

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2021

Lassi Kujanen

LÄMMÖN- JA SÄHKÖNTUOTANNON TARKASTELU JA UUDISTAMINEN MAATILALLA

Lassi Kujanen

LÄMMÖN- JA SÄHKÖNTUOTANNON TARKASTELU JA UUDISTAMINEN MAATILALLA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella Paraisilla sijaitsevan maatilan lämmön- ja sähköntuotannon kehittämismahdollisuuksia.

Opinnäytetyössä perehdyttiin useisiin lämmön- ja sähköntuotantojärjestelmiin. Työssä esitellään erilaisia järjestelmiä ja pohditaan niiden soveltuvuutta opinnäytetyön kohteena olevalle maatilalle. Toimeksiantajan toiveesta työn pääpaino oli pääsuinrakennuksen lämmöntuotantojärjestelmän päivittämisessä ja oman sähköntuotantojärjestelmän kannattavuuden selvittämisessä.

Mahdollisesti kannattavimmista järjestelmistä lähetettiin tarjouspyynnöt laitetoimittajille. Vastaaotettujen tarjousten perusteella vertailtiin uuden järjestelmän kannattavuutta nykyiseen tilanteeseen.

Opinnäytetyössä saatiin selvitettyä maatilalle sopivat lämmön- ja sähköntuotantojärjestelmät. Pääsuinrakennuksen lämmöntuotantojärjestelmän uusimista maalämpöä varten tehtiin kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelmat. Lämmöntuotantojärjestelmän vaihtaminen maalämpöön osoittautui erittäin kannattavaksi. Maatilan omavaraisen sähkön tuottamiseen valittujen aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta tutkittiin PV*SOL premium -simulointiohjelmalla. Myös sähköntuotantojärjestelmä osoittautui kannattavaksi.

Opinnäytetyön tuloksena maatala sai tarjoukset uudesta lämmöntuotantojärjestelmästä ja aurinkosähköjärjestelmistä sekä niiden pohjalta tehdyt kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelmat. Maatala tekee saatujen tulosten perusteella päätöksensä uusista investoinneista.

ASIASANAT:

lämmöntuotanto, sähköntuotanto, kannattavuus, takaisinmaksuaika

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and Environmental Technologies

December 2021 | 43 pages

Lassi Kujanen

REVIEW AND RENEWAL OF HEAT AND ELECTRICITY PRODUCTION FOR A FARM

The purpose of the thesis was to examine the development possibilities of heat production and electricity generation on a farm in Parainen.

The thesis focused on several different heat production and electricity generation systems. General information about the systems and their suitability for the farm was provided. At the request of the client, the main focus of the work was on updating the heat production system of the main residential building and determining if an electricity generation system would be profitable on the farm.

Offer requests were sent to equipment suppliers for the potentially most profitable systems. On the basis of the offers received, the profitability of the new system was compared with the current situation.

Suitable heat production and electricity generation systems for the farm were found in the thesis. For the renewal of the heat production system in the main residential building, profitability and payback period calculations were made. Switching the old heat production system to a geothermal heat pump proved to be very profitable. The profitability of the photovoltaic systems selected for the self-sufficient electricity generation of the farm were examined with the PV * SOL premium -simulation program. The electricity generation system also proved to be profitable.

Due to the small number of offers received, it was not possible to thoroughly compare the different forms of heat production or electricity generation.

As a result of the thesis, the farm received offers for a new heat production system and photovoltaic systems, as well as profitability and payback period calculations based on them. Based on the results obtained, the farm makes its decisions on new investments.

KEYWORDS:

heat production, electricity generation, profitability, payback period

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 TOIMEKSIANTAJAN MAATILA	8
3 NYKYTILANTEEN KARTOITUS	9
4 LÄMMÖNTUOTANTOJÄRJESTELMÄT	12
4.1 Lämpöpumput	12
4.1.1 Maalämpöpumppu	13
4.1.2 Ilma-vesilämpöpumppu	14
4.1.3 Ilmalämpöpumppu	15
4.1.4 Sedimenttilämpö	16
4.2 Öljylämmitys	17
4.3 Pellettilämmitys	17
4.4 Aurinkolämpö	18
5 SÄHKÖNTUOTANTOJÄRJESTELMÄT	20
5.1 Aurinkosähkö	21
5.2 Tuulivoima	22
6 LÄMMÖN- JA SÄHKÖNTUOTANTOJÄRJESTELMIEN KANNATTAVUUSLASKELMAT	24
6.1 Laskentakaavat	24
6.2 Vastaanotetut tarjoukset	26
6.3 Investointituki	28
6.4 Laskelmat	30
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	40
LÄHTEET	41

KUVAT

Kuva 1. Maatilan sähkönkulutuksen viikkojakauma vuonna 2020.	9
Kuva 2. Ilmakuva maatilan pihapiiristä.	10
Kuva 3. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Pieskä 2014, 5).	12
Kuva 4. Aurinkolämpöjärjestelmän laitteisto (Motiva 2021).	19
Kuva. 6 Aurinkosähkö 1:n aurinkosähköjärjestelmän asennuskuvio.	26
Kuva 7. Aurinkosähkö 2:n aurinkosähköjärjestelmän asennuskuvio.	27
Kuva 8. PV*SOL premium -ohjelmistolla tehty luonnostelma maatilan tuotantorakennuksista.	33

TAULUKOT

Taulukko 1. Maatilan sähkölaskun muodostuminen.	10
Taulukko 2. Pörssisähkön spot-hintojen kuukausittaiset keskiarvot (Sähkön kilpailutus 2021).	20
Taulukko 3. Aurinkosähköjärjestelmien vertailu.	28
Taulukko 4. Aurinkosähkö 1:n aurinkosähköjärjestelmän tuotanto.	34
Taulukko 5. Aurinkosähkö 1:n aurinkosähköjärjestelmän tuotanto ja Maalämpö 1:n maalämpöpumppu maatilalla.	34
Taulukko 6. Taloudelliset arviot ilman maalämpöä tai tukea.	36
Taulukko 7. Taloudelliset arviot ilman maalämpöä tuki huomioituna.	36
Taulukko 8. Taloudelliset arviot maalämmöllä ilman tukea.	36
Taulukko 9. Taloudelliset arviot maalämmöllä ja tuella.	36
Taulukko 10. Aurinkosähkö 2:n aurinkosähköjärjestelmän tuotanto.	37
Taulukko 11. Aurinkosähkö 2:n aurinkosähköjärjestelmän tuotanto ja Maalämpö 1:n maalämpöpumppu maatilalla.	37
Taulukko 12. Taloudelliset arviot ilman maalämpöä tai tukea.	39
Taulukko 13. Taloudelliset arviot ilman maalämpöä tuki huomioituna.	39
Taulukko 14. Taloudelliset arviot maalämmöllä ilman tukea.	39
Taulukko 15. Taloudelliset arviot maalämmöllä ja tuella.	39

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

alv	Arvonlisävero on kulutusvero, jota maksetaan tavaroista ja palveluista
COP	Coefficient Of Performance eli lämpöpumpun hyötysuhde
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskus
kWh	Kilowattitunti on tapa mitata energiankulutusta
kWp	Kilowattipiikki kuvaa laitteen tuottamaa huipputehoa
LVI	Lämmitys-, vesijohto- ja ilmanvaihtotekniikka ovat talotekniikan keskeisiä osa-alueita.
ROI	Return on Investment eli sijoitetun pääoman tuottoaste

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä kartoitetaan Varsinais-Suomessa Paraisilla sijaitsevan maatilán energiankäytön nykytilanne ja sen mahdolliset taloudelliset kehittämismahdollisuudet. Tavoitteena on löytää taloudellisia ja ympäristöystävällisiä energiamuotoja käytettäväksi maatilalle. Toimeksiantajan toiveena on tuottaa itse sähköä ja uudistaa pääsuinrakennuksen lämmöntuotantojärjestelmä. Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella eri investointivaihtoehtoja ja auttaa toimeksiantajaa sopivan järjestelmän valinnassa.

Tutkimusta varten on lähetetty tarjouspyyntöjä sähköntuotanto- ja lämmitysjärjestelmistä useille LVI- ja energia-alan yrityksille. Vastaanotettujen tarjousten pohjalta on laskettu investointien tuotantoa ja kannattavuutta. Tarjoukset on laadittu maatilán tiedoilla vuodelta 2020.

Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta on laskettu PV*SOL premium -simulointiohjelmiston avulla. Ohjelmistolla pyritään luomaan mahdollisimman tarkasti todelliset olosuhteet simulaatioon. Karttapohjalle luodaan rakennukset ja maastonmuodot sekä varjostavat kohteet. Ohjelmisto ottaa huomioon muun muassa alueen säädatan, auringon säteilyn määrän ja paneeleita varjostavien kohteiden vaikutukset tuotantoon. Ohjelmistoa käytetään Turun ammattikorkeakoulun energiatekniikan opinnoissa.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään energian tuotantoon. Uusina energiantuotantomuotoina on valittu useita maatilalle mahdollisesti sopivia sovelluksia esimerkiksi maantieteellisen sijainnin mukaan. Rajauksen ulkopuolelle jäävät energian säästämistoimet esimerkiksi paremmat lämmöneristykset ja muutetut kulutuskäytännöt maatilalla.

2 TOIMEKSIANTAJAN MAATILA

Vuonna 2020 Suomessa oli 45 630 maatalous- ja puutarhayritystä. Koko maan keskimääräinen käytössä olevan maatalousmaan pinta-ala oli 50 hehtaaria ja Varsinais-Suomessa pinta-ala oli 61 hehtaaria. Maanviljelijöiden keski-ikä oli 53 vuotta ja noin kolmannes oli yli 60-vuotiaita. (Luonnonvarakeskus 2021.)

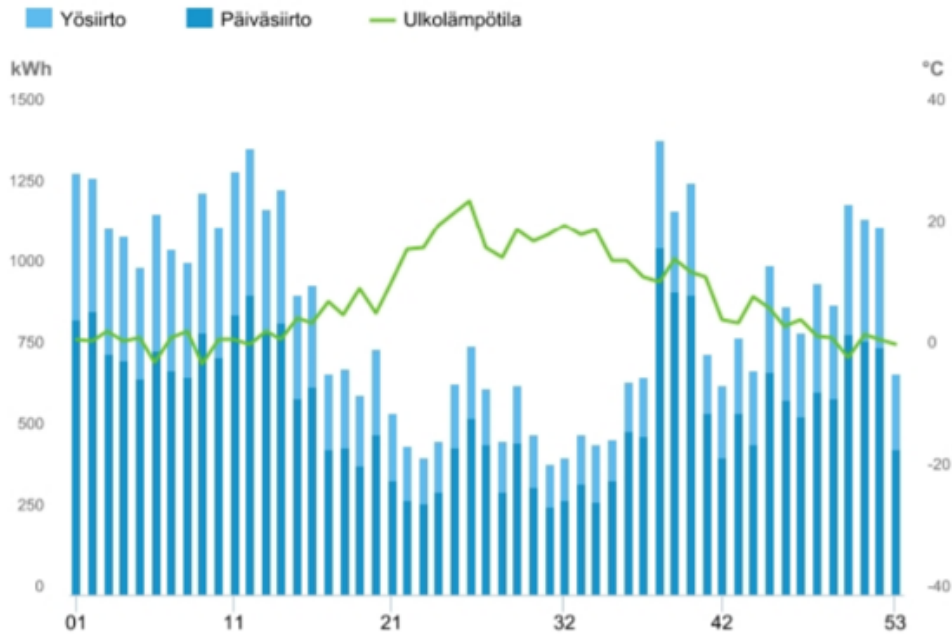
Opinnäytetyön kohteena oleva maatila sijaitsee Paraisilla. Maatila on yhdistetty viljely- ja eläintila, jolla pääpaino on viljelyllä. Viljeltävää pinta-alaa on noin 200 hehtaaria. Tilalla on tällä hetkellä noin 50 lammasta, joita käytetään paimennusharrastuksessa. Viime vuosina tilalla on ollut myös ylämaankarjaa, jota on käytetty lähinnä maisemalaiduntamiseen. Lähiaikoina on tarkoitus tuoda karjaa takaisin tilalle.

