

Simo Vanhatalo

Varaava hakelämmitys viljankuivauksessa

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Toukokuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 6.5.2016	
Tekijä(t) Simo Vanhatalo	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka	
Nimeke Varaava hakelämmitys viljankuivauksessa		
Tiivistelmä Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, onko Uudellamaalla sijaitsevalla maatilalla kannattavaa siirtyä rakennusten nykyisistä lämmitysjärjestelmistä yhteen keskitettyyn haketta ensisijaisesti polttoaineena käyttävään biolämmitysjärjestelmään. Tällä hetkellä tutkittavassa kohteessa tilan eri rakennuksien lämmityksessä käytetään polttoaineena pääasiassa öljyä, puuta ja sähköä. Tilan viljakuivaamo käyttää syksyllä viljankuivauksessa pelkästään kevyttä polttoöljyä. Työssä on esitetty kolme eri lämmitysjärjestelmäratkaisua maatilalle. Uuden lämmitysjärjestelmän investoinnin suuruus määritettiin pyytämällä eri laitetoimittajilta tarjoukset, jonka pohjalta laskettiin uuden lämpökeskuksen kokonaiskustannus. Uusi lämpökeskus päädyttiin toteuttamaan hakekattilalla ja erillisellä kiinteistö-öljykattilalla. Viljankuivaamoon asennetaan öljykäyttöisten kuivuriuunien tilalle kuivausilman lämmityspatterit. Tässä ratkaisussa kaikki lämpö tuotetaan navetan lämpökeskuksessa. Hakekattilan koko on mitoitettu rakennusten lämmitystehontarpeen mukaan, ja sen osuutta viljankuivauksessa kasvatetaan riittävän suurella energiavaraajatilavuudella. Erillisellä öljykattilalla varmistetaan järjestelmän riittävä lämmöntuotto viljakuivurilla syksyisin tapahtuvassa viljankuivauksessa. Kuivauskauden ulkopuolella öljykattilaa voidaan käyttää varajärjestelmänä rakennusten lämmityksessä. Investoiminen hakekäyttöiseen lämmitysjärjestelmään tuo säästöjä lämmityskuluihin, kun tilan rakennusten lämmityksessä lämmityskaudella voidaan käyttää polttoaineena edullisempaa haketta. Tämän hetken lämmitysöljyn hinnalla uuden lämpökeskuksen takaisinmaksuaika on noin 10 vuotta. Lämmitysöljyn hinnan voidaan olettaa kuitenkin olevan nouseva tulevaisuudessa, jolloin uuden hakelämmitysjärjestelmän takaisinmaksuaika lyhenee ja samalla sen kannattavuus paranee.		
Asiasanat (avainsanat) Hakelämmitys, viljankuivaus, lämpökeskus, energiavaraaja, energiansäästö		
Sivumäärä 61+15	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Martti Veuro	Opinnäytetyön toimeksiantaja Antti Vanhatalo	

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 6.5.2016
Author(s) Simo Vanhatalo	Degree programme and option Building Services Engineering	
Name of the bachelor's thesis Wood chip heating with accumulator in grain drying		
Abstract <p>The aim of this Bachelor's thesis was to resolve if it is profitable to change a farm's buildings heating systems to one centralized heating system which uses primarily woodchips as its fuel. The farm which is studied is located in Uusimaa. Currently the farm's buildings are heated by using oil, wood and electricity. The farm's grain dryer uses in the drying process only heating oil.</p> <p>In this study, three different heating system options were introduced to the farm. The total costs of the new centralized heating systems were calculated by asking offers from different equipment suppliers. The new heating system was chosen on the basis of the systems total costs, availability and adaptability in the future if necessary. The new heating system will be built with a wood chip boiler and an oil-fire boiler. In the grain dryer, two heating radiators will be installed which will replace the dryer ovens using oil. In this solution all the heat will be produced in the new heating system which will be built in the farms barn building. The size of the woodchip boiler is chosen by the heating needs of the farms buildings and its proportion of grain dryer use in autumn will be increased by using energy accumulator tanks. Outside of the drying period, the oil-fired boiler can be used as a backup system.</p> <p>Investing in a new heating system which uses woodchip as fuel brings savings to the farms heating costs as the buildings can be heated using heating oil more cheaper woodchips. According to the current heating oil price the payback period of the new concentrated heating systems is about 10 years. However, heating oil prices can be expected to rise in the future. The payback period of the new wood chip heating system will be shorter and at the same time its profitability will improve.</p>		
Subject headings, (keywords) Woodchip boiler, grain dryer, centralized heating, energy accumulator, energy saving		
Pages 61+15	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Martti Veuro	Bachelor's thesis assigned by Antti Vanhatalo	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	VILJANKUIVAUS	2
2.1	Viljankuivausprosessi	3
2.2	Viljakuivureiden yleisimmät tyypit	4
2.2.1	Eräkuivurit	5
2.2.2	Jatkuvatoimiset kuivurit	6
2.2.3	Yli- ja alipainekuivaus	7
2.2.4	Kuivuriuunit	7
2.2.5	Lämminilmakuivurin ohjaus	9
2.3	Energiansäästömahdollisuuksia viljankuivauksessa	9
2.3.1	Sääolosuhteet kuivauksessa	9
2.3.2	Kuivausilman lämpötilan nostaminen	10
2.3.3	Kuivurin eristäminen	11
2.3.4	Lämmöntalteenotto	11
2.3.5	Aurinkoenergia	13
2.3.6	Lämminilmakuivurin puskurikuivuri	13
3	MAATILAN RAKENNUSTEN LÄMMITYS KOTIMAISILLA POLTTO- AINEILLA	13
3.1	Maatilojen energiankäyttö	14
3.2	Keskitetty lämpökeskus	14
3.3	Lämpökeskuksen sijainti ja paloturvallisuus	15
3.4	Biolämmitysjärjestelmä	16
3.4.1	Pienet järjestelmät 20-40 kW	17
3.4.2	Keskisuuret järjestelmät 40–500 kW	18
3.5	Biolämmitysjärjestelmän polttoainevaihtoehdot	19
3.5.1	Hake	19
3.5.2	Pelletti	20
3.5.3	Vilja	20
3.5.4	Turve	21
3.6	Biolämpökontti	21
3.7	Investointien kannattavuuden takaisinmaksuajat	21
3.7.1	Takaisinmaksuajan menetelmät	22

3.7.2	Nettonykyarvon menetelmä.....	23
3.7.3	Sisäisen koron menetelmä.....	24
4	TOTEUTETTAVAN JÄRJESTELMÄN MITOITUS	25
4.1	Lämmitettävät tilat ja rakennukset.....	25
4.2	Rakennusten lämpöhäviöt ja tehontarpeet	27
4.2.1	Rakennusten ilmapuotoluvut	28
4.2.2	Päätalon lämpöhäviöt.....	28
4.2.3	Navetan lämpöhäviöt	29
4.2.4	Konehallin lämpöhäviöt.....	31
4.3	Tilalle suunniteltu uusi lämmitysjärjestelmä	33
4.3.1	Uuden biolämpökeskuksen sijainti	33
4.3.2	Rakennusten välinen lämmönsiirto.....	34
4.3.3	Viljakuivurin vaatimukset ja kuivausilman lämmityspatteri	36
4.3.4	Viljankuivauksen polttoainekulutus.....	38
4.3.5	Lämmitysjärjestelmän mitoitus.....	38
4.4	Eri lämmitysjärjestelmävaihtoehdot	39
4.5	Investointien kannattavuuslaskelmat	43
4.5.1	Nykyiset lämmityskustannukset	44
4.5.2	Eri lämmityslaitteistokokoonpanojen kustannukset	45
4.5.3	Uuden lämpökeskuksen rakennuskustannukset.....	48
4.5.4	Energiankulutukset ja kustannussäästöt.....	50
4.5.5	Takaisinmaksuajat.....	52
5	POHDINTA	56
	LÄHTEET	59

LIITTEET

- 1 Kuivurin energiankulutus
- 2 Rakennusten lämpöhäviölaskelmat
- 3 Lämpökanaalien lämpöhäviöt ja energiankulutukset
- 4 Asemakuva
- 5 Teijo kuivuriuunien koestusselostus
- 6 Lämpökanaalien mitoitusaulukot

1 JOHDANTO

Maatiloilla energiaa käytetään asuinrakennusten, eläinsuojien, erilaisten tuotantotilojen lämmitykseen sekä erilaisten työkoneiden, kasvihuoneiden, viljankuivaamoiden ja sähkölaitteiden toimintaan. Sähkö maatiloilla hankitaan pääasiassa yleisestä sähköverkosta, mutta rakennusten lämmityksessä käytetään vielä yleisesti fossiilisia polttoaineita tai tilojen omista metsistä saatavaa metsäenergiaa. Öljyä on käytetty tuottamaan lämpöenergiaa suomalaisilla maatiloilla 1950-luvulta lähtien sen edullisen hinnan, helpon käytön ja yksinkertaisten lämmityslaitteistojen vuoksi. Viime aikojen raakaöljynhinnan vaihtelut ovat vähentäneet öljyn kiinnostavuutta lämmityspolttoaineena (Nyholm 2005, 7.)

Suomessa viljan lämminilmakuivauksessa käytetään yleisesti polttoaineena kevyttä polttoöljyä. Polttoaine muodostaa merkittävän osan viljankuivauksen muuttuvista kustannuksista. Viljasadon kuivaamisessa voidaan sateisina syksyinä kuluttaa lähes yhtä paljon energiaa kuin viljan tuotannon muissa vaiheissa yhteensä. Viime vuosien öljyn hinnan vaihtelut ovat nostaneet kiinnostusta käyttää kotimaisia biopolttoaineita viljankuivaamisessa. Biopolttoaineita käyttävät lämmityslaitokset ovat kehittyneet huomattavasti viime vuosina, ja niiden toimivuus ja säädettävyys ovat automatiikan ansiosta jo lähes öljykäyttöisten tasolla. (Rasi ym. 2015, 6.)

Monella maatilalla on vaikeuksia sovittaa käytännössä lämmitysjärjestelmä, josta saataisiin riittävästi tehoa syksyllä tapahtuvaan viljankuivaukseen ja toimisi samalla rakennusten lämmityksessä ympärivuotisesti. Lämminilmatoimisen viljankuivaamon yhdistäminen maatalan muihin rakennuksiin onnistuu harvoin suuren lämmitystehontarve-eron takia. Lämmitysjärjestelmää ei kannata mitoittaa kuivurin tehontarpeen mukaan, kun kuivauskausi kestää yleensä vain yhden kuukauden ajan syksyllä, jolloin muun ajan lämmityslaitteisto kävisi osateholla. Halvemman polttoaineen lämmityslaitteistosta voi kuitenkin syöttää lisälämpöä kuivurille esilämmittämällä kuivausilmaa, joka vähentää kuivurin oman polttoaineen kulutusta.

Viime vuosina haketta polttoaineena käyttävät biouunit ovat korvanneet öljykäyttöisiä uuneja viljankuivauksessa. Biouunien korkea hinta on kuitenkin aiheuttanut niiden yleistymisen vain suuremmilla kuivaamoilla. Pienemmillä viljatililla biouunien in-

vestointien pääomakustannukset kasvavat niin suureksi, ettei investointi ole monesti kannattava.

Tässä opinnäytetyössä tutkittava kohteena on Uudellamaalla sijaitseva maatila. Tilan rakennusten lämmityksen polttoaineina käytetään nykyisessä tilanteessa öljyä, puuta ja sähköä. Viljankuivaamossa käytetään pelkästään öljyä. Työn tavoitteena on löytää uusi kustannustehokas lämmitysratkaisu, joka palvelee tilakeskuksen rakennusten lämmityksessä ympärivuotisesti. Lämpökeskus on tarkoitus rakentaa tilan navettarakennukseen. Polttoaineena tullaan käyttämään ensisijaisesti haketta, jota on saatavissa tilan omista metsistä. Uudella lämpökeskuksella pyritään vähentämään tilan rakennusten nykyiseen pilkelämmitykseen kuluva aikaa sekä öljy- ja sähkölämmityksestä syntyviä kustannuksia.

Työssä on myös tarkasteltu maatilan viljankuivaamon energiankulutusta ja sen energiansäästömahdollisuuksia. Uutta lämpökeskusta on tarkoitus hyödyntää syksyisin puintien aikaan tapahtuvassa viljankuivauksessa ja vähentää näin kuivauksessa kuluva lämmitysöljyn osuutta.

Uuden lämmityslaitteiston mitoittaminen määritetään laskemalla tilakeskuksen rakennusten lämmitystehontarpeet ja vuotuiset energiankulutukset. Uuden lämmitysjärjestelmän kokonaisinvestointikustannukset on laskettu pyytämällä tarjoukset eri laitetoimittajilta. Uuden lämpökeskuksen takaisinmaksuaika on laadittu edellä mainittujen pohjalta.

2 VILJANKUIVAUS

Viljasadon säilyvyyden varmistaminen on aina vaatinut Suomessa huomattavan paljon työtä ja energiaa verrattuna esimerkiksi eteläisempiin Euroopan maihin. Suomi on yksi maailman pohjoisimpia viljelymaita. Viljaa kuivataan yleensä sitä mukaa, kun sitä pelloilta puidaan. Sateisena syksynä puintikosteus saattaa olla lähempänä 30 %, kun esimerkiksi Tanskassa puintikosteus on keskimäärin 18 %, jolloin korjatusta viljasta läheskään kaikkea ei jouduta kuivaamaan. Suomessa sateisena syksynä viljan kuivausprosessin energiantarve saattaa olla suurempi kuin viljelyn eri vaiheiden tarve yhteensä. (Lötjönen 2003, 46.)

Suurin osa Suomessa tuotettavasta viljasta käsitellään viljakuivaamossa. Viljakuivurissa olevan viljamassan läpi puhalletaan ilmaa, joka kykenee haihduttamaan jyviin sitoutunutta vettä. Suomessa käytettyjä kuivausmenetelmiä ovat joko lämminilma- tai kylmäilmakuivaus.

Viljan kuivauksen tarkoituksena on estää viljan pilaantuminen varastoinnin aikana, varmistaa sen kauppakelpoisuus ja käsiteltävyys. Kauppakelpoisen viljan kosteusarvon tulee olla maksimissaan 14 %, johon lämminilmakuivauksella päästään aina. Saateisena syksynä kylmäilmakuivureilla kuivatessa vilja saattaa jäädä 15 – 17 % kosteuteen. Tällöinkin vilja säilyy yhden talven yli tilan omaan käyttöön. (Lötjönen 2005, 34.)

2.1 Viljankuivausprosessi

Lämminilmakuivureissa viljan kuivaaminen perustuu siihen, että jyvien ympärille tuodaan lämmitettyä kuivaa ilmaa koneellisesti puhaltamalla, joka pystyy sitomaan itseensä jyvissä olevaa kosteutta. Jyvissä oleva kosteus haihtuu ja sitoutuu ympäröivään ilmaan, jossa se poistoilman mukana kulkeutuu ulos. Kylmäilmakuivauksessa viljamassan läpi puhalletaan lämmittämätöntä ulkoilmaa, jolloin usein viljan riittävä kauppakelpoisuus kosteusprosentin saavuttaminen riippuu ulkoilman lämpötilasta ja sen suhteellisesta kosteudesta, varsinkin jos kuivauksessa ei käytetä lisälämpöä. (Lötjönen 2005, 35.)

Lämminilmakuivauksessa puhallettavan ilman kuivausominaisuuksia nostetaan lämpötilaa korottamalla, niin paljon kuin vilja kestää vaurioitumatta. Lämmitetyn ilman kyky sitoa vettä riippuu lämpötilasta. Esimerkiksi 70 °C lämpötilassa 1 m³ ilmaa voi sitoa 15 g vettä. Lämmityksellä aikaansaatu suhteellisen ilmakehän kosteuden aleneminen lisää myös viljassa olevan höyrypaineen eroa ilman vesihöyryn osapaineeseen nähden. Tämän suuren paine-eron takia kosteuden siirtyminen jyvistä ilmaan on huomattavasti nopeampaa lämminilmakuivauksessa kuin kylmäilmakuivauksessa. (Ahokas 1983a, 33.)

Lämminilmakuivauksessa viljaerän kuivaamisen loppuvaiheessa on vilja jäähdytettävä, ettei se alkaisi lämmitä uudestaan ja pilaantua varastossa. Kuivurisiilossa olevaa viljaerää kierrätetään kuivurissa kuivausuuni sammutettuna, samalla viljaa jäähdyte-

tään kuivausilmapuhaltimella ulkoilman avulla. Jos ulkoilma on riittävän kuivaa ja lämmintä jäähdytysvaiheessa, saattaa vilja kuivua vielä jäähdytyksen aikana 1-2 prosenttiyksikköä. (Lötjönen 2005, 42.)

Pelloilta puitavan viljan säilyvyys Suomen olosuhteissa ennen kuivausta varastoituna tuulettumattomassa tilassa riippuu ennen kaikkea sen kosteudesta. Käytännössä viljan kanssa on meneteltävä seuraavanlaisesti: viljajyvän kosteuden ollessa yli 30 % kuivaaminen on aloitettava 12 tunnin kuluessa ja vastaavasti kosteuden ollessa 25 % on kuivaus aloitettava 24 tunnin kuluessa. Kuivemman noin 20 % kosteudessa oleva vilja on kuivattava viimeistään kahden vuorokauden kuluessa. (Ahokas 1983a, 8.)

Viljaerän kuivaamisen alussa lämpöenergia kuluu viljan lämpenemiseen. Sen jälkeen alkaa nopea veden haihtuminen. Viljan kuivuttua osittain kosteuden haihtuminen hidastuu. Tämä johtuu siitä, että aluksi vesi haihtuu vain jyvän pinnalta. Kun pinta on kuivunut, kosteuden on siirryttävä ensin ytimestä pintaan ennen kuin se haihtuu ympäröivään ilmaan. Tässä vaiheessa kuivuminen hidastuu ja energiantarve haihdutettua vesikiloa kohti kasvaa mitä kuivemmaksi vilja pyritään saamaan. (Ahokas 1983b, 45-46.)

2.2 Viljakuivureiden yleisimmät tyypit

Lämminilmakuivureissa Suomessa yleisin ratkaisu on siilokuivuri. Sen kuivausyksikkö eli siilo koostuu kuivauskennoista ja varastokennoista. Viljaa kierrätetään elevaattorin avulla kuivurin kuivaussiilon lävitse, jolloin siilon alaosassa olevassa kuivauskennossa viljan lämpötila nousee, ja samalla viljamassasta läpi puhallettava lämmitetty kuivausilma sitoo itseensä kosteutta viljasta. Siilon yläosassa olevassa varastokennossa vilja esilämmitetään ja samalla vilja hikoilee, kun jyvän sisältä kosteus siirtyy hitaasti pintaan. Varastokennot estävät myös kuivausilman karkaamista kuivaussiilosta reagoiden samalla kuivatettavan viljan tilavuuden muutoksiin. Viljan jatkuvan siilossa kierrätyksen ansiosta kuivausilman lämpötila voidaan pitää korkeana huonontamatta viljanlaatua ja itävyyttä. Viljaa kierrättävän siilokuivurin tärkeimmät säädöt ovat kuivausilman lämpötila, kuivausilman määrä ja viljan kiertonopeus kuivaussiilossa. (Mäkelä 1983, 2.)

Suomessa käytettävien siilomallisten lämminilmakuivureiden ratkaisut ovat joko jatkuva- tai eräkuivaustyyppisiä. Keski-Euroopassa ja Baltian maissa jatkuvatoimiset kuivurit ovat yleisempiä, mutta Suomessa niitä on vähemmän. Suomessa sään vaihtelut puintiaikaan, tavallisesti korkea puintikosteus ja pieni tilakoko ovat johtaneet siihen, että eräkuivuri on ollut käytännöllisempi ratkaisu kuin jatkuvatoiminen kuivuri. Suomessa jatkuvatoimisia kuivureita käytetään lähinnä suurten viljaliikkeiden yhteydessä. (Lötjönen 2005, 42.)

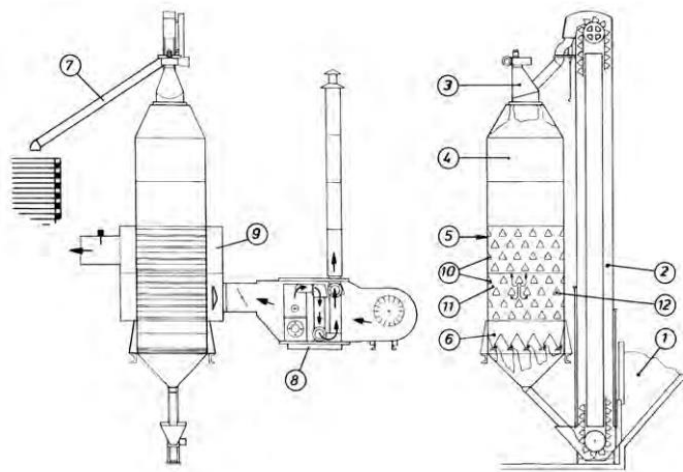
Kylmäilmakuivauksessa viljaa kuivataan suoraan ulkoilmalla. Tällöin ilmamäärien on oltava selvästi suurempia kuin lämminilmakuivauksessa, jotta viljan kuivuminen tapahtuisi riittävän nopeasti. Kylmäilmakuivauksen etuina lämminilmakuivaukseen verrattuna ovat pienemmät investointi- ja energiakustannukset, suuri vastaanottokapasiteetti ja kuivaamon kuivauslaarien toiminta samalla myös viljan varastotilana. Kylmäilmakuivauksella ei saada joka syksy kauppakelpoista viljaa varsinkaan, jos lisälämpöä ei kuivauksessa käytetä. Viljan säilymiskosteus 15 – 17 % tilan omaan käyttöön sen sijaan saavutetaan aina. (Lötjönen 2005, 47.)

Viljantuotannon ja kotieläintuotannon keskittyminen yhä suurempiin yksiköihin on vaikuttanut siihen, ettei uusia kylmäilmakuivureita rakenneta edes kasvaville tiloille. Suuret kotieläintilat valitsevat monesti tuoresäilönnän kuivauksen sijaan pienen työmäärän, alhaisten kustannusten ja viljan pölyttömyyden vuoksi. (Lötjönen 2005,47.)

2.2.1 Eräkuivurit

Yleinen Suomessa käytettävä lämminilmakuivurityyppi on viljaa kierrättävä siilomallinen eräkuivuri. Eräkuivurin rakenne on esitetty kuvassa 1. Kuivausvaiheen alussa eräkuivurissa kuivaussiilo täytetään elevaattorin avulla viljalla, minkä jälkeen elevaattori ohjataan kierrättämään siilossa oleva viljaa. Kuivauslämpö ja puhallus ovat kytkettynä päälle, ja kuivausta jatketaan niin kauan, että puitu vilja on tarpeeksi kuivaa. Viljan siilossa kierrätyksen tarkoituksen on kuivauserän sekoittaminen, tasainen kuivuminen ja jyvän lämpövaurioiden estäminen. Kun vilja on kuivunut tarpeeksi, kuivausuuni sammutetaan, mutta ulkoilman puhallusta ja viljan kierrättämistä jatketaan edelleen, jotta vilja jäähtyy varastointikelpoiseksi. Viljaerän jäähtyttyä kuivaussiilo tyhjennetään elevaattorin avulla varastoon. Yhden viljaerän kuivaaminen voi kestää eräkuivurilla 5 - 15 tuntia viljan kosteudesta ja kuivurin tehosta riippuen. Yleensä

täyttö-, jäähdytys- ja tyhjennysaikojen osuus tästä on noin 2 - 3 tuntia. (Lötjönen 2005, 37.)



KUVA 1. Eräkuivuri (Hautala 2013, 8)

1. kaatosuppilo, 2. elevaattori, 3. esipuhdistaja 4. varastokenno, 5. kuivauskenno, 6. syöttölaite, 7. kuljetinruuvi 8. kuivuriuuni 9. puhalluskanava 10. tuloilmaharja, 11. kuivauskenno, 12. poistoilmaharja.

2.2.2 Jatkuvatoimiset kuivurit

Jatkuvatoiminen kuivuri on rakenteeltaan vastaava kuin siilomallinen eräkuivurikin. Jatkuvatoimisessa kuivurissa on yleensä yhden elevaattorin sijasta kaksi kuljetinelevaattoria. Lisäksi kuivaussiilossa on lämmityskennojen alapuolella vielä erillinen jäähdytyskennosto viljan jäähdytystä varten. Toimintatapa jatkuvatoimisessakuivurissa eroaa siinä, että vilja kulkee vain kerran kuivauskennoston läpi. Kuivausprosessin alussa elevaattori kuljettaa kuivattavan viljan kaatosuppilosta kuivaussiilon yläpäähän, josta se valuu kuivaus- ja jäähdytyskennoston läpi, jolloin vilja poistuu kuivaussiilon alaosaan kuivuneena ja jäähtyneenä. Siilon alaosaan toinen kuljetinelevaattori kuljettaa kuivatun viljan varastosiilon. Kuivaus ja jäähdytys ovat kokoajan jatkuvia prosesseja jatkuvatoimisessa kuivurissa. Kuivausuuni pyritään pitämään päällä koko kuivauskauden ajan yhtäjaksoisesti, jolloin kuivausaikaa ei kulu erikseen kuivurisiilon täyttöön, jäähdytykseen ja tyhjennykseen. Jatkuvatoiminen kuivuri onkin tehokas ajankäytön suhteen verrattuna eräkuivuriin. Se kuitenkin vaatii, että kuivattavaa saman laatuista viljaa pitää olla paljon ja mielellään saatavilla koko ajan. Myös sateisena syksynä jatkuvatoimisen kuivurin hyödyt jäävät pienemmiksi, mikäli puidun viljan

kosteus on lähemmäs 30 %, voidaan vilja joutua kuivaamaan jatkuvatoimisella kuivurilla kahteen kertaan, sillä kerta-ajolla se ei välttämättä kuivu tarpeeksi. (Lötjönen 2005, 42.)

