



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
LUONNONVARA- JA YMPÄRISTÖALA

HAKELÄMMÖLLÄ SÄÄSTÖJÄ VILJANKUIVAUKSEEN – CASE NASKALIN TILA

TEKIJÄ: Perttu Perälä

Koulutusala Luonnonvara- ja ympäristöala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma	
Työn tekijä Perttu Perälä	
Työn nimi Hakelämmöllä säästöjä viljankuivaukseen – Case Naskalin tila	
Päiväys	26.4.2018
Sivumäärä/Liitteet	62/10
Ohjaajat Seppo Mönkkönen & Pasi Eskelinen	
Toimeksiantaja Jouko Perälä	
Tiivistelmä	
<p>Vilja on kuivattava 14 prosentin kosteuteen sen säilyvyyden takaamiseksi useiksi kuukausiksi. Suomessa keskimääräinen puintikosteus on 26 prosenttia. Kaikki Suomessa puitava vilja on kuivattava, mikäli ei käytetä vain rehuviljoille sopivaa tuoresäilöntää. Viljan kosteuspitoisuus johtuu Suomen pohjoisesta ilmastosta, sillä esimerkiksi Saksassa puitavasta viljasta kuivataan 20–40 prosenttia keskipuintikosteuden ollessa 16 prosenttia. Suomessa kuivattiin vuonna 2015 noin 3 800 miljoonaa kiloa viljaa. Määrän kuivaaminen vaatii laskennallisesti 96 miljoonaa litraa polttoöljyä, jonka arvo on 0,7 euron litrahinnalla 67 miljoonaa euroa. Suuri viljankuivaustarve heikentää suomalaisen kasvinviljelyn kilpailukykyä verrattuna Keski-Euroopan maihin ja aiheuttaa ilmastomuutosta vauhdittavia hiilidioksidipäästöjä. Uusiutuvia polttoaineita käyttämällä on mahdollista saavuttaa kustannussäästöjä viljankuivauksessa, jos uusiutuvan polttoaineen energiayksikköhinta on öljyä edullisempi. Samalla vähentyvät myös hiilidioksidipäästöt.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteina oli selvittää, miten olemassa olevan hakelämpöjärjestelmän avulla voisi saada säästöjä viljankuivaukseen case-tilalla ja millaisella laitteistolla lämpöenergia siirtyisi viljankuivurille. Lisäksi haluttiin selvittää, millaisia säästöjä hiilidioksidipäästöjen osalta muodostuisi vähentämällä fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Työn sisältö on tehty palvelemaan myös muita aiheesta kiinnostuneita case-tilan lisäksi.</p> <p>Tutkimuksessa on kerätty ja yhdistelty tietoa useista lähteistä, sillä valmista koontia aiheista ei ollut. Viljankuivauksen ja uusiutuvien polttoaineiden polton pohjatietojen selvittäminen alkuun auttoivat hahmottamaan mitä ja miksi tutkitaan. Työssä tehtiin asiantuntijahaastattelu kolmelle henkilölle, joilla oli kokemusta kuivurin hakelämpöjärjestelmästä, haastatteluja käytettiin pohjatietoina etenkin teknisiä ratkaisuvaihtoehtoja esitellessä.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena tehtiin kuivurin lisälämpölaskuri, jolla voidaan selvittää, kuinka paljon taloudellisesti kannattava lisälämpölaitteisto saa maksaa, kun olemassa oleva hakelämpöjärjestelmä valjastetaan korvaamaan öljyn polttamista viljankuivauksessa. Laskuri julkaistaan Maatila2020-sivustolla osoitteessa https://maatila2020.savonia.fi/energiälaskurit.</p> <p>Case-tilan lisälämpöjärjestelmä saataisiin toteutettua edullisimmillaan 5 000 eurolla. Järjestelmä olisi taloudellisesti kannattava halutuilla arvoilla, jos se maksaisi vain noin 1 800 euroa. Taloudellisista syistä järjestelmää ei kannata toteuttaa vielä. Jos hakkeen hinta säilyisi tasolla 19 euroa megawattitunti, mutta polttoöljyn hinta nousisi 0,7 eurosta 1,1 euroon olisi laitteiston toteuttaminen taloudellisesti kannattavaa 5 000 eurolla. Kannattavuuden katsottiin täten olevan hyvin riippuvainen vertailtavien polttoaineiden hintaerosta. Polttoöljyn hinnalle aiheuttaa nousupaineita varantojen ehtymisen lisäksi hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen pyrkivä politiikka, joten lisälämpölaitteiston toteuttaminen voi tulosten perusteella olla case-tilalla kannattavaa tulevaisuudessa. Hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää huomattavasti korvaamalla fossiilista polttoainetta uusiutuvilla. Case-tilalla voitaisiin vähentää hiilidioksidipäästöjä lisälämpölaitteiston ansiosta yhden henkilöauton 20 000 kilometrin hiilidioksidipäästöjen verran vuodessa.</p>	
Avainsanat energiankulutus, hake, hiilidioksidi, lämmitys, lämmönvaihdin, viljankuivaus, viljankuivurit	

Field of Study Natural Resources and the Environment			
Degree Programme Degree Programme in Agriculture and rural Industries			
Author(s) Perttu Perälä			
Title of Thesis Savings for grain drying with woodchip heating – Case Naskali farm			
Date	26.4.2018	Pages/Appendices	62/10
Seppo Mönkkönen & Pasi Eskelinen			
Client Organisation /Partners Jouko Perälä			
<p>Abstract</p> <p>Grain has to be dried to 14 percent moisture level to ensure the preservation for several months. In Finland an average humidity of the fresh yield is 26 percent. The whole grain harvest must be dried. Only some of the feed grain is preserved moist. The moisture level of fresh grain yield in Finland high is because of the northern climate. For example, in Germany the average fresh yield humidity is 16 percent and only 20–40 percent of yield must be dried. In 2015 there were 3 800 million kilograms of grain dried in Finland. Mathematically it takes 96 million liters of fuel oil to dry that amount of grain. That amount of fuel oil costs 67 million euros with the cost of 0,7 euro per liter. The high cost of grain drying is impairing Finland's competitiveness compared to Central European countries. It also causes carbon dioxide emissions which are one of the main reasons to climate change. With the use of renewable energy, it is possible to reduce costs and climate change.</p> <p>The aim of the thesis was to examine the basics of how to transfer heat energy from the existing woodchip heat system to a grain dryer and to study the economical side of this renewable energy system. Carbon dioxide calculation of this system was also included in the study. The study is made to serve everyone who is interested in this kind of system, not just for a case farm.</p> <p>Information for this thesis was collected from many sources, because there was no existing collection. The basics of grain drying and burning renewable energy were examined first to build the whole picture of the energy transfer system. Three interviews were made to specialists who have been using this kind of system. These interviews were important concerning the technical planning of the system.</p> <p>One of the results of this thesis was a calculator of extra heat transfer to a grain drier. The calculator tells how much this heat transfer system between the existing renewable energy system and the grain drier can cost to be economic. The calculator will be published on page https://maatila2020.savonia.fi/energiaskurit</p> <p>The heat transfer system of the case farm would cost at least 5 000 euro. The result from calculations was that it could cost only 1 800 euros to be profitable. The result was clear that the system should not be made because of economic reasons. It was calculated that if the woodchip price would stay on megawatt price of 19 euros, but the fuel oil price would increase from 0,7 euro to 1,1 euros it would be profitable to build the system with the price of 5 000 euros. This makes it clear that the profitability is especially dependent on the fuel price. There is high upward pressure on oil prices because of carbon dioxide emissions and decreasing oil reserves. Carbon dioxide emissions can be reduced by replacing fossil fuels by renewable fuels. On the case farm with the woodchip transfer system carbon dioxide emissions would be saved by 20 000 sedan kilometers.</p>			
<p>Keywords energy consumption, woodchip, carbon dioxide, heat exchanger, grain drying, grain driers</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	VILJAN KUIVAUS	11
2.1	Viljankuivaus Suomessa	12
2.2	Viljankuivauksen energiankulutus.....	13
2.3	Riihestä kuivuriin	14
2.4	Viljakuivurien toiminta	15
2.5	Jatkuvatoimisen kuivurin toiminta	17
2.6	Kuivauslämpötila.....	18
2.7	Viljakuivurin paloturvallisuus.....	21
3	UUSIUTUVAA LÄMPÖENERGIAA HAKEKATTILALLA	22
3.1	Kiinteät polttoaineet.....	23
3.1.1	Hake	24
3.1.2	Vilja	25
3.1.3	Pelletti.....	26
3.2	Hakekattilan paloturvallisuus	26
4	TAVOITE JA MENETELMÄT	27
4.1	Tutkimuksen laatu ja eettisyys.....	28
4.2	Case-tilan yleisesittely	28
4.3	Case-tilan hakelämpökeskus	29
5	TULOKSET	32
5.1	Kuivurin lisälämpölaskuri	32
5.2	Lisälämmön tekninen toteutus	34
5.2.1	Ensiöpiiri.....	35
5.2.2	Toisiopiiri.....	36
5.3	Case-tilan tulos.....	38
5.3.1	Tekniset ratkaisut.....	38
5.3.2	Tulokset laskennasta	40
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	42
7	POHDINTA.....	46
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	47

LIITE 1: ASIANTUNTIJAHAASTATTELUIJEN RAPORTOINTI, TILAT 1 JA 2.....	50
LIITE 2: ASIANTUNTIJAHAASTATTELUIJEN RAPORTOINTI, TILA 3.....	51
LIITE 3: HAKETEHO.....	52
LIITE 4: LÄMMITYSAIKA	53
LIITE 5: RADIAATTORITEHO.....	55
LIITE 6: LÄMPÖTILA ILMAN ÖLJYÄ	56
LIITE 7: SIIRTOPUMPPUTEHOT	57
LIITE 8: KUIVURIN NYKYTIEDOT JA HAKELAITOKSEN POHJATIEDOT	58
LIITE 9: KUIVATTAVAT MASSAT JA ÖLJYNKULUTUS ILMAN HAKETTA	60
LIITE 10: LAITTEISTON MAKSIMIHIINTA JA YMPÄRISTÖNSÄÄSTÖ.....	61

1 JOHDANTO

Viljankuivauksen energialähteenä käytetään Suomessa pääasiassa polttoöljyä. Viljankuivaus voi märkinä vuosina kuluttaa tilatasolla jopa enemmän suoraa energiaa kuin koko muu viljelyketju. Energialähteen vaihto fossiilisesta öljystä uusiutuvaan energiaan ei vähennä energian kulutusta, mutta voi tuoda taloudellisia säästöjä ympäristön säästämisen lisäksi. (ProAgria Keskusten Liitto, s.a.) Öljyn hinta on ollut viime vuosina epävakaa, ja tulevaisuudessa nousupaineita luo raakaöljyvarantojen vähentyminen (Öljy- ja biopolttoaineala ry, s.a.).

Tutkimuksen aiheeksi tarkentui toimeksiantajan ja ohjaajien kanssa käytyjen keskusteluiden myötä viljankuivauksen säästöihin hakelämmön avulla. Tutkimuksessa perehdytään toteutusvaihtoehtoihin käyttäen esimerkkinä case-tilaa. Tutkimuksessa keskitytään nimenomaan hakelämpöön ja vesikiertoiseen radiaattoriin perustuvaan ratkaisuun, sillä siihen sopivat puitteet löytyvät case-tilalta. Muita uusiutuvan energian ratkaisuja kuivurin ottoilman lämmitykseen olisivat olleet esimerkiksi ilmauuni ja aurinkolämpökeräin. Aihetta tutkitaan kirjallisuuslähtöisesti. Lisäksi otetaan huomioon asiantuntijoiden kokemukset tiloilta, missä on vastaava laitteisto käytössä. Asiantuntijahaastattelut selvensivät tutkijalle etenkin laitteiston teknistä toteutusta.

Toimeksiantajaa kiinnostaa toteutustapojen lisäksi toteutuksen taloudellinen kannattavuus. Tutkimuksen tuloksena luodaan kuivurin lisälämpölaskuri. Laskurin avulla voidaan hakea taloudellisen kannattavuuden raja-arvoja, sillä kannattavuuteen vaikuttavat paljon esimerkiksi polttoöljyn hinta, viljan kosteus ja määrät. Laskuri on merkittävä osa tutkimusta, sillä se antaa case-tilalle ja muille vastaavaa ratkaisua harkitseville selvän tiedon summasta, jolla järjestelmä pitäisi saada toteutettua, jotta järjestelmä on taloudellisesti perusteltavissa.

Tutkimuksen tavoitteina on selvittää yleisimmät vesikiertoiseen radiaattoriin perustuvat tekniset toteutusmahdollisuudet pääpiirteittäin ja selvittää laskurin avulla, kuinka paljon toteutus saisi case-tilalla maksaa. Yksi merkittävä motiivi tutkimukselle on maanviljelyn hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ympäristön säästämiseksi. Laskuri kertoo hiilidioksidipäästöjen vähentymismäärän lisälämpöjärjestelmän toteutuksen myötä.

Tässä tutkimuksessa käytetään yleiskielistä sanaa "lisälämpö". Sillä tarkoitetaan perinteisen viljankuivurin ulkopuolelta tuotua lämpöenergiaa. Perinteisenä viljankuivurina voidaan pitää yhdellä polttoaineella toimivaa kuivuria, yleisimpänä polttoaineena polttoöljy. Lisälämpötermillä ei tässä tutkimuksessa tarkoiteta tilannetta, jossa kuivurin lämpöenergiaa lisätään esimerkiksi hakelämpöä hyödyntäen, vaan hakelämmöllä on tarkoitus korvata osa öljyllä tuotetusta energiasta. Toinen yleistys on, että opinnäytetyössä käytetään yleiskielisesti vilja- termiä kattamaan kaikki puitavat siemenkasvit, kuten palko- ja öljykasvit.

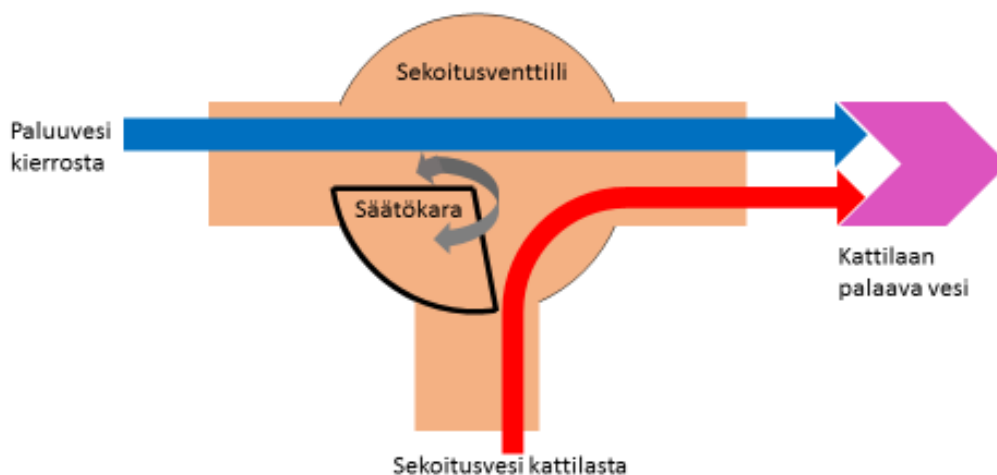
Tavoitteena on tehdä työ case-tutkimuksesta huolimatta mahdollisimman yleishyödylliseksi, mikä voi auttaa monia vastaavaa toteutusta suunnittelevia. Muita tutkimuksesta kiinnostuneita voivat olla esimerkiksi LVI-alan toimijat ja komponenttien myyjät. Työn osiot 2 ja 3 antavat pohjatiedot viljan-kuivauksesta ja hakelämmityksestä. Tulokset osio summaa kerättyä tietoa teknisistä toteutusvaihtoehdoista ja laskurin tuloksista. Alla on avattu työn ymmärtämisen kannalta keskeisiä käsitteitä.

Radiaattori eli lämmönvaihdin on metalleista valmistettu putkien ja lamellien yhdistelmä, joka lisälämpöjärjestelmän tapauksessa sijoitetaan tiiviisti kuivurin ottoilma-aukkojen eteen siirtämään lämpöä radiaattorista kiertävästä vedestä sen läpi imettävää ilmaan. Radiaattorin lämpötilaa, ja tätä kautta tehoa ylläpidetään halutulla tasolla veden lämpötilaa ja kiertonopeutta säätämällä. Kuvassa 1 radiaattori asennettuna kuivurin ottoilma-aukolle. (Bio-Expert Oy, s.a.)



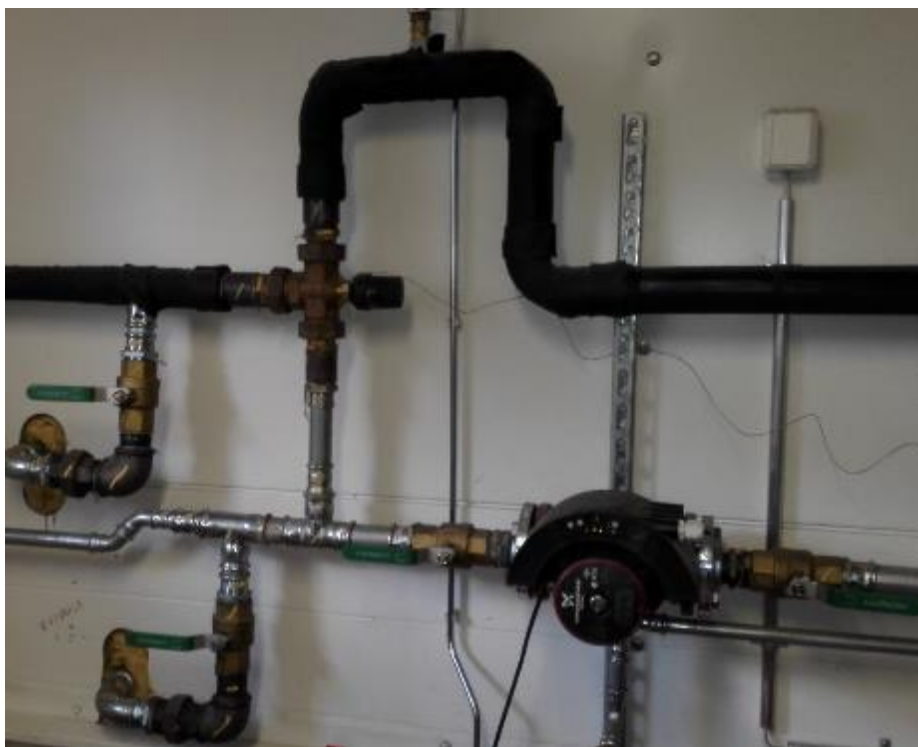
KUVA 1. Viljan-kuivurin ottoilmaa lämmittävä radiaattori. Uuni sijaitsee oikealla. (Perälä, 2018)

Suntti eli sekoitusventtiili on kolme- tai neliteinen venttiili, jolla sekoitetaan kahden tien kautta tulevaa erilämpöistä vettä ennalta määrätyllä tai säädettävällä suhteella yhteen tai kahteen lähtötiehen. Täten sekoittamalla pyritään saamaan lähtevien haarojen veden lämpötila halutulle tasolle, toimintaa selittää kuvio 1. (Vevxe Oy, 2016, s. 2.) Sekoitusventtiili voi olla myös automaattiohjattu, jolloin karan moottori säätelee tulovesien sekoitussuhteen vastaamaan lähtevän veden termostaattiarvoa (Wexon Oy, s. 1). Kuvassa 2 nähdään sekoitusventtiili asennettuna ylempään eristettyyn mustaan lähtölinjaan. Osa lähtevästä kuumasta nesteestä sekoitetaan varaajalta kiiltävää putkea pitkin palaavaan veteen, jolloin sen lämpötilaa saadaan nostettua kattilan toiminnan kannalta sopivammalle tasolle.



KUVIO 1. Säätoventtiilin toimintaperiaate, esimerkkinä kattilan palaavan veden lämpötilan hallinta

Kiertovesipumppu on lämpimän veden kierrättämiseen tarkoitettu pumppu, joka voidaan asentaa meno- tai paluuviesilinjaan. Ennen käyttöönottoa pumppu ja verkosto on täytettävä vedellä ja poistettava ilma ennen ja jälkeen pumpun asennuksen. (Talotekniikan opetussivusto, s.a.) Kuvan 2 oikeassa alakulmassa nähdään kiertovesipumppu kiiltävään paluulinjaan asennettuna.



KUVA 2. Sunttausventtiili ja kiertovesipumppu asennettuina (Perälä, 2018.)

Stokeripoltin on ilmatiiviiseen polttoainesiihon, ruuvikuljettimen ja kattilan tulipesään sijoittuvan palopään yhdistelmä. Polttoaineena useimmiten hake, jonka olisi hyvä olla kosteudeltaan alle 30 %. Kuvassa 3 nähdään stokeripoltin. (Viirimäki, 2008.) Vasemmalla seinän takana sijaitsee ilmatiivis varastosiiho, sieltä syöttölaite syöttää haketta ruskeaa neliskulmaista syötintä pitkin hakkeen palopäälle, joka sijaitsee Veto-kattilan sisällä.



KUVA 3. Stokeripoltin suoralla ruuvikuljettimella (Perälä, 2018.)

Levylämmönvaihdin on metallinen laite, millä voidaan siirtää lämpöä eri nestekiertojen välillä, ilman että nesteet ovat kosketuksissa toisiinsa (Tulituote Oy, ei s.a.). Kuvassa 4 ruskeakuorinen levylämmönvaihdin asennettuna.



KUVA 4. Levylämmönvaihdin asennettuna (Perälä, 2018.)

Lämpöarvolla kerrotaan täydellisessä palamisessa kehittyvä lämpöteho polttoaineen massaa tai tilavuutta kohden. Ilmoitetaan tavallisimmin megajouleina polttoainekiloa tai kuutiota kohden. Kuvaa polttoaineen laatua suhteessa määrään. (Alakangas, 2000, s. 12.)

Mudanerotin on vesilinjastoon asennettava suodatin, joka suodattaa epäpuhtauksia vedestä suojellen säätölaitteita ja pumppuja. Huoltoa ja puhdistusta varten erottimen molemmin puolin asennetaan sukuventtiili. (Harju, 2014, s. 60.)

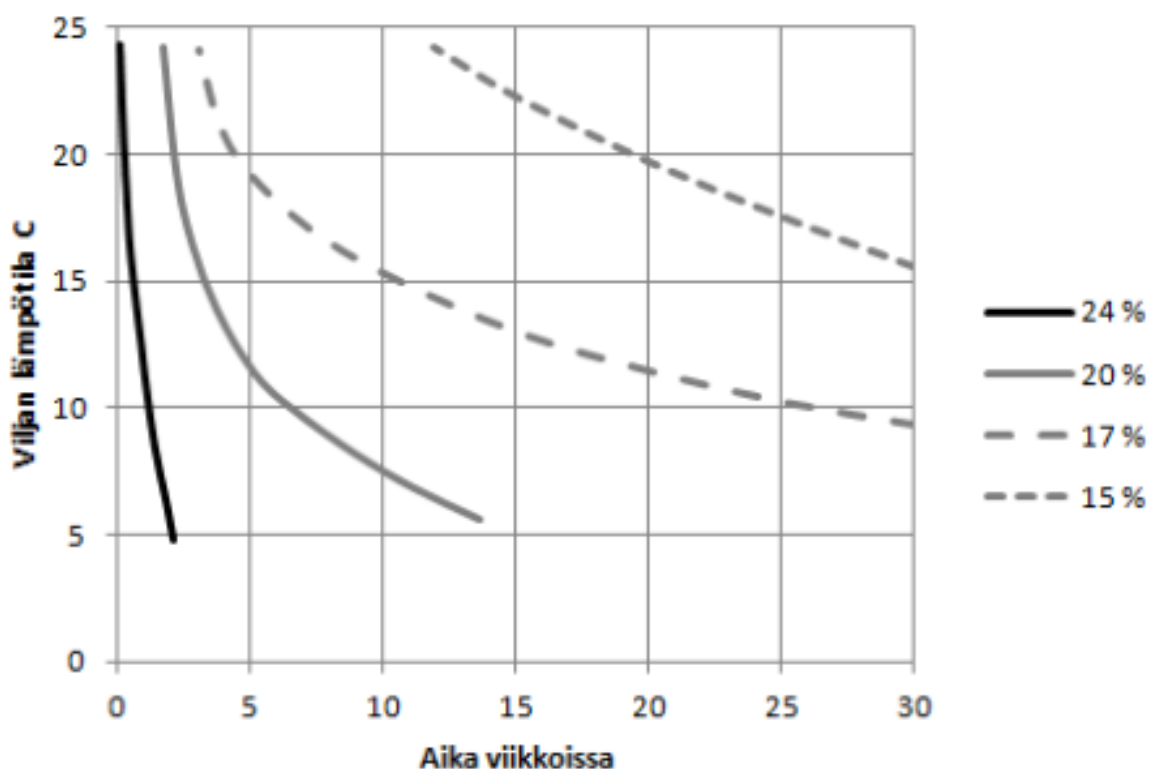
Ilmanpoistin tai ilmausventtiili on linjaston korkeimpaan kohtaan, radiaattoriin ja varaajaan asennettava venttiili, millä poistetaan linjastoon kertynyt ilma manuaalisesti tai automaattisesti. Ilmaa kertyy, kun linjasto täytetään hapekkaalla vedellä. Automaattinen ilmanpoistin asennetaan pystysuoraan, milloin sen koho toimii suunnitellusti. (Harju, 2014, s. 60.)