Yli sata vuotta vanhalla maatilalla on useita rakennuksia, ja ne sijoittuvat laajalle alueelle. Maatilan asuinrakennuksiin kuuluu kaksi vakituksessa asutuksessa olevaa taloa ja neljä ajoittain asutettua taloa tai mökkiä. Muita osittain lämmitettäviä rakennuksia ovat talli ja konehalli.

Maatilalla on tapahtumassa viiden vuoden sisällä sukupolvenvaihdos. Uusi isäntä tulee olemaan neljännen sukupolven edustaja tilalla. Maatilan toiminnasta ja tulevaisuudesta halutaan ympäristöystävällisempää ja omavaraisempaa omalla sähköntuotannolla kuten aurinkosähköjärjestelmällä sekä päivittää vanhaa lämmöntuotantojärjestelmää pois pelletti- ja öljylämmityksestä.

3 NYKYTILANTEEN KARTOITUS

Maatilan vuoden 2020 sähkönkulutus oli 45 559 kWh, ja sen kokonaiskustannus oli 6 677,59 €. Vuotuinen sähkönkulutus on esitetty kuvassa 1 sähkösiirron viikkojakaumana. Suomessa sähkön hinta muodostuu sähköenergiasta, sähkön siirrosta ja sähkö- ja arvonlisäveroista.



Kuva 1. Maatilan sähkönkulutuksen viikkojakauma vuonna 2020.

Taulukossa 1 on eritelty sähköenergian, sähkösiirron ja sähköveron kustannukset. Maatilan sähkönmyyntisopimuksen sähköenergian hinta on 4,98 snt/kWh (alv 24 %) ja lisäksi se sisältää kuukausimaksuja 10,99 €/kk (alv 24 %). Sähköenergian osuus vuoden sähkönkulutuksen kokonaiskustannuksesta on 2 400,68 €.

Sähkösiirron kokonaiskustannus sisältää myös sähköveron. Sähköveroluokkia on kaksi. Maatila kuuluu sähköveroluokkaan yksi, joka on 2,79372 snt/kWh (alv 24 %). Sähköveron osuus vuoden sähkönkulutuksen kokonaiskustannuksesta on 1 272,79 €.

Maatilan sähkösiirtosopimuksessa päiväsiirron hinta on 4,45 snt/kWh (alv 24 %) ja yösiirron hinta on 2,74 snt/kWh (alv 24 %) sekä lisäksi peruskuukausimaksu 102,20 €/kk (alv 24%). Sähkösiirron osuus vuoden sähkönkulutuksen kokonaiskustannuksesta on 3 004,12 €.

Taulukko 1. Maatilan sähkölaskun muodostuminen.

	Sähköenergia	Sähkönsiirto	Sähkövero	Yhteensä
Päivähinta, snt/kWh	4,98	4,45	2,79	12,22
Yöhinta, snt/kWh	4,98	2,74	2,79	10,51
Kuukausimaksut, €/kk	10,99	102,20	0	113,19
Osuus vuoden sähkölaskusta, €	2 400,68	3 004,12	1 272,79	6 677,59
Osuus vuoden sähkölaskusta, %	36	45	19	100

Maatilan noin 400-neliöisessä pääasuinrakennuksessa on talvella pellettilämmitys pää-
lämmitysjärjestelmänä ja ilmalämpöpumppu lisälämmönlähteenä. Pellettejä kuluu noin
12 tonnia vuodessa, ja ne toimitetaan 500 kg säkeissä. Pellettisäkin hinta on 130 € ja
tonnihinta 260 €. Vuoden pelletit ja kotiinkuljetus maksavat noin 3 050 €. Lisäksi avo-
takka tuo kylmällä säällä lämpöä ja luo tunnelmaa taloon. Polttopuut tehdään maatilan
omien metsien puista, ja niitä kuluu keskimäärin 4 m³ vuodessa. Kuivien koivuklapien
irtokuutiohinta on noin 60 €, joten polttopuita kuluu 240 € arvosta. Kesällä siirrytään
öljylämmitykseen, jolla lämmitetään pääosin käyttövettä. Ilmalämpöpumppu toimii silloin
sisäilman viilennyksessä. Öljyä kuluu noin 1 000 litraa vuodessa. Polttoöljy maksaa noin
0,99 €/L, joten 1 000 litraa öljyä maksaa noin 1 040 € kuljetusmaksuineen.

Maatilan pääasuinrakennus näkyy kuvassa 2 vasemmalla puolella. Kuvan oikeassa lai-
dassa on konehalli, lampola ja uusi kuivuri sekä kuvan keskellä on talli ja vanha kuivuri.



Kuva 2. Ilmakuva maatilan pihapiiristä.

Alatalon 70-neliöinen alakerta on jatkuvasti asuttu. Yläkerta ei lämmitetä, ja se on vain
vähäisessä käytössä. Talossa on suora sähkölämmitys ja varaava takka, jossa poltetaan

sekapuita noin 6 m³ vuodessa. Sekapuiden irtokuutiointihinta on noin 45 €. Takassa palaa siis noin 270 € arvosta omia puita. Talossa on lisälämmönlähteenä uusi ilmalämpöpumppu, jota käytetään myös levittämään takan lämpöä koko taloon. Kesällä se jäädyttää sisäilmaa tehokkaasti.

Torpalla, joka on kesätyöntekijöiden käytössä kesällä, on suora sähkölämmitys ja takka. Metsästysaikaan torppaa vuokrataan metsästäjille. Torppa ei ole talvisin vakituksessa käytössä, joten sitä ei pidetä lämmitettynä.

Konehalli on jaettu kylmään ja lämpimään puoleen. Lämpimällä puolella maalihuone pysyy sähköpatterilla lämmitettynä, jotta maalit ja muut nesteet eivät jäädy talvella. Muuta tilaa lämmitetään öljypolttimella. Öljyä tuodaan ulkotankista 20 litran kannulla, ja lämmittintä käytetään vain tarvittaessa. Öljyn kulutus talvella noin 60 litraa viikossa käytöstä riippuen. Konehallin kylmällä puolella säilytetään maatalouskoneita.

Saunakamarissa on sähköpattereita ja takka lämmitykseen. Pääasuinrakennuksessa ei ole omaa saunaa, joten saunakamarissa olevaa saunaa käytetään usein. Samassa rakennuksessa on perunakellari ja kylmiö, jossa säilytetään myyntiin meneviä tilalla tuotettuja mansikoita, herneitä ja perunoita.

Saarimökissä on oma aurinkosähköjärjestelmä, jossa on kaksi aurinkopaneelia. Valaistuksen ja television lisäksi esimerkiksi kaivon vesipumppu toimii aurinkosähköllä. Järjestelmään kuuluu kaksi akkua ja invertteri, jolla saadaan myös 230 V sähkölaitteet toimimaan.

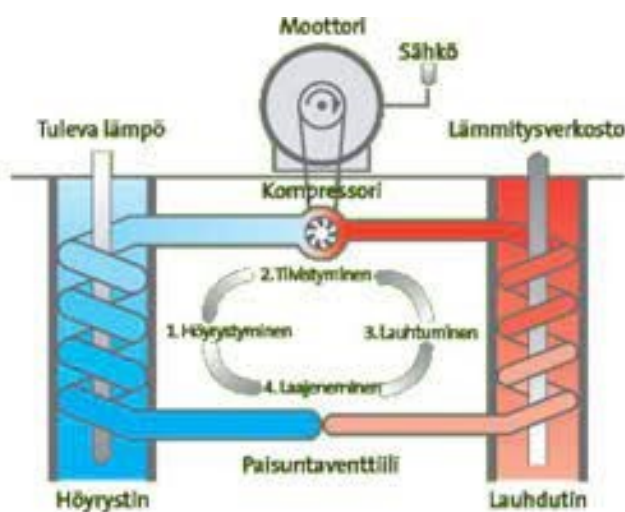
Rantasaunalla on aurinkosähköjärjestelmä, jossa on yksi aurinkopaneeli. Sähköä käytetään valaistukseen ja television katseluun. Pieni 12 V järjestelmä on riittävä ajoittaiseen käyttöön.

4 LÄMMÖNTUOTANTOJÄRJESTELMÄT

Päätös rakennuksen lämmitysmuodosta on yksi tärkeimmistä ja kauaskantoisimmista valinnoista rakennuksen kannalta. Yleisimpiä päälämmitysmuotoja ovat kaukolämpö, maa- ja ilma-vesilämpöpumput, öljy-, puu- ja pellettilämmitys sekä suora tai varaava sähkölämmitys. Rakennuksen lämmitysjärjestelmän valinta on aina tapauskohtainen ja siihen vaikuttavia asioita ovat muun muassa talon koko, tontti, tilat, eristys ja energiankulutus. Myös omat mieltymykset ja arvot vaikuttavat suuresti lämmitysjärjestelmän valintaan. Hyvän lämmitysjärjestelmän luotettavuus on tärkeää Suomen kaltaisissa oloissa. Paljon energiaa kuluttavissa rakennuksissa halpaa lämpöä tuottava järjestelmä on usein suuremmasta alkuinvestoinnista huolimatta taloudellisempi ratkaisu. Energiankulutuksen ollessa vähäisempää halpa lämmitysjärjestelmä voi olla kannattavampi kalliimmasta lämmöntuotannosta huolimatta. (Suomela 2021.)

4.1 Lämpöpumput

Lämpöpumput keräävät lämmön energialähteestä kylmäainepiiriin, joka pystyy sitomaan energiaa alhaisistakin lämpötiloista. Maalämpöpumput keräävät lämpöä noin 0 asteesta ja ilma-vesilämpöpumput jopa -25 asteesta. Kylmäaineen lämpötilaa nostetaan huomattavasti kompressorin avulla (kuva 3). Lämpöpumpuilla saadaan lämmitys- ja käyttövesi jopa 65-asteiseksi. (Thermia 2021.)



Kuva 3. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Pieskä 2014, 5).

Lähiaikaiseen lämpöpumppujen suosion lisääntymiseen on vaikuttanut niiden pienemmät lämmityskustannukset ja hiilijalanjäljet. Nykyisin pumpuissa on myös käyttöä helpottavat etäohjausmahdollisuudet. Lämpöpumput käyttävät uusiutuvaa energiaa esimerkiksi lämpöenergiaa ilmasta tai maalämpöä. (Suomela 2021.)

Kotitalouksissa ja isommissa kiinteistöissä lämpöpumppujen suosioon liittyy energiatehokkuus, ympäristöystävällisyys, taloudellisuus ja huolettomuus. Julkisen sektorin tiloissa, teollisuudessa sekä majoitus- ja liiketiloissa lämpöpumpuilla voidaan saavuttaa jopa kymmenien tuhansien eurojen säästöt vuodessa. (Energialous 2021.)

Lämpöpumpulla voi saada tuotettua jopa neljä yksikköä lämpöä yhtä sähköyksikköä kohden. Lämpöpumpulla voidaan saavuttaa jopa 80 % vähennys hiilidioksidipäästöihin suomalaisten kotien lämmityksessä. Jopa viidennes suomalaisten päästöistä voi johtua kotien lämmittämisestä. Suomessa noin 15 % rakennuksista lämmitetään lämpöpumpuilla. (Ilta-Sanomat 2021.)

4.1.1 Maalämpöpumppu

Maalämpö on edullinen käyttökustannuksiltaan, ympäristöystävällinen lämmitysmuoto ja energiatehokas ratkaisu. Maalämpöpumppu talteenottaa auringosta peräisin olevaa lämpöä, joka on varastoitunut maaperään, kallion tai vesistöön. Lämpöä saadaan kerättyä maasta putkiston avulla. Vertikaaliporauksella kallioon porataan pystysuora kaivo. Putkisto voidaan vaihtoehtoisesti kaivaa maaperään horisontaalisesti. (LämpöYkkönen 2021.)

