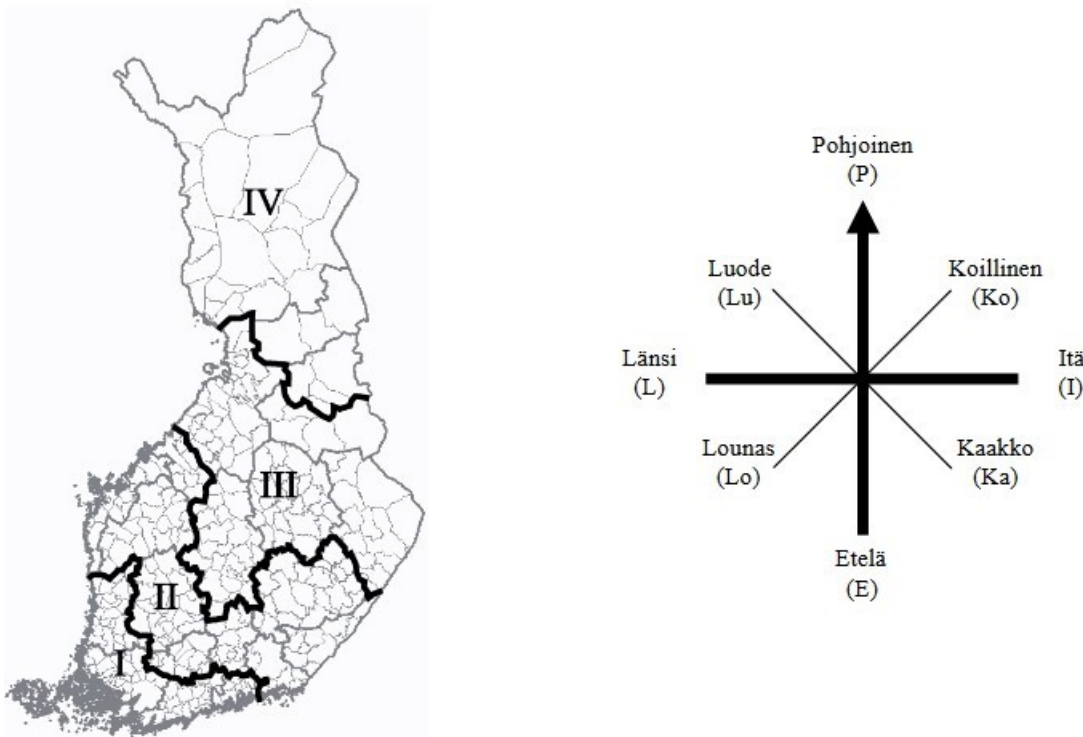
6.1 Mitoituksen lähtökohdat

Molemmille tutkittaville aurinkoenergiajärjestelmille on suunniteltu sijoituspaikaksi kuviossa 5 punaisella merkitty kohta. Aurinkoenergiajärjestelmien mitoituksessa tärkeänä osana on selvittää järjestelmälle sopivan kokoinen alue, jossa olisi mahdollisimman vähän energiantuottoa haittaavia varjostuksia (Erat ym. 2016, 177). Maahan asennettuna aurinkopaneeleilla ja aurinkokeräimillä tuotettava energia saadaan optimoitua vapaan suuntauksen avulla. Tilakeskuksessa navetan ja asuinrakennuksen harjakattojen lappeet sijoittuvat lounaan ja koillisen väliselle akselille, jolloin kattoasennuksena järjestelmille ei saada optimaalista suuntausta. Aurinkoenergiajärjestelmiä ei ole myöskään mahdollista asentaa seinille rakennusten mataluuden ja vähäisen vapaan seinäpinta-alan takia. Punaisella merkitylle paikalle paistaa aurinko varjottomasti lähes koko päivän.



Kuvio 8. Ilmakuva tilakeskuksesta, muokattu (Paikkatietoikkuna 2018)

Sekä aurinkosähköjärjestelmän että aurinkolämpöjärjestelmän mitoituksessa on noudatettu pääasiassa Suomen rakentamismääräyskokoelman osaan D5 liittyvää aurinkolämmön ja -sähkön energiantuoton laskennan opasta, Aurinko-opasta (2012). Lisäksi on käytetty rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta opasta (2018), jonka avulla on laskettu muun muassa lämmitysenergian nettotarve (ks. kaava 10). Energiantuotannon laskemisessa olennaisessa asemassa on mitoitettavan kohteen maantieteellinen sijainti, joka määrittää säävyöhykkeen mukaisesti muun muassa lämpötila- ja säteilytietoja. Tässä työssä mitoitettava kohde sijaitsee Aurinko-opaan mukaisesti Jyväskylän kanssa samalla säävyöhykkeellä ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti vyöhykkeellä 3 (ks. kuvio 9). Kaikki mitoitukseseen liittyvät laskut on laskettu sekä kuukausi- että vuositasolla, mahdollisimman tarkkojen tulosten saavuttamiseksi.



Kuvio 9. Suomen säävyöhykkeet (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012)

6.2 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelun ja mitoituksen perusteena on sähkönkulutustiedot. Jos järjestelmää suunnitellaan olemassa olevaan rakennukseen, on tuntikohtainen sähkönkulutus hyö-

dyllistä hankkia, jotta saadaan järjestelmä mitoitettua mahdollisimman sopivaksi. Uudisrakennuksissa mitoitustiedoiksi otetaan käyttö- ja kulutusprofiilit verrattavissa olevasta rakennustyyppistä. Aurinkosähköjärjestelmä tulisi mitoittaa siten, että mahdollisimman suuri osa tuotetusta energiasta voitaisiin hyödyntää itse. Kokonaistuotantoon verrattuna korkeassa omakäyttöasteessa sähköverkkoon myytävää energiaa jää vähän, jos lainkaan. (Sähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän mitoitus, 2022.)

Aurinkosähköjärjestelmä mitoitetaan erityisesti valoisan ajan eli huhtikuun ja syyskuun välistä kulutusta tarkastellen (Erat ym. 2016, 167). Järjestelmän mitoitus riippuu siitä, millaiseen tarkoitukseen järjestelmä olisi suunnitteilla. Yleisimmät mitoitukset ovat pohjakuormaan perustuva mitoitus, jolloin käytännössä kaikki tuotettu sähköenergia jää omaan käyttöön, sekä kulutushuippuihin eli maksimikuormaan perustuva mitoitus, jonka tarkoituksena on kattaa kulutushuiput.

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta tutkittiin kahden mitoitusvaihtoehdon kautta. Ensimmäinen vaihtoehto on mitoitettu kesäajan sähkönkulutuksen keskimääräiselle pohjakuormalle. Pohjakuormalle mitoitettu järjestelmä kohtaa hyvin maalämpöpumpun sähköenergiantarpeen, joka on laskennallisesti korkeintaan noin 24 kWh vuorokaudessa kesäaikana. Toinen vaihtoehto on mitoitettu kesäajan sähkönkulutuksen maksimikuormalle. Maksimikuormalle mitoitettu vaihtoehto vastaa kokonaiskulutukselle mitoitettavaa järjestelmää. Pohjakuormaan ja maksimikuormaan perustuvat järjestelmäkoot on saatu jakamalla kuormat 80 %:lla, joka tarkoittaa sitä, että Suomen olosuhteissa huipputeho 25 vuoden pitoajalla on noin 80 % laitteiden nimellistehosta (Aurinkosähköjärjestelmän teho, 2022).

Vertailuun valittujen aurinkosähköjärjestelmien perustiedot ja mitoitusarvot on koottu taulukkoon 1. Vaihtoehto 1 valittiin valmiina pakettiratkaisuna Pohjois-Karjalan Sähkö Oy, PKS:än verkkosivustolta (Aurinkopaneelit, 2023). Vaihtoehdossa 2 mitoitetaan järjestelmä samoille Trina Solar TSM DE09 400W - paneeleille, joita myös PKS käyttää tarjoamissaan järjestelmissä.

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen lähtötietoina on käytetty seuraavia tietoja:

- Tilakeskus sijaitsee Juuan kunnassa eli säävyöhykkeellä 3.
- Aurinkokennojen pinta-ala vaihtoehdossa 1 on 15,4 m² ja vaihtoehdossa 2 97,6 m²
- Aurinkokennot on suunnattu etelään ja kallistettu 45 asteen kulmaan.

- Aurinkokennojen huipputehokertoimana kaikissa lasketuissa vaihtoehdoissa on käytetty arvoa $K_{max} = 0,17 \text{ kW/m}^2$.
- Aurinkokennot on asennettu maahan erilliseen telineeseen, jolloin kennot ovat täysin tuuletettuja.

Taulukko 1. Vertailtavien järjestelmien mitoitusarvot.

| Vaihtoehto 1, pohjakuorma: | | | Vaihtoehto 2, maksimikuorma: | | | |
|---|------|-------------------|---|-------|-------------------|--------------|
| PKS Aurinkotuottaja 3, paketti | | | | | | |
| Trina Solar TSM DE09 400W | | | Trina Solar TSM DE09 400W | | | |
| Nimellisteho | 3,2 | kWp | Nimellisteho | 20 | kWp | |
| Paneelin teho | 400 | W | Paneelin teho | 400 | W | |
| Paneelien määrä | 8 | kpl | Paneelien määrä | 50 | kpl | |
| Paneelien pinta-ala | 15,4 | m ² | Paneelien pinta-ala | 97,6 | m ² | A |
| | | | | | | |
| Huipputehokerroin | 0,17 | kW/m ² | Huipputehokerroin | 0,17 | kW/m ² | K_{max} |
| Referenssisäteilytilanne | 1 | kW/m ² | Referenssisäteilytilanne | 1 | kW/m ² | $F_{käyttö}$ |
| Käyttötilanteen toimivuuskerroin | 0,8 | - | Käyttötilanteen toimivuuskerroin | 0,8 | - | |
| Ilmansuunnan mukainen kerroin | 1 | - | Ilmansuunnan mukainen kerroin | 1 | - | F_1 |
| Kallistuksen mukainen kerroin | 1,2 | - | Kallistuksen mukainen kerroin | 1,2 | - | F_2 |
| Ilmansuunnan ja kallistuksen mukainen kerroin | 1,2 | - | Ilmansuunnan ja kallistuksen mukainen kerroin | 1,2 | - | F_{asento} |
| Maksimisähköteho | 2,61 | kW | Maksimisähköteho | 16,60 | kW | P_{max} |

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus aloitettiin selvittämällä kahden vertailtavan järjestelmän aurinkokennojen tuottama maksimisähköteho kaavan 6 mukaisesti. Aurinko-oppaan taulukosta 10 (2012, 22) saatiin huipputehokertoimen arvo aurinkokennon tyyppin mukaisesti. Mitoitettavat aurinkokennot ovat piipohjaisia yksikiteisiä kennoja, joiden huipputehokerroin on tällöin oppaan mukaisesti jokin arvo $0,12\text{--}0,18 \text{ kW/m}^2$:n välillä. Huipputehokertoimeksi arvioitiin tässä tapauksessa $0,17 \text{ kW/m}^2$.

$$P_{max} = K_{max} * A \quad (6)$$

missä P_{max} = aurinkokennojen tuottama maksimisähköteho [kW]

