

Uusiutuvaan energiaan perustuvan hybridilämmitysjärjestelmän toteutettavuus maatilakohteissa

Jorma Valta

Pro Gradu-tutkielma
Jyväskylän yliopisto
Kemian laitos
Kestävän energian maisterikoulutus
17.10.2012

Tiivistelmä

Tässä Pro gradu –tutkielmassa selvitettiin uusiutuviin energialähteisiin perustuvien lämmitysjärjestelmien ja myös piensähköntuotannon toimivuutta maatilakohteissa. Työssä käytiin läpi yleisimmät pientaloissa käytettävät kaupalliseen kehitysvaiheeseen päässeet teknologiat, kuten biopolttokattilat, maa- ja ilmalämpöpumput, biokaasulaitteet, pientuuliturbiinit, aurinkosähköpaneelit ja aurinkolämpökeräimet.

Työn kokeellisessa osuudessa selvitettiin kolmen keskisuomalaisen maatilán nykyinen energiankulutus ja kustannukset. Kohteille suunniteltiin konseptitasolla soveltuvia lämmitysjärjestelmiä. Lisäksi selvitettiin aurinkolämpökeräimien soveltuvuutta lämpimän käyttöveden lämmitykseen ja oman sähköntuotannon kannattavuutta pientuuliturbiinilla erityisesti paljon sähköä kuluttavalla lypsykarjatilalla.

Tutkimuksen maatilakohteissa edullisimmaksi lämmitystavaksi osoittautui puun poltto biokattilassa joko hakkeena tai halkoina tai lämpöpumppuihin perustuva lämmitys. Vaadittavat laiteinvestoinnit ovat melko suuria, mutta käyttökustannukset ovat hyvin edullisia erityisesti verrattuna sähkö- tai öljylämmitykseen.

Aurinkolämpökeräimillä on mahdollista tuottaa noin puolet tarvittavasta lämpimästä käyttövedestä, mutta järjestelmien korkea hinta tekee niistä taloudellisesti kannattamattomia. Myös pientuulivoima osoittautui ainakin toistaiseksi kannattamattomaksi investoinnin kalleuden ja sisämaan leppeiden tuuliolojen vuoksi.

Esipuhe

Tämä Pro gradu –tutkielma on tehty Jyväskylän yliopistolla osana Pisara Meressä –hanketta. Pisara meressä –hanke on Vaasan yliopiston Levón-instituutin koordinoima ELY-rahoitteinen hanke, jossa on mukana Jyväskylän ja Vaasan yliopistojen lisäksi Vaasan ammattikorkeakoulu sekä Yrkehögskolan Novia.

Hankkeen keskeisimpinä tavoitteina on uusiutuviin energianlähteisiin perustuvien omavaraisten ja integroitujen energiaratkaisujen kehittäminen, pienimuotoisen hajautetun energiantuotannon arvoketjun kehittäminen ja myös saarekekäytössä tai muuten energiainfrastruktuurista irrallaan olevien kohteiden energihuollon kehittäminen. Tässä työssä on käyty läpi yleisimpiä maataloille ja pientaloihin soveltuvia uusiutuviin energialähteisiin pohjautuvia lämmitys- ja sähköntuotantotapoja sekä suunniteltiin konseptitasolla hybridilämmitysjärjestelmävaihtoehtoja kolmelle keskisuomalaiselle maatilakohteelle.

Haluan kiittää yliopistonlehtori Jussi Maunukselaa ja professori Jukka Konttista työn ohjauksesta ja arvokkaista neuvoista. Lisäksi suuren kiitokset ansaitsevat tutkimuskohteidemme isännät, jotka tekivät tästä työstä mielenkiintoisen ja käytännönläheisen.

Jyväskylässä 17.10.2012

Jorma Valta

Sisällysluettelo

1. Johdanto	1
2. Uusiutuvaa energiaa hyödyntävät lämmitysjärjestelmät.....	5
2.1 Biopolttoainekattilat	5
2.1.1 Pellettikattilat.....	9
2.1.2 Hakekattilat.....	11
2.1.3 Pilke- ja halkokattilat.....	14
2.1.4 Leijupetikattilat	17
2.2 Maalämpöpumppu	19
2.3 Ilmalämpöpumppu.....	23
2.4 Biokaasu	27
2.5 Pientuuliturbiini	31
2.5.1 Pysty akseliset pientuuliturbiinit.....	34
2.5.2 Vaaka- akseliset pientuuliturbiinit	34
2.6 Aurinkolämmitysjärjestelmät.....	38
2.6.1 Aurinkolämpökeräimet	38
2.6.2 Keskittävä aurinkokeräin.....	44
2.7 Aurinkokennot	45
3. Maatilakohteiden kuvaus	46
3.1 Viljatila 1.....	46
3.2 Viljatila 2.....	49
3.3 Lypsykarjatila.....	51
3.4 Maatilakohteiden nykyinen energiakulutus ja –kustannukset	54
4. Uusiutuvia energialähteitä käyttävät lämmitysjärjestelmät	57
4.1 Investoinnin kannattavuuden arvioinnissa käytettävät tunnusluvut	57
4.2 Viljatila 1.....	61
4.2.1 Hakelämmitysjärjestelmä	61
4.2.2 Pellettilämmitysjärjestelmä	63

4.2.3 Aurinkokeräimet lämpimän käyttöveden tuottamiseen	66
4.2.4 Yhteenveto	67
4.3 Viljatila 2.....	69
4.3.1 Hakelämmitysjärjestelmä	69
4.3.2 Pellettilämmitysjärjestelmä	70
4.3.3 Maalämpöjärjestelmä	70
4.3.4 Aurinkokeräimet vanhan kanalan lämmityksen avuksi	73
4.3.5 Yhteenveto	75
4.4 Lypsykarjatila.....	78
4.4.1 Aurinkokeräimet lämpimän käyttöveden tuottamiseen	78
4.4.2 Yhteenveto	80
5. Uusiutuvat energialähteet sähköntuotantoon	81
5.1 Pientuuliturbiini Lypsykarjatilalle.....	81
5.2 5 kW:n pientuuliturbiini Viljatilaille	85
6. Johtopäätökset	87
7. Lähteet.....	89

Liitteet

Käytetyt lyhenteet

a	vuosi
BFB (Bubbling Fluidized Bed)	kupliva leijupeti
CFB (Circulating Fluidized Bed)	kiertoleijupeti
CHP (Combined Heat and Power)	yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto
h	tunti
IRR (Internal Rate of Return)	sisäinen korko
i-m ³	irtokuutiometri
k-m ³	kiintokuutiometri
kWh	kilowattitunti
LCOE (Levelized Cost Of Energy)	tasoitettu energian tuotantokustannus
MWh	megawattitunti
p-m ³	pinokuutiometri
t	tonni

1. Johdanto

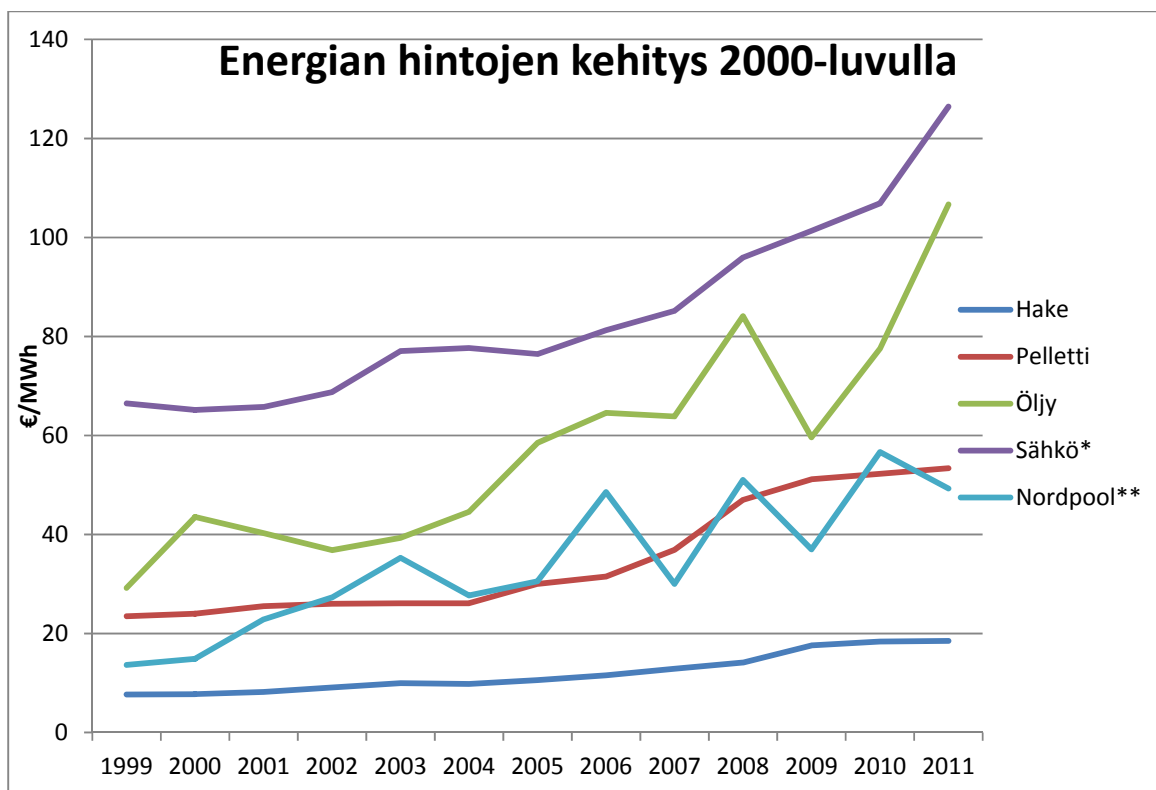
Tämä Pro Gradu –tutkielma esittelee kirjallisuuden pohjalta erilaisia maatilakohteisiin soveltuvia uusiutuviin energialähteisiin perustuvia lämmitysjärjestelmiä.

Energia määritellään uusiutuvaksi jos se täyttää kaksi kriteeriä. Ensinnäkin käytettävä hiili on sellaista, joka osallistuu hiilen normaaliin luonnolliseen kiertokulkuun. Esimerkiksi kivihiili ei täytä kriteeriä, koska se on hautautunut luonnon hiilivarastoon miljooniksi vuosiksi eikä osallistu hiilen kiertokulkuun. Toiseksi, uusiutuvan energianlähteen käytön täytyy olla vähäisempää kuin sen luonnollinen muodostuminen [1].

Hallitusten välisen ilmastonmuutospaneelin (Intergovernmental Panel of Climate Change, IPCC) määritelmän mukaan uusiutuvan energian lähteet ovat luonnon kiertokulun huomioiden lyhyellä aikavälillä tarkastellen kestäviä ja ympäristöä säästäviä, ja sisältävät muuhun kuin hiileen perustuvia teknologioita kuten aurinkoenergian, vesivoiman, tuulivoima sekä hiilineutraaleja teknologioita kuten biomassan.

Kuva 1.1 esittää eri energiamuotojen hintojen kehitystä 2000-luvulla tilastokeskuksen tilastoimana.

Kaikki energiamuodot ovat kallistuneet huomattavasti, tyypillisesti yli kaksinkertaiseksi. Esimerkiksi kevyen polttoöljyn hinta on noussut vuoden 2000 43,52 €/MWh:sta (43,5 senttiä/litra) vuoden 2011 hintaan 106,65 €/MWh eli 145 %. Suuren osan hinnan noususta selittää raakaöljyn kallistuminen, mutta myös kevyen polttoöljyn verotus on noussut samalla aikavälillä 6,75 €/MWh:sta tasolle 16,18 €/MWh. Samaan aikaan kuluttajahinnat ovat nousseet vain 20,7 %.



Kuva 1.1 Energian hintojen kehitys 2000-luvulla.

* Tyyppikäyttäjä M2 (Maatilatalous, karjatalous, huonekohtainen sähkölämmitys, pääsulake 3x35 A, sähkön käyttö 35 000 kWh/v.) Hinnat sisältävät sähköenergian, siirtomaksun ja verot.

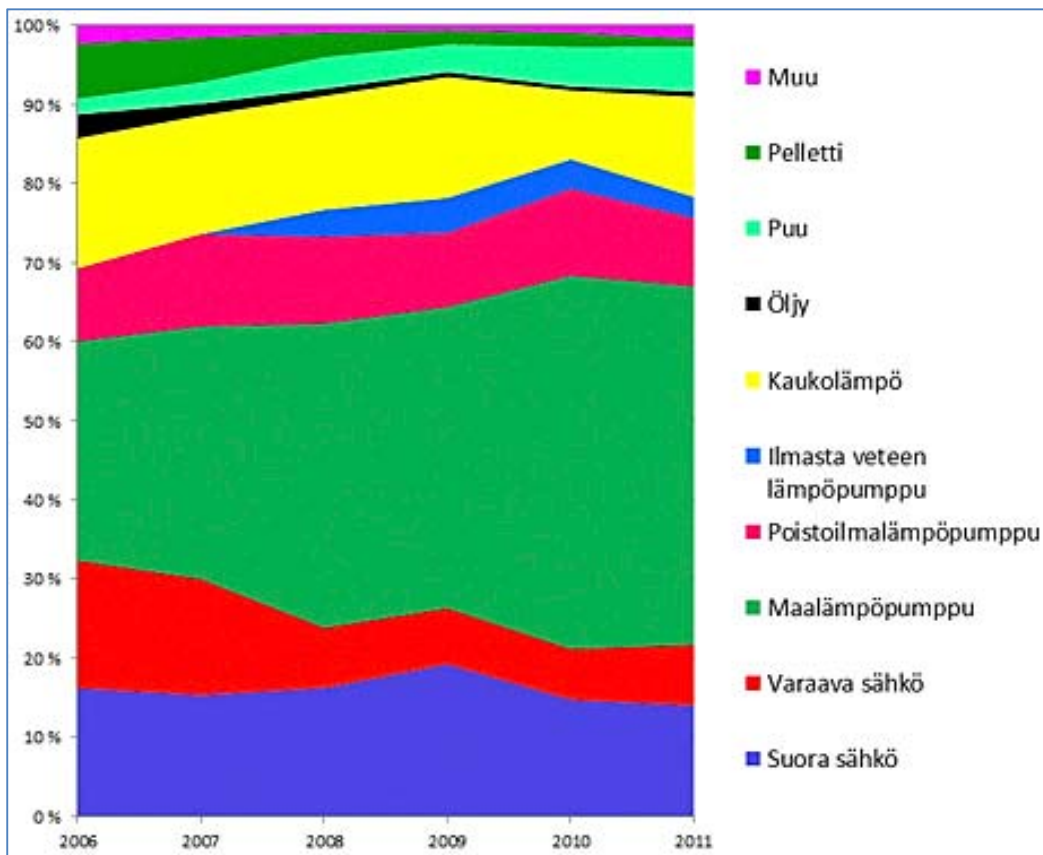
** Nordpool Suomen alueen Spot-systeemihinta

Tyyppikuluttaja M2:n (Maatilatalous, karjatalous, huonekohtainen sähkölämmitys, pääsulake 3x35 A, sähkön käyttö 35 000 kWh/a) sähkön hinta on samalla aikavälillä noussut 94 % (65,16 €/MWh:sta 126,45 €/MWh:oon), ja verotus nousi samalla aikavälillä 7,03 €/MWh:sta (0,703 senttiä/kWh) 17,03 €/MWh:oon (1,703 senttiä/kWh).

Energian jyrkästi noussut hinta muodostaa suuren osan kotitalouksien ja erityisesti maatalojen kustannuksista. Erityisesti kalliiksi käy fossiilisen polttoaineen, kuten kevyen polttoöljyn, ja sähkön käyttö lämmitykseen, kuten kuvasta 1.1 on nähtävissä. Uusiutuvien energialähteiden käyttö tarjoaa mahdollisuuden käyttää tilalta luontaisesti saatavia energialähteitä, kuten polttopuuta tai muuta biomassaa, aurinkoa ja tuulta lämmitykseen ja sähkön tuotantoon. Puuperäiset polttoaineet ovat huomattavasti edullisempia polttoöljyyn tai sähköön verrattuna ja tarjoavat siksi selkeän säästöpotentiaalín lämmitysjärjestelmien vaatimista suuremmista investoinneista huolimatta. Lähitulevaisuudessa energiamuotojen

hintaeron voidaan olettaa yhä kasvavan kahdesta syystä. Ensinnäkin fossiilisten polttoaineiden hinta tulee nousemaan maailman rajallisten varantojen, erityisesti helposti hyödynnettävien varantojen, ehtyessä. Toiseksi länsimaiset hallitukset ohjaavat verotus- ja tukipolitiikallaan uusiutuvien energialähteiden käyttöön ja energian säästöön kiristämällä erityisesti fossiilisten polttoaineiden ja myös sähkön verotusta.

Uusiutuvien energialähteiden käyttö lisää myös energiaomavaraisuutta esimerkiksi viime vuosina yhä pidemmiksi käyneiden lähinnä myrskyjen aiheuttamien sähkökatkojen aikana.



Kuva 1.2 Lämmitysjärjestelmien markkinaosuus uusissa pientaloissa 2006–2011. (Lähde Pientalorakentamisen kehittämiskeskus ry, PRKK)

Uusissa pientaloissa maalämpö onkin suosituin lämmitysmuoto ja myös ilma-vesi-lämpöpumppu on lisännyt suosiotaan viime vuosina, kuten kuvasta 6.1 on nähtävissä. Lämpöpumput ovatkin saavuttaneet noin 55 % markkinaosuuden kun taas sähkölämmityksen osuus on hitaasti vähenemässä. Puulämmityksen osuus on pysynyt

hieman alle 10 % tasolla viime vuosina ja myös kaukolämmön suosio on ollut lähes vakio noin 13 % osuudella.

Maaseudulla puulämmityksen osuus on huomattavasti suurempi, Työtehoseuran tilastojen mukaan vuonna 2002 68 % maataloista käytti puuta päälämmönlähteenä [1]. Tämä onkin luontevaa, koska polttopuuta on saatavissa omasta metsästä ja myös lämmitysenergian määrä on usein suurempi kuin taajamien pientaloissa.

Tutkielman kokeellisessa osassa valittuihin kolmeen maatilakohteeseen suunniteltiin konseptitasolla uusiutuvia energialähteitä käyttävä hybridilämmitysjärjestelmä. Tutkimuskysymykseksi asetettiin ”Uusiutuvien energiaa käyttävien järjestelmien taloudellinen ja tekninen soveltuvuus kolmessa keskisuomalaisessa maatilakohteessa”. Uusiutuvaa energiaa hyödyntäviä lämmitys- ja myös sähköntuotantojärjestelmiä on markkinoilla jo paljon, joten teknisesti toimivan järjestelmän valita ja suunnittelu ei tuota ongelmia. Taloudellinen järkevyys on jo toinen asia, järjestelmien täytyy olla investointina taloudellisesti perusteltavissa järjestelmän käyttöiän, tyypillisesti 20–30 vuoden, aikana. Erityisesti uusiutuviin energianlähteisiin perustuvat sähköntuotantojärjestelmät, kuten aurinkopaneelit ja pientuuliturbiinit, ovat tähän asti olleet investointina pääsääntöisesti kannattamattomia jos verkkosähköä on saatavilla.

Euroopan unioni ja Suomen valtio kannustavat uusiutuvien energianlähteiden enenevään käyttöön. EU on sopinut yhteisestä, kaikkia jäsenmaita koskevasta veloitteesta vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä vuoteen 2020 mennessä 20 prosentilla vuoteen 1990 verrattuna ja siksi EU:n tavoitteena onkin lisätä uusiutuvien energialähteiden osuus keskimäärin 20 prosenttiin EU:n energian loppukulutuksesta. Lisäksi energiatehokkuutta lisätään keskimäärin 20 prosentilla perusuran mukaiseen kehitykseen verrattuna vuoteen 2020 mennessä. Liikenteen biopolttoaineiden osuus pyritään nostamaan 10 prosenttiin [2].

Edellä mainittujen tavoitteiden toteutuminen vaatii myös yksittäisten kuluttajien siirtymistä uusiutuvien energialähteiden käyttäjiksi, mutta tällöin siirtymisen tulee olla myös kuluttajan kannalta taloudellisesti houkuttelevaa. Tähän EU ja yksittäiset valtiot voivat vaikuttaa esimerkiksi investointi- ja muiden tukien avulla ja veropolitiikan keinoin.

2. Uusiutuvaa energiaa hyödyntävät lämmitysjärjestelmät

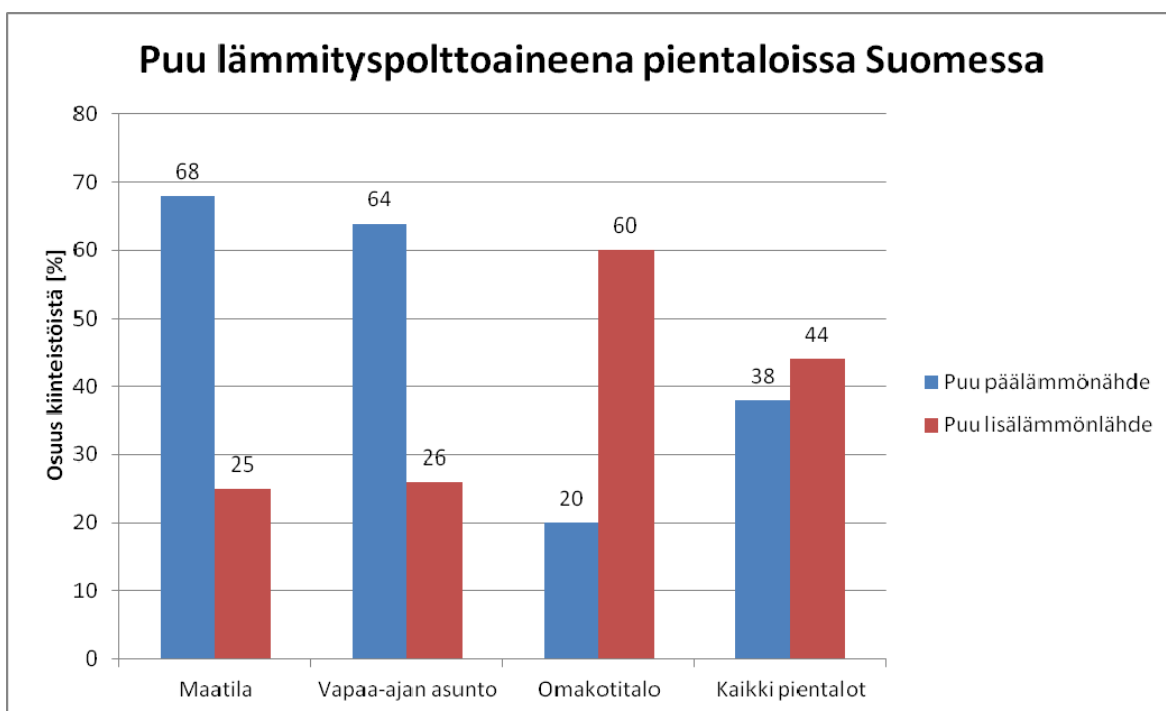
Tässä tutkielmassa käsiteltävät uusiutuvaa energiaa käyttävät lämmitysjärjestelmät ovat biopolttoainekattilat (erityisesti pelletti- sekä hake, pilke ja halkokattilat), maalämpöpumput, ilmalämpöpumput, pientuuliturbiinit ja biokaasureaktori ja aurinkolämmitysjärjestelmät. Lisäksi esitellään lyhyesti aurinkosähköjärjestelmät.

Käsiteltävät energiantuotantomuodot valittiin siksi, että ne ovat yleisesti ja jotkut hyvin laajaltikin käytössä Suomessa. Niihin liittyvä tekniikka on jo koetellusti toimivaa ja erilaisia kaupallisia ratkaisuja on saatavana paljon.

2.1 Biopolttoainekattilat

Aina 1960-luvulle asti puu oli Suomessa pääasiallinen lämmitysenergian lähde, ja viime vuosina sen suosio on fossiilisten polttoaineiden ja sähkön hinnan noustessa on taas lisääntynyt. Kuva 2.1 esittää puun osuuden lämmityspolttoaineena pientaloissa vuonna 2002 [1], ja merkille pantavaa on, että maataloilla ja vapaa-ajan asunnoissa puun osuus on yli 60 % päälämmönlähteenä ja että puu on hyvin merkittävässä roolissa lisälämmönlähteenä omakotitaloissa. Noin 80 %:iin uusista omakotitaloista tulee nykyään vähintään yksi varaava takka tai muu tulisija.

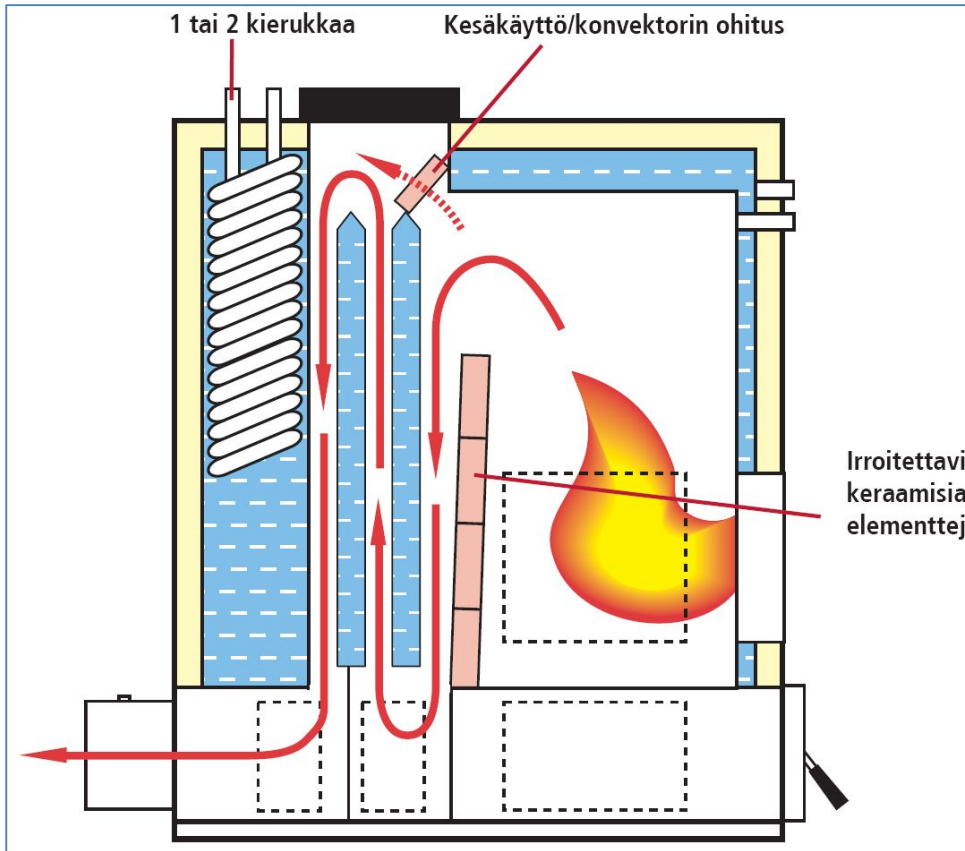
Puupolttoainetta käytettiin energiantuotantoon vuonna 2010 lämpö- ja voimalaitoksissa kaikkiaan noin 16 miljoonaa kiintokuutiometriä, josta suurin osa oli metsähaketta (6,2 miljoonaa m³) ja kuorta (6,6 miljoonaa m³). Pientalot (mm. omakotitalot ja maatilat) käyttivät puupolttoainetta yhteensä noin 6,7 miljoonaa kiintokuutiometriä. Pientalojen polttopuusta raakapuuta oli 4,7 miljoonaa m³ ja jätepuuta 1,3 miljoonaa m³ metsähakkeen osuuden ollessa 0,7 miljoonaa m³. Raakapuulla tarkoitetaan joko kotimaista tai ulkomailta tuotua, metsästä hakattua teollisesti käsittelemätöntä runkopuuta [3].