Maalämmön arvioidut hiilidioksidipäästöt ovat jopa 4–5 kertaa öljylämmitystä pienemmät ja 3 kertaa pienemmät suoraan sähkölämmitykseen verrattaessa. Maalämmöllä voidaan saavuttaa jopa 70 % taloudelliset säästöt lämmityskustannuksissa. Maalämpöpumpun sähkönkulutus on noin 30–40 % tuottamastaan energiasta. (Techeat 2021.)

Maalämpöpumppua hankkiessa on varmistettava, että järjestelmä kykenee tuottamaan 55–65 °C-asteista vettä lämmönjakoverkostoon. Maalämpöpumpuissa käytetään pääasiassa kahta eri tekniikkaa. Valtaosa maalämpöpumpuista käyttää On-off-tekniikkaa. Laite siis käy vakioteholla, kunnes haluttu lämpötila saavutetaan. Kompressori kytkeytyy taas päälle, kun lämpötila laskee liian alas. Invertteri-mallissa laitteen tehoa voi säätää, jolloin maalämpöpumppu tuottaa lämpöä talon tarpeen mukaisesti. (LämpöYkkönen 2021.)

Maalämpöä voidaan hyödyntää myös sisäilman viilennyksessä. Maalämpöpumppuun liitetty maaviilennysjärjestelmä mahdollistaa sisälämpötilan säätelyn kesäisin. Seinä- tai kattopuhallin pitää huoneet viileinä ja vähentää ilmankosteutta. Sisäyksikkö näyttää samalta kuin tavallinen ilmalämpöpumppu, mutta ulkoyksikköä ei tarvita ollenkaan maaviilennysjärjestelmässä. (Rakentaja 2021.)

Maalämpöä voi myös käyttää yhdessä muiden lämmitysmuotojen kanssa. Hybridiratkaisun etuna on vanhan, mutta hyvin toimivan lämmitysjärjestelmän hyödyntäminen, jolloin saadaan usein kustannustehokas kokonaisuus. Maalämpö sopii myös suuriin kiinteistöihin kuten kerrostaloihin, teollisuushalleihin ja varastoihin. (LämpöYkkönen 2021.)

Maalämpöpumppujärjestelmistä pyydettiin tarjouksia eri toimittajilta pääasuinrakennuksen lämmöntuotantojärjestelmän uusimista varten. Pääasuinrakennuksessa on jo vesikiertoinen lämmitys, joten uutta lämmönjakojärjestelmää ei tarvitse asentaa. Yksi toimittaja antoi tarjouksen järjestelmästä. Maalämpöpumppujärjestelmän kannattavuutta tarkastellaan luvussa 6.4.

4.1.2 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu toimii melkein samalla periaattella kuin perinteinen ilmalämpöpumppukin, mutta ilma-vesilämpöpumpulla lämmitetään sekä talon lämmönjakojärjestelmän vettä että lämmintä käyttövetä. Ilma-vesilämpöpumppu soveltuu talon päälämmitysjärjestelmäksi. Kohteesta riippuen lämmityskustannuksissa on mahdollista saada jopa 40–70 %:n säästöt. Yleisesti ilma-vesilämpöpumppu saa riittävästi lämpöä ulkoilmasta toimiakseen. Kovilla pakkasilla joudutaan käyttämään sähkövastusta lisälämmitykseen. (Tom Allen Senera 2021.)

Talven kovilla pakkasilla ilma-vesilämpöpumpun lämpökerroin voi pudota jopa sähkölämmityksen tasolle. Esimerkiksi ilma-vesilämpöpumppu antaa -20 °C :n pakkasella noin 50 % vähemmän tehoa kuin $+7\text{ °C}$:n lämpötilassa. Usein ilma-vesilämpöpumpuilla on vaikeuksia tuottaa yli 55 °C lämmitys- ja käyttövetä. Veden lämpötilaa voidaan joutua nostamaan vesivaraajan sähkövastuksella. Lattialämmityksen yhteydessä ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhde on selkeästi parempi kuin vesipatterilämmityksessä. (Energiatehokas koti 2021.)

Erillistä porakaivoa ei tarvita ilma-vesilämpöpumpun toimintaan, joten se on halvempi vaihtoehto ottaa käyttöön kuin maalämpö. Ilma-vesilämpöpumppu on riippuvainen

ulkolämpötilasta toisin kuin maalämpö, joka hyödyntää syvällä maanpinnan alla olevaa tasaista lämpöä. (Suomela 2021.)

Ilma-vesilämpöpumppujen yleisimpiä asennuskohteita ovat sellaiset, joihin ei ole kannattavaa tai muutoin mahdollista asentaa maalämpöjärjestelmää. Ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmä on yleensä halvempi kuin maalämpöpumpputjärjestelmä. Vuositasolla ilma-vesilämpöpumppu antaa selkeästi vähemmän ilmaisenergiaa kuin maalämpö. (Energiatehokas koti 2021.)

Maatilalla oltiin kiinnostuneita ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmästä sen huolettomuuden kannalta verrattaessa nykyiseen järjestelmään ja pienempään investointikuluun verrattaessa maalämpöön. Ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmistä lähetettiin tarjouspyyntöjä, mutta yksikään toimittaja ei vastannut niihin. Eräs toimittaja ilmoitti, ettei pysty toimittamaan tarpeeksi suurta järjestelmää kohteeseen. Toisen toimittajan mielestä kohteeseen kannattaisi asentuttaa maalämpöpumppu eikä ilma-vesilämpöpumppua. Puuttuvan tarjouksen johdosta opinnäytetyössä ei ole arvioitu ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmän kannattavuutta pääasuinrakennuksen lämmöntuotantojärjestelmäksi.

4.1.3 Ilmalämpöpumppu

Monipuolisuutensa vuoksi ilmalämpöpumppu on suosittu lisälämmönlähde. Ilmalämpöpumppu toimii hyödyntämällä ulkoilman sisältämää lämpöenergiaa. Nykyaikaisilla ilmalämpöpumpuilla voidaan lämmittää rakennuksia kovillakin pakkasilla. Noin -15 °C asti voidaan yksinään ilmalämpöpumpulla lämmittää haluttua tilaa. Lämmöntuottokyky vähennee selvästi -20 °C jälkeen. (LämpöYkkönen 2021.)

Nykyaikaiset ilmalämpöpumput ovat invertterisäätöisiä eli niiden tehon säätö toimii portaattomasti. Tyypillisesti ilmalämpöpumpulla saadaan 40–60 % talon tarvittavasta lämmitysenergiasta suoraan ulkoilmasta. Suorasähkölämmitteisessä talossa vuotuinen sähkölasku voi pienentyä kolmanneksella. Puilla lämmittäessä uunin lämpö leviää ympäri taloa paremmin ilmalämpöpumpun takia. Sen takia sähkö- ja puulämmitteiset talot ovat optimaalisia ilmalämpöpumpuille. (SULPU 2021.)

Varsinkin suorasähkö- ja öljylämmitteisissä rakennuksissa päästään merkittäviin säästöihin lämmityskuluissa. Ilmalämpöpumppua voi myös käyttää esimerkiksi mökin tai autotallin ylläpitolämmitykseen. Ilmalämpöpumpulla voi myös jäähdyttää haluttua kohdetta.

Ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika on yleensä muutama vuosi. (LämpöYkkönen 2021.)

Pääasuinrakennuksessa ja alatalossa on ilmalämpöpumppu lisälämmönlähteenä talvella. Kesällä ilmalämpöpumput toimivat hyvin sisäilman viilennyksessä. Maatilan vakituisesti asutuissa rakennuksissa on jo ilmalämpöpumput, joten niitä ei tarkastella enempää tässä opinnäytetyössä.

4.1.4 Sedimenttilämpö

Sedimenttilämpö on yksi maalämmön muodoista, jonka ominaisuuksista ei vielä tiedetä paljon. Meren- tai järvenpohjan sedimenttiin sitoutunutta auringosta lähtöisin olevaa energiaa ei ole yleisesti käytetty hyväksi lämmitykseen ja viilennykseen. Sedimenttilämpöä on kokeiltu Ruotsissa. Nyt Suomessa Vaasan Suvilahden asuatomessualueen 42 taloa saavat matalaenergiaverkoston avulla lämpöä ja viilennystä merenpohjan sedimenttikerroksesta. Lämpö välittyy merenpohjasta asuntoihin putkistoa pitkin. Putkiston neste on etanolin ja veden seosta. Nesteen liikuttamiseen tarvittavat pumput saavat sähkönsä läheisen kaatopaikan biokaasusta. Sedimenttilämmön talteen ottava ja siirtävä putkisto on kennomaista koaksaaliputkistoa. Vaakatasoon porattua putkistoa on merenpohjassa noin kahdeksan kilometriä. Merestä tuleva neste on yhdeksänasteista ja paluuneste on kuusiasteista. Merenpohjassa oleva putkisto on 2,8 metrin syvyydessä ja 300 metrin matkalla se syvenee kaksi metriä lisää. Sedimenttilämmöllä saadaan kerättyä lämpöä 40–50 W/m (Mäkiranta 2020, 33). Keskitalvella kolmen ja neljän metrin sedimenttisyvyyksistä on mitattu yhdeksän celciusastetta. Porakaivoista saman lämpötilan löytää vasta 200 metrin syvyydestä. Kesällä sedimenttilämpöä pystytään käyttämään asuinrakennusten jäähdtykseen. (Turun Sanomat 2021.)

Merilämpö on samantapainen lämmitysmuoto kuin maalämpö. Lämpöenergia saadaan kerättyä mereen asennetuilla keruuputkistoilla. Putkistossa oleva neste lämpenee meriveden lämmöstä. Merilämpöä voidaan soveltaa meren läheisyydessä olevissa suuremmissa kohteissa, joiden merenpohja on soveltuva putkistolle. Merenpohjan tulee olla tarpeeksi syvä ja tasainen. Kohteen tulisi olla myös pois vesiväylöistä ja virkistyspaikoista. (Kotkan Energia 2021.)

Merenpohjasta kerättävä lämpöenergia on mielenkiintoinen vaihtoehto kiinteistöjen lämmitykseen. Tässä opinnäytetyössä sedimenttilämpö joudutaan jättämään pois, koska

lämpöä keräävä putkisto joudutaan laskemaan merenpohjaan ja maatilalla ei ole oikeutta läheiseen merenpohjaan. Matkaa yli kaksi metriä syvään merenpohjaan on yli 400 metriä, joten senkään puolesta ei olisi kannattavaa laskea keräysputkistoa mereen perinteisen lämpökaivon sijaan.

4.2 Öljylämmitys

Öljy sisältää paljon energiaa, ja nykyiset öljykattilat hyödyntävät 92–95 % polttoöljyn energiasta. Tuhat litraa polttoöljyä vastaa 11–12 m³ puuhaketta, 2 150 kg puupellettiä, 5,8 m³ pinottuja koivuhalkoja tai 10 000 kWh sähköä. (Öljylämmitys 2021.)

Öljylämmitystä käytetään pääsääntöisesti vesikiertoissa lattialämmityksessä sekä patterilämmityksessä. Uusista rakennuksista alle 1 % rakennetaan pelkälle öljylämmitykselle. Yleisimmät rinnakkaisjärjestelmät ovat takka, sähkölämmitys ja aurinkokeräajät. Keskimääräinen öljyn kulutus omakotitaloissa on noin 2 500 – 3 000 litraa vuodessa. Öljylämmitystä pidetään kalliina ja ympäristölle haitallisena lämmitysmuotona. Öljylämmityksen etuihin kuuluu lämpimän käyttöveden riittävyys sekä järjestelmän helppohoitoisuus ja huolettomuus. Uutta käyttövettä saadaan lämmitettyä öljypolttimella muutamassa kymmenessä minuutissa, kun sähkövastusjärjestelmissä tämä kestäisi useita tunteja. (Suomirakentaa 2021.)

Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja olla ensimmäinen fossiilivapaa hyvinvointiyhteiskunta (Ympäristöministeriö 2021). Öljylämmityksen on määrä poistua asteittain 2030-luvun alkuun mennessä. Tämä hallituksen tavoite koskee yli 200 000 suomalaista asuinrakennusta, jotka lämpenevät öljyllä. (Kotisun 2021.)

Pääasuinrakennuksen öljylämmitystä käytetään kesällä käyttöveden lämmitykseen ja talvella se on varajärjestelmänä pellettilämmitykselle. Vanha yhdistetty lämmöntuotantojärjestelmä halutaan vaihtaa yhteen selkeämpään ja helppohoitoisempaan ratkaisuun. Öljylämmityksestä halutaan siirtyä pois, joten siitä ei ole pyydetty tarjouksia tai tehty kannattavuuslaskuja.

4.3 Pellettilämmitys

Pellettilämmitysjärjestelmää voidaan käyttää rakennuksen päälämmitysjärjestelmänä. Pellettilämmitystä pystytään käyttämään myös toisen lämmitysmuodon rinnalla.

Pellettijärjestelmä tarvitsee vesikiertoisen lämmönjakojärjestelmän ja tilaa laitteistolle. (Oulun Kaupunki 2021.)

Pellettilämmitysjärjestelmään kuuluu kattila, poltin, siirtoruuvi ja varastosiilo. Pellettikatilat pitää nuohota ja tuhkat poistaa säännöllisesti sekä ne saattaavat vaatia huoltoa jopa 1–2 kuukauden välein. Varastosiilo on hyvä tyhjentää ja puhdistaa parin vuoden välein. (Motiva 2021.)

Puupellettejä on valmistettu Suomessa 1990-luvun lopusta asti (Bioenergia 2021). Puupelletit valmistetaan puu- ja sahateollisuuden sivutuotteista, kuten sahanpurusta ja hiontapölystä. Pellettien valmistukseen käytettävien raaka-aineiden kosteusprosentti tulisi olla 10–15 % (Bioenergia 2021). Pelletit puristetaan pieniksi ja tiiviiksi sylinterin muotoisiksi paloiksi, jotka sisältävät paljon energiaa. Kuutio puupellettejä sisältää saman määrän energiaa kuin noin 300 litraa kevyttä polttoöljyä. (Motiva 2021.)

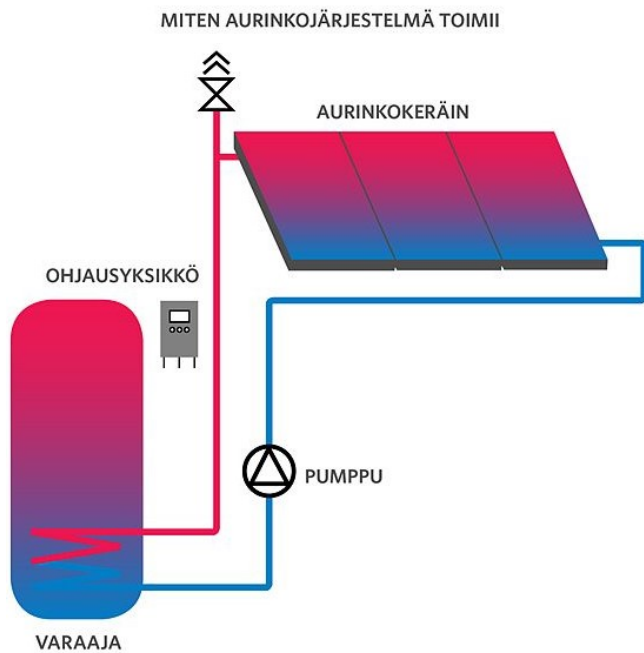
Pellettitakka toimii hyvin lisälämmönlähteenä sekä uusissa että vanhoissa taloissa. Ne lämmittävät sisäilmaa nopeasti puhaltamalla kuumaa ilmaa huonetilaan ja niiden hyötysuhde voi olla jopa 90 %. Pellettitakkoja on myös vesikiertoisina. Järeitä perustuksia ei tarvita pellettitakkoihin ja niissä voi olla myös kevytrakenteiset elementtisavupiiput. Pellettejä voi myös polttaa pellettikorissa tavallisessa takassa. (Oulun Kaupunki 2021.)

Pääasuinrakennuksen päälämmitysmuoto on pellettilämmitys. Pelletit säilytetään lampolassa 500 kg:n säkeissä. Pellettisäiliöön mahtuu vain yksi säkki kerrallaan. Säiliötä täytetään noin neljän päivän välein talvella. Vanhan järjestelmän käyttöikä tulee pian loppuunsa, joten uuden lämmöntuotantojärjestelmän harkinta on ajankohtaista. Pellettilämmitys halutaan vaihtaa huolettomampaan, ympäristöystävällisempään ja taloudellisempaan vaihtoehtoon, joten siitä ei ole pyydetty tarjouksia tai tehty kannattavuuslaskelmia.

4.4 Aurinkolämpö

Aurinkolämpöjärjestelmät keräävät energiaa talteen auringon säteilystä. Kuvassa 4 nähdään, että järjestelmä koostuu lämmön keruulaitteistosta, lämmön siirtoputkistosta ja lämpövarastosta. Pumppuyksikkö ja ohjausyksikkö sijaitsevat lämmönsiirtolinjassa. Keräimestä lämpöenergia siirretään lämmönsiirtoaineen avulla lämpövarastoon, josta se voidaan myöhemmin siirtää käyttökohteisiin. Lämpöenergian siirtäminen tapahtuu pääasiassa lämmönsiirtonesteen avulla. Poikkeuksellisesti aurinkolämpöpuhaltimissa lämmönsiirtimenä toimii ilma. Aurinkolämpöjärjestelmissä on lähestulkoon aina tarpeellista

olla lämpövarasto, koska auringonsäteilyn määrä voi olla hyvinkin vaihtelevaa päivän aikana ja kulutusta tapahtuu myös silloin, kun aurinko ei paista. (Motiva 2021.)



Kuva 4. Aurinkolämpöjärjestelmän laitteisto (Motiva 2021).

Aurinkolämpöä käytetään yleisesti käyttöveden lämmitykseen, mutta sitä voidaan käyttää myös tilalämmitykseen. Keskeisimpänä haasteena aurinkolämpöjärjestelmillä Suomessa on talven lämmityskausi, jolloin kerätyn aurinkolämmön määrä on minimaalinen (Motiva 2021). Suomen olosuhteisiin sopivat hybridienergiajärjestelmät, joissa lämpöä tuotetaan usealla energialähteellä. (Finsolar 2021.)

Aurinkolämmöstä ei pyydetty tarjousta, koska se ei ratkaise talven lämmitystarvetta. Pelletti- ja öljylämmitys ollaan poistamassa, joten hybridiratkaisukaan ei ole olennainen.

5 SÄHKÖNTUOTANTOJÄRJESTELMÄT

Sähkön pientuotannoksi katsotaan tuotantolaitteisto, jonka sähköntuotantokapasiteetti ei ylitä 2 megawattia. Yleensä pientuotantolaitteisto liitetään paikkaan, jossa sähkölle on tarvetta. Yleisimmät tuotantolaitteistot ovat aurinkopaneelit tai pientuulivoimala. Pientuotannolle tyypillistä ja edullisinta on käyttää tuottama sähkö mahdollisuuksien mukaan itse. Ylijäävän sähkön voi myydä sähköyhtiölle, jos sille ei itsellä ole käyttöä. (Caruna 2021.)

Vuoden 2021 syksyllä pörssisähkön hinta on ollut nousussa ja jopa ennätyskallista. Kuvassa 5 pörssisähkön spot-hintojen kehitystä viime vuosilta. Syyskuun pörssisähkö oli keskihinnaltaan 11,07 snt/kWh, joka on viimevuotiseen verrattuna yli kaksinkertainen. Hinnat nousevat jatkuvasti, ja se näkyy myös yleissähkö sopimuksissa. Loppukeväältä 2021 koko 24 kuukauden sopimuskauden ajalle sähköä sai alle 5 snt/kWh, mutta nyt hinta on reilusti yli 6 snt/kWh. (Sähkön kilpailutus 2021.)

Taulukko 2. Pörssisähkön spot-hintojen kuukausittaiset keskiarvot (Sähkön kilpailutus 2021).

Spot-hintojen kuukausittaiset keskiarvot (snt / kWh, sis. alv.)

Kuukausi	2021	2020	2019
Tammi	6,35	3,37	6,92
Helmi	7,08	3,05	5,80
Maalis	4,76	2,53	4,96
Huhti	4,56	2,46	5,14
Touko	5,70	2,41	4,94
Kesä	6,96	3,50	3,81
Heinä	9,77	2,51	5,69
Elo	8,46	5,03	6,05
Syys	11,07	4,69	6,05
Loka		3,85	5,74
Marras		3,42	5,67
Joulu		4,87	4,76

5.1 Aurinkosähkö

Aurinkosähkön tuottaminen perustuu aurinkosäteilyn fotonien luovuttamaan energiaan aurinkokennon elektroneille, jotka muodostavat sähkövirran aurinkokennojen virtajohtimiin. Aurinkopaneelit tuottavat tasasähköä, joka eroaa vaihtosähköstä, jota käytetään yleisessä sähköverkossa. Paneelin tuottamaa sähköä voidaan hyödyntää sellaisenaan laitteissa, jotka käyttävät tasasähköä. Invertterin avulla tasasähkö voidaan muuttaa vaihtosähköksi, jotta myös muut laitteet voisivat hyödyntää paneelien sähköä, kuten vesivaraajat. Tuotettu sähkö kannattaa käyttää mahdollisuuksien mukaan itse, mutta sähköä voidaan myös syöttää verkkoon. (Motiva 2021.)

Oman aurinkosähkön käyttöä voi kasvattaa sähkö-, virtuaali- ja lämpöakuilla. Esimerkiksi rakennuksen lämminvesivaraaja toimii lämpövarastona, kun aurinkoisena päivänä käytövä lämmittää aurinkosähköllä. Aurinkosähköjärjestelmään voi myös liittää perinteisen akkujärjestelmän tai solmia oman sähköyhtiön kanssa sopimuksen virtuaaliakusta. Virtuaaliakkusopimukseen voi liittää myös kesämökin sähkönsopimuksen, jolloin virtuaaliakkuun kerättyä ylijäämäsähköä voi käyttää myös kesämökillä (Helen 2021). Oman sähköajoneuvon lataaminen onnistuu myös aurinkosähkön avulla, mikäli kiinteistössä on oma latauspiste. (Hiilineutraali Suomi 2021.)

Aurinkosähkö on kannattavaa varsinkin kiinteistöissä, jotka kaipaavat jäähdytystä. Aurinkosähkö sopii myös hyvin lämpöpumppujen kanssa yhteen käytettäväksi, koska lämpöpumput käyttävät sähköä lämmön keräämiseksi. (Hiilineutraali Suomi 2021.)

Aurinkopaneelien sijainti ja kallistuskulma vaikuttavat niille osuvan kokonaissäteilyn määrään. Kokonaissäteily koostuu auringon suorasta säteilystä sekä hajasäteilystä. Hajasäteily on ilmakehän, pilvien ja maanpinnan heijastamaa säteilyä. Hajasäteilyn osuus kokonaissäteilystä on merkittävää Suomessa. Aurinkopaneelien toiminnan kannalta ei ole merkitystä onko säteily suoraa vai hajasäteilyä. (Motiva 2021.)

Noin puolet vuoden kokonaissäteilystä Etelä-Suomessa on hajasäteilyä. Vedestä, lumesta ja kiiltävistä kattopinnoista heijastuva säteily voi tuoda hetkellisesti jopa 20 % lisää kokonaissäteilyä aurinkopaneelleille. Yleisesti maasta heijastuvan hajasäteily on muutama prosentti koko vuoden kokonaissäteilystä. (Motiva 2021.)

