

Olli Isokääntä

Maatalousyrityksen energiaomavaraisuuden kehittäminen

Aurinkoenergia- ja lämpökeskusinvestoinnit ja niiden kannattavuus Poukkulan
tilalla

Opinnäytetyö
Kevät 2018
SeAMK Ruoka
Agrologi (AMK)

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Seamk Ruoka

Tutkinto-ohjelma: Agrobiologi (AMK)

Suuntautumisvaihtoehto: Maatalousyrityksen liiketoiminta

Tekijä: Olli Isokääntä

Työn nimi: Maatalousyrityksen energiaomavaraisuuden kehittäminen

Ohjaaja: Jussi Esala

Vuosi: 2018

Sivumäärä: 58

Liitteiden lukumäärä: 0

Nykyaikaisessa maatalousyrityksessä kuluu paljon energiaa lämmitykseen ja sähkölaitteisiin. Energian hinnan ja verotuksen muutoksista johtuen maatalousyrittäjillä on halua energiaomavaraisuuden parantamiseen. Automaation lisäämisellä lämmityksessä maatalousyrittäjien työresursseja on mahdollista kohdentaa paremmin tuottavaan työhön. Aurinkoenergiajärjestelmien hintatason alentuminen on lisännyt aurinkosähkön ja -lämmön tuotannon kiinnostavuutta maatalousyrityksissä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää hakelämmitys- ja aurinkoenergiajärjestelmien soveltuvuutta ja kannattavuutta esimerkimaatalousyrityksessä. Opinnäytetyössä kartoitettiin lämmityksen tarve nyt ja tulevaisuudessa ja näiden perusteella suunniteltiin uusi lämpökeskus. Lämmitysjärjestelmän suunnittelun yhteydessä selvitettiin myös aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus lämpimän veden tuottamiseen. Samalla selvitettiin robottinavetan sähkönkulutus, jonka perusteella mitoitettiin aurinkosähköjärjestelmä esimerkimaatalousyritykselle.

Suunnitelluille lämmitys- ja aurinkosähköjärjestelmille laadittiin kannattavuuslaskelmat, joiden perusteella maatalousyrittäjät pystyvät valitsemaan kannattavimmat investointikohteet. Laskelmien perusteella sekä hakelämpökeskus että aurinkosähköjärjestelmä ovat investointeina taloudellisesti kannattavia ainakin esimerkimaatalousyrityksessä. Laskelmat osoittavat myös, että investointituet vaikuttavat merkittävästi varsinkin aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuteen. Laskelmien perusteella aurinkolämpöjärjestelmää ei ole kannattava hankkia hakelämmityksen rinnalle, mutta öljyn korvaaminen aurinkolämmöllä on kannattavaa.

Avainsanat: lämmitys, aurinkosähkö, aurinkolämpö

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Food and Agriculture

Degree programme: Agriculture and Rural Enterprises

Specialisation: Agricultural Business and Economy

Author/s: Olli Isokääntä

Title of thesis: Developing energy self-sufficiency in an agricultural enterprise

Supervisor: Jussi Esala

Year: 2018 Number of pages: 58 Number of appendices: 0

A modern farm uses lots of energy for heating and electrical equipment. Because of changes in energy prices and taxation farmers have a desire to improve energy self-sufficiency. Enhancing automation in the heating system the farmers' work resources can be better targeted towards productive work. The price of solar energy systems has decreased, so farmers are interested in using solar electricity or solar heat on their farms.

The objective of this thesis is to determine if wood chip heating or solar energy is suitable and profitable in an example farm. The need for heating power nowadays and in the future was investigated and with that information a new heating plant was designed. The viability of a solar heating system in the production of hot water was investigated in pursuance to designing the new heating plant. At the same time, the electricity consumption of an automatic milking barn was investigated. With that information the size of the solar power system for the example farm was measured.

The profitability calculations for the planned heating and solar energy system were made. With these profitability calculations the farmers can choose the most profitable investments. These calculations showed that the wood chip heating system and photovoltaic system are both economical investments for the example farm. These calculations show that the investment subsidies affect considerably the profitability of the photovoltaic system. The calculations showed that the solar heating system is not economical with wood chip heating, but it is very economical with an oil heating system.

Keywords: heating, photovoltaic, solar heating

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO.....	9
2 NYKYTILANNE.....	11
2.1 Esimerkkimaatalousyritys.....	11
2.2 Lämmön tarve.....	12
2.2.1 Navetta.....	12
2.2.2 Asuinrakennukset.....	13
2.2.3 Korjaamorakennus.....	15
2.3 Energiantarve yhteensä.....	15
2.4 Maatalousyrityksen sähkönkulutus.....	16
2.5 Mahdollisuudet aurinkoenergian tuottamiseen.....	17
3 LÄMPÖKESKUKSEN SUUNNITTELU.....	18
3.1 Lämpökeskuksen koon määrittäminen.....	18
3.2 Lämpökeskuksen sijoittaminen.....	20
3.3 Paloturvallisuusmääräykset.....	21
3.4 Lämpökeskuksen teknologia.....	22
3.4.1 Purkaimet.....	24
3.4.2 Kattila.....	26
3.4.3 CHP-teknologia.....	28
3.5 Investoinnin kustannusarvio.....	28
3.5.1 Lämpökontti.....	29
3.5.2 Autotallin yhteyteen.....	30
3.5.3 Korjaamon yhteyteen.....	30
3.6 Investoinnin kannattavuuden tarkastelu.....	31
3.6.1 Nykyinen lämmityskustannus.....	32
3.6.2 Laskelmamenetelmät.....	33

3.6.3	Nettonykyarvomenetelmä eli NPV-menetelmä.....	34
3.6.4	Sisäisen korkokannan menetelmä	34
3.6.5	Takaisinmaksuajan menetelmä.....	35
3.7	Investointilaskelmat.....	35
4	AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN	38
4.1	Aurinkoenergia	38
4.2	Aurinkosähkö	39
4.2.1	Järjestelmän mitoittaminen	40
4.2.2	Aurinkosähkön tuotot ja kustannukset	42
4.2.3	10,8 kWp:n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus	43
4.2.4	18kWp:n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus	45
4.3	Aurinkolämpö	47
4.3.1	Aurinkokeräin	47
4.3.2	Aurinkokeräimien kytkeminen ja vaadittavat laitteet.....	50
4.3.3	Investoinnin kustannukset ja kannattavuus.....	51
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	53
	LÄHTEET	56

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Karttakuva rakennusten sijoittumisesta.....	12
Kuva 2. Hakkeen kulku varastosta kattilaan.	23
Kuva 3. Jousipurkain.....	25
Kuva 4. Tankopurkaimen rakenne.	26
Kuva 5. Hakekattilan rakenne.	27
Kuva 6. Aurinkokennon rakenne.....	40
Kuva 7. Tasokeräimen rakenne.	48
Kuva 8. Tyhjiöputkikeräimen rakenne.	49
Kuva 9. Aurinkokeräinjärjestelmän toiminta.	51
Kuvio 1. Sähkönkulutus kuukausittain vuonna 2017.	41
Kuvio 2. Navetan keskimääräinen sähkönkulutus tunneittain huhti-elokuussa 2017.	42
Taulukko 1. Lämmityksen huipputehon määrittäminen.	20
Taulukko 2. Lämpökontin ja varusteiden hinnat, jäännösarvot sekä niistä aiheutuvat vuosittaiset kustannukset.	30
Taulukko 3. Korjaamon yhteydessä tehtävän lämpökeskuksen kustannukset.....	31
Taulukko 4. Omakotitalojen lämmityksen työmenekki.....	32
Taulukko 5. Käytettävän polttopuun arvon määrittely	33
Taulukko 6. Nykyisen lämmityksen muuttuvat kustannukset	33

Taulukko 7. Korjaamon yhteyteen rakennettavan ja erillisen lämpökontin NPV- ja sisäisen korkokannan kaavojen lähtötiedot.....	36
Taulukko 8. Hakelämpökeskuksen kannattavuuslaskelmat.....	37
Taulukko 9. 10,8 kWp aurinkojärjestelmän sähköntuotto kuukausittain Kalajoella.	43
Taulukko 10. 10,8 kWp:n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskelman lähtötiedot	44
Taulukko 11. 10,8 kWp:n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus.....	45
Taulukko 12. 18 kW _p :n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskelmien lähtötiedot	45
Taulukko 13. 18 kW _p :n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuustiedot.	46
Taulukko 14. 10,8 kWp:n ja 18 kWp:n aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuksien vertailu.	46
Taulukko 15. Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuuslaskelmien lähtötiedot.....	52
Taulukko 16. Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuutta kuvaavat tunnusluvut. ...	52
Taulukko 17. Eri investointivaihtoehtojen vertailu.	53

Käytetyt termit ja lyhenteet

Aurinkovakio	Auringon säteilyn tehovirta 1 m ² suuruiselle pinta-alalle ilmakehän ulkopinnalla.
i-m³	Irtokuutiometri.
kWh	Kilowattitunti. Energian yksikkö joka vastaa kilowatin tehoa tunnin ajan.
Nettokassavirta	Investoinnin tietyssä aikana tuottamien tuottojen ja kulujen summa.

1 JOHDANTO

Biotalouden edistäminen on valittu yhdeksi nykyisen hallituksen kärkihankkeeksi. Hallituksen tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian käyttöä. Samalla on tarkoitus saavuttaa vuodelle 2020 asetetut, Euroopan unionin kanssa sovitut ilmastotavoitteet. Kärkihankkeen tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian määrä yli 50 % energian loppukulutuksesta 2020-luvulla. (Valtioneuvoston kanslia 2017, 47–50). Tällä hetkellä uusiutuvan energian osuus on noin 35 %, josta puuenergian osuus on noin 80 % (Energia, [viitattu 5.1.2018]). Käytännössä biotalouden edistäminen tarkoittaa öljyn ja kivihiilen korvaamista uusiutuvalla energialla, kuten puulla tai aurinkoenergialla. Kotimaisten polttoaineiden käyttö on myös kansantalouden kannalta kannattavaa. Se osaltaan vähentää Suomen riippuvuutta tuontienergiasta.

Politiikan ohella myös eri energianlähteiden hintasuhteet vaikuttavat tehtäviin investointeihin ja käytettävään polttoaineeseen. Teknologian kehittyminen ja samalla osittain sen hinnan aleneminen kannustaa uuden teknologian käyttöönottoon. Esimerkiksi aurinkokennojen hinnat ovat alentuneet merkittävästi viimeisen kymmenen vuoden aikana, mikä on kasvattanut niiden suosiota energiantuotannossa (Irena 2015, 75–97).

Maatalousyritysten kiinnostus uusiutuvia energialähteitä kohtaan on kasvanut viime vuosina. Varsinkin eläintiloilla ja muissa kohteissa joissa lämmöntarve on suurta, on hakelämmitys ollut yleistä jo pitkään. Erilaiset bioenergiaratkaisut ovat lisääntyneet myös viljankuivauksessa. Lisäksi aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistyneet maatiloilla merkittävästi viime vuosina. Mahdollinen sähkön markkinahinnan nousu lisää aurinkosähkön houkuttelevuutta maatilojen energianlähteenä entisestään.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää:

- Maatilan energiaomavaraisuuden parantamista lämpökeskus- ja aurinkokennoinvestointien avulla.
- Keskitetyn lämpökeskuksen mahdollisuudet kaikkien rakennusten lämmittämiseen ja työnkäytön tehostamiseen.

- Aurinkoenergian hyödyntämisen vaatimat investoinnit sekä investointien kannattavuusedellytykset.

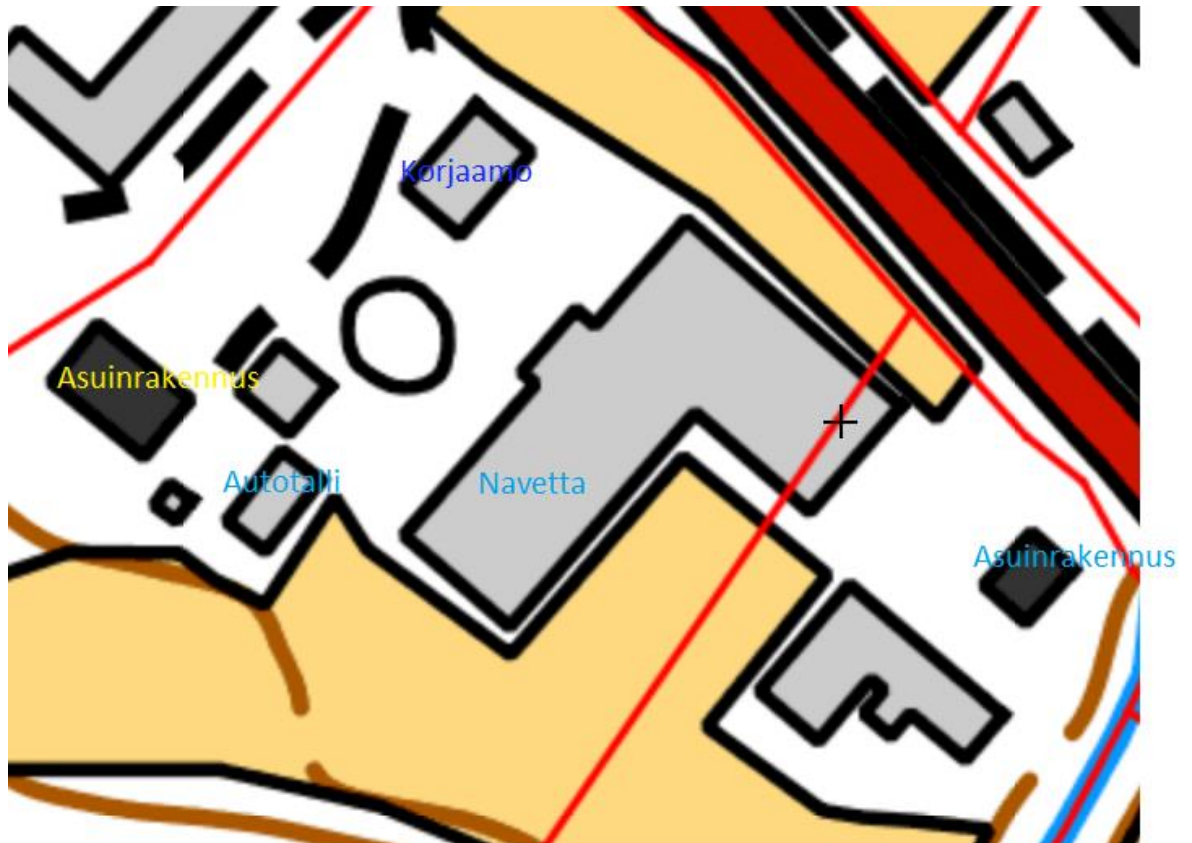
Lämpökeskuksessa energianlähteenä on tarkoitus käyttää kotimaisia biopolttoaineita, käytännössä haketta. Ensin on määritettävä maatalousyrityksen sähkö- ja lämmitysenergian tarve sekä käytettävissä olevat teknologiat ja niiden hinnat. Saatujen tietojen perusteella määritellään tarvittavat investoinnit, niiden kokonaiskustannukset ja investointien kannattavuus. Investointien varsinainen toteutusvaihe ei sisälly tähän opinnäytetyöhön vaan se tapahtuu myöhemmin, mikäli investoinnit ovat kannattavia.

2 NYKYTILANNE

2.1 Esimerkkimaatalousyritys

Esimerkkinä käytettävä maatalousyritys on Kalajoella sijaitseva noin 60 lypsylehmän maitotila. Kaikki eläimet sijaitsevat samassa, vuonna 2000 rakennetussa pihattonavetassa. Pihatto on muutettu talvella 2016–2017 robottipihatoksi ottamalla käyttöön lypsyrobotti ja purkamalla vanha lypsyasema. Navetan yhteydessä on suurehko halli, jossa sijaitsevat kolme laakasiiloa säilörehulle sekä varastotilaa muille tarvikkeille.

Maatalousyrityksen asemakaavakuva on esitetty kuvassa 1. Siitä näkyy rakennusten sijainnit. Navetta sekä kummatkin asuinrakennukset ovat tällä hetkellä suurimmat lämmönkäyttökohteet. Lämpökeskuksen yksi mahdollinen sijoituspaikka on autotallirakennus. Korjaamorakennuksen tilalla on vanha laakasiilo, mutta se on tarkoitus purkaa ja tehdä sen paikalle uusi korjaamorakennus. Lämpökeskus on mahdollista tehdä myös tuon korjaamorakennuksen yhteyteen. Mahdolliset aurinkopaneelit tai -keräimet voidaan sijoittaa navetan yhteydessä olevan rehusiilon katolle.



Kuva 1. Karttakuva rakennusten sijoittumisesta. (MML Karttapaikka. [Viitattu 10.1.2018].).