Kuva 2.1 Puulämmityksen osuus pientaloista vuonna 2002.

Kodin tulisijat ja pienpolttokattilat perustuvat arinapolttoon. Arina on säleikkö, jonka päällä on polttoaine ja jonka läpi pääsee palamisilmaa. Suuluukullisissa tulisijoissa arina on lähes välttämätön. Arinan avulla varmistetaan puiden tehokas ja tasainen palaminen. Modernien pienkattiloiden ja varaavien takkojen hyötysuhde on jopa yli 80 %.

Kiinteiden biopolttoaineiden polttoon tarkoitettujen pienkattiloiden rakenne on hyvin samantyyppinen, ainoastaan polttoaineen syöttöjärjestelmässä ja polttimen (arina tai palopää) rakenteessa on eroja. Kuvassa 2.2 näkyy poikkileikkaus tyypillisestä biokattilasta.



Kuva 2.2 Arimax 300 –biokattilan poikkileikkaus.

Pientaloissa ja erityisesti maataloilla käytetäänkin kiinteitä polttoaineita polttavia kattiloita laajalti lämmitykseen. Polttopuu ja hake on usein mahdollista hankkia omasta metsästä, mikä vähentää kustannuksia ja lisää energiaomavaraisuutta. Pelletti tai briketit on ostettava ulkoa, mutta nekin ovat kotimaisia uusiutuvia polttoaineita ja hinnaltaan kilpailukykyisiä erityisesti verrattuna polttoöljyyn tai sähköön.

Maatilojen keskuslämmityskattiloina kiinteitä biopolttoaineita poltettaessa käytetäänkin tyypillisesti näille polttoaineille hyvin soveltuvia hake- pelletti tai pilke- ja halkokattiloita. Hake- ja pellettikattiloiden polttoainesyöttö on lähes poikkeuksetta automaattinen, mutta klapikattila täytetään käsin. Yleensä keskuslämmityskattilan teho on noin 15–500 kW kohteesta riippuen. Omakotitalossa lämmitysteho on noin 15–25 kW, maatilalla 25–150 kW ja kiinteistöissä 200–400 kW.

Voimalaitoskokoluokassa 10–500 MW käytetään lähinnä leijupetikattiloita, mutta myös arinakattiloita käytetään suuremmissa voimalaitoksissa ja jätteenpolttolaitoksissa, jopa 80

MW tehoon asti [1]. Yli 10 MW teholuokassa leijupetikattilat ovat kuitenkin hallitsevia. Voimalaitoksissa ja prosessiteollisuudessa poltetaan puun lisäksi paljon myös esim. turvetta, hakkujätteitä, kuorta ja mustalipeää.

Lämpökeskuksen paloturvallisuuteen tulee luonnollisesti kiinnittää huomiota. Jos lämpökeskus rakennetaan erillisenä, ja sijaitsee vähintään 8 m etäisyydellä muista rakennuksista, riittää P3-paloluokan eli paloa hidastavan vaatimusten täyttäminen. Jos lämpökeskus taas sijaitsee osana muuta rakennusta tai on alle 8 m etäisyydellä muusta rakennuksesta, se tulee muodostaa omaksi palo-osastokseen [4]. Tällainen palo-osasto tulee rakentaa palamattomista rakennustarvikkeista vähintään tunnin paloa kestäväksi. Lisäksi on tärkeää erottaa hake- tai pellettisiilo eri huoneeseen varsinaisesta kattilasta, samassa tilassa saa olla korkeintaan 0,5 m³:n hakesiilo.

Kiinteitä biopolttoaineita, erityisesti haketta ja pellettejä, poltettaessa vaarana ovat puupöly ja mahdollisesti muodostuva häkäkaasu, jotka voi leimahtaa tai jopa räjähtää. Lisäksi tuli voi siirtyä polttoaineen syöttöruuvia pitkin esim. hakesiiloon, jolloin puhutaan nk. takatulesta. Takatulen estämiseen käytetään mm. sulkusyötintä, hakkeen välipudotusta ruuvilta toiselle, välillä sulkeutuvaa heiluripeltiä, vesiventtiilejä, hakekuilujen sprinklerilaitteita ja ilmatiiviitä hakesäiliöitä. Lisäksi käytetään erityisiä takatuliantureita, jotka laukaisevat tarvittaessa sammutusjärjestelmän.

2.1.1 Pellettikattilat

Pelletti on puujalostuksen sivutuotteista, kuten kutterista, sahanpurusta ja hiontapölystä, puristamalla valmistettu kapselimainen polttoaine. Tonni pellettiä vastaa lämpöarvoltaan noin 1,5 tonnia puuta tai 500 litraa polttoöljyä, joten pelletin energiatiheys on hyvä, noin 3 MWh/m³, verrattuna esim. hakkeeseen (n. 0,8 MWh/m³). Suuri energiatiheys johtuu tiiviistä rakenteesta, pienestä tuhkapitoisuudesta ja alhaisesta kosteudesta, 8–10 %. Pelletin hinta on tällä hetkellä noin 5,5 c/kWh eli noin puolet sähkön tai polttoöljyn hinnasta. Pellettikattilat ovat ulkonäöltään nykyään melko siroja, kuten kuvasta 2.4 on nähtävissä. Pellettipolttimen rakenne on esitetty kuvassa 2.5.



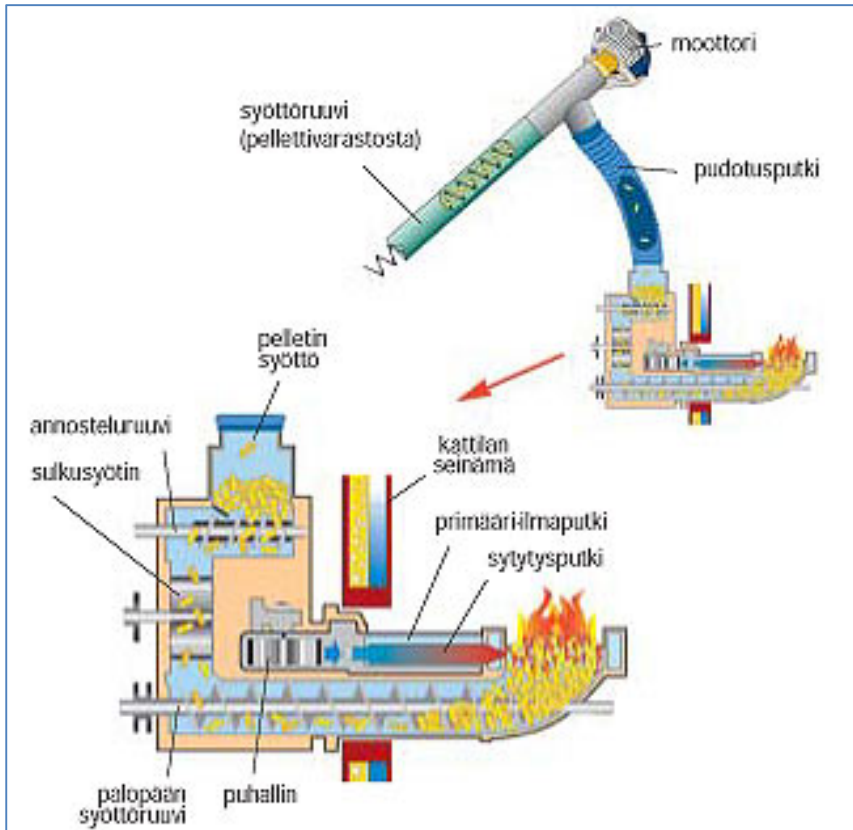
Kuva 2.3 Puupellettejä.

Pellettikattilan polttoainesyöttö ja polttimen toiminta on automatisoitu. Pellettikattila vaatii kuitenkin tuhkan poiston ja nuohouksen noin kuukauden välein. Tyypillinen omakotitalo kuluttaa pellettejä lämmitykseen vuodessa noin 6 000 kg, joka vaatii noin 10 m³:n varastosiilon. Pellettilämmitysjärjestelmän hinta asennettuna on automaatioasteesta ja varustetasosta riippuen noin 10 000–25 000 euroa. Pellettejä voi polttaa myös tavallisessa takassa käyttämällä erityistä tulisijapoltinta.



Kuva 2.4 Ariterm Biomatic + -pellettikattila.

Pelletin tuotanto oli suurimmillaan Suomessa n. 370 000 tonnia vuonna 2008, josta se on laskenut noin 295 000 tonniin vuonna 2010. Vapo Oy onkin sulkenut muutamia pellettituotantolaitoksiaan viime aikoina pienentyneen kysynnän vuoksi. Erityisesti vienti laski merkittävästi vuoden 2008 230 000 tonnista vuoden 2009 135 000 tonniin. Yli puolet pellettituotannostamme on mennyt vientiin, lähinnä Ruotsiin, jossa pellettien kulutus oli lähes 2 miljoonaa tonnia vuonna 2009. Pellettienergiayhdistyksen arvion mukaan noin 23 000 pientalossa oli pellettilämmitys vuonna 2010.



Kuva 2.5 Pellettikattilan poltin.

2.1.2 Hakekattilat

Hake tehdään rankapuusta tai hakkuutähteistä hakettimella. Myös sahaaaketta tai kantohaketta käytetään, erityisesti suuremmissa lämpölaitoksissa.

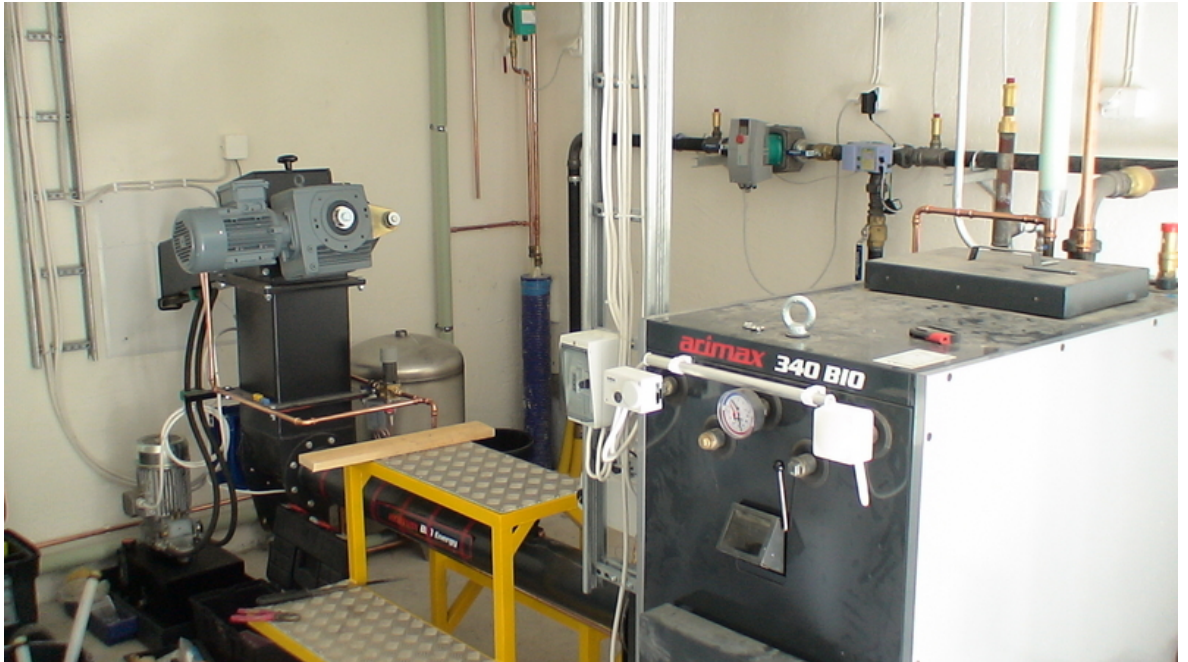
Hakekattila muistuttaa rakenteeltaan ja toiminnaltaan pellettikattilaa, eli termostaatti ohjaa hakkeen syöttöruuvia lämmöntarpeen mukaan. Hake vaatii tosin rakenteensa, suuremman kosteutensa ja pienemmän lämpöarvonsa vuoksi järeämmät siirtolaiteet sekä suuremman polttoainevaraston ja kattilan tulipesän. Hakekattilat eivät yleensä tarvitse välttämättä erillistä varaajaa, vaan lämmin käyttövesi voidaan lämmitellä ja säilyttää kattilassa. Tämä vaatii riittävän kattilavesitilavuuden, noin 300 litraa 60 kW:n teholuokan kattilassa. Tällöin järjestelmätilavuus eli kattilassa, vesiputkistossa ja patterissa olevan veden tilavuus on riittävän suuri varaamaan riittävästi lämpöä ja estämään liialliset lämpötilavaihtelut. Lämmin käyttövesi lämmitetään levy- tai kierukkalämmönvaihtimessa kattilan sisällä.

Varaajan asentaminen on toki mahdollista ja suositeltavaa jos kattilan käyttö on pätittäistä tai hetkelliset kulutushuiput ovat suuria.

Hakesäiliö varustetaan yleensä pohjapurkaimella syötön tukkiintumisen estämiseksi. Haketta, hakekattila ja hakesiilo kuljetinruuveineen on esitetty kuvissa 2.6, 2.7 ja 2.8.



Kuva 2.6 Puuhaketta.



Kuva 2.7 Hakekattila laitteineen.



Kuva 2.8 Hakesiilo, jonka pohjalla kuljetinruuvi.

Hakkeen polttoon käytetään yleensä nk. stokeripoltinta, joka muodostuu erillisestä varastosäiliöstä, ruuvisiirtimestä ja polttimesta. Ruuvisyötteistä menetelmää kutsutaan stokeriksi. Ruuvisyöttöä käytettiin alun perin höyryvetureissa, joissa polttoaine siirrettiin

hiilivaunuista ruuvilla tulipesään (engl. ”stock”, varasto). Nykyisellään stokeripolttimeksi kutsutaan siis kokonaisuutta, jossa on ruuvi, polttoainesäiliö ja poltinosa.

Hakekattilan vaatii jonkin verran enemmän nuohousta ja huoltoa pellettikattilaan verrattuna hakkeen suuremman tuhkapitoisuuden vuoksi. Myös polttoaineen tilantarve on suurempi hakkeen pienemmän lämpöarvon vuoksi (n. 850 kWh/i-m³, pelletillä n. 3 000 kWh/m³). Hakkeen kosteus on myös suurempi, usein 40 % luokkaa [4]. Keskikokoisen omakotitalon vuosikulutus on siis 40–50 i-m³. Hakkeen hinta toimitettuna on luokkaa 15 €/i-m³ eli noin 20 €/MWh. Hake on siis selkeästi edullisempaa kuin pelletti, joka maksaa noin 55 €/MWh. Hakelämmitysjärjestelmät ovat hinnaltaan järeämmästä rakenteestaan johtuen jonkin verran kalliimpia kuin pellettilämmitysjärjestelmät, hinnat lähtevät noin 12 000 eurosta.

Metsähaketta käytettiin lämpö- ja voimalaitoksissa 6,2 miljoonaa irtokuutiometriä vuonna 2010. Pientaloissa hakkeen kulutus oli 0,7 miljoonaa irtokuutiometriä.

2.1.3 Pilke- ja halkokattilat

Halkoja ja pilkkeitä poltettaessa polttoaineen automaattinen syöttö on pienkattiloissa käytännössä liian haastavaa ja kallista toteuttaa. Siksi lämmitys tapahtuukin panospolttona yhden puutäytön palaessa noin 1–3 tuntia. Tästä syystä myös melko suuri varaaja, luokkaa 2 000–3 000 litraa, on välttämätön.

Puulla lämmitettävät kattilat jaetaan polttoteknisesti ns. alapaloiisiin ja yläpaloiisiin kattiloihin. Lämmöntuotto on alapalokattiloilla tehokkainta ja taloudellisinta. Alapalokattilassa palaminen tapahtuu nimensä mukaisesti kattilan tai puupinon alaosassa. Polttoaine on säiliössä, jonka pohjan muodostaa arina. Polttoilmaa imetään savupiipun tai savukaasupuhaltimen avulla arinan ja kaasun palotilassa olevien sekundäärisuuttimien läpi. Alapalokattilan etuja ovat mm. suuri varastopesä, yhden täytön pitkä palo aika (3–3,5 h), vähäinen lämmitystyön tarve, puhdas palaminen ja pienten savukaasuhäviöiden myötä hyvä hyötysuhde [5].

Yläpalokattilassa palaminen tapahtuu polttoainekasan päällä. Yläpalokattilaa voisi luonnehtia helpoksi jokamiehen puukattilaksi jonka etuja ovat pienemmät rakennemitat, helppokäyttöisyys, ja kattilan sopivuus täydentämään esim. varaavaa sähkölämmitystä.

Lisäksi on kehitetty nk. käänteispalokattila, jota voidaan pitää alapalokattilan parannuksena. Käänteispalokattilassa puupolttoaine makaa varastosäiliössään arinan päällä ja kaasut vedetään arinan läpi alakautta. Palamista tapahtuu kasan pohjalla. Arinan alla on vapaa tila, jossa pyrolyysikaasut poltetaan sekundääri-ilmalla. Käänteispalokattila etuina voidaan pitää helppoa käytettävyyttä (kaikki luukut sijoitettu eteen), puhdasta palamista ja korkeaa hyötysuhdetta. Kalliin hintansa vuoksi käänteispalokattila ei ole kovin yleinen Suomessa, mutta Keski-Euroopassa käänteispalokattila on yleinen.

Kuvassa 2.9 on markkinajohtaja Aritermin valmistama alapalokattila puun polttoon, teholtaan 40 kW. Kattilahyötysuhde on melko korkea, 90,7 %. Samaa kattilaa on mahdollista käyttää myös pelletti- tai öljylämmityksessä lisävarusteiden avulla. Puukattilajärjestelmä on investointina jonkin verran edullisempi pelletti- tai hakelämmitysjärjestelmään verrattuna. Kattila ja 2 000–3 000 litran varaaja maksaa noin 6 000–8 000 euroa.



Kuva 2.9 Arterm 35+ alapolttoinen puukattila.

Puun lämpöarvo on kuivana (kosteuspitoisuus 20 %) noin 4 kWh/kg kaikilla kotimaisilla puulajeilla. Lämpöarvo tilavuusyksikköä kohti on tunnetusti suurin koivulla, noin 1 700 kWh pinokuutiometriä kohti kun lämpöarvo on männyllä 1 360 kWh/p-m³, kuusella 1 320 kWh/p-m³, lepällä 1 230 kWh/p-m³ ja haavalla 1 330 kWh/p-m³. Yksi kiintokuutiometri vastaa noin 1,5 pinokuutiometriä tai 2,5 irtokuutiometriä. Tyypillisen pientalon puun kulutus on noin 20 p-m³ vuodessa.

Vuonna 2010 Suomessa käytettiin pientaloissa raaka- ja jätetuuta polttopuuna kuusi miljoonaa kiintokuutiometriä [3].

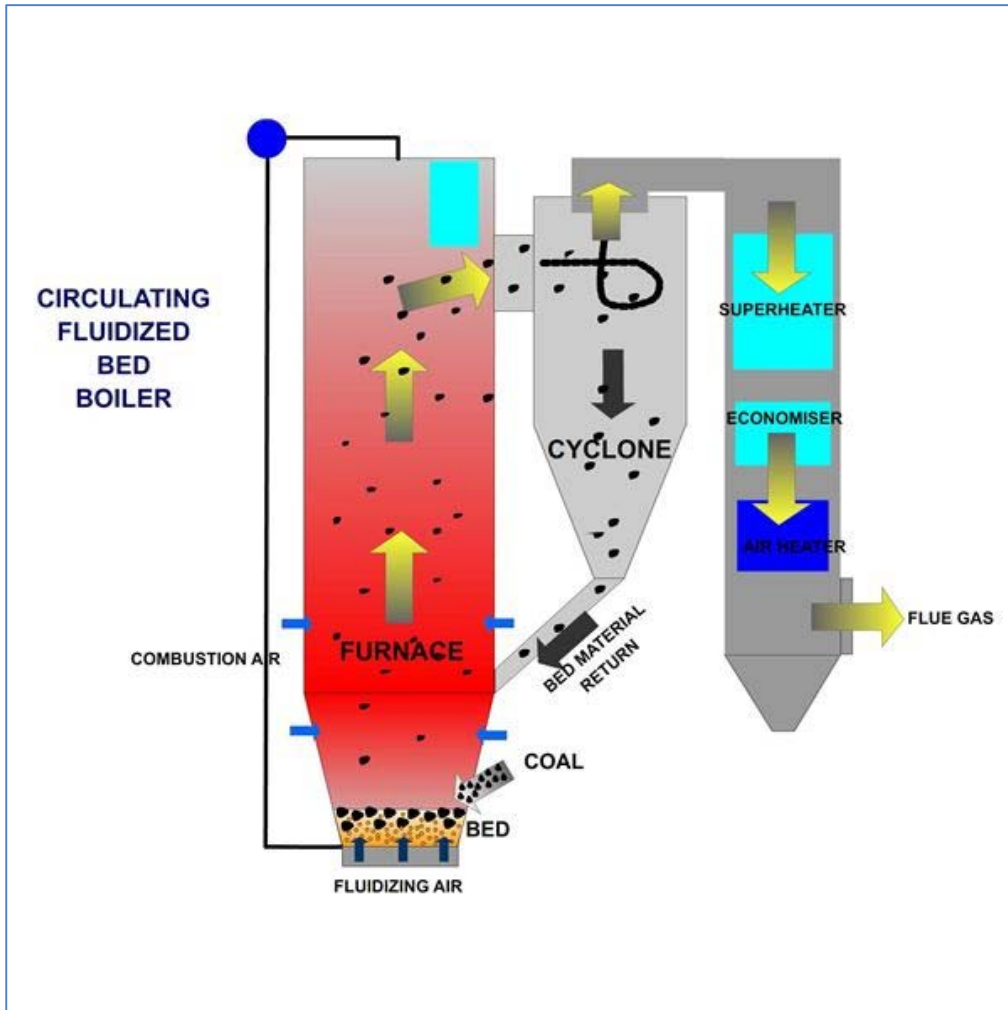
2.1.4 Leijupetikattilat

Voimalaitoskokoluokassa (10–500 MW) hallitseva polttotekniikka on leijupoltto. Leijupolttoa on käytetty kemianteollisuudessa jo 1920-luvulta. Ensimmäisiä sovelluksia käytettiin öljyn krakkaukseen ja hiilen kaasutukseen. Suomessa leijukerrostekniikkaa kehitettiin 1960-luvun lopussa kaasutukseen ja kaasunkehitykseen. Kattilatekniikkaan leijupolttoa alettiin kehittää 1970-luvulla ja kaupalliseksi tuotteeksi se saatiin 1970-luvun loppupuolella [6]. Suomi onkin johtavia leijupetikattiloiden valmistajia.

Leijupoltossa polttoaine syötetään kuuman leijutushiekan eli leijupedin sekaan, jossa aineen- ja lämmönsiirto on tehokasta. Palamisilma syötetään kattilan pohjalla olevien suuttimien kautta leijupetiin, joka kuplii kuin kiehuva vesi (kerrosleiju eli kupliva leijupetikattila, engl. Bubbling Fluidized Bed Boiler BFB). Kiertoleijukattilassa (engl. Circulating Fluidized Bed Boiler CFB) ilmaa puhalletaan niin voimakkaasti, että leijuhiekka nousee tulipesän yläosaan, erotetaan syklonissa ja palautetaan takaisin kattilan alaosaan. Kuvissa 2.10 ja 2.11 on esitetty kiertoleijupetikattila ja sen toimintaperiaate.

Leijupoltto soveltuu erityisen hyvin huonolaatuiselle polttoaineelle. Menetelmän etuina voidaan pitää mahdollisuutta käyttää erilaisia ja myös märkiä polttoaineita, halpaa rikinpoistoa ja vähäisiä typpioksidien ja palamattomien hiilivetyjen päästöjä. Rikinpoisto on tehokkaampaa kiertoleiju-petikattiloissa [1].

Tekniikka ei vaadi juurikaan polttoaineen esikäsitelyä. Myös polttoaineen nopeat ja suuretkin laatuvahtelut ovat mahdollisia. Haittana voidaan pitää melko suurta omakäyttötehon tarvetta leijun vaatiman paineilman vuoksi [6].



Kuva 2.10 Kiertoleijupetikattilan toimintaperiaate.



Kuva 2.11 Kiertoleijupetikattila.

2.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöjärjestelmissä käytetään hyväksi maaperään tai vesimassaan varastoitunutta lämpö-energiaa, joka on peräisin auringosta ja osin myös maan sisällä tapahtuvasta radioaktiivisten yhdisteiden hajoamisesta tulevasta geotermisestä energiasta. Lämpö kerätään lämmön-keruupiirillä, joka on pintamaahan, peruskallioon tai veteen sijoitettu putkisto, jonka sisällä kiertävää nestettä ympäröivä maaperä lämmittää. Nesteenä putkistossa käytetään etanolia tai jotain muuta nestettä, joka ei jäädy vielä -15 celsiusasteessa. Kiertäessään putkistossa neste kerää lämpöenergiaa ympäröivästä maaineksestä tai vedestä. Lämmönkeruupiiri mahdollistaa myös jäähdytyksen kesäaikaan. Jäähdytys toteutetaan joko johtamalla keruupiirin neste ilmanvaihtoon kytkettyyn

jäähdytyspatteriin tai jäähdyttämällä erillisellä lämmönvaihtimella lattialämmityspiirissä kiertävää vettä [7].