Keskittävät aurinkosähköjärjestelmät ja aurinkoa seuraavat järjestelmät eivät ole yleisesti Suomessa taloudellisesti paras ratkaisu, koska ne ovat suunniteltu käyttämään auringosta tulevaa suoraa säteilyä hyvin hyödykseen. (Motiva 2021.)

Suomessa auringon säteily on voimakkainta kesällä, joten aurinkopaneelien tuotanto vaihtelee vuodenaikojen mukaan voimakkaasti. Etelään suunnatut ja 45 asteen kulmassa olevat aurinkopaneelit lisäävät kerätyn säteilyn määrää 20–30 %vaakasuorassa oleviin paneeleihin verrattuna. (Motiva 2021.)

Aurinkosähköjärjestelmien investointikustannukset ovat olleet laskussa vuodesta 2016 lähtien. Suuremmat järjestelmät ovat suhteessa edullisempia kuin pienemmät järjestelmät. Aurinkosähköjärjestelmien hankkiminen suurikulutteisiin rakennuksiin on suhteessa edullisempaa kuin pieniin ja vain vähän sähköä kuluttaviin rakennuksiin. (Hiilineutraali Suomi 2021.)

Maatilalla on jo käytössä kaksi aurinkopaneelijärjestelmää, joita ei ole kytketty sähköverkkoon. Rantasaunalla on käytössä yksi aurinkopaneeli, jota käytetään valaistuksessa ja television katseluun. Saarimökissä on kahden aurinkopaneelin järjestelmä, jota käytetään kaivon vesipumppuun ja valaistukseen sekä muihin sähkölaitteisiin. Molemmat järjestelmät ovat olleet toimivia ja riittäviä nykyiseen käyttöön. Rakennukset ovat olleet yleisesti vain kesäkäytössä, jolloin akut latautuvat nopeasti ja sähkö on riittänyt.

5.2 Tuulivoima

Tuulivoimalla toimii tuulen liike-energian avulla. Tuuli on ilman liikettä, joka syntyy ilmassojen lämpötila- ja paine-eroista. Tuulivoimalan potkurin pyyhkäisyypinta-alaa voidaan suoraan verrannollistaa sen tuottamaan tehoon ja energiaan (Suomen tuulivoimayhdistys 2021). Tuuli pyörittää voimalan siipiä, jotka pyörittävät generaattoriin kytkettyä akselia. (Motiva 2021.)

Pientuulivoiman latauskäytölle Suomen tuuliolosuhteet ovat hyvät. Paikallinen sijainti on erittäin tärkeää tuulivoimalan kannalta. Voi olla kannattavaa sijoittaa tuulivoimalla jopa usean sadan metrin päähän käyttökohteesta, koska energian tuotantoon vaikuttaa merkittävästi pienikin tuulen nopeuden lisäys. Tuulivoimalla tulisi olla avoimella paikalla. Esteiden, kuten rakennusten ja puiden, aiheuttamaa ilmavirran pyörteisyyttä vältetään sijoittamalla potkuri vähintään yhdeksän metriä korkeammalle kuin esteet. Korkeudella on

myös väliä energiantuotannon kannalta. Mitä korkeammalla potkuri on sitä parempi tuotto saadaan. (Finnwind 2021.)

Tuulivoima on nopeasti kasvava ja lähes päästötön uusiutuvan energian lähde. Hyviä tuulivoiman tuotantoon sopivia alueita löytyy rannikoilta, merialueilta, tuntureilta sekä paikoin myös sisämaasta. Tuulivoiman lisääminen kasvattaa kotimaisen energian osuutta ja pienentää tuotienergian tarvetta. (Motiva 2021.)

Pientuulivoimaloiden tuottamalla sähköllä ladataan yleisesti akkuja. Aikaisemmin pientuulivoimaloita on kytketty suoraan rakennuksen sähköverkkoon, mutta sellainen käytötapa on vähentynyt. Pientuulivoimala on kuitenkin mahdollista kytkeä vesivaraajaan, jolloin se voidaan ohjata tuottamaan lämpöä. (Suomen tuulivoimayhdistys 2021.)

Tuulivoimala ja aurinkopaneelit toimivat hyvin yhdessä ja tukevat toisiaan, koska talvella tuulee enemmän kuin kesällä. Päälämmitysratkaisuiksi tuulivoima ja aurinkopaneelit eivät sovellu. (Finnwind 2021.)

Pientuulivoimaloista pyydettiin tarjouksia, mutta yksikään toimittaja ei vastannut tarjouspyyntöihin. Puuttuvan tarjouksen johdosta opinnäytetyössä ei ole arvioitu pientuulivoimalan kannattavuutta maatalan sähköntuotantojärjestelmäksi.

6 LÄMMÖN- JA SÄHKÖNTUOTANTOJÄRJESTELMIEN KANNATTAVUUSLASKELMAT

Järjestelmien kannattavuuteen ja takaisinmaksuaikaan vaikuttavat olennaisesti sähköenergian hinta, sähkönsiirron hinta ja sähkövero. Maatilalla on määräaikainen sähköso-
pimus kiinteällä sähkön hinnalla vuoden 2024 tammikuun alkuun asti.

6.1 Laskentakaavat

Maalämpö

1. Maalämpöpumpun käyttökustannus

Maalämpöpumpun käytön hinta muodostuu sen sähkönkulutuksesta ja kulutetun sähkön hinnasta. Sähkön hinta muodostuu sähköenergian hinnasta, sähkönsiir-
ron hinnasta ja sähköverosta. Maalämpöpumpun käyttökustannuksen arvioimi-
sella saadaan tietoa rakennuksen lämmityskustannuksista.

$$\text{Maalämpöpumpun käyttökustannus} = \text{Maalämpöpumpun sähkönkulutus} * \\ (\text{sähköenergian hinta} + \text{sähkönsiirto hinta} + \text{sähkövero})$$

2. Säästö vuodessa

Maalämpöpumpulla tuotetun lämmityksen kustannuksia verrataan nykyiseen
lämmitysmuotoon eli yhdistettyyn pelletti- ja öljylämmityksen muodostamiin kusan-
nuksiin. Oletuksena uuden järjestelmän hankinnassa on, että uusi lämmitys-
muoto tulisi halvemmaksi kuin nykyinen lämmitysmuoto. Vuotuisella säästöllä
voidaan vertailla järjestelmän kannattavuutta.

$$\text{Säästö vuodessa} = (\text{Pellettien hinta} + \text{öljyn hinta}) - \text{sähkönkulutus} * \\ (\text{sähköenergian hinta} + \text{sähkönsiirto hinta} + \text{sähkövero})$$

3. Suora takaisinmaksuaika

Suora takaisinmaksuaika tarkoittaa aikaa, jona järjestelmä maksaa itsensä takai-
sin eli tuottoa syntyy järjestelmän hinnan verran. Lyhyt takaisinmaksuaika tarkoi-
taa investoinnin olevan edullinen. Maalämpöpumpujärjestelmän

takaisinmaksuaikalaskelmassa ei oteta huomioon järjestelmän mahdollisia huolto- ja ylläpitotöitä.

$$\text{Suora takaisinmaksuaika} = \frac{\text{järjestelmän hinta}}{\text{säästö vuodessa}}$$

4. Sijoitetun pääoman tuotto prosentti, ROI

Sijoitetun pääoman tuotto prosentti on sijoituksen kannattavuuden mittari. Tuottoaste ilmoittaa, kuinka paljon sijoitettu pääoma tekee tuottoa. Sen avulla voidaan arvioida kannattaako sijoittaa esimerkiksi uuteen lämmitysjärjestelmään vai kannattaako sama rahasumma sijoittaa muualle.

$$\text{Sijoitetun pääoman tuotto prosentti} = \frac{\text{säästö vuodessa}}{\text{sijoitettu pääoma}} \cdot 100 \%$$

5. Lämpöpumpun hyötysuhde, COP

Lämpöpumpun hyötysuhde kertoo kuinka suuri määrä lämpöpumppuun syötetystä energiasta hyödynnetään varsinaista tarkoitusta varten. Hyötysuhde ilmoittaa kuinka tehokkaasti sähköenergia saadaan muutettua lämpöenergiaksi.

$$\text{Lämpöpumpun hyötysuhde} = \frac{\text{tuotettu lämpöenergia}}{\text{kulutettu sähköenergia}}$$

6. Ilmaisenergia

Lämpöpumpun tuottaman ilmaisenergian määrä on sen tuottaman lämpöenergian ja kuluttaman sähköenergian erotus.

$$\text{Ilmaisenergia} = \text{Lämpöpumpun lämmöntuotanto} - \text{lämpöpumpun sähkönkulutus}$$

6.2 Vastaanotetut tarjoukset

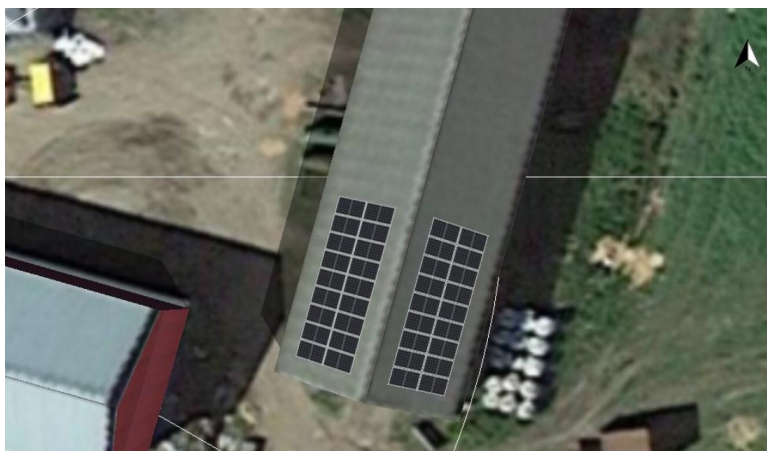
Opinnäytetyötä varten pyydettiin viideltä toimittajalta tarjousta aurinkosähköjärjestelmästä maatilalle, jonka vuotuinen sähkönkulutus on noin 45 000 kWh. Kaksi toimittajaa antoi tarjouksen ja kolmas antoi alustavan arvion.

Maalämpöpumpputarjouksista lähetettiin kolmelle toimittajalle tarjouspyynnöt korvaamaan nykyisen pelletti- ja öljylämmitysjärjestelmän. Kaksi toimittajaa kävi kohdekäynnillä, mutta vain yksi toimittaja antoi tarjouksen.

Tarjouspyyntöjä lähetettiin myös kolmelle ilma-vesilämpöpumppujen toimittajalle ja kahdelle tuulivoiman toimittajalle, mutta yhdeltäkään toimittajalta ei tullut tarjousta. Kaksi ilma-vesilämpöpumpputoimittajaa vastasivat, etteivät pysty toimittamaan riittävän tehokasta laitetta kohteeseen tai että se ei olisi kannattavaa.

1. Aurinkosähkö 1

Aurinkosähkö 1:n tarjoama aurinkosähköjärjestelmä oli nimellisteholtaan 13,32 kWp ja arvioituun hintaan 14 824,20 € (alv 24 %). Aurinkosähköjärjestelmän laitteiston ja asennuksen hintaa ei ole eritelty. Järjestelmän arvonlisäveroton hinta on 11 955 €. Tarjous sisältää aurinkopaneelit, invertterin, kiinnitysjärjestelmän, aurinkosähköjärjestelmän tarvikkeet ja asennuksen. Tarjouksessa on optiona nostin aurinkopaneelien saamiseksi katolle hintaan 204 €. Yksittäisen LONGi aurinkopaneelin ilmoitettu teho on 370 Wp ja yhteensä järjestelmässä olisi 36 aurinkopaneelia. Järjestelmä näkyy kuvassa 6 havainnoituna. Asennuskuvio on kaksi yhdeksän paneelin riviä katon molemmille lappeille.



Kuva. 5 Aurinkosähkö 1:n aurinkosähköjärjestelmän asennuskuvio.

