

# **Maa- ja lietelämmöntalteenotto lypsykarjatilalla**

**Anna-Liisa Viljakainen**

Opinnäytetyö

---



Koulutusala Luonnonvara- ja ympäristöala	
Koulutusohjelma Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Anna-Liisa Viljakainen	
Työn nimi Maa- ja lietalämmöntalteenotto lypsykarjatilalla	
Päiväys	22.5.2013
Sivumäärä/Liitteet	53
Ohjaaja(t) Jarkko Partanen, Pirjo Suhonen ja Hannu Viitala	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu, Energiatehokas tuotantorakennus -hanke	
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Nykypäivän lypsykarjatilalliset kiinnittävät enemmän huomiota rakennusten energiatehokkuuteen ja ovat siksi kiinnostuneempia etsimään uusia edullisempia energiaratkaisuja. Tämän kiinnostuksen on osin herättänyt energiakulutuksen kustannusten nousu. Keskimäärin lämpöenergiaa on arvioitu kuluvan maatilalla noin 64 000 kWh vuodessa, mikä tuotetaan pääsääntöisesti puuperäisellä polttoaineella tai kevytpolttoöljyllä.</p> <p>Opinnäytön taustalla on Savonia-ammattikorkeakoulun Energiatehokas tuotantorakennus -hanke (ERKKA), jolta on saatu osa työn sisällöstä. ERKKA-hanke paneutuu lypsykarjatilojen taloudellisen kannattavuuden parantamiseen vähentämällä energiantuotannosta ja -käytöstä muodostuvia kustannuksia. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin maa- ja lietalämmön hyödyntämisen mahdollisuuksia ja sen kannattavuutta lypsykarjatilalla. Lisäksi on selvitetty maa- ja lietalämmönkeruutekniikkaa yleisesti ja verrattu sen käyttö- ja investointikustannuksia yleisimpiin navettojen lämmitysmuotoihin. Aiheeseen on perehdytty tapaustutkimustilan kautta, jossa on ollut tällainen järjestelmä käytössä vuoden verran.</p> <p>Maa- ja lietalämpötalteenottojärjestelmän kannattavuuteen vaikuttaa lämpökerroin ja vuosikulutus. Tilan osalta takaisinmaksuajan menetelmällä arvioituna, saatiin tulokseksi kannattava investointi. Tapaustutkimustilan järjestelmää verrattiin öljy-, sähkö- ja hakelämmitykseen. Käyttökustannusten osalta öljy- ja sähkölämmityksen kustannukset ovat suuremmat, kun taas investointikustannukset ovat suuremmat hake- ja lämpöpumppujärjestelmillä. Tulevaisuuden osalta kustannusten kehittymistä voidaan vain arvioida. Lämpöpumppujärjestelmä on uusi tekniikka, joten voidaan olettaa sen kehittyvän. Lämpöpumppu lämmitysjärjestelmänä ei ole vielä lypsykarjatilalla yksinään riittävä, koska sillä ei saada veden lämpötilaa nostettua pesuvesien vaatimalle tasolle.</p>	
Avainsanat lämmöntalteenotto, maalämpö, lietalämpö, lämpöpumppu, energiatehokkuus, kannattavuus	

Field of Study Natural Resources and the Environment			
Degree Programme Degree Programme in Rural Development			
Author(s) Anna-Liisa Viljakainen			
Title of Thesis The collecting of geothermal and slurry heat in dairy farms			
Date	22.5.2013	Pages/Appendices	53
Supervisor(s) Jarkko Partanen, Pirjo Suhonen ja Hannu Viitala			
Client Organisation/Partners Energy Efficient Cowstable project by the Savonia University of Applied Sciences			
<p><b>Abstract</b></p> <p>Modern-day dairy farms pay more attention to the energy efficiency of their farm buildings and for that reason they are more and more interested in finding new and more affordable energy solutions. One of the reasons behind this interest is the rise of energy consumption costs. A farm consumes on average approximately 64,000 kWh of heat energy per year, which is mainly produced with wood-based fuel or light fuel oil/domestic oil.</p> <p>The thesis is based on the Energy Efficient Cow stable project of the Savonia University of Applied Sciences, ERKKA. This project focuses on ways to improve the financial profitability of dairy farms by lowering the costs of energy production and usage. This thesis discusses ways to exploit geothermal and slurry heat and their profitability on a dairy farm. In addition, the thesis includes general discussion on the techniques to collect geothermal and slurry heat. These techniques and their operating and investment costs are then compared to the more common heating systems on a farm. The material for this thesis has been provided by the ERKKA project and by a case study farm that has been using a slurry heating system for a year.</p> <p>Profitability of a geothermal or slurry heating system is affected by the coefficient of performance and the annual consumption. From the farm's perspective, the investment is profitable with a repayment scheme. The heating system of the case study farm was compared to oil, electric and wood chips heating systems. Operating costs are higher in oil and electric systems whereas investment costs are higher in wood chips and heat pump systems. One can only speculate how the prices develop in the future. The heat pump system is a new technique so it can be assumed that it will evolve. The heat pump system is not at the moment a sufficient heating system on a dairy farm because it is unable to raise the temperature of the washing waters to the needed level.</p>			
<p><b>Keywords</b></p> <p>collecting of heat, geothermal heat, slurry heat, heat pump, energy efficiency, profitability</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
2	LÄMMÖNTALTEENOTTOTEKNIikka.....	8
2.1	Lämpöpumppu .....	8
2.2	Lämmöntalteenotto maaperästä.....	12
2.3	Lämmöntalteenotto lietteestä .....	13
2.4	Toimijoita .....	15
3	TAPAUSTUTKIMUS.....	18
3.1	Tutkimustila .....	19
3.2	Lantajärjestelmä.....	21
3.3	Vedenkulutus .....	24
3.4	Lämmitysjärjestelmä .....	25
3.5	Kokemukset .....	30
4	MAA- JA LIETELÄMMÖNTALTEENOTON KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI.....	32
4.1	Takaisinmaksuaika.....	33
4.1.1	Investoinnin takaisinmaksuaika tapaustutkimustilalla.....	34
4.2	Kannattavuusvertailut .....	36
4.2.1	Sähkö .....	37
4.2.2	Öljy.....	38
4.2.3	Hake.....	40
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	43
5.1	Kustannukset .....	43
5.2	Hyödyt maitotiloilla .....	46
5.3	Tekniikoiden soveltamismahdollisuudet.....	47
5.4	Lopuksi.....	48
	LÄHTEET .....	50

## 1 JOHDANTO

Energiankulutuksen kustannukset ovat yleisesti kasvaneet maataloilla. Suurilla maataloilla ne voivat nousta jopa 10 %:iin tuotantokustannuksista. Lypsykarjataloilla tapahtuva rakennemuutos on kasvattanut suurten tilojen määrää, mutta energiakustannusten nousun myötä energiatehokkuus kiinnostaa myös pienempiä tiloja. Tänä päivänä maataloilla tuotetaan energia pääsääntöisesti puuperäisellä polttoaineella tai kevytpolttoöljyllä. Tilojen kattilat on suunniteltu niin, että ne mahdollistavat kahden polttoaineen hyödyntämisen. Suurimpia energiankuluttajia lypsykarjataloilla ovat maidonkäsittely, lypsy, ruokinta ja lämmitys. Tiloilla käyttö- ja pesuvesien lämmityksen lisäksi lämpöenergiaa kuluu muun muassa eläinten juomavesien, vasikkatilojen, rehuvaraston ja sosiaalityötilojen lämmitykseen. Valtakunnallisella tasolla maatalouden osuus energiankulutuksesta on vain noin neljä prosenttia. Keskimäärin energiaa kuluu maatilaa kohden 146 MWh vuodessa, lämmön osuus tästä on noin 64 MWh. Tuotantosuunta ja tilan koko vaikuttavat energiatarpeeseen ja energiakäyttölajiin. Esimerkiksi energian vuosikulutus kuudenkymmenen lehmän parsinavetassa on noin 137 000 kWh/v, josta lämmitykseen menee eläinpaikkaa kohden 500 kWh/vuosi. Lämmitysenergiankäytön optimoinnilla lämmityksen osuus voisi vähentyä 300 kWh/vuosi. (Kari, M.2009, 6-8.)

Tutkimukset ovat osoittaneet, että tilojen välillä voi olla suuriakin eroja energiankulutuksessa verrattuna tuotettuun maitolitraan. MTT Vakolan Maitokoneet-yksikön toimesta tehdyssä tutkimuksessa (kesä 2001) vertailtiin lypsykoneiden ja tilasäiliöiden pesulaitteiden vedenkulutuksia noin kahdellakymmenellä tilalla. Pihattonavettojen osalta lypsyjärjestelmien koot vaihtelivat 18-paikkaisesta karusellista 2x2-tandem-asemaan. Tilasäiliöt olivat kooltaan 100-160 m<sup>3</sup>. Lypsyasemien osalta pesuvedenkulutus oli 100-160 m<sup>3</sup>/v yhtä poikkeusta lukuunottamatta, sillä tilalla pesuvedenkulutus oli 2x8-asemalla noin 350 m<sup>3</sup>/v. (MTT/Vakolan Maitokoneet-yksikkö. 2002) Automaattilypsyn osalta esimerkiksi Lelyn lypsyrobotti kuluttaa sähköä 65 kWh/vrk ja vettä 0,67 m<sup>3</sup>/vrk. Vedenkulutus on sama 2x10-kalanruotoasemalla, mutta sähköä asema kuluttaa vain 20-25 kWh. (Bionova engineering, 2007. 38.)

Nykypäivän maidontuottajat kiinnittävät huomiota enemmän rakennusten energiatehokkuuteen ja ovat siksi kiinnostuneempia uusista energiaratkaisuista. Savonia-ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan Energiatehokas tuotantorakennus -

hanke (ERKKA-hanke) paneutuu lypsykarjatilojen taloudellisen kannattavuuden parantamiseen vähentämällä energiantuotannosta ja -käytöstä muodostuvia kustannuksia. Erityisesti hankkeessa keskitytään energiatehokkuuden parantamiseen, omavaraiseen energiantuotantoon ja uusiutuvien energialähteiden hyödyntämiseen.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään maa- ja lietalämmön hyödyntämiseen ja sen kannattavuuteen lypsykarjatilalla. Maa- ja lietalämmön hyödyntäminen on uusi lämpöenergiantuotantomuoto etenkin lypsykarjatilalla. Aiheeseen perehdytään tapaustutkimuksen kautta. Tapaustutkimustila on tullut mukaan ERKKA-hankkeeseen, koska heillä on kiinnostusta selvittää oman tilan energiatehokkuus ja valitsemiensa ratkaisujen hyödyt. Tilalla on maalämmön ja lietalämmön keruujärjestelmä. Syksyn 2012 ja kevään 2013 aikana ERKKA-hanke toteutti tilalla tutkimuksen, jonka tuloksia on hyödynnetty tässä opinnäytetyössä. Osa työn sisällöstä on saatu Erkka-hankkeelta. Tutkimusryhmään kuuluivat Savonia-ammattikorkeakoulusta Ville Hämäläinen, Raija Lankinen, Henrik Sikanen ja projektipäällikkö Teija Rantala. Työssä arvioidaan hankkeen tutkimuksen tulosten ja kirjallisuuden pohjalta maa- ja lietalämmön hyötyjä lypsykarjatilalla. Työssä myös esitellään maa- ja lietalämmönkeruutekniikkaa ja verrataan sen käyttö- ja investointikustannuksia yleisimpiin navettojen lämmitysmuotoihin.

## 2 LÄMMÖNTALTEENOTTOTEKNIikka

Lämpöenergia siirtyy korkeammasta lämpötilasta alempaan. Siirtymiseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa materiaalit, lämmönlähteet ja väliaineet. Lämmönsiirtymistä tapahtuu kolmella tavalla; johtumalla (konduktio), säteilemällä ja kulkeutumalla (konvektio). Johtuminen tapahtuu kiinteässä väliaineessa ja siihen vaikuttavat väliaineen paksuus, lämmönjohtavuus ja lämpötilaerot. Rakennuksen lämmitystehon määrittämisessä johtumisella on suuri merkitys. Lämpöteho on tässä tapauksessa suoraan verrannollinen rakenteen lämmönläpäisykertoimeen, pinta-alaan ja lämpötilaeroon. Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä. Tämä lämmönsiirtymismuoto ei vaadi erillistä väliainetta. Säteilyn kohdatessa kiinteään aineeseen, se tunkeutuu siihen ja muuttuu lämmöksi. Kulkeutuminen tapahtuu, kun lämmön lähteen vieressä esimerkiksi ilma lämpenee. Tämä lämmennyt ilma nousee ylös ja tilalle siirtyy ympäristöstä viileämpää ilmaa. Ilman virtaukset sekä pinnan että ilman lämpötilaerot vaikuttavat tähän ilmiöön. (Hassi, Hatakka, Saarikko & Valjakka, 1995, 42-43)

Lämmöntalteenotossa hyödynnetään näitä lämmönsiirtymistapoja. Maaperästä lämpöä siirtyy pääsääntöisesti johtumalla ja esimerkiksi pohjaveden yhteydessä kulkeutumalla. Maaperän ja veden lisäksi yleisimpiä lämmöntalteenotto kohteita ovat kallio ja ilma. Maataloudessa käytössä on lämmöntalteenotto lietteessä ja lypsykarjatiloiilla myös maidosta. Lämmöntalteenotto perustuu edellä mainittuun lämpöenergian siirtymiseen korkeammasta lämpötilasta alhaisempaan. Keruuputkistossa kulkee lämmönsiirtoneste, joka lämpiää ympäröivän materiaalin korkeamman lämpötilan vaikutuksesta. Tämän lämmön hyödyntämiseen tarvitaan lämpöpumppua, joka ottaa energiaa alhaisessakin lämpötilassa olevasta lämmönlähteestä.

### 2.1 Lämpöpumppu

Lämpöpumppu toimii samalla periaatteella kuin jääkaapin kylmäkoneisto. Sen toiminta perustuu kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Toimintaperiaate on esitetty tekemässäni kuvassa (kuva 1). Lämpöpumpun rakenne riippuu lämmönlähteestä ja lämmönjaon tavasta. Yleisimmät lämmönjakotavat pumpuissa ovat vesikeskuslämmitys ja ilmalämmitys. Lämpöpumpputyyppejä ovat maa-, ulkoilma- ja poistoilmalämpöpumppu. Lämpöpumppu koostuu lauhtuttimesta,



paisuntaventtiilistä, höyrystimestä ja kompressorista. Kompressorin on lämpöpumpun kuluvien osa. Erilaisia kompressorityyppejä ovat mäntäkompressorin, ruuvikompressorin ja scroll-kompressorin. Mäntäkompressorin perustuu edestakaisin liikkuvan männän puristavaan vaikutukseen. Niitä on joko täysin umpinaisia tai puoliumpinaisia, molemmat näistä soveltuvat lämpöpumppuihin. Umpinaisia eli hermeettisiä valmistetaan 100 kW:n ja puolihhermeettisiä 150-200 kW:n teholuokkaan saakka. Mäntäkompressorin etuina ovat kattava tuotevalikoima ja edullinen hinta. Haittana on puolestaan liikkuvien osien (mäntä, kampiakselit ja venttiilit) aiheuttama mekaaninen monimutkaisuus ja tästä johtuva vikaantumisriski. Tämän vuoksi ruuvikompressorit yleistyvät mäntäkompressorin korvaajina. Ruuvikompressorissa kaksi vastakkain suuntiin pyörivää spiraaliruuvia aiheuttavat jatkuvan puristuksen. Jatkuvan puristuksen aikana kylmäaineen paine nousee ja tilavuus pienenee kylmäaineen kulkeutuessa eteenpäin ruuvien välissä. Tämä kompressorityyppi soveltuu hyvin lämpöpumppukäyttöön muun muassa sen mekaanisen luotettavuuden ja laajan käyttöalueensa puolesta. Lämpöpumpun lämpötehona määritettynä ruuvikompressorin taloudellinen käyttöalue on 150-200 kW. Scroll-kompressorin eli kierukkakompressorin muistuttaa ruuvikompressorin toimintaperiaatteeltaan muuten, mutta sen puristus tapahtuu säteittäin kierukoiden välissä. Tämän tyyppin etuna on korkea hyötysuhde (teoriassa noin 10 % mäntäkompressorin parempi) ja haittana tarkasta mekaanisesta rakenteesta muodostuva korkea hinta. (Matikka, V. 2009. 8-9)

Kompressorin käyttöiästä löytyy lähteestä riippuen useita arvioita. Motivan julkaisemassa Lämpöä omasta maasta -oppaassa käyttöikäksi on arvioitu 15-20 vuotta. Sähköala-kotisivuilla julkaistussa Tuomas Virtasen artikkelissa Maalämpöpumput eivät kestä käytössä (7.8.2012) epäillään, ettei kompressorin kestä kymmmentäkään vuotta. Arviota perustellaan muun muassa ruotsalaisen Folksam-vakuutusyhtiön selvityksellä, joka on tehty vakuutusyhtiön vuoden 1999 jälkeen maksettujen lämpöpumppuvikojen korvauksista.