Paisunta-astia on paisuntajärjestelmän osa, joka vakio vedenpainetta linjastossa. Vesi laajenee lämmitessä ja supistuu jäähtyessä. Paisunta-astiassa on useimmiten kalvo, jonka alapuolella on kaasutila, minkä paineella säädetään linjaston paine. Kalvopaisunta-astian tilavuuden ohjearvo on 10% koko järjestelmän vesitilavuudesta. (Harju, 2014, s. 53.)

2 VILJAN KUIVAUS

Kuivaus on tapahtuma, jossa nestettä haihdutetaan kiinteästä aineesta. Neste voi sitoutua aineeseen kolmella eri tavalla. Heterogeenisesti aineessa oleva neste sijaitsee sen makroskooppisten osasten raoissa vapaana nesteenä. Täten sitoutunut vesi on poistettavissa painovoimaisesti valuttamalla. Aineen kapillaareissa eli hiusputkissa oleva kapillaarineste on poistettavissa mekaanisesti, esimerkiksi puristamalla tai keskipakovoimalla. Kaikkein voimakkaimmin, kolloidaalisesti kapillaareihin ja pintoihin sitoutunut neste on poistettavissa vain lämpöenergian avulla höyryttämällä. (Reikälevy Oy, 1982.)

Viljan jyvä on elossa puinnin jälkeen. Jyvän elintoiminnot jatkuvat, kostea jyvä lämpenee ja se hajottaa ravintoaineitaan. Myös jyvän varastoaineita käyttävät pieneliöt lisääntyvät ja heikentävät viljan laatua. Kostean viljan elintoimintoja on hidastettava ja pieneliöiden kasvu estettävä, että vilja saadaan säilymään. Elintoimintojen edellytyksiä ovat hapen saannin lisäksi riittävä kosteus, sopiva lämpötila ja happamuus. Vilja saadaan säilymään pidempään, kun vaikutetaan näihin elintoimintoihin. Menetelmiä ovat kuivaus, ilmatiivis säilöntä, happosäilöntä tai kylmäsäilöntä. (Peltola & Kallioniemi, 1988.) Kuviossa 2 nähdään kuivauksen vaikutukset viljan säilyvyyden pidentämiseksi.



KUVIO 2. Viljan säilyvyys viikkotasolla eri lämpötiloilla ja kosteuksilla (Ahokas ym., 2014, s. 24).

2.1 Viljankuivaus Suomessa

Suomessa lähtökohtaisesti kaikki korjattava vilja pitää puintikosteutensa vuoksi kuivata, mikäli ei käytetä muita säilöntämenetelmiä. Taulukosta 1 nähdään suuntaa-antavasti viljan kuivaustarve ja puintikosteus eräissä Euroopan maissa verrattuna Suomeen. Suomessa viljankuivaustarve ja keskimääräinen 26 %:n puintikosteus nostaa viljanviljelyn kustannuksia varsinkin verrattuna Keski-Euroopan maihin. (Suomi, 2003, s. 46).

Suomalaisen kasvinviljelyn kannattavuutta syö myös Keski-Eurooppaa alhaisemmat viljojen hinnat. Esimerkiksi viikolla 15 vuonna 2017 mallasohran keskihinta Suomen Naantalissa oli 150 euroa ja leipävehnän 153,67 euroa tonnilta, kun Saksan Stuttgartissa mallasohrasta maksettiin 199,50 euroa ja leipävehnästä 166 euroa tonnilta. (Farmit Website Oy, 2017.)

TAULUKKO 1. Viljan kuivaustarve ja puintikosteus eräissä Euroopan maissa (Suomi, 2003, s. 46).

Maa	Viljan kuivaustarve, %	Puintikosteus, %
Suomi	100	26
Ruotsi	95	21
Tanska	30 - 50	18
Saksa	20 - 40	16

Vuonna 2015 Suomessa tuotettiin noin 3 800 miljoonaa kiloa kuivattavaa siemensatoa. Kasvilajit ja satomäärät on eritelty taulukossa 2. Viljaa kuivataan pitkän säilyvyyden takaamiseksi. Viljaa voidaan myös tuoresäilöä kokoviljasäilörehuna tai tuoresäilöviljana eri säilöntäaineilla. Näin säilötyt sadot eivät sisälly taulukon määriin. (Luonnonvarakeskus, 2016.)

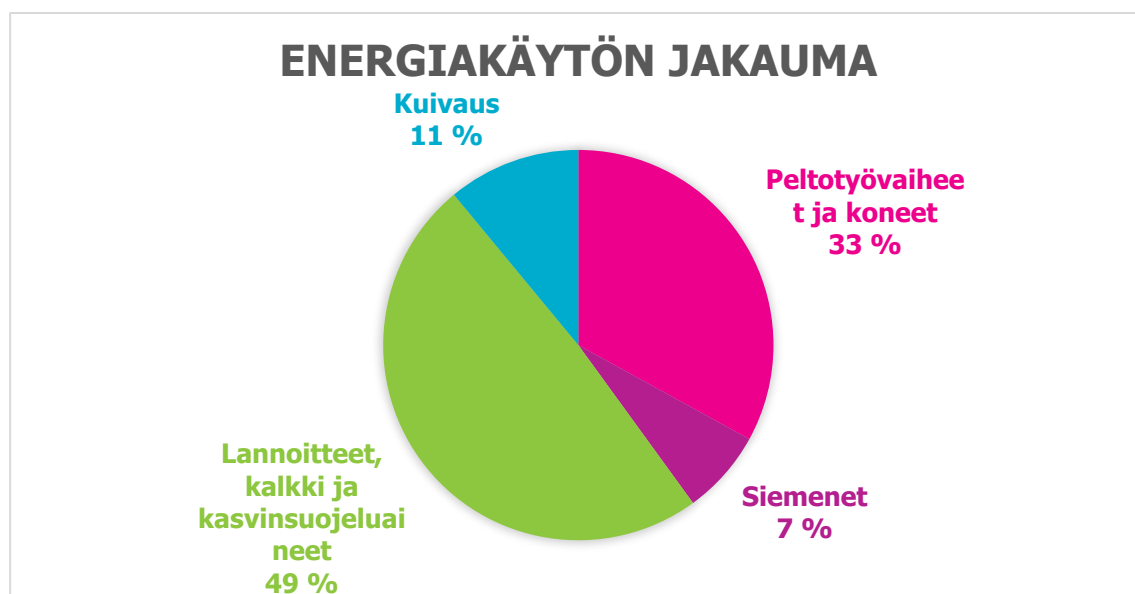
Viljoista viljellyin on ohra lähes 1 600 miljoonalla kilolla. Seuraavaksi eniten viljellään vehnää ja kauraa; molempia noin 1 000 miljoonaa kiloa. Neljänneksi viljellyin on ruis 100 miljoonalla kilolla, jonka jälkeen suosituimpia ovat rypsi ja rapsi 85 miljoonalla kilolla. Hernettä ja härkäpapua viljellään yhteensä noin 50 miljoonaa kiloa vuodessa. (Luonnonvarakeskus, 2016.)

TAULUKKO 2. Kuivattavien viljelykasvien sadot Suomessa 2015 (Luonnonvarakeskus, 2016.)

Kasvilaji	Miljoonaa kiloa, sato
	2015
Vehnä	992,1
Ruis	107,5
Ohra	1 569,0
Kaura	979,6
Seosvilja	34,6
Rypsi ja rapsi yhteensä	85,3
Öljypellava	1,8
Kumina	7,3
Herne	25,3
Härkäpapu	26,3
Yhteensä	3 829,3

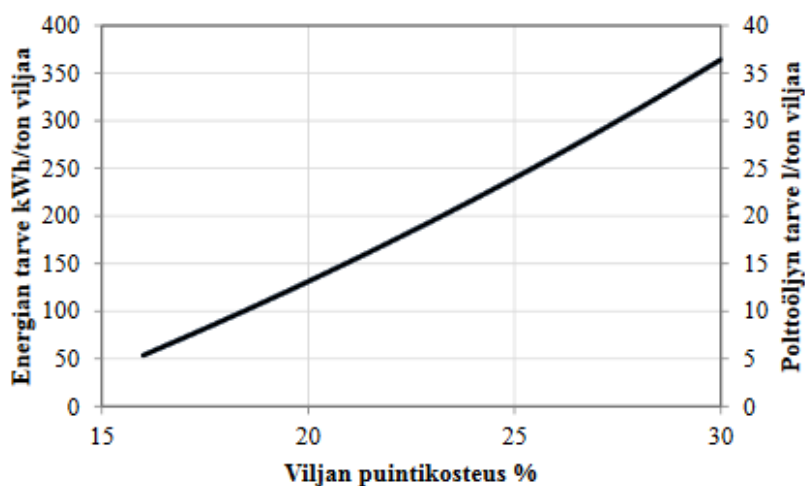
2.2 Viljankuivauksen energiankulutus

Viljan kuivauksen osuus on maatalouden energiapanoksesta merkittävä, vaikka huomioon otettaisiin myös epäsuora energia, mikä kuluu maatalouskemikaalien valmistukseen ja maatalouskoneiden valmistukseen ja huoltoon. Kaaviossa 1 on esimerkki ohran tuotannon energiapanosten jakautumisesta. Kuivauksen osuus vaihtelee korjuuolosuhteista riippuen, mutta esimerkissä sen on laskettu olevan keskimäärin noin 11 % luokkaa kokonaisenergiakulutuksesta. (Ahokas, Maatilojen energiankäyttö: Enpos-hankkeen tulokset., 2013, s. 14-16.)



KAAVIO 1. Esimerkki energiakäytön jakaumasta ohran tuotannossa, sisältäen myös epäsuoran energiankäytön. (Ahokas, Maatilojen energiankäyttö: Enpos-hankkeen tulokset., 2013, s. 16.)

Kun viljan keskimääräinen puintikosteus on Suomessa 26 %, tarkoittaa se keskimäärin noin 250 kilowatin energiantarvetta tonnia kohden kuviosta 3 katsottuna. Polttoöljyä kuluu täten 25 litraa tonnia kohden, kuten kuviosta 3 nähdään. Suomessa tuotettavien 3 829 miljoonan siemenkilon kuivaukseen kuluu täten laskennallisesti polttoöljyä 96 miljoonaa litraa. Käytännössä Suomessa korjattavasta jyväsadosta suurin osa kuivataan polttoöljyllä, muttei kuitenkaan kaikkea. Laskelma antaa kuitenkin suuntaa, miten paljon uusiutumaton polttoainetta kuluu vuosittain viljankuivaukseen.



KUVIO 3. Keskimääräinen energian tarve kuivattavaa viljatonna kohden (Ahokas ym., 2014, s. 89.)

2.3 Riihestä kuivuriin

Ennen varsinaisia viljankuivureita viljat on korjattu käsin korsineen ja tähkineen nipuiksi niin kutsusti lyhteille. Lyhteet on taasen koottu olkimajaa muistuttaviksi kuhilaiksi, mitkä ovat nähtävissä kuvassa 5. Kuhilaissa viljat ovat kuivuneet auringon ja tuulen avustuksella. Pellolla tehdyn alkukuivauksen jälkeen loppukuivatus ja puinti ovat tehty riihissä. (Helsingin yliopisto, 2004.)



KUVA 5. Kaksi erilaista lyhteistä koottua kuhilasta (Surojegin, 1979.)

Riihi oli puulämmitteinen rakennus, minne lyhteet koottiin kuivattavaksi ja puitavaksi. Riihen kiuasta lämmittämällä saatiin lyhteet kuivumaan riihen orsilla. Tämän jälkeen lyhteet aseteltiin lattialle paririveihin tähkät vastakkain. Jyvät puitiin korsista irti varstoilla nuijimalla tai hevosella polkemalla. (Helsingin yliopisto, 2004.)

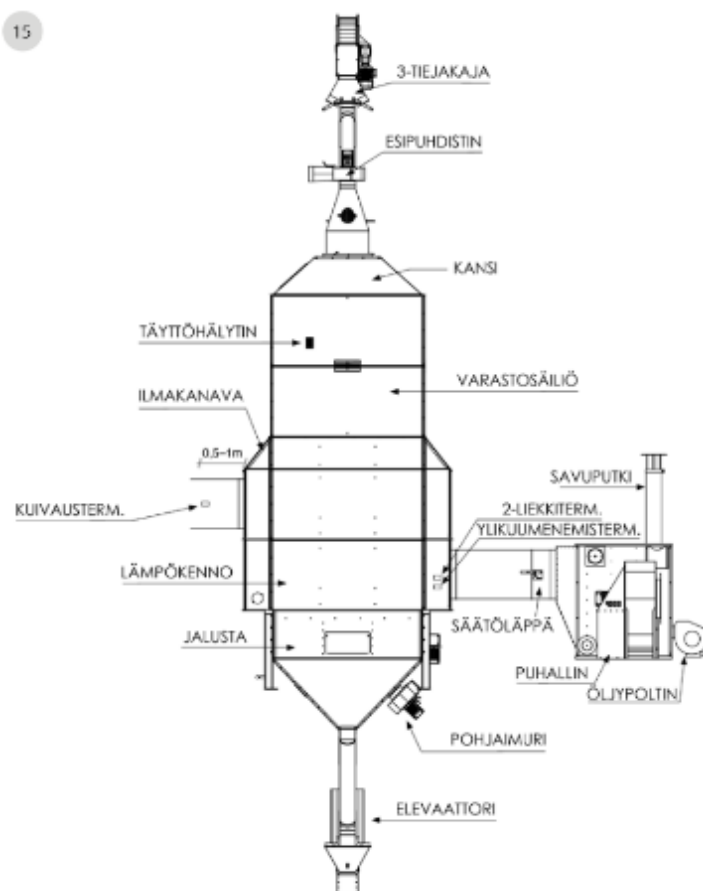
Paikallaan käytettävät käsi- ja hevoskäyttöiset puimakoneet alkoivat rantautua Suomeen 1800-luvun alkupuoliskolla, ja höyrykäyttöiset saman vuosisadan loppupuoliskolla. Polttomootori- ja

sähkökäyttöisiin puimakoneisiin siirryttiin 1900-luvun puoleen väliin mennessä. Ajettavat leikkuupuimurit yleistyvät nopeasti, sillä 1965 niitä on ollut Suomessa jo noin 16 000 kappaletta ja niillä on silloin puitu puolet maan sadosta. (Helsingin yliopisto, 2004.)

Puimakoneiden myötä kuivausta oli tehostettava, joten 1900-luvulla rakennettiin luonnollisella vedolla toimivia kapeita kaappikuivureita. Lava- ja säkkikuivureita alettiin valmistaa 1950-luvulla. Lavakuivureihin siirryttiin kokonaan, kun viljaa alettiin siirtämään säkkien sijasta irtotavarana perävai- nuilla. Nykyisinkin käytössä oleva menetelmä, eli koneellinen lämminilma-kuivaus on syrjäyttänyt muut kuivausmuodot viime vuosikymmenien aikana lähes kokonaan. (Helsingin yliopisto, 2004.)

2.4 Viljakuivurien toiminta

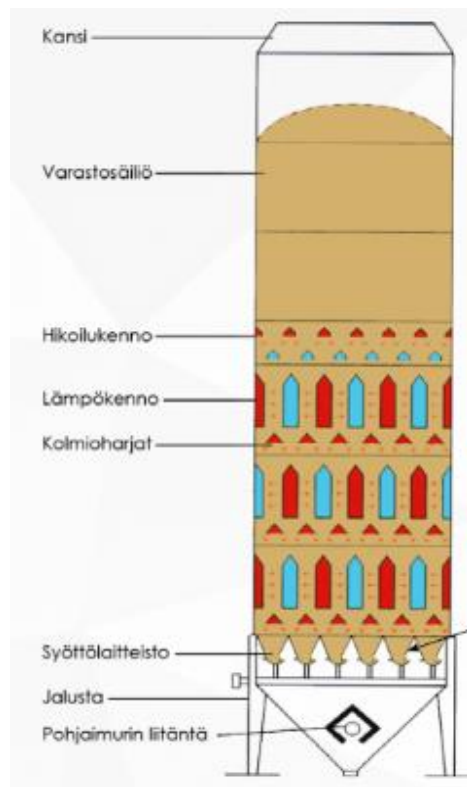
Suomessa yleisimmin käytössä oleva lämminilma-kuivuryyppi on eräkuivuri, jota voidaan kutsua myös sekavirtauskuivuriksi. Se kierrättää viljamassaa elevaattorin avulla kuivaavan silon läpi tarvittavan monta kertaa, että haluttu kuivuus saavutetaan. Kierrätyksen avulla vilja sekoittuu, kuivuu tasaisesti eikä lämpövaurioidu helposti. Kuvasta 6 nähdään perinteisen eräkuivurin rakenne. Öljypol- tin lämmittää uunissa olevaa lämmönvaihdinta, joka lämmittää ilmamassaa, jota puhallin puhaltaa kolmioharjojen kautta viljamassaan kuvan 7 osoittamalla tavalla. (Palva ym., 2005, s. 37-42.)



KUVA 6. Lämminilma-kuivurin rakenne (Arskametalli Oy, 2017, s. 29.)

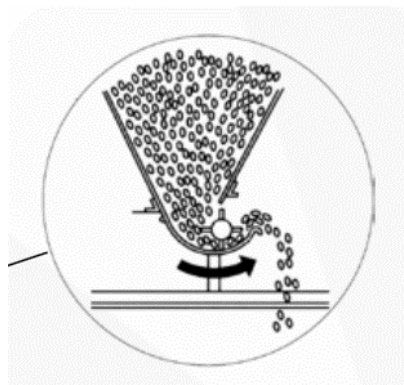
Kuivuri täytetään kaatosuppilosta elevaattorin avulla kuvassa 6 yläosassa näkyvän jakajan kautta, jonka jälkeen kuivaus käynnistetään. Kuvassa 7 punaisella merkatuista kolmioharjoista puhalletaan

viljamassaan uunin lämmittämää ilmaa. Sinisellä merkatuista harjoista viljan kosteutta sitonut ja täten jäähtynyt ilma poistuu kuivurista poistoilmakanavaan.



KUVA 7. Arska lämminilmakuivurin toimintaperiaate (Arskametalli Oy, 2017, s. 4.)

Lämpökennojen alapuolella on syöttölaitteisto, joka määrää viljamassan kierron kuivurissa annostelemalla viljaa elevaattorille ja sitä kautta takaisin kuivurin yläosaan. Syöttönopeus on säädettävissä. Yksi kierros tunnissa on yleensä sopiva kiertonopeus. Kuvassa 8 on piirros Arskan ristitelasyöttölaitteesta. (Palva ym., 2005, ss. 37-42.)



KUVA 8. Arska kuivurin syöttölaite (Arskametalli Oy, 2017, s. 5.)

Poistoilmakanavassa on kuivaustermostaatti tai hygrostaatti, eli kosteuskytkin, mikä aistii poistoilman lämpötilasta tai kosteudesta, milloin viljamassa on saavuttanut ennalta-asetetun kosteuden, esimerkiksi 14 %. Kun tämä kosteus on saavutettu, sammuu öljypolttimen liekki puhaltimen jäädessä päälle ja lämmittämättömällä ulkoilmalla tapahtuva viljan jäähdytys alkaa. Viljan jäähdytysaika on yleensä noin tunnin, jolloin koko massa ehtii kiertää kerran kuivurin läpi ja jäähtyä ulkoilman lämpöiseksi. Viljamassa on jäähdytettävä, ettei se alkaisi lämpenemään uudestaan ja pilaantumaan varastossa. (Palva ym., 2005, ss. 37-42.)

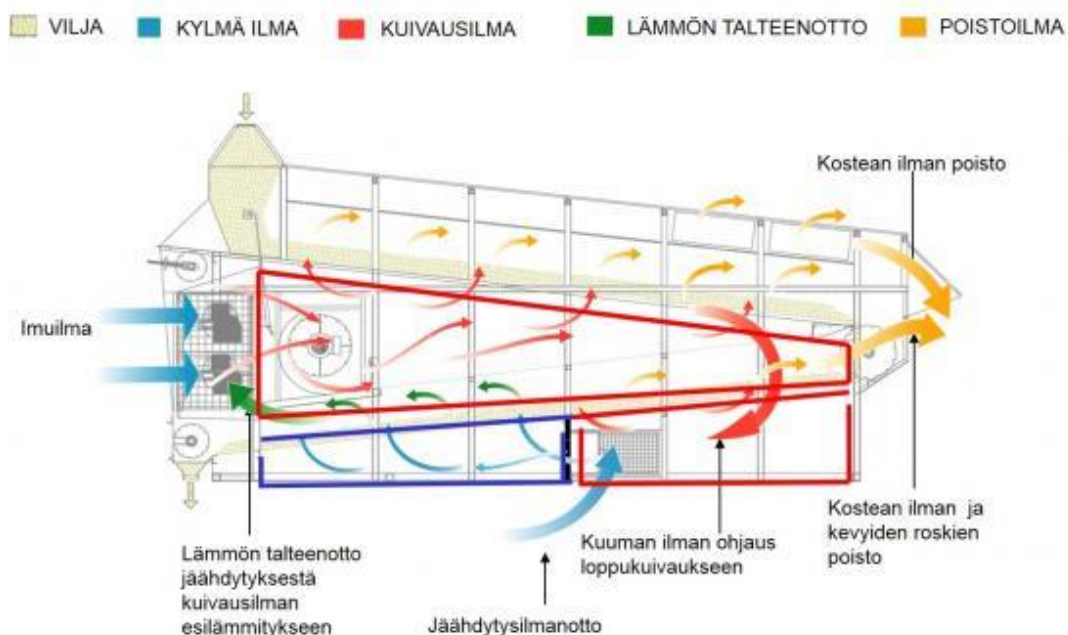
Kuivurissa on ylhäällä esipuhdistin, jolla saadaan pölyä, roskia ja pieniä siemeniä eroteltua pois kuivattavasta viljasta. Esipuhdistimen imurin ilmamäärä on säädettävissä, jolloin roskien erottelu eri painoisten ja kokoisten kuivattavien jyvien seasta onnistuu. Kuivurin yläosassa on varastosäiliö, missä viljan kosteus ja lämpötila tasaantuvat ennen uutta kuivauskierrosta. Varastosäiliössä oleva viljamassa estää lisäksi kuivauslämmön karkaamisen väärää reittiä pitkin. (Palva ym., 2005, s. 37-42.) Kuvan 6 kuivurissa on pohjaimuri, jolla muodostetaan alipaine jalustasuppiloon, minkä kerrotaan edistävän viljan kuivumista (Arskametalli Oy, 2017, s. 4). Kuivurivalmistajien ja mallien välillä on rakenteellisia eroja etenkin ilmaharjoissa, mutta peruseriaate on pääosin sama.

Kuivuriuuneja on kahta eri tyyppiä, yli- ja alipaineuuneja. Ylipaineuuni on perinteisempi malli, jossa puhallin puhalttaa ilman viljamassan läpi, muodostaen kuivuriin ylipaineen. Alipaineuuniratkaisussa ilma imetään uunin, ja sitä kautta viljamassan läpi, eli imevä ilmapuhallin sijaitsee poistoilmakanavassa. Alipaineuuni tekee koko kuivaajarakennuksesta vähäpölyisemmän, mutta riskinä on uunin palaessa puhki kipinöiden päätyminen sytyttämään viljamassaa. Alipaineuuni on hieman tehokkaampi kuivaamaan viljaa kuin ylipaineuuni. (Palva ym., 2005, s. 43.)

