



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

UUSIUTUVAN ENERGIAN KÄYTTÖ PIENTALLOSSA

Kannattavuus- ja omavaraisuustarkastelu

Paula Turpeinen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

TURPEINEN, PAULA:

Uusiutuvan energian käyttö pientalossa. Kannattavuus- ja omavaraisuustarkastelu

Opinnäytetyö 82 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Huhtikuu 2018

Tässä työssä tutkittiin pientalon sähkö- ja lämpöenergian tuottamista uusiutuvalla energialla. Tarkoituksena oli selvittää, missä määrin itse tuotetulla uusiutuvalla energialla voidaan kattaa pientalon energiatarve. Lämpöenergian osalta tutkittiin maalämmön, aurinkolämmön ja puukattilajärjestelmän käyttöä. Sähköntuotannossa tutkitut vaihtoehdot olivat aurinkosähkö ja puukattilapohjainen Stirling-järjestelmä. Tutkimusta varten kuvitteelliselle uudisrakennuskohteelle laskettiin arvio energiantarpeesta. Kunkin energiantuotantomuodon taloudellista kannattavuutta verrattiin vaihtoehtoon, jossa koko energiantarve katettiin verkkosähköllä. Lisäksi tutkittiin sähköauton akun hyödyntämistä energiavarastona ja sähköauton käytön vaikutusta aurinkosähkön taloudelliseen kannattavuuteen.

Kannattavuuslaskelmien perusteella kaikki tutkitut energiantuotantomuodot ovat oikein mitoitettuina taloudellisesti kannattavia käytettäessä 30 vuoden tarkastelujaksoa. Energiaomavaraisuutta ei yhdelläkään järjestelmällä kuitenkaan saavuteta. Etenkin sähkön- ja lämpöenergian tuotannossa ongelmana on tuotannon epätasaisuus. Aurinkosähkön tuotanto painottuu kesään ja Stirling-järjestelmän talveen. Stirling-järjestelmän sähköenergian tuotto riippuu kohteen lämmitysenergian tarpeesta, ja tutkitussa järjestelmässä sähkön tuotanto oli pientä suhteessa lämpöenergian tuotantoon. Aurinkosähkön tuotanto vaihtelee vuoden ja vuorokauden ajasta riippuen. Sähkön tuotannon vaihtelua voidaan tasata akustolla. Perinteisen erillisen akuston korvaaminen sähköauton akulla on kuitenkin ongelmallista, koska auto on usein ajossa päivällä, kun aurinkosähköä on eniten saatavilla. Myöskään valmiita edullisia kaksisuuntaisia latausjärjestelmiä ei markkinoilla ole vielä tarjolla, joten sähköauton akun käyttäminen varavoimana tai kohteen sähkönkulutuksen tasaamiseen on hankalaa. Sähköauto lisää kuitenkin kohteen sähkönkulutusta, mikä tekee myös suuremman aurinkosähköjärjestelmän hankkimisesta kannattavaa.

Lähimmäksi pientalon energiaomavaraisuutta lämmön osalta päästään puuenergialla. Sähköntuotannossa energiaomavaraisuuteen tarvitaan vielä uusia ratkaisuja. Lämmön ja sähkön yhteistuotannon mikrotason järjestelmillä voidaan omavaraisuusastetta lisätä, mutta sillä tuskin saavutetaan täydellistä omavaraisuutta. Aurinkosähkö on hyvä ratkaisu, vaikka sen parempi hyödyntäminen edellyttää energiavarastojen kehittymistä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Electrical Power Engineering

TURPEINEN, PAULA:

Renewable Energy in a Single-family House. Profitability and Self-sufficiency Review

Bachelor's thesis 82 pages, appendices 6 pages
April 2018

In this thesis production of electricity and heat from renewable energy sources was studied in a single-family house. The aim was to determine the extent of which self-produced renewable energy can cover the energy demand of a small detached house. The studied heating systems include geothermal and solar energy and a wood boiler system. The alternatives to the power generation were photovoltaic and wood boiler based Stirling generator. For the study an estimation of the energy demand of a fictitious new detached house was calculated. The economic viability of each form of energy production was compared to the alternative where the whole energy consumption was covered by electricity from the power grid. In addition, the use of an electric car battery as an energy storage and the impact of the use of an electric car on the economic viability of photovoltaic was studied.

Based on the calculations all the energy production forms studied are economically viable when using a 30-year review period. However, energy self-sufficiency is not achieved by any of the systems. Main issue in power generation is the irregularity of production. Solar power is mainly available in summer and the Stirling system is mainly used in winter. The power yield of the Stirling system depends on the heat consumption of the house and in the examined Stirling system the electricity production was small in relation to the heat energy production. The production of solar power varies depending on the time of day and year. Fluctuation in electricity production can be evened out by a battery. Replacing a traditional separate battery with an electric car battery is, however, problematic as during the highest solar power production in daytime the car is often in use. Besides, affordable, bidirectional charging systems are not yet available on the market. Therefore, it is difficult to use the electric car battery as backup power or for levelling the electricity consumption of the house. However, the electric car increases the total electric energy consumption, which makes the acquisition of a larger photovoltaic system profitable.

The best heating solution for pursuing energy self-sufficiency in a single-family house is wood energy. Regarding power generation, new solutions are still needed for energy self-sufficiency. Micro-scale CHP systems can increase the energy self-sufficiency ratio, but total self-sufficiency will hardly be achieved. Photovoltaics are a good solution, although better utilization requires further development of energy storages.

Key words: renewable energy, solar energy, geothermal energy, wood, Stirling

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	RAKENNUKSEN ENERGIAN HANKINNAN SUUNNITTELU	8
3	MAALÄMPÖ.....	10
3.1	Maalämpö energianlähteenä	10
3.2	Toimintaperiaate	11
3.3	Mitoitus.....	13
3.4	Käyttö, huolto, riskit	17
4	PUU	19
4.1	Puu energianlähteenä	19
4.2	Puukattilalämmitys	21
4.3	Sähköntuotanto Stirling-moottorilla	22
5	AURINKOENERGIA	27
5.1	Aurinko energianlähteenä	27
5.2	Lämpökeräin	27
5.2.1	Toimintaperiaate	28
5.2.2	Mitoitus	29
5.2.3	Käyttö, huolto, riskit	30
5.3	Sähköntuotanto	31
5.3.1	Toimintaperiaate	31
5.3.2	Mitoitus	35
5.3.3	Käyttö, huolto, riskit	36
6	MUITA MAHDOLLISUUKSIA	38
7	SÄHKÖAUTON AKKU ENERGIAVARASTONA.....	41
8	KANNATTAVUUSTARKASTELU	45
8.1	Kohdetiedot.....	45
8.1.1	Lämmön ja sähkön tarve	46
8.2	Laitteiden mitoitus	48
8.2.1	Maalämpö.....	48
8.2.2	Puu	49
8.2.3	Aurinkolämpö	50
8.2.4	Aurinkosähkö	51
8.3	Tilantarve	52
8.4	Investointikustannukset vaihtoehtojen mukaan	53
8.5	Kannattavuuslaskelmat	55
8.5.1	Maalämpö.....	56
8.5.2	Puu	57

8.5.3	Aurinkolämpö	58
8.5.4	Aurinkosähkö	59
8.6	Sähköverkkoon liittyminen	62
8.6.1	Pääsulake	62
8.6.2	Liittymiskustannukset	63
8.6.3	Käyttökustannukset	64
8.6.4	Oman sähköntuotannon liittäminen verkkoon	64
8.7	Sähköauto & aurinkosähkö	66
9	TULOKSET	69
10	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	70
	LÄHTEET	72
	LIITTEET	77
	Liite 1. BioGen Woodlog Gasifier	77
	Liite 2. SPOT-tilasto	79
	Liite 3. JRC asetteluarvot ja tulokset	80

LYHENTEET JA TERMIT

A_h	huoneiston pinta-ala, m ²
$A_{\text{lämmitys}}$	rakennuksen lämmityspinta-ala, m ²
$A_{\text{tasokeräin}}$	tasokeräimen pinta-ala, m ²
$A_{\text{tyhjiöputkikeräin}}$	tyhjiöputkikeräimen pinta-ala, m ²
h	huonekorkeus, m
K	aurinkokeräimen kallistuskulma
L	leveysaste
P_h	omakotitalon huipputeho, kW
P_{kk}	omakotitalon perussähkökuorma, kW
P_m	omakotitalon mitoitusteho, kW
$P_{\text{maalämpö}}$	maalämpöpumpun mitoitusteho, W
P_{mitoitus}	mitoitusteho, W/m ³
P_s	sähkölämpökuorma, kW
P_v	valaistusteho, kW
V	vesivaraajan tilavuus, m ³
W_{KOK}	rakennuksen kokonaisenergiantarve, kWh
W_L	rakennuksen lämmitysenergian tarve, kWh
$W_{\text{laitesähkö}}$	laitesähköenergian tarve, kWh
W_{LKV}	lämpimän käyttöveden tarve, kWh

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoitus oli selvittää, missä määrin pientalo-kokoluokassa on uusiutuvalla energialla mahdollista omavaraisesti tuottaa tarvittava sähkö- ja lämpöenergia. Lisäksi tarkoitus oli vertailla eri energiantuotantomuotoja niiden taloudellisen kannattavuuden kannalta. Uusiutuvaan energiaan perustuva hajautettu pien- ja mikrotuotanto on tulevaisuuden trendi, jolla vähennetään päästöjä ja kuluttaja voi varautua nouseviin energianhintoihin ja käyttökatkoihin sähköverkossa. Toisaalta sähköverkon kannalta se lisää tarvetta joustavampaan sähköjärjestelmään – tarvitaan älykkäitä verkkoja kysynnän hallintaan ja sähkövarastoja vastaamaan kulutuspiikkeihin.

Työssä tutustuttiin maalämmön, aurinkoenergian ja puuenergian hyödyntämiseen. Eri energiantuotantomuotojen vertailua varten valittiin kuvitteellinen uudisrakennuskohde, jolle laskettiin arvio energiantarpeesta. Kunkin energiantuotantomuodon kannattavuutta verrattiin vaihtoehtoon, jossa koko energiantarve katettiin verkkosähköllä. Lisäksi tutkittiin mahdollisuutta käyttää sähköauton akkua aurinkoenergialla tuotetun sähkön varastona.

Tässä työssä ei kiinnitetty huomiota eri tuotantotapojen päästöihin ja ympäristöystävällisyyteen tarkemmin. Jokaisen tuotantotavan laitteiden valmistus tuottaa päästöjä ja myös laitteiden käyttö jossain määrin. Verkkosähkön ekologisuus riippuu sähkön tuotantovasta. Täysin päästötöntä energiantuotantotapaa ei ole olemassa. Uusiutuva energia on kuitenkin fossiilisia polttoaineita kestävämpi vaihtoehto.

2 RAKENNUKSEN ENERGIAN HANKINNAN SUUNNITTELU

Rakennuksen energian hankintaa suunniteltaessa kannattaa ensin varmistaa, että rakennus on mahdollisimman energiatehokas, jolloin tarvittavien laitteistojen teho voidaan minimoida. Uudisrakennuksessa energiatehokkuus voidaan huomioida jo suunnitteluvaiheessa, mutta myös vanhoissa rakennuksissa voidaan parantaa energiatehokkuutta mm. ulkoseinien lisälämmöneristämällä ja laitteiden tarpeenmukaisella käyttöaikataulutuksella. Kokonaisenergiankulutuksen lisäksi tulee huomioida huipputehontarve. Energiankulutuksen pienentyessä puoleen huipputehontarve pienenee vain noin 30 %. Tämä tarkoittaa, että huipputehon ja normaalin käyttötehon ero kasvaa, mikä on sähköverkon kannalta haastavaa ja lisää päästöjä nykyisellä tuotantorakenteella. (Rantala 2014, 19.)

Pienkuluttajan kannattaa aiempaa enemmän kiinnittää huomiota tehontarpeeseensa, sillä tulevaisuudessa sähköön siirtohinnoittelu voi enenemässä määrin perustua energiankulutuksen sijaan tehonkulutukseen. Tehoon perustuvan siirtohinnoittelun ideana on ohjata kuluttajia pienentämään huipputehoaan, jolloin siirtoverkon huipputehon tarve pysyy pienempänä ja tätä kautta myös verkon ylläpito- ja kehityskustannukset pysyvät matalampina. (Pahkala, Uimonen & Väre 2017, 43.)

Rakennuksen energianhankintasuunnittelussa huomioidaan elinkaarikustannukset sekä mahdolliset ympäristövaikutukset. Energianhankinnan suunnittelun edetessä tarvitsee selvittää seuraavat asiat:

- Alustava arvio rakennuksen energiankulutuksesta ja sen jakaumasta (sähkö, lämpö) sekä ajallisesta vaihtelusta
- Alustava arvio huipputehontarpeesta ja sen pysyvyydestä
- Energiantuottopalveluiden saatavuus ja kustannukset (energiatariffit ja liittymämaksut)
- Tavoitteet (esim. paikallisesti tuotetun energian osuus)
- Asemakaavan ehdot ja rajoitukset paikalliselle energiantuotannolle
- Tontin (koko, muoto, maaperä, sijainti) ja naapuruston asettamat rajoitukset
- Vaihtoehtoisten energiantuotantomahdollisuuksien saatavuus ja tuotantokapasiteetti
- Eri energianhankintavaihtoehtojen kannattavuuden vertailu elinkaarikustannuslaskelmin

- Vaihtoehtojen päästövaikutukset, riskit, laitteiden käyttöikä jne.
- Eri vaihtoehtojen netto-ostoenergia ja E-luku eli rakennuksen vuotuinen laskennallinen kokonaisenergiankulutus (kWh/m²/v)
- Kannattavimpien vaihtoehtojen vaikutukset rakennuksen suunnitteluratkaisuihin ja niiden kustannusvaikutukset (Rantala 2014, 22.)

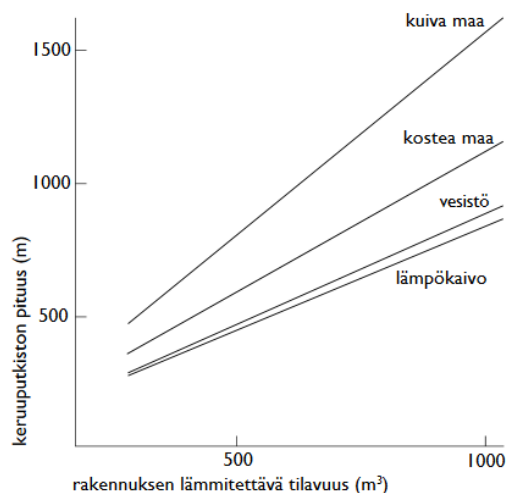
3 MAALÄMPÖ

3.1 Maalämpö energianlähteenä

Maalämpötekniikka hyödyntää maaperään varastoitunutta lämpöenergiaa. Maan pintakerroksien lämpöenergia on peräisin auringosta ja syvemmillä maaperässä radioaktiivisten aineiden hajoaminen tuottaa lämpöä. Maan pintakerrosten lämpötila vaihtelee ilman lämpötilan mukaan, mutta syvemmälle mennessä lämpötilan vaihtelu vähenee. Etelä-Suomessa maaperän keskilämpötila 14-15 metrin syvyydessä on 5-6 astetta. Maaperän lämpötila 15 m syvyydessä vastaa vuoden keskimääräistä ilman lämpötilaa. Syvemmälle kallioperään mennessä lämpötila nousee keskimäärin $0,5-1\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$. Etelä-Suomessa 300 metrin syvyydessä kallioperän lämpötila on noin $6,5-9\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 7; Eicker 2014, 421, 450.)

Maalämpöpumppua voidaan käyttää sekä lämmittämiseen että jäähdytykseen. Lämpimässä ilmastossa maalämpöpumppu on kuitenkin hyödytön, sillä ilman keskimääräisen lämpötilan ollessa yli $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ei lämmitysenergiaa tarvita ja maaperä on liian lämmin, jotta järjestelmää voitaisiin käyttää jäähdytykseen. (Eicker 2014, 421, 450.)

Maalämpöä voidaan kerätä keruupiirin avulla maaperästä, vesistöstä tai kallioon poratusta reiästä eli ns. lämpökaivosta. Keruupiirin lisäksi maalämpöjärjestelmä sisältää lämpöpumpun ja siirtoputkiston. Keruuputkiston pituus riippuu siitä, mistä lämpöä kerätään. Vesistöstä ja kallioperästä kerätessä riittää lyhyempi putkisto (kuvio 1). (Juvonen & Lapinlampi 2013, 8.)



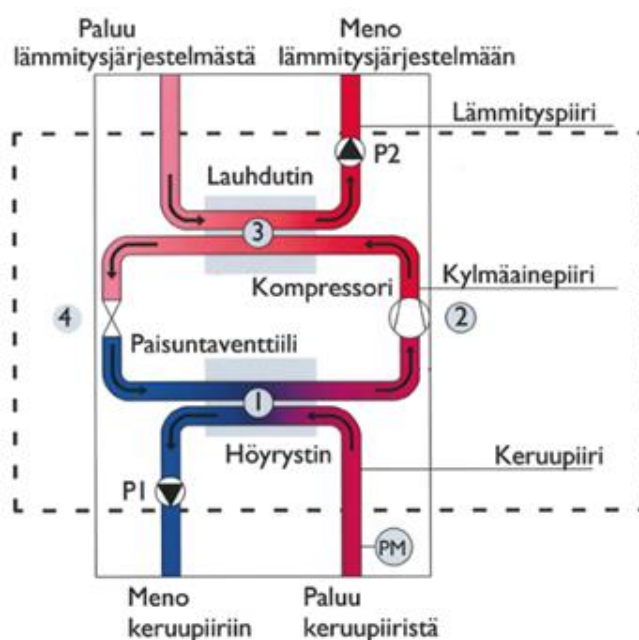
KUVIO 1. Tarvittava keruuputkiston pituus (Juvonen & Lapinlampi 2013, 8.)

Maaperästä kerättäessä putkisto asennetaan noin metrin syvyyteen ja yksi putkimetri vie noin $1,5 \text{ m}^2$ pinta-alan. Pientalossa keruuputkistoa tarvitaan yleensä vähintään 500 m. Kallioperään poratun energiakaivon syvyys on yleensä alle 300 m. Rakennuksen energiatarpeen kattamiseksi energiakaivoja voidaan joutua poraamaan useampia. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 8.)

Energiakaivojen ja keräysputkiston vaihtoehtona on käyttää energiapaaluja, jotka toimivat samalla rakennuksen kantavina perusrakenteina. Teräspaalut voidaan asentaa normaalien tukipaalujen tapaan, paalutustyön jälkeen lisätään vain lämmönsiirtoputkisto paalujen sisään. Kun keräysputkisto on paikoillaan, paalut betonoidaan, jotta maaperän energia siirtyy tehokkaasti putkistossa kulkevaan lämmönsiirtonesteeseen. Energiapaalujen välinen minimietäisyys on 4-5 m ja paalupituus on oltava yli 15 m. (Rantala 2014, 56-57.)

3.2 Toimintaperiaate

Maalämpöpumpun suljetussa keruuputkessa kiertävä neste kerää lämmön maaperästä ja luovuttaa sen rakennuksen käyttöön. Keruupiirin nesteen lämpötila on alhainen, joten sitä ei suoraan voi hyödyntää rakennuksen lämmitykseen vaan keruu- ja lämmityspiirin väliin tarvitaan kompressorin nostamaan lämpötila rakennuksen tarvitsemalle tasolle. Kuvassa 1 on esitetty lämpöpumpun olennaisimmat osat.



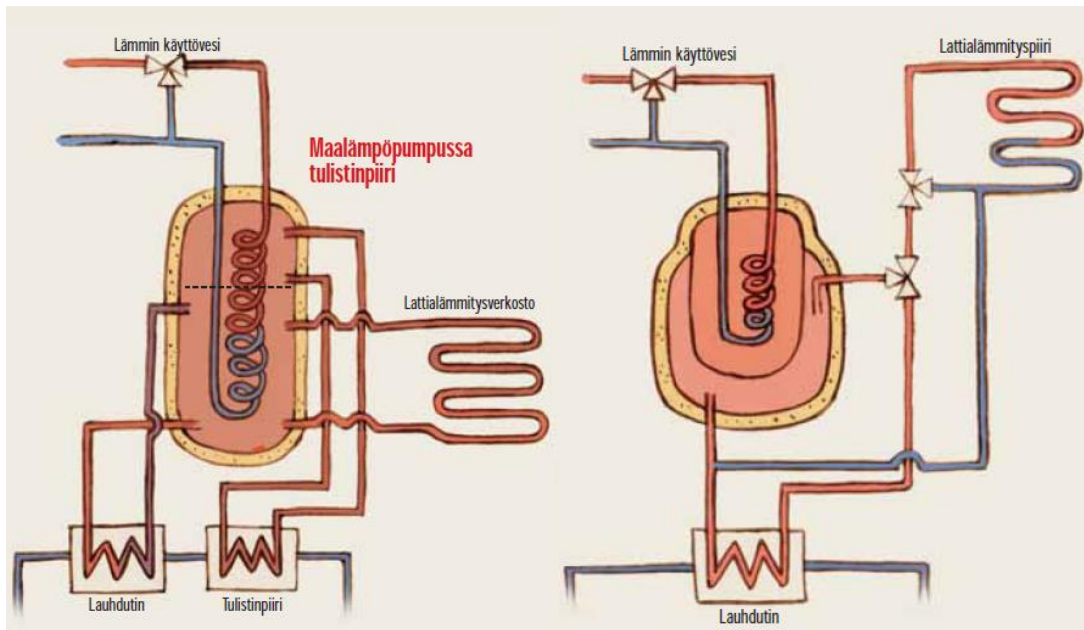
KUVA 1. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Juvonen & Lapinlampi 2013, 12, muokattu)

Lämpöpumpun prosessi etenee seuraavasti:

1. Lämmin keruupiirin neste kulkee höyrystimeen, jossa se luovuttaa lämpöä kylmäainepiirin kylmäaineelle. Kylmäaine on höyrystimeen tullessaan nestemäistä ja keruupiirin luovuttaman lämmön ansiosta se höyrystyy.
2. Kompressorissa kaasumaisen kylmäaineen painetta lisätään puristamalla sitä kaasaan, jolloin sen lämpötila nousee jopa sataan asteeseen. Kylmäainekaasun puristamiseen käytetty sähköenergia muuttuu sekin lämmöksi ja edelleen nostaa kylmäaineen lämpötilaa. Vaihtosuuntaajan tehtävä lämpöpumpussa on ohjata kompressorin kierroslukua ja sitä kautta laitteen lämmitystehoa.
3. Lauhduttimessa kylmäaine luovuttaa lämpöenergiaa lämmityspiirissä kiertävään veteen, jonka seurauksena kylmäaine muuttuu takaisin nestemäiseen muotoon.
4. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen painetta lasketaan, jolloin sen lämpötila laskee noin -10 °C:seen. Jäähdyntynyt kylmäaine palaa takaisin höyrystimeen, jossa prosessi alkaa taas alusta. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 12; Motiva 2012a, 3; Elvari 2011, 3.)

Lämmitysjärjestelmän olennainen osa on varaaja, joka vaihtelee lämpöpumpumallista riippuen. Vaihtuvalauhdutteisen lämpöpumpun varaajassa on kaksi osaa, joista toinen varastoi lämmitysvettä ja toinen varaajaosa lämmintä käyttövettä. Lauhduttimen lämpötila vaihtelee riippuen siitä, lämmitetäänkö käyttövettä vai lämmitysvettä. Lämmitysvettä lämmitettäessä lauhduttimen lämpötila on alhainen, mikä parantaa lämpöpumpun lämpökerrointa. Lämpöpumpulla lämpimän käyttöveden lämpötila saadaan nostettua 55-60 °C:seen, jolloin normaalitilanteessa sähkövastusta ei tarvita. (Motiva 2012a, 7; Elvari 2011, 3.)

Tulistinmaalämpöpumpussa on ennen lauhdutinta erillinen tulistinlämmönvaihdin, jolla kaikkein kuumimmasta kylmäainehöyrystä siirretään lämpöä käyttöveden lämmitykseen. Tulistinpiirillisessä lämpöpumpussa varaaja on kaksiosainen: lämmitys- ja käyttövesivaraaja on erotettu toisistaan kalvolla. Tulistinpiirimallissa etuna on, että lämpökertoimeen vaikuttava lauhtumislämpötila pysyy jatkuvasti niin alhaisena kuin lämmitystarve sallii. Tällä mallilla saadaan kuumaa käyttövettä ilman sähkövastuksia. Kuvassa 2 on periaatekuvat tulistinpiirillisestä ja vaihtuvalauhdutteisesta lämpöpumpusta. Jos maalämpöpumpuun tulee erillinen varaaja, on maalämpöpumppu asennettava tekniseen tilaan. Tilaa tarvitaan noin 1 m². (Motiva 2012a, 7, 9.)



KUVA 2. Mallikuva tulistinpiirillisestä ja vaihtuvalauhdutteisesta lämpöpumpusta (Motiva 2012a, 6)

3.3 Mitoitus

Maalämpöjärjestelmän mitoitus lähtee liikkeelle rakennuksen energiantarpeen kartoituksesta. Energiantarvetta ei voi suoraan päätellä rakennuksen pinta-alasta, vaan siihen vaikuttavat rakennuksen eristystaso, mahdolliset muut lämmönlähteet, käyttöveden tarve, ilmanvaihto ja maantieteellinen sijainti. Keruuputkiston mitoituksessa on lisäksi huomioitava kallio- ja maaperän koostumus ja rakenne sekä pohjavesiolosuhteet. Myös lämmönjakojärjestelmän lämpötilalla on merkitystä, sillä se vaikuttaa laitteiston hyötysuhteeseen ja keruupiirin pituuteen. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 30.)