2. Aurinkosähkö 2

Aurinkosähkö 2:n tarjoama aurinkosähköjärjestelmä oli nimellisteholtaan 11,84 kWp ja arvioituun hintaan 13 798 € (alv 24 %). Laitteiston hinta tarvikkeineen 6 829 € (alv 0 %) ja asennushinta 3 842 € (alv 0 %). Tarjous sisältää aurinkopaneelit, invertterin, kiinnitysjärjestelmän, aurinkosähköjärjestelmän tarvikkeet ja asennuksen. Tarjouksessa optiona nosturin vuokraaminen 200 € päivässä. Yksittäisen CanadianSolar aurinkopaneelin ilmoitettu teho on 370 Wp ja yhteensä järjestelmässä olisi 32 aurinkopaneelia. Järjestelmä näkyy kuvassa 7 havainnoituna. Järjestelmän asennuskuvio on kaksi 16 paneelin riviä katon yhdelle lappeelle.



Kuva 6. Aurinkosähkö 2:n aurinkosähköjärjestelmän asennuskuvio.

3. Aurinkosähkö 3

Aurinkosähkö 3:n antoi alustavan hinta arvon aurinkosähköjärjestelmästä maatalokohteeseen asennettuna olevan noin 800 €/kWp (alv 0 %), mutta ei avannut tarjousta enää pidemmälle. Arvonlisäverollinen hinta-arvio olisi 992 €/kWp. Aurinkosähkö 1:n tarjouksen suuruinen järjestelmä olisi arviolta $13,32 \text{ kWp} * 992 \text{ €/kWp} = 13\,213,44 \text{ €}$. Aurinkosähkö 3:n järjestelmä olisi arviolta 1 610,76 € halvempi kuin Aurinkosähkö 1:n. Aurinkosähkö 2:n tarjouksen suuruinen järjestelmä olisi arviolta $11,84 \text{ kWp} * 992 \text{ €/kWp} = 11\,745,28 \text{ €}$. Aurinkosähkö 3:n järjestelmä olisi arviolta 2 052,72 € halvempi kuin Aurinkosähkö 2:n. On huomioitava, että Aurinkosähkö 3:n hinta arvio on vain toimittajan yleinen hinta-arvio, eikä yksilöllinen tarjous.

Taulukko 3. Aurinkosähköjärjestelmien vertailu.

	Aurinkosähkö 1	Aurinkosähkö 2
Hinta alv 24%	14 824,20 €	13 798 €
Järjestelmän nimellisteho	13,32 kWp	11,84 kWp
€/Wp (alv 24%)	1,11	1,17
Paneelin nimellisteho	370 W	370 W
Paneelien määrä	38	32
Tuotannon seuranta	Kyllä	Kyllä
Nosturin vuokra	204 €	200 €

4. Maalämpö 1

Maalämpö 1:n antaman maalämpöpumppujärjestelmän arvioiduksi hinnaksi muodostui 26 700 €. Maalämpö 1:n tekemän arvion mukaan päärasuinakennuksen energiankulutus on 54 144 kWh. Arvio perustuu rakennuksen vuonna 2020 käytettyyn pelletti- ja öljylämmitykseen. Pellettiä kului 12 tonnia ja öljyä kului 1 000 litraa. Lämpöpumpun vuotuinen lämmöntuotto on 53 949 kWh ja sähkönkulutus on 12 759 kWh. Tarjous sisältää Oilon Eco 17 maalämpöpumpun, 310 metriä pitkän energiakaivon, 500 litran tulistusvaraajan, uuden paisuntasäiliön telineineen, vanhan öljylämmitysjärjestelmän purkun ja poisviennin, liitynnät lämmitys- ja käyttövesijärjestelmään, tarvittavat sähkötyöt ja tarvikkeet sekä käyttöönoton ja opastuksen. Hinta-arviossa ei ole huomioitu mahdollisia lisäkuluja viranomaismaksuista, rakennusteknisistä töistä ja maaperätutkimuksista.

6.3 Investointituki

Maatalouden investointitukea on mahdollista saada energiantuotannon rakentamisinvestointeihin. Tukea voidaan myöntää vain, jos energialaitos hyödyntää uusiutuvaa energiaa ja sitä käytetään maatalouden tuotantotoiminnassa. Myönnettävän tuen vähimmäismäärä rakentamisinvestoinnissa on 7 000 euroa. Avustuksen määrä energiantuotannon rakentamisinvestoinnin hyväksyttävistä kustannuksista on 40 %. Energiantuotantoinvestoinnin kustannuksen vähimmäismäärä on siis oltava 17 500€ (alv 0 %) tuen saamiseksi. (Ruokavirasto 2021.)

Maatilalle suunnitellut aurinkosähköjärjestelmät eivät ole tarpeeksi suuria, jotta pienin myönnettävä 7 000 € tuki voitaisiin myöntää. Maalämpöjärjestelmän

investointikustannukset olisivat tarpeeksi suuret, mutta maalämpöä ei käytetä maatalouden tuotantotoimiin, joten siihen ei saa maatalouden investointitukea.

Business Finland jakaa yrityksille energiatukea uusiutuvan energian investointeihin. Lämpöpumppuhankkeet voivat saada 15 % tukea ja aurinkosähköhankkeet voivat saada 20 % tukea investoinneista. Tukea voidaan myöntää maatalon yhteydessä olevaan hankkeeseen ainostaa, jos tuotetusta energiasta 80 % käytetään maatalon ulkopuolella. (Business Finland 2021.)

Kohteena oleva maatila ei saa energiatukea investointeihin, koska järjestelmillä tuotettava energia käytettäisiin lähtökohtaisesti maatilalla.

ELY-keskus myöntää valtionavustusta ympärivuorokautisessa asuinkäytössä olevien pientalojen omistajille öljylämmitysjärjestelmän poistamiseen ja sen korvaamiseen muilla lämmitysmuodoilla, jotka eivät käytä fossiilisia polttoaineita. Avustusta myönnetään 2 500 euroa tai 4 000 euroa riippuen uudesta lämmitysjärjestelmästä. Öljylämmityksestä siirryttäessä kaukolämpöön, maalämpöpumppuun tai ilma-vesilämpöpumppuun avustusta myönnetään 4 000 euroa. Jos hakijalle myönnetään samaan tarkoitukseen kotitalousvähennystä tai muuta avustusta, öljylämmityksen poistamiseen tarkoitettua avustusta ei voida myöntää. Avustus on voimassa syksyyn 2022 asti. (ELY-keskus 2021.)

Maatalon pääasuinrakennukseen voi saada 4 000 € avustusta ELY-keskukselta, koska vanha öljylämmitys poistettaisiin ja tilalle asennettaisiin maalämpöpumppu. Avustus myönnetään yksityishenkilöille, joten maatila ei voi yrityksenä saada sitä. Lämmitysjärjestelmän vaihtaminen täytyy siis toteuttaa yksityishenkilönä. Maalämpö 1:n tarjous maalämpöjärjestelmästä oli 26 700 €, joten avustuksen jälkeen maksettavaksi jää 22 700 €.

Kotitalousvähennyksellä saa helpotusta veroihin. Kotiin tai vapaa-ajan asunnolle yritykseltä ostetuista töistä voi saada 2 250 € kotitalousvähennyksen. Kotitalousvähennyksen saa tehdyn työn arvonlisäverollisesti hinnasta. Työn omavastuu on 100 € vuodessa ja ylimenevästä osasta saa vähentää 40 %. Henkilökohtaisen maksimivähennyksen saa jos työosuus on 5 875 €. Puolison kanssa vähennystä voi saada 4 500 €. (Vero 2021.)

Maatilalle suunnitelluista aurinkosähköjärjestelmistä voi hakea kotitalousvähennystä yksityishenkilönä. Työn osuudesta saa vähentää 40 % veroista 2 250 € asti. Aurinkosähkö 1:n tarjouksessa ei ollut eroteltu työn osuuden määrää. Aurinkosähkö 2:n tarjouksessa työn määrä oli eroteltu ja se oli 4 764 € eli noin 35 % koko hinnasta. Mahdollisen kotitalousvähennyksen määrä $4\,764\text{ €} \cdot 0,4 - 100\text{ €} = 1\,806\text{ €}$. Jos oletetaan Aurinkosähkö

1:n tarjouksessa työn osuuden olevan samassa suhteessa kuin Aurinkosähkö 2:n, työn osuuden määrä tarjouksessa on $14\,824,2\text{ €} * 0,35 = 5\,188\text{ €}$. Tällöin mahdollisen kotitalousvähennyksen määrä on $5\,188\text{ €} * 0,4 - 100\text{ €} = 1\,975\text{ €}$.

Kotitalousvähennykseen on esitetty muutoksia öljylämmityksestä luopumisen ja kotitalous-, hoiva- ja hoitotyön osilta vuodesta 2022 alkaen. Öljylämmityksestä luopumiseen liittyvistä töistä voi saada kotitalousvähennystä 60 % työnosuudesta 3500 € asti. Kotitalousvähennys pysyy ennallaan muiden remonttitoiden osalta. (Vero 2021.)

6.4 Laskelmat

Laskelmissa otetaan huomioon järjestelmien kokonaishinnat, joissa on mukana asennuskulut ja alv 24 %. Laskelmissa ei ole mahdollisia rakennusteknisiä töitä eikä optiona olevaa nosturin vuokrausta tai mahdollisia takuiden pidennyksiä.

Laskelmia varten saadut tiedot sähkönkulutuksesta ja sähkönhinnoista ovat maatilan nykyisistä sähkösopimuksista vuodelta 2021.

Maalämpö

1. Maalämpöpumpun käyttökustannus

Maalämpöpumpun arvioitu sähkönkulutus 12 759 kWh on saatu Maalämpö 1:n tarjouksesta. Sähköenergian hinta 4,98 snt/kWh (alv 24 %) ja sähkönsiirron hinta 4,45 snt/kWh (alv 24 %) on maatilan nykyisistä sähkösopimuksista. Maatila kuuluu sähköveroluokkaan 1, jolloin sähkövero on 2,79 snt/kWh.

$$\text{Lämpöpumpun käyttökustannus} = 12\,759\text{ kWh} * \left(4,98 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + 4,45 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + 2,79 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \right) \approx 1\,559\text{ €}$$

Pääasuinrakennuksen lämmityskustannus maalämmöllä on arviolta 1 559 € vuodessa.

2. Säästö vuodessa

Vuotuinen säästö maalämpöpumppujärjestelmään vaihdettaessa saadaan laskettua summaamalla yhteen nykyiset lämmityskustannukset ja vähentämällä siitä maalämpöpumpun käyttökustannus. Vuotuinen lämmitykseen kuluva pellettimäärä on 12 tonnia ja öljymäärä 1 000 litraa. Pelletit ovat maksaneet 3 050 € ja öljy 1 040 €. Maalämpöpumpun käyttökustannus on laskettu edellisessä laskussa.

$$\text{Säästö vuodessa} = (3\,050\text{ €} + 1\,040\text{ €}) - 12\,759\text{ kWh} * \left(4,98 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + 4,45 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + 2,79 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}}\right) \approx 2\,531\text{ €}$$

Maalämpöön vaihdettaessa vuotuinen säästö lämmityskustannuksissa on noin 2 531 €

3. Suora takaisinmaksuaika

Suora takaisinmaksuaika saadaan selville jakamalla investointihinta vuotuisella tuotolla. Maalämpöpumppu 1:n antaman tarjouksen mukaan maalämpöpumppujärjestelmän hinta olisi 26 700 €. Vuotuinen tuotto on uuden järjestelmän säästö vuodessa vanhaan järjestelmään verrattuna. Uuden maalämpöpumppujärjestelmän säästö vuodessa on laskettuna edellisessä laskussa.

$$\text{Suora takaisinmaksuaika} = \frac{26\,700\text{ €}}{2\,531\text{ €/vuodessa}} \approx 10,5\text{ vuotta}$$

Jos lämmitysjärjestelmän vaihtamiseen saadaan ELY-keskuksen myöntämä 4 000 € tuki, maalämpöpumpun takaisinmaksuaika luonnollisesti lyhenee.

$$\text{Suora takaisinmaksuaika} = \frac{26\,700\text{ €} - 4\,000\text{ €}}{2\,531\text{ €/vuodessa}} \approx 9,0\text{ vuotta}$$

Maalämpöpumpun tuottamat säästöt ylittävät sen investointikulut ilman tukea noin kymmenen ja puolen vuoden kuluttua ja tuki huomioituna yhdeksän vuoden kuluttua.