2.2.3 Yli- ja alipainekuivaus

Yleensä siilomallisessa lämminilmakuivurissa kuivausilma puhalletaan uunin ja kuivauskennoston läpi, jolloin kyseessä on ylipainekuivaus. Puhallin sijaitsee ennen uunin tuloilmakanavassa. Alipainekuivurissa vastaavasti kuivausilmapuhallin sijaitsee poistokanavassa, jolloin kuivausilma imetään uunin ja kuivauskennoston lävitse. Alipainekuivauksen edut ylipaineeseen verrattuna on vähäpölyisyys, eikä kuivausilmapuhallinta tarvitse sijoittaa uunihuoneeseen, vaan siitä voidaan tehdä halutessa kevytrakenteinen. Teoriassa vilja myös kuivuu alipaineessa hieman paremmin kuin ylipaineessa, mutta tämä hyöty on käytännössä hyvin pieni. Ylipainekuivauksen suurin etu alipaineeseen nähden on sen paloturvallisuus, koska kanavisto ja kuivauskennosto ovat ylipaineisia kuivuriuuniin nähden. Uunin tulipintojen palaessa puhki ylipaineisuus estää palokaasujen ja kipinöiden pääsemisen viljan joukkoon. (Lötjönen 2005, 43.)

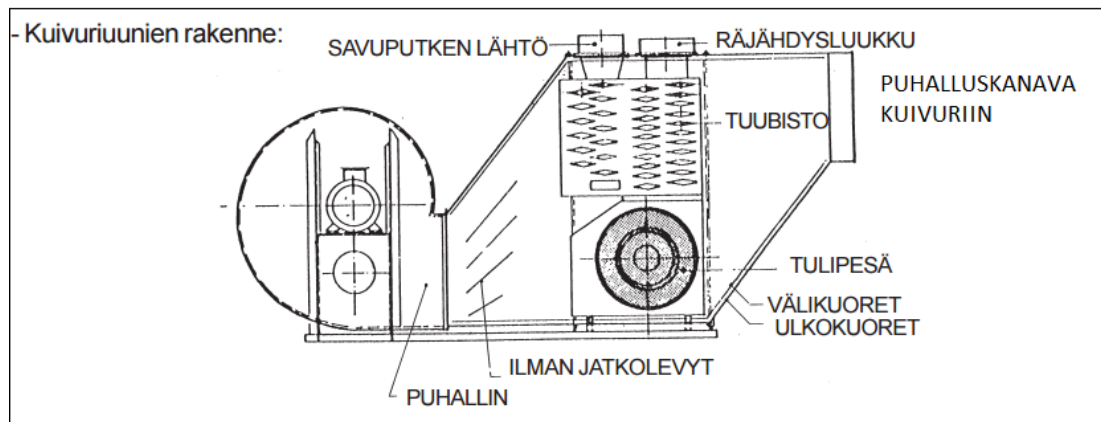
2.2.4 Kuivuriuunit

Kuivureissa yleisesti käytettävät kuivuriuunit poikkeavat kiinteistöjen keskuslämmityskattiloista siten, ettei niissä käytetä vettä väliaineena ollenkaan. Kuivureiden ilmalämmitysuunit ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja edullisia, eikä niissä ole myöskään jäätymisvaaraa talviaikaan. (Hautala 2013, 81.)

Öljyä polttoaineena käytävissä kuivuriuuneissa tulipesä on erikseen kuin myös erillinen lämmönsiirrin. Kuivuriuunin rakenne on esitetty kuvassa 2. Öljypolttimen muodostama liekki palaa tulipesässä, josta kuumat savukaasut johdetaan lämmönsiirtimen kautta savupiippuun. Mennessään savukaasut luovuttavat lämmön tulipesän ja lämmönsiirtimen ympärillä olevaan kuivausilmaan, joka puhalletaan kuivuriin. Toimintakuntoisien öljykäyttöisten kuivuriuunien hyötysuhteet ovat parhaimmillaan 85 % luokkaa. (Hautala 2013, 81.)

Kuivuriuunin tehoa voidaan säätää öljypolttimen suuttimien kokoa ja öljynpainetta muuttamalla tai kuivausilman määrää muuttamalla. Uusien uunien öljypolttimissa on

usein kaksi suutinta, pää- ja apusuutin, jolloin uuni pystyy pitämään kuivausilman lämpötilan tasaisena tietyissä rajoissa, vaikka ulkoilman lämpötila vaihtelisikin. (Hautala 2013, 81.)



KUVA 2. Öljykäyttöinen kuivuriuuni (Anttiteollisuus 2005, 5)

Suora ilmalämmitteinen kuivuriuuni voi toimia myös kiinteällä polttoaineella. Tällöin on kyseessä stokerityyppinen ruuvisyöttimillä ja palopäällä varustettu biouuni. Biounit ovat rakenteeltaan fyysisesti suurempia kuin öljykäyttöiset, mutta perustoimintaperiaate on pitkälti samanlainen kuin öljykäyttöisenkin. Biounien hyötysuhteet ovat hieman alempia kuin öljykäyttöisten, mutta niiden teho on helpommin säädettävissä, koska polttoaineen syöttöä muuttamalla myös uunin tehoa voidaan muuttaa. Käytännössä tämä tapahtuu automatiikan avulla eli uuni pitää kuivausilman lämpötilan vakiona polttoaineen syöttöä muuttamalla. (Hautala 2013, 102.)

Kuivauksessa edullisempiin kotimaisiin polttoaineisiin siirtyminen edellyttää uuden uunin hankkimista ja polttoainevaraston rakentamista. Nykyisten biounien tehot ovat muutamasta sadasta kilowatista megawattiin. Hyväkuntoisten öljyuunien vaihtaminen biouuniin ei yleensä ole kannattavaa biounien korkeiden hintojen vuoksi. Vanhojen öljyuunien tullessa vaihtokuntoon tai uuden kuivurin kohdalla tilanne on tietysti toinen. Myös kuivattavan viljan määrä vaikuttaa investoinnin kannattavuuteen. Biounien korkean hinnan vuoksi ne ovat viime aikoina yleistyneet lähinnä suurempien viljankuivauslaitosten yhteydessä, joissa on suuremmat viljankuivausmäärät ja tehontarve. Tällöin myös laitteiston takaisinmaksuajankin pysyvät vielä järkevinä. (Hautala 2013, 104.)

2.2.5 Lämminilmakuivurin ohjaus

Lämminilmakuivurin ohjaus voi olla käsikäyttöinen tai automaattisesti ohjattu. Vanhoissa kuivureissa ohjaus on monesti toteutettu kontaktorijärjestelmillä ja kello-ohjauksella, joiden avulla valitaan kuivausjakson pituus. Uusissa kuivureissa valmistajilla on tarjolla logiikkaohjaukseen perustuvia järjestelmiä, jotka sammuttavat kuivurin kun kuivattava viljaerä on saavuttanut halutun kosteusarvon. Kuivattavan viljaerän kosteutta kuivurissa ei voida mitata luotettavasti ja edullisesti suoraan, vaan kuivurin automaattinen valvonta on tehtävä epäsuorasti, koska ongelmana on vielä varmatoimisten antureiden puute. Tämän takia kuivausautomaatiikat toimivat usein vain pois-toilman lämpötilan ohjaamina. (Hautala 2013, 85.)

2.3 Energiansäästömahdollisuuksia viljankuivauksessa

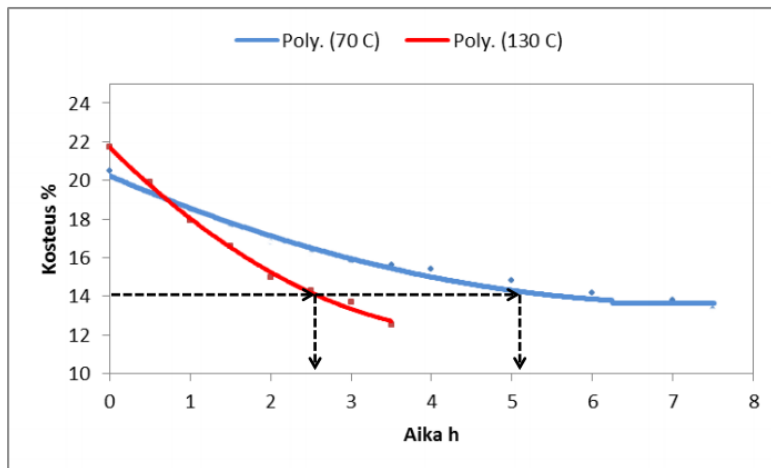
Polttoöljyn litrahinta on viime vuosien aikana vaihdellut taloustilanteesta johtuen. Polttoaine muodostaa merkittävän osan viljankuivauksen muuttuvista kustannuksista. Viljan puintikosteuden ollessa 21 prosenttia 10 sentin muutos öljyn litrahinnassa muuttaa kuivauskustannusta n. 1,3 €/viljatonna. Öljyn hinta on tämän hetken taloustilanteesta johtuen asettunut siedettävälle tasolle, mutta on todennäköistä että öljyn ja muunkin energian hinta nousee lähitulevaisuudessa. Viljankuivauksessa energiansäästökeinoja on lukuisia, joita yhdistelemällä voidaan kuivauslaskussa säästää merkittävästi. (Luomutietoverkko 2016.)

2.3.1 Sääolosuhteet kuivauksessa

Säällä ei lämminilmakuivauksessa ole niin ratkaisevaa merkitystä itse kuivausprosessiin, mutta kuivurin energiankulutukseen sillä on vaikutusta. Yleensä kannattaa pyrkiä kuivaamaan mahdollisimman paljon päiväsaikaan ja hyvissä sääoloissa. Tällä menetelyllä voidaan vähentää kuivauksen energiankulutusta huomattavasti. Jo viiden asteen lämpötilan nousu ulkoilmassa johtaa 9 % säästöön viljankuivauksessa. Lisäksi lämpöhäviöt vähenevät lämpötilaeron ollessa pienempi kuivurilaitoksen ja ulkoilman välillä. (Ahokas 1983a, 49.)

2.3.2 Kuivausilman lämpötilan nostaminen

Viljankuivauksessa kuivauslämpötila kannattaa säätää mahdollisimman korkeaksi, koska kuivausteorioiden ja tehtyjen tutkimusten mukaan kuivausilman lämpötilan nosto nopeuttaa viljan kuivumista ja vähentää kuivurin energiankulutusta haihdutettua vesikiloa kohti. Kuivausilman lämpötilan vaikutus erän kuivausaikaan on esitetty kuvassa 3. Siemenviljan itävyyden säilyttävä kuivausilman lämpötila on varsin alhainen, joten kuivauslämpötilaa nostaessa tulee huomioida, ettei viljan itävyys ja leipoutumisoiminaisuudet kärsi. Rehuviljalle, jonka itävyys- ja leipoutumisoiminaisuuksilla ei ole niin merkitystä, kannattaisi energiankulutuksen ja kuivurin kuivauskapasiteetin lisäämisen kannalta käyttää mahdollisimman korkeata kuivauslämpötilaa. Suomessa yleensä kuivataan rehuviljaa ylivarovaisesti. (Lötjönen 2005, 39.)



KUVA 3. Kuivausilman vaikutus erän kuivausaikaan (Ahokas 2014, 20)

Viljankuivaamisessa tehtyjen tutkimusten mukaan 70 °C kuivausilman lämpötila on kennokuivurissa vielä turvallinen kuivauslämpötila, jopa hyvin kostean viljan kuivauksessa. 90 °C lämpötila aiheutti kuivauskokeissa jo selviä kuivausvaurioita, jos viljan kosteus oli yli 20 %. Kuitenkin viljanjyvän kosteuden ollessa alle 20 % vaurioita ei esiintynyt. 120 °C lämpötilassa kuivatessa viljan itävyys tuhoutui lähes täydellisesti. Tutkimusten perusteella perusohjeena viljankuivauksessa voi pitää, että siemen-, mallas- ja leipäviljan kuivausilman korkein turvallinen lämpötila on 90 °C vähennettynä puidun viljan kosteusprosentilla. Käytännössä se tarkoittaa, että kuivausilman lämpötila ei saisi juuri nousta yli 70 °C ainakaan kuivauksen alussa, jolloin viljan kosteus on suurimmillaan. (Lötjönen 2003, 27.)

Viljajyvien pinnassa olevissa kuorikerroksissa oleva vesi haihtuu melko nopeasti ja pienellä energiamäärällä. Sen sijaan jyvän ytimessä olevan kosteuden haihtuminen kestää kauemmin ja vaatii enemmän energiaa, koska veden pitää siirtyä ensin jyvän ytimestä sen pintaosiin haihtuakseen. Tämän takia viljaa ei kannata yrittää kuivata liian nopeasti. Kuivauksen energiankulutuksen kannalta olisi parempi, että kuivauksen alussa käytettäisiin alhaisempaa kuivausilman lämpötilaa ja sitä nostettaisiin kuivauksen loppua kohden. Kun alitetaan 15 % viljankosteus, kosteuden poistamiseen jyvistä tarvittava energiamäärä kasvaa huomattavasti, koska loppukosteus on hyvin tiukasti sitoutunut jyviin. Tästä syystä myös viljan kuivausta merkittävästi alle 14 %:n kosteuteen tulisi myös välttää. (Lötjönen 2005, 35.)

Ennen vuotta 2001 paloturvallisuusmääräykset rajoittivat kuivausilman korkeimmaksi lämpötilaksi 80 astetta. Nykyään selvästi määriteltyä ylärajaa ei ole, vaan yleensä kuivurivalmistaja määrittelee suurimman sallitun kuivauslämpötilan. Vanhan kuivurin ollessa kyseessä paloturvallisuusmääräyksistä on hyvä olla yhteydessä paloviranomaisen ja vakuutusyhtiön edustajan kanssa. Vanhoissa kuivuriuuneissa puhallusilman lämpötilaa voidaan nostaa öljypolttimen suutinkokoa muuttamalla. Yleensä puhallusilman lämpötilan nostoa rajoittaa kuivurivalmistajan ilmoittama kuivausuunin suurin sallittu öljymäärä, jota ei saa ylittää uunin rikkoutumisriskin takia. (Lötjönen 2005, 39.)

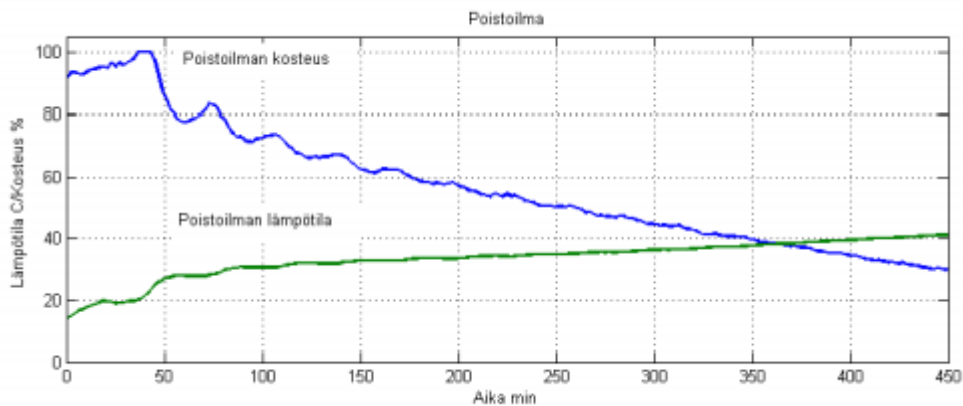
2.3.3 Kuivurin eristäminen

Kuivurin ja sen tuloilmaputkiston lämpöeristämällä voidaan säästää lämpöenergiaa kuivauksessa noin 10 %. Varsinkin uunin ja kuivurin kuivaussiilon välisen ilmakanan eristykseen kannattaa kiinnittää huomiota, koska kuivausilman lämpötila tällä välillä saattaa laskea jopa 5 - 10 °C riippuen kanavan pituudesta ja ympäristön lämpötilasta. Kuivurilaitoksen eristämisen merkitys korostuu varsinkin silloin, kun käytetään korkeaa kuivausilman lämpötilaa, avorakenteista kuivurirakennusta ja yökuivauksessa. (Ahokas 1983a, 57.)

2.3.4 Lämmöntalteenotto

Viljankuivauksessa merkittävä osa polttoaineen energiasta kulkeutuu poistoilman mukana lämmitettynä ilmaana ja veden höyrystymislämpönä ulkoilmaan. Sopivalla läm-

möntalteenottojärjestelmällä osa tästä hukkaan menevästä lämmöstä olisi mahdollista hyödyntää uudelleen lämmittämään kuivurin tuloilmaa. Kuvassa 4 on kuvattu poistoilman lämpötilan nousu kuivauksen edetessä. Kuivurin tiiveyden ja eristyksen merkitys korostuu käytettäessä poistoilmassa lämmöntalteenottoa. Yksinkertaisella aaltopellistä tehdyllä ilma-ilma-levylämmönsiirtimellä on päästy 15–25 % säästöön kuivauksen energiankulutuksessa. (Ahokas 1983a, 58.)



KUVA 4. Poistoilman lämpötilä ja kosteussisältö viljaerän kuivauksen edetessä (Hautala 2013, 66)

Viljakuivureiden lämmöntalteenottoratkaisuissa suurin ongelma on ollut pölynhallinta. Poistoilma sisältää paljon pölyä ja roskia, jolloin poistoilmakanavassa oleva lämmönvaihdin likaantuu ja tukkeutuu viljapölystä. Lämmöntalteenottoratkaisuissa esipuhdistin kuivurissa ja pölynpoistolaitteisto ennen lämmönvaihdinta ovat välttämättömiä. Ongelmaksi on myös muodostunut sovituskvaikeudet olemassa oleviin kuivureihin tulo- ja poistokanavien suurien etäisyyksien vuoksi. (Ahokas 1983a, 58.)

Poistoilman lämmöntalteenottoa on kokeiltu myös poistoilman takaisinkiertätyksen ja lämpöpumpun avulla. Näiden tekniikoiden ongelmana ovat myös sovituskvaikeudet olemassa oleviin kuivureihin, tukkeutuminen pölystä, kallis hankintahinta ja suuret käyttökustannukset. Useimmissa tapauksissa lisäinvestointikustannukset saattavat olla suurempia kuin säästyneen energian arvo, jonka vuoksi nämä lisälaitteet eivät ole yleistyneet Suomessa. (Lötjönen 2005, 78.)

Iitissä sijaitsevalla Ronimuksen maatilalla on rakennettu lämminilmakuivuriin lämpöpumpulla toimiva poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä. Kyseinen kuivuri on kuivauskapasiteetiltaan 385 hl ja kuivausuunin teho on noin 430 kW. Lämmöntalteenottojärjestelmän asennuksen jälkeen kuivurilla on öljynkulutus puoliintunut, ja samal-

la kuivurin kuivausteho on kasvanut. Poistoilman puhdistus on ratkaistu erillisellä poistoilmakanavassa olevalla syklonilla ja suodatuksella. Lämpöpumppuun perustuvan lämmöntalteenottojärjestelmän takaisinmaksuajaksi on arvioitu 7 - 8 vuotta. (Oristo 2016, 42.)

2.3.5 Aurinkoenergia

Puhallusilman esilämmitys aurinkokeräimiä hyödyntämällä ei ole juurikaan yleistynyt lämminilmakuivureissa Suomessa, mutta keräimien käyttö olisi perusteltua myös niissä. Aurinkokeräimellä saavutettu puhallusilman lämpötilan nosto viidellä asteella vähentää polttoaineenkulutusta 2 l/h kuivuriuunin tehon ollessa 250 kW. Suurilla kuivausmäärillä ja syksyinä, jolloin auringon valoa olisi tarjolla paljon säästöt voivat olla merkittäviä. Myös lämminilmakuivurin kuivauskapasiteetti kasvaa kuivauksen nopeutuessa, kun kuivausilman puhallusilmamääriä ei tarvitse pienentää lämpötilan nostamiseksi. (Lötjönen 2005, 50.)

2.3.6 Lämminilmakuivurin puskurikuivuri

Lämminilma- ja kylmäilmakuivurin yhteiskäytöllä voidaan nostaa kuivurin viljan vastaanottokapasiteettia puintien aikana. Samalla pystytään varmistamaan puinnin yhtäjaksoinen jatkuvuus ja viljan säilyminen ennen varsinaista kuivausta. Kylmäilmakuivuria käytetään silloin kun lämminilmakuivurissa ei ole tilaa tai vilja on hyvin kostea. Kostea vilja kuivataan kylmäilmakuivurissa esimerkiksi alle 20 % kosteuteen ja lopullinen varastokosteuteen kuivaaminen tapahtuu lämminilmakuivurissa. Kylmäilmakuivurin käyttöä olisi mahdollista myös tehostaa lämmittämällä puhallusilmaa lämminilmakuivurin poistoilmalla lämmönvaihtimella avulla. Näin saataisiin hyödynnettyä lämminilmakuivurin poistoilman lämpö- ja kosteussisältö, joka muutoin puhallettaisiin ulkoilmaan. (Ahokas 1983a, 71.)

3 MAATILAN RAKENNUSTEN LÄMMITYS KOTIMAISILLA POLTTOAINEILLA

Maatila on käytännössä aina useamman eri-ikäisen ja eri käyttötarkoituksen omaavan rakennuksen kokonaisuus, ja energiaratkaisuissa tarvitaan usein muutakin kuin yksittäisen rakennuksen lämmityksen huipputehontarpeen laskemista. Eri rakennusten vä-

lillä voi olla suurikin lämmitystehontarpeen ero riippuen, missä käytössä rakennus on. Monesti tilakeskuksen rakennukset ovat myös etäällä toisistaan, jolloin lämpökanaalin lämpöhäviöt voivat kasvaa kohtuuttomiksi. Myös tilan rakennusten tehontarve voi vaihdella suuresti eri vuodenaikoina, mikä asettaa omat haasteensa lämmitysjärjestelmän mitoittamiselle. Talvella huippupakkasten aikaan tarvitaan asuin- ja tuotantorakennuksien lämmitykseen suurta lämmityksen huipputehoa, syksyllä viljankuivaukseen, kun taas kesällä ei tarvitse lämmittää muuta kuin lämmin käyttövesi. (Kari 2009, 71.)

3.1 Maatilojen energiankäyttö

Maaseudulla energiaa tarvitaan asuinrakennusten, eläin- ja konesuojien ja kuivureiden lämmitykseen sekä maa- ja metsätalouskoneiden kasvihuoneiden ja sähkölaitteiden toimintaan. Sähkö hankitaan pääasiassa yleisestä sähköjakeluverkosta. Tiloilla tapahtuva pienimuotoinen omasähkön tuotanto on useimmiten varavoimakoneiden käyttöä silloin, kun sähköjakeluverkossa on ongelmia. Useimmat työkoneet, kuten traktorit, käyttävät polttoaineinaan maaöljyperäisiä polttoaineita, samoin kuin viljankuivurit ovat useimmiten öljykäyttöisiä niiden suuren tehontarpeen vuoksi. Lämpöenergiaa tuotetaan sen sijaan useista eri energianlähteistä. (Nyholm 2005, 6.)

Maaseudulla käytettiin 1900-luvun puoliväliin saakka energianlähteenä pääasiassa puuta. Tuontipolttoaineiden kuten öljyn käyttö lisääntyi 1950-luvulla maataloilla useasta eri syystä. Puu alettiin nähdä enemmän teollisuuden raaka-aineena, ja tuontipolttoaineet olivat kotimaisia edullisempia. Nestemäisten polttoaineiden etuina olivat myös käytön helppous, varastointi ja polttoaineiden lämpöarvot olivat korkeita. Lisäksi lämmityslaitteistot olivat yksinkertaisia käyttää ja huoltaa. (Nyholm 2005, 7.)

3.2 Keskitetty lämpökeskus

Valittaessa lämmitysjärjestelmää maatilalle tai muulle vastaavan kokoiselle kiinteistölle lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä on useita. Merkittävin tekijä lämmitysjärjestelmän valinnassa on investoinnin kannattavuus eli lämmityksessä muodostuvat kustannukset ja niistä mahdollisesti saatavat säästöt. Uudella lämmitysjärjestelmällä tulisi säästää aikaa, jota monesti kuluu lämmityksestä huolehtimiseen, sekä tehostaa mahdollisesti maatalan konekaluston käyttöä. Jos tilalla uudeksi lämmi-

tysjärjestelmäksi valitaan biopolttoaineita käyttävä lämpölaite ja polttoaine aiotaan hankkia omista metsistä, parannetaan samalla myös metsien hoidon tasoa sekä metsätalouden kannattavuutta. Monesti kannattava vaihtoehto maataloilla on siirtyä käyttämään biopolttoaineita, kun polttoainetaloudessa voidaan olla omavaraisia. Lämmitysjärjestelmäksi kannattaa valita järjestelmä, jolla voi polttaa useita eri polttoaineita kuten esimerkiksi palaturvetta, haketta, pellettiä ja viljan lajittelujätteitä. Silloin kun vaihtoehtoja on useita, voi valita kulloinkin edullisimman saatavilla oleva polttoaineen. (Viirimäki 2008, 7.)