Kustannussyistä maalämpöä ei kannata mitoittaa huipputehon mukaan ainoaksi lämmönlähteeksi, vaan kulutuspiikkejä varten kannattaa käyttää toissijaista energianlähdettä (Rantala 2014, 59). Osateholle mitoitettaessa lämpöpumppu kattaa 60-80 % lämpötehon huipputarpeesta. Tällä teholla katetaan vuotuisesta lämpöenergian tarpeesta 95-99 %. (Elvari 2011, 2.)

Laitteiston mitoituksessa lasketaan tarvittava keruuputkiston pituus, energiakaivon porareian syvyys sekä porareikien määrä ja niiden riittävä keskinäinen etäisyys. Energiakent-

tää suunniteltaessa voidaan tehdä TRT-mittaus, jolla selvitetään kallioperän lämmönjohtavuus. Suomen kallioperän kivilajien välillä on suuriakin eroja lämmönjohtavuudessa. Mitä paremmin kallioperä johtaa lämpöä, sitä enemmän siitä voidaan saada lämpöenergiaa kerättyä. Kun maaperän lämmönjohtavuus tiedetään, voidaan tarvittava energiakäivomäärä optimoida. Jos energiakaivot ovat alle 15 m etäisyydellä toisistaan, ne vievät toisiltaan energiaa. Jos porareitit ovat vinoreikiä, voidaan ne sijoittaa suositeltua etäisyyttä lähemmäksi toisiaan, kun vinoreikien välinen kulma on riittävä. Riittävä kaltevuuskulma riippuu reikien määrästä ja syvyydestä. Maalämpöpumpun energiakaivon sijoitusta varten on laadittu suositellut turvaetäisyydet muihin rakennelmiin ja tontin rajaan (taulukko 1). (Rantala 2014, 85-86; Juvonen & Lapinlampi 2013, 30.)

TAULUKKO 1. Energiakaivon turvaetäisyyksiä (Juvonen & Lapinlampi 2013, 25)

Kohde	Suosittelun minimietäisyys
Energiakaivo	15 m *
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m **
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m **
Kiinteistön raja	7,5 m *
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m Harmaat jätevedet 20 m
Viemärit ja vesijohdot	3m (omat putket) - 5 m (muiden putket) **
Tunnelit ja luolat	25 , etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

*porareitien ollessa pystysuora

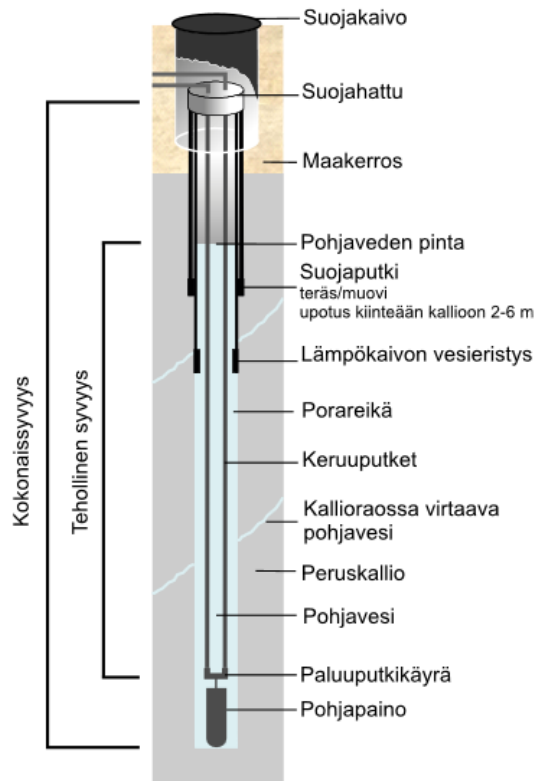
** etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivussyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Lämpöpumppujen tehokkuus riippuu ympäröivistä olosuhteista sekä lämmönjakoverkoston lämpötilasta. Lämpöpumppujen tehokkuutta kuvaava lämpökerroin COP (Coefficient of Performance) ilmoittaa pumpun lämpöenergian tuotantokyvyn suhteessa kulutettuun sähköenergiaan. Maalämpöpumppuja verrattaessa tulee ottaa huomioon, että lämpökertoimen mittaukseen ei ole määritelty standardimittausolosuhteita, vaan annetun lämpökertoimen mittausolosuhteet voivat vaihdella valmistajasta riippuen. Lämpöpumppujen vertailuun sopii paremmin vähitellen yleistynyt vuosilämpökerroin SPF (Seasonal Performance Factor). Suomessa maalämpöpumpun keskimääräinen vuositasen lämpökerroin on kolme, jolloin se tuottaa vuodessa kolme kWh lämpöenergiaa kohti yhtä kulutettua kilowattituntia sähköenergiaa. Tämä tarkoittaa, että kaksi kolmasosaa maalämpöpumpun tuottamasta lämpöenergiasta on maaperästä peräisin olevaa uusiutuvaa energiaa ja yksi kolmasosa on peräisin ostosähköstä. Maalämpöpumpun tehokkuuteen voi vaikuttaa valitsemalla matalalämpötilaisen lämmönjakoverkoston, jolloin lämpöpumpun hyötysuhde

on parempi. Maalämpöpumppu soveltuu vesikiertoiseen lattialämmitykseen, ilmalämmitykseen sekä patterilämmitykseen. Patterilämmitysverkostoon menevän veden lämpötila on 40-50 °C, maksimissaan 70 °C. Vesikiertoisessa lattialämmityksessä kiertävän veden lämpötila on 25-35 °C, maksimissaan 40 °C. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 9-10, 31; Motiva 2012a, 7, 12.)

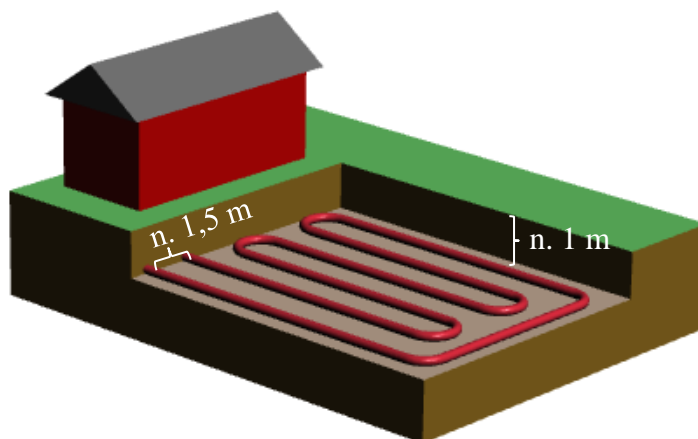
Lämpimän käyttöveden lämpötila on määritelty terveydensuojelulaissa, jossa on lämmitysjärjestelmän mitoitus, talousveden laatua ja lämpimän käyttöveden lämpötilaa koskevia määräyksiä. Jos maalämpöjärjestelmää käytetään käyttöveden lämmittämiseen, tulee se mitoittaa niin, että lämpimän veden vähimmäisarvo käyttöpisteissä on vähintään 55 °C 1-2 minuutin valutuksen jälkeen. Korkealla lämpötilalla torjutaan Legionella-bakteeria. Yli 50 asteen lämpötila tappaa Legionella-bakteerin muutamassa tunnissa ja yli 60 asteessa Legionella-bakteeri kuolee jo muutamassa minuutissa. Automaatiolla voidaan säätää laitteisto lämmittämään käyttövesi säännöllisesti noin 65 asteeseen turvallisen käyttöveden takaamiseksi. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 18; Elvari 2011, 4.)

Suomessa energiakaivon syvyys vaihtelee 120–300 metrin välillä ja halkaisija 105-165 mm välillä. Poratun reiän yläosa suojataan maaperäkerroksen osuudelle asennettavalla suojaputkella, joka estää irtoaineksen pääsyn reikään ja sitä kautta pohjaveteen. Suojaputken upotussyvyys riippuu kalliopinnan kiinteydestä. Tyypillisesti putki ulottuu 2–6 m kiinteään kallioon. Pohjavesialueella suojaputki upotetaan kiinteään kallioon aina vähintään 6 metriä. Porattu reikä täyttyy (tai täytetään) vedellä. Tämä on edellytys tehokkaalle lämmönkeräykselle. Porakaivon aktiivisesta tai tehollisesta syvyydestä puhuttaessa tarkoitetaan vuoden ympäri veden täyttämää kaivon osuutta. Porakaivon lämpötila vaihtelee vuoden aikana 2-3 °C. Kuvassa 3 on esitetty energiakaivon rakenne. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 33; Motiva 2012a, 4.)



KUVA 3. Energiakaivon rakenne (Juvonen & Lapinlampi 2013, 35)

Pintamaan asennetun putkiston lämpötila vaihtelee n. 10 °C. Vaakaputkisto asennetaan noin metrin syvyyteen, vähintään 1,5 m välein (kuva 4). Vaakaputkiston mitoituksessa rakennuskuutiota kohti tarvitaan 1-2 m putkistoa ja yksi putkimetri tarvitsee pihalta noin 1,5 m² tilaa. Yleensä lämmönkeruupiirin pituus on 300-400 m. (Motiva 2012a, 4; Elvari 2011, 4-5.)



KUVA 4. Pintamaan asennettu keruuputkisto

Vesistöön asennettaessa keruuputkiston asennussyvyys on vähintään 2 m. Jotta vesistö-asennus olisi kannattavaa, etäisyys rakennuksesta vesistöön tulisi olla alle 50 metriä eikä matkalla saisi olla suuria korkeuseroja. (Elvari 2011, 4.)

Maalämpöjärjestelmän rakentamiseen tarvitaan pääsääntöisesti maankäyttö- ja rakennuslain mukainen toimenpidelupa sekä mahdollisesti myös vesilain mukainen lupa. Lupa käytännöissä on kuntakohtaisia eroja ja lupien tarve on selvitettävä tapauskohtaisesti. Uuden rakennuksen lämmitysjärjestelmän rakentaminen käsitellään osana rakennuslupaa. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 13-15.)

3.4 Käyttö, huolto, riskit

Maalämpöpumpun suurimmat riskit liittyvät järjestelmän asennusvaiheeseen. Asennusvaiheeseen kuuluvat kaivonporaus, suojakaivon tai suojaputkituksen rakentaminen, keruuputkiston asentaminen, siirtoputkiston asentaminen, siirtoputkituksen läpivienti rakennuksen ulkoseinärakenteiden läpi, lämpöpumpun asennustyöt ja näihin liittyvät sähköasennukset (Juvonen & Lapinlampi 2013, 23).

Energiakaivon sijoittaminen pohjavesialueelle aiheuttaa pohjaveden pilaantumisriskin. Vahingotapauksissa keruuputkistossa kiertävä lämmönkeruuneste voi päästä pohjaveteen tai porakaivon kautta sade- tai hulevedet voivat päästä suoraan pohjaveteen. Keruupiirin vuodot voidaan havaita lämpöpumpun matalapainekeytkimen tai keruuputkistoon kytkeytyn paine- tai pinnankorkeusmittarin avulla. Keruunesteenä käytettävät etanoliliuos ja kaliumformiaattiliuos hajoavat pohjaveteen joutuessaan ja ovat ympäristölle suhteellisen vaarattomia. Rakennusvaiheessa kaluston rikkoontumisesta johtuva öljyvuoto tai kaivualueella oleva pilaantunut maa-aines aiheuttavat pohjaveden pilaantumisriskin. Kaivoa poratessa on mahdollista, että eri pohjavesikerrokset sekoittuvat, esim. suolainen pohjavesi sekoittuu makeaan veteen tai orsivesikerroksen alapuolella oleva savikerrostuma puhkeaa, jolloin orsivesikerroksen pinta voi laskea tai paineellinen pohjavesi nousta orsivesikerrokseen. Tämä voi aiheuttaa pysyviä muutoksia pohjaveden pinnan korkeuteen ja veden laatuun. Myös radonpitoisuus voi lisääntyä porauksen avatessa uusia reittejä radonin kulkeutumiselle. Energiakaivoa poratessa tulee huolehtia, etteivät porauspöly ja -liete pääse haitallisesti leviämään. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 26-27, 40-43.)

Oleellista on myös energiakentän oikea mitoitus. Lämpöenergian keruu jäähdyttää maata, mutta oikein mitoitettussa kohteessa jäähtyminen on hidasta ja vähäistä. Jos energiakenttä

on alimitoitettu, jäähtyminen on nopeaa ja siitä voi olla seurauksena, että energiakentästä ei enää saada tarvittavaa määrää lämpöenergiaa. (Lapon.)

Energiakaivosta saadaan lämpöenergiaa vuodenajasta riippumatta, sillä lämpötila maan sisällä säilyy melko vakiona ympäri vuoden. Riskinä on kuitenkin kaivon jäähtyminen ylikuormitustilanteessa talvella, jolloin veden lämpötila usein muutenkin laskee lähelle nollaa. Jäähtyminen rajoittaa veden virtaavuutta kaivossa, mikä heikentää kaivon tehokkuutta, ja se saattaa litistää putkia. Lämpöpumppu yleensä toimii ongelmitta kaivon jäähtymisestä huolimatta. Jäähtynyt kaivo sulaa, kun kompressorin pysäytetään ja keruuliuospumppu pidetään käynnissä. (Elvari 2011, 4.)

Käytössä maalämpöpumppu on yleensä pitkäikäinen ja helppohoitoinen. Maalämpöpumpun putkiston käyttöiäksi arvioidaan yli 50 vuotta, kun se on oikein rakennettu ja mitoitettu (Juvonen & Lapinlampi 2013, 48). Maalämpöpumpun kompressorin joudutaan uusimaan noin 15-20 vuoden välein. Maalämpöpumpun huollon tarve on vähäinen. Energiakaivon huoltotoimenpiteisiin kuuluvat rakenteiden kunnon seuraaminen ja lämmönsiirtonesteen vaihtaminen. Lisäksi lämmönkeruupiirin roskasuodatin tulee tarkistaa ja puhdistaa kerran vuodessa. Lämmönkeruunesteen paisunta-astian paine (suositus 1-1,5 bar) tulee tarkistaa vähintään kerran vuodessa eli ainakin talvella, kun paine on pienimmillään. Alhainen paine saattaa olla merkki vuodosta. Vikatilanteissa maalämpöpumpun sähkövastus kytkeytyy päälle taaten näin lämmön saannin. (Elvari 2011, 3; Motiva 2012a, 10; Rantala 2014, 55, 97-98.)

4 PUU

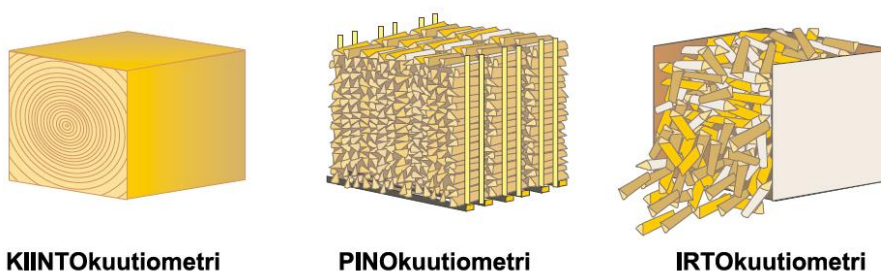
4.1 Puu energianlähteenä

Puu on perinteinen lämmönlähde, jonka hyviä puolia on sen saatavuus vuoden- ja vuorokaudenajasta riippumatta. Puun varmuus energianlähteenä tekee siitä kiinnostavan vaihtoehdon myös sähköenergian lähteeksi. Tässä työssä puuta käsitellään puukattilajärjestelmään pohjautuvana lämmönlähteenä sekä potentiaalisena sähkön lähteenä Stirling-mootoria hyödyntäen.

Puu on uusiutuva energianlähde, mutta se ei ole täysin päästötön vaihtoehto. Puun poltto tuottaa pienhiukkaspäästöjä ($0,3-1 \text{ g/kg} = 20-50 \text{ mg/MJ}$), mikä heikentää paikallista ilmanlaatua. Huonointa polttotekniikka on pientulisijoissa (kiukaat, kamiinat, avotakat). Puuston kestävässä käytössä oleellista on, että se ehtii uusiutua. Uusiutumiseen vaikuttavat kasvupaikkatekijät: lämpö, valo, vesi, maaperän rakenne ja ravinteet. Metsän kasvuvauhtiin voi vaikuttaa harvennuksilla. Metsämaan kasvu kiertoajassa on vähintään $1 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$. (Rantala 2014, 48-49; Metsäkeskus.)

Puun mittaukseen käytetään kolmea eri yksikköä: kiintokuutiometri (m^3), irtokuutiometri (i-m^3) ja pinokuutiometri (p-m^3). Niiden muuntokertoimet on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Pilkkeiden mittaussyksiköiden väliset muuntokertoimet (Alakangas, Erkilä & Oravainen 2008, 26)

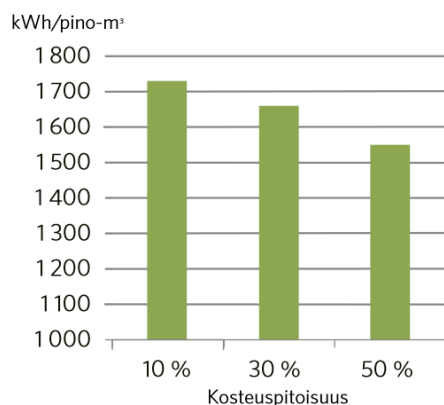


Mittaussyksikkö	Irto- m^3	Pino- m^3	Kiinto- m^3
Irto- m^3 , pilke (33 cm)	1	0,6	0,4
Pino- m^3 , pilke (33 cm)	1,68	1	0,67
Pino- m^3 , halko (100 cm)	1,55	1	0,62
Kiinto- m^3	2,5	1,5	1

Puusta saatavan energian määrä riippuu sen tehollisesta lämpöarvosta. Kotimaisten puiden lämpöarvot ovat suurin piirtein samaa luokkaa. Puun kosteus vaikuttaa lämpöarvoon (kuvio 2). Taulukossa 3 on esitetty yleisimpien suomalaisten puulajien lämpöarvoja. Pienpoltossa puun energia saadaan hyödynnettyä sitä paremmin, mitä kuivempaa puu on, koska veden höyrystämiseen menee vähemmän energiaa. (Alakangas, Erkkilä & Oravainen 2008, 25.)

TAULUKKO 3. Kuivan pilkkeen (kosteus 20 %) lämpöarvoja puulajeittain (Motiva 2012b, 31; Alakangas, Erkkilä & Oravainen, 25)

Puulaji	kWh/Irto-m ³	kWh/Pino-m ³	kWh/kg
Koivu	1010	1700	4,15
Mänty	810	1360	4,15
Haapa	790	1330	4,00
Kuusi	790	1320	4,10
Leppä	740	1230	4,05



KUVIO 2. Kosteuspitoisuuden vaikutus koivupilkkeen energiasisältöön (Motiva 2014, 3)

Polttoaineena puu on melko edullinen. Irtokuutuna toimitetun koivupilkkeen ostohinnan keskiarvo Tampereella on 51 €/i-m³. Arvo on laskettu 10 tarjoajan hinnan mukaan 19.9.2017 (Halkoliiteri). Energian hinta on tällä ostohinnalla noin 5 snt/kWh. 1 p-m³ koivua on massaltaan noin 410 kg, mikä riittää noin 30 lämmityskertaan. Kun yksi lämmityskerta vie 10-15 kg polttopuuta, maksaa lämmityskerta noin 3 €. (Alakangas, Erkkilä & Oravainen 2008, 15.)

4.2 Puukattilalämmitys

Yksi puulämmityksen muoto on puukattilalämmitys. Puukattiloita on kolmea päätyyppiä: ylä-, ala- ja käänteispalokattila. Yläpalokattila on malleista työläin, sillä polttoainetta pitää lisätä pienissä erissä lyhyin väliajoin. Alapalokattilassa lisäysväli on pidempi, sillä puun palaminen on tasaisempaa. Käänteispalokattilassa on kaksi polttilaa. Ensimmäisessä puu kaasuuntuu ja jälkipolttilassa palaa puukaasu. Taulukosta 4 nähdään, että käänteispalokattilalla saavutetaan paras hyötysuhde. Pilkekattilalämmitysjärjestelmään voi kuulua tai olla kuulumatta lämminvesivaraaja (suora vs. varaava järjestelmä). Lämminvesivaraajalla parannetaan kuitenkin järjestelmän hyötysuhdetta merkittävästi. Puukattilalämmitys sopii päälämmitysmuodoksi, sillä energiaa on tarjolla ympäri vuoden ja käyttöveden lämmitys onnistuu myös kesällä ilman, että huoneita lämmitetään samalla. Pientalon vuotuinen lämmitystarve katetaan noin 20 p-m³:llä pilkettä. (Pilkekattilat; Motiva 2012b, 15; Motiva 2014, 5)

TAULUKKO 4. Nykyaikaisten pilkekattiloiden vuosihyötysuhteita (keskuslämmityskattilat)

Pilkekattilatyyppi	Hyötysuhde %	
	Suora lämmitys	Varaava lämmitys
Kaksoispesäkattila	45	70
Yläpalokattila	50	70
Alapalokattila	60	80
Käänteispalokattila	65	85
Etupesä ja kattila	55	75

Puulämmitys on lämmitysmuotona varma mutta työläs. Käyttö edellyttää toimivaa polttopuuhuoltoa ja käyttäjän aktiivisuutta. Etuna on lämmöntuotannon varmuus verrattuna keskitettyihin energiantuotantoratkaisuihin, kuten sähkö- tai kaukolämpöjärjestelmään. Tarvittavia huoltotoimenpiteitä ovat tuhkan poisto säännöllisesti ja nuohous vähintään kerran vuodessa. Lisäksi puukattilalämmityksessä tulee huolehtia lämmönvaihtopintojen puhtaudesta. 1 mm paksu nokikerros lämmönvaihtopinnoilla huonontaa lämmönsiirtoa noin viisi prosenttia ja polttoaineen kulutus kasvaa 2-3 kg lämmityskertaa kohti. (Rantala 2014, 48-49; Motiva 2012b, 31; Motiva 2014, 2.)

4.3 Sähköntuotanto Stirling-moottorilla

Micro CHP (Combined Heat and Power) -laitokset tuottavat lämpöä ja sähköä ensisijaisesti omaan käyttöön. Mikroluokkaan kuuluvat laitokset, joiden teho on yksivaiheisena maksimissaan 3,68 kW ja kolmivaiheisena 11 kW. Mikrotuotannon maksimiliittymisraja on siis 16 A per vaihe 230/400 V verkossa. (Jarva & Niskanen 2011, 22.) Taulukossa 5 on esitetty CHP-tuotantoon soveltuvia tekniikoita ja niiden ominaisuuksia. Näistä tekniikoista tässä työssä keskitytään Stirling-moottoriin.

TAULUKKO 5. Pienimuotoiseen CHP-tuotantoon soveltuvien tekniikoiden ominaisuuksia (Karjalainen 2012, 10)

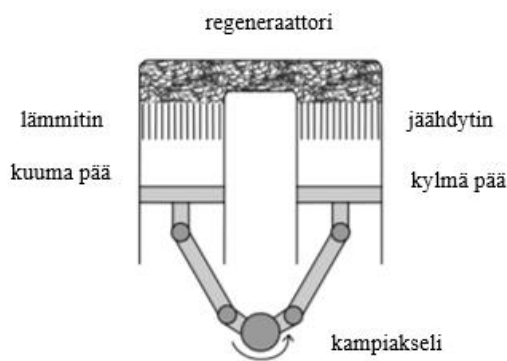
Tekniikka	Polttomoottorit	Mikroturbiinit	Stirling-moottorit	Polttokennot	Höyrykone ja - turbiini	ORC-prosessi
Tyypillinen koko kW	1-1000	25-250	10-150	1-50 000	>100, >500	150-1000
Sähköhyötysuhde %	25-40	25-30	8-22			
Lämpöhyötysuhde %	45-50	50-60	50-60			
Tyypillinen käyttöaika	15 vuotta	15 vuotta	15 vuotta	1-15 vuotta	15 vuotta	>20 vuotta
Kehitystaso	Laajasti käytössä	Varhaiskaupallinen vaihe	Pilot-vaihe	Kehitysvaihe	Laajasti käytössä	Varhaiskaupallinen vaihe
Tekninen vahvuus	Korkea sähköhyötysuhde	Pieni huollon tarve	Pieni huollon tarve	Korkea sähkö- hyötysuhde	Toimiva tekniikka	Sähköhyötysuhde osakuormalla
Tekninen heikkous	Verrattain suuri huollon tarve	Polttoaineen oltava kaasumainen tai nestemäinen	Rajallinen sähköhyötysuhde	Lyhyt kestoikä	Sähköhyötysuhde osakuormalla	Rajallinen sähköhyötysuhde

Stirling-moottorin toiminta perustuu sylinterien sisällä olevan kaasun vuorotteeseen lämpenemiseen ja jäähtymiseen. Lämmitessään kaasu laajenee ja jäähtyessään tiivistyy, mikä saa männän edestakaiseen liikkeeseen. Kaasuna käytetään yleensä heliumia tai vetyä. Myös ilmaa voidaan käyttää työkaasuna, mutta ongelmana siinä on osien syöpyminen sekä ilman sisältämän hapen ja männänrenkaiden läpi päässeeseen öljyn räjähdysvaara (Jarva & Niskanen 2011, 27). Moottorin tuottama teho riippuu kaasun lämpötilan muutosnopeudesta ja maksimilämpötilaerosta. Ideaalitapauksessa Stirling-moottorin teho riippuu täysin lämpötilaerosta, lämpöhäviöt ja kitka aiheuttavat kuitenkin häviöitä. (Ljunggren Falk & Berg 2014, 4; Genoastirling.)