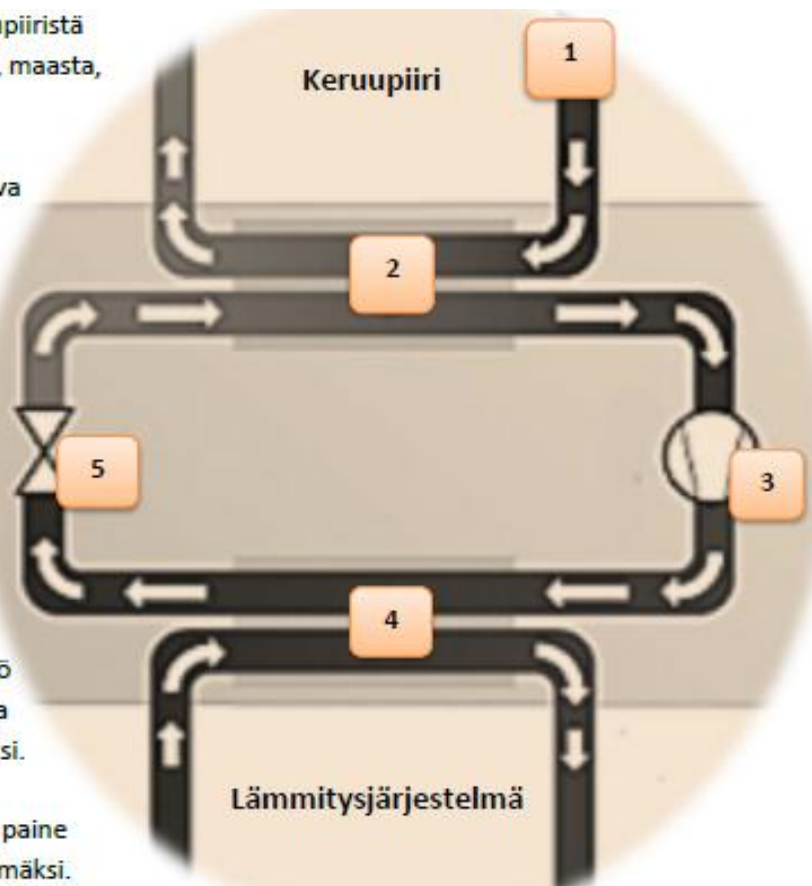
1. Lämmönkeruuneste palaa keruupiiristä kerättyään lämpöenergiaa ilmasta, maasta, kalliosta, vedestä tai lietteestä.

2. Höyrystimessä keruupiiristä tuleva neste lämpönkeruuneste kohtaa lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen, jonka lämpötila nousee muutaman asteen ja se höyrystyy.

3. Höyrystynyt kaasu kulkeutuu kompressoriin, joka puristaa sen korkeaan paineeseen ja kylmäaineen lämpötila nousee.

4. Lauhduttimen kautta tämä lämpö johdetaan lämmitysjärjestelmään ja kylmäaine muuttuu jälleen nesteeksi.

5. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine laskee ja se muuttuu jälleen jääkylmäksi.



KUVA 1 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Lämpöpumpputekniikka on uudehkoa ja sen käyttöala laajenee, joten lämpöpumppujen tekniikka on vielä jatkuvan kehitystyön alla. Lämpöpumppujen toiminnan kehityksessä on huomioitu ympäristöystävällisyys. Otsonikerrosta tuhoavista CFC-yhdisteistä kylmäaineissa on luovuttu ja siirrytty HFC-yhdisteisiin. HFC-yhdisteet eli fluorihilivedyt ovat yleisimpiä kylmäaineita. Ne ovat palamattomia, myrkyttömiä ja biologisesti hajoavia. Hiilidioksidin tavoin nämä ovat kuitenkin kasvihuonekaasuja. HFC-yhdisteiden lisäksi kylmäaineena voi toimia muun muassa ammoniakki ja hiilidioksidi. Lämmönsiirtoaineena käytetään teollisuusalkoholia. Maalämpöjärjestelmä toimii suljetulla nestekierrolla, joten normaalitoiminnassa se ei aiheuta ympäristöön päästöjä. (Matikka, V. 2009. 10)

Pumpun tehokkuutta arvioidaan lämpökertoimella eli COP (Coefficient Of Performance). Se kuvaa saadun lämmitystehon suhdetta tarvittavaan sähkötehoon. Yleensä pumppu tuottaa lämpöä noin kolme yksikköä käytettyä sähköyksikköä kohden, joten tällöin lämpökerroin on 3. Lämpökertoimen määrään vaikuttavat eniten

lämpötila lämmönlähteen ja lämmitysjärjestelmän puolella. (Lännenilmatekniikka. Lämpöpumpputyypit) Lämpöpumppu mitoitetaan normaalisti kattamaan vain osa rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta, koska käyttöaste on tällöin korkeampi. Lisälämmönlähteenä voidaan käyttää muun muassa sähkövastusta tai tulisijaa. Lämpöpumppu mitoitetaan kattamaan noin 40-60 % rakennuksen mitoitustehosta, jolloin se tuottaa 80-90 % vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta. Lämpöpumpun osalta investointi on sitä kannattavampi, mitä suurempi on rakennuksen vuotuinen energiantarve, koska lämpöpumpun investointikustannus tuotettua lämpöyksikköä kohti kasvaa pumpun tehon pienentyessä. (Virtanen, 2005. 30.)

Lämpöpumppua hankittaessa tulisi muistaa perehtyä laitteeseen ja myyjän taustoihin enemmän kuin COP-lukuun. COP-luvun määrittämiseen ei ole vielä Suomen ja Pohjoismaiden olosuhteisiin soveltuvaa standardia. Standardi EN 14511 on eurooppalainen standardi COP-luvun testaukseen ja se kertoo, mikä hyötysuhde on lämmitettäessä huoneisto +20-asteiseksi ulkolämpötilan ollessa seitsemän lämpöastetta. (Suomen lämpöpumppuyhdistys /1/) Tämän määrittämisen mukaan isointa määritettyä COP-lukua ei välttämättä saavuteta Suomen olosuhteissa. Ostaessasi lämpöpumppua, kysy myyjältä COP-luku pakkassäällä ja pumpun vuosihyötysuhde sekä varmista sen soveltuvuus muutenkin suomalaisiin olosuhteisiin.

Suomalaiset investoivat lämpöpumppuihin vuonna 2012 seitsemän prosenttia edeltävää vuotta vähemmän. Vuoden 2012 myynti oli 13 000 kpl. Lämpöpumppujen investoinnit suuriin kohteisiin, kuten rivi- ja kerrostaloihin, puolestaan lisääntyivät edellisestä vuodesta 30 %, joten euromääräisesti myynti jopa kasvoi vuodesta 2011. Vuonna 2012 lämpöpumppuihin sijoitettiin rahaa 400 miljoonaa euroa. Vuoden 2013 alussa Suomessa on noin 540 000 lämpöpumppua käytössä. Myös suuret kauppakohteet ovat ottaneet lämpöpumppujärjestelmiä käyttöönsä vuoden 2012 aikana. Lämpöpumppuyhdistyksen toiminnanjohtaja Jussi Hirvonen visioi, että vuonna 2020 lämpöpumppujen määrä tulee olemaan miljoona kappaletta. Tämä määrä tuottaisi noin 8 TWh/v uusiutuvaa energiaa ja kattaisi 15 % EU:n asettamista uusiutuvan energian velvoitteista. (Suomen lämpöpumppuyhdistys /2/)

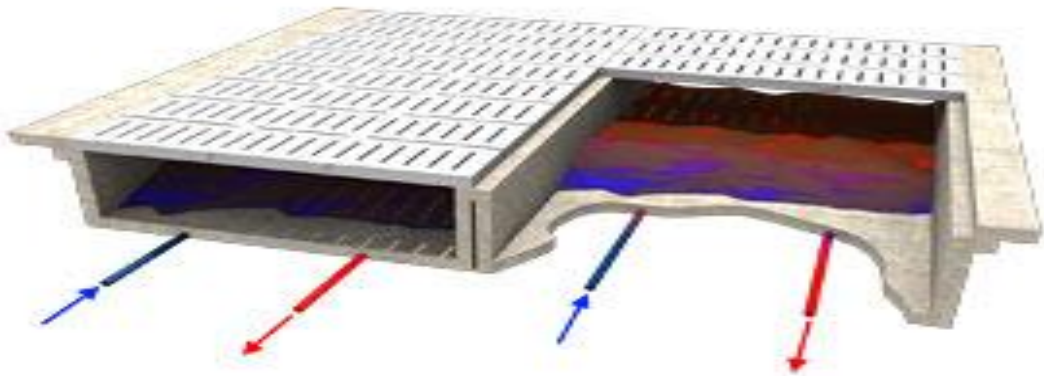
## 2.2 Lämmöntalteenotto maaperästä

Maaperään lämpöenergiaa varastoituu lämpimän sään aikana auringon säteilystä. Kiviaineksen lämpösisältö riippuu kiviaineksen ominaislämpökapasiteetista, joka puolestaan kuvaa kiviaineksen lämmön varastointi kykyä. Kallion ominaislämpökapasiteetti on suurusluokaltaan 700-900 J/kgK, kun taas veden on 4200 J/kgK. Maaperän lämpötilan on mitattu Suomessa olevan keskimäärin paria astetta korkeampi kuin lämpötilan ilmassa. (Leppäharju 2008, 10) Vaakatasoon maaperään asennettaessa lämmönkeruuputkisto tulee noin 1-1,2 metrin syvyyteen. Pohjoisessa putki asennetaan syvempään kuin eteläisemmässä Suomessa. Putki on yleensä perusvesijohtoputkea (PELM NS32, NS40 tai NS50/NP 10). Putkien lenkkien väli tulee olla vähintään 1,5 metriä. Putkiston mitoitus on noin 1-2 metriä keruuputkea lämmitettävää rakennuskuutiota kohden. Tonttimaata tarvitaan noin 1,5 m<sup>2</sup> putkimetriä kohden. Alimitoitettu putkisto johtaa lämmönlähteen riittämättömyyteen. Ylimitoitettu putkisto puolestaan lisää sähkönkulutusta pumppauskuluina ja tuolloin investointi on myös tarvetta suurempi, jolloin hyötysuhde ei ole niin hyvä. (Suomen lämpöpumppuyhdistys /3/)

Kallioperästä lämpöä kerätään kaivojen avulla, jotka ovat yleensä alle 200 metriä syviä. Tarvittaessa kaivoja tehdään useampia 10-20 metrin välein ja kytketään yhdeksi putkistoksi erillisessä ulkoisessa kytkentäkaivossa. Kaivoihin upotettavat putket ovat valmiiksi U-silmukoita tai ne kytketään paikanpäällä U-kappaleella yhteen. Silmukan alaosaan tulee kaivosyvyuden perusteella määritetty paino, jonka tarkoituksena on vetää putket suoraan alas. Putkijärjestelmiä voi olla 2-4 kappaletta kaivoa kohden. Putkijärjestelmässä, jossa on kolme putkea, kylmäneste pumpataan kahta putkea pitkin alaspäin ja kolmatta pitkin neste palaa höyrystimelle. Kallioperän lisäksi porakaivolla voidaan lämpöä kerätä myös maaperästä. Tällaista porakaivoa kutsutaan lämpökaivoksi. Lämpökaivon etuina ovat sen vähäisten kaivutöiden lisäksi lämpöenergian saantimäärä, joka on maapiiriin nähden kaksinkertainen putkimetriä kohden. (Juvonen, 2009)

### 2.3 Lämmöntalteenotto lietteestä

Lannan jäädyttämistekniikka luetaan tasoltaan parhaaseen käyttökelpoiseen ympäristönsuojelutekniikkaan. Tämän tekniikan avulla, etenkin sikataloudessa, voidaan eläinsuoja sijoittaa lähemmäksi asutusta. Lannan jäädyttämisen myötä ammoniakkin ja hiilidioksidin haihtuminen sisäilmaan vähenee, jonka myötä myös lannasta aiheutuva hajuhaitta ja ilmanvaihdon määrä vähenee. Jäähdytyksen myötä vapautuva lämpö otetaan talteen lämpöpumpulla. Lämpö kerätään lietekouruun asennetulla muoviputkistolla, jossa kiertää teollisuusalkoholi (kuva 2). (Ympäristöministeriö 2010, 68) Lämmönkeruuputkisto tulee lietekouruissa pohjavaluun. Putket kiinnitetään betoniverkkoon, jotta ne eivät valun aikana pääsisi liikkumaan. Sikaloissa lietteen lämmöntalteenotto on yleisempää, mutta se on myös käytössä jo joissakin navetoissa. Lietekourujen lisäksi lietteen lämpöä voidaan ottaa talteen myös lietealtaasta.



KUVA 2 Lämmönkeruuneste lämpenee kierron aikana lietteen lämmön vaikutuksesta (Pellon–kotisivut)

Lämmön talteenottoa lietelannasta maalämpöpumpun avulla hyödynnetään enemmän sikatalouden puolella. Menetelmällä voidaan tuottaa merkittävä osa sikalan energiasta. Sikaloissa lämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi rakennuksen lämmittämiseen tai liemiruokinnassa. Tämän ratkaisumallin etuna on sellaisen lämmönlähteen hyödyntäminen, joka muuten menisi hukkaan. Lietteen lämmön hyödyntämisellä voidaan vähentää öljylämmön käyttöä jopa 80 %. Sähkönkulutus ei

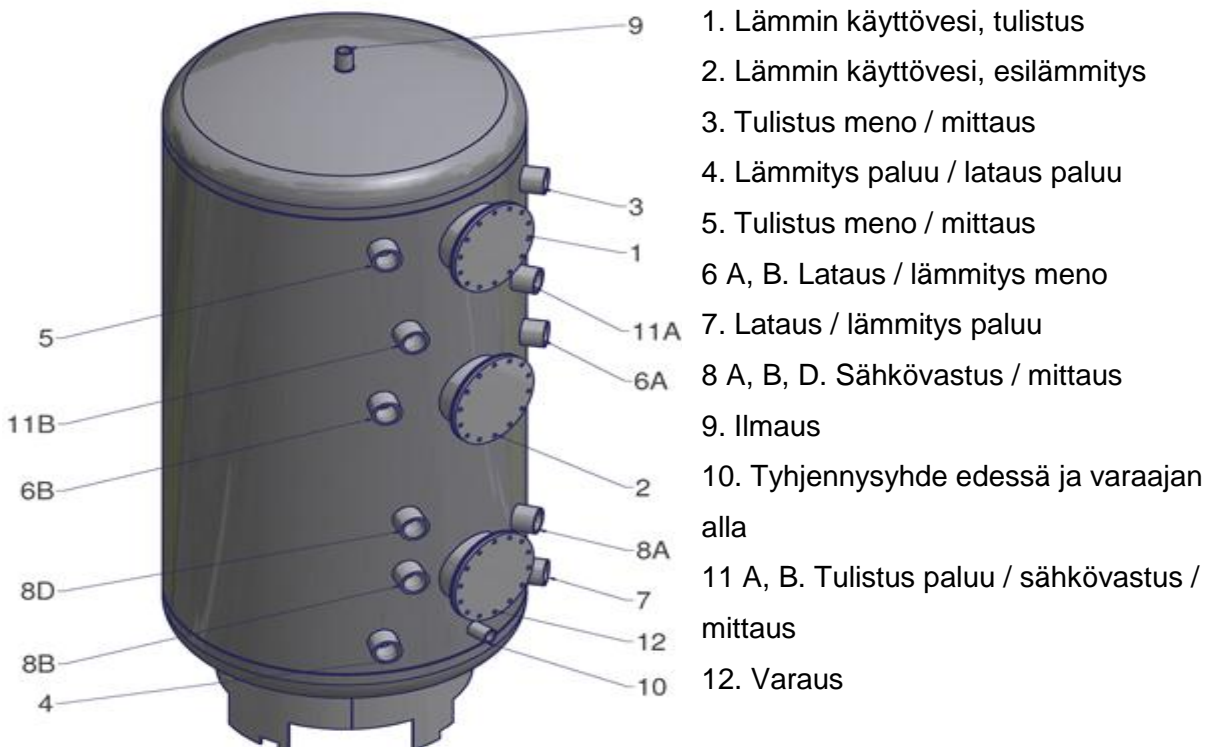
merkittävästi lisääntynyt. Etuna on myös sikalan sisäilman parantuminen, koska ammoniakki ja hiilidioksidipäästöt vähenevät. (Bionova engineering 2007, 33)

Lietteen hyödyntäminen tuotantorakennuksen lämmittämisessä on lisääntymässä Euroopassa. Keski-Euroopassa hyödynnetään enemmän biokaasua ja pohjoismaalaiset sikatalouden yrittäjät ovat investoineet lietteen lämmön hyödyntämiseen. Tanskassa on käytössä lietekourujen lisäksi lämmön talteenottoa lietesäiliöstä. Eräs ruotsalainen sikatalouden yrittäjä rakennutti uuden sikalansa lietekouruihin lämmöntalteenottojärjestelmän neljä vuotta sitten. Hänen mukaansa tuoreena lietteen lämpötila on noin +37°C:ta ja se lämmittää ympäröivän betonin noin 15 °C:seen. Järjestelmä on ollut käytössä 140 000 tuntia, jonka aikana on käytetty sähköenergiaa 570 000 kWh. Samalla aikavälillä pumput ovat tuottaneet lähes 3 300 000 kWh lämpöenergiaa. Lämpöpumppuprosessin lämpökerroin on 5,5. Tällä tilalla neljän vuoden aikana lietteestä on saatu noin 2 500 000 kWh. Yrittäjä on ollut tyytyväinen valintaansa lämmöntuoton ja laitteiston vähäisen työmäärävaatimusten vuoksi. (Abbott, 2013)

## 2.4 Toimijoita

Maa- ja lietalämmöntalteenottojärjestelmiä ei suunnittele ja myy vielä kovin moni toimija Suomessa. Ympäristöystävällisiin lämmitysratkaisuihin erikoistunut kotimainen yritys Gebwell Oy ja maatalouden alalla muutenkin toimiva Pellon Group Oy ovat tällaisia toimijoita.