2.2 Lämmön tarve

Maatalousyrityksessä lämpöenergiaa tarvitaan navetan käyttöveden ja sosiaalityöjen sekä kahden omakotitalon lämmittämiseen. Kyseisiä lämmitystarpeita ajatellen on tarkoitus rakentaa yksi yhteinen lämpökeskus. Seuraavaksi on arvioitu eri rakennusten lämmöntarpeet. Nykyisten rakennusten lämmityksen tarve on arvioitu sekä kokonaislämmitysenergian- että lämmitystehon tarpeena. Lämmitysenergian tarve on arvioitu vuosittain tarvittavan polttoainemäärän arvioimiseksi. Lämmitystehon tarve on arvioitu lämmitysjärjestelmän mitoittamista varten.

2.2.1 Navetta

Tällä hetkellä maatalousyrityksen navetan käyttövesi lämmitetään öljyllä. Öljypoltin sijaitsee navetan yhteydessä olevassa pannuhuoneessa, mikä on paloturvallisuuden kannalta erittäin huono ratkaisu. Maidon jäädytyksestä saatavalla energialla

esilämmitetään öljykattilalle menevää vettä. Lämmitysöljyä navetalla on mennyt edellisinä vuosina keskimäärin noin 4400 litraa/vuosi. Mikäli polttoaineen hinta on 90 snt/litra, lämmitykseen kuluu vuodessa 3960 euroa.

Lämmitysöljyn energiasisältö on noin 10 kWh/litra (Energia-arvot ja muuntokertoimet 2017). Se tarkoittaa, että navetan lämmitysenergian tarve on yhteensä noin 44 000 kWh/vuosi.

Lämmittämiseen kului öljyä aikavälillä 10–31 tammikuuta noin 400 litraa. Öljyä kului päivässä noin 20 litraa. Lämmitysenergiaa on siis kulunut noin 200 kW per päivä. Keskimääräinen lämmitysteho on siis ollut $200 \text{ kW} / 24 \text{ h} = 8,3 \text{ kW/h}$. Ilmatieteen laitoksen lähimmän säähavaintoaseman Kalajoen Ulkokallan mukaan ilman lämpötila on vaihdellut tuona aikana $+2,5 \text{ °C}$ ja $-15,8 \text{ °C}$ välillä (Ilmatieteen laitos 2018). Keskimäärin ilman lämpötila on tuolloin ollut $-4,3 \text{ °C}$. Ulkokalla sijaitsee merellä noin 30 kilometrin päässä maatalousyrityksestä. Lähimmän maalla sijaitsevan säähavaintoaseman eli 40 km päässä mantereella sijaitsevan Ylivieskan lentokentän mukaan lämpötila on vaihdellut kyseisenä aikana $+3,1 \text{ °C}$ ja $-29,8 \text{ °C}$ välillä, keskilämpötilan ollessa $-7,9 \text{ °C}$. Käytännössä keskilämpötila on ollut näiden kahden välillä, joten ilman keskilämpötilaksi voidaan arvioida näiden kahden havaintoaseman keskiarvo, eli $-6,1 \text{ °C}$. Koska lämpimän käyttöveden kulutus ei navetassa ole tasaista, voidaan arvioida, että todellinen maksimilämmitystehon tarve navetassa yli 15 kW. Se voidaan päätellä myös siitä, että nykyisen öljypolttimen 17 kW teho on ollut riittävä.

2.2.2 Asuinrakennukset

Yrittäjien kummassakin asuinrakennuksessa on tällä hetkellä puulämmitys. Niistä halutaan luopua lämmityksestä aiheutuvan suuren työmäärän takia. Varsinainen päärakennus on 1968 rakennettu yksikerroksinen omakotitalo, jonka koko on 170 m². Siinä on lämmityksen tukena ilmalämpöpumppu. Vanhassa osassa lämmön jako tapahtuu lämpöpattereilla ja myöhemmin rakennetussa laajennuksessa on lattialämmitys. Lisäksi talossa on leivinuuni. Talon nykyinen pannuhuone sijaitsee kellarissa. Lämpökeskuksessa on käytössä maksimiteholtaan 40 kW yläpalokattila jo-

hon on kytketty tilankäytöllisistä syistä tilavuuksiltaan 1000 ja 1500 litran lämminvesivaraajat rinnakkain. Tässä rakennuksessa asuu tällä hetkellä vakituisesti kaksi henkilöä.

Toisena omakotitalona toimii 1950 -luvulla rakennettu omakotitalo, joka on tyypiltään niin sanottu rintamamiestalo. Se on remontoitu viisi vuotta sitten lisäsiivessä olevaa pesuhuonetta lukuun ottamatta. Lisäsiivessä on sähköllä toimiva lattialämmitys. Asuinrakennus lämmitetään nykyisin polttopuilla. Siinä on vesikeskuslämmityksen lisäksi varaava takka. Talon nykyinen pannuhuone sijaitsee kellarissa. Lämmitys tapahtuu maksimiteholtaan 40 kW yläpalokattilalla johon on kytketty 3000 litran lämminvesivaraaja. Asuinrakennuksen koko on noin 105 m². Tällä hetkellä rakennuksessa asuu vakituisesti yksi henkilö.

Asuinrakennusten lämmittäminen on todella työllistävää. Pakkaskaudella kummasakin asuinrakennuksessa on poltettava vähintään kaksi pesällistä puita joka päivä, kovalla pakkasella jopa kolme tai neljä. Yläpalokattilassa yhden pesällisen paloaika on noin 1–1,5 tuntia, jonka jälkeen puita pitää lisätä. Myös palamisen hyötysuhde on huono, jolloin polttopuun tarve on kova. Kovilla pakkasilla lämmityksen tukena käytetään toisessa asuinrakennuksessa takkaa ja toisessa leivinuunia.

Asuinrakennusten tarkkaa lämmitysenergian tarvetta ei ole tiedossa, kuten ei myöskään tarkkaa määrää käytetystä polttopuusta. Siitä johtuen polttopuiden tarve joudutaan määrittelemään polttopuubaraston perusteella: Toisen asuinrakennuksen klapivarastoon mahtuu noin 2 vuoden polttopuutarve. Polttopuuta on varastossa yhteensä noin 94 heittokuutiometriä ja puulajiltaan se on koivua, mäntyä ja kuusta. Keskimäärin irtokuutiometri (i-m³) sekapuuta sisältää energiaa 870 kWh (Metsäkeskus 2017) Voidaan siis arvioida, että vuodessa toisen omakotitalon lämmittämiseen menee noin 47 i-m³ polttopuuta, mikä vastaa noin 40 000 kWh lämpöenergiaa. Pieni osa siitä käytetään pihasaunan lämmittämiseen. Mikäli puulämmityksen kokonaisyötysuhde on 75 %, on todellinen energian tarve 30 000 kWh. Käytännössä lämmitysenergian tarve on kuitenkin tätä suurempi, koska osa lämmöstä tuotetaan ilmalämpöpumpulla. Kokonaislämmitysenergian määrän perusteella voidaan arvioida, että asuinrakennuksen huipputehontarve on 10–15 kW:n välillä. Osassa 3.1 asuinrakennusten huipputehontarve määritellään niiden tilavuuksien perusteella, joilla saadaan hieman tarkempi luku.

Toinen asuinrakennus on kooltaan pienempi ja asukkaita on yksi vähemmän, joten voidaan olettaa, että siinä kuluu vuodessa 35 000 kWh lämpöenergiaa. Mikäli lämmityksen hyötysuhde on 75 %, on todellinen lämmitysenergian tarve noin 26 000 kWh. Tällöin asuinrakennuksen huipputehontarve on alle 10 kW.

2.2.3 Korjaamorakennus

Maatalousyrityksen käyttöön on tarkoitus rakentaa lämmin korjaamorakennus. Siinä voidaan tehdä huoltoja maatalousyrityksen omille ja myös ulkopuolisten yritysten koneille. Toisella maatalousyrittäjällä on kiinnostusta ja osaamista koneiden korjaukseen.

Korjaamohalli on leveydeltään 14 metriä ja pituudeltaan 20 metriä. Rakennuksen pinta-ala on siis 280 m². Sisäkorkeutta korjaamolla tulee olla ainakin 5 metriä, jotta kaikki koneet varmasti mahtuvat sisälle myös tulevaisuudessa. Osa korjaamorakennuksen pinta-alasta on oltava lämmintä varastotilaa erilaisille tarvikkeille. Lämpökeskus on mahdollista tehdä korjaamorakennuksen yhteyteen tai erillisenä rakennuksena.

Mikäli korjaamorakennuksen toisesta päädyistä jätetään 5 metrin kaistale hakevarastolle ja pannuhuoneelle, jää täysikorkeaa lämmitettävää pinta-alaa 210 m². Mikäli tämän osan korkeus on 5,2 metriä, tulee lämmitettäviä kuutioita 1092 m³. Lisäksi pannuhuoneen päälle on mahdollista tehdä puolilämmintä varastotilaa noin 15 m².

2.3 Energiantarve yhteensä

Yhteensä maatilán nykyinen todellinen lämmitysenergian tarve on siis noin 100 000 kWh/vuosi ilman korjaamorakennusta. Kosteusprosentin 41 omaavan hakkeen energiasisältö on noin 0,85 MWh/i-m³ (Pohjoispää 2012, 32–36). Kilowattitunteina se tarkoittaa 850 kWh/i-m³. Mikäli hakelämmityksen hyötysuhde on noin 75–80 %, tarvitaan haketta 100 000 kWh / 0,75 / 850 kWh/i-m³ tai 100 000 kWh / 0,8 / 850 kWh/i-m³, eli yhteensä 147–157 i-m³. Lisäksi on otettava huomioon lämpökanaalien

aiheuttamat häviöt, jotka lisäävät hakkeen kulutusta. Myös hakkeen kosteusprosentti vaikuttaa huomattavasti hakkeen kulutukseen. Käytännössä pieniin hakekatiloihin ei suositella kosteudeltaan yli 40 -prosenttista haketta. Korjaamorakennuksen kanssa hakkeen kokonaiskulutus on arviolta noin 180 i-m³.

2.4 Maatalousyrityksen sähkönkulutus

Navetan sähkönkulutus on ollut vuonna 2016 yhteensä 63 000 kWh (Elenia Aina 2018). Määrässä täytyy ottaa huomioon, että lypsyrobotti on otettu käyttöön vasta joulukuussa 2016, eli kyseisenä vuonna lypsy on tapahtunut lypsyasemalla. Lypsytekniikan muutoksesta johtuen navetan sähkönkulutuksen luonne on muuttunut täysin ollen nykyään huomattavasti tasaisempi. Asemalypsyn aikana sähkönkulutuksessa oli huomattava piikki lypsyaseman pesujen aikana, eli aamulla kello 8 ja illalla kello 18. Silloin tunnin keskiteho oli jopa yli 25 kW. Lypsyrobotin aikana kulu- tushuippu eli suurin tunnin keskiteho on noin 9 kW.

Kesän 2017 aikana myös navetan koneellinen ilmanvaihto päivitettiin luonnolliseksi lisäämällä ilmanvaihtohormeja. Samalla vanhat sähköpuhaltimet otettiin pois käytöstä. Lypsyrobotin vaikutus maatalousyrityksen kokonaissähkönkulutukseen on ollut alentava. Vuonna 2017 navetan kokonaissähkönkulutus oli noin 54 000 kWh, eli peräti 15 % alempi kuin vuonna 2016. Koko vuoden keskimääräinen tuntiteho on ollut noin 6 kW.

Maatalousyrityksen sähkönkulutuksessa osa sähköstä kulutetaan muissa rakennuksissa kuin navetassa, esimerkiksi autotallissa ja viljankuivaajassa. Niiden käyttämä sähkö tulee kuitenkin eri sähkömittareista ja niiden merkitys kokonaissähkönkulutukseen ei ole suuri. Esimerkiksi autotallin sähkö tulee päärakennuksen sähkömittarista ja näiden kahden rakennuksen kulutus on ollut yhteensä 18 000 kWh/vuosi. Siitä voidaan arvioida, että autotallin osuus sähkönkulutuksesta on joi- takin tuhansia kilowattitunteja. Lisäksi eri sähkön kulku eri mittareista vaikeuttaa au- rinkosähköjärjestelmän rakentamista, joten järjestelmän mitoituksessa otetaan huo- mioon ainoastaan navetan käyttämä sähköenergia.

2.5 Mahdollisuudet aurinkoenergian tuottamiseen

Aurinkosähkön tuottamisen kannalta aurinkopaneeleille sopivaa kattopinta-alaa on runsaasti. Katettujen rehusiilojen auringonpuoleinen lape on kooltaan noin 700 m² ja navetan vastaava lape hieman vajaa 400 m². Niiden suunta ei kuitenkaan ole optimaalinen aurinkoenergian hyödyntämiselle, sillä ne osoittavat lounaaseen ja koilliseen. Optimaalisin ilmansuunta on etelä. Molempien kattojen nousukulmat ovat noin 25 astetta.

3 LÄMPÖKESKUKSEN SUUNNITTELU

Lämpökeskuksen rakentaminen aloitetaan lämpökeskuksen sijainnin ja lämmitystehon tarpeen määrittämisestä (Viirimäki ym. 2008, 9). Esimerkkimaatilan sijainnista maantien ja joen välissä sekä alueen tiheästä asutuksesta johtuen, on sopivan rakennuspaikan löytäminen haastavaa.

Lämpökeskuksen suunnittelussa on otettava huomioon myös käytettävän polttoaineen hankinta, varastointi ja käsittely (Viirimäki ym. 2008, 9). Tässä opinnäytetyössä ei ole tarkoitus keskittyä polttoaineen hankintaprosessiin muuten kuin siitä aiheutuvien kustannusten sekä polttoaineen varastoinnin osalta. Rakennusten sijoittelussa ja varastojen mitoituksessa otetaan huomioon hakeliikenne ja se, että varastojen täyttö on mahdollisimman vaivatonta.

Suunnittelussa on otettava huomioon myös tulevaisuuden lämmitystarpeet sekä mahdolliset laajennukset. Ne vaikuttavat tehtäviin laitevalintoihin sekä rakennettavaan kokonaisuuteen. Tehtäviin valintoihin vaikuttavat myös voimassa olevat rakennus- ja paloturvallisuusmääräykset ja saatavissa olevat investointituet (Viirimäki ym. 2008, 9). Edellä mainittuja asioita on käsitelty tarkemmin seuraavissa luvuissa.

3.1 Lämpökeskuksen koon määrittäminen

Lämpökeskukseen on tarkoitus liittää navetta, tuleva korjaamorakennus sekä maatalousyrittäjien kaksi omakotitaloa. Rakennusten kokonaislämmitysenergian tarve on arvioitu luvussa 2.2. Asuinrakennusten ja tulevan korjaamorakennuksen osalta lämmityksen huipputehon määrittämiseen käytetään rakennuksen tilavuuteen perustuvaa arviointimenetelmää. Lämpökeskuksen mitoituksessa on huomioitava, että lämmitystehon tarvetta lisäävät myös rakennettavat lämpökanaalit. Lämmönsiirto-putkien tehonkulutus on noin 20 W/metri (Lappi & Enroth 2006, 85). Eli mikäli kanaaleja rakennetaan yhteensä 250 metriä, niiden aiheuttama lämpöhäviö on yhteensä 5000 W, eli 5 kW.

Asuinrakennuksen huipputehon tarve on noin 25–30 W/rakennuskuutio (Biolämmitys 2017). Päärakennuksen keskimääräinen huonekorkeus noin 2,4 m, joten rakennuksen tilavuus on $170 \text{ m}^2 \times 2,4 \text{ m} = 408 \text{ m}^3$. Lämmityksen huipputehon tarve on siis noin $30 \text{ W} \times 396 \text{ m}^2 / 1000 = 12,2 \text{ kW}$. Osassa 2.2 on arvioitu kulutetun kokonaisenergian perusteella, eli asuinrakennuksen huipputehontarve on 10 ja 15 kW:n välillä, johon tämä luku asettuu.

Pienemmän asuinrakennuksen keskimääräinen huonekorkeus on ainoastaan 2,3 m, joten rakennuksen tilavuus on $105 \text{ m}^2 \times 2,3 \text{ m} = 242 \text{ m}^3$. Silloin rakennuksen lämmityksen huipputehon tarve on noin $30 \text{ W} \times 242 \text{ m}^3 / 1000 = 7,2 \text{ kW}$.

Öljylämmitteisen rakennuksen lämmityksen huipputehon tarve saadaan jakamalla vuotuinen öljynkulutus luvulla 250 (Biolämmitys 2017). Navetan lämmityksen huipputehontarve on siis $4400 / 250 = 18 \text{ kW}$. Koska nykyinen öljykattila on teholtaan 17 kW ja se on riittänyt, voidaan järjestelmän mitoittamisessa käyttää kyseistä tehoa.

Lisäksi lämpökeskukseen on tarkoitus jättää varaus mahdollisesti rakennettavaa korjaamorakennusta varten. Lämpimän korjaamorakennuksen koko on noin 280 m^2 . Rakennuksen sisäkorkeus on oltava noin 5,2 m, jotta kaikki laillisesti tiellä liikkuva mahtuu sisään, suurimman oven ollessa $5 \times 4,5$ metriä. Noin 70 m^2 rakennuksesta on lämpökeskusta ja hakevarasto. Hakevarasto ei tarvitse lämmitystä. Korkeaa korjaamo-osaa jää tällöin noin 210 m^2 , jolloin sen tilavuudeksi tulee noin 1092 m^3 . Koska kyseisessä rakennuksessa voidaan käyttää asuinrakennuksia alemmaa lämpötilaa, lämmityksen tehontarpeeksi voidaan arvioida 20 W/m^3 . Tällöin rakennuksen huipputehon tarve on yhteensä noin 22 kW. Mikäli rakennuksen sisäkorkeus on 6 m, on lämmitettäviä kuutioita 1260 m^3 , jolloin lämmityksen huipputehon tarve on noin 25 kW.