2.5 Jatkuvatoinisen kuivurin toiminta

Jatkuvatoinisessa kuivurissa viljamassa kulkee lämpökennoston läpi vain kerran. Yläpäästä syötetään märkää viljaa kuivuriin ja alapäästä vilja poistuu kuivattuna ja jäähdytettynä. Jatkuvatoinen kuivuri voi muistuttaa rakenteeltaan eräkuivuria, tai se voi olla kuvan 9 tyylinen rakenteeltaan täysin erilainen.

Jatkuvatoinisessa kuivurissa kuivaustapahtuma on katkeamaton, kunnes kaatosuppilosta loppuu vilja. Uuni on jatkuvasti päällä puhaltimen kera, ja jäähdytys tapahtuu jatkuvasti alaosassa. Tällainen kuivuri vaatii tehokkaassa käytössä suuret määrät saman laatuista viljaa, sillä eränvaihto on melko työläs prosessi. Yli 30 % kosteaa viljaa voidaan joutua kierrättämään kuivurissa kaksi kertaa. (Palva ym., 2005, s. 43.)

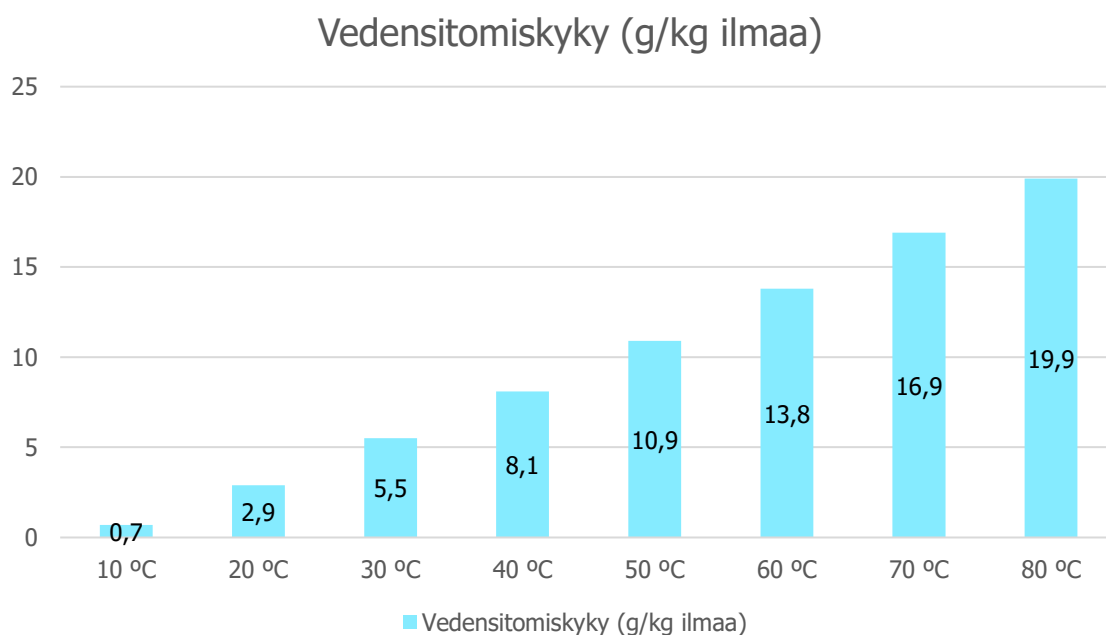


KUVA 9. Alvan Blanch- merkkisen jatkuvatoimisen kuivurin rakenne (Alvan Blanch, 2017).

2.6 Kuivauslämpötila

Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se pystyy sitomaan vettä itseensä. Voidaan yleistää, että syksyllä ilmakilossa on aina noin 6 grammaa vettä. Vaikka ilmaa lämmitetään, säilyy siinä sama vesimäärä, mutta vedensitomiskyky kasvaa, eli suhteellinen kosteus pienenee. Viljan kuivaus perustuu siihen, kun jyviä suhteellisesti kuivempaa ilmaa tuodaan jyvien ympärille, sitoutuu jyvistä vettä pois puhallettavaan ilmassaan. (Peltola & Kallioniemi, 1988, s. 11-13.) Kuivurin energiatehokkuus paranee kuivauslämpötilaa nostettaessa, kuivausaika lyhenee ja siten kuivurin kapasiteetti nousee. Lämpötilan nostoa rajoittaviin tekijöihin pureudutaan viljalajikohtaisesti alempana. (Palva ym., 2005, s. 38.)

Mollierin piirroksella voidaan kuvata ilman vedensitomiskykyä ja ilmakuution lämmittämiseen tarvittavaa energiamäärää. Mollierin piirrosta ei ole olennaista avata tarkemmin tämän tutkimuksen kannalta, joten sen avulla tulkittava ilman vedensitomiskyky on yksinkertaistettu kaaviossa 2. Diagrammin vedensitomiskyvyn laskennassa on käytetty oletuksena ilman 6 gramman vesisisältöä ja sitä, että poistoilman kosteus saavuttaa maksimi vedensitomiskyvyn, eli 100 prosentin suhteellisen kosteuden. (Ahokas ym., 2014, s. 41.)



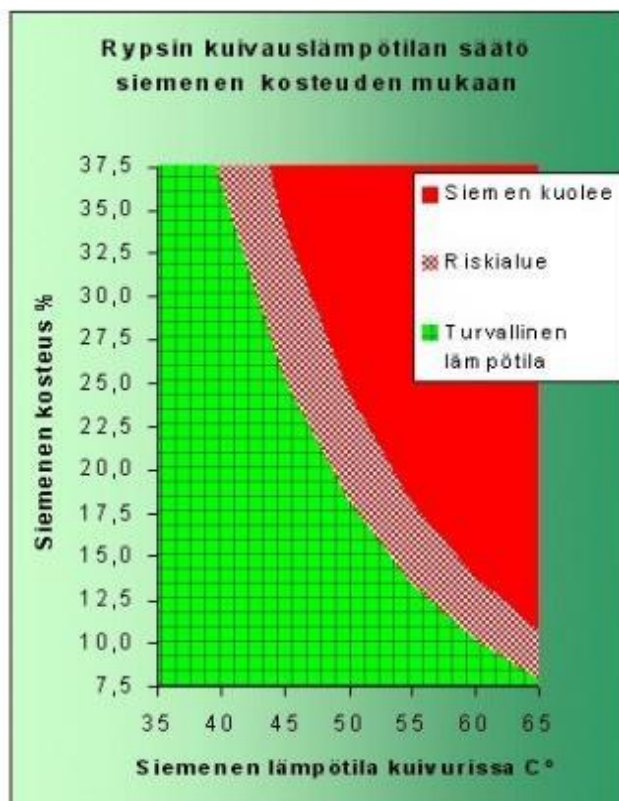
KAAVIO 2. Kuivausilman vedensitomiskyky eri lämpötiloilla, kun ilmassa on 6 grammaa vettä ja poistoilman kosteusprosentti on 100

Kuivurien öljypolttimia on yhdellä ja kahdella suuttimella varustettuna. Kaksisuuttimisissa polttimissa, eli kaksitehopolttimissa termostaattiohjattu apusuutin polttaa polttoöljyä jaksottaisesti niin kauan, että tavoitelämpötila saavutetaan, pääsuuttimen palaessa koko ajan. Jos kaksitehopolttimen lämpötilaa pitää saada termostaatin säätöaluetta suuremmaksi tai pienemmäksi, voidaan säätää syöttöpainetta tai vaihtaa suutinkokoa. Edellisillä kahdella tavalla säädetään myös yksiliekkipoltinta. Säätöjä voi tehdä kuitenkin vain polttimen ohjekirjassa annetun enimmäisöljymäärän puitteissa. Viimeinen keino lämpötilan nostoon on uunin ilmamäärän rajoittaminen. (Antti-teollisuus, 2015, s. 11.)

Siemen-, mallas- ja leipäviljojen korkeimman jyvän kannalta turvallisen kuivauslämpötilan laskemisessa on nyrkisääntönä pidetty kaavaa 90 celsiusastetta vähennettynä viljan kosteudella. Eli 25 % kosteaa viljaa voitaisiin kuivata 65 asteisella kuivausilmalla. Viljan itävyys, mallastus- ja leivontaominaisuudet kärsivät jyvän kuumetessa liikaa. Kuivausilman korkeimpaan turvalliseen lämpötilaan vaikuttaa kuitenkin muun muassa kuivurin rakenne, joten yleisiä tarkkoja lämpötilarajoja ei pysty antamaan, mutta niitä voi halutessaan hakea itse kokeilemalla. (Ahokas ym., 2014, s. 41-42.)

Rehuviljan kuivaus tehdään Suomessa usein ylivarovaisesti ja siten energiatehottomasti. Itävyys- ja leivontaominaisuuksilla ei ole rehukäytössä väliä, joten rehuviljoilla kannattaisi käyttää mahdollisimman korkeaa kuivauslämpötilaa. Viljan valkuainen kestää tuhoutumatta jopa 120 celsiusasteen kuivausilman lämpötilan, mutta kauran e-vitamiinipitoisuus voi laskea 2-8 % 100 asteen lämpötilassa. Kun kuivauksessa alitetaan 15 % kosteus, nousee kuivaamiseen tarvittava energiamäärä huomattavasti johtuen loppukosteuden tiukemmasta sitoutumisesta. Tämän takia viljoja ei kannattaisi kuivata kovin paljoa alle 14 % varastointikosteuden. (Palva ym., 2005, s. 35-39.) Talven aikana syötettävä rehuvilja säilyy hyvä laatusena 16 prosenttia kosteana. Tarkemmin viljan säilymisajat nähdään kuvioista 3. (Ahokas ym., 2014, s. 90.)

Rypsin ja rapsin kuivauksessa on tärkeää kuivata siemen mahdollisimman pian puinnin jälkeen, muuten kostea siemen alkaa kuumentua ja pilaantua. Sopiva kuivauslämpötila riippuu puintikosteudesta, sillä mitä kosteampana siemenet on puitu, sitä kylmemmällä ilmalla kuivaus on aloitettava. Kuviosta 4 on nähtävissä korkein siemenelle turvallinen lämpötila kullakin kosteuspitoisuudella. Kuivausilman lämpötila on 10-15 celsiusastetta korkeampi kuin siemenen lämpötila. Joten kosteuden ollessa 22,5 % saa kuivausilman lämpötila olla 57-63 astetta. Liian korkea kuivauslämpötila heikentää öljyn laatua. Sopiva varastointikosteus on 7-9 %. (Peltola & Kallioniemi, 1988, s. 115-116.) Alle 7 % kosteudessa alkavat siemenet halkeilla, jolloin öljyn laatu kärsii (Rapsi.fi, 2014).



KUVIO 4. Rypsilä ja rapsilä turvallinen kuivauslämpötilan siemenen kosteus huomioiden (Rapsi.fi, 2014).

Herneen kuivaukseen antaa selkeät ohjeet Kanadan Albertin provinssin 6000 viljelijää tukeva "Alberta Pulse Growers Commission", eli alueen kuivahernekasvien kasvattajien komissio. Ohjeen mukaisesti siemen- tai ruokakäyttöön viljeltävää hernetä kuivataan enintään 45 celsiusasteisella ilmalla, että vältetään pinnan kovettumiselta ja halkeilulta. Rehuherneessä halkeilu ei haittaa, jolloin kuivauslämpötila voi olla 70 astetta. Herneen varastointikosteus on 16 % tai hieman alle. Mikäli hernetä täytyy kuivata yli viisi prosenttiyksikköä, suositellaan se tehtävän kahdessa osassa. Ensin herne kuivataan lämminilmakuivurissa 2 % sisään säilömistekosteudesta, jonka jälkeen se siirretään tuuletussiiloon vähintään kuudeksi tunniksi, millä varmistetaan herneen tasainen kuivuminen myös keskeltä. (Alberta Pulse Growers Commission, s.a.) Jos tuuletussiiloa ei ole käytössä, voidaan noin 20 % kosteaa hernetä varastoida välillä pari päivää jyvän kosteuden tasaamiseksi ja kuivata herne tavoitekosteuteen tämän jälkeen (Peltola & Kallioniemi, 1988, s. 116).

Härkäpavun kuivaukselle ei löydy yksiselitteisiä ohjeita, vaan tapoja on useampia. Härkäpavu kuivataan noin 15 % kosteuteen, sillä alle 14 % kosteuden se saattaa haljeta. Yli 50 asteen kuivauslämpötilaa ei suositella. Härkäpavu kuivuu ensin pinnasta, jolloin sisus saattaa jäädä kosteaksi. Tämän takia jotkut viljelijät antavat kosteuden tasaantua kärryllä vuorokauden ennen kuivausta, tai kuivaavat pavut kahdessa erässä, noin vuorokausi erien välissä. Kylmäilmakuivaus sopii pavulle hyvin. (Ylhäinen, 2009, ss. 21-22.)

Kuminalle suositellaan 45 – 55 asteen kuivausilman lämpötilaa. Kuminan öljypitoisuus vähenee kuumemmilla lämpötiloilla. Siemen ei saisi vaurioitua kuivauksen aikana, eli tarvittaessa voidaan kiertonopeutta pienentää. Kumina kuivataan alle 11 % kosteuteen. (Caraway Finland Ab, 2016, s. 14.)

2.7 Viljakuivurin paloturvallisuus

Paloturvallisuus asiat on aina selvitettävä ennen toteutusta niin viranomaisten kuin vakuutusyhtiön kanssa. Seuraavaksi on koottu muutamia seikkoja vakuutusyhtiön suojeluohjeesta viljankuivurin paloturvallisuuden kannalta.

Viljankuivurin sähköasennukset saa tehdä vain vakuutusyhtiön hyväksymä sähköliike, tämä on otettava huomioon myös hakelämpöratkaisuja tehtäessä. Keskimääräinen kuivauslämpötila kuivurin ilman sisääntuloaukolla on rajoitettu enimmillään 80 celsiusasteeseen mikäli lämpölaite ei täytä SFS 5623 standardia. Mikäli standardi täyttyy, on lämpötilaraja samaisessa kohdassa enintään 150 celsiusastetta. Puhaltimessa on oltava sellainen säätö ja varolaitte joka sammuttaa puhaltimen vastasitten, kun kuivausilman lämpötila on alle 50 celsiusastetta. Huomiona lisälämpöratkaisuja suunniteltaessa, että mikäli käytetään pelkkää hakelämpöä, voi kuivauslämpötila olla koko ajan alle 50 celsiusastetta, jolloin varolaitetta pitää mahdollisesti säätää katkaisemaan puhallin vasta normaalikäyttöä alhaisemmalla lämpötilalla. Uunihuoneen ulkopuolella on oltava vähintään 6 kilon käsiammutin joka täyttää teholuokan 27 A 144 B-C. (Pohjola Vakuutus Oy, 2012, s. 2-5.)

Kiinteää polttoainetta, kuten haketta käytettäessä on tulipesän ja tuhkaluukkujen oltava kiinnityssalvallisista, siten että niitä voidaan pitää kiinni ilmaa lämmitettäessä. Polttoaineen syöttölaitteen ollessa automaattinen, tulee syötön pysähtyä häiriötilanteissa ja laitteessa oltava lisäksi takapalonestojärjestelmä. Uunihuoneessa tulee kuivauksen ajan olla vähintään 100 litraa hiekkaa astiassa ja lapio tulipesän hätäsammutusta varten. (Pohjola Vakuutus Oy, 2012, s. 2-5.)

Yli 120 kilowatin kiinteä lämminilmakehitin hormeineen pitää nuohota ja puhdistaa kaksi kertaa vuodessa. Alle 120 kilowatin järjestelmälle riittää vastaavat toimenpiteet kerran vuodessa. Vain kuivaajan käytössä oleville lämpölaiteille ja hormeille riittää myös kertapuhdistus ja nuohous vuodessa. Ennen kuivauskautta on sammutuskalusto ja sähkölaitteet tarkastettava ja öljynpoltin tarkastettava, huollettava ja koekäytettävä. Sähkö- ja öljylaitteiden korjaukset saa tehdä vain ammattilainen. (Pohjola Vakuutus Oy, 2012, s. 2-5.)

3 UUSIUTUVAA LÄMPÖENERGIAA HAKEKATTILALLA

Hiilidioksidi on kasvihuonekaasu, jonka muodostuminen ilmakehään lämmittää maapalloa. Muita yleisimpiä kasvihuonekaasuja ovat metaani, vesihöyry, dityppioksidi ja otsoni. Kasvihuonekaasujen molekyylin rakenne imee lämpösäteilyä tietyillä aallonpituuksilla ja muuttaa tästä saatavaa energiaa uudestaan säteilyksi. Osa tästä säteilyn energiasta palaa lämmittämään maan pintaa. Hiilidioksidipäästöistä merkittävä osa on peräisin fossiilisten polttoaineiden, kuten öljyn, kivihiilen ja maakaasun käytöstä. Myös trooppisten metsien hävittäminen ja muut muutokset maankäytössä lisäävät hiilidioksidin määrää ilmakehässä. (Ilmatieteen laitos, s.a.)

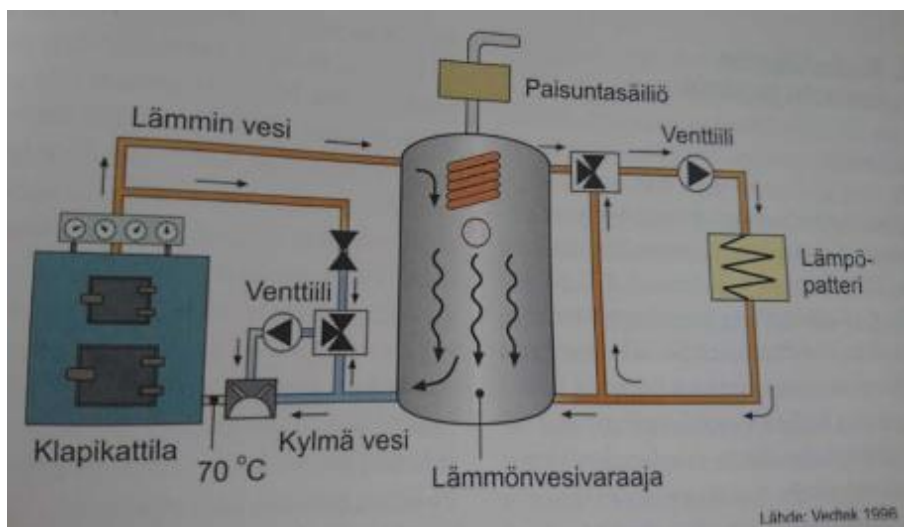
Hiiltä sitoutuu aina kun kasvit yhteyttävät. Kasvit myös vapauttavat hiiltä ilmakehään, kun ne mautuvat tai kun niiden hajoamista nopeutetaan polttamalla. Täten muodostuu hiilen kiertokulku missä se sitoutuu varastosta toiseen seilaten ilmakehän ja eliöiden välillä. Uusiutumaton polttoaine ei missään vaiheessa sido sen poltosta syntyvää hiilidioksidia, joten tätä myötä hiilidioksidin määrä ilmakehässä lisääntyy selkeimmin. (Ilmatieteen laitos, s.a.) Hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää polttamalla uusiutumattoman polttoaineen sijaan uusiutuvaa polttoainetta, kuten haketta. Hakkeen ja kahden muun kiinteän polttoaineen poltosta kerrotaan alempana lisää. Yksi uusiutuvista polttoaineista on biokaasu, jonka tuotanto on yleistymässä karjatiljoilla. Myös biokaasulaitoksen lämpöenergiaa voidaan hyödyntää viljankuivauksessa.

Perinteinen lämmitysjärjestelmä rakentuu kattilasta, lämmönsiirtoputkistosta, kalvopaisunta-astiasta, varoventtiilistä, kiertovesipumpusta, paine- ja lämpömittareista, venttiileistä, lämminvesivaraajasta, käyttövesikierukasta ja radiaattoreista. Kattilassa palava aine lämmittää lämmönvaihtopintoja, jotka lämmittävät nestettä, jota kierrätetään pumpulla lämminvesivaraajaan, mistä lähtee oma kiertonsa radiaattoreille, ja missä usein on kierukka lämmittämässä käyttövetä. Järjestelmä on usein automatisoitu niin, että palotapahtumaa säätyy itsestään ilma- ja polttoainemäärän avulla tarvittavan lämpötehon mukaisesti. Nestekierron sopivista lämpötiloista huolehtivat kiertovesipumppu ja sekoitusventtiilit. (Tukes, s.a., s. 5.)

Kuvassa 10 on kaavakuva tyypillisestä lämmönjakelujärjestelmästä. Kattilan optimaalisen toiminnan kannalta lähtevän ja tulevan veden lämpötila ei saa muodostua liian suureksi, minkä takia käytetään sunntausventtiilejä. Ne näkyvät kuvassa kolmen mustan kolmion kuvakkeella. Myös varaajan jälkeen on sunntausventtiili, että lämpöpattereille saadaan sekoitettua sopivan lämpöinen vesi. (Knuutila, 2003, s. 101.) Järjestelmä voidaan toteuttaa myös ilman varaajaa suoralla kierrolla. Lämminvesivaraaja kuitenkin varaa lämpöenergiaa nestemassaan, ja täten vähentää kattilan ylikuumentumisriskiä etenkin, jos lämmöntarve vaihtelee nopeasti. (Tukes, s. 5.) Varaajan avulla kattila voi palaa korkealla optimaalisella teholla jaksoittain ja ladata lämpöä varaajaan, sen sijaan että kattila palais pienellä liekillä koko ajan ja lämmittäisi suoraa vesikiertoa. (Knuutila, 2003, s. 100.)

Lämmönjakelujärjestelmässä täytyy aina olla ilmausventtiileitä vähintään lämpölinjaston korkeimmissa kohdissa ja lämminvesivaraajalla, näiden avulla poistetaan järjestelmän nesteen seasta ilmaa,

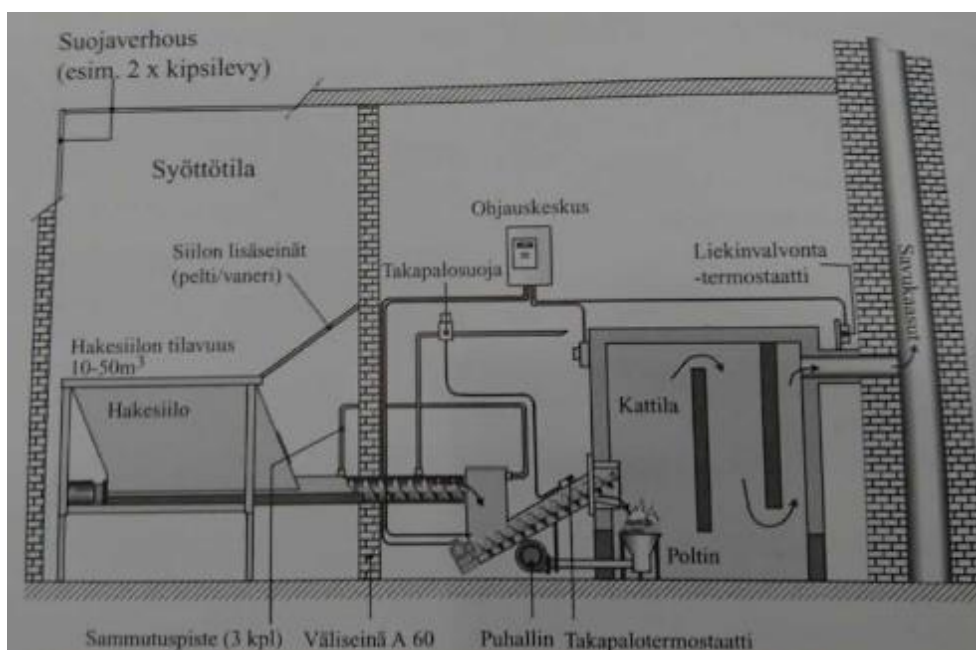
mikä haittaa nesteen kiertoa. Lisäksi etenkin rautaputkistossa pitää olla mudanerotin keräämässä epäpuhtauksia. (Harju, 2014, s. 60.)



KUVA 10. Tyypillinen kiinteään polttoaineeseen perustuvan kattilan lämmönjakelujärjestelmä (Knuutila, 2003, s. 101).