Gebwell Oy on ympäristöystävällisiä lämmitys- ja jäähdytysratkaisuja, muun muassa maalämpöpumppuja, energiavaraajia ja kaukolämpöratkaisuja, suunnitteleva yritys. Suunnittelu ja valmistus tapahtuvat Leppävirralla, jälleenmyyjä on ympäri Suomen. Yritys on perustettu vuonna 2005. Yrityksellä on tarjolla energiavaraajan ja lämpöpumpun yhteisratkaisuja. Lisäksi tarjolla on puu- ja sähkölämmityksen kanssa yhteensopivia energiavaraajia. Maalämpöpumppujärjestelmässä energiavaraaja voi olla joko erillisenä tai maalämpöpumppuun sisäänrakennettu. Maalämpöpumpun kanssa toimiessaan varaajassa (G-Energy HP, kuva 3) on kaksi laippaa lämpimän käyttöveden kierukoita varten. Alemmassa laipassa on käyttöveden lämmityskierukka ja ylemmässä on käyttövesikierukka. Lisäksi energiavaraajassa on mahdollisuus kolmanteen laippaan, johon voidaan asentaa esimerkiksi aurinkolämmityskierukka. (Gebwell OY –kotisivut.)



KUVA 3 Lämpöpumpun kanssa suunnitellun energiavaraajia on saatavissa 500 – 5 000 litraan. Energiavaraajan kokoon vaikuttavat muun muassa lämmönlähde ja lämmityspiiriin tarvittava lämpötila. (Gebwell Oy - kotisivut, G-Energy HP energiavaraajat)

Suurille kiinteistöille Gebwell tarjoaa G-lämpöpumppuratkaisuja jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmäksi. Pinta-alaltaan rakennukset voivat olla sadoista neliöistä tuhansiin neliöihin. Vakiomalleina ovat 50, 60 ja 86 kilowatin pumppumoduulit, joita voidaan yhdistää tarvittavan tehon saamiseksi. Kyseisissä pumpuissa on kovajuotetut levylämmönsiirtimet ja vähintään kaksi Scroll-kompressoria, joilla varmistetaan kaikkiin lämpötiloihin sopiva käynti. G-pumppuja on asennettu suuriin asuinrakennuksiin (rivi- ja kerrostalot), teollisuushalleihin ja julkisiin rakennuksiin. Maatalouden puolella pumppuja on asennettu sikatalouden puolelle. (Gebwell OY – kotisivut.)

Pellon Group on puolestaan pohjoismaalainen konserni, joka on toimijana nauta-, sika- ja hevospuolella. He myyvät omia ja yhteistyökumppaneiden tuotteita ja tarjolla on joko yksittäisiä tuotteita tai kokonaisratkaisuja. Heidän myyntiverkostonsa kattaa koko Suomen. Heidän kauttaan sikalapuolelle on asennettu



lämpöpumppujärjestelmiä, joita käytetään lietteen lämmöntalteenottoon ja viilentämiseen. Lämpö kerätään putkistolla, joka asennetaan lietekuilun pohjaan. Lietelämpö ei ole riittävää, joten rinnalle rakennetaan maalämmöntalteenotto joko porakaivosta tai maapiiristä. Lypsykarjapuolella käytetään enimmäkseen lämpöpumppujärjestelmää maidonlämmöntalteenottoon ja hyödyntämiseen, mutta lietteen lämmöntalteenottoa voidaan käyttää myös nautakarjapuolella. (Pellonkotisivut.) Pellon Groupin tekniikkaa on enemmän esitelty tämän työn tapaustutkimusosiossa.

### 3 TAPAUSTUTKIMUS

Tapaustutkimuksessa tarkastellaan yhtä tai useampaa ”tapausta” (case, cases), joiden määrittely, analysointi ja ratkaisu ovat tapaustutkimuksen keskeisimpiä tavoitteita. Tapaustutkimuksen osalta ei ole itsestään selvää tai yhdentekevää, miten kohde on valittu, perusteltu tai rajattu. Tapaukset valitaan niiden ainutlaatuisuuden, erityisyyden tai teoreettisen mielenkiintoisuuden vuoksi. Poikkileikkaus-tutkimusasetelmassa tutkimukset ovat yksityiskohtaisia ja sijoittuvat tiettyyn rajalliseen ajanjaksoon. (Erikson & Koistinen, 2005. 12, 21.)

Tässä työssä tehdään yksi tapaustutkimus, joka on valittu sen ainutlaatuisuuden vuoksi. Tutkimuskohteella on käytössä lypsykarjanavetassa maalämmön ja lietelämmön talteenottojärjestelmä. Tämä lämmöntuotantojärjestelmä on ensimmäisiä Suomessa lypsykarjapuolella. Tilalla tehtiin tutkimuksia vuoden 2012 syyskuusta seuraavan vuoden keväälle. Mittausjakson pituus säädettiin niin, että saataisiin tulokset sekä maa- että lietelämmön käytön osalta ja eri ulkolämpötilojen vallitessa. Mittaus oli pääsääntöisesti jatkuvatoimista. Koko tutkimusryhmä tai osa jäsenistä kävi ajoittain purkamassa tallentuneet tiedot tilalta. Tapaustutkimuksen aineisto on saatu ERKKA-hankkeen tekemästä koesarjasta, joka sisältää mittauksia, joilla selvitetään lämmönsiirtoratkaisun hyötyjä ja kannattavuutta. Tarkastelussa keskitytään lämpöpumpun taloudellisiin hyötyihin, mutta mitataan ja tutkitaan myös muita järjestelmän vaikutuksia esimerkiksi ilmanlaatuun. Kokonaisuudessaan tämän ERKKA-hankkeen mittausjakson tulokset tullaan raportoimaan teoksena Energiatase sekä maalämmön ja lannan lämmön hyödyntäminen lypsykarjatilalla, case yhden robotin navetta. Tässä opinnäytetyössä esitellään tutkimuksen kannattavuuden arvioinnissa käytettävät tulokset ja niiden mittausjärjestelyt. Näihin kuuluvat lämpöpumpun ympärillä tapahtuvat kulutus- ja lämpötilamittaukset, lietteen lämpötilan määritykset sekä käyttöveden kulutusmittaukset. Tämän tapaustutkimuksen ja sen tulosten avulla on arvioitu luvussa 3 järjestelmän kannattavuutta.

Työ on raportoitu lineaaris-analyttisellä (linear-analytic) menetelmällä. (Erikson & Koistinen, 2005. 38) Tapaustutkimus on jaettu raportissa kokonaisuuksiin tilalla tehdyn tutkimuksen ja maatilan järjestelmien perusteella. Jokaisesta kokonaisuudesta on esitelty peräkkäin tutkimuksen lähtökohdat, aineisto, menetelmät ja tulokset. Maa- ja lietelämmön hyödyntämisen edut lypsykarjatilalla sekä johtopäätökset on koottu kokonaisuudessaan tämän työn viimeiseen kappaleeseen.

### 3.1 Tutkimustila

Tapaustutkimustila sijaitsee Pohjois-Savossa. Iisalimesta matkaa tilalle tulee noin 25 kilometriä ja Vieremän keskustasta alle 10 kilometriä. Kyseessä on maatalousyhtymä, jossa tilanjatkajat ovat jo tilan toiminnassa mukana. Tilalla on peltoa viljelyksessä 90 hehtaaria ja metsäalaa 32 hehtaaria. Lypsylehmiä tilalla on noin 60 kappaletta (elokuu 2012) ja nuorkarjaa saman verran. Vuosituotos on 9373 EKM-kg. Tilan uusi navetta, jossa mittaukset suoritetaan, valmistui lokakuussa 2011. Uusi pihattonavetta on Robora-betonielementtinavetta, pohjaratkaisuna on 3+1. Pohjapiirustus on liitteenä 1. Entinen navetta oli parsinavetta ja se on kooltaan noin 420 m<sup>2</sup>. Vanha navetta toimii nykyisin varastona.

Navetan valaistuksessa hyödynnetään luonnonvaloa kennolevyjen kautta, jotka tuovat valoa navettaan harjan sekä sivu- ja päätyseinien ikkunoiden kautta. Lisäksi valonlähteenä navetassa on päivävaloina suurpainelamppuja ja yövaloina punaiset energiansäästölamput. Ruokintajärjestelmänä navetassa on aperuokinta ja lisäruokinta robotilta. Pihatossa on kapea ruokintapöytä, jossa on Pellon matoruokkija. Ape sekoitetaan navetan kulmauksessa sijaitsevassa rehuvarastossa, jossa on kiinteä apesekoitin (Pellon CutMix) ja täyttöpöytä. Käytössä on myös pienkuormaaja mahdollisia häiriötilanteita varten.

Pihatto on puolilämmin. Teknisessä tilassa ja rehuvarastossa on lattialämmitys, lattialämmitysalaa on yhteensä noin 175 m<sup>2</sup>. Rehuvaraston lämpötila pyritään pitämään noin +10...+12 °C:ssa ja teknisessä tilassa hieman korkeampana. Sosiaalituloissa ja maitohuoneessa on koneellinen ilmanvaihto, muuten tuotantorakennuksessa on luonnollinen ilmanvaihto (itkuikkunat ja harjailmanvaihto). Luonnollinen ilmanvaihto (painovoimainen ilmanvaihto) perustuu ulko- ja sisäilman tiheyksien eroon ja ilman poisto- ja tuloaukkojen korkeuseroista johtuvaan paineeroon. Tuloilma-aukkojen on suuruudeltaan oltava vähintään poistoilma-aukkojen kokoisia. Ilmanvaihdolla pyritään taulukon 1 mukaisiin olosuhteisiin lämpöeristetyissä kotieläintiloissa. (Maa- ja metsätalousministeriön rakennusmääräykset ja – ohjeet. Maatalouden tuotantorakennukset lämpöhuolto ja huoneilmasto C2.2 (MMM-RMO C2.2))

TAULUKKO 1 Lypsylehmien lämmön- ja kosteuden tuotanto ja niille suositeltavat huoneilman talviaikaiset arvot (MMM-RMO C2.2)

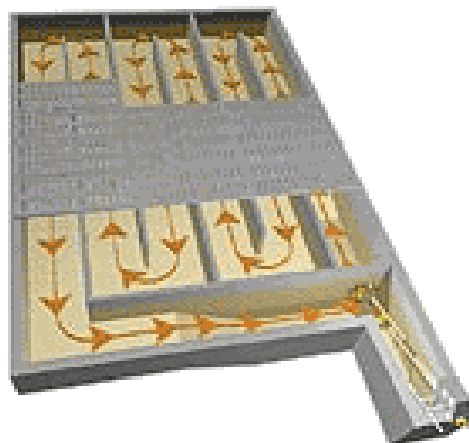
Eläinlaji	Paino kg	Suositus- lämpötila C	Suht. Kosteuden max-%	Lämmön luovutus W/el.	Kosteuden luovutus g/h	Ilmanvaihto m/h	
						min.	max.
Lypsy- lehmä	400-500	12	85	700	400	55	310
	600	12	85	800	450	65	330
	700	12	85	850	500	70	360

Maa- ja metsätalouden rakentamismääräys- ja ohjekokoelman osassa C2.2 on ohjeita maatilojen tuotantorakennuksille. Tuotantorakennuksen lämpötilavaihtelu ei saisi ylittää vuorokaudessa viittä astetta. Lehmälle optimilämpötila on 5-15 °C ja pienille vasikoille 10-20 °C. Ylempi kriittinen lämpötila lehmälle on 23-27 °C ja alempi - (25)-15 °C. Tuotantorakennuksessa ilman suhteellisen kosteuden tulisi pysyä 50-80 %:n välillä. Liian kuiva ilma aiheuttaa pölypitoisuuksien nousua, joka ärsyttää hengityselimiä ja kuivattaa ihoa, puolestaan liian kostea ilma saattaa vaurioittaa rakenteita. Lisäksi lypsylehmille kosteus voi aiheuttaa utaretulehduksia ja etenkin vasikoille hengityselinsairauksia. Tutkimustilalla on navetasta eroteltu vasikoille oma tila valokatteella. Tällä pyritään pitämään vasikkatilat lämpimämpänä ja tasalämpöisenä. Tarvittaessa tilalla käytetään lisälämmitystä nuorimmille vasikoille.

Tutkimuksen aikana olosuhteita mitattiin niin navetan sisältä kuin ulkoakin. Olosuhteiden osalta suoritettiin sisäilman lämpötilan ja kosteuden mittauksia sekä ulkoilman lämpötilan ja kosteuden mittauksia. Mittaukset suoritettiin pääsääntöisesti jatkuvatoimisilla lämpötilan ja kosteuden mittausloggereilla. Mittauslaitteet kiinnitettiin navettaan eri puolille ja eri tiloihin, jotta saataisiin kokonaiskuva rakennuksen lämpötilavaihteluista. Mittauslaitteet olivat yhtä lukuun ottamatta 1,5-2 metrin korkeudella. Yksi mittauslaite oli korkeammalla, lähellä navetan kattoa. Lisäksi ulkolämpötilaa ja -kosteutta oli mittaamassa yksi laite. Mittausväli vaihteli alun 10 minuutista loppumittausjakson 60 minuutin välein tapahtuviin mittauksiin. Lämpötilojen osalta ulkolämpötilalla näyttäisi olevan suurin vaikutus energiankulutukseen. Energiankulutuksia on myöhempänä esitetty ulkolämpötilanfunktiona.

### 3.2 Lantajärjestelmä

Tilalla on käytössä Slalom-lannanpoistojärjestelmä. Slalom-lannanpoistojärjestelmässä lietekuilut ovat samassa korossa ja niissä kierrätetään lietettä pumpaamalla. Lietteen kierrättämistä havainnollistaa seuraava kuva (kuva 4). Kouruissa pidetään tietty määrä lietettä aina, joten kourut toimivat myös lietteen varastotilana tuotantorakennuksen alla. Järjestelmään kuuluu myös pumppuja, joilla on tarkoitus sekoittaa ja poistaa lietettä ajoittain. Pumput voivat olla sähkö- tai traktorikäyttöisiä. Välisäiliössä tai -kaivossa on poistopumppu, jolla lietettä ajoittain pumpataan järjestelmästä pois lietesäiliöön. Tutkimustilalla kourut ovat syvyydeltään 120 cm. Tutkimustilalla pumppausasema sijaitsee tuotantorakennuksen vieressä slalom-kuilujen päässä. Tästä liete pumpataan kumilietesäiliön (~ 3 800 m<sup>3</sup>) vieressä olevaan pumppauskaivoon, mistä liete menee alakautta lietesäiliöön. Pumppausaseman ja navetan välissä on hajulukko. Poistopumppu ja sekoituspumppu ovat 11 kW. Lietettä kierrätetään pumpun avulla tilalla kaksi kertaa viikossa noin 20 minuuttia kerrallaan (381,33 kWh/v). Poistopumppua käytetään noin 30 minuuttia kahden viikon välein (143 kWh/vuosi). Kummassakaan pumpussa ei ole tehonsäätömahdollisuutta. Oletetuilla käyntijaksoilla pumppujen yhteiskulutukseksi vuositasolla tulee 524,33 kWh. Keskimäärin naudan lietettä syntyy tilalla vuodessa noin 2 350 m<sup>3</sup>.