Taulukossa 1 on yhdistetty eri rakennuksille arvioidut huipputehontarpeet. Luke-missa on otettava huomioon, että lämpökanaalien yhteispituus varmistuu vasta toteuttamisvaiheessa ja korjaamorakennuksen lämmitystehon tarve varmistuu vasta kun lopulliset materiaali- ja rakenneratkaisut ovat tiedossa. Mikäli asuinrakennusten huipputehontarpeet ovat noin 15 ja 10 kW ja korjaamorakennuksen sisäkorkeus 6 metriä, huipputehontarve on yhteensä noin 72 kW.

Taulukko 1. Lämmityksen huipputehon määrittäminen.

Rakennus	Laskentaperuste	Huipputehontarve
Navetta	4400 litraa / 250 vrk	17 kW
Päärakennus	396 m ³ x 30 W	12,2 kW
Asuinrakennus 2	236 m ³ x 30 W	7,2 kW
Lämpökanaalit	20 W/m x 250m	5 kW
Korjaamorakennus (varaus)	1140 m ³ x 20 W	22 kW
	YHTEENSÄ	63,4 kW

Yleinen hakekattilan teholuokka on 60 kW, jolloin kattilan teho ei riitä kattamaan vuoden kylmimpinä päivinä olevaa huipputehontarvetta. Tällöin vaihtoehtona on joko laskea korjaamorakennuksen lämpötilaa, mikä pienentää huipputehontarvetta, tai hankkia hieman suurempi hakekattila. Koska kyseessä on uusi kohde, on parempi hankkia kokoa isompi kattila. Valmistajasta riippuen seuraava kokoluokka on yleensä 75–85 kW. Kyseinen teholuokka riittää kattamaan nykyisen kulutuksen ja tehoa jää hieman reserviin mahdollisia tulevaisuuden tarpeita varten. Investointiin valittava hakelämpökeskuksen kokoluokka on 75–85 kW laitteiston valmistajasta riippuen.

3.2 Lämpökeskuksen sijoittaminen

Hakelämpökeskuksen sijoittaminen vaikuttaa valittavaan teknologiaan. Tässä tapauksessa lämpökeskuksen sijoittamiseen on kolme vaihtoehtoa. Se voidaan sijoittaa erilliseen lämpökeskuskonttiin, uuden korjaamorakennuksen yhteyteen tai olemassa olevaan autotallirakennukseen. Maatalousyrittäjillä on toiveena, että järjestelmästä tulee mahdollisimman helppohoitoinen. Lisäksi lämpökeskuksen yhteydessä olevan polttoainevaraston tulee olla mahdollisimman suuri, jolloin sen täyttö-

väli on pitkä. Suuressa varastossa koetaan kuitenkin olevan se riski, että syöttölaitteiston rikkoutuessa se joudutaan tyhjentämään lapioimalla. Siitä johtuen toiveissa on, että lämpökeskuksen hakevaraston pystyy suurimmalta osin tyhjentämään traktorin etukuormaimella, jolloin lapioinnin tarve jää vähäiseksi. Edellä mainittujen seikkojen perusteella ensisijaisina vaihtoehtoina tarkastellaan uuden korjaamon tai olemassa olevan autotallin yhteyteen rakennettavaa lämpökeskusta. Paloturvallisuuden kannalta erillinen lämpökeskuskontti on turvallisin vaihtoehto.

3.3 Paloturvallisuusmääräykset

Ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelmassa on määritetty erilaisille rakennuksille asetetut paloturvallisuusmääräykset. Niiden mukaan lämmityskattila on sijoitettava erilliseen osastoituun huoneeseen. Lämmityskattilan ympärille on jätettävä valmistajan ohjeiden mukaiset turvaetäisyydet laitteiston käytölle ja huollolle. Kattilahuoneen kanssa samassa osastossa saa olla ainoastaan 2 m³ kiinteää polttoainetta, kuten haketta. Mikäli kattilahuone ja polttoainevarasto on rakennettu toisen rakennuksen yhteyteen, on kattilahuone osastoitava vähintään EI 60 -luokan eristävyiden ja tiiviiden täyttävillä, palamattomilla materiaaleilla. Ulko-oven ei tarvitse olla osastoiva. (Ympäristöministeriö 2005, 3–6.) EI 60 -merkinnässä olevat kirjaimet tarkoittavat eristävyttä ja tiiviyttä ja niiden perässä oleva luku 60 tarkoittaa palonkestävyysaikaa minuutteina (Rakentaja.fi, [viitattu 16.1.2018].)

Kiinteän polttoaineen varaston tulee myös olla osastoitu muuhun rakennukseen. Polttoainevaraston rakenneosien on täytettävä P2 -paloluokan rakennuksessa vähintään EI 30 -luokan tiiviys ja palonkestävyysvaatimukset. (Ympäristöministeriö 2005, 6.)

Erillinen kattilarakennus tulee sijoittaa vähintään 8 metrin etäisyydelle lähimmästä rakennuksesta, muuten sitä koskevat paloturvallisuusmääräykset ovat samat kuin rakennuksen yhteydessä olevalla lämpökeskuksella. Kattilarakennuksessa saa olla ainoastaan laitoksen toimintaan liittyviä tiloja ja osastoituna pienehköjä varastotiloja. P2 -luokan lämpökeskus voi olla kaksikerroksinen ja enintään 9 metriä korkea. Kat-

tilahuone ja polttoainevarasto on erotettava toisistaan vähintään EI 30 -luokan vaatimukset täyttävällä seinällä. Kiinteän polttoaineen syöttölaitteistot eivät saa olennaisesti heikentää osastointia (Ympäristöministeriö 2005, 7–8.)

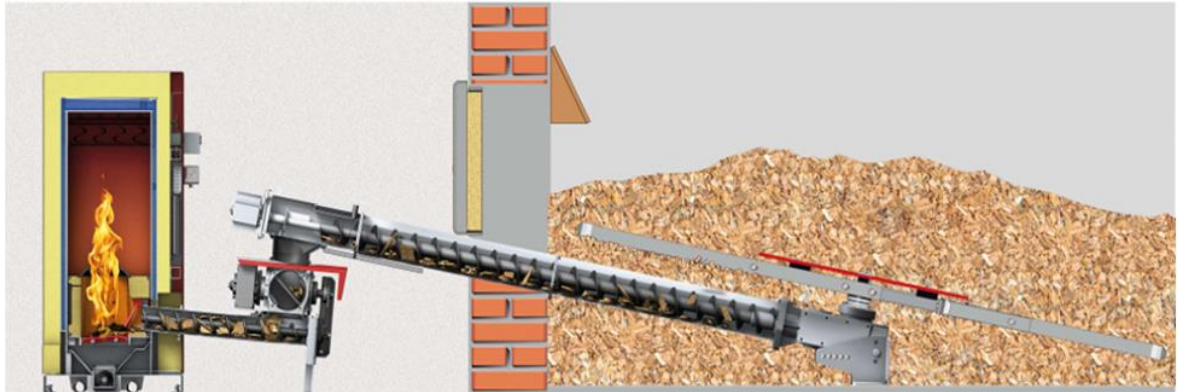
Käytännössä korjaamorakennuksen yhteyteen tehtävään kattilahuoneeseen on tehtävä kiviseinät ja betonikatto. Niiden ansiosta myös kattilahuoneen päälle pystytään rakentamaan esimerkiksi varastotilaa. Hakevaraston seinät voivat olla myös puurunkoisia ja paloeristävyys voidaan toteuttaa esimerkiksi kivivillalla ja cyprok-levyillä. Materiaalivalinnoissa tärkeintä on paloturvallisuuden täytyminen, rakentamisen helppous sekä materiaalien hinta. Hakevarastossa on kuitenkin oltava korkea betoninen kivijalka, jotta haketta voidaan siirtää traktorilla rakenteita rikkomatta.

3.4 Lämpökeskuksen teknologia

Biolämpökeskukset jakautuvat stokeripolttimiin ja purkainjärjestelmällä varustettuihin polttimiin. Stokeripolttimet ovat syöttölaite-poltin -yhdistelmiä ja ne on varustettu pienehköllä käsin tai etukuormaimella täytettävällä, teräksisellä polttoainesäiliöllä. Polttoainesäiliön on oltava ilmatiivis takapalojen estämiseksi. Polttoainesäiliön purkaimelta polttoaine kulkee siirtoruuvia pitkin lämpökattilan tulipesässä sijaitsevalle palopäälle. Stokeripolttimilla voidaan polttaa erilaisia biopolttoaineita, kuten haketta, pellettiä, turvetta, purua ja brikettiä. Jotkin biopolttoaineet vaativat kuitenkin liikkuvan arinaisen palopään. (Biolämmitys 2017.) Stokeripolttimissa polttoaineena voidaan käyttää myös viljaa tai sen lajittelujätettä (Viirimäki ym. 2008, 7).

Purkainjärjestelmällä varustettua järjestelmää käytetään yleensä polttoaineenkulutuksen ollessa suurta. Siihen kuuluu lämpökattila, syöttölaitteisto sekä jousi-, tanko- tai kolapurkaimella varustettu polttoainevarasto. Järjestelmässä polttoaine kulkeutuu varastossa olevan purkaimen avulla siirtoruuville, joka kuljettaa sen syöttöjärjestelmälle. Syöttöjärjestelmä kuljettaa polttoaineen automaattisesti polttimelle (Kuva 2). Paloturvallisuussyistä syöttölaitteistossa on joko sulkusyötin tai pudotuskuilujärjestelmä, joka sijaitsee syöttöruvin ja siirtoruvin välissä. Niiden avulla palon eteneminen polttoainevarastoon voidaan estää. (Biolämmitys 2017.) Sulkusyöttimessä on yleensä ristikko, joka jakaa sulkusyöttimen lokeroihin. Pyöriessään sulku-

syötin syöttää polttoainetta siirtoruuvilta syöttöruuville. Ristikko on mitoitettu runkoon siten, että estää ilman liikkumisen kattilalta polttoainevarastoon ja täten myös takapalon.



Kuva 2. Hakkeen kulku varastosta kattilaan. (Hargassner 2017, 24).

Takapalotilanteessa tuli liikkuu hitaasti kattilasta kohti hakevarastoa. Tällöin savu-kaasut eivät kulkeudu savupiippuun vaan hakevarastoon ja pahimmillaan jopa sytyttävät hakevaraston palamaan. Tällainen tilanne voi tapahtua esimerkiksi sähkökatkon aikana. Takatulen estämiseksi järjestelmässä tulee olla vähintään kaksi toisistaan riippumatonta turvajärjestelmää. Näitä ovat esimerkiksi sammutusjärjestelmä ja sulkusyötin. Sammutusjärjestelmä on syöttöruuviin liitetty vesilinja, joka päästää vettä syöttöruuviin, mikäli syöttöruuvin lämpötila nousee liian korkeaksi. (Tukes 2017.) Sammutusjärjestelmä ei vaadi toimiakseen sähköä, jolloin se toimii myös mahdollisissa sähkökatkotilanteissa.

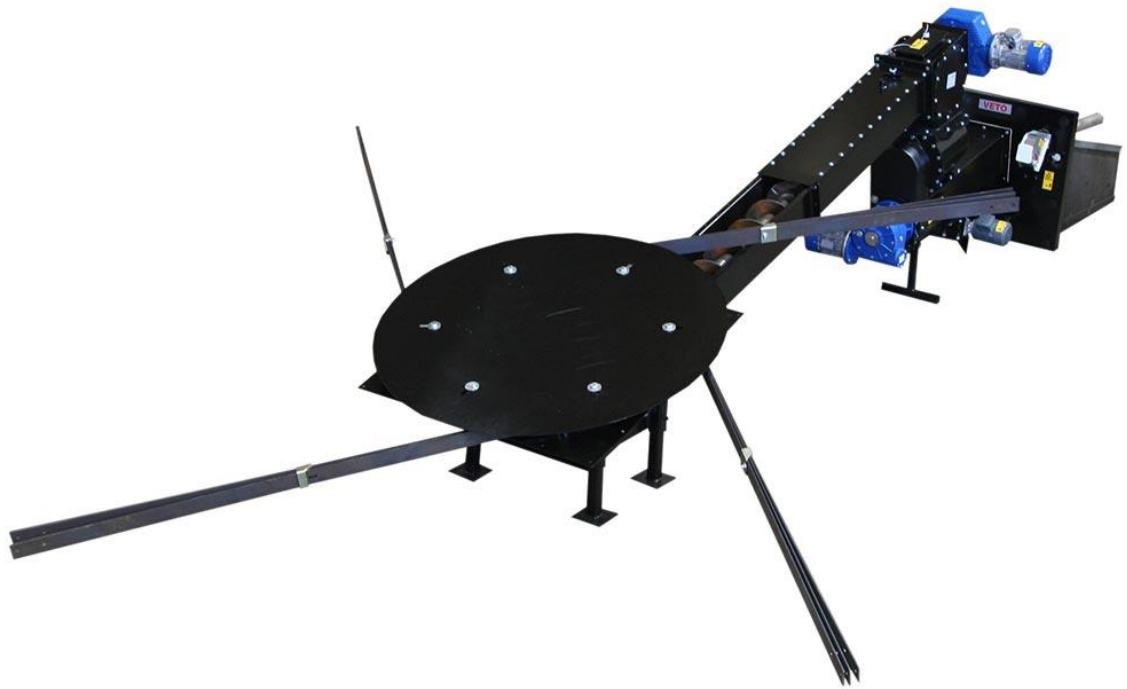
Sekä stokeripolttimissa, että purkainjärjestelmällä varustetuissa polttimissa hyödynnetään automaatiota. Käytännössä automatiikka syöttää haketta polttimeen tarpeen mukaan, aina kun edellinen hake on palanut riittävästi. Automaatiolla voidaan lisäksi hallita palotapahtumaa säätelämällä paloilman määrää. Myös tuhkanpoisto ja nuohous voidaan automatisoida.

Rakennettavan korjaamorakennuksen yhteyteen on mahdollista tehdä noin 5 m x 7–10 m, eli 35–50 m² suuruinen hakevarasto. Korkeutta kyseisellä varastolla on sama 5,2 metriä kuin korjaamorakennuksellakin. Varaston koko aiheuttaa rajoituksia purkaintyyppin valintaan. Seuraavassa luvussa on esitelty yleisimmät purkaintyyppit.

3.4.1 Purkaimet

Sopivan purkaimen valintaan vaikuttavat esimerkiksi käytettävissä oleva tila, olemassa olevien rakennusten hyödyntäminen, varastosiilon koko ja sen etäisyys kattilahuoneeseen. (Viirimäki ym. 2008, 12–19.) Pienimmissä, yleensä saavilla täytettävissä polttoainesäiliöissä purkainlaitteena toimii usein syöttölautanen. Se on asennettu jyrkkään kulmaan syöttöruuviin nähden, jotta se sekoittaa tehokkaasti säiliössä olevaa haketta ja varmistaa hakkeen kulun syöttöruuville. (Veljekset Ala-Talkkari 2017a.) Saavitäyttöistä stokeripoltinta ei ole edes tarjolla vaadittavassa kokoluokassa, mistä johtuen se ei ole vaihtoehto.

Keskikokoisissa hakevarastoissa voidaan käyttää jousipurkainta (Kuva 3). Siinä on keskellä pyörivä lautanen, johon on kiinnitetty yleensä 3 tai 4 kappaletta pitkiä jousiteräksestä valmistettuja kaapimia. Nämä kaapimet sekä lautanen pyöriessään siirtävät haketta siirtoruuville tarpeen mukaan. Jousipurkaimen halkaisija voi olla jopa viisi metriä. Tällöin hakesiilon tilavuus voi olla jopa 100 m³. (Veljekset Ala-Talkkari 2017b.) Osalla valmistajista on samalla periaatteella toimivia nivelvarsipurkaimia. Siinä kaapimet ovat varustettu jousikuormitteisilla nivelillä, jotka suoristuvat hakesiilon tyhjentyessä.