K_{max} = aurinkokennon tyypistä riippuva huipputehokerroin [kW/m²]

A = aurinkokennon kehuksetön pinta-ala [m²]

Aurinkokennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin lasketaan kaavalla 7. Laskennassa tarvittavien muuttujien F_1 ja F_2 arvot saadaan Aurinko-oppaan taulukoista 8 ja 9 (2012, 21). Aurinkokennot on suunnattu etelään 45 ° kulmassa, jolloin ilmansuunnan mukaiseksi kertoimeksi F_1 saadaan 1 ja kallistuksen mukaiseksi kertoimeksi F_2 saadaan 1,2.

$$F_{asento} = F_1 * F_2 \quad (7)$$

missä F_{asento} = aurinkokennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin [-]

F_1 = aurinkokennon ilmansuunnan mukainen korjauskerroin [-]

F_2 = aurinkokennon kallistuskulman mukainen korjauskerroin [-]

Aurinkokennostoon kohdistuva kokonaissäteilyenergia lasketaan kaavalla 8. Auringon kokonaissäteilyenergian kuukausittaiset arvot vaakasuoralle pinnalle saadaan Suomen rakentamismääräyskoelman osasta D3 (2012, Liite 2, 31). Molemmille tarkasteltaville vaihtoehdoille kokonaissäteilyenergian määrä on yhtenevä. Aurinkokennostoon kohdistuvan kokonaissäteilyenergian suuruus suunnitellussa asennossa kuukausittain on esitetty taulukossa 2.

$$E_{sol} = E_{sol,hor} * F_{asento} \quad (8)$$

missä E_{sol} = aurinkokennostoon kohdistuva auringon kokonaissäteilyenergia [kWh/m²]

$E_{sol,hor}$ = auringon säteilyenergia vaakasuoralle pinnalle (0°) säävyöhykkeen mukaan [kWh/m²]

F_{asento} = aurinkokennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin [-]

Taulukko 2. Kuukausittainen aurinkosähkökennostoon kohdistuva kokonaissäteilyenergia.

| Kuukausi | Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle (0°) | Kennostoon kohdistuva auringon kokonaissäteilyenergia |
|-----------|---|---|
| | [kWh/m ²], kk | [kWh/m ²], kk |
| | $E_{sol,hor}$ | E_{sol} |
| Tammikuu | 5,4 | 6,48 |
| Helmikuu | 20,1 | 24,12 |
| Maaliskuu | 51,9 | 62,28 |
| Huhtikuu | 102,9 | 123,48 |
| Toukokuu | 171,4 | 205,68 |
| Kesäkuu | 159,1 | 190,92 |
| Heinäkuu | 158,2 | 189,84 |
| Elokuu | 113,9 | 136,68 |
| Syyskuu | 71,1 | 85,32 |
| Lokakuu | 25,3 | 30,36 |
| Marraskuu | 7,3 | 8,76 |
| Joulukuu | 3,2 | 3,84 |
| Vuosi | 890 | 1068 |

Aurinkokennojen tuottama sähköenergia lasketaan kaavalla 9. Tarkasteltavien järjestelmävaihtoehtojen sähköenergian tuotot on esitetty taulukossa 3 ja järjestelmillä tuotetun aurinkosähköenergian osuus keskimääräisestä kokonaissähköntarpeesta taulukossa 4.

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{sol} * P_{max} * F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad (9)$$

missä $E_{s,pv,out}$ = aurinkokennojen tuottama sähköenergia [kWh]

E_{sol} = aurinkokennoston kohdistuva auringon kokonaissäteilyenergia [kWh/m²]

P_{max} = aurinkokennojen tuottama maksimisähköteho [kW]

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

I_{ref} = referenssisäteilytilanne, = 1 [kW/m²]

Taulukko 3. Kuukausittaiset aurinkosähköjärjestelmien energiantuotot.

| | Vaihtoehto 1 | Vaihtoehto 2 |
|--------------|---|---|
| Kuukausi | Aurinkosähköjärjestelmän kuukausittainen tuotto | Aurinkosähköjärjestelmän kuukausittainen tuotto |
| | [kWh], kk | [kWh], kk |
| | $E_{s,pv,out}$ | $E_{s,pv,out}$ |
| Tammikuu | 13,55 | 86,05 |
| Helmikuu | 50,45 | 320,28 |
| Maaliskuu | 130,26 | 827,00 |
| Huhtikuu | 258,27 | 1639,65 |
| Toukokuu | 430,19 | 2731,16 |
| Kesäkuu | 399,32 | 2535,17 |
| Heinäkuu | 397,06 | 2520,83 |
| Elokuu | 285,87 | 1814,93 |
| Syyskuu | 178,45 | 1132,94 |
| Lokakuu | 63,50 | 403,14 |
| Marraskuu | 18,32 | 116,32 |
| Joulukuu | 8,03 | 50,99 |
| Vuosi | 2233,78 | 14181,64 |

Taulukko 4. Aurinkosähköenergian osuus energiantarpeesta.

| | Vaihtoehto 1 | Vaihtoehto 2 |
|--------------|--|--|
| Kuukausi | Aurinkosähköenergian osuus energiantarpeesta | Aurinkosähköenergian osuus energiantarpeesta |
| | % | % |
| Tammikuu | 0 % | 1 % |
| Helmikuu | 1 % | 6 % |
| Maaliskuu | 2 % | 15 % |
| Huhtikuu | 5 % | 33 % |
| Toukokuu | 11 % | 67 % |
| Kesäkuu | 12 % | 74 % |
| Heinäkuu | 12 % | 76 % |
| Elokuu | 9 % | 55 % |
| Syyskuu | 6 % | 38 % |
| Lokakuu | 2 % | 11 % |
| Marraskuu | 0 % | 3 % |
| Joulukuu | 0 % | 1 % |
| Vuosi | 4 % | 27 % |

6.3 Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus perustuu pohjimmiltaan lämpöenergian tarpeeseen ja sen vaihteluihin. Energiantarpeen lisäksi tulee selvittää kohteen lämpimän veden kulutus, käytettävissä olevat tilat ja tekniikat, muu lämmitysjärjestelmä sekä mahdollinen lämminvesivaraaja. Perusteita mitoitukselle on monia, kuten tavoiteltava omavaraisuus tai energian hinta. Keskeistä aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuudessa on kohteeseen nähden optimaalinen mitoitus ja järjestelmä, jonka avulla mahdollisimman suuri osa tuotetusta energiasta saadaan hyödynnettyä käyttöpaikassa. (Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus, 2020.) Aurinkolämpöjärjestelmillä pyritäänkin usein tuottamaan noin puolet lämpimän käyttöveden tuottamiseen vaaditusta energiantarpeesta (Erat ym. 2016, 115).

Kohteeseen mitoitettavaksi aurinkolämpöjärjestelmäksi valittiin tyhjiöputkikeräimet, joiden avulla on mahdollisuus tuottaa energiaa tasokeräimiä tehokkaammin, erityisesti korkeampia lämpötiloja tuottaessa (Erat ym. 2016, 95). Aurinkolämpöjärjestelmän mitoituksen yhteyteen haluttiin lisätä uusi hybridilämminvesivaraaja vanhan varaajan tilalle, johon voidaan yhdistää sekä aurinkokeräimet että olemassa oleva maalämpöpumppu. Varaajan koko määritettiin käyttäen nyrkkisääntöä, jonka mukaan etelään suunnattuja tyhjiöputkikeräimiä ja rinnakkaista lämmöntuotantomenetelmää käyttäessä, varaaja voi olla noin 100 litraa keräinneliötä kohti (Erat ym. 2016, 106).

Aurinkokeräimiksi valikoitui kolme kappaletta NN10 tyhjiöputkikeräimiä, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on 3 m². Lämminvesivaraajaksi valittiin NIBE AHPS S300 – hybridivaraaja, joka on suunniteltu erityisesti lämpöpumppujen yhteyteen. Kyseinen lämminvesivaraaja sopii liitettäväksi myös lämmitysteholtaan suureen lämpöpumppuun, jollaisesta kohteen maalämpöpumpussakin on kyse. (NIBE AHPH S300/AHPS S300, n.d.) Järjestelmä haluttiin toimeksiantajan toiveesta mieluummin alimitoittaa kuin ylimitoittaa maalämpöpumpun takia, jolloin aurinkokeräimillä saataisiin tuotettua osa lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarpeesta. Järjestelmää ei haluttu mitoittaa suuremmalle varaajatilavuudelle sen tarpeettomuuden takia. Valittu varaajatilavuus on nykyiseen navetassa sijaitsevaan lämminvesivaraajaan verrattuna jo kolminkertainen.

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoituksen lähtötietoina on käytetty seuraavia tietoja:

- Tilakeskus sijaitsee Juuan kunnassa eli säävyöhykkeellä 3.

- Keräinpinta-ala on 3,0 m².
- Keräimet ovat tyhjiöputkikeräimiä, joiden optinen hyötysuhde on 77 % ja lämpöhäviökerroin 1,576 W/m²K valmistajan ilmoittamien arvojen mukaisesti.
- Keräimet on suunnattu etelään ja kallistettu 45 asteen kulmaan.
- Navetassa lämpimän käyttöveden tarve on noin 280 L/vrk.
- Lämpimän käyttöveden lämpötila on 55 °C:tta ja kylmän veden lämpötila on 5 °C:tta.
- Lämpimälle käyttövedelle ei ole kiertojohtoa eikä putkistoa ole eristetty.
- Varaaja on tilavuudeltaan 270 litraa.

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus aloitettiin selvittämällä lämpimän käyttöveden lämmitysenergian häviötön nettotarve kaavalla 10. Lämpimän käyttöveden kulutus kuukausitasolle on laskettu kertomalla päivittäinen lämpimän käyttöveden kulutus kuukauden päivillä. Lämpimän ja kylmän käyttöveden lämpötilaerona on käytetty 50 °C:tta, koska lämpimän käyttöveden lämpötilan tiedetään olevan 55 °C:tta, mutta kylmän veden lämpötilaa ei tiedetä tarkasti. Siispä kylmän käyttöveden lämpötilaksi on oletettu 5 °C:tta.