KUVA 4 Slalom-lannanpoistojärjestelmässä liete kiertää kouruissa tiettyyn suuntaan pumppauksen aikana. (RECK-agratechnik –kotisivut)

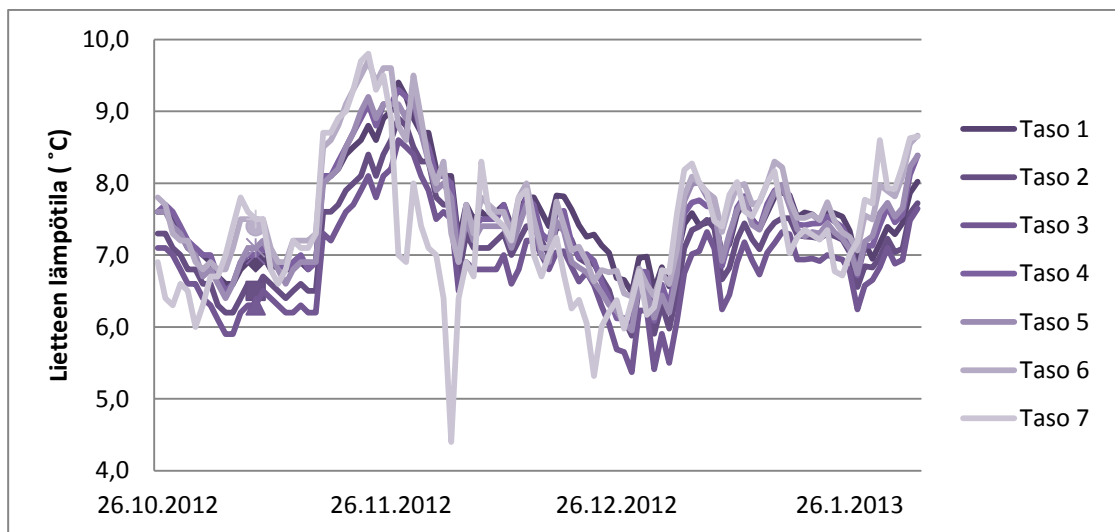
Lietteen lämpötilaa on tutkimustilalla mitattu pistemittauksina joillakin käyntikerroilla ja jatkuvatoimisella mittauksella syyskuun loppupuolelta asti. Jatkuvatoiminen mittaus aloitettiin 21.9.2012 ja se mittasi lypsyrobottikopin vierestä lannan lämpötilaa seitsemältä tasolta. Mittaus suoritettiin termoelementtilangoilla, joiden päät on tuotu muoviputken läpi kuvan 5 osoittamalla tavalla. Mittausväli oli 10 minuuttia ja mittaustulokset tallentuivat termoelementtilankoihin kytkettyyn loggeriin. Kyseinen laite tallensi näiden lisäksi ammoniakkipitoisuuden, jota mittaava anturi oli myös asennettu lypsyrobottikopin läheisyyteen.



KUVA 5 Lannan lämpötilaa seurattiin termoelementtilangoilla, joista tieto tallentui loggerille (oikealla) (Kuva: Teija Rantala)

Toimittajan suositus on vaihtaa lietelämmöstä kierto maalämmön puolelle, kun lietteen lämpötila on  $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tilalla vaihdettiin maalämmön käyttöön 8. marraskuuta, jolloin lietteen lämpötila oli noin  $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vuorokauden ulkolämpötilan keskiarvo oli  $-1,2$

°C ja sisälämpötilan keskiarvo lypsyrobottikopin vierestä oli +10,8 °C. Seuraavassa kuviossa (kuvio 1) on lietteen lämmön mittauksen tulokset, jossa Taso 1 on alin mittauspiste eli pohjassa ja Taso 7 pinnan tuntumassa. Mittauspisteiden korot ovat lietekourun pohjasta mitattuna seuraavat: Taso 1; 25 mm, Taso 2; 50 mm, Taso 3; 100 mm, Taso 4; 200 mm, Taso 5; 400 mm, Taso 6; 600 ja Taso 7; 800 mm.



KUVIO 1 Lannan lämpötilamittaukset ajalta 26.10.2012-1.2.2013 (Lankinen, R. ym.)

Kuviosta huomataan, että lietteen lämpötila nousi hieman parin päivän viiveellä lämmön keruun päätyttyä, jonka jälkeen alkoi sitten tasaantua. Tuloksissa on huomioitava, että mittaustikku pääsi vääntymään kourussa lietteen pumppauksen takia vaakatasoon lietteen pinnan mukaisesti. Mittaustikku on vääntynyt joskus 16.11. käynnin jälkeen, tuloksista ei tarkkaa ajankohtaa voi sanoa. Tämä huomattiin 17.12., jolloin mittaustikkua vahvistettiin ja asennettiin takaisin lietekouruun. Lannan lämpötila pysyy pitkälle syksyyn +8...+10 celsiusasteessa, jolloin lämmönkeruutakin voidaan jatkaa. Lietelämmönkeruupiiri on lyhyempi kuin maapiiri tilalla ja lanta lämpimämpää kuin maa, joten energiaa saadaan lantapiiristä enemmän vähemmällä pumppauksella. Investointina lietepiirin asentaminen maalämmön hyödyntämisen yhteyteen ei ole suuri, koska lisäkustannuksia muodostuu vain keruuputkesta ja siinä kiertävästä nesteestä.

### 3.3 Vedenkulutus

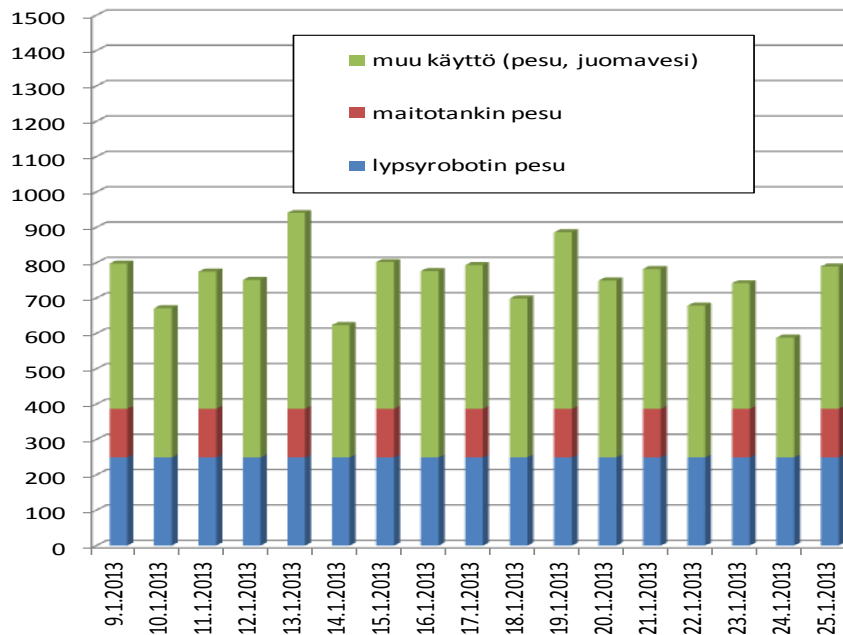
Tilalla on käytössä Lely Astronaut A4 Manager -lypsyrobotti (tuotannonhallintaohjelma T4C), joka lypsää maidot Wedholmsin 5 000 litran tilasäiliöön. Robotin ja tilasäiliön osalta tutkimuksen kannalta oleellisia tietoja ovat vedenkulutustiedot ja veden lämpötilatiedot. Robotin pääpesu on kolme kertaa päivässä (tilalla klo 12.00, 20.00 ja 8.00), yhden pesun kesto noin 20 minuuttia. Pääpesun veden lämpötila on noin 100 °C:ta. Välipesuja on robotin ja lypsimen välillä ajoittain. Ne kestävät muutamia minuutteja ja suoritetaan viileällä vedellä (40 °C).

Tilasäiliö tyhjenetään joka toinen aamu noin klo 8.30, jonka jälkeen tulee 45-60 minuutin pesu. Vettä pesu vie keskimäärin 190 litraa, josta kuuman veden osuus on 85 l/pesukerta. Kuuman pesuveden lämpötila on noin 80 °C ja huuhtelu tehdään haalealla vedellä (noin +40...+50 °C).

Näiden lisäksi lämmintä käyttövettä kuluu eläinten juomavedeksi. Juomaveden lämpötila tilalla on 17 C°. Nautojen juomaveden tarve vaihtelee iän, ulkolämpötilan ja rehun/ruokinnan mukaan, lisäksi lypsylehmällä tuotosvaiheen ja -määrän mukaan. Nautojen juomaveden tarpeesta on lähteestä riippuen suuriakin eroavaisuuksia. Juomaveden määriksi on esitetty Tietoa tuottamaan -sarjan Nauta- ja sikatilan olosuhdeoppaassa lypsylehmälle 150 l/vrk, vasikalle 15 l/vrk, nuorkarjalle 25 l/vrk ja ummessa oleville 50 l/vrk. Näillä määrillä tilalla menisi vuodessa noin 3 900 m<sup>3</sup> lämmitettyä juomavettä.

Lämpimän käyttöveden kulutusta mitattiin tilalta 9.1.2013 alkean, jolloin kuumavesivaraajasta lähtevään putkeen asennettiin virtausmittari (ultraäänivirtausmittaus). Oheisessa kuviossa (kuvio 2) on esitetty tilan vuoden 2013 tammikuun kulutustiedot.





KUVIO 2 Lämpimän käyttöveden mitatut kulutukset mittausjaksolla 9.1.- 25.1.2013. (Lankinen, R. ym.)

Keskimäärin tilalla kuluu mittausten perusteella lämmitettyä vettä (noin +80 °C) noin 750 litraa vuorokaudessa. Maitotankin ja lypsyrobotin vedenkulutukset on arvioitu laitteiden toiminnasta saatujen teknisten tietojen perusteella. Maitotankin pesu suoritetaan joka toinen päivä, kuten kuviosta huomataan. Muun käyttöveden määrää pysyy kohtuu vakiona, mutta esimerkiksi navetassa tapahtuvat pesutoimet voivat tähän tehdä ajoittaisia kulutuspiikkejä.

### 3.4 Lämmitysjärjestelmä

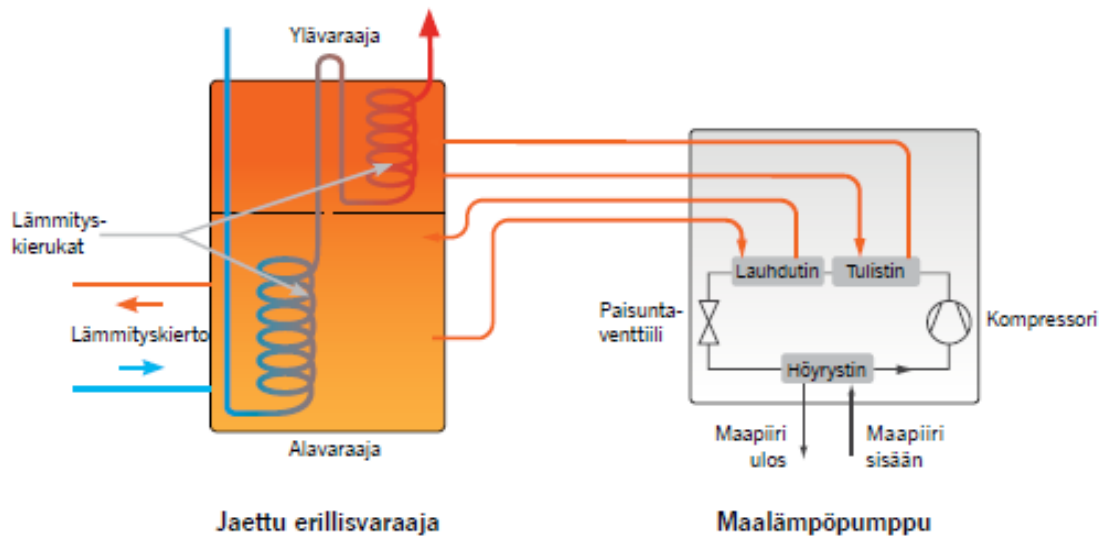
Tilalla hyödynnetään maa- ja lietalämpöä, joiden keruupiirit ovat 50 mm:n putkesta. Maapiiri on 600 metriä ja lantapiiri on 300 metriä pitkä. Lannan lämmönkeruuputki on noin 10 cm lietekuilun pohjavalun sisällä. Sama pumppu kierrättää lanta- ja maapiiriin nesteitä, joten vain toinen keruupiiri on kerrallaan käytössä. Talvisin käytetään maapiiriä ja kesäisin lantapiiriä. Lantapiirissä syksyllä lähtevä lämmönsiirtoaine on ollut +4...+5 °C ja palaava +7...+8 °C. Maapiirin osalta mittauksien aikana lähtevä lämmönsiirtoaine on ollut keskimäärin -1...-4 °C ja palaava +2...-1. Lämmönsiirtoaineena on teollisuusalkoholi (30 % vesietanoliseos).

Lämpöpumppu ja lämmöntalteenottojärjestelmä on tullut Pellon Groupin kautta. Lämpöpumppu on Lämpöässään pumppu ja malliltaan T 15 (taulukko 2). Lämpöpumpun tavoitteena on, että se käy mahdollisimman pitkiä ja yhtenäisiä jaksoja ilman katkoksia, mikä pienentää kompressorin rasitusta. Kohteen lämpöpumppu on siis mitoitettu niin sanotulla osatehomitoituksella. Vara- ja huipputehontarpeen aikana käytössä on varaajan sähkövastukset.

TAULUKKO 2 Lämpöässään T15 pumpun tekniset tiedot (Lämpöässä-kotisivut)

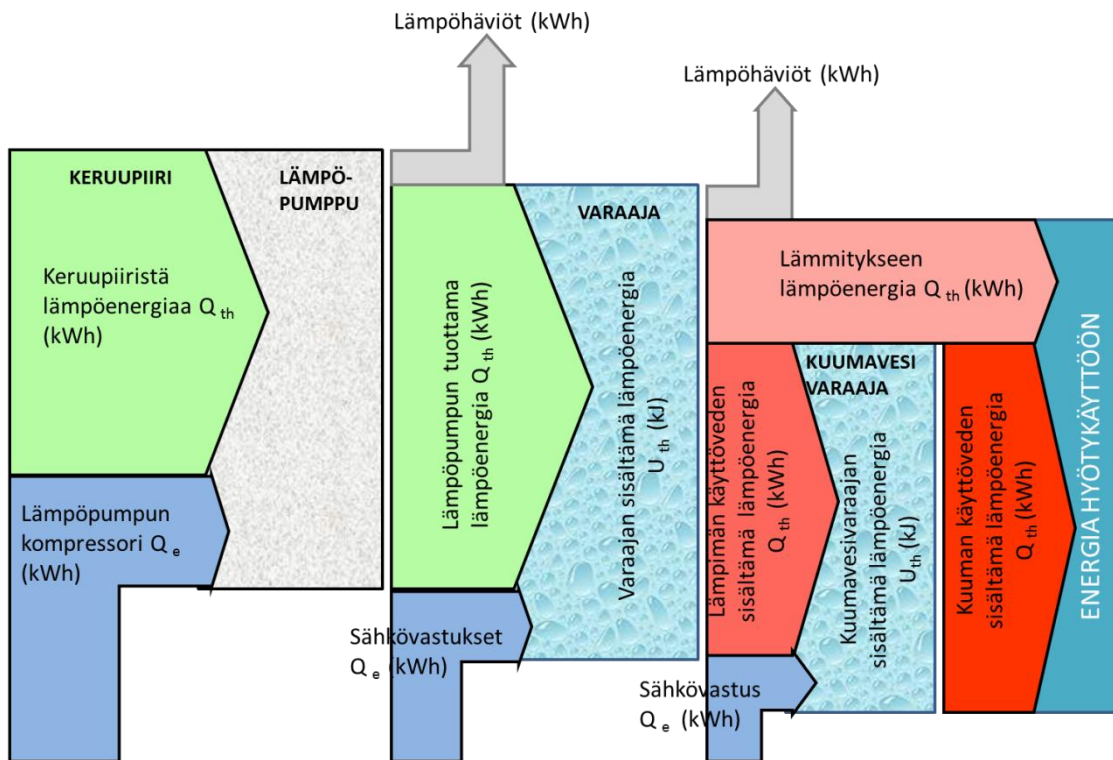
Lämminvesivaraaja	500 - 1000 l
Lämmitettävä pinta-ala	400 - 600 m <sup>2</sup>
Lämmitysteho	16,7 kW, 0/35 °C
Mitat (l x s x k)	59 x 64 x 140 cm
Paino	220 kg
Sulake	3 x 16 A
Sähköliitäntä	400 V 3N
Lämmitettävä pinta-ala	400-600 m

Lämminvesivaraaja on Akvaterm Oy:n valmistama 1000 litran varaaja (maksimi lämpötila +110 °C, maksimi käyttöpaine 0,15 Mpa). Varaajan sisällä oleva laippa jakaa tilan kahteen osaan. Yläosa on niin sanottu tulistusosa, jossa on 6 kW vastus. Laipan keskiosassa on reikä, josta kuuma vesi pääsee purkautumaan alaosaan. Tätä tilalla olevaa jaetun erillisvaraajan rakennetta on esitetty kuvassa 6. Varaajan alaosassa on kaksi 4,5 kW vastusta. Veden lämpötilan laskiessa alle +40 °C kytkeytyy 9 kW:n verran vastuksia päälle. Tulistusosaan eli 6 kW:n vastus käynnistyy, kun veden lämpötila on alle +55 °C. Tavoite alavaraajan veden lämpötilaksi on +45...+55 °C ja tulistusveden lämpötilaksi +55...+65 °C.