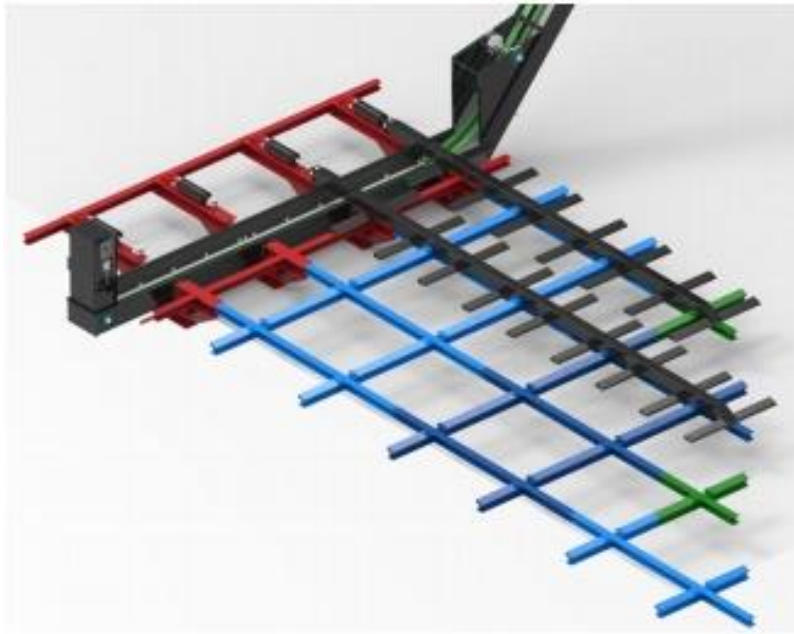


Kuva 3. Jousipurkain.
(Veljekset Ala-Talkkari 2017b).

Etuna jousipurkainjärjestelmässä on yksinkertaisuus, koska siinä on erittäin vähän rikkoutuvia osia, ainoastaan yksi kulmavaihte ja kaapimet sekä valmistajasta riippuen sähkömoottori. Järjestelmä ei myös välttämättä vaadi purkaimen alle erillistä lattiaa vaan purkainlaitteisto voi olla asennettu tasaiselle betonilattialle, jolloin purkain on vinoon lattiaan nähden (Kuvat 2 ja 3). Vinon pohjan puuttuminen mahdollistaa esimerkiksi kivien hautautumisen varaston pohjalla olevan hakkeen sekaan, jolloin ne eivät välttämättä kulkeudu syöttölaitteistolle. Laitteisto ei myöskään kestä traktorin painoa, joten varaston täyttämisen ja mekaanisessa tyhjentämisessä on varottava laitteiston rikkomista. Toisaalta laitteisto ei kuormita ympäröiviä seiniä, joten se ei aiheuta niille ylimääräisiä vaatimuksia.

Suurissa hakevarastoissa voidaan käyttää hydraulisesti toimivaa tankopurkainta (Kuva 4). Siinä metallista tehty, yleensä kolmion muotoiset tangot liikkuvat hydraulisesti edestakaisin ja siirtävät haketta varaston reunassa tai keskellä sijaitsevalle siirtoruuville. Tankojen muotoilun avulla vältetään polttoaineen liikkuminen pois päin syöttöruuvilta. (Biofire 2016.) Tankopurkainjärjestelmä on käytössä sekä

suurissa kaukolämpövoimaloissa että pienissä lämpökonteissa. Hakevaraston muodosta ja pohjamateriaalista riippuen purkainjärjestelmä kestää jopa yliajon. Tankopurkainjärjestelmän asentaminen on otettava huomioon jo rakentamisvaiheessa, koska se vaatii yleensä lattiavaluun upotettavat tartunnat. Lisäksi tankopurkainjärjestelmä on rakenteeltaan jousipurkainta monimutkaisempi, koska se sisältää enemmän liikkuvia osia ja hydraulikkaa. Toisaalta tankopurkainjärjestelmässä haketta ei tarvitse työntää purkaimelle, jolloin lämmitystyön tarve vähenee.



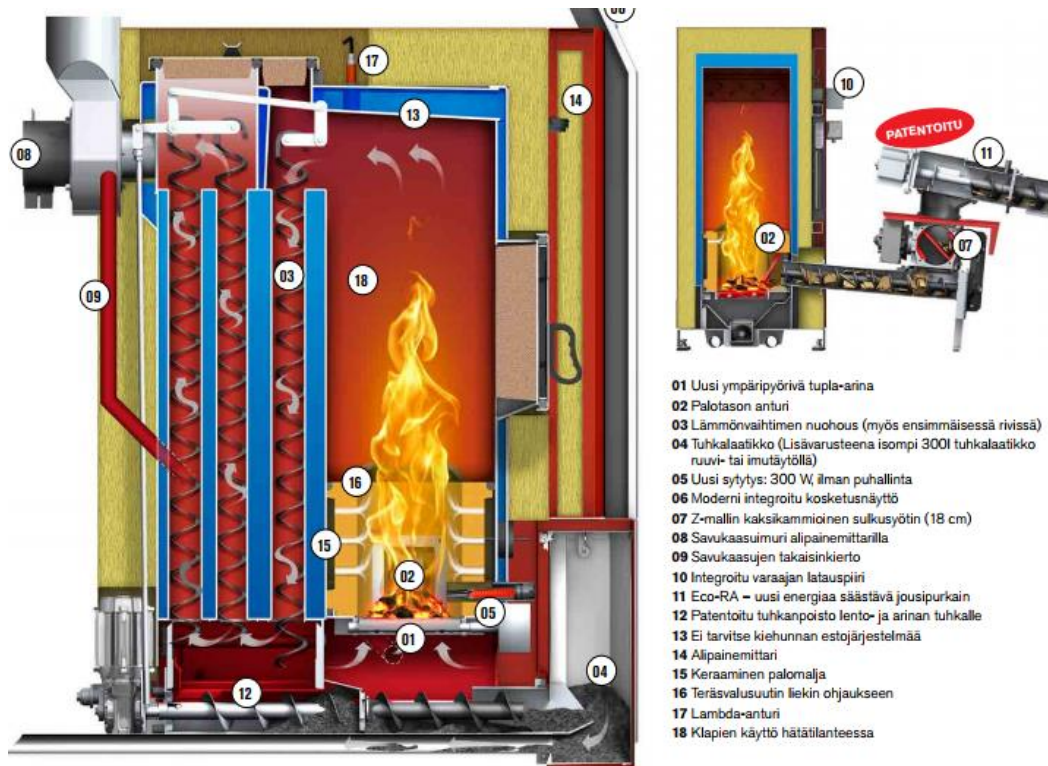
Kuva 4. Tankopurkaimen rakenne.
(Biofire 2016.)

Vaadittavan järjestelmän koosta sekä lämpökeskuksen tulevasta sijaintipaikasta johtuen lopulliseen tarjouskilpailuun valitaan jousi- ja tankopurkaimet. Niistä pyydetään alustavat tarjoukset investoinnin suunnittelua ja kannattavuuslaskelmia varten.

3.4.2 Kattila

Hakekattilan toimintaperiaate on sama valmistajasta riippumatta. Kuvassa 5 on esitetty Hargassner -merkkisen hakekattilan rakenne. Siirtoruuvi kuljettaa hakkeen hakevarastosta sulkusyöttimelle. Sulkusyötin estää paloilman pääsyn siirtoruuville ja estää siten mahdollisen takapalon leviämisen. Syöttöruuvi kuljettaa poltettavan hakkeen arinalle, jonka päällä se palaa. Arinalle johdettavan ilman määrää säätelemällä

voidaan palotapahtumaa säädellä. Mikäli kattila on varustettu liikkuvalla arinalla, ei arinaa tarvitse puhdistaa mekaanisesti. Arinalta palokaasut kulkeutuvat lämmönvaihdinputkiston ja savukaasuimurin kautta savupiippuun. Lämmönvaihdinputkiston konvektiopintojen takana on vesitila, johon savukaasujen sisältämä lämpöenergia johtuu. Lämmönvaihdinputkistot on nuohottava riittävän usein hyötysuhteen parantamiseksi. Siitä johtuen kattila on hyvä varustaa automaattisella nuohousjärjestelmällä. (Hargassner 2017, 15.)



Kuva 5. Hakekattilan rakenne.
(Hargassner 2017, 15).

Nykyaikainen hakekattila on usein varustettu automaattisella palotapahtuman säädöllä. Säätö perustuu yleensä erilaisiin antureihin, jotka mittavat kattilan ja savukaasujen lämpötilaa, sekä ns. lambda-anturiin, joka mittaa savukaasujen jännöshapen määrää. Niiden perusteella automatiikka osaa säätää kattilalle syötettävän ensiö- ja toisioilman määrää sekä polttoaineen määrää. Viirimäen ym. (2008, 22–23) mukaan liian suuri paloilmamäärä aiheuttaa piipusta nousevaa tummaa savua. Liian suuri palamisilmamäärä heikentää taas palamisen hyötysuhdetta ja nostaa savukaasujen lämpötilaa. Kun kattila on säädetty oikein, liekki on vaalea ja rauhallinen, eikä tuhkan seassa ole palamattomia hiiliä.

Tuhkanpoistoa varten hakekattiloissa on yleensä tuhkaruuvi, joka työntää kattilan pohjalle kertyneen tuhkan tuhkasäiliöön (Kuva 5). Tuhkasäiliön tyhjennysväli riippuu polttoaineesta. Yleensä tuhkasäiliö on mitoitettu riittämään useaksi viikoksi. Lisävarusteena järjestelmiin on saatavilla suurempia tuhkasäiliöitä, joiden tilavuus riittää jopa useiden kuukausien tarpeeseen. Suuri tuhkasäiliö vähentää lämmitystyön tarvetta.

3.4.3 CHP-teknologia

Yksi vaihtoehto tuottaa maatilan tarvitsema lämpö ja sähkö on pienimuotoinen CHP-laitos. CHP tulee sanoista combined heat & power, eli se tarkoittaa yhdistettyä lämmön ja sähkön tuotantoa. Teknologian avulla puuperäisestä polttoaineesta voidaan tehdä sähköä ja lämpöä maatilan tai teollisuuslaitoksen käyttöön ja myyntiin. Kyseisen teknologian käyttö pienessä mittakaavassa on vielä melko vähäistä. (Haavisto 2010, 1.) Teknologia voi perustua esimerkiksi kaasu- tai dieselmoottoriin, mikro- tai höyryturbiiniin tai -koneeseen tai Stirling-moottoriin. Pienessä kokoluokassa paras hyötysuhde saavutetaan polttoaineen kaasutuksella ja polttomoottorilla. Niiden sähköhyötysuhde on noin 25–40 % ja lämpöhyötysuhde 45–50 %. (Karjalainen 2012, 1–10.) Käytännössä CHP -teknologia vaatii erittäin tasaisen lämpötilan kulutuksen ympäri vuoden. Lisäksi CHP-teknologia vaatii huoltoa ja valvontaa huomattavasti tavanomaista hakelämpökeskusta enemmän, mistä syystä kyseistä vaihtoehtoa ei tutkittu lopullisessa investoinnissa.

3.5 Investoinnin kustannusarvio

Investoinnin kustannukset muodostuvat suunnittelu-, laitteisto-, ja rakentamiskustannuksista. Suunnittelukustannukset muodostuvat mm. rakenne-, lvi-, ja sähkösuunnittelusta. Laitteistokustannukset määräytyvät hankittavan laitteiston perusteella. Rakentamiskustannukset vaihtelevat lämpökeskuksen sijoittamisen sekä valittavan tekniikan perusteella. Rakentamiskustannuksissa on otettava huomioon myös lisäksi tarvittavan hakevaraston kustannukset. Sen kustannukset vaihtelevat

tarvittavan koon perusteella: esimerkiksi korjaamon yhteydessä olevaan lämpökeskukseen mahtuu useiden kuukausien polttoainetarve. Valmiiseen lämpökontiin mahtuu ainoastaan viikon polttoainetarve ja loput on oltava erillisessä varastossa.

Maatalousyrityksen energiantuotantoon, eli lämpökeskuksen rakentamiseen sekä aurinkosähkö tai -lämpöjärjestelmiin saa investointitukea 40 % investoinnin hyväksyttävistä kustannuksista. Mikäli korjaamorakennus rakennetaan konevarastona, saa siihen investointitukea 20 % hyväksyttävistä kustannuksista. Korkotukilainaa kyseisiin investointeihin ei ole mahdollista saada. Energiantuotannon investointeihin voi saada valtioneuvostolta korkeintaan 500 000 euroa, kuitenkin korkeintaan 30 % investoinnin kokonaisrahoituksesta. Rakennusinvestoinnissa investointituen minimimäärä on 7000 euroa. Kyseisiä tukia ei voi saada yksityistalouteen käytettävälle osuudelle. (Mavi 2017.) Maatalouden osuus investoinnista on siis oltava vähintään 17 500 euroa.

Koska investoinnin toteuttamisajankohtaa ei ole tiedossa, ei vielä pyydetä tarkkoja tarjouksia kaikilta valmistajilta vaan tarjouksilla pyritään lähinnä eri osien hintahaarukan ja kokonaisuuden kannattavuuden arvioimiseen. Lopulliset tarjoukset pyydettiin sekä valmiista lämpökeskuskontista että korjaamon yhteyteen rakennettavasta lämpökeskuksesta laitetoimituksena. Lämpökeskuskontin lisäksi on oltava erillinen hakevarasto, joka tehtäisiin nykyistä puuvarastoa remontoimalla. Remontin kustannuksiksi arvioitiin 10 000 euroa. Tarjoukset pyydettiin koko korjaamorakennuksesta hallitoimituksena, jotta rakennuksesta aiheutuvia kustannuksia pystyttiin arvioimaan mahdollisimman tarkasti. Autotallin yhteyteen tehtävästä lämpökeskuksesta ei pyydetty erillisiä tarjouksia eikä siitä täten tehty erillistä laskelmaa. Todennäköisesti sen kokonaiskustannukset ovat hyvin lähellä korjaamorakennuksen yhteyteen tehtävän lämpökeskuksen kustannuksia. Korjaamorakennuksesta tehtiin kannattavuuslaskelmat sekä lämpökeskuksen osasta että korjaamosta, mutta korjaamon kannattavuuslaskelmia ei käsitellä tässä työssä.

3.5.1 Lämpökontti

Valmiin lämpökontin ja siihen sisältyvien varusteiden hinnat on esitelty taulukossa 2. Kustannuksissa on otettava huomioon myös hakevaraston rakentaminen, koska

lämpökontissa olevaan hakevarastoon mahtuu alle viikon tarve. Hakevaraston rakentamisen kustannuksiksi on arvioitu 10 000 euroa. Koko lämpökeskuskontin hankinta-arvoksi on arvioitu yhteensä 77 246 euroa. Investoinnin kokonaiskustannukset ovat melko suuret. Lämpökanaalien hinnaksi on arvioitu 40 €/m ja tarpeeksi yhteensä 280 metriä.

Taulukko 2. Lämpökontin ja varusteiden hinnat, jäännösarvot sekä niistä aiheutuvat vuosittaiset kustannukset.

Laite / Rakennus	Käyttöikä	Hankinta-arvo	Jäännösarvo	Poisto / vuosi	Kunnossapito/vuosi
Lämpökontti	20	26098	1000	1255	130
Lämpökanaalit	30	11200	1500	323	56
Hakevarasto	20	10000	1000	450	50
Kattila	20	15638	0	782	391
Jousipurkain	20	11310	100	561	283
Lämminvesivaraaja	20	3000	0	150	75
YHTEENSÄ		77246	3600	3521	985

3.5.2 Autotallin yhteyteen

Autotallin yhteyteen rakennettavaa lämpökeskusta koskevat samat paloturvallisuusmääräykset, kuin korjaamorakennuksen yhteydessä olevaan lämpökeskukseen. Riittävän paloluokituksen omaavien rakenteiden tekeminen vanhan rakennuksen sisälle on kuitenkin haastavaa ja lisää rakentamiskustannuksia. Lämpökeskuksen rakentamisesta autotallin yhteyteen ei kysely tarkempia tarjouksia johtuen suunnittelun vaikeudesta. Autotallin yhteyteen tehtävästä lämpökeskuksesta ei tehty erillisiä kannattavuuslaskelmia, koska rakennuskustannukset eivät merkittävästi poikkea korjaamorakennuksen yhteyteen tehtävästä lämpökeskuksesta.

3.5.3 Korjaamon yhteyteen

Korjaamon tai autotallin yhteyteen rakennettavan lämpökeskuksen lämmityslaitteet voivat olla samat. Niiden arvot ovat esitetty taulukossa 3. Vaihtoehtojen vertailukelpoisuuden vuoksi kustannuksissa on otettu huomioon ainoastaan lämpökeskuksen osuus korjaamon rakennuskustannuksista. Kiinteiden rakenteiden, kuten lattian,

seinien ja katon kustannukset arvioitiin laskemalla koko rakennukselle neliöhinta, joka kerrottiin hakevaraston ja lämpökeskuksen pinta-alalla. Kyseiseen lukuun lisättiin noin 5000 euroa kattamaan esimerkiksi lämpökeskuksen vaatimat LVI ja sähkötyöt. Suunnittelussa on otettava huomioon, että lopulliset kustannukset selviävät vasta rakennuksen toteuttamisvaiheessa. Purkainlaitteistoksi laskelmaan valikoitui jousipurkain sen huomattavasti tankopurkainta edullisemman hinnan johdosta. Lämpökanaalien kustannuksiksi on arvioitu 40 €/m ja tarpeeksi yhteensä 220 metriä.