3.3 Lämpökeskuksen sijainti ja paloturvallisuus

Lämpökeskuksen paikkaa harkittaessa kannattaa selvittää tilakeskuksen nykyisten tilojen käyttökelpoisuus. Monesti vanhoissa maatilakeskuksissa on tiloja tyhjiään, kuten esimerkiksi navettarakennus, jos tilalla on lopetettu eläinten pito. Lämpökeskuksen sijoittaminen vanhaan tuotantorakennukseen on kannattavaa, varsinkin jos käytettävän polttoaineen varastointi ja käsittely on mahdollista toteuttaa joustavasti. Vanhaan rakennukseen lämpökeskusta sijoitettaessa tulee hakevarastotila, syöttö- ja kattilahuone osastoida ja rakentaa voimassa olevien paloturvallisuusvaatimusten mukaisesti. (Viirimäki 2008, 12.)

Hakelämmityskattila, joka on tehoiltaan yli 30 kW, tulee sijoittaa erilliseen ja osastoituu kattilahuoneeseen. Kattilahuoneen rakenteiden tulee olla rakennettu palamattomasta materiaalista EI 60 -luokan mukaan. Myös kattilahuone ja polttoainevarasto tulee olla erilliset. (Viirimäki 2008, 12.)

Lämpökeskusta varten voidaan rakentaa myös uusi erillinen rakennus, jos olemassa olevien tilojen hyödyntäminen on teknisesti ja taloudellisesti kannattamatonta. Uusi lämpökeskus tulee sijoittaa vähintään kahdeksan metrin etäisyydelle tilan muista rakennuksista. Uutta lämpökeskusta tehtäessä kannattaa huomioida hakevaraston sijainti ja sen vaivaton täyttö. Oli kyseessä nykyisiin tiloihin sijoitettava lämpökeskus tai kokonaan uusi lämpökeskus, kannattaa se yrittää sijoittaa mahdollisimman lähelle eniten lämpöenergiaa tarvitsevaa rakennusta. Näin voidaan minimoida rakennusten välille tarvittavan lämmityskanaalin rakentamiskustannukset ja lämpöhäviöt. (Viirimäki 2008, 14.)

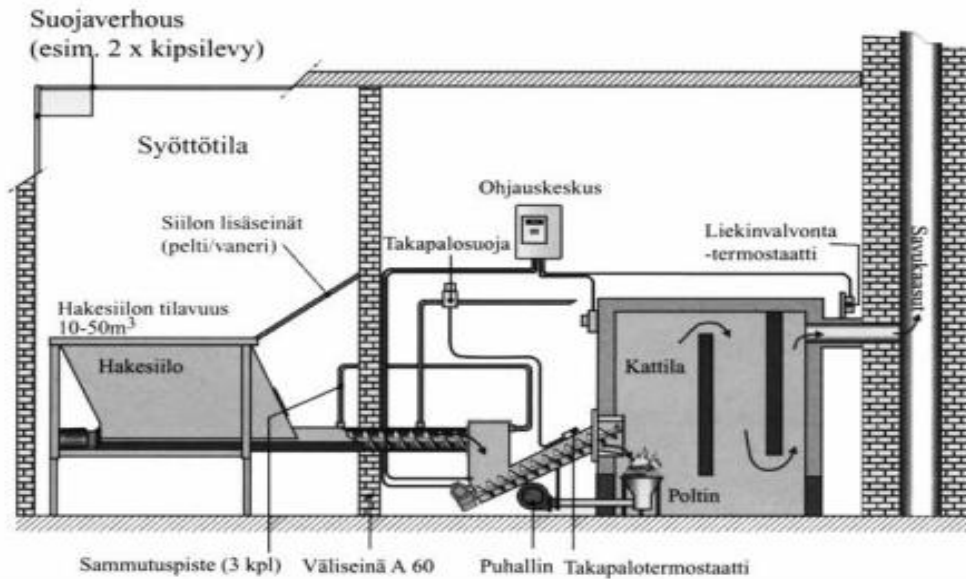
Hakelämpökeskuksessa on paloturvallisuuden vuoksi oltava vähintään kaksi erillistä toisistaan riippumatonta takatulenestojärjestelmää, jotka toimivat myös mahdollisen sähkökatkoksen aikana. Toisen järjestelmistä tulee olla vedellä toimiva järjestelmä.

Toinen turvajärjestelmä on yleensä suuremmissa laitoksissa sulkusyötin, ilmahyppyyn perustuva pudotuskuilu tai ilmatiiviillä kannella varustettu syöttösiilo (pienemmät sokeripolttimet). Myös savuhormin oikea mitoitus ja kattilan ja piipun välinen liitos ovat tärkeitä laitoksen paloturvallisuuden kannalta. Riittävä alipaine kattilaan saadaan riittävän korkealla ja sisähalkaisijaltaan oikein mitoitettulla savupiipulla. Myös käytettävän hakkeen laatu vaikuttaa palamiseen ja paloturvallisuuteen. Kosteaa ja tikkuinen hake palaa epätasaisesti ja aiheuttaa kattilan ja savuhormin nokeentumista. (Viirimäki 2008, 15.)

Monesti hakelämmityslaitteistojen takapalo-ongelmat esiintyvät kesäaikana, jolloin rakennusten lämmöntarve on pieni. Kesällä olisi järkevämpää lämmittää tarvittava lämminkäyttövesi ennemmin sähköllä, öljyllä tai auringolla. Uudemmissa hakelämmitysjärjestelmissä edellisen kaltaiset ongelmat ovat kuitenkin vähentyneet johtuen kattiloiden ohjauslaitteiden kehityksestä ja monipuolisemmista lisävarusteista. Hakekattilat ovat nykyään monesti varustettu savukaasupuhaltimella, joka luo tasaisemman vedon kattilaan ja pienen tehontarpeen aikaan taukotulella palamista on vähennetty automaattisyytysjärjestelmillä.

3.4 Biolämmitysjärjestelmä

Hakekäyttöinen biolämmitysjärjestelmäkokonaisuus koostuu pääsääntöisesti lämmityskattilasta, palopäästä, siirto tai kuljetinruuveista, ohjaus-, varojärjestelmästä sekä varastosiiilosta. Yleensä laitteisto teho määrittelee kuinka paljon varolaitteita ja tarvittavia polttoaineen siirtoruuveja tarvitaan. Kuvassa 5 on esitetty hakelämmitysjärjestelmän toimintaperiaate.



KUVA 5. Hakelämmitysjärjestelmän toimintaperiaate (Viirimäki 2008, 13)

3.4.1 Pienet järjestelmät 20-40 kW

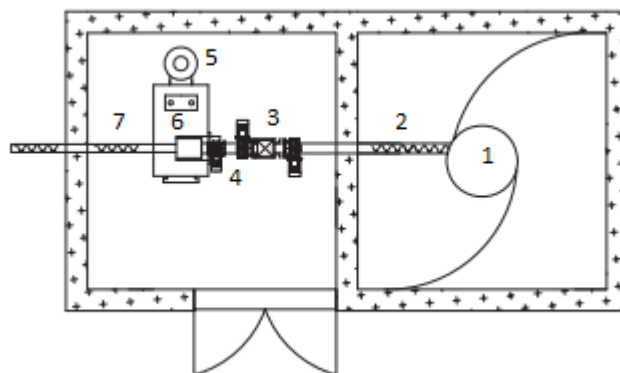
Omakotitalon ja pienten maatilojen kokoluokassa lämmityksessä käytettävät pienehköt 20 - 40 kW teholuokassa olevat biolämpölaitteet eli niin kutsutut stokerilaitteistot. Järjestelmän pääkomponentit koostuvat kattilasta, palopäästä, siirtoruuvista, ohjauksilaitteista, turvajärjestelmistä ja käsitäyttöisestä 0,5 - 2 m³ polttoainesiilosta. Järjestelmä on esitetty kuvassa 6. Takapalosuojaus on toteutettu ilman erillistä sulkusyötintä. Polttoainesiilon kansi on tiivis, samoin siilosta palopäähän menevä siirtoruuvi on niin tiivis, ettei takapalossa leviävä tuli saa riittävästi ilmaa. Omakotitalon kokoluokassa olevat stokerit ovat hankintakustannuksiltaan edullisimpia, vievät vähän tilaa ja ovat toteutettavissa hyvin yksinkertaisesti erilaisiin kiinteistöihin, kun varastosiiilo ja lämmityskattila voidaan sijoittaa samaan tilaan. (Viirimäki 2008, 18.)



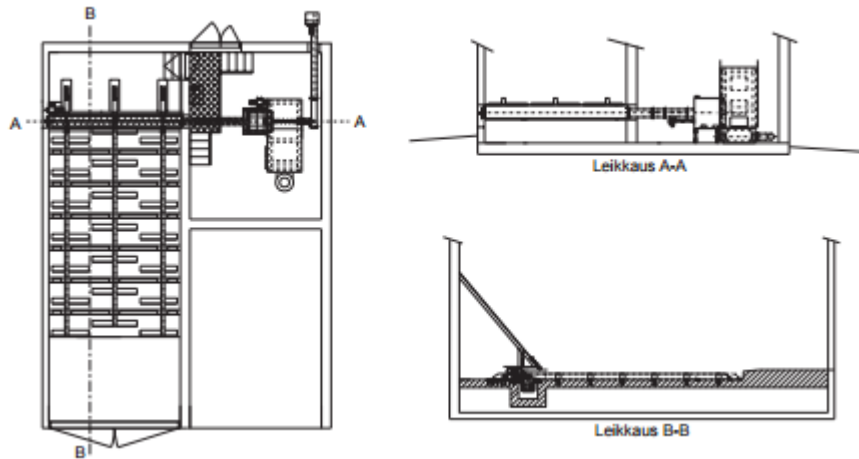
KUVA 6. Puukattilan kylkeen asennettava palopää ja siilo eli stokerijärjestelmä (Viirimäki 2008, 18)

3.4.2 Keskisuuret järjestelmät 40–500 kW

Keskisuuria järjestelmiä ovat 40–500 kW tehoiset biolämmityslaitteistot, joita käytetään suurempien maatilojen tai kiinteistöjen lämmityksessä. Tällaiset järjestelmät ovat jo huomattavasti automatisoidumpia. Järjestelmän pääkomponentit ovat usein kattila, palopää, hakkeensiirtoruuvit, sulkusyötin, ohjauslaitteet ja erilaiset turvajärjestelmät. Järjestelmä on esitetty kuvassa 7. Polttoaineen varastosiilot ovat yleensä traktorin etukuormaimella täytettäviä ja sijaitsevat eri tilassa kuin kattilalaitos palomääräysten vuoksi. Eri valmistajilla on erilaisia purkainratkaisuja varastosiiloon. Suomessa yleisesti käytössä olevia purkainvaihtoehtoja ovat jousipurkain ja kolapurkain. Kolapurkainjärjestelmä on esitetty kuvassa 8.



KUVA 7. Mallikuva 100 kW lämpölaitoksesta. 1. jousipurkain, 2. siirtoruuvi, 3. sulkusyötin, 4. palopää, 5. savupiippu, 6. kattila, 7.tuhkaruuvi (Viirimäki 2008, 11)



KUVA 8. Mallikuva 250 kW lämpölaitoksesta. Polttoainevaraston hakkeen siirto tapahtuu kolapurkaimella (Viirimäki 2008, 11)

3.5 Biolämmitysjärjestelmän polttoainevaihtoehdot

Nykyaikaisessa biolämpökeskuksessa pystytään hyödyntämään monipuolisesti erilaisia kotimaisia polttoaineita, poikkeuksena laitos, joka on tehty ainoastaan pelletinpoltoa varten. Lämmitysjärjestelmää hankittaessa kannattaa kiinnittää huomiota laitteiston varustetasoon ja ohjausautomaatiikkaan, joilla voidaan vaikuttaa mahdollisuuksiin hyödyntää eri polttoaineita. Mikäli järjestelmä varustetaan liikkuva-arinaisella palopäällä ja automaattisella tuhkanpoistojärjestelmällä, saadaan enemmän vaihtoehtoja käytettäville polttoaineille. Tämä on tärkeää etenkin silloin, kun halutaan polttaa edullista ja kulloinkin hyvin saatavilla olevaa polttoainetta. (Bioenergianeuvoja 2016.)

3.5.1 Hake

Hake on metsästä saatavaa puhdasta, kotimaista ja uusiutuvaa lämmityksen raaka-ainetta. Hakkeella tarkoitetaan hakkurilla koneellisesti hakettua puuta. Sitä voidaan tehdä karsimattomasta tai karsitusta kokopuusta hakkuutähteistä, kannoista tai muusta puujätteestä. Hakkeesta saadaan parempi lämpöarvo kuivana ja oikein poltettuna. Hake on tällä hetkellä yksi edullisimmista lämmityksen polttoaineista, jonka vuoksi hakkeen käyttö polttoaineena lämmityksessä on merkittävästi kasvanut Suomessa. (Bioenergianeuvoja 2016.)

3.5.2 Pelletti

Pelletti on kotimaista uusiutuvaa bioenergiaa. Polttoaineena se on kuivaa, pölyämätöntä, hajutonta, helposti käsiteltävää ja sillä on suuri lämpöarvo. Pelletti valmistetaan pääasiassa teollisuusprosessien sivutuotteena syntyvistä kutterinpurusta, hiontopölystä ja sahanpurusta. Raaka-aine puristetaan sylinterinmuotoiseksi rakeeksi hydraulisesti pakottamalla. Sidosaineena toimii puun oma luonnollinen liima-aine, ligniini. Valmiin pelletin kosteusprosentti on alle 10 %, joten se ei jäädy eikä homehdu varastoitaessa. (Bioenergianeuvoja 2016.)

3.5.3 Vilja

Viljan hinta on laskenut tasaisesti viime vuosien aikana. Viljaa on tarjolla riittävästi koko Euroopan alueella ja esimerkiksi rehuviljoista on Suomessa ylituotantoa lähes vuosittain. Euroopan unionin laajentumisen jälkeen vuonna 2005 unionissa on peltoalaa yli sen väestön elintarviketarpeen, noin 30 miljoonaa hehtaaria. Ei siis ole odotettavissa, että elintarvikeviljan markkinahinta kääntyisi nousuun ainakaan ihan lähivuosina. (Luoma ym. 2006, 53.)

Pelletin tapaan on myös viljan lämpöarvo hyvin korkea. Sen käsittely on yksinkertaista ja varastointi vähän tilaa vievää. Polttoon kelpaavat myös viljan kuivausprosessin sivutuotteena syntyvät lajittelujäämät ja kauppaan kelpaamattomat heikkolaatuiset viljaerät. Alhaisen markkinahinnan vuoksi myös parempilaatuisten viljaerien käyttämisestä lämmityksen polttoaineena on harkittu. (Bioenergianeuvoja 2016.)

Viljan poltto biolämpölaitoksissa onnistuu tietyin edellytyksin. Lämmityskattila tulee olla varustettu liikkuva-arinaisella palopäällä johtuen viljan korkeasta tuhkapitoisuudesta. Poltettaessa pelkästään viljaa palaa se arinaan kiinni, jota kutsutaan laavaantumiseksi. Laavaantuminen heikentää palotapahtumaa kattilassa ja saattaa aiheuttaa toimintahäiriötä kattilalaitoksessa sekä takapalovaaran. Mikäli viljaa aiotaan polttaa säännöllisesti, tulee lämmityskattilan palopää varustaa liikkuvalla arinalla ja automaattisella tuhkanpoistolla lisääntyneen tuhkamäärän vuoksi, jolloin välttyään edellä mainituilta ongelmilta. (Bioenergianeuvoja 2016.)

3.5.4 Turve

Turve on yksi kotimaisista biopolttoaineistamme. Sen osuus kotimaamme energiatuotannosta on noin 6 - 7 %. Turvetta korjataan koneellisesti turvesoilta. Tuotantotavasta riippuen lopputuotteena saadaan joko palaturvetta tai jysinturvetta. Palaturve soveltuu jysinturvetta paremmin pienten lämpölaitosten käyttöön. Palaturpeella on melko korkea lämpöarvo ja polttamalla turvetta puuperäisten polttoaineiden seassa vähennetään kattilapintojen korroosiota, jota ilmenee lämmityskattiloissa käytettäessä vain pelkkiä puupolttoaineita. Suuren tuhkapitoisuuden vuoksi turpeen polttaminen vaatii liikkuvan arinaisen palopään ja automaattisen tuhkanpoistojärjestelmän, kuten viljan polttaminenkin. (Bioenergianeuvoja 2016.)

3.6 Biolämpökontti

Vaihtoehtona kiinteäksi rakennettavalle biopolttolaitokselle on liikuteltava lämpökonttiratkaisu. Lämpökontti on niin sanottu pakettiratkaisu, jossa ovat sekä lämmityslaitteet että varastosilo samassa. Se ei tarvitse niin suuria perustustöitä kuin kiinteäksi tiettyyn paikkaan rakennettu biolämpölaitos, vaan useimmiten laitetoimittaja kasaa laitteiston valmiiksi tehtaalla. Sijoituspaikalla ei tarvitse olla kuin perustukset, lämpöjohtojen liitokset sekä vesi- ja sähköliitännät. (Bioenergianeuvoja 2016.)

Biolämpökontin sisälle integroidun pienen polttoainevaraston vuoksi on lämmitettävässä kohteessa oltava lisäksi erillinen lisävarasto käytettävän polttoaineen mukaan. Kiinteä polttoainevarasto lämpökontissa on usein suuruudeltaan noin 10 - 30 m³. Lämpökontin varaston täyttö tapahtuu useimmiten traktorin etukuormaajaa käyttämällä. Haketta tehtäessä voi sen myös "puhaltaa" suoraan konttiin hakkurilla. Mikäli lämpökontin pystyy sijoittamaan rinteeseen, on varasto mahdollista täyttää myös suoraan peräkärystä kippaamalla. (Bioenergianeuvoja 2016.)

3.7 Investointien kannattavuuden takaisinmaksuajat

Maatilalla vastaavasti kuin yrityksissä investoinnit aiheuttavat usein suuria perushankinta ja käyttökustannuksia, jonka vuoksi taloudelliseen suunnitteluun ja kannattavuuteen tulee kiinnittää huomiota. Kannattavuuslaskelmien avulla voidaan yksittäisen suuremman investoinnin kannattavuutta ja vertailla eri investointivaihtoehtojen

edullisuutta keskenään. Yleensä pidempiaikaisten investointien taloudellista tarkastelua hankaloittaa tuottojen ja kustannusten jakautuminen usealle eri vuodelle tulevaisuuteen. Tästä syystä laskiessa investoinnin takaisinmaksuaikoja on otettava huomioon myös ajan vaikutus rahan arvoon laskentakorkokannan avulla. Laskentakorkokannan suuruuteen vaikuttavat oman ja vieraan pääoman suhde, investoinnin riskitaso sekä inflaatio. (Kotro 2007, 115.)

Investoinnin suunnittelua avustavat laskelmat ovat yleensä luonteeltaan vaihtoehtolaskelmia. Yrityksen investoinnin suunnittelussa on huomioitava myös muita päätöksentekokriteerejä kuin raha, kuten hankittavan laitteiston toimivuus, laatu ja säästetty työhön kulunut aika. (Kotro 2007, 115.)

3.7.1 Takaisinmaksuajan menetelmät

Investoinnin takaisinmaksuajan menetelmällä voidaan arvioida investoinnin kannattavuutta. Takaisinmaksuaikaa määrittäessä (yhtälö 1) lasketaan aika, jonka kuluessa investointi maksaa itsensä takaisin. Yleensä se on aikaväli, jolloin investoinnin yhteenlasketut nettotuotot ovat suuremmat kuin investoinnin hankintameno.

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{investoinnin perushankintakustannus}}{\text{vuotuinen nettotuotto}} \quad (1)$$

Jos takaisinmaksuaika on lyhempi kuin investoinnin suunniteltu pitoaika, kuten esimerkiksi laitteiston käyttöikä, on investointi kannattava. Jos taas takaisinmaksuaika on pidempi kuin aika, jonka investoitu laitteisto kestää käytössä, on investointi kannattamaton. (Eklund 2014, 138.)

Takaisinmaksuajan menetelmä on yksinkertainen ja yleensä ensimmäinen laskelma, joka tehdään suunniteltaessa investoinnin kannattavuutta. Menetelmä on kuitenkin karkea ja epätarkka pidempiaikaisten investointien kannattavuuden laskentaan, sillä se ei ota huomioon rahan aika-arvoa. Se soveltuukin paremmin lyhytaikaisten investointien laskentaan. Korko voidaan kuitenkin tarpeen vaatiessa ottaa huomioon diskonttaustekijää käyttämällä, jolloin vuotuiset nettotuotot ensin diskontataan investointiajankohtaan. Tällöin on määritettävä, monenko vuoden diskontatut vuosituotot tarvitaan hankintamenon määrän kerryttämiseksi. (Neilimo 2005, 223.)

Jos investoinnin tuotot pysyvät vakiona, korollisen takaisinmaksuajanmenetelmän takaisinmaksuaika n ratkaistaan yhtälöstä 2

$$\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n * i} * k = A, \text{ jossa} \quad (2)$$

n = takaisinmaksuaika

k = vuotuinen tuotto

i = laskennallinen korkokanta

A = investoinnin hankintameno

3.7.2 Nettonykyarvon menetelmä

Nettonykyarvomenetelmää käytettäessä pyritään eliminoimaan korkotekijällä rahanarvon muutosten vaikutus tuottojen ja vuotuisten kustannusten arvoon. Investoinnin nykyarvoon muutos tehdään diskonttaustekijällä. Investointi on kannattava, jos tuloksena saatu nykyarvojen summa on positiivinen. Tällöin investoinnista saatujen tuottojen nykyarvo on suurempi kuin investoinnin hankinnasta johtuvat kustannukset. (Kotro 2007, 123.)

Investointi on kannattava jos

$$-H + \sum_{t=1}^n \frac{k_t}{(1+i)^t} + \frac{JA}{(1+i)^n} \geq 0 \text{ jossa,} \quad (3)$$

H = alku investointikustannus

k = vuosittaisten nettotuottojen ja kustannusten erotus ajanjaksolla t

JA = jäännösarvo

i = määritetty laskentakorkokanta

n = investointiaika vuosina

3.7.3 Sisäisen koron menetelmä

Sisäinen korkokanta on korkokanta, jonka mukaan laskettuna investoinnin nettonykyarvo on nolla. Sisäistä laskentakorkokantaa käyttäen investoinnista kertyvien nettotuottojen nykyarvo on yhtä suuri kuin investoinnin perushankintameno. Investointi on kannattava, jos sen sisäinen korkokanta on vähintään tavoitteeksi asetetun pääoman tuottoprosentin suuruinen. Investointivaihtoehdoista edullisin on se, jonka sisäinen korkokanta on suurin. (Neilimo 2005, 221.)

Investoinnin kannattavuus sisäistä korkokantaa käyttäen lasketaan yhtälöllä

$$NA_0 = -H + \sum_{t=1}^n \frac{k_t}{(1+i)^t} + \frac{JA_n}{(1+i)^n} = 0, \text{ jossa} \quad (4)$$

NA_0 = investoinnin nettonykyarvo

H = alku investointikustannus

k = vuosittaisten nettotuottojen ja kustannusten erotus ajanjaksolla t

i = laskentakorkokanta

JA_n = jäännösarvo

t = aika

n = järjestelmän arvioitu käyttöikä vuosissa

Kaavassa laskentakorkokannan i laskeminen edellyttää n :nnen asteen yhtälön ratkaisemista, joka on työlästä paperilla suoritettavilla laskutoimituksilla. Yksinkertaisempi vaihtoehto on käyttää sopivaa laskinta tai kirjallisuudesta löytyviä taulukoita, joista interpoloimalla eri korkokannan vaihtoehtoja voidaan löytää investoinnin sisäinen korkokanta. (Neilimo 2005, 221.)

4 TOTEUTETTAVAN JÄRJESTELMÄN MITOITUS

Tässä työssä tarkasteltavana kohteena on Uudellamaalla sijaitseva maatilakeskus, johon on tarkoitus toteuttaa uusi haketta polttoaineena käyttävä biolämpökeskus. Nykyisessä tilanteessa maatilakeskuksen eri rakennukset lämpiävät kaikki omalla erillisellä lämmitysjärjestelmällä. Polttoaineena rakennusten lämmityksessä käytetään öljyä, puuta ja sähköä. Investoimalla uuteen keskitettyyn biolämpökeskukseen on tarkoitus alentaa kustannuksia, joita rakennusten lämmityksessä syntyy, ja keskittää samalla lämmityksen tuotantoa yhteen paikkaan, jolloin myös erillisten huoltokohteiden määrää ja lämmitykseen kuluvaa aikaa saadaan vähennettyä. Lisäksi uudesta biolämpökeskuksesta on tarkoitus saada tuotettua lisälämpöä myös syksyisin tapahtuvaan viljankuivaukseen.

4.1 Lämmitettävät tilat ja rakennukset

Uudella lämpökeskuksella ympärivuotisesti lämmitettävät rakennukset tilakeskuksella ovat tilan päärakennus, navetta ja konehalli. Näiden rakennusten yhteenlaskettujen lämmitystehontarpeet määrittävät vähimmäisvaatimuksen uuden lämpökeskuksen hakekattilan teholle.