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v * c_{pv} * V_{lkv} * (T_{lkv} - T_{kv})/3600 \quad (10)$$

missä $Q_{lkv,netto}$ = lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve [kWh]

ρ_v = veden tiheys, = 1000 [kg/m³]

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti, = 4,2 [kJ/kg K]

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden kulutus [m³]

T_{lkv} = lämpimän käyttöveden lämpötila [°C]

T_{kv} = kylmän käyttöveden lämpötila [°C]

3600 = kerroin, jolla tulos muutetaan kilowattitunneiksi [s/h]

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeen avulla saatiin laskettua lämmitysenergian tarve jakeluhäviöt mukaan luettuna kaavalla 11. Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhteena on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman rakennuksen energiankulutuksen ja lämmityste-

hontarpeen laskentaoppaasta, taulukosta 6.4 (2018, 44) löytyvää erilliselle pientalolle ja eristämättömälle jakojohdolle määritettyä arvoa $\eta_{kierto} = 0,75$. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian häviöttömät ja häviölliset tarpeet on esitetty taulukossa 5.

$$Q_{tarve,A} = Q_{lkv,netto} / \eta_{kierto} \quad (11)$$

missä $Q_{tarve,A}$ = lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve häviön kanssa [kWh]

$Q_{lkv,netto}$ = lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve [kWh]

η_{kierto} = lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde [-]

Taulukko 5. Kuukausittainen lämpimän käyttöveden lämmityksen tarve.

| Kuukausi | Päiviä | LKV kulutus | LKV lämmöntarve | LKV + jakeluhäviö |
|--------------|------------|-----------------------|-----------------|-------------------|
| | [d], kk | [m ³], kk | [kWh], kk | [kWh], kk |
| | | V_{lkv} | $Q_{lkv,netto}$ | $Q_{tarve,A}$ |
| Tammikuu | 31 | 8,74 | 509,90 | 679,86 |
| Helmikuu | 28 | 7,90 | 460,55 | 614,07 |
| Maaliskuu | 31 | 8,74 | 509,90 | 679,86 |
| Huhtikuu | 30 | 8,46 | 493,45 | 657,93 |
| Toukokuu | 31 | 8,74 | 509,90 | 679,86 |
| Kesäkuu | 30 | 8,46 | 493,45 | 657,93 |
| Heinäkuu | 31 | 8,74 | 509,90 | 679,86 |
| Elokuu | 31 | 8,74 | 509,90 | 679,86 |
| Syyskuu | 30 | 8,46 | 493,45 | 657,93 |
| Lokakuu | 31 | 8,74 | 509,90 | 679,86 |
| Marraskuu | 30 | 8,46 | 493,45 | 657,93 |
| Joulukuu | 31 | 8,74 | 509,90 | 679,86 |
| Vuosi | 365 | 102,92 | 6003,61 | 8004,82 |

Lämmitysenergiantuotannon laskemista varten on selvitettävä keräimelle osuva auringon säteilyenergia (ks. kaava 12), käyttäen ulkoilman keskilämpötilan arvoina, vaakatasolle kohdistuvana auringon kokonaissäteilyenergian arvoina ja korjauskertoimina säävyöhykkeen 3 mukaisia mitoittavia arvoja. Kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat ja auringon kokonaissäteilyenergian arvot

saadaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D3 ja etelään suunnattujen keräimien korjauskertoimet 45 asteen kallistuksella Aurinko-oppaasta. Keräimelle osuva auringon säteilyenergia on esitetty taulukossa 6.

$$Q_{keräin} = k * Q_{sät,0°} \quad (12)$$

missä $Q_{keräin}$ = keräimelle osuva auringon säteilyenergia [kWh/m²]

k = korjauskerroin etelään suunnatulle keräimelle eri kallistuskulmilla säävyöhykkeen mukaan [-]

$Q_{sät,0°}$ = auringon säteilyenergia vaakasuoralle pinnalle (0°) säävyöhykkeen mukaan [kWh/m²]

Taulukko 6. Kuukausittainen auringon säteilyenergia kallistetulle pinnalle.

| Kuukausi | Ulkoilman keskilämpötila | | Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle (0°) | Korjauskerroin, etelä 45° | Säteily kallistetulle pinnalle |
|-----------|--------------------------|------------|---|---------------------------|--------------------------------|
| | [°C], kk | | [kWh/m ²], kk | | [kWh/m ²], kk |
| | T_u | θ_e | $Q_{sät,0°}$ | k | $Q_{keräin}$ |
| Tammikuu | -8,00 | | 5,4 | 1,75 | 9,45 |
| Helmikuu | -7,10 | | 20,1 | 2,27 | 45,63 |
| Maaliskuu | -3,53 | | 51,9 | 1,75 | 90,83 |
| Huhtikuu | 2,42 | | 102,9 | 1,30 | 133,77 |
| Toukokuu | 8,84 | | 171,4 | 1,07 | 183,40 |
| Kesäkuu | 13,39 | | 159,1 | 0,99 | 157,51 |
| Heinäkuu | 15,76 | | 158,2 | 1,01 | 159,78 |
| Elokuu | 13,76 | | 113,9 | 1,11 | 126,43 |
| Syyskuu | 9,18 | | 71,1 | 1,33 | 94,56 |
| Lokakuu | 4,07 | | 25,3 | 1,62 | 40,99 |
| Marraskuu | -1,76 | | 7,3 | 1,33 | 9,71 |
| Joulukuu | -5,92 | | 3,2 | 1,00 | 3,20 |
| Vuosi | 3,43 | | 890 | 1,26 | 1121,40 |

Keskimääräinen säteilyteho aurinkokeräinten pinnalle lasketaan kaavalla 13. Lasketut keskimääräiset säteilytehot on esitetty taulukossa 7.

$$\text{Keskimääräinen säteilyteho} = \frac{Q_{keräin} * 1000}{\text{tunnit}} \quad (13)$$

missä $Keskimääräinen\ säteilyteho$ = keskimääräinen säteilyteho pinnalla [W/m^2]

$Q_{keräin}$ = keräimelle osuva auringon säteilyenergia [kWh/m^2]

1000 = kerroin, jolla muutetaan tuloksen yksikkö kilowateista wateiksi

$tunnit$ = tunnit laskettavan tarkastelujakson aikana [h]

Taulukko 7. Kuukausittainen keskimääräinen auringon säteilyteho.

| Kuukausi | Päiviä | Tunteja | Säteily kallistetulle pinnalle | Keskimääräinen säteilyteho |
|-----------|---------|---------|--------------------------------|----------------------------|
| | [d], kk | [h], kk | [kWh/m^2], kk | [W/m^2], kk |
| | | | $Q_{keräin}$ | |
| Tammikuu | 31 | 744 | 9,45 | 12,70 |
| Helmikuu | 28 | 672 | 45,63 | 67,90 |
| Maaliskuu | 31 | 744 | 90,83 | 122,08 |
| Huhtikuu | 30 | 720 | 133,77 | 185,79 |
| Toukokuu | 31 | 744 | 183,40 | 246,50 |
| Kesäkuu | 30 | 720 | 157,51 | 218,76 |
| Heinäkuu | 31 | 744 | 159,78 | 214,76 |
| Elokuu | 31 | 744 | 126,43 | 169,93 |
| Syyskuu | 30 | 720 | 94,56 | 131,34 |
| Lokakuu | 31 | 744 | 40,99 | 55,09 |
| Marraskuu | 30 | 720 | 9,71 | 13,48 |
| Joulukuu | 31 | 744 | 3,20 | 4,30 |
| Vuosi | 365 | 8760 | 1121,40 | 128,01 |

Aurinkolämpöjärjestelmän kuukausittainen ja vuosittainen tuotto lasketaan kaavalla 14. Aurinkooppaan menetelmää hyödyntäen tietyille laskennassa tarvittaville muuttujille on määritetty yleisiä oletusarvoja, joita on käytetty myös tässä mitoituksessa. Mahdolliset käytetyt oletusarvot on ilmoitettu selitteen yhteydessä. Aurinkolämpöjärjestelmästä saatavat laskennalliset tuotot ja niiden osuudet lämmitysenergian tarpeesta on esitetty taulukossa 8.

$$Q_{tuotto,A} = c_{tyyppi} * (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{tarve,A} \quad (14)$$

missä $Q_{tuotto,A}$ = aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujakson aikana [kWh]

c_{tyyppi} = varaajatyypin korjauskerroin, = 1 [-]

a, b, c, d, e & f = varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia, tässä menetelmässä ka-
tettaville järjestelmille:

$$a = 1,029$$

$$b = -0,065$$

$$c = -0,245$$

$$d = 0,0018$$

$$e = 0,0215$$

$$f = 0$$

Y = dimensioton tuotto/tarve – suhde [-]

X = dimensioton häviöt/tarve – suhde [-]

$Q_{tarve,A}$ = lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve häviön kanssa [kWh]

Taulukko 8. Kuukausittainen aurinkolämpöjärjestelmän energiantuotto.

| Kuukausi | X | Y | Aurinkolämpöjärjestelmän | Aurinkolämpöenergian osuus |
|-----------|------|------|--------------------------|----------------------------|
| | | | kuukausittainen tuotto | energiantarpeesta |
| | | | [kWh], kk | % |
| | | | Q_{tuotto} | |
| Tammikuu | 0,91 | 0,02 | -22,06 | 0 % |
| Helmikuu | 0,89 | 0,13 | 45,30 | 7 % |
| Maaliskuu | 0,81 | 0,23 | 119,99 | 18 % |
| Huhtikuu | 0,68 | 0,36 | 193,00 | 29 % |
| Toukokuu | 0,54 | 0,47 | 271,68 | 40 % |
| Kesäkuu | 0,44 | 0,42 | 238,20 | 36 % |
| Heinäkuu | 0,39 | 0,41 | 244,00 | 36 % |
| Elokuu | 0,43 | 0,33 | 192,01 | 28 % |
| Syyskuu | 0,53 | 0,25 | 138,17 | 21 % |
| Lokakuu | 0,64 | 0,11 | 44,19 | 6 % |
| Marraskuu | 0,77 | 0,03 | -14,81 | 0 % |
| Joulukuu | 0,86 | 0,01 | -31,35 | 0 % |
| Vuosi | 0,66 | 0,25 | 1571,74 | 20 % |

Dimensioton häviöt/tarve – suhde lasketaan kaavalla 15.

$$X = \frac{A * U_C * \eta_{kierto} * \Delta T * t_h * c_{cap}}{Q_{tarve,A}} \quad (15)$$

missä X = dimensioton häviöt/tarve – suhde [-]

A = keräinten pinta-ala [m^2]

U_C = koko keräinpiirin lämpöhäviökerroin [W/m^2K]

η_{kierto} = lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde [-]

ΔT = referenssilämpötilaero [$^{\circ}C$]

t_h = tarkastelujakson (kuukausi) pituus tunteina [h]

c_{cap} = varaajakapasiteetin korjauskerroin [-]

$Q_{tarve,A}$ = lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve häviön kanssa [kWh]

Dimensioton tuotto/tarve – suhde lasketaan kaavalla 16. Aurinko-oppaassa määritettyjen keräintyyppille ominaisten kohtauskulmakertoimien perusteella tasomaisen absorptiopinnan omaavalle tyhjiöputkikeräimelle $IAM = 0,97$. Keräimen optisen hyötysuhteen arvona käytetään valmistajan antamaa arvoa $\eta_0 = 77\%$. Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhteenä käytetään jo aiemmin perusteltua arvoa $\eta_{kierto} = 0,75$.

$$Y = \frac{A * IAM * \eta_0 * \eta_{kierto} * Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad (16)$$

missä Y = dimensioton tuotto/tarve – suhde [-]

A = keräinten pinta-ala [m^2]

IAM = keräintyyppille ominainen kohtauskulmakerroin [-]

η_0 = keräimen optinen hyötysuhde [-]

η_{kierto} = lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde [-]

$Q_{keräin}$ = keräimelle osuva auringon säteilyenergia [kWh/m²]

$Q_{tarve,A}$ = lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve häviön kanssa [kWh]

Referenssilämpötilaero lasketaan kaavalla 17, sovelluksesta ja varastotyypistä riippuvan vertailulämpötilan ja säävyöhykkeen keskimääräisen ulkolämpötilan erotuksena.