Stirling-moottoreita on kolmea tyyppiä:

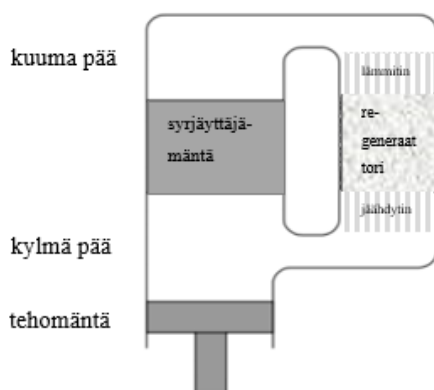
- Alfa
- Beta
- Gamma

Alfa-tyypissä (kuva 5) on kaksi erillistä sylinteriä (yksi kylmä ja yksi kuuma), jotka on kytketty sarjaan lämmönlähteen, regeneraattorin ja jäähdyttimen kautta. Kylmän ja kuumman puolen mäntä on kytketty yhteiseen kampiakseliin. Kaasun laajetessa lämpölaajenemisen seurauksena kuumalla puolella kuuman puolen mäntä liikkuu alaspäin, mikä samalla pakottaa kylmän puolen männän ylös. Männän liike työntää viileää kaasua kohti kuumaa puolta, minkä seurauksena kuuman puolen kaasu jäähtyy ja supistuu. Samalla kuuman puolen mäntä nousee takaisin ylös. (Ljunggren Falk & Berg 2014, 5-6; Mangion ym. 2012, 2.)

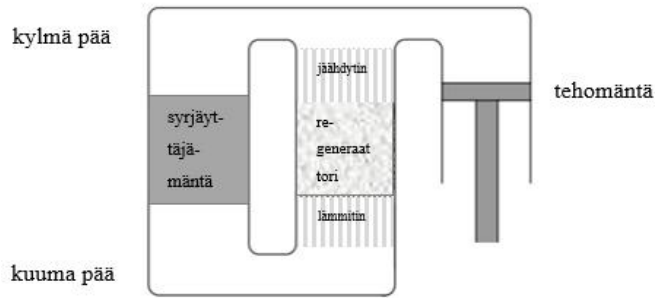


KUVA 5. Alfa-tyypin Stirling-moottori (Ljunggren Falk & Berg 2014, 5, muokattu)

Beta-tyypissä (kuva 6) syrjäyttäjämäntä aikaansaa kuuman ja kylmän kaasun kiertoa ja tehomäntä puristaa kaasua kasaan. Gamma-tyypissä (kuva 7) syrjäyttäjä- ja tehomäntä ovat eri sylintereissä. (Ljunggren Falk & Berg 2014, 5-6)



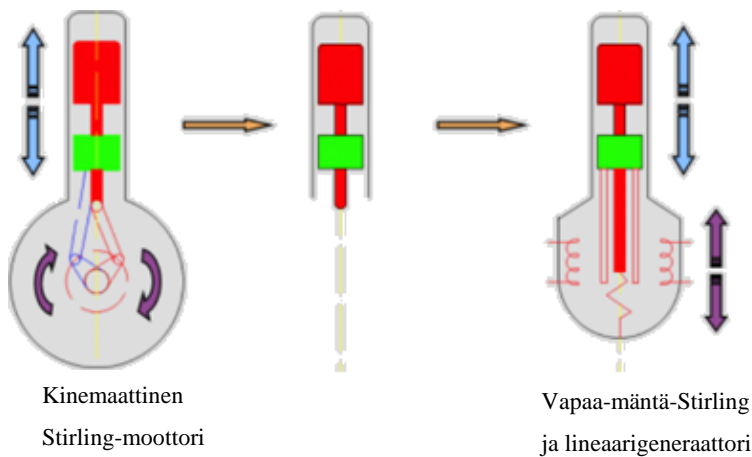
KUVA 6. Beta-tyypin Stirling-moottori (Ljunggren Falk & Berg 2014, 6, muokattu)



KUVA 7. Gamma-tyypin Stirling-moottori (Ljunggren Falk & Berg 2014, 6, muokattu)

Stirling-moottori voidaan kytkeä epätahtigeneraattoriin sähkön tuottamiseksi. Verkko-magnetoidut epätahtigeneraattorit ottavat magnetointivirran verkosta. Kondensaattori-magnetoidut epätahtigeneraattorit voivat toimia täysin itsenäisesti, sillä ne saavat tarvitsemansa magnetoimisvirran koneen liittimiin kytketyistä magnetoimiskondensaatto-reista. (Jarva & Niskanen 2011, 34.)

Perinteisesti Stirling-moottorit ovat kinemaattisia koneita, joissa mäntä pyörittää akselia. Vapaa-mäntä-Stirlingissä (kuva 8) akseli liikkuu lineaarisesti, jolloin sähköntuotantoon tarvitaan lineaarigeneraattori. Kinemaattisessa Stirling-moottorissa syntyy kitkahäviöitä ja pyörivät osat vaativat voitelua. Vapaa-mäntä-Stirling ei vastaavaa säännöllistä huoltoa tarvitse. (Ljunggren Falk & Berg 2014, 6-7; Microgen)



KUVA 8. Kinemaattinen ja vapaa-mäntä-Stirling (Microgen)

Stirling-moottori tarvitsee toimiakseen tietyn lämpötilan kuumassa päässä. Tämä lämpötila vaihtelee valmistajasta riippuen. 2002 tehdyssä tutkimuksessa suurin osa Stirling-moottoreista toimi 650-750 °C lämpötilassa. Stirling-moottorin teho periaatteessa kasvaa, mitä suurempi lämpötilaero päiden välillä on. Alemmalla kuumanpään käyttölämpötilalla on kuitenkin etuina esimerkiksi pienemmät lämpöhäviöt, alhaisempi moottorin hinta, kun

materiaaleilta ei vaadita yhtä hyviä lämpöominaisuuksia, ja oletettavasti pidempi moottorinkäyttöikä (Stirling-moottoreista ei ole testitietoa niiden kestävydestä jatkuvassa käytössä). Kylmän pään lämpötila asuinkäytössä olevissa Stirling-moottoreissa on tyypillisesti 20-50 °C. Regeneraattorin tehtävänä on ottaa lämpö talteen kuuman kaasun puristuessa kohti kylmää päätä. Regeneraattori lämmittää vastaavasti kylmää kaasua sen liikkuesssa kohti kuumaa päätä. Energiategokkuuden parantamiseksi palotilassa ja regeneraattorissa syntyviä lämpöhäviöitä voi johtaa takaisin moottorin kuumaan päähän tai talon muuhun lämmitysjärjestelmään. (Ljunggren Falk & Berg 2014, 8-10.)

Stirling-moottorin hyviä puolia on, että se ei juurikaan tärise ja se on melko äänetön. Lisäksi siinä on kestävä rakenne eikä se vaadi erityisiä huoltotoimenpiteitä. Stirling-moottori toimii millä tahansa lämmönlähteellä. Ylimääräinen lämpöenergia, jota ei käytetä sähköenergiantuotantoon, voidaan käyttää talon vesilämmitysjärjestelmässä. (Genoastirling.)

Stirling-moottorin huonoja puolia ovat hidas kierrosnopeuden säätö, kalleus, rakenteen vaativuus (tarvitaan tiiviit männät ja sylinterit) sekä pieni sähköhyötysuhde. Lisäksi lämmönsiirtopintojen tai lämmönvaihtimen nokeentuminen voi heikentää Stirling-generaattorin hyötysuhdetta käytettäessä puuta kuuman pään lämmitykseen. (Jarva & Niskanen 2011, 33, 37.) Vaikka Stirling-moottorin sähköhyötysuhde on pieni, on sen kokonaishyötysuhde kuitenkin hyvä 75-85 %. Stirling-moottori on myös suhteellisen pitkäikäinen käyttöiän ollessa noin 50 000 h. Taulukossa 6 on esitetty Stirling-moottorin tyypillisiä ominaisuuksia.

TAULUKKO 6. Stirling-moottorin tyypillisiä ominaisuuksia (Karjalainen 2012, 4)

Sähköhyötysuhde (%)	15 - 35
Lämpöhyötysuhde (%)	50 - 60
Kokonaishyötysuhde (%)	75 - 85
Lämmöntuotto, °C	60 - 80
Huoltoväli (h)	4 000 - 6 000
Elinikä (h)	50 000 - 60 000
Kierrosnopeus (rpm)	1500 -1800

Mangion ym. (2012) mukaan Stirling-moottoreita ei juurikaan ole markkinoilla saatavilla pienitehoiseen käyttöön. Vuoden 2012 selvityksessä tarjolla olevat alle 3 kW tehoiset koneet olivat lähinnä prototyyppisiä. Näistä suurimmassa osassa käyttölämpötila oli yli 500

°C. Periaatteessa Stirling-moottoria voisi hyödyntää myös aurinkolämmön yhteydessä. Tällöin moottorin pitäisi toimia 250-350 °C käyttölämpötilalla. (Mangion ym. 2012, 2.)

Tätä työtä tehdessä havaittiin, ettei Stirling-moottorin kaupallisia sovelluksia omakotitaloon sopivassa kokoluokassa edelleenkaan juurikaan ole saatavilla. Tämän kokoluokan valmistajista ainakin Stirling DK, Ekogen ja Precer AB ovat lopettaneet toimintansa. Löydetty ratkaisut kaikki pohjautuvat Microgen Stirling-moottoriin. Stirling-Technology:llä on tarjolla 1 kW_e / 6,5 kW_h pelleillä, puulastuilla tai sahanpurulla toimiva Stirling-pohjainen CHP-järjestelmä. Ökofen:llä on 0,6 kW_e / 9 kW_h pellettikäyttöinen ratkaisu valikoimassa. Microgen:llä on myynnissä pilkkeillä toimiva Stirling-pohjainen CHP-järjestelmä (liite 1). Siinä sähkön tuotto suhteessa lämmön tuottoon on pientä: 0,9 kW_e / 20 kW_h. Laitteen etuna on, että se toimii nimenomaan pilkkeillä. Sitä voidaan siis käyttää myös kaukaisemmissa paikoissa, jonne muun pidemmälle jalostetun polttoaineen toimittaminen on työlästä. Laite kytketään verkkoon voimavirtajohdolla 16 A johdonsuojakatkaisijan kautta. (Microgen; Stirling Technology; Ökofen; Pellematic.)

Microgenin järjestelmässä pilkkeet poltetaan ensiökammiossa vähähappisessa tilassa. Lämmön seurauksena vapautuva puukaasu johdetaan toisiokammioon, jossa kaasu poltetaan puhtaasti runsashappisessa tilassa. Puun kaasutuksen etuna ainakin teoriassa verrattaessa vastaavaan suoraan polttoon perustuvaan laitokseen on jopa kahdeksan prosenttiyksikköä parempi maksimihyötysuhde. Puun kaasutuksella saadaan parannettua pien-CHP-tuotannon sähköhyötysuhdetta verrattuna suoraan polttoon perustuviin pien-CHP-tekniikoihin. (Vihanninjoki 2015, 21; Microgen.)

5 AURINKOENERGIA

5.1 Aurinko energianlähteenä

Aurinko on ilmainen ja ympäristöystävällinen energianlähde, jonka huono puoli on sen riippuvuus vuodenajasta, vuorokaudenajasta ja säästä. Vuodenaikojen vaihtelusta johtuen auringon säteilyenergiasta Etelä-Suomessa 90 % saadaan maalisi-syyskuun välisenä aikana. Auringon säteilyenergiaa voidaan hyödyntää lämmön tuotantoon aurinkokeräimen avulla sekä sähkön tuotantoon aurinkopaneelin avulla. Auringosta saatava maksimisäteilyteho on noin 1 kW/m^2 . Järjestelmän hyötysuhteesta riippuu, kuinka iso osuus tästä saadaan käyttöön. Aurinkolämpöjärjestelmän hyötysuhde vaihtelee 30-40 % välillä, kun aurinkosähköjärjestelmillä hyötysuhde on 10-15 %. (Rantala 2014, 31-32; Motiva 2010, 15, 18).

5.2 Lämpökeräin

Lämpökeräimiä on useampia eri tyyppisiä, joista yleisimmät ovat tasokeräin ja tyhjiöputkikeräin. Tyhjiöputkikeräin on suosituin keräintyyppi reilun 50 % osuudella maailman markkinoista, tasokeräimen osuus on noin 30 %, lasittamattoman muovikeräimen osuus on 12 % ja ilmakeräimen osuus 0,8 %. (Eicker 2014, 206.)

Tasokeräimessä kotelon sisällä on musta absorptiolevy, johon on upotettu absorptioputket. Tasokeräimien hyötysuhde vaihtelee 25-50 % välillä. Lämpötilan noustessa keräimen hyötysuhde laskee. Tasokeräimet ovat helppoja käsitellä asennuksen, kuljetuksen ja varastoinnin aikana. Ne kestävät käytössä hyvin ja niiden sulatus tapahtuu usein automaattisesti. (Motiva 2010, 15, 18; LEY.)

Tyhjiöputkikeräimessä lämmönsiirtoputkisto on nimensä mukaisesti sijoitettu tyhjiöön mustan absorboivan pinnan alle. Hyötysuhde vaihtelee 30-60 % välillä. Tyhjiöputkikeräimien etuna on, että ne pystyvät keräämään auringon energiaa kaikista suunnista ja siten ne voivat tuottaa jopa 30 % enemmän energiaa neliötä kohti verrattuna tasokeräimeen. Toisaalta tyhjiöputkikeräimet rikkoontuvat helpommin ja niiden sulattaminen keväällä on vaikeampaa. (Motiva 2010, 15, 18; LEY; Rantala 2014, 38-39)

Keräimet voidaan asentaa joko suoraan kattorakenteeseen tai pintakatteen päälle. Aurinkolämpöjärjestelmällä voidaan tuottaa jopa 25-35 % vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta. 1 m² pinta-alan keräin tuottaa yleensä energiaa keskimäärin 250-400 kWh/vuosi. (Motiva 2010, 15, 18; Motiva 2012b, 29.)

5.2.1 Toimintaperiaate

Toimintaperiaate kaikissa lämpökeräinmalleissa on sama. Aurinko lämmittää keräimen pintaa. Keräimen sisällä kiertää lämmönkeräinneste (vesi/jäänestoaaine-seos), joka sitoo auringon lämpöenergiaa itseensä. Jotta mahdollisimman paljon auringon energiasta saadaan talteen, on keräin pinnoitettu erikoismateriaalilla ja katettu lasilla tai muovilevyllä. Näin auringonsäteily pääsee hyvin mustalle absorptiopinnalle, mutta säteilyenergia ei pääse vuotamaan ulos. Pumppu kierrättää lämmönkeräinnesteen lämminvesivaraajalle, jossa lämmönvaihtimen avulla kiertonesteseen sitoutunut auringon lämpöenergia siirtyy varaajan käyttöveteen. Jäähdyntynyt lämmönsiirtoneste kierrätetään takaisin aurinkokeräimelle. Järjestelmää ohjaa termostaattinen ohjausyksikkö, joka keräimen ja lämminvesivaraajan lämpötila-antureilta saadun tiedon perusteella käynnistää pumpun, kun keräimen lämpötila on riittävän korkea ja lämminvesivaraajan lämpötila on alle maksimin. Vastaavasti pumppu pysähtyy, kun keräimen lämpötila ei ole riittävä tai lämminvesivaraajan maksimilämpötila on saavutettu. (Motiva 2016, 6; Rantala 2014, 38.)

Koska aurinkoenergian saanti ei ole tasaista, tarvitaan lämminvesivaraajaan lisälämpövastus, joka varmistaa lämpimän veden saannin myös silloin, kun aurinkoenergiaa ei ole tarpeeksi saatavilla. Paisunta-astia varmistaa, että putkistopaine pysyy tasaisena, kun lämmönkeräinnesteen tilavuus muuttuu lämpötilan muuttuessa. Lisävarmistuksena on ylipaineventiili, joka päästää kiertonestettä ulos, jos paine putkistossa kasvaa kuitenkin liikaa. (Motiva 2016, 6; Rantala 2014, 38.)

5.2.2 Mitoitus

Aurinkolämpölaitteiston mitoitus riippuu siitä, halutaanko aurinkoenergiaa käyttää pelkästään käyttöveden lämmittämiseen vai myös rakennuksen lämmitykseen. Suomen ilmastossa vuodenajoista johtuen aurinkolämpö tarvitsee joka tapauksessa tuekseen jonkin muun lämmönlähteen kattamaan talvikuukausien lämmöntarpeen. Kesällä, kun lämmöntarve on pienimmillään, on aurinkolämpöenergiaa tarjolla eniten. Jos kaikki tuotettu aurinkolämpöenergia halutaan kuluttaa paikallisesti, kannattaa keräimet mitoittaa tuottamaan noin puolet lämpimästä käyttövedestä. (Rantala 2014, 41.)

Lämminvesivaraajan mitoitukseen on syytä kiinnittää huomiota, sillä se vaikuttaa huomattavasti koko järjestelmän tehokkuuteen. Taulukossa 7 on suuntaa antavia ohjeita järjestelmän mitoitukseen. Tasokeräin on Suomessa yleisin ja usein myös edullisin keräintyyppi. Yhtä keräinneliötä kohti tarvitaan 50-100 litraa varaajatilavuutta. Jos järjestelmällä katetaan vain omakotitalon käyttöveden lämmitys, asennetaan yleensä 4-6 m² aurinkokeräimet sekä 200-600 litran varaaja. Jotta energiaa saadaan tarpeeksi myös huonetilojen lämmitykseen, tulee keräimen pinta-alan olla 10-20 m² ja varaajan 500-2 000 litraa. (Motiva 2012b, 29; Motiva 2016, 5)

TAULUKKO 7. Suuntaa antavia ohjeita aurinkokeräimen, lämminvesivaraajan ja paisuntasäiliön mitoitukseen (Motiva 2016, 5; Motiva 2012b, 29)

Aurinkolämmön käyttö	Keräinpinta-ala (m ²)	Lämminvesivaraajan tilavuus (l)	
		Paisuntasäiliön tilavuus (l)	
Osa käyttövedestä	4-6	200-600	18-25
Myös osa lämmityksestä	10-20	500-2000	25-50

On tärkeää, että koko järjestelmä on alun perin oikein mitoitettu, sillä toisin kuin aurinkosähkössä aurinkolämpöjärjestelmä ei ole helposti laajennettavissa. Järjestelmän mitoituksessa pyritään kustannusten minimointiin, joten järjestelmän osat kuten lämmönsiirto-putkisto ja pumppujärjestelmä mitoitetaan normaalisti mitoituslaskelman alarajalle. (Eicker 2014, 210.)

Aurinkokeräimen tuottoon vaikuttaa olennaisesti keräimen asennuskulma. Keräimeen osuva säteilyn määrä riippuu auringon ja keräimen välisestä kulmasta. Auringon korkeus keskipäivällä riippuu leveysasteesta. Fricke ja Borst (2013, 251) antavat keräimen kallistuskulman laskemiseen kaavan:

$$K = 90^\circ - L \pm 23,5^\circ, \quad (1)$$

jossa K on kallistuskulma ja L leveysaste. Keräimen kallistuskulman valinta riippuu siis siitä, millä leveyspiirillä ollaan. Käytännössä Suomen leveysasteilla asennuskulma valitaan 30° - 60° väliltä. Loiva asennuskulma (30°) tuottaa parhaiten keskikesällä, kun taas jyrkemmät kulmat (45° - 60°) sopivat parhaiten kevät- ja syysaurion energian keräämiseen. Paneelit kannattaa asentaa etelän suuntaan tuoton maksimoimiseksi. Jos keräin joudutaan kohdistamaan itään tai länteen, on saanti noin 10 % pienempää. (Rantala 2014, 40; Fricke & Borst 2013, 251.)

5.2.3 Käyttö, huolto, riskit

Suurimmat ongelmat aurinkolämpöjärjestelmässä ilmenevät heti järjestelmää asennettaessa ja käyttöönottovaiheessa (esim. vuotoa putkistossa tai riittämätön ilmaus). Vain 14 % ongelmista on laitevikoja, 44 % johtuu puutteellisesta suunnittelusta ja loput 42 % ovat asennusvirheitä. Virheiden välttämiseksi on syytä kiinnittää huomiota järjestelmän suunnittelijoiden ja asentajien ammattitaitoon. Vuotoja voidaan vähentää käyttämällä isompaa keräinyksikköä. Ilmausongelmat voidaan välttää pitämällä virtausnopeus mahdollisimman suurena esimerkiksi pumpun avulla. (Eicker 2014, 243-244.)

Aurinkolämpöjärjestelmä vaatii vastaavaa ylläpitoa kuin muut vastaavat lämmitysjärjestelmät. Aurinkolämpöjärjestelmän ylläpitokustannus järjestelmän eliniän aikana on 5-10 % alkuinvestoinnista. Pienissä järjestelmissä ylläpito on suhteessa kalliimpaa, sillä huoltokustannukset eivät juuri riipu järjestelmän koosta. Vuosittain tehtäviä huolto- ja huoltotoimenpiteitä on siirtonesteen pakkasenkestävyyden sekä keräinpiirin paineen tarkistus. Muita mahdollisia huoltotoimenpiteitä ovat lumen ja roskien puhdistaminen paneelien pinnalta. Aurinkolämpöjärjestelmän lämmönsiirtonesteen vaihtoväli Motiva (2010, 18) mukaan on 3-7 vuotta, kun Finsolarin mukaan riittää, että lämmönsiirtonesteet vaihdetaan kahdesti 30 vuoden aikana. Ohjausyksikkö ja paisunta-astia pitää vaihtaa yleensä kerran 30 vuoden aikana. Pumppu kestää normaalisti koko aurinkolämpöjärjestelmän eliniän. (Rantala 2014, 96; Finsolar.)

5.3 Sähköntuotanto

Aurinkopaneelit tuottavat tasasähköä, joka tyypillisesti muunnetaan vaihtosuuntaajan avulla sähköverkkoon sopivaksi 230 V vaihtosähköksi. Aurinkopaneeleita on kehitetty useita eri kennotyyppejä, joista kaupallisessa käytössä yleisimmät ovat yksi- ja monikiteinen piikkenno. Eri kennotyyppien ominaisuudet vaihtelevat ja siksi ne soveltuvatkin osittain eri käyttökohteisiin. Taulukossa 8 on esitetty yleisten kennotyyppien ominaisuuksia. (ST40 2017, 12-16.)

TAULUKKO 8. Yleisten kennotyyppien ominaisuudet (ST40 2017, 12)

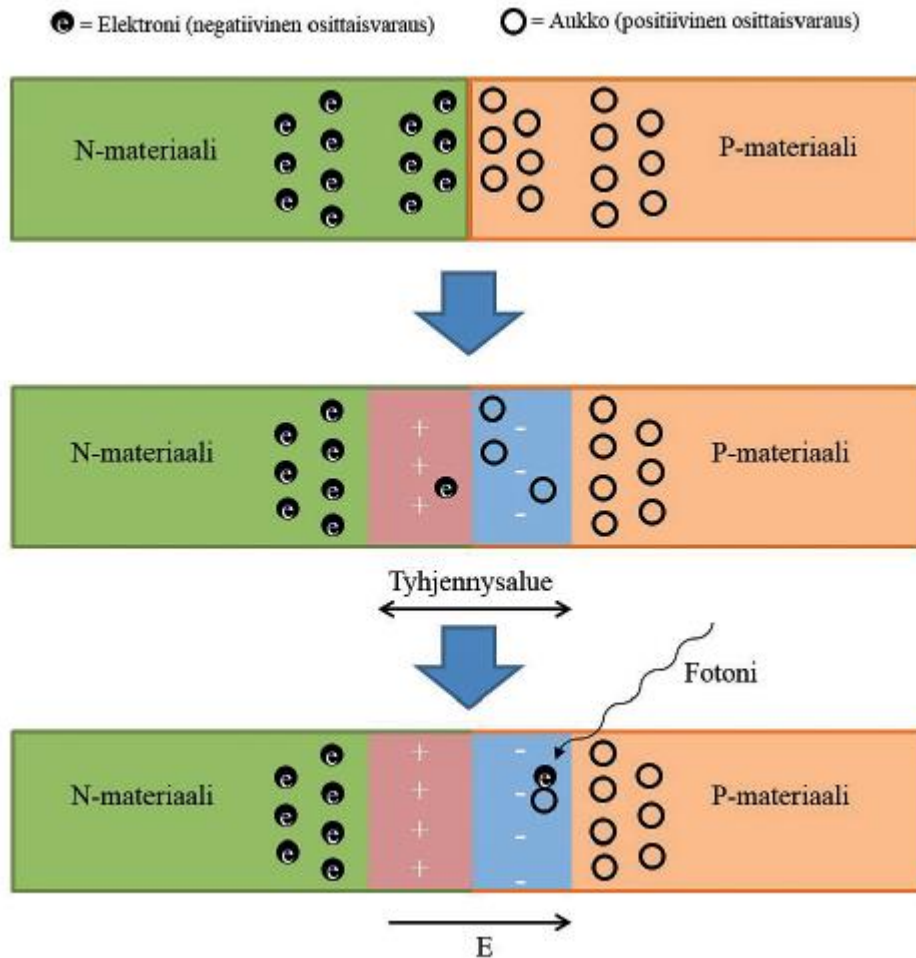
Ominaisuudet	Kiteinen pii		Ohutkalvo			Orgaaninen
	Monikiteinen	Yksikiteinen	Amorfinen pii	CIS/CIGS	CdTe	
Hyötysuhde (%)	13-16	15-20	5-10	7-16	7-16	3-5
Lämpötilan vaikutus (STC) tehoon (%/+1°C)	-0,42	-0,40	-0,1...-0,3	-0,35...-0,40	-0,25...-0,36	
Mekaaninen kestävyys	hauras	hauras	joustava	joustava	joustava	joustava
Varjostus	herkkä	herkkä	sietää	sietää	sietää	sietää
Käyttöikä (vuotta)	30+	30+	30+	30+	30+	0,5-3
Hinta	€€	€€€	€€€	€€€	€€€	€

Tässä työssä aurinkopaneelilla tarkoitetaan monikiteistä piikennorakennetta.