Tilakeskuksen päätalo on 1900-luvun alussa rakennettu hirsirunkoinen puutalo. Päätalossa on kaksi asuinkerrosta ja kellari. Eristeinä ala-, väli- ja yläpohjissa on käytetty sahanpurua, hiekkaa, sammalta ja olkea. Ilmanvaihto on painovoimainen. Talon ovet ja ikkunat on vaihdettu 1990-luvulla. Rakennuksen nykyinen lämmitysjärjestelmä on vesikiertoinen patterilämmitys yksilevyisillä pattereilla. Kattilahuone on rakennuksen kellarissa, jossa on halkokattila, varustettuna 1,5 m³ varaajalla. Varalämmönlähteenä on lisäksi pieni öljykattila. Asuinneliöitä päätalossa on noin 400 m², keskimääräinen huonekorkeus on noin 2,7–3,4 metriä.

Tilan navetta on 1950-luvulla rakennettu täystiilirakennus. Seinät on muurattu puolen-toista tiilin jaolla. Pohjaratkaisuna on maanvarainen laatta. Yläpohjan rakenne on betonia sahanpurueristyksellä. Navetan ilmanvaihto on painovoimainen, jonka korvaus- ilma-aukot ovat ulkoseinissä. Kerroksia navetassa on yhteensä kolme. Ensimmäisessä kerroksessa on hevostalli, verstaas- ja varastotiloja. Keskikerroksessa on kolme asuinhuoneistoa sekä puusepän toimitilat. Kolmannen kerroksen tilat ovat varastokäytössä.

Navetan kokonaispohjapinta-ala on noin 600 m², kerroskorkeus on keskimäärin noin 2,5 metriä. Asuntoihin on vaihdettu ikkunat 1990-luvulla, muiden tilojen ikkunat ovat vielä rakennuksen alkuperäiset. Nykyinen lämmitysjärjestelmä on vesikiertoinen patterilämmitys yksilevyisillä pattereilla. Navetan keskikerros on tällä hetkellä lämmitetty kokonaan, ensimmäinen ja kolmas kerros vain osittain. Kattilahuone on navetan ensimmäisessä kerroksessa. Päälämmitysjärjestelmänä navetalla käytetään öljykattilaa, jonka rinnalla on lisäksi halkokattila 2,5 m³ varaajalla. Navetan öljykattila on uusittu syksyllä 2013.

Konehalli on 1970-luvulla rakennettu hallirakennus tilan työkoneiden huoltoa varten. Alapohjarakenne on maanvarainen laatta. Konehallin kokonaispohjapinta-ala on noin 350 m², josta lämmitettyä tilaa on noin 150 m² ja loput on kylmää konesuojaosaa maatilän työkoneiden säilytystä varten. Halli on aikoinaan rakennettu laajennusvaralla niin, että nykyisen konesuojaosan 200 m² saa myös muutettua puolilämpöiseksi tilaksi. Tässä työssä lasketut lämpöhäviöt on laskettu koko rakennukselle. Hallin nykyisen korjaamotilan lämmitysjärjestelmä on suorasähkökäyttöisillä seinäpattereilla. Ikkunat ovat rakennuksen alkuperäiset 2-lasiset. Konehallissa ei ole erillistä ilmanvaihtojärjestelmää, vain korvausilmaventtiilit ulkoseinien ylä- ja alaosassa. Hallin sisätilojen korkeus on noin 4,7 m.

Tilan viljakuivuri on 70-luvulla rakennettu teräsrakenteinen Teijo-merkinen viljan-kuivuri. Tilavuutta kuivaussiilossa on noin 300 hl. Kuivuri on eräkuivaustyyppinen kuivuri. Kuivaussiilossa on lämmityskennojen alapuolella lisäksi jäähdytyskennot ja erillinen jäähdytyspuhallin, joten kuivuria on myös mahdollista käyttää jatkuvatoimisena. Kuivuri on varustettu kahdella Teijo-merkkisellä ylipaineunilla, jotka ovat vielä kuivurilaitoksen alkuperäiset. Nykyisten kuivuriuunien teho ja puhaltimien ilmämäärien teknilliset arvot ovat Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos Jukurin julkaisuista. Julkaisu on liitteessä 5.

4.2 Rakennusten lämpöhäviöt ja tehontarpeet

Tilakeskuksen rakennusten lämmitystehontarpeet on pyritty laskemaan mahdollisimman tarkasti kuin vain vanhojen rakennusten kohdalla suinkin järkevästi pystyy. Kuitenkin johtuen tilan rakennuskannan iästä ja puuttuvista rakennuspiirustuksista lämpöhäviölaskelmat perustuvat osittain arvioihin seinärakenteista ja paikanpäällä tehtyihin rakenteiden pinta-alamittauksiin. Kaikista rakennusten osista ei ole kuitenkaan pystytty arvioimaan tarkasti rakennetta ja käytettyjä materiaaleja. Laskelmissa käytetyt rakenteiden U-arvot on määritelty arvioimalla seinärakenne myös tutkittavan rakennuksen rakennusajankohdan mukaan. Muuten nykyisten seinärakenteiden U-arvojen määrittämisessä käytetyt rakennusmateriaalien lämmönjohtavuusarvot ovat rakennusmääräyskokoelmasta C4. (Energiatodistusopas 2016.)

Tilalla rakennusten lämmityksessä käytetään paljon puuta öljynpolton rinnalla luukuunottamatta konehallia, joka lämmitetään kokonaan sähköllä. Tarkkoja arvioita rakennusten lämmitystehontarpeesta puun kulutuksen perusteella arvioituna on hankala tehdä. Navetalla öljynkulutus on ollut aikaisemmin noin 10 000 l yhden lämmityskauden aikana. Öljykattila säätöjärjestelmineen on uusittu syksyllä 2013, jonka jälkeen kulutus on ollut 5000 l yhden lämmityskauden aikana. Öljykattilan käytön lisäksi navetalla poltetaan paljon puuta öljykattilan rinnalla olevassa halkokattilassa. Navetalla lämmityskauden pituus, jolloin öljynkattila on koko ajan käytössä, kestää marraskuun alusta huhtikuun loppuun, eli noin 6 kuukautta. Nykyisen öljykattilan teho on 35 kW, ja yläpaloisen Jämä-merkkisen halkokattilan teho on kattilan tyyppikilvessä ilmoitettu 25 kW, jolla lämmitetään 2,5 m³ varaajaa.

Päätalossa on vastaavasti yläpaloinen halkokattila päälämmön lähteenä ja sen rinnalla oleva 1,5 m³ varaaja. Päätalossa poltetaan pääsääntöisesti puuta, mutta halkokattilan lisäksi on myös 17 kW tehoinen Jämä-merkinen öljykattila. Öljykattilaa kuitenkin käytetään vain kovemmilla pakkasilla. Nykyisellä laitteistolla päätalon lämmittäminen on edullista, kun puuta saadaan omasta metsästä. Lämmitysmuoto on kuitenkin työläs, ja vaatii öljynkäyttöä silloin, kun talosta ollaan pidempiä aikoja poissa.

4.2.1 Rakennusten ilmavuotoluvut

Rakennusten ilmavuodolla tarkoitetaan rakennusten sisä- ja ulkopuolen paine-erojen aiheuttamaa ilman virtausta rakennuksen vaipan läpi. Rakennuksen ilmavuotoluku voidaan määrittää joko käytännössä mittaamalla tai käyttämällä rakennusmääräyskoelman D5 antamia ilmavuotoluku arvoja, joilla voidaan laskea rakennuksen vuotoilmavirrasta johtuvat lämpöhäviöt. Kuvassa 9 on esitetty tyypillisiä rakennusten ilmavuotolukuja.

Taulukko 3.5. Tyypillisiä rakennuksen ilmanvuotolukuja (n_{50}) ja rakennusvaipan ilmanvuotolukuja (q_{50}) erilaisille rakennuksille riippuen rakentamis- ja toteutustavasta.

Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n_{50} -luvut, l/h	Tyypilliset q_{50} -luvut, $m^3/(h \cdot m^2)$
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1,0 – 3,0	Pientalot 1,0 – 3,0
		Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 – 1,5	Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,0 – 4,0
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3,0 – 5,0	Pientalot 3,0 – 5,0
		Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 – 3,0	Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 4,0 – 8,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5,0 – 10,0	Pientalot 5,0 – 10
		Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3,0 – 7,0	Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 8,0 – 20,0

KUVA 9. Tyypillisiä rakennusten ilmavuotolukuja (Rakennusmääräyskokoelma D5)

Tilakeskuksen kaikki rakennukset ovat rakennettu aikana, jolloin ilmatiiviyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota. Tilan kaikkien rakennuksien vuotoilmavirrasta johtuvat lämpöhäviöt on laskettu ilmavuotoluvun n_{50} arvolla 6. Laskut on esitetty liitteessä 2.

4.2.2 Päätalon lämpöhäviöt

Päätalossa on hirsiseinät, jonka ulkopinnassa on paneelivuoraus. Sisäpuolella seinissä on lastulevy. Osassa ulkoseiniä sisäpuolella on pelkästään pinkopahvi tapetoituna. Rakennuksen asuinpinta-ala on noin 400 m² ja huonekorkeus on keskimäärin 3 metriä.

Sisälämpötila lämmityskaudella on noin 19–21 °C astetta. Ikkunat ja ovet on vaihdettu 90-luvulla. Ikkunoille on niiden vaihtojankohdan mukaan määritelty U-arvoksi 2,1 W/(m²/K). Oville vastaavasti 1,4 W/(m²/K). Muuten päätalon rakenteiden U-arvot on määritetty rakennusmääräyskokoelman C4 antamien rakennusmateriaalien lämmönjohtavuusarvojen mukaan. Rakenteiden U-arvot on esitetty taulukossa 1. Päätalon tarkemmat lämpöhäviölaskelmat on esitetty liitteessä 2.

TAULUKKO 1. Päätalon rakenteiden U-arvot

Päätalo U-arvot	W/m ² K
ulkoseinä	0,55
yläpohja	0,37
alapohja	0,2
ikkuna	2,1
ovi	1,4

TAULUKKO 2. Päätalon lämpöhäviöt

Rakennus	ϕ läm.häviöt W	ϕ vuotoilma W	Yht. W
Päätalo	17558	2600	20158

Päätalon lämpöhäviöiksi laskelmissa saatiin yhteensä noin 20 kW. Lämmitystehontarvetta on mahdoton laskea tarkasti vanhan rakennuksen kohdalla, kun lämpövuotoja on paljon. Käytännössä arvioiden kuitenkin, että päätalon nykyinen 17 kW tehoinen öljykattila pystyy ylläpitämään talon sisälämpötilan 20 °C asteessa talvella, kun ulkona on pakkasta -20 °C saatua tulosta voi pitää hyvin suuntaa antavana, kun mitoitetaan uutta lämmitysjärjestelmää.

4.2.3 Navetan lämpöhäviöt

Navetta on 1950-luvulla rakennettu kolmessa kerroksessa oleva betonista ja tiilistä muuraamalla tehty rakennus. Navetasta ei ole olemassa mitään pohjapiirustuksia, kuten ei muistakaan tilan rakennuksista, joten lämpöhäviölaskelmat on tehty käytännön mittausten ja rakenteiden arvioiden pohjalta.

Navetan ulkoseinät rakennuksen 2.-3. kerroksissa ovat puolentoista tiilin muurauksella tehdyt täystiiliseinät. Rakennusmääräyskokoelman C4 määritettyjen eri materiaalien lämmönjohtavuusarvioiden mukaan ulkoseinän U-arvoksi tulee 1,5 W/m²K. Ensimmä-

mäisen kerroksen ulkoseinän rakenne ovat seuraavat ulkoa sisäänpäin lueteltuna: betonia 200 mm, ilmaväli 100 mm ja tiilimuuraus 120 mm. Kyseisen rakenteen U-arvoksi saadaan rakennusmääräyskokoelman C4 mukaan $0,77 \text{ W/m}^2\text{K}$. Molempien ulkoseinärakenteiden lämpöhäviöarvo verrattuna nykyisiin rakennusmääräyskokoelman D3 antamiin rakenteiden U-arvoihin ovat melko suuret. Taulukossa 3 on esitetty navetan muiden rakennusosien U-arvot. Lämpöhäviölaskelmat on esitetty liitteessä 2.

TAULUKKO 3. Navetan rakennusosien U-arvot

Navetta U-arvot	W/m ² K
ulkoseinä 3. krs	1,5
ulkoseinä 2. krs	1,5
ulkoseinä 1. krs	0,77
yläpohja	0,4
alapohja	0,53
ikkunat asunnot	2,1
ikkunat uudet	1
ovet uudet	1

TAULUKKO 4. Navetan lämpöhäviöt

Rakennus	Φ läm.häviöt W	Φ vuotoilma W	Yht. W
navetta	53538	7995	61533

Vaikka täystiilimuurauksella tehdyn ulkoseinän laskennallinen lämmöneristävyys on huono, parantaa ulkoseinän massan varauskyky sen energiatehokkuutta kuitenkin käytännössä. Massiivirakenteisten ulkoseinien rakenne toimii hyvänä lämmönvaraajana ja se tasaa sisätilojen lämpöoloja, vaikka ulkolämpötila vaihtelisikin. (Karilainen 4/2006, 27.)

Lämpöhäviöt on laskettu asuntojen osalta $+21 \text{ }^\circ\text{C}$ sisälämpötiloilla. Varasto- ja verstastilojen kohdalla on käytetty $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ sisälämpötilaa. Navetan asuntojen osalta ikkunat on vaihdettu 1990-luvulla. Ikkunoiden U-arvoksi on vaihtoajankohdan mukaan arvioitu $2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Verstastilojen ikkunat ja ovet ovat vielä rakennuksen alkuperäiset. Niiden U-arvoina laskuissa on käytetty rakennusmääräyskokoelman D3 määrittämiä U-arvoja. Kyseisten tilojen ikkunat ja ovet tullaan vaihtamaan uusiin tulevaisuudessa navetan lämpöhäviöiden pienentämiseksi, kun tilojen käyttöä tehostetaan.

Navetan nykyisen öljykattilan teho on 35 kW, joka riittää kovilla pakkasilla lämmitämään tällä hetkellä käytössä olevat tilat, ilman 25 kW tehoisen halkokattilan tukea. Laskuissa navetan lämpöhäviöiksi tuli yhteensä 58 kW, joka on laskettu koko rakennuksen osuudelle. Osa navetan tiloista on tällä hetkellä joutokäytössä varastona, tai kokonaan tyhjillään lämmitettävättöminä. Näille tiloille laskelmissa on käytetty +15 °C sisälämpötilaa, josta johtuu lämpöhäviölaskelmissa saadun tuloksen kasvanut ero nykyiseen tilanteeseen. Joutokäytössä oleville tiloille on laskettu lämpöhäviöt sen takia, jos niitä halutaan tulevaisuudessa muuttaa lämmitetyksi tilaksi.

4.2.4 Konehallin lämpöhäviöt

Konehalli on yhdessä kerroksessa oleva hallirakennus, joka on tilan työkoneiden huoltoa ja säilytystä varten. Konehallista on tällä hetkellä noin 150 m² puolilämpöistä hallitilaa. Sisälämpö on lämmityskaudella +7 - 15 °C riippuen käyttötilanteesta. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 antaa ohjearvon korjaamotilojen sisälämpötilaksi +17 °C astetta. Tässä työssä lämpöhäviöt konehallille on määritetty käyttäen +15 °C sisälämpötilaa, joka on käytännössä todettu riittävän kyseisissä tiloissa. Lämpöhäviöt on laskettu nykyiselle lämmitetylle osalle ja konesuojan osalle, joka voidaan myös tarvittaessa muuttaa lämmitetyksi tilaksi.

Taulukossa 5 on esitetty konehallille määritetyt seinärakenteiden U-arvot W/m²K, jotka ovat määritetty arvioimalla nykyiset seinärakenteet tai rakennusajankohdan mukaan. (Energiatodistusopas 2016.)

TAULUKKO 5. Konehallin U-arvot

Konehalli U-arvot	W/m ² K
ulkoseinä	0,32
ulkoseinä konesuoja	0,17
yläpohja	0,39
alapohja nykyinen	0,47
alapohja konesuoja	0,16
ovi	2
ikkuna 2 lasinen	2,1
ikkuna uusi	1
nosto-ovet 2 kpl uusia	1

TAULUKKO 6. Konehallin lämpöhäviöt

Rakennus	ϕ läm.häviöt W	ϕ vuotoilma W	Yht. W
konehalli	15910	2940	18850

Konehallin nykyisten ulkoseinien rakenne on ulkoa sisäänpäin lueteltuna: ulkoverhous, ilmarako, tuulensuojalevy, villa 150 mm, lastulevy. Ulkoseinän U-arvoksi laskuissa saatiin $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ rakennusmääräyskokoelman C4:ssä määritettyjen rakennusmateriaalien lämmönjohtavuusarvoja käyttäen. Yläpohjan rakenne on vastaavasti sisältä ulospäin lueteltuna: Lastulevy, laudoitus, ilmarako ja villa 200 mm, jolloin yläpohjan U-arvioksi tuli laskuissa $0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lämpöhäviölaskelmat on esitetty liitteessä 2. Jos konesuojaosa päätetään jossain vaiheessa muuttaa lämmitetyksi tilaksi, on uusille rakenteille käytetty lämpöhäviölaskelmissa U-arvoja, jotka on määritetty nykyisessä rakennusmääräyskokoelmassa D3.

Konehallin lämpöhäviöksi tuli nykyiselle lämmitettävälle osalle noin 10 kW ja konesuojaosalle noin 9 kW, jolloin lämmitystehontarpeeksi tulee yhteensä noin 19 kW. Nykyisen konesuojan osalle tuli pienemmät lämpöhäviöt johtuen siitä, että osa rakenteista tulisi olemaan uusia laajennusvaiheessa, kuten esimerkiksi ikkunat ja ovet, jolloin niille voidaan käyttää rakennusmääräyskokoelman D3 antamia U-arvoja. Konesuojaosan yksi seinäosuus olisi kokonaan uutta rakennetta, kun nykyiset peltiset liukuovet korvattaisiin uudella seinärakenteella ja uusilla nosto-ovilla.

Konehallissa ei ole vesikiertoista lämmitysjärjestelmää nykyisessä tilanteessa, jolloin lämpökanaalien vedon lisäksi konehallin kohdalla tulee lisäkustannuksia myös vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän toteuttamisesta. Hallin sisäkorkeus on noin 4,7 metriä. Nykyiset seinillä olevat sähköpatterit eivät ole toimivin lämmitystapa kyseiseen tilaan, jos työskentelyvyöhykkeellä halutaan saada sisälämpötila pidettyä $+15$ asteessa. Sähköpattereiden lämmönluovutus perustuu osittain konvektioon säteilyn lisäksi. Lämmin ilma virtaa korkeassa tilassa katonrajaan, jolloin oleskeluvyöhykkeellä lattianrajassa on edelleen viileä.

Konehallin uusi lämmitysjärjestelmä toteutetaan nykyiseen lämmitettyyn huoltoosaan, joko vesikiertoisilla kattosäteilijöillä tai kiertoilmakojeilla, jotka puhaltavat lämpimän ilman katonrajasta takaisin alas oleskeluvyöhykkeelle. Vesikiertoisilla kat-

tosäteilijöillä toteutettuna lämmitysjärjestelmässä voi käyttää matalampia lämpötiloja, jolloin pienennetään navetan ja konehallin välisen uuden lämpökanaalin lämpöhäviöitä. Tässä työssä konehallin huolto-osan vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän investointikustannukset on laskettu kiertoilmakojeilla.

Nykyinen konesuojaosa on tällä hetkellä sorapohjalla, ja jos se päätetään rakentaa jossain vaiheessa lämpimäksi tilaksi, kannattaa rakennusvaiheessa lattiavalun yhteydessä asentaa lattialämmitysputket ja eristys.

4.3 Tilalle suunniteltu uusi lämmitysjärjestelmä

Tilakeskuksen uusi biolämpökeskuksen hakekattilan teho mitoitetaan ensisijaisesti rakennusten yhteenlasketun lämmitystehon tarpeen mukaan. Järjestelmään lisättävien energiavaraajien avulla pyritään lisäämään hakekattilan osuutta viljankuivauksessa syksyisin. Tehoerojen ollessa suuria tilan rakennusten lämmitystehontarpeiden ja nykyisen viljakuivaamon välillä ei hakelämmityskattilasta ole mahdollista kuin ottaa lisälämpöä viljankuivaukseen vesikiertoisen lämmityspatterin avulla. Hakelämmityskattilaa ei ole kannattavaa mitoittaa kuivurin tehontarpeiden mukaan, koska kuivurin käyttöjakson pituus on vain yksi kuukausi vuodessa.

100 ha viljamäärillä ei kannata vielä investoida erillistä biouunia kuivurille, joka seisoi käyttämättömänä 11 kuukautta vuodessa. Jos kuivurilla aletaan tekemään rahti-kuivausta, jolloin kuivattavan viljan määrä kuivauskaudella kasvaa, tai biouunille löytyisi muuta käyttöä kuivauskauden ulkopuolella, on tilanne silloin toinen. (Ojanen 2015, 31.)

4.3.1 Uuden biolämpökeskuksen sijainti

Uusi lämpökeskus on tarkoitus rakentaa nykyisen navettarakennuksen ensimmäisen kerroksen tyhjillään oleviin tiloihin. Liitteessä 4 esitetyssä asemakuvapiirroksessa on havainnollistettu uuden lämpökeskuksen sijainti tilakeskuksella. Sijoittamalla lämpökeskus nykyiseen navettarakennukseen pystytään hyödyntämään tilalla jo olemassa olevia tiloja, jotka tällä hetkellä ovat joutokäytössä. Navettarakennus on myös keskeisellä paikalla tilakeskuksen muihin rakennuksiin nähden, jolloin saadaan minimoitua lämpökanaalien pituudet eri rakennusten välillä, ja niistä aiheutuvat lämpöhäviöt sekä

putkistojen asennuskustannukset. Navetasta löytyvien tilojen käyttöä puoltaa myös rakennuksen kyljessä oleva tiilistä muurattu vanha rehusiilo. Siiloa voidaan hyödyntää polttoainevarastona rakentamalla sen pohjalle hakekattilan edellyttämät hakkeen purkain- ja siirtoruuvijärjestelmät. Siilon halkaisija on noin viisi metriä ja korkeus on myös noin viisi metriä, jolloin sen tilavuudeksi tulee noin 100 m³. Hakevaraston ollessa näin suuri saadaan vähennettyä polttoaineen täyttöihin menevän ajan osuutta, kun varastoon voidaan ajaa kerralla suurempi määrä polttoainetta.

Navettarakennuksen ensimmäisen kerroksen väliseinät on tehty alun perin 25 - 40 cm paksuisiksi betonista valamalla. Massiivisten seinärakenteiden ansiosta uuden lämpökeskuksen rakentaminen omaksi palo-osastoksi navetan muista tiloista ei ole ongelma. Nykyisen rehusiilon ja kattilahuoneen välisenä on muurattu tiilistä ja betonista, joka täyttää EI60-luokan vaatimuksen. Lämpökeskuksen paloturvallisuutta on käsitelty tarkemmin kohdassa 3.3.

Uuden lämmityskeskuksen sijoittaminen navettaan nykyisen rehusiilon läheisyyteen edellyttää kuitenkin uuden savupiipun rakentamista. Markkinoilla on tänä päivänä monta eri valmispiipputoimittajaa, jolloin tämä ei muodostu ongelmaksi. Myös muutamassa hakelämpöjärjestelmien toimittajalta saadussa tarjouksessa oli liitetty teräksinen valmispiipun tarjous mukaan. Navettarakennuksen ollessa kolmikerroksinen ja kerroskorkeus on keskimäärin 2,5 m tulee savupiipun olla ainakin 9 metriä korkea, jotta piipun yläpää on navetan katon harjakorkeuden yläpuolella.

Uudesta lämpökeskuksesta saadaan lämpö kytkettyä suoraan navettarakennuksen nykyiseen patteriverkostoon. Tilan muihin rakennuksiin ja kuivurille lämmönjako tehdään lämpökanaaleilla.

4.3.2 Rakennusten välinen lämmönsiirto

Uudella biolämpökeskuksella tuotettu lämpö jaetaan tilakeskuksen rakennuksille lämpökanaaleilla. Liitteessä 4 esitetystä asemakuva piirroksessa on havainnollistettu tilakeskuksen rakennusten välinen lämmönsiirto.

Navetassa olevan uuden lämpökeskuksen ja kuivurin välinen osuus tehdään eristettyä teräsputkea käyttäen, koska kuivurin menoveden tulee olla kuivauksessa yli 80 °C,

joka on yleensä liian korkea lämpötila muoviselle aluelämpöputkelle. Muuten pihan lämpökanaalit voidaan rakentaa muovisella PEX-aluelämpöputkella sen yksinkertaisemman asennettavuuden ja halvemman hinnan vuoksi. Näillä osuuksilla menoveden lämpötilan tarvitsee olla maksimissaan 80 °C asteista. Taulukossa 7 on esitetty tilakeskuksen aluelämpöjohtojen matkat, siirrettävät tehot ja eri lämpöjohtojen osuuksilla käytettävät lämpötilat.

Päätaloon rakennetaan lämpökanaali kuivurin uunihuoneen kautta, jolloin pienennetään lämpökanaalin kokonaismäärää tilakeskuksen pihalla, sekä kanaalista tulevia lämpöhäviötä lämmityskaudella kuin rakentamalla omat erilliset lämpökanaalit molemmille rakennuksille.