4. Sijoitetun pääoman tuotto prosentti, ROI

Sijoitetun pääoman tuotto prosentti saadaan jakamalla vuotuinen tuotto kokonaisinvestoinnilla. Vuotuinen tuotto on laskettu laskussa 2 ja kokonaisinvestointi on Maalämpö 1:n tarjouksesta. Sijoitetun pääoman tuotto prosenttin ollessa 10–15 % voidaan sitä pitää hyvänä (Salkunrakentaja 2021).

$$\text{Sijoitetun pääoman tuotto prosentti} = \frac{2\,531\text{ €}}{26\,700\text{ €}} * 100\% = 9,48\%$$

Jos lämmitysjärjestelmän vaihtamiseen saadaan ELY-keskuksen myöntämä 4 000 € tuki, sijoitetun pääoman tuotto prosentti kasvaa.

$$\text{Sijoitetun pääoman tuotto prosentti} = \frac{2\,531\text{ €}}{26\,700\text{ €} - 4\,000\text{ €}} * 100\% = 11,15\%$$

Maalämpöpumppujärjestelmän arvioitu tuotto prosentti on 9,48 % ilman tukea ja 11,15 % tuki huomioituna.

5. Lämpöpumpun hyötysuhde, COP

Lämpöpumpun hyötysuhde saadaan laskettua jakamalla lämpöpumpun tuottama lämpöenergia sen kuluttamalla sähköenergialla. Hyötysuhde kertoo kuinka monta yksikköä lämpöä saadaan yhdellä yksiköllä sähköä. Maalämpöpumpun tuottama lämpöenergia ja sen sähkönkulutus ovat Maalämpö 1:n esittämästä tarjouksesta.

$$\text{Lämpöpumpun hyötysuhde} = \frac{53\,949\text{ kWh}}{12\,759\text{ kWh}} = 4,23$$

Maalämpöpumppu tuottaa 4,23 kW lämpöenergiaa yhdellä kilowatilla sähköenergiaa.

6. Ilmaisenergia

Ilmaisenergia saadaan vähentämällä lämpöpumpun tuottama lämpöenergia sen kuluttamalla sähköenergialla. Ilmaisenergia kertoo kuinka paljon enemmän lämpöenergiaa saadaan tuotettua lämpöpumpun kuluttamalla sähköenergialla.

Maalämpöpumpun tuottama lämpöenergia ja sen sähkönkulutus ovat Maalämpö 1:n esittämästä tarjouksesta.

$$\text{Ilmaisenergia} = 53\,949 \text{ kWh} - 12\,759 \text{ kWh} = 41\,190 \text{ kWh}$$

Maalämpöpumpulla tuotetun ilmaisenergian määrä on 41 190 kWh.

Aurinkosähköjärjestelmä

Opinnäytetyössä käytettiin PV*SOL premium -simulointiohjelmistoa aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden arvioimista varten. Ohjelmistoon syötettiin vastaanotettujen tarjousten perusteella aurinkosähköjärjestelmien tiedot. Tarjoushintoihin on lisätty invertterin vaihto 15 vuoden jälkeen. Ohjelmisto ottaa huomioon simuloinnissa muun muassa paikallisen säädätän, energiankulutuksen tuntijakauman ja aurinkopaneeleita varjostavat kohteet. Simulaation tarkastelujakso on 25 vuotta.



Kuva 7. PV*SOL premium -ohjelmistolla tehty luonnostelma maatalan tuotantorakennuksista.

Aurinkosähkö 1

1. Sähköntuotanto

Aurinkosähköjärjestelmällä tuotettu ja omaan käyttöön menevä sähkö säästää maatilalta ostettavan sähkön osuutta. Kuvassa 9 on arvio Aurinkosähkö 1:n aurinkosähköjärjestelmän energiantuotosta. Omaan kulutukseen menevä itse tuotetun energian määrä on noin 7 919 kWh vuodessa. Tuotetun sähkön arvo on noin 968 €. Kuvassa 10 on mukana Maalämpö 1:n tarjouksen mukainen maalämpöpumppu, jolloin vuotuinen omaan käyttöön menevä sähkön määrä on noin 8 596 kWh. Tuotetun sähkön arvo on noin 1050 €.

2. Omaan käyttöön menevän tuotannon prosenttiosuus

Tuotetusta sähköenergiasta omaan käyttöön menevä osuus on ilman maalämpöpumppua 74,1 % ja maalämpöpumpulla 80,5 %.

Taulukko 4. Aurinkosähkö 1:n aurinkosähköjärjestelmän tuotanto.

PV System	
PV Generator Output	13,3 kWp
Spec. Annual Yield	800,38 kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	91,7 %
Yield Reduction due to Shading	1,3 %/Year
PV Generator Energy (AC grid)	10 676 kWh/Year
Own Consumption	7 919 kWh/Year
Down-regulation at Feed-in Point	0 kWh/Year
Grid Feed-in	2 757 kWh/Year
Own Power Consumption	74,1 %
CO ₂ Emissions avoided	5 011 kg / year

Taulukko 5. Aurinkosähkö 1:n aurinkosähköjärjestelmän tuotanto ja Maalämpö 1:n maalämpöpumppu maatilalla.

PV System	
PV Generator Output	13,3 kWp
Spec. Annual Yield	800,38 kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	91,7 %
Yield Reduction due to Shading	1,3 %/Year
PV Generator Energy (AC grid)	10 676 kWh/Year
Own Consumption	8 596 kWh/Year
Down-regulation at Feed-in Point	0 kWh/Year
Grid Feed-in	2 080 kWh/Year
Own Power Consumption	80,5 %
CO ₂ Emissions avoided	5 011 kg / year

3. Sijoitetun pääoman tuottoprosentti

Ilman tukea ja maalämpöä aurinkosähköjärjestelmän keskimääräinen vuotuinen tuotto sijoitetulle pääomalle on 5,31 %, joka näkyy kuvassa 11. Mahdollisella kotitalousvähennyksellä ja maalämmöllä sijoitetun pääoman tuottoprosentti on 7,46 %, joka näkyy kuvassa 14.

4. Järjestelmän tuotto

Aurinkosähköjärjestelmän 25 vuoden tarkastelujaksolta kertynyt tuotto. Järjestelmän tuotto tarkoittaa, että kuinka paljon halvemmaksi järjestelmä tulee nykytilanteeseen verrattuna. Pienin tuotto on järjestelmässä ilman kotitalousvähennystä ja maalämpöä. Tällöin tuottoa tulee 10 728,88 €. Parhaimman tuoton saa, jos toteuttaa järjestelmän kotitalousvähennyksellä ja maalämmöllä. Tuottoarvio tarkastelujaksolle on silloin 14 482,66 €.

5. Suora takaisinmaksuaika

Investoinnista kulunut aika, jonka jälkeen nettotuottoja on kertynyt hankintamennon verran. Ilman tukea ja ilman maalämpöä aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika on 14,2 vuotta. Mahdollisella kotitalousvähennyksellä ja maalämmöllä takaisinmaksuaika on 11,6 vuotta.

6. Tuotetun sähkön hinta

Aurinkosähköjärjestelmällä tuotetun sähkön hinta muodostuu investoinnin suuruudesta ja tuotetun sähköenergian määrästä. Ilman kotitalousvähennystä tuotetun sähkön hinta on 0,07 snt/kWh. Tuki huomioituna hinta on 0,06 snt/kWh.

Taulukko 6. Taloudelliset arviot ilman maalämpöä tai tukea.

Economic Parameters	
Return on Assets	5,31 %
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	10 728,88 €
Amortization Period	14,2 Years
Electricity Production Costs	0,07 €/kWh

Taulukko 7. Taloudelliset arviot ilman maalämpöä tuki huomioituna.

Economic Parameters	
Return on Assets	6,75 %
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	12 703,88 €
Amortization Period	12,3 Years
Electricity Production Costs	0,06 €/kWh

Taulukko 8. Taloudelliset arviot maalämmöllä ilman tukea.

Economic Parameters	
Return on Assets	5,97 %
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	12 507,66 €
Amortization Period	13,4 Years
Electricity Production Costs	0,07 €/kWh

Taulukko 9. Taloudelliset arviot maalämmöllä ja tuella.

Economic Parameters	
Return on Assets	7,46 %
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	14 482,66 €
Amortization Period	11,6 Years
Electricity Production Costs	0,06 €/kWh

Aurinkosähkö 2

1. Sähköntuotanto

Kuvassa 15 on arvio Aurinkosähkö 2:n aurinkosähköjärjestelmän energiantuotosta. Omaan kulutukseen menevä itse tuotetun energian määrä on noin 6 875 kWh vuodessa. Tuotetun sähkön arvo on noin 840 €. Kuvassa 16 on mukana Maalämpö 1:n tarjouksen mukainen maalämpöpumppu, jolloin vuotuinen omaan käyttöön menevä sähkön määrä on noin 7 441 kWh. Tuotetun sähkön arvo on noin 909 €.

2. Omaan käyttöön menevän tuotannon prosenttiosuus

Tuotetusta sähköenergiasta omaan käyttöön menevä osuus on ilman maalämpöpumppua 76,8 % ja maalämpöpumpulla 83,1 %.

Taulukko 10. Aurinkosähkö 2:n aurinkosähköjärjestelmän tuotanto.

PV System	
PV Generator Output	11,8 kWp
Spec. Annual Yield	754,88 kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	90,5 %
Yield Reduction due to Shading	1,7 %/Year
PV Generator Energy (AC grid)	8 951 kWh/Year
Own Consumption	6 875 kWh/Year
Down-regulation at Feed-in Point	0 kWh/Year
Grid Feed-in	2 076 kWh/Year
Own Power Consumption	76,8 %
CO ₂ Emissions avoided	4 201 kg / year

Taulukko 11. Aurinkosähkö 2:n aurinkosähköjärjestelmän tuotanto ja Maalämpö 1:n maalämpöpumppu maatilalla.

PV System	
PV Generator Output	11,8 kWp
Spec. Annual Yield	754,88 kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	90,5 %
Yield Reduction due to Shading	1,7 %/Year
PV Generator Energy (AC grid)	8 951 kWh/Year
Own Consumption	7 441 kWh/Year
Down-regulation at Feed-in Point	0 kWh/Year
Grid Feed-in	1 510 kWh/Year
Own Power Consumption	83,1 %
CO ₂ Emissions avoided	4 201 kg / year

3. Sijoitetun pääoman tuottoprosentti

Ilman tukea ja maalämpöä aurinkosähköjärjestelmän keskimääräinen vuotuinen tuotto sijoitetulle pääomalle on 4,89 %, joka näkyy kuvassa 17. Mahdollisella kotitalousvähennyksellä ja maalämmöllä sijoitetun pääoman tuottoprosentti on 6,89 %, joka näkyy kuvassa 20.

4. Järjestelmän tuotto

Aurinkosähköjärjestelmän 25 vuoden tarkastelujaksolta kertynyt tuotto. Pienin tuotto on järjestelmässä ilman kotitalousvähennystä ja maalämpöä. Tällöin tuottoa tulee 8 649,67 €. Parhaimman tuoton saa, jos toteuttaa järjestelmän kotitalousvähennyksellä ja maalämmöllä. Tuottoarvio tarkastelujaksolle on silloin 11 907,83 €.

5. Suora takaisinmaksuaika

Investoinnista kulunut aika, jonka jälkeen nettotuottoja on kertynyt hankintamennon verran. Ilman tukea ja ilman maalämpöä takaisinmaksuaika on 16,5 vuotta. Mahdollisella kotitalousvähennyksellä ja maalämmöllä aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika on 12,7 vuotta.

6. Tuotetun sähkön hinta

Aurinkosähköjärjestelmällä tuotetun sähkön hinta muodostuu investoinnin suuruudesta ja tuotetun sähköenergian määrästä. Ilman kotitalousvähennystä tuotetun sähkön hinta on 0,07 snt/kWh. Tuki huomioituna hinta on 0,06 snt/kWh.

Taulukko 12. Taloudelliset arviot ilman maalämpöä tai tukea.

Economic Parameters	
Return on Assets	4,89 %
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	8 649,67 €
Amortization Period	16,5 Years
Electricity Production Costs	0,07 €/kWh

Taulukko 13. Taloudelliset arviot ilman maalämpöä tuki huomioituna.

Economic Parameters	
Return on Assets	6,26 %
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	10 455,67 €
Amortization Period	13,5 Years
Electricity Production Costs	0,06 €/kWh

Taulukko 14. Taloudelliset arviot maalämmöllä ilman tukea.

Economic Parameters	
Return on Assets	5,48 %
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	10 101,83 €
Amortization Period	14,6 Years
Electricity Production Costs	0,07 €/kWh

Taulukko 15. Taloudelliset arviot maalämmöllä ja tuella.

Economic Parameters	
Return on Assets	6,89 %
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	11 907,83 €
Amortization Period	12,7 Years
Electricity Production Costs	0,06 €/kWh

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä perehdyttiin yleisimpiin lämmön- ja sähköntuotantomuotoihin. Maatilalla ollaan kiinnostuneita omasta sähköntuotannosta ja pääasuinrakennuksen vanhasta lämmöntuotantojärjestelmästä halutaan luopua. Maatilalle kiinnostavimmista ja mahdollisesti kannattavimmista lämmön- ja sähköntuotantojärjestelmistä tehtiin tarjouspyynnöt laitetoimittajille. Vastaanotettujen tarjousten perusteella suoritettiin kannattavuuslaskelmia.

ELY-keskukselta satavalla 4 000 € euron tuella maalämpöpumppujärjestelmän takaisinmaksuaika on noin yhdeksän vuotta ja ilman tukea se on noin kymmenen ja puoli vuotta. Maalämmön vuotuinen tuotto tuki huomioituna on 11,15 %. Ilman tukea tuotto on 9,48 %, joka on silti enemmän kuin osakesijoittamisen seitsemän prosentin keskimääräinen vuosituotto pitkällä aikavälillä tarkasteltuna (Pörssisäätiö 2021). Maalämpöpumppujärjestelmiä voidaan pitää matalan riskin sijoituskohteina ainakin osakemarkkinoihin verrattaessa.

PV*SOL premium -simulointiohjelmiston avulla Aurinkosähkö 1:n tarjoama aurinkosähköjärjestelmä osoittautui kannattavammaksi kuin Aurinkosähkö 2:n järjestelmä. Aurinkosähkö 1:n järjestelmä tuotti 7,46 % keskimääräistä vuosituottoa 25 vuoden tarkastelujakson ajalta, jos järjestelmästä haetaan kotitalousvähennystä ja pääasuinrakennukseen asennetaan maalämpöpumppu. Tällöin järjestelmän takaisinmaksuaika on hieman yli 11 ja puoli vuotta.

Aurinkosähköjärjestelmä tuottaa edullista sähköä, jota käytetään pääasuinrakennuksen lämmittämiseen maalämpöpumpulla ja yleisesti maatilalla. Korkea omaan käyttöön menevän tuotannon osuus parantaa aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta.

Opinnäytetyössä saatujen tulosten perusteella sekä pääasuinrakennuksen lämmöntuotantojärjestelmän päivittäminen maalämpöön että aurinkosähköjärjestelmän asennuttaminen maatilalle on kannattavaa. Erityisesti kannattavaa on, jos molemmat järjestelmät hankitaan yhdessä maatilalle.

LÄHTEET

Bioenergia 2021. Pellettienergia. Viitattu 1.7.2021 <https://www.bioenergia.fi/tietopankki/pellettienergia/>

Business Finland 2021. Energiatuki. Viitattu 25.10.2021. <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Caruna 2021. Omavarainen sähkön pientuotanto. Viitattu 17.10.2021. <https://www.caruna.fi/palvelut/oma-sahkontuotanto/muu-pientuotanto>

ELY-keskus 2021. Avustus pientalon öljylämmityksestä luopumiseksi. Viitattu 5.2.2021. <https://www.ely-keskus.fi/oljylammituksen-vaihtajalle>

Energialous 2021. Lämpöpumppu trendit 2019 – Kodit ja kiinteistöt. Viitattu 31.8.2021. <https://www.energiatalous.fi/?p=2380>

Energiatehokas koti 2021. Ilma-vesilämpöpumppu. Viitattu 3.9.2021. <https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan-suunnittelu/lammitys/ilmalampo-ja-maalampopumput/ilmavesilampopumppu>

Finnwind 2021. Tuulivoimahankkeen suunnittelu ja toteutus. Viitattu 27.2.2021. <https://finnwind.fi/tuulivoima/>

Finsolar 2021. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Viitattu 3.11.2021. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/>

Helen 2021. Virtuaaliakulla varastoit aurinkoa myös pilvisen päivän varalle. Viitattu 2.7.2021. <https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/sahko-varastointi/virtuaaliakku>

Hiilineutraali Suomi 2021. Aurinkosähköjärjestelmien hinnat laskussa – kannattavuutta arvioitava käyttöajan puitteissa. Viitattu 1.7.2021. [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien-hinnat-laskussa\(56958\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien-hinnat-laskussa(56958))

Ilta-Sanomat 2021. Lämpöpumpun hinnoissa on hurjia eroja suhteessa asunnon arvoon – tutkija: Tuet kohdistettava tietyille alueille. Viitattu 3.6.2021. <https://www.is.fi/taloussanomat/art-2000008013618.html>

Kotisun 2021. Öljylämmitys kielletään pientaloissa. Viitattu 5.2.2021. <https://kotisun.fi/pienkiinteistöjen-oljylammitys-kielletaan/>

Kotkan Energia 2021. Mitä on maa- ja merilämpö?. Viitattu 6.5.2021. <https://www.kotkanenergia.fi/koteihin/maa-ja-merilampo/>

Luonnonvarakeskus 2021. Maatalous- ja puutarhayritysten rakenne. Viitattu 16.9.2021. <https://stat.luke.fi/maatalous-ja-puutarhayritysten-rakenne>

LämpöYkkönen 2021. Ilmalämpöpumppu haussa? Näin ilmalämpöpumput säästävät energiaa. Viitattu 27.2.2021. <https://lampoykkonen.fi/tuotteet/ilmalampopumput/>

LämpöYkkönen 2021. Maalämpö, mistä siinä on kyse? Viitattu 21.5.2021. <https://lampoykkonen.fi/tuotteet/maalampo/>

Motiva 2021. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Viitattu 17.2.2021. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva-energia/aurinkosahko/aurinkosahkon-perusteet/auringonsateilyn-maara-suomessa>

Motiva 2021. Auringosta sähköä. Viitattu 17.2.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa

Motiva 2021. Aurinkolämpö. Viitattu 3.11.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo

Motiva 2021. Aurinkolämpöjärjestelmät. Viitattu 3.11.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat

Motiva 2021. Pellettilämmitys. Viitattu 15.3.2021. https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/ rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/pellettilammitys

Motiva 2021. Tuulivoima. Viitattu 10.2.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima

Motiva 2021. Tuulivoimateknologia. Viitattu 10.2.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/tuulivoimateknologia

Mäkiranta, A. 2020. Renewable thermal energy sources : sediment and asphalt energy applications in an urban northern environment. Väitöskirja. Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö. Vaasa: Vaasan yliopisto. Viitattu 6.5.2021. <https://osuva.uwasa.fi/handle/10024/11593>

Oulun Kaupunki 2021. Pellettilämmitys. Viitattu 18.5.2021. https://www.ouka.fi/documents/486338/20578333/Pientalo_11_Pellettilammitys_2013_02_01.pdf/15b46214-8c04-4318-b8bd-8946a04a24eb

Pieskä, M. 2014. Lämpöpumppuratkaisuja talotekniikkaseminaari. Merinova. Viitattu 1.11.2021. <https://www.vasek.fi/assets/Files/Rakentamisen-tietopankki/Talotekniikkaseminaari-20131127/Lampopumppuratkaisuja.pdf>

Pörssisäätiö 2021. Sijoituskohteet ja niiden valintakriteerit. Viitattu 3.11.2021. <https://www.porsisaatio.fi/sijoituskoulu/sijoituskohteet-valintakriteerit/>

Rakentaja 2021. Maalämpöpumpun Cool IN kodin viilennykseen kesällä. Viitattu 31.8.2021. https://www.rakentaja.fi/artikkelit/11511/maalampopumppu_viilennykseen_nibe.htm

Ruokavirasto 2021. Maatalouden investointituet. Viitattu 25.10.2021. <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/tuet-ja-rahoitus/maatalouden-investointituet/>

Salkunrakentaja 2021. Sijoitetun pääoman tuotto – näin tulkitset tärkeää kannattavuustunnusluku. Viitattu 11.10.2021. <https://www.salkunrakentaja.fi/2012/07/sijoitetun-paaoman-tuotto/>

SULPU 2021. Ilmalämpöpumppu (ILP). Viitattu 5.9.2021. <https://www.sulpu.fi/lampopumput/ilma-lampopumput/>

Suomela 2021. Ekolämpöä tupaan. Viitattu 14.10.2021. <https://www.suomela.fi/lammitys-lvis/Lammitys-energiaAnna/Ekolampo-tupaan-44704>

Suomela 2021. Lämpöpumppu on tulevaisuuden lämmitysmuoto – poimi parhaat vinkit lämpöpumpun valintaan. Viitattu 27.2.2021. <https://www.suomela.fi/lampopumppu-on-tulevaisuuden-lammitysmuoto-poimi-parhaat-vinkit-lampopumpun-valintaan/>

Suomen tuulivoimayhdistys 2021. Yleistä pientuulivoimasta. Viitattu 2.7.2021. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/pientuulivoima/yleista-pientuulivoimasta>

Suomirakentaa 2021. Öljylämmitys on tehokas. Viitattu 6.2.2021. <https://www.suomirakentaa.fi/omakotirakentaja/laemmitys/oeljylaemmitys>

Sähkön kilpailutus 2021. Pörssisähkön hinta. Viitattu 21.10.2021. <https://www.sahkon-kilpailutus.fi/porssisahkon-hinta/>

Techeat 2021. Maalämpö. Viitattu 1.9.2021. <https://www.techeat.fi/maalampo/>

Thermia 2021. Ilmavesilämpöpumppu. Viitattu 31.8.2021. <https://www.thermia.fi/ilmavesilampopumppu/ilmavesilampopumppu/>

Tom Allen Senera 2021. Mikä on ilma-vesilämpöpumppu (VILP)? Viitattu 27.2.2021. <https://www.tomallensenera.fi/ilma-vesilampopumppu>

Turun Sanomat 2021. Meren pohjalta kerätään uusiutuvaa energiaa. Viitattu 6.5.2021. <https://www.ts.fi/teemat/1074294818/Meren+pohjalta+kerataan+uusiutuvaa+energiaa>

Vero 2021. Kotitalousvähennys. Viitattu 29.10.2021. <https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/tulot-ja-vahennykset/kotitalousvahennys/>

Vero 2021. Muutoksia kotitalousvähennykseen. Viitattu 6.12.2021. https://www.vero.fi/tietoa-verohallinnosta/uutishuone/verotuksen_muutoksia/muutoksia-kotitalousv%C3%A4hennykseen/

Ympäristöministeriö 2021. Hallituksen ilmastopoliittika: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. Viitattu 5.2.2021. <https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>

Öljylämmitys 2021. Öljy on tehokasta energiaa. Viitattu 6.2.2021. <https://oljylammitys.fi/energia-tehokkuus/oljy-on-tehokasta-energiaa/>