3.1 Kiinteät polttoaineet

Puukattiloissa tavallisin polttoaine on hake. Hakkeen syöttö voidaan automatisoida toisinkuin esimerkiksi klapien. Toinen yleinen polttoaine on pelletti, jonka etuna on automaattisen syötön lisäksi korkea lämpöarvo ja siten pieni varastotilantarve, kuten taulukon 3 tehollisesta lämpöarvosta voi todeta. Hake ja pelletti syötetään kattilan palopäälle useimmiten ruuvisyöttimellä varastosiihosta. Kuvassa 11 on tyypillinen hakelämpölaitoksen kokoonpano automaattisyötöllä. (Knuutila, 2003, s. 95-101.)



KUVA 11. Tyypillinen hakelämpölaitoksen kokoonpano (Puhakka, ym., 2001, s. 46.)

Maatiloilla yksi vaihtoehto kiinteäksi polttoaineeksi on vilja. Myös kuivurin lajittelujätettä voidaan polttaa. Näiden polttamisessa on huomioitava kuitenkin palopään ja kattilan ominaisuudet, sillä suuri tuhkapitoisuus ja alhainen tuhkan sulamispiste voivat haitata joidenkin kattiloiden toimintaa. Kauran tuhkapitoisuus voi olla kymmenkertainen verrattuna puupellettiin, kuten nähdään taulukosta 3. (Vuorio, 2009, s. 1-2)

TAULUKKO 3. Polttoaineiden tehollisten lämpöarvojen ja tuhkapitoisuuden vertailua (Knuutila, 2003, s. 33, Bioenergianeuvoja, s.a.)

	Tehollinen lämpöarvo, kWh/i-m3	Tuhkapitoisuus, %
Kokopuuhake, mänty ja kuusi, kosteus n. 40 %	810-820	0,5 – 2
Kokopuuhake, koivu, kosteus n. 40 %	970	0,5 – 2
Puupelletti	2900 - 3900	0,5
Kaura	2200 - 2500	5,5 – 7
Kevyt polttoöljy	10000	0

3.1.1 Hake

Hakkeen laatu vaikuttaa paljon sen palamistehokkuuteen. Hakerankaa tulisi varastoida korkealla kassalla vähintään kesän yli kuivumassa, mutta yli vuoden varastointia ei suositella, sillä koivu alkaa lahota jo ensimmäisen vuoden aikana. Rankakasa kannattaa tehdä 30 senttiä halkaisijaltaan olevien puiden päälle, etteivät rangat kosketa maahan ja ilma kiertää myös alapuolella. Taulukossa 4 nähdään korjuu ja varastointitekniikan vaikutuksia puun kuivumiseen. (Puhakka, ym., 2001.)

Pakkasajan syöttövarmuuden ja stokeripolttimen kannalta hakkeen kosteuden pitäisi olla alle 30 %. Mitä märempää hake on, sitä vähemmän siitä saadaan energiaa suhteessa tilavuuteen ja sitä heikomalla hyötysuhteella stokerikattila toimii. (Viirimäki, 2008, s. 18, 21.)

TAULUKKO 4. Korjuu- ja varastointitekniikan vaikutus puun käyttökosteuteen (Viirimäki, 2008, s. 25.)

	Peittämätön puukasa	Peitetty puukasa
Kokopuu	35 - 40 %	30 – 35 %
Karsittu ranka	25 - 30 %	20 – 25 %
Hakekuivurilla kuivattu	n. 20 %	n. 20 %

Hakkeelle voidaan laskea monenlaisia energiahintoja. Mikäli hakkeelle löytyy ostaja lähistöltä, pitäisi hake arvottaa ostajan energiahinnalla, sillä aina on vaihtoehtona myydä hake oman käytön sijaan. Koko maan metsähakkeen keskikauppahinta käyttöpaikalla oli 2018 huhtikuussa 19,05 euroa megawattituntia kohden arvolisäverottomana. Hinta ei sisällä rahtia käyttöpaikalle (Metsälehti, ei s.a.). Tuorein käyttöpaikkahinta on saatavissa Metsälehden sivuilta osoitteesta: <https://www.metsalehti.fi/puunhinta/metsaenergian-kayttopaikkahinnat/>

Mikäli ostajaa ei lähistöllä ole, voidaan hakkeelle laskea itse hinta. Kantohinnaksi rangalle tulee muutama euro, kuitupuulle enemmän. Korjuukustannuksia täytyy laskea vähintään 20 euroa kiintokuutiometriä kohden ja rahtihaketuksen arvoksi noin 4 euroa irtokuutiometri. Täten laskettuna hinnaksi muodostuu noin 13 euroa irtokuutiota kohden eli noin 17 euroa megawattituntia kohden. Megawattituntihinta riippuu hakkeen laadusta, eli energiasisällöstä. (Esala.)

Puuenergian hiilidioksidipäästöt ovat kiisteltäviä. Selvää on kuitenkin se, että uusiutumattoman polttoaineen polttaminen lisää hiilidioksidia ilmakehässä aina, kun taas uusiutuvan polttoaineen päästöistä osa kompensoituu materiaalin uuden kasvun ja sitä kautta tapahtuvan hiilensidonnan myötä. Tutkimuksessa ei pureuduta sen tarkemmin puuenergian päästöihin, vaan laskurissa käytetään eräässä tutkimuksessa simuloituja arvoja. Puuenergian päästöt riippuvat muun muassa metsänhoidon intensiteetistä, metsätyypistä, puulajista ja etenkin päästöjen seuranta-ajasta. Laskurissa käytetään lannoittamattoman mustikkatyyppin männyn hiilidioksidipäästöjä, jotka ovat simulaation mukaan 110 kiloa hiilidioksidia megawattia kohden. Tähän lisättiin hankintaketjun päästöt noin 7 kiloa hiilidioksidia megawattia kohden. (Routa, 2011, s. 233-236.)

3.1.2 Vilja

Vilja sisältää klooria ja rikkiä enemmän kuin puu. Nämä saattavat joissain tapauksissa syövyttää kattilaa ja hormia. Myös haitallisia päästöjä muodostuu enemmän, mikäli kattilan mitoitukset ja säädöt eivät ole sopivat. Kiinteäarainasta kattilaa joutuu viljalla putsaamaan ja nuohoamaan vähintään kerran päivässä viljojen puuta suuremman tuhkapitoisuuden ja alhaisen tuhkan sulamislämpötilan takia. Putsaaminen vähentää myös kattilan syöpymistä. (Vuorio, 2009, s. 1-4.)

Viljanpoltoon sopii paremmin liikkuva-arinainen kattila tuhkanpoistoruuvilla, silloin tuhka ei pääse jämähtämään pintoihin kiinni ja täten työaikaa säästyy. Jos halutaan polttaa viljan lajittelujätettä, tai vilja on muuten epäpuhdasta, kannattaa nämä sekoittaa hakkeeseen toiminnan sujuvoittamiseksi. Riskinä on silti jakeiden lajittuminen, mikä saattaa johtaa takapaloon, kun palopäälle tulee erinopeuksilla palavia jakeita eriaikaisesti. Vilja on kuitenkin lämpöarvoltaan melkein pelletin veroista polttoainetta ja oikeiden säätöjen löytyessä sen poltto onnistuu hyvin. (Vuorio, 2009, s. 1-4.)

3.1.3 Pelletti

Pelletti on tasalaatuinen polttoaine hyvällä lämpöarvolla. Sen tuhkapitoisuus on alhainen. Pelletin kosteus on noin 10 %. Pelletti tarvitsee neljäsosan varastotilaa verrattuna vastaavan energiasisällön omaavaan hakemäärään. Pelletin polttoainekäytön yleisyyttä rajoittava tekijä on sen haketta kaltaampi energiahinta. (Viirimäki, 2008, s. 30.)

3.2 Hakekattilan paloturvallisuus

Vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä pitää olla aina kalvopaisunta-astia, sillä neste laajenee lämmetessään ja täten paine linjastossa nousee. Kalvopaisunta-astian tehtävä on tasata lämpötilan muutoksista aiheutuvat paine-erot. (Tukes, s. 5.) Astian koon mitoittaa LVI-asiantuntija, mutta sen tilavuuden tulisi olla noin 10 % koko nestekierron tilavuudesta (Harju, 2014, s. 53).

Paisunta-astian lisäksi paineen nousemisen varojärjestelmänä pitää olla varoventtiili, joka aukeaa vettä ja höyryä vapauttaen, kun kattilan suurin sallittu käyttöpaine ylitetään. Varoventtiili voi jumiutua, jos sitä ei huolleta. Toimimaton paisunta-astia ja jumiutunut varoventtiili voivat aiheuttaa kattilan räjähdyksen. (Tukes, s. 5.)

Automaattisella polttoaineen syötöllä varustetuissa suurin paloturvallisuusriski liittyy takapaloon. Takapalolla tarkoitetaan palon etenemistä kohti syöttölaitetta ja varastosiihoa. Palo voi edetä joko hitaasti kytötulena tai kaasumaisena takatulena väärään suuntaan, eli ei savupiipun suuntaan. Kytöpalo voi johtua esimerkiksi polttoainesyötön lakatessa. Kaasumainen palo voi johtua esimerkiksi polttoainesiihon auki jäämisestä, jolloin kuumat savukaasut pääsevät liikkumaan polttoainevarastoon ja voivat siellä happea saadessaan palaa räjähdysmäisesti. (Tukes, s. 6-7.)

Automaattisissa syöttölaitteissa tulee olla kaksi toisistaan riippumatonta turvajärjestelmää jotka toimivat myös sähkökatkon aikaan. Turvajärjestelmiä ovat:

- Sammutusjärjestelmä polttoaineen syöttölaitteessa
- Sulkusyötin. Tämä on pakollinen, jos polttoaine on pölyävää tai hienojakoista kuten sahanpurua tai turvetta.
- Pudotuskuilu kahdella ruuvikuljettimella ja vesilukolla
- Polttoainesäiliö
- Pelletillä pudotusputki, joka sulaa takapalon sattuessa estäen tulen karkaamisen siiloon

Mikäli syöttölaitteessa on vain yksi ruuvikuljetin, on toisena turvalaitteena oltava ilmatiivis polttoainesäiliö tai sulkusyötin. (Finanssiala ry, 2017, s. 9.)

4 TAVOITE JA MENETELMÄT

Tavoitteena on antaa mahdollisimman selkeä kuva lisälämpölaitteiston toteutuksen suuntaviivoista ja taloudellisesta kannattavuudesta. Myös teknisiin ratkaisuihin on pureuduttu, mutta tarkemmat tilakohtaiset mitoitukset ja automatiikan suunnittelu vaativat alan ammattilaisen avuksi. Tutkimuksessa sivutaan myös lisälämpöjärjestelmän ympäristövaikutusta. Selvitettävä tutkimuskysymys case-tilalle on: ”Kuinka paljon kuivurin lisälämpölaitteisto saa maksaa, että se on taloudellisesti kannattava?” Tämän tutkimuksen menetelminä toimivat case-tutkimus ja laskurin tuottaminen perustuen kirjallisiin lähteisiin ja lähteinä toimiviin asiantuntijahaastatteluihin. Asiantuntijahaastattelut on tehty tätä tutkimusta varten. Asiantuntijahaastattelut löytyvät tutkimuksen liitteistä.

Tässä työssä ongelmaan tuotettiin ratkaisu teorialtasolla, ilman käytännön toteutusta. Täten kyseessä on case-tutkimus. Case-tutkimusta pidetään monistrategisena tutkimuksena, sillä siinä voidaan käyttää tutkimusotteena niin kvalitatiivista kuin määrällistäkin tutkimusta. Kvalitatiivinen, eli laadullinen tutkimus toteutetaan perustuen dokumentteihin, havainnointiin ja teemahaastatteluihin. Kvantitatiivisessa, eli määrällisessä tutkimuksessa käytetään kyselyitä ja tilastoja, joita analysoidaan esimerkiksi ristiintaulukoimalla ja korreloimalla. (Kananen, 2013, ss. 22-23.)

Tässä tutkimuksessa käytettiin pääasiassa kvalitatiivisen tutkimuksen menetelmiä, sillä tutkimuskohteessa on paljon muuttujia ja huomioon otettavia asioita, joita ei pysty kuvaamaan pelkästään numeerisesti. Aineistona käytettiin aiheeseen liittyviä kirjoja, internetsivustoja ja artikkeleita. Teoriatietoutta tukemaan ja täydentämään haastateltiin viljelijöitä, joilla on käytössä kiinteään polttoaineeseen perustuva kuivurin lisälämpöjärjestelmä. Samalla kerättiin myös havaintoja ja kuvamateriaalia. Asiantuntijahaastatteluisissa oli kvalitatiivisen teemahaastattelun piirteitä siltä osin, että tutkija ei tuntenut ilmiötä perinpohjaisesti. Haastatteluisissa oli mukana kuitenkin myös kvantitatiivisen kyselyn piirteitä, sillä pohjautuen aineistomateriaaliin oli mahdollista kysyä tunnettuun teoriaan liittyviä kysymyksiä koskien järjestelmän muuttujia, kuten lämpötiloja. (Kananen, 2013, ss. 23-26.)

Tutkimus on teorialähteinen, eli tutkimusasetelma on deduktiivinen. Tämä tarkoittaa sitä, että työssä perehdyttiin ensin yleiseen teoriapohjaan kirjallisten lähteiden avulla ja luotiin täten hypoteesi, eli yleistävä oletus laitteiston toiminnasta. Hypoteeseja testattiin esittämällä ne kysymysmuodossa asiantuntijoille, joilla oli laitteistosta empiiristä, eli käytännön kokemusta. (Kananen, 2013, s. 49-51.) Käytännön kokemusten ja muuttujien keruuta varten oli tehty haastattelupohja, mikä on nähtävissä asiantuntijahaastatteluiden tulosten ohessa liitteessä 1 ja 2. Pohjaa käytettiin, että joka tilalta tuli kysytyksi samat asiat. Tiedot ovat täten mahdollisimman kattavia, luotettavia ja vertailukelpoisia. Haastattelussa kiinnitettiin huomiota siihen, etteivät kysymykset olleet johdattelevia. Asiantuntijoiden toiveesta johtuen julkaistaan tulokset työssä anonymisti.

Osana tutkimusta on erilaisten toteutustapojen esittely. Tämä tuo työhön yleishyödyllisyyttä, sillä yhtä järkevintä toteutustapaa ei ole, vain joka tilalle vaihtoehdot kannattaa punnita omien mielty-
mysten, resurssien ja toimintaympäristön mukaan. Erilaisia laitteistoja vertailtiin laskurin avulla ja

valittiin sopivin yhdistelmä case-tilalle. Lisälämmöntuoton kannattavuuden selvittämistä varten luotiin yleishyödyllinen laskuri. Sillä on selvitettävissä raja-arvot, millä investointi muuttuu kannattavaksi tai kannattamattomaksi.

4.1 Tutkimuksen laatu ja eettisyys

Tutkimusten tulosten ja johtopäätösten tulee olla uskottavia, luotettavia ja oikeita. Luotettavuutta tieteessä kuvataan kahdella termeillä reliabiliteetti ja validiteetti. (Kananen, 2013, ss. 115-116.) Reliabiliteetti tarkoittaa sitä, että tutkimustulokset ovat pysyviä, ja sitä kautta toistettavia. Reliabiliteetti voidaan todeta puolueettomien arvioijien avulla, joita tässä työssä ovat olleet opinnäytetyön ohjaajat. Mikäli he päätyvät samaan tulokseen, voidaan tulosta pitää luotettavana. Tutkimus pitää olla toistettavissa, jos tulos on sama, on tutkimus luotettava. (Hirsjärvi ym., 1997, s. 226-227.)

Case-tutkimuksessa käytettävät useat eri lähteet ja tutkimusmenetelmät tuovat haastetta toistettavuuteen. Täten tutkimuksessa keskityttiin valitsemaan luotettavat lähteet ja merkkamaan ne selkeästi ylös. Case-tutkimuksessa on otettava itse kriittisesti kantaa luotettavuuteen. Tutkimusmenetelmän vahvuus on kuitenkin monilähteisyys, jolloin eri lähteistä saatavaa tietoa on voitu vertailla ja täten mitata jonkin yksittäisen lähteen luotettavuutta. (Kanane, 2013, s. 121-122.)

Validius tarkoittaa sitä, että tutkitaan oikeita asioita ja niiden pätevyyttä. Oman ajattelumallin tai oletuksen ei annettu vaikuttaa kysymysten muotoiluun ja vastausten tulkintaan, kuten ei myöskään lähteiden tulkintaan. (Hirsjärvi ym., 1997.) Validiutta ja reliabiliteettiä siis arvioitiin jatkuvasti tutkimuksen aikana tutkijan toimesta, lisäksi niitä arvioivat myös työn opponentti ja ohjaajat.

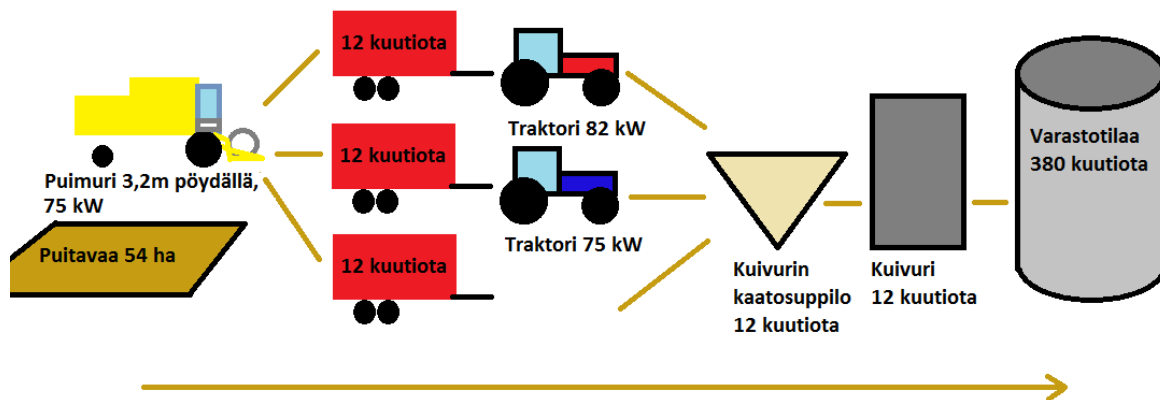
Tutkimuksessa noudatettiin hyvää tieteellistä käytäntöä ja kunnioitettiin ihmisarvoja. Haastateltavaksi ei pakotettu ketään. Haastatelluille kerrottiin mihin aineistoa käytettiin. Plagiointia ei ole harjoitettu. (Hirsjärvi ym., 1997, s. 23-27.)

Tutkimuksen tuloksena saatua laskuria ei ole testattu ennen julkaisua laajalla otannalla. Testaaminen on ollut tutkijan ja kahden ohjaajan varassa. Jokainen testaja on kuitenkin ollut ammattitaitoinen, joten laskuri on kehitetty tältä pohjalta mahdollisimman luotettavaksi. Tutkijan näkökulmasta eniten epävarmuutta liittyy saavutettaviin veden lämpötiloihin ja niiden eroihin riippuen järjestelmässä käytettävästä nesteestä. Tämä vaatisi lisätutkimusta, kuten myös lämminvesivaraajan käyttö ja vaikutus järjestelmän kannattavuuteen ja toimivuuteen.

4.2 Case-tilan yleisesittely

Case-tila sijaitsee Laihialla. Tilalla on viljelyssä noin 54 hehtaaria peltoa. Viljelykiertoon ovat viime vuosina kuuluneet vehnä, ohra ja kevätrapsi. Kuivattavaa massaa kertyy siis vuosittain 230 000 – 300 000 kiloa.

Case-tilan puintiketju koostuu kuvion 5 osoittamalla tavalla puimurista, kolmista kärryistä, kahdesta traktorista, kaatosuppilosta, kuivurista ja viljavarastoista. Koko ketjun tilavuudet on haluttu vakioida kuivurin mukaan 12 kuutiioon, jolloin voidaan käsitellä kerralla täysiä eriä ja kärryllisiä, aina kun vain viljaa riittää. Puintiaikaan tilalla työskentelee yhdestä kahteen henkilöä. Kahdella henkilöllä ketju saadaan toimimaan jouhevasti, kun toinen vastaa siirtoajosta ja kuivaajan erien vaihdoista ja valvonnasta, kun toinen keskittyy puimiseen.

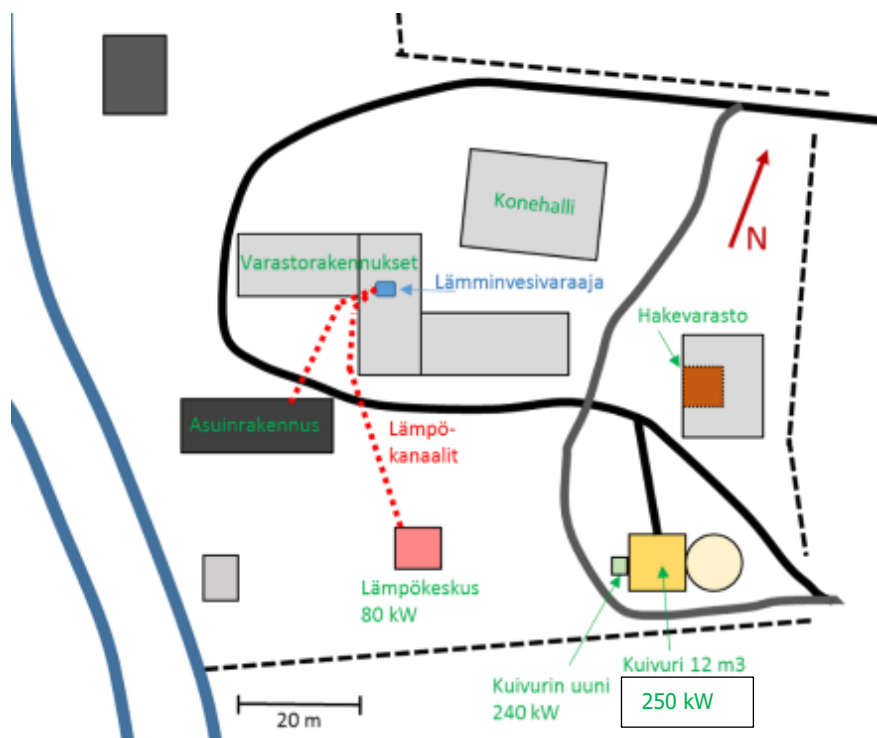


KUVIO 5. Case-tilan puintiketjupiirros

Puintiketjun teoreettinen päivätason kapasiteetti saadaan laskemalla kolme kärryllistä, kaatosuppilo ja kaksi kuivurillista yhteen. Täten kapasiteetiksi saadaan 72 kuutiota, joka tekee 650 kilon kuutiopainolla noin 47 000 kiloa päivässä. Mikäli satotaso on 5 000 kiloa hehtaarilta, olisi päivässä puitavissa 9,3 hehtaaria. 72 kuution kuivaamiseen kuluu aikaa 7 tunnin erän käsittelyajalla 42 tuntia.

4.3 Case-tilan hakelämpökeskus

Case-tilalla maalaistalon lämmitykseen ja navetan käyttövesien lämmitykseen hankittiin öljypolttimen korvaajaksi lämpökeskuskontti vuonna 1998. Lämpökeskus sijoitettiin paloturvallisuuden vuoksi erillään muista rakennuksista kuvion 6 osoittamalle paikalle. Nykyisin lämpökeskusta on käytetty vain maalaistalon lämmitykseen, sillä navetassa ei juuri tarvita lämmintä käyttövettä lehmistä luopumisen jälkeen. Talon lämmitystarve on 6-7 kuukautta vuodessa, joten 80 kilowatin tehoinen lämpökeskus on nykyisin vähäisellä käytöllä.



KUVIO 6. Case-tilan asemapiirros

Case-tilalla on pohdittu mahdollisuutta hyödyntää lämpökeskuksen lämpöenergiaa viljankuivauksessa, sillä elosyyskuuhun ajoittuvaan kuivausaikaan ei tarvitse useimpina vuosina taloa lämmittää. Täten kaikki teho olisi käytettävissä viljankuivaukseen. Hakelämpökeskuksen sijainti on hyvä suhteessa viljankuivaamoon, sillä etäisyys hakekattilalta kuivurin uuniin on vain 36 metriä. Välissä ei ole rakennuksia tai muita esteitä hankaloittamassa lämpökanaalin toteuttamista, kuten kuvasta 12 nähdään. Tekniikka on ollut kuitenkin sen verran vierasta, ja taloudellinen kannattavuus hankala laskea, ettei laitteistoa ole toteutettu. Näiden asioiden selvittämiseen keskittyvään tutkimustyöhön saatiin toimeksianto tilalliselta. Tutkijalle aihe oli mieleinen valinta, sillä se on monialainen yhdistäessään rakennustekniikan, energia-alan ja maatalouden aiheita toisiinsa. Tutkijalla on kiinnostusta kaikkia näitä aloja kohtaan.