Taulukko 3. Korjaamon yhteydessä tehtävän lämpökeskuksen kustannukset

Laite / Rakennus	Käyttöikä	Hankinta-arvo	Jäännösarvo	Poisto / vuosi	Kunnossapito/vuosi
Lämpökeskus + hakevarasto	30	28000	3000	833	140
Lämpökanaalit	30	8800	0	293	44
Kattila	20	15638	0	782	391
Jousipurkain	20	11310	100	561	283
Lämminvesivaraaja	20	3000	0	150	75
YHTEENSÄ		66748	3100	2619	933

Korjaamon yhteyteen tehtävä lämpökeskus ei vaadi erillistä hakevarastoa, vaan tarpeen mukaan haketta voidaan varastoida jo olemassa olevissa rehusiloissa, osittain jopa säilörehun päällä. Rakennettavan korjaamorakennuksen verottomat kustannukset ovat noin 70 000 euroa ilman lämpökeskusta. Yhteensä koko investoinnin kustannukset ovat siis noin 110 000 euroa. Käytännössä korjaamossa on tehtävä huomattava määrä töitä ulkopuolisille, jotta sen rakentaminen on taloudellisesti mahdollista ja järkevää.

3.6 Investoinnin kannattavuuden tarkastelu

Lämpökeskuksen vaatimat investoinnit ovat melko suuria, joten niiden kannattavuus on laskettava tarkkaan. Maatalousyrityksessä on useita eri kokonaisuuksia jotka vaativat omia investointejaan, siitä johtuen käytettävissä olevat varat on käytettävä tarkkaan. Turhiin investointeihin ei ole varaa. Investointien kannattavuus analysoidaan usealla eri menetelmällä. Kalmarin (2006, 20) mukaan investointianalyseillä

pyritään löytämään paras tai parhaat investointikohteet pääomalle. Eri investointivaihtoehdoista kassavirtoja aiheutuu eri aikoihin eri summia. Kokonaisuutena kannattavin investointikohde onkin selvitettävä investointilaskelmien avulla.

3.6.1 Nykyinen lämmityskustannus

Investoinnin kannattavuuden arvioinnissa on tärkeää tietää nykyiset lämmityskustannukset mahdollisimman tarkasti. Lämmityksen kustannukset muodostuvat polttoaine- ja työkustannuksista sekä laitteiston huollosta ja kulumisesta aiheutuvista kustannuksista. Nykyisessä lämmityksessä suurin kustannus on työkustannus joh-tuen klapi-lämmityksen vaatimasta suuresta työmenekistä. Omakotitalojen lämmityksen työmenekki on arvioitu taulukossa 4. Päivien määrä jolloin lämpötila on ollut taulukon arvojen mukainen, on arvioitu Ilmatieteen laitoksen kahden lähimmän mit-tausaseman, eli Ulkokallan ja Ylivieskan lentoaseman vuoden 2017 säähavaintojen perusteella. Yhden lämmityskerran on arvioitu vievän aikaa 10 minuuttia.

Taulukko 4. Omakotitalojen lämmityksen työmenekki

Ilman lämpötila °C	lämmityskertoja/päivä		h/krt	päiviä/ vuosi	tuntia/ vuosi
	talo 1	Talo 2			
yli 15	0,3	0,3	0,2	51	6
yli 10	0,5	0,5	0,2	49	10
yli 0	2	2	0,2	177	142
0	2,5	2	0,2	2	1
alle 0	2,5	2	0,2	72	64
alle -10	3,0	2,5	0,2	16	17
YHTEENSÄ					240
Työnkäyttö			viikkoja	tuntia/vk	Yhteensä
Klapien heittäminen varastoon			2	10	20
Siirto kellariin					
-talvi			25	1,5	37,5
-kesä			17	0,25	4,25
-syksy			10	1,5	9
LÄMMITYSTYÖ YHTEENSÄ					311

Käytettävän polttopuun hinta on arvioitu ostorangan hinnalla, johon on lisätty klapien teosta ja kuljetuksesta aiheutuvat kustannukset (Taulukko 5). Klapien tekoon on arvioitu kuluvan vuodessa aikaa 15 tuntia ja teon verottomaksi tuntihinnaksi on arvioitu 60 €/h sisältäen traktorin, vanhan klapiin koneen sekä kahden yrittäjän palkan.

Taulukko 5. Käytettävän polttopuun arvon määrittely

Tuote	€/kiinto m3 ALV 0%	€/ i-m3 ALV 0%
Rankapuu (osto)	26	10,4
kuljetus	6	2,4
Klapien teko		12,2
YHTEENSÄ		25

Taulukossa 6 on arvioitu nykyisen lämmityksen muuttuvat kustannukset. Nykyiset lämmityskustannukset ovat erittäin suuret johtuen lämmityksen vaatimasta suuresta työmenekistä. Kahden talon lämmittämiseen polttopuilla kuluu vuodessa peräti 420 tuntia ja kun jokaiselle tunnille laskee yleisesti maatalouden kannattavuuslaskelmissa käytettävän 14,5 euron tuntipalkan, tulee työkustannukseksi jopa 6 090 euroa, eli lähes puolet lämmityksen kokonaiskustannuksista. Lämmitysöljyn hintana laskelmassa on käytetty hintaa 0,9 euroa/litra.

Taulukko 6. Nykyisen lämmityksen muuttuvat kustannukset

Paikka	kulutus, i-m3, l, h	hinta	yhteensä
Talo 1	39,3	25,0	983
Talo 2	34,4	25,0	860
Navetta	4400	0,9	3960
Työmenekki	311	14,5	4504
YHTEENSÄ € ALV 0 %			10307

3.6.2 Laskelmamenetelmät

Tässä työssä laskentamalleina käytetään takaisinmaksuajan menetelmää, sisäisen korkokannan menetelmää sekä nettonykyarvo-, eli NPV-menetelmää. Näistä takaisinmaksuajan menetelmä on lopputulokseltaan melko epätarkka, koska se ei huomioi rahan aikatekijää, eli sitä milloin kustannukset aiheutuvat ja lisätulot tulevat.

Siitä johtuen se ei kerro investointien absoluuttista kannattavuutta. Sisäisen korkokannan- ja NPV-menetelmä ottavat huomioon rahan aikatekijän ja ne ovat erittäin käyttökelpoisia investointien suunnittelussa. NPV-menetelmä onkin teoreettisesti paras ja suositeltavin menetelmä investointien kannattavuuden määrittämiseen.

3.6.3 Nettonykyarvomenetelmä eli NPV-menetelmä

Kaikista tarkin laskentamenetelmä on NPV-menetelmä, eli nettonykyarvomenetelmä. Siinä investoinnin tuottamat vuotuiset nettotuotot diskontataan nykyhetkeen käyttäen laskentakorkokantaa ja tuloksesta vähennetään investointikustannus. Jos investoinnilla on jokin jäännösarvo, se otetaan huomioon laskelmassa. (Niskanen & Niskanen 2007, 301.) Laskentakorkokanta määritellään vaihtoehtokustannuksen perusteella. Vaihtoehtokustannuksella tarkoitetaan sitä, kuinka suuri korkotuotto on mahdollista saavuttaa, jos investointiin käytettävät rahat sijoitettaisiin vaihtoehtoiseen, saman riskitason sijoituskohteeseen. Investoinnin nettonykyarvo lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\text{NPV} = -\text{investointikustannus} + \frac{C_1}{(1+r)} + \frac{C_2}{(1+r)} + \dots + \frac{C_n}{(1+r)} + \frac{S_n}{(1+r)}$$

Kaavassa osoittajana oleva nettotuotot saadaan vähentämällä investoinnista saatavista vuotuisista tuloista siitä aiheutuvat vuotuiset kustannukset, esimerkiksi huoltokustannukset. Kyseinen luku jaetaan laskelmassa käytettävällä korkokannalla r lisättyä yhdellä. Esimerkiksi mikäli laskentakorkokanta on 4 %, on jakajana 1,04.

Investointi on kannattava, jos NPV on positiivinen. Jos NPV jää negatiiviseksi, vaihtoehtoisesta sijoituskohteesta saadaan suurempi pääoman tuotto kuin toteuttamalla investointi.

3.6.4 Sisäisen korkokannan menetelmä

Sisäisen korkokannan menetelmä kertoo sen, kuinka korkea tuotto investoidulle pääomalle saadaan. Siinä etsitään se korkokanta, jolla investoinnin nettonykyarvo

on nolla. Mitä korkeampi korko sijoitetulle pääomalle saadaan, sitä tuottavampi investointi on. Jos sisäinen korkokanta on vähintään yhtä suuri kuin pääoman tuotto-vaatimus, on investointi kannattava. (Kalmari 2006, 21.)

Sisäisen korkokannan laskemiseen tarvittava kaava on sama kuin NPV-menetelmässä käytettävä kaava. Ainoastaan investointikustannus sijoitetaan yhtä kuin -merkin etupuolelle. Käytännössä sisäisen korkokannan laskeminen käsin on erittäin työlästä, mistä johtuen kyseiset laskelmat on tehty Excel-ohjelmalla, koska siihen on ohjelmoituna valmis funktio sisäisen korkokannan laskemista varten. Käytännössä laskelmaan tarvitaan ainoastaan tiedot investoinnin käyttöiästä ja sen aiheuttamasta nettokassavirrasta eri vuosina.

3.6.5 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmä kertoo, että missä ajassa investointi ”tienaakaan itsensä”. Siinä lasketaan koska investoinnista aiheutuvat tulot tai säästöt ylittävät investoinnin hankintamenon. Takaisinmaksuaika on laskettu kaavalla
$$takaisinmaksuaika = \frac{\text{hankintameno}}{\text{polttoaine- ja työkustannusten säästö}}$$
. Takaisinmaksuaika ei ota huomioon rahan aika-arvoa, eli sitä milloin tulot ja menot ajoittuvat. Siitä johtuen se on huono mittari investoinnin todellisen kannattavuuden arviointiin.

3.7 Investointilaskelmat

Investointilaskelmissa on otettu huomioon järjestelmästä koituvat kustannukset. Korjaamorakennuksen yhteyteen tehtävästä lämpökeskuksesta on otettu huomioon lämpökeskuksen osuus rakennuksesta ja vaadittava laitteisto. Lämpökontin osalta on huomioitu kontin hankintahinta, vaadittavat pohjatyöt sekä vanhasta rakennuksesta remontoitavan hakevaraston aiheuttamat kustannukset. Lisäksi molemmat vaihtoehdot sisältävät tarvittavat lämpökanaalit yms. kytkennät.

NPV- ja sisäisen korkokannan -menetelmien lähtötietona käytetyt summat esitetään taulukossa 7. Jäännösarvossa on otettu huomioon kiinteiden rakennusten sekä läm-

pökanaalien lämmityslaitteita pidempi käyttöikä. Lisäksi investoinnin kokonaiskustannuksista on vähennetty maatalouden osuudelle saatava 40 % investointituki. Maatalouden osuutena investoinnista on käytetty 60 %, jolloin investointituki on korjaamorakennuksen yhteydessä noin 16 000 euroa ja lämpökontilla noin 18 500 euroa. Tuen lopullinen osuus selviää investointitukihakemuksen jälkeen, kun lopulliset hyväksytyt kustannukset ovat selvillä. Jäljelle jäävä osuus on investoinnin todellinen hankintameno. Laskelmassa tulona on käytetty investoinnin myötä saatavia polttoaine- ja työkustannusten säästöä. Laitteiston teho ja varustelutaso on kummassakin vaihtoehdossa sama.

Taulukko 7. Korjaamon yhteyteen rakennettavan ja erillisen lämpökontin NPV- ja sisäisen korkokannan kaavojen lähtötiedot.

Lämpökeskus korjaamon yhteyteen	
Investoinnin hankintameno ALV 0 %	50729
Investoinnin arvioitu käyttöaika	20
Vuotuiset muuttuvat kustannukset ALV 0%	933
Polttoaine ja työkustannusten säästö ALV 0%	5631
Arvioitu jäännösarvo ALV 0 %	14267
Korkovaatimus	4 %
Lämpökontti ja erillinen hakevarasto	
Investoinnin hankintameno ALV 0 %	58729
Investoinnin arvioitu käyttöaika	20
Vuotuiset muuttuvat kustannukset ALV 0%	985
Polttoaine ja työkustannusten säästö ALV 0%	4856
Arvioitu jäännösarvo ALV 0 %	6833
Korkovaatimus	4 %

Taulukossa 8 on esitetty hakelämpölaitoksen kannattavuuslukemat NPV, sisäisen korkokannan ja takaisinmaksuajan menetelmillä laskettuna. NPV-menetelmässä on laskettu yhteen hakelämmitysjärjestelmän tuomat, nykyhetken rahaksi diskontatut, vuotuiset polttoaine- ja työkustannusten säästöt yhteen. Säästöissä on otettu huomioon laitteiston huollosta ja korjauksesta aiheutuvat muuttuvat kustannukset. Lisäksi laskelman viimeisenä vuotena on tuloutettu niiden kiinteiden rakennusten, joilla on vielä käyttöikä jäljellä, sen hetkiset jäännösarvot viimeisen laskelmavuoden tuloksi. Hakkeen veroton hinta alueella on helmikuussa 2018 16–20 €/i-m³ (Tuominen 2018). Laskelmassa hakkeen hintana on käytetty 20 €/i-m³. Taulukon tietojen perusteella investointi on kannattava. Investoinnin kannattavuus perustuu

lämmityksen työmenekin vähenemiseen, jolloin työpanos voidaan käyttää lämmittämistä tuottavampaan työhön tai se lisää yrittäjien vapaa-aikaa. Sijoitetulle pääomalle saatava korko on korjaamon yhteyteen rakennettavalle lämpökeskukselle peräti 6,86 %, erilliselle lämpökeskuskontille 5,27 %. Kummatkin ylittävät laskelmakorkokannan, eli investointiin sijoitetulle pääomalle saa vähintään sille vaaditun koron.

Taulukko 8. Hakelämpökeskuksen kannattavuuslaskelmat

	Korjaamon yhteyteen Osto hake	Lämpökontti Osto hake	yksikkö
NPV	15354	7194	Euroa
sisäinen korko:	6,86 %	5,27 %	%
takaisinmaksuaika	9,5	12,1	Vuotta

Lopputuloksena laskelmat osoittavat, että lämpökeskuksen rakentaminen on kannattavaa. Maatalousyrittäjät saavat investointiin käytettävälle pääomalle haluamansa koron. Lisäksi takaisinmaksuaika on kohtuullinen, alle puolet järjestelmän käyttöiästä. Korjaamon yhteyteen rakennettava lämpökeskus tulee valmista lämpökonttia edullisemmaksi. Tämä johtuu osittain lämpökontin vaatimasta suuremmasta työmenekistä, kun haketta täytyy siirtää lämpökeskukseen lähes viikoittain. Investoinnin kannattavuus on käytännössä jopa vielä parempi, koska suuri osa hakkeesta saadaan maatalousyrittäjien omasta metsästä ja se on yleensä kustannuksiltaan hieman ostohaketta edullisempaa. Oman hakkeen hintaa ei tässä opinnäytetyössä lähdetty kuitenkaan tarkemmin arvioimaan.

Laskelmassa on otettu huomioon ainoastaan lämpökeskuksen osuus korjaamoraennuksesta. Korjaamoraennukselle onkin tehtävä erilliset kannattavuuslaskelmat ja verrattava niitä erilliseen hakevarastoon ennen varsinaista investointipäätöstä. Käytännössä korjaamolle on löydettävä riittävästi tuottavaa käyttöä, ennen kuin sitä kannattaa rakentaa. Tätä on esimerkiksi koneiden korjaaminen muille tai korjaamon ajoittainen vuokraaminen.

4 AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN

Aurinkoenergian hyödyntämisessä tärkeintä on kulutuksen ja tuoton ajoitus. Mikäli energiaa joudutaan varastoimaan, kustannukset nousevat. (Erat ym. 2008, 162.) Käytännössä aurinkoenergian varastointiin vaadittava teknologia on vielä kehitysteella, eivätkä aurinkokennoja myyvät yritykset usein edes tarjoa varastointijärjestelmiä.

Aurinkoenergian suuresta määrästä johtuen sen hyödyntäminen on järkevää. Helppointa hyödyntäminen on uudisrakennuskohteissa, joissa aurinkoenergia voidaan ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi valoa läpäisevien materiaalien valinnalla voidaan vähentää lisävalaistuksen tarvetta varsinkin kevät- ja kesäaikaan.

4.1 Aurinkoenergia

Aurinko on suurin maapallolle kohdistuva energialähde. Sen tuottama tehovirta on noin 20 000 kertaa suurempi kuin maailman teollisuuden ja lämmityksen käyttämä teho. Aurinkoenergian määrää kuvaa käsite aurinkovakio. Se on auringon säteilyä vastaan kohtisuoraan asennetulle 1 m² suuruiselle pinnalle sekunnissa kohdistuva säteily ilmakehän pinnalla. Suuruudeltaan se on 1,35–1,39 kW. Välittömällä aurinkovakiolla tarkoitetaan maan pinnalla olevalle 1 m² suuruiselle alalle sekunnissa kohdistuva tehovirta, joka on 0,8–1,0 kW. (Erat ym. 2008, 10–11.)

