



SIIRTYMINEN KESTÄVÄMPÄÄN SEKÄ ENERGIATEHOKKAAMPAAN LÄM- MÖNTUOTANTOON VILJANKUIVAUKSESSA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan diplomityö

2022

Johanna Malmi

Tarkastajat: Dosentti Aki Grönman

Dosentti Ahti Jaatinen-Värri

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Energiatekniikka

Johanna Malmi

Siirtyminen kestävämpään sekä energiatehokkaampaan lämmöntuotantoon viljan- kuivauksessa

Energiatekniikan diplomityö

2022

55 sivua, 28 kuvaa, 1 taulukko ja 3 liitettä

Tarkastajat: Dosentti Aki Grönman ja Dosentti Ahti Jaatinen-Värri

Avainsanat: Viljankuivaus, lämmöntuotanto, energiatehokkuus, uusiutuvat polttoaineet

Suomessa maatalojen omissa viljakuivureissa lämmöntuotannon polttoaine on yleisimmin öljy. Tutkimuksessa käsitellään erilaisia mahdollisuuksia korvata öljyn käyttöä vähemmän kasvihuonepäästöjä aiheuttavilla polttoaineilla sekä lämmitysratkaisuilla. Lisäksi pohditaan keinoja energiatehokkaampaan kuivaukseen.

Työssä käsitellään erilaisia lämmöntuotannon vaihtoehtoja sekä erilaisia polttoainevaihtoehtoja. Arvioidaan myös, millaisella tilalla eri ratkaisut voisivat olla kannattavia. Maatalojen tarpeet sekä resurssit ovat yksilöllisiä, joten yhtä ainuttakaan selkeää ratkaisua ei voida löytää. Ongelmana useassa tapauksessa on se, että kuivurin tehontarve sopii harvoin yhteen maatalan muun lämmitystehontarpeen kanssa. Lisäksi kuivuri-investoinnit ovat usein kalliita ja kuivurin lämmöntarve vain lyhyt aika vuodesta. Työssä sivutaan valtion myöntämiä tukia maatalainvestoinneille sekä maatalojen omien kuivureiden vaihtoehtona yhteiskuivausta. Tutkimusmenetelminä ovat alan kirjallisuuteen tutustuminen sekä kirjallisuutta tukevat asiantuntijahaastattelut.

Öljyn hinnan kehittyminen vaikuttaa ratkaisevasti siihen onko taloudellisesti kannattavaa investoida vaihtoehtoiseen lämmöntuotantotapaan. Useat ratkaisut ovat kannattavampia suurille tiloille tai kuivuriyhtymälle, joilla on isot viljamäärät. Pienillä kuivausmäärillä isot investointikulut syövät energiassa saavutetut säästöt. Erityisesti pienillä tiloilla tavoite vaihtaa öljy halvempaan polttoaineeseen ei välttämättä ole aina taloudellisesti kannattavaa, johtuen isoista pääomakustannuksista. Taloudellisesti kannattavinta saattaisi olla huomion kiinnittäminen energiatehokkaaseen kuivurin käyttöön. Voidaan todeta, että säästöratkaisut, kuten eristäminen ja energiatehokas kuivurin käyttö säästävät energiaa kaikissa tapauksissa ja ovat kannattavia toimenpiteitä kaikenlaisilla tiloilla.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Energy Technology

Johanna Malmi

Transition to more sustainable and energy-efficient heat production in grain drying

Master's thesis

2022

55 pages, 28 figures, 1 table and 3 appendices

Examiners: Docent Aki Grönman and Docent Ahti Jaatinen-Värri

Keywords: Grain drying, heat production, energy efficiency, renewable fuels

In Finland the fuel for heat production in farms' own grain dryers is most often oil. This research explores the possibilities of replacing the use of oil with less polluting solutions. In addition, methods for more energy-efficient drying are considered.

The work deals with different heat production options and different fuel options. It is also evaluated in what kind of farm different solutions could be profitable. Different farms have different kind of needs and resources, so no single clear solution can be found. The problem in many cases is that the power demand of the dryer rarely matches the other heating power demands of the farm. In addition, investments in dryers are often expensive and the dryer's heat requirement is only for a short time of the year. In the work, subsidies granted by the state for investments are discussed, as well as collective drying as an alternative to the farms' own dryers. The research methods are familiarization with the literature of the field and expert interviews that support the literature.

The development of oil prices has a decisive influence on whether it is economically viable to invest in an alternative method of heat production. Several solutions are more profitable for large farms or a dryer group with large quantities of grain. With small drying volumes, large investment costs eat up the savings achieved in energy. Especially on small farms, the goal of changing oil to a cheaper fuel is not necessarily economically viable, due to the large capital costs. It might be the most economically profitable to pay attention to the energy-efficient use of the dryer. It can be stated that energy-saving solutions such as insulation and the use of an energy-efficient dryer save energy in all cases and are profitable measures in all types of premises.

SYMBOLILUETTELO

P	teho	[W]
C_p	ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg°C]
δ	tiheys	[kg/ m ³]
q_v	tilavuusvirta	[m ³ /s]
T	lämpötila	[°C, K]
E	energia	[J]
Q	lämpömäärä	[J]

Dimensiottomat luvut

η	hyötysuhde
--------	------------

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Symboli- ja lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	7
2	Viljankuivaaminen	9
2.1	Viljankuivauksen teoriaa.....	10
2.2	Kuivurin toimintaperiaate	12
2.2.1	Kuivurin energian kulutus sekä uunin teho	15
2.3	Kuivauksen päästöt	19
2.4	Kuivaustekniikat ja lämmöntuotannon vaihtoehdot.....	20
2.4.1	Kylmäilmakuivaus	20
2.4.2	Ilmauunit	21
2.4.3	Radiaattorit.....	22
2.4.4	Aurinkoenergia	24
2.4.5	Aurinkolämmön keräin	26
2.4.6	Lämpöpumput	28
2.4.7	Lämmöntalteenotto	29
2.5	Kuivauksen polttoainevaihtoehdot.....	31
2.5.1	Puupohjaiset polttoaineet ja peltoenergiat	31
2.5.2	Puukaasu	33
2.5.3	Biokaasu.....	35
2.5.4	Rypsiöljy	38
2.6	Kuivausenergian säästämisen vaihtoehdot.....	39
2.6.1	Puintikosteus, kuivauskosteus sekä ulkolämpötilan vaikutus.....	39
2.6.2	Kuivurin eristäminen	40
2.6.3	Kuivauslaitteiden kunto ja säädöt	40
2.7	Valtion myöntämät tuet kuivuri-investointiin	41
2.8	Yhteiskuivaus	41
3	Yhteenveto.....	42

3.1	Kylmäilmakuivaus	43
3.2	Öljypoltin	44
3.3	Biopoltin.....	45
3.4	Kaasupoltin	46
3.5	Radiaattori	47
3.6	Aurinkoenergia.....	48
3.7	Lämpöpumppu	50
3.8	Lämmöntalteenotto	51
3.9	Yhteiskuivaus	52
4	Johtopäätökset	54
	Lähteet	56

Liitteet

Liite 1. Sähköpostihaastattelu Markku Kankare, Arskametalli Oy

Liite 2. Sähköpostihaastattelu Marko Ylitalo, PTE Tekniikka Oy

Liite 3. Sähköpostihaastattelu Olli Rämä, Suomen Viljava Oy

1 Johdanto

Suomessa maatalojen omissa viljakuivureissa käytetään pääasiassa öljyä lämmöntuotannon polttoaineena. Hehtaarisadon kuivaamiseen tarvitaan noin 70 litraa kevyttä polttoöljyä, viljan pintikosteudesta sekä vallitsevista sääolosuhteista riippuen. Vuonna 2020 Suomessa viljeltiin viljakasveja 1 miljoonan hehtaarin alalla. Kuivauksessa käytetyn öljyn kustannukset sekä kuivauksesta aiheutuvat päästöt ovat merkityksellisiä. On tärkeää pohtia öljyn korvaamista kestävämmillä lämmöntuotantokeinoilla vähentääksemme kasvihuonekaasupäästöjä. Samaa tavoitetta edistää polttimen sekä kuivurin energiatehokkuuden lisääminen. Työssä pohditaan keinoja korvata öljyä viljankuivauksessa, huomioiden taloudellinen kannattavuus.

Öljyn korvaamisessa hankalaa on se, että kuivurin vuotuinen käyttötuntimäärä on alhainen sekä kuivauksen tehovaatimus on korkea. Kuivuri vaatii yleensä 300-500 kW lämmitystehoa. Näin suurille lämmitystehoille ei välttämättä löydy käyttöä kuivauksen ulkopuolella, kun asuinrakennuskin harvoin vaatii yli 100 kW lämmitystehoa. Iso sikojen, nautojen tai broilereiden kasvattamo tai kasvihuoneyrittäjä voisi tarvita kuivurin kaltaisia tehoja talvella. Tällaisessa tapauksessa tehokkaan lämmitysjärjestelmän yhdistäminen kuivurin ja muiden tuotantotilojen välillä on kannattavaa, samalla investoinnin takaisinmaksuaika lyhenee. Ellei kuivurin vaatimia tehoja saada yhdistettyä kuivauksen ulkopuolella muuhun lämmöntuotantoon, saattaa siirtyminen toisenlaiseen lämmöntuotantoon olla niin suuri investointi, että se on taloudellisesti kannattamaton.

Tosin öljyn hinnan merkittävä nousu lisää kannattavuutta siirtyä vaihtoehtoihin lämmöntuotantokeinoihin ja -polttoaineisiin. Tämä tekee tutkimuksesta myös entistä ajankohtaisempaa. Maatalojen tarpeet sekä resurssit ovat yksilöllisiä ja se on pyritty ottamaan huomioon työssä. Kokonaan öljyn käytöstä luopumisen vaihtoehtona kannattavaa saattaa olla öljyn käytön vähentäminen esimerkiksi esilämmittämällä kuivurin imuilmaa radiaattorilla, etu-uunilla, lämmöntalteenoton avulla sekä erilaisilla energian säästötoimilla.

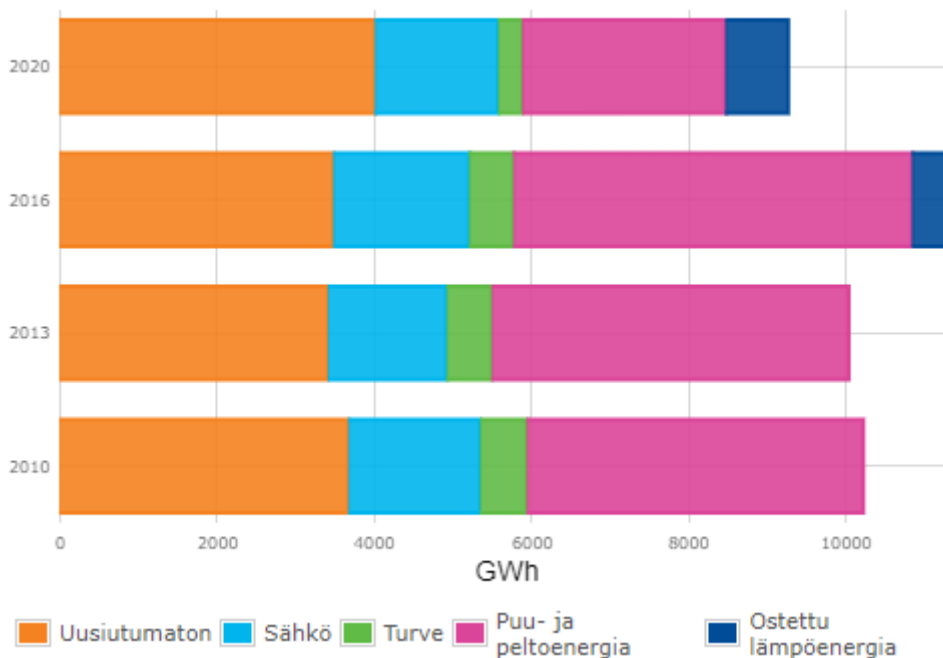
Tavoitteena on löytää vaihtoehtoja öljyn korvaamiseksi sekä sen käytön vähentämiseksi, jotta voidaan lisätä maatalouden taloudellista kannattavuutta sekä vähentää kasvihuonepäästöjä. Maatiloilla on monia alueita, joissa tarvitaan suuria määriä energiaa. Tämä tutkimus

rajataan koskemaan viljankuivaamisessa tarvittavaa lämpöenergiaa. Työssä käsitellään vaihtoehtoisia tekniikoita tuottaa lämpöenergiaa kuivuriin. Erilaiset tekniset ratkaisut on pyritty rajaamaan sellaisiksi, joita maataloilla olisi mahdollista toteuttaa. Polttoaineratkaisut on rajattu sellaisiksi, joihin maataloilta voisi löytyä raaka-aineita, jolloin vaihtoehtoisen polttoaineen käyttöön siirtyminen voisi olla kannattavaa. Osa energiaraaka-aineista ovat sellaisia, joita maataloilla syntyy sivuvirtoina. Lämmöntuotantovaihtoehdoista on koostettu SWOT-analyysijä, jotta vertailu olisi selkeämpää. Tutkimusmenetelminä ovat aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen perehtyminen sekä kirjallisuutta tukevat haastattelut. Haastattelut ovat avoimia haastatteluja ja ne on osoitettu alan asiantuntijoille sekä toimijoille. Keskusteluna toteutetut haastattelut on tehty ProAgrian energia-asiantuntija Jukka Kontulaisen ja puukaasutuslaitoksen kehittäjän Fredrik Ek:n kanssa. Avoimet sähköpostihaastattelut on osoitettu Arskametalli Oy:lle, PTE Tekniikka Oy:lle sekä Suomen Viljava Oy:lle ja nämä sähköpostihaastattelut löytyvät liitteistä.

2 Viljankuivaaminen

Suomessa viljellään viljaa noin 1 miljoonaa peltohehtaaria. Luku on pysynyt tässä mittaluokassa vuosia (Vilja-alan yhteistyöryhmä VYR 2021). Satoisuus vaihtelee vuosien välillä, laskennassa usein käytetään keskiarvona 3 500 kg viljaa hehtaarilta ja 4 000 kg pidetään satotavoitteena.

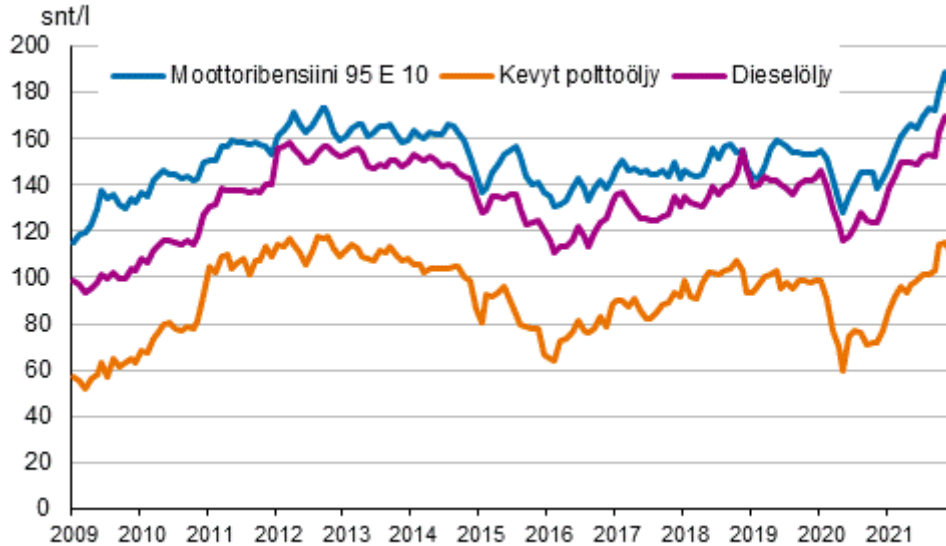
Luken maatalouslaskennan tietojen mukaan maa- ja puutarhataloudessa kului vuonna 2020 energiaa yhteensä 9 261 GWh. Kuvassa 1, vuonna 2020 uusiutumaton energialähde (4 009 GWh) sisältää moottoripolttoöljyn, lämmityspolttoöljyn, raskaan polttoöljyn ja polttoöljyn viljankuivaukseen (917 GWh). Sähköä kului 1 567 GWh. Puu- ja peltoenergiaa kului 2 584 GWh, josta 2 400 GWh oli metsähaketta. (Luke 2022.) Bioenergiaa käytetään suhteellisen paljon maa- ja puutarhatalouden lämmöntuotannossa. Kuitenkin viljan kuivauksessa polttoöljyn käyttö on sinnitellyt vahvasti.



Kuva 1. Maa- ja puutarhatalouden energiakulutus (Luke 2022).

Vuonna 2016 maaseudun tulevaisuus kirjoitti, miten siirtyminen kotimaiseen energiaan viljankuivauksessa on hidastunut ja biouunien kysyntä lopahtanut, johtuen halvasta öljyn hinnasta (Niittymaa 2016). Kuvassa 2 näkyy, että kevyen polttoöljyn hinta on ollut matala

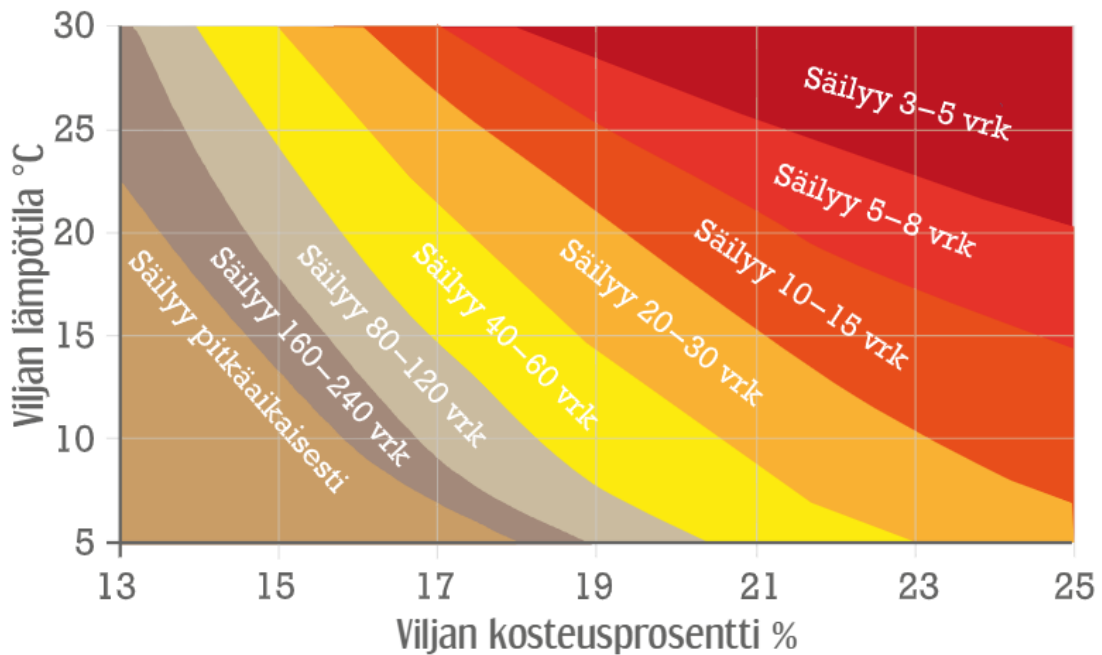
vuosina 2016 ja 2020. Kuitenkin vuonna 2021 ja 2022 kevyen polttoöljyn hinta on ollut nopeassa nousussa. Tämä saattaa kiihdyttää siirtymistä toisenlaiseen lämmöntuotantoon.



Kuva 2. Tärkeimpien öljytuotteiden kuluttajahinnat (Tilastokeskus 2022a).

2.1 Viljankuivauksen teoriaa

Viljan säilymisaika riippuu viljan kosteudesta sekä varastointilämpötilasta, kuten on havainnollistettu kuvassa 3. Suomessa yleisin viljan säilöntätapa on lämminilmakuivaus alle 14 %:n, joka on myös viljan kauppakosteus. Se on turvallinen kosteusprosentti, jossa vilja säilyy pitkäaikaisesti. Monilla maatiloilla viljaa kuivataan vielä vähän kuivemmaksi, siltä varalta, että vilja sitoo varastoinnissa itseensä uudelleen kosteutta. Myyntivaiheessa kosteuden on oltava 14 % tai alle. (Jokiniemi 2016, 14.)



Kuva 3. Turvallinen viljankosteus varastointia varten on alle 14 %:n kosteus (Ahokas & Jokiniemi n.d., 3).

Viljan kuivaaminen kuivurissa perustuu ilman kykyyn sitoa kosteutta. Lämmitessä ilman tilavuus ja entalpia kasvaa ja ilman suhteellinen kosteus pienenee, jolloin kapasiteetti sitoa vettä kasvaa. Lämmitetty ilma puhalletaan viljan joukkoon ja sitoessaan viljasta kosteutta sen suhteellinen kosteus kasvaa. Ilman suhteellisella kosteudella tarkoitetaan ilmassa olevan vesihöyryn osapaineen suhdetta tietyssä lämpötilassa olevan kylläisen vesihöyryn paineeseen. Viljaa kuivattaessa ilman lämpötila laskee ja ilman suhteellinen kosteus kasvaa, kunnes ilman kyllästyspiste saavutetaan tai ilman suhteellinen kosteus saavuttaa tasapainotilan viljan kosteuspitoisuuden kanssa. (Jokiniemi 2016, 16-18.)

Jyvien välillä on vain pieni ilmatila, jolloin kosteuden tasapainotila on nopeasti saavutettu, ellei haihtunut vesi kulkeudu pois kuivurin kennoista. Ilmavirran tehtävänä onkin sekä painegradientin luominen, että vesihöyryn kuljettaminen pois jyvien läheisyydestä. Sillä kun kosteuden tasapainotila on saavutettu viljan ja ilman välillä, ei kuivumista enää tapahdu. Tällöin diffuusio jyvistä ilmaan on yhtä suuri kuin ilmasta jyvään. (Jokiniemi 2016, 17.)

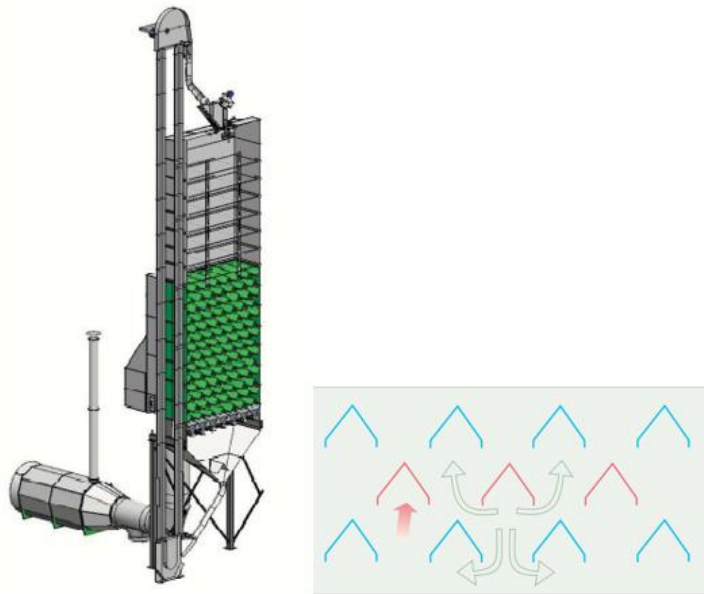
Kun kuivuriin tulevalla kuivausilmalla on alhainen suhteellinen kosteus, niin viljan ja ilman välinen tasapainokosteus on myös matala. Tällä voidaan varmistua siitä, että kuivauksella saavutetaan riittävän alhainen kosteusprosentti varastointia varten. (Jokiniemi 2016, 18-19.)

Poistoilman suhteellinen kosteus voi nousta 100 %:iin varsinkin kuivauksen alkuvaiheessa. Kun vilja on jo osittain kuivunut, ei poistoilman suhteellinen kosteus nouse enää näin korkeaksi ja poistuva vesimäärä per ilmakilo pienenee eli kuivauksen tehokkuus laskee. Esimerkiksi kuivatessa viljaa, jonka kosteus on 18 %:ia, poistoilma kyllästyy noin 85 %:iin. (Järvenpää & Kivinen 1988, 5.)

2.2 Kuivurin toimintaperiaate

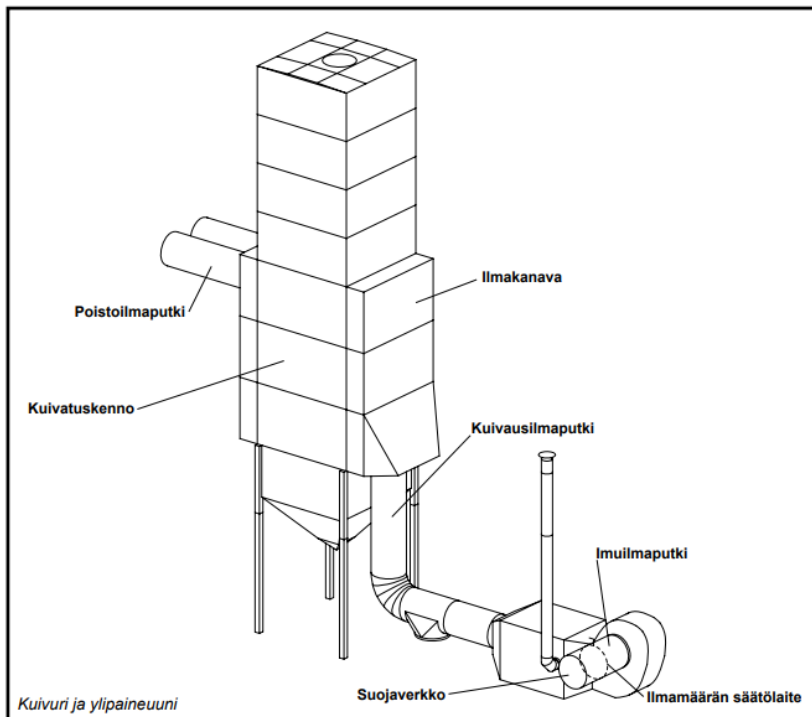
Erilaisia kuivurityyppejä ovat erä-, varasto-, siilo-, säkki-, verkkolava-, rumpukuivuri sekä jatkuvatoiminen kuivuri. Eräkuivuri on yleisesti käytetty Suomessa. (Palva et al 2005, 36.) Eräkuivurissa vilja valuu kuivurikennojen läpi, jonka jälkeen elevaattori nostaa viljan ylös kuivurin kennojen yläpäähän, josta se valuu uudelleen kennojen läpi alas syöttölaitteelle. Vilja kiertää kuivurissa näin, kunnes se on riittävän kuivaa. Elevaattorissa on esipuhdistaja, joka puhdistaa tomua, kuoria sekä muita epäpuhtauksia viljasta. Jotta optimoidaan energiataloutta sekä tasaista kuivumista, viljan olisi hyvä kiertää yksi kierros tunnissa. Kuvan 4 kuivurissa on kolme kuivauskennoa. Kennot ovat moduulirakenteisia, jolloin näitä voidaan pinota päällekkäin haluttu määrä. Moduulien lisäämisellä kasvatetaan kuivauskapasiteettia. Kuvassa 4 kennojen vasemmalla puolella on elevaattori, joka kuljettaa viljan esipuhdistajan kautta takaisin kuivauskennoihin. Vihreällä värillä on kuvattu kennojen ”harjoja”. Kennojen ja harjojen taustapuolella on lämminilmakotelo ja etupuolella on kylmäilmakotelo (ei kuvattu tässä havainnekuvassa). Lämmin ilma johdetaan puhaltimen avulla lämminilmakoteloon. Lämminilmakotelosta lämmin ilma jakautuu kennoissa oleviin lämminilmaharjoihin. Lämminilmaharjoista kuivauskykyinen ilma levittyy alaspäin valuvan viljan joukkoon ja ohjautuu lopulta kylmäilmaharjoihin ja niitä pitkin kylmäilmakoteloon ja sieltä poistoilmaputkeen. Harjat kulkevat kennon läpi pitkittäissuunnassa. Lämminilmaharjat ovat avonaisia lämminilmakotelon puoleisesta päästä, mutta tukittu kylmäilmakotelon puoleisesta päästä, jolloin lämmin ilma ei pääse ohjautumaan suoraan harjakanavan läpi kylmäilmakoteloon, vaan se kulkeutuu ensin viljan joukkoon. Päinvastoin kylmäilmaharjat ovat tukittu lämminilmakotelon puolelta ja ovat avoimia kylmäilmakotelon puolelta, jolloin viilentynyt ilma pääsee pois kuivurista kylmäilmaharjoja pitkin poistoputkeen. Harjojen toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvan 4 oikealla puolella. Poistoputkesta poistuvan ilman lämpötila saattaa olla 25–35 astetta sekä suhteellinen kosteus lähelle 100 %:ia kuivauksen alkuvaiheessa. Kun vilja on kuivunut selvästi alle 20 %:n kosteuteen, kohooa poistoilman lämpötila ja

suhteellinen kosteus laskee. Kuivurin automatiikka seuraa poistoilman lämpötilaa ja/tai suhteellista kosteutta. Kun vilja on riittävän kuivaa, on viljaa vielä jäähdytettävä. (Koskiniemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 8-9.)

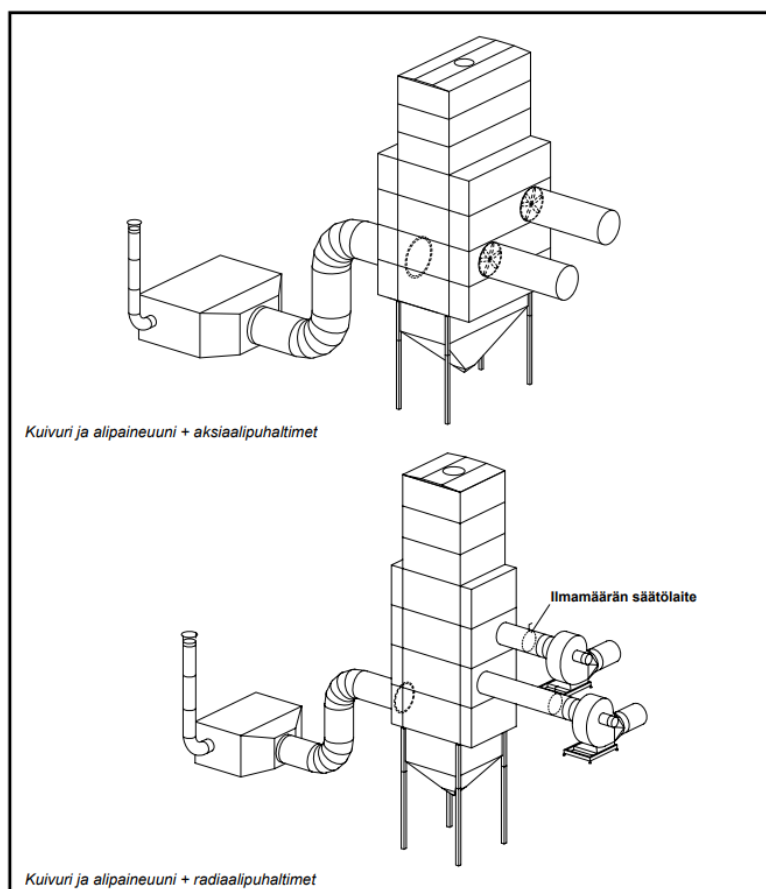


Kuva 4. Vasemmalla perinteinen eräkuivuri. Kuivurin oikealla puolella on havainnollistettu kuivurin kennon harjojen toimintaa. (Koskiniemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 8-9.)

On olemassa yli- ja alipainekuivureita (kuvat 5 ja 6). Ylipainekuivauksessa lämmin ilma puhalletaan paineella kuivurin lävitse ja alipainekuivauksessa kuivurin poistoilmapuolella olevat puhallinyksiköt aiheuttavat alipaineen ja ilmavirtauksen kuivurin lävitse. (Antti-teollisuus 2020, 4-5.) Käytössä on yleisesti keskipakopuhaltimet, jotka pyörivät sähkömoottorin avulla. Ilmavirtaa on mahdollista säätää kuristamalla tuloilmakanavaa tai säätämällä puhaltimen pyörimisnopeutta taajuusmuuttajalla. Kuristussäätö on halpa, muttei energiatehokas, sillä puhaltimen tehontarve kasvaa, kun kuristusta lisätään. Taajuusmuuttaja on energiatehokkaampi vaihtoehto, näin säätämällä puhaltimen ei tarvitse käydä täydellä teholla koko ajan.



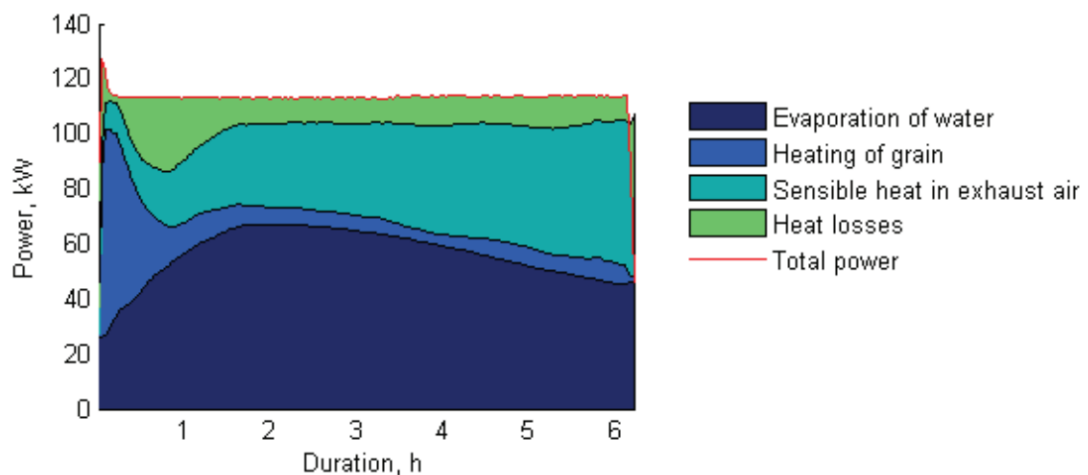
Kuva 5. Kuivuri sekä ylipaineuuni (Antti-Teollisuus 2020, 4).



Kuva 6. Kuivuri ja alipaineuuni (Antti-Teollisuus 2020, 5).

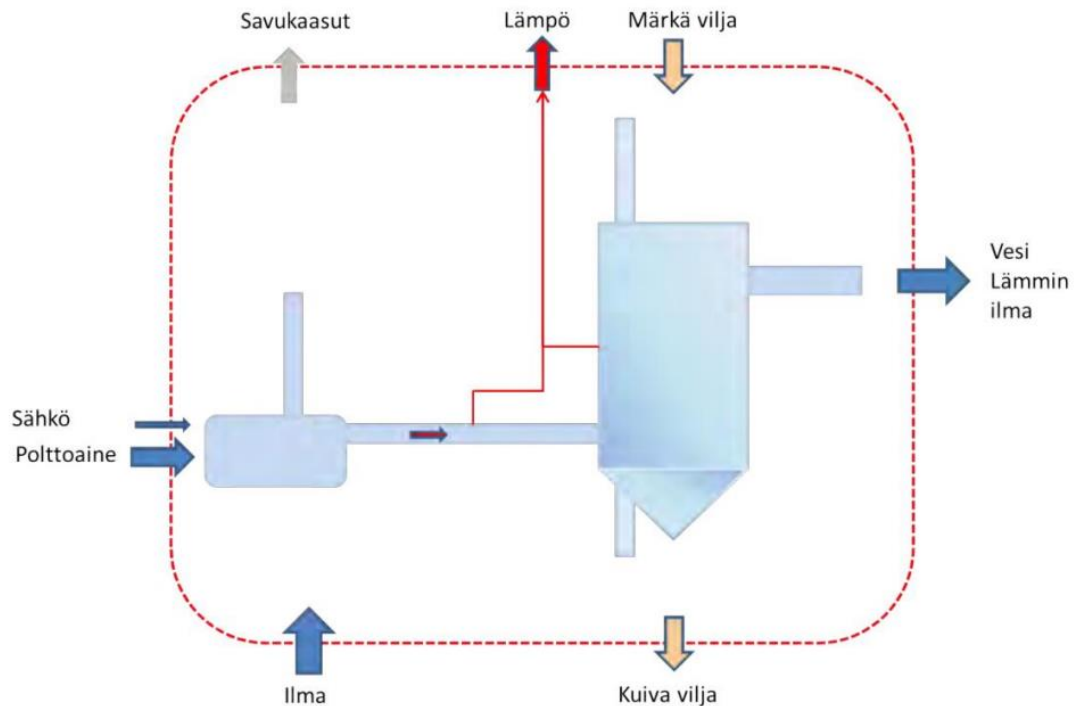
2.2.1 Kuivurin energian kulutus sekä uunin teho

Lämminilmakuivureissa noin 92-95 %:a energian kulutuksesta aiheutuu kuivausilman lämmittämisestä. Loput energiasta on elevaattorin sekä puhaltimen tarvitsemaa sähköenergiaa. Uunissa tuotettu lämpö puhalletaan kuivuriin, vain noin puolet tästä lämmöstä kuluu veden haihduttamiseen. Osa lämmöstä poistuu uunin häviöinä, osa poistuu savukaasujen mukana, osa kuivurin tuloputken ja kuivurin lämpöhäviöinä ympäristöön. Lämpöä kuluu myös viljan lämpenemiseen sekä osa poistuu poistoilman mukana. Kuivurissa vilja lämpenee lähes kuivausilman lämpötilaan. Kuivauksen jälkeen viljan säilyvyyden takia se on jäähdytettävä, jossa vapautuu viljaan sitoutunut lämpö. Jokiniemi on havainnollistanut energian jakaantumista eräkuivurissa väitöskirjassaan kuvalla 7. Kuvan mittauksissa viljana on käytetty ohraa. (Jokiniemi 2016, 29.)



Kuva 7. Lämpöenergian jakautuminen ohran kuivauksessa (Jokiniemi 2016, 29).

Kuivurissa on oltava suhteellisen suuret lämmitystehot. Kun veden lämpötilaa nostetaan yksi aste, se vaatii energiaa $4,2 \text{ kJ/kg}_{(\text{H}_2\text{O})}$. Höyrystymisessä puhutaan faasimuutoksesta, joka vaatii paljon enemmän energiaa kuin veden lämmittäminen. Veden höyrystyessä ominaishöyrystymislämpö on $2260 \text{ kJ/kg}_{(\text{H}_2\text{O})}$, normaalipaineessa (Hautala 2007, 114-115.)



Kuva 8. Massa- ja energiavirrat (Jokiniemi 2016, 22).

Ilmaa tarkasteltaessa kuivaa ilmaa tulee kuivuriin sama määrä kuin sieltä poistuu (kuva 8). Veden tasevirtaa tarkastellessa, kuivuriin tulee kosteutta viljan sekä ilman mukana. Viljan kosteudesta osa siirtyy ilmaan kuivauksen aikana. Ilman mukana poistuva kosteus voidaan määrittää kuivuriin tulevan ja poistuvan ilman tilan avulla. Näin voidaan myös määrittää kuivan viljan massa, vähentämällä märän viljan massasta, ilman mukana, poistunut kosteus. (Hautala 2007, 133.)

Puintihetkellä jyvässä on kolmenlaista kosteutta. Fysikaalis-mekaanisesti sitoutunut vesi eli jyvän pinnassa tai suurissa kapillaareissa oleva vesi vaatii veden höyrystymisenergiaa verran energiaa haihtuakseen. Tietyissä tapauksissa kapillaarit ovat kapeita, jolloin irrotusenergiaa voidaan tarvita lisäksi 0-800 kJ/kg_(H₂O). Eli fysikaalis-kemiallisesti sitoutuneen veden haihduttamiseen tarvitaan energiaa 2260 – 3060 kJ/kg_(H₂O). Kuivauksen toisessa vaiheessa poistetaan pääasiassa kolloidista paisuntavettä, joka on osmoottisesti sitoutunut jyvään. Höyrystymisenergiaa lisäksi energiaa tarvitaan noin 1800 kJ/kg_(H₂O) kolloidisen paisuntaveden irrottamiseen jyvistä. Eli veden haihduttamiseen tarvitaan yhteensä energiaa 4060 - 4860 kJ/kg_(H₂O). Kemiallisesti jyvään sitoutunutta vettä eli kidevettä ei tarvitse poistaa. (Koski- niemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 7.)

Energiantarve on kuitenkin käytännössä aina suurempi kuin edellä kuvattu veden haihduttamiseen tarvittu energiamäärä. Tämä johtuu muun muassa siitä, että polttoaine ei pala täydellisesti uunissa, öljypolttimen hyötysuhde on parhaimmillaan 90 % ja hakepolttimen 80 %, vilja lämpenee, lisäksi uunin vaippa, lämmönsiirtoputken pinta sekä kuivurin pinnat ovat vallitsevaa ilmaa lämpimämpiä, joten syntyy lämpöhäviöitä. Nämä tekijät huomioiden lämpöenergiaa kuluu viljankuivauksessa 4 500 – 7 000 kJ/kg_(H₂O). Todellinen määrä riippuu viljan alkukosteudesta sekä kuivurin tyypistä, kunnosta, säädöistä, eristeistä, jne. Mainittu energiamäärä vastaa 100-160 grammaa öljyä vesikiloa kohden. (Koskiniemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 7-8.)