KUVA 12. Case-tilan hakelaitos vasemmalla, viljakuivaamo ja sen uuni oikealla. (Perälä, 2018)

Case-tilalla on käytössä Ala-Talkkarin valmistama lämpökeskuskontti 80 kilowatin tehoisella Veto-mallisella kattilalla. Kontti on toteutettu stokeripolttimella, missä on totuttu käyttämään polttoai-neena pelkkää haketta. Viljaa on sekoitettu joskus pieniä määriä hakkeen sekaan, mutta viljan pol-tossa haasteeksi stokeripolttimella on havaittu lajittuvuus, ja sitä kautta oikeiden säätöjen hankala hakeminen.

Lämpökeskuskontti on kytkemistä vaille valmiina myytävä kokonaisuus, joka koostuu ilmatiiviistä polttoainesilosta ja kattilahuoneesta. Kattilaveden lämpötilan termostaatti ohjaa syöttöruuvien syöttä-mää hakemäärää, ja palamisilmapuhaltimen pyörimistä. Stokeripoltin on varmatoiminen, mikäli polt-toaine on tasalaatuista, alle 30 % kostea ja pienipalaista. (Viirimäki, 2008, s. 19.)

5 TULOKSET

Viljan kuivaus lisälämmöllä voi olla taloudellisesti kannattavaa vain, jos polttoaine on lämpöyksikkö-hinnaltaan edullisempaa kuin polttoöljy. Taulukossa 5 nähdään polttoaineiden energiayksikköhintojen vertailua vuoden 2018 maaliskuun hinnoilla. Energiayksikkönä taulukossa on megawatti, eli 1 000 kilowattia.

Kauran megawattihinta muodostui olettamuksilla, että kauran hehtolitraino on 50, energiasisältö 2 500 kilowattia irtokuutiota kohden ja myyntihinta 135 euroa tonnilta verottomana. Hakkeen megawattihinta on suoraa Metsälehdessä käyttäpaikkahintataulukon mukainen. Polttoöljyn megawattihinta perustuu 10,02 kilowatin energiasisältöön litrassa kevytpolttoöljyä (Bioenergianeuvoja, ei s.a.). Polttoöljyn litrahintana oli 2018 maaliskuussa 0,7 euroa, josta on vähennetty 0,0705 euron energiaveronpalautus litraa kohden. Energianveronpalautukseen ovat oikeutettuja ammattimaiset maataloudenharjoittajat ja kasvihuoneviljelijät. (Verohallinto, 2018.)

Tutkimuksessa ei selvitetty lisälämpölaitteistojen toteutushintoja, sillä ne ovat täysin tapauskohtaisia. Laitteiston voi myös toteuttaa osin käytetyillä komponenteilla, joiden hinnat vaihtelevat suuresti. Laitteiston toteutuksen hinnat täytyy selvittää itse tai lvi-asiantuntijan avulla tilakohtaisesti.

TAULUKKO 5. Polttoaineiden lämpöyksikköhintojen vertailua

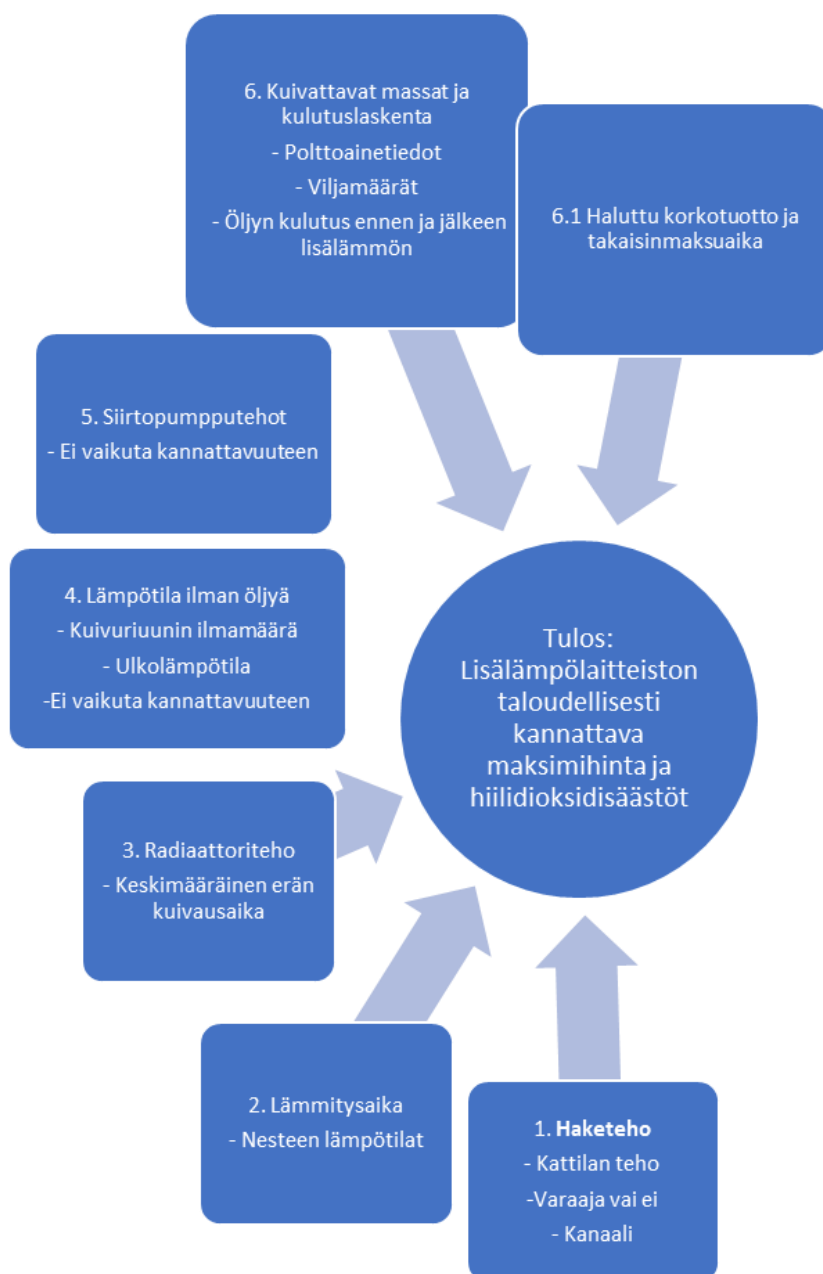
Polttoaine	€ / MWh (alv 0%)
Polttoöljy	63
Kaura	27
Hake	19

5.1 Kuivurin lisälämpölaskuri

Tutkimuksen tuloksena syntynyt ”Kuivurin lisälämpölaskuri” Maatila 2020-sivustolla osoitteessa <https://maatila2020.savonia.fi/energialaskurit>. Laskurin täyttämällä selviää paljonko taloudellisesti kannattava viljankuivurin lisälämpölaitteisto saa maksaa, mikäli tilalla on jo olemassa oleva hakelämmityslaitteisto, missä on vapaata kapasiteettiä viljankuivausaikaan. Laskuri perustuu toteutukseen, jossa öljyllä tuotettavasta lämpötehosta osa korvataan hakelämmöllä. Tässä tapauksessa kuivauslämpötila ja teho pysyvät samana, kun öljynpolttimen tehoa lasketaan hakelämmöllä tuotettavan tehon verran. Laskurin tulos ei päde, mikäli hakelämmön avulla pyritään nostamaan kuivaustehoa tai korvaamaan öljypolttimen tehon kokonaisuudessaan.

Laskurilla voidaan myös testata polttoöljyn hinnan, kuivausmäärien, varaajan koon ja muiden muutujien vaikutusta laitteiston tuottoihin ja taloudelliseen kannattavuuteen. Laskuri ei sovellu kokonaisen hakelämpöjärjestelmän mitoittamiseen, sillä uuden järjestelmän mitoituksessa on merkittävässä roolissa tilan muu lämmönkulutus.

Laskurissa huomioidaan kaikki merkittävät tilakohtaiset muuttujat. Hiilidioksidipäästöt ovat laskettu puuenergian arvoilla. Laskurin täyttäminen vaatii melko selkeän kuvan kuivurin käyttöön liittyvistä nykyarvoista ennen lisälämpölaitteistoa, sekä käsityksen millaisiin järjestelmän nestelämpötiloihin hakekattilalla päästään. Laskurissa keltaisiin soluihin täytetään tilakohtaiset tiedot, muut solut sisältävät kaavoja ja antavat niiden kautta suunnittelussa merkittäviä lukuja. Kuviossa 7 nähdään laskurin periaate tiivistettynä.



KUVIO 7. Kuivurin lisälämpölaskuri tiivistettynä

Laskurin tuloksessa huomioidaan investoinnille haluttu korko ja takaisinmaksuaika annuiteettimenetelmän avulla. Annuiteettimenetelmä sopii investoinnin laskentaan, jonka tuotto ja käyttö pysyvät vuosittain samalla tasolla (Virtuaaliammattikorkeakoulu, s.a.). Laskurin antamalla maksimihinnalla pitäisi saada toteutettua lämmönsiirtojärjestelmä mahdollisine lämminvesivaraajineen sisältäen ottoilma-aukulle sijoitettavan radiaattorin ja koko lisälämpöjärjestelmän suunnittelu- ja asennustyöt.

Laskennan kohdassa 4 selviää kuivurin ottoilmalämpötila pelkällä lisälämmöllä. Tämä kohta ei vaikuta laskurista saatavaan taloudelliseen kannattavuuteen. Saavutettava lämpötila on tärkeä tieto, kun mietitään, että voidaanko jonkun kasvilajin satoa kuivata alemmalla lämpötilalla, jolloin öljypoltinta ei tarvitsisi käyttää ollenkaan. Myöskään kohdan 5 arvot eivät vaikuta kannattavuuslaskentaan, vaan kohdan siitovesipumpun virtausnopeuksia voidaan käyttää suuntaa-antavana apuna kiertovesipumppujen valinnassa.

Hiilidioksidipäästöt vähentyvät aina, kun käytetään uusiutumattoman polttoaineen sijaan uusiutuvaa polttoainetta. Tarkan määrän laskeminen riippuu todella monesta asiasta, mutta laskuri antaa suuntaa-antavan määrän hiilidioksidipäästöjen vähentymisestä uusiutuvalla energialla tuotettua lisälämpöä käytettäessä. Liitteissä 3-10 laskurin kaavat ja selitykset laskurin kohdista. Lihavoidut tekstit vastaavat laskurista löytyviä kohtia, joiden jälkeen on tarkempi kuvaus tai ohje kyseisen kohdan sisällöstä.

5.2 Lisälämmön tekninen toteutus

Teknisiä toteutusvaihtoehtoja tutkittaessa käytettiin apuna asiantuntijahaastatteluita tiloilta, missä erilaiset lisälämpölaitteistot ovat olleet käytössä. Asiantuntijahaastattelujen raportit löytyvät liitteistä 1 ja 2. Lisälämpöjärjestelmän radiaattoriratkaisun voi toteuttaa joko lämminvesivaraajalla tai ilman. Lämminvesivaraaja on iso eristetty vesisäiliö, joka toimii järjestelmässä lämpöenergia-akkuna. Varaajaan nestemassaan pystytään lataamaan lämpöenergiaa silloin, kun kuivurilla on jäähditys ja eränvaihto käynnissä. Lisäksi varaajan avulla kattila käy tasaisella optimiteholla, kun sen ei tarvitse reagoida äkillisiin lämpötarpeen muutoksiin kuivauksen alussa ja lopussa.

Lisälämpölaskurin hakkeella tuotettavan tehon laskennassa on huomioitu varaajan vesimassan lämmittämiseen tarvittava energia niin kuivauskauden alussa ja pidempien kuivaustaukojen jälkeen, kuin myös kuivauserien välissä. Varaajasta saadaan purettua lisätehoa kuivaukseen, mutta sen vesimassan lämmittäminen kuluttaa haketta.

Merkittävässä roolissa lisälämpöjärjestelmän toteutuksessa on radiaattorin jäätyminen estäminen. Asiantuntijahaastattelu tilalla numero 3, jonka raportti löytyy liitteestä 1, oli yksi radiaattori jäänyt rikki, kun sen sisään oli jäänyt vesikiteitä. Tilalla käytetyn nesteen ollessa pelkkää vesijohtovettä, on sen jäätympiste 0 celsiusasteessa. Jäätyessään vesi laajenee ja puhkaisee helposti radiaattorin ohuen lämmönvaihtoputken. Radiaattori on arvokkaimpia osia lisälämpöjärjestelmässä, jolloin toisen radiaattorin hankinta rikkoutuneen tilalle voi syödä merkittävästi laitteiston kannattavuutta.

Mikäli järjestelmään valitaan vesijohtovesi, on järjestelmän jäätyminen joko estettävä sijoittamalla radiaattori lämmitettävään huoneeseen, tai radiaattorilla on pidettävä jatkuva vesikierto yllä, joka pitää radiaattorin sulana pakkaskeleillä tai vaihtoehtoisesti on radiaattori tyhjätävä täysin vedestä pakkaskelien ajaksi.

Täyttämällä lisälämpöjärjestelmä sopivalla glykoliseoksella, saadaan estettyä radiaattorin jäätyminen. Mikäli hakelaitoksen muissa vesikiirroissa ei käytetä glykolia, on kuivurin lämpökierto eristettävä omalla nesteellä toimivaksi levylämmönvaihtimen avulla.

Asiantuntijahaastatteluiden perusteella on parempi valita lisälämpöjärjestelmän putkikoot yläkanttiin, jolloin putkikoko ei ole rajoittamassa järjestelmän tehoa. Putkimitoitus on kuitenkin varminta teettää lämpöalan ammattilaisella, kuten myös sopivien kiertovesipumppujen ja sunttausventtiilien valinta. Kuivurin lisälämpölaskurin kohdasta 5 saa kuitenkin osviittaa millaiset siirtotehot kiertovesipumpuilla olisi saavutettava. Lämmönsiirtoputkia on saatavilla eri materiaaleista, yleisimpinä muovi-, rauta ja kupariputket. Muoviputket eivät valmistajien tietojen mukaan kestä jatkuvasti yli 85 celsiusasteen lämpöistä vettä, mikä on huomioitava suunnitteluvaiheessa.

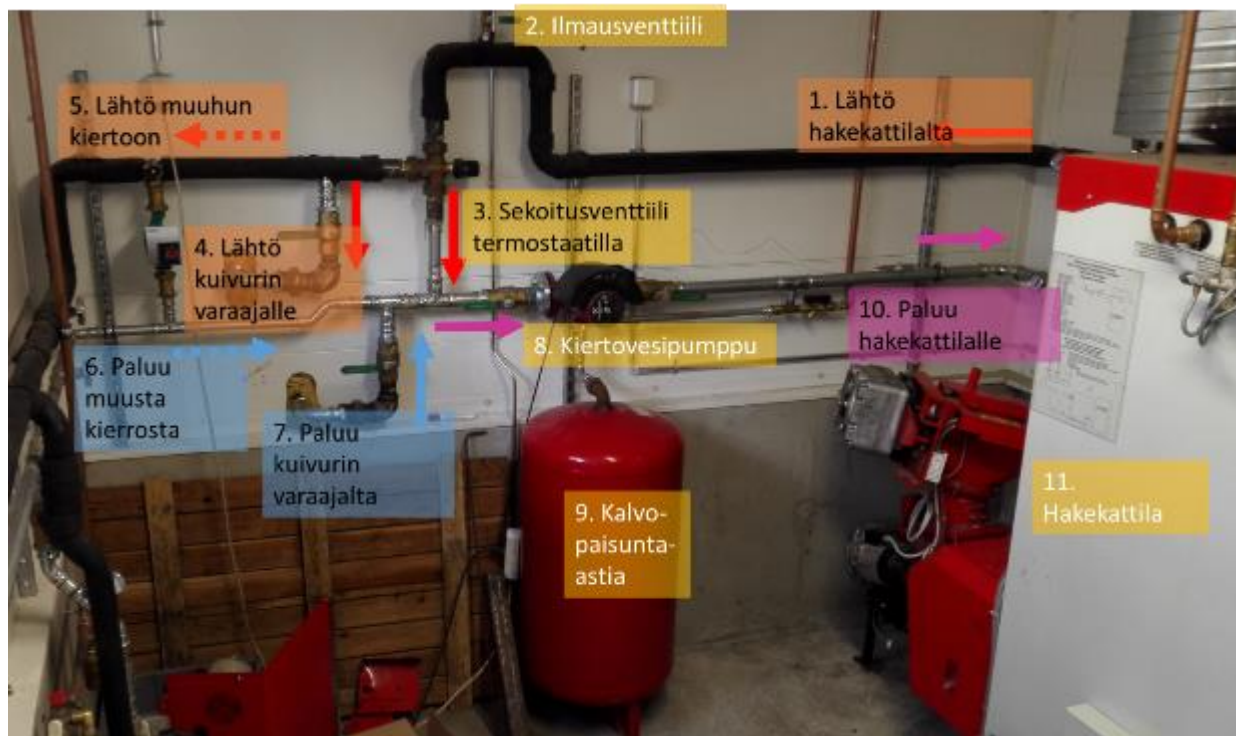
Radiaattoreille ilmoitetaan yleensä kilowattiteho. Radiaattorin koko kannattaa mitoittaa ennemmin yli tarpeen, kuin liian tarkalle. Liian pieni radiaattori voi kuristaa järjestelmän tehoa ja tukkiintuu pölystä nopeammin. Radiaattorien valmistajilla on omat mitoitusohjelmat radiaattorin koolle.

5.2.1 Ensiöpiiri

Ensiöpiirillä tarkoitetaan ensimmäistä vesikiertoa kattilalta. Se välittää lämpöenergian suoraa radiaattorille, mikäli käytössä ei ole lämminvesivaraajaa, levylämmönvaihdinta tai molempia. Jos varaajaa ei ole käytössä, on liitteinä olevien asiantuntijahaastatteluiden perusteella erityisen tärkeä toteuttaa järjestelmään automatiikka, joka ei katkaise vesikiertoa täydestä tehosta viljankuivurin jäädytyksen alkaessa. Muuten kattilan vesi kiehuu ja järjestelmä voi vahingoittua.

Hallitun alasajon automatiikka vaatii kuivurilta herätevirran ottamisen esimerkiksi jäädytyksen merkivalolta. Kun jäädytys lähtee päälle, pitäisi lämmönkierto ajaa hallitusti alas esimerkiksi taa-juusmuuttajaohjatun kiertovesipumpun avulla. Tarkempi toteutus pitää suunnitella LVI-alan asiantuntijan kanssa. Alla kuvaan 13 viittaava luettelointi ensiöpiirin komponenteista.

1. Lämmennyt vesi lähtee kattilalta kohdan 8. kiertovesipumpun imun voimalla.
2. Lämmönsiirtolinjaston korkeimmassa kohdassa tulee olla ilmausventtiili. Se voi olla joko manuaalinen tai automaattinen.
3. Sekoitusventtiili vaaditaan ensiöpiiriin, ettei kattilalta lähtevän ja sinne saapuvan veden lämpötilaero nouse liian suureksi. Lämpötilaero saisi yleisen käsityksen mukaan olla enintään 30 celsiusastetta, että kattila toimisi hyvin. Kiertovesipumppu termostattiohjauksella voi ajaa saman asian.
4. Lähtö radiaattorille, levylämmönvaihtimelle tai lämminvesivaraajalle.
5. Haaroitus ja lähtö muuhun kiertoon, suljetaan tai rajoitetaan tarvittaessa kuivausaikaan.
6. Paluu muusta kierrosta.
7. Paluu radiaattorilta, levylämmönvaihtimelta tai lämminvesivaraajalta.
8. Kiertovesipumppu.
9. Kalvopaisunta-astia tasaamassa lämpötilavaihtelusta aiheutuvia paine-eroja, mitoitettava järjestelmän vesitilavuuden mukaan.
10. Paluu hakekattilalle.
11. Hakekattila.



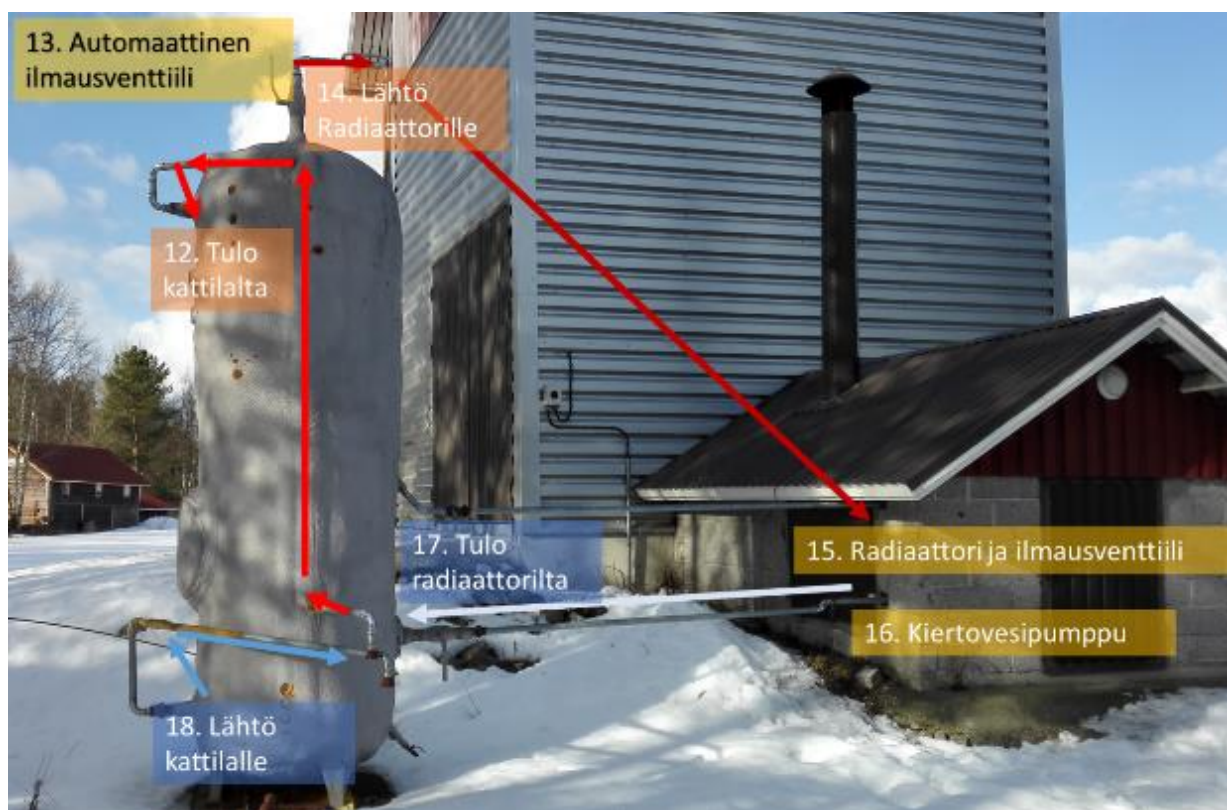
KUVA 13. Hakekattilahuoneen kokoonpano kuivurin lämpökierrolla (Perälä, 2018).

5.2.2 Toisiopiiri

Toisiopiiri tarvitaan, mikäli ensiöpiiri ei johda lämpöenergiaa suoraan radiaattorille. Toisiopiirissä voi kiertää eri neste kuin ensiöpiirissä levylämmönvaihtimen avulla. Toisiopiirin neste kannattaa olla levylämmönvaihtimen kanssa jäätymisen estävää glykoliseosta, jolloin koko järjestelmää ei tarvitse tyhjentää nesteestä pakkasjakson ajaksi. Sunntaus ei aina ole välttämätön toisiopiirissä, etenkin lämminvesivaraajan kanssa.