TAULUKKO 7. Tilakeskuksen aluelämpöjohtojen matkat ja siirrettävät tehot

Rakennus	Materiaali	Matka m	Siirrettävä teho kW	Lämpötilat °C	Koko DN
Päätalo	Pex	100	20	80/60	32
Konehalli	Pex	20	19	60/40	32
kuivuri	teräs	50	400	90/60	80

Aluelämpöputkista pyydettiin tarjous kahdelta eri valmistajalta. Pex-lämpöjohtojen valmistaja on kotimainen Rauheat ja vastaavasti teräksisten lämpöjohtojen valmistaja Casaflex. Lämpökanaaleiden lämpöhäviöt ja mitoitukset on laskettu valmistajien antamien ohjeiden ja mitoitustaulukoiden mukaisesti. Lämpökanaaleiden tarkemmat lämpöhäviölaskelmat on esitetty liitteessä 3. Valmistajien mitoitustaulukot ovat liitteessä 6.

Päätalolle menevässä osuudessa käytetään korkeampaa menoveden lämpötilaa maksimissaan +80 °C, koska talon yksilevyiset lämmityspatterit on mitoitettu aikoinaan korkeammilla lämpötiloilla, jolloin menoveden lämpötilan tarvitsee olla noin +70 °C kovemmillä pakkasilla, jotta sisälämpö pysyy halutussa 20 asteessa. Käyttövesi on tarkoitus tehdä edelleen päätalon nykyisessä lämminvesivaraajan lämminvesikieruksessa, jonka vuoksi lämpökeskukselta lähtevän menoveden lämpötilan tarvitsee olla korkeampi.

Konehallissa lämmin käyttövesi nykyisessä tilanteessa tuotetaan erillisessä lämminvesivaraajassa sähköllä. Myös jatkossa lämminkäyttövesi on tarkoitus tuottaa sähkövaraajassa, jolloin voidaan käyttää matalampia lämpötiloja navetan ja konehallin välises-

sä lämpökanaalissa. Konehallissa lämpimän käyttöveden tarve on niin vähäistä, että se on edullisempaa tehdä sähköllä paikallisesti kuin nostaa lämpökanaalin lämpötiloja, jotka vain lisäävät lämpökanaalin lämpöhäviöitä lämmityskaudella.

4.3.3 Viljakuivurin vaatimukset ja kuivausilman lämmityspatteri

Tilan viljankuivaamo tarvitsee syksyllä kuivauskaudella kuukauden ajan noin 400 kW lämmitystehoa. Vastaavasti rakennusten tarvitsema lämmitystehontarve lämmityskaudella on vain 100 kW, ei hakekattilaa kannata mitoittaa kuivurin tehontarpeen mukaan. Taulukossa 8 on esitetty kuivuriuunien ilmamäärät, lämpötilannousut, kuivaus-teho ja tämän hetkiset öljypolttimien suutinkoot.

TAULUKKO 8. Kuivurin nykyisten uunien tehot. (Arvot koetusselostus 849, 1973.)

	Ilmamäärä m ³ /h	Teho n. kW	Lämpötilannousu °C	Polttimen suutin gal/h
Yläuuni	14300	170	37	4,5
Alauuni	19100	250	39	6,5

Hakelämmityskattilasta pystyy ottamaan lisälämpöä imuilman esilämmityspattereiden avulla syksyllä tapahtuvaan viljankuivaukseen. Laitetoimittajilla on kuivuriin asennettavia vesikiertoisia lämmönsiirtimiä kuivuriuunien puhaltimien imupuolelle, jolloin niiden avulla saadaan imuilmaa esilämmitettyä hakkeella tuotetulla halvemmallalla energialla. Esilämmityspatterin jälkeen kuivausilma nostetaan haluttuun loppulämpötilaan kuivuriuuneissa öljyllä. Jos hakelämmityslaitteisto olisi mahdollista mitoittaa kuivurin tehontarpeen mukaan, voisi nykyiset öljykäyttöiset kuivuriuunit korvata kokonaan vastaavan tehoisilla vesikiertoisilla kuivausilman lämmityspattereilla.



KUVA 10. Kuivuriuunin imuaukon eteen asennettu esilämmitin. (Karelia 2013, 18)

Kuivurille asennettava esilämmityspatteri on kupari-alumiinilamelli -lämmönsiirrin, jolla veden lämpö siirretään kuivausilmaan. Osa laitetoimittajista käyttää kuivurille asennettavasta esilämmityspatterista myös sanaa radiaattori. Lämmityspatteri asennetaan aina kuivuriuunin imuaukon etupuolelle varsinkin, jos sillä aiotaan vain esilämmittää kuivausilmaa. Mitä suurempi veden ja ilman lämpötilaero, sitä pienempi lämmityspatteri tarvitaan. Lämmityspatterin asennuksessa tulee huomioida, ettei se saa aiheuttaa liian suurta painehäviötä kuivuripuhaltimelle. (Karelia 2013, 17.)

Kuivurin lämmityspatterin asennuksessa tulee myös huomioida mahdollinen jäätyminen kuivauskauden ulkopuolella talviaikaan. Tämä voidaan toteuttaa levylämmönsiirrimellä ja erillisellä glykolipiirillä kuivurin uunihuoneessa, jolloin kuivurin kuivausilman lämmityspatterissa kiertää vesiglykoliseos, joka estää patterin jäätyksen talvella. Tutkittavassa kohteessa voidaan harkita kuivurin uunihuoneen eristyksen parantamista ja pitämällä uunihuoneessa peruslämpö $+ 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ asteessa talvikaudella. Päätalolle menevä lämpökanaali tulee kulkemaan kuivurin uunihuoneen kautta, jolloin lämmityspatterissa on mahdollista pitää pientä vesivirtaa jäätyminenestoautomaatiikkaa hyödyntäen estämään lämmityspatterin jäätyminen talvikaudella.

4.3.4 Viljankuivauksen polttoainekulutus

Tilalla on yhteensä viljeltyä peltopinta-alaa noin 100 ha. Tilan pellot ovat olleet vuokralla toisella viljelijällä, ja tästä johtuen tilan viljakuivurin käyttö on ollut vähäistä viime vuosina. Kuivattavien viljaerien ollessa pieniä ei esimerkiksi kuivurin jatkuva-käyttömahdollisuutta ole kokeiltu. Pienien kuivauserien vuoksi kuivausilman lämpötilaa on pidetty alhaisena 60 asteessa. Puhalluslämpöä ei ole lähdetty nostamaan myöskään sen takia, että kuivuri on kokonaan eristämätön. Puhalluslämpötilan nosto kasvattaisi suotta kuivurin lämpöhäviöitä ulospäin.

Viljakuivuri on ollut käytössä 2000-luvun alusta lähtien, ja tilalla on merkitty ylös kuivurin polttoainekulutukset jokaiselta kuivauskaudelta. Vuoden 2009 yksittäisen kuivauserän kulutusten pohjalta on laskettu kuivurin polttoaineen kulutukset ja kuivausteho. Laskut on esitetty liitteessä 1. Nykyisten kulutuslukemien perusteella on laskettu myös uuden hakelämmitysjärjestelmän hyöty viljankuivauksessa.

Viljankuivurin energiankulutusta on hankala arvioida teoriatasolla, sillä muuttuvia arvoja ja häviöitä kuivauskauden aikana on paljon, kuten säänvaihtelut ja viljan puinitosteus.

4.3.5 Lämmitysjärjestelmän mitoitus

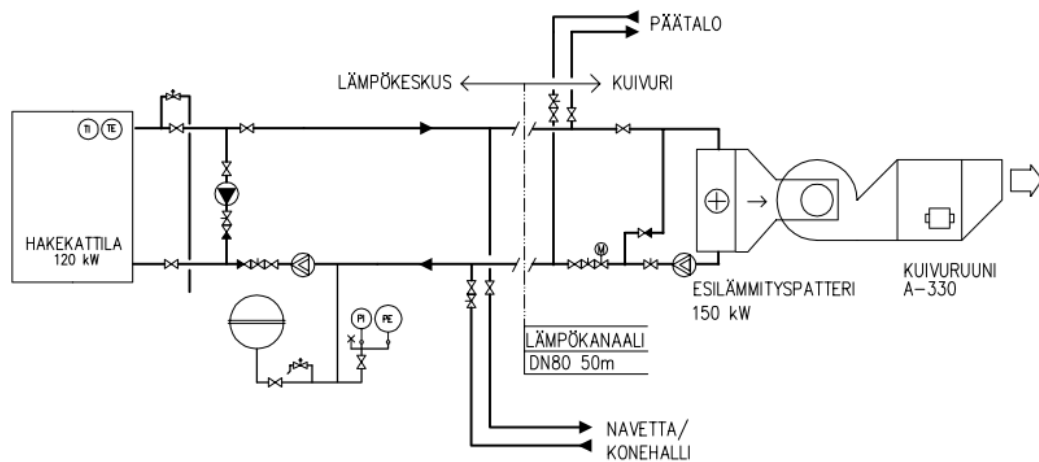
Tilan rakennusten lämmitystehontarpeet ja lämpökanaalinen lämpöhäviöt ovat yhteensä noin 100 kW. Tämän kokoluokan hakelämmitysjärjestelmissä on suositeltavaa varata hieman pelivaraa hakekattilan tehomitoitukseen eli kattilan nimellisteho valitaan 20 % suuremmaksi kuin yhteenlaskettu lämmitystehontarve. Tällaisella ylimitoituksella varaudutaan huonosta hakkeesta ja vääristä säädöistä johtuvaan tehohäviöön. (Alanen 2001, 24.)

Tarkasteltavassa kohteessa, kun uutta hakelämmitysjärjestelmää on tarkoitus hyödyntää myös viljankuivauksessa, on laitteiston mitoitus suunniteltu toteutettavan 150 kW tehoisella hakekattilalla, jolloin siitä on mahdollista saada enemmän hyötyä syksyisin tapahtuvaan viljankuivaukseen. Tällainen ylimitoitus on perusteltua varsinkin silloin, kun laitteiston käyttöä osateholla vähennetään. Esimerkiksi kesällä tarvittava lämmin käyttövesi tehdään muulla tapaa kuin hakkeella, kuten auringolla tai sähköllä. Myös

toteuttaessa järjestelmä varaajalla, ei hakekattilan ylityöaistamisesta ole haittaa. Kattilan toimintaa voidaan ohjata varaajan ylä- ja alalämmön mukaan, jolloin osateholla käynti jää kokonaan pois, varsinkin jos laitteisto on varustettu automaattisyytysjärjestelmällä.

4.4 Eri lämmitysjärjestelmävaihtoehdot

Tässä kappaleessa on esitelty kolme erilaista lämmitysjärjestelmän laitteistokokonaisuutta, joilla on mahdollista lämmittää tilakeskuksen rakennukset ja saada tuotettua hakekattilalla vähintään lisälämpöä viljankuivaukseen.

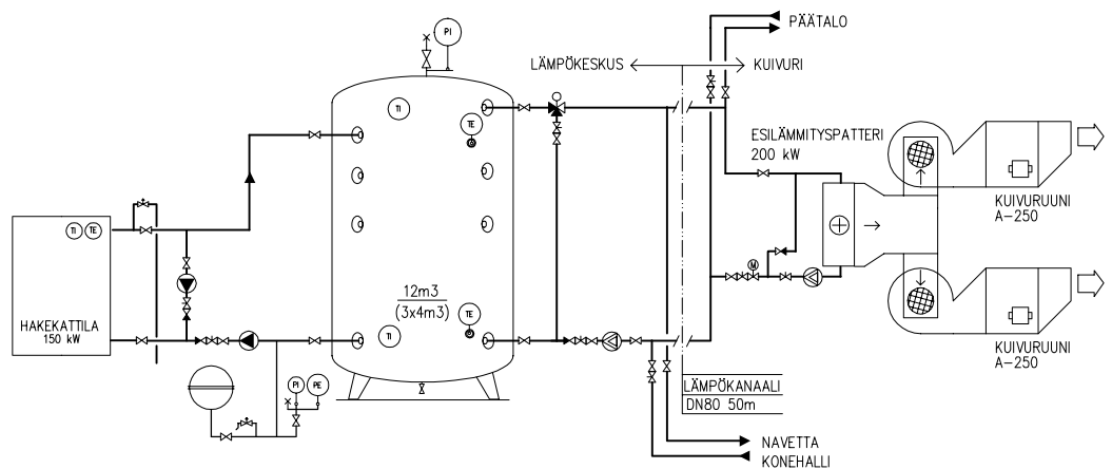


KUVA 11. Hakekattila 120 kW + esilämmityspatteri + kuivuriuuni 330 kW

Kuvassa 11 on esitetty järjestelmän kytkentäperiaate navetan lämpökeskuksen ja kuivurin välille. Uuden hakelämmitysjärjestelmän teho mitoitettaisiin ensisijaisesti tilan rakennusten lämmöntarpeen mukaan, jolloin hakekattilan tehoksi valittaisiin 100 kW + 20 % ylityöaistusta eli yhteensä 120 kW. Järjestelmä toteutettaisiin ilman varaajaa. Kuivurille vaihdettaisiin nykyisten Teijo-kuivuriuunien tilalle yksi uusi Antti 330 -kuivuriuuni ja öljypoltin, jonka teho olisi noin 300 kW. Uuden ilmauunin imuaukon kohdalle asennettaisiin 150 kW -tehoisen radiaattori kuivausilman esilämmittämiseksi. Laitteiston kokonaistehoksi viljankuivauksessa tarvittaisiin 400 kW, joka olisi kuivurilla sama kuin nykyisessä tilanteessa.

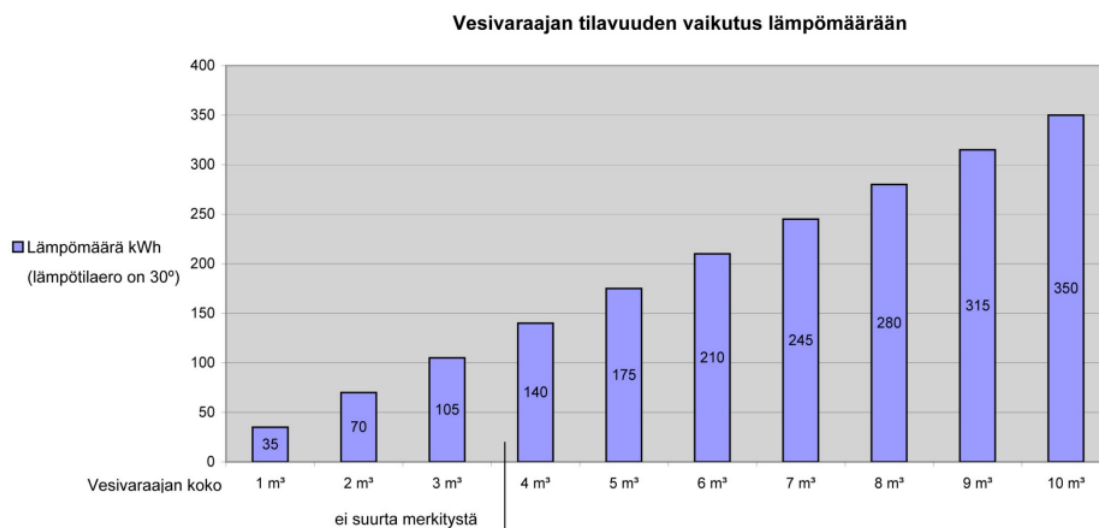
Tämä järjestelmäkokoanpano olisi vaihtoehtoista edullisin investointikustannuksiltaan ja toiminnaltaan yksinkertainen. Hakekattilasta saadaan tehoa tilan rakennusten lämmittämiseen ja viljankuivaukseen nimellistehon verran eli 120 kW. Kuivurin kui-

vausteho kuitenkin pienenisi, johtuen yhden uunin pienemmistä ilmamääristä, jolloin myös yhden erän kuivausajat pitenisivät. Ilman varaajaa toteutettuna on ratkaistava myös hakekattilan ohjaustapa. Kun viljankuivauksessa siirrytään jäähdytysvaiheeseen ja kuivurin puhalluslämpötila ajetaan alas, on hakekattila jäähdytettävä ennen tätä. Tällöin ei hakekattilasta saada hyötyä kuivauserien välissä, kun lämpöä ei voida varastoida. Hakekattilan lämpötila täytyisi ajaa alas jo ennen kuivausvaiheen päättymistä, ettei hakekattila pääse ylikuumentumaan. Toinen vaihtoehto on pidentää viljanjäähdytys aikaa, jolloin ensin jäähdytetään hakekattila kuivuripuhaltimella ja vasta sen jälkeen kuivattava vilja.



KUVA 12. Hakekattila 150 kW + varaajat + lämmityspatteri + uudet kuivuriuunit

Kuvassa 12 on esitetty järjestelmä, jossa hakekattila mitoitetaan tilakeskuksen rakennusten lämmöntarpeen mukaan ja ylimitoitetaan viljankuivausta silmälläpitäen, jolloin hakekattilan lämmitystehoksi valitaan 150 kW. Järjestelmään liitetään kolme 4 m³ energiavaraajaa, joiden tilavuus on yhteensä 12 m³. Varaajia ladataan hakekattilalla 95 °C asteeseen aina ennen kuivausvaihetta, jolloin lämpöenergiaa on varastossa ennen viljaerän kuivauksen alkua. Kuivurille uusitaan sekä ylä- että alauuni Antti A-250 -sarjan ylipaineuuneiksi ja öljypolttimet vaihdetaan uusiin tuplasuutinpolttimiin. Uunien imuaukon eteen asennetaan 200 kW -tehoisen lämmityspatteri, jolla esilämmitetään kuivausilmaa ennen öljypolttimia.

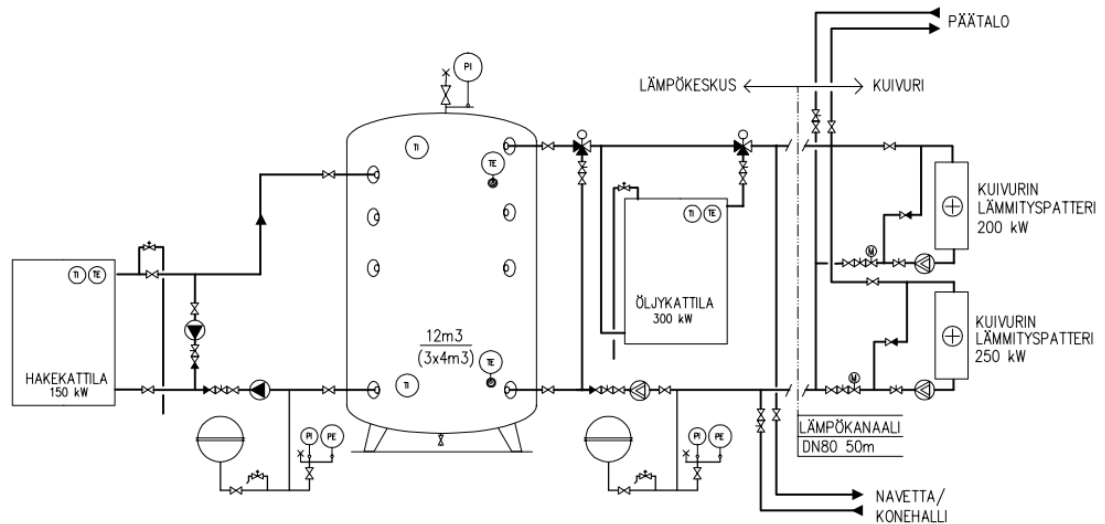


KUVA 13. Varaajan tehosisältö (Kuivurikoulutus 2013, 5)

Kuvassa 13 on esitetty varaajien tehosisältö eri tilavuuksilla 30 °C lämpötilaerolla. 12 m³ varaajatilavuudella ja 35 °C lämpötilaerolla varaajaan saisi ladattua noin 480 kWh energiaa, joka olisi käytettävissä aina kuivausvaiheen alussa. Järjestelmän rakentaminen varaajalla mahdollistaisi myös hakekattilan käytön täydellä teholla koko kuivauskauden ajan. Kun hakkeella tuotettava lämpömäärä ajetaan varaajaan aina jäähtytyksen ja eränvaihdon aikana, ei hakekattilan lämpötilaa tarvitse ajaa alas missään vaiheessa, jolloin edullisemmän polttoaineen kattilasta saadaan hyöty myös kuivauserien välissä.

Varaajien lataukseen kuluu aikaa teoriassa 150 kW tehoisella kattilalla noin 3 h. Viljaerän kuivauksessa jäähtytysvaihe kestää noin tunnin, ja 300 hl kuivaussiilon eränvaihto kestää noin 1,5 tuntia, eli kuivauserien välissä hakekattilalla on ainakin noin 2,5 tuntia aikaa ladata varaajia. Tarkemmat laskut on esitetty liitteessä 1.

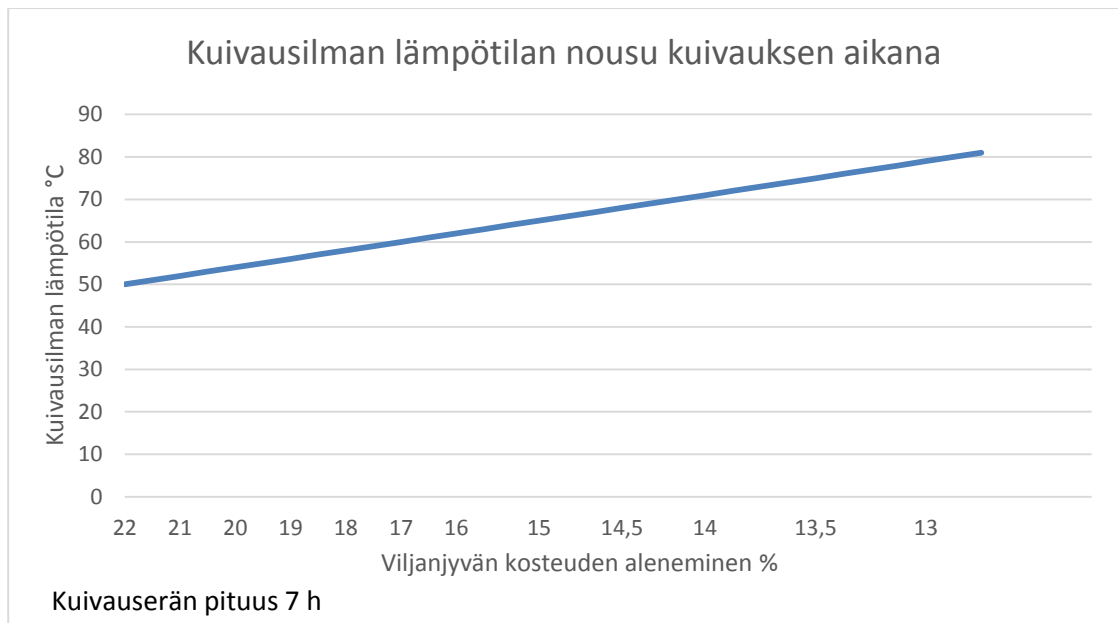
Suuremman varaajatilavuuden käyttöä eräkuivauksessa puoltaa juurikin kuivausprosessin jaksottainen käynti lämmöntuotantoa ajatellen. Jatkuvakäyttöisessä ja kaksoiskoneistokuivurissa varaajan suuren tilavuuden hyöty on pienempi, kun kuivausprosessi on koko ajan käynnissä ja lämmöntarve on jatkuva. Teoriassa tällaisella järjestelmällä viljankuivauksen öljynkulutusta saisi vähennettyä noin 45 %. Laskelmat on esitetty liitteessä 1. Samalla kuivurin öljyuunien yhteisteho pysyy entisellään ja kuivausajat samoina, kun ilmamäärät ovat vastaavat kuin nykyisessä tilanteessa.



KUVA 14. Hakekattila 150 kW + varaajat + lämmityspatterit + kiinteistö-öljykattila

Kuvassa 14 on esitetty uuden lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio, joka on lähes vastaava kuin edellinen, mutta tässä järjestelmäkoonpanossa öljykäyttöiset kuivuriuunit korvataan 300 kW tehoisella kiinteistö-öljykattilalla, jolloin kaikki lämpö tuotetaan uudessa lämpökeskuksessa. Kuivurilta voidaan poistaa öljykäyttöiset kuivausunit, ja tilalle asennetaan nykyisten kuivausilmanpuhaltimien eteen pelkästään vesikiertoiset lämmityspatterit, joilla kuivausilmaa lämmitetään. Hakekattilalla ladataan varaajaa ennen kuivausta ja kuivauksen aikana ja öljykattilassa menoveden lämpötila vielä korotetaan tarvittavaan lämpötilaan.

Järjestelmässä voidaan hyödyntää kuivurin nykyisiä puhaltimia, jolloin ilmamäärät pysyvät samoina kuin nykyisessä tilanteessa. Järjestelmän suurin etu on kuivurin puhallusilman lämpötilan säädettävyyden pysyessä vakiona, kun kuivausilman lämpötilaa voidaan ohjata menoveden lämpötilan mukaan. Viljan kuivauksessa kuitenkin olosuhteet muuttuvat kuivauksen edetessä, kuten kappaleessa 2.3.2 on käsitelty. Hakekattilan osuutta kuivauksen energiankulutuksessa pystyisi kasvattamaan, jos kuivauksen alussa kuivurin puhalluslämpö puidun viljan kosteuden mukaan säädettäisiin esimerkiksi +50 °C asteeseen ja kuivauksen loppua kohden lämpötilaa vähitellen nostettaisiin, jolloin kuivauksen lopussa kuivausilman lämpötila olisi +80 °C, kun energian tarve on suurin veden erottamiseksi viljanjyvistä. Kuvassa 15 on havainnollistettu menoveden lämpötilan nostoa kuivauksen loppua kohden.



KUVA 15. Kuivausilman ilman lämpötilan nostaminen kuivauksen edetessä (havainnekuva)

Järjestelmän ohjausautomaatiikka toteutettaisiin siten, että kuivauksessa ensisijaisesti käytettäisiin hakekattilalla tuotettua edullisempaa lämpöenergiaa ja öljykattilalla nostettaisiin menoveden lämpötilaa tarpeen mukaan. Käytännössä kuivauksen loppua kohden öljykattilan osuus kuivauksessa kasvaa, kun varaajiin varastoitu energia väheenee. Hakekattilan ja kiinteistö-öljykattilan yhteisteho on kuitenkin sama kuin kuivurin nykyinen tehontarve eli tarvittava 400 kW. Lisäksi öljykattila toimii varalämmönlähteenä myös kuivauskauden ulkopuolella. Hakelämmitysjärjestelmissä on kuitenkin monta liikkuvaa osaa, kuten hakkeen siirtoruuvit ja syöttimet, jolloin laitteiston ikääntyessä myös vikaantumisen mahdollisuudet kasvavat.

4.5 Investointien kannattavuuslaskelmat

Uusien lämmityslaitteinvestointien takaisinmaksuaikojen laskemisessa oletetaan, että tilakeskuksen navetta ja pääatalo lämmitetään öljyllä kokonaan ja konehalli vastaavasti sähköllä. Viljan kuivauksessa käytetään pelkästään öljyä. Puun osuutta lämmityksessä takaisinmaksuaikojen laskemisessa ei käytetä, koska uudella hakelämpölaitoksella on tarkoitus vähentää työmäärää ja ajan käyttöä, jota pilkkeiden tekemiseen nyt menee.

Vaikka tilalla voidaan olla omavaraisia poltettavan hakkeen suhteen, on investoinnin kannattavuuslaskelmissa käytetty hakkeen hintana tämän päivän energiahakkeen osto-

hintaa, jolla huomioidaan kuluja, joita tulee kun poltettava hake haetaan omasta metsästä.

4.5.1 Nykyiset lämmityskustannukset

Nykyiset lämmityskustannukset on koostettu tilalta löytyvistä muistiinpanoista, joissa on merkitty ylös eri rakennusten lämmitysenergiankulutukset eri vuosilta. Arviot energiankulutuksista eri rakennusten kohdalta on laadittu näiden merkintöjen pohjalta.

Navettarakennuksen lämmitys öljynkulutuksien keskiarvot on laskettu vuosilta 2002 - 2013, jolloin lämmönlähteenä navetassa oli vielä vanha Jämä-merkkinen öljy- ja puu-käyttöinen kaksoiskattila. Tuolloin navetassa on käytetty lämmityskaudella pelkästään öljyä. Kattilan huonomman hyötysuhteen ja säätölaitteiden huonouden vuoksi öljynkulutus on ollut reilumpaa.

Navettarakennuksen lämpöhäviöt on kuitenkin laskettu, niin että lämmitettäviä tiloja olisi enemmän kuin nykyisessä tilanteessa. Investointien kustannuslaskuissa käytetään näiden vuosien öljynkulutuksen keskiarvoa. Taulukossa 9 on esitetty navetan öljynkulutus ja lämmitys öljynhinnan arvonousu 2000-luvulla.

TAULUKKO 9. Navetan lämmitysöljynkulutukset ja lämmityskustannuksien arvonousu vuosilta 2002–2013

Vuosi	Öljykulutus	Hinta €/l	Hinta €
2002	9793	0,336	3290,448
2003	12566	0,3615	4542,609
2004	8574	0,46	3944,04
2005	7176	0,582	4176,432
2006	7067	0,601	4247,267
2007	9528	0,591	5631,048
2008	9136	0,739	6751,504
2009	8908	0,56	4988,48
2010	7599	0,7	5319,3
2011	9875	1,02	10072,5
2012	8111	1,073	8703,103
2013	8749	1,05	9186,45
Keskiarvo	8923,5		

Päätalon lämmityksessä käytetään paljon puuta lämmityskaudella. 1990-luvulla on merkitty ylös muutama vuosi, jolloin öljyä on käytetty lämmityksessä koko lämmityskauden ajan. Öljynkulutus on ollut tuolloin noin 7500 litraa.

Konehallin korjaamotilan lämmityksen sähkönkulutus on arvioitu vuoden 2010 lämmityskauden mukaan. Tilakeskuksella on kaksi sähkömittaria navetassa. Maataloussähkölle on oma sähkömittari ja kotitaloussähkölle on omansa. Konehalli, viljankuivuri, ja osa navetan verstastiloista ovat sähkömittarin takana, joka mittaa maataloussähköä. Talvella 2010 ei ole ollut muuta toimintaa navetan verstastiloissa, jolloin konehallin sähkönkulutus lämmityskaudella on arvioitu vähentämällä siitä navetan ja syksyn viljankuivauksen sähkölukituksen osuus. Konehallin korjaamotilan lämmityksen sähkönkulutus on ollut noin 14000 kWh sisälämpötilan ollessa noin +7 - 10 °C astetta. Viljankuivurin teoreettinen öljynkulutus syksyisin kuivauskaudella on noin 8100 l. Kuivurin energiakulutuslaskelmat on esitetty liitteessä 1.

Taulukossa 10 on esitetty tilakeskuksen eri rakennusten kulutukset yhteensä. Konehallin lämmitetylle osalle on taulukossa arvioitu sähkönkulutukseksi 18000 kWh, jos sisälämpö nostetaan nykyisestä +10 asteesta +15 asteeseen.

TAULUKKO 10. Tilakeskuksen eri rakennusten lämmitysenergian kulutukset

Rakennus	öljy litraa	sähkö kWh
päätalo	7500	
navetta	9000	
konehalli		18000
viljankuivuri	8120	
yht.	24620	18000

4.5.2 Eri lämmityslaitteistokokoonpanojen kustannukset

Uusien lämmityslaitteiden kustannukset on selvitetty pyytämällä tarjoukset eri laitevalmistajilta. Tarjouksia hakelämmityslaitteistoista pyydettiin seitsemältä eri laitetoimittajalta, joista kolme antoivat tarjouksen. Hakelämpö laitetoimittajista kolme oli kotimaista ja loput olivat toimittajia, jotka myivät tuontihakelämmityslaitteita.

Hakelämmityslaitteistojen tarjoukset on pyydetty varusteilla, joita ovat automaatti-, sytytys, nuohous, tuhkanpoistolla sekä hakekattilan ohjausmahdollisuus varaajan läm-

pötilan mukaan. Ulkomaisilla hakekattilavalmistajilla kyseiset varusteet kuuluvat monesti jo vakiona laitteistoon, mutta monella vastaavalla kotimaisella laitetoimittajalla ne ovat lisävarusteita, jotka tulevat erikseen kattilan ja purkainjärjestelmien lisäksi.

Tilakeskuksen uuden lämmityslaitteiston investointikustannukset on laskettu kotimaisen hakelämmitysvalmistajan Ala-talkkarin laitteistolla. Tarjous sisältää Veto 150 - hakekattilan, jousipurkaimen 160 kW, liikkuvalla arinalla varustetun 160 kW palopään sekä kaksiosaisen tuhkaruuvin. Kattila on varustettu logiikkaohjauskeskuksella, jossa on gsm-hälytys ja varaajaohjausmahdollisuus. Lisäksi pakettiin kuuluu automaattisyytys lambdaohjauksella.

Kuivurille asennettavien kuivausilman lämmityspattereiden tarjoukset on pyydetty Koja Oy:ltä. Kuivurin lämmityspatterit on mitoitettu nykyisten kuivuriuunien ilmamäärien mukaan. Pattereiden mitoitus on pyydetty meno- ja paluueden lämpötiloilla 80 ja 60 °C.

Konehallin nykyisen lämmitetyn osan lämmitysjärjestelmä muutetaan nykyisestä sähkölämmityksestä vesikiertoiseksi, lämpimän käyttöveden tuotantoa lukuunottamatta. Konehalliin asennetaan kaksi kiertoilmakonetta, joiden lämmitysteho on yhteensä noin 15 kW. Kiertoilmakoneista on pyydetty tarjous Hedtec Oy:ltä, jonka mukaan konehallin lämmityslaitteiden investointikustannukset on laskettu. Tarjous sisältää kaksi kiertoilmakonetta, joihin kuuluvat säätölaitteet, venttiilit ja seinäkannakkeet. Konehallin kiertoilmakoneiden laiteinvestointi on yhteensä 2150 e alv 0 %. Nykyistä kylmänä olevaa konesuojanosaa ei ole investointikustannuksissa huomioitu.

Uusista kuivuriuuneista on pyydetty tarjous Anttiteollisuudelta, joka valmistaa vielä vastaavanlaisia kuivuriuuneja kuin tilakeskuksen viljankuivurin nykyiset Teijomerkkiset uunit ovat. Kuivuriuuneja on kahta eri kokoluokkaa, A-250 ja A-330.

Taulukoissa 11–13 on esitetty eri investointikustannukset lämmitysjärjestelmille ja niiden toimintakaaviot on esitetty kappaleessa 4.3.5.

TAULUKKO 11. Hakekattila 150 kW + kuivuriuuni 330 kW+ esilämmityspatteri

Laitteistokustannukset	Hinta € alv 0%	hinta € alv 24%
Kuivuriuuni A330	9653	11969,7
Alatalkkari veto 150 kW	27736,22	34392,9
Teräselem.piippu (Ala-talkkari)	2622,8	3252,3
Öljypoltin KP-26H	1935,5	2400
Lämpökanaali PEX DN32 120m	3150	3906
lämmityspatteri 19100 m ³ /h (150 kW)	3020	3744,8
Lämpökanaali teräs DN65 100 m	3900	4836
Yhteensä €	52017,52	64501,7

TAULUKKO 12. Hakekattila 150 kW + varaajat + esilämmityspatteri + uudet kuivuriuunit

Laitteistokustannukset	Hinta € alv 0%	hinta € alv 24%
Kuivuriuunit A250 x 2	17426	21608
Alatalkkari veto 150 kW	27736,22	34392,9
Teräselem.piippu (ala-talkkari)	2622,8	3252,3
Varaaja PV-EV 4 m ³ + LV-kierukka	2780	3448
Varaaja PV-EV 4 m ³ x 2	4590	5691
Lämpökanaali PEX DN32 120m	3150	3906
Öljypolttimet KP-26H x 2	1935,5	4800
Lämmityspatteri 28600 m ³ /h (200 kW)	3500	4340
Lämpökanaali teräs DN65 100 m	3900	4836
Yhteensä €	67640,52	86274,2

TAULUKKO 13. Hakekattila 150 kW + varaajat + lämmityspatterit + kiinteistö- öljykattila

Laitteistokustannukset	Hinta € alv 0%	hinta € alv 24%
Alatalkkari veto 150 kW	27736,22	34392,9
Savupiipu (Onpiippu 2-horm)	3125	3875
Öljykattila Termax	6000	7440
Varaaja PV-EV 4 m ³ + LV-kierukka	2780	3448
Varaaja PV-EV 4 m ³ x 2	4590	5691
Lämpökanaali PEX DN32 120m	3150	3906
Öljypoltin KP-26H 2	1935,5	2400
Lämmityspatteri 14300 m ³ /h (200 kW)	2500	3100
Lämmityspatteri 19100 m ³ /h (250 kW)	3020	3744,8
Lämpökanaali teräs DN80 100m	6080	7540
Yhteensä €	60916,72	75537,7

Tilalla on päädytty rakentamaan lämmityslaitos 150 kW tehoisella hakekattilalla 12 m³ varaajilla, 300 kW tehoisella kiinteistö-öljykattilalla, ja korvaamalla kuivurin nykyiset öljykäyttöiset uunit lämmityspattereilla. Hakekattilalla tuotetaan tarvittava lämpö rakennuksille. Kiinteistö-öljykattilaa käytetään viljankuivauksessa syksyisin, kun tehoa tarvitaan paljon, minkä lisäksi kattilaa voidaan käyttää varalaitoksena, jos hake-
lämpöjärjestelmä jostain syystä vikaantuu. Tässä vaihtoehdossa lämpökeskukseen jää myös mahdollisuus tulevaisuudessa muutoksiin, kuten esimerkiksi korvaamalla öljykattila toisella hakekattilalla.

4.5.3 Uuden lämpökeskuksen rakennuskustannukset

Rakennuskustannuksiin kuuluu uuden lämpökeskuksen rakentaminen navettaan, purkutyöt ja uusien lämmityslaitteiden vaatimat putki- ja sähkötyöt. Purkutyöt sisältävät betoniseiniä lävistykseen uusia palo-ovia ja hakkeen siirtoruuveja varten sekä betonisten väli- ja yläpohjan lävistykset uutta savupiippua varten. Rakennustyöt sisältävät uuden lattian valamisen tilaan, johon kattilat ja varaajat sijoitetaan nykyisen rehusiilon lattiavalun hakkeen purkain- ja siirtojärjestelmiä varten, sekä uuden elementtisavupiipun asennuksen.

Sähkötyöt sisältävät uuden ryhmäkeskuksen asennuksen lämpökeskukseen, hakekattilan sähköistämisen, automaatiotyöt ja tarvikkeet. Putkityöt sisältävät lämmityskattiloiden ja varaajien kytkennät lämpökeskuksessa tarvikkeineen. Lisäksi on vielä lämpökeskuksen ulkopuolella konehallin kahden kiertoilmakoneen kytkennät ja kuivurin uunihuoneeseen asennettavat kuivausilman lämmityspatterit, niiden pumppuryhmät ja pihan uusien lämpökanaalien kytkennät.

Maanrakennustöihin sisältyy tarvittavat konesiirrot, kanaalin kaivuutyöt, lämpöjohtojen asentaminen, tarvittava asennushiekka, maatäytöt tiivistäen ja lopputäytöt sekä maisemointi. Taulukossa 13 on eritelty eri töiden hinnat.

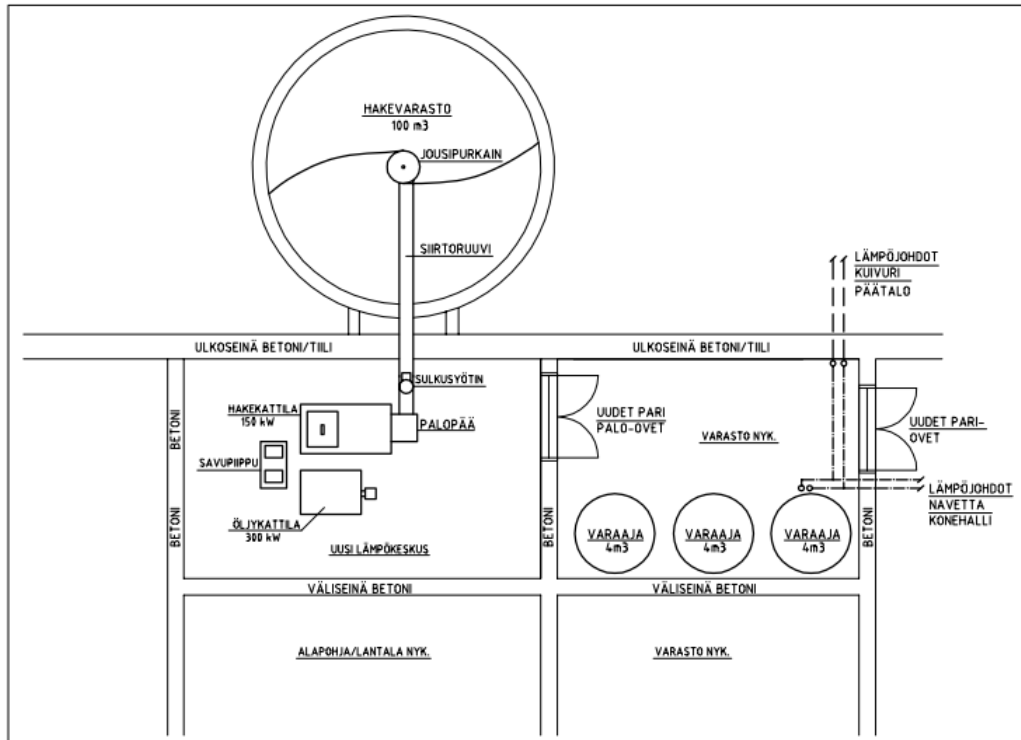
Uuden lämpökeskuksen eri rakennus- ja asennustöiden hinta-arvion on antanut Riku Bitter Granlund Riihimäki Oy. Maanrakennustöistä hinta-arvion on antanut maanrakennusurakoitsija Tmi Jyri Nuutila.

TAULUKKO 14. Tilakeskuksen uuden lämmitysjärjestelmän rakennuskustannuksien arviot

Työ	Hinta € (sis.Alv.24 %)	Huom.
Sähköasennus	4000	sis. tarvikkeet
Putkiasennus	11000	sis. Tarvikkeet (pois luettuna lämpökanaalit)
Rakennustyöt	9000	sis. tarvikkeet
Purkutyöt	3000	
Maanrakennus	4600	

Uuden lämpökeskuksen rakentamiskustannukset yhteensä 27 000 € sis. alv.24 %.

Kuvassa 16 on esitetty luonnoskuva navettaan rakennettavasta lämpökeskuksesta.



KUVA 16. Luonnoskuva navettaan rakennettavasta lämpökeskuksesta

4.5.4 Energiankulutukset ja kustannussäästöt

Kustannuslaskelmissa käytettävien polttoaineiden hinnat on esitelty taulukossa 14. Energiat hinnat ovat tilastokeskuksen vuoden 2015 keskiarvohintoja. Hake on runkopuuhaketta, jonka taulukossa ilmoitettu lämpöarvo on hakkeen ollessa kosteudeltaan 25–30 %.

TAULUKKO 15. Lämmitysenergian hinnat vuoden 2015 keskiarvo (Tilastokeskus 2015.) ja niiden lämpöominaisuudet (Bioenergianeuvoja 2016.)

	Hake	Öljy	Sähkö
Irtotiheys kg/i-m ³	250–320	0,845	
Energia-arvo kWh/i-m ³	835	10000	
Polttoaineen hinta €/kWh, alv 24 %	0,026	0,085	0,145

TAULUKKO 16. Rakennusten nykyiset energiankulutukset

Rakennus	kWh
Pääatalo	75000
navetta	90000
konehalli	18000
Viljankuivuri	81200
Lämpökanaalit	10500

Nykyisten rakennusten lämmityskustannuksien laskennassa oletetaan, että tilakeskukseen rakennukset lämpiävät kokonaan öljyllä tai sähköllä. Taulukossa 17 rakennusten energiakulutukset on laskettu siten, että öljylitralla saadaan tuotettua lämpöenergiaa noin 10 kWh. Konehallia lämmitetään sähköllä nykyisessä tilanteessa. Alla on vuoden 2015 energiahinnoilla laskettuna eri rakennusten lämmityskustannukset yhden lämmityskauden aikana.

$$\text{Konehalli } 18\,000 \text{ kWh} * 0,145 \text{ €/kWh} = 2610 \text{ €}$$

$$\text{Pääatalo } 75\,000 \text{ kWh} * 0,085 \text{ €/kWh} = 6375 \text{ €}$$

$$\text{Navetta } 90\,000 \text{ kWh} * 0,085 \text{ €/kWh} = 7650 \text{ €}$$

$$\text{Viljankuivuri } 81\,200 \text{ kWh} * 0,085 \text{ €/kWh} = 6902 \text{ €}$$

Lämmityskustannukset ovat yhteensä **23 537 €/a**

Rakennusten lämmitys uudella keskitetyllä lämmityskeskuksella, jonka polttoaineena käytetään haketta. Hakekattilan hyötysuhde 0,9.

Rakennusten lämmitysenergian kulutus yhteensä + uudet lämmityskanaalit.

$$183\,000 \text{ kWh} + 10\,500 \text{ kWh} = 193\,500 \text{ kWh}$$

Hakkeen kulutus

$$\frac{193500 \text{ kWh}}{835 \text{ kWh/i-m}^3 * 0,9} = 258 \text{ i-m}^3$$

Lämmityskustannus

$$835 \text{ kWh/i-m}^3 * 0,026 \text{ €/kWh} = 21 \text{ €/i-m}^3$$

$$258 \text{ i-m}^3 * 21 \text{ €/i-m}^3 = \mathbf{5418 \text{ €}}$$

Viljankuivurin osuus

Koko kuivauskauden energiankulutus + lämpökanaali

$$81\,200 \text{ kWh} + 188 \text{ kWh} = 81\,388 \text{ kWh}$$

Hakkeen osuus kuivauksessa 45 %

$$0,45 * 81\,388 \text{ kWh} = 36\,624,6 \text{ kWh}$$

Hakkeen osuus kuivauskustannuksissa

$$\frac{36624,6 \text{ kWh}}{835 \text{ kWh/i-m}^3 * 0,9} \approx 49 \text{ i-m}^3$$

$$49 \text{ i-m}^3 * 21 \text{ € / i-m}^3 = \mathbf{1029 \text{ €}}$$

Öljyn osuus kuivauskustannuksissa

$$81\,388 \text{ kWh} - 36\,624,6 \text{ kWh} = 44\,763,4 \text{ kWh}$$

$$44\,763,4 \text{ kWh} * 0,085 = \mathbf{3805 \text{ €}}$$

Lämmityskustannukset yhteensä **10 252 €/a**

Polttoaineiden kustannussäästö vuodessa **13 285 €/a**

4.5.5 Takaisinmaksuajat

Uuden lämmitysjärjestelmän investoinnin suuruus koostuu lämpökeskuksen laiteinvestoinneista 75 540 €, konehallin lämmityslaitteinvestoinnit 2670 € alv 24 %, ja lämpökeskuksen ja lämpökanaaleiden rakentamiskustannukset 27 000 € alv 24 %. Investoinnin suuruudeksi tulee yhteensä 105 210 € alv 24 %. Uuden lämmityslaitteiston vuosittaiset kustannussäästöt ovat 13 285 € tämän hetken polttoainehinnoilla laskettuna. Lämmityslaitteiston oletettu käyttöikä on 20 vuotta. Laskelmissa käytetty laskentakorkokanta on 5 %.

Takaisinmaksuajan menetelmät

$$\text{Koroton takaisinmaksuaika} = \frac{105210}{13285} \approx \mathbf{7,9 \text{ vuotta}}$$

Korollinen takaisinmaksuaika saadaan alla olevasta yhtälöstä, kun vuosituottojen oletetaan pysyvän yhtä suurina laitteiston käyttöiän ajan:

$$\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n * i} * c = I$$

Yhtälöstä ratkaistaan n jolloin,

$$n = \frac{\ln \frac{1}{1 - iI/c}}{\ln(1 + i)}$$

Sijoittamalla arvot siihen saadaan investoinnin takaisinmaksuajaksi,

$$n = \frac{\ln \frac{1}{1 - 0,05 * 105210 / 13285}}{\ln(1 + 0,05)} \approx \mathbf{10,3 \text{ vuotta}}$$

Tämän hetken lämmitysöljyn hinnalla investoinnin takaisinmaksuajaksi tulee reilu kymmenen vuotta, joka on puolet laitteiston suunnitellusta käyttöiästä. Jos lämmitysöljyn hinnan oletetaan nousevan tulevaisuudessa, jolloin esimerkiksi lämmitysöljyn maksaessa 1,1 €/l on vuosittaiset lämmityskustannussäästöt yhteensä 17 860 €, jolloin laitteiston korollinen takaisinmaksuaika on

$$n = \frac{\ln \frac{1}{1 - 0,05 * 105210 / 17860}}{\ln(1 + 0,05)} \approx \mathbf{7,1 \text{ vuotta}}$$

Vastaavasti lämmitysöljyn litrahinnan ollessa 1,2 €/l lyhenee takaisinmaksuaika $\approx \mathbf{6,5 \text{ vuoteen}}$

Nettonykyarvo

Nettonykyarvo laskettiin yhtälöllä 3. Laskenta on tehty taulukkomenetelmällä Excel-ohjelmaa hyödyntämällä. Laskentakorkokanta määritettiin 5 prosenttiin. Pitoajaksi on määritetty 10 vuotta, jolloin voidaan olettaa vuosittaisten kustannusten olevan 0 laitteiston sähkönkulutusta lukuunottamatta. Tämän ajan jälkeen vuosittaiset kustannukset varmaan lisääntyvät, kun laitteistolle tulee ikää ja huollontarve lisääntyy.

TAULUKKO 17. Nettonykyarvo

Vuosi	Investointi H	Vuosittaiset Kustannukset	Netto-tuotot	Jäännös	Nettotulojen nykyarvo
0	105210	0	13882		-105210
1		0	13882		13220,95
2		0	13882		12591,38
3		0	13882		11991,79
4		0	13882		11420,76
5		0	13882		10876,91
6		0	13882		10358,96
7		0	13882		9865,68
8		0	13882		9395,88
9		0	13882		8948,46
10		0	13882	5000	11591,91
Nettonykyarvo					5052,69

Taulukossa 17 on laskettu investoinnin takaisinmaksuaika nettonykyarvon menetelmällä. Nettotuottojen summaksi tuli 5553 €, joka on suurempi kuin nolla. Tulos on positiivinen joten investointi on ollut kannattava nykyarvomenetelmän mukaan, jos tuottovaatimuksena on 5 %.