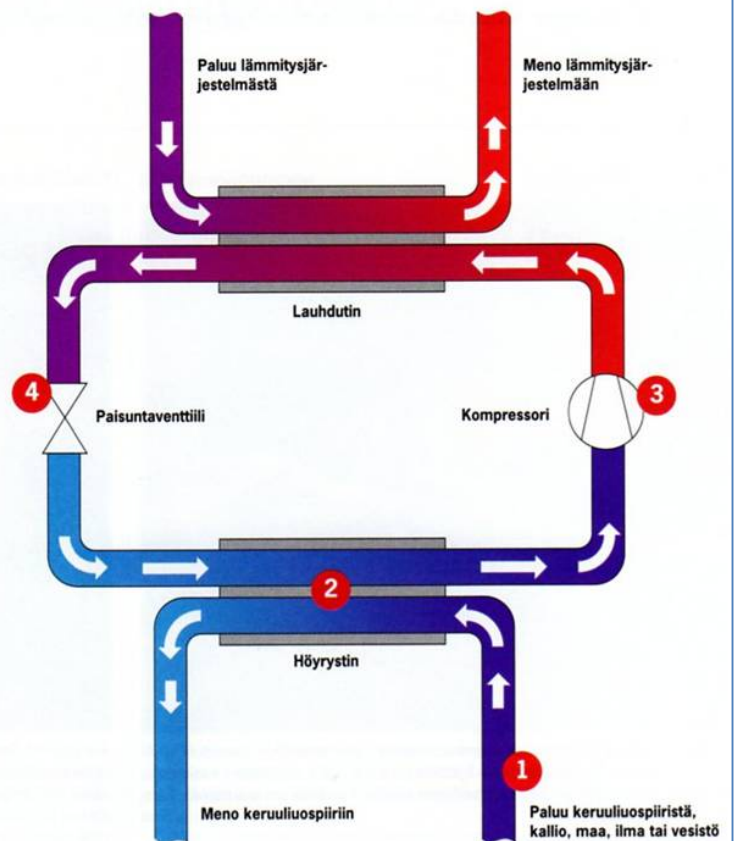
Lämmönkeruupiiri asennetaan joko pystysuoraan lämpökaivoon kallioperään, vaakasuoraan maaperään tai vesistön pohjaan. Pystysuoraan porattu lämpökaivo on yleinen ratkaisu nykyään huolimatta suuremmista investointikustannuksista. Etuina ovat pieni pinta-alan tarve ja vähäisempi tarvittava putken pituus sekä helppo ilmattavuus. Ilmauksessa poistetaan putkistosta kaasukuplat, jotka heikentävät lämmönsiirtoa maasta keruunesteeseen sekä hidastavat ja vaikeuttavat keruunesteen virtausta ja pumppausta.

Vaakasuora asennus maaperään sopii suurille tonteille ja lähes kaikille maalajeille soraharjuja lukuun ottamatta. Vesistön pohjaan asennettava putkisto vaatii rannan joka syvenee nopeasti vähintään pariin kolmeen metriin. Putket kiinnitetään pohjaan vähintään kolmen metrin syvyyteen. Vesistö voi olla meri, järvi tai lampi, muttei mielellään virtaava joki. Hankkeelle on saatava vesialueen omistajan lupa

Maalämpöpumpun toimintaperiaate on kuvattu kuvassa 2.12.

Näin lämpöpumppu toimii

1. Lämmönkeruuneste^{*} kiertää keruuputkistossa ja kerää lämpöenergiaa kalliosta, maaperästä, ilmasta tai vedestä.
2. Lämmönvaihtimessa (höyrystin) haalea lämmönkeruuneste kohtaa lämpöpumpun jääkylmän kylmäaineen, jonka lämpötila nousee muutama asteen, jolloin se höyrystyy.
3. Tämän jälkeen kompressorin puristaa höyrystyneen kaasun korkeaan paineeseen, jolloin se lämpenee ja lämpö johdetaan lämmönvaihtimen (lauhdutin) kautta talon lämmitysjärjestelmään.
4. Kylmäaineen^{**} kierto jatkuu ja paisuntaventtiilissä sen paine laskee ja kylmäaine tulee jälleen jääkylmäksi. Tästä prosessi alkaa uudelleen kun jääkylmä kylmäaine kohtaa haalean lämmönkeruunesteen.



Kuva 2.12 Maalämpöpumpun toimintaperiaate [8].

Lämpöpumpussa käytetään hyväksi faasinmuutoksissa varastoituvaa ja vapautuvaa energiaa, höyrystimessä suhteellisen matalalämpötilainen lämmönkeruuneste lämmittää kylmäainetta, joka höyrystyy ja sitoo siten paljon lämpöenergiaa, jonka taas luovuttaa lauhduttimessa lämmitysjärjestelmään nesteytyessään.

Maalämpöpumppu lämmittää perinteisesti varaajaa, jolla lämmitetään joko huoneistoa tai käyttövetä. Lämpö jaetaan huoneistoon yleensä alhaisia lämpötiloja käyttävillä lämmönjakojärjestelmillä kuten vesikiertoisella lattialämmityksellä tai ilmalämmityksellä. Tällöin maalämpöpumpun hyötysuhde on parhaimmillaan. Myös radiaattori- eli

lämpöpatterien käyttö on mahdollista, mutta tällöin kiertovesi täytyy lämmitellä tyypillisesti 50 °C:een ja korkeimmillaan jopa 80 °C asti.

Maalämpöpumpun lämpökerroin eli COP (Coefficient of Performance) vaihtelee noin 2,5 ja 4 välillä, tyypillisen arvon ollessa noin 3. Lämpökerroin kertoo kuinka paljon lämpöenergiaa saadaan laiteen käyttämää sähköenergiämäärää kohti. Lämpökerroin on koko vuoden ajan tarkasteltuna parempi kuin ilmalämpöpumpuilla, koska hyödynnettävän maaperän tai vesistön lämpötila on lähes vakio ja korkeampi kuin ilman lämpötila keskimäärin lämmityskaudella. Maalämpöjärjestelmä on investointina melko kallis verrattuna muihin lämmitysjärjestelmiin, noin 12 000 - 25 000 €, mutta säästöä tulee edullisina lämmityskustannuksina erityisesti suurissa taloissa. Maalämpöpumppu soveltuukin hyvin maataloille, koska lämmitysenergian tarve on suurempi kuin keskivertopientaloissa. Kuvassa 2.13 on esimerkki maalämpöjärjestelmästä.

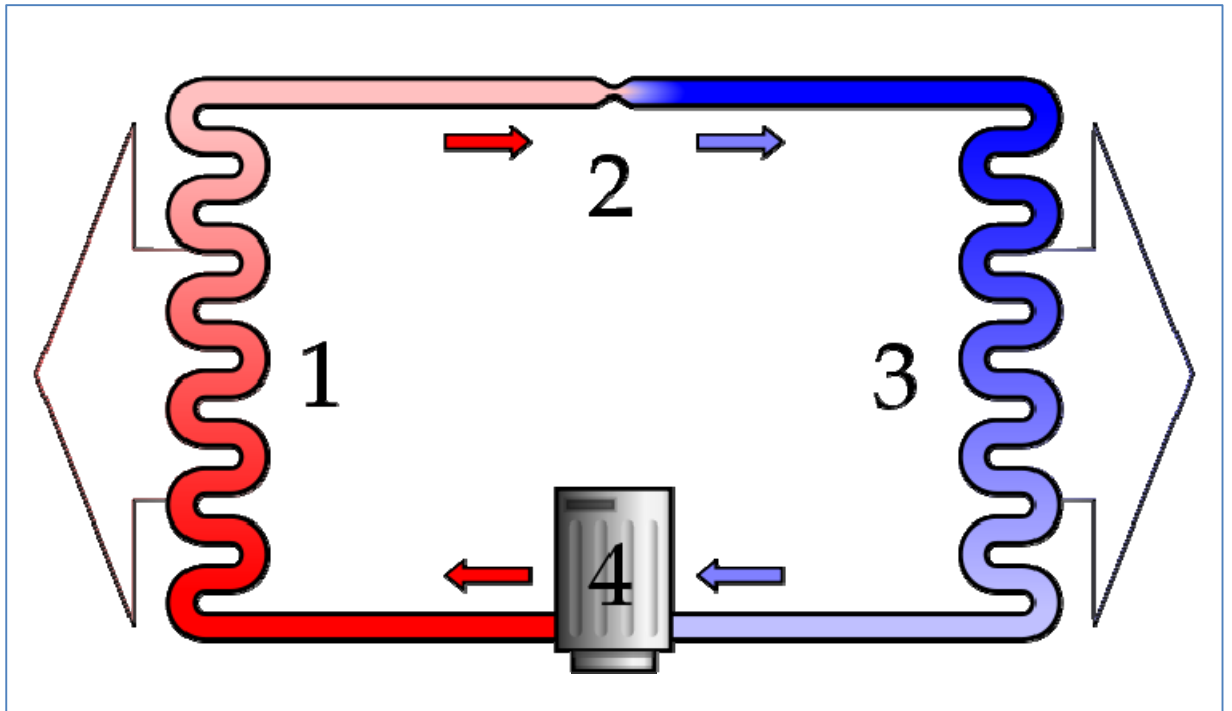
Maalämpö on nykyään suosituin lämmitysmuoto uusissa pientaloissa, noin 46 % rakentajista valitsi maalämpöjärjestelmän vuonna 2010 [9]. Vuonna 2010 maalämpöpumppuja asennettiin 8 091 ja kaikkiaan maalämpöjärjestelmiä on maassamme käytössä noin 75 000. Maalämmön, ja lämpöpumppujen yleisemminkin, suosiota selittää helppokäyttöisyys ja edulliset käyttökustannukset investoinnin jälkeen. Nämä ovat myös suurimmat syyt lämpöpumppujen voittokululle esimerkiksi pellettilämmitysjärjestelmään verrattuna.



Kuva 2.13 Esimerkki maalämpöjärjestelmästä.

2.3 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu toimii samalla periaatteella kuin maalämpöpumppukin sillä erotuksella että lämpö otetaan maaperässä kiertävän lämmönkeruunesteen sijaan suoraan ulkoilmasta. Rakenne on siis huomattavasti yksinkertaisempi ja siis edullisempi, mutta talvella lämmitystarpeen ollessa suurimmillaan ulkoilma on kylmää, lämpökerroin pienenee ja saatava lämpöenergia käytettyä sähköenergiaa kohti pienenee. Siksi ilmalämpöpumppu ei sovellukaan ainoaksi lämmitysmuodoksi. Lämpöpumpun toimintaperiaate selviää kuvasta 2.14.



Kuva 2.14 Lämpöpumpun toimintaperiaate. 1. Sisäyksikön lauhdutin. 2. Paisuntaventtiili. 3. Ulkoyksikön höyrystin. 4. Kompressori. Värit kuvaavat lämpötilaa (tummansininen kylmin, tummanpunainen lämpimin).

Ilmalämpöpumpussa ja tai yleisemminkin lämpöpumpussa hyödynnetään faasinmuutoksissa sitoutuvaa tai vapautuvaa suhteellisen suurta energiamäärää. Kylmäaine höyrystyy paisuntaventtiilin (2) jälkeen ulkoyksikön höyrystimessä (3), ja lämpenee ympäröivän väliaineen (tässä tapauksessa ilman) jäätyessä. Höyrystynyt ja lämmennyt kylmäaine imetään kompressoriin (4), jossa sen paine ja lämpötila nousevat voimakkaasti. Tämän jälkeen kuuma kylmäaine johdetaan sisäyksikön lauhduttimeen (1), jossa se tiivistyy luovuttaen lämpöenergiaa kierrätettävälle sisäilmalle. Tämän jälkeen kylmäaine johdetaan taas paisuntaventtiilin kautta ulkoyksikköön. Ilmalämpöpumpun ja ulko- ja sisäyksiköt on kuvattu kuvissa 2.15 ja 2.16.



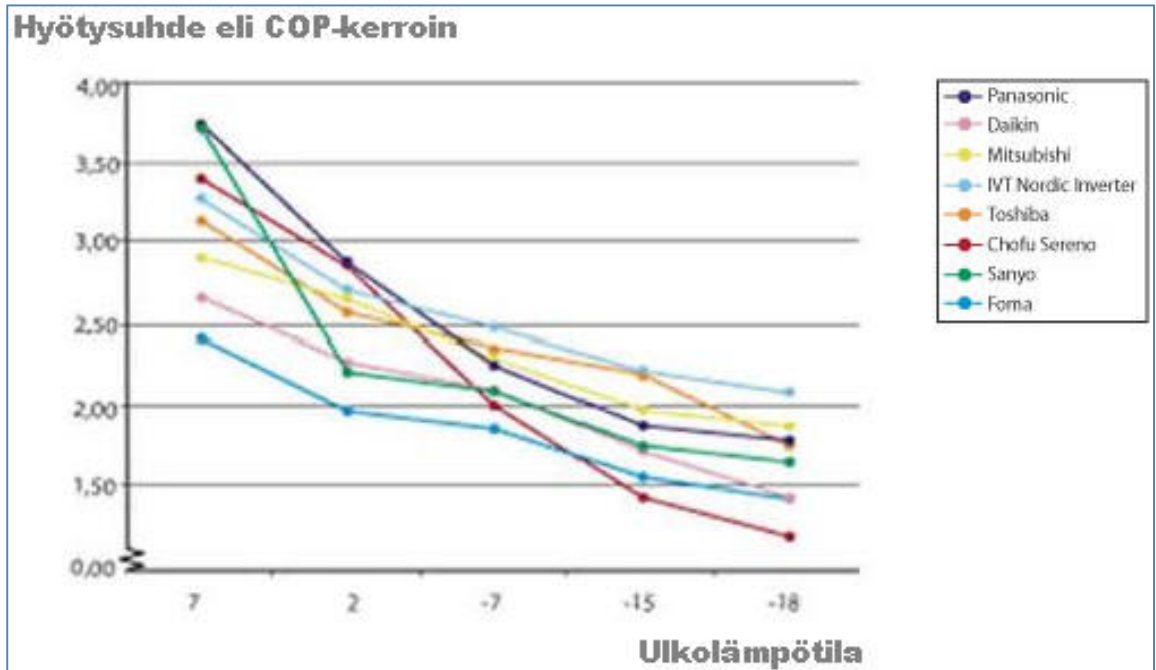
Kuva 2.15 Ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö.



Kuva 2.16 Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö.

Ilmalämpöpumpun lämpökerroin eli COP (Coefficient of Performance), jota myös usein virheellisesti hyötysuhteeksi (kuten kuvassa 2.17) nimitetään, riippuu ulkolämpötilasta. Valmistajien esitteissään ilmoittamat maksimilämpökertoimet mitataan +7 °C lämpötilassa,

jolloin lämpökerroin voi olla jopa yli viiden. Lämpötilan laskiessa lämpökerroin laskee, ja -20 °C lämpötilassa lämpökertoimet ovat jo kovin vaatimattomia (alle kaksi) ja usein laitteet suositellaankin suljettavaksi tai ne sulkevat itsensä automaattisesti -20 tai -25 °C lämpötilassa.



Kuva 2.17 Lämpökertoimen riippuvuus ulkolämpötilasta Norjalaisessa ilmalämpöpumpputestissä [10].

Ilmalämpöpumppua on alun perin käytetty jäähdyttämiseen, ja kaikkia myytäviä laitteita voidaankin käyttää kesällä tähän tarkoitukseen. Tällöin kylmäaineen kiertosuunta muuttuu ja kylmäaine höyrystyy sisäyksikössä sitoen samalla lämpöä itseensä, joka siirretään ulkoyksikköön, joka nyt toimii siis lauhduttimena. Tätä samaa jäähdytyskiertoa käytetään myös talvella ulkoyksikön sulana pitämiseen kovemmilla pakkasilla.

Ilmalämpöpumppuja on kahden tyyppisiä: ilma-ilma –lämpöpumpulla lämpöenergia siirretään siis sisäyksikön kautta suoraan kiertävään sisäilmaan kun taas ilma-vesi –lämpöpumpulla lämmitetään käyttövettä tai vesikiertoisen lämmityspiirin vettä. Tämän lisäksi myydään jonkin verran poistoilmalämpöpumppuja (n. 2 000 kpl vuonna 2010), joissa lämpöenergia otetaan rakennuksesta poistettavasta ilmasta.

Ilma-ilma –lämpöpumppu on suhteellisen edullinen investointi, hinnat lähtevät noin 2 000 eurosta asennettuna. Asennustyöstä (n. 500–600 euroa) saa vielä kotitalousvähennyksen. Ilma-vesi –lämpöpumput ovat kalliimpia, hinnat alkavat noin 6 000 eurosta. Myös poistoilmalämpöpumppujen hinta on samaa luokkaa. Ilma-ilma –lämpöpumput ovatkin hyvin suosittuja nykyään, vuonna 2010 asennettiin lähes 54 000 kappaletta ja Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry arvioi vuoden 2011 myynniksi jopa 60 000 kappaletta. Ilmalämpöpumppuja on asennettu paljon erityisesti sähkölämmitteisiin taloihin.

TM Rakennusmaailma mittasi useita markkinoilla olevia ilma-ilma –lämpöpumppuja vuonna 2010 yhteistyössä VTT:n kanssa [11]. Laskennallisessa tarkastelussa normipientalon (pinta-ala 140 m², tilavuus 420 m³) lämmityksessä Jyväskylän säävyöhykkeellä ilmalämpöpumpuilla on saavutettavissa 65–70 % säästö lämpöenergian kulutuksessa hieman lämmitysenergiatarpeesta riippuen. Laskennallinen sähköenergian säästö sähkölämmitteisessä talossa vaihtelee noin 4 000 kWh:sta (lämmitystarve 6 900 kWh/a) aina lähes 8 000 kWh:iin (lämmitystarve 13 100 kWh/a), joten ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika olisi vain 2,5–5 vuotta kun lämpöpumpun hinta on 2400 € asennettuna ja sähkön hinta 12 senttiä/kWh.

2.4 Biokaasu

Biokaasua valmistetaan anaerobisesti mädättämällä orgaanista ainetta hapettomissa olosuhteissa. Biokaasun sisältää noin 60–65 % metaania ja 30–35 % hiilidioksidia. Sen lisäksi biokaasu sisältää pieniä määriä muita aineita, mm. vettä, typpeä, happea, ammoniakkia, rikkivetyä ja silikaatteja, jotka tulee osin poistaa jos kaasua käytetään liikennepolttoaineena. Puupohjaista biokaasua eli puukaasua valmistetaan kaasuttamalla täysin kiinteää biomassaa. Biokaasua voidaan syöttää myös verkkoon, jolloin kaasu käsitellään vastaamaan koostumukseltaan maakaasua jonka metaanipitoisuuden on vähintään 95 prosenttia.

Biokaasun syötteenä käy lähes kaikki orgaaninen aine: maatalouden lanta, energiakasvit, olki, metsäjätteet sekä jätepuhdistamoiden lietteet, elintarviketeollisuuden jätteet ja esimerkiksi ravintoloiden paistorasvat. Myös kaatopaikoilta kerätään siellä spontaanisti muodostuvaa biokaasua. Ainoastaan paljon ligniiniä sisältävä puu ei sovellu anaerobiseen

mädätykseen, vaan esim. kaasutukseen. Ligniini hajoaa biokaasureaktorissa mikrobien hajottamana liian hitaasti.

Biokaasun muodostamiseen osallistuvat useat anaerobiset mikrobit. Biokaasureaktoreissa syötteen kuiva-ainepitoisuus vaihtelee välillä 5–30 %, joskin pumpattavuuden varmistamiseksi kokonaiskuiva-ainepitoisuuden tulisi olla alle 10 %. Lämpötila reaktorissa on 35–55 °C, jolloin mikrobien elintoiminta on tehokkaimmillaan. Mädätysprosessi sisältää neljä päävaihetta ja siihen osallistuu usea mikrobilaji.

1. Ensimmäisessä vaiheessa tapahtuu mikrobien tuottamien entsyymien aikaansaama hydrolysaatio, jonka tuotteena syntyy monomeeriyhdisteitä, vetyä ja vettä.
2. Seuraavassa vaiheessa, happokäymisessä, muodostuu rasvahappoja, alkoholeja, ketoneja, hiilidioksidia ja vettä.
3. Kolmannessa vaiheessa tapahtuu reaktiotuotteiden hajoamista asetogeenisten mikrobien välityksellä asetaatiksi, etikkahapoksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi.
4. Neljännessä vaiheessa metanogeenit hajottavat kolmannen vaiheen hajoamistuotteita lopputuotteiksi eli metaaniksi ja hiilidioksidiksi.

Suomessa biokaasua tuotettiin vuonna 2010 139,1 miljoonaa kuutiometriä, josta hyödynnettiin noin 66 % lopun kuluessa ylijäämäpoltossa. Tällä kaasumäärällä tuotettiin 314,5 GWh lämpöä ja 107 GWh sähköä. Kyseinen energiamäärä (421 GWh) edustaa alle 1 % Suomen uusiutuvan energian tuotannosta, joten biokaasun osuus on toistaiseksi kovin vaatimaton. Suurin osa, n. 106 miljoonaa m³ kerättiin 39 kaatopaikalta [12].

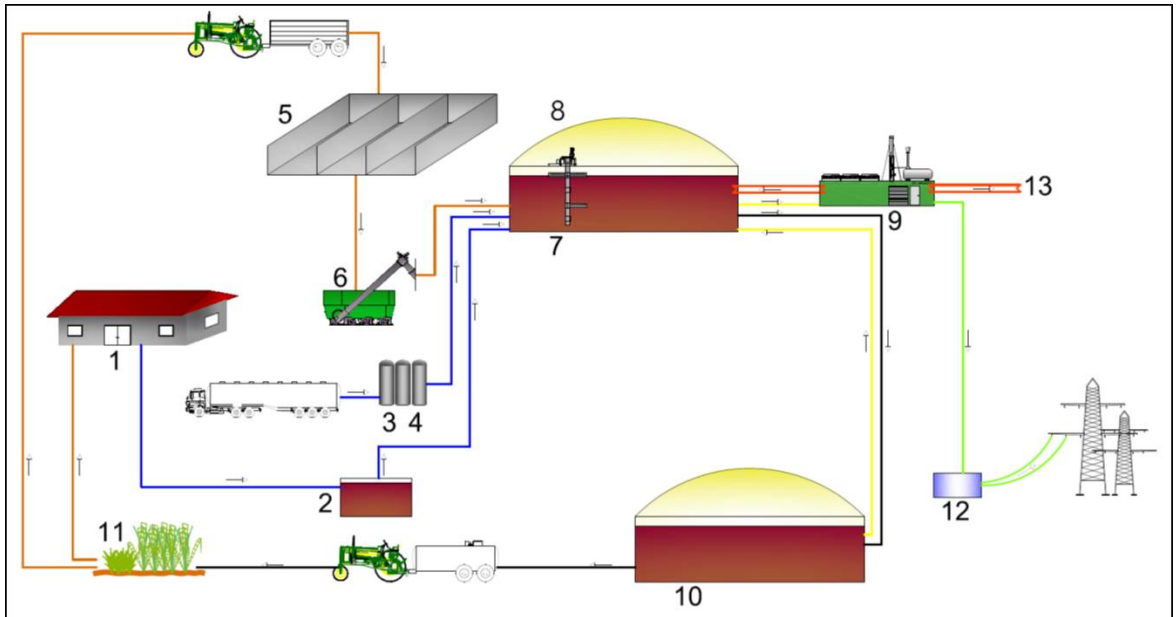
Maatiloilla biokaasureaktoreita on Suomessa toistaiseksi vain kymmenkunta tuottaen noin 0,77 miljoonaa m³ kaasua vuonna 2010. Saman verran uusia laitoksia on suunnitteilla, suurin osa ympäristöluvan hakuvaiheessa.



Kuva 2.18 Maaningan tutkimuspihaton biokaasulaitos. 300 m³ biokaasureaktori ja 300 m³ jälkikaasuallas. Syötteenä lietelanta ja kasvibiomassa. Jatkuva kaasuteho noin 100 kW.

Biohajoavaa syötettä syötetään bioreaktoriin säännöllisin väliajoin, esimerkiksi kuuden tunnin välein. Syötteen hydraulinen viipymä reaktorissa on tyypillisesti muutamia viikkoja, ja syötettä sekoitetaan jatkuvasti sekä lämmitetään kylminä vuodenaikoina. Jälkikaasuvarastossa tapahtuu vielä metaanin muodostumista, tyypillisesti noin 10 % kokonaismäärästä. Muodostuva raakabiokaasu käytetään välittömästi omassa CHP-laitoksessa tai puhdistetaan esimerkiksi liikennepolttoaineeksi.

Biokaasun saanto on syöttestä riippuen noin 200–600 m³ kuivaa orgaanista raaka-ainetonna kohti. Suurimmat saannot saadaan bio- ja teurasjätteistä. Käsittelyjäte käytetään yleensä lannoitteena tai maanparannusaineena. Paljon haitallisia aineita sisältävät käsittelyjätteet voidaan myös polttaa tai sijoittaa kaatopaikalle.



Kuva 2.19 Biokaasulaitoksen prosessikaavio: 1. Eläinsuoja, 2. Lietelantasäiliö, 3. Keräyssäiliö biojätteelle, 4. Pastörintisäiliö, 5. Säilytys-siilo energiakasveille, 6. Kiinteän syötteen syöttöjärjestelmä, 7. Bioreaktori, 8. Biokaasun varastointi, 9. CHP-laitos, 10. Jälkikaasuvarasto, 11. Pellot, 12. Muuntaja, sähköverkkokytkeä, 13. Lämmön hyötykäyttö.