5.3.1 Toimintaperiaate

Sähkön tuotanto aurinkopaneelilla perustuu valosähköiseen ilmiöön. Auringon säteily eli fotonit ionisoivat neutraaleja atomeja. Ionisoinnissa atomin sähkövaraus muuttuu, kun elektronit vapautuvat atomin kuorelta kuljettamaan sähkövarausta fotoneilta saamansa energian avulla. Aurinkokennossa ionisoituminen ei ole pysyvää, vaan vapautuneet elektronit kiertävät ulkoisen piirin kautta kennon toiselle puolelle neutralisoimaan ionisoituneita atomeja. Aurinkopaneeleissa ionisoituva materiaali on yleensä pii. Pii on puolijohde, joka aurinkosähkösovelluksessa seostetaan esimerkiksi fosforilla N-materiaalin muodostamiseksi. N-materiaalissa on ylimääräisiä varauksenkuljettajia (elektroneja). Kun pii seostetaan esimerkiksi boorilla, saadaan P-materiaalia, jossa puolestaan on ylimääräisiä aukkoja. Kun kaksi eri tyyppiseksi käsiteltyä pii-levyä tuodaan yhteen, muodostuu P-materiaalin pintaan levyjen rajalle negatiivinen varaus ja N-materiaalin puolelle vastaavasti positiivinen varaus (kuva 9). N- ja P-tyypin pintojen väliin ns. tyhjennysalueelle syntyy näin sähkökenttä. Tämä sähkökenttä toimii fotonien vapauttamia varauksia erottelevana rakenteena, ja se on täysin keskeinen aurinkokennon toiminnan kannalta.

Ilman tyhjennysalueen sähkökenttää fotonien vapauttamat varaukset putoaisivat takaisin atomien välisiin sidoksiin, jolloin fotonin energiaa ei saataisi hyötykäyttöön. Tyhjennysalueella ei ole varauksenkantajia, sillä ne ovat yhdistyneet lähellä liitospintaa. Auringon säteilyn ionisoidessa uusia atomeja tyhjennysalueen sähkökentän vaikutuksesta irronneet elektronit liikkuvat N-materiaalin puolelle kohti positiivista varausta ja syntyneet aukot P-materiaalin puolelle. Lisäämällä kontakti aurinkokennoihin saadaan syntynyt sähkövirta käyttöön. (Fricke & Borst 2013, 224-225; ST40 2017, 10-11.)

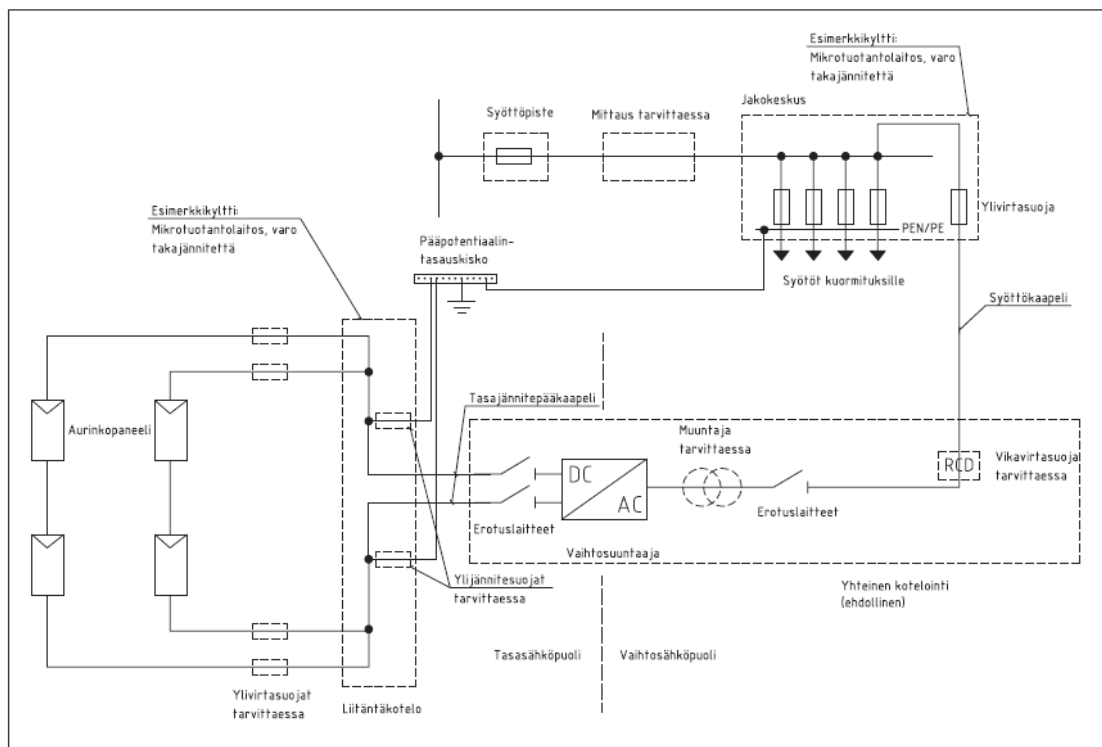


KUVA 9. P-N-liitos (ST40 2017, 11)

Aurinkopaneelit koostuvat sarjaan kytketyistä kennoista, joissa auringon energia synnyttää kennon ala- ja yläpinnan välille sähköjännitteen. Paneelin jännitetaso riippuu sarjaan kytkettyjen kennojen määrästä. Jännitetasoa voidaan nostaa lisäämällä kennojen määrää sarjassa. Aurinkopaneelimuoduuli tuottaa tavallisesti sähkötehoa 100-250 W ja jännite on moduulityypistä riippuen 24-55 V virran ollessa 5-9 A. Moduuleita kytketään sarjaan ha-

lutun ulostulojännitteen saavuttamiseksi ja kytkemällä paneeleita rinnan kasvatetaan järjestelmän ulostulovirtaa ja samalla tehoa. (ST55.33 2013, 2; Rantala 2014,42; Eicker 2014, 461.)

Pienet aurinkopaneelijärjestelmät (teho alle 3 kW) kytketään yleensä yksivaiheisesti rakennuksen sähköpääkeskukseen. Yli 3,7 kWp:n järjestelmät tulee aina kytkeä kolmivaiheisesti. Vaihtosuuntaajan kautta järjestelmä kytketään rakennuksen sähköpääkeskukseen, jossa pitää olla riittävä ylivirtasuojaus. Järjestelmän vaihtosuuntaaja tarvitsee lisäksi erotuslaitteet, joilla se voidaan irrottaa sekä aurinkopaneeleista että sähköverkosta tarvittaessa. Vaihtosuuntaajan automatiikka hoitaa syötön verkkoon tahdistamisen. Kuvassa 10 on kaaviokuva järjestelmän kytkemisestä rakennuksen sähköverkkoon. (ST55.33 2013, 3-4; ST40 2017, 43.)



KUVA 10. Aurinkosähköjärjestelmän kytkeminen rakennuksen sähköverkkoon (ST 55.33, 5)

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu aurinkopaneeleista, ohjausyksiköstä ja invertteristä. Jos järjestelmä toimii sähköverkon ulkopuolella (off-grid-järjestelmä), tarvitaan lisäksi akku energian varastointiin. Kun järjestelmä on liitetty sähköverkkoon (on-grid-järjestelmä), toimii verkko tarvittavana energiapuskurina. Ylimääräinen energia voidaan syöttää verkkoon ja tarvittaessa verkosta saadaan lisäenergiaa, joten akustoa ei tarvita. Tällöin

järjestelmää ei tarvitse mitoittaa vastaamaan tarkoin energiantarpeeseen ja myös suojausten suunnittelu on helpompaa. Off-grid-järjestelmän teho on rajallinen niin normaalikäyttötilanteessa kuin vikatilanteissakin, joten mitoituksessa on huomioitava raskaat kuormat ja suojaus eri tavalla kuin on-grid-järjestelmässä. Jotta on-grid-järjestelmää voidaan käyttää varavoimana jakeluverkon häiriötapauksissa, tulee verkon maadoitus ja erotus tehdä niin, ettei aurinkopaneelijärjestelmä pääse syöttämään jakeluverkkoon häiriötilanteessa. Jos järjestelmää on tarkoitus käyttää varavoimana, tarvitaan akusto energiasäilöksi. On-grid-järjestelmissä akustot ovat kuitenkin harvinaisia, sillä niiden hinnat ovat vielä niin korkeat, että akuston asentaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. (ST40 2017, 43, 55, 70.)

Akkuja on useita vaihtoehtoja, jotka vaihtelevat hinnaltaan ja ominaisuuksiltaan. Usein pienissä kohteissa käytetään umpinaisia lyijyakkuja, jotka voi sijoittaa sisätiloihin. Ne ovat helppohuoltoisia verrattuna avoimiin akkuihin, mutta vaativat silti säännöllistä akuston kunnon tarkkailua. Akustollisessa järjestelmässä on hyvä olla akun tilaa tarkkaileva mittari, jolloin yllättäviltä akun rikkoutumisilta tai vanhenemiselta vältytään. (ST40 2017, 56.)

Aurinkosähköjärjestelmän valinnassa kannattaa kiinnittää huomiota hyvän säätötekniikan valintaan. Laadukkaalla säätötekniikalla sähkönlaatu säilyy hyvänä, laitteiston käynnistyminen ei aiheuta häiriöitä ja akuston elinikä pitenee. Yksinkertaisimmillaan järjestelmässä on vain on/off-ohjaus, jolla ei voida säätää syöttöjännitteen voimakkuustasoa, mikä näkyy akuston lyhyempänä käyttöikänä. PWM-säädöllä (Pulse Width Modulation) syöttöjännitteen voimakkuutta voidaan säätää halutulle tasolle säätämällä syöttöä päälle ja pois sopivalla rytmillä. MPPT-säätö (Maximum Power Point Tracking) mahdollistaa jännitteen tasaisen ja portaattoman säädön. MPPT-säädin pyrkii säätämään jännitettä ja virtaa niin, että aurinkosähköjärjestelmä toimii koko ajan virta-jännitekäyrän maksimitehopisteessä. PWM-tekniikka on MPPT-tekniikkaa edullisempi ratkaisu, mutta vastaavasti sen hyösuhte on noin 20-30 % heikompi. (ST40 2017, 16-17.)

Jännitteen säätöä tarvitaan, sillä akusto vaatii tietyn latausjännitteen, mutta paneelin tuottama jännite vaihtelee. Jos jännite on liian alhainen, ei akku lataudu ja jos syöttöjännite on latausjännitettä korkeampi, lyhentää se akun elinikää. PWM- ja MPPT-säätimillä säädetään syöttöjännite (suurinpiirtein) vastaamaan akuston latausjännitettä. PWM-tekniikka säätää syöttöjännitettä pienemmäksi akustolle sopivalle tasolle yksinkertaisesti

katkomalla jännitettä, jolloin osa paneelin tuottamasta tehosta jää hyödyntämättä. MPPT-säätimellä hyötysuhde on parempi, noin 94-97 %. Säätöä tarvitaan, sillä aurinkopaneelilla on tietty nimellisjännite, mutta käytännössä paneeli tuottaa tämän jännitteen vain standardiolosuhteissa. Paneelin tuottama jännite vaihtelee paneelin lämpötilasta riippuen. Korkean lämpötilan seurauksena jännite laskee ja vastaavasti alhaisemmassa lämpötilassa jännite nousee. Paneelin nimellisjännite on mitoitettu niin, että tämä jännite saavutetaan huonommissakin olosuhteissa. Paneelin nimellisjännite on siis alhaisempi kuin paneelin syöttöjännite hyvissä olosuhteissa. Esimerkiksi 12 V nimellisjännitteinen paneeli voi hyvissä olosuhteissa tuottaa 17 V jännitettä. Jos paneelin virta on 7 A, on sen tuottama teho 119 W. Varattava akku ottaa kuitenkin energiaa vastaan vain 12 V jännitteellä, jolloin akku latautuu vain 84 W teholla. Myös akuston tarvitsema jännite vaihtelee hiukan lataustasosta riippuen. MPPT-säädin tarkkailee akuston tilaa ja paneeliston jännitteen ja virran tuottoa optimoidakseen energian siirron akustoon. MPPT-säätimen DC/DC-muunnin muuntaa paneelin tuottaman tasasähkön ensin korkeataajuiseksi vaihtosähköksi ja vaihtosähkön takaisin akustolle sopivaksi tasasähköksi. Esimerkin tapauksessa paneelin tuottama sähkö voidaan MPPT-säätimellä muuntaa 12 V jännitteeksi ja 9,5 A virraksi, jolloin akku latautuu 114 W teholla. (Solar-electric.)

5.3.2 Mitoitus

Aurinkopaneelin tuotantomäärä riippuu olennaisesti varjostuksista, kallistuskulmasta, suuntauksesta ja lämpötilasta. Asuinrakennuksissa aurinkosähköjärjestelmien nimellisteho on yleensä 1-4 kWp. 1 kWp laitteiston tuotto Etelä-Suomen oloissa on noin 800 kWh ja Pohjois-Suomessa noin 700 kWh vuodessa. (ST 55.33, 3; Sähköala.)

Aurinkopaneeleiden teho ilmoitetaan huipputehona kW_p , joka mitataan standardiolosuhteissa säteilytehon ollessa 1 kW/m^2 ja paneelin lämpötilan $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Paneelin lämpötilan noustessa yli standardilämpötilan $25 \text{ }^\circ\text{C}$ alkaa paneelin teho heikentyä lineaarisesti noin $0,3 \text{ } \%/^\circ$. Kuinka paljon paneeli lämpenee, riippuu mm. sen asennustavasta ja tuulennopeudesta. Vapaasti asennettu paneeli lämpenee vähiten. 1 kW/m^2 säteilyllä asennustavasta riippuen paneelin lämpötila nousee $19\text{-}52 \text{ }^\circ\text{C}$ yli ilman lämpötilan. Paneelin lämpötilan nousu johtuu pääasiassa siitä, että fotonien ylimääräinen energia muuttuu lämmöksi aurinkokennojen sisällä. (Eicker 2014, 466, 498, 562.)

Aurinkopaneelin virrantuotto on käytännössä suoraan verrannollinen säteilytehoon. Säteilytehon puolittuessa, puolittuu myös paneelin virta. Jos kenno on osittain varjossa, tuottaa se pienemmän virran kuin täysin auringossa oleva kenno. Sarjaan kytkennässä kaikkien kennojen läpi kulkee sama virta, jonka suuruus määräytyy pienimmän virran tuoton mukaan. Jos siis yksikin kenno on varjossa, pienentää se paneelin kokonaisvirtaa. (Eicker 2014, 495.)

Optimikallistuskulma riippuu siitä, millä leveysasteella kohde sijaitsee, sekä kulutusprofiilista. Jos kulutus painottuu kesään, kannattaa valita eri asennuskulma, kuin jos kulutus on tasaista ympäri vuoden. Kuten aurinkokeräimillä Etelä-Suomessa optimikallistuskulma kesäaikaan on noin 30° , keväällä ja syksyllä noin 60° , jos taas halutaan maksimoida energiantuotto vuositasona, optimiasennuskulma on noin 45° . (Rantala 2014, 90.)

Jos tuotanto koostuu useammasta paneelisarjasta, tarvitaan jokaiselle sarjalla oma MPPT-säädin, jos paneeliketjujen tuotanto poikkeaa toisistaan esimerkiksi vaihtelevan varjostuksen tai eri kallistuskulman takia. Tällöin sarjat toimivat itsenäisesti eivätkä vaikuta toistensa tuotantoon toisin kuin, jos sarjat on kytketty samaan säätimeen rinnan. MPPT-säädin optimoi paneeliston toimintajännitettä mahdollisimman hyvän tehon saamiseksi. (ST40 2017, 18, 74.)

5.3.3 Käyttö, huolto, riskit

Aurinkosähköjärjestelmän huollon tarve on vähäistä. Aurinkosähköjärjestelmässä on hyvä tarkistaa säännöllisesti asennustelineiden kiinnitykset sekä akkukenkien ja johtojen liitokset hapettumien ja löystymien varalta. (Rantala 2014, 96)

Aurinkosähköjärjestelmän asennuksessa tulee huomioida etenkin

- takajännitevaara
- laitteiden ja kaapeleiden asennusolosuhteet mitoituksessa
- tasasähkön vaikutus suojauksiin
- akustojen vaatimukset tiloille
- off-grid-järjestelmän rajallinen oikosulkuvirta (ST40 2017, 90).

Aurinkopaneelien tuottamat vikavirrat ovat pieniä, mikä on haastavaa suojauksen toimivuuden kannalta. Esimerkiksi 1,6 kW järjestelmässä, joka koostuu kahdeksasta sarjaan kytketystä paneelista, ulostulojännite on standardiolosuhteissa 210 V ja virta 7,6 A. Oikosulkuvirta vastaavissa oloissa on vain 8,2 A. (ST55.33 2013, 3-4)

6 MUITA MAHDOLLISUUKSIA

Tässä työssä tarkasteltujen energiantuotantovaihtoehtojen lisäksi on sähkön tuotantoon vaihtoehtona ainakin aggregaatti, pientuulivoima ja mikroturbiini. Lämmöntuotannossa vaihtoehtoina ovat muut lämpöpumput ja biopolttoaineet.

Aggregaatti

Aggregaatin etuna on, että se on varma energianlähde olettaen, että sen ylläpitohuolto on hoidettu asianmukaisesti. Polttoaineena aggregaatissa käytetään dieseliä tai bensiiniä, joten ekologinen ratkaisu aggregaatti ei ole.

Tuulivoima

Tuulivoima on uusiutuvaa energiaa, mutta haasteena on tuoton vaihtelevuus tuulesta riippuen. Olennaista onkin, että tuuliolosuhteet ovat tontilla tuotannolle sopivat. Parhaiten tuulivoimala sopii sijoittaa korkealla sijaitsevalle aukealle kuten kukkulan huipulle, myös vesistöjen rannat ja peltoaukeat sopivat tuulivoimalle. Matalilla tornikorkeuksilla haasteita tuottaa ilmavirtauksen turbulentsisuus, joka alentaa oleellisesti tuulivoiman hyötysuhdetta. Tuulivoimaa suunniteltaessa tulee huomioida tuuliolosuhteissa tuulennopeuden lisäksi ilmavirtauksen tasaisuus. Taajamassa tuulivoiman rakentaminen edellyttää rakennus- tai toimenpidelupaa. Lupahakemuksessa kuullaan myös naapureita, sillä tuulivoima voi aiheuttaa meluhaittaa sekä ”vilkkumishaittoja” auringon paistaessa tuulivoimalan pyörivien siipien takaa. (Eklund 2011, 5, 15.)

Lämpösähkögeneraattori

Pienimuotoiseen sähköntuotantoon lämmön avulla sopii lämpösähkögeneraattori (TEG thermal electric generator), jonka toiminta perustuu Seebeckin ilmiöön, jossa lämpötilaero synnyttää jännitteen kahden eri tyyppisen lämpösähköisen materiaalin välille. Syntyvän jännitteen suuruus riippuu lämpötilaerosta ja materiaaleista. Tällä hetkellä tarjolla olevien laitteiden tehot ovat pieniä, tyypillisesti alle 100 W ja hinta suhteessa muihin sähköntuotantovaihtoehtoihin korkea. 100 W laite maksaa Tegmart:n verkkokaupassa 1 199 \$ (n. 1 000 €). Tarvittava lämpö voidaan tuottaa esimerkiksi polttamalla puita tai pellettejä, jolloin sähköä voidaan tuottaa vuorokauden ajasta riippumatta. Käyttöikäksi arvioidaan yli 100 000 tuntia. (Tegpower; Tegmart.)

Mikroturbiini

Suuremman kokoluokan CHP-tuotantoon vaihtoehtona on mikroturbiini. Pienimmillään mikroturbiinit ovat 10-100 W tehoisia. Suurin osa kaupallisista mikroturbiineista on nimellisteholtaan 30-500 kW. Niiden pyörimisnopeus on korkea 40 000-120 000 rpm, jolloin myös generaattorin taajuus on korkea, jopa 1 000 Hz. Verkkoon tahdistamista varten ne tarvitsevat taajuusmuuttajan. Mikroturbiini koostuu kompressorista, turbiinista ja generaattorista, jotka yleensä on kiinnitetty samaan akseliin laakereiden varaan, sekä reku-peraattorista (lämmönvaihtimesta). Käyttöäksi arvioidaan 40 000-80 000 tuntia. Mikroturbiini pyörii palamiskaasujen virtauksen voimalla. Kompressorin tehtävä on nostaa kaasujen poltossa käytettävän ilman lämpötilaa, jolloin turbiinin teho paranee. Energianlähteenä käytetään usein maakaasua, mutta myös bio- tai puukaasun käyttö on mahdollista. Mikroturbiinien sähköntuotannon hyötysuhde vaihtelee 25-40 % välillä, lämmön ja sähkön yhteistuotannon hyötysuhde on 80 % luokkaa. (Soares 2007, xxiv, xxix, 10-11; Breeze 2016, 77-78.)

Lämpöpumput

Ilmavesilämpöpumpun toimintaperiaate on sama kuin maalämpöpumpussa. Siinä lämpöenergiaa kerätään ilmasta ja siirretään vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Ilma-vesilämpöpumppua voi käyttää rakennuksen päälämmönlähteenä, mutta lämmitysjärjestelmän suunnittelussa tulee kuitenkin huomioda, että kovimmilla pakkasilla (-20...-30 C) lämpöpumpun teho ei riitä vaan järjestelmä tarvitsee rinnalleen lisälämmönlähteen. Yleensä kovimmilla pakkasilla lisälämpö tuotetaan sähkövastuksilla tai puun poltolla. Maalämpöpumppuun verrattuna ilma-vesilämpöpumppu on edullinen vaihtoehto, ja se voidaan asentaa sellaisiinkin kohteisiin, joihin maalämpöpumpun asennus ei maaperän laadusta johtuen ole mahdollista. Ilma-vesilämpöpumppu tuottaa vuoden tarkastelujaksolla keskimäärin 2 kWh lämpöä jokaista käyttämäänsä sähkö-kWh:a kohti. (Rantala 2014, 52-53.)

Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämpöenergiaa talteen talon sisäilmasta ja käyttää sitä edelleen huoneiden ja käyttöveden lämmitykseen. Lisäksi poistoilmalämpöpumppu toi-

mii ilmanvaihtolaitteen tavoin poistaen ilmaa talon kosteista tiloista. Koko talon lämpöenergian tarpeen kattamiseksi poistoilmalämpöpumppu tarvitsee rinnalleen toisen lämmönlähteen kuten sähkövastukset. (Rantala 2014, 53.)

Vesikiertoinen takka

Jos taloon on joka tapauksessa tarkoitus rakentaa tulisija, kannattaa harkita sen yhdistämistä vesilämmityspiiriin, jolloin tulisijan lämpö saadaan jaettua tasaisemmin. Koska huomattava osa lämmöstä siirtyy veteen ja sitä kautta tasaisesti ympäri huoneistoa, voidaan takan käyttöä jatkaa kauemmin keväällä ja aloittaa aiemmin syksyllä ilman, että asumisviihtyvyys kärsii liiallisen huonekohtaisen kuumuuden takia. Takkamallista riippuen 25-80 % takan tuottamasta energiasta voidaan siirtää vesivaraajaan. Varaavan tulisijan hyötysuhde on jopa 80-85 % (Motiva 2012b, 30; Ekolämmöx; Tulikivi.)

Vesikiertoisessa takassa varaavan takan sisärungon ympärille on asennettu vesiputket. Takkaa lämmitettäessä osa lämpöenergiasta vapautuu suoraan huoneilmaan ja osa johdetaan putkiston kautta varaajalle. Lämmin vesi voidaan käyttää talon lämmittämiseen lattialämmityksen kautta tai lämpimänä käyttövetenä. Vesikiertotakka on mahdollista yhdistää aurinkolämpöön, jolloin kesällä saadaan uusiutuvalla energialla tuotettua lämmintä vettä myös silloin, kun huoneisto ei tarvitse lämmitystä. Varaavien tulisijojen teho on 2 – 4 kW ja lämmitysaika 2 – 3 tuntia. Pientalossa 20 000 kWh vuotuinen lämmitysenergiantarve voidaan kattaa 25 irtom³:llä eli 15 pino-m³:llä koivupilkettä käytettäessä varaavaa tulisijaa, jonka hyötysuhde on 80 %. (Alakangas, Erkkilä & Oravainen 2008, 10, 12.)

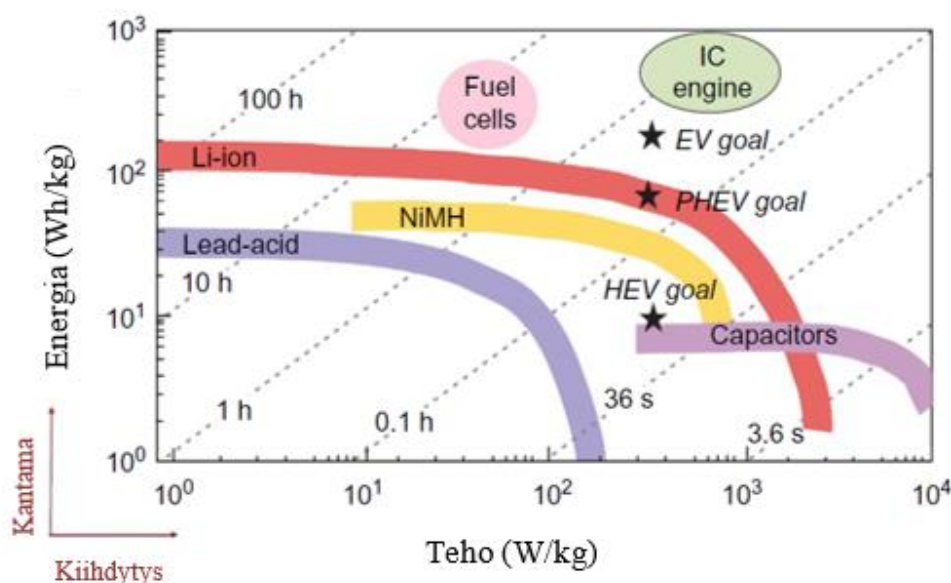
Puun lisäksi pientaloonkin sopivia bioenergianlähteitä ovat pelletit, hake, bioöljy ja biokaasu.