KUVA 6 Lämpöpumpun ja jaetun erillisvaraajan rakenne ja veden kierrot (Lämpöässä-kotisivut)

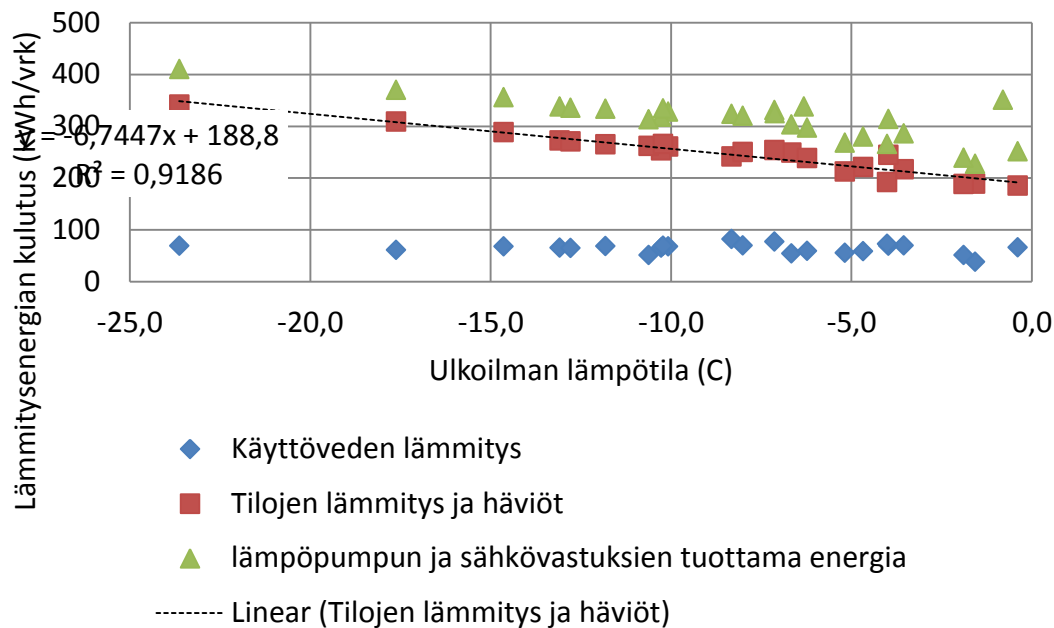
Käyttöveden loppulämmitys tapahtuu kuumavesivaraajassa, joka on tilavuudeltaan 500 litraa. Tässä varaajassa on 6 kW:n sähkövastus. Lähtevän veden lämpötila on noin +80 °C. Kaikki tilan lämmitettävä käyttövesi kulkee varaajan kautta. Kokonaisuudessaan lämpöpumppujärjestelmään kuuluvat energiavirrat ovat esitetty seuraavassa kuviossa (kuvio 10).



KUVIO 3 Vuokaavio lämpöpumpputermostukseen liittyvistä pääenergiavirroista (Lankinen, R. ym.)

Vuokaaviosta nähdään järjestelmän osa-alueet ja mitä kautta energia menee hyötykäyttöön. Järjestelmässä energiaa kuluttavat lämpöpumpun kompressori ja sähkövastukset, lisäksi muodostuu jonkun verran lämpöhäviöitä. Lämpöpumppu on tilalla tankkihuoneessa, jossa ovat myös varaajat. Pumpun sähkön kulutustietoja mitattiin jatkuvatoimisella sähkönkulutusmittarilla (Fluke 434), joka oli asennettu lämpöpumpun viereen. Järjestelmän lämpötiloja seurattiin termoelementtilangoilla putkien pinnalta kymmenen minuutin välein ja tämän lisäksi seurattiin vastusten päälläoloaika. Näiden tiedot tallentuivat LabView-ohjelmistoon. Tammikuun osalta lämpöpumpun keskimääräinen vuorokausikulutus mittausten perusteella on ollut 80 kWh. Lämpöpumpun energiankulutukseen vaikuttavat paljon pumpun säädöt. Kun lämpötilojen raja-arvot ovat kohdallaan, energiaa ei mene hukkaan ja kompressori ei ylitä. Lisäksi kun tulistusosaan menevän höyryn kuristusventtiili on säädetty kohdalleen, saadaan pumppu toimimaan mahdollisimman energiatehokkaasti.

Tilan vuosittainen lämpöenergiatarve on tutkimuksen perusteella tehdyn arvion mukaan noin 65 500 kWh. Rakennuksen lämmityksen osuus on 35 500 kWh. Rehuvaraston lämmittämiseen kuluu arvion mukaan noin 17 500 kWh ja teknisentalan ja toimiston 18 000 kWh. Rakennuksen lämmittämiseen kuluvan energiamäärän arvioinnissa on huomioitu rakennuksen lämpöhäviöstä johtuva lämmitystehon ja jäähdytystehon tarve, sekä tavoitelämpötilat ja ulkolämpötila. Rehuvaraston tavoitelämpötila on +12 °C ja teknisentalan sekä toimiston +20 °C. Ulkolämpötilan osalta on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman syys-toukokuun kuukausittaisia keskilämpötiloja. Rakennuksen lämmityksen tarve on kesäkuukausina vähäinen, joten sitä ei ole tässä huomioitu. Lämpimän käyttöveden tuottamiseen kuluu energiaa vuodessa yhteensä noin 30 000 kWh. Tästä tankin pesuun kuluu 2 100 kWh/vuosi, robotin pesuun 7 200 kWh/vuosi ja muuhun käyttöön, josta eläinten juomavesi on merkittävin, kuluu 20 700 kWh/vuosi. Tuotantorakennuksen lämmittämiseen ja lämpimän käyttöveden valmistamiseen kuluvia energiamääriä on esitetty kuviossa 4 ulkolämpötilan funktiona. Ulkolämpötila vaikuttaa energiankulutukseen selvästi, pakkasen kiristyessä vuorokautinen energiamäärän kulutuskin kasvaa. Pakkaset nostavat lämpöpumpun tehontarvetta, tähän on todennäköisesti syynä lattialämmitys. Tapaustutkimustilalla noin puolet (~ 50 %) lämmitysenergian tarpeesta on lämpöpumpusta ja toinen puoli on tuotettu sähköllä, mukaan lukien lämpöpumpun kuluttama sähköenergia sekä sähkövastukset.



KUVIO 4 Tutkimustilalla kuluu energiaa tuotantorakennuksen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuvan mukaisesti eri ulkolämpötiloilla. (Lankinen, R. ym.)

Lämpöpumpun käyntijaksot olivat mittausjakson alkupuolella hyvin lyhyitä, koska pumpun lämpötila ja hystereesissäädöt olivat virheelliset. Tämän vuoksi lietalämmön puolelta ei saatu syksyn osalta, eli mittausjakson alkupuolelta, vastaavanlaisia tuloksia kuin maalämmön osalta. Hanke jatkaa lietalämmön mittauksia kevätpuolella, jotta lietalämmön hyödyntämisestä saadaan myös tulokset pumpun oikeilla säädöillä.

### 3.5 Kokemukset

Tila on lämmöntalteenottojärjestelmäänsä alkuhankaluuksien jälkeen ollut pääosin tyytyväinen. Laitteiston päivittäinen käyttö ei vaadi juurikaan konkreettista tekemistä. Käyttöön kuuluu sen tarkkailu, että järjestelmä toimii ja lämpötilat kestävät asetetuissa arvoissa. Syksyisin ja keväisin vaihdetaan keruuputkiston venttiilit eri asentoon, kun siirrytään lietteen lämmöstä maalämpöön ja toisinpäin. Järjestelmän toimintaan on voitu olla tyytyväisiä, koska maalämpöpumpun hyötysuhde on yleensä kahden ja kolmen välillä. Tilalla hyötysuhde on tutkimuksen mukaan ollut 2,5, joten järjestelmä on tältä osin saavuttanut yrittäjän odotukset.

Sähkökatkokset ovat aiheuttaneet joitakin harmeja tilalle pumpun uudelleen käynnistämisen suhteen. Pumpun ohjelma on Windows-pohjainen, joten se vaatii joskus resetoinnin. Laitteen käyttöönoton yhteydessä käyttäjäkoulutus oli puutteellinen. Ohjeiden saaminen säätöjen suhteen tuotti ongelmia. Säätöjen oikeellisuus on olennaista, jotta hyötysuhde on mahdollisimman suuri. Tämä on nyt kokeilujen ja kokemuksen kautta saatu kohdalleen. Kokemuksen myötä laitteiden hallinta on helpottunut.

Kokonaisuudessaan tila on ollut tyytyväinen navettaratkaisuihin. Navettatilan luonnollinen ilmanvaihto on ollut toimiva ratkaisu lukuunottamatta yli 25-asteen pakkasia. Tällöin joudutaan käyttämään lisälämpöä, etenkin vasikkatiloissa. Slalomlietejärjestelmä on vähentänyt työmäärää kourujen ajoittaisen tyhjentämistyön poistuttua. Maidon hukkalämmön talteenottojärjestelmää tila olisi kaivannut. Tämä jäi rakennusvaiheessa toteuttamatta väärinkäsityksen johdosta. Kanssaviljelijöissä maalämmön käyttö lypsykarjatilalla ei ole aiheuttanut epäilyksiä. Lietteen lämmön hyödyntäminen herätti puolestaan mielenkiintoa, koska järjestelmä on ollut aikaisemmin käytössä vain sikaloissa.

#### 4 MAA- JA LIETELÄMMÖNTALTEENOTON KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI

Maalämpöpumpussa taloudellisuuden näkökulmasta oleellisinta on, kuinka paljon pumppu käyttää sähköenergiaa tuotettua lämpöenergiaa kohden. Tapaustutkimustilalla lämpöpumpun COP-arvo on maapiiriä käytettäessä 2,5. Tilan pumppu tuottaa 2,5-kertaisen määrän lämpöä suhteessa ottamaansa energiaan. Seuraavassa on kerrotaan maa- ja lietelämmön käytön kustannuksia ja arvioitu niiden suuruuksia niin tapaustutkimustilan kohdalla kuin yleisellä tasolla.

Maalämmön osalta käyttö- ja ylläpitokustannukset muodostuvat mahdollisista huolloista ja varaosista. Kuluvimmat osat lämpöpumpussa ovat kompressori ja kiertovesipumput. Hintoja näille ei tässä yhteydessä selvitetty, koska ne ovat pumppukohtaisia ja myös niiden vaihtamisväli. Maalämpöpumpun huoltaminen yleensä sisältää suodattimien ja venttiilien puhdistamisen sekä ajoittaisen mittarien seurannan ja säätöjen tarkistamisen. Maalämpöpumpun malli määrittää huoltotoimenpiteet ja niiden tiheyden. Nämä selviävät pumpun huolto-ohjeesta. Yleensä venttiilit puhdistetaan kerran puolessa vuodessa. Venttiilien irrottaminen ja puhdistaminen vaatii ohjeen tarkkaa seuraamista, jotta virheitä vältytään. Keruu- ja lämmityspiirin paineiden ja nestemäärien seuraaminen on myös muistettava. (maalämpöpumppu.info) Yleensä huoltoliikkeen vuosikäyntiin kuuluvat näiden asioiden läpikäynti. Tapaustutkimustilalla lämpöpumppujärjestelmässä keruupiiriä vaihdetaan keväisin ja syksyisin, mikä onnistuu venttiilin kääntämisellä eri asentoon, joten tämä ei lisää järjestelmän työmäärää.

Omakotitalon lämpöpumppu tulisi huoltaa 2-4 vuoden välein, yrityskäytössä olevan lämpöpumpun tarkistus olisi suositeltavaa tehdä kerran vuodessa. Huollolla varmistettaisiin lämpöpumpun toimivuus ja hyvän hyötysuhteen säilyminen. Pumpun omistajan tulisi tarkistaa, että huollon suorittajalla on riittävä ammattitaito. Asentajan tulisi ainakin täyttää Tukesin hyväksymät kylmäalan pätevyysvaatimukset (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto). Lämpöpumppuasentajan pätevyyteen kuuluu myös sähköluvut. Aikaisempi alan asennuskokemuksen löytyminen on myös hyvä varmistaa. Eri huoltoyritysten huoltohinnastojen mukaan vuosihuollon keskihinta olisi noin 240 €/huolto. Hintaan ei sisälly mahdolliset laitteiden korjaukset, materiaalit ja varaosat. Tutkimustilan mukaan huolto kerran vuodessa tuntuu liian tiheältä. Huoltokäynnin kustannus on puolitettu, koska oletetaan huoltokäynnin tapahtuvan joka toinen vuosi. Kustannukseksi tulisi tällöin 120 €/vuosi.



Lietteen lämmön hyödyntämisen osalta sille ei voida suoraan vuosikustannuksia laskea, koska sen ympärivuotinen käyttö ei ole todettu mahdolliseksi. Vuoden kylmimpien kuukausien ajaksi lietalämmöntalteenotto tarvitsee rinnalle toisen keruupiirin. Tällä tavoin varmistetaan, ettei liete pääse jäähtymään liikaa tai jäähtymään lietekuiluihin. Lietalämpöjärjestelmän rinnalla voi toimia maalämmön lisäksi esimerkiksi sähkölämmitys. Lietejärjestelmän osalta voidaan olettaa, että COP-arvo olisi korkeampi, koska lieteputki on lyhyempi ja liete lämpimämpää kuin maaperä. Käyttökustannukset ovat samat kuin maapiirillä ja investointikustannukset alhaisemmat, koska putkien asentaminen ei vaadi kuin niiden kiinnittämisen betoniverkkoon. Lietteen osalta Erkkä-hanke jatkaa tutkimusta keväällä 2013 ja tarkempia tuloksia on odotettavissa tämän jälkeen.

#### 4.1 Takaisinmaksuaika

Investointi voi kohdistua aineelliseen tai aineettomaan kohteeseen. Investoinnin edellytyksenä on, että siihen on sijoitettava rahaa, jotta siitä saataisiin tuottoa useamman vuoden ajan. Investointi on siis rahansijoittamista pitkällä tähtäimellä kannattavaksi arvioituun kohteeseen. Tämän vuoksi investointeja arvioidaan niiden kannattavuuden perusteella. Investointilaskelmamenetelmiä on useita, joilla pyritään ratkaisemaan ja tekemään päätelmiä idean kannattavuudesta ja saamaan investointivaihtoehdot paremmuusjärjestykseen. Menetelmät optimoivat hieman eriasioihin, joten tulokset voivat olla ristiriitaisia keskenään. Kokonaisvaltainen tarkastelu on tarpeen ennen investointipäätöksen tekemistä. (Pellinen, Enroth, Harmoinen 2008, 44.)

Investointilaskelmamenetelmiä ovat nykyarvomenetelmä, annuiteettimenetelmä, takaisinmaksuajan menetelmä ja sisäisen korkokannan menetelmä. Investoinnin kannattavuuslaskelmalla lasketaan hankinnan kannattavuutta sekä tehdään arvio investoinnin taloudellisista seuraamuksista. Investoinnin yhteydessä summalla voidaan määrittää hankkeen kokonaiskustannukset (perusinvestointi), vuosittain syntyvät tuotot, vuosittain syntyvät kustannukset, laskentakorkokanta, käyttöaika ja jäännösarvo. Näiden pohjalta investointilaskenta voidaan suorittaa. (Pellinen ym. 2008, 44.)

Investoinnin kannattavuuslaskentamenetelmistä tähän valittiin takaisinmaksuajan menetelmä, koska ERKKA-hankkeen näkökulmasta kiinnostavaa on, missä ajassa investointi maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuaika kuvaa siis ajanväliä, jolloin on kertynyt nettotuottoja perusinvestoinnin verran. Takaisinmaksuajan menetelmässä verrataan investoinnin ja sen tuottamien nettotuottojen suhdetta. (Pellinen ym. 2008, 94.)

Investoinnin hankintakustannus

----- = Takaisinmaksuaika vuosissa  
Vuotuiset nettotuotot (samansuuruiset joka vuosi)

Tässä menetelmässä ei huomioida korkokantaa. Menetelmä keskittyy ensimmäisten vuosien nettotuottoihin, jotka ovat vuosittaisten tuottojen ja kustannusten erotus. Tämä menetelmä on yleisesti käytössä sen yksinkertaisuuden vuoksi. Menetelmä keskittyy vain takaisinmaksuajan pituuteen: mitä lyhempi aika sen parempi investointi. Takaisinmaksuajan jälkeisillä vuosilla ja niiden tuotoilla ei ole merkitystä. (Pellinen ym. 2008, 94.)

Yleisesti lämpöpumpun takaisinmaksuajasta on huomioitava se, että laitetta voidaan käyttää ympärivuoden. Talvella käyttö on lämmitykseen ja kesäisin sitä voidaan käyttää jäähdytykseen. Ympärivuotisessa käytössä olevan laitteen takaisinmaksusaika on lyhyempi. Tapaustutkimustilalla lämpöpumppu on ympärivuoden käytössä, koska tankki ja lypsyrobotti tarvitsevat kuumat pesuvedet vuoden ympäri. Kesäisin pumpun tehontarve on vähäisempää, koska lattialämmitystä ei tarvita.