Investointikustannus maatilakokoluokan biokaasulaitokselle on melko suuri, tyypillisesti satoja tuhansia euroja. Joonas Kalmarin v. 2005 tekemässä Helsingin yliopiston taloustieteen laitoksen selvityksessä keskikokoiselle sikatilalle tehtävän biokaasulaitoksen investointikustannus oli 300–360 000 euroa hieman reaktorin koosta (150 tai 250 m³) ja ulkopuolisen syötteen vastaanottojärjestelmästä (sokerijuurikkaan naatit tai suurkeittiöjäte) riippuen [13]. Selvityksen mukaan pelkkä sian lietelanta peltobiomassallakaan lisättynä ei riitä taloudellisesti tuottavaan biokaasutuotantoon. Investointi saatiin kannattavaksi käyttämällä syötteenä myös suurkeittiöjätettä (596 t/a) lietelannan (2 550 m³/a) lisäksi. Porttimaksuna selvityksessä oli käytetty 40 €/jätetonne ja laskentakorkona 6 %. Tällöin takaisinmaksuajaksi vuoden 2005 energian hintatasoilla saatiin 8 vuotta ja sisäiseksi koroksi (IRR) 11,6 %. Investointituen määränä oli käytetty 25 % kokonaisinvestoinnista.

2.5 Pientuuliturbiini

Tuuli on ilmapvirtausta, joka johtuu pohjimmiltaan auringon epätasaisesta säteily- ja lämpöjakauman aiheuttamista paine-eroista maan pinnalla. Epätasainen säteilyjakauma johtuu taas maan pyörimisestä, maan pallomaisesta muodosta sekä eri vuodenaikoina ja paikallisesti vaihtelevasta auringon säteilyintensiteetistä [14]. Tuulet voidaan karkeasti jakaa planetaarisiin sekä paikallisiin tuuliin. Planetaariset tuulet johtuvat päiväntasaajan alueen suuremmasta lämpenemisestä auringon vaikutuksesta ja niitä ovat mm. itätuulet napa-alueiden lähistöllä, länsituulet keskileveysasteilla ja pasaatituulet päiväntasaajan seutuvilla.

Tuulimyllyjä käytettiin Euroopassa laajalti mm. viljan jauhamiseen ja veden pumppaamiseen, ja tuulivoima oli tärkein voimanlähde 1200-luvulta aina teollisen vallankumouksen alkuun 1850-luvulle [14]. Pohjois-Amerikassa tuulimyllyjä alettiin käyttää laajalti veden pumppaamiseen 1900-luvun alkupuolella, mm. 1920–30 noin 600 000 tuulimyllyä asennettiin tähän tarkoitukseen (katso kuva 2.20). Suurien megawattiluokan tuulivoimaloiden kehitys sai vauhtia 1970-luvun öljykriisistä, jonka jälkeen myös valtiot ovat tukeneet alan teollisuutta niin suorien tutkimusavustuksien kuin verohelpotusten ja esim. syöttötariffien muodossa.

Voimalakokoluokan tuuliturbiinit ovat nykyään nimellisteholtaan tyyppillisesti 2–3 MW napakorkeuden ollessa n. 90 m ja roottorin halkaisijan yli 100 m. Suurimmat käytössä olevat turbiinit ovat Enercon E-126 –tyyppisiä ollen nimellisteholtaan 7,5 MW. Napakorkeus on 135 m ja roottorin halkaisija 127 m. Tuulivoima on nykyään tärkeässä roolissa rakennettaessa uutta sähköntuotantokapasiteettia. Vuonna 2011 uutta sähköntuotantokapasiteettia rakennettiin Euroopan Unionissa n. 45 GW, josta tuulivoiman osuus oli kolmanneksi suurin, n. 21 % (9,6 GW) aurinkosähkön ja kaasuvoimaloiden jälkeen [15]. Vuodesta 2008 alkaen uudesta kapasiteetista suurin osa on ollut uusiutuvaan energiaan pohjautuvaa sähköntuotantoa.



Kuva 2.20 Amerikkalaismallinen tuulimylly veden pumppaukseen.

Vuoden 2011 lopussa 31 % EU:n sähköntuotantokapasiteetista olikin uusiutuviin energialähteisiin pohjautuvaa, ja tuulivoiman osuus oli vesivoiman jälkeen (14 %) toiseksi suurin (10 %). EU-maista eniten tuulivoimaa on rakennettu Saksaan, Tanskaan ja Espanjaan. Näiden maiden osuus EU:n tuulivoimakapasiteetista vuoden 2011 lopussa olikin 56 % [15]. Kulutukseen suhteutettuna eniten tuulienergiaa tuotetaan Tanskassa, 26 % vuonna 2011, Espanjan ja Portugalin seurattessa noin 16 % osuuksilla. Suomessa tuulienergian osuus on paljon vaatimattomampi. Vuonna 2011 tuotettiin 197 MW kapasiteetilla 0,6 % sähköstämme.

Tuulivoiman rakentamisen edistämiseksi osana uusiutuvan energian tukipolitiikkaa monet maat tukevat taloudellisesti voimalaitosluokan tuulienergiantuotantoa mm. rahoittamalla

tuulienergia-alan tutkimusta ja voimalainvestointeja. Yksi yleisimmistä tukitavoista on nk. syöttötariffi. Syöttötariffijärjestelmässä hallitus takaa tietyn, markkinahintaa suuremman hinnan tuulivoimalan tuottamalle sähkölle määräajaksi. Suomessa maksettava syöttötariffi tuulivoimalle on 83,5 €/MWh 12 vuoden ajan. Tuulivoimarakentamisen nopean liikellelähdön vauhdittamiseksi uusille tuulivoimaloille maksetaan korotettua tavoitehintaa (105,3 €/MWh) maksimissaan kolmen vuoden ajan vuoden 2015 loppuun asti. Tuulivoimalan generaattorien teho tulee olla vähintään 500 kilovolttiampeeria, joten pientuuliturbiinit rajautuvat syöttötariffijärjestelmän ulkopuolelle. Maassamme onkin käynnistynyt useita tuulipuistohankkeita, mutta suurin osa niistä on edennyt toivottua hitaammin lähinnä kankean ja aikaa vievän lupaprosessin vuoksi.



Kuva 2.21 Enercon E-126, tällä hetkellä suurin tuuliturbiini.

2.5.1 Pysty akseliset pientuuliturbiinit

Viitasaarelainen Oy Windside Production Ltd valmistaa pysty akselisiä Savonius-tyyppisiä tuuliturbiineja. Windside:n valmistamat turbiinit ovat melko pieniä verrattuna suuriin megawattiluokan vaak akselisiin voimaloihin kokoskaalan ulottuessa pyyhkäisy pinta alaltaan 0,3 neliömetristä 12 m²:iin. Windside ei ilmoita turbiiniensa nimellistehoa, mutta esimerkiksi 7,5 m/s keskituulennopeudella pienin WS-0,30C tuottaa yhtiön ilmoituksen mukaan 192 kWh vuodessa ja suurin WS-12 –malli 22 464 kWh/a. Ensin mainittuun tuottoon ylittää n. 100 W nimellistehoinen vaak akseliturbiini ja jälkimmäiseen tuottoon päästään n. 10 kW:n nimellisteholla.



Kuva 2.22 Kuusi WS-0,30A turbiinia Aboa-tutkimusasemalla Etelämantereella.

Spiraalinmuotoisella pysty akselisellä turbiinilla on monia etuja, se on lähes äänetön, ei jäädy, tuottaa sähköä myös myrskytuulen nopeuksilla ja tarvitsee vähän huoltoa. Siksi yhtiön tuotteita on myyty lähinnä ammattikäyttöön koviin olosuhteisiin, joissa tarvitaan luotettavuutta mm. aavikoille ja tuntureille ja esimerkiksi merimerkkien valaisuun. Suurimpana huonona puolena on korkea hinta, sillä Windside:n turbiini maksaa yli viisi kertaa enemmän kuin vastaavantehoinen vaak akseliturbiini. Siksi yhtiön tuotteita käytetään lähinnä kohteissa, joissa tuotteen hyvät ominaisuudet pääsevät oikeuksiinsa.

2.5.2 Vaaka akseliset pientuuliturbiinit

Valtaosa markkinoilla olevista pientuuliturbiineista on vaaka-akselisia malleja. Tarjonta on jo melko laajaa pienistä muutaman kymmenen watin asuntoauto- tai veneilykäyttöön soveltuvista malleista aina muutaman kymmenen kilowatin pienvoimaloihin. Pientuulivoimalaa, etenkin pienitehoisimpia, käytetään usein akkujen lataukseen joko 12V, 24 V, 48 V mutta myös 230 voltin järjestelmissä. Pientuulivoimalan energialla voidaan myös lämmittää rakennuksia tai lämmintä käyttövettä. Suuritehoisimmilla turbiineilla voidaan tuottaa sähköä suoraan omakotitalon sähköverkkoon, jolloin pientuulivoimalan sähkö muutetaan tavalliseksi verkkosähköksi ja voimala kytketään sulaketauluun. Ylijäämä syötetään sähköverkkoon ja alijäämä otetaan normaalisti sähköverkosta.

Sähkön pientuotanto määritellään Suomessa kahden megavoltiampeerin ylärajalla. Pientuotannon matalinta teholuokkaa, jossa sähköntuotannon nimellisteho on 50 kVA tai alle, nimitetään mikrotuotannoksi. Suomessa myytävien verkkoon kytkettävien vaaka-akselipienvoimaloiden teknisiä tietoja on listattu taulukossa 2-1 [16].

Taulukko 2-1. Verkkoon kytkettävien vaaka-akselipienvoimaloiden perustietoja

Nimi	Nim.teho [kW]	Nim.tuuli [m/s]	Kehän ø [m]	Paino [kg]	Hinta*	Edustaja	Hinta/kW [€]
Tuule E200	4,0	10,0	5,0	90	13 500	Finnwind Oy	3 375
Hannevind 5,5	5,5	9,0	6,0	250	17 095	Roaming Oy	3 108
Hannevind 11	11,0	9,0	10,0	580	28 905	-"	2 628
Hannevind 15	15,0	9,0	11,0	630	35 180	-"	2 345
Hannevind 22	22,0	9,0	14,0	900	50 800	-"	2 309
Hannevind 30	30,0	9,0	14,0	950	60 145	-"	2 005
Ilmari 10 kW	10,0	9,5	9,5	950	30 500	Kodin vihreä energia Oy	3 050
MyPower	2,0	9,0	4,0	70	10 000	Posira Oy	5 000
SWG	2,0	9,0	3,2	39	2 000	JN-Solar	1 000
WindSpot 1,5	1,5	10,0	4,1	155	6 990	Kodin vihreä energia Oy	4 660
WindSpot 3,5	3,5	11,5	4,1	185	11 490	-"	3 283
WindSpot 7,5	7,5	12,0	6,3	420	22 000	-"	2 933
WinForce 10kW	10,0	9,0	9,4	550	44 000	-"	4 400
Antaris WPA	3,5	11,0	3,5	85	14 620	Tuulivoima-la.com	4 177
	6,0	11,5	5,1	135	21 900	-"	3 650
WPE	5,0	9,5	6,0	357	12 800	-"	2 560
	10,0	10,0	8,0	980	21 900	-"	2 190
	20,0	11,0	10,0	1 300	32 200	-"	1 610

* Hinnat eivät sisällä mastoa tai asennusta

Käytännössä kaiken valaistuksen ja laitteiden käyttämän sähkön ja merkittävän osan lämmitysenergian tuottaminen vaatii vähintään 5–10 kW nimellistehoisen turbiinin hyvällä eli tuulisella paikalla riittävän korkealle sijoitettuna. Tällaiset voimalat maksavat reilusti yli 10 000 euroa, esimerkiksi Tuule E200 27 m mastolla maksaa 18 600 € ilman asennusta. Laitteen nimellisteho on 4 kW ja vuosituottoarvio esim. 5,5 m/s keskituulennopeudella on 7 500 kWh. Kyseisen sähkön arvo on nykyhinnoin n. 800 euroa, joten takaisinmaksuaika investoinnille ylittää teknisen käyttöiän, joka on tyypillisesti 20–25 vuotta.



Kuva 2.23 Tuule E200 –tuulivoimala Pohjanmaalla.

Pientuulivoima on ehkä omimmillaan paikoissa, jossa verkkosähköä ei ole saatavilla, esimerkiksi syrjäisillä kesämökeillä tai saaristossa. TM Rakennusmaailma on tehnyt pienimuotoisia mittauksia verkkosähkön ulkopuolisella mökillä, jossa 12 voltin akkuja ladattiin aurinkopaneeleilla ja 500 W pientuulivoimalalla [16]. Lehden kahden vuoden kokemusten mukaan yksin tuulivoiman varaan ei voi mökin sähköistystä laskea. Pienillä tuulennopeuksilla voimalan syöttämä jännite jäi alle akkujen napajännitteen, joka on alhaisimmillaan noin 11 voltia. Mökkisähköjärjestelmään tarvitaan siis myös muita sähkön lähteitä, esimerkiksi aurinkopaneeleita ja pieni aggregaatti huippukuormia ja vaikka verkkovirralla toimivia työkaluja varten. Toinen keskeinen havainto oli, että myytävien pientuulivoimaloiden ”vakiovarusteena” myydyt mastot ovat usein kelvottoman matalia, esim. 9 metriä korkeita. Maston tulee yltää vähintään kuusi metriä puuston yläpuolelle. TM Rakennusmaailman ja Tekniikan Maailman kokemusten mukaan pientuulivoimalasta aiheutuu myös meluhaittaa, kyseisen voimalamallin potkurit suhisevat ja vonkuvat kuin bumerangit. Haitta ei kuitenkaan ole ylitsepääsemätön, sillä meluun tottuu – myös naapurin mielestä.

Suomessa, etenkin sisämaassa tuulen nopeudet ovat melko alhaisia tuulisähkön tuotantoa varten, keskimäärin n. 4–5,5 m/s. Tuulen energia on suoraan verrannollinen tuulen

nopeuden kolmanteen potenssiin, ja pientuuliturbiinit saavuttavat nimellistehonsa 9–12 m/s nopeudella. Siksi turbiineista saatavat energiamäärät ovat usein melko vaatimattomia ja useimmiten pien-tuuliturbiinit ovat investointina taloudellisesti kannattamattomia jos normaalia verkkosähköä on saatavilla.

2.6 Aurinkolämmitysjärjestelmät

Suomen leveysasteillakin auringosta saadaan yllättävän paljon energiaa, lähinnä helmi- ja marraskuun välisenä aikana. Vuositasolla auringonsäteilyn määrä vaakatasolle Jyväskylän korkeudella on n. 870 kWh/m². Auringon säteilyenergiaa hyödynnetään tuottamalla lämpöä aurinkokeräijillä tai sähköä aurinkopaneeleilla [17]. Aurinkopaneelien investointikustannukset ovat tällä hetkellä niin korkeat, että niiden avulla on taloudellisesti järkevää tuottaa sähköä vain jos sähköverkkoon ei ole mahdollista liittyä kohtuullisilla kustannuksilla. Tästä syystä aurinkosähköjärjestelmät ovat rajattu tämän tutkimuksen kokeellisen osan ulkopuolelle. Tilanne saattaa kyllä muuttua, sillä aurinkopaneelien hinnat ovat laskeneet jopa 70 % kolmen viime vuoden aikana ja valmistajat käyvät rajua hintakilpailua ylikapasiteetin vuoksi [18].

Aurinkolämpöjärjestelmiä käytetään tyypillisesti mm. uima-altaiden lämmittämiseen, lämpimän käyttöveden lämmittämiseen, rakennusten lämmittämiseen ja teollisessa mittakaavassa prosessilämmön ja myös sähkön tuottamiseen.

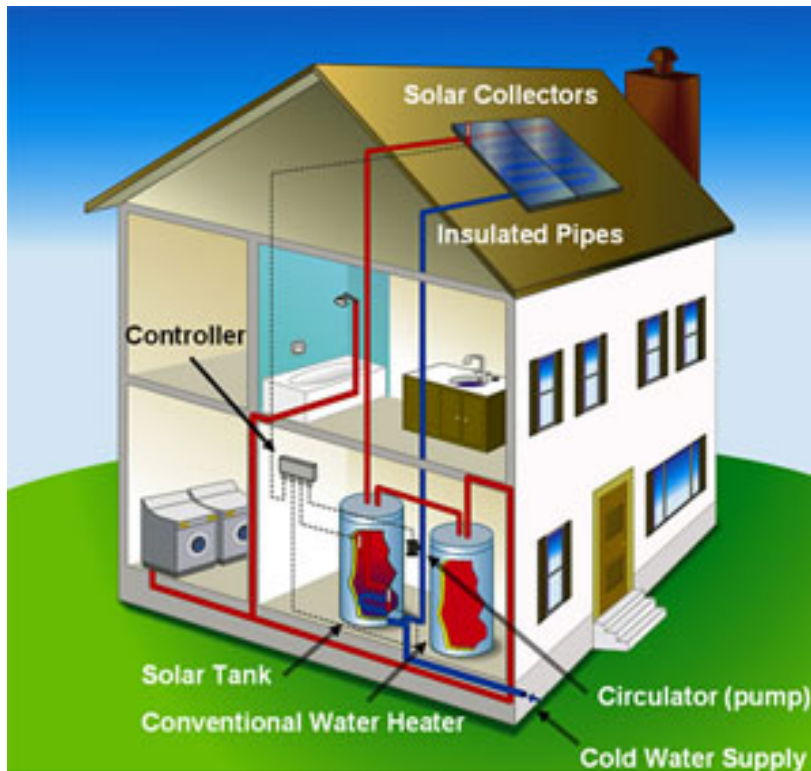
2.6.1 Aurinkolämpökeräimet

Aurinkolämpökeräimillä hyödynnetään auringon säteilyenergiaa lämmittämällä rakennuksia tai esim. lämmintä käyttövettä. Yksinkertaisimmillaan aurinkolämmitysjärjestelmä ei tarvitse edes pumppuja tai ohjausta vaan vesi kiertää painovoimaisesti ja lämmön vaikutuksesta keräimen ja käyttökohteen välillä. Tällainen passiivinen esim. katolle asennettu termosifonijärjestelmä on yleisin lämpimissä Etelä-Euroopan maissa, joissa ei talvisinkaan esiinny pakkasta [19]. Tyypillisesti keräimen koko on 2–5 m² ja varaajan koko 100–200 l.



Kuva 2.24 Paineistamaton termosifoni-lämmitin.

Keski- ja Pohjois-Euroopassa yleisempiä järjestelmiä ovat aktiiviset aurinkolämpökeräin-järjestelmät, jossa pumppu kierrättää lämmönsiirtonestettä, tyypillisesti vesi-glykoli-seosta keräimestä esim. varaajassa sijaitsevaan lämmönvaihtimeen ja takaisin kerääjään. Varaajassa on yleensä kupariputkikierukka lämmönvaihtimena ja esim. sähkövastus veden lämmitykseen niinä aikoina kun auringon säteilyenergia ei riitä. Omakotitalossa keräinten pinta-ala on tyypillisesti 3–6 m² ja varaajan koko 150–400 l. Jos keräimillä halutaan tuottaa myös osa lämmitysenergiasta, vaadittava pinta-ala nousee selvästi yli 10 m²:n [20]. Kaaviokuva aktiivisesta järjestelmästä on esitetty kuvassa 2.25.



Kuva 2.25 Aktiivinen aurinkolämpöjärjestelmä käyttöveden lämmittämiseen.

Aurinkolämpökeräimiä on kahta tyyppiä, tasokeräin ja tyhjiöputkikeräin. Tasokeräin on yleensä matalan laatikon muotoinen laite, jossa tyypillisesti kupariputkesta tehty keruuputkisto on asennettu tummapinnoitteen kuparipellin alle. Absorbaattorilevy voi olla myös alumiinia, terästä tai muovia. Levyt ja putket ovat pinnoitettu selektiivisellä absorptiopinnoitteella, joka imee lämpöenergiaa, muttei juurikaan luovuta sitä ulospäin. Keräinputkisto on sijoitettu eristettyyn koteloon lämpöhäviöiden minimoimiseksi ja aurinkoon päin oleva taso on katettu vähärautaisesta ja usein strukturoidusta tai erikoispinnoitetusta lasista tai muovista tehdyltä tasolla. Tällainen taso läpäisee lämpösäteilyn huomattavasti paremmin kuin normaali lasi. Tasokeräimillä päästään 35–75 prosentin hyötysuhteeseen.

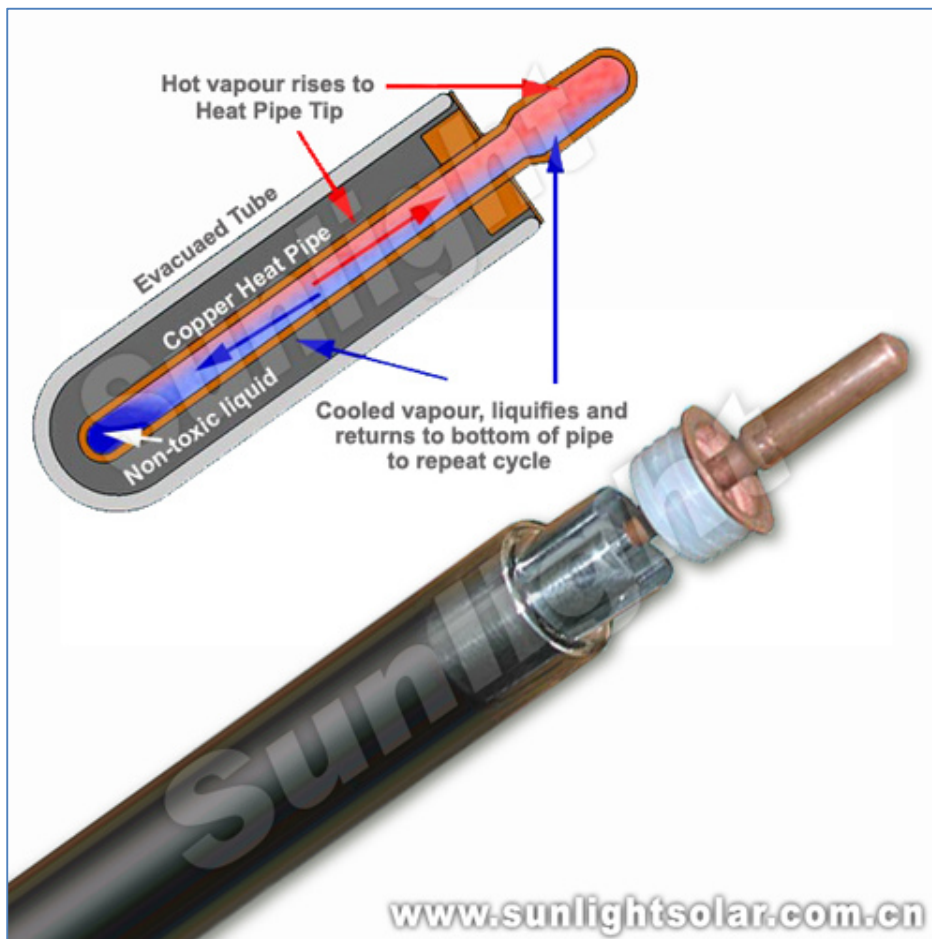


Kuva 2.26 Tasokeräin TX 2009 käyttöveden lämmittämiseen.

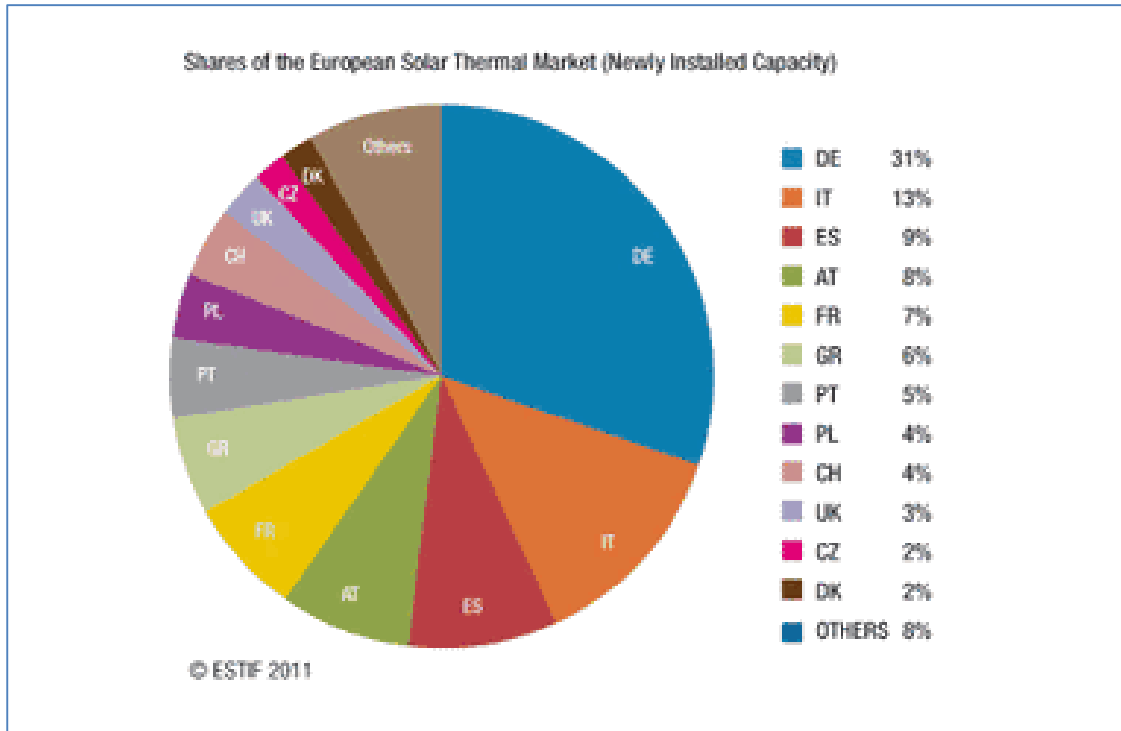
Tyhjiöputkikeräimissä lämmönkeruuputkisto on sijoitettu eristeenä toimivan tyhjiöksi imetyn lasiputkilon sisälle. Tällöin tyhjiöputki toimii läpinäkyvän termospullon tavoin. Tyhjiöputki on myös sisäpinnaltaan pinnoitettu selektiivisellä pinnoitteella kuten tasokeräinkin. Valmistajasta riippuen tyhjiöputkien takana voi olla heijastuspinta, jolla aurinkoenergiaa kerätään myös putken takapinnalta. Tyhjiöputken sisältämä neste höyrystyy auringon lämmittämänä ja kulkeutuu putken yläosaan, jossa kondensoituu takasin nesteeksi luovuttaen lämpöä järjestelmässä kiertävälle lämmönkeruunesteelle. Tyhjiöputken toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2.28. Tyhjiöputkirakenne tehostaa aurinkoenergian hyödyntämistä, koska rakenne ei ole niin riippuvainen säteilyn tulosuunnasta kuin tasokeräinten tapauksessa. Tyhjiöputkikeräimet ovat myös merkittävästi tehokkaampia viileämpinä kuukausina [20]. Hajasäteilyn hyödyntäminen on myös mahdollista, eli lämpöä saadaan talteen myös pilvisellä säällä. Tyhjiöputkikeräimillä päästään 35–85 prosentin hyötysuhteeseen ja ne ovat tasokeräimiä tehokkaampia varsinkin korkeammilla lämpötiloilla.