7 SÄHKÖAUTON AKKU ENERGIAVARASTONA

Aurinkosähkön ongelma on tuotannon epätasaisuus. Akuston avulla aurinkosähkön tuotanto voidaan paremmin hyödyntää omassa käytössä. Sähköntuotannon ylittäessä oman kulutuksen on ylimääräinen energia mahdollista syöttää verkon sijaan akkuun. Vastaavasti, kun oma sähköntuotanto ei riitä kattamaan kulutusta, voidaan lisäenergia ottaa verkon sijasta akusta. Akusto toimii myös varavoimana sähkönjakeluverkon ongelmatilanteissa. Perinteisesti energian varastointiin ja varavoimana käytetään erillistä akustoa. Sähköautojen yleistyessä ajatus auton akun käyttämisestä vastaavasti on noussut enemmän esiin. Sähköauton akkuja kaavaillaan tulevaisuudessa käytettävän ei vain yksittäisten kotitalouksien energiavarastona vaan myös koko sähköverkon kulutuksen tasaamiseen. Sähköauton akun hyödyntämisestä kotitalouksissa käytetään termiä V2H (vehicle to house) ja verkon tasaamisessa termiä V2G (vehicle to grid). V2G-käyttöä on tutkittu mm. INEES-tutkimuksessa. Ongelmana V2H- ja V2G-käytössä on, että akun purkaminen/lataaminen kuluttaa aina akkua. Kuinka paljon V2G-käyttö lisää akun vanhenemista, riippuu tutkimuksen mukaan lataus-purku-syklistä, ympäristön lämpötilasta, ja akun alkupe-
räisestä varaustilasta. (INEES, 85-92.)

Perinteinen erillinen akusto ja sähköauton akku poikkeavat hiukan toisistaan. Perinteinen varavoimana käytettävä paikallisakku on suunniteltu kestämaan jatkuvaa ylläpitovarausta. Paikallisakuissa nimelliskapasiteetti ilmoitetaan yleensä kymmenen tunnin purkausajalla 1,8 V loppujännitteeseen 20 °C lämpötilassa. Ajovoima-akussa nimelliskapasiteetti ilmoitetaan yleensä viiden tunnin purkausajalla 1,7 V loppujännitteeseen 30 °C lämpötilassa. Mikä akun kapasiteetti käytännössä on, riippuu purkausajasta ja ympäristön lämpötilasta. Nopealla purkausajalla purkausvirta on suuri ja akun kapasiteetti jää pienemmäksi kuin hitaammalla purkausajalla. Lämpimässä ympäristössä akun kapasiteetti on parempi kuin kylmässä. Toisaalta hyvin korkea ympäristön lämpötila lyhentää akun elinikää. Akussa sähköenergia on varastoitu kemiallisessa muodossa. Akuissa käytettävät kemiat vaihtelevat. Pientalon energiavarastona käytetään usein suljettua lyijyakkua, kun taas sähköauton akku on tyypillisesti litium-ioni-akku. Suljetun lyijyakun käyttöikä on parhaimmillaan yli kymmenen vuotta. Ajovoima-akuissa käyttöikä on yleensä 3-7 vuotta, mutta sähköautojen valmistajat antavat akulle tyypillisesti 8 vuoden takuun. Kun akun kapasiteetti on laskenut alle 80 % nimellisestä, on se syytä vaihtaa, sillä akun kunto alkaa tällöin heiketä nopeasti. (ST52.30.02 2016, 1-2.)

Lyijyakut ovat edullisia, mutta niiden suorituskyky ei ole yhtä hyvä kuin litium-ioni-akuilla. Kuvassa 11 on esitetty eri akkutyypin energia-teho-suhteita. Kuvasta nähdään, että litium-ioni-akun (Li-ion) energiatiheys ja tehonantokyky ovat selkeästi parempia kuin lyijyakulla (Lead-acid). Lyijyakkujen etuina ovat niiden luotettavuus ja suhteellisen pitkä käyttöikä. Avoimen lyijyakun käyttöikä voi olla yli 15 vuotta ja suljetunkin lyijyakun yli kymmenen vuotta. Suljettujen lyijyakkujen etuna verrattuna avoimiin on niiden pieni tilantarve. Avoimet lyijyakut tarvitsevat erillisen tilan niistä haihtuvien myrkkysuojien takia. Avoimet lyijyakut tarvitsevat myös enemmän huoltoa, mutta toisaalta niiden kunnon valvonta on helpompaa kuin suljettujen lyijyakkujen. Litium-ioni-akuissa etuna on, etteivät ne ole niin herkkiä muisti-ilmiölle. Muisti-ilmiössä akku ”oppi” alkuperäistä pienemmän kapasiteettitason, kun sitä tarpeeksi usein käytetään vajaakäytöllä eli esimerkiksi puretaan vain 50 % latauksesta ja ladataan jälleen täyteen. Muisti-ilmiön seurauksena akkua ei enää pysty purkamaan alkuperäiseen nollatasoon, vaan vain 50 % kapasiteetista on käytössä. Lisäksi litium-ioni-akuissa on hyvä energiatiheys suhteessa massaansa ja alhainen itsepurkautumisaste. Kaikissa akuissa tapahtuu varauksen purkautumista itsestään ilman kuormaa, mutta itsepurkautumisen nopeus vaihtelee akkutyypeittäin. Litium-ioni-akun huono puoli on, että purettaessa nopeasti suurella virralla, akku lämpenee huomattavasti. Pahimmassa tapauksessa lämpeneminen voi johtaa tulipaloon tai räjähdykseen. Litium-ioni-akut eivät myöskään siedä alhaisia lämpötiloja, vaan pakkasessa akun energia- ja tehosuorituskyky laskevat nopeasti. Optimaalinen toimintalämpötila litium-ioni-akuille on 25-40 °C. Sopivalla lämmitys-/jäähdytysjärjestelmällä voidaan sähköajoneuvossa kompensoida nämä litium-ioni-akun heikkoudet. (Ogura & Kolhe 2017, 143-145; ST52.30.02 2016, 2.)



KUVA 11. Akkutyypin energia-teho-suhteita (Ogura & Kolhe 2017, 140, muokattu)

Sähköautoja on täyssähköautoja ja hybridejä. Hybrideissä osa auton tarvitsemasta energiasta tulee polttomoottorista ja osa akustosta. Täyssähköautossa ainut voimanlähde on akuilla toimiva sähkömoottori. Tässä työssä sähköautolla tarkoitetaan täyssähköautoa. Polttomoottoriautoihin verrattuna sähköautot ovat selkeästi kalliimpia, mutta toisaalta niiden käyttökustannukset ovat edullisemmat. (Sähköinen liikenne.)

Sähköautot ottavat talteen energiaa jarrutuksista, mutta pääasiassa niiden tarvitsema energia ladataan verkosta. Lataus kestää auton akun koosta ja lataustavasta riippuen 15 minuutista yli 12 tuntiin. Lataustapoja on neljää eri tyyppiä. Lataustavassa 1 ajoneuvo liitetään sähköverkkoon käyttäen mitoitusvirraltaan korkeintaan 16 A ja mitoitusjännitteeltään korkeintaan 250 V yksivaiheista tai 480 V kolmivaiheista pistorasiaa. Lataustavassa 2 voidaan käyttää lataustapaan 1 verrattuna suurempaa mitoitusvirtaa, korkeintaan 32 A, ja lisäksi siinä käytetään ohjaustoimintoja ja henkilöiden suojana toimivaa vikavirtasuojaa. Lataustavat 1 ja 2 ovat hitaita, lataus kestää 8-12 tuntia, ja ne onkin tarkoitettu tilapäiseen lataukseen. Lataustavassa 3 lataus tapahtuu kiinteästi asennetun, nimenomaan sähköajoneuvon lataukseen tarkoitetun latausaseman kautta. Lataustapa 3 on huomattavasti tapoja 1 ja 2 nopeampi, ja siitä voikin puhua peruslatauksena. Latauspisteestä voidaan ottaa jopa 22 kW teho. Todellinen latausteho riippuu kuitenkin auton laturista. Lataus kestää 1-6 h. Lataustapa 4 on ns. pikalataus, jossa akku ladataan tasasähköllä käyttäen ajoneuvon ulkopuolista laturia. Lataus kestää alle tunnin, nopeimmillaan 15 minuutissa voidaan saavuttaa 80 % maksimivarauksesta. Kaikissa sähköautomalleissa ei pikalataus ole mahdollista. Pikalatausta käyttäessä on hyvä huomioida, että se rasittaa akkuja enemmän kuin hidas lataus, mikä näkyy akun lyhyempänä elinikänä. (SFS 6000-7-722 2017, 6-7; Sähköinen liikenne; Sähköauton lataustekniikka; Sähköautot.)

Pääosin sähköauton lataus hoidetaan kotilatauspisteessä. Pidemmällä matkalla tarvitaan kuitenkin julkisia latauspisteitä. Reittiä ja latauspysäkkejä suunnitellessa on hyvä huomioida etukäteen, että kaikki julkiset latauspisteet eivät tarjoa kaikkia lataustapoja ja pistoketyyppejä. Sähköauton käyttämä pistoketyyppi vaihtelee automallista riippuen. Taulukossa 9 on esitelty sähköauton pistoketyyppejä. Lataustavoissa 1 ja 2 pistoketyyppi on Schuko, lataustavassa 3 autosta riippuen pistoketyyppi on Mennekes tai Yazaki ja lataustavassa 4 pistoketyyppi on Chademo. (Sähköauton lataustekniikka.)

TAULUKKO 9. Sähköauton lataustavat ja pistoketyypit (Motiva 2017, s3)

Lataus kuluttajan kannalta	Pistoketyyppi ja nimitys		Latausvirta (A), vaihelukumäärä (-)	Lataus- teho	Tekninen nimi (SFS 6000-7-722)	Lyhyt nimi, kauppanimi
Lataus käyttäen kotitalouspistorasiaa ja ajoneuvon mukana toimitettua kotilataukseen tarkoitettua kaapelia ohjauskoteloineen	- Kotitalouspistoke - Schuko - CEE 7/4 - IEC 60884 (SFS 5610) - Domestic socket		6A, 1- 8A, 1- 10A, 1- Latauskaapelin ohjauskotelossa virtarajoitus tai valinta tyyppillisesti välillä 6-10 A.	1,3 kW 1,8 kW 2,3 kW	Lataustapa 2 (Mode 2)	- Hidaslataus - Tilapäinen lataus - Rajoitettu lataus - Siirtymäajan lataus - Slow charging
Lataus käyttäen varsinaista sähköajoneuvon lataukseen tarkoitettua pistoketta	- 62196-2 Type 2 - "Mennekes"		14,5A, 1- 16A, 1- 32A, 3-	3,4 kW 3,6 kW 22 kW	Lataustapa 3 (Mode 3)	- Peruslataus - Normaali lataus - Semi fast charging
Lataus käyttäen ajoneuvolle tarkoitettua kiinteästi asennettua kotilatausasemaa	- 62196-2 Type 1 tai - 62196-2 Type 2 ("Mennekes")		14,5A, 1- 16A, 1- 32A, 3-	3,4 kW 3,6 kW 22 kW	Lataustapa 3 (Mode 3)	- Peruslataus - kotilataus- asemasta
Lataus käyttäen auton ulkopuolista tasavirtalaturia	- 62196-3 Combined Charging System, CCS, Combo2 - "Chademo"		Tasavirta	0-50 kW (standardi sallii 90 kW)	Lataustapa 4 (Mode 4)	- Teholataus - Pikalataus - Fast charging

8 KANNATTAVUUSTARKASTELU

8.1 Kohdetiedot

Rakennuksen energian tarve koostuu lämpöenergian tarpeesta ja sähköenergian tarpeesta. Tämän työn tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon kokonaisenergian tarpeesta on mahdollista tuottaa itse. Lisäksi tarkoitus oli vertailla eri energiantuotantomuotoja niiden taloudellisen kannattavuuden kannalta. Vertailua varten valittiin esimerkkikohde, jolle laskettiin arvio energiantarpeesta. Kun energian tarve oli selvillä, laskettiin eri energiantuotantomuotojen kattavuus ja kannattavuus. Lisäksi tarkasteltiin erikseen sähköauton käytön vaikutusta aurinkosähköjärjestelmän mitoittamiseen ja kannattavuuteen.

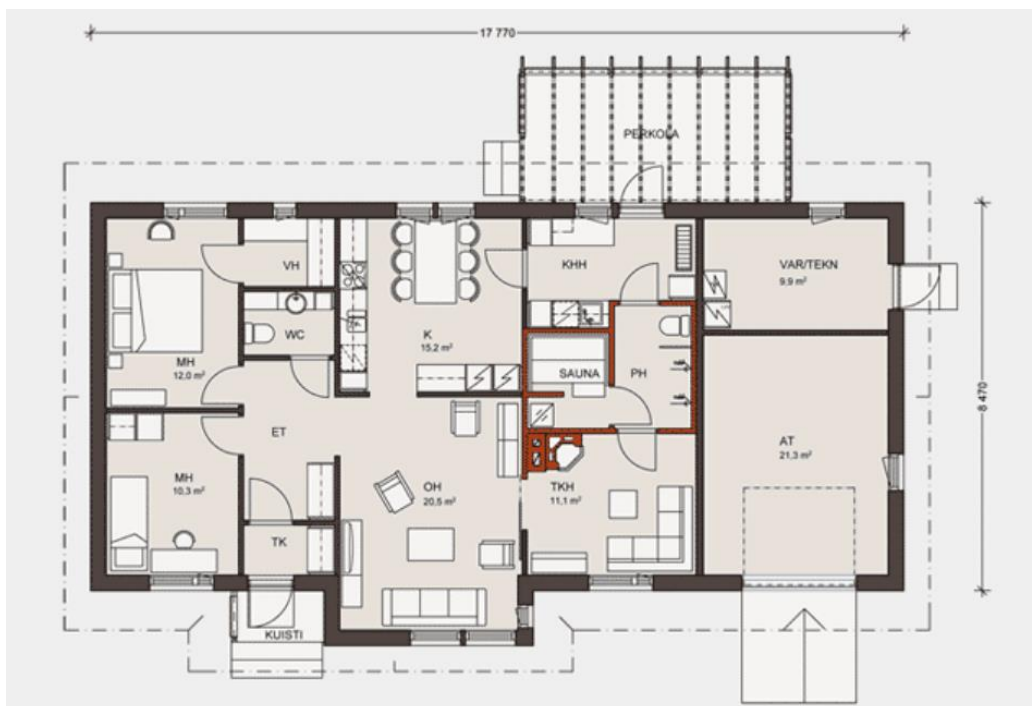
Esimerkkikohteeksi valittiin kuvitteellinen uudisrakennus Nokialla. Talon pohjaksi valittiin Omatalon 116-13 + at/var -malli (kuva 12; kuva 13). Talon sijoituspaikka on 10 000 m² (1 ha) tontti osoitteessa 37120 Nokia. Kohteen pinta-aratiedot on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Kohdetiedot

Rakennuksen brutto pinta-ala A_{br}	152	br-m ²
Rakennuksen lämmityspinta-ala $A_{lämmitys}$	144	m ²
Rakennuksen käytettävissä oleva kattopinta-ala	90	m ²
Asukasmäärä	2	hlö



KUVA 12. Mallikuva rakennuksesta (Omatalo)



KUVA 13. Rakennuksen pohjapiirustus (Omatalo)

Jotta valittuja lämmitysmuotoja voidaan käyttää mahdollisimman tehokkaasti, valitaan talon lämmönjakotavaksi vesikiertoinen keskuslämmitys. Lattialämmitys on matalalämpötilainen lämmönjakojärjestelmä ja soveltuu siksi patteriverkkoa paremmin aurinko- ja maalämpösovelluksiin. Yhdistelmätermostaatti säätelee lattialämmitystä huonelämpötilan perusteella rajoittaen lattian lämpötilaa nousemasta liian korkeaksi. Patteriverkon etuna on kuitenkin sen nopeampi reagointi lämpötilan muutoksiin. Nopeaan lisälämmöntarpeeseen voi vastata myös puulämmitteisellä takalla. (Motiva 2012b, 9.)

8.1.1 Lämmön ja sähkön tarve

Koska tarkkoja lämmitysenergiantarvearvoja ei kohteelle ole, käytettiin lämmitysenergiantarpeen arvioinnissa keskimääräisiä arvoja. Tavallisen pientalon tilojen ja tuloilman lämmitys kuluttaa Motivan (2012b, 6) mukaan vuodessa energiaa keskimäärin 100-120 kWh/m². Matalaenergiatalojen kulutus on noin puolet tästä. Passiivitalo kuluttaa noin 20-30 kWh/m². Tavallisen pientalon arvolla laskettuna kohteen lämmitysenergiantarve W_L vuodessa on 14 400 kWh. Tämä Motivan (2012b) keskimääräinen arvo perustuu oletettavasti pidemmän ajan tilastoon. Motivan lämmitystapojen vertailulaskurissa (Motiva

Kuluttajaneuvonta) voi kuitenkin tarkemmin valita rakennuksen iän. Valittaessa rakennusvuodeksi 2010 tai uudempi on energiantarve vain 12 100 kWh. Laskennoissa käytettiin tätä pienempää arvoa.

Käyttövesi vie 20-30 % pientalon koko lämmitysenergiasta. Lämpimän käyttöveden kulutus on 35-50 l/vrk/hlö. Vuotuinen käyttövedenlämmityksen (+varaaajan lämpöhäviöitten) energiantarve per asukas on noin 1 500 kWh. (Motiva 2012b, 7.) Näin laskettuna käyttöveden energiantarve W_{LKV} vuodessa on 3 000 kWh. Motivan laskurissa (Motiva Kuluttajaneuvonta) käyttöveden energiantarve vuodessa on kuitenkin pienempi 800-1 200 kWh/vuosi/hlö. Laskennoissa käytettiin arvoa 1 000 kWh/hlö, jolloin käyttöveden energiantarve kohteelle on 2 000 kWh.

Taloussähköenergian tarve laskettiin pientalon laitesähkön ominaiskulutusarvon perusteella. Taulukon 11 arvolla laskettuna kohteen kokonaislaitesähköntarve $W_{laitesähkö}$ on 7 600 kWh vuodessa.

TAULUKKO 11. Rakennuksen laitteiden ominaissähköenergiankulutusarvoja rakennustyypeittäin (ST11.52 2013, 33)

Rakennustyyppi	Laitteiden sähkönkulutus yhteensä $W_{laitesähkö}$	Valaistusjärjestelmä $W_{valaistus}$	Ilmanvaihtojärjestelmä $W_{ilmanvaihto}$	Muut laitteet $W_{muut\ laitteet}$
	kWh/brm ² /vuosi	kWh/brm ² /vuosi	kWh/brm ² /vuosi	kWh/brm ² /vuosi
Asuinkerrostalo	50	7	10	33
Rivitalo	50	7	7	36
Pientalo	50	7	7	36

Rakennuksen kokonaisenergiantarve saadaan laskemalla lämmitysenergian, lämpimän käyttöveden ja laitesähköenergian tarpeet yhteen:

$$W_{KOK} = W_L + W_{LKV} + W_{laitesähkö}. \quad (2)$$

Rakennuksen arvioitu kokonaisenergiantarve on

$$W_{KOK} = (12\,100 + 2\,000 + 7\,600) \frac{kWh}{v} = 21\,700 \frac{kWh}{v}.$$

Tulos on hiukan suurempi mutta kuitenkin samaa suuruusluokkaa kuin Valkeakosken Energian arvio keskimääräisestä 120 m² omakotitalon sähkönkulutuksesta neljän hengen taloudessa (Sähkönkulutus):

- Ruoan valmistus: 700 kWh (13 %)
- Ruoan säilytys: 1 000 kWh (19 %)
- Astianpesu: 300 kWh (6 %)
- Pyykinpesu: 400 kWh (8 %)
- Valaistus: 1 000 kWh (19 %)
- Viihde- ja pienlaitteet: 400 kWh (8 %)
- Sauna: 1 100 kWh (21 %)
- Auton lämmitin: 300 kWh (6 %)
- **Taloussähkö yhteensä 5 200 kWh**
- Sähkölämmitys: 10 500 kWh
- Lämmin käyttövesi 3 800 kWh
- **Sähkönkulutus yhteensä: 19 500 kWh.**

Kustannuslaskelmia varten laskettiin kokonaisenergian tarpeen jakautuminen kuukausitasolla. Taloussähkön ja käyttöveden tarpeen oletettiin jakautuvan tasaisesti koko vuodelle ja muun lämmitysenergian tarpeen oletettiin jakautuvan samassa suhteessa kuin kuukausikohtaiset lämmitystarveluvut. Lämmitystarveluku kuvaa rakennusten lämmitysenergian tarvetta. Laskennassa käytettiin Tampereen lämmitystarvelukuja vertailukaudella 1981-2010. (Ilmatieteen laitos.)

8.2 Laitteiden mitoitus

Laitteiden mitoituksessa pyrittiin kattamaan mahdollisimman suuri osa energiantarpeesta omalla tuotannolla ottaen kuitenkin huomioon myös taloudellinen kannattavuus.

8.2.1 Maalämpö

Maalämpöpumpun mitoitus perustuu arvioon lämpötehon maksimitarpeesta. Karkean mitoituksen voi tehdä taulukon 12 mitoitustehon P_{mitoitus} arvoilla huomioiden, että uudemmissa rakennuksissa kulutus on noin 15 % pienempi.

TAULUKKO 12. Vanhojen rakennusten ominaislämmitystehoja (Sarkki 2015, Rantanen 2015, 4 mukaan)

Asuinrakennukset	Mitoitusteho P_{mitoitus} (W/m ³)
Uudemmat pientalot (1980-2003)	15-22
Vanhat pientalot (-1979)	22-30
Rivitalot	15-26
Vanhat asuinkerrostalot (-1979)	20-28
Uudemmat asuinkerrostalot (1980-2003)	13-18

Maalämpöpumpun mitoitusteho voidaan karkeasti arvioiden laskea kaavalla

$$P_{\text{maalämpö}} = \frac{P_{\text{mitoitus}} \cdot A_{\text{lämmitys}} \cdot h}{1\,000} \cdot 0,85, \quad (3)$$

jossa

P_{mitoitus} on mitoitusteho,

$A_{\text{lämmitys}}$ on rakennuksen lämmityspinta-ala,

h on huonekorkeus.

Taulukon 12 arvoilla maalämpöpumpun mitoitusteho on

$$P_{\text{maalämpö}} = \frac{(15 - 22) \text{ W/m}^3 \cdot 144 \text{ m}^2 \cdot 2,5 \text{ m}}{1\,000} \cdot 0,85 = 4,6 - 6,7 \text{ kW}.$$

Myös jotkin laitetoimittajat tarjoavat karkeaa mitoitusta sivuillaan. Esimerkiksi Maalämpöverkkokauppa ehdottaa lähtötietojen perusteella kohteelle 5 kW lämpöpumppua. Tarkemmassa pumpun ja keruupiirin mitoituksessa huomioidaan tarkemmin rakennuksen lämpöhäviöt ja lämpökuormat, lämmityspiirin lämpötila ja haluttu kattavuus (osa- vs. täystehomitoitus). Osateholle mitoitettaessa lämpöpumppu kattaa 60-80 % lämpötehon huipputarpeesta. Tällä teholla katetaan vuotuisesta lämpöenergian tarpeesta 95-99 %. (Elvari 2011, 2, 18.)

8.2.2 Puu

Puukattilalämmityksen oleellinen osa on varaaja. Varaajan mitoitusta varten pitää määrittää huippulämpöenergian tarve vuoden kylmimpänä aikana. Lämpötehon tarve riippuu rakennuksen eristystasosta, mutta on keskimäärin 15-25 W/m³. Huippulämpöenergian

perusteella valitaan sopiva varaajan koko (taulukko 13). Olettaen, että uudessa rakennuksessa on hyvä lämmöneristys, tarkasteltavalle kohteelle sopiva varaajan koko olisi noin 1 500 litraa. Myös isompi varaaja on mahdollinen. Varaajan koon valinnalla määritetään lämmityskertojen tiheys. Periaatteessa mitä isompi varaaja, sitä harvemmin tarvitsee lämmitellä. Varaajan tilantarpeen ja lämpöhäviöiden takia ylityömittaaminen ei kuitenkaan ole kannattavaa. (Ariterm, 2-3.)

TAULUKKO 13. Varaajan koko suhteessa huippuenergian tarpeeseen (Ariterm, 3)

Varaajan koko (litraa)	Lämpömäärä kWh/vrk
1 000	105
1 500	160
2 000	210
2 500	260
3 000	315
4 000	420

Varaajan koon perusteella valitaan sopivan tehoinen kattila. Valittu kattilateho määrittää varaajan latausajan eli kuinka kauan tulisi kerralla lämmitellä. (Ariterm, 3.)

CHP-laitteiston mitoituksessa lämmön tarve määrittää laitteiston koon. Löydettyissä valmiissa pakettiratkaisuissa ei laitteiston tehoissa kuitenkaan juuri ole valinnan varaa. Ainut, mihin voi vaikuttaa, on vesivaraajan koko. Löydetty vaihtoehdot ovat

- Stirling-Technology, 1 kW_e / 6,5 kW_h, pelletti/puulastut/sahanpuru
- Ökofen, 0,6 kW_e / 9 kW_h, pelletti
- Microgen, 0,9 kW_e / 20 kW_h, pilke.

Näistä Stirling-Technology:n vaihtoehdossa on paras sähkö/lämpö-suhde, mutta Microgenin tuote on ainut, joka toimii pilkkeillä, joten kannattavuustarkastelu tehtiin Microgenin järjestelmälle.