Ilmakehä vaikuttaa auringonsäteilyn määrään ja luonteeseen. Suora auringonsäteily on ilmakehän läpi suoraan tullutta säteilyä. Ilmakehän molekyylien ja pilvien heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastunutta hajasäteilyä kutsutaan hajasäteilyksi. Siihen sisällytetään yleensä myös ns. vastasäteily, joka on ilmakehän vesihöyryn, hiilidioksidin ja otsonin aiheuttamaa säteilyä jotka säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle. Pilvisyydestä riippuen hajasäteilyn osuus voi vaihdella 20 % ja 80 % välillä valon kokonaismäärästä. Pohjois-Suomessa noin puolet auringon kokonaissäteilystä on hajasäteilyä, Etelä-Suomessa hieman vähemmän. Keski-Suomessa vuosittainen kokonaissäteilyenergia vaakasuoralle pinnalle on noin 900 kWh/m². (Erat ym. 2008, 12–13.)

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää joko passiivisesti, eli esimerkiksi rakennuksen sijoittamisella aurinkoiseen paikkaan tai aktiivisesti eli erilaisella laitteistolla joka muuttaa aurinkoenergian joko lämmöksi tai sähköksi. Laitteistot voidaan jakaa sähköä tuottaviin aurinkopaneeleihin ja lämpöä tuottaviin aurinkokeräimiin.

Aurinkoenergiaa keräävän järjestelmän sijoittamisessa tärkeintä on valita paikka, johon aurinko paistaa mahdollisimman pitkään, eikä järjestelmä jää missään vaiheessa varjoon. Käytännössä sopiva sijoituspaikka on yleensä rakennuksen katon etelänpuoleinen lape. Keräimet toimivat parhaiten mahdollisimman lämpimässä ja tuulettomassa paikassa. Koko vuoden tuoton optimoimiseksi järjestelmän sopiva kallistuskulma on noin 45 astetta. (Erat ym. 2008, 83–84.)

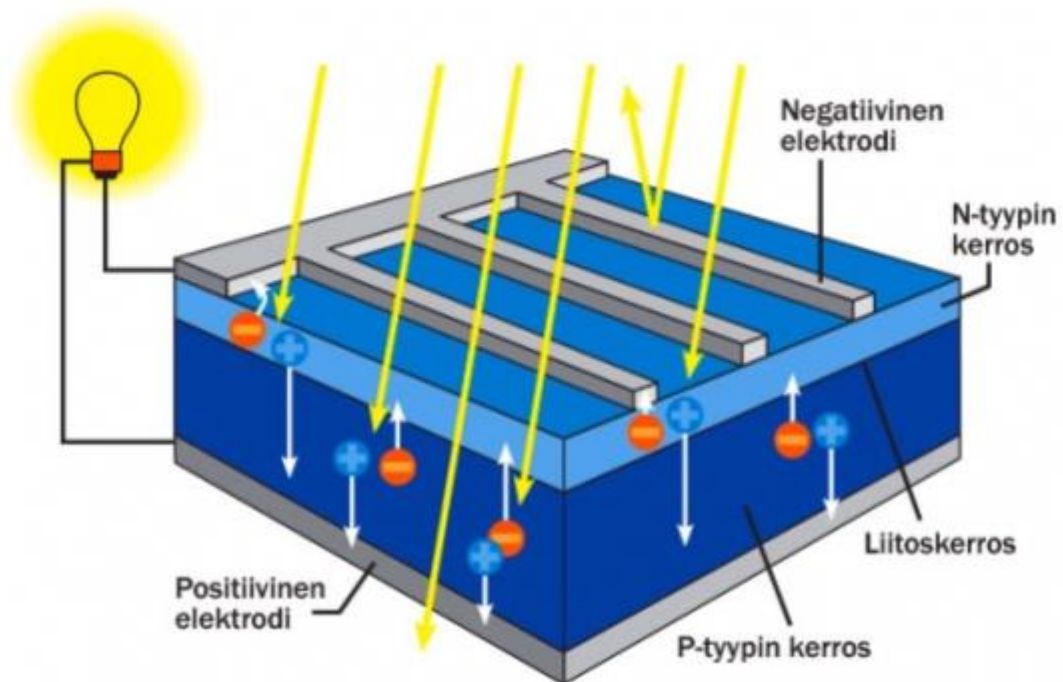
4.2 Aurinkosähkö

Rakennusten verkkoon kytketyissä järjestelmissä tarvitaan paneelien lisäksi tehonsäätöyksikkö, eli invertteri ja kaksisuuntainen sähkömittari. Invertterin avulla aurinkokennojen tuottama noin 30 voltin tasavirta muutetaan sopimaan yhteen rakennuksen muun sähköjärjestelmän kanssa. Kaksisuuntaisen sähkömittarin avulla voidaan mitata rakennuksen kuluttama, aurinkopaneelien tuottama sekä verkosta otettu sähkö. (Erat ym. 2008, 134.)

Aurinkosähköjärjestelmän ensisijainen tehtävä on tuottaa sähköä rakennuksen omiin tarpeisiin. Paneelien tuottama mahdollinen ylijäämä sähkö myydään sähköverkkoon. Vastaavasti rakennuksen mahdollisesti tarvitsema lisäsähkö ostetaan normaalisti sähköverkosta. (Erat ym. 2008.)

Aurinkosähköjärjestelmässä aurinkokennon tarkoituksena on muuttaa auringon säteilyn sisältämä energia sähköenergiaksi. Aurinkopaneeli koostuu kahdesta tasaisesta puolijohdekerroksesta, joiden välillä on rajapinta (Kuva 6). Aurinkokennot ovat valmistettu kiteisistä, monikiteisistä tai amorfisesta piistä. Amorfista piitä käytetään lähinnä ohutkalvopaneeleissa. Aurinkosähkön tuotanto perustuu ns. valosähköiseen ilmiöön. (Erat ym. 2008, 120–124.) Valo muodostaa puolijohdemateriaalissa elektroni-aukkopareja. Elektronit kulkeutuvat negatiiviselle elektrodille ja aukot positiiviselle. Siitä muodostuu sähkövirtaa. Yksi aurinkokenno tuottaa noin 0,5 voltin

jännitteen, siksi aurinkopaneeleissa on kytketty useita kennoja sarjaan, jolloin saadaan aikaan noin 30 voltin jännite. (Ahjo energia 2018.)

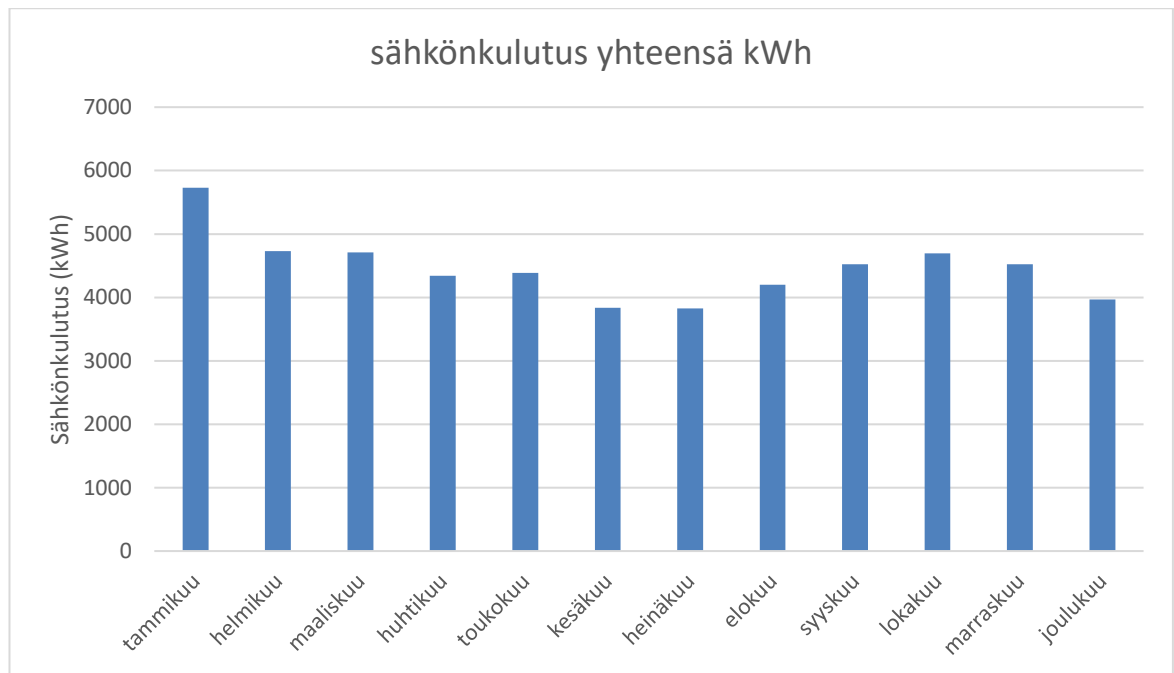


Kuva 6. Aurinkokennon rakenne (Ahjo Energia 2018).

4.2.1 Järjestelmän mitoittaminen

Aurinkosähköjärjestelmän oikea mitoittaminen on erittäin tärkeää investoinnin kannattavuuden kannalta. Järjestelmän tuottama sähkö on pystyttävä käyttämään mahdollisimman tarkkaan hyödyksi. Tämä johtuu siitä, että myytäessä sähköä saadaan huomattavasti pienempi hinta kuin ostetun sähkön kokonaishinta joka sisältää siirtomaksut ja sähköveron. (Niemi 2017.) Maatalousyrityksen tämänhetkinen sähkönhinta on 4 snt/kWh ja normaaliajan siirtomaksu sekä sähkövero yhteensä 3,9 snt/kWh. Käytännössä ostosähkön arvonlisäveroton hinta on noin 7,9 snt/kWh. Mikäli aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä enemmän kuin navetta kuluttaa, saadaan kyseisestä sähköstä ainoastaan noin 4 snt/kWh myyntisopimuksesta ja sähköyhtiöstä riippuen.

Järjestelmän mitoittamisen apuna käytettiin tietoa maatalousyrityksen sähkönkulutuksesta vuonna 2017. Kuukausittainen sähkönkulutus on vaihdellut kesäkuun noin 3800 kWh:n ja tammikuun 5700 kWh:n välillä (Kuvio 1). Käytännössä auringonsäteily ja täten myös järjestelmän tuotto on suurinta kesällä, jolloin järjestelmän mitoitus kannattaa tehdä kesäajan sähkönkulutuksen perusteella.

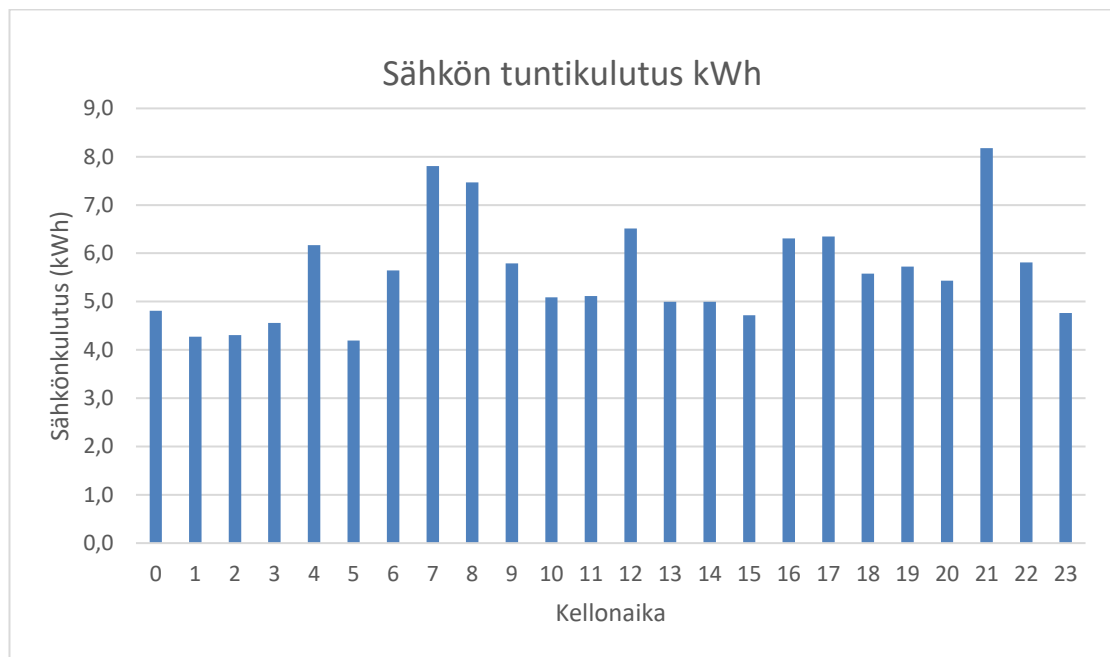


Kuvio 1. Sähkönkulutus kuukausittain vuonna 2017.

Aurinkopaneelien teho ilmoitetaan yleensä nimellistehona kW_p . Se tarkoittaa sitä tehoa jonka paneeli tuottaa, kun auringon säteilyenergia on 1000 W/m^2 ja se kohdistuu kohtisuoraan paneeliin. Käytännössä Suomessa säteilyteho on tätä pienempi, joten paneelien tuottama teho jää nimellistehoa alhaisemmaksi. Etelä-Suomessa auringon säteilyteho on keskipäivällä enimmillään noin 800 W/m^2 (Niemi 2017.) Siitä johtuen järjestelmällä saavutetaan parhaimmillaan alle 80 % teho järjestelmän nimellistehosta.

Järjestelmän mitoittamisessa hyödynnettiin navetan tuntikohtaista sähkönkulutusta valoisimpana aikana, eli välillä 1.4–31.8 2017 (Kuvio 2). Navetan sähkönkulutuksen keskiteho on noin 6 kW. Mikäli aurinkosähkijärjestelmän todellinen teho on 80 % nimellistehosta, on sopiva järjestelmän koko $6 / 0,8 = 7,5 \text{ kW}_p$. Käytännössä maatalousyrityksen sähkönkulutuksen uskotaan hieman lisääntyvän tulevaisuudessa

korjaamorakennuksesta ja lämpökeskuksesta johtuen, päädytään kysymään tarkempi tarjous noin 10 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmästä. Tällöin myyntiin menevän sähkön määrä on kohtuullinen ja järjestelmässä on hieman varaa myös tulevaisuudessa mahdollisesti kasvavalle sähkönkulutukselle. Vertailun vuoksi laskelmat tehtiin myös isommalle, noin 18 kW_p:n järjestelmälle. Lisäksi laskelmassa on otettu huomioon, että paneelien tuottama teho alenee 0,5 % per vuosi.



Kuvio 2. Navetan keskimääräinen sähkönkulutus tunneittain huhti-elokuussa 2017.

4.2.2 Aurinkosähkön tuotot ja kustannukset

Aurinkosähköjärjestelmän kustannukset muodostuvat suunnittelu, hankinta ja asennuskustannuksista. Laitteiston huoltokustannukset ovat erittäin pienet koska kuluvia osia on vähän ja järjestelmän kestoikä on pitkä. Aurinkokennoille luvataan jopa 30 vuoden käyttöikä. Käytännössä suurimmat huoltokustannukset muodostuvat invertterin vaihdosta, mutta senkin käyttöikä on noin 15 vuotta. Järjestelmän aiheuttamat kustannukset ovat siis pääsääntöisesti kiinteitä kustannuksia, jotka syntyvät laitteiston hankinnasta ja asennuksesta. Suuret järjestelmät ovat yleensä suhteessa halvempia kuin pienet järjestelmät. Tässä laskelmassa olevan, noin 10 kW_p:n nimellistehoisen järjestelmän arvonlisäveroton hinta asennettuna on noin 1 250 €/kW_p. Suuremmissa järjestelmissä hinta laskee jopa 250 €/kW_p pienemmäksi.

4.2.3 10,8 kWp:n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus

Aurinkosähköjärjestelmän tuotot arvioitiin järjestelmän kokonaistuoton ja sähkön hinnan perusteella. Taulukossa 9 esitetään 10,8 kWp:n nimellistehoisella järjestelmällä saatava sähkö Kalajoella kuukausitasolla. Luvut on laskettu Euroopan komission ylläpitämällä laskurilla joka ottaa huomioon järjestelmän nimellistehon, sijainnin kartalla sekä suuntauksen (European Commission 2001–2012). Tämän perusteella järjestelmän vuotuinen kokonaistuotto on noin 8 270 kWh. Laskelmassa järjestelmän kokonaishäviöiksi on arvioitu 23,7 %.

Taulukko 9. 10,8 kWp aurinkojärjestelmän sähköntuotto kuukausittain Kalajoella. (European Commission 2001–2012).