Sisäisen korkokannan menetelmä

Sisäisen korkokannan menetelmällä investoinnin kannattavuus lasketaan sen koko käyttöiän ajalle, joka on tässä tapauksessa 20 vuotta, jolloin laitteisto on käytetty loppuun ja sen jäännösarvo on nolla. Sisäinen korkokanta on laskettu yhtälöllä 4 taulukomenetelmällä Exceliä hyödyntäen. Jokaiselle käyttöajan vuodelle on laskettu erikseen diskontattu nettoarvo, jotka on laskettu lopuksi yhteen. Kirjallisuudesta löytyvien taulukoiden avulla haettiin interpoloimalla investoinnin korkokanta, jolla investoinnin nykyarvoksi saatiin lähes nolla tai arvo on > 0 (Neilimo 2005, 365).

TAULUKKO 18. Sisäinen korkomenetelmä

Vuosi	Investointi H	Vuosittaiset kustannukset	Netto-tuotot	Jäännös	Nettoarvo N
0	105210	0			-105210
1		0	13882		12427,93
2		0	13882		11126,17
3		0	13882		9960,76
4		0	13882		8917,42
5		0	13882		7983,37
6		0	13882		7147,15
7		0	13882		6398,52
8		0	13882		5728,31
9		0	13882		5128,30
10		0	13882		4591,14
11		0	13882		4110,24
12		0	13882		3679,71
13		0	13882		3294,28
14		0	13882		2949,22
15		0	13882		2640,31
16		0	13882		2363,75
17		0	13882		2116,16
18		0	13882		1894,50
19		0	13882		1696,06
20		0	13882	0	1518,41
Nettonykyarvo					461,72

Taulukossa 18 on laskettu investoinnin takaisinmaksuaika sisäisen korkokannan menetelmällä. Sisäisellä korkokannalla 11,7 % on investoinnin nettonykyarvo lähes nolla. Jos määritetty takaisinmaksuajan korkokanta on pienempi kuin 11,7 %, on investointi kannattava.

5 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä tehtyjen kannattavuuslaskelmien perusteella ei tämän hetken lämmitysöljyn hinnalla investointi suunniteltuun hakelämmityslaitteistoon ole kannattava. Investoinnin takaisinmaksuaika on yli kymmenen vuotta, joka on puolet uuden lämmityslaitteiston oletetusta käyttöiästä. Lämmitysöljyn hinnan nousu kuitenkin parantaa investoinnin kannattavuutta. Tulevaisuudessa öljyn hinnan voidaan olettaa nousevan, jolloin myös investoiminen hakelämmitysjärjestelmään tulee kannattavammaksi. Esimerkiksi jos lämmitysöljyn hinta on 1,2 € litralta, lyhentää se suunnitellun hakelämmityslaitteisto kokonaisuuden takaisinmaksuaikaa jo 6,5 vuoteen.

Investoinnin suuruus määritettiin eri laitevalmistajilta saatujen tarjousten perusteella. Työssä on laskettu uuden lämmityskeskuksen rakentaminen laitteistoinen kokonaisuuskustannuksen olevan yli 100 000 €. Jos tilalla päädytään rakentamaan navettaan uusi hakelämmityskeskus, voidaan hankkeen toteutusvaiheessa kustannuksissa säästää tekemällä osa rakennus- ja asennustyöstä itse. Polttoainelaskennat on tehty ostohakkeella, mutta kohteessa voidaan hake tuottaa omasta metsästä saatavasta puusta, jolloin vuosittaiset lämmityksen käyttökustannukset ovat käytännössä pienemmät. Suunnitellun lämpökeskuksen laitteistokokonaisuus on mahdollista myös hankkia osissa, jolloin laitteiston kokonaiskustannuksia pystytään jakamaan useammalle vuodelle ja verotuksessa mahdollisesti huomioitavia konepoistoja ja saada näin investoinnin takaisinmaksuaikaa lyhennettyä.

Vaikka uuden lämpökeskuksen rakentaminen on nyt tällä hetkellä kannattamatonta, olisi edullisen lämmitysöljyn aikaan investointi hakelämmityslaitteistoon kannattavampaa, kun kysyntää hakelaitteistoista on vähemmän. Tavoitteena on kuitenkin tulevaisuudessa vähentää tilalla työmäärää ja kustannuksia, joita rakennusten nykyisessä öljy- ja pilkelämmityksessä nyt syntyy. Vastaavasti vähennetään hiilijalanjälkeä siirtymällä kokonaan uusiutuviin polttoaineisiin. Hakkeen osalta kun tilalla voidaan olla omavaraisia, jolloin lämmityksestä kertyvät kustannukset pysyvät vakaampina tulevaisuudessa.

Biolämmityslaitteistoon on saatavilla erilaisten maaseutukehitysohjelmien mukaista investointitukea, kun maatilalla siirrytään energiantuotannossa fossiilisesta polttoaineesta uusiutuvaan biopolttoaineeseen. Tämän työn investointikustannusten laskemi-

sessä niitä ei otettu huomioon, koska tukien myöntäminen katsotaan aina tapauskohtaisesti. Maatilojen investointitukien haku on jatkuvaa. Tukipäätöksiä tehdään neljä kertaa vuodessa ja saatavan tuen suuruus on aina tapauskohtainen.

Maatilalla biopolttoaineeseen siirryttäessä lämmityslaitteiston toimivuus, polttoainevaraston sijoitus ja sen täyttö tulee miettiä siten, että laitteiston käyttö on mahdollisimman sujuvaa. Haketta ei kannata polttaa turhaan huonolla hyötysuhteella sillä ajatuksella, että hakkeen ollessa edullista polttoaineen suhteen voidaan olla omavaraisia. Poltettavan puun hakemiseen metsästä kuluu aikaa ja työkoneissa polttoainetta, ennen kuin polttoon tarkoitettu ranka on hakkeen muodossa. Kiinteän polttoaineen käytössä aikaa kuluu aina polttoainevaraston täyttöihin, kattilan nuohoukseen ja tuhkan poistoon, jota vastaavasti öljylämmityksessä ei ole. Hakelaitoksen ohjauksen varustetason tulee kiinnittää huomiota laitteistoa hankkiessa, jotta laitteiston käyttö on sujuvaa ja lämmitykseen kuluva aika on mahdollisimman vähäinen. Hakelämmitysjärjestelmät ovat kehittyneet viime vuosina, ja ne alkavat olla toimintavarmuudeltaan lähes samalla tasolla kuin vastaavat öljykäyttöiset laitokset.

Viljankuivauksessa suurempien kuivaamoiden kohdalla suuntaus näyttää olevan tällä hetkellä vain muuttaa polttoaine öljystä edullisempaan hakkeeseen kuitenkin kiinnittämättä huomiota itse kuivausprosessin energiankulutukseen. Monesti varsinkin pienemmissä kuivaamoissa erilliseen biolaitteistoon investoiminen ei ole kannattavaa kuivausmäärien ollessa pienempiä, jolloin kannattaisi kiinnittää enemmän huomiota kuivauksen energiankulutukseen ja lähteä hakemaan säästöjä sitä kautta.

Ilman suuria investointejakin viljankuivaamisessa on monia keinoja, joilla voi vaikuttaa kuivurin energiankulutukseen. Esimerkiksi tutkittavassa kohteessa olevassa kuivurissa energiasäästöjen synnyttämiseksi kannattaisi ensimmäiseksi aloittaa kuivurin kuivaussiilon ja tuloilmaputken eristyksellä kauttaaltaan, kuivausilman lämpötilan nostamisella, ja nopeuttaa viljan kiertoa kuivaussiilossa. Jo edellä mainituilla perustoimenpiteillä pystyy tehostamaan kuivausta ja pienentämään kuivurin energiankulutusta.

Kuten osassa tämän työn kirjallisuuslähteissäkin on esitetty, jo 1980-luvun alussa tehdyissä tutkimuksissa on todettu, että viljan kuivaamisessa voidaan säästää energiaa pyrkimällä siihen, että kuivuriuunissa tuotettu lämpö pysyy itse kuivausprosessissa.

Varsinkin vanhan kuivurilaitoksen kohdalla tämä tarkoittaa sitä, että kuivaussiilon tiiviyteen, eristykseen ja poistoilman lämmöntalteenottomahdollisuuksiin pitäisi kiinnittää enemmän huomiota. Suurin osa kuivuriuunissa tuotetusta lämpöenergiasta on viljamassan läpi puhalletussa poistoilmassa sitoutuneena ilman kosteussisältöön, joka kannattaisi hyödyntää sen sijaan, että se puhalletaan poistoilman mukana ulos.

Tässä työssä perusajatus oli suunnitella maatilalle lämmityslaitteisto, jota voidaan hyödyntää tilalla ympärivuotisesti rakennusten lämmityksessä, ja pienentää lämmitysöljyn kulutusta syksyisin tapahtuvassa viljankuivauksessa. Uusi lämmityslaitteisto haluttiin olevan muunneltavissa tulevaisuudessa, jonka takia päädyttiin suunnittelemaan laitteisto erillisellä kiinteistö-öljykattilalla, jolla tasataan lämmöntarpeen kulu- tushuippuja. Kyseisessä ratkaisussa kaikki lämpö tuotetaan navetan uudessa lämpökeskuksessa. Koska rakennusten tarvitsema lämmitystehon tarve on niin paljon pienempi kuin viljankuivurin, ei nykyisessä tilanteessa tilalla ole mahdollista päästä eroon lämmitysöljyn käytöstä kokonaan järkevin investoinnein.

Vaikka tässä järjestelmässä häviöt kasvavat kuivauksessa johtuen lämpökeskuksen ja kuivaamon välimatkasta sekä lämpökanaalista, on laitteistokokoonpanon yksi etu kuitenkin sen muunneltavuus tulevaisuutta ajatellen. Jos lämmitysöljyn hinta kohoaa kohtuuttomalle tasolle ja viljan markkinahinta nousee, voi öljykattilan korvaamista toisella hakekattilalla harkita.

LÄHTEET

Anttiteollisuus 2005. Antti kuivuriuunit, asennus- ja käyttöohje.

[http://www.anttiteollisuus.fi/uploads/materiaalipankki/vilja/Kaytto%20ja%20asennus ohjeet/Varaosauunit_408020/Antti_kuivuriuunit_ylipaineuunit_fi_01_2005.pdf](http://www.anttiteollisuus.fi/uploads/materiaalipankki/vilja/Kaytto%20ja%20asennus%20ohjeet/Varaosauunit_408020/Antti_kuivuriuunit_ylipaineuunit_fi_01_2005.pdf). Päivitetty 23.04.2012. Luettu 21.02.2016.

Ahokas, Jukka 2014. Viljankuivauksen tehostaminen. Helsingin yliopisto: Maataloustieteiden laitos.

Ahokas, Jukka 1983b. Energiantuotanto maatilatalouden omista energialähteistä. Vihti: Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos, tutkimusselostus No 33.

Ahokas, Jukka & Koivisto, Kimmo 1983a. Energiansäästö viljankuivauksessa. Vihti: Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos, tutkimusselostus No 31.

Alanen, Veli-Matti & Soini, Risto 2001. Hakelämmitysopas. Helsinki: Motiva

Bioenergian pikkujättiläinen. <http://www.bioenergieneuvoja.fi/>. Päivitetty 21.02.2016. Luettu 21.02.2016.

Eklund, Irina & Kekkonen, Heidi 2014. Kannattavuuslaskenta ja hinnoittelu. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Energiatodistusopas, liite 1, 2016. <http://www.ymparisto.fi/fi-FI>. Päivitetty 21.02.2016. Luettu 21.02.2016.

Nyholm, Anna-mari, Risku-Norja, Helmi. & Kapuinen, Petri. 2005. Maaseudun uusiutuvien energiamuotojen kartoitus. Jokioinen: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, selvitys No 89.

Hautala, M, Jokiniemi, T. & Ahokas, J. 2013. Maatilakuivurit. Helsinki: Maataloustieteiden laitos, julkaisu No 28.

Karelia 2013. Viljankuivaus ja siihen liittyvät energianäkökulmat. https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/kilpelainen_viljankuivauksen_teoraa.pdf. Päivitetty 24.09.2013. Luettu 21.02.2016.

Kari, Maarit 2009. Maatilayrityksen energiaopas. Keuruu: Otava kirjapaino Oy.

- Karilainen, Juha 2006. RY Rakennettu ympäristö. Tiili- ekologinen ja energiatehokas ulkoseinärakenne. http://www.rakennustieto.fi/lehdet/ry/index/lehti/P_181.html. Päivitetty 22.10.2013. Luettu 21.02.2016.
- Kotro, Mikko 2007. Yrityksen kannattavuus ja rahoitus. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Kuivurikoulutus esitys 2013. PDF-dokumentti. http://www.puulakeus.net/docs/120-0tG-Ala_Talkkari.pdf. Päivitetty 8.12.2014. Luettu 21.02.2016.
- Luoma, Hanna. Peltonen, Sari. Helin, Jukka & Teräväinen Hanne. 2006. Maatilayrityksen bioenergian tuotanto. Keuruu: Otava kirjapaino Oy.
- Luomutietoverkko. <http://luomu.fi/tietoverkko/energiakustannusten-saastoviljankuivauksessa/>. Päivitetty 21.02.2016. Luettu 21.02.2016.
- Lötjönen, Timo 2003. Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljatilalla. Vihti: MTT maatalousteknologian tutkimus.
- Lötjönen, Timo 2005. Viljasadon käsittely ja käyttö. Keuruu: Otava kirjapaino Oy.
- Mäkelä, Ossi 1983. Viljankuivausopas. Vihti: Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos, tiedote No 35.
- Neilimo, Kari & Uusi-Rauva, Erkki 2005. Johdon laskentatoimi. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Ojanen, Timo & Uusi-Ranta, Henri 2015. Kiinteän polttoaineen ilmauunit viljankuivauksessa. Opinnäytetyö. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu.
- Oristo, Uolevi 2016. Hukkalämpö talteen. Koneviesti nro 2. Helsinki.
- Rakennusmääräyskokoelma C4 2003. <http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf> Päivitetty 21.02.2016. Luettu 21.02.2016.
- Rakennusmääräyskokoelma D3 2011. http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Päivitetty 21.02.2016. Luettu 21.02.2016.
- Rakennusmääräyskokoelma D5 2012.
- Rasi, Saija. Suomi, Pasi. Linkolehto, Raimo. Tuunanen, Lauri. Rasa, Kimmo. Ek, Fredrik & Kouki, Jyrki 2015. Selvitys puukaasun käytöstä viljankuivauksessa https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/485502/luke-luobio_7_2015.pdf?sequence=4. Päivitetty 9.02.2016. Luettu 21.02.2016.

Viirimäki, Juha 2008. Maatilan hakelämmitysopas. Tampere: Hämeen Offset Tiimi Oy.

Kuivurin energiankulutus

Viljankuivauksen öljyn kulutus

Hehtaarisato keskimäärin 4000 kg

Tilan viljelyala 100 ha

Kuivattava määrä vuosittain $100 \times 4000 \text{ kg} = 400000 \text{ kg}$

Jokaista haihdutettua vesikiloa kohden tarvitaan 0,15 l öljyä (Ahokas)

Sato kuivataan puintikosteudesta 22 % -> 12,5 % varastokosteuteen

Poistettava vesimäärä

$$M_{\text{vpoisto}} = M_{\text{sato}} * \frac{W_a - W_l}{1 - W_a}$$

M_{vpoisto} = poistettava vesimäärä,

M_{sato} = loppukosteudessa oleva satomäärä,

W_a = puintikosteus

W_l = loppukosteus

$$M_{\text{vpoisto}} = 400000 * \frac{0,22 - 0,125}{1 - 0,22}$$

$$M_{\text{vpoisto}} = 48717,9 \text{ kg}$$

100 ha sadon kuivaukseen tarvitaan

$$0,15 \text{ l} \times 48717,9 \text{ kg} = \underline{7307 \text{ l öljyä}}$$

(lähde Ahokas Viljankuivauksessa säästöjä nopeasti)

Esimerkki kohteen kuivurin öljynkulutus kuivauksessa syksy 2009

Syksy	2009	Viljan kosteus %		Ajankohta klo		Kuivausaika h		kulunut aika h	Jäähdytys min	Öljyn kulutus Litraa
		Alku	loppu	Alku	Loppu	alku	loppu			
Pvm	vilja laatu									
3.9	Ohra	22,0	12,5	14:10	21:10	3313,1	3320,5	7,4	60	362,2
5.9	Ohra	22,0	12,5	14:00	21:00	3320,5	3328,4	7,9	60	386,6
6.9*	Ohra	23,0	16,0	14:40	21:00	3328,4	3335,2	6,8	60	332,8
7.9*	Ohra	16,0	12,0	12:00	16:00	3335,2	3339,6	4,4	60	215,3
9.9	Ohra	19,0	12,5	11:30	16:30	3339,6	3345,2	5,6	60	274,1
keskiarvo		20,4						7,9		
yhteensä								32,1		1571,0

Laskuissa on käytetty esimerkkinä kuivauserää 5.9.2009.

Viljanlaatu Ohra. Puintikosteus 22 %. Loppukosteus 12,5 %

Yhden erän kuivauksen kesto 7,9 h

Öljyä kulunut 386,6 l (kuivuriuunien hyötysuhde $\eta = 0,85$ kirjallisuusarvo)

Yhden erän energiaa kulutus

$$386,6 \text{ l} \times 10 \text{ kWh/l} = 3866 \text{ kWh}$$

Kuivauserien määrä

Kuivurin tilavuus 300 hl

Ohran hehtolitrapaino 63,4 kg/hl (Keskiarvo 2000-luvulla. Lähde Evira)

Yhden kuivauserän tilavuuspaino (hehtolitrapaino)

$$300 \text{ hl} \times 63,4 \text{ kg/hl} = 19020 \text{ kg}$$

Viljelyala 100 ha

Keskimääräinen sato noin 4000 kg/ha

kuivattavan viljan kokonaismäärä

$$4000 \text{ kg/ha} \times 100 \text{ ha} = 400000 \text{ kg}$$

$$400000 \text{ kg} / 19020 \text{ kg} = \underline{21 \text{ kuivauserää}}$$

Kuivuriuunien yhteisteho

$$\frac{3866 \text{ kWh}}{7,9 \text{ h}} * 0,85 = \underline{416 \text{ kW}}$$

Koko kuivauskauden öljyn kulutus

Oletuksena että puintikosteus ja sääolosuhteet kuivauksessa pysyisivät samoina koko kuivauskauden.

21 kuivauserää

$$21 \times 386,6 \text{ l} = 8118,6 \text{ l} \approx \underline{8120 \text{ l}}$$

Rakennusten lämpöhäviöt

Viljankuivaus öljyllä + lisälämpöä hakekattilasta ja varaajasta

Kuivurin puhallusilman lämpötila 60 °C

1000l vettä => 1°C lämpötilan nousu = 1,16 kWh energiaa

Varaajien kokonaistilavuus 12 m³

Varaajien energiasisältö

$$12 \text{ m}^3 \times 1,16 \times (95-60)^\circ\text{C} = 487,2 \text{ kWh}$$

Viljaerän kuivausaika 7,9 h

Hakekattilan teho 120 kW

$$487,2 \text{ kWh} + 120 \text{ kWh} \times 7,9 \text{ h} = 1435 \text{ kWh}$$

Hakekattilan teho 150 kW

$$487,2 \text{ kWh} + 150 \text{ kWh} \times 7,9 \text{ h} = 1672 \text{ kWh}$$

Yhdessä viljankuivaus erässä hakekattilasta saatava hyöty varaajien kanssa

$$120 \text{ kW hakekattila} = \frac{1435 \text{ kWh}}{3866 \text{ kWh}} * 100 = 37\%$$

$$150 \text{ kW hakekattila} = \frac{1672 \text{ kWh}}{3866 \text{ kWh}} * 100 = 43,2\%$$

Hakekattilasta saatava hyöty ilman varaajia

$$120 \text{ kW hakekattila} = \frac{120 \text{ kW} * 7,9 \text{ h}}{3866 \text{ kWh}} * 100 = 25\%$$

$$150 \text{ kW hakekattila} = \frac{150 \text{ kW} * 7,9 \text{ h}}{3866 \text{ kWh}} * 100 = 31\%$$

Varaajien latausaika

Kuivauskauden alussa varaajien lämmitys 20 °C -> 95 °C

$$12 \text{ m}^3 \times 1,16 \text{ kWh} (95-20)^\circ\text{C} = 1044 \text{ kWh}$$

Latausaika

$$120 \text{ kW hakekattila} = \frac{1044 \text{ kWh}}{120 \text{ kW}} = 8,7 \text{ h}$$

$$150 \text{ kW hakekattila} = \frac{1044 \text{ kWh}}{150 \text{ kW}} = 6,96 \text{ h}$$

Kuivauserien välissä (jäähdytys/eränvaihtoon kuluva aika 2,5 h)

Varaajien lataus (60->95) °C = 487,2 kWh

$$\frac{487,2 \text{ kWh}}{120 \text{ kW}} = 4 \text{ h}$$

$$\frac{487,2kWh}{150kW} = 3,2h$$

Energiankulutus

Lämpöarvo runkopuuhake 835 kWh/i-m³

Yksi kuivuserä vie energiaa 150kW hakekattilalla

Varaajan lataus alussa 20 °C -> 95 °C = 1044 kWh (kuivauskauden alussa)

Varaajien lataus (60->95) °C = 487,2 kWh

Arvioidaan, että erän jäähtymisen/vaihdon hakekattila ehtii lataamaan 3 h = 487,2 kWh

Yksi kuivuserä vie energiaa aina yhteensä (hakkeen osuus)

$$487,2 + 150 \text{ kW} \times 3 \text{ h} = 947,2 \text{ kWh}$$

Koko kuivauskausi yhteensä 21 kuivuserää

$$21 \times 947,2 + \text{alkulämmitys } 1044 \text{ kWh} \\ = 36475,2 \text{ kWh}$$

Hakkeenkulutus

$$\frac{36475,2kWh}{835kWh/i-m^3} = \frac{43,7}{0,9} = 48,5i - m^3$$

Energian kulutus öljyllä kuivauksessa

Lämpöarvo öljy 10 kWh/l

1 kuivuserän energiankulutus

$$386,6l \times 10 \text{ kWh/l} = 3866 \text{ kWh}$$

21 kuivuserää energiankulutus öljyn osuus

$$21 \times 3866 \text{ kWh} = 81186 \text{ kWh}$$

hakkeen osuus 36475,2 kWh

$$81186 \text{ kWh} - 36475,2 \text{ kWh} = 44710,8 \text{ kWh}$$

$$\frac{44710,8kWh}{10kWh} = 4471 \text{ l}$$

Hakkeesta osuus kuivauksessa

$$\text{Hyöty } \frac{3647,5l}{8118,6l} * 100 = 44,9 \approx 45\%$$

Hyöty 45%

LÄMPÖHÄVIÖT KONEHALLIN HUOLTOTILA

Rakenteiden johtumislämpöhäviöteho saadaan kaavalla

$$\phi_{\text{joht}} = \phi_{\text{ulkoseinä}} + \phi_{\text{yläpohja}} + \phi_{\text{alapohja}} + \phi_{\text{ikkuna}} + \phi_{\text{ovi}}, \text{ jossa}$$

$$\phi_{\text{alapohja}} = 150\text{m}^2 * 0,47\text{W} / \text{m}^2\text{K} * (15 - (5,3 + 2))\text{K} = 542,85\text{W}$$

$$\phi_{\text{yläpohja}} = 150\text{m}^2 * 0,39\text{W} / \text{m}^2\text{K} * (15 - (-26))\text{K} = 2398,5\text{W}$$

$$\phi_{\text{ikkuna}} = 9\text{m}^2 * 2,1\text{W} / \text{m}^2\text{K} * (15 - (-26))\text{K} = 1147\text{W}$$

$$\phi_{\text{ulkoseinä}} = 133,3\text{m}^2 * 0,32\text{W} / \text{m}^2\text{K} * (15 - (-26))\text{K} = 1750\text{W}$$

$$\phi_{\text{sisäseinä}} = 70,5\text{m}^2 * 0,37\text{W} / \text{m}^2\text{K} * (15 - (-26))\text{K} = 1070\text{W}$$

Konehalli

Rakenne	Pinta-ala m ²	U-arvo W/m ² K	Sis.läm.tila °C	Ul.läm.tila °C	Lämpöhäviö W
ulkoseinä	133,375	0,32	15	-26	1749,88
sisäseinä*	70,5	0,37	15	-26	1069,485
yläpohja	150	0,39	15	-26	2398,5
alapohja	150	0,47	15	7,3	542,85
ikkuna	9,025	3,1	15	-26	1147,0775
ovi	2,1	2	15	-26	172,2
liukuovi	20	2	15	-26	1640
				yht =	8720

* Huoltotilan ja konesuojaosan välinen seinä.