8.2.3 Aurinkolämpö

Jos kaikki tuotettu aurinkolämpöenergia halutaan kuluttaa paikallisesti, kannattaa keräimet mitoittaa tuottamaan noin puolet lämpimästä käyttövedestä. Riippuen keräimen vuosituotosta, jonka keskimääräiset arvot ovat Motiva (2010) mukaan 250-400 kWh/m², olisi tarvittava keräinpinta-ala 2,5-4 m². Tällä mitoitusperiaatteella vuosituotto jää kuitenkin

pieneksi, ja lukuun ottamatta kesä-heinäkuuta tarvitaan koko ajan rinnalle myös toinen lämmitysmuoto. Kun tavoitteena on tuottaa mahdollisimman suuri osa energian tarpeesta itse, kannattaa aurinkokeräin mitoittaa vähän yli, jolloin kesällä syntyvä ylimääräinen lämpö voidaan hukata esimerkiksi paljon lämmittämiseen.

Solar-Anlagen karkean mitoitusohjeen mukaan omakotitaloon tarvitaan 1 m² tasokeräimiä jokaista 10 lämmintä asuineliötä kohti ja tyhjiöputkikeräimiä 0,5 m² jokaista 10 lämmintä asuineliötä kohti. Varaajan mitoituksessa arvioitu tarve on 50 litraa per 1 tasokeräin-m² ja 50 litraa jokaista asukasta kohti. Asuintalojen lämpökeräimet ovat yleensä 10-15 m² ja vesivaraaja 600-1 000 litraa. (Solaranlagen Portal.)

Solaranlagen Portal:n mitoitusohjeella keräimen pinta-ala olisi

- $A_{\text{tasokeräin}} = 1 \cdot \frac{144 \text{ m}^2}{10} = 14 \text{ m}^2,$
- $A_{\text{tyhjiöputkikeräin}} = 0,5 \cdot \frac{144 \text{ m}^2}{10} = 7 \text{ m}^2$

ja varaajan tilavuus

$$V = 50 \text{ l} \cdot 14 + 2 \cdot 50 \text{ l} = 800 \text{ l}.$$

8.2.4 Aurinkosähkö

Sähköntuotannon osalta ST40 (2017) listaa kolme aurinkosähkölaitteiden mitoitusperiaatetta

- Pohjakulutus
- Keskimääräinen kuukausikulutus
- Nettonollaenergiamitoitus.

Pohjakulutukseen perustuvassa mitoituksessa laitteisto mitoitetaan pienimmän kuukausi- tai mahdollisesti pienimmän tuntikohtaisen kulutuksen mukaan. Tällöin kaikki tuotanto tulee omaan käyttöön. Näin etenkin tuntikohtaisen minimin mukaan mitoitettu laitteisto on kuitenkin yleensä turhan pieni. Keskimääräisen kuukausikulutuksen mukaan mitoitettu laitteisto on hiukan suurempi kuin minimikulutukseen perustuva, mutta suurin osa tuotannosta käytetään edelleen omassa kulutuksessa ja pieni osa menee jakeluverkkoon.

Nettonollaenergiamitoituksessa laitteiston kokoa kasvatetaan niin, että se tuottaa sähköä rakennuksen keskimääräisen kulutuksen verran vuoden tarkastelujaksolla. Näin mitoitetun laitteiston teho on huomattavasti kahta aiempaa tapaa suurempi ja jakeluverkkoon tuotetun tuotannon osuus kasvaa, mistä johtuen laitteiston kannattavuus heikkenee. (ST40 2017, 77-78.)

Usein mitoituksen rajoittavana/määräävänä tekijänä on myös käytettävissä oleva asennustila. Kohteen eteläpuoleinen kattopinta-ala on 90 m^2 , jolloin katolle mahtuisi noin 11 kWp aurinkosähkölaitteisto. Laitteiston mitoittaminen näin suureksi ei kuitenkaan ole taloudellisesti järkevää. Yleensä taloudellisen kannattavuuden takia pyritään ylijäämä sähköntuotannon minimoimiseen, jolloin omakotitaloon sopivan järjestelmän koko on 1,2 - 2 kW kiinteistön pohjakuorman ollessa 200-500 W (Aurinkosähköopas).

Luvussa 8.5 esitettyjen mitoitus/kannattavuuslaskelmien perusteella päädyttiin 2,5 kWp laitteistoon. Tällöin aurinkoisen kevät- ja kesäpäivän tuotanto on noin 15 kWh ja vuosituotanto noin 2000 kWh.

8.3 Tilantarve

Maalämmössä tontin tilantarve on suurin asennettaessa keruuputkisto maaperään energiakaivon sijaan. Putkisto asennetaan noin metrin syvyyteen ja yksi putkimetri vie noin $1,5 \text{ m}^2$ pinta-alan. Pientalossa keruuputkistoa tarvitaan yleensä vähintään 500 m, jolloin tilantarve tontilla on vähintään 750 m^2 . Kohteen tapauksessa oletuksena on, että tontti on rakenteeltaan maalämmölle sopiva, jolloin 1 ha pinta-ala on riittävä keruupiirin rakentamiseen sekä energiakaivo- että vaakaputkistoversiona. Sisätilassa tilantarve on noin 1-1,5 m^2 ja laitteiston korkeus noin 2,5 m.

Puukattilan/CHP-laitteiston tilantarve on noin 0,5-1,5 m^2 , minkä lisäksi puu/pellettivarausto tarvitsee oman tilan.

Aurinkolämpökeräimen tilantarve mitoittaessa laitteisto Solaranlagen mitoitusohjeen mukaan olisi 7-14 m^2 riippuen valitusta keräintyypistä.

Aurinkosähköpaneelin tilantarve vaihtelee valitusta paneelityypistä riippuen (taulukko 14). Luvussa 8.5 esitettyjen mitoitus/kannattavuuslaskelmien perusteella 2,5 kWp järjestelmän paneelit tarvitsevat noin 20 m² tilan. Aurinkosähköjärjestelmän vaihtosuuntaaja ja säätimet voidaan asentaa ulos tai sisätiloihin. Asennuksessa on huomioitava riittävä kotelointiluokka ja ilmanvaihto, sillä laitteet voivat tuottaa huomattavasti lämpöä. (ST40 2017, 91-92.)

TAULUKKO 14. Aurinkosähköpaneelin tilantarve (Energeasysolar)

Kennon tyyppi	Hyötysuhde	Keskimääräinen pinta-ala/kWp (m ²)
Monikiteinen kenno	11-15 %	7-9
Yksikiteinen kenno	13-17 %	6-8

Koska valitussa kohteessa on erillinen tekninen tila, ei eri laitteistojen tilantarve ole rajoittava tekijä. Myös 90 m² kattopinta-ala on riittävä sekä aurinkolämmölle että -sähkölle.

8.4 Investointikustannukset vaihtoehtoisin

Kokonaiskustannukset Stirling-järjestelmän osalta perustuvat Microgen:lta saatuun tietoon, muiden järjestelmien kohdalla summat perustuvat keskimääräisiin kustannuksiin.

Maalämmön investointikustannuslaskelma perustuu Motivan ilmoittamaan keskimääräiseen järjestelmähintaan (taulukko 15). Investointikustannukset sisältävät koko lämmitysjärjestelmän kustannukset eli lämmöntuotto-, lämmönvarastointi- ja lämmönjakojärjestelmät sekä liittymismaksut. (Motiva 2012b, 12.)

TAULUKKO 15. Keskimääräisiä lämmitysjärjestelmän hankintahintoja (Motiva 2012b, 12)

Järjestelmä	Investointikustannukset (€)
Maalämpöpumppu	15 000 - 20 000
Pellettilämmitys	10 000 - 20 000
Ilma-vesilämpöpumppu	10 000 - 15 000
Kaukolämpö	10 000 - 15 000
Öljylämmitys	10 000 - 15 000
Poistoilmalämpöpumppu	7500 - 12 500
Vesikiertoinen sähkölämmitys	7500 - 12 500
Huonekoht. Sähkölämmitys	5000 - 10 000

Puukattilan hintahaarukka on noin 2 300-7 000 € + asennuskustannukset (Taloon). Hinta riippuu kattilatyypistä. Tarkasteltujen CHP-laitteistojen hinnat ilman toimitus- ja asennuskuluja ovat

- 14 000 \$ (\approx 11 900€), Stirling-Technology, 1 kW_e / 6,5 kW_h.
- 23 000 €, Ökofen, 0,6 kW_e / 9 kW_h, pelletti. (Hinta sisältää ALV:n ja 600 l vesivaraajan. Hydraulikkaosat ja polttoainevarasto eivät kuulu hintaan.)
- 9 995 €, Microgen, 0,9 kW_e / 22kW_h, pilke. (Hinta ei sisällä ALV:tä eikä isompaa vesivaraajaa.)

Aurinkolämpöjärjestelmässä investointikustannuslaskelma perustuu vuosien 2014-2015 keskimääräiseen hintaan per keräin-m² (taulukko 16). Tähän hintaan sisältyvät

- Aurinkokeräimet
- Kattokiinnikkeet: jalat ja kiskot
- Pumppu ja varolaitteet
- Ohjausyksikkö
- Paisunta-astia
- Lämmönsiirtoputki
- Putkiliittimet keräinten ja pumpun välillä
- Lämmönsiirtoneste. (Finsolar.)

TAULUKKO 16. Aurinkolämpökeräimen keskimääräinen investointikustannus (Finsolar)

Järjestelmä	Laitteiston ja asennuksen hankinta-hinta €/m ²	Ylläpitokulut % alkuinvestoinnista / m ²
Aurinkolämpökeräin 4-20 m ²	500-1000 €	10 %, 50-100 €/m ²

Aurinkosähköjärjestelmän investointikustannuslaskelma perustuu ST-kortiston vuoden 2016 tilastoon (taulukko 17).

TAULUKKO 17. Vuonna 2016 toteutettujen aurinkosähköjärjestelmien kokonaishankintahinta eri kokoluokissa (ST40 2017, 60)

Järjestelmä	Hankintahinta (€/kW)
Pienet mökkijärjestelmät alle 10 kW (akustolliset)	3000 -5000
Pienet järjestelmät alle 10 kW (pakettiratkaisut)	1300 - 2000
Keskisuuret järjestelmät 10 kW - 250 kW	1000 - 1300
Suuret järjestelmät 250 kW - ...	900 - 1300

Tämän työn tarkoituksena oli saada arvio järjestelmien kustannuksista ja kannattavuudesta, joten käytetyt investointikustannusten arviot ovat riittävät. Suunniteltaessa toteutettavaa järjestelmää hinta-arviot perustuvat tarjouksiin, joita verratessa tulee varmistua, että tarjoukset ovat keskenään yhtä kattavat ja sisältävät kaikki järjestelmän toiminnan kannalta välttämättömät osat.

8.5 Kannattavuuslaskelmat

Kannattavuuslaskelmissa käytettiin laskentajaksona 30 vuotta. Laskelmissa huomioitiin järjestelmien hankintahinta sekä käyttökustannukset ja verrattiin näitä sähkölämmitteisen järjestelmän kustannuksiin. Oletuksena oli, että vertailtava järjestelmätyyppi ei vaikuta liittymän mitoituslaskeluun eikä näin ollen tuo lisäkustannuksia. Hintavertailussa käytettiin nykyarvomenetelmää, jossa tulevat kustannukset diskontataan investointihetken rahamääräksi huomioiden valittu korkokanta. Laskentakorkona käytettiin 4 %. Nykyarvomenetelmässä tulevien kustannusten painoarvo pienenee muutettaessa kustannukset nykyhetkeä vastaaviksi. (Motiva 2012b, 12).

Sähkön ostohinta riippuu sähkönmyyjästä. Sähkön hinta muodostuu energiasta, siirrosta ja verosta. Sähkön hintoja voi vertailla mm. Energiaviraston laskurilla (Energiavirasto). Energiaviraston hintatilastojen perusteella sähkön hinta Suomessa vuonna 2017 on ollut 11-13 snt/kWh. Laskelmissa käytetty sähkön myyntihinta perustuu SPOT-hintatilastoon (liite 2). Sähkönmyyjät maksavat tuotetusta sähköstä SPOT-hinnan mukaan vähentäen tästä välityspalkkion. SPOT-hinta on Pohjoismaisessa Nord Pool-sähköpörssissä muodostuva sähkön hinta kullekin vuorokauden tunnille. Sähkön myynnin siirtomaksu ei koske tarkastelun kohdetta, sillä mahdollisen sähköntuotantojärjestelmän teho on alle 50 kVA. Taulukossa 18 on esitetty laskelmissa käytetyt sähkönhinnat sekä korkoprosentit.

TAULUKKO 18. Kannattavuuslaskelmissa käytetyt sähkön hinnat ja korkoprosentit

Sähkön ostohinta	13,0	snt / kWh
Sähkön myyntihinta verkkoon	4,0	snt / kWh
Arvio ostosähkön hinnan noususta	2,0	% / vuosi
Investoinnin laskentakorko	4,0	% / vuosi

Laskelmissa hyödynnettiin pohjana Finsolarin sivuilta löytyviä aurinkosähkön ja aurinkolämmön kannattavuus- ja mitoituslaskureita.

8.5.1 Maalämpö

Laskennassa käytetyt maalämpöpumpun mitoitussarvot on esitetty taulukossa 19. Maalämpöjärjestelmän ylläpito- ja huoltokustannukset 30 vuodessa arvioitiin olevan noin 10 % hankintakustannuksesta. Suurin kustannuserä on kompressorin uusinta kerran 30 vuoden aikana (kompressorin kustannusarvio n. 1 500€). Maalämpöpumpun tuotannon on oletettu olevan tasaista ympäri vuoden (kuvio 3).

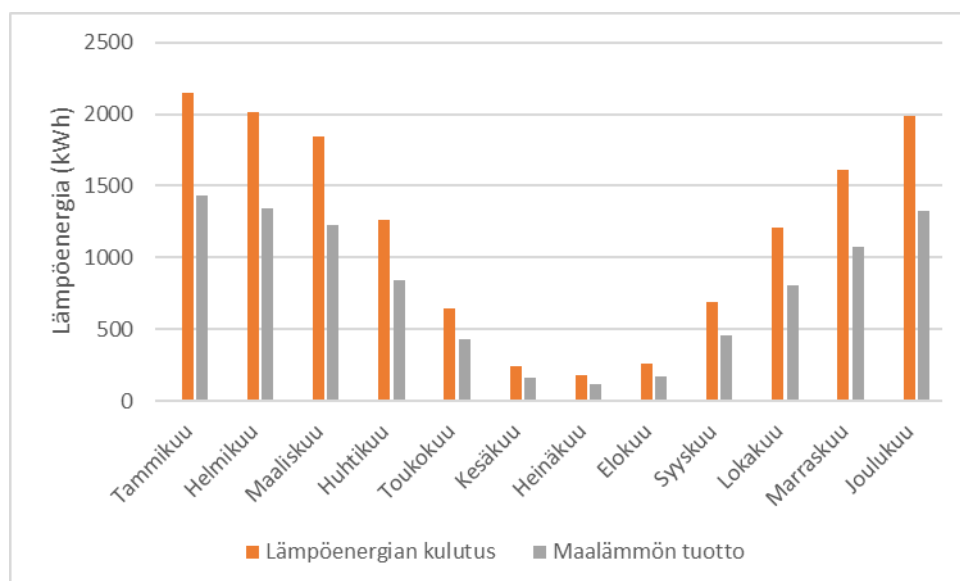
TAULUKKO 19. Maalämpöpumpun mitoitussarvot

Järjestelmän teho	6	kW
Järjestelmän investointikustannus	17 000	€
Maalämpöjärjestelmän vuosituotto	9 398	kWh/v
Järjestelmän hyötysuhde	67	%
Vuosittainen energiantuotannon vähenemä	0	%/v
Maalämmön osuus lämmönkulutuksesta	67	%
Ylläpito- ja huoltokulut 30 vuoden elikaaren aikana, % alkuinvestoinnista	10	%

Maalämpöpumpun takaisinmaksuaika on suoraan verrannollinen kohteen lämmöntarpeeseen eli mitä isompi lämmöntarve on, sitä nopeammin sijoitus maksaa itsensä takaisin (Motiva 2010, 13). Käytetyillä mitoitussarvoilla maalämpöpumppu maksaa itsensä takaisin 17 vuodessa (taulukko 20).

TAULUKKO 20. Maalämpöpumpun kannattavuus

Tuotto 30 vuoden aikana	8 681	€
Takaisinmaksuaika	17	v



KUVIO 3. Maalämmön tuotto

8.5.2 Puu

Pelkän pilkekattilan ylläpito- ja huoltokustannukset 30 vuodessa arvioitiin olevan 10 % hankintakustannuksesta. Lämmöntuotannon puulla on oletettu olevan tasaista ympäri vuoden kattaen 80 % kuukausittaisesta lämmöntarpeesta. Pilkekattilan kannattavuuslaskelmassa käytetyt mitoitussarvot on esitetty taulukossa 21.

TAULUKKO 21. Pilkekattilajärjestelmän mitoitussarvot

Järjestelmän investointikustannus	5 000	€
Puun kustannukset	5	snt/kWh
Puukattilajärjestelmän vuosituotto	11 278	kWh/v
Järjestelmän hyötysuhde	80	%
Vuosittainen energiantuotannon vähenemä	0	%/v
Puun osuus lämmönkulutuksesta	80	%
Ylläpito- ja huoltokulut 30 vuoden elikaaren aikana, % alkuinvestoinnista	10	%

Pilkekattilan kannattavuuslaskelman tulokset on esitetty taulukossa 22. Käytetyillä mitoitussarvoilla pilkekattilan takaisinmaksuaika on vain 7 vuotta.

TAULUKKO 22. Pilkekattilajärjestelmän kannattavuus

Tuotto 30 vuoden aikana	10 965	€
Takaisinmaksuaika	7	v

Taulukossa 23 on esitetty Stirling-järjestelmän kannattavuuslaskelmassa käytetyt mitoitussarvot. Ylläpito- ja huoltokustannukset 30 vuodessa arvioitiin olevan 10 % hankintakustannuksesta. Oletuksena laskelmassa on 30 vuoden käyttöikä, vaikka järjestelmän valmistaja lupaa kattilalle käyttöä 15-20 vuotta ja Stirling-koneelle 15 vuotta tai 50 000 tuntia. Käytetyillä arvoilla Stirling-järjestelmän takaisinmaksuaika on 23 vuotta (taulukko 24).

TAULUKKO 23. Stirling-järjestelmän mitoitussarvot

Järjestelmän teho (sähkö/lämpö)	0,9 / 20	kW _e / kW _h
Järjestelmän investointikustannus	14 400	€
Puun kustannukset	5	snt/kWh
Stirling-järjestelmän vuosituotto sähköenergia	507	kWh/v
Stirling-järjestelmän vuosituotto lämpöenergia	11 278	kWh/v
Järjestelmän hyötysuhde	85	%
Vuosittainen energiantuotannon vähenemä	0	%/v
Puun osuus lämmönkulutuksesta	80	%
Ylläpito- ja huoltokulut 30 vuoden elikaaren aikana, % alkuinvestoinnista	10	%

TAULUKKO 24. Stirling-järjestelmän kannattavuus

Tuotto 30 vuoden aikana	2 825	€
Takaisinmaksuaika	23	v

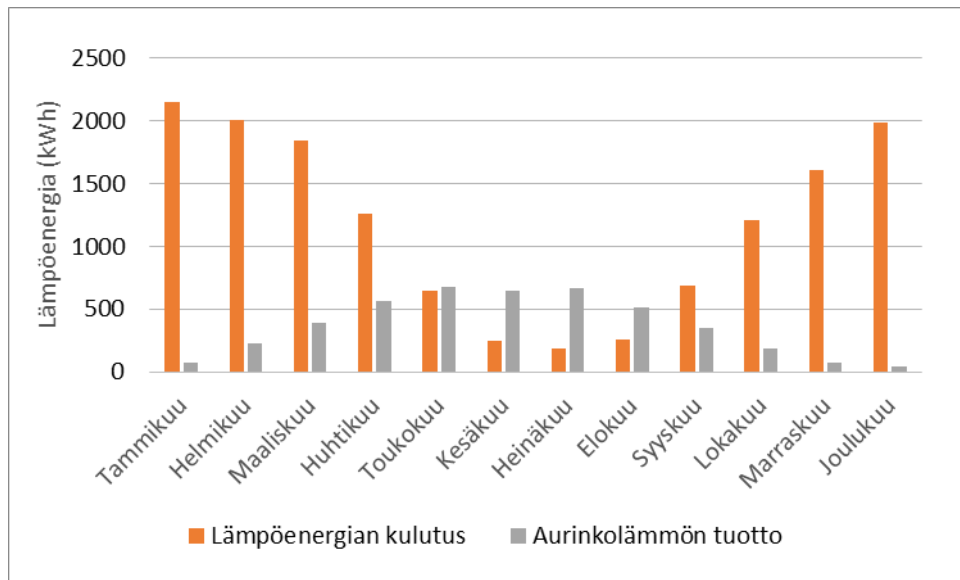
8.5.3 Aurinkolämpö

Taulukossa 25 on esitetty aurinkolämpöjärjestelmän mitoitusravot. Järjestelmän ylläpito- ja huoltokustannuksiksi arvioitiin 10 % investointikustannuksista. Laskelman pohjana käytetyssä Aurinkolämmön kannattavuus- ja mitoitustaskurissa (Finsolar) vuosittainen energian tuotannon vähenemä on 1 %.

TAULUKKO 25. Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitusravot

Keräinpaneelien pinta-ala	10	m ²
Järjestelmän kustannus	5 000	€
Aurinkolämpöjärjestelmän vuosituotto	4 415	kWh/v
Järjestelmän hyötysuhde	40	%
Aurinkolämmön myynnin tai ylijäämän osuus	27	%/v
Aurinkovoimalan vuosittainen energiantuotannon vähenemä	-1	%/v
Aurinkolämmön osuus lämmönkulutuksesta	23	%
Ylläpito- ja huoltokulut 30 vuoden elikaaren aikana, % alkuinvestoinnista	10	%

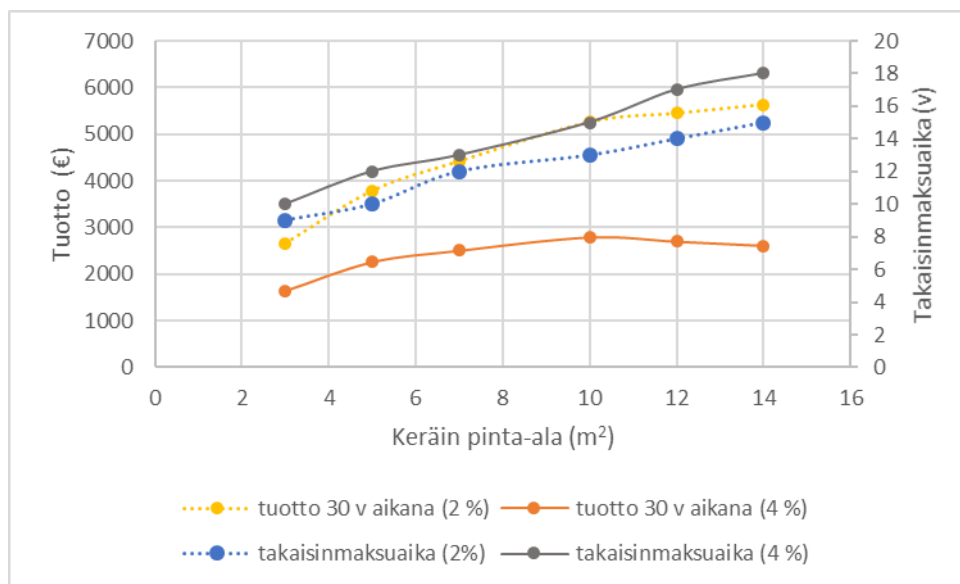
Laskelman perusteella järjestelmä maksaa itsensä sitä nopeammin takaisin, mitä pienempi paneelipinta-ala on. Pelkästään takaisinmaksuajan perusteella mitoitettu järjestelmä on kuitenkin pieni ja kattaa lämmönkulutuksen kokonaan vain heinäkuussa. Laskelman perusteella 10 m² keräinpinta-alalla kattaa kesäkuukausien (toukokuu-elokuu) kulutuksen (kuvio 4). Takaisinmaksuaika on tällöin 15 vuotta (taulukko 26). Ylimitoitettaessa järjestelmän tuoton kasvu hidastuu ja alkaa lopulta laskemaan, sillä ylimääräinen lämpö ei tuota rahallista hyötyä, vaan hukataan osittain ”ilmaan”. Myös huoltokustannusten on oletettu kasvavan suorassa suhteessa paneelipinta-alaan, mikä osaltaan näkyy isomman järjestelmän suhteessa huonompana kannattavuutena. Paljon riippuu myös investoinnin laskentakorkoasettelusta. 2 % laskentakorolla isommatkin järjestelmät pysyvät kannattavina, kun taas 4 % laskentakorolla kannattavuus alkaa laskea yli 10 m² pinta-alalla. Kuviassa 5 on esitetty lämpökeräimen tuotto euroina 30 vuoden laskentajaksolla 2 ja 4 % laskentakorolla.



KUVIO 4. Lämmöntuotanto ja lämmönkulutus 10 m² keräinpinta-alalla

TAULUKKO 26. Aurinkolämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika

Tuotto 30 vuoden aikana	2 785	€
Takaisinmaksuaika	15	v



KUVIO 5. Tuoton ja takaisinmaksuajan suhde keräinpinta-alaan

8.5.4 Aurinkosähkö

Aurinkosähköjärjestelmän ylläpito- ja huoltokustannukset 30 vuodessa ovat yleensä 5-15 % suhteessa järjestelmän kokonaishintaan. Suurin yksittäinen odotettavissa oleva kuluerä

on invertterin vaihto kerran 30 vuoden aikana. Invertterien takuut vaihtelevat välillä 2-20 vuotta, joten laatuun panostaminen voi alkuinvestointina olla kalliimpi, mutta koko elinkaaren kannalta edullisempi ratkaisu. Kustannuslaskelmissa oletettiin käyttökustannusten olevan 10 % suhteessa investointikustannukseen. Lisäksi laskelmissa huomioitiin paneelien tehon lasku 0,5 % vuodessa. Taulukossa 27 on esitetty käytetyt mitoitusarvot. (ST40 2017, 61-63.)