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e \quad (17)$$

missä ΔT = referenssilämpötilaero [°C]

θ_{ref} = sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila [°C]

θ_e = tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila [°C]

Sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila lasketaan kaavalla 18, jossa lämpimän ja kylmän käyttöveden minimiarvoina on käytetty Aurinko-oppaassa annettuja oletusarvoja, kuukausittaisten arvojen puutteen takia. Taulukossa 9 on esitetty sekä lasketut vertailulämpötilat että referenssilämpötilaerot.

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,180 * \theta_{hw} + 3,86 * \theta_{cw} - 1,32 * \theta_e \quad (18)$$

missä θ_{ref} = sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila [°C]

θ_{hw} = lämpimän käyttöveden minimilämpötila, = 40 [°C]

θ_{cw} = kylmän käyttöveden minimilämpötila, = 5 [°C], jos ei ole kuukausittaista arvoa käytettävissä

θ_e = tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila [°C]

Taulukko 9. Kuukausittainen referenssilämpötilaero säävyöhykkeellä 3.

| Kuukausi | Ulkoilman keskilämpötila | | Vertailulämpötila | Referenssilämpötila ero |
|-----------|--------------------------|------------|-------------------|-------------------------|
| | [°C], kk | | [°C], kk | [°C] |
| | T_u | θ_e | θ_{ref} | ΔT |
| Tammikuu | -8,00 | | 88,66 | 96,66 |
| Helmikuu | -7,10 | | 87,47 | 94,57 |
| Maaliskuu | -3,53 | | 82,76 | 86,29 |
| Huhtikuu | 2,42 | | 74,91 | 72,49 |
| Toukokuu | 8,84 | | 66,43 | 57,59 |
| Kesäkuu | 13,39 | | 60,43 | 47,04 |
| Heinäkuu | 15,76 | | 57,30 | 41,54 |
| Elokuu | 13,76 | | 59,94 | 46,18 |
| Syyskuu | 9,18 | | 65,98 | 56,80 |
| Lokakuu | 4,07 | | 72,73 | 68,66 |
| Marraskuu | -1,76 | | 80,42 | 82,18 |
| Joulukuu | -5,92 | | 85,91 | 91,83 |
| Vuosi | 3,43 | | 73,57 | 70,14 |

Keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin lasketaan kaavalla 19, koska tarkempia keräinpiirin tietoja ei ole saatavilla. Keräinpiirin putkiston lämpöhäviökertoimeksi saatiin $U_L = 6,518 \text{ W/K}$.

$$U_L = 5 + 0,5 * A \quad (19)$$

missä U_L = keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin [W/K]

A = keräinten pinta-ala [m²]

Keräinpiirin putkiston lämpöhäviökertoimen avulla saadaan laskettua koko keräinpiirin lämpöhäviökerroin (ks. kaava 20). Valmistaja on ilmoittanut tyhjiöputkikeräimen keräinpinta-alaa vastaavaksi lämpöhäviökertoimen arvoksi $a_1 = 1,576 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja häviökertoimeksi $a_2 = 0,005 \text{ W/m}^2\text{K}$. Koko keräinpiirin lämpöhäviökertoimen arvoksi saatiin $U_C = 3,92 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$$U_C = a_1 + 40 * a_2 + U_L/A \quad (20)$$

missä U_C = koko keräinpiirin lämpöhäviökerroin [W/m²K]

a_1 = keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin [W/m²K]

a_2 = keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin [W/m²K²]

U_L = keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin [W/K]

A = keräinten pinta-ala [m²]

Lämminvesivaraajan tilavuuden poiketessa referenssitilavuudesta 75 dm³/keräin-m², täytyy dimensioton muuttuja X korjata varaajakapasiteetin korjauskertoimella. Varaajakapasiteetin korjauskerroin lasketaan kaavalla 21. Mitoituksessa käytettävän varaajan perusteella laskettuna korjauskertoimen arvoksi saatiin $c_{cap} = 0,96$.

$$c_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}} \right)^{-0,25} \quad (21)$$

missä c_{cap} = varaajakapasiteetin korjauskerroin [-]

V_{tod} = varaajan ominaistilavuus [dm³/keräin-m²]

V_{ref} = referenssitilavuus, = 75 [dm³/keräin-m²]

7 Investoinnin kannattavuus

7.1 Sähkön hinta

Sähkön kustannuslaskennassa käytettävät arvot perustuvat Pohjois-Karjalan Sähkönsiirron verkko-palveluhinnastoon (PKS Sähkönsiirron hinnastot, 2022) sekä tilakeskuksessa tällä hetkellä voimassa olevaan, Pohjois-Karjalan Sähkön tarjoamaan energian hintaan. Tilakeskuksessa voimassa oleva sopimus on vuodenajan mukaan hinnoiteltu, neljä kertaa vuodessa muuttuva pörssisähkön hintoja mukaileva sopimus. Sähkön hinnan muodostaa sähkön siirtomaksu, sähkövero sekä sähköenergia-maksu. Kaikki laskelmissa käytetyt hinnat sisältävät 24 % arvonlisäveron. Investointilaskelmissa ei ole otettu huomioon sähköverkkoon myytävästä ylijäämästä sähköstä saatavaa tuottoa.

Sähkön siirtomaksut muodostuvat sulakekokoon perustuvasta kuukausittaisesta perusmaksusta sekä kulutuksesta riippuvasta siirtomaksusta ja sähköverosta. Tilakeskuksen sulakekoko on 3 x 35

A, jonka perusteella siirron perusmaksu on noin 75 € kuukaudessa. Talviarkipäivän siirtomaksu sähkövero mukaan lukien on noin 9,5 snt/kWh. Muuna aikana siirtomaksu ja sähkövero ovat yhteensä noin 4,9 snt/kWh. Laskelmissa on käytetty muun ajan, eli huhtikuun ja lokakuun, hintatietoja, koska se on aika, jolloin aurinkoenergiajärjestelmä tuottaa energiaa.

Sähköenergian perusmaksu on kuluvalta hetkellä 4,50 € kuukaudessa. Sähkönsiirron tavoin energian hinta riippuu vuodenajasta. Energian hinta on tällä hetkellä tilakeskuksessa voimassa olevalla sähkösopimuksella noin 30 snt/kWh. Vallitsevan maailmantilanteen takia sähkön hinta on poikkeuksellisen korkea. Normaalitytilanteessa energian hinta on huomattavasti alhaisempi, jonka takia energian hintana on käytetty laskelmissa 8 snt/kWh. Sähköenergian hinta sähkönsiirto mukaan lukien on näin arvioituna noin 12,9 snt/kWh.

Aurinkosähköjärjestelmästä mahdollisesti syntyvää ylijäämäsähköä varten verkkoon kytketyissä järjestelmissä kannattaa sopia sähkönmyyntisopimus paikallisen sähköverkkoyrityksen kanssa. Ilman myyntisopimusta, ei sähkön syöttäminen verkkoon ole sallittua. Sähköverkkoyhtiö ostaa ylijäämäsähköä yleensä verottomasti tuntikohtaista sähkön pörssihintaa noudattaen. Energian hinnan lisäksi sähköverkkoyhtiöstä riippuen saatetaan periä verkkopalvelumaksu. (Ylijäämäsähkön myynti, 2022.) Kohteen alueella toimiva Pohjois-Karjalan Sähkönsiirto veloittaa 0,2 snt/kWh myydystä sähköstä, mikäli asiakkaalla ei ole sähkönmyyntisopimusta Pohjois-Karjalan Sähkön kanssa (Aurinkopaneelit, 2023).

7.2 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus

Aurinkosähköjärjestelmien hankintahinta muodostuu järjestelmään liittyvästä laitteistosta ja tarvikkeista. Molemmissa vaihtoehdoissa on käytetty samoja aurinkopaneeleita sekä järjestelmän koihin sopivia saman valmistajan inverttereitä. Vaihtoehdon 1 karkea hintaerittely (ks. taulukko 10) on PKS Aurinkotuottaja 3 – paketin mukainen (Aurinkopaneelit, 2023). Vaihtoehdon 2 osalta laitteiston ja tarvikkeiden kustannukset on arvioitu käytettävien laitteiden hintatietojen perusteella. Asennustyön kustannukset on arvioitu olevan puolitoistakertaiset PKS Aurinkotuottaja 10 – paketin asennuskustannuksiin nähden (Aurinkopaneelit, 2023). Vaihtoehdon 2 hintaerittely on esitetty taulukossa 11.

Maatalouden toimijoilla on mahdollisuus saada elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus ELYltä investointitukea maatalan energiantuotantoon liittyviin investointeihin. Energiantuotannon rakentamiseen liittyvissä investoinneissa tukea voi saada enintään 40 % hankintahinnasta, minimi-tuen ollessa kuitenkin aina 7000 €. Investointituki lasketaan verottomasta hankintahinnasta koskien ainoastaan sitä tuotetun energian osaa, mikä tilalla käytetään itse. (Maatalouden investointituet, 2022.) Tässä mitoitettun suurimman ja ainoan mahdollisesti tukikelpoisen järjestelmän verollinen hinta (alv 24 %) on 22 880 €, joka on verottomana (alv 0 %) 17 389 €. Verottomasta hinnasta 40 % on 6955 €, joka on alle määritetyn minimi-tuen. Lisäksi merkittävä osa 20 kWp:n järjestelmän energiantuotosta joudutaan myymään verkkoon, jonka seurauksena tukikelpoinen osuus hankintahinnasta laskee entisestään. Investointitukea ei ole otettu huomioon laskennassa tästä syystä.

Taulukko 10. Aurinkosähköjärjestelmä vaihtoehto 1, investointilaskennan lähtöarvot.

| | | | |
|--------------------------------|------------|---|-----------------|
| Vaihtoehto 1 | Hinta [€] | | |
| Laitteisto ja tarvikkeet | 3 810,00 € | | |
| Asennustyö | 2 540,00 € | | |
| Hankintahinta | 6 350,00 € | | |
| Vuotuiset ylläpitokustannukset | 12,70 € | | |
| | | | |
| Laskentakorko | 3 % | | |
| Pitoaika | 25 | a | n |
| Jäännösarvo | 0 | € | JA _n |
| Energian tuotannon vähenemä /a | 0,5 % | | |
| Energian hinnan nousu /a | 2 % | | |
| Vuosittaiset ylläpitokulut | 0,2 % | | |

Taulukko 11. Aurinkosähköjärjestelmä vaihtoehto 2, investointilaskennan lähtöarvot.

| | | | |
|--------------------------------|--------------------|---|--------|
| Vaihtoehto 2 | Hinta [€] | | |
| Laitteisto ja tarvikkeet | 14 600,00 € | | |
| Asennustyö | 8 280,00 € | | |
| Hankintahinta | 22 880,00 € | | |
| Vuotuiset ylläpitokustannukset | 45,76 € | | |
| | | | |
| Laskentakorko | 3 % | | |
| Pitoaika | 25 | a | n |
| Jäännösarvo | 0 | € | JA_n |
| Energian tuotannon vähenemä /a | 0,5 % | | |
| Energian hinnan nousu /a | 2 % | | |
| Vuosittaiset ylläpitokulut | 0,2 % | | |

Investointilaskennassa laskentakorkokantana kaikissa järjestelmävaihtoehtoissa, mukaan lukien aurinkolämpöjärjestelmä, on käytetty 3 %. Optimaalisessa tilanteessa aurinkoenergiajärjestelmä tuottaisi noin 3–8 %. (Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus, 2020.) Laskentakorkokanta tarkoittaa siis käytännössä investoinnilta odotettua tuottoa. Laskentakorkokantana olisi voitu käyttää myös 0 %, johtuen siitä, että aurinkoenergiainvestoinnilla on tarkoitus kattaa juoksevia kuluja eli ostosähkön tarvetta, joka ei ole muutoinkaan vältettävissä (Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri, 2020).