Kiinteä asennus: Kallistus=30°, Suunta=45°				
Kuukausi	E_d	E_m	H_d	H_m
Tammikuu	3.47	108	0.39	12.2
Helmikuu	11.80	331	1.31	36.6
Maaliskuu	22.10	685	2.51	77.9
Huhtikuu	37.30	1120	4.41	132
Toukokuu	44.00	1360	5.40	167
Kesäkuu	45.30	1360	5.67	170
Heinäkuu	41.80	1290	5.32	165
Elokuu	31.10	964	3.89	121
Syyskuu	19.60	589	2.37	71.0
Lokakuu	9.78	303	1.14	35.4
Marraskuu	3.36	101	0.39	11.6
Joulukuu	1.62	50.3	0.20	6.05
Vuotuinen keskiarvo	22.6	689	2.76	83.8
Yhteensä vuodessa		8270		1010
<i>E_d</i> : Järjestelmän päivittäinen sähköntuotanto (kWh)				
<i>E_m</i> : Järjestelmän kuukausittainen sähköntuotanto (kWh)				
<i>H_d</i> : Keskimääräinen päivittäinen säteilyteho neliömetrille (kWh/m ²)				
<i>H_m</i> : Keskimääräinen säteilyteho yhteensä neliömetrille (kWh/m ²)				

Taulukossa 10 esitetään kannattavuuslaskelman lähtötiedot 10,8 kWp:n suuruiselle aurinkosähköjärjestelmälle. Investoinnin hankintamenossa ei ole otettu huomioon mahdollisia avustuksia. Maatalousyrittäjien on mahdollista saada investointitukea aurinkosähköjärjestelmän hankkimiseen 40 %, mutta investointituen vähimmäis-summa on 7000 euroa eikä se tässä tapauksessa täyty. Lasketussa tuotossa on oletettu että 98 % sähköstä menee omaan käyttöön ja loput myyntiin. Myytävän sähkön hinnaksi on arvioitu 4 snt/kWh.

Taulukko 10. 10,8 kWp:n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskelman lähtötiedot

Aurinkosähköjärjestelmä	
Investoinnin hankintameno ALV 0 %	13500
Investoinnin arvioitu käyttöaika	30
Vuotuiset muuttuvat kustannukset ALV 0%	14
Tuotto kWh/vuosi	8270
Tuotto keskimäärin €/vuosi	605
Arvioitu jäännösarvo ALV 0 %	100
Korkovaatimus	4 %

Taulukossa 11 on esitetty 10,8 kWp:n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta kuvaavat tunnusluvut. Laskelmat on tehty sekä nykyisellä sähköhinnalla että oletuksella 2 %:n sähköhinnan vuosittaisesta noususta. Nykyisellä sähkön osto- ja myyntihinnalla sijoitetulle pääomalle saa ainoastaan 1,44 % koron. Mikäli sähkön hinta nousee 2 % joka vuosi seuraavan 30 vuoden ajan, sijoitetulle pääomalle saatava korko on 3,62 %. Se ei täytä investoinnille asetettua 4 % korkovaatimusta, eli investointi ei ole kannattava ja NPV on negatiivinen. Järjestelmän takaisinmaksuaika on nousevallakin sähköhinnalla peräti 16,9 vuotta, eli yli puolet järjestelmän käyttöiästä. Laskelmassa on otettu huomioon, että paneelien tuottama teho alenee 0,5 % vuosittain.

Taulukko 11. 10,8 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus.

Aurinkosähkö	Nykyinen sähkönhinta	Sähkönhinta nousee 2 % per vuosi
Tehon heikkenemä/vuosi	0,5 %	0,5 %
NPV	-37410	-665
Sisäinen korko	1,44%	3,62%
Takaisinmaksuaika	22,3	16,9

4.2.4 18kW_p:n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus

Vertailun vuoksi laskelmat tehtiin myös suuremmalle, nimellisteholtaan noin 18 kW_p:n järjestelmälle. Kyseinen kokoluokka valikoitui sen perusteella, että sille on mahdollista saada investointitukea 40 % investointikustannuksista, jolloin maatalousyritykselle maksettavaksi jäävä osuus ei merkittävästi muutu pienempään järjestelmään verrattuna. Toisaalta tällöin sähköä tulee myös myyntiin huomattavasti enemmän. Lisäksi suurempi järjestelmä on suhteellisesti pienempää edullisempi, järjestelmän kustannukset ovat noin 1200 €/kW_p. Taulukossa 12 on esitetty 18 kW_p:n järjestelmän kannattavuuslaskelmien lähtötiedot. Tuotoissa on oletettu, että 15 % järjestelmän tuottamasta sähköstä menee myyntiin. Järjestelmän kokonais-tuotoksi arvioitiin 13 800 kWh/vuosi.

Taulukko 12. 18 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskelmien lähtötiedot

Aurinkosähköjärjestelmä	
Investoinnin hankintameno ALV 0 %	12960
Investoinnin arvioitu käyttöaika	30
Vuotuiset muuttuvat kustannukset ALV 0%	22
Tuotto kWh/vuosi	13800
Tuotto keskimäärin €/vuosi	943
Arvioitu jäännösarvo ALV 0 %	100
Korkovaatimus	4 %

Taulukossa 13 on esitetty 18 kW_p:n järjestelmän kannattavuustiedot. Niistä nähdään, että 40 % investointituen ansiosta aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus paranee huomattavasti pienempään järjestelmään verrattuna. Sijoitetulle pääomalle

saatava korko on nykyisellä sähköhinnallakin peräti 5,88 % ja nousevalla sähköhinnalla jopa 8,34 %, joka on jopa kaksinkertainen 4 % laskentakorkokantaan verrattuna. Käytännössä 18 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmä on investointina erittäin kannattava. Laskelmassa on otettu huomioon, että paneelien teho heikkenee 0,5 % vuodessa.

Taulukko 13. 18 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmän kannattavuustiedot.

Aurinkosähkö	Nykyinen sähkönhinta	Sähkönhinta nousee 2 % per vuosi
Tehon heikkenemä/vuosi	0,5 %	0,5 %
NPV	3310	8432
Sisäinen korko	5,88 %	8,34 %
Takaisinmaksuaika	13,7	10,4

Taulukossa 14 on esitetty vertailu 10,8 kW_p:n ja 18 kW_p:n järjestelmien kannattavuustiedot sähköhinnan noustessa 2 % vuosittain. Taulukosta voidaan havaita, että investointituen avulla on huomattavasti kannattavampaa hankkia riittävän suuri järjestelmä, jolloin sille on mahdollista saada investointitukea. Tällöin maatalousyritykselle kohdistuvat investointikustannukset säilyvät samana, mutta järjestelmästä saatavat tuotot lisääntyvät. Vaikka isommassa järjestelmässä sähköstä oletetaan menevän myyntiin peräti 15 %, on se huomattavasti pienä järjestelmää kannattavampi. 18 kW_p:n järjestelmällä sijoitetulle pääomalle saatava korko on yli kaksinkertainen pienempään, ilman investointitukea rakennettuun järjestelmään nähden.

Taulukko 14. 10,8 kW_p:n ja 18 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuksien vertailu.

Aurinkosähkö	10,8kWp järjestelmä	18 kWp järjestelmä
Tehon heikkenemä/vuosi	0,5 %	0,5 %
NPV	-665	8432
Sisäinen korko	3,62 %	8,34 %
Takaisinmaksuaika	16,9	10,4

4.3 Aurinkolämpö

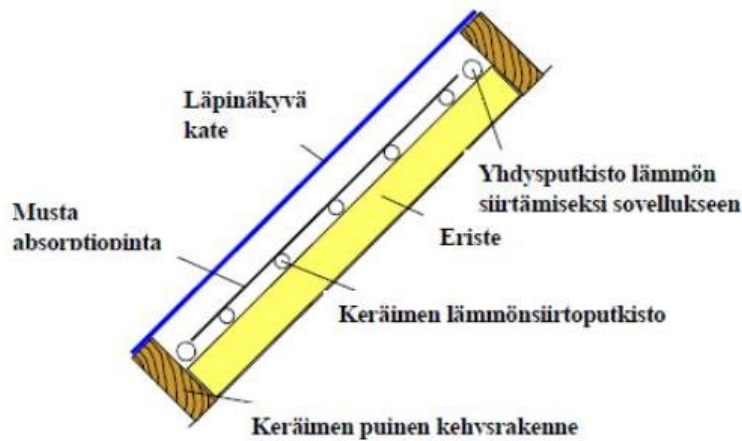
Aurinkolämpöjärjestelmillä on tarkoituksena hyödyntää auringon tuottamaa säteilyenergiaa rakennuksen tai käyttöveden lämmittämiseen. Koska navetta kuluttaa vuodessa huomattavia määriä lämmintä käyttövettä, lämmitysjärjestelmän uusimisen suunnittelussa päätettiin selvittää myös aurinkolämmön hyödynnettävyyttä lämpimän käyttöveden tuottamiseen.

4.3.1 Aurinkokeräin

Aurinkokeräimien tarkoituksena on kerätä auringonsäteilyä ja muuttaa se lämmöksi, jota voidaan hyödyntää rakennuksissa. Aurinkokeräimet käyttävät lämmönsiirtoaineena joko ilmaa tai yleisemmin nestettä. Nestekiertoiset aurinkokeräimet voidaan jakaa tasokeräimiin ja tyhjiöputkikeräimiin. (Erat ym. 2008, 72–75.)

Tasokeräimissä oleva tumma absorptiopinta lämpenee auringonsäteilyn vaikutuksesta ja siirtää lämmön alempana olevaan lämmönsiirtoputkistoon (Kuva 7). Putkistossa kulkevan nesteen tai ilman avulla lämpöenergia siirretään käyttöön tai varastoitavaksi esimerkiksi lämminvesivaraajaan. (Erat ym. 2008, 73-77.)

Tasokeräin

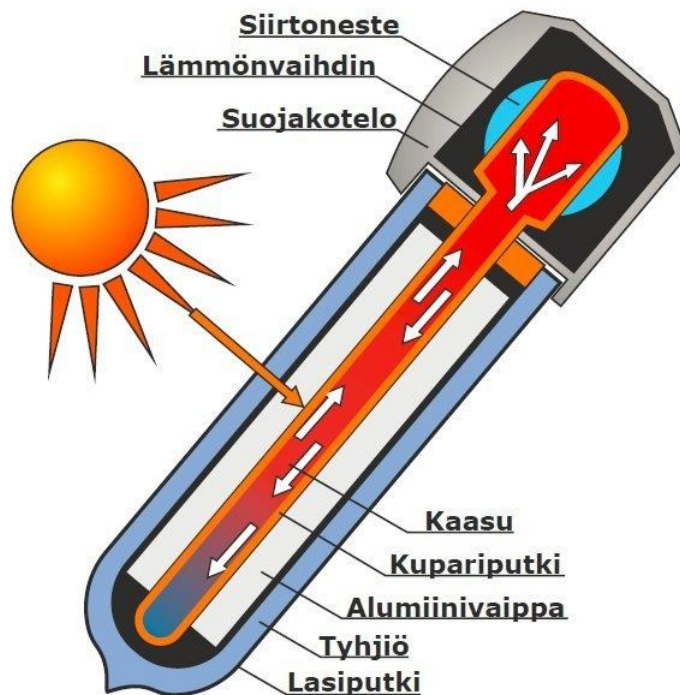


OULUN SEUDUN
AMMATTIKORKEAKOULU



Kuva 7. Tasokeräimen rakenne.
(Posio 2013.)

Tyhjiöputkikeräimet koostuvat lasisesta ulkokuoresta, ja tummasta, putkimaisesta absorboivasta pinnasta joiden välissä on tyhjiö (Kuva 8). Tyhjiö toimii eristeenä ja estää absorboidun lämmön karkaamisen takaisin ulkoilmaan. Absorboivan pinnan sisällä kulkee joko lämmönsiirtoneste, tai ns. heat-pipe ratkaisussa siellä on umpinaisessa putkessa oma, matalassa lämpötilassa höyrystyvä neste. Heat-pipe-ratkaisussa höyrystynyt neste kulkeutuu keräimen yläosassa sijaitsevaan lämmönsiirtimeen. Siellä höyry vapauttaa lämpönsä keruujärjestelmän lämmönsiirtonesteseen, tiivistyy takaisin nesteeksi ja putoaa umpinaisen putken pohjalle. Heat-pipe-järjestelmä koostuu useista sarjaan kytketyistä putkiloista, joissa kaikissa on oma höyrystyvä neste. (Erat ym. 2008, 73–75.)



Kuva 8. Tyhjiöputkikeräimen rakenne.
(Tulituote. [Viitattu 8.1.2018].)

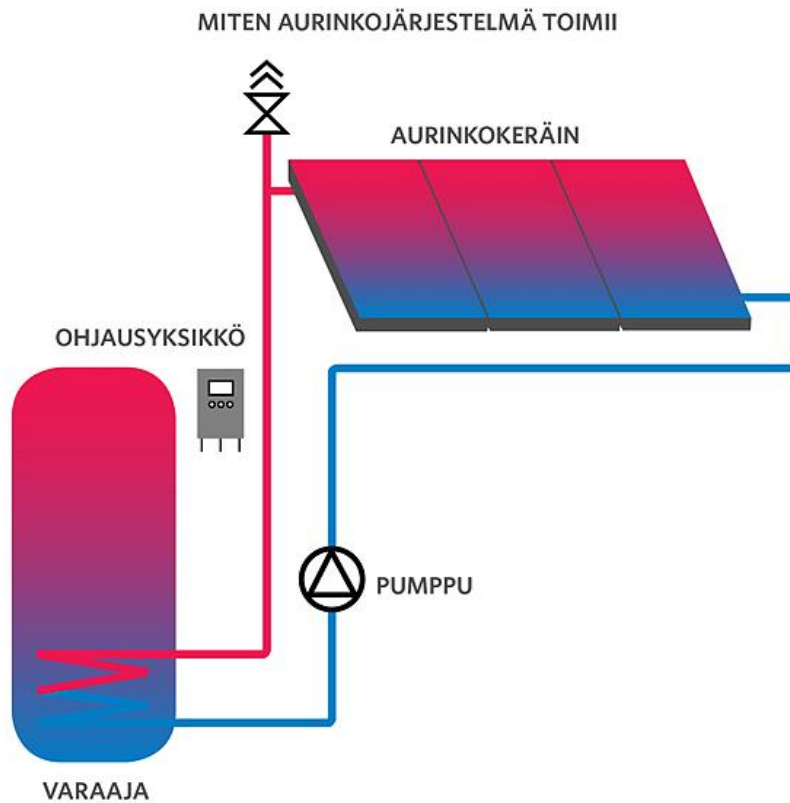
Aurinkokeräimissä lämmönsiirtonesteinä käytetään yleensä vettä, koska sillä on parhaimmat lämmönsiirto-ominaisuudet. Kylmissä olosuhteissa veteen joudutaan sekoittamaan propyleeniglykoliin pohjautuvaa jäänestoainetta järjestelmän jäätyksen estämiseksi. Se kuitenkin huonontaa veden lämmönsiirtokykyä. (Erat ym. 2008, 76.)

Aurinkokeräinjärjestelmän hyötysuhteeseen vaikuttavat useat eri tekijät, esimerkiksi keräinten suuntaus, keräävien pintojen laatu, lämmönsiirtoaineen ominaisuudet, käyttölämpötila, etäisyys varaajaan, lämmönsiirto-putkiston lämmöneristys, varaajan lämpötila, tarvittava lämpötila, ulkolämpötila, tuulisuus, auringon tulokulmat ja varjot. Käytännössä aurinkokeräinjärjestelmissä tulee käyttää mahdollisimman alhaisen lämpötilan sallivaa lämmönjakotapaa. Tyhjiöputkikeräimet ovat hyötysuhteeltaan tasokeräimiä parempia. Hyötysuhdetta voidaan parantaa esimerkiksi heijastimien avulla. (Erat ym. 2008, 80–83.) Jotkut valmistajat lupaavat tasokeräinten hyötysuhteeksi peräti 95 %. (Tulituote.com [Viitattu 21.3.2018]). Eräässä Tampereella tehdyssä simulaatiossa tasokeräinten vuosituotto vaihteli välillä 327–384 kWh/m²/vuosi

ja tyhjiöputkikeräinten vuosituotto 367–389 kWh/m²/vuosi. Heijastimilla varustetulla tyhjiöputkikeräimellä vuosituotto oli peräti 433 kWh/m²/vuosi. (Ympäristöenergia [Viitattu 21.3.2018].) Tästä voidaan päätellä, että parhailla tasokeräimillä päästään tyhjiöputkikeräimiä vastaavaan vuosituottoon. Heijastimet lisäävät tuottoa huomattavasti.

4.3.2 Aurinkokeräimien kytkeminen ja vaadittavat laitteet

Aurinkokeräimet kytketään käytettävään lämmitysjärjestelmään varaajan avulla (Kuva 9). Siinä lämminvesivaraajan alaosaan lähtevä lämmönsiirtoneste pumpataan siirtoputkistoa pitkin aurinkokeräimille. Keräimissä lämmennyt neste johdetaan takaisin vesivaraajan alaosaan. Lämmönsiirtonesteen kiertoa ohjataan erillisellä ohjauksyksiköllä. Aurinkokeräimien sijainti varaajan alaosaan mahdollistaa keräinjärjestelmälle alhaisen toimintalämpötilan, mikä parantaa järjestelmän vuotuista tuottoa. Mikäli lämminvesivaraajan alaosaan ei ole erillistä aurinkokeräimistöä, voidaan keräimiltä tuleva lämpöenergia johtaa vesivaraajaan erillisen lämmönvaihtimen avulla. Lisäksi järjestelmä tarvitsee paisuntasäiliön, joka ottaa vastaan veden tilavuuden vaihtelut. Lämminvesivaraajassa tulee olla tilavuutta 50–100 litraa per keräineliömetri. (Erat ym 2008, 96–109.)