TAULUKKO 27. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitusarvot

Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona	2,5	kWp
Investointikustannus	4 125	€
Invertterin hinta suhteessa investointikustannukseen	10	%
Aurinkosähköjärjestelmän hyötysuhde	13	%
Oman tuotannon maksimiosuus vuorokausikohtaisesta sähkönkulutuksesta	40	%
Aurinkosähköjärjestelmän tuotto	2 441	kWh/v
Aurinkosähkön myynnin tai ylijäämän osuus	3	%/v
Kiinteistön sähkönkulutus yhteensä	21 697	kWh/v
Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä	-0,5	%/v
Järjestelmän koko paneelien pinta-alana	17	m ²
Järjestelmän käyttöikä	30	v
Aurinkosähkön osuus sähkönkulutuksesta	11	%

Aurinkosähkön tuotanto rajoittuu valoisaan aikaan, kun taas kulutus on ympärivuorokautista. Ilman akustoa olevassa järjestelmässä pitää kulutuksen olla riittävää myös keskipäivän tuotantopiikkien aikana, jos tuotanto halutaan hyödyntää omaan käyttöön. Laskelmissa oletettiin valoisan ajan aurinkosähkötuotannolla voitavan kattaa maksimissaan 40 % vuorokausikohtaisesta sähkönkulutuksesta.

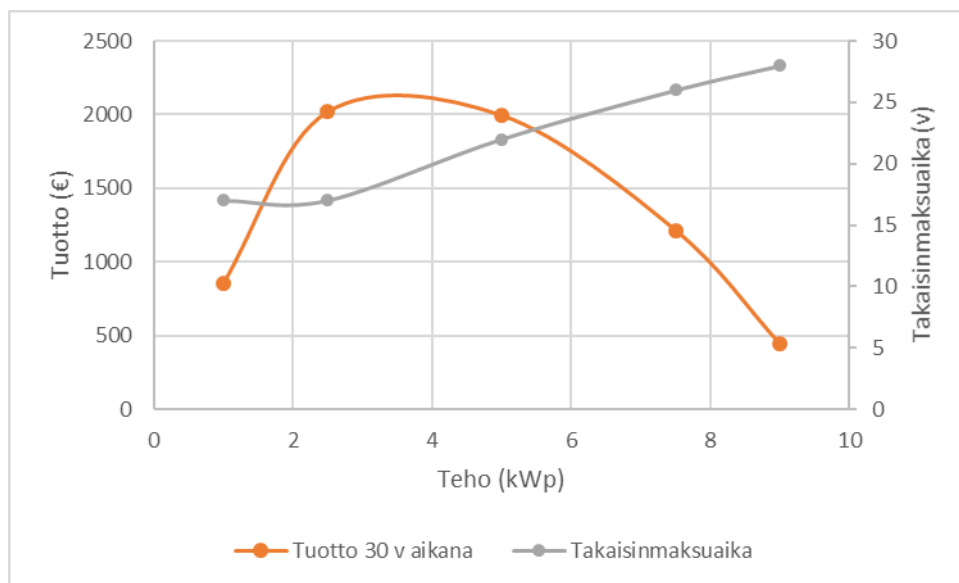
Auringon säteilyenergian määrä valitulla tontilla saatiin JRC:n laskurista (liite 3). Laskuri optimoi paneelien kulmaksi 41°. Myös suurempia kulmia (45°-60°) kokeiltiin, sillä suuremmalla kulmalla saadaan paremmin hyödynnettyä kevään ja syksyn säteily, jolloin myös oma kulutus on isompaa kuin kesällä. Pienellä 2,5 kWp laitteistolla 41° kulma antoi parhaan tuoton 30 v laskentajaksolle. Laitteistoa suurennettaessa suurempi kulma muuttui edullisemmaksi, mutta ero ei ollut merkittävä, joten tämän laskelman perusteella taloudellisin perustein ei asennuskulmaa kannata optimoida kevät/syysy auringolle.

Laitteiston tehoksi päädyttiin valitsemaan 2,5 kWp, sillä tällä teholla melkein kaikki tuotettu sähkö saadaan hyödynnettyä itse. Takaisinmaksuaika tällä järjestelmäkoolla on noin

17 vuotta (taulukko 28). Myös 3,5 kWp laitteisto olisi vielä kannattava. Tällöin takaisinmaksuaika olisi 19 vuotta. Tätä isommassa laitteistossa kannattavuus laskee, sillä yhä suurempi osuus tuotetusta sähköstä menee myyntiin oman käytön sijaan (kuvio 6).

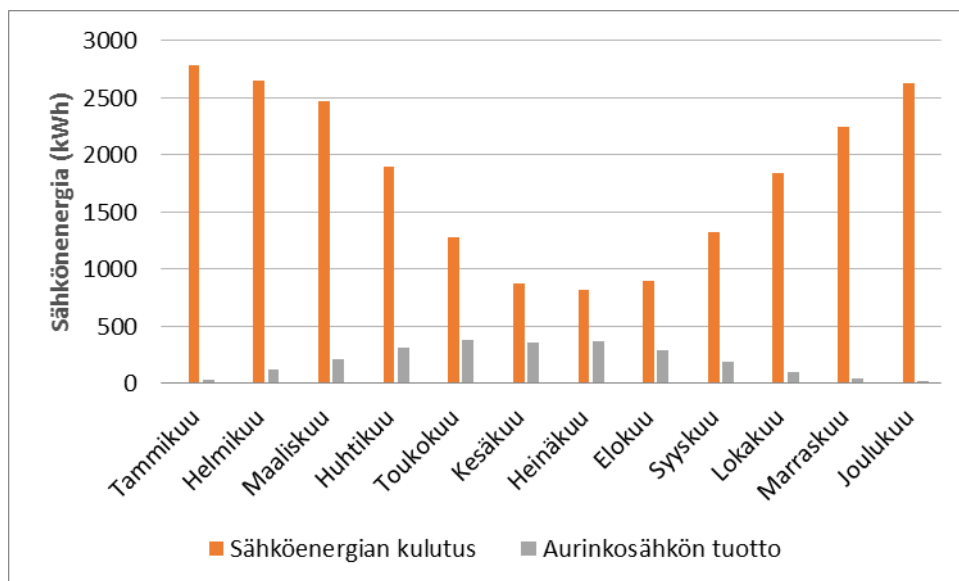
TAULUKKO 28. Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus

Tuotto 30 vuoden aikana	2018	€
Takaisinmaksuaika	17	v



KUVIO 6. Tuoton ja takaisinmaksuajan suhde järjestelmän tehoon

Valitulla 2,5 kWp laitteistolla voidaan kattaa noin 11 % kokonaissähkönkulutuksesta, kun sähköä käytetään myös lämmitykseen. Kuviossa 7 on aurinkosähkön tuotto verrattuna sähkönkulutukseen.



KUVIO 7. Aurinkosähkön tuotto

8.6 Sähköverkkoon liittyminen

8.6.1 Pääsulake

Kiinteistö liitetään verkkoon pääsulakkeiden kautta, joiden koko riippuu kiinteistön huipputehosta. Sulakkeiden oikea mitoitus on oleellista, sillä sulakekoko vaikuttaa liittymän kiinteisiin kustannuksiin, joten ylimitoitettu liittymä aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia. Liian pienet pääsulakkeet puolestaan voivat aiheuttaa turhia sähkökatkoksia pääsulakkeiden ylikuormittuessa. (Talotekniikka.)

ST13.31 (2015) määrittää omakotitalon huipputehon P_h (kW) laskemiseen kaavan

$$P_h = 7,5 + \frac{64 A}{1\,000}, \quad (4)$$

jossa A on lämmitetty pinta-ala (m^2). Kaava soveltuu omakotitaloon, jossa on suora sähkölämmitys ja sähkökiuas. Loistehon osuuden voidaan arvioida olevan pieni $\cos\varphi=0,96$. Kaava perustuu vanhoihin kulutusmittauksiin, joten nykyisillä laitteilla huipputeho voi olla tällä kaavalla laskettua pienempi.

Huipputeho voidaan myös laskea summaamalla yhteen arviot eri kuormien suuruuksista. Peruskuorma voidaan laskea kaavalla

$$P_{kk} = 6 \text{ kW} + \frac{20 \frac{W}{m^2}}{1\,000} \cdot A_h, \text{ jossa} \quad (5)$$

A_h = huoneiston pinta-ala (m^2) ja

6 kW = huoneistokohtainen pohjakuormitus.

Valaistustehon laskentaan ST13.31 (2015) käyttää kaavaa

$$P_v = \frac{10 \frac{W}{m^2}}{1\,000} \cdot A_h. \quad (6)$$

Nykyisillä valaisimilla voidaan kulutuksen kuitenkin olettaa olevan pienempi.

Sähkölämpökuormaan P_s lasketaan yhteen lämminvesivaraajan, sähkölämmityksen, autolämmityksen ja kiukaan (ei vuoroteltu) teho. Liittymän mitoitusta varten kokonaiskuormat lasketaan yhteen käytön samanaikaisuuskertoimilla (k) korjattuna.

$$P_m = P_{kk} \cdot k_1 + P_v \cdot k_2 + P_s \cdot k_3 \quad (7)$$

Lyhyellä kaavalla (4) laskettuna kohteen huipputeho on noin

$$P_h = 7,5 + \frac{64 \cdot 144}{1\,000} = 17 \text{ kW}.$$

Tällä huipputeholla ollaan pääsulakekoon 3x25 A ylärajalla. Taulukossa 29 on esitetty talon pääsulakekokoja suhteessa nimellistehoon. Tarkastellut energianlähteet vähentävät ostetun sähköenergian kulutusta, mutta liittymän kokoon ne eivät juuri vaikuta, sillä kaikissa tapauksissa (vara)lämmönlähteenä käytetään myös sähkövastuksia. Maalämpöpumppujärjestelmä voi käytännössä tarvita isomman pääsulakkeen kuin pelkkä sähkölämmitys. Kohteen tapauksessa sopiva lämpöpumppu on kuitenkin teholtaan pieni. (Talotekniikka.)

TAULUKKO 29. Pääsulake ja nimellinen siirtokyky

Pääsulake (A)	Nimellinen siirtokyky (kVA)
3x25	17
3x35	24
3x50	35

8.6.2 Liittymiskustannukset

Jos kohteessa on sekä tuotantoa että kulutusta, liittymiskustannukset määräytyvät sen mukaan, kumpi on teholtaan suurempi. Jos kulutuksen teho on suurempi, noudatetaan kulutuksen liittymismaksun määritelmiä ja jos taas tuotannon teho on suurempi, noudatetaan tuotannon liittymismaksun määritelmiä. (Motiva 2012c, 25.)

Sähköverkkoon liittymisen hinta riippuu kiinteistön sijainnista sekä pääsulakekoosta (tai tehontarpeesta). Kustannus on verkkoyhtiökohtainen. Kohde kuuluu Elenian verkon alueelle. Liittymät on hinnoiteltu vyöhykkeittäin sijainnin perusteella. Taulukossa 30 on esitetty liittymän hinta pääsulakekoon ja vyöhykkeen mukaan. Tarkastellussa kohteessa lähimpään muuntamoon on matkaa 670 m, joten kohde kuuluu vyöhykkeiden ulkopuoliseen alueeseen (matka muuntamolle on yli 600 m). Liittymän hinta on siis vähintään vyöhykkeen 3 verran tai enemmän. (Kallioharju & Harsia 2012; Elenia 2017a.)

TAULUKKO 30. Sulakepohjaiset 0,4 kV:n sähköliittymät (Elenia 2017a)

Pääsulake/A	Vyöhyke 1	Vyöhyke 2	Vyöhyke 3
3x25	2 419 €	3 155 €	5 171 €
3x35	3 215 €	4 143 €	7 349 €
3x50	4 455 €	5 695 €	10 625 €
3x63	5 504 €	6 935 €	11 276 €

8.6.3 Käyttökustannukset

Käyttökustannukset muodostuvat kulutetun sähköenergian ja kiinteän pääsulakekoosta riippuvan perusmaksun mukaan. Elenian sähkön siirtohintaa sekä pääsulakkeen mukainen perusmaksu on esitetty taulukossa 31. Tuotannosta ei tässä tapauksessa tarvitse maksaa sähköveroa, sillä järjestelmän teho on alle 50 kVA. Sähköveroa ei tarvitse maksaa myöskään 20-2 000 kVA tehoisesta tuotannosta, jos sähköä ei siirretä verkkoon. (Motiva 2012c, 14, 22.)

TAULUKKO 31. Sähkön siirtohinnot (Elenia 2017b)

Siirto		Lisäksi perusmaksu pääsulakkeen mukaan	
Sähköveroton	4,32 snt/kWh	1x25A ja 1x35A	9,17 €/kk
Sähköveroluokka 1	7,11 snt/kWh	3x25 A	16,29 €/kk
		3x35 A	28,12 €/kk
		3x50 A	52,73 €/kk
		3x60 A	70,45 €/kk

8.6.4 Oman sähköntuotannon liittäminen verkkoon

Pientuotannon verkkoon liittämistä varten tulee verkonhaltijalle toimittaa tiedot

- laitoksen tyypistä, nimellistehosta ja -virrasta,

- liitäntälaitteen (vaihtosuuntaaja) tyyppitiedot,
- suojauksen asetteluarvot ja toiminta-ajat,
- tiedot saarekekäytön estosuojauksen toteutuksesta (menetelmä ja toiminta-aika).

Verkkoon liitettävän sähkön tulee täyttää sähkön laatua koskevien standardien vaatimukset. Voimalaitoksen kytkeytyminen / irtikytkeytyminen verkosta voi aiheuttaa verkon jännitteen vaihtelua. Lisäksi voimalaitoksen tuottamat yliaallot ja loisteho tulee pysyä verkonhaltijan määrittelemissä rajoissa. Relesuojauksen tulee toimia vikatilanteissa niin, että voimalaitos irtoaa verkosta ennen kuin verkon omat suojalaitteet irrottavat koko verkon osan verkosta. (Motiva 2012c, 20-21.)

Enintään 3x63 A liittymässä sähkön tuotto verkkoon ja verkkosähkön kulutus voidaan hoitaa samalla mittalaitteella, kulutus ja tuotto tulee kuitenkin mitata erikseen. Tätä isommissa laitoksissa tarvitaan erillinen sähköntuotannon mittari voimalaitokseen. Mittari on verkonhaltijan omistuksessa ja vastuulla. (Motiva 2012c, 21.)

Verkkoon tuotetulle sähkölle pitää olla myös ostaja sovittuna. Sähkönmyynti tapahtuu joko sähköpörssin kautta tai kahden välisenä kauppana. Pienet tuotantomäärät myydään yleensä kahden välisenä kauppana, sillä sähköpörssissä voivat toimia vain sen jäsenet. Taulukossa 32 on esitetty sähköverkkoon liittymiseen tarvittavat sopimukset ja sopimusosapuolet. (Motiva 2012c, 26.)

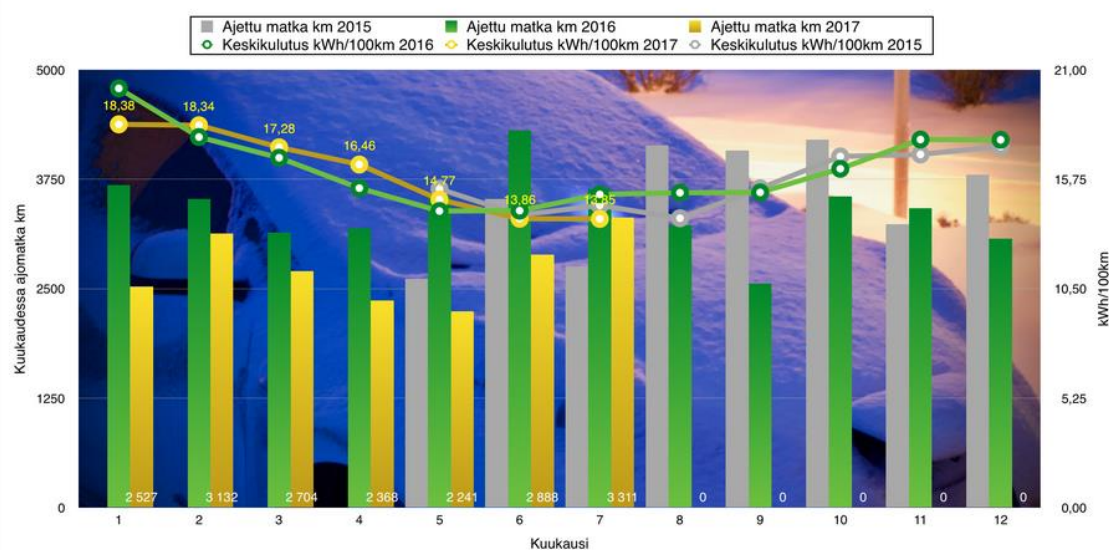
TAULUKKO 32. Sähköverkkoon liittymiseen tarvittavat sopimukset ja sopimusosapuolet (Motiva 2012c, 24)

Lupa/Sopimus ja sopijaosapuoli	Sisältö	Huomautukset
Liittymissopimus/ Jakeluverkkoyhtiö	Sovitetaan liittämiskohdasta, liittymismaksusta, sähköntuotantolaitteistolle asetettavista vaatimuksista, sähköntuotantolaitteiston käytöstä ja suojauksesta, teho- ja energia-arvojen rajoista jne.	Jakeluverkonhaltijoiden hinnoittelumenetelmien on perustuttava Energiamarkkinaviraston määrittämiin sääntöihin.
Verkkopalvelusopimus/ Jakeluverkonhaltija	Verkkosopimuksen tehnyt voimalaitos saa toimia rinnan jakeluverkon kanssa. Sopimuksessa käsitellään mm. mittauksen järjestämistä, kustannusten korvaamista ja sähköturvallisuutta, suojausta ja sähkön laadun turvaamista. Verkkopalvelusopimus voidaan tehdä, kun kyseistä sähköntuotantopaikkaa koskeva liittymissopimus on voimassa.	Sopijapuolten välinen verkkosopimus voi myös kattaa sähköntuottajan sähkönhankinnan.
Sähkönmyyntisopimus/ Sähkön ostaja	Sähköntuottaja sopii tuottamansa sähköenergian myynnistä muun muassa seuraavaa: <ul style="list-style-type: none"> • sähkön hinta • toimituksen määrä • tasesähkö 	Sähköntuottajan ja myyjän tulee myös sopia miten tasehallinta hoidetaan.

8.7 Sähköauto & aurinkosähkö

Akuston avulla itse tuotettu sähkö voitaisiin hyödyntää kokonaan omassa käytössä ja lisäksi akustoa voitaisiin käyttää tarvittaessa varavoimana yleisen verkon sähkökatkojen aikana. Akustojen hinnat ovat kuitenkin toistaiseksi sen verran korkeita, että akuston hankkiminen on-grid-järjestelmään ei ole taloudellisesti kannattavaa. Tutkituista järjestelmistä Stirling-järjestelmän sähkötehon tuotto on pientä, joten sen yhdistäminen akustoon ei muutenkaan toisi merkittävää lisähyötyä. Aurinkosähköjärjestelmä sen sijaan hyötyisi akustosta selkeästi, koska järjestelmän kokoa voitaisiin kasvattaa pitäen oman kulutuksen osuus edelleen korkeana. Perinteisen akuston sijaan tässä työssä päädyttiin tarkastelemaan mahdollisuutta käyttää sähköauton akkua energiavarastona. Lähtöajatus oli, että auton akku voi toimia myös varavoimana. Työtä tehdessä selvisi kuitenkin, että kuluttajakäyttöön sopivia kaksisuuntaisia latauspisteitä ei vielä ole markkinoilla, vaikka osassa sähköautoista on jo valmius molemminsuuntaiseen energian siirtoon tasasähköliitännän kautta. Sähköauto lisää kuitenkin omaa sähkön kulutusta, joten kannattavuuslaskelmalla selvitettiin, kannattaako sähköauton yhdistäminen isompaan aurinkosähköpaneelistoon.

Laskelmassa tutkittiin Nissan Leaf 40 kWh -sähköauton ja aurinkopaneeliston yhteistä kannattavuutta. Auton vuosittaisen ajomatkan arvioitiin olevan 20 000 km ja kesikulutuksen 0,15 kWh/km. Todellinen kulutus vaihtelee lähinnä ajonopeudesta ja keliolosuhteista riippuen. Hyvän käsityksen kulutuksen vaihtelusta saa Sähköautoileva motoristi -blogin kuvaajasta (kuvio 8). Auto on tarkoitettu työmatka-autoksi, jolloin latausajat rajoittuvat aamuun, iltaan ja viikonloppuihin. Marras-helmikuun välisenä aikana auton tarvitsema energia oletettiin katettavan ostosähköllä, sillä tällöin aurinkosähköä on saatavilla lähinnä päivällä, jolloin auto on ajossa. Akuston oletettiin kestävän 10 vuotta ja uuden akun hinnaksi arvioitiin 8000 €. Alkukustannuksissa otettiin huomioon aurinkopaneeliston ja auton latauspisteen hinta sekä isomman liittymän aiheuttama lisäkustannus. Ilman sähköautoa talon liittymän pääsulakekooksi riittäisi 3x25 A. Aurinkosähkön 6,6 kW latauspisteen myötä pääsulakekoko kasvaa 3x35 A:iin. Tämän seurauksena myös liittymän käyttökustannukset kasvavat. Sähköauton käyttökustannukset ovat kuitenkin edullisemmat verrattuna polttomoottoriautoon, mikä on laskelmassa huomioitu tuottona. Täyden hyödyn saaminen aurinkosähköstä edellyttää älykästä latausjärjestelmää, jolla voidaan kontrolloida, että autoa ladataan ensisijaisesti aurinkosähköllä. Laskelmassa käytetty tarkastelujakso oli 15 vuotta.



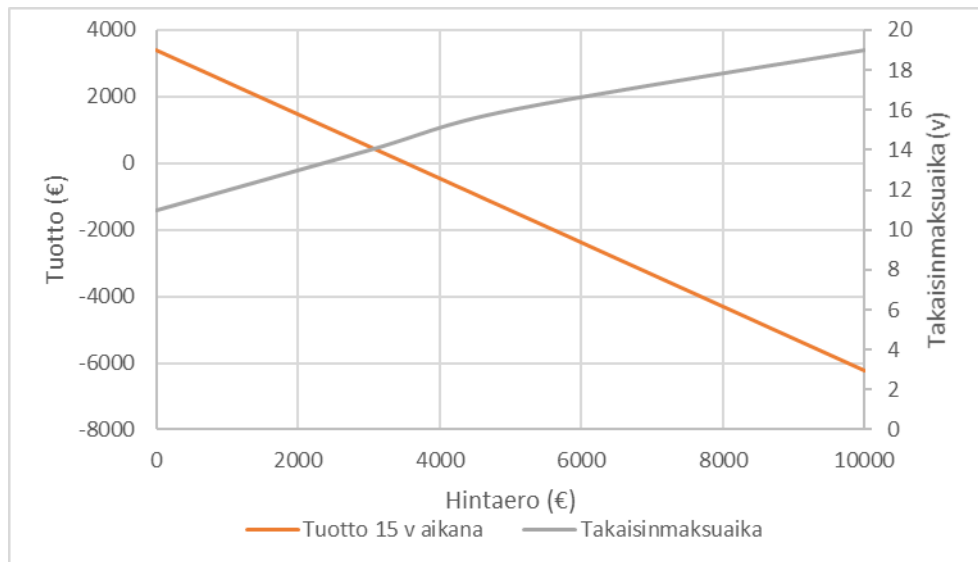
KUVIO 8. Nissan Leaf Acenta keskikulutus (Sähköautoileva motoristi)

Nissan Leaf -sähköauton kiinteän laturin teho on 6,6 kW. Autossa on myös 50 kW tasasähkölatausmahdollisuus, jota voi hyödyntää julkisissa pikalatauspisteissä. Kun huomioidaan auton 6,6 kW maksimiperuslatausteho ja talon pohjakulutus, jonka arvioitiin olevan 300-400 W, olisi 7 kWp aurinkosähköjärjestelmä riittävä. Auton akun lataaminen täyteen kestää tällöin reilun kuusi tuntia. Pienemmällä järjestelmällä joko ostosähkön käyttö lisääntyy tai latausaika pitenee. Kattopinta-ala mahdollistaisi isommankin järjestelmän asentamisen, mutta järjestelmän koon kasvatus vähentää taloudellista kannattavuutta. Taulukossa 33 on esitetty laskelman lähtötiedot.

TAULUKKO 33. Lähtötiedot

Sähköauto	
Kapasiteetti	40 kWh
Kiinteä laturi	6,6 kW
Toimintamatka (NEDC)	378 km
Hinta	35 900 €
Takuu	8 v / 160 000 km
Keskikulutus	0,02 €/km
Uusi akku	8 000 €
Latauspiste	1 500 €
Aurinkopaneelisto	
Teho	7 kW
Hinta	11 550 €
Liittymän lisäkustannukset	
Liittymiskustannukset	2 178 €
Kk-maksu	142 €/v
Muut tiedot	
Polttomoottoriauton keskikulutus	0,08 €/km

Jos sähköauton ja polttomoottoriauton ostohintaeroa ei huomioida laskelmassa, on sähköauto-aurinkosähkö-yhdistelmä hyvinkin kannattava. 7 kW aurinkosähköjärjestelmä maksaisi tällöin itsensä takaisin 11 vuodessa ja tuotto 15 vuoden aikana olisi 3 400 €. Kun ostohintaero otetaan huomioon, on sähköauton hankkiminen taloudellisesti kannattamattonta yli 3 500 € hintaerolla (kuvio 9).