Kuva 2.27 Consol -tyhjiöputkikeräin käyttöveden lämmittämiseen.



Kuva 2.28 Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate.



Kuva 2.29 Vuonna 2010 asennetun aurinkolämpökapasiteetin jakauma Euroopassa.

Euroopassa aurinkolämpöjärjestelmiä asennetaan eniten Saksaan, Italiaan, Espanjaan, Itävaltaan ja Ranskaan. Vuonna 2010 uusia järjestelmiä asennettiin Euroopassa 2 586 MW lämpötehon edestä (3 694 940 m²) [21]. Toiminnassa 2010 lopussa järjestelmiä oli 24 000 MW, joten kasvu vuositasona on ollut viime vuosina yli 10 % taantuman ja monien maiden energiatukipolitiikan muutosten aiheuttamasta markkinoiden pienenemisestä huolimatta. Suomessa 2010 asennettiin uusia järjestelmiä 4 000 kW lämpötehon edestä, 4 000 m² tasokeräimiä ja 2 000 m² tyhjiöputkikeräimiä. Maailmanlaajuisesti kasvuvauhti on nopeinta Kiinassa, Australiassa ja Uudessa Seelannissa. Kiinassa on myös yli puolet maailman aurinkolämpökapasiteetista, noin 66 GW vuonna 2006.

2.6.2 Keskittävä aurinkokeräin

Voimalaitoskäytössä tarvittavat lämpötilat ovat suurempia, ja tällöin käytetäänkin keskittäviä aurinkokeräimiä. Keskittävässä aurinkovoimassa (engl. Concentrated Solar Power, CSP) auringon säteilyn intensiteettiä kasvatetaan huomattavasti keräämällä suuren pinta-alan säteilyenergia pienelle alalle parabolisten kourujen tai peilien avulla. Kootulla säteilyenergialla kuumennetaan väliainetta, tyypillisesti öljyä tai vettä, joka muutetaan sähköenergiaksi esimerkiksi höyryturbiinin pyörittämässä generaattorissa. Myös Stirling-moottoria voidaan käyttää generaattorin pyörittämiseen.



Kuva 2.30 Solar Two Tower, 10 MW:n keskittävä aurinkovoimala Kaliforniassa.

2.7 Aurinkokennot

Aurinkokennoissa osa auringon säteilyenergiasta muutetaan sähkövirraksi käyttämällä hyväksi valosähköistä ilmiötä. Valosähköisen ilmiön havaitsi ensimmäisen kerran Edmond Becquerel vuonna 1839 ja ensimmäiset, joskin kovin tehottomat, seleniumista valmistetut aurinkokennot valmistettiin 1880-luvulla. Aurinkokennojen kehityksen läpimurto tapahtui 1940-luvun loppupuolella kun Bellin laboratorioden tiedemiehet, mm. David Chapin, Calvin Fuller ja Gerald Pearson, alkoivat tutkia valon vaikutusta puolijohteissa [22]. Nykyään yleisimpiä aurinkokennojen materiaaleja ovatkin yksikiteinen pii, monikiteinen pii, galliumarsenidi ja amorfinen pii.

Taulukko 2-2. Suomessa myytävä verkkoon kytkettäviä aurinkosähköjärjestelmiä [11].

Nimi	Nim.teho [W]	Paneeli- määrä	Paneelin mitat [mm]	Paneelin paino [kg]	Hinta [€]	Hinta/W [€/W]	Edustaja
Aurinko E130 - 2070	2 000	9	1680*990*50	24	10 500	5,25	Finnwind Oy
Eurosolar EPR-2300	2 300	10	1650*992*50	20	9 490	4,13	Eurosolar Oy
Eurosolar EPR-4600	4 600	20	1650*992*50	20	17 800	3,87	Eurosolar Oy
Involar Micriiinverter	600	3	1425*990*36	18	3 700	6,17	Kodin vihreä energia Oy
JN-Solar 1000 W	1 000	8	1490*675*35	13	5 000	5,00	JN_Solar
Naps NSR-1200-200	1 200	6	1465*986*35	20	6 000	5,00	Naps Systems Oy
Naps NSR-2400-200	2 400	12	1465*986*35	20	11 500	4,79	Naps Systems Oy
Naps NSR-3600-200	3 600	18	1465*986*35	20	17 000	4,72	Naps Systems Oy
Naps NSR-4800-200	4 800	24	1465*986*35	20	22 000	4,58	Naps Systems Oy
SW OnGrid 1 kW	1 000	4	1956*992*50	27	5 490	5,49	SW Energia oy
SW OnGrid 2 kW	2 000	8	1956*992*50	27	9 490	4,75	SW Energia oy

Taulukossa 2-2 on luetteloitu Suomessa myytävä verkkoon kytkettävien aurinkosähköjärjestelmien ominaisuuksia. Hinnat eivät sisällä suunnittelu- tai asennustöitä.

Nimellistehowattilla voi tuottaa sähköä parhaimmillaankin vain noin 950 wattituntia vuodessa, joten vuosittaiseksi säästökseksi nimellistehowattia kohti tulee nykyisellä sähkön hinnalla siis noin 10 senttiä. Sähköjärjestelmien hinnat nimellistehowattia kohti ovat noin 4-6 euroa, jolloin järjestelmien takaisinmaksuajaksi saamme vähintään 40 vuotta eli reilusti yli teknisen käyttöiän. Siksi aurinkosähköjärjestelmät eivät ole taloudellisesti perusteltavissa olevia investointeja jos verkkosähköä on saatavissa. Tilanne tulee muuttumaan tulevaisuudessa aurinkopaneeleiden kehittyessä ja hintojen laskiessa teknisen kehittymisen, kovan kilpailun ja massatuotannon etujen myötä.

3. Maatilakohteiden kuvaus

Tutkielman tutkimuskohteiksi valikoitui kolme maatilaa Keski-Suomessa. Tilojen isännät ovat kiinnostuneita uusiutuvasta energiasta ja käyttävätkin sitä lämmitykseen kahdessa kohteessa jo nyt. Lisäksi he ovat kiinnostuneita investoimaan uusiutuvia energialähteitä käyttäviin järjestelmiin mikäli se on myös taloudellisesti perusteltavissa.

Kaksi tiloista on viljaitiloja ja yksi lypsykarjatila. Tavoitteena oli kartoittaa tilojen nykyinen energiankäyttö ja suunnitella konseptitasolla sopiva uusiutuvia energianlähteitä käyttävä hybridilämmitysjärjestelmä, joka on myös taloudellisesti investointina kannattava.

3.1 Viljatila 1

Viljatila 1 sijaitsee Äänekoskella. Tilan nuori isäntä asuu tilalla vanhempiensa kanssa ja he viljelevät sivutoimisesti viljaa ja energiakasveja. Tilalla on viisi rakennusta. Tilan kokonaispinta-ala on 61,2 hehtaaria, peltoa on 26,2 ha, josta vuokrattua 12,8 ha ja metsää 35 ha.

Päärakennus on 1840-luvulla rakennettu pohjalainen hirsitalo (8*22 m), kerrosala on 241 m² ja huoneistoala 176 m², alakerrassa sijaitsee 65 m² kellari. Eristys on hyvin kirjavaa, vuosien varrella on käytetty mm. villaa, pellavaa, purua ja sanomalehteä. Alapohja on tuuletettu. Harjakaton materiaalina on tiili, jonka alla on päre.

Lämmitys hoidetaan nyt vesikiertoisella keskuslämmityksellä, kattilana on 35 kW:n Aritermin kahden vuoden ikäinen puukattila. Varaajan koko on peräti 5 000 litraa. Puuklapeja kuluu vuodessa 35–40 pinokuutiometriä, jota vastaava lämpöarvo on n. 50 000 kWh. Sähköä kuluu kokonaisuudessaan noin 9 000 kWh vuodessa. Lämpimän käyttöveden kulutus on n. 24 m³ vuodessa, joka lämmitetään 80 litran varaajassa sähköllä. Päärakennuksen tuvassa on myös varaava takkaleivinuuni. Alakerrasta löytyy kaksoispesäkattila ja leivinuuni, jotka eivät ole käytössä.

Toisena rakennuksena on puurakenteinen kylmä viljavarastorakennus, rakennusaltaan 186 m² ja kerrosaltaan 372 m². Toistaiseksi tätä rakennusta ei ole tarvetta lämmittää.

Lämpökeskus on rakennettu tiilestä ja kevytbetoniharkoista, rakennusala 20 m², jonka lisäksi 22 m² varastotilaa (kerrosala siis 42 m²). Kattona on peltiharjakatto, lämpöeristystä ei ole lain vaatiman ovien paloeristyksen lisäksi. Rakennus lämpiää kattilan hukkalämmöllä.



Kuva 3.1 Viljatila 1:n päärakennus.

Pihapiirissä sijaitsee 432 m² kokoinen puurakenteinen navetta, joka toimii nykyään viljavarastona. Yläpohja on eristetty ja harjakaton materiaalina on pelti sekä osin lasikuituinen valokate. Rakennusta käytetään myös viljan kuivatukseen, jota varten siellä on puulla lämmitettävä kennosto ja puhallin.

Navetan vieressä sijaitsee kylmä puurakenteinen kone- ja autotalli, pinta-alaltaan 264 m². Eristystä ei ole, lattiana osin betonilattia ja osin maapohja. Nykyään tallia ei ole lämmitetty, mutta toiveena olisi saada rakennus osittain lämpimäksi.



Kuva 3.2 Auto- ja konetalli.

Toiveena on puuklapikattilan mahdollinen korvaaminen hakekattilalla. Nykyinen kattila on tosin uusi, joten kattilan uusiminen aivan lähitulevaisuudessa ei ole ajankohtaista. Lämpimän käyttöveden lämmitykseen voisi käyttää aurinkokeräimiä ja myös pientuulisähkö voisi kiinnostaa.

3.2 Viljatila 2

Viljatila 2 sijaitsee Saarijärvellä. Tilan rakennukset sijaitsevat 3300 m²:n tontilla, metsää on 120 ha ja peltoa 60 ha. Rakennuksia tilalla on kolme, päärakennus, kanala ja viljankuivaamo noin kilometrin päässä.

Tiilirakenteinen päärakennus on vuodelta 1971, yläkerta rakennettiin vuonna 1981. Kerrosala on 250 m², huoneistoala 228 m² ja tilavuus noin 530 m³. Eristeenä on käytetty villaa, seinässä 100 mm, yläpohjassa 350 mm ja alapohjassa 250 mm. Harjakatto on varttikatteesta.

Lämmitys hoidetaan alkuperäisellä (1971) öljykattilalla, lämmönjako vesikiertoisilla pattereilla. Pesuhuoneessa on lattialämmitys. Öljynkulutus on nykyisin keskimäärin 3 500 l/a sekä sähkönkulutus 1 400–2 000 kWh/a. Talossa on myös vanha avotakka ja uuden takan rakentaminen vanhan kylmiön tilalle on harkinnassa. Yhteensä sähköä kuluu n. 8 000 kWh vuodessa. Vettä kuluu yhteensä 36 m³ vuodessa, josta lämmintä 10 m³.

Toisena rakennuksena pihapiirissä sijaitsee vanha kanala vuodelta 1973, jonka lämmin pinta-ala on 430 m² ja kokonaispinta-ala 640 m² sekä tilavuus noin 1 160 m³. Katto on galvanoitua peltiä, eristeenä seinissä villaa 100 mm sekä yläpohjassa purua 250 mm. Myös kanala lämmitetään öljykattilalla, öljyä kuluu 1 000–1 500 l/a ja sähköä 1 000–1 500 kWh/a.

Noin kilometrin päässä päärakennuksesta sijaitsee viljankuivaamo, joka kuluttaa öljyä 2 000–4 000 l/a sekä sähköä 1 400–2 000 kWh/a. Viljaa kuivatetaan noin 110 hehtolitraa vuodessa. Viljakuivaamo jätetään erillisen sijaintinsa vuoksi tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

Tilan vanhat öljykattilat tullaan korvaamaan esimerkiksi biopolttoainekattiloilla, maalämpöpumpulla tai näiden hybridillä. Kanalan lämmityksessä voisi käyttää hyväksi aurinkokeräimiä ja myös pientuulisähkö tulee kysymykseen.



Kuva 3.3 Viljatilan 2:n päärakennus.



Kuva 3.4 Vanha kanala.

3.3 Lypsykarjatila

Tutkimukseen valittu lypsykarjatila sijaitsee Karstulassa. Tilan kokonaispinta-ala on 133 hehtaaria, josta metsää on 28 ha. Peltoa on tällä hetkellä viljelyksessä 105 ha, josta 60 ha vuokralla. Lypsykarjaa on noin 70 lehmää, jonka lisäksi n. 45 päätä nuorta karjaa.

Päärakennus on 1950-luvulta ja remontoitu ulkovuorauksen ja eristyksen osalta 2006. Huoneisto-ala on 160 m². Sisätilojen remontti on tehty alkuvuodesta 2012.

Lämmitys hoidetaan viereisessä vanhassa navetassa sijaitsevalla 80 kW:n Alatalkkarin biokattilalla, jossa voi polttaa pellettiä, haketta tai brikettiä. Tällä hetkellä käytössä on briketti edullisen hintansa vuoksi (100 €/t). Brikettejä kuluu n. 15–20 t/a ja sähköä koko tilalla 120 000 kWh/a.



Kuva 3.5 Lämmitykseen käytetään brikettiä.

Vanhassa navetassa on nuorta karjaa n. 45 päätä, pikkuvasikoita ja 20 sonnia. Vasikkalan lisälämmitys hoidetaan samaisessa rakennuksessa olevalla biokattilalla.



Kuva 3.6 Uusi navetta.

Uusi navetta valmistui vuoden 2007 joulukuussa, pinta-alaltaan 1 500 m². Lypsäviä on 70. Rehun jakelu on toteutettu sähkökäyttöisellä kuljettimella. Lypsyrobotti käyttää lämmintä vettä n. 300 litraa maitotonna kohti, mikä lämmitetään maidon lämmön talteenottojärjestelmällä +40 °C asti ja sähköllä lopulliseen lämpötilaansa +80 °C. Vedenkulutus on kokonaisuudessaan noin 3 900 m³/a. Traktoreita käytetään tilalla n. 1 000 h vuodessa.

Lypsykarjatilalla lämmityksen käytetään jo lähes ainoastaan uusiutuvia polttoaineita ja lämmitysenergian kulutuskin on ajanmukaisella tasolla vuoden 2006 remontin ansiosta. Suuren karjan vuoksi sähkönkulutus on melko suuri, noin 120 000 kWh/a, ja omistaja tekisi mielellään itse osan käyttämästään sähköstä uusiutuvista energianlähteistä jos se on teknisesti ja erityisesti taloudellisesti järkevää. Myös uuden navetan käyttöveden lämmitykseen voisi käyttää aurinkokeräimiä.



Kuva 3.7 Sisänäkymä uudesta navetasta.

3.4 Maatilakohteiden nykyinen energiakulutus ja -kustannukset

Taulukko 3-1. Maatilakohteiden energiakustannukset keväällä 2012.

	Viljatila 1	Viljatila 2	Lypsykarjatila
Sähkö			
- Verkkoyhtiö	LNI Verkko Oy	LNI Verkko Oy	LNI Verkko Oy
- Energian myy	Ääneseudun Energia Oy	Vattenfall	E-ON Finland
- kulutus [kWh/a]	7 500	6 500	120 000
- perusmaksut [€/kk]	15,96	50,26	147,71
- hinta [c/kWh]			
- energia	6,74	5,60	3,80
- siirto + verot	5,57	5,57	4,48
- yhteensä	12,31	11,17	8,28
- Kustannus yhteensä [€/a]	1 115,16	1 329,47	11 708,52
Lämmitys			
- energianlähde	Puuklapi	Öljy	Briketti
- kulutus	40 p-m ³ /a	5 000 l/a	20 t/a
- hinta	15 €/m ³	1,05 €/l	100 €/t
- nuohous ja kunnossapito [€/a]	150,00	160,00	100,00
- kustannus [€/a]	600,00	5 250,00	2 000,00
- Kustannus yhteensä	750,00	5 410,00	2 100,00
Energiakustannukset yhteensä	1 865,16	6 739,47	13 808,52

Taulukko 3-1 esittää kohteiden energiakustannukset ilman pääomakuluja. Viljatila 1:n tapauksessa puun hinta (15 €/p-m³) sisältää vain mottorisahan, traktorin, polttoaineen yms. kustannukset ilman mitään korvausta työstä. Ostettuna sekapuu maksaa Keski-Suomessa noin 40 €/p-m³, koivupilke on noin kymmenen euroa kalliimpaa [23]. Lisäksi kuljetus maksaa tyyppillisesti 5–10 €/m³, joten ostopolttopuun osalta tässä tutkimuksessa on käytetty hintaa 45 €/p-m³. Tällöin Viljatilan 1 lämmityskustannukset nousisivat tasolle 1 950 €/a ja energiakustannukset kokonaisuudessaan hieman yli 3 000 euroon vuodessa.

Viljatila 2:n kustannukset sisältävät vain päärakennuksen ja kanalan kulutuksen, kauempana sijaitseva viljakuivaamo on jätetty tässä tutkimuksessa tarkastelun ulkopuolelle.

Taulukossa 3-2 on esitetty lämpimän veden kulutus ja lämmityksen laskennalliset kustannukset. Huomionarvoista on, että kustannukset sisältyvät jo taulukon 3-1

energiakustannuksiin. Molemmilla viljatililla lämpimän veden arvioitu kulutus on melko vähäistä ja siksi kustannukset jäävät vuositasolla kohtuullisiksi. Viljatilalla 1 tilalla todellinen veden lämmitykseen kuluva energia ja kustannukset ovat pienempiä, koska päärakennuksen lämpimän veden varaajaan johdettava vesi esilämmitetään lämpökeskuksen suuressa 5 000 litran varaajassa, joten lämmityskaudella käyttöveden lämmitykseen kuluva sähkö on minimaalinen. Lypsykarjatilalla veden kulutus on huomattavasti mittavampaa ja laskennalliset kustannuksetkin ylittävät tuhat euroa vuodessa. Uuden navetan lämmin käyttövesi esilämmitetään lypsettävän maidon lämpöenergialla + 40 °C lämpötilaan, mikä osaltaan pienentää kustannusta.

Taulukko 3-2. Maatilakohteiden lämpimän veden kulutus ja kustannukset.

	Viljatila 1	Viljatila 2	Lypsykarjatila
Lämmin vesi			
- kulutus [m ³]	24	10	300
- energianlähde	sähkö	öljy	sähkö
- hinta [c/kWh]	12,31	10,50	8,28
- kustannus [€/a]	172,00	61,10	1 156,44
- Huom!	sis. Sähkökustannuksiin	sis. Öljykust.	sis. Sähkökust.

Taulukossa 3-3 on laskettu energian ”käyttökustannus” ilman pääomakustannuksia sekä tasoitettu energian tuotantokustannus (LCOE) tuotettua megawattituntia kohti, jolloin on huomioitu myös investointikustannukset ja muut arvioidut kustannukset 25 vuoden elinkaaren aikana. Tunnusluvun laskentamethodi on kuvattu seuraavassa luvussa. Viljatila 2:n kohdalla yli 35 vuoden ikäisten öljykattiloiden investointikustannus on jätetty huomiotta, koska 1970-luvulla asennetut kattilat voidaan katsoa pääomaltaan jo kuoleetuiksi.

Taulukko 3-3. Maatilakohteiden tasoitettu energiakustannus (LCOE).

	Viljatila 1 (itse tehty)	Viljatila 1 (ostopuu)	Viljatila 2	Lypsykarjatila
Investointi	4 500	4 500	-	13 500
Energian tuotanto [MWh/a]	54	54	50	96
Polttoaine [€/a]	600,00	1 800,00	5 250,00	2 000,00
Huolto ja kunnossapito [€/a]	150,00	150,00	160,00	100,00
Yhteensä [€/a]	750,00	1 950,00	5 410,00	2 100,00
Käyttökustannus (€/MWh)	13,89	36,11	108,20	21,88
LCOE [€/MWh]	19,02	41,24	107,00	30,53

Taulukko 3-3 osoittaa selvästi biopolttoaineiden edullisuuden polttoöljyyn verrattuna, etenkin polttopuu itse tehtynä on hyvin edullista.

Energiakustannuksia tarkastellessa Viljatilalla 1 kustannukset ovat hyvin maltillisia, etenkin jos polttopuun korjuutyölle ja halkomiselle ei lasketa hintaa. Viljatila 2:n kustannukset nostaat yli 5 000 euron vuositason kallis polttoöljy kun taas Lypsykarjatilalla merkittävässä roolissa on koneistetun ja automatisoidun karjanhoidon mukanaan tuoma suuri sähkönkulutus.

4. Uusiutuvia energialähteitä käyttävät lämmitysjärjestelmät

4.1 Investoinnin kannattavuuden arvioinnissa käytettävät tunnusluvut

Tässä tutkimuksessa käytetään kolmea tunnuslukua investointien taloudellisen kannattavuuden arvioimiseksi: takaisinmaksuaikaa, energian tasoitettua tuotantokustannusta (engl. Levelized Cost of Energy, LCOE) ja sisäistä korkoa (engl. Internal Rate of Return, IRR).

Suora takaisinmaksuaika voidaan kaavan muodossa ilmaista ensimmäisenä ajanhetkenä N, jolloin [24]:

$$\sum_0^N \Delta I_n \leq \sum_0^N \Delta S_n, \quad (1)$$

missä

ΔI_n = diskonttaamattomat investointikustannukset ajanjaksona n

ΔS_n = diskonttaamattomien säästöjen tai tulojen summa ajanjaksona n

Suora takaisinmaksuaika kertoo siis nimensä mukaisesti kuinka kauan kestää että investoinnista mahdollistamat tulot tai säästöt kattavat investointikustannukset. Suoran takaisinmaksuajan huonona puolena voidaan pitää sitä, että se ei ota huomioon ajan vaikutusta rahan arvoon, diskonttokorko on siis nolla. Tunnusluku on kuitenkin helppo laskea ja hyvin havainnollinen ja siksi käyttökelpoinen etenkin lyhyemmän aikavälin projekteissa tai kun investointiin liittyy paljon epävarmuustekijöitä esimerkiksi teknologian käyttökelpoisuuden tai kestoajan suhteen. Tällöin suora takaisinmaksuaika kertoo missä ajassa investointi palauttaa pääoman sijoittajalleen.

Diskontattu takaisinmaksuaika lasketaan vastaavasti, mutta jokaisen ajanjakson investointikulut ja tulot (tai säästöt) diskontataan nykyarvon sopivaa diskonttokorkoa käyttämällä. Diskontattu takaisinmaksuaika on siis ensimmäinen ajankohta N, jolloin

$$\sum_0^N \frac{\Delta I_n}{(1+d)^n} \leq \sum_0^N \frac{\Delta S_n}{(1+d)^n}, \quad (2)$$

missä

$$\begin{aligned} \Delta I_n &= \text{investointikustannukset ajanjaksona } n \\ \Delta S_n &= \text{säästöjen tai tulojen summa ajanjaksona } n \\ n &= \text{diskonttokorko} \end{aligned}$$

Diskontattu takaisinmaksuaika ottaa siis huomioon myös ajan arvon diskonttokoron muodossa ja tällöin laskettavat takaisinmaksuajat ovat pitempiä kuin suoraa takaisinmaksuaikaa käytettäessä.

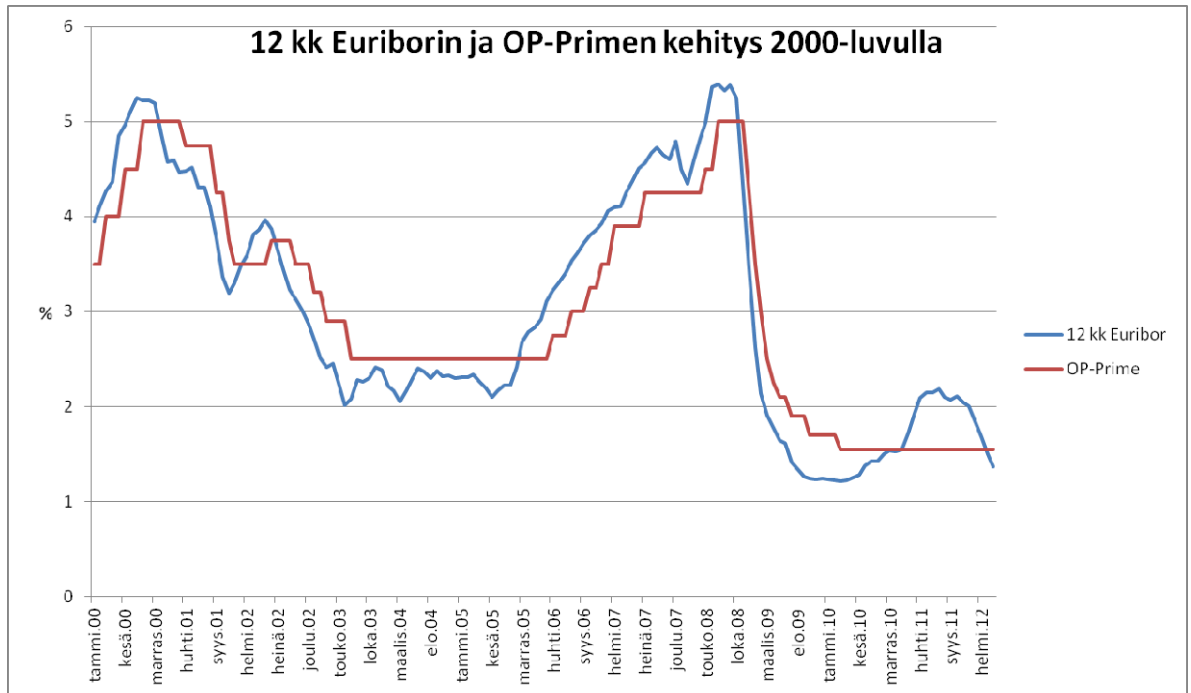
Energian tasoitettu tuotantokustannus (LCOE) lasketaan seuraavalla kaavalla [24]:

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+d)^n}}{\sum_{n=0}^N \frac{Q_n}{(1+d)^n}}, \quad (3)$$

missä

$$\begin{aligned} \text{LCOE} &= \text{Energian tasoitettu tuotantokustannus [€/MWh]} \\ C_n &= \text{kustannus ajanjaksolla } n \\ Q_n &= \text{tuotettu energia ajanjaksolla } n \text{ [MWh]} \\ d &= \text{diskonttokorko} \\ N &= \text{analysoitava aikaväli (tässä tutkimuksessa 25 vuotta)} \end{aligned}$$

Tässä tutkimuksessa investointi tehdään vuonna 1 (2012) ja analysoitava aikaväli (investoinnin elinikä) on 25 vuotta. Diskonttokorkona käytetään 4 %:a, jonka voidaan olettaa kattavan korkokustannukset kun investointi rahoitetaan pankkilainalla. Yleisten viitekorkojen, kuten 12 kuukauden Euriborin ja esimerkkinä käytetyn Osuuspankin Prime-koron keskiarvo kuluvalle vuosituhannella on hieman yli 3 prosenttiyksikköä, ja asunto- ja remonttilainojen marginaali on tällä hetkellä noin 0,8–0,9 prosenttiyksikköä.