Vuotoilman lämmitystehontarve

Huoltotilan vuotoilman lämpenemisen lämpötehtävyys saadaan laskettua yhtälöllä

$$\phi_{\text{vuotoilma}} = \rho_i * C_{pi} * q_{v,\text{vuotoilma}} * (T_s - T_{u,\text{mit}}), \text{ josta vuotoilman määrä } q_{v,\text{vuotoilma}} \text{ saadaan}$$

$$\text{kaavalla } q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 * x} * A_{\text{vaippa}}$$

Konehallin huoltotilan vaipan pinta-ala 535 m²

Ilmavuotoluku 6 (Rakmk D5)

Rakennuksen kerroksien lukumäärästä määräytyvä kerroin 35 (konehalli yhdessä ta-
sossa)

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{6\text{m}^3 / \text{h}, \text{m}^2}{3600 * 35} * 535\text{m}^2 = 0,025\text{m}^3 / \text{s}$$

Vuotoilman lämmitystarve

$$\phi_{\text{viv}} = 1,2\text{kg} / \text{m}^3 * 1000\text{J} / \text{kgK} * 0,025\text{m}^3 / \text{s} * (15 - (-26))\text{K} = 1230\text{W} = 1,23\text{kW}$$

Konehallin huoltotilan vuotoilman lämmitystarve 1,23kW

Rakennusten lämpöhäviöt

Konehallin huoltotilan lämmitystarve yhteensä $\phi_{joht} + \phi_{vuotoilma}$

$$= 8,720kW + 1,23kW = 8845kW$$

Konehallin konesuojaosan lämmitystehontarve**Konesuoja**

Rakenne	Pinta-ala m ²	U-arvo W/m ² K	Sis.läm.tila °C	Ul.läm.tila °C	Lämpöhäviö W
ulkoseinä	124,4	0,32	15	-26	1632,128
ulkoseinä uusiosa*	33	0,17	15	-26	230,01
yläpohja	207	0,39	15	-26	3309,93
alapohja**	207	0,16	15	5,3	255,024
ikkuna uusi	11	1	15	-26	451
liukuovi uusi	32	1	15	-26	1312
yht =					7190

* Nykyisten liukuovien tilalle rakennettava ulkoseinäosuus

** alapohja uusi rakenne konesuojan osalla

Konehallin koko rakennuksen vuotoilman lämmitystehontarve

Konehallin koko vaipan pinta-ala 1080 m²

Ilmavuotoluku 6 (Rakmk D5)

Rakennuksen kerroksien lukumäärästä määräytyvä kerroin 35 (konehalli yhdessä ta-
sossa)

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{6m^3/h, m^2}{3600*35} * 1080m^2 = 0,051m^3/s$$

Vuotoilman lämmitystarve

$$\phi_{viv} = 1,2kg/m^3 * 1000J/kgK * 0,051m^3/s * (15 - (-26))K = 2509W = 2,51kW$$

Konehallin koko rakennuksen vuotoilman lämmitystarve 2,51kW

Konehallin lämmitystehontarve yhteensä = $\phi_{joht.huoltohalli} + \phi_{joht.konesuoja}$

+ $\phi_{vuotoilmakok.rakennus}$

$$= 8720W + 7190W + 2500W = 18500W$$

Konehallin lämmitystehontarve ≈ 19kW

PÄÄTALON LÄMMITYSTEHONTARVE

Rakenteiden johtumislämpöhäviötehot

Päättalo 1. krs

Rakenne	pinta-ala m ²	U-arvo	Sisälämpötila	Ulkolämpötila	Lämpöhäviö
---------	--------------------------	--------	---------------	---------------	------------

LIITE 2(6).

Rakennusten lämpöhäviöt

		W/m ² K	°C	°C	W
ulkoseinä	179,5	0,55	21	-26	4640,075
yläpohja	131,4	0,37	21	-26	2285,046
alapohja	215,5	0,2	21	5,3	331,87
ikkuna	26	2,1	21	-26	2566,2
ovi	4,5	1,4	21	-26	296,1
yht = W					10119

Pääatalo 2. krs

Rakenne	Pinta-ala m ²	U-arvo W/m ² K	Sisälämpötila °C	Ulkolämpötila °C	Lämpöhäviö W
ulkoseinä	59	0,55	21	-26	1525,15
yläpohja	90	0,37	21	-26	1565,1
ikkuna	6,5	2,1	21	-26	532,35
yht = W					3623

Pääatalon lisäosa

Rakenne	Pinta-ala m ²	U-arvo W/m ² K	Sisälämpötila °C	Ulkolämpötila °C	Lämpöhäviö W
ulkoseinä	73,1	0,55	21	-26	1889,635
yläpohja	60	0,37	21	-26	1043,4
alapohja	60	0,2	21	5,3	92,4
ikkuna	7,5	3,1	21	-26	1092,75
ovi	1,9	1,4	21	-26	125,02
Yht = W					4243

Pääatalon vuotoilman lämmitystehontarve

Pääatalon koko vaipan pinta-ala n. 623 m²

Ilmavuotoluku 6 (Rakmk D5)

Rakennuksen kerroksien lukumäärästä määräytyvä kerroin 24 (kaksi asuin kerrosta + kellari)

Pääatalon vuotoilman lämmitystarve 2,13kW

Lisäosan vuotoilman lämmitystehontarve

Lisäosan koko vaipan pinta-ala n. 202 m²

Ilmavuotoluku 6 (Rakmk D5)

Rakennuksen kerroksien lukumäärästä määräytyvä kerroin 35 (yhdessä tasossa)

Lisäosan vuotoilman lämmitystarve 0,475kW

Pääatalon lämmitystehontarve yhteensä:

$$= \phi_{\text{joht.1.krs}} + \phi_{\text{joht.2.krs}} + \phi_{\text{joht.lisäosa}} + \phi_{\text{vuotoilmapääatalo}} + \phi_{\text{vuotoilmalisäosa}}$$

Rakennusten lämpöhäviöt

$$= 10119W + 3623W + 4243W + 2130W + 475W = 20584W$$

Päätalon lämmitystehontarve $\approx 21kW$

NAVETAN LÄMMITYSTEHONTARVE

Rakenteiden johtumislämpöhäviötehot

Navetta 1.krs nykyiset käytössä
olevat tilat

Rakenne	pinta-ala m ²	U-arvo W/m ² K	Sisälämpötila °C	Ulkolämpötila °C	Lämpöhäviö W
ulkoseinä 1.krs	155	1,5	15	-26	9532,5
alapohja	485	0,53	15	5,3	1979,285
ikkunat vers- tas	8,4	2,1	15	-26	723,24
ikkunat uudet	2,2	1	15	-26	90,2
ovi	17,5	1	15	-26	717,5
yht = W					13043

Navetta 2.krs asunnot

Rakenne	Pinta-ala m ²	U-arvo W/m ² K	Sisälämpötila °C	Ulkolämpötila °C	Lämpöhäviö W
ulkoseinä 2.krs	146	1,5	21	-26	10293
yläpohja	160	0,4	21	-26	3008
ikkunat	27,5	2,1	21	-26	2714,25
ovet	20	1	21	-26	940
yht = W					16955

Rakennusten lämpöhäviöt

Navetta 2.krs verastilat

Rakenne	Pinta-ala m ²	U-arvo W/m ² K	Sisälämpötila °C	Ulkolämpötila °C	Lämpöhäviö W
ulkoseinä 2.krs	142	1,5	15	-26	8733
yläpohja	196	0,4	15	-26	3214,4
ikkuna uudet	27,5	1	15	-26	1127,5
ovi	21	1	15	-26	861
yht = W					13936

Navetta 3.krs varastotilat

Rakenne	Pinta-ala m ²	U-arvo W/m ² K	Sisälämpötila °C	Ulkolämpötila °C	Lämpöhäviö W
ulkoseinä 3.krs	147,28	1,5	15	-26	9057,72
yläpohja	9,025	0,4	15	-26	148,01
ikkunat uudet	4,32	1	15	-26	177,12
ovi	5,4	1	15	-26	221,4
yht = W					9604

Navetan vuotoilman lämmitystehontarve

Päätalon koko vaipan pinta-ala n. 1950 m²

Ilmavuotoluku 6 (Rakmk D5)

Rakennuksen kerroksien lukumäärästä määräytyvä kerroin 20 (3 kerrosta)

Navetan vuotoilman lämmitystarve 7995W

Navetan lämmitystehontarve yhteensä:

$$\begin{aligned}
 &= \phi_{\text{joht.1.krs}} + \phi_{\text{joht.2.krs.asunnot}} + \phi_{\text{joht.2.krs.verstas}} + \phi_{\text{joht.3.krs}} + \phi_{\text{vuotoilmanavetta}} \\
 &= 13043W + 16955W + 13936W + 9604W + 7995W = 61533W
 \end{aligned}$$

Navetan lämmitystehontarve ≈ 62kW

Lämpökanaalien lämpöhäviöt ja energiankulutukset

LÄMPÖKANAALIEN LÄMPÖHÄVIÖT JA ENERGIANKULUTUKSET

Lämpökanaaleiden lämpöhäviöt eri osuuksilla

Rakennus	Mat.	Matka m	Lämpötilat °C	Maaperä °C	Koko DN	Lämpöhäviö W/m	Lämpöhäviö W
Päätalo	pex	100	80/60	-3	32	11,95	1195
Päätalo	pex	100	80/60	10	32	9,8	980
Konehalli	pex	20	60/40	-3	32	7,85	157
Konehalli	pex	20	60/40	10	32	5,75	115
kuivuri (kuivaus)	teräs	50	90/60	10	80	21,8	1090
Kuivurin osuus lämmityskaudella	teräs	50	80/60	-3	80	24,5	1225
Kuivurin osuus lämmityskaudella	teräs	50	80/60	10	80	20,1	1005
Yht. (maaperä -3°C)							2577

Energiankulutukset

- lämmitysjakson pituus marraskuun alusta huhtikuun loppuun (6kk)
- maaperän lämpötila marras-joulukuu +10 °C
(lämpöjohtojen asennussyvyys 600-800 mm)
- maaperän lämpötila tammi-huhtikuu -3 °C
(lämpöjohtojen asennussyvyys 600-800 mm)
- lämmitysjakson pituus marras-joulukuu = 1464 h (+10 °C)
- lämmitysjakson pituus tammi-huhtikuu = 2880 h (-3 °C)

Lämpökanaalien lämpöhäviöt ja energiankulutukset

Lämpökanaaleiden energian kulutukset kahdella eri maaperän lämmöllä -3 °C ja +10 °C koko lämmityskaudella

Rakennus	Mater.	Maaperä °C	Lämpöhäviö kW	Läm.jakson pituus h	Energiankulutus kWh
Päätalo	Pex	-3	1,195	2880	3441,6
Päätalo	Pex	10	0,98	1464	1434,72
Konehalli	Pex	-3	0,157	2880	452,16
Konehalli	Pex	10	0,115	1464	168,36
Kuivurin osuus lämmityskaudella	teräs	-3	1,225	2880	3528
Kuivurin osuus lämmityskaudella	teräs	10	1,005	1464	1471,32
Kulutus yht.					10496,16

Kuivurin osuuden lämpökanaaleiden häviöt kuivauskaudella elokuussa

Maaperä +10 °C

21 kuivauserää.

Kuivausjakson pituus ≈ 7 h

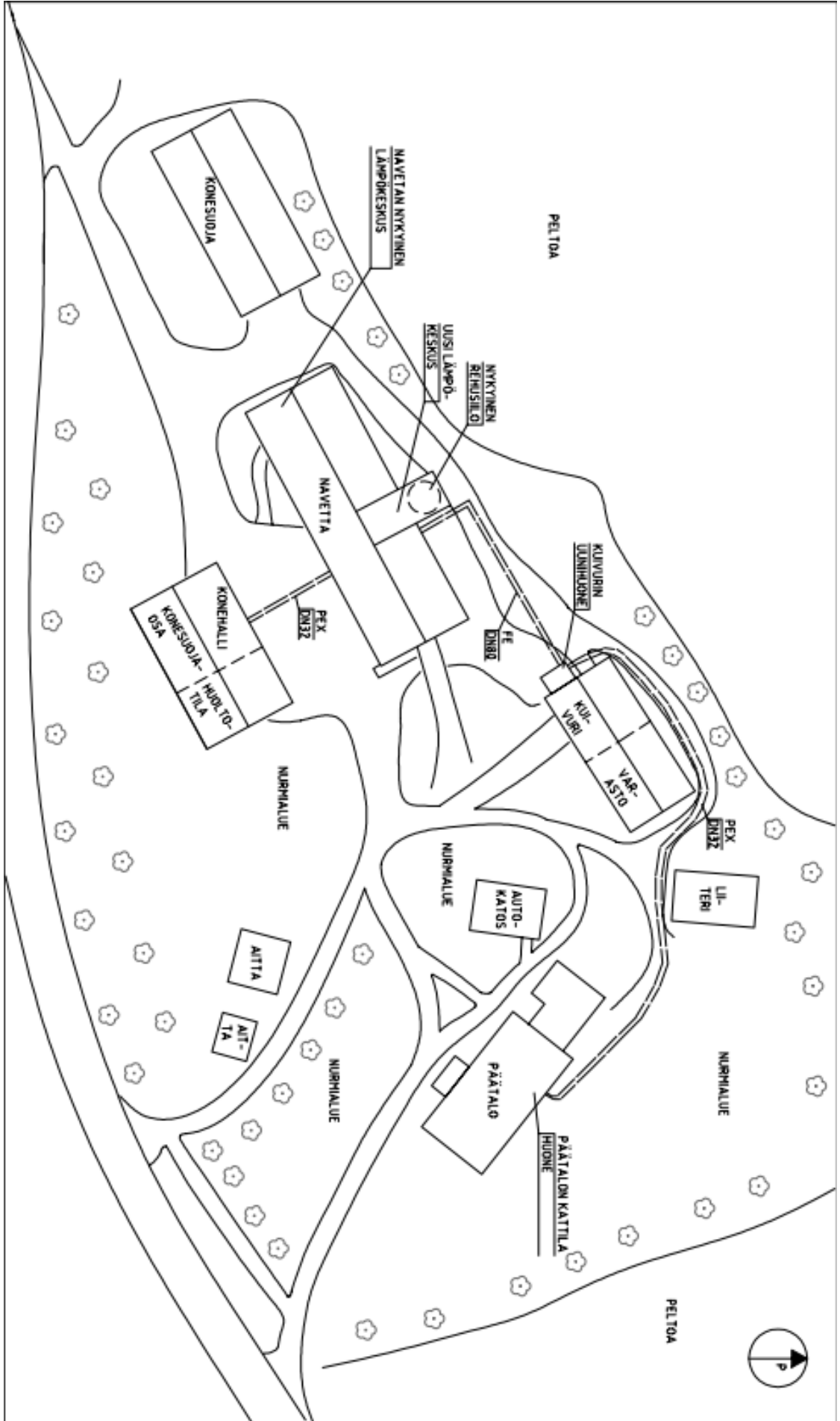
Kuivauskauden pituus = $21 \times 7,9 = 166$ h

Lämpötilat 90/60 °C = keskimääräinen 75 °C

Lämpökanaalin lämpöhäviö 1,09 kW/ 50m

Rakennus	Mater.	Maaperä °C	Lämpöhäviö kW/50 m	Läm.jakson pituus h	Energiankulutus kWh
Kuivurin läm.kanaalin häviöt kuivauskaudella	teräs	10	1,09	166	180,94

LIITE 4.
Asemakuva



Tietoja markkinoilla olevista uuneista esitetään taulukossa 1. Tuloksia 40 ja 60 mm vp vastapaineilla suoritetuista mittauksista esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2. Teijo-kuivuriuunien koestutuloksia

Table 2. Test results of Teijo air heating units

Uuni Air heating unit	Vastapaine Counter- pressure		Kuivausilman Drying air		Ilma- määrä mittaus- oloissa Amount of air in test condi- tions	Uunin luovut- tama lämpö- määrä Heat deli- vered	Poltto- aineen kulutus Fuel consump- tion	Tehon tarve Power required
			lämpö- tila tempera- ture	lämpö- tilan nousu tempera- ture rise				
	mm	vp	°C	°C	m ³ /h	kcal/h	kg/h	kW
Teijo 100	40,1		46	30	8 150	64 800	7,1	3,1
	60,0		57	40	5 950	61 100	7,1	3,2
» 180	40,1		56	38	13 900	135 700	14,3	7,4
	60,3		58	40	13 150	134 000	14,3	7,4
» 250	40,2		59	39	19 100	189 500	19,9	10,65
	59,1		60	40	18 300	186 600	19,9	10,5
» 101	40,1		46	30	8 150	64 800	7,1	3,1
	60,0		59	40	5 950	61 100	7,1	3,2
» 181	40,1		56	38	13 900	135 700	14,3	7,4
	60,3		58	40	13 150	134 000	14,3	7,4
» 210	39,7		59	37	14 300	135 000	14,1	6,7
	59,8		60	40	13 200	134 500	14,2	6,7

Paloluokitustiedotuksen n:o 226 kohdan 13.4 mukaan, joka koskee rakenteeltaan tai toimintaperiaatteeltaan em. tiedotuksesta poikkeavia uuneja, on luokiteltu Teijo 101 ja Teijo 181-uunit, joissa sekä tulipesän että lämmönvaihtimen valmistukseen on käytetty 1 mm seostettua teräslevyä. Luokitus on voimassa erityisin ehdoin vuoden 1973 loppuun. Luokitus päätöksen mukaan luetaan kuitenkin näillä uuneilla varustetut kuivurit kuuluviksi paloturvallisuusryhmään II eikä III.

Kaikki muut tarkastetut Teijo-kuivuriuunit on valmistettu ja luokiteltu paloluokitustiedotuksen n:o 226/69 määräysten mukaisiksi.

Helsinki 1973-08-05.

MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS

Valmistajan ilmoituksen mukaan sisältyy uunien hintoihin: suojaverkko imuaukkoon, nuohousharja ja -kola, lämpömittari ja palosulkuluukku.

Tehdas myöntää uunien tulipesälle ja lämmönvaihtimelle 5 vuoden takuun. Uunien huolto tapahtuu sekä myyjän että valmistajan toimesta.



LÄMPÖHÄVIÖT

PATTERILÄMMITYS

Kokoluokka mm/mm	Maaperän lämpötila 10°C tai -3°C Peittisyvyys 800 mm	
	Maaperä 10°C Lämpöhäviö W/m	Maaperä -3°C Lämpöhäviö W/m
	2x25/110	4,05
2x32/125	4,50	6,65
2x40/140	5,10	7,50
2x50/180	4,80	7,10
2x63/180	7,20	10,60
25/90	5,30	7,80
32/90	6,50	9,60
40/90	8,20	12,00
50/110	8,50	12,50
63/125	9,65	14,20
75/140	10,45	15,40
90/180	9,65	14,25
110/160	13,30	15,55

Kokoluokka mm/mm	Maaperän lämpötila 10°C tai -3°C Peittisyvyys 800 mm	
	Maaperä 10°C Lämpöhäviö W/m	Maaperä -3°C Lämpöhäviö W/m
	2x25/110	5,15
2x32/125	5,75	7,85
2x40/140	6,50	8,90
2x50/180	6,15	8,40
2x63/180	9,20	12,60
25/90	6,75	9,30
32/90	8,30	11,35
40/90	10,40	14,25
50/110	10,80	14,80
63/125	12,25	16,80
75/140	13,30	18,30
90/180	12,30	16,90
110/160	16,90	23,20

Kokoluokka mm/mm	Maaperän lämpötila 10°C tai -3°C Peittisyvyys 800 mm	
	Maaperä 10°C Lämpöhäviö W/m	Maaperä -3°C Lämpöhäviö W/m
	2x25/110	6,60
2x32/125	7,35	9,50
2x40/140	8,35	10,75
2x50/180	7,90	10,15
2x63/180	11,80	15,20
25/90	8,70	11,20
32/90	10,65	13,70
40/90	13,35	17,20
50/110	13,90	17,90
63/125	15,75	20,30
75/140	17,15	22,10
90/180	15,85	20,40
110/160	21,75	28,00

Kokoluokka mm/mm	Maaperän lämpötila 10°C tai -3°C Peittisyvyys 800 mm	
	Maaperä 10°C Lämpöhäviö W/m	Maaperä -3°C Lämpöhäviö W/m
	2x25/110	8,80
2x32/125	9,80	11,95
2x40/140	11,10	13,50
2x50/180	10,50	12,80
2x63/180	15,75	19,15
25/90	11,60	14,10
32/90	14,20	17,25
40/90	17,80	21,65
50/110	18,50	22,50
63/125	21,00	25,55
75/140	22,85	27,80
90/180	21,10	25,70
110/160	19,00	35,25

LATTIALÄMMITYS

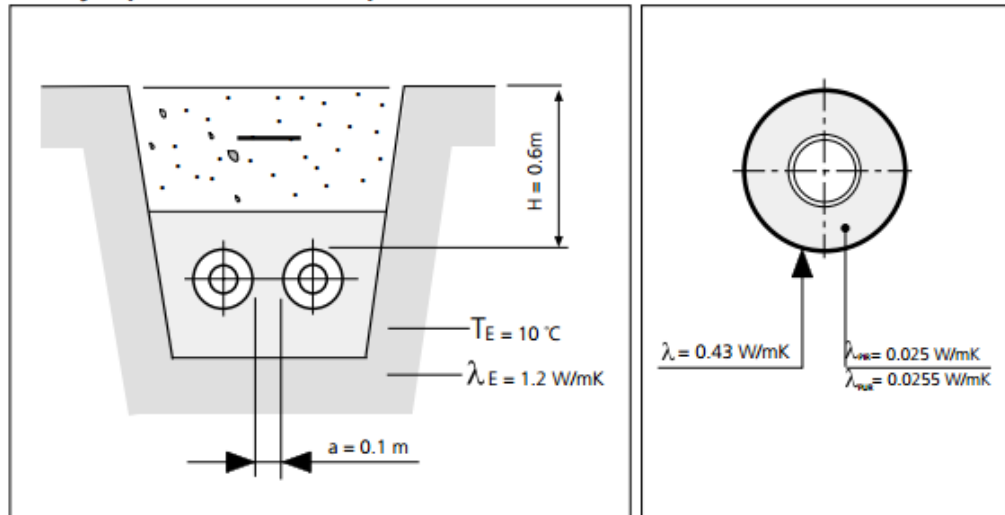
Kokoluokka mm/mm	Maaperän lämpötila 10°C tai -3°C Peittisyvyys 800 mm	
	Maaperä 10°C Lämpöhäviö W/m	Maaperä -3°C Lämpöhäviö W/m
	2x25/110	3,30
2x32/125	3,70	5,80
2x40/140	4,15	6,60
2x50/180	3,95	6,20
2x63/180	5,90	9,30
25/90	4,35	6,85
32/90	5,30	8,40
40/90	6,70	10,55
50/110	6,95	10,95
63/125	7,90	12,45
75/140	8,55	13,50
90/180	7,90	12,50
110/160	10,85	17,15

KÄYTTÖVESI

Kokoluokka mm/mm	Maaperän lämpötila 10°C tai -3°C Peittisyvyys 800 mm	
	Maaperä 10°C Lämpöhäviö W/m	Maaperä -3°C Lämpöhäviö W/m
	28+22/110	6,95
32+22/125	6,40	8,20
32+28/125	7,05	9,05
40+28/140	7,00	9,00
40+32/140	7,50	9,60
50+32/140	8,95	11,45
50+40/160	8,30	10,65
22/90	8,20	10,50
28/90	9,80	12,55
32/90	11,00	14,10
40/90	13,80	17,65
50/110	14,35	18,35
63/125	16,30	20,85

	CASAFLEX®- Kaukolämpöputket	CFL
	Lämpöhäviöt CASAFLEX-UNO	5.215
		01.06.00

Kaksi yksiputkista CASAFLEX-putkea rinnakkain



Lämpöhäviö käytössä:
 $q = K (TB - TE)$ [W/m]

K = Ominaislämpöhäviöt [W/mK]
 TB = Keskimääräinen käyttölämpötila [°C]
 TE = Keskimääräinen maan lämpötila [°C]

Lämpöhäviö q [W/m] asennettaessa kaksi yksiputkista rinnakkain

CASAFLEX putkityyppi	DN	K-arvo [W/mK]	keskimääräinen käyttölämpötila TB [°C]									
			40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°
22/91 PLUS	20	0.113	3.40	4.50	5.70	6.80	7.90	9.00	10.20	11.30	12.40	13.50
30/91	25	0.143	4.30	5.70	7.10	8.60	10.00	11.40	12.60	14.30	15.70	17.20
30/111 PLUS	25	0.123	3.70	4.93	6.17	7.40	8.63	9.86	11.10	12.33	13.56	14.80
39/111	32	0.153	4.60	6.10	7.60	9.20	10.70	12.20	13.80	15.30	16.80	18.40
39/126 PLUS	32	0.137	4.12	5.49	6.87	8.24	9.61	10.98	12.36	13.73	15.10	16.48
48/111	40	0.197	5.90	7.90	9.80	11.80	13.80	15.80	17.70	19.70	21.70	23.60
48/126 PLUS	40	0.169	5.07	6.76	8.46	10.15	11.84	13.53	15.22	16.91	18.60	20.29
60/126	50	0.217	6.50	8.70	10.80	13.00	15.20	17.40	19.50	21.70	23.90	26.00
60/142 PLUS	50	0.189	5.66	7.54	9.43	11.32	13.20	15.09	16.97	18.86	20.75	22.63
75/142	65	0.266	8.00	10.60	13.30	15.90	18.60	21.30	23.90	26.60	29.20	31.90
75/162 PLUS	65	0.212	6.37	8.49	10.61	12.73	14.85	16.98	19.10	21.22	22.34	25.46
98/162	80	0.335	10.10	13.40	16.80	20.10	23.50	26.80	30.20	33.50	36.90	40.20
127/182	100	0.591	17.70	23.60	29.50	35.40	41.30	47.20	53.20	59.10	65.00	70.90

Asennustapa: Kaksi yksiputkista rinnakkain
 Putkien etäisyys: $a = 0,10$ m
 Peittösyyvyys: $H = 0,60$ m
 Maan lämpötila: $TE = 10$ °C
 Maan lämmönjohtavuus: $\lambda_E = 1.2$ W/mK
 Eristeen lämmönjohtavuus: $\lambda_{ma} = 0.025$ W/mK, $\lambda_{ma} = 0.0255$ W/mK
 PE-vaipan lämmönjohtavuus: $\lambda_{PE} = 0.43$ W/mK