Kaikissa vertailtavissa järjestelmissä investoinnin pitoajaksi on määritetty 25 vuotta, jonka jälkeen järjestelmä on jälleenmyynnin kannalta arvoton, eli jäännösarvo on 0 €. Järjestelmän sähköntuotannon vähenemäksi on arvioitu 0,5 % vuodessa (Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus, 2020). Ostoenergian hinnan on arvioitu nousevan vuosittain 2 % (Sähköverkkoon kytketty omakotitalo – vaihtosähkö, 2022). Vuosittaiset ylläpitokulut ovat 0,2 % hankintahinnasta, mikä on yhteensä 5 % hankintahinnasta koko järjestelmän pitoaikana (Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus, 2016). Investointilaskentamenetelmiä hyödyntäessä kaikki kassavirrat eli syntyvät säästöt on diskontattu eli säästöissä on otettu huomioon vuosittainen 3 % korko. Taulukoissa 10 ja 11 on esitetty hintatietojen lisäksi investointilaskennassa tarvittavat lähtöarvot molemmille aurinkosähköjärjestelmille.

Keskimääräisen lasketun sähkön hinnan perusteella laskettuna vaihtoehdon 1 mukaisella järjestelmällä olisi mahdollisuus säästää ostoenergian kulutusta vuodessa noin 300 €, mikäli kaikki tuotettu energia käytettäisiin itse. Aurinkosähköjärjestelmän vaihtoehdossa 1 tuotetun sähköenergian omakäyttöosuus on hyvin lähellä 100 %:a, koska järjestelmä on mitoitettu pohjakulutukselle. On mahdollista, että kulutus laskee keskimääräisen pohjakulutuksen alapuolelle satunnaisesti. Vastavasti vaihtoehdon 2 mukaisella aurinkosähköjärjestelmällä, sähköenergian hinnan ja aurinkosähköjärjestelmällä tuotettavan energian perusteella laskettuna ostosähköä voitaisiin säästää noin 1800 €. Maksimikuormalle mitoitettussa järjestelmässä tulisi kuitenkin merkittävästi ylituotantoa, jolloin huomattava osa tuotetusta energiasta jouduttaisiin myymään sähköverkkoon.

Taulukko 12. Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuus.

| Järjestelmä | Hankintahinta [€] | Nettonykyarvo [€] | Sisäinen korkokanta | Suora takaisinmaksuaika [a] |
|--------------|-------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------|
| Vaihtoehto 1 | 6 350,00 € | -2 110,39 € | 0 % | 23,79 |
| Vaihtoehto 2 | 22 880,00 € | 4 478,05 € | 5 % | 13,24 |

Käytettyjen investointilaskentamenetelmien perusteella pohjakuormalle mitoitettu aurinkosähköjärjestelmä, vaihtoehto 1, ei ole kannattava. Maksimikuormalle mitoitettu järjestelmä, vaihtoehto 2, taas on laskelmien mukaan kannattava. Tulokset on esitetty taulukossa 12. Nettonykyarvomenetelmällä laskiessa investointi luetaan kannattavaksi kaikilla positiivisilla tuloksilla. Sisäisen korkokannan menetelmällä laskettuja arvoja tarkasteltaessa vain vaihtoehto 2 voidaan todeta kannattavaksi, koska tuloksena saatu korko ylittää tuotto-odotuksen eli on suurempi kuin käytetty laskentakorkokanta. Suoran takaisinmaksuajan tuloksia tarkasteltaessa vaihtoehdon 2 takaisinmaksuaika on vielä kohtuullinen hankintahintaan nähden. Vaihtoehto 1 ei ole kannattava käytännössä millään menetelmällä. Nettonykyarvolla saatu arvo on negatiivinen eikä sisäisen korkokannan menetelmällä saatu tulos kohtaa tuotto-odotuksia. Lisäksi suoralla takaisinmaksuajanmenetelmällä, järjestelmän takaisinmaksuaika on huomattavan pitkä suhteessa hankintahintaan. Tarkemmat laskenta-arvot koko järjestelmien pitoajoilta on esitetty liitteissä 5 ja 6.

7.3 Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus

Aurinkolämpöjärjestelmän hankintahinta on eritelty taulukossa 13. Laitteiston ja tarvikkeiden hinta on koostettu valmiista Biottori Oy:n tarjoamasta 3 kappaletta NN10 tyhjiöputkikeräintä sisältävästä paketista (Aurinkokeräin paketit, 2022). Pakettiin kuuluu lämmönsiirtoputkistoa, lämmönsiirtonestettä ja lämminvesivaraajaa lukuun ottamatta kaikki tarvittavat tarvikkeet. Paketin hinta on noin 3550 €, jonka lisäksi laitteistoon ja tarvikkeisiin liittyviin kustannuksiin lasketaan mukaan puuttuvat tarpeet. Lämmönsiirtoputkiston hinnaksi arvioitiin 1700 €. Lämmönsiirtoputkiston hinta nostaa hankintakustannuksia putkilinjan pidentyessä. Tarkasteltavassa kohteessa aurinkokeräinten ja lämminvesivaraajan välinen etäisyys tulisi olemaan tällä mitoituksella noin 40 metriä. Lämmönsiirtonesteen hinta arvioitiin olevan 100 €, jonka lisäksi hankintahintaan on lisätty 500 € maatalien rakennuskustannuksia. Valittu lämminvesivaraaja tulisi maksamaan usean eri lähteen perusteella arvioituna noin 2800 €. Hankintahinnasta on jätetty pois asennustyön kustannukset, koska toimeksiantaja on ammattitaitoinen asentamaan järjestelmän itse.

Taulukko 13. Aurinkolämpöjärjestelmä, investointilaskennan lähtöarvot.

| | | | |
|--------------------------------|-------------------|---|--------|
| | Hinta [€] | | |
| Laitteisto ja tarvikkeet | 5 850,00 € | | |
| Asennustyö | - € | | |
| Lämminvesivaraaja | 2 800,00 € | | |
| Hankintahinta | 8 650,00 € | | |
| Vuotuiset ylläpitokustannukset | 17,30 € | | |
| | | | |
| Laskentakorko | 3 % | | |
| Pitoaika | 25 | a | n |
| Jäännösarvo | 0 | € | JA_n |
| Energian tuotannon vähenemä /a | 0,5 % | | |
| Energian hinnan nousu /a | 2 % | | |
| Vuosittaiset ylläpitokulut | 0,2 % | | |

Taulukko 14. Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus.

| Järjestelmä | Hankintahinta [€] | Nettonykyarvo [€] | Sisäinen korkokanta | Suora takaisinmaksuaika [a] |
|---------------|-------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------|
| Aurinkokeräin | 8 650,00 € | -5 597,38 € | -5 % | 45,33 |

Vaikka mitoitettulla aurinkolämpöjärjestelmällä olisi mahdollisuus säästää noin 200 € ostoenergian tarpeesta, käytettyjen investointilaskentamenetelmien perusteella ja käytetyillä lähtöarvoilla mitoitettu aurinkolämpöjärjestelmä ei ole kuitenkaan kannattava (ks. taulukko 14). Nettonykyarvomenetelmällä saatu tulos on pienempi kuin nolla, joka tarkoittaa, ettei investointi ole kannattava. Sisäisen korkokannan menetelmä on verrattavissa nettonykyarvomenetelmään, jonka takia sisäisen korkokannan laskentamenetelmällä saatu tulos on nettonykyarvon mukaisesti negatiivinen. Suoran takaisinmaksuajan menetelmän mukaan investoinnin takaisinmaksuaika on 45 vuotta, mikä on todella pitkä aika erityisesti tämän hintaiselle järjestelmälle. Tarkemmat laskenta-arvot koko järjestelmän pitoajalta on esitetty liitteessä 7.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kannattaako navetassa tarvittavan käyttöveden tuotantoa olemassa olevalla maalämpöpumpulla tehostaa aurinkoenergiaan perustuvalla järjestelmällä. Lisäksi haluttiin saada tietoa hybridiratkaisun toimivuudesta ja siitä onko järkevää tuottaa energiaa kahdella ympäristöystävällisellä energijärjestelmällä. Kannattavuuden arviointia varten aurinkosähköjärjestelmä mitoitettiin tilakeskuksen sähköenergiankulutuksen pohjakuormalle ja maksimikuormalle. Pohjakuormalle mitoitettu 3,2 kWp:n järjestelmä kattaa maalämpöpumpun tarvitseman ostoenergian tarpeen kesäkuukausina, erityisesti toukokuun ja heinäkuun välisenä aikana. Maksimikuormalle mitoitettu 20 kWp:n järjestelmä on suunniteltu kattamaan koko tilakeskuksen kesäkuukausien valoisan ajan sähkönkulutuksen. Aurinkolämpöjärjestelmä mitoitettiin navetassa kulutettavan lämpimän käyttöveden tarpeen ja valitun lämminvesivaraajan tilavuuden mukaan.

3,2 kWp:n aurinkosähköjärjestelmällä laskennalliseksi sähköenergian vuosituotoksi saatiin noin 2200 kWh, joka on noin 4 % keskimääräisestä vuosikulutuksesta. Kesäkuukausina kyseinen järjestelmä kattaisi noin 12 % kuukauden energiantarpeesta, mikäli kaikki tuotettu energia käytetään itse. Isolla 20 kWp:n järjestelmällä laskennalliseksi vuosituotoksi saatiin noin 14 000 kWh, joka on

noin 27 % keskimääräisestä vuosikulutuksesta. Kesäkuukausina järjestelmä kattaisi noin 75 % kuukausittaisesta energiantarpeesta, mikäli kaikki tuotettu energia käytettäisiin itse. Aurinkolämpöjärjestelmän laskennalliseksi vuosituotoksi saatiin noin 1600 kWh, joka on noin 22 % vuosittaisesta lämpimän käyttöveden lämmityksen energiantarpeesta. Kesäkuukausina noin 40 % lämpimän käyttöveden tarpeesta saataisiin täytettyä kyseisellä aurinkolämpöjärjestelmällä.

Mitoitetuille järjestelmille suoritettujen investointilaskentojen perusteella 20 kWp:n suuruinen aurinkosähköjärjestelmä on ainoa teoreettisesti kannattava investointi. Kyseinen järjestelmä ei kuitenkaan todellisuudessa ole kannattava siitä syystä, että maksimikuorma ilmenee keskimäärin kahden tunnin ajan vuorokaudessa, jonka ulkopuolella sähkönkulutus on hyvin lähellä pohjakuormaa. 20 kWp:n aurinkosähköjärjestelmästä merkittävä osa myytäisiin sähköverkkoon, mikä ei ole tässä mittakaavassa kannattavaa.

Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että mitoituksia muuttamalla sekä kustannusvertailulla ja kilpailutuksella pohjakuormalle mitoitetusta aurinkosähköjärjestelmästä voitaisiin saada kannattava. Pohjakuormalle mitoitetun järjestelmän tuottama sähköenergia saadaan lähes kokonaan käytettyä itse. Aurinkolämpöjärjestelmä ei tässä työssä mitoitetussa koko- ja hintaluokassa ole kannattava vaihtoehto. Järjestelmä voitaisiin saada kannattavaksi esimerkiksi aurinkokeräinten ja lämminvesivaraajan välimatkaa lyhentämällä tai kasvattamalla lämminvesivaraajan tilavuutta. Energiantuoton kannalta järkevimmäksi aurinkoenergiajärjestelmän asennuspaikaksi koettiin työssä käytetty maa-alue, sen varjottomuuden ja vapaan asennussuunnan ja -kulman takia. Toimeksiantajan toiveesta aurinkolämpöjärjestelmää ei haluttu mitoittaa suuremmalle varaajatilavuudelle, koska järjestelmän yhteyteen valittu 270 litrainen varaaja oli jo kolminkertainen olemassa olevan lämminvesivaraajan tilavuuteen verrattuna.

9 Pohdinta

9.1 Ajatuksia työn tuloksista

Opinnäytetyössä saavutettiin asetetut tavoitteet ja saatiin tuotettua toimeksiantajalle haluttua tietoa. Tavoitteiden lisäksi saatiin vastauksia tavoitteiden saavuttamista tukeviin kehittämiskysymyksiin. Aurinkosähköjärjestelmä osoittautui kannattavammaksi vaihtoehdoksi kuin aurinkolämpöjärjestelmä. Saatujen tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, ettei työssä mitoitetut

järjestelmät välttämättä ole optimaalisimmat tarkasteltavaan kohteeseen. Aurinkosähköjärjestelmää ei kannata mitoittaa kohteeseen maksimikuorman perusteella. Pohjakuorman perustuva mitoitus on yleisesti järkevä vaihtoehto. Jos kyseessä olisi esimerkiksi navetta, jossa on käytössä lypsyrobotit, olisi sähkönkulutus luultavasti tasaisempaa ympäri vuorokauden maidontuotantoon tarvittavien laitteiden tiheämmän käyttöprofiilin takia, jolloin maksimikuormalle mitoitettujen järjestelmien tuotosta voi jäädä enemmän omaan käyttöön.

Tarkasteltujen aurinkoenergiajärjestelmien kannattavuuden arviointi ja tulosten ennustaminen ennen työn aloitusta oli hankalaa. Molemmat järjestelmät vaikuttivat hyviltä ja kohteeseen sopivilta, mutta järjestelmien mitoituksen valmistuessa aurinkolämpöjärjestelmä jäi selkeästi huonommaksi vaihtoehdoksi. Mikäli kohteessa olisi käytössä jokin muu lämmitysmuoto kuin maalämpö, kuten esimerkiksi puukattila, olisi käytössä jo luultavasti huomattavasti isompi lämminvesivaraaja, jolloin uudelle ei välttämättä olisi tarvetta. Hybridilämminvesivaraaja lisäsi työssä mitoitettujen järjestelmien hankintahintaan merkittävän summan.

9.2 Työn ja tulosten luotettavuus ja eettisyys

Opinnäytetyössä lähdemateriaalina käytettiin toimeksiantajalta saatujen kulutus- ja toimintatietojen ohella pääasiassa alaan liittyviä teoksia, kansallisia rakentamiseen liittyviä ohjeistuksia ja määräyksiä sekä erilaisia verkkolähteitä. Toimeksiantajalta saatua tietoa käytettiin lähtötilanteen kartoittamisessa sekä työn toteutusvaiheessa eli aurinkoenergiajärjestelmien mitoituksessa. Muiden käytettyjen lähteiden perusteella koottiin tietoperusta sekä tuettiin työn toteutusvaihetta. Lähteinä pyrittiin käyttämään mahdollisimman ajantasaista tietoa, tai vähintään vertaamaan löytynyttä tietoa muuhun saatavilla olevaan tietoon.

Pyrkimyksenä oli käyttää alkuperäislähteitä, mutta on mahdollista, että käytetyissä lähteissä, erityisesti verkkolähteissä, ei ole aina ollut alkuperäislähteeseen viittaavia merkintöjä saatavilla. Verkkolähteiden kanssa pyrittiin olemaan kriittisiä ja medialukutaitoisia, koska suuri osa aiheeseen liittyvästä tiedosta on joko virallislähteistä tai kaupallisista lähteistä, kuten aurinkojärjestelmiä myyvien tahojen verkkosivustoilta.

Työn tulosta voidaan pitää lopputulosten puitteissa luotettavana. Mitoituksessa käytettiin ympäristöministeriön laatimia rakennusmääräyksiä, joista ei löytynyt uudempia versioita. Vaikka nämä

rakennusmääräykset ovat viranomaislähteitä, täytyi niitäkin käyttää arvioiden ja vertaillen, erityisesti kaavojen osalta. Mitoitukseen ja investointilaskentaan liittyvät laskut tarkastettiin moneen kertaan mahdollisten virheiden varalta. Mitoitusten pitäisi näiden lähteiden ja toimeksiantajalta saatujen kulutustietojen oikeellisuuden puitteissa olla luotettavat. Järjestelmien mitoituksessa ei ole yhtä oikeaa vastausta, vaan mielipiteitä esimerkiksi aurinkopaneelien sijoituspaikasta on yhtä monta kuin mitoittajaakin.

Työ toteutettiin JAMKin eettisiä periaatteita noudattaen sekä toimeksiantajan yksityisyyttä kunnioittaen. Toimeksiantajan tiedot, jotka eivät ole työn toteuttamisen kannalta oleellisia, kuten maatalousyhtymän nimi ja tilakeskuksen tarkka sijainti jätettiin tietoisesti mainitsematta. Työn luotavuuden kannalta oleellisimmat asiat, kuten kunta, jossa kohde sijaitsee sekä maatalousyhtymän toimenkuva ja tilakeskuksen toiminnankuvaus kuitenkin lisättiin työhön. Tilakeskuksen ja maatalousyhtymän toiminnankuvaus edistää työn tuloksen vertailukelpoisuutta muihin samantyyppisiin lypsykarjatiloihin.

9.3 Jatkokehittäminen

Opinnäytetyössä päästiin hyvin selville siitä, mitä ja miten mitoitettua aurinkoenergiajärjestelmää kannattaisi lähteä tarkastelemaan tarkemmin. Seuraavaksi kannattaisi syventyä erityisesti pohjakuormalle mitoitettuun aurinkosähköjärjestelmään, josta voisi saada kannattavan muun muassa kustannuksia muuttamalla. Sekä aurinkosähköjärjestelmä että aurinkolämpöjärjestelmä voisi olla hyvä mitoittaa vertailun vuoksi myös kattoasennuksena, jolloin paneelien ja keräinten suuntauksat ja kallistuskulmat ovat työssä tehtyyn mitoitukseen verrattuna erilaiset. Maa-asennuksen ja kattoasennuksen energiantuottopotentiaalia sekä kustannuksia voitaisiin tällöin vertailla. Tarkasteltavat vaihtoehdot voisivat näin ollen olla:

1. Paneelien tai keräinten asennus katolle energiantuoton kannalta huonompaan suuntaan, jolloin putki- ja kaapelivedot ovat lyhyemmät.
2. Paneelien tai keräinten asennus työssä mitoitettun tavan kaltaisesti maa-asennuksena energiantuoton kannalta optimaaliseen suuntaan ja kulmaan varjottomasti pidemmän matkan päähän.

Epävarmuustekijänä voidaan pitää investointilaskelmien lähtöarvoja. Työssä käytetyt hintatiedot ovat peräisin verkosta saatavista lähteistä ja niiden perusteella tehdyistä arvioista. Esimerkiksi kilpailuttamalla halutut järjestelmät, saattaisi hankintahinta olla edullisempi. Verkosta oli saatavilla hintatietoa erilaisista aurinkoenergiajärjestelmistä ja -paketeista, mutta suuri osa niitä tarjoavista yrityksistä ei toimi kohteen alueella. Luotettavuutta pyrittiin edistämään sillä, että hintatietoja olisi saanut kohteen alueella toimivilta yrityksiltä, mutta nekin jäivät vähäisiksi. Lopputuloksena hintatietojen arvioinnissa käytettiin sekä paikallisten yritysten että muualla Suomessa toimivien yritysten verkkosivuilta saatuja tietoja.

Lähteet

- 55-valmiuspaketti. Päivitetty 2022. Artikkelin EU:n neuvoston ja Eurooppa-neuvoston www-sivustolla. Viitattu 21.11.2022. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>.
- Aurinkokeräin paketit. 2022. Biottori Oy:n verkkokauppa. Viitattu 4.1.2023. <https://www.biottori.fi/tuoteryhma/aurinkokerainpaketit>.
- Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. 2016. Finsolar.net www-sivusto. Viitattu 5.1.2023. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/>.
- Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus. 2020. Artikkelin Motiva Oy:n www-sivustolla. Viitattu 1.1.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/hankinta_ ja_ asennus/aurinkolampojarjestelman_mitoitus.
- Aurinkolämpöjärjestelmät. 2020. Artikkelin Motiva Oy:n www-sivustolla. Viitattu 26.10.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat.
- Aurinkopaneelit kotiin. 2022. Tietoisku Helen Oy:n www-sivustolla. Viitattu 27.12.2022. <https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/aurinkopaneelipaketit>.
- Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. 2020. Finsolar.net www-sivusto. Viitattu 5.1.2023. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>.
- Aurinkosähköjärjestelmän teho. 2022. Artikkelin Motiva Oy:n www-sivustolla. Viitattu 2.1.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho.
- Aurinkosähköjärjestelmät. N.d. Tietoisku EAL-Palvelut Oy:n www-sivustolla. Viitattu 26.10.2022. <https://www.eal-palvelut.fi/eal-tuotteet/aurinkosahkojarjestelmat/>.
- Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri. 2020. Finsolar.net www-sivusto. Viitattu 7.1.2022. <https://finsolar.net/kannattavuus/kannattavuuslaskurit/>.
- Aurinkosähköteknologiat. 2022. Artikkelin Motiva Oy:n www-sivustolla. Viitattu 27.10.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat.
- Energiatehokkuus – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Ympäristöministeriön ohjeistus. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Viitattu 14.12.2022. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>.
- Erat, B., Hänninen, P., Nyman, C., Rasinkoski, A., Wiljander, M. & Tahkokorpi, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into.

Eriksson, P. & Koistinen, K. 2005. Monenlainen tapaustutkimus. Kuluttajatutkimuskeskuksen julkaisu 4. Helsinki: Kuluttajatutkimuskeskus.

Euroopan unionin ilmastopolitiikka. N.d. Tietoisku ympäristöministeriön www-sivustolla. Viitattu 21.11.2022. <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>.

Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. 2022. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2022:53. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö, 9, 12. Viitattu 21.11.2022. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-811-0>.