Poistettava vesimäärä voidaan laskea kaavalla 1.

$$(wet_a - wet_b)/(100 - wet_a)m \quad (1)$$

Jossa,

wet_a = viljan alkukosteus, %

wet_b = viljan loppukosteus, %

m = kuivaviljan massa, kg

Kuivauslämpötila ja kuivausilman määrä määrittävät uunin tehon (kuva 9). Mitä suurempi ilmamäärä, sitä nopeammin vilja kuivuu. Ensin vilja kuivuu pinnalta. Tämän jälkeen jyvän sisällä oleva kosteus alkaa haihtua, tämä kuivausvaihe on edellistä hitaampi. Varsinkin tässä jälkimmäisessä vaiheessa kuivaus ei ole niin tehokasta ja kuivauksen energiatehokkuus huononee. (Ahokas & Jokiniemi n.d., 5.)

Teho, joka uunilta vaaditaan ilman lämmittämiseen, voidaan laskea seuraavalla kaavalla 2.

$$P_{air} = C_p \delta q_v \Delta T \quad (2)$$

Jossa,

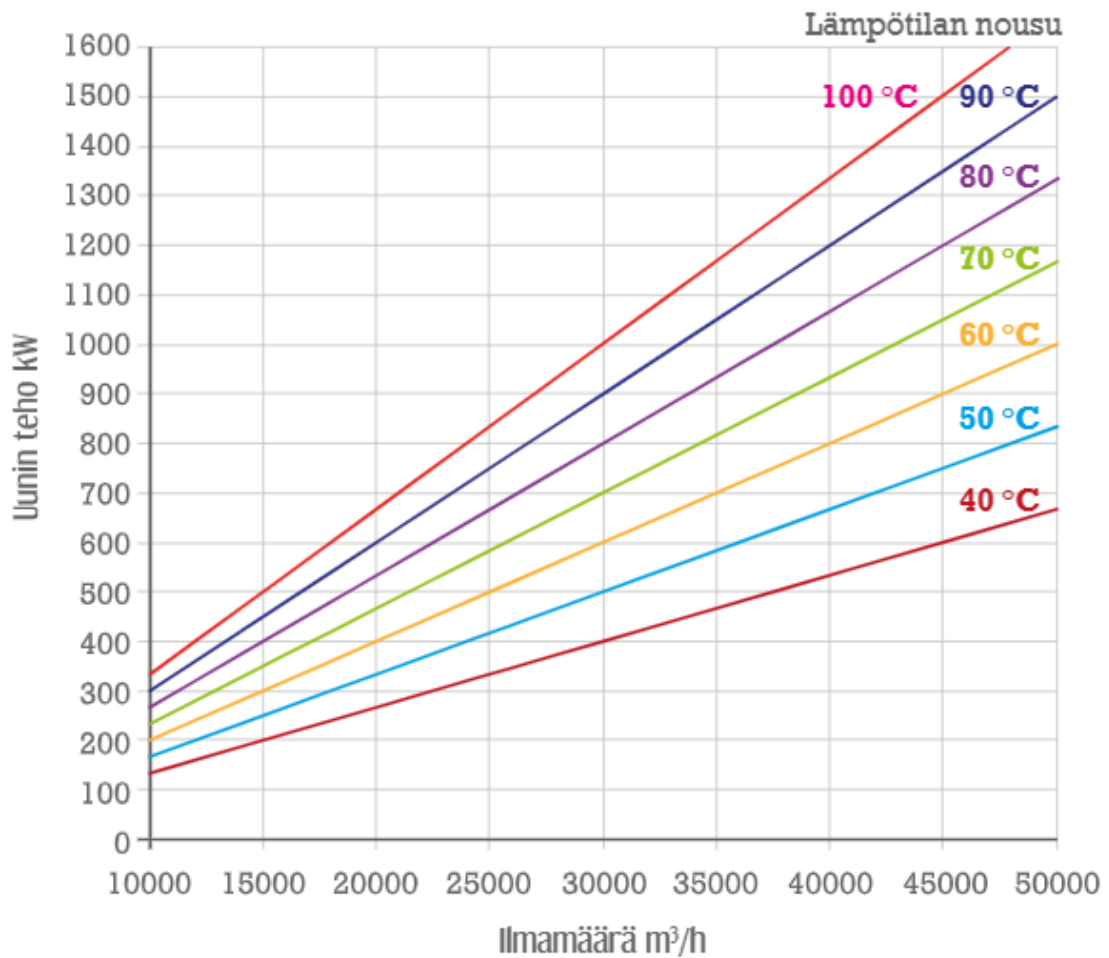
P_{air} = uunilta vaadittava teho, kW

C_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1.01 kJ/kg°C

δ = ilman tiheys, 1.2 kg/m³

q_v = ilman tilavuusvirta, m³/s

ΔT = ilman lämpötilan muutos, °C (Jokiniemi 2016, 30).



Kuva 9. Uunin teho määritetään kuivausilman lämpötilan sekä puhallettavan ilmamäärän avulla. (Ahokas & Jokiniemi n.d., 6.)

Kuivurin energiatehokkuutta voidaan arvioida jakamalla veden haihduttamiseen käytetty energia (E_{H2O} , J) viljan joukkoon syötetyn lämmön määrällä (Q , J) kaavan 3 mukaisesti.

$$\eta = E_{H2O} / Q \quad (3)$$

Energiatehokkuutta voidaan arvioida myös tuloilman ($T_{sisään}$, °C), poistonilman (T_{ulos} , °C) ja ulkoilman (T_{ulko} , °C) lämpötilaerojen perusteella, kaavalla 4.

$$\eta = (T_{sisään} - T_{ulos}) / (T_{sisään} - T_{ulko}) \quad (4)$$

Yllä mainittu yhtälö perustuu siihen, että ilman lämpötila laskee, kun se absorboi kosteutta. Adiabaattisessa kuivausprosessissa ilman lämpötilan ja kosteuden muutos tapahtuu adiabaattisen kyllästysviivan mukaisesti psykrometrisessä diagrammissa, jos energiaa ei

siirretä systeemien tai ympäristön välillä. Osa lämpöenergiasta sitoutuu kuitenkin viljaan, joka jo vääristää tulosta. Kylmäilmakuivauksessa, jossa ulkoilma itsessään kuivaa viljaa, voidaan tällä kaavalla päästä 100 %:n hyötysuhteeseen. Viljan kosteuspitoisuuden laskiessa myös ilman suhteellinen tasapainokosteus pienenee. Energiatehokkuutta rajoittava tekijä on tällöin suhteellinen tasapainokosteus poistoilman kyllästymisen sijaan. (Jokiniemi 2016, 20-21.)

2.3 Kuivauksen päästöt

Lämmöntuotannossa syntyviä päästöjä voidaan arvioida esimerkiksi oletuspäästökertoimien avulla. Kevyen polttoöljyn oletuspäästökerroin on 261,0 CO₂ kg/MWh tai 73 CO₂t/TJ. Kun taas biopolttoaineiden oletuspäästökerroin katsotaan olevan nolla, sillä näitä hiilidioksidipäästöjä ei lasketa Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästömäärään. (Alakangas et al 2000, I1). Myös sähkölle on määritelty oletuspäästökertoimia riippuen siitä, miten sähkö on tuotettu. Suomen keskimääräinen sähköntuotannon päästökerroin vuonna 2020 oli 89 CO₂ kg/MWh ja liukuva 5 vuoden keskiarvo 125 CO₂ kg/MWh. Tämä on laskettu viiden vuoden liukuvana keskiarvona. (Tilastokeskus 2020.) Käytettäessä lämpöpumppua, jaetaan tämä päästökerroin pumpun lämpökertoimella, jolloin saadaan lämpöpumpun päästökerroin.

Puuta voidaan perustella hiilineutraalina polttoaineena seuraavalla ajatusketjulla. Energiakäyttöön kaadetun puun hiili päätyy ilmakehään viimeistään kahden vuoden päästä korjuusta. Metsässä lahoavan puun hiili vapautuu suurimmaksi osaksi 30-60 vuoden kuluessa. Sadan vuoden kuluttua oksan sisältämästä hiilestä on jäljellä muutama prosentti, kannosta 20-30 prosenttia. Kun näitä kahta vaihtoehtoa verrataan, voidaan korjatulle puulle laskea maaperän hiilivaraston pienentymisestä hiilipäästö, joka on suurimmillaan puun energiakäytön aloituksessa. Tässä vaiheessa lahoamaan jätetty puu muodostaa hiilivaraston metsässä. Kuitenkin puun lahotessa hiilivarasto pienenee ja samalla energiaksi korjatun puun hiilipäästö voidaan ajatella pienenevän. Metsämaan hiilivarastoja ylläpidetään niin, että korjuun yhteydessä metsään jätetään biomassaa korjaamatta, jolloin turvataan metsän monimuotoisuutta. Vähintäänkin metsään jätetään järeitä lahopuita, latvuksia ja kantoja. (Äijälä et al 2010, 10-11.)

Muita polttoaineita poltettaessa syntyviä päästöjä ovat mm. rikkidioksidi- ja typpioksidipäästöt. Nämä lisäävät maaperän ja vesistön happamoitumista. Polttoaineen palaessa pieni

osa rikkidioksidista jää tuhkaan ja suurin osa kulkeutuu savukaasujen mukana piipusta ulos. (Ilmatieteen laitos 2020.) Typpioksidien syntyä voidaan hallita parhaiten hyvällä polttotekniikalla, joka vaikuttaa enemmän kuin polttoaineen valinta. Paras tapa hillitä rikkidioksidi ja typpioksidipäästöjä onkin valita hyvän polttotekniikan kattila. Lisäksi voi valita polttoaineita, joissa on luonnostaan vähän rikkiä tai sitä on vähennetty teknisin keinoin tai lisätä savukaasujen puhdistusta, muttei sitä lain mukaan vaadita kyseisissä kokoluokissa. Varsinkin puun poltossa syntyy myös pienhiukkasia, joilla on merkitystä ihmisten terveyteen. Mainittakoon myös, että isoilla sähköä tuottavilla kattilalaitoksilla on yleensä tehokkaampi polttotekniikka sekä savukaasujen suodatus kuin pienillä maatilojen lämmityslaitteistoilla

2.4 Kuivaustekniikat ja lämmöntuotannon vaihtoehdot

Kylmäilmakuivaus on vaihtoehto lämminilmakuivauksen rinnalla. Lämminilmakuivauksessa uunivaihtoehtoja on öljy-, bio- ja kaasu-uuni. Erilaisia tukilämmönlähteitä uunin rinnalle voidaan asentaa, kuten radiaattori, aurinkoenergian keräimiä, lämpöpumppu tai lämmöntalteenotto poistoilmasta.

2.4.1 Kylmäilmakuivaus

Kylmäilmakuivaus perustuu ilman luontaiseen kuivauskykyyn. Tekniikka perustuu siihen, että kun riittävän suuri määrä ilmaa kulkeutuu viljamassa läpi, se kuivattaa viljan. Jos ilman suhteellinen kosteus on 50 %, voi 10 asteinen ilma sitoa vettä noin 2 g/m^3 ja 20 asteinen ilma noin $2,5 \text{ g/m}^3$. Lavakuivuri vaatii paljon käsityötä, mutta nykypäivän ratkaisuna on otettu käyttöön kuivaussiilot. (Karelia-ammattikorkeakoulu n.d., 21.) Kuivaussiilot eivät ole yhtä energiatehokkaita kuin lavakuivurit, sillä niissä on jatkuva viljan sekoitus, jolla estetään viljan kuorettumista. Kuivaussiilossa käytetään lisäksi keskipakopuhaltimia. (Karelia-ammattikorkeakoulu n.d., 24.)

Hyvissä sääolosuhteissa kuivaussiilo on kustannustehokas ratkaisu. Sen hyviä puolia on, ettei se rajoita pintikapasiteettia, sopii myös viljan tuuletukseen ja jäädytykseen sekä mahdollistaa lisälämmön käytön tarvittaessa. (Karelia-ammattikorkeakoulu n.d., 26.) Kylmäilmakuivauksessa ei käytetä lämmön lähteenä öljyä, joten kylmäilmakuivaukseen siirtyminen tarjoaisi ratkaisun vähentää öljyn käyttöä viljankuivauksessa. Kylmäilmakuivaus ei

kuitenkaan ole kovin tehokas ja nopea tapa kuivata viljaa. Se ei ole toimiva kosteassa säässä ja kauppakelpoiseen vilja kosteuteen ei päästä kaikissa olosuhteissa. Hyvinä puolina ovat matalat investointi- ja energiakustannukset, suuri vastaanottokapasiteetti ja kuivauslaarien toimiminen myös viljan varastotilana. (Palva et al 2005, 34.)

2.4.2 Ilmauunit

Ilmauuni tuottaa lämmintä ilmaa, joka puhalletaan kuivuriin. Ilmauuni voi olla joko kiinteä tai konttimallinen. Jälkimmäinen on kätevämpi siinä mielessä, että se on siirrettävissä ja helpommin hyödynnettävissä myös kuivausajan ulkopuolella, vaikka kasvihuoneessa tai rakennustyömaalla. (Koskiniemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 12-13.)

Kaupallisia ilmauunimalleja biopolttimella on saatavissa 300-650 kW:n kokoluokassa. Kuivurin käyttö toimii kuten öljykäyttöisessä kuivurissa. Mutta jäähdytysaika on pidempi kuin öljyuunilla, johtuen biopolttimen hehkulämmöstä. (Karelia-ammattikorkeakoulu n.d., 10.) Biouuni on öljyuunia suuremman kokoinen, jolloin se vaatii suuremman pannuhuoneen. Konvektori on 1,5-kertainen ja tulipesä on suurempi, koska bioliekki tarvitsee isomman tilavuuden. Tarvitaan myös biopolttoaineen syöttöjärjestelmä sekä tuhkatila. Tuhkaa syntyy etenkin, jos käytetään esipuhdistajan jätettä. Biouunissa on myös savukaasuimuri, jota ohjataan alipainetunnistimen ja taajuusmuuntajan avulla. Alipaine parantaa palamista sekä on palo-turvallisuustekijä. Tuli ei näin pääse polttoainetilaan. (Koskiniemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 12.) Sähköposti kirjeenvaihdossa Arskametalli Oy:n tuotanto- ja suunnittelupäällikkö Markku Kankareen kanssa, karkeaksi hinta-arvioksi kiinteälle biopolttolaitokselle polttoainevarastoineen asettui 100 000 € (alv 24 %) (Liite 1). Myös konttiratkaisulle muutostöiden kanssa hintalappu oli hyvin samaa luokkaa. Arskametalli Oy myy kahdenlaista biouunia. Ecoheater toimii kuivurin lämmönlähteenä yksinään, sen maksimiteho on 650 kW. Etu-uuni on uunin lisälaitte, sijoitettuna nimensä mukaisesti öljyuunin eteen. Kuivausilma imetään savukaasuineen etu-uunista öljyuunin puhaltimien avulla öljyuunin lämminvaihtimien läpi. Etu-uunilla varustetun kokonaissysteemin maksimiteho on 400 kW. Sen avulla on mahdollista säästää öljyn kulutuksessa, koska osa lämmöstä tuotetaan etu-uunissa (kuva 10). (Kankare 2022.) Pellettiratkaisu voisi olla halvempi toteutus kuin hakepolttolaitos, jos pellettien varastointi toteutetaan viljasiiloon, josta pelletit tuodaan spiraalilla polttimelle. Tällöin voidaan jättää hakevarasto rakentamatta. (Kankare 2022.)



Kuva 10. Arskametallin etu-uuni öljyuunin lisälaitteena (Arskametalli Oy 2022).

Kaasupolttimella saadaan paljon lämmitystehoa sekä hyötysuhde on hyvä. Arskametalli myy kaasupolttimia laajalla tehoalueella eli 200-32 000 kW, joiden polttoaineena voi käyttää nestekaasua, maakaasua ja biokaasua. Tehoiltaan esimerkiksi 800 kW:n kaasupolttimen kustannus on noin 24 000 €. Tämän lisäksi tarvitaan kaasuväylä. Kankare kertoo, että yleisimmin viljankuivauksessa on käytössä nestekaasu. Maakaasulla on Suomessa suppea jakeluverkosto. Biokaasun kohdalla kustannuksia nostaa polttimen venttiilistö, joka täytyy olla ruostumatonta terästä, sillä biokaasun rikkivedyt reagoivat useimpien metallien kanssa aiheuttaen korroosiota. (Kankare 2022.)

2.4.3 Radiaattorit

Tarvittu lämpö voidaan tuottaa radiaattorilla kokonaan tai radiaattori voidaan asentaa lämmöntuotannon tueksi esilämmittämään öljyuunin imuilmaa. Nestekiertoinen radiaattoriratkaisu voi olla vesi-, glykoli-, termiera- tai freziutkierto. (Koskiniemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 19.) Kuvassa 11 lämpökeskuskattilalta lämpö johdetaan nestekiertoa kanaalia pitkin kuivurille.



Kuva 11. Ylhäällä vasemmalla on lämpökeskuskattila ja alhaalla vasemmalla lämpökeskus kuvattuna ulkoapäin. Oikeanpuoleisessa kuvassa on lämpökanaali, jota pitkin lämpö kuljetetaan kuivurille. (Karelia-ammattikorkeakoulu n.d., 16.)

Radiaattori sijoitetaan kuivurin puhaltimen imuaukon etupuolelle, jossa se lämmittää imuilmaa. Radiaattorin ja kuivurin imuaukon väliin tulisi sijoittaa imukartio, joka vähentää ilmapyörteitä. Mitä suurempi on kiertävän nesteeseen ja ilman lämpötilaero, sitä pienempi radiaattori riittää lämmön luovuttamiseen (Karelia-ammattikorkeakoulu. n.d., 17). Meno- ja paluuvien lämpötilaero voi olla 20-30 °C:tta (Koskiniemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 14).

Kiertävän nesteeseen lämpötilan rajoina ovat useimmiten kattilatermostaatin raja-arvot sekä lämminvesikattiloiden käyttöraja noin 100 °C:tta, jolloin käytännössä kattilan käyttölämpö pidetään välillä 90-100 °C:tta. Lämpökanaalin materiaalina pex-muoviset putket kestävät maksimissaan 80 °C:tta jatkuvaa lämpöä. Tämän lämpöisellä nesteellä on kuitenkin hankala saavuttaa haluttua ilman kuivauslämpötilaa (vähintään 60 °C:tta). Osa lämmöstä häviää lämpöhäviöinä lämpökanaalissa, keskimäärin kanaalin lämpöhäviönä voi käyttää arvoa 15 W/m. (Kontulainen 2022.) Nesteeseen maksimilämpötilaa voidaan toki nostaa paineistamalla, esimerkiksi 4 bar:n paineessa maksimilämpötila on noin 120 °C:tta. Jos painetta on 6 bar:ia, niin maksimilämpötila on 150 °C:tta. Lämpökanaaleissa taipuisat teräsputket kestävät nesteeseen lämpötiloja 160 °C:een asti. (Koskiniemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 14.) Korkeampi lämpötila sekä paine vaatii kestävämpiä materiaaleja ja lisää merkittävästi materiaalikustannuksia, joka pienentää investoinnin kannattavuutta (Karelia-ammattikorkeakoulu n.d., 20.)

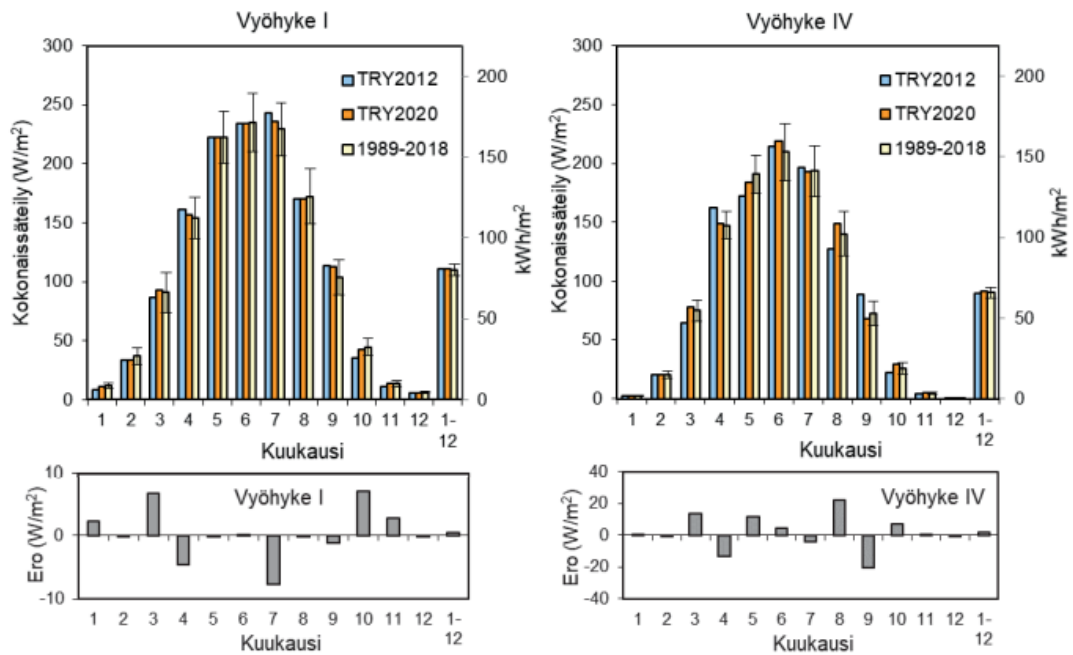
Muiden lämmitettävien tilojen lämmöntarpeen ollessa selvästi pienempi kuin kuivurin tehontarve, voidaan lämmityskattilan teho mitoittaa 10-30 % suuremmaksi kuin ympärivuotinen lämmitystehontarve ja lisätä järjestelmään vesivaraaja. Vesivaraaja voi toimia lämpöakuna viljan jäähtymisen aikana. Kun seuraavan erän kuivaus alkaa puretaan ladattu lämpö radiaattoriin. Tällöin ei tarvitse katkaista lämpökattilan lämmöntuotantoa jäähtymisen ajaksi. Jollei järjestelmässä ole vesivaraajaa, yksi vaihtoehto on ajaa biopolttimen lämmön tuotanto alas jo ennen kuivauksen loppumista. Tällä suojellaan sitä, ettei poltin pääse ylikuumenemaan. Toisaalta voidaan myös pidentää jäähtymisaikaa niin, että ensin jäähdytetään biokattila kuivuripuhaltimella ja vasta sen jälkeen jäähdytetään viljaa. Täysin lämminilma-kuivurin tarvitseman lämpöenergian luovuttaminen radiaattorin avulla on jokseenkin hankalaa tai se on erityisen suuri investointi. (Koskiniemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 15.)

2.4.4 Aurinkoenergia

Auringon kokonaissäteilyllä tarkoitetaan suoraan auringosta tulevaa säteilyä sekä hajasäteilyä. Hajasäteily on heijastunut pilvistä, ilmakehästä tai maasta. Suomessa hajasäteilyn osuus säteilystä on noin puolet. Aurinkopaneeli pystyy hyödyntämään yhtä tehokkaasti sekä suoraa säteilyä että hajasäteilyä. Merkityksellistä kokonaissäteilylle on paneelien sijoittelu sekä kallistuskulma. Suomessa kokonaissäteilyn määrä vastaa Pohjois-Saksan kokonaissäteilyn määrää. Mutta Suomessa säteily keskittyy enemmän kesäkuukausille, jolloin kokonaissäteily vaihtelee enemmän vuodenaikojen mukaan kuin Pohjois-Saksassa. (Motiva 2022a.)

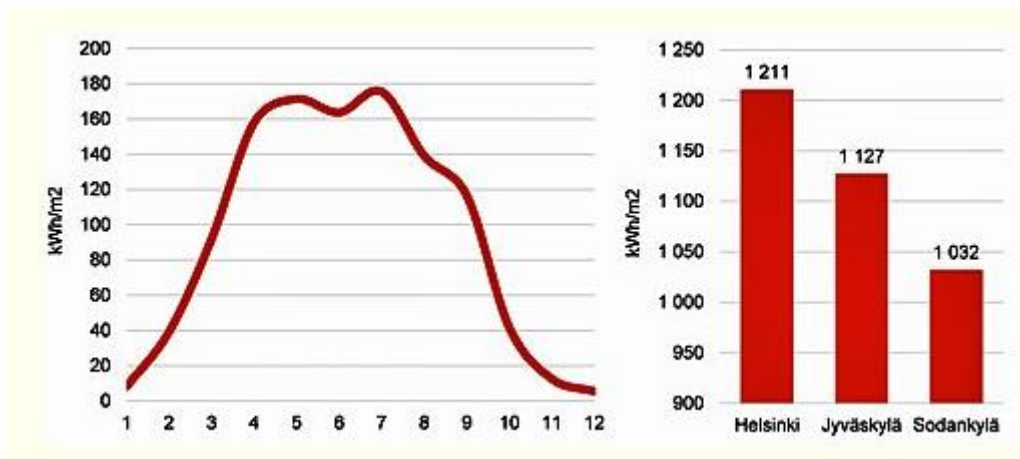
Ilmatieteen laitos on laatinut nykyisille sääolosuhteille tyypillisiä testivuotia. Vuoden 2012 testivuoden mukaan kokonaissäteily vaakatasolle Etelä-Suomessa on noin 980 kWh/m², kun Keski-Suomessa se on noin 890 kWh/m² ja Pohjois-Suomessa noin 790 kWh/m². (Motiva 2022a.) Ilmatieteen laitos on jakanut Suomen neljään vyöhykkeeseen. Vyöhyke 1 viittaa Etelä-Suomeen, jossa mittaukset on toteutettu Vantaalla. Vyöhyke 4 viittaa Pohjois-Suomeen, jossa mittaukset on tehty Sodankylässä. Kuvan 12 diagrammeissa on testivuoden 2012 ja 2020 vertailua vyöhykkeillä 1 ja 4. Diagrammista näkyy eri kuukausien ja koko vuoden auringon kokonaissäteilyn keskiarvo. Lisäksi vuosien 1989-2018 pitkäaikaiset keskiarvot. Diagrammin alla on testivuotien 2012 ja 2020 auringon kokonaissäteilyn erotukset. (Jylhä et al 2020, 23.) Viljankuivauskauden eli elo-syyskuun auringonsäteilyn määrä on

samankaltaista testivuosien välillä Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomessa säteilyn määrä vaihtelee jokseenkin. Diagrammista havaitaan, että auringon säteily vähenee selkeästi elokuussa verrattuna touko-, kesä- ja heinäkuuhun, ollen Etelä-Suomessa keskiarvollisesti noin 125 kWh/m² (170 W/m²) ja Pohjois-Suomessa noin 100 kWh/m² (140 W/m²). Säteilyn tehot heittelevät vuorokauden ajasta riippuen. Vaikka keskimääräinen teho elokuussa etelässä on 170 W/m², niin päivällä hetkellisesti se saattaa olla 900 W/m². (Jylhä et al 2020, 23.)



Kuva 12. Ilmatieteen laitoksen testivuosien 2012 ja 2020 auringon kokonaissäteilyn keskiarvot kuukausi- ja vuositasolla (W/m² sekä kWh/m²) (Jylhä et al 2020, 23).

Paneelien suuntaamisella sekä kallistuskulmalla on merkitystä, sillä paneeleja suuntaamalla etelään sekä asettamalla ne 45 asteen kulmaan, voidaan säteilyn määrää keräimelle kasvattaa 20-30 %:ia. Ilmatieteen laitoksen datan mukaan elokuussa, viljankuivaamisen aikaan auringon säteilyn määrä vähenee. Optimoidulla suuntaamisella etelässä auringon säteily on elokuussa keskimäärin 152 kWh/m² ja syyskuussa 127 kWh/m² (Ilmatieteenlaitos 2012a.) Pohjoisessa vastaavasti elokuussa keskimäärin 122 kWh/m², syyskuussa 109 kWh/m². (Ilmatieteen laitos 2012.) Alla olevassa kuvassa 13, vasemmalla esitetään kuukausittaiset keskimääräiset säteilymäärät koko Suomessa, kun paneelit on suunnattu etelään ja asetettu 45 asteen kulmaan. Oikealla puolella on kuvattu vuotuiset säteilymäärät eri kaupungeissa, samalla paneelien suuntauksella sekä kulmalla. (Motiva 2022a.)

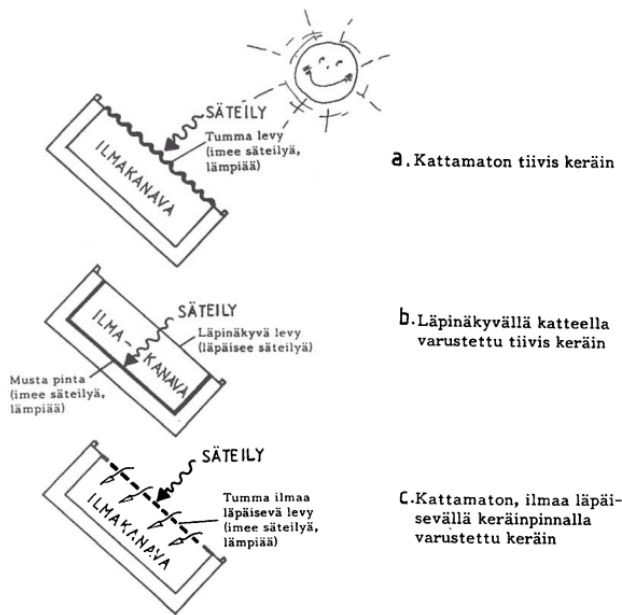


Kuva 13. Vasemmalla kuukausittaiset keskimääräiset säteilymäärät Suomessa. Oikealla vuotuiset säteilymäärät eri kaupungeissa. (Motiva 2022a.)

Viljankuivauksessa aurinkosähköä voidaan hyödyntää elevaattorin pyörittämiseen, puhaltimiin tai valaisuun. Tämä ratkaisu ei kuitenkaan vähennä öljyn käyttöä, johon tässä tutkimuksessa paneudutaan. Lisäksi aurinkosähköjärjestelmät ovat kalliita ja koska viljankuivausaika vuodessa on lyhyt ja auringon säteily syksyllä jo vähenemässä, monimutkaisen keräimen asentaminen viljankuivauksen yhteyteen, on todennäköisesti taloudellisesti kannattamatonta.