Kuva 4.1 12 kuukauden Euriborin ja Osuuspankin Prime-koron kehitys 2000-luvulla.

Tasoitettua energiakustannusta (LCOE) suositellaan käytettäväksi kun halutaan verrata vaihtoehtojen paremmuusjärjestystä kun käytettävissä on rajoitettu budjetti [24]. Tässä tutkimuksessa tunnusluku kertoo myös käytetyn energian osto- tai tuotantokustannukset yksikköä kohti kun myös analysoitavan periodin (25 vuotta) investoinnit ja aikatekijä eli korko otetaan huomioon.

Sisäinen korko (engl. Internal Rate of Return, IRR) on se korkokanta, jolla diskontattuna investoinnin kassavirran nettonykyarvo on nolla. Myös termiä efektiivinen korko käytetään. Kaavana esitettyä [24]:

$$0 = \text{NPV} = \sum_{n=0}^N \frac{F_n}{(1+d)^n}, \quad (4)$$

missä

- NPV = investoinnin nettonykyarvo
- F_n = jakson n kassavirta (positiivinen tai negatiivinen)
- d = korko, jota käyttämällä positiivisten ja negatiivisten kassavirtojen diskontattu nykyarvo on nolla (IRR)
- N = analysoitava ajanjakso

Sisäistä korkoa käytetään yleisesti hyvin erilaistenkin investointien vertailuun. Tavallisesti IRR-analyysiä käytetään hyväksyä tai hylkää –päätöksiin ja investoinnille voidaan vaivattomasti asettaa pienin hyväksyttävä sisäistä korkoa. Tunnuslukua ei tulisi yksinomaan käyttää toistensa poissulkevien vaihtoehtojen vertailuun ja valintaan, koska menetelmä ei ota huomioon vaihtoehtojen erilaista kokoa. Menetelmä olettaa myös automaattisesti positiivisten kassavirtojen uudelleensijoituksen, mikä tulee ottaa huomioon projekteja vertaillessa. Sisäinen korko sopiikin parhaiten päätettäessä yksittäisen projektin hyväksymisestä tai hylkäämisestä.

Tässä tutkimuksessa on laskettu sisäinen korko joillekin lämmitys- tai sähköntuottojärjestelmävaihtoehdoille olettaen 25 vuoden käyttöikä. Tällöin laskettaessa on oltava jokin vertailukohta, ja luontevaa onkin käyttää nykyisiä energiakustannuksia, joissa on otettu huomioon myös aikaisemmin käytetyt investointikustannukset.

Yksi myös tässä tutkimuksessa käytetty havainnollinen tapa on verrata energiakustannuksia koko investoinnin elinkaaren aikana laskemalla eri vaihtoehtojen kustannusten nykyarvo koko 25 vuoden tarkastelujaksolta käyttäen sopivaa diskonttokorkoa, joka on tässä tutkimuksessa siis 4 %.

4.2 Viljatila 1

Viljatilaa 1 lämmitetään Aritermin 35 kW:n puukattilalla, joka on asennettu vuoden 2009 helmikuussa. Kattila maksoi asennettuna noin 4 500 euroa. Puun kulutus on 35–40 pinokuutiometriä vuodessa eli primäärienergiaksi muutettuna noin 54 000 kWh. Kattila on siis melko uusi ja käyttökelpoinen vielä pitkään, mutta isäntä pohtii lämmitysjärjestelmän muuttamista hake- tai pellettikäyttöiseksi tulevaisuudessa jo polttopuiden tekemisen vaatiman suuren työmäärän vuoksi.

4.2.1 Hakelämmitysjärjestelmä

Hakelämmitysjärjestelmäksi sopii esimerkiksi markkinajohtaja Aritermin Multijärjestelmä 60 kW. Järjestelmän kattilana on BioComp 60 automaattinen biolämmityskattila. Järjestelmän pääkomponentit seuraavat:

- BioComp 60 kW biopolttoainekattila (sis. Savukaasupuhaltimen ja automaattinuohouksen)
- MultiJet 60 biopoltin
- Poltinruuvi hakkeelle \varnothing 150 mm jatkeineen ja voimansiirtoineen
- T1 tankopurkainpohja 1500 x 3100 (3–30 m³)
- Välisäiliö 2-ruuviseen hakejärjestelmään
- Arimatic 150 40–120 kW ohjauskeskus
- Varastoruuvien ohjaus
- GSM-modeemi
- UPS-akkuvarmennus
- Pulssisammutus sisältäen magneettiventtiilin

Järjestelmän budjettitarjoushinta on kokonaisuudessaan 23 665 euroa + ALV eli 29 107,95 euroa veroineen. Tankopurkainpohjan päälle tuleva polttoainevarastoon ja suurempaan hakevarastoon täytyy varata pari kolme tuhatta euroa. Asennuksen kustannus vaihtelee Aritermin mukaan haarukassa 5 – 10 000 euroa tarvittavien muutos-, putki- ja sähkötöiden laajuudesta riippuen, joten kokonaisinvestoinniksi taloudellisia laskelmia varten on tässä tutkimuksessa arvioitu 36 000 euroa. Aritermin mukaan maatilakokoluokan järjestelmä

maksaa tyypillisesti 30–40 000 euroa. Kuvat 4.2 ja 4.3 esittävät Ariterm BioComp –kattiloita. Aritermin tarjous hakelämmitys-järjestelmästä on liitteenä 2.

Hakkeen myyntihinta kotiin toimitettuna on noin 18–20 euroa irtokuutiometriä kohti [25] ja metsähakkeen lämpöarvo 40 % kosteudessa on noin 850 kWh/i-m³. Tässä tutkimuksessa on laskelmissa käytetty hintaa 18 €/i-m³, jolloin megawattitunnin hinnaksi tulee 21,18 euroa. Tilastokeskuksen tilastoima hinta hakkeelle lämmityskäyttöön vuonna 2011 oli 18,50 €/MWh.

Vuosittaiset huolto- ja kunnossapitokustannukset ovat pellettilämmitysjärjestelmälle Rakentaja.fi –sivuston laskurin mukaan 170 euroa [26] ja hakelämmitys-järjestelmän huolto- ja kunnossapito-kustannukset ovat tässä tutkimuksessa arvioitu järeämmän rakenteen ja monimutkaisemman polttoainekäsittelylaitteiston myötä hieman korkeammiksi, 250 €/a. Kun tähän lisätään arvioidut nuohouskustannukset 50 €/a, kokonaiskustannuksiksi tulee 300 €/a.



Kuva 4.2 Ariterm 80 kW BioComp –biopolttoainekattila.

Näillä arvoilla hakelämmityksen tasoitetuksi energiakustannukseksi tulee noin 67,8 €/MWh eli huomattavasti enemmän kuin nykykattilalla (41,2 €/MWh). Käyttökustannuksissa on vain 506 euron ero hakejärjestelmän hyväksi vuodessa hieman edullisemmän polttoaineen ansiosta, mutta mittava investointi vaatisi yli 70 vuoden suoran takaisinmaksuajan.



Kuva 4.3 Ariterm 150 kW BioComp –kattila varustettuna automaattinuohouksella konvektio-osassa.

4.2.2 Pellettilämmitysjärjestelmä

Pellettilämmitysjärjestelmän esimerkkinä on tässä tutkimuksessa käytetty Aritermin 60 kW pellettijärjestelmää. Järjestelmätoimitus sisältää myös 19 m³:n pyöreän pellettisiilon, joten tässä tapauksessa polttoainetäydennystä tarvitaan vain kerran vuodessa. Kattila on sama kuin hakelämmitysjärjestelmässä. Järjestelmän pääkomponentit ovat seuraavat:

- Pellettisiilo Triotec (pyöreä) 19 m³
- BioComp 60 kW biopolttoainekattila (sis. savukaasupuhaltimen ja automaattinuohouksen)
- BioJet 60 P -poltin puupelletille ja hyvälaatuiselle hakkeelle
- Poltinruuvi pelletille ø 114 mm jatkeineen ja voimansiirtoineen
- Arimatic 150 40–120 kW ohjauskeskus

- Kiertovesipumppu UPSO 25–40
- Varastoruuvien ohjaus pellettikäyttöön
- GSM-modeemi
- UPS-akkuvarmennus
- Jauhesammutusjärjestelmä varapulloineen

Järjestelmän kokonaishinta on 18 038 euroa + ALV eli 22 186,74 euroa veroineen. Asennuksen kustannukset ovat samaa luokkaa hakejärjestelmän kanssa ja kokonaisinvestoinnin suuruutena taloudellisissa laskelmissa on käytetty summaa 29 000 €. Käytetty pelletin hinta on Tilastokeskuksen helmikuun 2012 hinta 254,1 €/t [27] ja pelletin lämpöarvo on 4 800 kWh/t. Huolto- ja kunnossapito-kustannuksina on käytetty Rakentaja.fi –sivuston vertailulaskurin arvoa 170 €/a lisättynä nuohouskustannuksilla 50 €/a eli yhteensä 220 €/a [26].

Näillä arvoilla pellettilämmityksen tasoitetuksi energiakustannukseksi tulee noin 90 €/MWh eli yli kaksi kertaa enemmän kuin nykykattilalla (41,2 €/MWh). Vuotuiset käyttökustannukset ovat yli 1 900 euroa suuremmat kuin ostopuulla pelletin korkeamman hinnan vuoksi. Automaattinen pellettilämmitysjärjestelmä on helppokäyttöinen ja toimintavarma, mutta kallis verrattuna klapikattilaan ja myös hakelämmitysjärjestelmään.

Kuvissa 4.3 ja 4.4 on esitetty Triotec:n pellettisiilo ja BioJet –poltin. Aritermin tarjous pellettilämmitysjärjestelmästä on liitteenä 3.



Kuva 4.4 Neljä Triotec 24 m³:n pellettisiiloa.



Kuva 4.5 Arterm BioJet –poltin soveltuu pelletille ja myös hakkeelle, palaturpeelle ja briketille.

4.2.3 Aurinkokeräimet lämpimän käyttöveden tuottamiseen

Aurinkokeräimet soveltuvat parhaiten lämpimän käyttöveden lämmittämiseen, keräimillä onkin mahdollista tuottaa noin puolet tähän vaadittavasta vuotuisesta energiasta maalisi- ja syyskuun välisenä aikana. Tässä tutkimuksessa esimerkkinä käytetään NIBE Solar No Coil FP 215 –keräimiä, joita asennetaan Viljatilalle 1 kuusi kappaletta. Yhden keräijän efektiivinen pinta-ala on $1,91 \text{ m}^2$, joten kuudella varaajalla päästään $11,46 \text{ m}^2$:n pinta-alaan. Järjestelmä sisältää aurinkopumppuaseman SPS20 ja lämmönvaihtimen SHE10, joten varaajassa ei tarvitse olla sisäistä aurinkokierukkaa. Aurinkokeräimien tuottamalla lämmöllä lämmitetään siis 5 000 litran olemassa olevaa varaajaa. Järjestelmän hinta asennettuna on 13 500 €. Aurinkokeräimien huollon ja puhdistuksen voi pääsääntöisesti tehdä itse, joten kunnossapito- ja huolto-kustannuksiksi on laskelmissa oletettu nolla.

Aurinkokeräimien tuotto on Suomessa 300–400 kWh/m² ja laskelmissa on käytetty arvoa 350 kWh/m². Viljatilalla lämpimän veden kulutus on 24 m³, joka vaatii lämmitysenergiaa 1 400 kWh maksaen sähkön hinnoin 172 euroa vuodessa. Aurinkokeräimet tuottavat noin 4 000 kWh, josta 700 kWh on siis suoraan hyödynnettävissä käyttöveden lämmitykseen pienentäen sähkölaskua 86 €/a. Loppu 3 300 kWh käytetään rakennuksien lämmitykseen ja laskennallinen säästö on tältä osin 3,61 c/kWh eli 119 €/a.

Laskennallinen säästö on siis 205,62 €/a, jolloin suoraksi takaisinmaksuajaksi saadaan 66 vuotta, reilusti yli järjestelmän teknisen käyttöiän. Tasoitetuksi energiakustannukseksi (LCOE) saadaan näillä arvoilla roima 207 €/MWh.

Aurinkokeräimen tekniset tiedot on esitetty liitteessä 4.



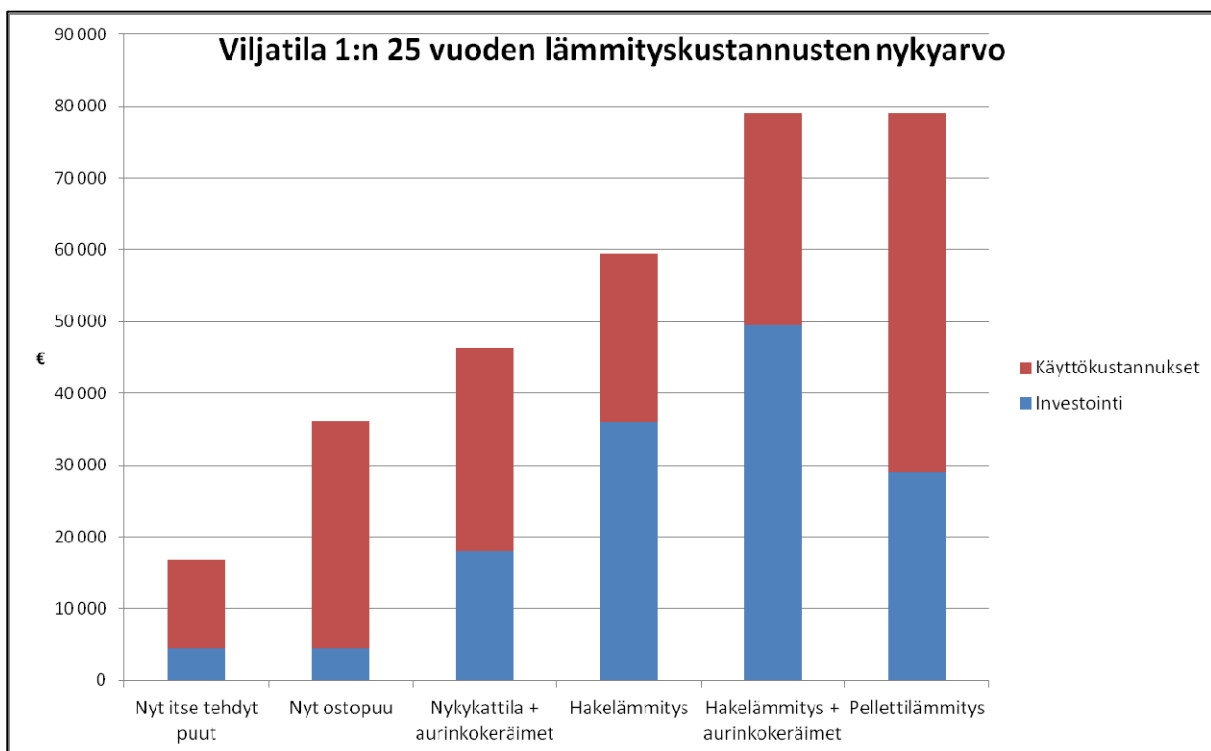
Kuva 4.6 NIBE Solar F215 P aurinkokeräin.

4.2.4 Yhteenveto

Taulukossa 4-1 on esitetty Viljatila 1:n energiakustannukset nykyään sekä hakkeella, pelletillä ja aurinkokeräimillä olettaen 25 vuoden elinkaari. Kuvassa 4.7 on laskettu 25 vuoden energiantuotannon kustannusten nykyarvo eri vaihtoehtoilla, mistä on helppo verrata eri vaihtoehtojen kokonaiskustannuksia koko elinkaaren aikana.

Taulukko 4-1. Viljatila 1:n energiantuotantokustannukset eri vaihtoehdoilla.

Viljatila 1	Nyt itse tehty	Nyt ostopuu	Hake Ariterm	Pelletti Ariterm	Aurinkokeräimet Nibe 6 kpl
Kulutus [MWh]	54	54	54	54	
- lämmin vesi [kWh]					1400
Investointi [€]	4 500	4 500	36 000	29 000	13 500
Kustannus [€/MWh]					
-käyttökust.	13,89	36,11	26,73	57,01	0
- LCOE (25 a)	19,02	41,24	67,77	90,07	207,16
Säästö vs. Ostopuu [€/a]			506,47	-1128,63	
Säästö vs. sähkölämmitys [€/a]					205,62
Suora takaisinmaksuaika [a]			71	nm.	66
Diskontattu takaisinmaksuaika [a]			-	-	-

**Kuva 4.7** Eri energiantuotantomuotojen 25 vuoden kustannusten nykyarvo.

Tilan nykyiset lämmityskustannukset ovat edulliset, etenkin jos asukkailla riittää tarmoa hakata polttopuut itse omasta metsästä. Ostopuutkin ovat käytännössä samanhintaisia ostohakkeen kanssa, mutta hakelämmitysjärjestelmän kallis hinta (36 000 €) nostaa kokonaisenergia-kustannukset huomattavasti korkeammalle kuten yllä olevasta kuvasta on nähtävissä.

Pellettilämmitys on vielä kalliimpaa (LCOE 90,07 €/MWh) ja aurinkokeräimien kannattamattomuus joko nykylämmitysjärjestelmään tai hakelämmitysjärjestelmään liitettynä on selkeästi nähtävissä kuvasta 4.7.

4.3 Viljatila 2

Viljatilalla 2 lämmitys hoidetaan kahdella öljykattilalla, jotka ovat peräisin 1970-luvun alusta. Myös yhden kilometrin päässä sijaitseva viljakuivain käyttää polttoöljyä lämmönlähteenään, mutta se on rajattu tämän tutkimuksen ulkopuolelle kaukaisen ja erillisen sijaintinsa vuoksi. Öljykattilat ovat jo käyttöikänsä ehtopuolella ja jo ikänsäkin puolesta uusittava lähivuosina.

Mahdolliset vaihtoehdot ovat hakelämmitysjärjestelmä, pellettilämmitysjärjestelmä ja maalämpö täydennettynä vesi-ilma –lämpöpumpulla. Vanhan kanalan lämmityksessä voidaan käyttää myös aurinkokeräimiä jos se on taloudellisesti kannattavaa.

4.3.1 Hakelämmitysjärjestelmä

Hakelämmitysjärjestelmäksi sopii sama Aritermin järjestelmä kuin Viljatila 1:kin. Lämpökeskus sijoitetaan vanhaan kanalaan, ja kanalasta joudutaan siksi kaivamaan lämpöeristetty kanaali, jossa lämpö- ja lämminvesiputket vedetään päärakennukselle. Tämä noin 50 metrin kanaalin kustannukseksi arvioin 4 000 euroa, kun käytetään metrikustannuksena 80 €/m. Kirjallisuudessa arviot vaihtelevat 50 ja 100 euron välillä. Kokonaisinvestointina laskelmissa on siis käytetty 40 000 euroa. Kattilan vesitilavuuden riittävyys (280 litraa) tulee varmistaa LVI-suunnittelijan kanssa, sillä lämmitettävää tilaa on paljon, lähes 700 m² ja 1 750 m³.

Järjestelmän kokonaishinnaksi asennettuna tulee siis arviolta 40 000 euroa veroineen. Hakkeen hintana on käytetty laskelmissa 18 €/i-m³, jolloin megawattituntin hinnaksi tulee 21,18 euroa. Vuosittaisiksi huolto- kunnossapitokustannuksina on käytetty samaa arvoa kuin Viljatila 1:n tapauksessa eli 300 €/a. Lämpökanaalin arvioiduksi lämpöhäviöksi saadaan 3 000 kWh/a kun käytetään putkiston lämpöhäviön arvona 15 W/m käytön aikana, käyttöaikana 4000 h/a ja putkiston pituutena 50 m [28]. Tämä häviö nostaa vaaditun primäärienergian määrän siis 53 megawattituntiin vuodessa.

Näillä arvoilla hakelämmityksen tasoitetuksi energiakustannukseksi tulee noin 77,7 euroa nettomegawattia kohti (lämpökanaalin häviö huomioitu, nettolämpömäärä 50 MWh/a) eli selkeästi vähemmän kuin nykykattilalla (107 €/MWh). Hakelämmityksen käyttökustannukset ovat lähes 4 000 euroa pienemmät vuodessa, jolloin suoraksi takaisinmaksuajaksi saadaan 10,2 vuotta ja diskontatuksi takaisinmaksuajaksi 12,7 vuotta. Sisäiseksi koroksi tulee 25 vuoden periodille 9,7 %.

4.3.2 Pellettilämmitysjärjestelmä

Pellettilämmitysjärjestelmäksi Viljatila 2:lle käy sama Aritermin järjestelmä kuin Viljatila 1:n tapauksessakin. Lämpökeskus sijoitettaisiin vanhaan kanalaan ja investointikustannus nousisi 33 000 euroon tarvittavan lämpökanaalin vuoksi. Järjestelmätoimitus sisältäisi myös 19 m³:n pyöreän pellettisiilon, mikä myös tässä tapauksessa mahdollistaisi yli vuoden polttoainetäydennysvälin vuotuisen kulutuksen ollessa noin 11 tonnia eli 16,6 i-m³. Huolto- ja kunnossapitokustannuksina on käytetty samaa määrää kuin Viljatila 1:ssä eli 220 €/a.

Näillä arvoilla pellettilämmityksen tasoitetuksi energiakustannukseksi tulee noin 101 €/MWh eli vain hieman vähemmän kuin nykyisillä öljykattiloilla. Vuotuiset käyttökustannukset ovat 2 324 euroa pienemmät, mutta vuotuinen säästö on huomattavasti pienempi kuin hakkeen tapauksessa. Suoraksi takaisinmaksuajaksi saadaan 14,2 vuotta ja diskontatuksi takaisinmaksuajaksi 20,6 vuotta eli hieman enemmän kuin laskennallinen 25 vuoden elinkaari. Sisäiseksi koroksi tulee 5,5 %.

4.3.3 Maalämpöjärjestelmä

Viljatilan 2 lämmitys voidaan hoitaa myös lämpöpumpuilla. Päärakennuksen lämmityksestä huolehtii maalämpöpumppu, tässä esimerkkinä NIBE:n malli F1245. Maalämpöpumppu lämmittää myös käyttöveden (käyttövesivaraajan tilavuus 180 l). Vanhaan kanalaan tarvitaan toinen lämmönlähde ja tässä tapauksessa soveltuva ratkaisu on vesi-ilma-lämpöpumppu, josta esimerkkinä Panasonicin malli WH-SXF12D9E8.

Vesi-ilma-lämpöpumppu lämmittää 300 litran varaajassa olevaa vettä, jonka lämmityksessä voidaan hyödyntää myös aurinkokeräimiä. Varaajasta esimerkkinä on

OSO:n malli RTV300E-3, jossa on 9 kW:n sähkövastus kovimpia pakkasia varten. Koko vuoden lämpökerroin on vesi-ilma-lämpöpumpuilla Suomen olosuhteissa koko noin kaksi, siis selvästi vähemmän kuin maalämpöpumppujen kohdalla. Vastaavasti laite on investointina selkeästi edullisempi, Panasonicin vesi-ilma-lämpöpumppu ja varaaja maksavat asennettuna yhteensä noin 11 500 €. Tekniset tiedot löytyvät liitteestä 7.

Maalämpöpumpun lämmönkeruuputkisto voidaan sijoittaa joko kallioon porattavaan lämpökaivoon tai läheiseen lampeen. Porakaivo-vaihtoehdossa käytettävä malli on NIBE F1245-10, jonka maksimi antoteho on 10 kW ja lämpökerroin (COP) keskimäärin 3,7. Porakaivon aktiivinen syvyys on 177 m. Hinta asennettuna on 22 500 €. Lämpökaivoon asennettavan maalämpöjärjestelmän tekniset tiedot, mitoituslaskelma ja Lämpöykkösen tarjous ovat liitteessä 5.

Lampeen asennettavassa vaihtoehdossa riittää hieman pienempi 8 kW:n malli, NIBE F1245-8. Lämpökerroin on hieman parempi eli 4,2 tulevan keruunesteen korkeamman keskilämpötilan vuoksi ja investointikin on noin 5 000 € edullisempi eli 17 500 €. Jotta keruuputkisto voidaan asentaa lampeen, tulee lammen olla riittävän syvä, yli kaksi metriä, jo lähellä rantaa [7]. Asennus vaatii myös luonnollisesti rakennusluvan ja maanomistajan tai vesioikeuksien haltijan suostumuksen. Vesistöön asennettavan vaihtoehdon tekniset tiedot, mitoituslaskelma ja Lämpöykkösen tarjous ovat liitteessä 6.



Kuva 4.8 NIBE F1245 maalämpöpumppu.

Ilma-vesi-lämpöpumppu varaajineen maksaa siis asennettuna noin 11 500 €. Lämpökerroin on keskimäärin 2, joten kanalan 15 000 kWh laskennallinen lämmitystarve vaatii noin 7 500 kWh sähköä. Lämpöpumppujen vuotuisiksi huolto- ja kunnossapitokustannuksiksi määräksi on arvioitu 220 €/a [26].

Kun lämmönkeruupiiri asennetaan porakaivoon, koko järjestelmän tasoitetuksi energia-kustannukseksi tulee 92,93 €/MWh ja vuosittaiseksi säästökäyttökustannuksissa 3 447 euroa öljylämmitykseen verrattuna. Suoraksi takaisinmaksuajaksi saadaan 9,9 vuotta ja diskontatuksi takaisinmaksuajaksi 12,2 vuotta. Sisäiseksi koroksi tulee 10,2 %.