Ikäheimo, S., Malmi, T. & Walden, R. 2019. Yrityksen laskentatoimi. Kahdeksas, uudistettu painos. Helsinki: Alma Talent Pro. Viitattu 1.12.2022. <https://janet.finna.fi>, Alma Talent Pro.

Ilmakeräimet. 2020. Artikkelit Motiva Oy:n www-sivustolla. Viitattu 26.10.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/ilmakeraimet.

Ilmastolain uudistus. N.d. Tietoisku ympäristöministeriön www-sivustolla. Viitattu 21.11.2022. <https://ym.fi/ilmastolain-uudistus>.

Järvenpää, M., Lämsiluoto, A., Partanen, V. & Pellinen, J. 2017. Talousohjaus ja kustannuslaskenta. 2.–4. p. Helsinki: Sanoma Pro. Viitattu 29.11.2022. <https://janet.finna.fi>, Ellibslibrary.

Lankinen, R., Eskelinen, P. & Rantala, T. 2014. Energiatehokkuudella kannattavuutta nautakarjajaloille. Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote 30, 1. Viitattu 24.10.2022.

Lehtonen, H., Saarnio, S., Rantala, J., Luostarinen, S., Maanavilja, L., Heikkinen, J., Soini, K., Aakula, J., Jallinoja, M., Rasi, S. & Niemi, J. 2020. Maatalouden ilmastotiekartta – Tiekartta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen maataloudessa. Helsinki: Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry, 5. <https://www.mtk.fi/ilmastotiekartta>.

Lämpöpumppujen energialaskentaopas. 2012. Ympäristöministeriö. Viitattu 15.12.2022. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>.

Lämpöä omasta maasta. 2012. Motiva Oy:n maalämpöpumppuopas. Viitattu 25.10.2022. https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf.

Maalämpö. N.d. Tietoisku Suomen Vesitekniikka Oy:n www-sivustolla. Viitattu 25.10.2022. <https://suomenlampopumppu.fi/maalampo>.

Maalämpöpumppu (MLP). N.d. Tietoisku Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry:n www-sivustolla. Viitattu 25.10.2022. <https://www.sulpu.fi/lampopumput/maalampopumput/>.

Maatalouden investointituet. 2022. Tietoisku Ruokaviraston www-sivustolla. Viitattu 6.1.2022. <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/investoinnit/maatalouden-investointituet/>.

Maatalouslaskenta 2020: Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus 2020. 2022. Yhteenveto Tilastokeskuksen tilastosta luonnonvarakeskus LUKE:n www-sivustolla. Viitattu 23.11.2022.

<https://www.luke.fi/fi/tilastot/maa-ja-puutarhatalouden-energiankulutus/maatalouslaskenta-2020-maa-ja-puutarhatalouden-energiankulutus-2020>.

MMM-RMO C2.2. N.d. Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto C2.2. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet. Viitattu 10.10.2022. <https://mmm.fi/documents/1410837/1853806/L10-rmoC22-01.pdf>.

NIBE AHPH S300/AHPS S300. N.d. NIBE Energy Systems Oy www-sivusto. Viitattu 1.1.2023. <https://www.nibe.eu/fi/fi/tuotteet/lampopumppuvaraajat/ahps-s300>.

Pellinen, J. 2019. Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu. Kolmas, uudistettu painos. Helsinki: Alma Talent. Viitattu 1.12.2022. <https://janet.finna.fi>, Alma Talent Pro.

PKS Sähkönsiirron hinnastot. 2022. Verkkopalveluhinnasto PKS Sähkönsiirto Oy:n www-sivusto. Viitattu 7.1.2023. <https://pkssahkonsiirto.fi/asiointi/hinnasto/>.

Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2020. 2021. Helsinki: Tilastokeskus, 6, 37–39.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Ympäristöministeriö. Viitattu 28.12.2022. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>.

Sähköverkkoon kytketty omakotitalo – vaihtosähkö. 2022. Artikkelit Motiva Oy:n www-sivustolla. Viitattu 7.1.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/jarjestelman_kannattavuus/sahkoverkkoon_kytkeyty_omakotitalo_vaihtosahko.

Sähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän mitoitus. 2022. Artikkelit Motiva Oy:n www-sivustolla. Viitattu 2.1.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus.

Toikko, T. & Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta: Näkökulmia kehittämisssessiin, osallistamiseen ja tiedontuotantoon. Tampere: Tampere University Press. Viitattu 3.10.2022. <https://janet.finna.fi>, Ellibslibrary.

Vähähiiliset tiekartat 2035. N.d. Tietoisku työ- ja elinkeinoministeriön www-sivustolla. Viitattu 21.11.2022. <https://tem.fi/tiekartat>.

Ylijäämänsähkön myynti. 2022. Artikkelit Motiva Oy:n www-sivustolla. Viitattu 8.1.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti.

Liite 2. Lämpimään käyttövedeen liittyvät laskennat

| Lämmin käyttövesi: | | | | | | |
|--|-----------|--------------------|--|--|--|--|
| | x | Yksikkö | | | | |
| Maalämpöpumpun varaaja | 180 | dm ³ | | | | |
| Navetan varaaja | 100 | dm ³ | | | | |
| | | | Navetan varaajaan asennettu kulutusmittari 10.2.2022. Kulutus mitattu 2.11.2022, ollen 75,004 m ³ = 75 004 dm ³ (L). | | | |
| Navetta: | | | | | | |
| 2.11.2022 mitattu kulutus | 75004 | dm ³ | | | | |
| Mittarin asennuksesta kulunut aika, vuorokausina | 266 | d | | | | Laskettu laskurilla https://www.laskurini.fi/hyoty/paivalaskuri |
| Lämpimän veden kulutus navetassa, vuorokausi | 281,97 | dm ³ /d | | | | |
| Lämpimän veden kulutus navetassa, vuosi | 102919,02 | dm ³ /a | | | | |
| | 102,92 | m ³ /a | | | | |
| Asuinrakennus: | | | Tunnus | | | |
| Henkilöiden lukumäärä | 2 | - | <i>n</i> | | | |
| Lämpimän veden ominaiskulutus henkilöä kohti, vuorokaudessa | 50 | dm ³ /d | $V_{LKV,omin,henk}$ | | | |
| Lämpimän veden kulutus asuinrakennuksessa, vuorokausi | 100 | dm ³ /d | | | | Laskettu kaavalla 3.18, Suomen rakentamismääräyskokoelma, energiatehokkuus, rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. |
| Lämpimän veden kulutus asuinrakennuksessa, vuosi | 36500 | dm ³ /a | | | | |
| | 36,50 | m ³ /a | | | | $V_{LKV} = n * V_{LKV,omin,henk} * \Delta t$ (3.19) |
| Navetta + asuinrakennus: | | | | | | |
| Lämpimän käyttöveden kulutus yhteensä, vuorokausi | 381,97 | dm ³ /d | | | | |
| Lämpimän käyttöveden kulutus yhteensä, vuosi | 139419,02 | dm ³ /a | | | | |
| | 139,42 | m ³ /a | | | | |
| Navetan osuus kulutetusta ja tuotetusta lämpimästä käyttövedestä | 74 % | | | | | |
| Maalämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia, LKV: | | | | | | |
| Lämpöpumpun käyttöönnotosta kulunut aika, vuorokausina | 1605 | d | | | | Laskettu laskurilla https://www.laskurini.fi/hyoty/paivalaskuri |
| Lämpöpumpun elinkaaren aikana tuotettu lämpöenergia, LKV | 32967 | kWh | | | | |
| Tuotettu kokonaislämpöenergia, LKV, vuorokausi | 20,54 | kWh/d | | | | |
| Tuotettu kokonaislämpöenergia, LKV, vuosi | 7497,17 | kWh/a | | | | |
| Navetan osuus, LKV: | | | | | | |
| Tuotettu lämpöenergia, LKV, vuorokausi | 15,16 | kWh/d | | | | |
| Tuotettu lämpöenergia, LKV, vuosi | 5534,40 | kWh/a | | | | |

Liite 3. Sähkönkulutukseen liittyvät laskennat

| Sähkö: | | | |
|---|------------|---------|---|
| Kulutus vuositasona 2018-2022: | | | |
| | x | Yksikkö | |
| 2018 | 49603,88 | | |
| 2019 | 49550,28 | kWh | |
| 2020 | 53317,74 | kWh | |
| 2021 | 58712,07 | kWh | |
| 2022 | 49765,44 | kWh | |
| Kulutuksen vuosikeskiarvo | 52836,3825 | kWh | |
| Kulutuksen jakautuminen: | | | |
| Navetta | 29920,42 | kWh/a | |
| Asuinrakennus | 11340,64 | kWh/a | |
| Paja | 3000 | kWh/a | |
| Maalämpöpumppu | 8575,32 | kWh/a | |
| Lämpöpumpun ostoenergiankulutus: | | | |
| | | Tunnus | |
| Lämpöpumpun käyttöönotosta kulunut aika, vuorokausina | 1605 | d | |
| Lämpöpumpun elinkaaren aikana tuotettu lämpöenergia, tilat | 63111 | kWh | $Q_{LP,lämmitys,tilat}$ |
| Lämpöpumpun elinkaaren aikana tuotettu lämpöenergia, LKV | 32967 | kWh | $Q_{LP,lämmitys,LKV}$ |
| Lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä | 2,7 | - | SPF_{tilat} |
| Lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä | 2,3 | - | SPF_{LKV} |
| Lämpöpumpun elinkaaren aikainen ostoenergiankulutus | 37707,92 | kWh | |
| Ostoenergiankulutus, vuorokausi | 23,49 | kWh/d | |
| Ostoenergiankulutus, vuosi | 8575,32 | kWh/a | |
| Laskettu kaavalla 5, lämpöpumppujen energialaskentaopas (2012) | | | |
| $W_{LP,lämmitys} = \frac{Q_{LP,lämmitys,tilat}}{SPF_{tilat}} + \frac{Q_{LP,lämmitys,LKV}}{SPF_{LKV}} \quad (5)$ | | | |
| Sähköenergiankulutus: | | | |
| Asuinrakennus + lämpöpumppu: | | | |
| (1) Mitattu sähkönkulutus | 71178,40 | kWh | Ensimmäinen mittaus (1) suoritettiin 10.11.2022, toinen mittaus (2) 7.12.2022. |
| (2) Mitattu sähkönkulutus | 72706,20 | kWh | |
| Mittausten välinen aika, vuorokausina | 28 | d | Laskettu laskurilla https://www.laskurini.fi/hyoty/paivalaskuri |
| Sähkönkulutus mitatulla aikavälillä | 1527,80 | kWh | |
| Sähkönkulutus, vuorokausi | 54,56 | kWh | |
| Sähkönkulutus, vuosi | 19915,96 | kWh | |
| Asuinrakennus: | | | |
| Sähkönkulutus, vuorokausi | 31,07 | kWh | |
| Sähkönkulutus, vuosi | 11340,64 | kWh | |
| Säätiöiden mittauspiste Liperi Joensuun lentoasema, etäisyys kohteesta n. 40 km | | | |