Toisiopiirin kiertovesipumpun olisi syytä olla säädettävä, jolloin veden kiertonopeudella voidaan haakea optimaalinen lämpöteho radiaattorille. Etenkin varaajaa käytettäessä on sen purkautumisaika järkevää jakaa mahdollisimman tasaisesti koko kuivauserän ajalle. Varaajan tuloputki kattilalta ja lähtö radiaattorille kannattaa olla varaajan yläosassa, sillä lämmin vesi nousee aina ylös. Varaajaa käytettäessä on automatiikka huomattavasti yksinkertaisempi toteuttaa, sillä toisiopiirin kiertovesipumppu voidaan sammuttaa jäähtyksen alettua täydestä lämmitystehosta. Hakekattila jatkaa talvoin varaajan vesimassan lämmittämistä, eikä ensiöpiirille tarvita tietoa kuivaajalta, sillä kattilan automatiikka ehtii reagoida hitaampiin lämmöntarpeen muutoksiin. Alla toisiopiirin komponenttien luettelo viitaten kuvaan 14.

12. Ensiöpiirin tulo kattilalta varaajalle tai levylämmönvaihtimelle.
13. Automaattinen ilmausventtiili.
14. Toisiopiirin lähtö varaajalta tai levylämmönvaihtimelta radiaattorille.
15. Radiaattori ja ilmausventtiili sen yläosassa.
16. Toisiopiirin oma kiertovesipumppu.
17. Toisiopiirin tulo radiaattorilta varaajalle tai levylämmönvaihtimelle.
18. Ensiöpiirin lähtö takaisin hakekattilalle.



KUVA 14. Varaajallisen kuivurin lämpökierron kokoonpano (Perälä, 2018).

5.3 Case-tilan tulos

Case-tilalla kuivataan vuosittain noin 260 tuhatta kiloa viljaa. Kuivurin öljynpolttimen teho on 250 kilowattia kaksitehopolttimella ja kuivurin koko on 120 hehtolitraa eli 12 kuutiota. Nykyinen polttoöljynkulutus on vaihdellut 4 000 – 7 000 litran välillä. Hakekattilan teho on 80 kilowattia. Näistä lähtökohdista selvitetiin laskurin avulla lisälämpölaitteiston kannattavuutta. Tarkemmat case-tilan laskenta-arvot ovat nähtävissä liitteissä 3-10.

Tutkimuksessa arvioitiin case-tilalle sopivan laitteiston hintatiedot kahdelta eri radiaattoritoimittajalta ja lämmönsiirtotarvikkeita myyvien yritysten verkkokaupoista. Hinta-arviot ovat nähtävissä taulukossa 6. Taulukon minimi- hintasarakkeen toteuttaminen vaatii edullisimpien tai käytettyjen tuotteiden hankkimista, kun taas maksimi- hintasarakkeen arvo riittää varmemmin laitteiston toteutukseen uusilla komponenteilla. Case-tilan laskenta-arvot ovat nähtävissä osiossa 5.1. Laskurin tuloksista on pääteltävissä, että merkittävimmät tekijät kannattavuuteen ovat polttoaineiden hinnat, hakekattilan teho ja kuivattava viljamäärä.

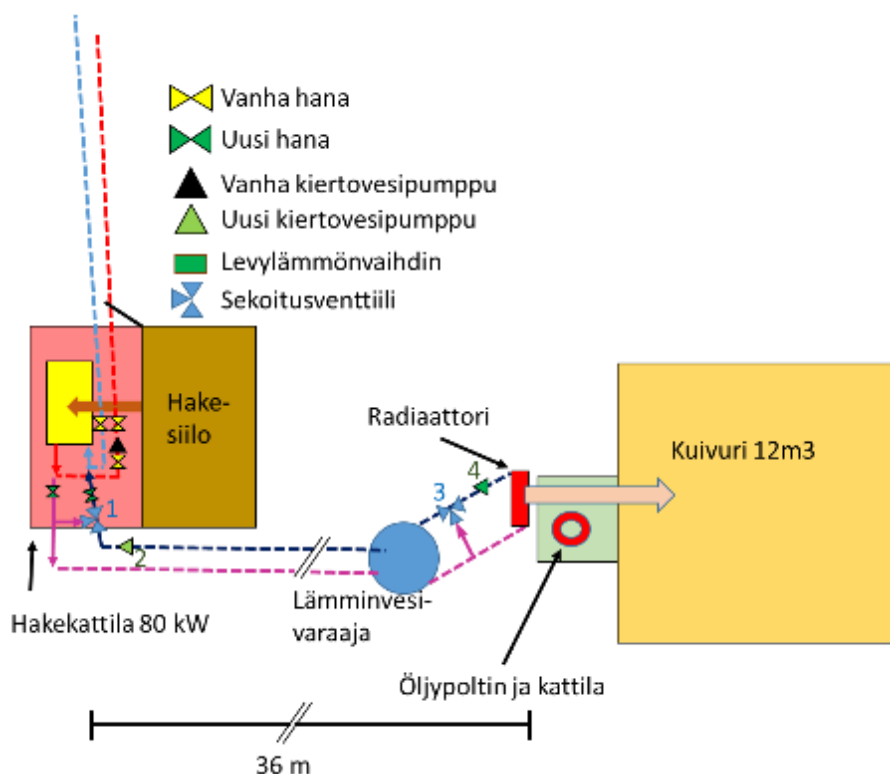
TAULUKKO 6. Case-tilan lisälämpöjärjestelmän hinta-arvio.

	€, alv 0% minimi	€, alv 0% maksimi
Radiaattori 110 kW	1 000	2 200
Varaaja 1000 litraa	900	1 800
Kiertovesipumppu 2 kpl	700	1 000
Sekoitusventtiili	100	200
Lämpökanaali, etäisyys 40 m	1 000	2 000
Hanat, mutkat, ym.	300	300
Suunnittelu ja asennus	1 000	1 000
yhteensä	5 000	8 500

5.3.1 Tekniset ratkaisut

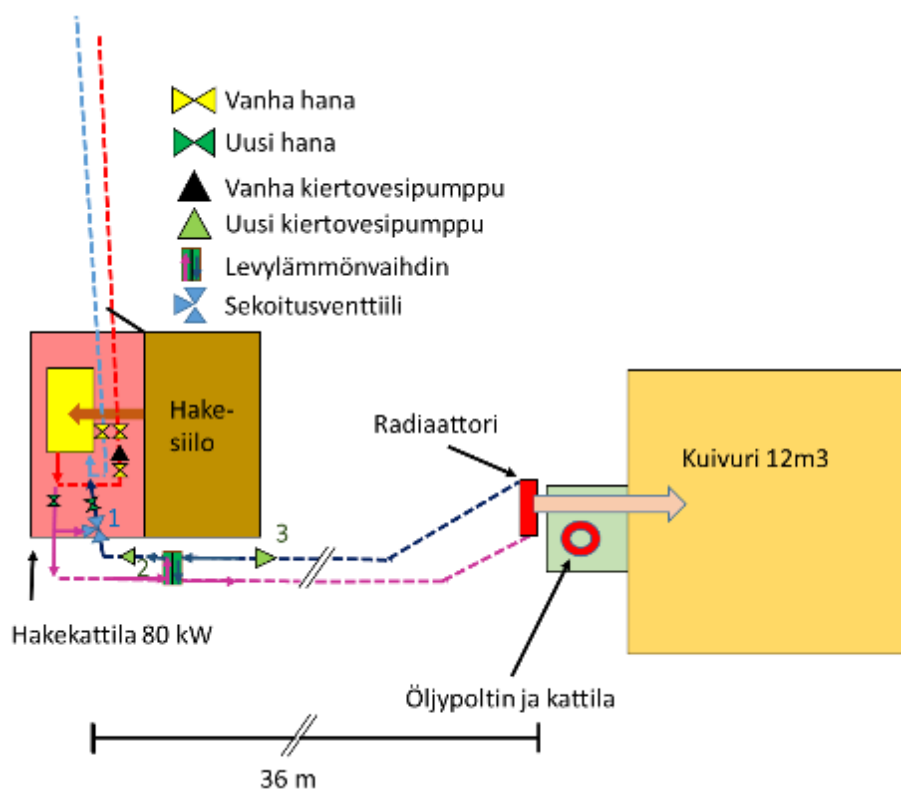
Case-tilan 20 vuotta vanhaa hakekattilaa silmällä pitäen suunniteltiin lisälämpöjärjestelmään noin 1000 litran lämminvesivaraaja, jonka lämmönvarastoisuiskyky tasaa hakekattilan lämpötehon vaihtelua etenkin kuivurin jäähdysten aikana. Kuviossa 8 on nähtävissä suunnitelma varaajallisesta toteutuksesta case-tilalla. Tämä toteutus vastaa taulukon 6 hinta-arvioita.

Lämmönsiirtoputket ovat kuvaajassa katkoviivoin, punaisen ja vaaleansinisen katkoviivan ollessa olemassa olevia lämpökanaaleita. Varaajan jälkeisen toisiopiirin sunntaus ei ole välttämätön, jos kierto-vesipumpun teho tilavuusvirtaus saadaan säädettyä sopivaksi. Hakekattilan olemassa olevassa kierrossa kiertää vesijohtovesi, jolloin myös kuivurin kierrossa täytyy käyttää vesijohtovettä, mikäli siihen ei asenneta levylämmönvaihdinta. Vesijohtovesi pitää tyhjätä järjestelmästä ennen pakkasia jäätymisestä johtuvien komponenttien hajoamisen välttämiseksi.



KUVIO 8. Radiaattorin vesikierron toteutus lämminvesivaraajalla.

Toissijaisena vaihtoehtona on kuivurikierron toteutus ilman varaajaa, mitä kuvaa kuvio 9. Mikäli levylämmönvaihdin asennetaan, voidaan kuivurin kierrossa käyttää jäätymisen estävää glykoliseosta. Toteutus ilman varaajaa vaatii automatiikkaa vesikierron lämpötilan hallittuun madaltamiseen kuivurin jäähtytyksen alkaessa, riippumatta siitä käytetäänkö levylämmönvaihdinta vai ei.



KUVIO 9. Radiaattorin vesikierron toteutus erillisellä kierrolla, levylämmönvaihtimen avulla.

5.3.2 Tulokset laskennasta

Hakekattilalta saatava teho kuivurille vievän lämpöputkiston tehohäviö huomioituna olisi 77,6 kilowattia. Varaajallisen järjestelmän 1 200 litran glykolia sisältävän vesimassan lämmittäminen 20 asteen lämpötilasta tavoitelämpötilaan 90 astetta kestäisi 0,9 tuntia eli 54 minuuttia. Varaajan vesimassan jäähtyessä 60 asteeseen kuivauksen aikana, ottaa vesimassan lämmittäminen takaisin 90 asteeseen kuivurin jäähdytyksen aikana 0,39 tuntia eli 23 minuuttia.

Järjestelmän 1 200 kilon vesimassaan 30 asteen lämpötilaerolla varastoituu 30 kilowattia energiaa. Kun tämä energiamäärä puretaan keskimääräisen seitsemän tuntia kestävästä kuivauserän aikana tasaisesti radiaattorille, saadaan nestemassaan varastoidusta energiasta purettua radiaattorille 4 kilowattia tunnissa hakekattilan tehon lisäksi, eli yhteensä 82 kilowattia. Tällä 82 kilowatin radiaattoriteholla saadaan nostettua kuivurin ottoilman lämpötilaa 19 astetta ilmamäärän ollessa 12 000 kuutiota tunnissa.

Ensiöpiirin kiertovesipumpulla täytyy saavuttaa 1,29 litran tilavuusvirta sekunnissa, kun varaajalta palaava neste suntataan 70 asteiseksi ennen kattilaa. Toisiopiirin kiertovesipumpun tilavuusvirta on 0,91 litraa sekunnissa, kun tavoitellaan 30 asteen lämpötilan laskua veden kulkiessa radiaattorin läpi. Mitä hitaammin vesi kiertää toisiopiirissä, sitä viileämmäksi vesi jäähtyy radiaattorin läpi kulkiessa ja sitä enemmän saadaan radiaattorille luovutettua tehoa.

Polttoöljyn hinta laskennan hetkellä on ollut 0,7 euroa. Maataloudessa käytetystä polttoöljystä saa 0,0705 euroa valmisteveron palautusta vuonna 2018. Polttoöljyn megawattitunnin arvo on täten 62,8 euroa, kun hakkeen keskihinta käyttöpaikalla oli Suomessa samaan aikaan 19 euroa megawattitunnilta. Toimeksiantaja haluaa hakelisälämmöstä aiheutuvalle lisätyölle 16,1 euron tuntipalkan. Lisätyömäärää on arvioitu koituvan 6 tuntia, eli lisätyön kustannus on 97 euroa vuodessa.

Viljaa on keskimäärin kuivattavana 266 tuhatta kiloa, mikä annetuilla hehtolitrainoilla tarkoittaa 33 kuivurierästä. Kuivurierän kuivauksen kestäessä keskimäärin 7 tuntia, on öljynpolttimen käyttötunnit keskimäärin 231 tuntia vuodessa. Ilman hakelisälämpöä 250 kilowatin öljykattila tuottaa tässä ajassa 57 750 kilowattia, minkä tuottaminen kuluttaa 5 763 litraa polttoöljyä, jonka arvo valmisteveron palautuksen jälkeen on 3 628 euroa.

Hakelämmöllä saavutettavalla 82 kilowatin radiaattoriteholla voidaan korvata 33 prosenttia öljynpolttimen lämpötehosta. Kun öljynpolttimen tehoa pienennetään radiaattoritehon verran, säästyy vuodessa 1 888 litraa polttoöljyä. Tämän korvaaminen hakkeella kuluttaa 20 046 kilowatin edestä haketta, kun kulutuksessa huomioidaan lisälämpöjärjestelmän ylösajojen energiatarpeet ja kattilan hyötysuhde. Kun hakkeen energiasisältö on 820 kilowattituntia irtokuutiota kohden, tarkoittaa tämä 31 irtokuution polttamista. Tällaisen hakemäärän arvo on 476 euroa vuodessa.

Polttoöljyä säästetään lisälämmön myötä 1 188 euroa vuodessa. Kun tästä vähennetään hakkeen arvo, lisätyömäärän arvo ja laitteiston kunnossapidosta aiheutuvat kulut ja muut mahdolliset kulut, joita on laskettu 300 euron edestä, muodostuu kustannussäästöksi 316 euroa vuodessa. Toisin sanoen laitteisto tuottaa 316 euroa vuodessa.

Tutkimuskysymys oli "Kuinka paljon kuivurin lisälämpölaitteisto saa maksaa, että se on taloudellisesti kannattava?". Case-tilan tulokseksi saatiin 1 827 euroa, kun toimeksiantaja haluaa investoinnille 5 prosentin korkotuoton ja 7 vuoden takaisinmaksuajan. Lisälämpöjärjestelmää ei pystytä toteuttamaan tähän hintaan nykyisillä tehoilla, kuivausmäärillä ja polttoaineiden hinnoilla. Alimman mahdollisen toteutuskustannuksen ollessa 5 000 euroa, on laskennan tulos tästä summasta 37 prosenttia.

Järjestelmän toteutus vähentäisi case-tilan hiilidioksidipäästöjä 2 391 kiloa vuodessa. Nykyaikaisella henkilöautolla pitäisi ajaa 20 000 kilometriä, että päästöjä muodostuu yhtä paljon kuin mitä viljan-kuivauksessa olisi säästettävissä hakelämmön avulla. Oletuksena nykyaikainen henkilöauto tuottaa hiilidioksidipäästöjä noin 120 grammaa kilometriä kohden.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

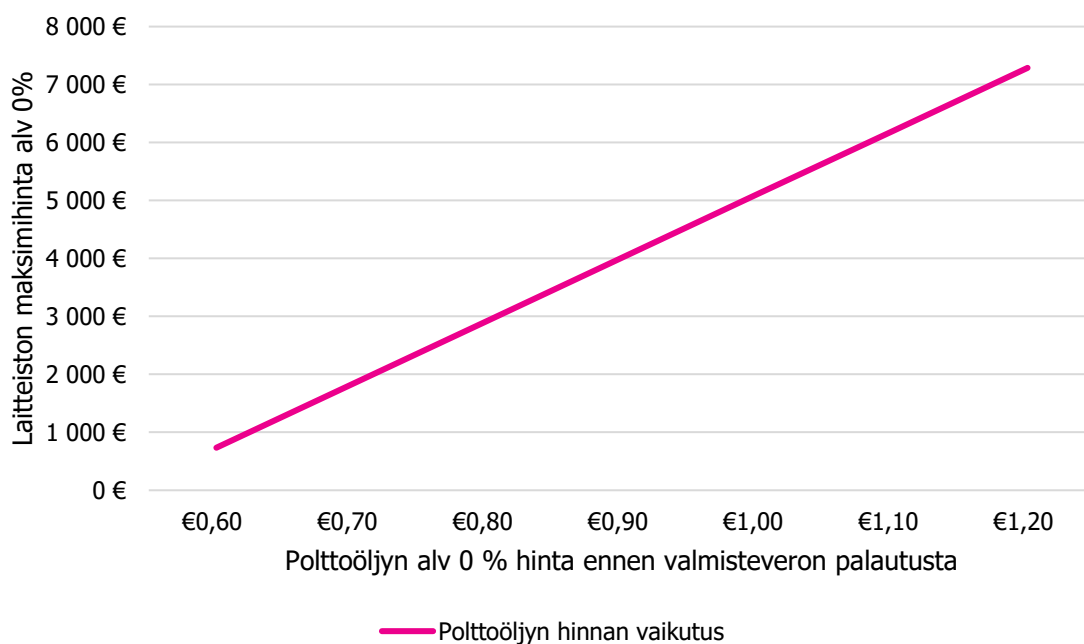
Tutkimuksen tavoitteina oli selvittää, miten hake-energian avulla voitaisiin saada säästöjä viljan-kuivaukseen case-tilalla, millaisella laitteistolla lämpöenergia siirtyisi kuivurille ja kuinka paljon laitteisto saisi maksaa. Lisäksi haluttiin selvittää millaisia säästöjä päästöjen osalta muodostuisi vähentämällä fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Case-tutkimuksesta huolimatta haluttiin tutkimuksesta tehdä mahdollisimman yleishyödyllinen, sillä mielenkiintoa aihetta kohtaan on etenkin nyt määrän sadonkorjuusyksyn 2017 jälkeen.

Tavoitteet täytettiin hyvin case-tilan osalta, ainoastaan tarkka LVI-tekniinen toteutussuunnitelma ja hinnoittelu jäi tekemättä. Nämä kannattaa tehdä sitten, kun toteutus alkaa näyttämään taloudellisesti kannattavalta. Alempana pureudutaan taloudellisen kannattavuuden raja-arvoihin tarkemmin. Laskurin testaaminen jäi melko vähälle, mutta laskurin tulos on luotettavasti suuntaa antava. Työn yleishyödyllisimmät osiot ovat teknisten toteutusvaihtoehtojen esittely ja kuivurin lisälämpölaskuri, joten myös yleishyödyllisyyttä koskevaan tavoitteeseen päästiin.

Polttoöljyn hinnassa on tulevaisuudessa nousupainetta johtuen fossiilisten polttoaineiden ilmastonmuutosta kiihdyttävistä hiilidioksidipäästöistä ja öljyvarantojen rajallisuudesta. Nämä asiat myös painostavat valtiota nostamaan fossiilisten polttoaineiden verotusta. Tästä esimerkkinä vuoden 2018 vaihtuessa lämmitys-, työkone- ja voimalaitospolttoaineiden energiaveroja korotettiin keskimäärin seitsemän prosenttia. Raakaöljyn hinta oli muutenkin korkeimmillaan kolmeen vuoteen. (Kyytsönen, 2017.) Polttoöljyn hinnalla on merkittävä vaikutus lisälämpölaitteiston kannattavuuteen. Yleensä eri polttoaineiden hinnat ovat sidoksissa toisiinsa, jolloin hakkeen hinta nousee todennäköisesti öljyn hinnan noustessa. Kyse on kulloisenkin hetken polttoaineiden hintaerosta, millä on suuri vaikutus lisälämpöjärjestelmän kannattavuuteen.

Kuviossa 10 nähdään polttoöljyn hinnan vaikutus case-tilan laitteiston taloudellisesti kannattavaan maksimihintaan. Kuten edellä mainittua, kyse on vertailtavien polttoaineiden hintaerosta, ei pelkästään polttoöljyn hinnasta. Hakkeen arvo voi nousta polttoöljyn hinnan nousun myötä, jolloin kannattavuus ei parane samassa suhteessa kuin taulukossa, missä hakkeen hinta on vakioitu 19 euroon megawattia kohden.

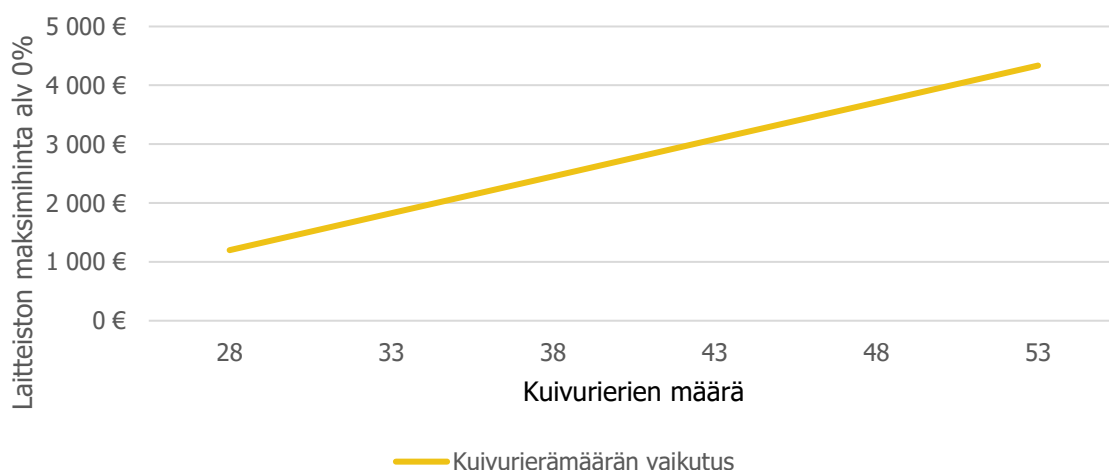
Polttoöljyn hinnan noustessa 57 % 0,70 eurosta 1,10 euroon, nousee laitteiston taloudellisesti kannattava maksimihinta 1 800 eurosta yli kolminkertaiseksi, 6 200 euron. Laitteisto kannattavuus on täten hyvin riippuvainen polttoaineiden hintaerosta. Case-tilan laitteisto maksaisi vähintään 5 000 euroa, jolloin kannattavuuden raja-arvo on euron polttoöljylitrahinnassa.



KUVIO 10. Polttoöljyn hinnan vaikutus lisälämpölaitteiston maksimihintaan

Mitä enemmän investoinnille saadaan tuottavia käyttötunteja, sitä kannattavampi se on. Näin ollen kuivattavalla viljamäärällä on vaikutusta lisälämpölaitteiston kannattavuuteen, kuten kuviosta 11 nähdään. Toinen käyttöaika lisäävä tekijä on keskimääräisen kuivausajan nousu, johtuen märemänä kuivatusta viljasta tai alemmista kuivauslämpötiloista.

Case-tilan viljankuivuri on 120 hehtolitrin, eli 12 kuution kokoinen. Sillä kuivataan keskimäärin 33 erää vuodessa, jolloin lisälämpö laitteiston kannattava maksimihinta on noin 1800 euroa. Jos kuivurien määrä kasvaisi 45 %, eli 48 erään vuodessa, nousisi laitteiston kannattava maksimihinta 103 %, eli noin 3 700 euroon. Laskennassa ei ole huomioitu lisääntyneestä hakkeen kulutuksesta aiheutuvaa lisätyö- ja ylläpitokulumäärää, joten arvot ovat suuntaa antavia. Case-tilalla täytyisi kaksinkertaistaa kuivattava viljamäärä, ennen kuin lisälämpölaitteisto pystyttäisiin toteuttamaan 5 000 euron kustannuksella.

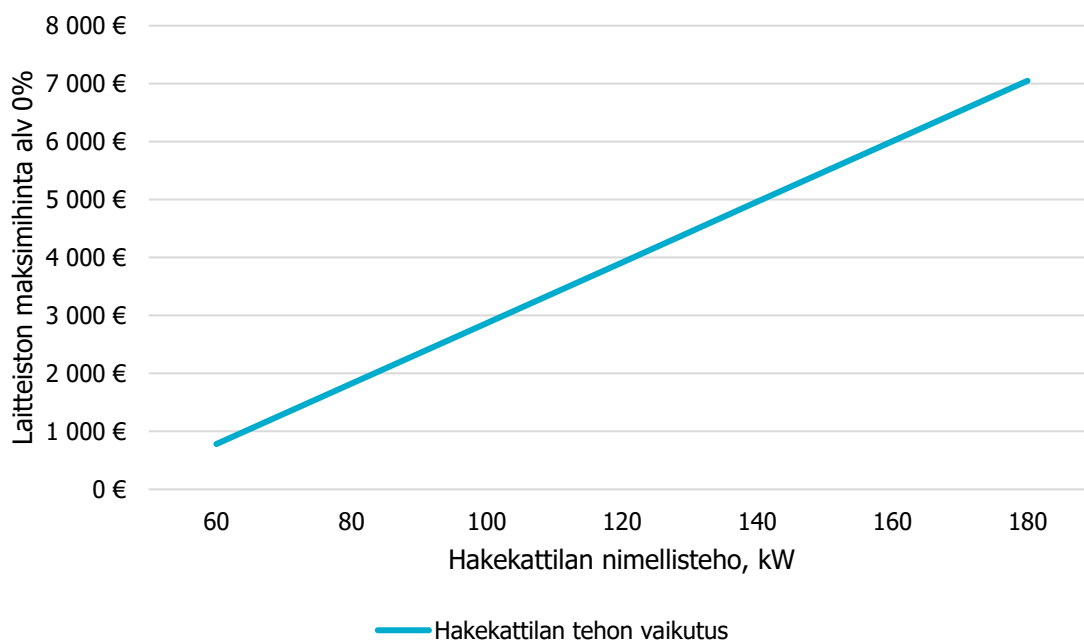


KUVIO 11. Kuivurierienmäärän vaikutus lisälämpölaitteiston maksimihintaan

Hakekattilan teholla on merkittävä vaikutus lisälämpölaitteiston kannattavuuteen. Tässä tutkimuksessa keskityttiin olemassa olevan hakekattilan hyödyntämiseen, joten kalliimman kattilan kiinteiden kustannusten vaikutusta lisälämpölaitteiston kannattavuuteen ei ole huomioitu.

Mikäli case-tilalla olisi 80 kilowatin kattilan sijaan kaksi kertaa tehokkaampi 160 kilowatin kattila, nousisi laitteiston taloudellisesti kannattava maksimihinta 18 00 eurosta yli kolminkertaiseksi 6 000 euroon kuvion 12 mukaisesti. Tehokkaamman hakekattilan lisääntyvää työtarvetta hakkeen täytön osalta ei ole huomioitu laskennassa, mutta sillä ei ole suurta vaikutusta tulokseen. Case-tilalla pitäisi olla 140 kilowatin lämpökattila, että lisälämpölaitteiston toteutus kannattaisi 5 000 euron hinnalla.

Nykyinen lämpökattila on 20 vuotta vanha, joten sen kuluessa puhki kannattaa case-tilalla laskea kannattaisiko investointi tehokkaampaan hakekattilaan. Jos uusimishetkellä polttoöljyn hinta on esimerkiksi 0,9 euroa litralta, saisi 100 kilowatin hakekattilateholla lisälämpöjärjestelmä maksaa 5 589 euroa, mikä riittäisi budjettimallin toteutukseen. Tässä tilanteessa on kuitenkin huomioitava tilan muu lämmönkulutus laskelmissa ja verrattava eri kokoisten hakekattiloiden hintaeroja, sillä viljan-kuivauksesta ei tule kuin reilu kaksisataa käyttötuntia kattilalle vuodessa.



KUVIO 12. Hakekattilan tehon vaikutus lisälämpölaitteiston maksimihintaan

Laskurin perusteella lämminvesivaraajalla ei case-tilan tapauksessa saavuteta merkittävää säästöä. Varaajan koon nosto 1 000 litrasta 5 000 litraan vaikuttaa maksimihintaan vain 230 euroa. Case-tilan iäkkään kattilan säästämiseksi kannattaisi järjestelmään asentaa pienehkö, noin 1 000 litran varaaja tasaamaan kattilan lämpötilavaihtelua, vaikkei varaajasta saada laskennan perusteella taloudellista hyötyä. Varaajalla toteutettuna automatiikka olisi yksinkertaisempi ja siltä osin edullisempi kuin ilman varaajaa.

Yksi huomioon otettava seikka on hake raaka-aineen riittävyys tilan omista metsistä tai vapailta markkinoilta. Myös varastointitilan riittävyys on huomioitava, sillä taivasalla ei hake säily hyvälaatuisena. Case-tilalla haketta kuluisi 31 irtokuutiota vuodessa pelkkään hakekuivaukseen. Case-tilan olemassa oleva hakevarasto riittäisi tällaiselle määrälle.

7 POHDINTA

Miksi käyttäisi viljankuivauksen energianlähteenä jotain muuta, kuin vaivatonta polttoöljyä? Yhtenä syynä hakkeen ja monen muun kiinteän polttoaineen uusiutuvuus, ne ovat kasvihuonepäästöjen kannalta neutraalimpia, kuin polttoöljy. Myös alkutuotannossa voi olla yrityksen arvopohjan ja imagosyiden takia perusteltua käyttää uusiutuvia polttoaineita viljankuivauksessa polttoöljyn sijaan, vaikkei se aina olisikaan taloudellisin vaihtoehto. Jos yritys tekee alkutuotannon lisäksi tai sen sijaan myös tuotteiden jatkojalostusta, voi ympäristöystävällinen imago koitua ympäristötietoisten kuluttajien ostokäyttäytymisen kautta myös merkittäväksi taloudelliseksi hyödyksi.

Eräs merkittävä syy uusiutuvien polttoaineiden käytölle voi olla tilan varautuminen maailmanpoliittisiin kriiseihin, jolloin tilan energiaomavaraisuuden merkitys kasvaa. Maailmanpoliittinen kriisi voi aiheuttaa ennalta arvaamattomia muutoksia öljyn hintaan. Pahimmassa tapauksessa voi valtio joutua sotaan, jolloin öljyn saatavuus voi olla hyvin epävarmaa ja sen käyttöä voidaan säädellä tarkkaan. Sotatilassa maatilojen energiaomavaraisuuden merkitys on suuri kansalaisten ruoansaannin takaamiseksi.

Tärkein tulos tutkimuksesta oli case-tilalle, ettei lisälämpöjärjestelmä ole järkevä investointi tässä tilanteessa, vaikkakin merkittävät hiilidioksidipäästö säästöt sillä saisi aikaan. Tämä tulos vastaa toimeksiantajan pohdintaan kyseisestä investoinnista. Tavoitteena oli saada säästöjä viljankuivaukseen, joten seuraavaksi tulisi selvittää mitä muita vaihtoehtoja olisi, millä saavutetaan taloudellista ja ympäristön säästöä. Yhtenä esimerkkinä nousi viljankuivurin eristäminen, millä voidaan saada aikaan 10–20 % energiansäästöt (Ahokas ym., 2014, s. 92-93). Case-tilalla 15 % energiansäästö tarkoittaisi noin 860 litran polttoöljysäästöä vuodessa, mikä 0,63 euron litrahinnalla tarkoittaisi 540 euron kustannussäästöä vuodessa polttoöljystä. Investoinnin kannattavuuden laskeminen vaatisi eristysprojektin hinnan selvittämisen.

Laskurilla ei pysty huomioida pelkästään hakelämmöllä kuivattavien erien vaikutusta polttoöljyn säästöön. Esimerkiksi case-tilalla saavutetaan 19 asteen nousu kuivausilman lämpötilaan pelkästään hakelämmöllä. Jos ulkoilma on 20 asteista, päästään 39 asteen kuivauslämpötilaan, joka on jo melko lähellä herneen, härkäpavun ja kuminan noin 45 asteen suosituskuivauslämpötilaa. Näitä kasveja voisi kuivata pelkällä hakelämmöllä ja saavuttaa täten enemmän säästöä polttoöljylaskussa.

Jatkotutkimusaiheeksi nousi esiin käytännön mittausten tekeminen lisälämpöjärjestelmästä. Täten saataisiin tilastollista tietoa todellisista kulutuksista, lisätyöajoista ynnä muista muuttujista. Myös teknisestä toteutuksesta saisi hyvän jatkotutkimusaiheen esimerkiksi energiatekniikan koulutusohjelmaa suorittavalle henkilölle.

Yhteenvedona tutkija on tyytyväinen tutkimukseensa. Työ tarjosi hänelle kaipaamaansa monialaisuutta maatalouden ja energiatekniikan välillä. Myös toimeksiantaja saa työstä paljon hyödyllistä tietoa irti, vaikkei työ johda vielä lisälämpölaitteiston toteutukseen.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- ABB- yhtymä. (21. 2 2017). *Mikä taajuusmuuttaja on?* Noudettu osoitteesta
<http://www.abb.fi/cawp/db0003db002698/d5b664f5dd909412c1257291003ef7cc.aspx>
- Ahokas, J. (2013). *Maatilojen energiankäyttö: Enpos-hankkeen tulokset*. Helsinki: University of Helsinki.
- Ahokas, J.;& Jokiniemi, T. (2014). *Viljankuivaus*. Haettu 13. 1 2017 osoitteesta Energia-akatemia:
http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/74/Viljankuivaus_netti.pdf
- Ahokas, J.;Hautala, M.;& Jokiniemi, T. (2014). *Maatilakuivurit*. Haettu 13. 1 2017 osoitteesta Energia-akatemia:
<http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/59/Maatilakuivurit.pdf>
- Alakangas, E. (2000). *Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia*. Haettu 21. 2 2017 osoitteesta
<http://www.motiva.fi/files/685/t2045.pdf>
- Alberta Pulse Growers Commission. (ei pvm). *Alberta Pulse Growers*. Haettu 14. 5 2017 osoitteesta Storing Your Field Peas: <http://pulse.ab.ca/producers/varieties-management/peas/storage/>
- Alvan Blanch. (2017). *Satabio*. Haettu 9. 5 2017 osoitteesta DF mallit:
<http://www.satabio.fi/tuotteet/alvanblanchkuivurit/dfmallit>
- Antti-teollisuus. (2015). *Antti Agrosec viljankuivuri*. Haettu 18. 5 2017 osoitteesta https://antti-teollisuus.fi/sites/default/files/fi408114%20Antti%20Agrosec%20viljankuivurin%20ka%CC%88ytto%CC%88ohje%2012-2015_fi_0.pdf
- Arskametalli Oy. (2017). *Arskametalli Oy esite 2017*. Haettu 5. 5 2017 osoitteesta
http://fi.arskametalli.fi/sites/default/files/pictures/pdf/esitteet/esite2017_web.pdf
- Arskametalli Oy. (2017). *Kuivurikoneiston asennus- ja käyttöohje*. Haettu 5. 5 2017 osoitteesta
http://fi.arskametalli.fi/sites/default/files/pictures/pdf/ohjekirjat/kuivurikoneisto_asennusohje_201701_web.pdf
- Bioenergianeuvoja. (ei pvm). *Energia-arvot ja muuntokertoimet*. Noudettu osoitteesta
<http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/biopolttoaineiden-muuntokertoimia/>
- Bio-Expert Oy. (ei pvm). *Radiaattorit*. Haettu 21. 2 2017 osoitteesta
<http://lammitysjarjestelmat.com/viljankuivatus/radiaattorit/>
- Caraway Finland Ab. (2016). *Kuminan viljelyopas 2016*. Närpiö.
- Esala, J. (ei pvm). *Hakkeelle on laskettavissa monta energiahintaa*. (E. akatemia, Toim.) Haettu 22. 4 2018 osoitteesta Energia akatemia: <http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/56/39%20Hakkeelle%20on%20laskettavissa%20monta%20energiarahintaa%20.pdf>
- Farmit Website Oy. (2017). *Farmit*. Haettu 4. 5 2017 osoitteesta Viljamarkkinat:
<http://www.farmit.net/talous/viljamarkkinat>
- Finanssiala ry. (2017). *Kiinteän polttoaineen lämpökeskuksen turvallisuusohje*. Helsinki: Finanssiala ry. Noudettu osoitteesta
http://www.finanssiala.fi/vahingontorjunta/dokumentit/Kiintean_polttoaineen_lampokeskuksen_paloturvallisuus.pdf
- Harju, P. (2014). *Talotekniikan perusteet 2*. Kouvola.
- Helsingin yliopisto. (2004). *Helsinki*. Haettu 5. 5 2017 osoitteesta Kansantiede:
<http://www.helsinki.fi/kansantiede/histmaatalous/peltoviljely/kasinpuinti.htm>

- Hippinen, I.;Suomi, U.;& Motiva Oy. (12 2012). *Yksittäisen kohteen CO2 päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO2 päästökertoimet*. Haettu 22. 4 2018 osoitteesta https://www.motiva.fi/files/6817/CO2-laskenta_yksittainen_kohde.pdf
- Hirsjärvi, S.;Remes, P.;& Sajavaara, P. (1997). *Tutki ja kirjoita* (13., osin uudistettu painos p.). Helsinki: Tammi. Ilmatieteen laitos. (ei pvm). *Ilmasto-opas*. (Ilmatieteen laitos) Haettu 24. 4 2018 osoitteesta Kasvihuonekaasut lämmitävät: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3a576a6e-bec5-44bc-a01d-11497ebdc441/kasvihuonekaasut-lammitavat.html>
- Kananen, J. (2013). *Case tutkimus opinnäytetyönä*. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Knuutila, K. (2003). *Puuenergia*. Jyväskylä: Jyväskylän teknologiakeskus Oy.
- Koskiniemi, E.;& Ala-Talkkari, H. (2009). *Viljankuivaus kotimaisella polttoaineella -opas*. Helsinki: Metsäkeskukset.
- Kyytsönen, J. (31. 12 2017). *Maaseudun tulevaisuus*. Haettu 25. 4 2018 osoitteesta Öljyn hinta kohosi vuodenvaihteessa korkeimmalleen vuosiin: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/talous/artikkeli-1.219177>
- Lahden teho-opetus Oy. (ei pvm). *Kaavat*. Lahden teho-opetus. Haettu 18. 3 2018 osoitteesta <https://www.teho-opetus.net/kaavat/kaavat1.pdf>
- Metsälehti. (ei pvm). *Metsälehti*. Haettu 19. 3 2018 osoitteesta Metsäenergian käyttöpaikkahinnat: <https://www.metsalehti.fi/puunhinta/metsaenergian-kayttopaikkahinnat/>
- Motiva. (3. 3 2017). *Motiva*. Haettu 18. 3 2018 osoitteesta Laskukaavat: Lämmin käyttövesi: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi
- Motiva Oy. (2010). *Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökertoimet sekä energian hinnat*. Motiva Oy. Haettu 3. 19 2018 osoitteesta https://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf
- Palva, R.;Kiikkari, A.-M.;& Teräväinen, H. (2005). *Viljasadon käsittely ja käyttö*. Vantaa: Jokioinen: ProAgria maaseutukeskusten liitto ; [Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus].
- Peltola, A.;& Kallioniemi, M. (1988). *Viljankuivausopas*. Helsinki: Työtehoseura ry.
- Perälä, P. (2018). Laihia. Haettu 26. 4 2018
- Perälä, P. (2018). *Kuivurin lisälämpölaskuri*. Iisalmi: Savonia ammattikorkeakoulu. Haettu 19. 3 2018
- Perälä, P. (ei pvm). *Case-tilan hakelaitos ja viljankuivaamo*. Laihia. Haettu 03. 11 2016
- Pohjola Vakuutus Oy. (2012). *Viljankuivaamoiden paloturvallisuus*. Helsinki: Pohjola Vakuutus Oy. Noudettu osoitteesta http://fi.arskametalli.fi/sites/default/files/pictures/pdf/ohjekirjat/paloturvallisuus_pohjola.pdf
- Pro Agria Keskusten liitto. (ei pvm). *Viljan kuivaus voi viedä yksinään enemmän energiaa kuin koko viljely*. Haettu 21. 3 2017 osoitteesta Viljan kuivaus voi viedä yksinään enemmän energiaa kuin koko viljely
- Puhakka, A.;Alakangas, E.;Alanen, V.-M.;Airaksinen, L.;Soini, R.;Soini, R.;. . . Kainulainen, S. (2001). *Hakelämmitysopas*. Joensuu: Motiva.
- Rapsi.fi. (28. 08 2014). *Rapsi.fi*. Haettu 5. 10 2017 osoitteesta Rypsin ja rapsin kuivaus: <http://www.rapsi.fi/rapinaa.php?indeksi=39>
- Reikälevy Oy. (1982). *Viljan, heinän ja hakkeen kylmäilmakuivatus*. Ylihärmä.
- Routa, J. (3 2011). Intensiivinen metsänhoito parantaa tuotosta ja alentaa samanaikaisesti energiapuun käytön hiilidioksidipäästöjä. Teoksessa *Metsätieteen aikakauskirja* (ss. 233-236). Joensuu, Suomi. Noudettu osoitteesta <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/533092/JoRouta.pdf?sequence=1>

- Solmio, H.;& Valkonen, J. (2002). *Hakkeen käyttö ja haketekniikan kehitystarpeet maatiloilla*. Helsinki: Työtehoseura.
- Suomi, P. (2003). *Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljatilalla*. Jokioinen: Vihti: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus.
- Surojegin, P.-L. (1979). *Kansanperinteen sanakirja*.
- SVT: Luonnonvarakeskus. (24. 11 2016). *LUKE*. Haettu 24. 1 2017 osoitteesta
http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuotanto__14%20Satotilasto/01_Viljelykasvien_sato.px/table/tableViewLayout1/?rxid=ba723b9e-359b-4d26-a332-f10323330eea
- Talotekniikan opetussivusto. (ei pvm). *Pumppu*. Haettu 21. 2 2017 osoitteesta
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/lvi/aiho3/pumppu.htm>
- Tukes. (ei pvm). *Kiinteän polttoaineen lämmityskattiloiden turvallisuus*. Helsinki: Tukes. Noudettu osoitteesta
http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_opaat/Kattilaopas.pdf
- Tulituote Oy. (ei pvm). *Lämmönvaihdin*. Haettu 21. 2 2017 osoitteesta
<http://www.tulituote.com/tuotteet/vesikiertotuotteet/aurinkokeraimet/lammonvaihdin/>
- Verohallinto. (2018). *Energiavero*. (Verohallinto, Toimittaja) Haettu 18. 3 2018 osoitteesta
<https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/maatalousyrittaja/energiavero/>
- Vexve Oy. (6 2016). *Vexve sekoitusventtiilit*. Haettu 15. 2 2017 osoitteesta
https://vexve.studio.crasman.fi/file/dl/i/OeauDA/nxd4_voKkfrYk0jIQHPgng/Vexve_sekoitusventtiilit-FI.pdf
- Wexon Oy. (ei pvm). *Diamix - Compamix*. Haettu 15. 2 2017 osoitteesta
<http://www.wexon.fi/sites/default/files/pdf/diacompamix.pdf>
- Viirimäki, J. (2008). *Maatilan hakelämmitysopas*. Helsinki: Metsäkeskukset.
- Viitala, H. (ei pvm). *Savonia moodle*. Haettu 3. 19 2018 osoitteesta Investoinnin kannattavuus eri menetelmillä, esimerkki:
http://moodleold.savonia.fi/pluginfile.php?file=%2F353023%2Fmod_folder%2Fcontent%2F0%2FInvestoinnin%20kannattavuus%20eri%20menetelmill%C3%A4%2C%20esimerkki.pdf&forcedownload=1
- Virtuaali ammattikorkeakoulu. (ei pvm). *Virtuaali ammattikorkeakoulu*. Haettu 19. 3 2018 osoitteesta
 Annuiteettimenetelmä:
<http://www2.amk.fi/digma.fi/eetu/www.amk.fi/opintojaksot/500/1138278559722/1138279515236/1138279825738/1138280214723.html>
- Vuorio, K. (2009). *Kauran ja puupelletin polttokokeet viljanpoltoon sopivalla polttimella*. Rajamäki: TTS-tutkimus. Noudettu osoitteesta <http://www.tts-nyt.fi/images/julkaisut/tiedostot/met734.pdf>
- Ylhäinen, A. (11. 9 2009). Härkäpapua ohran tilalle. *Käytännön Maamies*(11), 21-22.
- Öljy- ja biopoltoaineala ry. (ei pvm). *Kansainväliset öljymarkkinat ja hintatekijät*. Haettu 21. 2 2017 osoitteesta
<http://www.oil.fi/fi/oljy/kansainvaliset-oljymarkkinat-ja-hintatekijat>

LIITE 1: ASIANTUNTIJAHAASTATTELUJEN RAPORTOINTI, TILAT 1 JA 2

Tila numero	1	2
Haastattelu päivämäärä	17.3.2017	20.3.2017
Sijainti	Lapua	Kyyjärvi
Kuivurin koko, hl	207	140
Kuivattava viljamäärä, tn	n.520	n. 90, vaihtelee
Kuivurin uunin teho, kW	200	210
Hakekattilan teho, kW	160 palopää, n. 200 pelletillä	85
Radiaattorin teho, kW	400	110
Kanaalin pituus edestakaisin yht, m	10	40
Kanaalin putkien halkaisija, mm	50	38
Kanaalin materiaali	rauta	Eristetty rautakanaaliputki pinta-asennuksena
Lämminvesivaraajan tilavuus, m3	5000	3000
Savukaasujen lämpötila, °C	500	150-160
Lähtevän veden lämpötila, °C	95-100 varaajalta radiaattorille	93 kattilalta varaajalle
Paluuveden lämpötila, °C	35 radiaattorilta varaajalle	n. 60 sunntauksen jälkeen varaajalta kattilalle
Imuilman lämpöt. pelkällä lisälämmöllä, °C	70-84	n. 40
Neste kanaalissa	vesijohtovesi	vesijohtovesi
Öljyn kulutus ennen lisälämpöä, l	10 000 - 15 000	n.4000
Öljyn kulutus jälkeen lisälämmön, l	0	n.2000
Kiinteän polttoaineen kulutus, i-m3	15t kg pellettiä/kauraa	ei tietoa
Kiinteä poltettava materiaali	Pelletti tai kaura	hake
Hakekattilan valmistaja	Ala-Talkkari Veto vm 2006	Gilles HPK Ra 85 vm 2013
Radiaattorin valmistaja	Koja	Koja
Radiaattorin jäätyminenesto	Radiaattori kattilahuoneen vierisessä huoneessa, missä lämmitys. Kuivausaikaan huoneen ovi pidetään auki imuilmalle.	Radiaattori ulkoilmassa, se on mennyt kerran vaihtoon jäätyminen takia, järjestelmä pitäisi tyhjentää huolellisesti vesijohtovedestä ennen pakkasia.
levylämmönvaihdin	ei ole	ei ole
Lisätyöt johtuen lisälämmöstä	Kuivauskaudella 3 päivän välein noin 6 kuutiota pellettiä tai kauraa kattilan polttoainesiihloon, ei merkittävää lisätyömäärää.	Hakkeen täyttö, radiaattorin putsaus.
Toteutus	Kattila lämmittää varaajan vettä jatkuvasti. Varaaja toimii lämpöakkuna, jolloin radiaattorille saadaan kuivauksen aikana purettua hakekattilan tehon lisäksi varastotehoa. Veden sunntaus radiaattorille automaattisella Ouman-laitteella. Veden lämpötila varaajalla kuivauksen lopussa 70 celsiusastetta. Hakekattilassa automaattinen nuohous, liikkuva arina ja kauran poltto-ohjelma.	Kattila lämmittää varaajan vettä jatkuvasti. Varaaja toimii lämpöakkuna, jolloin radiaattorille saadaan kuivauksen aikana purettua hakekattilan tehon lisäksi varastotehoa. Varaajan varastotehoa riittää noin viideksi tunniksi sen hetken asetuksilla. Varaaja tehty paineilmasäiliöstä ja eristetty pinta uretaanilla. Kuivuriuunin suutin vaihdettu lisälämmön jälkeen 17,03 l/h-> 9,46 l/h. Hakekattilassa automaattinuohous. Järjestelmässä 3 barin varoventtiilit, normaali käyttöpaino vähintään 1 bari. 150 litran kalvopaisunta-astia tasaamassa suurta painevaihtelua.
Huomiot	Kauran poltossa pitää yrittäjän kokemusten mukaan olla liikkuva arina, sillä muuten tuhkaakut muodostuvat niin koviksi, ettei niihin meinaa tepsä edes vasara. Kauran poltto-ohjelmassa arina liikkuu 3 kertaa säästöliekillä siirtymisen jälkeen, ja puhallus on päällä normaalia pidempään, ettei kauran tuhka jämähtäisi arinalle. Yrittäjän kokemuksen mukaan kauralla ja pelletillä hakekattilasta saadaan suuremmat tehot kuin hakkeella. Kauran ja pelletin energiatiheys on niin paljon suurempi kuin hakkeella, ettei syöttönopeus muodostu tehoa rajoittavaksi tekijäksi. Lämmönsiirtoputket ja radiaattori mieluummin ylimitoitettut kuin liian pienet.	Yrittäjän kokemusten mukaan, kun varaaja täytetään happipitoisella vesijohtovedellä joka kuivauskauden alussa, on ilmausventtiilit erittäin tärkeässä roolissa. Ilmausventtiilit pitää olla lämmönsiirtoputkiston korkeimmassa kohdassa, varaajan yläosassa ja radiaattorin yläosassa. Ilmausventtiilit mieluiten automaattisia.