Asennettaessa keruuputkisto viereiseen lampeen saadaan paremman lämpökertoimen ja edullisemmän investoinnin myötä vielä positiivisempia tunnuslukuja: tasoitettu energiakustannus (LCOE) on 83,25 €/MWh ja vuosittainen käyttökustannusten säästö 3 555 €/a. Suoraksi takaisinmaksuajaksi saadaan 8,2 vuotta ja diskontatuksi takaisinmaksuajaksi 10,6 vuotta. Sisäiseksi koroksi tulee 13,3 %.



Kuva 4.9 Panasonicin WH-sarjan vesi-ilma-lämpöpumppu.

4.3.4 Aurinkokeräimet vanhan kanalan lämmityksen avuksi

Vanhan kanalan lämmityksen avuksi voidaan asentaa myös aurinkokeräimiä. Esimerkkinä on tässä tutkimuksessa käytetty kolme kappaletta NIBE:n Solar For Coil FP215P –keräimiä sekä VPAS 300/450 –varaajaa. Varaaja mahdollistaa haluttaessa myös lämpimän käyttöveden lämmityksen. Järjestelmä maksaa asennettuna noin 12 500 euroa.

Teknisesti NIBE:n Solar For Coil –paneeli muistuttaa Viljatilalle 1 mahdollisesti asennettavia No Coil FP 215 -keräimiä, mutta Solar For Coil –mallissa ei ole lämmönvaihdinta vaan niitä käytetään integroidulla aurinkokierukalla varustettujen varaajasäiliöiden kanssa. Keräimen tekniset tiedot on esitetty liitteessä 8. Yhden kerääjän efektiivinen pinta-ala on 1,91 m², joten kuudella varaajalla päästään 5,73 m²:n pinta-alaan.

Aurinkokeräimien huollon ja puhdistuksen voi pääsääntöisesti tehdä itse, joten kunnossapito- ja huoltokustannuksiksi on laskelmissa oletettu nolla.

Aurinkokeräimien tuottona on laskelmissa käytetty arvoa 350 kWh/m^2 , jolloin kolme varaajaa tuottaa vuodessa noin 2 000 kWh, jonka arvo säästyneenä lämmitysöljynä on 210 €/a. Tällöin suoraksi takaisinmaksuajaksi saadaan 59 vuotta eli reilusti yli järjestelmän teknisen käyttöiän. Tasoitetuksi energiakustannukseksi (LCOE) saadaan näillä arvoilla roima 383,6 €/MWh.

Jos Kanalan lämmönlähde on edullisempi jää laskennallinen säästö vieläkin vaatimattomam-maksi, esimerkiksi hakkeen tapauksessa tasolle 56 €/a.

Aurinkokeräimet voidaan asentaa myös lämpöpumppujen yhteyteen, jolloin aurinkokeräimet liitetään vesi-ilma –lämpöpumpun varaajaan. Tällöin säästetään varaajan hinta (n. 3 300 €) eli lisäkustannukseksi tulee 9 200 euroa. Tässä tapauksessa säästetään vesi-ilma –lämpöpumpun käyttämää sähköä vuodessa 1 000 kWh eli 112 €/a. Suoraksi takaisinmaksuajaksi saadaan 82 vuotta ja tasoitetuksi energiakustannukseksi 292 €/MWh.

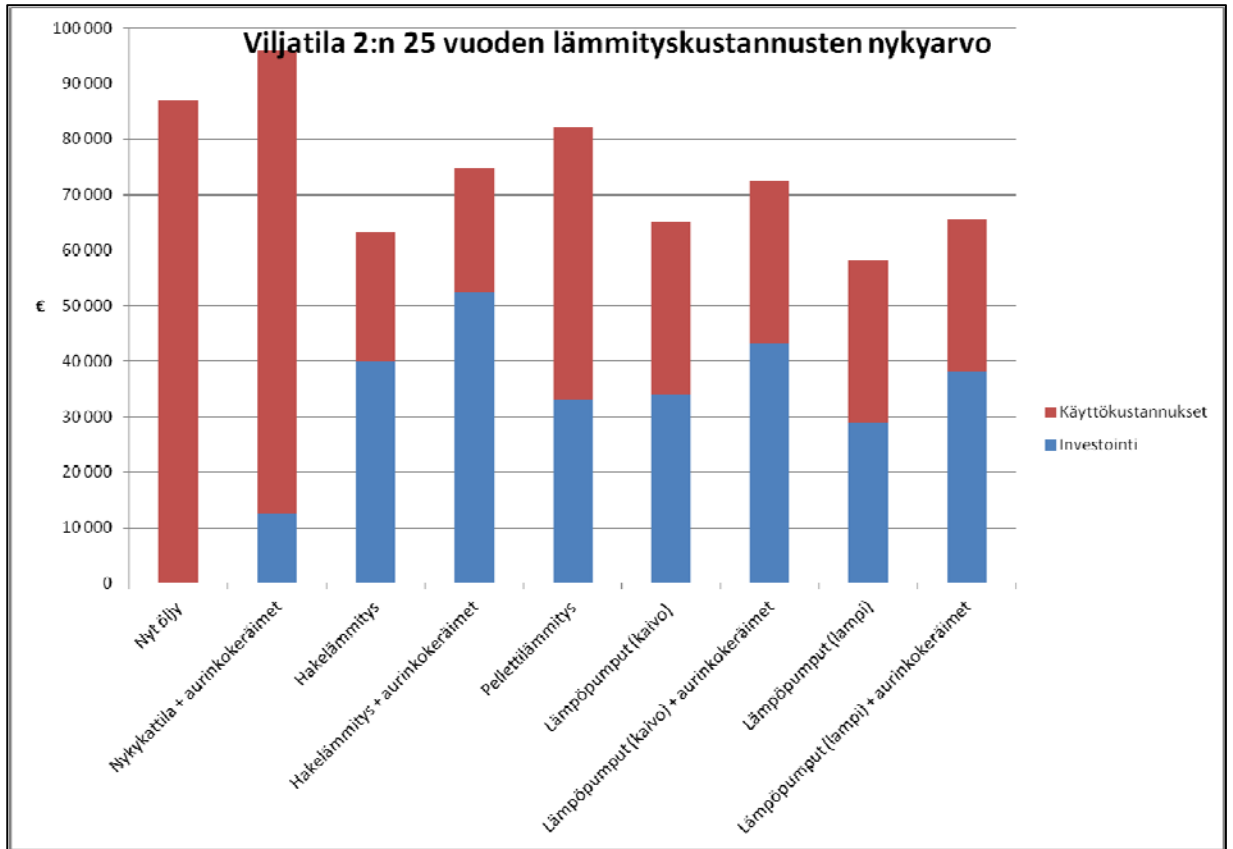
4.3.5 Yhteenveto

Taulukko 4-2. Viljatila 2:n energiatuotantokustannukset eri vaihtoehdoilla.

Viljatila 2 (ilman viljakuivaamaa)	Nyt öljy	Hake Ariterm	Pelletti Ariterm	Lämpöpumput Porakaivo	Lämpöpumput Lampi	Aurinkokeräimet NIBE 3 kpl + varaaja
Kulutus [MWh]	50	50	50	50	50	
- energian säästö [kWh]						2 006
Investointi [€]		40 000	33 000	34 000	29 000	12 500
Kustannus [€/MWh]						
- käyttökustannukset	107,00	28,45	60,51	67,98	64,11	-
- LCOE (25 a)	107,00	77,69	101,14	92,93	83,25	383,63
Säästö [€/a]		3 927,65	2 324,31	3 446,53	3 555,04	210,58
Suora takaisinmaksuaika [a]		10,2	14,2	9,9	8,2	59
Diskontattu takaisinmaksuaika [a]		12,7	20,6	12,2	10,6	-
IRR (25 a)		9,7 %	5,5 %	10,2 %	13,3 %	

Taulukkoon 2 on summattu Viljatila 2:n energiakustannukset eri vaihtoehdoilla. Selkeästi taloudellisesti järkevimät vaihtoehdot ovat hakelämmitys tai lämpöpumpuilla hoidettu lämmitys, etenkin jos lämmönkeruuputkisto voidaan sijoittaa tontin viereiseen lampeen, jolloin tasoitettu energiakustannus laskisi lähes 10 €/MWh ja tarvittava investointi 5 000 €. Lammen hyväksikäyttö vaatii vähintään 2 metrin syvyyden jo lähellä rantaa ja myönteisen suhtautumisen niin kaupungin rakennustarkastukselta kuin lammen omistajaltakin.

Pellettilämmityksen tapauksessa kustannukset nousevat pääomakulut mukaan lukien lähelle nykyisiä käyttökustannuksia (LCOE 101,14 €/MWh), vaikka käyttökustannukset ovatkin selkeästi halvemmat kuin kevyttä polttoöljyä käytettäessä.



Kuva 4.10 Eri energiatuotantomuotojen 25 vuoden kustannusten nykyarvo.

Kuva 4.10 on koottu eri vaihtoehtojen 25 vuoden lämmityskustannusten nykyarvoja. Kuvasta käy selvästi ilmi lämpöpumppujen edullisuus ja toisaalta aurinkokeräimien kustannuksia nostava vaikutus kaikissa tapauksissa.

Lämpöpumppujen kohdalla tulee huomioida melko suuri sähkönkulutus (14 000–15 000 kWh/a) ja se, että koko elinkaaren kustannuksia arvioitaessa on käytetty nykyistä sähkön hintaa (11,17 c/kWh). Sähkön hinta voi nousta 25 vuoden kuluessa melkoisesti kun taas esimerkiksi hakkeen tapauksessa polttoainetta saa haluttaessa omasta metsästä edulliseen ja ennustettavaan hintaan.

Viljatilalla 2 on myös mahdollista saada tukea lämpökeskusinvestointiin. Esimerkiksi valtion vuoden 2012 talousarviossa on energia-avustusten myöntämistä varten vahvistettu 10 miljoonan euron suuruinen määräraha uusiutuvaa energiaa hyödyntävien lämmitystapojen käyttöönottoon ympärivuotisessa asuinkäytössä. Vuoden 2012 haku aika on umpeutunut 11.4.2012, mutta todennäköisesti samanlaista tukea on saatavissa myös tulevina vuosina.

Avustuksen maksaa Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA, ja sitä haetaan siltä kunnalta, jossa asunto sijaitsee eli tässä tapauksessa Saarijärven kaupungilta [29].

Uusiutuvan energian avustuksen edellytyksenä on mm. se, että tuettava kohde on öljyllä tai suoralla tai varaavalla sähkölämmityksellä pääasiallisesti lämmitetty ja siksi tämän tutkimuksen kohteista vain Viljatila 2 soveltuu tämän tuen piiriin. Avustuksella voidaan tukea mm. maalämpöpumppujärjestelmän tai pelletti- tai muun puulämmitysjärjestelmän rakentamista. Avustuksen maksimimäärä on 20 % hyväksyttävistä kustannuksista.

Maatilojen on mahdollista saada avustusta uusiutuvaa energiaa käyttävän lämpökeskuksen rakentamiseen myös maatilatalouden rakennetukena, jota haetaan ELY-keskukselta. Lämpökeskuksen tulee palvella kokonaan tai osittain maatilan tuotantotoimintaa ja tukea voi saada vain siltä osin kun lämpö on tarkoitettu tähän varsinaiseen tuotantotoimintaan, esimerkiksi tilan tuotantotoiminnassa tarvittavien rakennusten ja konehallien lämmitykseen [30]. Viljatila 1:n ja Lypsykarjatilán tapauksessa valtaosa lämpöenergiasta kuluu asuinrakennusten lämmitykseen, joten tämä tukimuoto ei oikein sovellu kyseisille tiloille. ELY-keskukselta haettavan tuen maksimimäärä on 15 % avustuksena ja 70 % korkotukilainana.

4.4 Lypsykarjatila

Lypsykarjatilalla lämmitysenergian tuottaa Alatalkkarin 80 kW:n kattila, jossa tällä hetkellä poltetaan brikettiä. Kattila mahdollistaa myös hakkeen ja pelletin käytön, mutta se vaatisi muutoksia polttoaineen syöttöjärjestelmään. Kattila on jo kymmeniä vuosia vanha, mutta vielä täysin käyttökelpoinen vielä pitkään. Lämmitysjärjestelmä maksoi kokonaisuudessaan noin 13 500 euroa.

Brikettiä kuluu 15–20 tonnia vuodessa ja primäärienergiana 20 tonnia merkitsee 96 MWh/a. Briketti on nykyään kuitenkin melko edullista, 100 €/t, joten se on selkeästi pellettia edullisempaa ja vain hiukan ostohaketta kalliimpaa. Siksi Lypsykarjatilan lämmityskustannukset vuodessa ovat vain hiukan yli 2 000 €/a, joten tässä suhteessa ei ole syytä harkita vaihtoehtoisia lämmitystapoja. Alatalkkarin kattila myös mahdollistaa esimerkiksi polttoaineen vaihdon jos briketin hinta nousee merkittävästi. Tasoitetuksi energiakustannukseksi saadaan 30,5 €/MWh.

4.4.1 Aurinkokeräimet lämpimän käyttöveden tuottamiseen

Lypsykarjatilan suuri eläinmäärä kuluttaa paljon vettä, lähes 4000 m³/a josta lämmintä vettä on arviolta 300 m³. Näin suuren vesimäärän lämmittäminen 80 °C lämpötilaan kuluttaa jo merkittävän määrän sähköenergiaa, noin 14 000 kWh/a, vaikka lypsetyn maidon lämpöenergian avulla lämmin käyttövesi esilämmitetään lämmönvaihtimessa 40 °C lämpötilaan.

Aurinkokeräimet soveltuvat parhaiten juuri lämpimän käyttöveden lämmittämiseen, keräimillä onkin mahdollista tuottaa merkittävä osa lämpimään käyttöveteen kuluva energiasta maalisyyskuun välisenä aikana. Tässä tutkimuksessa esimerkkinä käytetään samaa keräintä kuin Viljatila 2:n tapauksessa, NIBE Solar for Coil FP 215 -mallia, joita asennettaisiin Uuden navetan yhteyteen kuusi kappaletta. Yhden keräijän efektiivinen pinta-ala on 1,91 m², joten kuudella varaajalla päästään siis 11,46 m²:n pinta-alaan. Lisäksi tarvitaan suuren vedenkulutuksen vuoksi melko suuri varaaja ja tässä tapauksessa on valittu 1500 litran Capito:n hybridivaraaja S-PD 1500. Järjestelmän hinta on asennettuna 16 000 €.

Aurinkokeräimien huollon ja puhdistuksen voi pääsääntöisesti tehdä itse, joten kunnossapito- ja huoltokustannuksiksi on laskelmissa oletettu nolla.

Lypsykarjatilan kohdalla on aurinkokeräimien tuottona käytetty hieman matalampaa arvoa, 300 kWh/m². Tämä johtuu lämmitettävän veden korkeammasta lämpötilasta, mikä laskee aurinkokeräimien hyötysuhdetta. Aurinkokeräimillä saadaan tuotettua noin 3 400 kWh energiaa, joka voidaan kokonaisuudessaan käyttää lämpimän veden tuotantoon ja pienentää tältä osin sähkön kulutusta. Auringosta saadaan siis lähes neljännes vedenlämmitysenergiasta.

Laskennallinen säästö on siis sähkön nykyhinnoin noin 285 €/a, jolloin suoraksi takaisinmaksuajaksi saadaan 56 vuotta, joka on tässäkin tapauksessa yli järjestelmän teknisen käyttöiän. Tasoitetuksi energiakustannukseksi (LCOE) saadaan näillä arvoilla roima 286 €/MWh.

Aurinkokeräimen tekniset tiedot on esitetty liitteessä 8.



Kuva 4.11 Capito SPD hybridivaraaja.

4.4.2 Yhteenveto

Taulukko 4-3. Lypsykarjatilän lämmityskustannukset ja aurinkokeräimien kustannukset.

Lypsykarjatila	Nyt Briketti	Aurinkokeräimet Nibe 6 kpl + varaaja
Kulutus [MWh]	96	
- lämmin vesi [kWh]		14 000
Investointi [€]	13 500	16 000
Kustannus [€/MWh]		
-käyttökust.	21,88	0
- LCOE (25 a)	30,53	286,45
Säästö vs. sähkölämmitys [€/a]		284,67
Suora takaisinmaksuaika [a]		56
Diskontattu takaisinmaksuaika [a]		-

Taulukossa 4-3 on esitetty Lypsykarjatilän lämmityskustannukset ja mahdollisen Uuden navetan aurinkokeräininvestoinnin tunnusluvut.

Tilalla käytettävä briketti on kustannuksiltaan hyvin kilpailukykyinen vaihtoehto, käyttökustannukset ovat vain hieman yli 20 €/MWh. Briketti on epäilemättä taloudellisin vaihtoehto myös lähitulevaisuudessa, ja käytössä oleva 80 kW biokattila mahdollistaa polttoaineen vaihdon kohtuullisin investoinnein mikäli polttoaineiden hintasuhteet muuttuvat radikaalisti tulevaisuudessa.

Aurinkokeräimien avulla on mahdollista lämmittää osa käytettävästä lämpimästä käyttövedestä, mutta aivan kuten viljatilojen kohdalla se ei ole taloudellisesti järkevää. Tasoitettu energiakustannus on yli kolminkertainen nykyiseen sähkön hintaan verrattuna.

5. Uusiutuvat energialähteet sähköntuotantoon

Markkinoille on viime vuosina tullut lukuisia tuotteita sähkön pientuotantoon. Teknologioista tämän tutkimuksen maatilakohteisiin soveltuu parhaiten aurinkosähkö ja pientuuliturbiinit. Biokaasu tai pienen kokoluokan CHP eivät kolmella maatilakohteella keskustelujen perusteella osoittautuneet realistisiksi. Aurinkokennot taas eivät ole taloudellisesti järkeviä jos verkkosähköä on saatavissa, kuten kappaleessa 2.7 on todettu.

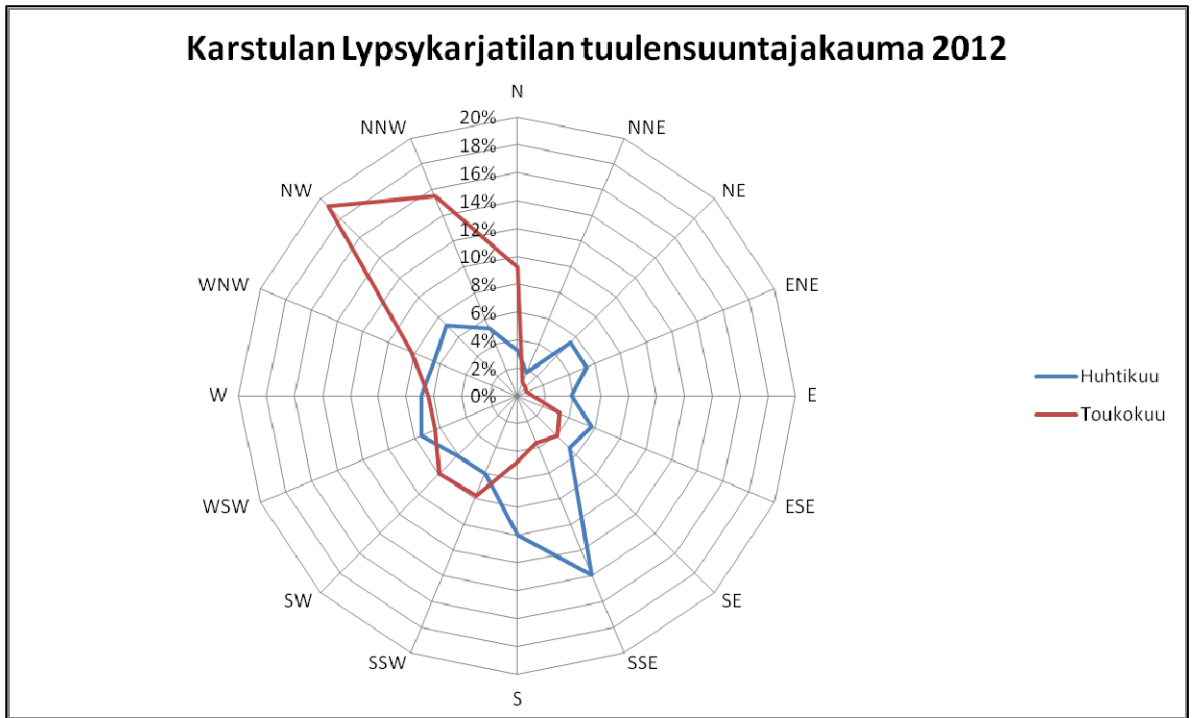
5.1 Pientuuliturbiini Lypsykarjatilalle

Lypsykarjatalo kuluttaa paljon sähköä, noin 120 000 kWh vuosittain. Tilan isäntä on halukas tuottamaan osan tästä itse jos se on taloudellisesti kannattavaa. Kun kulutus on näin suuri, tilalle sopii melko suurikin pientuuliturbiini. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa valittiin Tuulivoimala.com -yrityksen maahantuoma WPE 10 kW:n malli 24 metrin mastolla (Kuva 5.3). Sisämaahan myytävät voimalat yritys varustaa suhteellisen leppeiden tuuliolojen vuoksi suuremmalla 20 kW:n mallin 10 metrin halkaisijan roottorilla, kun vakioroottorin halkaisija on 8 m. Näin tuuliturbiinin teho paranee pienillä tuulen nopeuksilla. Kolmilapaisen tuuliturbiinin aloitustuulennopeus on 3 m/s ja turbiini saavuttaa maksimitehonsa 11 kW noin 10,5 m/s tuulella. Voimalan generaattorin tuottama kolmivaihevirta syötetään verkkoonliitälaitteen (3x Windy Boy 3800) kautta kantaverkkokyttimeen. Kantaverkkokytin asennetaan kantaverkon ja sulaketaulun väliin, jolloin se saa synkronointitajuuden kantaverkosta. Kytin tuottaa sähköä kiinteistön käyttöön ja jos voimalan tuotto ei riitä, ylimenevä osuus otetaan kantaverkosta. Mikäli tuotto ylittää tarpeen, ylijäämä ohjataan kantaverkkoon. Tuuliturbiinin tekniset tiedot ja Tuulivoimala.com:n tarjous ovat esitetty liitteissä 9 ja 10.

Lypsykarjatilalla vuoden keskituulennopeus on Ilmatieteen laitoksen Tuuliatlaksen mukaan 50 metrin korkeudessa 4,91 m/s. Logaritmilain mukaan laskemalla 24 metrin korkeudella keskituuleksi saadaan 4,42 m/s [13].

Tutkimusprojektin aikana teimme myös tuulimittauksia Lypsykarjatilalla, käytetty laitteisto on Davis Instruments Corporationin valmistama Vantage Pro2 Plus (#6162C). Mittari on asennettu uuden navetan katolle noin 10 metrin korkeudelle. Kuva 5.1 esittää tuulen

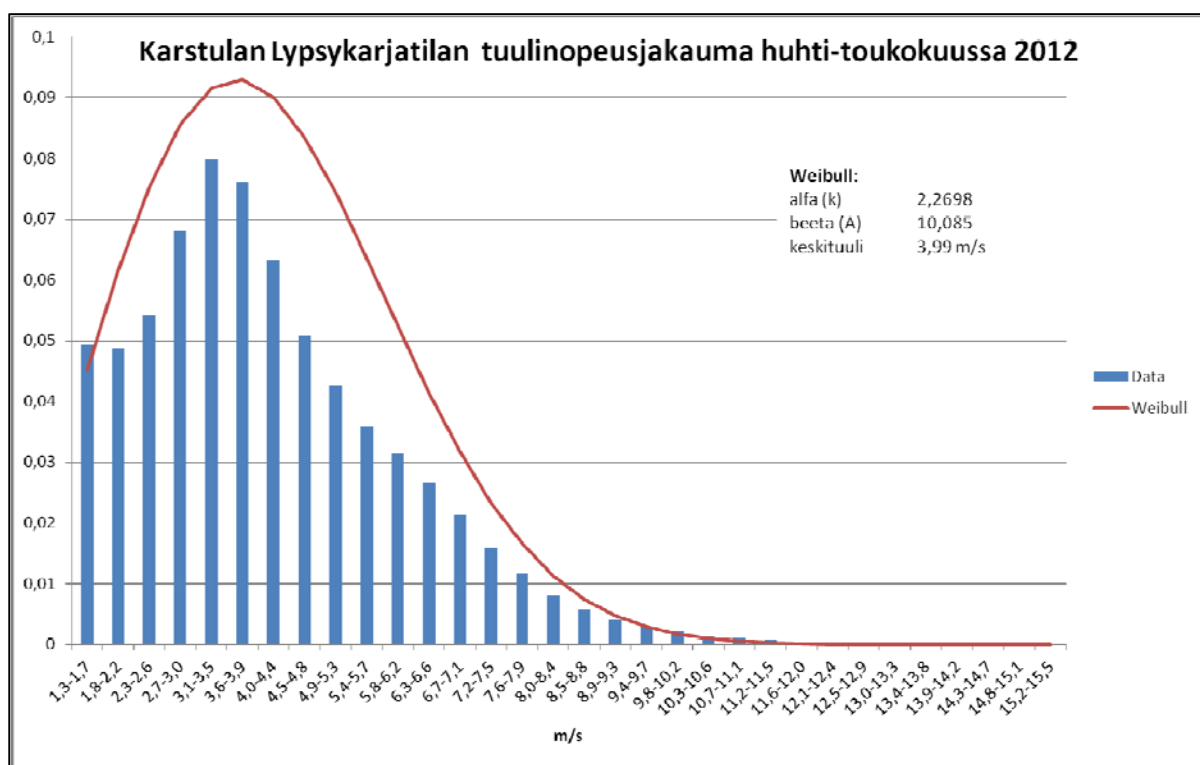
suuntajakaumat huhti-toukokuussa 2012. Tuulen suunta näyttää painottuneen etelään huhtikuussa ja melko voimakkaasti luoteeseen ja länteen toukokuussa.



Kuva 5.1 Karstulan Lypsykarjatilan tuulensuuntajakauma huhti-toukokuussa 2012.

Kuvassa 5.2 on esitetty saman ajanjakson tuulinopeusmittausten jakauma. Kuvassa on myös pienimmän neliösumman menetelmällä laskettu Weibull-jakauman sovitus. Vantage –tuulimittarin mittausalue alkaa vasta nopeudesta 1,3 m/s (3 mph), joten tätä pienempien tuulennopeuksien käsittely on melko ongelmallista ja joudutaan käytännössä jättämään pois. Mittausaikana työntä (alle 1,3 m/s) oli 30 % ajasta, mutta Weibull-sovitus on siis laskettu ”tuulisen ajan” jakauman mukaan. Tämä näkyy myös Weibull-käyrän suurempina arvoina mittausfrekvensseihin verrattuna.

Mittausaineistosta laskettu keskituulen aritmeettinen keskiarvo on 2,87 m/s eli jonkin verran vähemmän kuin Tuuliatlaksen arvo huhti-toukokuulle 10 metrin korkeudella (3,58 m/s). Jos alle 1,3 m/s tuulilukemat jätetään pois, keskiarvoksi tulee 3,98 m/s. Sovitetun Weibull-jakauman keskiarvo on 3,99 m/s. Mittausjakson lyhyen keston vuoksi tuulivoimalan tuottoarvion laskemissa käytetään Tuuliatlaksen antamia eli arvoja 4,42 m/s vuotuista keskituulta 24 m korkeudella.



Kuva 5.2 Karstulan Lypsykarjatilan tuulensuuntajakauma huhti-toukokuussa 2012.

WPE 10 kW –tuulivoimala järjestelmineen maksaa avaimet käteen -toimituksena 46 300 euroa + ALV eli yhteensä 56 950 €. Arvonlisäveroton hinta jakautuu seuraavasti:

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| • Tuulivoimala | 11 900 € |
| • Verkkoonliitäntälaitte 3xWB 3800 | 5 900 € |
| • Ristikkomasto 24 m | 16 900 € |
| • Asennus | 10 300 € |
| ○ Perustus | 5 800 € |
| ○ Pystytys | 2 400 € |
| ○ Sähköasennus | 2 100 € |
| • Rahti | 1 900 € |
| Yhteensä | 46 300 € |

Käyttämällä Rayleigh-jakaumaa ja tuulivoimalan tehokäyrää 4,42 m/s keskituulella tuulivoimalan tuottoarvioksi saadaan 19 340 kWh vuodessa. Rahallisena säästönä tämä tarkoittaa Lypsykarjatilan sähkön hinnoilla 1 138 euroa vuodessa eli suoraksi takaisinmaksuajaksi saadaan 55,2 vuotta, joka ylittää moninkertaisesti tuulivoimalan taloudellisen ja teknisen kestoiän. Tasoitetuksi energiakustannukseksi 25 vuoden periodille

saadaan 210,7 €/MWh eli yli 2,5 kertaa enemmän Lypsykarjatilan nykyään maksamaan sähkön hintaan verrattuna.



Kuva 5.3 WPE 20 kW:n tuulivoimala.

Tuulisähkö on siis selkeästi kannattamatonta näissä tuulioloissa tällä kustannusrakenteella ja sähkön hinnalla. Sähkö on tosin Suomessa kansainvälisesti vertailtaessa melko edullista, esimerkiksi Eurostatin tilastojen mukaan Saksassa pienkuluttajien (kotitaloudet, 2 500–5 000 kWh/a) maksama verollinen hinta oli vuoden 2011 toisella puoliskolla 61 % korkeampi (25,3 c/kWh) kuin Suomessa (15,73 c/kWh). Tanskassa hinta oli Euroopan korkein 29,75 c/kWh eli 89 % korkeampi kotimaiseen hintaan verrattuna ja naapurimaassamme Ruotsissakin hinta oli 30 % korkeampi, 20,44 c/kWh [31].

Kannattavuusrajana voi pitää 25 vuoden diskontattua takaisinmaksuaikaa, jolloin myös projektille laskettava sisäinen korko on sama kuin diskonttokorko eli 4 %. Tällöin tulisi sähkön maksaa 21,07 c/kWh eli 154 % enemmän kuin Lypsykarjatila nyt maksaa sähköstään. Vaihtoehtoisesti tuulivoimala saadaan kannattavaksi jos investointi maksaisi vain 22 380 euroa eli 61 % vähemmän Tuulivoimala.com:n tarjoukseen verrattuna. Myös paremmat tuuliolot nostaisivat luonnollisesti kannattavuutta ja kannattavuusraja ylitetään 49 220 kWh:n vuosituotolla. Tämä vaatisi tosin 7,35 m/s keskituulen, joka on kyllä sisämaassa utopiaa.

Jotta tuulisähköstä saataisiin kannattava, tulee investoinnin hinta laskea melkoisesti. Tuulivoimala.com:n tarjous on melko kallis, mutta jonkin verran voi säästää esimerkiksi tekemällä perustustyöt itse. Suurempien säästöjen tavoittelu vaati jo harrastuneisuutta, markkinoilta löytyy kyllä huomattavastikin edullisempia 10 kW:n teholuokan tuulivoimaloita mm. kiinalaisista nettikaupoista ja joitakin komponentteja, esimerkiksi maston, voi hankkia käytettynä.

Hyvin todennäköisesti sähkön hinta tulee yhä nousemaan ja oma piensähkötuotanto tulee tällöin houkuttelevammaksi. Saksan päätettyä sulkea kaikki ydinvoimalansa vuoteen 2022 mennessä Karlsruhen teknologiainstituutti on arvioinut energian kallistuvan Saksassa 75 % vuoteen 2025 mennessä [32] ja tällä on varmasti vaikutuksensa energian hintoihin myös Suomessa.

5.2 5 kW:n pientuuliturbiini Viljatilaille

Viljatilalla sähkön kulutus on huomattavasti pienempi, 7 500 ja 6 500 kWh/a. Siksi soveltuva tuuliturbiinikin olisi pienempi, esimerkkinä laskelmissa olen käyttänyt kahta nimellisteholtaan noin 5 kW:n tuuliturbiinia, WPE 5 kW:a ja Antaris 6 kW:a. Tuuliturbiinien tekniset tiedot ja Tuulivoimala.com:n tarjoukset ovat liitteinä 11, 12 ja 13.

WPE 5 kW –tuulivoimala järjestelmineen maksaa avaimet käteen -toimituksena 26 900 euroa + ALV eli yhteensä 33 090 €. Arvonlisäveroton hinta jakautuu seuraavasti:

• Tuulivoimala	6 000 €
• Verkkoonliitännälaite 3xWB 2500	5 200 €
• Ristikkomasto 24 m	6 500 €
• Asennus	7 700 €
○ Perustus	3 300 €
○ Pystytys	2 400 €
○ Sähköasennus	2 000 €
• Rahti	1 500 €
Yhteensä	26 900 €

Antaris 6 kW –tuulivoimala järjestelmineen maksaa avaimet käteen -toimituksena 31 800 euroa + ALV eli yhteensä 39 100 €. Arvonlisäveroton hinta jakautuu seuraavasti:

• Tuulivoimala	9 900 €
• Verkkoonliitännälaite 3xWB 3800	6 200 €
• Ristikkomasto 24 m	6 500 €
• Asennus	7 700 €
o Perustus	3 300 €
o Pystytys	2 400 €
o Sähköasennus	2 000 €
• Rahti	1 500 €
Yhteensä	31 800 €

Taulukoon 5-1 on koottu WPE 5 kW:n ja Antaris 6,5 kW:n tuotot ja kustannukset viljatilajoilla. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin Lypsykarjatilanteissa ja tasoitetut energiakustannukset (LCOE) ylittävät nykyisen sähkön hinnan moninkertaisesti. Kannattamattomuudesta kielivät myös pitkät takaisinmaksuajat, jotka ovat parhaimmillakin 45 vuoden luokkaa Viljatilalla 2. Viljatilalla 1 kärsii myös huonoista tuulioloista, keskituuli 24 metrin korkeudella on Tuuliatlaksen mukaan vain 3,99 m/s. Tässä esimerkkinä käytetystä kahdesta pientuulivoimalasta WPE 5 kW antaa suuremman tuoton ja siksi myös selkeästi paremman kannattavuuden edullisemmasta hinnasta ja pienemmästä nimellistehosta huolimatta.

Omat haasteensa asettaisi myös sähkön varastoinnin vaikeus, sillä erityisesti Viljatilalla 2 hetkittäinen tuotto ylittää aika ajoin tilanteen kulutuksen. Taulukossa 5-1 esitetyt kannattavuusluvut edellyttävät sitä, että paikallinen verkkoyhtiö maksaisi käyvän korvauksen kantaverkkoon syötetystä sähköstä, mikä on ainakin toistaiseksi harvinaista.

Taulukko 5-1. Tuulisähkön kustannukset Viljatilajoilla.

	Viljatilalla 1		Viljatilalla 2	
	WPE 5 kW	Antaris 6,5 kW	WPE 5 kW	Antaris 6,5 kW
Keskituuli 24 m [m/s]	3,99		4,64	
Sähkön tuotto [kWh/a]	6 156	4 597	9 586	7 237
Investointi [€]	33 090	39 100	33 090	39 100
Vuotuinen säästö [€/a]	426,90	174,89	739,86	417,37
LCOE [€/MWh]	384,60	608,57	246,98	386,57
Suora takaisinmaksuaika [a]	77,5	223,6	44,7	93,7

6. Johtopäätökset

Uusiutuvia energialähteitä hyödyntäviä lämmitysjärjestelmiä on markkinoilla paljon, ja tekniikka on useimmissa sovelluksissa jo varsin kypsää ja koeteltua. Uusissa pientaloissa maalämpö onkin suosituin lämmitysmuoto yli 45 % markkinaosuudella ja myös ilma-vesi – lämpöpumppu on lisännyt suosiotaan viime vuosina. Maaseudulla puulämmityksen merkitys on huomattava, Työtehoseuran tilastojen mukaan vuonna 2002 68 % maatiloista käytti puuta päälämmönlähteenä [1]. Tämä onkin luontevaa, koska polttopuuta on saatavissa omasta metsästä ja myös lämmitysenergian määrä on usein suurempi kuin taajamien pientaloissa.

Tutkimuksen maatilakohteissa luontevin ratkaisu onkin käyttää päälämmönlähteenä lähimetsästä saatavaa puuta tai lämpöpumppuja mahdollisesti aurinkolämmöllä täydennettynä. Tässä tutkimuksessa näkökulma on pitkälti taloudellinen, eli pääpaino oli elinkaarikustannuksiltaan edullisimman ratkaisun löytämisessä.

Tämän tutkimuksen kohteissa kahdessa, Viljatila 1:llä ja Lypsykarjatilalla, käytettiin puuta polttoaineena. Viljatila 1 käytettiin omaa polttopuuta ja laskennallinen käyttökustannus jää alle 14 €/MWh tasolle jos omalle työlle ei lasketa hintaa. Käyttämällä ostopolttopuuta käyttökustannus nousee 36 €/MWh:oon. Lypsykarjatilalla biokattilassa poltettiin brikettiä, jonka hinta keväällä 2012 oli noin 100 €/t. Tällöin käyttökustannuksiksi muodostui noin 22 €/MWh. Molemmilla tiloilla lämmitysenergian hinta oli siis hyvinkin kohtuullinen.

Viljatilalla 2 lämmityspolttoaineena oli taas kevyt polttoöljy, jonka hinta on noussut jatkuvasti myös 2000-luvulla. Keväällä 2012 hinta oli noin 1,05 €/l, jolloin käyttökustannuksiksi tuli 107 €/MWh. Myös 1970-luvun alkupuolen öljykattilat alkavat olla käyttöikänsä loppupuolella, joten lämmitysjärjestelmän uusinta tulee pakostikin eteen lähivuosina.

Viljatilalla 2 kustannustehokkaimmiksi vaihtoehdoiksi osoittautuivat hakelämmitysjärjestelmä tai lämpöpumppuihin perustuva järjestelmä. Vaadittava investointi on melko suuri, 30–40 000 euroa, mutta huomattavasti edullisemmat käyttökustannukset mahdollistavat järkevät takaisinmaksuajat, jotka ovat luokkaa 8–10 vuotta.

Aurinkolämmön luontevin käyttökohde on käyttöveden lämmitys, ja Suomessa on mahdollista tuottaa aurinkolämpökeräimillä noin puolet tähän vaadittavasta energiasta maalis-syyskuun välisenä aikana. Aurinkolämmitysjärjestelmien hinta ovat kuitenkin melko korkeita ja taloudellinen kannattavuus osoittautui hyvin heikoksi kaikissa kolmessa tutkimuskohteessa. Laskennalliseksi aurinkolämmön kustannukseksi saatiin 207–383 €/MWh kohteesta riippuen eli moninkertaisesti sähkөөn tai öljyyn verrattuna.

Myös pientuulivoima osoittautui ainakin toistaiseksi kannattamattomaksi investoinnin kalleuden ja sisämaan leppeiden tuuliolojen vuoksi. Lypsykarjatilalle kaavailtu 10 kW pientuuliturbiini tuottaisi noin 19 300 kWh vuodessa, mutta 57 000 euron investointi merkitsisi noin 211 euron kustannusta megawattituntia kohti 25 vuoden elinkaarelle jakotettuna. Viljatiloiille soveltuvat 5 kW teholuokan tuuliturbiinit olisivat suhteellisesti vielä kalliimpia, jolloin laskennallinen tasoitettu energiakustannus (LCOE) olisi 247–609 €/MWh. Oma sähköntuotanto ei ole siis toistaiseksi taloudellisesti järkevää jos verkkosähköä on saatavilla.

Asuntomessuilla ja rakentajien keskuudessa on esiintynyt kuitenkin huomattavaa kiinnostusta aurinkolämpöjärjestelmiä kohtaan. Kaukomarkkinoiden toimitusjohtaja Jukka Nieminen kertoi Talouselämä-lehdessä rakentajien haluavan ostaa aurinkolämmitysjärjestelmiä, eivätkä rakentajat eivätkä ole kiinnostuneita hankinnan takaisinmaksuajasta. Nieminen puhuu ”irrationaalisesta kysynnästä” ja hänen mukaansa kysyntää ohjaa lähinnä kilpailu siitä, kuka on ”se fiksuin jätkä kadulla” [33]. Ilmiö ei ole kotikutoinen, ja Yhdysvalloissa ilmiö on nimetty Prius-efektiksi. Nimi tulee ensimmäisestä kaupallisesti menestyneestä hybridi-autosta, Toyota Priuksesta. Ilmiö koskee myös aurinkolämpöjärjestelmiä ja esimerkiksi Kaliforniassa eräät asukkaat ovat asentaneet aurinkopaneelinsa kadun puolelle vaikka tuotto olisi suurempi takapihalla. Samuel Dastrub et al. artikkelissaan “Understanding the Solar Home Price Premium: Electricity Generation and ‘Green’ Social Status,” raportoi aurinkotalojen maksavan keskimäärin 3,5 % enemmän verrattuna vastaavanlaisiin taloihin ilman aurinkolämpö- tai -sähköjärjestelmää. Hintaero on suurempi alueilla, joissa asukkaat ovat korkeasti koulutettuja tai Toyota Priusten määrä on suuri [34].

7. Lähteet

- [1] Jukka Konttinen: KEMS801 Renewable energy technology –kurssin luentomateriaali ”Bioenergy Production”.
- [2] EU:n ilmasto- ja ympäristöpaketti, [WWW-dokumentti]
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22013&lan=fi>, [luettu 27.7.2012]
- [3] Metla, Metsätalustollinen vuosikirja 2011. [WWW-dokumentti], <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2011/index.html>, [luettu 6.3.2012]
- [4] Asko Puhakka (toim.), Hakelämmitysopas, Helsinki, 2001
- [5] Ariterm puulämmitysopas. [WWW-dokumentti], <http://www.ariterm.fi/387>, [luettu 6.3.2012]
- [6] Bioenergiatieto.fi, bioenergian verkkopalvelu. [WWW-dokumentti],
http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta/energiatuotannon_tekniikka/polttotekniikka_kiinteille_polttoaineille/leijupoltto/, [luettu 7.3.2012]
- [7] Motiva: ”Lämpöä omasta maasta” [WWW-dokumentti],
http://www.motiva.fi/files/3378/Lampoa_omasta_maasta_maalampopumput.pdf, [luettu 2.2.2012]
- [8] Suomen uusiutuva energia [WWW-dokumentti],
<http://www.uusiutuva.fi/Upload/Media/Lampopumpun%20periaate.jpg>, [luettu 2.2.2012]
- [9] Motiva: ”Pientalon lämmitysjärjestelmät” [WWW-dokumentti],
<http://motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf> [luettu 3.2.2012],
- [10] ”Finn riktig Varmepumpe”, Norjalainen ilmalämpöpumpputesti vuodelta 2004, [WWW-dokumentti], http://www.ilmalampopumput.fi/index.php?node_id=6569, [luettu 8.2.2012]
- [11] TM Rakennusmaailma, 5E/2010, p. 48–60, 7.7.2010
- [12] Markku J. Huttunen & Ville Kuittinen: Suomen biokaasulaitosrekisteri nro 14, tiedot vuodelta 2010. University of Eastern Finland, Joensuu 2011
- [13] Joonas Kalmari: Maatilakohtaisen biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuus suomalaisella sikatilalla, Helsingin yliopiston Taloustieteen laitoksen selvityksiä nro 42, Helsinki, 2006
- [14] Jussi Maunuksela: KEMS806 Wind energy technology –kurssin luentomateriaali.
- [15] European Wind Energy Association: Wind in power, 2011 European statistics, [WWW-dokumentti], http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/statistics/Stats_2011.pdf. [luettu 26.3.2012]
- [16] Tekniikan Maailma Erikoisnumero Kodin energia, 18E/2011, p. 48-54, 124-126, 12.10.2011
- [17] Motiva: ”Tukilämmitysjärjestelmät”, [WWW-dokumentti], http://motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/tukilammitysjarjestelmat, [luettu 7.12.2011]
- [18] Tekniikka & Talous: Energia, Helmikuu 2012, s. 10. Tekniikka % Talous-lehden teemaliite.
- [19] Jussi Maunuksela: KEMS801 Renewable energy technology –kurssin luentomateriaali ”Solar thermal”.
- [20] Motiva: ”Auringosta lämpöä ja sähköä” [WWW-dokumentti],
http://motiva.fi/julkaisut/lammitysjarjestelmat/auringosta_lampoa_ja_sahkoa.3808.shtml, [luettu 5.4.2012]

-
- [21] ESTIF: "Solar thermal markets in Europe. Trends and market statistics in 2010." [WWW-dokumentti], http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/market_data/downloads/2010%20European%20Solar%20Thermal%20Markets.pdf, [luettu 5.4.2012]
- [22] G. Boyle (toim.), Renewable Energy, Power for a Sustainable Future, Oxford, UK, 1996
- [23] Halkoliiteri.com, polttopuun sähköinen kauppapaikka. [WWW-dokumentti] <http://www.halkoliiteri.com/haku/> [luettu: 28.4.2011].
- [24] Short, Packey & Holt: "A Manual for the Economic Evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies", National Renewable energy Laboratory, 1995, [WWW-dokumentti] Available <http://large.stanford.edu/publications/coal/references/troughnet/market/docs/5173.pdf>. [luettu: 28.4.2011].
- [25] Agronet.fi –keskustelupalsta, [WWW-dokumentti] <http://keskustelukanava.agronet.fi/agronet/index.php?topic=22777.0> [luettu: 13.6.2012].
- [26] Rakentaja.fi nettiportaalin lämmitysjärjestelmien vertailulaskuri. [WWW-dokumentti] <https://www.rakentaja.fi/indexfr.aspx?s=/suorakanava/laskurit/lammitysjarjestelma4.asp>. [luettu 13.8.2012]
- [27] Suomen virallinen tilasto (SVT): Tuottajahintaindeksit [verkkojulkaisu]. ISSN=1796-3613. huhtikuu 2012, Liitetaulukko 25. Puupelletin kuluttajahinta. Helsinki: Tilastokeskus. [WWW-dokumentti] http://stat.fi/til/thi/2012/04/thi_2012_04_2012-05-24_tau_025_fi.html [luettu: 15.6.2012]
- [28] Mauri Uusitalo: Lähilämpöverkoston selvitystyö, Satakunnan Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö, s. 31. [WWW-dokumentti] http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1049/Uusitalo_Mauri.pdf?sequence=1 [luettu: 9.7.2012]
- [29] ARA: Ohje energia-avustusten hakemiseen, myöntämiseen ja maksamiseen 2012, [WWW-dokumentti] <http://www.ara.fi/download.asp?contentid=25336&lan=fi> [luettu 16.7.2012]
- [30] Energiatuet, Keski-Suomen ELY-keskus 13.3.2012, [WWW-dokumentti] http://www.ely-keskus.fi/fi/uutiset/uutiset_alueilta/Documents/Keski-Suomen%20ELY/Ajankohtaispaiva%20yritysneuvojille/Energiatuet.pdf [luettu 16.7.2012]
- [31] Eurostat: Energy statistics, [WWW-dokumentti] http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables [luettu 27.7.2012]
- [32] Pekka Lähteenmäki: "Energiamuutos mittaa vientimestarin", Talouselämä 26/2012 p.42–43.
- [33] Henrik Muukkonen: "Outo ilmiö aurinkokeräinmarkkinoilla" Talouselämän verkkosivut, [WWW-dokumentti] <http://www.talouselama.fi/uutiset/outo+ilmio+aurinkokerainmarkkinoilla/a2087161> [luettu 27.9.2012]
- [34] Samuel Dastrub *et al.*, "Understanding the Solar Home Price Premium: Electricity Generation and 'Green' Social Status, California Center for Population Research, On-Line Working Paper Series, December 2010, [WWW-dokumentti] <http://papers.ccpr.ucla.edu/papers/PWP-CCPR-2010-038/PWP-CCPR-2010-038.pdf> [luettu 27.9.2012]

Kuvat:

- 1.2 http://motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta
- 2.2 <http://www.k.maatalous.fi>
- 2.3 <http://www.imexwood.fi/pelletti/puupelletti.php>
- 2.4 <http://www.l-tuotanto.fi/Ariterm-Biomatic-pellettikattila>
- 2.5 <http://www.rakentaja.fi/indexfr.aspx?s=/kuluttaja/Thermia/thermia.htm>
- 2.6 http://www.elisanet.fi/lostedt/index_fi.html
- 2.9 http://www.ariterm.fi/387_Ariterm_35
- 2.10 <http://www.brighthub.com/engineering/mechanical/articles/26547.aspx>
- 2.11 <http://eastpower.en.made-in-china.com/product/PbrmURkTYwWX/China-Circulating-Fluidized-Bed-CFB-Power-Station-Boiler.html>
- 2.12 <http://www.uusiutuva.fi/perustietoa-maalammosta/maalampopumppu.aspx>
- 2.13 <http://www.dimplex.de/fi/laempeopumput/maalaempeopumput.html>
- 2.14 <http://fi.wikipedia.org/wiki/Lämpöpumppu>
- 2.15 <http://fi.wikipedia.org/wiki/Lämpöpumppu>
- 2.16 <http://keskustelu.plaza.fi/ellit/tyo-ja-yhteiskunta/parlamentti/1820860/lampopumppu-leutokelien-tarpeeseen/>
- 2.17 http://www.ilmalampopumput.fi/files/nordic_test.pdf
- 2.18 <http://www.vastavalo.fi/navetta-nykyaikainen-uusi-biokaasulaitos-193104.html>
- 2.19 <http://www.vadogroup.com/index.php?id=784>
- 2.20 http://www.windmills.net/water_pumping.shtm
- 2.21 <http://www.wind-energy-the-facts.org/en/part-i-technology/chapter-3-wind-turbine-technology/technology-trends/>
- 2.22 http://www.windside.com/fi/asiakkaat_markkinat
- 2.23 <http://www.finnwind.fi/tuulivoimala-kuvia/item/40-tuule-h200-tuulivoimala-pohjanmaa>
- 2.24 http://www.solar-heater.net/product_4468_Non-pressurized_Thermosiphon_Solar_Water_Heater.html
- 2.25 <http://www.solartubs.com/Solar-heating-system.html>
- 2.26 http://www.y-energia.com/aurinkolampo/aurinkokerain/Tx_2009/tx_2009.html
- 2.27 <http://www.polarimport.com/pages/tuotteet/consol-tyhjioeputki-keraeimet.php>
- 2.28 http://en.wikipedia.org/wiki/File:Evacuated_tube_diagram.jpg
- 2.29 http://www.estif.org/statistics/st_markets_in_europe_2010/
- 2.30 https://www.eeremultimedia.energy.gov/solar/sites/default/files/photo_csp_tower_development_solartwo_barstow_2000_high.jpg
- 4.2 <http://www.ariterm.fi/401>
- 4.3 <http://www.biofire.fi/turve-hakejarjestelma/lammityskattilat/ariterm-oy-arimax/>
- 4.4 http://triotec.fi/?p=p_58&sName=Rehu-ja-pellettisiilot-%F82330
- 4.5 <http://www.btit.eu/Serii-Ariterm-BioJet,62,c.html>
- 4.6 <http://www.nibe.fi/Tuotteet/Aurinkolampojarjestelmat/Tuotevalikoima/NIBE-SOLAR-NO-COIL-F215-P/>
- 4.8 <http://www.maalampokeskus.fi/nibe-maalampopumput,109.html>
- 4.9 <http://inzeraty.pozri.sk/predam-Tepelne-cerpadla-Panasonic-Slovensko-84706>
- 4.11 <http://www.tulituote.com/Heatco/Capito.htm>
- 5.1 http://motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta

Liitteet:

1. Maatilakohteiden yhteystiedot
2. Aritermin tarjous hakelämmitysjärjestelmästä
3. Aritermin tarjous pellettilämmitysjärjestelmästä
4. NIBE Solar No Coil FP215 P aurinkolämpökeräinjärjestelmä
5. Lämpöyökkösen tarjous NIBE F1245-10 maalämpöjärjestelmästä porakaivoon
6. Lämpöyökkösen tarjous NIBE F1245-8 maalämpöjärjestelmästä vesistöön
7. Panasonic WH WH-SXF12D9E8 ilma-vesi-lämpöpumppu ja OSO RTV 300E-3 varaaja
8. NIBE Solar for Coil FP215 P aurinkolämpökeräinjärjestelmä
9. WPE 10 kW tuuliturbiini ja Windy Boy 3300/3800 invertteri
10. Tarjous WPE 10 kW tuuliturbiinista Lypsykarjatilalle
11. WPE 5 kW tuuliturbiini
12. Antaris 6,5 kW tuuliturbiini
13. Tarjous WPE 5 kW ja Antaris 6,5 kW tuuliturbiineista viljakarjatilaille
14. Yhteenveto energiatuotantokustannuksista