KUVIO 9. Aurinkosähkö-sähköauto-yhdistelmän kannattavuus suhteessa sähköauton ja polttomoottoriauton hintaeroon

9 TULOKSET

Kannattavuuslaskelmien perusteella pelkkä puulämmitys on vaihtoehtoista selkeästi kannattavin ja se myös maksaa itsensä nopeimmin takaisin. Kääntöpuolena on, että se on järjestelmistä myös työläin. Taloudellisen kannattavuuden kannalta maalämpö on lähellä puukattilalämmityksen arvoja, ja se on myös käyttäjän kannalta helppohoitoisempi vaihtoehto. Maalämmön huonona puolena on alkuinvestoinnin kalleus ja puukattilalämmitystä huomattavasti pidempi takaisinmaksuaika. Aurinkolämmön taloudellinen tuotto oli lämpöjärjestelmistä pienin ja takaisinmaksuaika melkein yhtä pitkä kuin maalämmössä. Aurinkolämpölaskelmassa käytettiin kuitenkin suhteellisen huonoa hyötysuhdetta. Paremman hyötysuhteen järjestelmällä päästään noin puoleen puulämmityksen taloudellisen tuoton arvosta. Stirling-järjestelmän investointikustannus oli vertailtavista järjestelmistä toiseksi korkein ja sillä oli vaihtoehtoista pisin takaisinmaksuaika. Tämä ei sinänsä ole yllättävää, sillä järjestelmä ei (vielä) ole yhtä yleinen kuin vertailun muut vaihtoehdot. Jos/kun markkinat löytävät tuotteen, järjestelmän hinta oletettavasti laskee ja taloudellinen kannattavuus paranee. Järjestelmän etuna kuitenkin on, että sitä voi tarvittaessa käyttää varavoimana aggregaatin tapaan. Aurinkosähköjärjestelmän taloudellinen tuotto jäi järjestelmistä pienimmäksi ja takaisinmaksuaika oli samaa luokkaa kuin maalämmöllä.

Tarkasteltaessa aurinkosähköjärjestelmää sähköauton käyttöön yhdistettynä, aurinkosähköjärjestelmä vaikuttaa kannattavammalta, jos sähköauton korkeaa ostohintaa ei huomioida. Taloudellisesti sähköauton hankkiminen vastaavan polttomoottoriauton sijaan ei vielä ole kannattavaa. Jos sähköauton on joka tapauksessa hankkimassa, kannattaa samalla investoida aurinkosähköjärjestelmän hankintaan. Sähköauton kanssa myös isompi aurinkosähköjärjestelmä on kannattava.

Tässä työssä ei tarkasteltu hybridijärjestelmiä, mutta toimiva vaihtoehto voisi olla puulämmityksen ja aurinkosähkön yhdistäminen. Tällöin päälämmitysjärjestelmä olisi edullinen puukattilalämmitys ja vara-/lisälämmitysjärjestelmänä toimisi sähkölämmitys. Kesäkuukausina aurinkosähköjärjestelmän tuotolla voisi halutessaan kattaa lämmitystarpeen, mikä vähentäisi lämmitykseen liittyvää työn määrää, tai paneeleiden tuottoa voisi käyttää pelkästään pienentämään sähkölaskua. Aurinkosähköjärjestelmän hankkiminen olisi kannattavaa etenkin, jos taloudessa on sähköauto. Tulevaisuudessa sähköauton akku voisi toimia myös varavoimana.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tutkituista lämmitysjärjestelmistä kaikki kolme vaihtoehtoa maalämpö, puulämmitys ja aurinkolämpö ovat toimivia ja kannattaviakin. Maalämpöpumppujärjestelmässä tuotusta lämpöenergiasta kaksi kolmasosaa on uusiutuvaa maalämpöä ja loput sähköllä tuotettua. Puulämmitys ja aurinkolämpö ovat kokonaan uusiutuvia lämmönlähteitä, mutta näissäkin tarvitaan sähköä vesikierron ylläpitämiseksi lämmitysjärjestelmässä. Jos tarvittava sähköenergia otetaan yleisestä verkosta, ei yksikään tutkituista lämmitysvaihtoehdoista ole omavarainen. Puulämmityksen voi kuitenkin toteuttaa myös täysin omavaraisena ilman sähköä käyttämällä esimerkiksi varaavaa takkaa vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän sijaan.

Sähköntuotannossa tarkasteltiin aurinkosähköä ja puulla toimivaa Stirling-järjestelmää. Molemmat järjestelmät ovat toimivia ja kannattaviakin, mutta täydellistä sähköomavaraisuutta ei näillä pysty saamaan. Molemmissa ongelmana on tuotannon hetkittäisyys, kun sähköä taas tarvitaan ympäri vuorokauden ja ympäri vuoden. Aurinkosähkön tuotantomäärät riippuvat vuorokauden ajasta, säästä ja vuodenajasta. Suurin ongelma on, että aurinkosähköntuotanto painottuu kesään. Kesällä (touko-elokuu) tuotetaan yli 50 % koko vuoden kertymästä ja talvikuukausina (marras-helmikuu) tuotto jää alle 10 % koko vuoden kertymästä. Akustolla voidaan tasoittaa vuorokauden sisäistä vaihtelua, mutta vuodenojoista johtuvan vaihtelun tasoittamiseen nykyiset energiavarastot eivät sovellu. Stirling-järjestelmässä sähköntuotannon ennustettavuus on parempi kuin aurinkosähkøjärjestelmässä ja periaatteessa sähköä voidaan tuottaa ympäri vuoden. Käytännössä kuitenkin, koska kyseessä on CHP-järjestelmä, on sähkön tuotanto kesällä vähäistä, sillä tuotetun sähkön määrä riippuu tarvittavasta lämmön määrästä. Verrattuna aurinkosähköön sähköntuotanto on vielä enemmän piikkimäistä, sillä sähköä tuotetaan vain muutama tunti vuorokauden aikana. Tutkitussa Stirling-järjestelmässä oli huono sähkö/lämpö-suhde, mutta markkinoilla on myös paremmalla suhteella olevia pellettikäyttöisiä laitteita.

Sähköauto lisää aurinkosähkön kannattavuutta, mutta auto on kuitenkin usein ajossa päivällä, jolloin aurinkoenergiaa on eniten tarjolla. Paremminkin kotitalouden energiavarastona ja etenkin varavoimana toimii erillinen akusto. Todennäköistä on, että akkujärjestelmien kehittyessä niiden hinta laskee, jolloin erillisen akuston hankkiminen energiavarastoksi ja varavoimaksi tulee taloudellisesti kannattavaksi.

Sopivan pientalon energiajärjestelmän valinta riippuu siitä, kuinka suuren alkuinvestoinnin on valmis tekemään ja kuinka paljon vaivaa on valmis näkemään järjestelmän toiminnan eteen. Taloudellisen kannattavuuden laskeminen on aina arvio, joka riippuu energiakustannusten (sähkö ym. polttoaineet) hintakehityksen arviosta ja oletuksista järjestelmän tuotosta ja huoltokustannuksista. Tässä työssä esitetyt laskelmat ovat suuntaa-antavia ja eri järjestelmien kannattavuus tulee aina arvioida kohdekohtaisesti. Työ antoi kuitenkin tekijälleen hyvän käsityksen eri järjestelmien toiminnasta ja kannattavuudesta.

LÄHTEET

Alakangas E., Erkkilä A., Oravainen H. 2008. Tehokas ja ympäristöä säästävä tulisijalämmitys. Polttopuun tuotanto ja käyttö. Jyväskylä: Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT

Ariterm. Luettu 7.1.2018. <http://195.67.82.150/ariterm/Puulammitys%20low%20res.pdf>

Aurinkosähköopas. 2013. Aurinkosähköopas tamperelaisille. Ekotehokas Tampere 2020-hanke. Luettu 15.10.2017. https://www.tampere.fi/liitteet/a/6Gkg9C2MG/Aurinkosahkoopas_36660_vedos.pdf

Breeze, P. 2016. Gas-Turbine Power Generation. San Diego: Elsevier Science.

Eicker, U. 2014. Energy efficient buildings with solar and geothermal resources. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley.

Eklund, E. 2011. Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön. Tampereella tuulee -projekti. Tampere: Kodin vihreä energia Oy.

Ekolämmöx. Hybridilämmitys. Luettu 1.10.2017. <http://www.ekolammox.fi/hybridilammitys/>

Elenia. 2017a. Sähkökäyttöpaikkojen liittymishinnasto 1.4.2017. Elenia.

Elenia. 2017b. Verkkopalveluhinnasto sulakepohjaiset sähkönsiirtotuotteet 1.5.2017. Elenia.

Elvari. 2011. Hanki hallitusti maalämpöjärjestelmä. Elvari/Epiteetti Oy.

Energeasysolar. Miten aurinkosähkö toimii. Luettu 15.10.2017. <http://www.solar-energeasy.com/fi/fi/92/miten-aurinkopaneelit-tuottavat-sahkoa>

Energiavirasto. Sähkön hintavertailu. Luettu 5.11.2017. <https://www.sahkon-hinta.fi/summariesandgraphs>

Finsolar. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Luettu 15.10.2017. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/>

Fricke, J. & Borst, W. 2013. Essentials of energy technology, sources, transport, storage, conservation. Weinheim: Wiley.

Genoastirling. Luettu 21.9.2017. <http://www.genoastirling.com>

Halkoliiteri. Polttopuut netistä. Luettu 19.9.2017. <http://www.halkoliiteri.com/haku/>

Ilmatieteen laitos. Lämmitystarveluvut. Luettu 15.10.2017. <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>

INEES. Intelligente Netzanbindung von Elektrofahrzeugen zur Erbringung von Systemdienstleistungen. Luettu 3.2.2018. https://lbsflibraries.blob.core.windows.net/sflibs/docs/default-source/schwarminnovationen/inees_abschlussbericht.pdf

Jarva, K. & Niskanen, M. 2011. Stirling-moottori puukaasukäytössä. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Keski-Pohjanmaa ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

JRC. Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. Luettu 15.10.2017. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo: Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Kallioharju, K. & Harsia, P. 2012. Kiinteistön sähköverkko – perusrakenne ja mitoitus. Oppimateriaali. Talotekniikan ratkaisut asuinrakennuksissa -opintokokonaisuus. Syksy 2015. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Karjalainen, T. 2012. Pienimuotoisen lämmön ja sähkön yhteistuotannon tilannekatsaus – laitteet ja niiden käyttöönotto. Oulun yliopisto. Luettu 21.9.2017. https://www.motiva.fi/files/7436/Pienimuotoisen_lammon_ja_sahkon_yhteistuotannon_tilannekatsaus_laitteet_ja_niiden_kayttoonotto.pdf

Keskuslämmityskattilat. Motiva – keskuslämmityskattilat. Luettu 11.12.2017. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/puulammitys_kiinteistoissa/keskuslammityskattilat

Lapon. Luettu 20.2.2018. <https://www.lapon.fi/usein-kysyttya>

LEY. Lämmitysenergiayhdistys. Luettu 15.11.2017. <https://www.ley.fi/tietoa-lammityksesta/aurinkokeraimet/>

Ljunggren Falk, H. & Berg, S. 2014. Implementation of a Stirling engine generation system for residential use in rural areas of Beni department of Bolivia. KTH School of Industrial Engineering and Management. Energy Technology. Bachelor of Science Thesis.

Maalämpöverkkokauppa. Suunnittele ohjatusti oma maalämpöjärjestelmäsi. Luettu 15.11.2017. <https://maalampoverkkokauppa.fi/wizard/>

Mangion, R., Muscat, M., Sant, T., Rizzo, J., Ghirlando, R., Cilia, J., Mizzi, J. & Vural, S. 2012. Challenges in developing a solar powered Stirling engine for domestic electricity generation. 9th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics. Luettu 21.9.2017. https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/42996/mangion_challenges_2014.pdf?sequence=1

Metsäkeskus. Kasvupaikkatekijät ja metsätyypit. Luettu 11.12.2017. <http://docplayer.fi/9641427-Kasvupaikkatekijat-ja-metsatyytit.html>

Microgen. Microgen Engine Corporation. Luettu 1.12.2017. <http://www.microgen-engine.com>

- Motiva. 2010. Selvitys hajautetusta ja paikallisesta energiantuotannosta erilaisilla asuin-alueilla. Helsinki: Motiva Oy.
- Motiva. 2012a. Lämpöä omasta maasta. Lämmitysjärjestelmät – Maalämpöpumput. Helsinki: Motiva Oy.
- Motiva. 2012b. Pientalon lämmitysjärjestelmät. Helsinki: Motiva Oy.
- Motiva. 2012c. Opas sähkön pientuottajalle. Helsinki: Motiva Oy.
- Motiva. 2014. Pilkekattilalämmittäjän energiansäästöopas. Helsinki: Motiva Oy.
- Motiva. 2016. Auringosta lämpöä ja sähköä. Helsinki: Motiva Oy.
- Motiva. 2017. Kiinteistöjen latauspisteet kuntoon. Motiva Oy.
- Motiva Kuluttajaneuvonta. Lämmitystapojen vertailulaskuri. Luettu 15.11.2017. <http://lammitysvertailu.eneuvonta.fi/>
- Nordicgreen. Luettu 1.11.2017. <https://www.nordicgreen.fi/asiakaspalvelu/energiatie-toa/spot-hinta/>
- Ogura, K. & Kolhe, M. 2017. Battery technologies for electric vehicles. Teoksessa: Muneer, T., Kolhe, M., Doyle, A. Electric Vehicles: Prospects and Challenges. Elsevier Science.
- Omatalo. Luettu 21.9.2017. <http://www.omatalo.com/talot/omatalo-116-13-at-var/>
- Pahkala, T., Uimonen, H. & Väre, V. 2017. Matkalla kohti joustavaa ja asiakaskeskeistä sähköjärjestelmää. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 38/2017. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö.
- Pellematic. Luettu 1.12.2017. http://www.pelletsheizung.at/de/pellematic_smart_e/
- Pilkekattilat. Motiva – hake-, pilke- ja halkokattilat. Luettu 11.12.2017. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/hake_pilke_ja_halkokattilat
- Rantala, E. 2014. RIL 265-2014 Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto.
- Rantanen, M. 2015. Lämpöpumppulämmitysjärjestelmän mitoitus ja laitevalinnat. Talotekniikka. Metropolia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Sarkki, J. 2015. LVI kalenteri 2015. Helsinki: Suomen Kalenterit Oy.
- SFS 6000-7-722. 2017. Pienjännitesähkösennukset. Osa 7-722: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö. Suomen standardoimisliitto SFS ry. Helsinki
- Soares, C. 2007. Microturbines. Applications for Distributed Energy Systems. Elsevier/Butterworth-Heinemann.

Solaranlagen Portal. Planung einer Solarheizung zur Heizungsunterstützung. Luettu 15.11.2017. <https://www.solaranlagen-portal.com/solarthermie/montage/auslegung>

Solar-electric. Luettu 26.1.2018. <https://www.solar-electric.com/learning-center/batteries-and-charging/mppt-solar-charge-controllers.html>

ST11.52. 2013. Rakennuksen energiankultuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST13.31. 2015. Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST40. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST52.30.02. 2016. Akustot ja varaajat. Valinta ja mitoittaminen. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST55.33. 2013. Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähköjakelujärjestelmään. Espoo: Sähköinfo Oy.

Stirling Technology. Luettu 21.9.2017. <http://stirling-tech.com>

Sähköala. Luettu 29.1.2018. http://www.sahkoala.fi/koti/aurinkoenergia_ja_tuuli-voima/fi_FI/aurinkosahko_on_jo_kannattava_investointi/

Sähköautoileva motoristi. Luettu 1.2.2018. <https://www.autotie.fi/tien-sivusta/sahkoautoileva-motoristi/nissan-leaf-90000-km-kokemuksia>

Sähköauton lataustekniikka. Luettu 1.2.2018. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/autotyyppi/sahkoauton_lataustekniikka_ja_turvallisuus

Sähköautot. Luettu 1.2.2018. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot

Sähköinen liikenne. Luettu 1.2.2018. <http://www.sahkoinenliikenne.fi/oppaat/ladattavan-ajoneuvon-ostajan-opas>

Sähkönkulutus. Kodin sähkönkulutus. Luettu 5.11.2017. <http://www.sahkonkulutus.fi/?id=814>

Taloon. Luettu 18.12.2017. <https://www.taloon.com/puukattilat>

Talotekniikka. Luettu 20.10.2017. <http://tate.blogs.tamk.fi/sahkoinen-talotekniikka/sahkoverkko/kiinteiston-sahkoverkko/liittymän-mitoittaminen/2/>

Tegpower. Luettu 5.12.2017. <http://www.tegpower.com/>

Tegmart. Luettu 5.12.2017. <http://www.tegmart.com/water-cooled/100-watt-water-cooled-system/>

Tulikivi. TulikiviGreen. Luettu 18.9.2017. http://www.tulikivi.fi/tuotteet/Tulikivi-Green_W10-Vesilammitysjarjestelma

Vihanninjoki, V. 2015. Hajautettu energian tuotanto Suomessa. Nykytila ja tulevaisuus sekä vaikutukset ilmanlaatuun. Suomen ympäristökeskus SYKE.

Ökofen. Luettu 1.12.2017. http://www.okofen-e.com/en/pellematic_smart_e/

LIITTEET

Liite 1. BioGen Woodlog Gasifier

1 (2)

Microgen Engine Corporation

BioGen Woodlog Power and Heat solutions

The solution for staying powered and warm in remote places using local available wood



BENEFITS

-  **Power and Heat**
-  **Based on a local available energy source: wood logs !**
-  **For On and Off Grid situations**
-  **Autarkic living style possible in combination with Photovoltaic**
-  **For normal and extreme situations (emergency / back up power)**
-  **Multi voltages and output currents possible (DC/AC)**
-  **Simple operation with very little maintenance. And no maintenance for the Stirling Power Unit**

Microgen is the company that has brought Stirling Technology from a R&D environment to practical applications and use in real life situations. Since 2011 thousands of Microgen Stirling Power Units have been used in gasified Combined Heat and Power heating appliances in urban domestic environments.

Based on this accomplishment Microgen worked with several other specialist on the realization of the ultimate solution for power and heat: electrical and thermal energy from the oldest form of power mankind knows: **burning woodlogs !**

Numerous are the places in the world where people get **heat** from burning such fuel. Now you simultaneously can get **power**. Irrespective if you are located in New England, Canada, Scandinavia, the Alps, Siberia, on or off grid the **BioGen Woodlog Power and Heat** unit is **the solution** for providing local, renewable Power and Heat to your Cabin, House, Farm or Dacha.

External Combustion; one of the key characteristics of a Stirling Power Unit makes simple woodlogs the source for your remote power and heat problem. And makes the transport of complicated and expensive diesel unnecessary.

The base solution provides between 700 – 900 Watts electric with a maximum of 1050 Watts from the Microgen Biomass Free Piston Stirling Unit. Parallel 15-20 kW of thermal energy of the integrated heat unit is available. Other power ranges are available on demand.

www.microgen-engine.com



microgen
engine corporation
Copyright ©

Microgen Engine Corporation

BioGen Woodlog Power and Heat solutions

The solution for staying powered and warm in remote places using local available wood

Power	On - Off grid Electrical Output (a) (b) Electrical power unit Own power use appliance Stirling type	various options available between 700-900 Watts, max 1,050 Watts, 50 – 60 Hz, 230 Volt AC Microgen Biomass Stirling Power Unit max 100 Watts Free Piston Beta type
Heater	Thermal Output Water Heater capacity Water temperature	max 22 kW 70 liters max 90 degrees Celsius
Dimensions	Dimensions total appliance	Height: 180 cm, Width: 60 cm, Depth: 85 cm
Weight	Weight Appliance	including Stirling unit aprox. 450 Kg
Firebox	Opening Filling Time (max filling)	Width: 35 cm, Height: 20 cm 110 liters between 3 and 4 hours depending on type of wood
Maintenance	Cleaning interval Stirling Power Unit	once a week maintenance free
Other	Emissions class (EN 303-5) Noise level Fuel Overall efficiency	4 max 48 +- 2 (A), one meter distance woodlogs, diameter max 15 -25 cm, max length 50 cm 85%

- (a) depending on combustion chamber filling, water temperature and water flow
(b) different alternative output modes, on and off grid options available



Engineered for robustness

Microgen's Free Piston Stirling Power Unit is the result of the meticulous engineering and development of a high tech, game changing technology with a focus on carefree and lifelong use.



Set up for ease of use

Even the best engineered and tested product can sometimes have an issue. In remote rural areas, especially when the conditions are harsh it is essential that you can do most of the work yourself. By means of a simple lift / leverage system the Microgen Biomass Stirling Power Unit can be easily taken out or put into the secondary firebox. This system also enables simple and practical cleaning and maintenance. A robust and simple controls system not only assures it proper and safe functioning, it also minimises electrical disturbances.

How it works



The BioGen Woodlog Power and Heat unit is based on the successful combination of two principles: wood gasification and Microgen Free Piston power generation. Small scale wood gasification was a technology widely known and used in the past. During the second World War even cars were powered through this process. With this use already long gone the process is still widely used for heating up houses, cabins and dachas in especially remote and rural areas.

Wood is put to fire in a primary firebox under low oxygen circumstances. The heat "drives" the woodgas out of the logs which is "sucked" into a secondary firebox. With ample oxygen available the woodgas is fully combusted in this secondary firebox. The head of the Microgen Biomass Stirling Power Unit is located in this secondary firebox and gets heated up. The standard Microgen Engine electronics assure that at a certain temperature the Microgen Biomass Stirling Power Unit gets started and will produce power.

The heat of the primary and the secondary firebox is absorbed by water / cooling fluid through heat exchangers mounted in the walls of the unit. The cooling water / fluid of the Microgen Biomass Piston Unit is connected to the heater cooling fluid system.

A dedicated BioGen Woodlog Combined Heat and Power controls system assures that everything functions properly and safely. Different power connection options for on or off grid, with or without other energy sources such as PV are available.

www.microgen-engine.com

 **microgen**
engine corporation
Copyright ©

Liite 2. SPOT-tilasto, snt/kWh (Nordicgreen)

Kuukausi	2017	2016	2015	2014
Tammikuu	4,13	4,69	4,19	4,99
Helmikuu	4,35	3,24	4,11	4,24
Maaliskuu	3,80	3,36	3,65	3,87
Huhtikuu	3,89	3,38	3,73	3,91
Toukokuu	3,80	3,48	3,21	4,54
Kesäkuu	3,80	4,39	2,67	4,39
Heinäkuu	4,24	3,84	3,42	4,56
Elokuu	4,50	3,89	3,86	4,76
Syyskuu	4,62	4,03	3,94	4,75
Lokakuu		4,65	4,15	4,55
Marraskuu		5,09	3,94	4,39
Joulukuu		4,22	3,29	4,6
Keskiarvo	4,13	4,02	3,68	4,46

Performance of Grid-connected PV

Radiation database: Classic PVGIS

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power 2.5 kWp

Estimated system losses [0;100] 14 %

Fixed mounting options:

Mounting position: Building integrated

Slope [0;90] 35 ° ☒ Optimize slope

Azimuth [-180;180] 0 ° ☐ Also optimize azimuth

(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)

Tracking options:

☐ Vertical axis Slope [0;90] 0 ° ☐ Optimize

☐ Inclined axis Slope [0;90] 0 ° ☐ Optimize

☐ 2-axis tracking

Horizon file Selaa... Ei valittua tiedostoa.

Output options

☐ Show graphs

☐ Show horizon

☐ Web page

☐ Text file

☒ PDF

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 61°27'2" North, 23°26'58" East, Elevation: 100 m a.s.l.,
 Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 2.5 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 12.4% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.1%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 27.0%

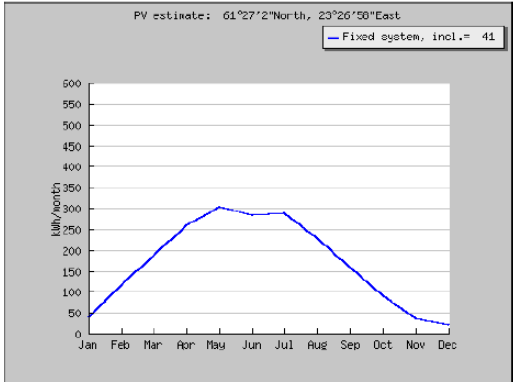
Fixed system: inclination=41 deg., orientation=0 deg. (Optimum at given orientation)				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	1.22	38.0	0.56	17.5
Feb	4.12	115	1.99	55.6
Mar	6.01	186	3.07	95.1
Apr	8.67	260	4.69	141
May	9.75	302	5.54	172
Jun	9.40	282	5.46	164
Jul	9.33	289	5.48	170
Aug	7.32	227	4.19	130
Sep	5.31	159	2.89	86.7
Oct	2.94	91.0	1.50	46.5
Nov	1.20	36.1	0.58	17.5
Dec	0.67	20.7	0.31	9.75
Year	5.50	167	3.03	92.0
Total for year		2010		1100

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

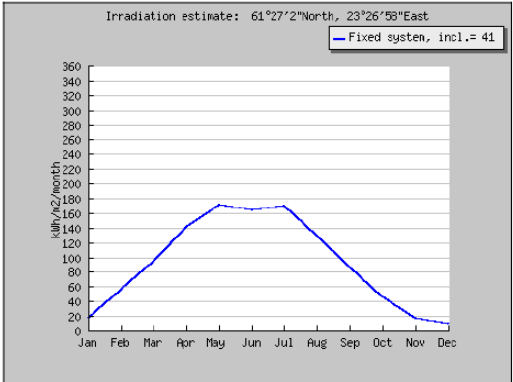
Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

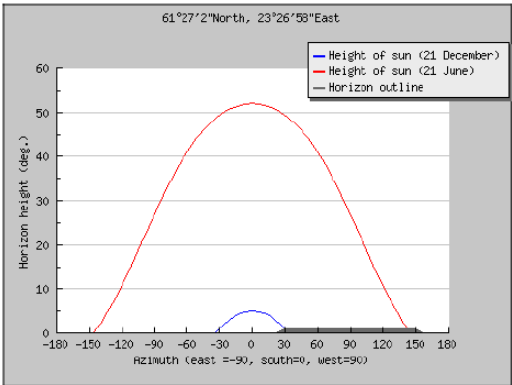
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)



Monthly energy output from fixed-angle PV system



Monthly in-plane irradiation for fixed angle



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice