

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Piia Räsänen

VASIKKAKASVATTAMON LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU
UUSIUTUVIA ENERGIOITA HYÖDYNTÄEN

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2016



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2016
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
(013) 260 600

Tekijä

Piia Räsänen

Nimeke

Vasikkakasvattamon lämmitysjärjestelmän suunnittelu uusiutuvia energioita hyödyntäen

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tehtiin lämmitysjärjestelmien suunnittelua ja mitoitusta pohjois-karjalaiselle vasikoiden välikasvattamolle. Vertailemalla erilaisia lämmitysratkaisuja ja laskemalla niiden kustannuksia ja takaisinmaksuaikoja, oli tarkoitus vähentää maatilan energiankustannuksia ja parantaa kannattavuutta. Maatilan energiankulutus on vuodessa 54 MWh, josta suurin osa kuluu rakennuksien lämmitykseen, sillä pienille vasikoille on lämpötilasuositus vähintään +12 °C-astetta.

Työn alussa käsitellään erilaisia energiavaihtoehtoja ja käydään aiheeseen liittyvää teoriaa. Maatilan kokonaisenergiankulutuksesta lasketaan lämmitysenergian kulutus ja sen jakautuminen eri kohteille. Työssä mitoitettiin, suunniteltiin ja tehtiin kannattavuusarviot maalämpöratkaisulle sekä puu- ja hakekattilajärjestelmälle sekä vertailtiin niiden hyötyjä keskenään. Maatilat saavat myös 35 % investointitukea uusiutuvia energioita koskeviin energiaratkaisuihin, ja tuen määrä otetaan laskelmissa huomioon.

Hakelämmitysjärjestelmä osoittautui kannattavimmaksi vaihtoehdoksi kohdemaatilalle, vaikka sen investointikustannukset olivat kaikkein kalleimmat. Hakkeen edullinen hinta vaikutti järjestelmän kannattavuuteen eniten. Ilmanvaihto osoittautui suurimmaksi lämpötehokkeimmaksi, joten jatkotutkimuksissa voisi keskittyä ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kehittämiseen navettaolosuhteisiin.

Kieli

Suomi

Sivuja 66

Liitteet 2

Asiasanat

Lämpölaitos, uusiutuva energia, lämmitysjärjestelmä, vasikoiden välikasvattamo.



THESIS
April 2015
Degree Programme in
Environmental Technology
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
(013) 260 600

Author

Piia Räsänen

Title

Heating System Plan in the Calf Rearing Unit Using Renewable Energy

Abstract

The main object in this thesis was to make a plan and size for a suitable heating system in North Karelian calf rearing unit farm. This work gives information about the different heating systems, compares heating fuels, and tries to have an impact on farm's profitability. In the farm there are two calf rearing unit and one detached house. There are altogether 150 calves in three part breeding system and the total energy consumption in the whole farm is 54 MWh. The biggest part of that is heating. Calves need good air conditioning and at least + 12 °C.

In the beginning, the first step was to share parts the total energy consumption. The biggest part is ventilation heat loss. Ventilation takes a lot of warm air in the calf rearing unit. Without heat recovery all the warm air leaches out. Calves also produce heat and when there are 150 calves heat production is quite a big part. Bigger calf rearing unit need heating when outside is under -5 °C degrees. Smaller building needs heating when outside temperature is below -10 °C.

In this project several different possible heating systems were compared with each other, and three of these options were chosen. Those three systems were geothermal heating, wood boiler heating and wood chip heating. The three main objectives in the thesis were research investment costs, fuel and operation costs and suitability of different heating systems in this farm. Fuel costs were compared in today's energy prices and calculated payback time for energy investments. Farms can get assistance 35 % of total renewable energy investment costs. This assistance was calculated in profitability calculations.

Language

Finnish

Pages 66

Appendices 2

Keywords

Heating plant sizing, renewable energy, geothermal heating, calf rearing unit

Sisältö

Nimiö
Tiivistelmä
Abstract
Sisällys

1 Johdanto	8
2 Keskeiset käsitteet ja tietoperusta.....	10
2.1 Käsitteet	10
2.2 Maatilan tiedot	11
3 Uusiutuvien energioiden vaihtoehdot	13
3.1 Puukattila.....	13
3.1.1 Puukattilatyypit.....	13
3.1.2 Huolto	16
3.1.3 Vahvuudet ja heikkoudet.....	16
3.2 Hakekattila.....	17
3.2.1 Hakekattilatyypit.....	17
3.2.2 Huolto	18
3.2.3 Heikkoudet ja vahvuudet.....	18
3.3 Maalämpö.....	19
3.3.1 Vahvuudet ja heikkoudet.....	21
3.3.2 Huolto	21
3.4 Poistoilmalämpöpumppu	21
3.4.1 Vahvuudet ja heikkoudet.....	22
3.4.2 Huolto	22
4 Lämmityssuunnitelman tarkoitus ja tavoite.....	23
4.1 Tarkoitus ja tavoite	23
4.2 Aiheen rajaus.....	23
4.3 Tutkimustehtävät	24
4.4 Aiemmat tutkimukset	25
5 Maatilan lämmönkulutuslaskelmat	27
5.1 Lämpöhäviö	27
5.2 Ilmanvaihdon lämpöhäviö	28
5.2.1 Uuden kasvattamon ilmanvaihdon lämpöhäviö.....	30
5.2.2 Vanhan kasvattamon ilmanvaihdon lämpöhäviö	32

5.2.3 Omakotitalon ilmanvaihdon lämpöhäviö	33
5.3 Lämmöntarve.....	34
5.3.1 Lämmöntarve uudessa kasvattamossa.....	35
5.3.2 Lämmöntarve vanhassa kasvattamossa	35
5.3.3 Lämmöntarve omakotitalossa	36
5.4 Lämpökanaalihäviö.....	36
5.5 Lämminkäyttövesi.....	37
5.5.1 Omakotitalon lämminkäyttövesi	37
5.5.2 Vasikkakasvattamoiden lämminkäyttövesi	38
6 Energiavaihtoehtojen valinta	39
7 Energiavaihtoehtojen mitoittaminen kohde maatilalle	41
7.1 Lämmönjakojärjestelmä.....	41
7.1.1 Lattialämmitys	41
7.1.2 Patterilämmitys	41
7.2 Puukattila.....	42
7.3 Hakekattila.....	44
7.4 Maalämmön mitoitus	46
7.4.1 Uuden kasvattamon maalämpöjärjestelmä	46
7.4.2 Vanhan kasvattamon maalämpöjärjestelmä	47
8 Energiaratkaisuihin saatavat tuet.....	49
9 Tulokset	51
9.1 Puukattilajärjestelmän kustannukset ja kannattavuus	51
9.2 Hakejärjestelmän kustannukset ja kannattavuus.....	53
9.3 Maalämmön kustannukset ja kannattavuus.....	55
10 Pohdinta.....	57
10.1 Maatilan kulutuksen pohdinta	57
10.2 Lämmitysvaihtoehtojen kannattavuuden pohdinta.....	58
10.3 Jatkotutkimusaiheet.....	60
10.4 Oppimisprosessi	61
Lähteet	62

Liitteet

- Liite 1 Maatilojen nykyinen lämmitysjärjestelmä Lieksassa, Nurmeksessa, Tohmajärvellä, Kontiolahdella ja Valtimolla
- Liite 2 Maatiloja eniten kiinnostavat lämmitysmuodot

Kuvat

- Kuva 1. Yläpalokattila
- Kuva 2. Alapalokattila
- Kuva 3. Käänteispalokattilan toiminta
- Kuva 4. Hakejärjestelmä
- Kuva 5. Lämpöpumpun toiminta
- Kuva 6. Käänteispalo puukattila Attack DPX35 Standard
- Kuva 7. Jäspi Stoker 40-hakekattila

Kuviot

- Kuvio 1. Vuoden lämpötilajakauma
- Kuvio 2. Ilmanvaihdon siirtämä lämpöenergia uudessa kasvattamossa
- Kuvio 3. Ilmanvaihdon siirtämä lämpöenergia vanhassa kasvattamossa
- Kuvio 4. Ilmanvaihdon lämpöhäviö omakotitalossa
- Kuvio 5. Uuden kasvattamon lämmitystarve
- Kuvio 6. Uuden kasvattamon tehon tarve ja 11 kW:n maalämpöpumppu
- Kuvio 7. Vanhan kasvattamon tehon tarve ja 6 kW:n maalämpöpumppu
- Kuvio 8. Uuden kasvattamon vasikoiden lämmitystarpeenjakauma

Taulukot

- Taulukko 1. Lämmönläpäisykertoimet
- Taulukko 2. Tiedot vasikoista ilmanvaihtoa varten
- Taulukko 3. Hakkeen, pelletin ja puun kustannusvertailu alv 0 %
- Taulukko 4. Kasvattamoiden yhteinen lämmöntarve puukattilajärjestelmällä
- Taulukko 5. Kasvattamoiden yhteinen lämmöntarve hakekattilajärjestelmällä
- Taulukko 6. Puukattilajärjestelmän kustannukset, kun kattilalle on paikka nykyisissä tiloissa.
- Taulukko 7. Puulämmitysjärjestelmän kustannukset, kun rakennetaan erillinen puukeskus.
- Taulukko 8. Hakejärjestelmän kustannukset, kun hakekeskus rakennetaan itse.
- Taulukko 9. Hakejärjestelmän kustannukset, kun hankitaan valmis hakekontti.
- Taulukko 10. Uuden ja vanhan kasvattamon maalämpöpumppujärjestelmien kustannukset
- Taulukko 11. Lämmitysvaihtoehtojen vertailutaulukko

Lyhenteet

p-m³ Pinokuutio on kuutio pinottuja polttopuita.

i-m³

Irtokuutio on kuution tilavuus heiteltyjä polttopuita.

1 Johdanto

EU:n parlamentti ja neuvosto ovat säätäneet RES-direktiivissä (2009/28/EY) uusiutuvien energioiden käytön edistämisestä. Direktiivin mukaan vuoteen 2020 mennessä uusiutuvien energioiden osuus tulisi nostaa 20 %:iin energian loppukulutuksesta ja Suomelle tavoite on 38 %. (Energiavirasto 2016.) Uusiutuviin energialähteisiin luetaan vesivoima, tuulivoima, aurinkoenergia, puuenergia, peltoenergia ja biovoima (Motiva Oy 2015c).

Suomen maatilojen koot ovat kasvaneet entisestään ja maatalouden energiankulutus on myös kasvanut. Maataloudessa energiaa kuluu lämmitykseen, koneisiin, laitteisiin ja ilmastointiin. Maatiloilla useiden vuosien ajan energiankulutus on ollut pieni kuluerä, mutta energianhinnan noustessa siihen on alettu kiinnittää enemmän huomiota. Energiakustannukset ovat kaksinkertaistuneet maatiloilla vuosina 2000–2011, ja on odotettavissa, että energiakustannukset nousevat. (Ahokas, Esala & Kataja.) Uusiutuva energia on yksi vaihtoehto parantaa maatalon kannattavuutta ja riippuvuutta sähkönhinnan vaihteluista.

Tämä maatalon lämmitysjärjestelmän suunnitelma tehtiin pohjoiskarjalaiselle vasikoiden välikasvattamolle. Tila koostuu kahdesta vasikkakasvattamosta ja omakotitalosta. Vasikoita tilalla on yhteensä 150, ja ne saapuvat tilalle noin kahden viikon ikäisinä ja kasvavat noin puoleen vuoteen asti, kunnes lähtevät tilalta jatkokasvattamoon. Maatilalla kuluu energiaa yhteensä noin 54 MWh vuodessa, ja kaikki tarvittava sähkö tulee valtakunnanverkosta.

Maatalon lämmitysjärjestelmän suunnittelussa on tarkoituksena tutkia, millaisilla uusiutuvien energioiden vaihtoehtoilla maatalon energiatarpeeseen voitaisiin vastata. Kuinka kannattavaksi nämä investoinnit tulisivat ja voisiko niillä parantaa tilan kannattavuutta? Lämmityssuunnitelmaan otetaan huomioon omakotitalon ja kahden vasikkakasvattamon kokonaisenergiankulutus.

Aihe on valittu opinnäytetyöksi ajankohtaisuuden ja tilan tiedon tarpeen vuoksi. Opinnäytetyö on hyödyksi maatalan kehittämistä suunniteltaessa, ja toivottavasti siitä saavat ideoita myös muut maatalouden harjoittajat. Opinnäytetyön ohjaajana toimii Juha Kilpeläinen ja tarkastajana Simo Paukkunen.

2 Keskeiset käsitteet ja tietoperusta

2.1 Käsitteet

Lämpökerroin eli COP (Coefficient Of Performance) tarkoittaa hyötysuhdetta. Se kertoo, kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa sen kuluttamaan sähkön määrään verrattuna. (Motiva.)

Metsähake on koneellisesti hakettua puuta, jota hyödynnetään metsästä energiantuotantoon (Motiva 2014d).

Nimellisteho on hyötyteho, jonka kone antaa toimiessaan oikein.

Ominaislämpökapasiteetti on materiaalin tai aineen kyky vastaanottaa ja luovuttaa lämpöä. Yksikkönä käytetään kJ/(kgK).

Primääri- eli ensiöilma on paloprosessiin alhaaltapäin syötettävää ilmaa (Bioenergianeuvoja 2016c).

Pysyvyyskäyrä kuvaa ulkolämpötilaa ajan suhteen graafisesti (Eskola, Jokisalo & Sirén 2012, 4).

Päälämmitysjärjestelmällä tuotetaan suurin osa tai kaikki lämmitysenergia kohteessa.

RES-direktiivi EU:n parlamentin ja neuvoston säätämä uusiutuvia energioita koskeva direktiivi (2009/28/EY).

Sekundääri- eli toisioilmaa johdetaan tulipesän yläosaan, jossa se osallistuu polttamaan valtaosan savukaasuista (Bioenergianeuvoja 2016c).

Takaisinmaksuaika saadaan jakamalla investointikustannukset investoinnin tuomalla vuotuisella säästöllä. Takaisinmaksuaika ei ota huomioon rahan arvon

muuttumista ajan vaikutuksesta, eikä siinä oteta huomioon korkoja. Se on hyvin havainnollistava ja yksinkertainen luku kuvaamaan investointien kannattavuutta.

Tukilämmitysjärjestelmällä täydennetään päälämmitysjärjestelmää esim. tulisi-
jat, aurinkopaneelit ja ilmalämpöpumput, ja niiden avulla pystytään leikkaamaan
energiakustannuksia.

Uusiutuvalla energialla tarkoitetaan vesivoimaa, tuulivoimaa, aurinkoenergiaa,
lämpöpumppuja, puuenergiaa, peltoenergiaa ja biovoimaa (Motiva Oy 2015c).

Vasikoiden välikasvattamoon vasikat saapuvat noin kahden viikon ikäisinä eri
karjatiloilta. Välikasvattamossa on sekä juottamo että teiniosastot. Vasikat ovat
välikasvattamossa noin puoli vuotta, josta ne lähtevät jatkokasvattamoon. (Virtu-
aalikyylä 2011.)

2.2 Maatilan tiedot

Kohdemaatila on 150 vasikan välikasvattamo Pohjois-Karjalassa. Maatilaan kuu-
luu kaksi vasikkakasvattamoa ja omakotitalo. Vuonna 2005 rakennettu vasikka-
kasvattamo on suunniteltu 90 vasikalle. 224 m²:n lämmitettävä tila on jaettu kol-
meen karsinaan, jossa kussakin on noin 30 vasikkaa. Yksi karsinoista on pienille
vasikoille juottamona ja kaksi karsinaa teiniosastoina isommille vasikoille.

Toinen vuonna 2009 lypsykarjanavetasta vasikkakasvattamoksi muutettu 156
m²:n kasvattamo on suunniteltu 60 vasikalle. Tässäkin kasvattamossa tilat ovat
jaettu kolmeen karsinaan, joissa kussakin on noin 20 vasikkaa. Yksi karsina on
pienille tilalle tulleille vasikoille juottamona ja kaksi muuta teiniosastoina.

Koska maatila on kehittynyt lypsykarjanavetasta, jossa lisälämmöntarve on ollut
hyvin pientä, ei vasikkakasvattamoiden tarvitsemaan lämpöenergiankulutukseen
ole osattu varautua. Lämmitys toteutetaan suorasähkölämmityksenä säteilypatte-
reilla, eikä vasikkakasvattamoilla ole vesikiertoista lämmönjakojärjestelmää.
Lämmitys aiheuttaa kuitenkin suurimman osan sähkönkulutuksesta. Kovimmilla

pakkasilla käytetään lämminilmakehitintä, mikäli sähköpattereiden lämpöteho ei riitä.

120 m²:n omakotitalo on rakennettu vuonna 2013, ja lämmitys tapahtuu pääasiassa leivinuunilla. Vesikiertoista lattialämmitystä pidetään yllä sähkökattilalla. Yhteensä energiaa kuluu kahdella kasvattamalla ja omakotitalossa 54 MWh, ja kaikki sähkö tulee valtakunnanverkosta. Viljaa tilalla ei viljellä, eikä viljankuivauksesta kertyvää energian kulutusta ole. Sähkönkulutus on painottunut talvikautteen.

3 Uusiutuvien energioiden vaihtoehdot

3.1 Puukattila

Puulämmityskattiloissa voidaan käyttää polttoaineena halkoa tai pilkettä. Puupolttoaineella lämmitetään kattilassa vettä, jota kierrätetään pumpulla lämmönjakojärjestelmässä. Lämmönjakojärjestelmänä käytetään yleensä vesikiertoista lattia- tai patterilämmitysverkostoa. Kattilan ja lämmönjakojärjestelmän välille kannattaa laittaa varaaja, johon kattilan kehittämä lämpö voidaan varastoida. Varaaja parantaa kattilan hyötysuhdetta ja avustaa myös tehokkaampaan palamiseen. Varaajan avulla päästään siihen, että yksi lämmityskerta päivässä riittää koko vuorokaudeksi kovillakin pakkasilla. Kunnollisen puukattilan hyötysuhde on yli 80 %. (Motiva Oy 2015a.)

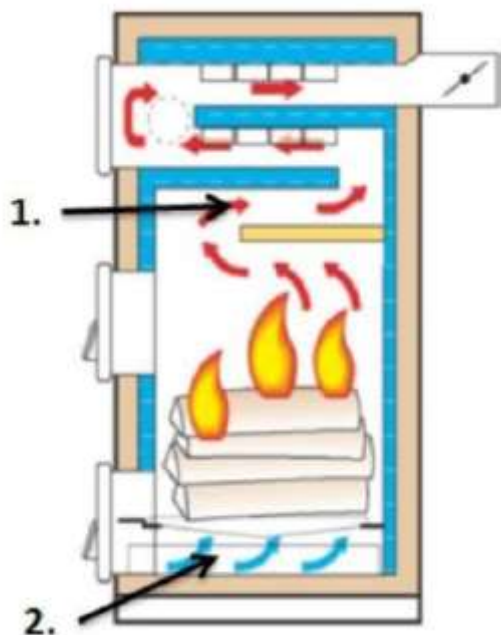
Varaajasäiliön koko määrittää, kuinka usein lämmitetään, ja kattilan teho, kuinka kauan varaajan lämmittäminen vie aikaa (Stenvik 2015, 17). Puukattilaa suunniteltaessa tulee miettiä myös halkojen tai pilkkeiden saatavuus ja varastointi. Omakotitalon vuoden tarpeisiin riittää 20 pinokuutiometriä halkoja, mutta maatilan lämmitykseen kuluu todennäköisesti enemmän.

3.1.1 Puukattilatyypit

Puukattilat jaetaan ala-, ylä- ja käänteispalokattiloihin. Niiden puupolttoaine on sama, mutta palamisprosessissa on eroja. Yläpalokattila on eniten työtä vaativa, sillä siihen lisätään pieniä määriä polttopuita säännöllisesti lyhyin väliajoin. Suositeltavaa on lisätä uusia puita panoksena vasta hiilloksen päälle, koska luukun avaaminen kesken palamisprosessin viilentää savukaasuja ja heikentää palamista. Yläpalokattilassa ei ole polttoaineen varastopesää. (Motiva Oy 2014e.)

Yläpalokattilassa palaminen tapahtuu halkokasan päällä (kuva 1). Päällimmäiset puut kasassa palavat sekundääri-ilman avulla, kun hiillos saa arinan alta primääri-ilmaa palamiseen, ja samalla alimmaisat puut kuivuvat ja kaasuuntuvat. Alim-

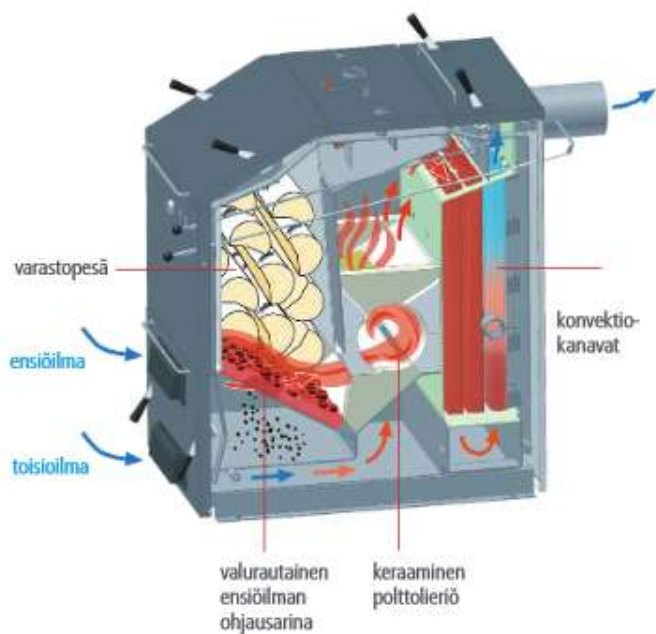
pien puiden kaasu kulkeutuu liekkiin ja syttyy palamaan. (Motiva Oy 2014e; Kiviluoma 2015, 4.)



Kuva 1. Yläpalokattila (Aaltoarina)

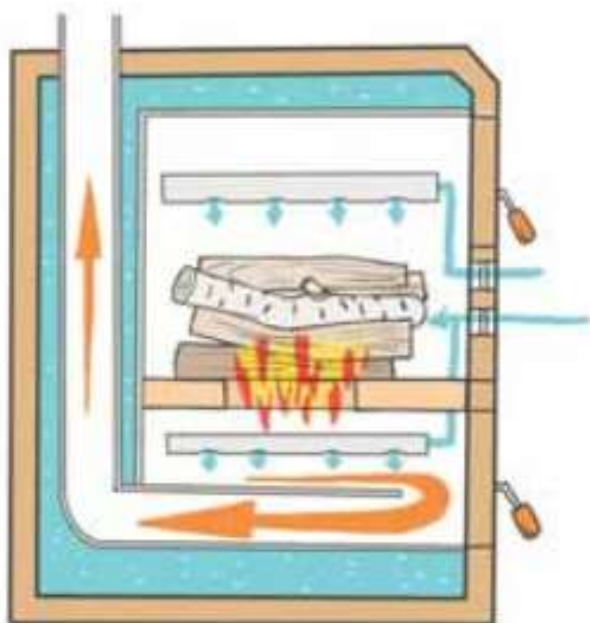
Kuvassa 1 on osoitettu numerolla 1 savukaasujen reittiä ja numerolla 2 tarkoitetaan kattilaan tulevaa paloilmaa arinan alta. Yläpalokattila on kooltaan ala- ja käänteispalokattiloita pienempi, mutta häviää näille puhtaassa palamisprosessissa (Motiva Oy 2015a).

Alapalokattilassa puun palaminen on tasaisempaa, puhtaampaa ja puun lisäysväli on pidempi kuin yläpalokattilalla. Alapalokattilassa palaminen tapahtuu puukasan alaosassa (Kuva 2). Polttoaine on säiliössä, jonka pohjan muodostaa arina. Polttoainekasan pohjalle muodostuu hiillos, jonka kekäleet palavat loppuun arinan läpi tulevan ilman avulla. Polttoilmaa kattilaan tulee arinan alta ja sekundäärisuuttimista. Polttoainesäiliössä olevien puiden pyrolyysikaasut joutuvat kulkemaan palotilan läpi, jolloin ne palavat luovuttaen lämpöenergiaa. (Motiva Oy 2014a.)



Kuva 2. Alapalokattila (Ariterm Oy)

Käänteispalokattila on kuin paranneltu alapalokattila. Palamisprosessia voidaan hallita paremmin ja palaminen on puhdasta ja tehokasta. Palaminen tapahtuu puukasan alaosassa. Puu kaasuuntuu, liekit menevät alas arinan alle, jossa on tilaa pyrolyysikaasujen poltolle sekundääri-ilmalla (kuva 3). (Motiva Oy 2014b.)



Kuva 3. Käänteispalokattilan toiminta (Motiva Oy 2014b)

Polttoaine palaa tehokkaasti ja puhtaasti käänteispalokattilassa. Arinan alla on tuhkatila, johon tuhka ja palamaton aines tippuvat. Tuhkatilan päällä tapahtuva kaasujen poltto varmistaa hiilen palamisen tuhkasta loppuun. Kattilassa voi olla yli 800 °C-astetta, mikä vaatii kattilan materiaaleilta paljon. Maissa, joissa on tiukat rajoitukset puupolttoainekattiloille, käänteispalokattiloiden menekki on suuri. Käänteispalokattilassa on usein lisävarusteena savukaasuimuri, joka parantaa hormin toimivuutta. (Motiva Oy 2014b.)

3.1.2 Huolto

Puukattilan huoltotoimenpiteisiin kuuluvat tuhkan poisto, kattilan puhdistus ja piipun nuohous. Piipun nuohous suoritetaan kerran vuodessa ja kattilan puhdistus kerran kuukaudessa. Kattilan puhdistusväli riippuu myös kattilan käytöstä, mutta se kannattaa tehdä ainakin kerran kuussa, koska se parantaa kattilan hyötysuhdetta. Tuhkat tulee poistaa tarpeen mukaan riippuen käytöstä, niin ettei tuhka saa koskea arinaan tai arina ylikuumentuu.

3.1.3 Vahvuudet ja heikkoudet

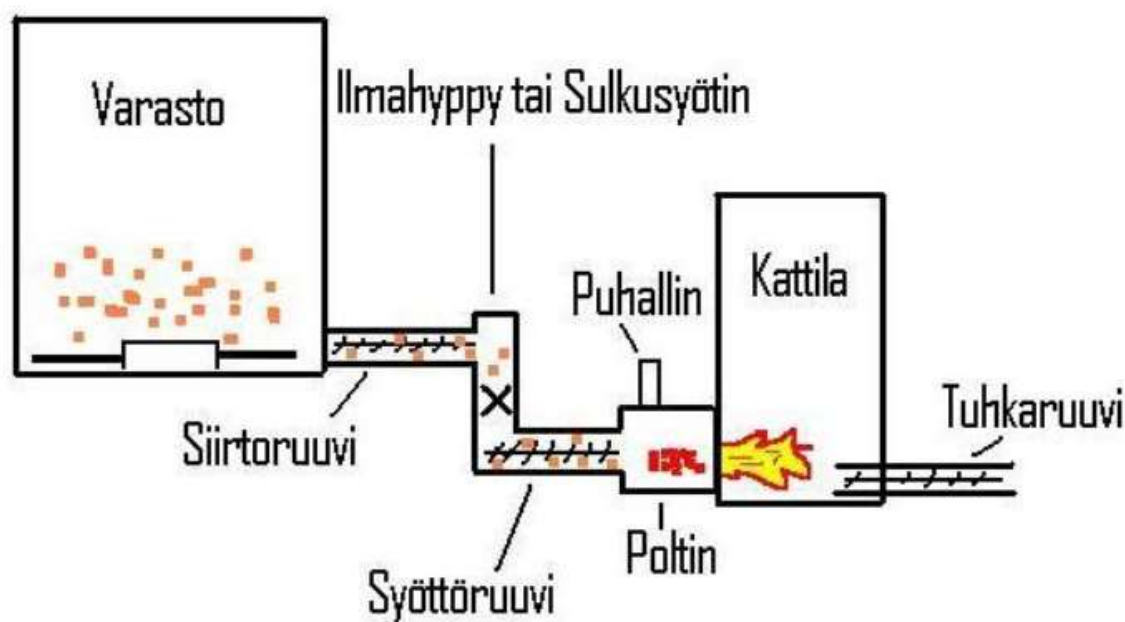
Puulämmitys edustaa uusiutuvaa polttoainetta, joka on ympäristöystävällistä ja kotimaista. Kohdemaatilalla on omaa metsää ja polttopuunteko kalustoa. Polttopuun hinta on myös halpa ostettuna, noin 30 €/i-m³, mikä tarkoittaa noin 37 €/MWh kun polttopuun kosteus on alle 25 % (Halkoliiteri.fi 2016). Polttopuu vaatii noin vuoden kuivatuksen, jotta sen kosteus laskee tuoreen puun kosteudesta 40 – 50 %:sta poltettavan puun kosteuteen 20 %:iin (Suomen metsäkeskus 2012). Polttopuun varastointiin tarvitaan myös reilusti tilaa.

Puukattilan heikkoutena on se, että jonkun pitää olla lisäämässä sinne puita paikalle päällä, mutta kerta lämmitys voi riittää kovillakin pakkasilla koko vuorokaudeksi riippuen energiavaraajan suuruudesta. Kattilan puhdistus vaatii myös oman työnsä eli puukattila ei ole huoltovapaa, vaan vaatii omistajaltaan jatkuvaa työpästä. Yli 30 kW:n puukattila vaatii erillisen palamattomasta materiaalista teh-

dyn kattilahuoneen, jossa korvausilmakanava on 1,5 kertaa suurempi kuin savupiipun poikkipinta-ala. (Turvatekniikan keskus 2009, 9 - 10.)

3.2 Hakekattila

Metsähake on yleensä niin sanotusta tähdepuusta koneellisesti hakettua puuta. Hakejärjestelmät ovat automatisoituja, eivätkä ne vaadi omistajaltaan samanlaisia omistautumista kuin puulämmitysjärjestelmät. Kun hakekattilaveden lämpötila laskee, syöttöruuvi alkaa syöttää haketta varastosta kattilaan (kuva 4). Polttimen palopään palamisilmapuhallin säätelee palamisilman määrän. Yleensä hakekattiloissa ei ole sytytysjärjestelmiä, joten hillosta pidetään yllä koko ajan.



Kuva 4. Hakejärjestelmä (Pietikäinen & Ruuskanen 2008)

3.2.1 Hakekattilatyypit

Haketta voidaan polttaa alapalo- ja stokeripolttimella. Stokeripoltinlaitteistoon kuuluu varastosäiliö, ruuvisiirrin ja poltin. Stokeri tarkoittaa ruuvisyötteistä. Haketta syötetään stokerin palopäähän, jossa se palaa tehokkaasti. Stokeripolttimen periaate on kuin yläpalokattilassa, mutta tasaisella polttoaineen syötöllä alhaalta

päin saadaan yläpalokattilan ongelmat korjattua. Stokerin etuina on hyvä säädettävyys ja polttoainevalikoima. Stokeripolttimella voidaan polttaa tarvittaessa turvetta, pellettiä, haketta ja viljaa. (Kiviluoma 2015, 5 – 6; Suomen metsäkeskus 2015; Motiva Oy 2015a.)

Stokeripoltinratkaisujen kehittyminen on syrjäyttänyt hakkeenpoltossa etupesä-ratkaisut lähes kokonaan. Etupesä-ratkaisussa hake kaasutetaan arinalla vähähappisissa olosuhteissa. Epätäydellisen palamisen palokaasut johdetaan tulikanavaa pitkin kattilaan. Tulikanavaan syötetään sekundääri-ilmaa, jolloin palokaasut syttyvät, mutta varsinainen palaminen tapahtuu vasta kattilassa. Etupesän etuna on kyky polttaa kosteampaakin haketta. Hake syötetään etupesään syöttöruuvien avulla ja palamisilma erillisellä puhaltimella. (Kiviluoma 2015, 5 - 6; Motiva Oy 2015a.)

3.2.2 Huolto

Kuten puukattila hakekattila tarvitsee myös säännöllistä tuhkan poistoa, kattilan puhdistusta ja savupiipun nuohousta. Yhdestä irtokuutiometristä haketta syntyy tuhkaa noin viisi litraa. Savupiipun nuohous tapahtuu kerran vuodessa. Silmä-määräistä tutkimusta kannattaa tehdä säännöllisesti, jotta mahdollisilta vahingoilta säästyttäisiin. Hakelaitteistossa on myös paljon automatiikan varassa olevia varolaitteita, joiden kunnosta kannattaa pitää huolta. Monet laitteiden valmistajat myyvät myös huoltopalveluita. (Turvatekniikan keskus 2009, 15 – 16.)

3.2.3 Heikkoudet ja vahvuudet

Hakejärjestelmä vaatii monia investointeja. Tarvitaan muun muassa hakesiilo, kattilahuone ja savupiippu. Hake vaatii paljon säilytystilaa, ja usein hakevarastoon liitetään myös hakekuivuri, joka parantaa hakkeen laatua, mutta kuluttaa myös energiaa. Puuhake on edullista, ja se hyödyntää usein muuten hukkaan meneviä puun osia, kuten oksia, kantoja ja kuorta, mutta sen laatu vaihtelee suu-

resti. Hakekattilassa on suuri vesitilavuus, joten erillistä vesivaraajaa ei tarvitse välttämättä hankkia.

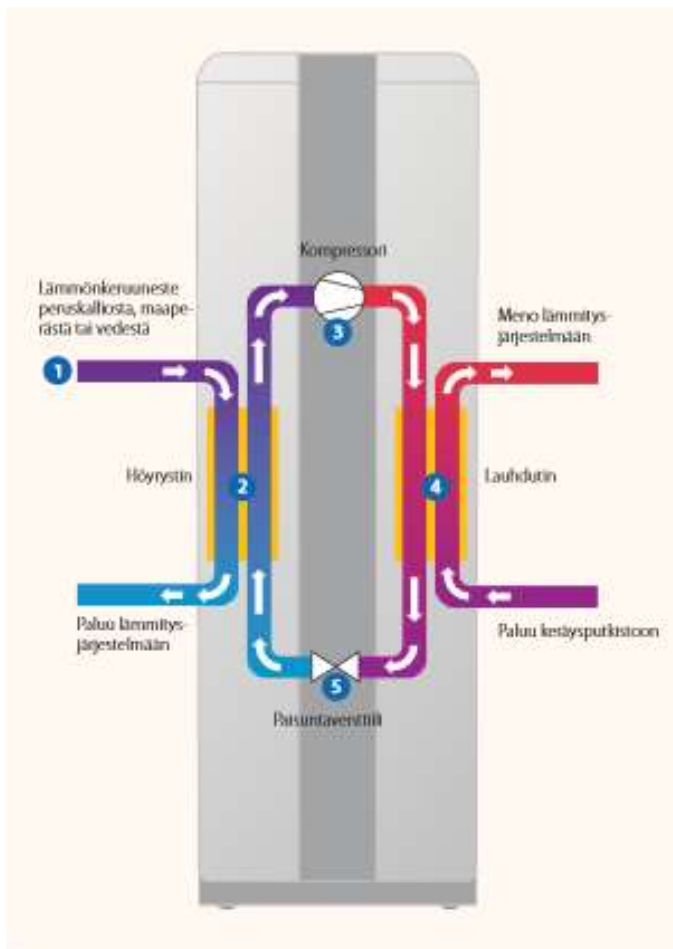
Stokeripoltinjärjestelmä voi hyödyntää useampaa polttoainetta ja on varmatoiminen. Se kuitenkin tarvitsee kosteudeltaan alle 30 %:sta pienipalaista ja tasalaa- tuista haketta. Etupesäratkaisu voi polttaa kosteampaa ja epätasalaatuisempaa- kin haketta. Jos hakkeen suhteen halutaan olla omavaraisia, se vaatii urakoitsijaa käymään hakettamassa tai oman hakkurin investointia. (Suomen metsäkeskus 2016.)

Hakelämmityskattilan, jonka teho on yli 30 kW, tulee olla palamattomasta materi- aalista tehdyssä kattilahuoneessa, jossa korvausilmakanava on 1,5 kertaa suu- rempi kuin savupiipun poikkipinta-ala. Hakevarastolle ei ole suuria vaatimuksia. Välttämättömiä varastossa ovat vain katto ja betonilattia. Käyttötarkoitukseen sopii muun muassa vanha rehusiilo. (Suomen metsäkeskus 2016.)

3.3 Maalämpö

Maalämpöjärjestelmässä hyödynnetään maaperän lämpöä. Aurinko lämmittää maaperää kesäisin ja talvisin maa on lumen eristämänä, jolloin lämpötila pysyy routarajan alla muutaman asteen lämpimän puolella. Maalämpöjärjestelmä voi- daan toteuttaa kaivamalla putkistot maahan noin metrin syvyyteen tai poraamalla peruskallioon noin 150–200 metriä syvä porakaivon. Lämmönkeruupiiri voidaan toteuttaa myös vesistön pohjaan ankkuroimalla se vähintään kahden metrin sy- vyyteen. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 8-10.)

Kuvassa 5 on merkitty numerolla 1 lämmönkeruupiirissä kiertävä jäätymätön nes- te, joka kuljettaa lämmön lämmitettävään rakennukseen höyrystimelle, joka on kuvassa numerolla 2. Höyrystin siirtää lämmön kylmäainekierto. Kompressoril- la, kuvassa kohdassa 3, lämpötila nostetaan haluttuun tasoon paineen avulla. Maalämmön kompressorilla lämmitysvesi saadaan 50–65 °C-asteeseen. Koh- dassa 4 kylmäainekierrosta lämpö varastoidaan vesivaraajaan lauhduttimen avul- la ja jaetaan vesikiertoiseen lämmönjakoputkistoon.



Kuva 5. Lämpöpumpun toiminta (Danfoss 2013, 7)

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa täysi- tai osateholle. Täysitehoille mitoitettu maalämpöpumppu tuottaa lämpöä 90–99 % energiantarpeesta eli myös silloin, kun energiantarve on suurin. Osatehoille mitoitettulla maalämmöllä tuotetaan noin 60–80 % energiantarpeesta ja huipputehontarve tuotetaan päälämmitysjärjestelmällä, kuten sähköllä. (Motiva Oy 2014c.)

Lämpöpumpun käyttö tapahtuu sähköllä, mutta se kuluttaa sähköä paljon pienemmän osan kuin suora sähkölämmitys. Maalämpöön siirtyminen on nykyään luvanvaraista toimintaa. Maalämpöön tarvitaan toimenpidelupa paikallisesta rakennusvalvonnasta. Toimenpidelupien ehdot vaihtelevat kunnittain ja luvan haussa kuluu usein 1 - 4 viikkoa.

3.3.1 Vahvuudet ja heikkoudet

Kohdemaatilalla olisi maalämmölle maaperään kaivettavaksi keruupiiriksi runsaasti maa-aluetta. Omakotitalon takana sijaitsee myös kallio, joka sopisi porakaivolle. Voidakseen hyödyntää maalämpöä tilalle tulisi hankkia vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä. Vesiputkisto voitaisiin toteuttaa lattialämmityksenä, patterilämmityksenä tai asentamalla karsinoiden seinälle vesiputki, joka johtaisi lämpöä eläintilaan. Tilalle jouduttaisiin hankkimaan myös suuremmat vesivaraajat.

Omakotitalon vesikiertoiseen lattialämmitykseen ei olisi ongelmia yhdistää maalämpöä, tosin tällä hetkellä ahkeran puunpolton vuoksi lämmölle ei ole tarvetta asuinrakennuksessa. Tilan lämmöntarve on ulkolämpötilariippuvainen eli välillä kovilla pakkasilla lämmöntarve on suuri. Lämpötilan noustessa yli -5 °C-asteen lämmityksen tarve lakkaa vasikkakasvattamoissa, koska vasikat tuottavat itse lämpönsä. Vahvuutena maalämmöllä on, että kesäaikaan järjestelmää voidaan käyttää myös jäähdyttämään eläintiloja. Tarvetta jäähdytykselle ei ole tilalla vielä ollut, sillä tuuletusta ja ilmanvaihtoa tehostamalla on eläintilat saatu pysymään viileinä.

3.3.2 Huolto

Maalämpöjärjestelmä on melko huoltovapaa. Satunnainen seuranta ja lämmönkeruupiirin roskasuodattimen puhdistus kerran vuodessa riittävät. Lämmönkeruunesteen paisunta-astian painetta tulee seurata. Paineen suositus on 1-1,5 baaria ja painetta tulee nostaa noin kerran vuodessa. (Motiva Oy 2014c.) Kompressorin käyttöikä on noin 15–20 vuotta (Kinnunen 2012).

3.4 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu ottaa ilmanvaihdon poistoilmasta talteen lämpöä, jonka se luovuttaa tuloilman lämmitykseen, lämpimään käyttöveteen tai lämmitysjärjestelmälle. Pumppu tarvitsee jatkuvaa ilmavirtaa toimiakseen ja vie sähköä. Ilmasta

otettu lämpö höyrystää lämpöpumpun verkostossa kiertävän kylmäaineen. Kylmäaineen höyrystyessä siihen sitoutuu lämpöä, ja kompressori puristaa ilmaa, jolloin kylmäaineen paine ja lämpötila nousevat. Tämä kuuma höyry johdetaan lauhduttimeen, jossa huoneilma tai vesi jäähdyyttää höyryä, joka muuttuu takaisin nesteeksi ja luovuttaa lämpöä lämmönjakojärjestelmälle. Kylmäaine kulkee vielä paineenalennusventtiilin kautta, ennen kuin kiertää jälleen höyrystimelle. (Motiva Oy 2013b.)

3.4.1 Vahvuudet ja heikkoudet

Vasikkakasvattamon ilmanvaihtomäärät ovat suuret, eikä ilmanvaihtokoneissa ole lämmöntalteenottoa. Poistoilmalämpöpumpulla voitaisiin vasikoiden tuottama ylijäämälämpö käyttää hyödyksi ja vähentää ilmanvaihdon lämpöhäviötä. Poistoilmalämpöpumppu korvaa ilmanvaihtokoneen, joten uudiskohteeseen tämä olisi kustannustehokas vaihtoehto.

Pelkona on, että poistoilmalämpöpumpun suodattimet tukkeutuvat pölystä ja kaasut syövyttävät lämmöntalteenottolaitteiston. Talteenottokennon tulisi kestää ammoniakkaa, joten kuparinen taikka alumiininen kenno ei käy syöpymisen takia. Kennon materiaalina tulisi käyttää ammoniakkaa kestävästä materiaalista, esimerkiksi ruostumatonta terästä ja lisäsuodattimia lisäämällä saataisiin laitteiston pölyntymistä estettyä navettaolosuhteissa. Poistoilmalämpöpumppuja ei tiedettävästi ole käytetty navetoissa, mutta niillä saataisiin varmasti energiansäästöä aikaan, mikäli ne toimisivat.

3.4.2 Huolto

Poistoilmalämpöpumpun suodattimet on vaihdettava vähintään kerran vuodessa. Vasikkakasvattamossa kuivikkeena käytettävä turve lähtee helposti poistettavan ilman mukaan ja pöly tarttuu suodattimiin, joten suodattimien puhdistus tapahtuisi varmasti useita kertoja ja suodattimia tulisi vaihtaa usein.

4 Lämmityssuunnitelman tarkoitus ja tavoite

4.1 Tarkoitus ja tavoite

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella toimintavarma ja kustannustehokas lämmitysjärjestelmä kohdemaatilalle. Lämmitysjärjestelmällä haetaan kannattavuutta ja kilpailukykyä. Tilan kasvaessa ja muuttuessa lypsykarjatilasta vasikkakasvattamoksi, on energian tarve lisääntynyt. Koska kokonaisenergiankulutus ei kerro lämmityksen ja käytösähkön osuuksia, määritetään maatilan suurimmat energiankulutuksen kohteet laskemalla. Kulutuskohteiden mukaan etsitään sopivia energiaratkaisuja tilalle ja tarkastellaan niiden kannattavuutta.

Opinnäytetyössä pohditaan myös uusiutuvien energioiden vaihtoehtojen mielekkyyttä ja niiden vaikutusta maatilan kannattavuuteen. Selvitystyö toimii esimerkkinä myös muille maataloille, jotka pohtivat kannattavuutta ja energiansäästöä tilalleen.

Vasikkakasvattamoiden energian kulutus poikkeaa muista maataloista. Esimerkiksi lypsykarjanavetoissa lehmät tuottavat tarvitsemansa lämmön itse, kun taas broileritiloilla valon ja lämmön tarve on suuri. Pienet vasikat tarvitsevat vähintään +12 °C-asteen lämpötilan (Maa- ja metsätalousministeriön... 100/2001, liite 10: MMM-RMO C2.2, Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilma-asto). Se tarkoittaa, että pidettäessä riittävää ilmanvaihtoa yllä, pienet vasikat tarvitsevat pakkasilla lisälämmitystä. Eläinsuojien lämpötiloille, ilman kosteudelle, ilman virtausnopeuksille, kaasupitoisuuksille ja valaistukselle on annettu suositukset, joiden mukaan laskelmat toteutetaan.

4.2 Aiheen rajaus

Lämmityssuunnitelma tehdään tapauskohtaisesti yhdelle pohjoiskarjalaiselle vasikoiden välikasvattamolle. Suunnitelma rajataan koskemaan maatilan tuotanto-

rakennuksia eli kahta vasikkakasvattamoa. Kulutus on suurinta talvikaudella lämmöntarpeen vuoksi, joten suunnitelma keskittyy lämmöntuotantoratkaisuihin, jotka toimivat talvella.

Nämä kriteerit pois sulkevat esimerkiksi aurinkokeräimet, joiden lämmöntuotanto talvikaudella ei riittäisi alkuunkaan vastaamaan tilan lämmöntarpeeseen. Tuuli-voimalat myös jäätyvät talvisin. Poistoilmalämpöpumppujen pelätään syöpyvän kasvattamon syövyttävien kaasujen muun muassa ammoniakkin johdosta, vaikka kosteasta ilmasta saisi varmasti hyvin energiaa talteen.

Kannattavuuslaskelmissa käytetään takaisinmaksuaikaa, joka on hyvin havainnollinen ja yksinkertainen luku. Korkoa ei kannattavuuslaskelmiin oteta huomioon, vaan yritetään rajata työ tilan kulutuksen laskentaan, soveltuviin energia-vaihtoehtoihin ja niiden kustannuksiin.

4.3 Tutkimustehtävät

Ensimmäiseksi lämmityssuunnitelmassa on pohdittu lämmitysvaihtoehtoja. Tietoa lämmitysvaihtoehtoista on etsitty tutkimusraporteista, opinnäytetöistä, energiaselvityksistä ja monista lehtiartikkeleista. Tiedon hankinnan lisäksi on ideoitu erilaisia toteutustapoja kohteeseen, ja vertailtu lämmitysratkaisujen hyviä ja huonoja puolia. Tiedonkeruussa ja ideoinnissa on tullut vastaan vakavasti otettavia lämmitysvaihtoehtoja, perinteisiä ratkaisuja sekä ideoita ja tekniikoita, joita ei ole vielä tutkittu navettaolosuhteissa.

Maatilan kokonaisenergiankulutusta on lähdetty purkamaan osiin selvittämällä tilan kulutuskohteet laskemalla, koska mittaustietoa tai mittauslaitteistoja ei ollut käytettävissä. Laskennassa apuna olivat Suomen rakennusmääräyskokoelma ja Maa- ja Metsätalousministeriön rakennusmääräykset ja ohjeet liite 10. Rakennuskohtaisesti selvitettiin lämmöntarve ja lämpölämpöviöiden sekä lämpimän käyttöveden osuudet.

Laskelmissa keskityttiin vain ja ainoastaan lämmöntarpeeseen, koska sähkönkulutuksen laskeminen rakennus- tai laitekohtaisesti todettiin tekevän tutkimuksesta liian laajan, ja tuovan vähäisen hyödyn selvitystyöhön nähden. Osa laitteiden käyttämästä energiasta tulee lämmöksi vasikkatiloihin. Myöskään maataloustraktorien, autojen tai rehunleikkurin kulutusta ei alettu tutkimaan, vaan keskityttiin ainoastaan lämpöön, koska sen todettiin olevan suurin osa sähkönkulutusta, mikä on hyvin ominaista vasikkakasvattamoille.

Laskelmien jälkeen tuli valita ne lämmönlähteet, joita tilalle haluttiin suunnitella. Kriteereinä valinnassa olivat hinta, kannattavuus, riittävä lämmöntuotto ja mahdollisuus käyttää omaa metsää energialähteenä. Energiavaihtoehdot valittiin ja mitoitettiin, jonka mukaan tehtiin kustannusarvio. Kustannuksista vähennetään arvonlisävero, koska maatilat saavat käytettyä sen verovähennykseen. Lisäksi maatilat saavat tukea 35 % uusiutuvien energioiden investointeihin, mikä on otettu huomioon kustannuksissa. Kustannusarviosta ja energialähteen säästöstä sähkön hintaan nähden on laskettu takaisinmaksuaika.

4.4 Aiemmat tutkimukset

Lämmitys- ja energiasuunnitelmia on tehty monelle maatilalle. Valitettavasti mikään tutkimuksista ei ole suoraan verrattavissa toiselle tilalle, koska eri tuotantotiloissa on niin paljon eroavaisuuksia. Tutkimukset tehdään tapauskohtaisesti kunkin tilan energian kulutuksen ja tehontarpeen mukaan.

Harri Pesonen (2012) on opinnäytetyössään tutkinut maatalojen energiasuunnitelmien toteutumista, ja suunnitelmista saatuja kokemuksia Pohjois-Karjalassa. Vuonna 2012 suoritettu kyselytutkimus kohdistuu 22 tilalle, joille oli tehty energiasuunnitelma. Tutkimus osoitti, että suunnitelmien toimenpiteitä oli suoritettu melko hyvin, ja niistä oli pääosin ollut hyötyä tiloille.

Pöyry on tehnyt vuonna 2011 broileritila Oittisen tila Oy:lle energiakatselmuksen, joka löytyy Internetistä (Peltomäki 2011). Maatilan energiasuunnitelma kuuluu Neuvo 2020- järjestelmän palveluihin ja sen voi teettää hyväksytyllä ener-

gianeuvojalla. Maatilan energiasuunnitelmasta viljelijä maksaa vain arvonlisäveron.

Paula Penttilä on selvittänyt opinnäytetyössään vuonna 2013 maatilojen kiinnostusta uusiutuviin energialähteisiin Juuan ja Kontiolahden alueilla. Työstä käy ilmi, että hake, tuulivoima ja aurinkoenergia kiinnostavat maataloja eniten. Vastaajista 23 % on ilmoittanut olevansa kiinnostunut lämpörittäjäydestä tai -osakkuudesta.

Jussi Kinnunen Suomen Metsäkeskukselta on selvittänyt myös Biomashankkeessa Lieksan, Valtimon, Nurmeksen, Tohmajärven ja Kontiolahden maatilojen nykyisiä lämmitysjärjestelmiä ja kiinnostusta muihin lämmitysjärjestelmiin. Tulokset näkyvät liitteissä 1 ja 2. Tuloksista havaitaan, että monella maatilalla on käytössä sähkö- tai puukeskuslämmitys. Eniten kiinnostusta herättäviksi energiavaihtoehtoiksi nousivat maalämpö, hakekeskus, puukeskus ja pelletti.

5 Maatilan lämmönkulutuslaskelmat

Lämmitysenergiaa kuluu sekä tilojen lämmitykseen, että lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Lämpöenergian kulutuksessa tulee myös ottaa huomioon lämpöhäviö. Lämpöhäviö koostuu kolmesta tekijästä: ilmanvaihdosta, rakenteiden läpi lämmön siirtymisestä ja vuotoilmasta. (Ympäristöministeriö 2012a, 4 & 12.) Vuotoilma tarkoittaa lämmön virtaamista pois tilasta, mitä rakenteiden tiiviys hidastaa (Linnavuori 2011, 9). Kaikkien rakenteiden läpi tapahtuu johtumislämpöhäviötä ja ilmanvaihto siirtää ilman mukana lämpöä sisätiloista ulkoilmaan.

Johtumislämpöhäviö ja ilmanvaihdon lämpöhäviö ovat otettu huomioon laskettaessa kohteen lämmitysenergian kulutusta. Vuotoilmalämpöhäviötä eli ilmanpitävyyttä rakennuksessa ei ole otettu laskelmiin, sillä sen on todettu olevan hyvin pieni osa kokonaislämpöhäviön muodostumista. Suunniteltaessa lämpökeskusta tilalle, tulee myös lämpökanaalin lämpöhäviö ottaa laskelmiin.

5.1 Lämpöhäviö

Rakennuksen vaipan lämpöhäviön laskennassa on käytetty ympäristöministeriön laatimaa Suomen Rakennusmääräyskokoelman D3 Rakennusten energiatehokkuus (2012a, 12) kaavaa:

$$(1.)$$

$$\sum H_{\text{joht}} = \sum (U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \sum (U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}}) + \sum (U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}}) + \sum (U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) + \sum (U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}})$$

Eli kerrotaan kunkin kohteen lämmönläpäisykerroin eli U-arvo yksikössä $W/m^2/K$ kohteen pinta-alalla, m^2 . U-arvot lasketaan oville, seinille, ikkunoille, alapohjalle ja yläpohjalle erikseen. Taulukossa 1 on esitetty laskelmissa käytetyt U-arvot. Uuden kasvattamon vaipan lämpöhäviö on yhteensä 310 W/K, vanhalla kasvatamolla 160 W/K ja omakotitalossa 150 W/K. Kertomalla vaipan lämpöhäviö ($\sum H_{\text{joht}}$) seinän sisä- ja ulkopuolella olevalla lämpötilaerolla saadaan johtumislämpöhäviö, jonka yksikkö on watti, W.

Taulukko 1. Lämmönläpäisykertoimet (Ympäristöministeriö 2012a, 13)

U-arvo (W/m ² /K)	
Ulkoseinä	0,17
Yläpohja	0,09
Alapohja	0,17
Ikkuna	1
Ovi	1

5.2 Ilmanvaihdon lämpöhäviö

Ilmanvaihdon tarkoitus on pitää yllä sopiva ilmanlaatu. Koneellinen ilmanvaihto perustuu puhaltimella tehtyyn paine-eroon. On olemassa painovoimaista, alipaine-, ylipaine- ja tasapaineilmanvaihtoa. Ilmanvaihdon alipainejärjestelmässä poistetaan ilmaa koneellisesti poistoilma-aukoista, jolloin syntyy alipaine, ja ilma virtaa tuloilma-aukoista eläintilaan. (Maa- ja metsätalousministeriön... 100/2001, liite 10: MMM-RMO C2.2, Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto.)

Ylipaineilmanvaihtoa ei suositella eläinrakennuksille, koska se aiheuttaa kosteusvaurioita. Tasapaineilmanvaihtojärjestelmässä on sekä tulo- että poistoilmapuhaltimet, jolloin mainittavaa yli- tai alipainetta ei synny. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ei ole tulo- eikä poistoilmapuhaltimia, vaan luotetaan ilman siirtyvän tuloilma-aukoista sisään ja poistuvan poistoilma-aukoista. (Maa- ja metsätalousministeriön... 100/2001, liite 10: MMM-RMO C2.2, Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto.)

Ilmanvaihtomäärään liittyy rakennuksen lämpötasapaino, ilmankosteuden ylläpito ja haitallisten kaasujen poisto. Ilmankosteuden tulisi olla eläintilassa 50–85 %. Alhaisempi kosteus aiheuttaa hengitystieongelmia ja korkeampi kosteus taas rakennukselle muun muassa korroosiovaurioita. Eläintiloissa syntyy myös vaarallisia kaasuja, joiden pitoisuudet eivät saa nousta liian korkeiksi. Tällaisia vaarallisia kaasuja ovat muun muassa ammoniakki ja hiilidioksidi. (Maa- ja metsätalousministeriön... 100/2001, liite 10: MMM-RMO C2.2, Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto; 247/1996; 396/1996)

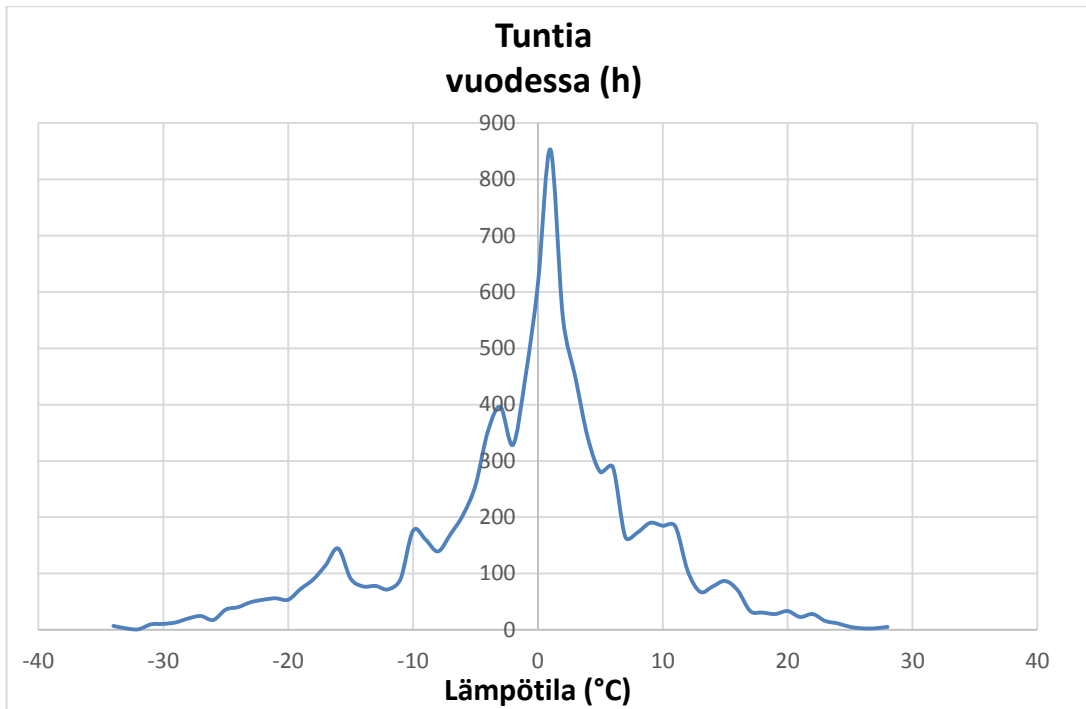
Vasikkakasvattamo kohteessa on käytössä alipaineilmanvaihto. Ilmanvaihdossa ilman mukana siirtyy siihen sitoutunut lämpö, jota ei ilman lämmöntalteenottoa saada talteen. Eläimet ja laitteet lämmittävät eläintilan ilmaa. Tämä lämpöteho tulisi olla yhtä suuri kuin rakennuksen katon, lattian ja seinien läpi johtuva lämpöhäviö ja ilmanvaihdon mukana siirtyvä lämpö, jotta erillistä lämmitystä ei tarvittaisi. Taulukossa 2 on kirjattuna vasikan painon mukaan sen suosituslämpötila °C, lämmönluovutus W/eläin, kosteuden luovutus g/h ja ilmanvaihtomäärä m³/h.

Taulukko 2. Tiedot vasikoista ilmanvaihtoa varten (Maa- ja metsätalousministeriön... 100/2001, liite 10: MMM-RMO C2.2, Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto)

Paino, kg	Ikä, kk	Suosituslämpötila °C	Kosteus max.	Lämpö, W/eläin	Kosteus, g/h	Ilmanvaihto m ³ /h
75	2	12	85 %	100	75	10
150	5	12	85 %	250	150	50

Taulukon 2 tietojen perusteella on laskettu uudella kasvattamolla ilmanvaihdon minimitarpeeksi 1500 m³/h. Ilmanvaihdon tarve on laskettu olettaen, että kasvattamossa on 30 kappaletta 75 kg vasikoita ja 60 kappaletta 150 kg vasikoita. Vanhalla kasvattamolla ilmanvaihdontarve on pienempi 1000 m³/h. Siellä on oletettu olevan 75 kg painoisia vasikoita 20 ja 150 kg painoisia 40 vasikkaa.

Lämmityksentarve on riippuvainen ulkolämpötilasta. Kuviossa 1 on kuvattu, kuinka monta tuntia vuodessa on kutakin lämpötilaa. Kuvaaja osoittaa, että pisimmän aikaa vuodesta on 0-3 °C-astetta. Tiedot ovat Ympäristöministeriön Suomen Rakennusmääräyskokoelman D5 (2007, 67) lämpötilojen esiintymistiheydet säävyöhykkeellä III, Jyväskylästä. Näitä lämpötila- ja tuntitietoja on käytetty tämän opinnäytetyön laskelmien pohjana.



Kuvio 1. Vuoden lämpötilajakauma (Ympäristöministeriö 2007, 67)

5.2.1 Uuden kasvattamon ilmanvaihdon lämpöhäviö

Ilmanvaihdonlämpöhäviötä laskettaessa aluksi selvitetään kasvattamon ilmassa, johtamalla kaava $\rho = m / V$ muotoon:

$$m = \rho \times V \quad (2.)$$

missä:

m = Ilmanvaihdon ilmassa (kg/h)

ρ = Ilman tiheys (kg/m³)

V = Ilmanvaihdon tarve uudessa kasvattamossa (m³/h).

Laskennassa käytetään seuraavia arvoja,

$\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$

$V = 1\,500 \text{ m}^3/\text{h}$

$m = 1,29 \text{ kg/m}^3 \times 1\,500 \text{ m}^3/\text{h}$

$= 1\,940 \text{ kg/h.}$

Kaavalla:

$$Q = c \times m \times \Delta T \quad (3.)$$

saadaan selville ilmanvaihdon hukkalämpö kasvattamoilla.

Q = Lämpöenergian tarve (kJ/h)

c = Ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK)

m = Ilman massa (kg/h)

ΔT = Lämpötilan muutos $T_1 - T_2$, (K).

Laskennassa käytetään seuraavia arvoja:

$c = 1,01$ kJ/kgK

$m = 1\,940$ kg/h

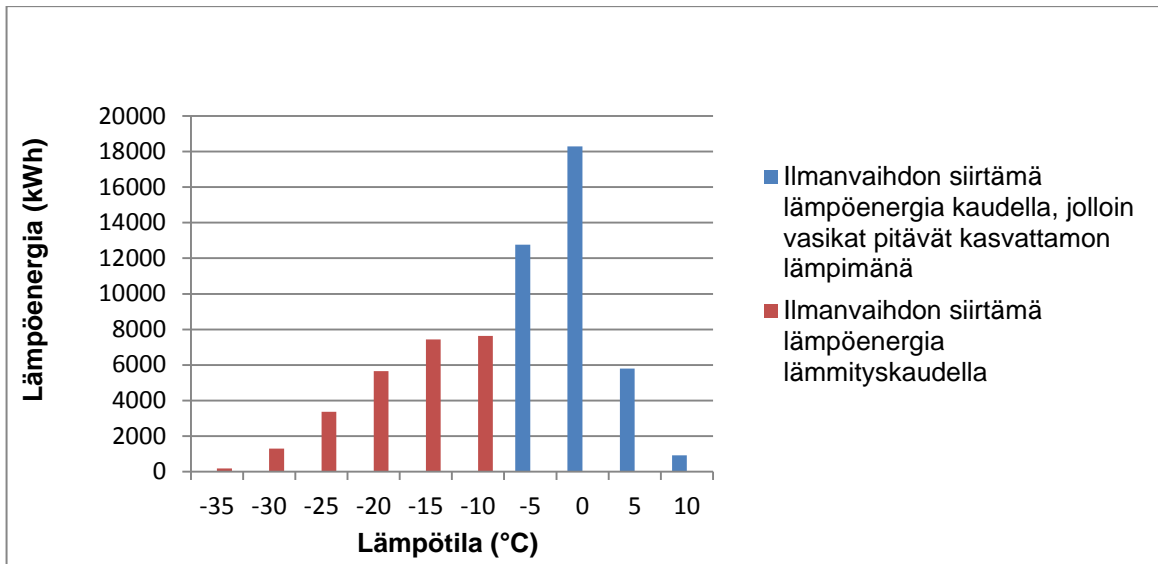
Sijoitetaan arvot kaavaan 3.

$Q = c \times m \times \Delta T$

$Q = 1,01$ kJ/kgK \times $1\,940$ kg/h \times ΔT

$Q = 1\,960$ kJ/(Kh) \times ΔT .

ΔT arvo muuttuu ulkolämpötilan mukaan. T_1 eli sisälämpötila on 12 °C-astetta ja T_2 on ulkolämpötilan arvo. Kuviossa 2 tarkasteltaviksi ulkolämpötiloiksi on otettu -35 - $+25$ °C-astetta, viiden asteen välein otetuin keskiarvoin. Lämpötila- ja tuntitiedot ovat Suomen rakentamismääräyskokoelmasta D5 (2007, 67). Q kertoo lämmön tarpeen yksikössä kJ/h, joka jakamalla 3600 saadaan teho kilowattia, kW. Kun lämpötilakohtainen teho kerrotaan ulkolämpötilakohtaisilla tuntitiedoilla, saadaan lämpöenergian kulutus kWh.



Kuvio 2. Ilmanvaihdon siirtämä lämpöenergia uudessa kasvattamossa

Kuviossa 2 punaiset palkit kuvaavat ilmanvaihdon siirtämää lämpöenergiaa ajalla, jolloin tarvitaan lisälämmitystä, jotta eläintila pysyisi riittävän lämpimänä. Siniset palkit taas kuvaavat ilmanvaihdon siirtämää lämpöenergiaa ajalla, jolloin vasikat tuottavat lämpöenergiaa niin, ettei lisälämmitystä tarvita.

Vasikoiden tuottama lämpö riittää -5 °C -asteeseen, minkä jälkeen ilmanvaihdon lämpöhäviön kattamiseksi tarvitaan lisälämmitystä. Uuden kasvattamon ilmanvaihdon siirtämä lämpöenergia eläintilasta ulkoilmaan on koko vuoden aikana 63 330 kWh. Täten kasvattamon sähkönkulutus ei ole yhtä suuri kuin ilmanvaihdosta aiheutuva kokonaislämpöhäviö, vaan siinä tulee ottaa huomioon vasikoiden tuottama lämpöenergia.

5.2.2 Vanhan kasvattamon ilmanvaihdon lämpöhäviö

Ilmanvaihdonlämpöhäviötä lasketaan vanhalle kasvattamolle samalla tavalla kaavan 2 mukaan. Ilmanvaihdon tarve $1000\text{ m}^3/\text{h}$ on laskettu vanhalle kasvattamolle sivulla 29.

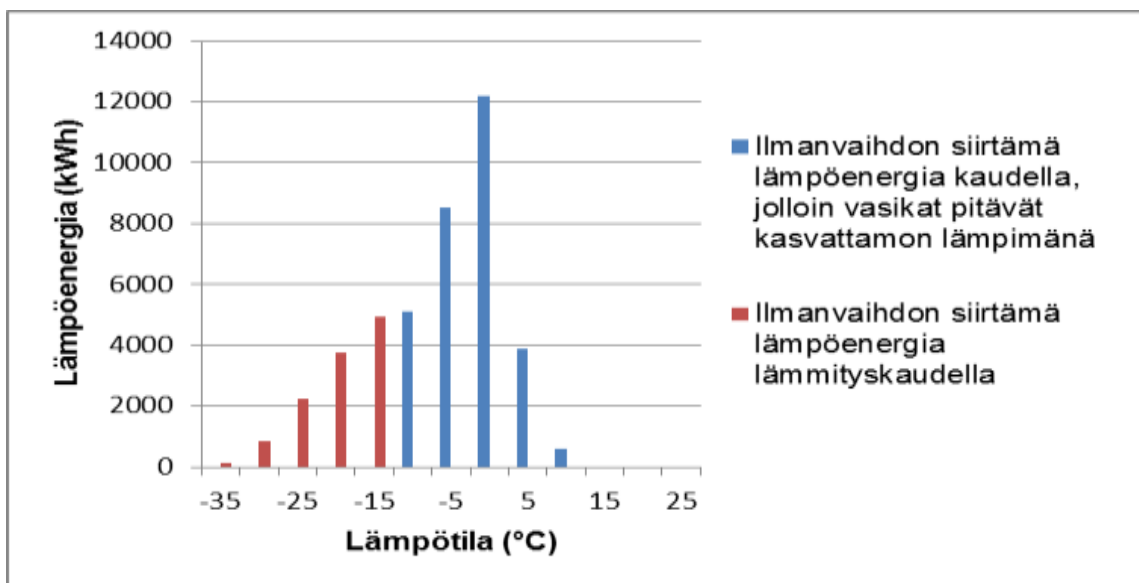
$$\begin{aligned}
 m &= 1,29\text{ kg/m}^3 \times 1\,000\text{ m}^3/\text{h} \\
 &= 1290\text{ kg/h.}
 \end{aligned}
 \tag{2.}$$

Kaavalla 2 ratkaistaan ilmanvaihdon ilmanmassa ja sijoittamalla se kaavaan 3, saadaan selville ilmanvaihdon lämpöhäviö vanhalla kasvattamolla.

$$Q = 1,01 \text{ kJ/kgK} \times 1\,290 \text{ kg/h} \times \Delta T \quad (3.)$$

$$= 1\,306 \text{ kJ/hK} \times \Delta T.$$

Vanhalla kasvattamolla ilmanvaihdon siirtämä lämpöenergia eläintilasta ulkoilmaan on vuodessa 42 220 kWh, josta vähennetään vasikoiden tuottama lämpö. Kuviossa 3 on esitetty punaisilla palkeilla lämmityskauden ilmanvaihdon lämpöhäviö eli lämpöenergia, jonka ilmanvaihto siirtää rakennuksesta ulos ja lämpöä joudutaan tuottamaan, jotta eläintila pysyisi riittävän lämpimänä. Siniset palkit taas kuvaavat ilmanvaihdon siirtämää lämpöenergiaa kaudella, jolloin vasikat kykenevät pitämään eläintilassa sopivan lämpötilan. Vanhan kasvattamon tapauksessa vasikat tuottavat lämmön -10 °C-asteeseen asti. Mentäessä -10 °C-asteen alapuolelle tarvitaan vanhalla kasvattamolla lisälämmitystä.



Kuvio 3. Ilmanvaihdon siirtämä lämpöenergia vanhassa kasvattamossa

5.2.3 Omakotitalon ilmanvaihdon lämpöhäviö

Omakotitalon ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan samalla tavalla kuin kasvattamoilla, mutta käyttämällä energiatodistuksen poistoilmavirran lukua $137 \text{ m}^3/\text{h}$ ja ottamalla huomioon 30 % lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen.

$$m = 1,29 \text{ kg/m}^3 \times 137 \text{ m}^3/\text{h} \quad (2.)$$

$$= 177 \text{ kg/h.}$$

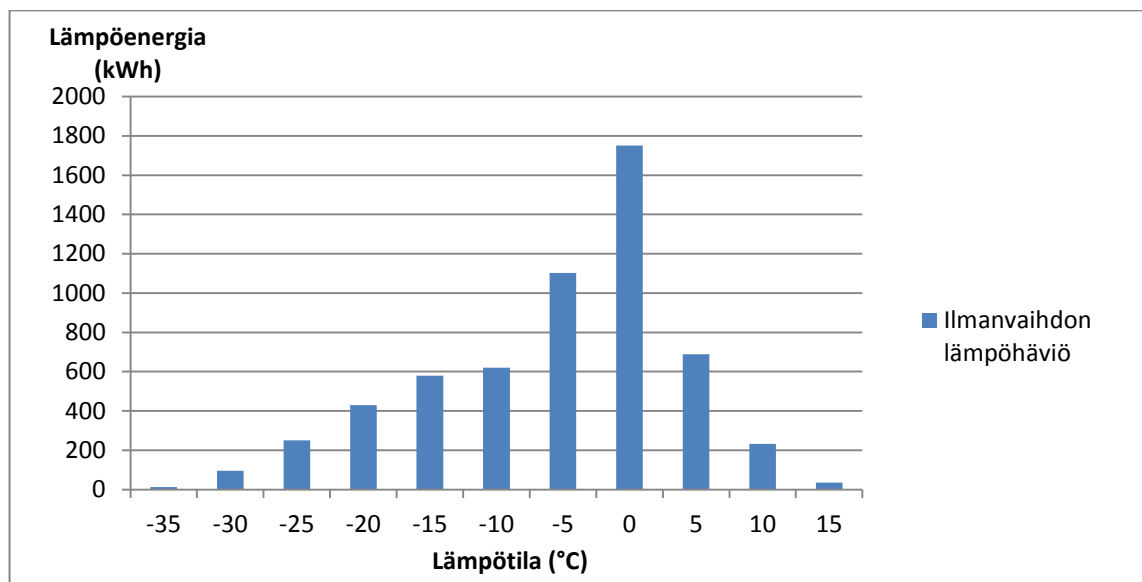
Kaavalla 3 saadaan selville ilmanvaihdon hukkalämpö omakotitalossa.

Sijoitetaan arvot kaavaan 3.

$$Q = 1,01 \text{ kJ/kgK} \times 177 \text{ kg/h} \times \Delta T \times 0,7 \quad (3.)$$

$$= 125 \text{ kJ/Kh} \times \Delta T.$$

Omakotitalossa sisälämpötilana T_1 käytetään $18 \text{ }^\circ\text{C}$ -astetta. Omakotitalon ilmanvaihdon lämpöhäviö on vuodessa $5\,800 \text{ kWh}$. Kuvio 4 osoittaa ilmanvaihdon siirtämän lämpöenergian jakautumista vuodelle tuntitietojen avulla. Suurin ilmanvaihdon lämpöhäviö on $0 \text{ }^\circ\text{C}$ -astetta, mikä johtuu siitä, että vuodessa on eniten $0 \text{ }^\circ\text{C}$ -asteen lämpötilaa (kuvio 1).



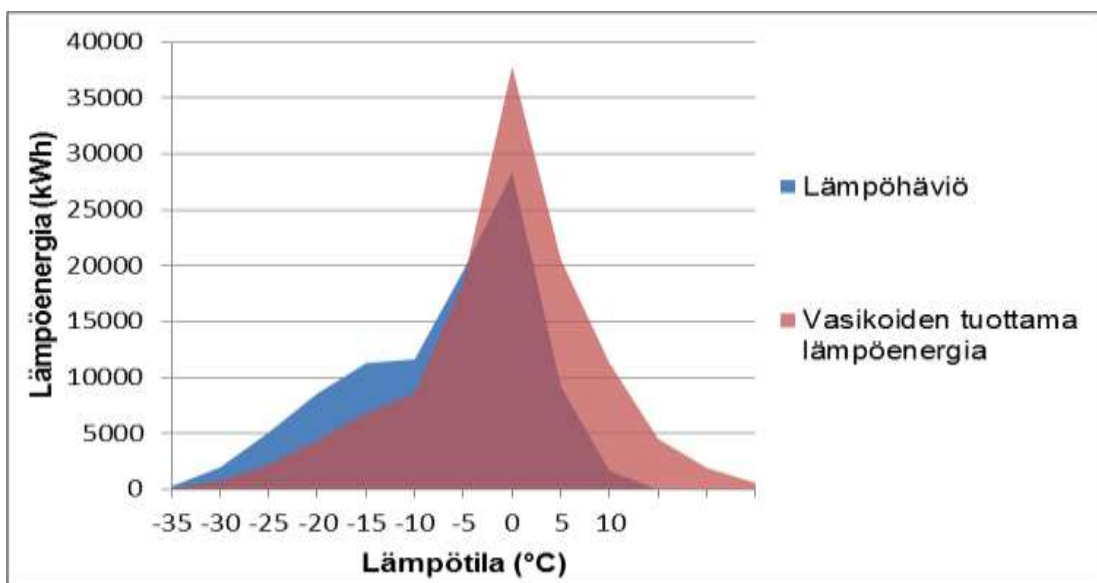
Kuvio 4. Ilmanvaihdon lämpöhäviö omakotitalossa

5.3 Lämmöntarve

Lämmöntarvelaskelmissa on otettu huomioon ilmastoinnin lämpöhäviö, johtumislämpöhäviö ja vasikoiden tuottama lämpö. Pienille vasikoille lämpötilaminimi on $12 \text{ }^\circ\text{C}$ -astetta. Vasikoiden tuottaman lämmön laskemisessa on käytetty taulukossa 2 olevaa ohjearvoa W/eläin vasikoiden lämmöntuotosta.

5.3.1 Lämmöntarve uudessa kasvattamossa

Huipputehontarve uudella kasvattamolla on 25 kW -35 °C-asteen pakkasilla. Lämmitystä tarvitaan, kun ulkolämpötila laskee noin -5 °C-asteeseen. Vasikoiden tuottama lämpöteho on 13,5 kW, joka riittää pitämään kasvattamon lämpötilan yli 12 °C-asteisena ennen -5 °C-astetta. Kuviossa 5 on sinisellä kuvattu ilmanvaihdon ja rakennuksen lämpöhäviöt yhteensä ja punaisella on vasikoiden tuottama lämpöenergia yhden vuoden ajalta. Lämpöenergiatiedot on painotettu vuoden tuntijakaumalla. Sinisen alueen ylittäessä punaisen alueen välillä -35 – -5 °C-astetta, on tilalla selkeä lämmöntarve. Lämmöntarve uudella kasvattamolla on vuodessa 16900 kWh.



Kuvio 5. Uuden kasvattamon lämmitystarve

5.3.2 Lämmöntarve vanhassa kasvattamossa

Huipputehontarve vanhalla kasvattamolla on 15 kW. Lämmitystä tarvitaan lämpötilan laskiessa alle -10 °C-asteen. Vasikat lämmittävät 9 kW lämpöteholla, joka riittää pitämään eläintilat riittävän lämpiminä -10 °C-asteen yläpuolella. Lämmöntarve vanhalla kasvattamolla on vuodessa 8 600 kWh.

5.3.3 Lämmöntarve omakotitalossa

Pistoke Oy:n energialaskurin (2011) mukaan uuden omakotitalon ominaisenergian kulutus on 30–50 kWh/m³. Kun omakotitalon rakennuskuutiot lasketaan ominaisenergiankulutuksen keskiarvolla, saadaan energiankulutukseksi 12 500 kWh.

Omakotitalon energiatodistuksen mukaan lämmitysenergian kulutus on 17 300 kWh vuodessa. Omistajia pyydettiin arvioimaan, paljonko heillä kuluu tällä hetkellä polttopuuta omakotitalon leivinuunissa vuodessa. Omistajien arvio on 12,5 pino kuutiota sekapuuta, mikä tarkoittaa energiana 16 800 kWh (Suomen metsäkeskus 2015). Talon lämmittäminen siis hoidetaan lähes kokonaan leivinuunilla.

Bioenergianeuvojan (2016b) mukaan omakotitalossa tehontarve on 20–30 W/m³. Kun tehontarve omakotitalolle lasketaan tilavuutta ja tehontarvetta käyttäen, saadaan koko talon tehontarpeeksi 7,8 kW.

5.4 Lämpökanaalihäviö

Lämpökanaali on hyvin eristetty putki, joka sijoitetaan lämpökeskuksen ja rakennusten välille maahan upotettuna. Lämpökanaalissa on sekä meno- että paluuvesiputki. Vesi kuljettaa kanaalissa lämpöä lämpökeskukselta rakennuksiin ja rakennuksissa lämmön luovuttanutta jäähtynyttä vettä lämmitettäväksi lämpökeskukselle.

Putken uloin kerros on vedenpitävää ja iskunkestävää materiaalia. Eriste putkessa on polyuretaania, jolla on hyvä eristyskyky. Virtausputket tulevat eristeen sisään. Virtausputkille on omat kriteerinsä, jotta ne kestävät ja ovat pitkäikäisiä. Lämpökanaaleja saa useilta toimittajilta. (Bio-Expert Oy.)

Lämpökanaalin lämpöhäviö voi nousta hyvinkin suureksi, kun sitä vedetään pitkiä matkoja maan alla. Lämpökanaalin lämpöhäviö metrille on 20 wattia (Koskinen 2006, 12). Jos kohdemaatilan kasvattamoiden välille rakennettaisiin lämpökeskus, lämpökanaalia tarvittaisiin noin 50 metriä. Lämmityskausi kestää noin 5 kuu-

kautta vuodessa, josta kertyy noin 3 600 käyttötuntia per vuosi. Tällöin kertomalla saadaan 3 600 kWh lämpökanaalin lämmönhukaksi vuodessa.

5.5 Lämminkäyttövesi

5.5.1 Omakotitalon lämminkäyttövesi

Lämpimän käyttöveden kulutus on noin 40 % kokonaisvedenkulutuksesta. Kun käyttövedenkulutus henkilöä kohti on 155 l/vrk, vuodessa kahdella henkilöllä kokonaisvedenkulutus on 113 m³. Lämmintä käyttövettä kuluu 40 % kokonaisvedenkulutuksesta eli 45 m³ vuodessa. (Motiva Oy 2015b.) Käyttöveden lämmityksen energiamäärä saadaan selville Motiva Oy:n (2015b) kaavalla:

$$Q = \frac{\rho \times c_p \times V \times (t_2 - t_1)}{3600} \quad (4.)$$

Q = lämpimän käyttöveden energian kulutus (kWh/a)

V = käyttöveden määrä (m³/a)

p = veden tiheys (kg/m³)

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

t₂ = lämmitetyn veden lämpötila, käyttövesi (°C)

t₁ = lämmitettävän veden lämpötila, kaivovesi (°C).

Laskennassa käytetään seuraavia arvoja:

p = 1 000 kg/m³

c_p = 4,2 kJ/kg°C

V = 45,2 m³

t₂ = 55 °C

t₁ = 5 °C.

Sijoittamalla luvut kaavaan 4 saadaan lämpimän käyttöveden energiankulutukseksi omakotitalossa noin 2 600 kWh vuodessa.

5.5.2 Vasikkakasvattamoiden lämminkäyttövesi

Noin kaksi vuotta sitten maatilalla käytettiin esilämmitettyä juomavettä vasikoilla. Esilämmitys lopetettiin, eikä siitä huomattu mitään eroa vasikoihin, mutta sen sijaan sähkölaskussa se näkyi kulutuksen vähentymisenä. Kasvattamojen karsinointa pestään paljon, mutta niihin käytettävä vesi kuumennetaan höyrypesurissa, jolloin lämpimän käyttöveden kulutusta ei synny.

Jos käsien ja kumisaappaiden pesuja ei lasketa, ainut lämpimän käyttöveden kohde on pienten vasikoiden maitojuoma, johon käytetään +30 °C-asteista vettä. Vasikat ovat vapaalla juotolla, ja kukin vasikka juo keskimäärin 8 litraa päivässä maitojuomaa. Alussa vasikkaryhmän tullessa maitomäärä on enemmän ja vasikan iän myötä juottoa vähennetään. Vasikat ovat kaksi viikkoa ilman juottoa, ennen kuin ne siirtyvät keskikarsinaan ja uusi vasikkaerä saapuu. Vasikkaeriä vaihtuu vuodessa yhteensä noin kuusi. Nämä kaikki muutokset on otettu laskelmissa huomioon.

Vasikoiden juomiin menee molemmilla kasvattamoilla yhteensä noin 400 litraa päivässä. Vuodessa juomaan menee lämmitettyä vettä 112 m³, kun otetaan huomioon, että kukin vasikkaerä on kaksi viikkoa pois juotolta, ennen kuin uusi vasikkaerä saapuu. Kaivovesi t_1 on noin +5 °C-asteista, kun se lämmitetään vasikoiden juoman suosituslämpötilaan t_2 +30 °C. Laskettaessa lämpimän käyttöveden energiankulutusta kasvattamoilla kaavalla 4, käytetään seuraavia arvoja:

$$\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$V = 112 \text{ m}^3$$

$$t_2 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Kasvattamoilla lämpimään käyttöveteen kuluu 3300 kWh vuodessa, mikä tekee 12 snt/kWh sähkön hinnalla noin 400 € vuodessa, kun arvonnlisävero 24 % on laskelmassa mukaan.

6 Energiavaihtoehtojen valinta

Maatilalle sopiviksi suunniteltaviksi lämmitysjärjestelmiksi valikoituivat maalämpö, hakejärjestelmä ja puukeskuslämmitys. Valinta perustui riittävän suureen lämmityskykyyn, toimintavarmuuteen ja tuttuihin järjestelmiin. Poistoilmalämpöpumpun todettiin olevan riskialtis vaihtoehto pölyisiin tiloihin.

Tilalle pohdittiin myös tuulivoimaa ja aurinkokeräimiä, mutta niiden todettiin olevan liian riippuvaisia sääolosuhteista. Kun suurin lämmöntarve on talvella kovilla pakkasilla, kannattavuus olisi jäänyt heikoksi. Pelletti oli myös yhtenä vaihtoehtona, koska sen varastointi olisi ollut helpompaa ja pienemmän tilan vaativaa, koska pelletillä on suurempi lämpöarvo (Motiva Oy 2013a).

Irtokuutiomääristä on taulukossa 3 vertailtu hakkeen, pelletin ja polttopuun hintaa ja energiasisältöä. Pellettiä ei ole kuitenkaan otettu laskuihin mukaan, sillä päädyttiin ottamaan puu ja hake, joita voidaan tarvittaessa tuottaa itse omasta metsästä ja joiden ostohinta on kilpailukykyinen.

Taulukossa 3 energia tarkoittaa kokonaisenergiankulutusta vuodessa, johon on laskettu molempien kasvattamoiden lämmöntarve ja lämpimän käyttöveden energiantarve sekä lämpökanaalin lämpöhäviö. Kokonaisenergiankulutukseen ei ole otettu huomioon eri järjestelmien hyötysuhdetta. Teoreettinen kulutus i-m^3 tarkoittaa vuoden aikana kuluva polttoaineen määrää irtokuutioina, kun taas todellinen kulutus kertoo polttoaineen kulutuksen, kun järjestelmän hyötysuhde otetaan huomioon.

Taulukko 3. Hakkeen, pelletin ja puun kustannusvertailu alv 0 % (Halkoliiteri.fi 2016; Tilastokeskus; Bioenergianeuvoja 2016a)

	kWh/ i-m ³	Energia, kWh	Teoreet- tinen kulutus i-m ³	Hyöty- tysuh- suh- de	Todellinen kulutus i-m ³	Hinta €/MWh	Hinta €/vuosi
Hake	800	32 368	40	0,8	51	20	647
Pelletti	3 400	32 368	10	0,8	12	51	1 651
Puu	790	32 368	41	0,9	46	44	1 424

7 Energiavaihtoehtojen mitoittaminen kohde maatilalle

7.1 Lämmönjakojärjestelmä

7.1.1 Lattialämmitys

Lattialämmitys kustantaa asennettuna 20,90 €/m² (Smartia 2016b). Tarjoukseen kuuluu PE-RT lämmitysputkea ja messinkiset jakotukit asennettuna paikoilleen. Uudessa kasvattamossa on 224 m², joten hinnaksi tulee 3 600 € (alv 0 %). Vanhassa kasvattamossa on 156 m², mikä tekee hinnaksi 2 500 € (alv 0 %).

Lisäksi tarvitaan syöttövesiputkea jakotukkien ja varaajan välille, sillä sitä ei yleensä varaaja tai lattialämmitys paketteihin kuulu. Syöttövesiputki maksaa 4,70 €/m (Taloon.com 2016e). Arvio on, että syöttövesiputkea kuluu uudella kasvattamolla 30 metriä ja vanhalla kasvattamolla 24 metriä. Eli kustannukseksi ilman arvonlisäveroa tulee uudella kasvattamolla 107 € ja vanhalla kasvattamolla 86 €.

Lattialämmitys putken päälle tulee tehdä vielä lattiavalu, joka on noin 5 cm entisestä lattianpinnasta, jotta lattialämmitysputket peittyvät kunnolla, mutta putket reagoivat pinnassa hyvin sisälämpötilan vaihteluihin. Betoni valun hinnaksi tulee uudelle puolelle arviolta noin 1 300 € ja vanhalle puolelle 900 € (Lujabetoni, 2012). Yhteensä lattialämmitysjärjestelmä tulee tekemään uudelle kasvattamolle 5 000 € ja vanhalle kasvattamolle 3 500 €. Koska maatilat saavat arvonlisäveron vähennettyä verotuksessa, kaikista hinnoista on poistettu 24 %. Lattialämmitysjärjestelmän hinta yhteensä molemmat kasvattamot mukaan lukien on 8 400 €.

7.1.2 Patterilämmitys

Vesikiertoinen patterilämmitys voidaan toteuttaa kasvattamoihin pinta-asennettavalla komposiittiputkella ja perinteisillä teräslevyradiaattoreilla. Asennus onnistuu melko nopeasti, eikä valujen kuivumisia tarvitse odotella. Patteriksi valit-

tiin vesikiertoiset Purmon Hygiene-30 patterit, joiden on Purmon (2016) laskurilla laskettu lämmönluovutus on noin 2 140 W, kun sisälämpötila pyritään pitämään 12 °C-asteessa. Pattereiden kokovaihtoehtoja on useita ja niiden hinta on noin 500 € ilman arvonlisäveroa (Purmo 2013). Uudella kasvattamolla komposiittiputket tarvikkeineen maksavat 900 € (Taloon.com 2016a) ja patterit 5 800 €. Vanhalla kasvattamolla tarvikkeet maksavat 680 € ja patterit noin 3 000 €. Hinnoissa arvonlisävero on 0 %. Patterijärjestelmä tekee siis yhteensä molemmille kasvattamoille noin 10 500 €. Patteriverkosto tulee siis maksamaan noin 2 000 € enemmän kuin lattialämmitys, mutta se on paljon helpompi ja nopeampi asentaa.

7.2 Puukattila

Puukattila mitoitettiin varaajan mukaan, koska varaaja määrittää, kuinka usein kattilaa lämmitetään. Maatilan nykyiset 3x25A:n sulakkeet sallivat 17,25 kW tehoa, mikä otettiin realistiseksi maksimitehoksi tilalle. Jos koko päivä otettaisiin kaikki lähtevä teho irti, tarkoittaisi se 414 kWh:n päiväkulutusta. Tällä perusteella päätettiin, että maksimitehontarvepäivinä lämmitettäisiin puukattilaa kaksi kertaa päivässä. Energiantarve on siis lämmityskerralta 220 kWh, joka vastaa 792 000 kilojoulea (kJ). Varaajan vesimassa selvitetään seuraavalla kaavalla:

$$m = E / (c_p \times \Delta T) \quad (5.)$$

Missä,

m = Veden massa varaajassa (kg)

E = Energiantarve (kJ)

c_p = Vedenominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

ΔT = $t_2 - t_1$

t_2 = kattilaveden maksimi lämpötila (°C)

t_1 = vesikierron maksimi lämpötila (°C).

Laskennassa käytetään seuraavia arvoja:

E = 792 000 kJ

c_p = 4,2 kJ/kg°C

t_2 = 95 °C

$t_1 = 45 \text{ °C}$.

Varaajan vesimassaksi saadaan 3 500 kilogrammaa, joka veden tapauksessa voidaan esittää myös 3 500 litraa. Koska varaajia on vain tietyn kokoisina, ja laskelemissa ei ole otettu huomioon lämpöhäviötä ja hyötysuhdetta, pyöristetään luku kema ylöspäin seuraavaan varaajakokoon, joka on 4 000 litraa. Varaajaksi sopisi esimerkiksi Akva Nero 4 000 varaaja (Profil.fi 2016).

Puukattilaksi valittiin käänteispalopuukattila Attack DPX35 Standard, johon tarvitaan Profi-ohjausjärjestelmä. Kattilan valintaan vaikuttivat riittävä tiedonsaanti, tehokkuus, ominaisuudet sekä polttopuun pituus, joka on 65 senttimetriä. Puukattilan hyötysuhde on 90 % ja puun kulutus 9,7 kg/h. Puunkulutuksen kosteustietoja ei löytynyt. Oletetaan, että kyseessä on kuiva polttopuu, jonka kosteus on alle 20 %.



Kuva 6. Käänteispalo puukattila Attack DPX35 Standard (Kotituli 2016)

Sekapuussa on energiasisältö noin 4,1 kWh/kg olettaen, että puu on kuivattua ja kosteus alle 20 %. Pinokuutiometrissä sekapuuta on vastaavasti noin 1 330 kWh. Irtokuution hinta on noin 30 € eli 75 €/p-m³ (Halkoliiteri.fi 2016). Kasvattamoiden lämpöenergiankulutus on yhteensä 35 600 kWh vuodessa, kun mukaan luetaan

kattilan hyötysuhde, lämpökanaalin lämpöhäviö, lämminkäyttövesi ja lämmöntarve molemmilla kasvattamoilla (taulukko 4).

Taulukko 4. Kasvattamoiden yhteinen lämmöntarve puukattilajärjestelmällä

	(kWh/a)
Lämmöntarve uudella kasvattamolla	16 866
Lämmöntarve vanhalla kasvattamolla	8 624
Lämminkäyttövesi	3 278
Lämpökanaalihäviö	3 600
Lämmöntarve	32 368
Lämmöntarve, kun hyötysuhde 90 %	35 605
Yhteensä lämmöntarve	35 605

Vuodessa tämän lämmöntarpeen täyttämiseksi pitäisi polttaa 27 p-m³ puuta. Lämmityskustannuksiksi tulisi 1 750 €, jossa on mukana lämmityksen työntarve, joka on noin 13 tuntia vuodessa. Tuntipalkka lämmityksessä on 17€. Sähkölämmityksen kustannus on noin 3 250 € vuodessa (alv 0 %), kun sähkön hinta on 12 snt/kWh.

Säästöä vuodessa saataisiin puulämmityksellä 1 500 €. Jos puu saataisiin omasta metsästä, eikä sille lasketa hintaa, mutta lämmitystyön kustannus lasketaan, säästöä kertyisi noin 3 000 € vuodessa verrattuna sähkölämmitykseen. Oman puun käyttöä verotetaan, mikäli se ylittää 850 € vuodessa. Omaan käyttöön oleva polttopuukuution hinta on 10 € eli maatilan käytöllä tämän ei pitäisi ylittyä, ellei laki muutu. (Vero 2010.)

7.3 Hakekattila

Hakekattiloita on monelle eri kokoluokalle 30 kilowatista 900 kilowattiin. Hakejärjestelmään tarvitaan enemmän osia, kuin esimerkiksi puukattilajärjestelmään. Hakejärjestelmät ovat automatisoituja ja niiden käyttöä säätää ohjausjärjestelmä.

Hakekattilaksi tilalle sopisi esimerkiksi Jäspin Stoker 40-hakekattila (kuva 8). Stokerkattila juuri sen takia, että se mahdollistaa myös muiden polttoaineiden käytön lisävarusteiden avulla, mikäli hakkeen hinnassa, laadussa tai toimitukses-

sa ilmenisi rajuja muutoksia. Hakekattilalle ei tarvitse välttämättä erillistä vesiva-
raajaa, sillä kattiloissa yleensä on reilu vesitilavuus. Kattilassa on vakiona myös 6
kW:n sähkövastus.



Kuva 7. Jäspi Stoker 40-hakekattila

Hakkeen hinta on hyvin edullinen noin 20 €/MWh ilman arvonlisäveroa (Tilasto-
keskus). Lämmöntarve hakekattilan hyötysuhteella 80 % on 38 800 kWh (tauluk-
ko 5). Vuodessa 38 800 kWh lämmöntarpeen tuottaminen kustantaisi noin 780 €,
mikä tarkoittaa 50 irtokuutiota haketta. Säästöä vuodessa sähkölämmitykseen
verrattuna kertyisi 3240 €. Metsänhoidon ja pellon reunojen raivauksen yhtey-
dessä voisi omilta mailtaan saada myös haketettavaa ainesta, mutta sen kui-
vaaminen tulee ottaa huomioon.

Taulukko 5. Kasvattamoiden yhteinen lämmöntarve hakekattilajärjestelmällä

	(kWh/a)
Lämmöntarve uudella kasvattamolla	16 866
Lämmöntarve vanhalla kasvattamolla	8 624
Lämminkäyttövesi	3 278
Lämpökanaalihäviö	3 600
Lämmöntarve	32 368
Lämmöntarve, kun hyötysuhde 80 %	38 841
Yhteensä lämmöntarve	38 841

7.4 Maalämmön mitoitus

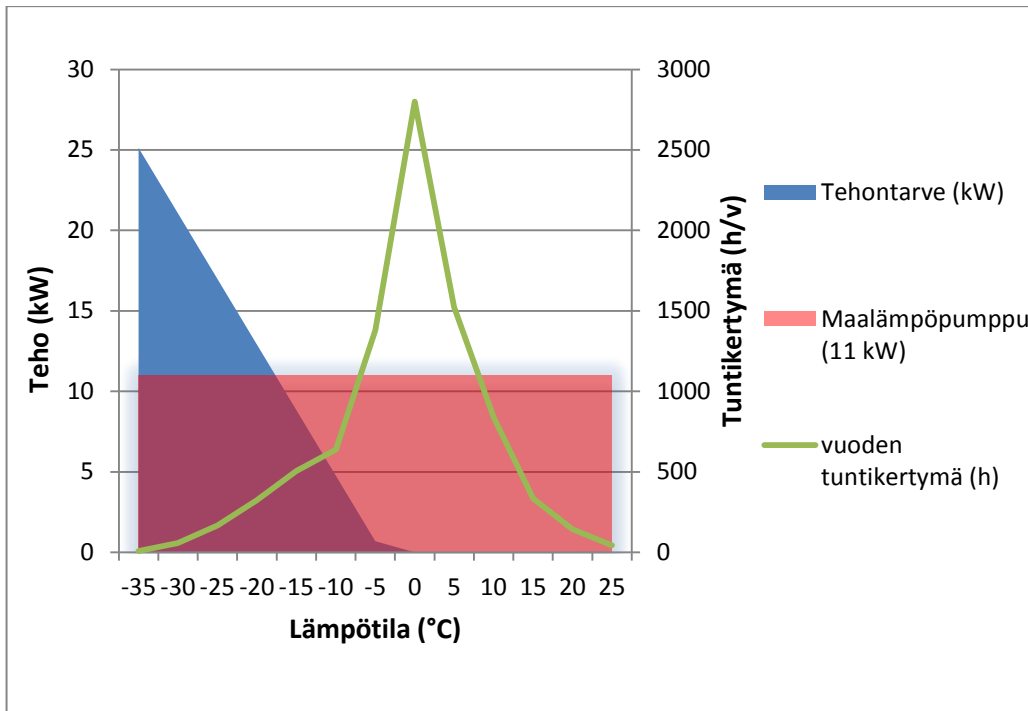
Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa täysi- tai osateholle. Täysitehoille mitoitettu maalämpöpumppu tuottaa lämpöä 90–99 % energiantarpeesta eli myös silloin, kun energiantarve on suurin. Osatehoille mitoitettulla maalämmöllä tuotetaan noin 60–80 % energiantarpeesta, ja huipputehontarve tuotetaan esimerkiksi sähkölämmityksellä. (Motiva 2014c.)

Kohde maatilalle maalämpöpumput suunniteltiin osatehoille, koska järjestelmä on hankintahinnaltaan edullisempi. Osatehoinen maalämpöpumppu myös käy pitkiä jaksoja ja pitää pitkiä taukoja, mikä vähentää energiankulutusta ja rasitusta pumppulle. Maalämpöpumppu vie jonkin aikaa käynnistyäkseen toimimaan nimellistehollaan, jolloin pidemmät käyntijaksot parantavat hyötysuhdetta. (Senera.)

Aluksi maalämpöä lähdettiin mitoittamaan omakotitalolle ja molemmille kasvattamoille yhdessä. Maalämpöjärjestelmä olisi määritetty osatehoille 24 kW:n pumppulla. Eli yksi pumppu olisi toiminut sekä kasvattamoilla että omakotitalossa, mutta mitoitus kohtasi haasteen. Maatilan pääsulakekoko on 25A, ja 24 kW maalämpöpumpun suositeltava sulakekoko on 25A. Haasteeksi olisivat myös muodostuneet pitkien lämpökanaalien lämpöhäviöt rakennusten välillä. Mitoituksessa päädyttiin kahteen osatehoille mitoitettuun maalämpöpumppuun kasvattamoille.

7.4.1 Uuden kasvattamon maalämpöjärjestelmä

Uudelle kasvattamolle mitoitettiin 11 kW:n maalämpöpumppu, joka riittää noin -18 °C-asteeseen, jonka jälkeen tarvitaan lisälämmitystä, joka tapahtuisi nykyisillä säteilylämmittimillä. Maalämmöllä saataisiin tuotettua 5/6 lämmitettävästä ajasta vuodessa. Lisälämmitystä tarvittaisiin vain 556 tuntia vuodessa 3 079:n lämmitystä vaativan tunnin sijaan. Tällainen maalämpöpumppu maksaisi 6 859 € (Taloon.com 2016b).



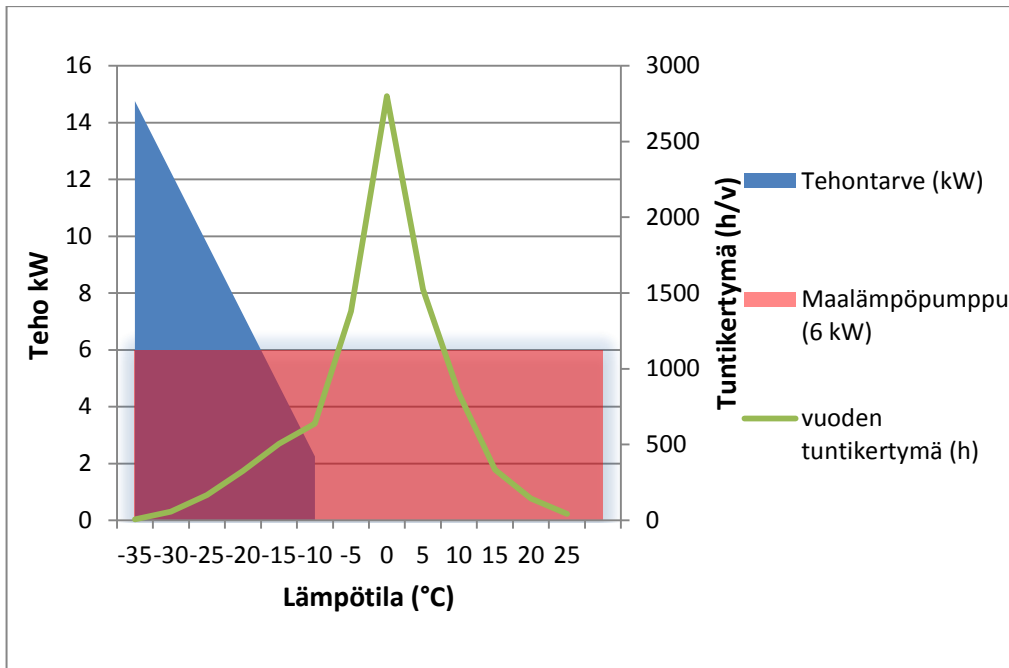
Kuvio 6. Uuden kasvattamon tehon tarve ja 11 kW:n maalämpöpumppu

Kuviossa 6 maalämpöpumpun antoteho 11 kW on merkitty punaisella alueella. Punaisen alueen alle jäävä sininen alue kertoo, kuinka suuren osan lämpötehtarpeesta maalämpöpumpulla saataisiin katettua. Maalämpöpumppu myös leikkaa huipputehontarvetta ja säästää sähkönkulutuksessa.

Kuvio 6 kuvaa uuden kasvattamon tehontarvetta sinisellä terävällä kolmiolla. Kolmion terävyys kuvaa, kuinka lämpötehtarve on keskittynyt pakkaskaudelle. Pakkaskausi on ajallisesti lyhyt, minkä osoittaa matalalla kulkeva vihreä viiva, joka kuvaa tuntikertymää. Eniten tunteja vuodessa on lämpötila välillä +7 – -7 °C-astetta, jolloin lämpötehtarvetta ei ole, koska vasikat tuottavat oman lämpönsä kasvattamolla -5 °C-asteeseen asti.

7.4.2 Vanhan kasvattamon maalämpöjärjestelmä

Vanhalle kasvattamolle mitoitettiin 6 kW:n pumppu, jolla lämpöä tuotettaisiin vielä -20 °C-asteessa. Tällainen pumppu maksaa 5 075 € (Taloon.com 2016c).



Kuvio 7. Vanhan kasvattamon tehon tarve ja 6 kW:n maalämpöpumppu

Vanhan kasvattamon tehon tarve on kuviossa 7 merkitty sinisellä alueella. Alue on hyvin jyrkkä ja loppuu -10 °C-asteen kohdalla. Punaisella alueella on merkitty 6 kW:n maalämpöpumppu, joka kattaa melkein puolet kasvattamon huipputehontarpeesta.

Maalämpöpumppu tarvitsee lämmönlähteeseen maapiirin tai lämpökaivon. Koska kasvattamoiden läheisyydessä on vapaata tilaa, suunnitellaan kohteelle maapiirit. Yksi lämmitettävä rakennuskuutio vaatii 1 - 2 putkimetriä maapiiriä (Suomen Lämpöpumppuyhdistys). Putkisto kaivetaan noin metrin syvyyteen. Putket eristetään ja laitetaan noin 1,5 metrin välein maahan. Uudelle kasvattamolle tarvittaisiin noin 700 metriä maapiiriä ja putki tulisi maksamaan 800 € (Smartia 2016a). Vanhalle kasvattamolle putkea tarvittaisiin noin 400 metriä, joka tulisi maksamaan 430 € ilman arvonlisäveroa.

8 Energiaratkaisuihin saatavat tuet

Maataloudet eivät kuulu työ- ja elinkeinoministeriön energiatuen piiriin, vaan maataloille on suunnattu Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelmaan liittyen tukea. (Maa- ja metsätalousministeriön... 100/2001, liite 10: MMM-RMO C2.2, Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto.) Maatila voi saada tätä tukea energiantuotannon rakentamisinvestointeihin 35 % investoinnin arvonlisäverottomasta hinnasta.

Tuki myönnetään niiltä osin, kun energia käytetään maatalouden tuotantotoiminnassa ja energianlähteenä on uusiutuvan energia. Tukea voidaan myöntää myös lämpölaitokselle, jossa käytetään turvetta, sillä ehdolla, että lämpölaitosta voidaan käyttää myös uusituvilla. (241/2015 § 16.) Maatalouden rakennetukia koskevassa laissa (1476/2007 § 4) määritellään, mitä tarkoitetaan maataloudella:

peltoviljelyä, kotieläintaloutta, kasvihuonetuotantoa, puutarha- ja taimitarhaviljelyä, turkistarhausta, porotaloutta, mehiläistaloutta, ammattimaista metsästystä, marjastusta tai sienestystä taikka muuta Euroopan unionin toiminnasta tehdyn sopimuksen liitteessä I tarkoitettujen tuotteiden tuotantotoimintaa.

Tämä määritelmä kertoo, mitkä maataloudet kuuluvat investointitukien piiriin. Jos maatilan energiantuotantolaitosta käytetään myös esimerkiksi omakotitalossa tai konehallissa, vähennetään sen osuus investointituen määrästä niiltä osin, kun sitä ei käytetä maataloudessa.

Investointitukea haetaan sähköisesti Hyrrä-järjestelmässä. Hakijan täytyy ensin käydä Katso-palvelussa kytkemässä henkilötunnukset ja y-tunnus, minkä jälkeen hän pääsee kirjautumaan ja täyttämään hakemusta. Verkkopalvelu ohjaa ja neuvoo hakemuksen täyttäjää ja lisäapuja saa paikallisesta ELY-keskuksesta. Hyrrä-palvelusta voi myös seurata hakemuksen etenemistä. (Räsänen 2016.)

Jos tukea haetaan järjestelmälle, joka vaatii kiinteitä rakennelmia, esimerkiksi lämpölaitoksissa, tulee hakemukseen liittää erillisen rakennuksen teosta rakennussuunnitelma ja kustannusarvio. Rakennuksen rakennuslupa pitää olla ennen kuin hakemus voidaan hyväksyä. Investointitukeen kuuluvat kaikki energiantuo-

tantoa varten tulevat osat, kuten maalämmön keruupiiri, lämpökanaalit, hakesiilo ja lämmönjakojärjestelmä. Tuki ei koske aiemmin tehtyjä ratkaisuja, eikä ennen tukipäätöstä tehtyjä sopimuksia. Tukipäätöksen tultua voidaan aloittaa investoinnit. (Räsänen 2016.)

Investointi tulee toteuttaa kahden vuoden kuluessa tukipäätöksestä. Toteutukseen voi anoa jatkoaikaa hyvin perusteluin. Investointituki myönnetään yleensä 4 - 5 erässä, joista ensimmäisen voi saada, kun 20 % energiantuotantoinvestoinnista on valmiina. Todellisuudessa tämä tarkoittaa esimerkiksi lopullista urakkasopimuksen allekirjoitusta tai betonivalujen tekoa lämpölaitoksen pohjaksi. Viimeinen erä tuesta maksetaan, kun investointi on valmis. Investoinnin pysyvyyttä seurataan viiden vuoden ajan. Energiainvestoinnin tulee olla sille ilmoitetun määrän verran maatalouden käytössä, ja maataloustuotannon on jatkuttava viiden vuoden ajan investointituen viimeisen erän maksusta. (Räsänen 2016.)

9 Tulokset

9.1 Puukattilajärjestelmän kustannukset ja kannattavuus

Puukattilan 35 kW:n tehon takia kattilalle pitää olla EI60 paloturvallisuusluokiteltu tila. Periaatteessa vanhaan maitohuoneeseen voisi tehdä tällaisen paloturvallisen tilan puukattilalle. Maitohuoneessa kulkee savupiippu, johon voitaisiin liittää kattila. Myös muita mahdollisuuksia olisi ulkosaunan muuttaminen kattilahuoneeksi tai erillisen kattilahuoneen rakentaminen erilleen muista rakennuksista.

Kustannuslaskelmat päädyttiin tekemään kahdelle vaihtoehdolle oletuksella, että puukattilalle löytyisi sopiva paikka nykyisistä rakennuksista (taulukko 6) ja erillisellä rakennettavalla kattilahuoneella (taulukko 7). Lämmöntarpeeseen 35 600 kWh/a on laskettu yhteen lämminkäyttövesi ja lämmöntarve kasvattamoilla, lämpökanaalihäviö sekä kattilan hyötysuhde 90 %.

Lämpökanaalin hinta on noin 60 €/m (Pietikäinen & Ruuskanen 2008, 37), mikä tekee hinnaksi 50 metrille ilman arvonlisäveroa noin 2 300 €. Lämmönjakojärjestelmän kustannukset on laskettu kalliimmalle patterilämmitysverkostolle. Lattialämmitysverkosto olisi ollut noin 2 000 € halvempi, mutta ei välttämättä sopivin ratkaisu tilalle.

Kokonaisinvestoinniksi saadaan 21 218 €. Investointituen määrä on 35 % kokonaisinvestoinnista niiltä osin, kun se tulee maataloutta varten eli kohdemaatilalla kokonaan. Kun investointituen määrä vähennetään kokonaisinvestoinnista, saadaan hinta, jolle laskelmien takaisinmaksuaika perustuu. Lämmityskustannuksiin on otettu huomioon polttopuun hinta ostettuna 30 €/irtokuutio ja lämmitystyö, joka on arvioitu olevan noin 13 tuntia vuodessa ja työn tuntihinta on 17 € (Suomen metsäkeskus 2016, 13).

Säästö verrattuna nykyiseen sähkölämmitykseen lasketaan vähentämällä nykyisistä lämmityskustannuksista puukattilalämmityksen kustannukset. Takaisinmaksuaika on 9 vuotta ostopuilla. Työssä laskettiin myös takaisinmaksuaika, mikäli

polttopuulle ei laskettaisi hintaa. Jos polttopuut saataisiin omasta metsästä, eikä niiden tekemisen kustannuksia otettaisiin huomioon, takaisinmaksuaika olisi 4 vuotta. Todellisuudessa puukattilalle polttopuiden teko olisi melko työlästä ja työlle pitäisi laskea kustannukset, joten laskelmissa päädyttiin ostopuuhun.

Taulukko 6. Puukattilajärjestelmän kustannukset, kun kattilalle on paikka nykyisissä tiloissa.

Puukattilajärjestelmä	Alv 0 %
Lämmöntarve, kWh/a	35 605
Kattilan teho, kW	35
Kattila, €	2 310
Lämpökanaali ja asennus, €	2 280
Varaaja 4 000 l, €	2 874
Lämmönjakojärjestelmä, €	10 477
LVI- ja asennustyöt, €	1 520
Rakennusluvut ja piirustukset, €	760
Puulämmitysjärjestelmän kustannukset yhteensä, €	20 222
Investointituen määrä 35 %, €	7 078
Puulämmitysjärjestelmä, kun tuki otetaan huomioon, €	13 144
Puulämmityksen kustannukset, €/a	1 747
Sähkölämmityksen kustannukset, €/a	3 247
Säästöä siirryttäessä puulämmitykseen, €/a	1 500
Koroton takaisinmaksuaika, a	9

Jussi Pietikäinen ja Timo Ruuskanen (2008) ovat tehneet opinnäytetyönä kustannusarvion lämpökeskuksen tarvikkeista itse rakennettuna. He ovat suunnitelleet kattilahuoneen ja hakevaraston, jotka muurataan palonkestävistä lämpöeristetyistä harkoista. Tarvikkeiden hinnaksi on saatu noin 8 000 € (alv 24 %) ja työnhinnaksi arvioitiin 2 000 €. Käytetään näitä kustannustietoja laskettaessa kohdemaatilalle lämpökeskusrakennusta (taulukko 7).

Käytetään laskelmissa savupiippuna Schiedel Rondo Plus yksihormista valmispiippua (Taloon.com 2016d), jossa on keraaminen hormi, joka on suunniteltu myös lämmityskattilakäyttöön. Mikäli muut kustannukset pysyvät samana, kokonaiskustannus itse rakennettavalle lämpökeskukselle olisi noin 28 900€, johon tulee 35 % investointituki. Takaisinmaksuajaksi tulisi 12 vuotta tai, jos puulle ei lasketa kustannusta niin 6 vuotta.

Taulukko 7. Puulämmitysjärjestelmän kustannukset, kun rakennetaan erillinen puukeskus.

Puukattilajärjestelmä	Alv 0 %
Lämmöntarve kWh/a	35 605
Kattilan teho, kW	35
Kattila, €	2 310
Savupiippu, €	760
Lämpökanaali ja asennus, €	2 280
Varaaja 4000 l, €	2 874
Lämmönjakojärjestelmä, €	10 477
LVI- ja asennustyöt, €	1 520
Rakennusluvut ja piirustukset, €	760
Rakennustarvikkeet puukeskukselle, €	6 149
Puukeskuksen työt, €	1 520
Puulämmitysjärjestelmän kustannukset yhteensä, €	28 651
Investointituen määrä 35 %, €	10 028
Puulämmitysjärjestelmä, kun tuki otetaan huomioon, €	18 623
Puulämmityksen kustannus ,€/a	1 747
Sähkölämmityksen kustannus, €/a	3 247
Säästöä siirryttäessä puulämmitykseen, €/a	1 500
Koroton takaisinmaksuaika, a	12

9.2 Hakejärjestelmän kustannukset ja kannattavuus

Hakejärjestelmä vaatii paljon tilaa, joten sille tulee rakentaa oma rakennuksensa. Kustannuslaskelmissa on laskettu kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto on esitetty taulukossa 8. Siinä rakennetaan samanlainen lämpökeskusrakennus kuin puulämmitysjärjestelmälle taulukossa 5 ja hankitaan laitteisto erikseen. Laitteisto tulee maksamaan noin 16 000 € (Pietikäinen & Ruuskanen 2008). Toisessa vaihtoehdossa (taulukko 9) hankitaan valmis lämpökontti, jossa tulee laitteisto mukana. Tällainen lämpökontti maksaa noin 30 400 €.

Lämmöntarpeeseen 38 800 kWh on laskettu kasvattamoiden lämminkäyttövesi ja lämpöenergia lämmitykseen lämpöhäviöt huomioon ottaen sekä hakekattilan hyötysuhde 80 %. Hakekattilalle voidaan käyttää samaa Schiedelin valmisiippiä

kuin puukattilajärjestelmälle (Taloon.com 2016d), jolloin kustannukset ovat samat.

Lämmönjakojärjestelmä on laskettu kalliimman patterilämmitysverkoston mukaan. Kokonaiskustannuksiksi hakejärjestelmälle kertyy 39 500 €, johon saadaan 35 % investointituki. Polttoainekustannukset ovat hakkeen halvalla hinnalla hyvin pienet, joten säästöt sähkölämmitykseen verrattuna ovat noin 3 100 €. Hake­lämmitykselle ei ole laskettu työmäärää, joka voi olla hyvin vaihteleva laitteiston toiminnasta ja automatiikasta riippuen. Takaisinmaksu aika jää edullisen hakkeen hinnan vuoksi kahdeksaan vuoteen.

Taulukko 8. Hakejärjestelmän kustannukset, kun hakekeskus rakennetaan itse.

Hakekattilajärjestelmä	Alv 0 %
Kattilan teho, kW	40
Lämmöntarve, kWh/a	38 842
Syöttölaitteet, siilo, automatiikka, kattila ja poltin, €	16 000
Savupiippu, €	760
Lämpökanaali ja asennus, €	2 280
Lämmönjakojärjestelmän hinta, €	10 477
LVI- ja asennustyöt, €	1 520
Rakennusluvut ja piirustukset, €	760
Rakennustarvikkeet hakekeskukselle, €	6 149
Hakekeskuksen työt, €	1 520
Hakejärjestelmän kustannukset yhteensä, €	39 466
Investointituen määrä 35 %, €	13 813
Hakejärjestelmä, kun tuki otetaan huomioon, €	25 653
Hakelämmityksen kustannukset, €/a	777
Sähkölämmityksen kustannukset, €/a	3 884
Säästöä siirryttäessä hakelämmitykseen, €/a	3 107
Koroton takaisinmaksuaika, a	8

Taulukko 9 kuvaa hakejärjestelmän kustannuksia, kun tilalle hankitaan valmis hakekontti. Hakekontin kustannukset ovat 30 400 € ilman arvonlisäveroa. Kokonaiskustannukset valmiin hakekontin ratkaisussa ovat 46 200 €. Investointituki ja edullinen polttoaine huomioiden takaisinmaksuajaksi tulee kymmenen vuotta.

Taulukko 9. Hakejärjestelmän kustannukset, kun hankitaan valmis hakekontti.

Hakekattilajärjestelmä	Alv 0 %
Kattilan teho, kW	40
Valmis lämpökontti, €	30 400
Savupiippu, €	760
Lämpökanaalin kustannus, €	2 280
Lämmönjakojärjestelmän hinta, €	10 477
LVI- ja asennustyöt, €	1 520
Rakennusluvut ja piirustukset, €	760
Hakejärjestelmän kustannukset yhteensä, €	46 237
Investointituen määrä 35 %, €	16 183
Hakejärjestelmä, kun tuki otetaan huomioon, €	30 054
Polttoainekustannus, €/a	777
Sähkölämmityksen kustannukset, €/a	3 884
Säästöä siirryttäessä hakelämmitykseen, €/a	3 107
Koroton takaisinmaksuaika, a	10

9.3 Maalämmön kustannukset ja kannattavuus

Maalämpöjärjestelmän kustannukset muodostavat maalämpöpumppu, varaaja, keruuputkisto, sen asennus ja nestetäyttö sekä lämmönjakojärjestelmä. Kun kaikki kustannukset lasketaan yhteen, uudella kasvattamolla investoinnin hinta on noin 17 000 €. Vanhalla kasvattamolla investoinnit ovat halvemmat, noin 12 000 €, johtuen pienemmästä lämmöntarpeesta. Maalämpöjärjestelmän kustannukset löytyvät tarkemmin taulukosta 10.

Maalämpöpumpun hyötysuhteena eli COP-arvona on käytetty lukua 2,5. Täten maalämpöpumppu kuluttaa energiaa yhden yksikön, tuottaa se tilalle kaksi ja puoli yksikköä lämpöä. Uuden kasvattamon maalämpöpumpun sähkönkulutus on vuodessa noin 5 600 kWh, joka on 12 snt/kWh sähkön hinnalla 675 €. Maalämpöpumppu tuottaa 14 000 kWh lämpöä vuodessa, jolloin säästöä kertyy vuodessa noin 1 687 € verrattuna aiempaan sähkölämmitykseen.

Vastaavasti vanhan kasvattamon maalämpöpumpun sähkönkulutus on vuodessa 2 900 kWh, joka on 345 € vuodessa. Pumppu tuottaa 7 200 kWh lämpöä, jonka

tuottamiseen sähköllä kuluisi 860 €. Jakamalla vanhan kasvattamon maalämpöpumpun investointi hinta 12 300 € maalämmön tuottamalla sähkönsäästöllä 345 € vuodessa, saadaan takaisinmaksuajaksi 24 vuotta.

Laskelmissa tulee ottaa huomioon, että hinnat sisältävät arvonlisäveron, jonka yritys voi vähentää verotuksessa. Kun kokonaiskustannuksista poistetaan arvonlisävero eli 24 %, saadaan takaisinmaksuajaksi uudelle kasvattamolle 10 vuotta ja vanhalle kasvattamolle 13 vuotta.

Taulukko 10. Uuden ja vanhan kasvattamon maalämpöpumppujärjestelmien kustannukset

	Alv 0 %	
Maalämpöpumppujärjestelmä	UUSI	VANHA
Lämmöntarve vuodessa, kWh	16866	8624
Maalämpöpumpun teho, kW	11	6
Maalämpöpumppu, €	5213	3857
Keruuputkisto, €	804,84	433,2
Nesteet kiertoon ja asennus, €	1520	1520
Varaaja, €	1520	1140
Lämmönjakojärjestelmä, €	6753	3724
Maalämpöpumppujärjestelmän kustannukset yhteensä, €	15811	10674
Investointituen osuus 35 %, €	5534	3736
Maalämpöjärjestelmä, kun tuki otetaan huomioon, €	10277	6938
Käyttökustannus eli pumpun sähkönkulutus, €/a	675	345
Maalämpöpumpun lämmöntuotto, €/a	1687	862
Säästöä verrattuna sähkölämmitykseen, €/a	1012	517
Koroton takaisinmaksuaika, a	10	13

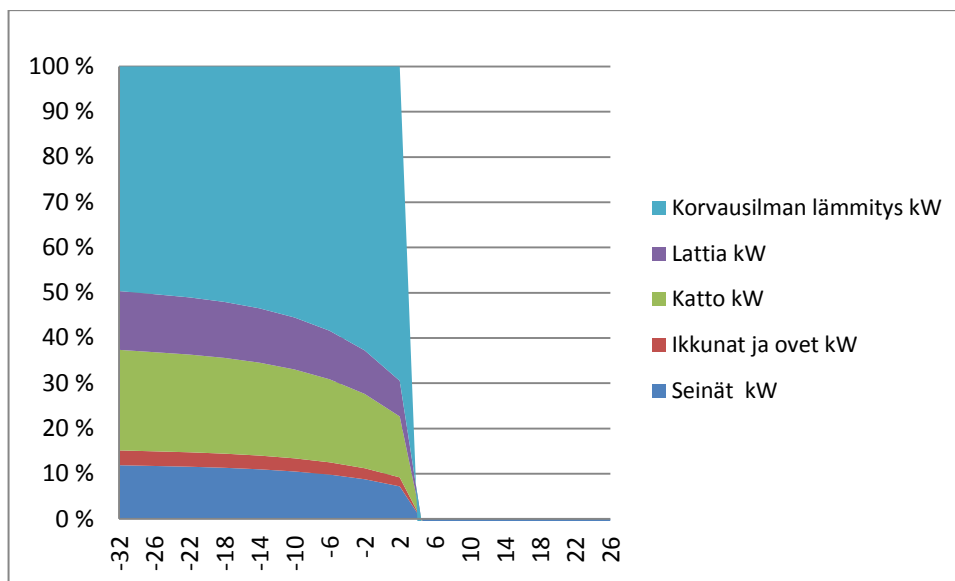
10 Pohdinta

10.1 Maatilan kulutuksen pohdinta

Vasikat tarvitsevat lämpöä, mutta vain +12 °C-astetta, ja vanhimmat vasikat alkaisivat pärjätä jo viileämmässäkin. Vasikkakasvattamoissa vasikat tuottavat suurimman osan lämmöstä itse vuoden aikana. Omakotitaloon verrattuna 150 vasikkaa tarvitsee vähän lämmitystä, koska omakotitalon lämmityskausi on paljon pidempi. Kun omakotitalon lämmityskausi alkaa +15 °C-asteen kohdalla, kasvattamoissa tarvitaan lämpöä vasta -5 °C-asteen jälkeen.

Lypsykarjanavetoissa lehmien lämmöntuotanto riittää pitämään eläintilan sopivana ja lehmät kestävät myös alemmaa lämpötilaa kuin pienet vasikat. Lypsykarjatilaa verrattuna lämmityksen osuus on vasikkakasvattamoissa suuri. Eläimille lämpötilaakin tärkeämpi on kuitenkin vedottomuus.

Kuvio 8:ssa on laskettu Energia akatemian Hiehokasvattamon vuosittainen lämmitystarve (vasikat ja hiehot) nimisellä laskurilla, ja se kuvaa kohdemaatilan uuden kasvattamon vasikoiden lämmitystarpeen jakaumaa. Koska vasikat ovat noin 75–150 kg painoisia, on keskiarvoksi otettu 100 kg painavien 90 vasikan lämmöntarpeenjakautuminen eri kohteisiin. Kuviosta 7 voidaan havaita sama, mikä opinnäytetyön laskelmista eli ilmanvaihto on suurin energianhukkaaja maatilalla. Ilmanvaihdossa ei ole lämmöntalteenottoa ja ilmanvaihtomäärät ovat suuret, jolloin paljon lämpöä siirtyy ulkoilmaan. Ilmanvaihdon määrästä ei voi kuitenkaan tinkiä, sillä se voisi aiheuttaa ilmanlaadun heikkenemistä.



Kuvio 8. Uuden kasvattamon vasikoiden lämmitystarpeenjakauma (Energia akatemia)

10.2 Lämmitysvaihtoehtojen kannattavuuden pohdinta

Sähkön hinta on noussut vuosi vuodelta, eikä hintakehityksen taittumista ole havaittavissa. Sähkön hinta on kallis verrattuna puupolttoaineisiin (taulukko 3), minä vuoksi sähköllä ei ole kannattavaa tuottaa lämpöä. Taulukkoon 11 on koottu laskettujen lämmitysvaihtoehtojen investointikustannukset, joissa on mukana investointituki 35 %, käyttökustannus eli polttoaine, sähkönkulutus, työ ja takaisinmaksuaika vuosina.

Taulukossa 11 "Puulämmitys, kun puukattilalle paikka" tarkoittaa puulämmitysjärjestelmää, jossa puukattila saadaan sijoitettua nykyisiin rakennuksiin, jolloin rakennuskustannuksia ei oteta huomioon (taulukko 6). Puulämmitys valmis lämpökontti tarkoittaa erillisen lämpökeskuksen rakentamista, jolloin rakennuskustannukset on otettu huomioon. Puulämpökeskusratkaisun kustannukset on laskettu taulukossa 7. Hakelämmitystä vertaillaan valmiilla konttiratkaisulla ja itse rakennetulla lämpökeskuksella, joiden kustannukset löytyvät eriteltynä taulukoista 8 ja 9. Maalämpöpumput on määritetty uudelle ja vanhalle kasvattamolle erikseen.

Taulukko 11. Lämmitysvaihtoehtojen vertailutaulukko

	Investointi- kustannus	Käyttö- kustannus	Takaisin- maksuaika
Puulämmitys, kun puukattilalle paikka	13 100 €	1 747 €	9
Puulämmitys, valmis lämpökontti	18 600 €	1 747 €	12
Hakelämmitys, kun rakennetaan lämpökeskus	25 700 €	777 €	8
Hakelämmitys, valmis lämpökontti	30 000 €	777 €	10
Maalämpö, uusi kasvattamo	10 300 €	675 €	10
Maalämpö, vanha kasvattamo	6 900 €	345 €	13

Takaisinmaksuajat vaihtelevat 8 - 13 vuoteen, mikä on yllättävän pieni vaihteluväli, kun vertaa investointikustannuksiin, joissa on suuria eroja. Pienimmän investointikustannuksen vaativa vanhan kasvattamon maalämpö on myös käyttökustannuksiltaan halvin, mutta takaisinmaksuaika on vaihtoehtoista pisin.

Puulämmityksellä on vertailussa kallein käyttökustannus. Sen takaisinmaksuaika olisi vielä kilpailukykyinen, mikäli kattila saataisiin sijoitettua olemassa oleviin rakennuksiin, ja jos osa polttopuista saataisiin tuotettua itse. Puulämmitys on työläin ratkaisu, joka vaatii 27 pinokuutiota varastointitilaa, lämmittäjän läsnäoloa pakkasilla ja työpanosta puiden lisäykseen. Vaikka puilla lämmitys onnistuisi navettatöiden yhteydessä ja kattilan hyötysuhde ja palamisprosessi optimoisivat puista saadun hyödyn, ei puukattilalämmitys nouse mielekkäimmäksi ratkaisuksi.

Automatisoitu hakejärjestelmä vaatii vähän työtä ja on polttoainekustannuksiltaan edullinen. Työkustannuksia ei ole arvioitu hakelämmitykselle. Takaisinmaksuaika on itse rakennetulle lämpökeskukselle kahdeksan vuotta, mikä on kaikkien lyhin takaisinmaksuaika. Vaikka hakeratkaisujen investointi on kaikkein kallein, vaikuttaa polttoaineen edullinen hinta siihen, että hake nousee kaikkein kannattavimmaksi vaihtoehdoksi kohdemaatilalle.

Valmis hakelämpökontti tulee noin 6 700 € kalliimmaksi kuin itse rakennettava lämpökeskus, mutta säästää aikaa ja vaivaa. Takaisinmaksuajassa on vain kaksi

vuotta eroa. Hakkeen lämpöarvo ei ole kovin suuri, joten se vaatii paljon varastotilaa ja hakkeen laatu voi olla hyvin vaihtelevaa. Mitä kosteampi hake on, sitä vähemmän siitä saadaan lämpöenergiaa lämmitykseen. Hakelämmitysjärjestelmä on kuitenkin vaivaton toimiessaan.

Ennako-odotuksissa oli, että maalämpö tulisi kaikkein kannattavimmaksi, mutta kaikkien vaihtoehtojen takaisinmaksuajat kerääntyivät kymmenen vuoden kohdalle. Maatilan lämpöenergian kulutus on pieni ja keskittynyt koville pakkasille, jolloin huipputehon tarpeeseen ei maalämmöllä ole niin kannattavaa vastata.

Maalämmöllä on kaikkein kannattavinta tuottaa mahdollisimman matalaa lämpötilaa, jolloin kompressorilla tarvitsee nostaa mahdollisimman vähän lämpötilaa, jolloin säästetään sähkönkulutuksessa. Sen takia maalämpöä mitoitetaan usein osatehoille, jolloin huipputehontarpeeseen vastataan jollain muulla lämmitysjärjestelmällä, joka olisi ollut maatilalla sähkö.

Huomattavaa oli myös, että investointituella, jonka suuruus oli 35 % investoinnista, oli suuri merkitys. Tukea voi hakea sähköisesti ja ennen kuin päätös tuesta on tullut, ei saa allekirjoittaa sopimuksia. Investointituki tasapäistää investointeja ja on varmasti myös maataloille suuri helpotus.

10.3 Jatkotutkimusaiheet

Maatiloilla riittää paljon energiantarvetta ja myös energiantuotantopotentiaalia. Poistoilmalämpöpumppu olisi vastannut kohteessa ilmanvaihdon lämpöhäviöön, mutta oli liian kokeiluasteella oleva ratkaisu kasvattamoon. Sen kehittäminen, ja lämmöntalteenotto isojen vasikoiden puolelta ja lämmön siirto pienien vasikoiden puolelle, olisi ollut kenties mainio ratkaisu.

Kohdemaatilalle olisi voinut suunnitella myös suurien lämmöntuotantoratkaisujen sijaan maksimitehontarpeelle suunnattuja ratkaisuja, koska lämmöntarve on niin kausikeskeistä. Tilalle olisi voinut lähteä kehittämään myös lannasta ja ylijäämä tai piloille menneestä säilörehusta lämmöntalteenottoa. Ilmalämpöpumppujen

markkinat avautuvat vielä myös maataloille kehityksen myötä. Ilmalämpöpumput voidaan tehdä ruostumattomasta teräksestä tai mustasta raudasta kestävämmän ammoniakkaa ja lisäsuodattimilla saadaan pölyntyminen estettyä.

10.4 Oppimisprosessi

Opinnäytetyön aihe on ollut parin vuoden ajan hioutumassa ja realisoitunut matkan varrella hitaasti. Kun lämmitysenergian tarpeesta ei ollut tietoa, täytyi se laskea ja luottaa laskennallisiin tuloksiin. Yllätyksenä tuli, että laskelmilla päästiin lähelle kokonaissähkönkulutusta. Tilalle piti suunnitella myös lämmönjakojärjestelmä, jolloin täytyi hypätä oman alan ulkopuolelle etsimään tietoa lattialämmityksen ja patteriverkostojen suunnittelusta. Kokonaisuudessaan selvitystyö on ollut monialaista tiedonhankintaa ja prosessin hallintataitoja on tarvittu pitämään aihe rajattuna ja laskelmat liikkeellä.

Eryteisesti lämmönjakojärjestelmien ja eri lämmöntuotantovaihtoehtojen mitoituksen työmäärä on yllättänyt. Oletus oli, että ehtisin käsitellä paljon enemmän ja useampia vaihtoehtoja, mutta opinnäytetyö on kuitenkin hyvin rajallinen. Pääperiaate oli kuitenkin tuottaa laadukasta tietoa kohdemaatilalle eikä keskeneräistä yleistä tietoa.

Opinnäytetyön suunnittelussa on käytetty hyödyksi opinnoissa tehtyjä yritysvierailuja ja työn tietoperustaksi on haastateltu sähköpostitse ja kasvotusten uusiutuvan energian ja maatalouden asiantuntijoita sekä laitevalmistajia ja jälleenmyyjiä. Lähdepohja on laaja ja siihen kuuluu useita opinnäytetöitä eri aloilta ja eri puolilta Suomea sekä erilaisia energiaselvityksiä ja oppaita, joiden avulla opinnäytetyön tekijästä on tullut todellinen monialaosaaja.

Lähteet

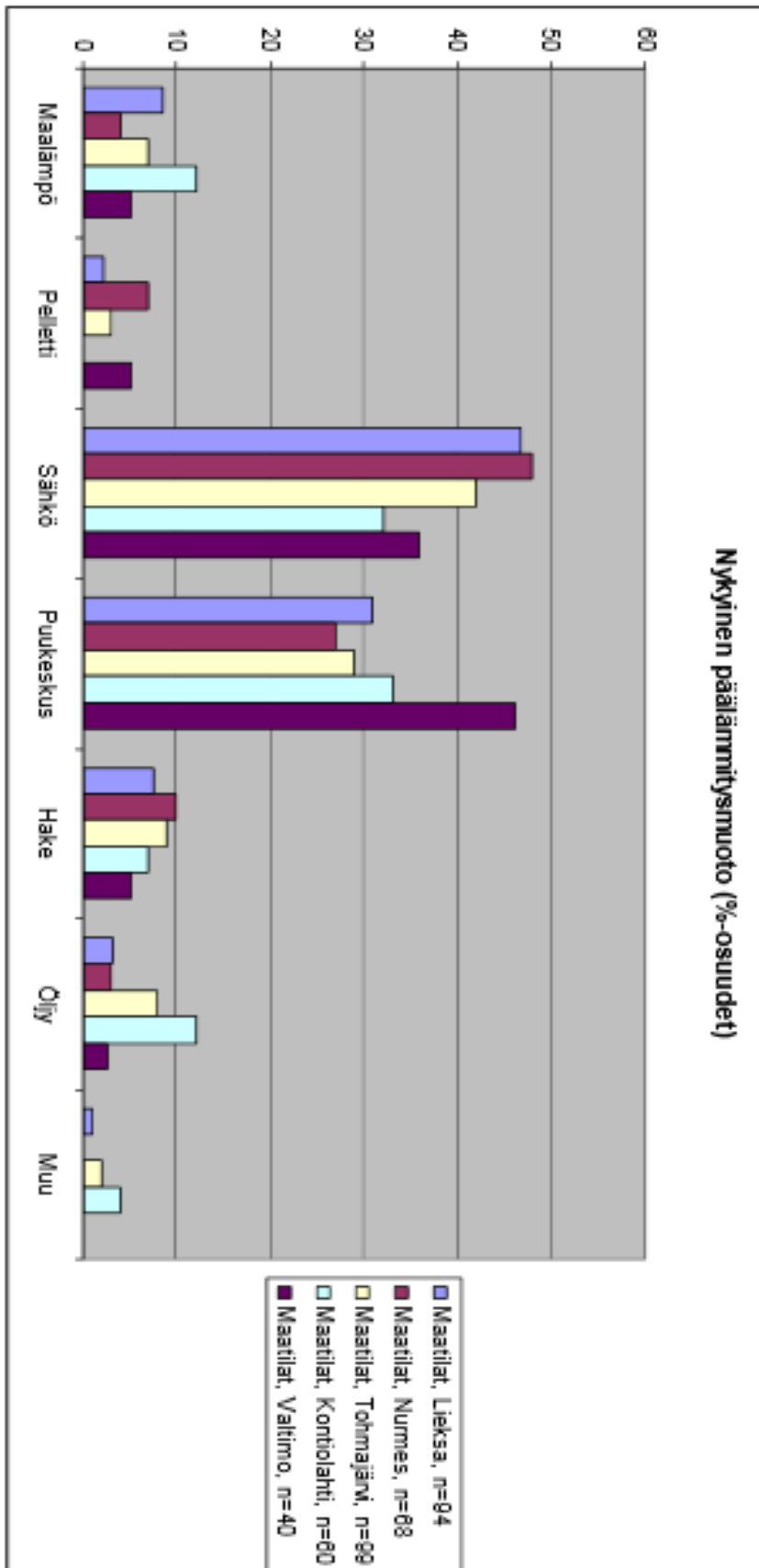
- Aaltoarina. <http://www.aaltoarina.fi/index.php?pid=92&lg=fi>. 25.2.2016.
- Ahokas, J. Esala, J. & Kataja, J. Maatilojen energiakustannukset. Energia-akatemia. <http://www.energia-akatemia.fi>. 25.2.2016.
- Ariterm. Ariterm 35+ puukattila. http://www.taloon.info/pdf/Ariterm_tuotelehti.pdf. 8.2.2016.
- Bioenergianeuvoja. 2016a. Energia-arvot ja muuntokertoimet <http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/biopolttoaineiden-muuntokertoimia>. 12.1.2016.
- Bioenergianeuvoja. 2016b. Energian kulutus ja tehon tarve. <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biolampolaitos/energian-kulutus-ja-tehon-tarve/>. 26.2.2016.
- Bioenergianeuvoja. 2016c. Käsitteitä ja sanastoa. <http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/kasittet-ja-sanastoa>. 7.3.2016.
- Bio-Expert Oy. Lämpökanaalit. <http://lammitysjarjestelmat.com/viljankuivatus/lampokanaalit>. 26.2.2016.
- Danfoss. 2013. Danfoss lämpöpumput pientaloille. <http://www.tomallen.fi/wp-content/uploads/Danfoss-l%C3%A4mp%C3%B6pumput-pientaloille.pdf>. 24.11.2015.
- Eläinsuojelulaki 247/1996.
- Eläintensuojeluasetus 396/1996.
- Energia-akatemia. Hiehokasvattamon vuosittainen lämmitystarve (vasikat ja hiehot). http://www.energia-akate-mia.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=65&Itemid=68. 18.2.2016.
- Energiavirasto. 2016. RES-direktiivit. <http://www.energiavirasto.fi/res-direktiivi>. 30.2.2015.
- Eskola, L., Jokisalo, J. & Sirén, K. 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamis-maarayskokoelma. 18.8.2015.
- Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Ympäristöopas 2013. Energiakaivo Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Edita Prima Oy, 8-10. <http://docplayer.fi/541445-Ymparistoopas-2013-energiakaivo-maalammen-hyodyntaminen-pientaloissa-janne-juvonen-toivo-lapinlampi-ymparistoministerio.html>. 3.2.2016.
- Kinnunen, E. 2012. Lämmitysjärjestelmiä uusiutuvalla energialla. 4.1.2016.
- Kinnunen, E. Maatilan kiinteät biopolttoaineet. Metsäkeskus. http://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2013/10/Kinnunen_28112013.pdf. 22.2.2016.
- Kiviluoma, J. 2015. Biolämmityskattiloiden testaus Suomessa. Aalto-yliopisto. Energia- ja LVI-tekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö. http://www.motiva.fi/files/10324/Biokattiloiden_testaus_Suomessa.pdf. 8.2.2016.
- Koskinen, J. 2006. Kotamäen lypsykarjatilan lämmitysjärjestelmän Suunnittelu ja toteutus. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen kou-

- lutusohjelma. Opinnäytetyö.
<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/17635/TMP.objres.392.pdf?sequence=2>. 12.1.2016.
- Kotituli. 2016. Käänteispalo puukattila Attack DPX35 Standart / Profi / Lambda
http://kotituli.fi/index.php?main_page=product_info&products_id=224.
 26.2.2016.
- Laki maatalouden rakennetuista 1476/2007.
- Linnavuori, S. 2011. Kiinteistön lämpöhäviöiden laskeminen. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Insinööriyö.
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/32403/Linnavuori_Sakari.pdf?sequence=1. 24.11.2015.
- Lujabetoni. 2012. Valmisbetonihinnasto.
http://www.lujabetoni.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/luja/embeds/lujabetoniwwwstructure/19164_Hinnasto_HAME_01.01.2012.pdf.
 22.1.2016.
- Maa- ja metsätalousministeriön asetus Tuettavaa rakentamista koskevista rakennusmääräyksistä ja suosituksista 100/2001. 12.11.2015.
- Suomen Lämpöpumppuyhdistys. Maaperä lämmönlähteenä.
<http://www.sulpu.fi/maopera-lammon-lahteenä> 19.1.2016.
- Halkoliiteri. 2016. www.halkoliiteri.fi/. 25.2.2016.
- Motiva Oy. Lämpöä ilmassa. <http://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>.
 3.4.2015.
- Motiva Oy. 2013a. Biopolttoaineiden lämpöarvoja.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/biopolttoaineiden_lampoarvoja. 26.2.2016.
- Motiva Oy. 2013b. Poistoilmalämpöpumppu.
http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/erilammitysmuodot/poistoilmalampopumppu. 3.5.2015.
- Motiva Oy. 2014a. Alapalokattila.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puulammitys_kiinteistoissa/keskuslammityskattilat/alapalokattila. 9.10.2016.
- Motiva Oy. 2014b. Käänteispalokattila.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puulammitys_kiinteistoissa/keskuslammityskattilat/kaanteispalokattila.
 8.2.2016.
- Motiva Oy. 2014c. Maalämpö.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologia/maalampo. 9.10.2015.
- Motiva Oy. 2014d. Metsähake.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energia_a_metsasta/metsahake. 19.2.2015.
- Motiva Oy. 2014e. Yläpalokattila.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puulammitys_kiinteistoissa/keskuslammityskattilat/ylapalokattila. 9.2.2016.
- Motiva Oy. 2015a. Hake-, pilke- ja halkokattilat.
http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/hake-pilke-ja_halkokattilat. 18.2.2016.
- Motiva Oy. 2015b. Laskukaavat: lämminkäyttövesi.
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteisto-

- [jen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kaytto_vesi](#). 26.11.2015.
- Motiva Oy. 2015c. Uusiutuvan energian direktiivi (RES-direktiivi) http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/uusiutuvan_energian_direktiivi_%28res-direktiivi%29. 25.2.2015.
- Peltomäki, M. 2011. Oittisen tila Oy:n energiakatselmus. Pöyry. <http://docplayer.fi/3581692-Oittisen-tila-oy-n-energiakatselmus.html>. 22.2.2016.
- Penttilä, P. 2013. Maatilojen kiinnostus uusiutuviin energialähteisiin Juuan ja Kontiolahden alueilla. Karelia-ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/59643/Maatilojen_kiinnostus_uusiutuviin_energialahteisiin.pdf?sequence=1. 23.2.2016.
- Pesonen, J. 2012. Maatilojen energiasuunnitelmien toteutuminen ja suunnitelmita saadut kokemukset Pohjois-Karjalassa. Karelia-ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/53745/Opinnaytetyo%20virallinen.pdf?sequence=1>. 17.9.2015.
- Pietikäinen, J. & Ruuskanen, T. 2008. Hakelämmitysjärjestelmä Alakoskentalalle. Savonia ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/4549/Pietikainen_Jussi.pdf?sequence=1. 22.2.2016.
- Pistoke Oy. 2011. <http://www.pistoke.fi/energialaskuri>. 22.8.2015.
- Profil.fi. 2016. AKVA NERO 4000-varaaja. http://profil.fi/index.php?main_page=product_info&cPath=22_33&products_id=1573&zenid=1f8235q8nl2voioh2eml9hvoi2. 5.9.2015.
- Purmo. 2013. Ohjehinnasto 01/2013. http://www.purmo.com/docs/PURMO_Hinnasto_0113-v2_FI_lowres.pdf. 27.11.2015.
- Purmo. 2016. Valitse oikea vesikiertoinen radiaattorityyppi. <http://www.purmo.com/fi/inspiraatio/calculator-3.htm>. 26.11.2015.
- RES-direktiivi 2009/28/EY.
- Räsänen, M. 2016. Yritysasiantuntija. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Haastattelu 24.2.2016.
- Senera. Mitä maalämpö on? <http://www.senera.fi/Maalampo>. 2.1.2015.
- Smartia. 2016a. Maalämpöputki. <http://www.smartia.fi/PublishedService?file=page&pageID=9&itemcode=A209704&OpenGroups=1488>. 19.1.2016.
- Smartia, 2016b. Primex Lattialämmityspaketti PE-Xc asennettuna. <http://www.smartia.fi/PublishedService?file=page&pageID=9&itemcode=RTPRI1&OpenGroups=1488>. 22.12.2015.
- Stenvik, T. 2015. Uuden lämmitysmuodon valitseminen vanhaan pientaloon. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/99312/Stenvik%20Tero.pdf..pdf?sequence=1>. 11.2.2015.
- Suomen metsäkeskus. Maatilan hakelämmitysopas. http://www.puulakeus.net/docs/109-TqY-Maatilan_hakelammitysopas_lopullinen.pdf. 11.2.2016.

- Suomen metsäkeskus. 2012. Pilketuotanto-opas.
<http://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pilketuotanto-opas.pdf>.
19.2.2016.
- Suomen metsäkeskus. 2015. Energialaskuri.
<http://www.halkoliiteri.com/?id=170>. 26.11.2015.
- Taloon.com. 2016a. Komposiittiputki. <http://www.taloon.com/komposiittiputki-25x2-5-100m/LVI-1757068/dp?openGroup=540>. 27.11.2015.
- Taloon.com. 2016b. Maalämpöpumppu Bosch Compress 5000 LW/M 11 kW
http://www.taloon.com/maalampopumppu-bosch-compress-5000-lw-m-11-kw/LVI-5360906/dp?nosto=nosto_0000_katsoimyos&openGroup=7699.
27.11.2015.
- Taloon.com. 2016c. Maalämpöpumppu Bosch Compress 5000 LW 6 kW.
<http://www.taloon.com/tuotteet/maalampopumppu-bosch-compress-5000-lw-6-kw/LVI-5360901/dp?search=5+kW+Bosch+maal%C3%A4mp%C3%B6>.
27.11.2015.
- Taloon.com. 2016d. Schiedel Rondo Plus yksihorminen valmisiippu Ø 12-16.
http://www.taloon.com/schiedel-rondo-plus-yksihorminen-valmisiippu-pituus-3-7-metria-/SCH-R-YH-3-7/dp?nosto=nosto_tuotelistaus_ryhman_suosituimmat_banner.
26.11.2015.
- Taloon.com. 2016e. Syöttövesiputki. <http://www.taloon.com/tuotteet/wehofloor-syottovesiputki-suojaputkessa-25x2-3-50m/LVI-2022184/dp?search=sy%C3%B6tt%C3%B6vesiputki>. 21.9.2015.
- Tilastokeskus. Kotimaisten polttoaineiden käyttäjähinnat energiantuotannossa (ei sis. alv:a).
http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/020_ehi_tau_102_fi.px/?rxid=89dde6b8-fc0a-4c17-bfc0-5476b3bf957f.
12.1.2016.
- Turvatekniikan keskus. 2009. Kiinteän polttoaineen lämmityskattiloiden turvallisuus.
http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_opaat/Kattilaopas.pdf. 8.2.2016.
- Valtioneuvoston asetus maatalouden rakennetuesta 241/2015.
- Vero. 2010. Maa- ja metsätalouden tuotteiden oman käytön arvostaminen arvonlisäverotuksessa. https://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat_veroohjeet/Arvonlisaverotus/Maa_ja_metsatalouden_tuotteiden_oman_kay%2814321%29. 26.2.2016.
- Virtuaalilyä. 2011. Hoitotoimenpiteet.
http://www.virtuaali.info/tila.php?mid=8&luokka_id=192&rid=213&kortti=796. 19.2.2015.
- Yleistä kolmivaihekasvatuksesta. 2011. http://www.virtuaali.info/tila.php?mid=8&luokka_id=192&rid=213&kortti=475. 18.3.2015.
- Ympäristöministeriö. 2007. Asunto- ja rakennusosasto. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>. 23.8.2015.
- Ympäristöministeriö. 2012a. Rakennetun ympäristön osasto. Rakennusten energiatehokkuus. Suomen rakentamismääräyskokoelma D3.
http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. 18.2.2016.

Maatilojen nykyinen lämmitysjärjestelmä Lieksassa, Nurmeksessa, Tohmajärvellä, Kontiolahdella ja Valtimolla (Kinnunen 2016)



Maatiloja eniten kiinnostavat lämmitysmuodot (Kinnunen 2016)