Liite 4. Sähkön vuosikulutus 2018-2022 sekä keskiarvokulutus

| Vuosikulutus, kokonaiskulutus: | | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| | 2022 | 2021 | 2020 | 2019 | 2018 | |
| Kuukausi | Kulutus | Kulutus | Kulutus | Kulutus | Kulutus | KA kulutus |
| | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] |
| 1 | 5747,97 | 7150,99 | 5299,33 | 6201,59 | 4752,65 | 5830,51 |
| 2 | 5004,21 | 7067,09 | 5159,29 | 5174,75 | 4388,11 | 5358,69 |
| 3 | 5046,10 | 6235,98 | 5411,27 | 4867,71 | 5457,88 | 5403,79 |
| 4 | 4353,34 | 4936,63 | 4940,62 | 3925,38 | 6555,1 | 4942,21 |
| 5 | 4157,50 | 4339,92 | 4091,63 | 3463,35 | 4411,05 | 4092,69 |
| 6 | 3674,59 | 3848,65 | 3332,08 | 3187,63 | 3089,16 | 3426,42 |
| 7 | 3805,10 | 3911,57 | 3115,77 | 2880,73 | 2838,45 | 3310,32 |
| 8 | 3641,68 | 3908,53 | 2969,68 | 2962,38 | 2987,85 | 3294,02 |
| 9 | 2821,71 | 3198,02 | 3026,74 | 2937,66 | 2969,19 | 2990,66 |
| 10 | 3740,65 | 3748,78 | 3888,29 | 3831,43 | 3096,97 | 3661,22 |
| 11 | 3923,08 | 4276,26 | 5055,16 | 4744,62 | 3540,11 | 4307,85 |
| 12 | 3849,51 | 6089,65 | 7027,88 | 5373,05 | 5517,36 | 5571,49 |
| Vuosi | 49765,44 | 58712,07 | 53317,74 | 49550,28 | 49603,88 | 52189,88 |

Liite 5. Aurinkosähköjärjestelmän kustannuslaskenta, vaihtoehto 1

| Vaihtoehto 1: | | | | | | |
|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------|--------------------|-----------------------|
| Vuosi | Energian tuotanto | Ostosähkön säästö | Ylläpitokustannukset | Nettosäästö | Diskontattu säästö | Kumulatiivinen säästö |
| | [kWh] | [€] | [€] | [€] | [€] | [€] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | -6350 | -6350 | -6350 |
| 1 | 2233,8 | 287,62 | 12,70 | 274,92 | 266,91 | -6075,08 |
| 2 | 2222,6 | 293,37 | 12,70 | 280,67 | 264,56 | -5794,40 |
| 3 | 2211,5 | 299,24 | 12,70 | 286,54 | 262,23 | -5507,86 |
| 4 | 2200,4 | 305,23 | 12,70 | 292,53 | 259,91 | -5215,34 |
| 5 | 2189,4 | 311,33 | 12,70 | 298,63 | 257,60 | -4916,71 |
| 6 | 2178,5 | 317,56 | 12,70 | 304,86 | 255,31 | -4611,85 |
| 7 | 2167,6 | 323,91 | 12,70 | 311,21 | 253,04 | -4300,64 |
| 8 | 2156,8 | 330,39 | 12,70 | 317,69 | 250,78 | -3982,95 |
| 9 | 2146,0 | 336,99 | 12,70 | 324,29 | 248,54 | -3658,66 |
| 10 | 2135,2 | 343,73 | 12,70 | 331,03 | 246,32 | -3327,63 |
| 11 | 2124,6 | 350,61 | 12,70 | 337,91 | 244,11 | -2989,72 |
| 12 | 2113,9 | 357,62 | 12,70 | 344,92 | 241,92 | -2644,80 |
| 13 | 2103,4 | 364,77 | 12,70 | 352,07 | 239,74 | -2292,72 |
| 14 | 2092,9 | 372,07 | 12,70 | 359,37 | 237,59 | -1933,35 |
| 15 | 2082,4 | 379,51 | 12,70 | 366,81 | 235,44 | -1566,54 |
| 16 | 2072,0 | 387,10 | 12,70 | 374,40 | 233,31 | -1192,14 |
| 17 | 2061,6 | 394,84 | 12,70 | 382,14 | 231,20 | -810,00 |
| 18 | 2051,3 | 402,74 | 12,70 | 390,04 | 229,11 | -419,96 |
| 19 | 2041,1 | 410,79 | 12,70 | 398,09 | 227,03 | -21,87 |
| 20 | 2030,9 | 419,01 | 12,70 | 406,31 | 224,96 | 384,44 |
| 21 | 2020,7 | 427,39 | 12,70 | 414,69 | 222,92 | 799,13 |
| 22 | 2010,6 | 435,94 | 12,70 | 423,24 | 220,88 | 1222,37 |
| 23 | 2000,5 | 444,66 | 12,70 | 431,96 | 218,87 | 1654,33 |
| 24 | 1990,5 | 453,55 | 12,70 | 440,85 | 216,87 | 2095,18 |
| 25 | 1980,6 | 462,62 | 12,70 | 449,92 | 214,88 | 2545,10 |

Liite 6. Aurinkosähköjärjestelmän kustannuslaskenta, vaihtoehto 2

| Vaihtoehto 2: | | | | | | |
|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------|--------------------|-----------------------|
| Vuosi | Energian tuotanto | Ostosähkön säästö | Ylläpitokustannukset | Nettosäästö | Diskontattu säästö | Kumulatiivinen säästö |
| | [kWh] | [€] | [€] | [€] | [€] | [€] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | -22880 | -22880 | -22880 |
| 1 | 14181,6 | 1826,03 | 45,76 | 1780,27 | 1728,42 | -21099,73 |
| 2 | 14110,7 | 1862,55 | 45,76 | 1816,79 | 1712,50 | -19282,94 |
| 3 | 14040,2 | 1899,80 | 45,76 | 1854,04 | 1696,71 | -17428,91 |
| 4 | 13970,0 | 1937,80 | 45,76 | 1892,04 | 1681,05 | -15536,87 |
| 5 | 13900,1 | 1976,55 | 45,76 | 1930,79 | 1665,52 | -13606,08 |
| 6 | 13830,6 | 2016,08 | 45,76 | 1970,32 | 1650,11 | -11635,76 |
| 7 | 13761,5 | 2056,40 | 45,76 | 2010,64 | 1634,84 | -9625,11 |
| 8 | 13692,7 | 2097,53 | 45,76 | 2051,77 | 1619,69 | -7573,34 |
| 9 | 13624,2 | 2139,48 | 45,76 | 2093,72 | 1604,66 | -5479,62 |
| 10 | 13556,1 | 2182,27 | 45,76 | 2136,51 | 1589,77 | -3343,11 |
| 11 | 13488,3 | 2225,92 | 45,76 | 2180,16 | 1574,99 | -1162,95 |
| 12 | 13420,9 | 2270,44 | 45,76 | 2224,68 | 1560,34 | 1061,73 |
| 13 | 13353,8 | 2315,84 | 45,76 | 2270,08 | 1545,82 | 3331,81 |
| 14 | 13287,0 | 2362,16 | 45,76 | 2316,40 | 1531,41 | 5648,21 |
| 15 | 13220,5 | 2409,40 | 45,76 | 2363,64 | 1517,13 | 8011,86 |
| 16 | 13154,4 | 2457,59 | 45,76 | 2411,83 | 1502,97 | 10423,69 |
| 17 | 13088,7 | 2506,74 | 45,76 | 2460,98 | 1488,94 | 12884,67 |
| 18 | 13023,2 | 2556,88 | 45,76 | 2511,12 | 1475,02 | 15395,79 |
| 19 | 12958,1 | 2608,02 | 45,76 | 2562,26 | 1461,22 | 17958,05 |
| 20 | 12893,3 | 2660,18 | 45,76 | 2614,42 | 1447,54 | 20572,47 |
| 21 | 12828,9 | 2713,38 | 45,76 | 2667,62 | 1433,98 | 23240,09 |
| 22 | 12764,7 | 2767,65 | 45,76 | 2721,89 | 1420,53 | 25961,98 |
| 23 | 12700,9 | 2823,00 | 45,76 | 2777,24 | 1407,21 | 28739,22 |
| 24 | 12637,4 | 2879,46 | 45,76 | 2833,70 | 1393,99 | 31572,92 |
| 25 | 12574,2 | 2937,05 | 45,76 | 2891,29 | 1380,90 | 34464,21 |

Liite 7. Aurinkolämpöjärjestelmän kustannuslaskenta

| Vuosi | Energian tuotanto [kWh] | Ostosähkön säästö [€] | Ylläpitokustannukset [€] | Nettosäästö [€] | Diskontattu säästö [€] | Kumulatiivinen säästö [€] |
|-------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | -8650 | -8650 | -8650 |
| 1 | 1660,8 | 213,85 | 17,3 | 196,55 | 190,83 | -8453,45 |
| 2 | 1652,5 | 218,13 | 17,3 | 200,83 | 189,30 | -8252,62 |
| 3 | 1644,3 | 222,49 | 17,3 | 205,19 | 187,78 | -8047,43 |
| 4 | 1636,1 | 226,94 | 17,3 | 209,64 | 186,26 | -7837,79 |
| 5 | 1627,9 | 231,48 | 17,3 | 214,18 | 184,75 | -7623,61 |
| 6 | 1619,7 | 236,11 | 17,3 | 218,81 | 183,25 | -7404,80 |
| 7 | 1611,6 | 240,83 | 17,3 | 223,53 | 181,75 | -7181,27 |
| 8 | 1603,6 | 245,65 | 17,3 | 228,35 | 180,26 | -6952,93 |
| 9 | 1595,6 | 250,56 | 17,3 | 233,26 | 178,77 | -6719,67 |
| 10 | 1587,6 | 255,57 | 17,3 | 238,27 | 177,30 | -6481,40 |
| 11 | 1579,6 | 260,68 | 17,3 | 243,38 | 175,82 | -6238,01 |
| 12 | 1571,7 | 265,90 | 17,3 | 248,60 | 174,36 | -5989,42 |
| 13 | 1563,9 | 271,21 | 17,3 | 253,91 | 172,90 | -5735,50 |
| 14 | 1556,1 | 276,64 | 17,3 | 259,34 | 171,45 | -5476,16 |
| 15 | 1548,3 | 282,17 | 17,3 | 264,87 | 170,01 | -5211,29 |
| 16 | 1540,5 | 287,81 | 17,3 | 270,51 | 168,58 | -4940,78 |
| 17 | 1532,8 | 293,57 | 17,3 | 276,27 | 167,15 | -4664,51 |
| 18 | 1525,2 | 299,44 | 17,3 | 282,14 | 165,73 | -4382,37 |
| 19 | 1517,6 | 305,43 | 17,3 | 288,13 | 164,32 | -4094,23 |
| 20 | 1510,0 | 311,54 | 17,3 | 294,24 | 162,91 | -3799,99 |
| 21 | 1502,4 | 317,77 | 17,3 | 300,47 | 161,52 | -3499,52 |
| 22 | 1494,9 | 324,13 | 17,3 | 306,83 | 160,13 | -3192,70 |
| 23 | 1487,4 | 330,61 | 17,3 | 313,31 | 158,75 | -2879,39 |
| 24 | 1480,0 | 337,22 | 17,3 | 319,92 | 157,38 | -2559,47 |
| 25 | 1472,6 | 343,97 | 17,3 | 326,67 | 156,02 | -2232,80 |