#### 4.1.1 Investoinnin takaisinmaksuaika tapaustutkimustilalla

Lämpöpumppu ja varaaja maksoivat 13 500 €. Taulukossa 4 on yrittäjän arviot liete- ja maapiirin rakentamiskustannuksista. Näiden lisäksi on arvioitu tarvikkeita menneen 1 500 €:n edestä ja asennustöiden kustannukseksi tulleen 2 000 €. Investoinnin hankintakustannukseksi tulee 22 400 €.

TAULUKKO 3 Arviot tapaustutkimustilan maa- ja lietepiirin kustannuksista

Piiri	Työ (€)	Putki (€)	Neste (€)	Yhteensä (€)
Maapiiri	700	853	1 000	2 553
Lietepiiri	100	1 600	1 100	2 800

Kustannuksia ovat pumpun ja vastusten sähkönkulutus sekä ylläpitokustannukset. Tilalla energimaksu on keskimäärin 5,83 snt/kWh ja siirtomaksu keskimäärin 3,98 snt/kWh. Sähkön kulutusta tilalla seurataan ja maksu tulee käytön mukaan. Tapaustutkimustilalla vuosikulutus on tutkimuksen arvion mukaan 65 500 kWh, johon kuuluu sekä lämpimän käyttöveden tuottaminen että rakennuksen lämmitys. Tämä tekee tilan energianhinnalla noin 6 450 € vuodessa. Tästä määrästä noin puolet menee sähkövastuksiin ja lämpöpumpun pyörittämiseen, joten lämmön tuottamiseen sähköllä kuluu vuodessa noin 32 750 kWh, mikä tekee 3 220 €. Ylläpitokustannuksiksi yrittäjä arvioi noin 30 €/vuosi. Huoltokustannukset olisivat edellä esitetyn huoltosopimusarvion mukaiset eli noin 120 €/vuosi.

Investoinnin tuotot ovat tässä tapauksessa säästöjä. Säästöjä muodostuu lämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian verran. Tilan tapauksessa noin puolet vuosittaisista lämmitysenergian kustannuksista säästetään käyttämällä lämpöpumppua. Investoinnin kannalta nettotuottojen suuruus voi vaihdella, koska se on riippuvainen sähkön hinnasta. Työajansäästöt ovat arvioitu luvussa 4 Slalom-järjestelmän osalta. Varsinaisesti lämpöpumppujärjestelmään kuluva työaika on vähäistä, kuten myös sähkölämmitysjärjestelmään kuluva työaika.

Hankintakustannukset ovat yhteensä 22 400 €. Nettotuotot lasketaan järjestelmän tuottojen ja kustannusten erotuksena. Lämmitysenergiaa vuodessa kuluu 65 500 kWh, jonka kulut on nykyisellä sähkön hinnalla 6 450 €. Kustannuksia ovat sähköllä tuotettu osuus lämmityksestä 3 220 € sekä huolto- ja ylläpitokulut 150 €. Oheisen laskelman mukaan, tästä tulokseksi tulee 7,25 vuotta.

$\frac{22\,400\ \text{€}}{(6\,450 - 3\,220 - 150)\ \text{€/v}} = 7,27\ \text{vuotta}$
---

Takaisinmaksu aika on yli viisi vuotta, joten on huomioitava 5 % korko. Edellä lasketun 7,25 vuoden käänteislukuvun eli 0,138 ja 5 % koron mukaan anuiteettitaulukosta saadaan takaisin maksuajaksi tällöin 9,5 vuotta. Tämän laskelman perusteella lämpöpumppujärjestelmä on ollut kannattava investointi, koska sen takaisinmaksuaika on lyhyempi kuin käyttöaika, joka oli edellä arvioitu 10-20 vuodeksi lähteestä riippuen.

#### 4.2 Kannattavuusvertailut

Tässä osiossa maa- ja lietalämmön hyödyntämisen kannattavuutta verrataan sähkö-, öljy- ja hakelämmityksen käyttöön. Vertailu tehdään investoinnin ja käyttökustannusten mukaan. Laskelmassa ei ole huomioitu lämmitysvesikierron hintaa, koska lämmitysjärjestelmästä huolimatta tilan tuotantorakennuksessa olemassa oleva lämmitysverkosto pysyy samana. Laskelmissa ei ole myöskään huomioitu tilan muita rakennuksia, koska maa- ja lietalämpöä hyödynnetään vain tilalla tuotantorakennuksessa. Kustannukset tässä vertailussa ovat ohjeellisia. Laskelmissa käytetyt keskimääräiset hinnat ovat koottu alan toimijoilta ja verkkokauppojen hinnastoista. Investoinneissa ei ole huomioitu mahdollisia tukia (esimerkiksi energiatuki) eikä arvonlisäveroa (ALV 0%). Lämmitysmuotojen vertailussa on huomioitava energiakulujen vaihtelut. Energiakulujen vaihtelut muodostuvat eri energiatyyppien hinnoista ja lämmitysmuotojen erilaisista hyötysuhteista. Pitemmällä aikavälillä olisi huomioitava myös energiahintojen nousu. Hintojen kehitys on ollut nousujohteinen viime vuosien aikana ja samanlaisena sen on ennustettu jatkuvan. Oheisessa taulukossa (taulukko 4) on esitetty tilastokeskuksen energiahintoja. Laskelmissa on käytetty taulukossa esitettyjen hintojen keskiarvoa. Sähkön osalta käytetään tilalta saatua sähkön hintaa eli 9,81 snt/kWh. Työn hintana on käytetty ProAgria Keskusten liiton tuottaman Tuottopehtorin mukaan 15,50 €/tunti.

TAULUKKO 4 Energiahinnoissa mukana alv 23/24 %, metsähake alv 0%  
(Tilastokeskus)

Energiamuoto	kesä.12 €/MWh	syys.12 €/MWh	joulu.12 €/MWh	Keskiarvo snt/kWh
Sähkö	149,80	147,80	154,70	15,08
Kevyt polttoöljy	105,00	116,90	111,50	11,11
Metsähake	18,63	19,30	19,48	1,91

#### 4.2.1 Sähkö

Lämpöä voidaan tuottaa sähkövastuksilla varustetulla varaajalla tai sähkökattilalla. Sähkövaraajalla tuotetaan sekä lämpimän käyttöveden tarvitsema energia sekä tilojen lämmitysenergia. Yösähköä hyödyntämällä (tavoite 90 %) selvittää pienemmällä varaajalla ja näin alhaisemmilla hankintakustannuksilla. Sähkökattila tuottaa lämmitysenergian sähkövastuksilla heti käyttöön. Sähkökattila sopii parhaiten tiloihin, jossa lämmön tarve on pieni, jolloin varaavuudesta ei ole suurta hyötyä. Sähkökattilaankin voidaan liittää varaaja, jolloin voidaan hyödyntää yösähköä. Lämpö jaetaan huonetiloihin vesikiertoisella lämmönjakojärjestelmällä. Sähkövaraaja ja -kattila ovat helppokäyttöisiä järjestelmiä, mutta energia on muita lämmitystapoja kalliimpaa. (Motiva Oy –kotisivut /1/.)

Valtakunnan sähkötarpeeseen vaikuttavat sääolosuhteet, etenkin lämpötila ja teollisuuden käyntiasteet. Sähkön hinta itsessään muodostuu sähköenergiasta ja siirtopalvelusta ja näihin molempiin sisältyy veroja. Sähkön hinnoissa maatalouden, kotitalouden ja palvelutoimintojen hinnat kuuluvat veroluokkaan I. Sähkön osalta laskelmassa käytetään tilalta saatua sähkön hintaa eikä tilastokeskuksen keskihintoja. Sähköveron palautus on maataloille ja kasvihuoneille yhden sentin kilowattituntiakohden. Tämä pysyy ennallaan, vaikka kevyen ja raskaan polttoöljyn sekä bioöljyn energianveron palautukset pienenevät vuoden 2014 alusta. (Kyytsönen 2013, 3.)

Tutkimustilalla vuotuisella lämmityksen energiankuluksella ja tilan energianhinnalla kustannukseksi saadaan 6 430 €/vuosi. Tilan muuta sähkönkulutusta ei ole huomioitu tähän hintaan: todellisuudessa sähkölasku on suurempi. Sähköjärjestelmän käyttökustannukset ja työmäärä ovat yhtä alhaiset kuin maalämmöllä. Eroa

kustannuksiin tulee maalämpöpumpusta saatavasta tuotosta ja säästyvistä sähkömaksuista.

Tapaustutkimustilan tämän hetken järjestelmään kuuluva varaaja on kooltaan 1 000 litraa ja kuumavesivaraaja 500 litraa. Pelkän sähkölämmityksen osalta varaajan koko tulisi olla vähän suurempi. Esimerkiksi 2 000 l – 4000 l energiavaraajien hinnat vaihtelevat 2 370 – 4 400 € välillä Akveterm Oy:llä, jonka merkkinen tilan tämän hetken 1 000 l varaaja on.

Voidaan todeta, että sähköjärjestelmän investointikustannus on paljon pienempi kuin maa- ja lietalämpöpumpujärjestelmän, mutta energiakustannukset ovat suuremmat. Energiakustannusten vuoksi tapaustutkimustilan ei ole kannattavaa vaihtaa sähkölämmitysjärjestelmään, koska vertailussa takaisinmaksuajan laskennassa nettotuotot jäävät negatiiviseksi nykyisellä energian hinnalla. Energian hinnan tulisi laskea sähkön osalta 4,4 snt/kWh, jotta olisi tilan kannattavaa vaihtaa sähkölämmitykseen lämpöpumpujärjestelmästä. Tämä arviointi on tehty takaisinmaksuajan menetelmällä pelkästään energian hinnan ja arvioidun investointikustannuksen perusteella, koska nykyisen järjestelmän ja sähköjärjestelmään huolto- ja käyttökustannukset ovat niin lähellä toisiaan. Käyttöikäna laskelmassa käytettiin 20 vuotta (varaaja).

#### 4.2.2 Öljy

Öljy on fossiilinen ulkomaalainen polttoaine, jonka hinta on nousussa. Öljylämmitysjärjestelmää puoltaa sen helppohoitoisuus, mutta öljyn hinnan nousun myötä järjestelmiä on vaihdettu hakejärjestelmään. Öljykattilan tilalle on helppo vaihtaa hake- tai pellettikattila, koska verkosto on jo valmiina. Öljyä polttoaineena käytävä lämmitysjärjestelmä koostuu öljykattilan lisäksi öljypolttimesta, säätölaitteesta ja öljysäiliöstä. Erillistä lämminvesivaraajaa ei tarvita, koska järjestelmä tuottaa lämpimän käyttöveden ja tilojen (vesikierto) tarvitseman energian. Nykyisin öljylämmityskattiloiden palaminen on hyvin puhdasta ja hyötysuhde erittäin hyvä (noin 90-95 %). Häiriötilanteiden varalta kattilasta löytyy sähkövastukset. (Motiva Oy –kotisivut /1/.)

Kattiloiden teknis-taloudellinen käyttöikä on 25-35 vuotta ja polttimen 10-12 vuotta. Säiliöt voivat olla joko teräksisiä tai muovisia. Muovisäiliöt asennetaan usein

sisätiloihin. Lämpimissä tai puolilämpimissä tiloissa voidaan käyttää kesälaatuista polttoainetta, joka on edullisempaa. Muovisäiliössä ei ole veden aiheuttamaa syöpyä, vaikka se olisi maanalainen lujitemuovisäiliö. Terässäilöt voivat syöpyä veden vaikutuksesta, mutta oikein hoidettuna nekin kestävät kymmeniä vuosia. (Neste oil –kotisivut, öljylämmityksestä)

Öljysäiliön puhdistus lisää sen käyttöikä. Puhdistuksessa poistetaan liete, roskat ja vesi sekä tarkastetaan ja puhdistetaan mahdolliset syöpymät. Puhdistus kannattaa antaa ammattilaisen tehtäväksi. Säiliö olisi suositeltavaa tarkastaa 5-10 vuoden välein. Poltin tulisi huoltaa joka toinen vuosi tai 5 000 käytetyn öljylitran jälkeen. Polttimen huollon yhteydessä huoltoliike nuohooa kattilan ja mittaa savukaasut. Nuohous tulisi suorittaa vuosittain. Savukaasujen mittaamisella tarkistetaan palamishyötysuhde, minkä tulisi olla yli 90 %. Itse tehtäviä huoltotoimenpiteitä ovat esimerkiksi polttimen öljyletkun ja tuloputken välisen suodattimen puhdistaminen. (Neste oil –kotisivut, öljylämmityksestä) Öljypolttimen vuosihuoltokustannus on keskimäärin 150 € huoltoliikkeellä teetettynä. Tähän useimmilla tulee matkakulut ja varaosat lisäkustannukseksi, joten laskelmassa on käytetty 200 €.

Kevyen polttoöljyn osalta energiaveron palautukset tulevat pienenevään vuoden 2014 alusta. Kevyen polttoöljyn valmistevero on yhteensä 16,34 snt/l. Tähän mennessä palautusta on tullut 13,2 snt. Palautusta pienennetään 5,5 snt verran, joka vastaa öljyn hiilidioksidiveron osuutta. Öljyverotus on jaettu hiilidioksidi- ja energiasisällön mukaan. Vuoden 2014 alusta kevyen polttoöljyn palautusvero on siis 7,7 snt. (Kyytsönen 2013, 3.) Tämä lisää jatkossa öljylämmityksen kustannuksia.

Maalämpöön siirtyessä kustannusten on arvioitu laskevan kolmannekseen verrattuna öljylämmitykseen. Vertailussa on öljykattilan osalta otettava huomioon hyötysuhde. Hyötysuhde määrä, kuinka paljon enemmän energiaa eli öljyä tarvitsee ostaa, jotta lämmitystarve täyttyy. Lisäksi öljyn hinnan nousu tai sen vaihtelut tulee huomioida kannattavuuden arvioinnissa pitemmällä aikavälillä. Kevytpolttoöljyn keskihinta on ollut tilastokeskuksen tietojen perusteella 111,13 €/MWh. Kattilan hyötysuhteen oletetaan olevan 92 %. Hyötysuhde huomioiden kulutukseksi tulisi 71 200 kWh/vuosi ja kustannukseksi tulisi 7 900 €/vuosi. Öljylämmitysjärjestelmä on myös helppohoitoinen järjestelmä. Öljyn käytöstä muodostuu kustannuksia yhteensä noin 8 100 €/vuosi.

Öljylämmitysjärjestelmän kattilan koko tilalla voisi olla 40 – 50 kW. Tällaisen kustannukset ovat keskimäärin useasta lähteestä koottuna noin 3 500 – 4 000 € ja asennuksen hinta keskimäärin noin 1 500 €. Öljykattilan asennuksessa, kuten hakekattilankin, on huomioitava paloturvallisuus. Tämän vuoksi asennuspaikan valinta on tehtävä huolellisesti ja sen kustannukset nostavat hankintahintaa. Öljylämmitysjärjestelmän hankintahinnaksi muodostuu noin 5 250 €.

Samoin kuin sähköjärjestelmässä öljylämmityksen investointikustannukset ovat alhaisemmat, mutta energiakustannukset niin suuret, ettei siihen olisi kannattavaa vaihtaa verrattuna tilan tämän hetken järjestelmään. Öljyn hinnan pitäisi laskea noin 3,9 snt/kWh, jotta tilan olisi kannattavaa vaihtaa nykyisestä järjestelmästä öljylämmitykseen. Arvionnissa on käytetty takaisinmaksuajan menetelmää ja käyttöikä ollut kattilan mukaan (25 vuotta). Polttimen käyttöikä on huomattavasti lyhyempi (10-12 vuotta). Tässäkään ei huomioitu huolto- ja käyttökustannuksia, koska ne ovat suurusluokaltaan tilan nykyisen järjestelmän kanssa samanlaisia.

#### 4.2.3 Hake

Hake on yleisnimitys koneellisesti haketetulle puulle. Tärkeimmät ominaisuudet ovat sen korkea lämpöarvo ja hyvän hakkeen alhainen kosteus. Se mahdollistaa automatisoidun puulämmityksen lämpökeskuksissa. Metsähake tehdään metsistä korjattavasta raaka-aineista eli omasta metsästä tuotettu hake on metsähaketta. Hakkeen tulisi olla palakooltaan tasalaatuista, mikä helpottaa sen käsittelyä. (Virimäki, J. Hassinen, U. Hiitelä, J. 2008) Hakkeen kosteus riippuu monesta tekijästä muun muassa sen tuoreudesta ja varastoinnista. Metsähakkeen kosteuden ollessa 40-45 % välillä, hakkeen lämpöarvo on tällöin 0,8 MWh/i-m<sup>3</sup>. (Kari, M. 2009, 25.) Laskelmissa on käytetty näitä arvoja. Kuivan hakkeen etuna on hiukkaspäästöjen väheneminen. Tämän lisäksi hiukkaspäästöjä voidaan minimoida säännöllisillä huolloilla ja säädöillä. Puupolttoaineiden käyttö ei aiheuta hiilidioksidi- ja rikkipäästöjä. Puulämmityksen yhteydessä lämmönjakojärjestelmä on yleensä patteri- tai lattialämmitysverkko. Järjestelmässä voi olla varaaja. Hyvällä kattilalla päästään yli 80 % hyötysuhteeseen nimellisteholla. Hakekattilavaihtoehtona ovat alapalokattila tai stokerikattila, jossa hakkeelle on ruuvisyöttölaite. (Motiva Oy –kotisivut /1/.) Normaalisti hakelaitoksen käyttöikä on 15-20 vuotta (Virimäki, J. ym. 2008.).