LIITE 2: ASIANTUNTIJAHAASTATTELUJEN RAPORTOINTI, TILA 3

Tila numero	3
Haastattelu päivämäärä	7.4.2018
Sijainti	Vieremä
Kuivurin koko, hl	112
Kuivattava viljamäärä, tn	n. 160
Kuivurin uunin teho, kW	170
Hakekattilan teho, kW	220
Radiaattorin teho, kW	200
Kanaalin pituus edestakaisin yht, m	60
Kanaalin putkien halkaisija, mm	50
Kanaalin materiaali	rauta
Lämminvesivaraajan tilavuus, m3	ei ole
Savukaasujen lämpötila, °C	ei tietoa
Lähtevän veden lämpötila, °C	levylämmönvaihtimelle 90-95, vaihtimelta radiaattorille 80-85
Paluuveden lämpötila, °C	70
Imuilman lämpöt. pelkällä lisälämmöllä, °C	n.45
Neste kanaalissa	Glykoliseos
Öljyn kulutus ennen lisälämpöä, l	5000
Öljyn kulutus jälkeen lisälämmön, l	2500-3000
Kiinteän polttoaineen kulutus, i-m3	ei tietoa
Kiinteä poltettava materiaali	hake
Hakekattilan valmistaja	Ala-Talkkari Veto
Radiaattorin valmistaja	Koja
Radiaattorin jäätymisenesto	Glykoliseos
levylämmönvaihdin	Kyllä, Danfoss 200kW
Lisätyömäärä lisälämmöstä	Hakkeen täyttö 26 kuution säiliöön, radiaattorin putsaus.
Toteutus	Hakekattilalta vesijohtovesikierto levylämmönvaihtimelle. Lämmönvaihtimen tehtävänä välittää lämpö toiseen nesteeseen, joka tässä tapauksessa on glykoliseos. Vaihdin ja glykolin heikompi lämmönsiirtokyky hukkaa lämpöä noin 10 celsiusasteen verran. Glykolikierrolla lämpö välitetään kanaalia pitkin radiaattorille. Glykolikierrossa sunttaus Ouman automatiikalla. Molemmat kierrot vaativat oman kierto-vesipumpun. Kun kuivaus päättyy ohjataan kattilan lämpö muuhun tarpeeseen, kuten hallille ja navetalle, täten estetään kattilan vesitilan kiehuminen, kun lämmöntarve loppuu nopeasti kuivaajalla.
Huomiot	Yrittäjän mukaan kuivausaika olisi lyhentynyt merkittäväksi, jopa puoleen lisälämpöjärjestelmän myötä. Kuivurin kattila on ehkä ollut hieman pieni, eikä täen ole päästy yhtä korkeisiin kuivauslämpötiloihin kuin nykyisin. Lisälämpöjärjestelmä ei kuitenkaan toimi optimaalisesti, sillä hakekattilan teho ylittää öljypolttimen tehon, mutta tehoa ei saada siirrettyä ottoilmaan kuin noin 50% hakekattilan tehosta. Yrittäjä epäilee että lämmönsiirtoputket pitäisi olla 50mm sijaa 70mm ja levylämmönvaihtimen ja radiaattorin mitoitus pitäisi tarkistaa. Koko järjestelmä vaatisi optimoinnin kierto-vesipumppujen pumppausnopeuksista lähtien.

LIITE 3: HAKETEHO

1. Hakelämmityksen perustiedot:		
Nesteen ominaislämpökapasiteetti	3	kJ/(kg·°C)
Järjestelmän nestemassa	1200	kg
Hakekattilan nimellisteho	80	kW/h
Lämmönsiirtoputkiston pituus	80	m
Lämmönsiirtoputken tehohäviö	0,03	kW/m
Lämmönsiirtoputkiston tehohäviö yht.	2,4	kW
Hakekattilan teho lämmönsiirtoputkiston tehohäviö huomioituna	77,6	kW

KUVA 15. Hakelämmityksen perustiedot (Perälä, Kuivurin lisälämpölaskuri, 2018).

Nesteen ominaislämpökapasiteetti: Vesijohtoveden ominaislämpökapasiteetti 20 celsiusasteessa on noin 4,19 kJ / (kg ·°C), kun se on -40 celsiusastetta kestäväällä vesi-glykoliseoksella noin 3 kJ / (kg ·°C), riippuen hiukan glykolin koostumuksesta.

Järjestelmän vesimassa: Litra vettä painaa kilon. Voit testata varaajan vaikutusta laitteiston tehoon ja maksimihintaan syöttämällä kohtaan ensin varaajallisen järjestelmän vesimassa, tarkastelemalla tuloksia, ja sen jälkeen korjaamalla kohtaan varaajattoman järjestelmän pienemmän vesimassa ja vertaamalla tuloksia.

Hakekattilan nimellisteho: Valmistajan ilmoittama nimellisteho kattilalle. Hyvälaatuisella polttoaineella teho voi olla hieman nimellistehoa suurempi. Lämpökattilan hyötysuhde kirjataan kohdassa 6.

Lämmönsiirtoputkiston pituus: Meno ja paluuputkien pituudet yhteensä.

Putkiston tehohäviö: Mikäli et tiedä kanaalin tehohäviötä, käytä arvoa 0,03 kW/m. Tehohäviötä muodostuu, kun putkisto lämpenee ja lämmittää ympäröivää ilmaa tai maata.

LIITE 4: LÄMMITYSAIKA

2. Kauanko kestää järjestelmän ylöslämmitys, entä uudelleenlämmitys erien välissä?			
	Järjestelmän ylöslämmitys	Lämpötilan nosto kuivuserien välissä	
Nesteen tavoitelämpötila järjestelmässä	90	90 °C	
Nesteen lämpötila alussa	20	60 °C	
Lämpötilan muutos	70	30 °C	
	Järjestelmän ylöslämmitys	Lämpötilan nosto kuivuserien välissä	
Lämmitystehoa tarvitaan yht	70	30 kW	
Lämmitysaikaa tarvitaan	0,90	0,39 h	

KUVA 16. Lämmitysteho ja lämmitysaika tarpeiden laskenta (Perälä, Kuivurin lisälämpölaskuri, 2018).

Nesteen tavoitelämpötila järjestelmässä, järjestelmän ylöslämmitys: Kirjaa nesteen tavoitelämpötila, kun se saapuu radiaattorille, varaajallisessa järjestelmässä myös varaajaan saapuvan nesteen tavoitelämpötila on sama.

Nesteen lämpötila alussa ennen järjestelmän ylöslämmitystä: Syötä tähän kohtaan järjestelmän nesteen lämpötila ennen sen lämmittämistä. Yleensä tämä lämpötila vastaa vallitsevaa ulkolämpötilaa.

Lämpötilan nosto kuivuserien välissä: Varaajalla: tähän kirjataan mihin lämpötilaan varaajan vesimäärä jäähtyy kuivuserän aikana. Loppulämpötilaa säädellään varaajalta radiaattorille kiertävän veden tilavuusvirtaa säätämällä. Mitä kylmemmäksi varaajan vesi päästetään, sitä enemmän varastotehoa saadaan puretuksi radiaattoritehoksi yhden erän aikana, mutta sitä pidempään varaajan ylöslämmitys kestää, sillä aikaa kun kuivuri jäähtyy ja kuivuserä vaihdetaan.

Ilman varaajaa: kierto radiaattorille täytyy katkaista tai radiaattorille lähtevän veden lämpötilaa sunnata alemmaksi kuivurin jäähtymisen ajan, mikäli jäähtymisen ottoilma otetaan radiaattorin läpi. Tähän kirjataan arvio radiaattorin ja putkiston veden keskilämpötilasta kuivurin jäähtymisen jälkeen. Lämmitysaika ei yleensä nouse merkittäväksi ilman varaajaa, jolloin ylösajo voidaan aloittaa vain hieman ennen tai samanaikaisesti kuivurin käynnistämisen kanssa.

Lämmitystehoa tarvitaan yhteensä: Laskettu ominaislämpökapasiteetin kaavalla, joka kertoo energiatarpeen aineen lämmittämiseen, tai toisin sanoen kuinka paljon massaan on sitoutunut energiaa:

Lämmittämiseen tarvittava energia (kW/h) = aineen ominaislämpökapasiteetti (kJ/(kg·°C)) * aineen massa (kg) * lämpötilan muutos (°C) * 0,0002778 (muuntokerroin kilojouleista kilowateiksi) (Motiva, 2017).

Lämmitystehoa tarvitaan, järjestelmän ylöslämmitys: Näin kauan kuluu aikaa, kun järjestelmän vesi lämmitetään kuivauskauden alussa, tai pidempien käyttötaukojen jälkeen.

Lämmitystehoa tarvitaan kuivauserien välissä: Jokaisen eränvaihdon välissä pitäisi kulua näin paljon aikaa, että varaaja ehtii lämmitä uudelleen tavoitelämpötilaan. Mikäli kuivurin jäähtytys ja eränvaihto kestää keskimäärin lyhyemmän aikaa kuin tuloksena saatu lämmitysaika, voi varaaja joko olla pienempi, tai nestettä ei saa päästää jäähtymään niin paljon kuivauksen aikana, eli tilavuusvirtaa on lisättävä. Molemmissa tapauksissa menetetään varaajassa käytettävissä olevaa lisätehon määrää. Ilman varaajaa järjestelmän lämpötilan vaihtelut ovat pieniä, ja täten tarvittava lämmitysaika tavoitelämpötilaan on pieni.

LIITE 5: RADIAATTORITEHO

3. Paljonko radiaattorille saadaan tehoa?	
Järjestelmän vesimassaan varastoitunut lämmitystehomäärä	30 kW
Keskimääräinen erän kuivausaika	7 h
Järjestelmän vesimassasta saatava varastotehomäärä tunnissa	4 kW/h
Lämmitystehoa radiaattorille yht.	82 kW/h

KUVA 17. Radiaattoritehon laskenta (Perälä, Kuivurin lisälämpölaskuri, 2018.)

Järjestelmän vesimassaan varastoitunut lämmitystehomäärä: Tämän verran järjestelmän vesimassaan saadaan varastoitua lämmitystehoa, joka kannattaa purkaa radiaattorille tasaisesti koko erän kuivauksen ajan. Tämä varastoitu teho saadaan purettua radiaattorille kattilan ominaistehon lisäksi. Varastoteho on merkittävä vain riittävän suurta varaajaa käytettäessä.

Keskimääräinen erän kuivausaika: Arvioi keskimääräinen erän kuivausaika ilman jäädytystä. Varastoenergia jaetaan tälle ajalle tasaisesti, säätämällä radiaattorin ja varaajan välinen veden tilavuusvirta sopivaksi. Katso laskurin kohta 5. Lisäksi keskimääräisen kuivausajan perusteella lasketaan kuivurin poltintunnit kuivauskaudessa.

LIITE 7: SIIRTOPUMPPUTEHOT

5. Millaiset siirtotehot täytyy olla kiertovesipumpuilla?			
	<u>Tilavuusvirta kattilalta varaajalle tai suoraan radiaattorille</u>	<u>Tilavuusvirta varaajalta radiaattorille</u>	
Lähtevän nesteen lämpötila	90	90 °C	
Palaavan nesteen lämpötila	70	60 °C	
Lämpötilan muutos	20	30	
Tilavuusvirta	1,29	0,91 l/s	
	= 4,66	3,28 m³/h	

KUVA 19. Kiertovesipumppujen tilavuusvirtojen laskenta (Perälä, Kuivurin lisälämpölaskuri, 2018.)

Palaavan nesteen lämpötila kattilalta varaajalle tai suoraan radiaattorilla: Sunntauksen jälkeinen nesteen paluulämpötila varaajalta tai radiaattorilta kattilalle.

Palaavan nesteen lämpötila varaajalta radiaattorille: Nesteen paluulämpötila radiaattorilta varaajalle.

Tilavuusvirta: Tilavuusvirran laskentakaava on johdettu lämpövirran kaavasta:

Teho eli lämpövirta (kW/h) = virtausnopeus (l/s) * nesteen lämpötilaero (°C) * tiheys (kg/dm³) * ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

Eli johdettuna:

virtausnopeus (l/s) = teho eli lämpövirta (kW/h) / (nesteen lämpötilaero (°C) * tiheys (kg/dm³) * ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C))

Veden tiheys on pyöristetysti 1 kg/dm³, jolloin se ei vaikuta laskuun. (Lahden teho-opetus Oy, s. 7)

LIITE 8: KUIVURIN NYKYTIEDOT JA HAKELAITOKSEN POHJATIEDOT

6. Paljonko taloudellisesti kannattava lisälämpölaitteisto saa maksaa?			
Kuivurin koko	120	hl	
Kuivurin öljypolttimen teho	250	kW	
Polttoöljyn hinta alv 0%	0,7	€/l	
Valmisteveron palautus polttoöljystä	0,0705	€/l	(oletus)
Polttoöljyn arvo valmisteveron palautuksen jälkeen alv 0%	62,8	€/MWh alv 0%	
Hakkeen tai muun kiinteän polttoa. hinta	19,0	€/MWh alv 0%	
Hakkeen tai muun kiinteän polttoaineen lämpösisältö	820	kWh/irto m ³	(oletus)
Haluttu tuntipalkka lisätyölle alv 0%	16,1	€	
Lisälämpöjärjestelmästä aiheutuva lisätyömäärä	6	h/v	
Järjestelmän ylösajo ulkolämpötilasta tavoitelämpötilaan.	2	krt/v	(Merki)

KUVA 20. Tuottojen ja kustannusten laskennan pohjatietoja (Perälä, Kuivurin lisälämpölaskuri, 2018.)

Kuivurin öljypolttimen teho: Kaksoisliekipolttimen tapauksessa toinen liekki ei pala koko ajan, jolloin keskimääräinen teho ja kulutus on alle maksimitohon ja kulutuksen. Voit arvioida tähän keskimääräisen tehon halutessasi.

Valmisteveron palautus polttoöljystä: Suora lainaus vero.fi sivustolta:

"1.1.2017 lähtien Verohallinto palauttaa hakijalle valmisteveroa hänen verovuoden aikana ammattimaisessa kasvihuoneviljelyssä tai maataloudessa käyttämästään, Suomessa verotetusta

- kevyestä polttoöljystä 7,05 senttiä litralta
- raskaasta polttoöljystä 8,05 senttiä kilogrammalta
- biopolttoöljystä 7,05 senttiä litralta." (Verohallinto, 2018.)

Polttoöljyn arvo valmisteveron palautuksen jälkeen: Arvo laskettu kevyen polttoöljyn lämpöarvolla 10,02 kWh/litra.

Lähde: Motiva.fi. S.2. Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökertoimet sekä energian hinnat. (Motiva Oy, 2010, s. 2.)

Hakkeen tai muun kiinteän polttoaineen hinta: Tähän itsemääritetty hakkeen hinta, tai kauppojen keskihintaan perustuva hinta. 02/2018 metsähakkeen koko maan määrällisesti painotettu keskihinta on ollut noin 19 €/MWh (Metsälehti, s.a).

Irtokuution hinta muodostuu kaavalla: polttoaineen megawattihinta / 1000 * polttoaineen lämpösisältö irtokuutiota kohden = Irtokuution hinta

Energiatiheys kun hakkeen kosteus on n. 40 %:

- Kokopuukuusi- ja mäntyhake 810-820 kWh/i-m³
- Kokopuukoivuhake 970 kWh/i-m³
- Kokopuuleppähake 770 kWh/i-m³

Lämpöarvo vaikuttaa vain polttoaineen määrälliseen kulutukseen, sillä polttoaineen arvon laskeminen perustuu megawattihintaan. (Knuutila , 2003, s. 33.)

Haluttu tuntipalkka lisätyölle: Maatalouden laskelmissa on vuonna 2017 käytetty 16,1€/h

Lisälämpöjärjestelmästä aiheutuva lisätyömäärä: Arvio järjestelmän ylläpidosta aiheutuva vuosittainen lisätyömäärä. Esimerkiksi hakkeen täyttö siiloon ja radiaattorin puhdistus lisäävät työmäärää.

LIITE 9: KUIVATTAVAT MASSAT JA ÖLJYNKULUTUS ILMAN HAKETTA

Kuivattavan viljamäärän arviointi:			(HUOM: hlp luvun oltava aina vähintään 1, että lask		
	ha	kg / ha	hlp	hl yht	Kuivurieriä
Vehnä	20	4200	78	1077	9,0
Ohra	35	5200	65	2800	23,3
Kaura			1	0	0,0
Ruis			1	0	0,0
Rypsi/rapsi			1	0	0,0
Paikokasvit			1	0	0,0
Yhteensä	55			3877	33
			yht. kg	266000	
Ilman hakelislämpöä:					
Polttimen käyttöaika	231	h/v			
Öljyllä tuotettava teho	57750	kW/v			
Polttoöljyn kulutus vuodessa	5763	l			
Polttoöljymäärän arvo valmisteveron palautuksen jälkeen alv 0%	3628	€/v			

Huom: Voit halutessasi korvata laskennalliset polt-
vaaleansinisille pohjalle ilman viljamäärien lask-
kuivurierien määrästä syötettävä silti yläpuc
vaaleansiniseen ruutuun.

KUVA 21. Kuivurierien laskenta ja öljynkulutuksen laskentaa ennen lisälämpölaiteistoa (Perälä, Kuivurin lisälämpölaskuri, 2018.)

Polttimen käyttöaika: Laskennallinen polttimen käyttöaika perustuu kaapillisten määrään ja osi-
ossa 3. ilmoitettuun keskimääräiseen erän kuivausaikaan. Voit korvata luvun toteutuneilla käyttötun-
neilla, mutta kuivurillisten määrä laskettava silti.

Polttoöljyn kulutus vuodessa: Öljyllä tuotettava kilowattiteho jaettuna kevyen polttoöljyn lämpö-
arvolla 10,02 kWh/litra (Motiva Oy, 2010, s. 2).

LIITE 10: LAITTEISTON MAKSIMIHIINTA JA YMPÄRISTÖNSÄÄSTÖ

Hakelisälämmön avulla:			
Radiaattoriteho	82 kW		
Osuus öljypolttimen tehosta	33 %		
Hakkeella tuotettava teho sisältäen järjestelmän ylösajotehotarpeet kuivausjaksojen ja erien välissä	20046 kW/v		
Hakekattilan hyötysuhde	80 %		
Haketta kuluu	31 irtto m ³		
Polttoöljyä säästyy	1888 l		
Säästö polttoöljyn arvossa alv 0%	1188 €/v		
Hakemäärän arvo alv 0%	476 €/v		
Lisätyömäärän arvo alv 0%	97 €/v		
Laitteiston kunnossapito ja muut kulut alv 0%	300 €/v		
Kustannussäästö lisälämmöllä alv 0%	316 €/v		
Laitteiston maksimihinta annuiteettimetelmällä laskettuna:			
Laitteiston haluttu takaisinmaksuaika	7 v		
Haluttu korko sijoitetulle rahalle	5 %		
Laitteiston maksimihinta alv 0%	1827 €	Hiilidioksidipäästöt vähentyvät	2391 kg/v

KUVA 22. Hakelisälämmöllä saatavat säästöt ja laitteiston taloudellisesti kannattavan maksimihinnan laskenta (Perälä, Kuivurin lisälämpölaskuri, 2018.)

Osuus öljypolttimen tehosta: Mikäli hakelämmöllä saavutetaan yli 100 % teho alkuperäiseen öljypoltintehoon verrattuna, ei laskuri tulos enää päde. Jos haluat silti hahmotella tuottoja isomalla lämpöteholla, nosta öljykattilan teho vastaamaan radiaattoritehoa.

Hakkeella tuotettava teho sisältäen järjestelmän ylösajotehotarpeet kuivausjaksojen ja erien välissä: Laskettu kaavalla: Radiaattoriteho, kW * Polttimen käyttöaika, tuntia + Järjestelmän ylösajokertojen määrä * Järjestelmän ylöslämmityksen tehotarve, kW + kuivurierämäärä * lämpötilan noston tehotarve kuivauserien välissä, kW

Hakekattilan hyötysuhde: Hakekattilan ohjeellinen hyötysuhde on noin 80%, mutta voit käyttää kattilan todellista hyötysuhdetta, mikäli se on tiedossa.

Säästö polttoöljyn arvossa: Säästöä muodostuu, mikäli hakkeella tuotettu energiayksikkö hinta on edullisempi kuin öljyllä tuotettu. Luku sisältää säästöt hakkeen lisälämpökäytöstä. Kaava: Polttoölymäärän arvo valmisteveron palautuksen jälkeen, € * osuus öljypolttimen tehosta, %

Hakemäärän arvo: Hakkeen tai muun kiinteän polttoaineen lämpösisältö ei vaikuta hakemäärän arvoon laskennassa, sillä hinnoittelu perustuu energiasisältöön, ei energiasisällöstä riippumattomaan irtokuutiohinnoitteluun. Kaava: Haketta kuluu, irtto m³ * irtokuution hinta (irtokuution hinta perustuu energiayksikköhintaan ja energiasisältöön)

Laitteiston kunnossapito ja muut kulut: Arvioi lisälämpölaitteiston kunnossapitokulut tähän. Tähän voit arvioida myös hakejärjestelmän lisälämpökäytön aiheuttaman nopeamman kulumisen kulut.

Kustannussäästö lisälämmöllä: Tämä luku on samalla myös lisälämpölaitteiston tuotto. Kaava: Säästö polttoöljyn arvossa - hakemäärän arvo - lisätyömäärän arvo - laitteiston kunnossapito ja muut kulut.

Laitteiston haluttu takaisinmaksuaika: Montako vuotta saa kulua siihen, että investointia maksetaan takaisin. Vasta tämän ajan kuluttua alkaa investointi tuottamaan verrattuna lähtötilanteeseen.

Haluttu korko sijoitetulle rahalle: Sijoitetulle rahalle halutaan aina saada korkotuottoa, siitä riippumatta onko raha sijoitettu laitteistoon, tilille tai osakkeisiin. Normaali korkokanta laskelmissa on 5%, etenkin jos käytetään omaa pääomaa.

Laitteiston maksimihinta: Koko laitteisto pitäisi saada ostettua ja rakennutettua tällä summalla, että se olisi taloudellisesti kannattava. Sisältää myös työ ja suunnittelukustannukset.

Koron ja investoinnin takaisinmaksuajan vaikutukset laitteiston maksimihintaan on laskettu annuiteettimenetelmän kaavalla, sillä se sopii investoinnin laskentaan, minkä tuotto ja käyttö pysyvät vuosittain samalla tasolla.

Annuiteettitekijän laskentakaava:

$$=(B8*(1+B8)^{B5})/((1+B8)^{B5}-1)$$

B8 = Korkokanta

B5 = Käyttöaika

Laitteiston maksimihinta on saatu jakamalla kustannussäästö lisälämmöllä annuiteettitekijällä.

(Virtuaali ammattikorkeakoulu, s.a ja Viitala, s. 1.)

Hiilidioksidipäästöt vähentyvät: Oletuksena että korvattava polttoaine on polttoöljy ja että korvaava polttoaine on hake. Polttoöljyn päästökerroin on 261 kiloa hiilidioksidia megawattituntia kohden (Hippinen;Suomi;& Motiva Oy, 2012). Puuenergian päästöt riippuvat metsänhoidon intensiteetistä, metsätyypistä ja puulajista. Laskurissa käytetään lannoittamattoman mustikkatyypin männyn hiilidioksidi päästöjä, jotka ovat simulaation mukaan 110 kiloa hiilidioksidia megawattia kohden. Tähän lisättiin hankintaketjun päästöt noin 7 kiloa hiilidioksidia megawattia kohden. (Routa, 2011.)