Kuva 9. Aurinkokeräinjärjestelmän toiminta.
(Motiva 2018).

4.3.3 Investoinnin kustannukset ja kannattavuus

Aurinkolämpöjärjestelmän kustannukset koostuvat aurinkokeräimistä, lämminvesivaraajasta, tarvikkeista sekä asennuksesta. Vuotuiset kustannukset aiheutuvat vesipumpuista sekä laitteiston valvonta- ja huoltotöistä. Järjestelmän huollontarve on vähäinen, mutta keräimet voivat rikkoutua, jolloin yksittäisiä keräimiä joudutaan vaihtamaan uuteen. Esimerkijärjestelmän aktiivinen keräinpinta-ala on 26,4 m², eli siinä on 6 kpl tyhjiöputkikeräimiä sekä tarvittavat tarvikkeet. Kustannukset sisältävät 2500 litran lämminvesivaraajan kerätyn energian varastoinniseksi. Järjestelmän tuottotavoite on 12 000 kWh per vuosi. Tuotto perustuu myyjän arvioon ja on siten todennäköisesti optimistinen. Laskelmassa oletetaan, että järjestelmän tuottamalla energiamäärällä korvataan joko öljyä tai haketta. Taulukossa 15 on esitetty aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuuslaskelmien lähtötiedot.

Taulukko 15. Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuuslaskelmien lähtötiedot.

Aurinkolämpöjärjestelmä, tyhjiöputkikeräin 26,4 m ²		
	Korvaa haketta	Korvaa öljyä
Investoinnin hankintameno ALV 0 %	12500	12500
Investoinnin arvioitu käyttöaika	30	30
Vuotuiset muuttuvat kustannukset ALV 0%	113	113
Tuotto kWh/vuosi	12000	12000
Tuotto €/vuosi	282	1080
Arvioitu jäännösarvo ALV 0 %	0	0
Korkovaatimus	4 %	4 %

Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuutta on arvioitu kolmella eri menetelmällä, eli NPV-menetelmällä, sisäisen korkokannan menetelmällä ja takaisinmaksuajan menetelmällä. Taulukossa 16 on esitetty aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuutta kuvaavat tunnusluvut, kun järjestelmällä korvataan öljyä tai haketta. Tunnusluvuista käy ilmi, että aurinkolämpöjärjestelmän hankkiminen hakelämmityksen tukilämmitysmuodoksi ei ole kannattavaa. Mikäli aurinkolämmöllä korvataan lämmityksessä käytettävää öljyä, on investointi kannattava. Silloin investointiin sijoitetulle pääomalle saadaan korkoa jopa 6,6 %. Investoinnin takaisinmaksuaika korvatesa öljyä on 11,6 vuotta eli varsin kohtuullinen kun otetaan huomioon järjestelmän pitkä käyttöikä.

Taulukko 16. Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuutta kuvaavat tunnusluvut.

Aurinkolämpö	Korvaa haketta	Korvaa öljyä
NPV	-9563	4230
Sisäinen korko	-5,0 %	6,6 %
Takaisinmaksuaika	16,4	11,6

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Maatalouden taloudellisen tilanteen kiristyminen pakottaa maatalousyrityksiä kustannusrakenteen alentamiseen. Koska maatalousyrityksissä energiankulutus on suurta, käytettävän sähkön ja polttoaineiden hintojen- tai verotuksen muutokset lisäävät maatalousyritykselle aiheutuvia kustannuksia. Se on lisännyt maatalousyrittäjien kiinnostusta vähentämään yrityksen riippuvuutta ostoenergiasta. Lisäksi yrityskoon kasvaessa myös tarvittava työmäärä kasvaa. Siitä johtuen maatalousyrittäjien onkin kohdistettava käytettävissä olevat taloudelliset- ja työresurssit mahdollisimman hyvin tuottaviin kohteisiin. Sitä voidaan edesauttaa lisäämällä automaation määrää varsinkin paljon työaikaa kuluttavissa kohteissa.

Maatalousyrityksellä investointeihin käytettävissä olevat taloudelliset resurssit ovat rajalliset. Siitä johtuen tehtävien investointien on oltava taloudellisesti kannattavia, eikä virheinvestointeihin ole varaa. Kaikkea ei myöskään ole mahdollista tai järkevää hankkia yhtä aikaa. Siitä johtuen eri investointivaihtoehtoja on vertailtava tarkasti ja päätettävä kulloinkin järkevin investointikohde. Taulukossa 17 on esitetty tässä opinnäytetyössä käsiteltävien investointivaihtoehtojen kustannukset, tuotot sekä kannattavuusmittarit. Niiden pohjalta maatalousyrittäjien on mahdollista valita kannattavimmat investoinnit, jotka voidaan toteuttaa. Tehtyjen laskelmien perusteella maatalousyrityksen on kannattavinta rakentaa lämpökeskus tai hankkia 18 kW_p:n tehoinen aurinkosähköjärjestelmä. Aurinkolämpöön ei ole järkevä investoida, ainakaan mikäli hakelämpökeskus toteutuu, koska tällöin sijoitetulle pääomalle ei saada riittävästi tuottoa.

Taulukko 17. Eri investointivaihtoehtojen vertailu.

	Lämpökeskus		Aurinkosähkö		Aurinkolämpö	
	Korjaamon yhteyteen	lämpökontti	10,8 kWp	18 kWp	Korvaa haketta	Korvaa öljyä
Investointikustannus ALVO %	50729	58707	13500	12960	12500	12500
tuotto/säästö €/vuosi	4698	7194	605	943	282	1080
NPV €	15354	7194	-665	8432	-9563	4230
Sisäinen korko %	6,86 %	5,27 %	3,62 %	8,34 %	-5,03 %	6,60 %
Takaisinmaksuaika, vuotta	9,5	12,1	16,9	10,4	16,4	11,6

Tässä opinnäytetyössä tehtyjen selvitysten perusteella aurinkosähköjärjestelmän hankkiminen maatilalle on järkevää, mikäli sille on mahdollista saada investointitukea. Ilman investointitukea aurinkosähköjärjestelmä ei ole kannattavaa. Aurinkoenergian kannattavuus paranee tulevaisuudessa, mikäli sähkön hinta, siirtomaksut tai -verotus nousevat.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää maatilan energiaomavaraisuuden parantamista lämpökeskus- ja aurinkokennoinvestointien avulla. Lopputuloksena selvisi, että molempien investointien on mahdollista olla erittäin kannattavia. Molemissa tapauksissa sijoitetulle pääomalle on mahdollista saada yli 8 % korko. Opinnäytetyössä tarkastelluista investointivaihtoehdoista kannattavin oli rakentaa lämpökeskus korjaamon yhteyteen. Se ei kuitenkaan ole ihan täysin oikea vastaus, sillä laskelmissa korjaamoä käsitellään omana investointinaan. Käytännössä mikäli korjaamolle saadaan riittävästi tuottavaa käyttöä, on sen rakentaminen järkevää. Korjaamo-lämpökeskus-rakennuksen kokonaiskustannukset tarvittavine laitteineen nousee verottomana noin 130 000 euroon. Se lisää maatalousyrittäjän velkamäärää huomattavasti ja investoinnin riski on melkoinen.

Saatujen tulosten perusteella todennäköisesti toteutettavia investointeja ovat lämpökeskuskontti sekä aurinkokennot. Aurinkokennot ovat investointina kohtuullisen pieni, mutta niihin sijoitetulle pääomalle on mahdollista saada hyvä korko. Lisäksi se pienentää sähkön hinnanmuutosten aiheuttamaa riskiä ja helpottaa tulevaisuuden energiakustannusten arviointia. Lämpökeskuskontti ja erillinen hakevarasto ovat kokonaisinvestointina kohtuullisen suuria, mutta investointikustannus on huomattavasti pienempi kuin korjaamorakennuksella. Tällöin korjaamo saattaa jäädä rakentamatta, mutta maatalousyrittäjät aikovat selvittää mahdollisuutta korjaamotilojen vuokraamiseen ulkopuoliselta, jolloin siihen sidotun pääoman määrä säilyy kohtuullisena. Haketta polttoaineena käyttävän lämpökeskuksen myötä suuri osa maatalousyrittäjien lämmitykseen käytettävästä polttoaineesta on mahdollista saada maatalousyrittäjien omasta metsästä, joka on myös ympäristön kannalta hyvä ratkaisu. Samalla lämmitys muuttuu huomattavasti nykyistä automatisoidummaksi, jolloin lämmitystyön tarve vähenee ja työresurssia vapautuu muuhun käyttöön.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin toteuttamiskelpoiset investointisuunnitelmat ja -laskelmat. Lisäksi saatiin paljon tietoa lämmitys- ja aurinkoenergiajärjestelmien tekniikasta ja toiminnasta. Suurimpana hyötynä tulevaisuutta ajatellen oli kuitenkin rakennussuunnittelun harjoittelu ja todellisten tarjouspyyntöjen tekeminen käytännön esimerkkien avulla. Niistä on varmasti hyötyä sekä itselleni että maatalousyritykselle.

LÄHTEET

- Ahjo Energia. 2018. Aurinkopaneelien toiminta. [Verkkosivu]. Hirvensalmi: Kaup-pahuone Lampila. [Viitattu 3.3.2018]. Saatavana: <http://www.ahjoenergia.fi/index.php/periaatteet/aurinkopaneelien-toiminta>
- Biolämmitys. 2017. [Verkkosivusto]. Bioenergianeuvoja. [Viitattu 1.12.2017]. Saa-tavana: <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biolampolaitos/>
- Biofire. 2016. Pohjapurkain. Hydraulisilla tankopurkaimilla varustettu hakevaraston pohjapurkain. [Verkkosivu]. Saatavana: <https://www.biofire.fi/pohjapurkain>
- Elenia Aina. 2018. Kulutustiedot. [Verkkosivusto]. [Viitattu 26.2.2018]. Saatavana Elenia Aina -verkkopalvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Energia. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Biotalous. [Viitattu 5.1.2018]. Saata-vana: <http://www.biotalous.fi/energia/>
- Energia-arvot ja muuntokertoimet. 2017. [Verkkosivu]. Bioenergianeuvoja. [Viitattu 28.11.2017]. Saatavana: <http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/biopolttoainei-den-muuntokertoimia/>
- Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Au-rinko-opas: Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys.
- European Comission. 2001–2012. Perfonmance of Grid-connected PV. [Verk-kosivu]. Ispra: European Comission Joint Research Centre: Institute for Envi-ronment and Sustainability. [Viitattu 3.3.2018]. Saatavana: <http://re.jrc.ec.eu-ropa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- Haavisto, T. 2010. Puupolttoaineisiin perustuvat pien- CHP tekniikat. Selvitys hankkeeseen ”bioenergian tuotteistaminen liiketoiminnaksi”. [Verkkojulkaisu]. Joensuu: Wattson Tech. [Viitattu 28.11.2017]. Saatavana: http://www.kare-lia.fi/biostuli/materiaalit/Pien-CHP-katsaus_raportti_v11.pdf
- Hargassner. 2017. Hakekattilat: 6–330 kW. [Verkkoesite]. [Viitattu 17.1.2018]. Saatavana: <http://www.hargassner.fi/images/esitteet/Hake%20-330.pdf>
- Ilmatieteen Laitos. 2018. Havaintojen lataus. [Verkkosivusto]. [Viitattu 31.1.2018]. Saatavana: <http://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>
- Irena. 2015. Renewable power generation costs in 2014: Solar photovoltaics. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 5.1.2017]. Saatavana: http://www.irena.org/document-downloads/publications/irena_re_power_costs_2014_report.pdf

- Kalmari, J. 2006. Maatilakohtaisen biokaasuinvestoinnin kannattavuus suomalaisella sikatilalla. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Helsingin yliopisto taloustieteen laitos. Selvityksiä nro 42. [Viitattu 15.1.2017]. Saatavana: <http://www.helsinki.fi/taloustiede/Abs/Selv42.pdf>
- Karjalainen, T. 2012. Pienimuotoisen lämmön ja sähkön yhteistuotannon tilannekatsaus -laitteet ja niiden käyttöönotto. [Verkkajulkaisu]. Oulu: Cemis-Oulu. [Viitattu 28.11.2017]. Saatavana: <http://www oulu.fi/sites/default/files/content/files/Pien%20CHP%20raportti.pdf>
- Lappi, M. & Enroth, A. 2006. Bioenergian käyttö lämmityksessä: Lämpökeskuksen suunnittelu. Teoksessa: H. Luoma., S. Peltonen., J. Helin & H. Teräväinen. (toim.) Maatilyrityksen bioenergian tuotanto. Vantaa: ProAgria Maaseutukustusten Liitto. Tieto tuottamaan 115, 85.
- Mavi. 2017. Maatalouden investointituet. [Verkkosivu]. [Viitattu 31.1.2018]. Saatavana: http://www.mavi.fi/fi/tuet-ja-palvelut/viljelijä/maatalouden_investointituet/Sivut/maatalouden_investointituet.aspx
- Metsäkeskus. 2017. Energialaskuri. [Verkkosivusto]. [Viitattu 28.11.2017]. Saatavana: <http://www.halkoliiteri.com/?id=170>
- MML. Ei päiväystä. Karttapaikka. [Verkkopalvelu]. [Viitattu 10.1.2018]. Saatavana: <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>
- Motiva. 2018. Aurinkolämpöjärjestelmät. [Verkkosivu]. Viitattu 17.1.2018]. Saatavana: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat
- Niemi, A. 2017. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja kannattavuus maatilalla. [Verkkajulkaisu]. Lieksa: Pikes Poveria biomassasta -hanke. [Viitattu 3.3.2018]. Saatavana: <http://www.pikes.fi/documents/89838/0/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelm%C3%A4n+mitoitus+ja+kannattavuus+maatilalla+%282%29.pdf/6a699ad8-2c37-5d4e-3b9b-fba6f53191df>
- Niskanen, J. & Niskanen, M. 2007. Yritysrahoitus. 5. uud. p. Helsinki.
- Pohjoispää, M. 2012. Metsähakkeen energiasisältö ja siihen vaikuttavat tekijät. Tuottavuusvertailu kuljetusyrittäjittäin. [Verkkajulkaisu]. Evo: Hämeen ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 30.1.2018]. Saatavana: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38912/Pohjoispaa_Matti.pdf;jsessionid=0A468D2888B9A39FFB54F1E96C4F0284?sequence=1
- Posio, M. 2013. Aurinkoenergian mahdollisuudet. [Verkkoesitys]. Oulu: Oulun Ammattikorkeakoulu. [Viitattu 8.1.2018]. Saatavana: <https://www.sli-deserve.com/merton/aurinkoenergian-mahdollisuudet>

- Rakentaja.fi Ei päiväystä. Paloturvallisuusmääräykset ja – ohjeet vaikuttavat myös rakentamisessa. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 16.1.2018]. Saatavana: https://www.rakentaja.fi/artikkelit/8529/paloturvallisuusmaaraykset_ja_ohjeet.htm#
- Tukes. 2017. Kiinteän polttoaineen lämmityskattiloiden turvallisuus. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 26.2.2018]. Saatavana: http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/Kattilaopas.pdf
- Tulituote. Ei päiväystä. Aurinkokeräimet. [Verkkosivusto]. [Viitattu 8.1.2018]. Saatavana: <http://www.tulituote.com/tuotteet/vesikiertotuotteet/aurinkokeraimet/>
- Tuominen, T. 2018. Korjuu- ja energiapääällikkö. Metsänhoitoyhdistys Pyhä-Kala. Haastattelu. 12.2.2018.
- Veljekset Ala-Talkkari. 2017a. Lämmityslaitteet. [Verkkosivusto]. [Viitattu 11.12.2017]. Saatavana: <http://ala-talkkari.fi/lammitys/>
- Veljekset Ala-Talkkari. 2017b. Veto jousipurkain. [Verkkosivu]. [Viitattu 16.1.2018]. Saatavana: <http://ala-talkkari.fi/veto-jousipurkain-stokeri/>
- Valtioneuvoston kanslia. 2017. Ratkaisujen suomi: Puolivälin tarkistus. Hallituksen toimintasuunnitelma vuosille 2017–2019. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 5.1.2017]. Saatavana: http://vnk.fi/documents/10616/4610410/Toimintasuunnitelma+H_5_2017+280417.pdf
- Viirimäki, J., Hassinen, U., Kauppinen, V-P., Koskiniemi, E., Moilanen, P., Somerpalo, J., Turkia, K. & Vanhala, T. 2008. Maatilan hakelämmitys -opas. Lahti: Metsäkeskukset.
- Ympäristöenergia. Ei päiväystä. Teho ja tuotto. [Verkkosivu]. [Viitattu 21.3.2018]. Saatavana: https://www.energiakauppa.com/epages/energiakauppa.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014082005/Categories/Aurinkolaem-poe/Aurinkokeraein/Teho_ja_tuotto11413289651556
- Ympäristöministeriö. 2005. Ympäristöministeriön asetus kattilahuoneiden ja polttoainevarastojen paloturvallisuudesta. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 16.1.2018]. Saatavana: <http://www.finlex.fi/data/normit/28202-E9su2005.pdf>