Tilalla on metsää 32 hehtaaria, jota se voisi hyödyntää hakelämmityksessä. Haketuksen kustannukset vaihtelevat tekijän mukaan, mutta keskimäärin



haketuskustannukset olisivat 4 €/i-m<sup>3</sup>. Esimerkiksi syksyllä 2012 Kotimaiset energiat Oy:n hakkeen hinta on ollut 4,02 €/i-m<sup>3</sup> (alv 0 %). Näihin laskelmiin on käytetty tilastokeskuksen metsähakkeen hintaa (€/MWh), koska oman hakkeen todellisen kustannuksen arviointi on hankalaa. Siihen tulisi haketuskustannuksen lisäksi huomoida myös esimerkiksi metsänhoidon, hakkuun, kuljetuksen ja varastoinnin kustannukset. Kustannukset ovat laskettu hakkeen 40 % kosteuspitoisuudella, tällöin sen lämpöarvo on noin 800 kWh/i-m<sup>3</sup> (Kari, M. 2009, 25) . Tilan lämmöntarve on vuodessa 65 500 kWh ja hyötysuhteen ollessa 80 %, tilalla tarvittaisiin vuodessa haketta noin 100 i-m<sup>3</sup>. Metsähakkeen hinnalla kustannukset olisivat vuodessa noin 1 570 €.

Puulämmitys vaati enemmän työtä kuin muut lämmitystavat. Lämmitysjärjestelmän käyttö- ja hoitokustannukset muodostuvat tuhkan ja muun puhdistuksen lisäksi polttimen ja ruuvien huollosta. Lisäksi hakkeen tilaus ja siirto mahdollisesta erillisestä varastosta muodostaa kustannuksia. Työajaksi arvioidaan 1 h/vk, johon kuuluu myös tässä tapauksessa hakkeen siirto kontin siiloon. Työtuntimäärä olisi vuodessa noin 53 tuntia, josta tekee 15,5 € tuntihinnalla vuodessa noin 820 €. Hormien nuohous olisi hyvä suorittaa kerran vuodessa. Nuohous- ja muut huoltokustannukset huomioiden voidaan arvioida yhteiskustannuksiksi 940 € vuodessa.

Hakekattila on maatilan kokoluokan hakekeskuksissa tai -konteissa 50-60 kW:n luokkaa. Tällaista koko luokkaa on muun muassa esitetty Metsäkeskuksen julkaisemassa Maatilan hakelämmitys-opsaassa, jonka mukaan suuremmassa navetassa kattila voisi olla noin 50 kW. Laskelmissa on käytetty tätä ohjeiden mukaista kokoluokkaa. Hakelämmitysjärjestelmän kustannuksiin vaikuttavat muun muassa kattilavalinta, automatiikka, syöttölaitteet, keskuksen etäisyys lämmitettävistä kohteista, hakevarasto ja se, onko kyseessä hakelämmityskontti vai lämpökeskus. Hakelämmitysjärjestelmä hankittaessa, joko konttina tai keskuksena, kannattaa pyytää tarjouksia useammalta taholta. Järjestelmää myydään kokonaisuutena, joten pakettihinta voi olla edullisempi vaihtoehto.

Lämpökanaalin tulisi olla eristetty lämpö- ja vesiputki. Esimerkiksi Ecoflex Quattro 2x25/28+18/175 on tällainen ja sen hinta on keväällä 2013 Taloon.com-verkkokaupassa noin 75 €/m. Oletetaan, että lämpökeskuksen paikka tapaustutkimustilalla olisi asuin- ja tuotantorakennuksen välissä. Lämpökanaalin kustannus lasketaan tähän 100 metrin mukaan, joten sen kustannukseksi tulisi 7 500

€. Kaivuutyöt tapaustutkimustilalla tehdään itse. Lämpökanalin lämpöhäviö on 2-3 kW/100m. Tämä tekee tilalla 3 kW:lla laskettuna vuodessa 26 280 kWh, jos oletetaan lämpöä kulkevan putkessa (käyttövesi) joka tunti. Tämä määrä lisättyä edellä laskettuun 1 570 €:n hakekustannukseen nostaa vuosikustannukset noin 2 100 €:on hakkeen kulutuksen osalta.

Investointikustannukset arvioidaan tähän kahden kotimaisen hakelämmityskontteja valmistavan yrityksen hintatietojen pohjalta. Keskimäärin tällaisen 60 kW:n hakelämmityskontin hinta on 41 600 € (alv 0 %). Tähän hintaan sisältyy varastotilaa kontin siilon verran, joka on noin 15 m<sup>3</sup>. Tapaustutkimustilan käytössä siiloa olisi täytettävä viikottain ainakin talvikuukausina, jolloin lämmöntarve on suurempi. Tämä on huomioitu työmäärän arvioinnissa. Muut hakevaraston kustannukset jätetään tässä huomioimatta. Kontin hintaan eivät kuulu sähkö ja lvi-työt tarvikkeineen. Metsäkeskuksen maatilan hakelämmitys -oppaassa näiden töiden hinta-arvio on 1 500 € + 3 000 €. Näiden hintojen pohjalta hakelämmityskontin investointikustannus olisi 53 600 €.

Hakejärjestelmän investointikustannus on suurempi kuin maa- ja lietalämpöpumppujärjestelmän, mutta sen käyttökustannukset jäävät alhaisemmaksi. Hakejärjestelmä on tässä kohteessa kilpailukyinen vaihtoehto maa- ja lietalämpöjärjestelmän kanssa. Jos hakejärjestelmä tilalle tehtäisiin, se kattaisi silloin myös asuinrakennuksen ja konehallin lämmityksen. Näissä vertailulaskelmissa on huomioitu vain tuotantorakennuksen lämmityksentarve. Investointikustannuksen suuruuden vuoksi hakekeskuksen kustannusta verrataan sähkön hintaan, jolla selvitetään sen takaisimaksuaika, jos se olisi valittu alunperin tilalla lämmitysjärjestelmäksi. Hakejärjestelmän käyttöaika on laskelmassa ollut 17 vuotta Metsäkeskuksen Maatilan hakelämmitys -oppaan mukaan. Tapaustutkimustilan ja edellä esitettyjen investointikustannusten perusteella takaisinmaksuajaksi saatiin 25 vuotta, kun huomioitiin energiakustannukset ja työajan käyttö. Jos takaisinmaksuajan laskee pelkällä energiakustannuksella saadaan takaisinmaksuajaksi 17 vuotta. Työajan tarve on hakelämmityksessä tilakohtainen, siihen vaikuttavat muun muassa kattilatyypit, siilojen tilavuudet ja hakkeen alkuperä. Tässä tapauksessa, kun huomioidaan myös työaika, hakkeen hinnan tulisi olla noin 0,8 snt/kWh eli reilun sentin alhaisempi, jotta päästäisiin 17 vuoden takaisinmaksuajaksi.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 5.1 Kustannukset

Maalämpöpumppujen investointikustannukset ovat tyypillisesti 900-1 800 €/kW, käyttö- ja ylläpitokustannukset ovat 0,2-0,6 sent/kWh ja tuotantokustannukset ovat 4-8 sent/kWh. Investointikustannus on laskettu lämpöpumpun lämpöteholle, josta noin kolmannes on ulkopuolista tehoa. Muut kustannukset ovat laskettu saadulle nettoenergialle. (Virtanen. 2005, 30.) Tapaustutkimustilan lämpöpumpun lämmitysteho on laitevalmistajan mukaan 16,7 kW, joten investoinnin suuruus olisi tämän mukaan 15 030-330 060 €. Tapaustutkimustilan pumpusta saadaan nettoenergiaa vuodessa 32 750 kWh. Tämän mukaan käyttö- ja ylläpitokustannukset olisivat tällöin noin 66–197 € ja tuotantokustannukset olisivat 1 310–2620 €. Tapaustutkimustilan investoinnin suuruus oli 22 400 €, käyttö- ja ylläpitokustannuksiksi saatiin 150 €/vuosi ja tuotantokustannukseksi 3 220 €/vuosi. Voidaan todeta, että tapaustutkimustilan kustannukset ovat tämän arvion mukaan tyypillistä maalämpöpumppujärjestelmälle.

Kannattavuusvertailuissa huomataan (taulukko 5), että öljyn ja sähkön osalta vuosikustannukset lämmityksestä kasvavat paljon suuremmiksi kuin hakkeen ja tilan lämpöpumppujärjestelmän osalta. Sähkön osalta ero johtuu hakkeen halvemmasta energian hinnasta ja maalämmön osalta lämpöpumpun hyötysuhteesta. Öljyllä energian hinta on kaikkein korkein, mikä nostaa sen käytön vuosikustannuksia. Maa- ja lietalämpöpumppujärjestelmän kannattavuutta syö se, että lämpöpumpulla ei saada nostettua veden lämpötilaa riittävästi. Tilalla joudutaan käyttämään kuumavesivaraajaa, että pesuvesien lämpötila saadaan noin +80 °C:een.

TAULUKKO 5 Arviot eri lämmitysmuotojen vuosikustannuksista

Lämmitystapa		Maa ja liete	Sähkö	Öljy	Hake
Vuosikulutus	kWh/v	65 500	65 500	65 500	65 500
Hyötysuhde	%	50 %	~100 %	92 %	80 %
Ostettava energia	kWh/v	32 750	65 500	71 200	81 900
Energian hinta	snt/kWh	9,81	9,81	11,1	1,91
Lämmityskulut	€/v	3 220	6 430	7 900	1 570

Lämpöpumpun ja hakelämmityksen investointikustannukset ovat kalleimmat (taulukko 6). Sähkön ja öljyn kohdalla investointikustannukset jäävät noin 5 000 €:oon, mutta niiden energiakustannukset ovat paljon suuremmat. Tämän vuoksi öljyyn tai sähköön investointi ei ole kannattavaa tapaustutkimustilalla, kun sitä verrataan tämän hetken lämpöpumppujärjestelmään. Hakejärjestelmän osalta vuosittainen säästö energiakustannuksessa verrattuna tilan lämpöpumppuun on niin alhainen, että se kasvattaa takaisinmaksuaikaa, joten investointi ei ole kovin perusteltua.

TAULUKKO 6 Yhteenveto eri lämmitysjärjestelmien keskimääräisistä kustannuksista

Järjestelmä	Energian hinta	Käyttö- ja huoltokust.	Investointi
	€/vuosi	€/vuosi	€
Lämpöpumppu	3 300	150	22 400
Sähkö	6 500	150	3 500
Öljy	7 900	200	5 300
Hake	1 600	940	53 600

Tapaustutkimustilalla suuri lämpöenergian tarve laskee lämpöpumpun takaisinmaksuaikaa. Lisäksi tilan lämpöpumppujärjestelmä on ollut edullinen. Lämpöpumppujärjestelmä investointina voi olla kaksinkertainen tähän verrattuna, riippuen muun muassa minkälaista automatiikkaa järjestelmään valitsee (esimerkiksi hälytysjärjestelmä tai etävalvonta). Yleisesti lämpöpumpun kohdalla investointi tulee sitä edullisemmaksi mitä korkeampi on rakennuksen energiantarve. Investoinnin kustannuksia uusiutuvien energialähteiden kohdalla voidaan saada pienemmäksi energiatuella. Se on investointituki, joka myönnetään muun muassa uusiutuvan energian tuotantoon tai sen käyttöön liittyviin toimiin. Tukea voivat saada yritykset ja yhteisöt. Lämmöntuotantohankkeiden osalta vuonna 2013 biomassaa käyttäviä lämpökeskuksia voidaan tukea 10-15 % ja lämpöpumppuhankkeita 20 %. (Työ- ja elinkeinoministeriö)

Lämpöpumppujärjestelmän lämmityskuluihin vaikuttaa pumpun lämpökerroin ja energian hinta. Tähän kustannukset ovat arvioitu tapaustutkimuksen arvoilla. Hakejärjestelmän energian vuosikustannus kasvoi 2 900 €:oon, kun otettiin lämpökanaalin energiahäviö huomioon. Tästäkin huolimatta hake on polttoaineena edullisin vaihtoehto. Hakekustannuksiin vaikuttaa tietenkin se, että teetetäänkö hake

omasta puusta vai käytetäänkö ostohaketta. Hakejärjestelmä joka tapauksessa vaatii suuremman työmäärän kuin muut järjestelmät. Tämä huomioiden hakejärjestelmän kustannukset myös nousevat. Investointivaiheessa hakelämmitysjärjestelmä olisi voinut olla kilpailukykyinen järjestelmä kannattavuudessa tilan järjestelmän kanssa. Hakejärjestelmällä olisi lämmitetty tällöin tuotantorakennuksen lisäksi asuinrakennus ja konehalli, mikä laskisi takaisinmaksuaikaa vertailussa.

Seuraavassa taulukossa (taulukko 7) on esitetty vuosikustannuksista kertyneet summat kymmenen vuoden käytöllä muuttumattomilla kulutuksilla ja kustannuksilla. Vuosikustannus sisältää tässä tapauksessa energia-, käyttö- ja huoltokustannukset. Yleisesti energiakustannusten on arvioitu kasvavan sähkön ja öljyn osalta. Kustannusten nousun suuruutta on hankala arvioida ja tästä on monenlaisia arvioita olemassa. Energiatietoviraston sähkön hinta –tilastojen perusteella viimeisen kymmenen vuoden aikana sähkön hinta maatalouskokoluokan talouksissa on noussut 6,15 snt/kWh. Tulevina vuosina sähkön hinnan nousun odotetaan olevan paljon suurempaa. Lisäksi tulevana vuotena öljyn ja sähkön osalta energian palautusveron määrä laskee, joten tämä lisää myös näiden käytöstä muodostuvia kustannuksia.

TAULUKKO 7 Yhteenveto eri lämmitysjärjestelmien ensimmäisen vuoden käyttökustannuksista ja investoinnista. Näiden rinnalla on kymmenen vuoden käytöstä kertyneet kustannukset ja viimeisenä siihen lisättyä järjestelmän alkuperäinen investointikustannus.

Järjestelmä	Vuosikustannus 1. vuosi (€)	Investointi (€)	Vuosikustannus 10. vuosi (€)	10. vuoden kust. + investointi
Lämpöpumppu	3450	22400	34500	56900
Sähkö	6650	3500	66500	70000
Öljy	8100	5300	81000	86300
Hake	2540	53600	25400	79000

Taulukosta nähdään, että investoinnin ja käyttökustannusten erot tasoittavat järjestelmien kustannuksia pitemmällä aikavälillä. Maalämpöpumppu on investointina suuri, mutta sen kustannukset pitemmällä aikavälillä jäävät alhaisimmiksi. Tässä tulee huomioida, että sähkön ja öljyn hinnat ovat nousussa, mikä kasvattaa niiden käyttökustannusta vielä suuremmaksi. Hakkeen osalta kustannuksia jatkossa voi

nostaa myös polttoaineen hinnan nousu, jolloin haketus kustannukset nousevat. Sähkön hinnan nousun myötä lämpöpumpujärjestelmän kustannukset voivat suurentua. Toisaalta lämpöpumppu on näistä uusien tekniikka, joten kehitysaskelaita on varmasti siinä vielä luvassa. Tämän myötä hyötysuhde paranee, mikä tasoittaa sähkön hinnan nousun vaikutusta. Voidaan myös odottaa muidenkin järjestelmien osalta, että tekniikka kehittyy, jolloin hyötysuhteet paranevat. Toisaalta todennäköistä on, että kymmenen vuoden päästä näiden lämmitysjärjestelmien rinnalla kilpailee kannattavuudesta muita uusiutuvaan energiaan perustuvia lämmitysjärjestelmiä.

## 5.2 Hyödyt maitotiloilla

Lämpöpumppujärjestelmän etuna ovat sen alhaisen energian vuosikustannuksen lisäksi, sen vähäinen työ määrän tarve. Kuten edellä on kerrottu, maalämpöpumppujärjestelmä kaipaa lähinnä valvontaa ja toiminnan tarkastamista. Venttiilit kaipaavat ajoittaisen tarkistamisen ja puhdistamisen. Tämän voi tehdä yrittäjä itse. On suositeltavaa, että huoltoliike tekee pumpulle vuosihuollon 1-4 vuoden välein riippuen pumpun käytöstä.

Varsinaisesti lämpöpumppujärjestelmään kuulumaton Slalom-lannanpoistojärjestelmä on vähentänyt myös työaika tilalla 1,5 tuntia viikossa. Työnajan säästö tekee vuodessa 15,50 € tuntihinnalla noin 1 200 €. Tämä työ on ollut ruumiillista työtä vanhassa navetassa. Työhön on silloin sisällynyt kourujen tyhjennystä ja lietteen melomista. Slalom-järjestelmän myötä ruumiillinen työ on muuttunut muutamia minuutteja kestävään viikottain tapahtuvaan valvontaan. Slalom-järjestelmän pumppujen sähkönkulutus on laskettu olevan noin 524 kWh vuodessa, mikä tekee lisäkustannukseksi tapaustutkimustilalla reilut 50 €. Tämä kustannus ei ole kohtuuton, jos pumput ovat toimivia ja kestäviä. Niiden mahdollinen huolto ja uusiminen nostavat ajoittain kustannuksia.

Lietteestä lämpöä otettaessa se viilenee, jolloin ammoniakkin vapautuminen lietteestä vähenee. Sikataloudessa tällä on suurempi merkitys ja se on yksi suuri etu lietelämmön talteenotossa. Slalom-lietejärjestelmään kuuluvien pumppauksien aikana ammoniakkin arvot näyttäisivät hetkellisesti nousevan tapaustutkimustilalla suoritettujen mittausten perusteella, mutta näiden tulosten kerääminen ja analysoiminen jatkuu vielä hankkeen puitteissa keväälle ja lietelämmön hyödyntämiseen saakka.

Lietteen hyödyntäminen lämmönlähteenä ei ole mahdollista ympärivuoden liiallisen jäähtymisen eli jäätymisvaaran vuoksi. Tämä heikentää lietalämmöntalteenottojärjestelmän kannattavuutta. Jos tilalle on suunnitteilla esimerkiksi maalämmöntalteenotto, on tällöin hyvä harkita lietalämpöä siihen rinnalle. Lietteellä on korkeampi lämpötila ja lietepiirin asennuskustannukset eivät ole suuret, joten se on hyvä ja kannattava vaihtoehto toisen lämmönlähteen rinnalle tuomaan tehokkuutta järjestelmään.

### 5.3 Tekniikoiden soveltamismahdollisuudet

Lämpöpumppujen määrä on kasvanut jatkuvasti. Vuonna 2005 lämpöpumppuja oli yhteensä 22 407 kpl, josta maalämpöpumppuja 3 500. SULPU:n tiedotteen mukaan vuonna 2012 lämpöpumppuja oli käytössä 540 000 kpl. Lämpöpumppujen myyntiä on edistänyt energiakustannusten nousu. Lisäksi huoli ilmastonmuutoksesta on myös vaikuttanut lämpöpumppujen suosioon. (motiva Oy -kotisivut /2/)

Tilalla ei suunniteilla laajentamista, joten he eivät olleet selvittäneet järjestelmänsä laajentamismahdollisuuksia. Maalämpöpumppujärjestelmä mitoitetaan kattamaan kohteen mitoitustehosta 40-60 %, jotta sen käyttöaste olisi korkeampi. Tällätavoin mitoitettu järjestelmä kattaa vuotuisesta lämmitysenergiasta noin 80-90 %. Lisälämmönlähteenä voi olla esimerkiksi tapaustutkimustilan tapaan sähkövastukset tai vaikka asuinrakennuksessa tulisija.

Lämpöpumppujärjestelmä voi toimia yksinään rakennuksen lämmitysjärjestelmänä tai jonkun toisen lämmitysjärjestelmän kanssa rinnakkain. Tämä on mahdollista myös useimpien muidenkin lämmitysjärjestelmien kanssa. Lämpöpumppujärjestelmään kuuluva varaaja voidaan valita niin, että se voidaan kytkeä useampaan energianlähteeseen. Tällaisia energiavaraajia on useilla valmistajilla. Lämpöpumppujärjestelmä voidaan asentaa myös vanhan kattilan rinnalle, jolloin kattilaa voidaan käyttää ajoilla, jolloin lämmitysenergian tarve on suurempi. Tapauskohtaisesti tulee valita lämpöpumpun lämmönlähde. Maalämmön kohdalla rakennuksen pihapiiri määrittää pitkälle, otetaanko lämpö maapiiristä vai kaivosta. Lypsykarjatiloilta maidon lämmön hyödyntäminen on myös vaihtoehto. Maidon lämpä olisi hyvä ottaa hyötykäyttöön, koska maito joudutaan jäähdyttämään joka tapauksessa ja sen määrä on jokseenkin vakio. Maidon kuten myös lietteen lämpö ovat hyviä lämmönlähteitä niiden korkean lämpötilan vuoksi.

## 5.4 Lopuksi

Maa- ja lietalämmön hyödyntäminen lypsykarjatililla on harvinaista. Lämpöpumppujärjestelmien osalta maidon lämmön hyödyntäminen ja maalämmönkin hyödyntäminen yleistyy koko ajan lypsykarjatililla. Lietalämmön hyödyntämistä käytetään jonkun verran Suomessakin jo sikatalouden puolella. Pohjoismaissa lietalämmön talteenottoa käytetään myös sikatalouden puolella. Keski-Euroopassa liettä hyödynnetään enemmän biokaasulaitoksissa, koska siellä syöttötariffit ovat siihen suotuisimmat ja lämmöntarve pienempi.

Opinnäytetyöhön laskelmat ovat tehty pääsääntöisesti maalämmön käytön aikaisten mittausten tuloksista. Lantapiirin COP-luku jää tämän opinnäytetyön pohjalta arvoitukseksi, koska pumpun käyntijaksot eivät olleet oikeanlaiset syksyllä, kun teimme mittauksia lantapiirin käytön aikaan. Tämän vuoksi tulokset lietepiirin osalta jäivät vähäisiksi. ERKKA-hanke jatkaa tapaustutkimustilalla mittauksia lantapiirin siirtymiseen jälkeen, jotta saadaan luotettavat tiedot sen puolen toiminnasta. Maapiirin COP-arvoksi tilalla saatiin 2,5. Voidaan olettaa lantapiirin arvon olevan korkeampi, koska liete on lämpimämpää kuin maaperä ja lietepiiri on lyhyempi, joten pumppauksen tarve on vähäisempi.

Opinnäytetyön kannalta aikataulun määritteli hankkeen suorittamat mittaukset ja niiden tulosten käsittely. Lietepiirin osalta mittaustulosten saannin viivästyminen muutti hieman opinnäytetyön sisältöä. Lietalämmön talteenoton kannattavuus olisi ollut suuremmassa roolissa tässä työssä, jos lietepiirin käytöstä olisi saatu varmemmat tulokset jo syksyllä. Työn tekeminen painottui viitekehysten osalta joulukuuhun. Loppuosan työstä tein tammi-helmikuun vaihteen jälkeen, jolloin saatiin tapaustutkimustilalla mittaukset osin päätökseen. Työn rajaaminen opinnäytetyön raameihin ja hankkeen kesken oli haastavin osuus. Aiheesta olisi saanut paljon laajemmankin selvityksen, mutta näissä puitteissa päädyimme tällaiseen ratkaisuun. Lietalämmön hyödyntämisen tuloksista hanke raportoi aikanaan. Opinnäytetyössä tapaustutkimuksen osuus ja mittauksissa mukana olo toi kirjallisuuslähtöisen selvityksen rinnalle mukavaa vaihtelua. Tapaustutkimustilan omistajien positiivinen ja valoisa asenne valitsemaansa järjestelmään ja ylipäätensä työhönsä oli ehdottomasti työlleni ja hankkeen tälle osalle voimavara. Opinnäytetyö sisälsi sopivassa suhteessa tekemistä erilaisten ihmisten parissa ja omatoimista tiedon etsintää.



Lämpöpumpputekniikka on yleistymässä maataloudessakin lämmitysmuotona. Näistä uusimpien joukossa on lietteen hyödyntäminen lämmönlähteenä lypsykarjapuolella ja tämän vuoksi se kaipaa lisää selvitystä ja tutkimusta niin tekniikan kuin käyttömahdollisuuksienkin puolella. Lietteen ominaisuuksia lämmönlähteenä ja sen jäähtymisen vaikutusta viskositeettiin tulisi tutkia enemmän. Tällöin tarkentuisi tieto, kuinka alhaiseksi lietteen lämpö voisi laskea ennen kuin pitäisi vaihtaa toiseen keruupiiriin. Lietelämmön talteenottojärjestelmiä on otettu käyttöön uusiin tuotantotiloihin. Tämän järjestelmän asennusmahdollisuudet saneerauksien yhteydessä on selvittämättä ja samoin laajentamismahdollisuudet. Uutena järjestelmänä lietelämmöntalteenotto herättää varmasti paljon kysymyksiä maatalousyrittäjissä. Se on vielä kohtuu tuntematon lämmitystapa, mutta tämän hetken tulosten ja tietojen perusteella voidaan olettaa, että lietelämmöntalteenotto tulee olemaan esillä jatkossa enemmän.

## LÄHTEET

Abbott, R. European pig farmers use slurry to cut heating cost, Pig International, 2.1.2013. [viitattu 12.3.2013]. Saatavissa: <http://www.wattagnet.com/147218.html>

Aho, P. Teräväinen, H. Yliaho, M. yms. 2002. Nauta- ja sikatilan olosuhdeopas, Tietoa tuottamaan 97

Bionova engineering. 2007. Maatilojen energiaohjelman valmistelu – taustatiedot, [viitattu 20.5.2012]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/2379/Maatilojen\\_energiaohjelman\\_valmistelu\\_Taustatiedot\\_14022007.pdf](http://www.motiva.fi/files/2379/Maatilojen_energiaohjelman_valmistelu_Taustatiedot_14022007.pdf)

Energiatehokas tuotantorakennus hanke -kotisivut. [viitattu 19.5.2012]. Saatavissa: [www.erkka.savonia.fi](http://www.erkka.savonia.fi)

Erikson & Koistinen. 2005. Monenlainen tapaustutkimus [viitattu 21.5.2012]. Saatavissa: [http://www.ncrc.fi/files/4957/2005\\_04\\_verkkojulkaisu\\_tapaustutkimus.pdf](http://www.ncrc.fi/files/4957/2005_04_verkkojulkaisu_tapaustutkimus.pdf)

Gebwell Oy -kotisivut. [viitattu 9.10.2012]. Saatavissa: <http://www.gebwell.fi/fi/ota-yhteytt%C3%A4/yritys/>

Hassi, Hatakka, Saarikko & Valjakka. 1995. Fysiikka ihmisen käytössä. WSOY Porvoo

Lankinen, R. Rantala, T. Sikanen, H. Hämäläinen, V. Viljakainen, A. 2013. Energiatase sekä maalämmön ja lannan lämmön hyödyntäminen lypsykarjatilalla, case yhden robotin navetta, Savonia-ammattikorkeakoulu

Juvonen, J. 2009. Lämpökaivo - Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa, [viitattu 1.3.2013] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=108597&lan=fi>

Kari, M. 2009. Maatilayrityksen energiaopas, Tietoa tuottamaan 130

Kotimaiset energiat Oy –kotisivut. [viitattu 9.4.2013]. Saatavissa: [http://www.kotimaisetenergiat.fi/uploads/media/Tiedote\\_8\\_-\\_2012.pdf](http://www.kotimaisetenergiat.fi/uploads/media/Tiedote_8_-_2012.pdf)

Kyytsönen, J. Maatilojen energialasku pomppaa ensi vuonna –artikkeli, Maaseudun tulevaisuus, Nro 37, 27.3.2013

Leppäharju, N. 2008. Kalliolämmön hyödyntämiseen vaikuttavat geofysikaaliset ja geo-logiset tekijät. Fysikaalisten tieteiden laitos, geofysiikka. Oulu: Oulun yliopisto. Pro gradu -tutkielma.

Lämpöpumppu.info, huolto. [viitattu 27.2.2013]. Saatavissa:  
<http://www.maalampopumppu.info/maalampopumpun-huolto-ohjeet/>

Lämpöässä-kotisivut, T-mallisto. [viitattu 1.2.2013]. Saatavissa:  
<http://www.lampoassa.fi/fi/tuotteet/t-mallisto>

Lännenilmatekniikka-kotisivut. Lämpöpumpputyypit. [viitattu 9.2.2013]. Saatavissa:  
<http://www.lannenilmatekniikka.fi/pdf/Lampopumpputyypit.pdf>

Maalampöpumppu.info. [viitattu 1.4.2013]. Saatavissa:  
<http://www.maalampopumppu.info/maalampopumpun-huolto-ohjeet/>

Maa- ja metsätalousministeriön rakennusmääräykset ja -ohjeet. Maatalouden tuotantorakennukset lämpöhuolto ja huoneilmasto C2.2. [viitattu 1.2.2013].  
Saatavissa:  
<http://www.mmm.fi/attachments/maaseutujarakentaminen/5iiBVUyGW/L10-rmoC22-01.pdf>

Matikka, V. 2009. Maalämpöprojetin loppuraportti, Savonia-ammattikorkeakoulu. [viitattu 9.12.2012]. Saatavissa:  
[http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/teknologia\\_ja\\_ymparisto/ymparistotekniikka/Loppuraportti\\_MAALAMPO.pdf](http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/teknologia_ja_ymparisto/ymparistotekniikka/Loppuraportti_MAALAMPO.pdf)

Motiva Oy -kotisivut.

/1/ Eri lämmitysmuodot. [viitattu 20.3.2013]. Saatavissa:

[http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/eri\\_lammitysmuodot/](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/)

/2/ Lämpöpumput. [viitattu 5.4.2013]. Saatavissa:

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/lampopumput](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput)

MTT/Vakolan Maitokoneet-yksikkö. Lypsykoneiden ja tilasäiliöiden pesulaitteiden vedenkulutus tilalla. Maito ja Me [verkkolehti]. 5/2002. [viitattu 20.2.2013]. Saatavissa: [http://ammattilaiset.valio.fi/maitojame/mm5\\_02/vedenkulutus.htm](http://ammattilaiset.valio.fi/maitojame/mm5_02/vedenkulutus.htm).

Neste oil -kotisivut, öljylämmityksestä. [viitattu 20.3.2013]. Saatavissa: <http://www.neste.fi>

Pellinen, J. Enroth, A. ja Harmoinen, T. 2008. Kannattava maatilayritys, Tieto tuottamaan 124, 2008

Pellon-kotisivut. Lämpöpumppu. [viitattu 20.8.2012]. Saatavissa:

<http://www.pellon.com/Suomeksi/Sikatalous/Lampopumppu/Lampopumppu>

RECK-agratechnik-kotisivut, RECK Slurry Slalom System. [viitattu 9.3.2013].

Saatavissa: <http://www.reck-agratechnik.de/>

Suomen lämpöpumppuyhdistys

/1/ Uutiset, COP COP –tosi on? -artikkeli. [viitattu 9.3.2013]. Saatavissa:

<http://www.sulpu.fi/uutiset/>

/2/ Lehdistötiedote SULPU 1/2013. [viitattu 8.3.2013].

Saatavissa: <http://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Lehdist%C3%B6tiedote%2C%20SULPU%2C%201.2013.pdf>

/3/ Lämmöntalteenotto maaperästä [viitattu 20.12.2012]. Saatavissa:

<http://www.sulpu.fi/maapera-lammon-lahteena>

Taloon.com –kotisivut. [viitattu 15.3.2013]. Saatavissa: <http://taloon.com/>

Tilastokeskus, Energian hinta- ja kulutustietoja. [viitattu 10.12.2012]. Saatavissa:

[http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2012/02/ehi\\_2012\\_02\\_2012-09-18\\_tie\\_001\\_fi.html](http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2012/02/ehi_2012_02_2012-09-18_tie_001_fi.html)

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Toimialat. Kylmäala. [viitattu 6.4.2012]. Saatavissa:

<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kylmalaiteliikkeit/Kylmalaiteliikkeit/patevys/>

Tuottopehtori, ProAgria Keskusten liitto. [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa:

<http://www.proagria.fi/tuottopehtori/>

Työ- ja elinkeinoministeriö. Energiatuki. [viitattu 10.11.2013]. Saatavissa:  
<http://www.tem.fi/index.phtml?s=3093>

Virimäki, J. Hassinen, U. Hiitelä, J yms. Maatilan hakelämmitys-opas, Metsäkeskukset, 2008, [viitattu 19.12.2012]. Saatavissa:  
[http://www.metsakeskus.fi/fi\\_FI/c/document\\_library/get\\_file?uuid=53350836-1d55-4644-aba9-b2b527a7bd0d&groupId=10156](http://www.metsakeskus.fi/fi_FI/c/document_library/get_file?uuid=53350836-1d55-4644-aba9-b2b527a7bd0d&groupId=10156)

Virtanen. 2005. Energiankäyttö sekä uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämispotentiaali suomalaisilla maataloilla – esiselvitys, MTT Ympäristötutkimus [viitattu 20.5.2012]. Saatavissa:  
[http://www.motiva.fi/files/2382/Esiselvitys\\_Energiank\\_ytt\\_sek\\_uusiutuvien\\_energiamuotojen\\_hy\\_dynt\\_mispotentiaali\\_suomalaisilla\\_maataloilla\\_15082005.pdf](http://www.motiva.fi/files/2382/Esiselvitys_Energiank_ytt_sek_uusiutuvien_energiamuotojen_hy_dynt_mispotentiaali_suomalaisilla_maataloilla_15082005.pdf)

Ympäristöministeriö. Kotieläintalouden ympäristönsuojeluohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2012 . [viitattu 9.3.2013]. Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=117243&lan=fi>