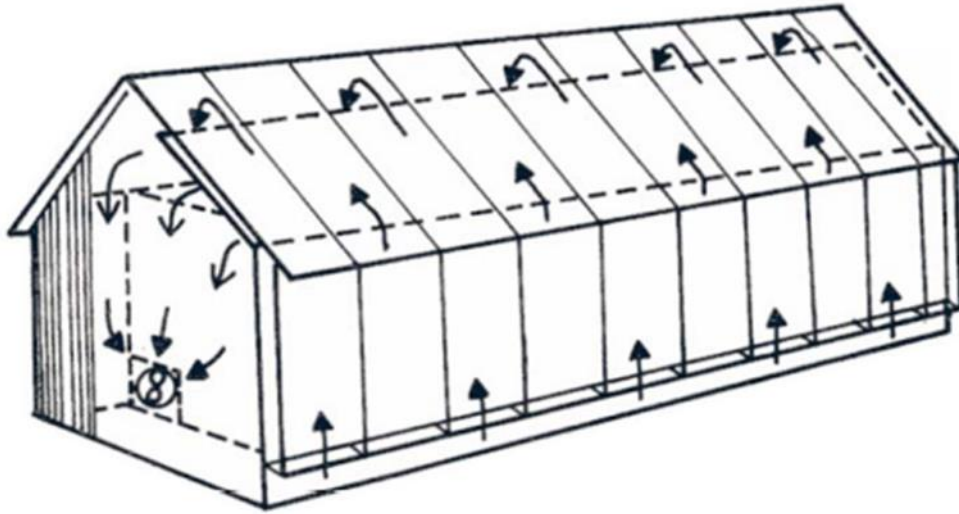
2.4.5 Aurinkolämmön keräin

Auringon lämpöä voidaan käyttää viljan kuivaamiseen hyödyntämällä valmiita katto- sekä seinärakenteita. Erilaisia ratkaisuja on esitetty kuvassa 14. Kattamaton tiivis keräin (a.) voi olla esimerkiksi mustaa kattopeltiä, jonka alta lämmennyt ilma imetään. Hyötysuhde ei ole erityisen hyvä, mutta rakenne soveltuu samalla kattomateriaaliksi. Parempi hyötysuhde saavutetaan läpinäkyvällä levyllä varustetulla keräimellä (b.). Levy päästää säteilyn läpi, muttei päästä lämpösäteilyä ulos. Huonona puolena tässä ratkaisussa on lasi- tai muovilevyjen kallis hinta, niiden kestävyysnähdessä. Kolmantena vaihtoehtona on ilmaa läpäisevällä keräinpinnalla varustettu rakenne (c.). Tällä on myös parempi hyötysuhde kuin ensimmäiseksi mainitulla ratkaisulla. Tosin rakenne ei sovellu hyvin seinä- tai kattorakenteeksi, koska se ei pidä vettä täysin. Soveltuvia pintoja olisivat mustat suomu- ja reikäpellit, harvat lautaseinät tai tiilikatot. (Järvenpää & Kivinen 1988, 14.)



Kuva 14. Kylmäilmakuivurin aurinkokeräimiä (Järvenpää & Kivinen 1988, 14).

Kirkkaana elokuisena päivänä auringon säteilyteho voi olla $800\text{--}900\text{ W/m}^2$ ja aivan pilvisenäkin päivänä $100\text{--}300\text{ W/m}^2$. Riippuen keräimen hyötysuhteesta ja sääoloista, voidaan auringon säteilystä saada edellä esitetyillä keräimillä $30\text{--}600\text{ W}$ lämmitysteho neliömetriltä. Maatiloilla usein käytetään 50 kW rakennuslämmittimiä kylmäilmakuivurin lisälämmön lähteenä. Jotta edellä esitetyillä keräimillä päästäisiin vastaavaan tehoon tulisi pinta-alaa keräimellä a. olla $200\text{--}300\text{ m}^2$, b. $130\text{--}180\text{ m}^2$ ja keräimellä c. $130\text{--}200\text{ m}^2$. (Järvenpää & Kivinen 1988, 15.) Lämminilmakuivureissa vastaavalla keräimellä voidaan nostaa kuivuriuunin imuilman lämpötilaa 5 °C :tta. Tämäkin vähentää osaltaan polttoaineen kulutusta, erityisesti isoissa kuivausmäärissä. Tämä imuilman lämpötilan nousu saattaa vaikuttaa kapasiteettia nostavasti, kun kuivausilman määrää ei tarvitse rajoittaa lämpötilan nostamiseksi. (Palva et al 2005, 50.) Alla (kuva 15) on esimerkki aurinkokeräimen yhdistämisestä seinä- ja kattorakenteisiin. Seinämateriaalina esimerkiksi mustaa peltiä tai ilmaa läpäisevää mustaa keräinpintaa. Katossa musta pelti tai valoa läpäisevä kate, jonka alla on musta pinta. Tilava kokoojakanava tarvitaan rakennuksen ullakolle. (Järvenpää & Kivinen 1988, 15.)



Kuva 15. Esimerkki aurinkokeräimen yhdistämisestä katto- ja seinärakenteisiin (Järvenpää & Kivinen 1988, 15).

Toinen esimerkki yksinkertaisesta aurinkokeräimestä on Viljakas Oy:n kehittänyt keräin Viljakas -kuivurin yhteyteen. Kuivuriin on liitettävissä kolmionmallinen aurinkokeräin. Keräin on 25 metrin pitkä ja kokonaisuudessaan 4 metriä korkea. Se on tehty mustasta reikäpellistä, jonka päällä on läpinäkyvä muovi estämässä tuulen viilentävää vaikutusta. Keräimen sisällä heinä-elokuussa ilman lämpötila nousee 35-40 asteiseksi. Keräimestä ilma puhalletaan puhaltimella kuivuriin. Vaikka ilma jäähtyy hieman pakkautuessaan, se on aurinkoisena kesäpäivänä 15 astetta ulkoilmaa lämpimämpää. (Heikkilä 2022.)

2.4.6 Lämpöpumput

Lämpöpumppuja voisi käyttää imuilman lämmittämiseen. Ilmalämpö-, ilmavesilämpö tai maalämpöpumppuja ei ole Suomessa kuitenkaan markkinoilla viljankuivaukseen. Lämpöpumpun avulla olisi mahdollista säästää energiaa. Esimerkiksi kuivurin tehontarpeen ollessa 400 kW ja öljyuunin hyötysuhteen ollessa 90 %:ia, öljyuunin on toimittava 445 kW:n teholla. Ilmalämpöpumppu, jonka lämpökerroin on 3, tuottaa lämpöenergiaa kolmekertaa sen mitä pumppu kuluttaa sähköenergiaa lämmön tuottamiseen. Energiankulutusta tarkasteltuna tuntikohtaisesti voidaan havainnollistaa energian säästö. Kun öljyn käyttöä vähennetään 30 %:ia, tuotetaan öljyllä lämpöä enää noin 310 kWh. Tuotetaankin lämpöpumpulla loppulämpö eli noin 134 kWh, jonka tuottamiseen sähköenergiaa kuluu 45 kWh (SCOP 3). Energiankulutus on tällöin yhteensä 355 kWh, 445 kWh:n sijaan.

Lämpöpumppujen kehittämissä viljankuivausta varten on huomioitava asioita muun muassa kuivurin pölyn aiheuttama palovaarallisuus sähkölaitteille ja kuivauksessa käytetty suuri ilmamäärä, jolloin pumpulta vaaditaan soveltuvia ominaisuuksia. Muita rajoittavia tekijöitä ovat tällaisen pumpun vaatima suuri sulakekoko sekä liittymiskaapeli. Esimerkiksi, jos kuivuri vaatii 300 kW lämmitystehon ja tuo lämpö tuotetaan täysin ilmalämpöpumpulla, jonka COP arvo on 3, ilmalämpöpumppu vaatii 100 kW:n sähkötehon. Lämmityslaitteet sekä apulaitteet vaativat yhdessä selkeästi normaalia suuremman sulakkeen. Suurempi sulakekoko tarkoittaa lisäkustannuksia. Esimerkiksi PKS Sähkösiirto Oy:ssä sähkönsiirtomaksu 3x200A sulakekoolla on 511 €/kk, kun 3x25A sulakekoolla se on 48 €/kk (PKS Sähkösiirto Oy 2020). Suuren sulakkeen tehokapasiteetti jää todennäköisesti käyttämättä kuivausajan ulkopuolella.

2.4.7 Lämmöntalteenotto

Kuivauksen ensimmäisessä osassa poistuu jyvien pinnalla olevaa vettä ja kuivumisen tehokkuuteen vaikuttaa lähinnä kuivausilman ominaisuudet. Ensimmäisessä vaiheessa poistoilma saattaa olla lähellä kylläistä. Kuivumisen toisessa vaiheessa jyvien pinnalla oleva kosteus on haihtunut ja kuivaustapahtuma liittyy veden diffuusion jyvän sisäosista jyvän pintaan. Tässä jälkimmäisessä vaiheessa viljan kosteuspitoisuus on laskenut ja on lähempänä viljan sekä ilman tasapainokosteutta. Haihtuminen ei tapahdu enää niin tehokkaasti, sillä kuivausilman suhteellinen kosteus ei voi ylittää viljan ja ilman välistä tasapainokosteutta. Tämä rajoittaa ilman kykyä sitoa vettä. Kuivauksen toisessa vaiheessa poistoilman lämpötila nousee ja kuivauksen energiatehokkuus laskee. Jolloin lämpöenergiaa häviää poistoilman mukana enenevässä määrin kuivauksen loppua kohden. (Jokiniemi 2016, 17 & 22.)

Kuivurin poistoilmasta on mahdollista ottaa lämpöä talteen ja kierrättää se takaisin imupuolelle. Poistoilman kosteus on kuitenkin korkea, joten sitä ei voida käyttää suoraan. Lämmöntalteenotto on toteutettava lämmönvaihtimen tai lämpöpumpun avulla. Lämmöntalteenotossa hyödynnetään poistoilman lämpö sekä kostean ilman tiivistyessään luovuttama lauhutislämpö. Teknisesti lämmöntalteenotto on hankalaa johtuen ilman sisältämän tomun ja lian vuoksi. Ennen lämmönvaihdinta olisi hyvä olla tehokas suodatin. Mutta silti lämmönvaihtimen pinta saattaa likaantua ja suodattimet voivat tukkeutua. Puhdistaminen pitäisi tapahtua nopeasti sekä menettämättä lämpöenergiaa. Onnistuneella lämmöntalteenotolla

voitaisiin säästää jopa 50 %:a polttoaineen kulutuksessa. (Ahokas & Mikkola 2013, 15.) Usein kuivausilma- ja poistoilmaputket ovat eripuolilla kuivurirakennusta, siirtomatka on tällöin pitkä ja se nostaa kustannuksia sekä lämpöhäviöitä. Myös suljettu kuivausilman kierto on mahdollista. Mutta toteutus vaatisi höyrystimen, joka tiivistää poistoilman kosteuden, jotta se saataisiin pois kierrosta. Suljetussa kierrossa pääomakustannukset ovat isot.

Pumppujärjestelmää kuivurin lämmöntalteenottoon on kehitellyt PTE Tekniikka Oy. Heidän kehittämässään lämmöntalteenottolaitteistossa on pääkomponentteina suodatin, lämmönvaihdin ja ohjausyksikkö. Poistoilman sisältämä lika ja tomu poistetaan suodatinyksikössä ennen lämmönvaihdinta. Marko Ylitalo PTE Tekniikka Oy:stä kertoo, että heidän laitteessaan on teollisuusmallin suodattimet suurella kapasiteetilla ja asiakkaat usein ottavat tupla suodattimet, jolloin suodattimen puhdistuksen voi tehdä myös prosessin ollessa käynnissä. Marko kertoo, että usein riittää, että puhdistaa suodattimet muutaman kerran kuivauskauden aikana. Lisäksi hän ohjeistaa pitämään lämmöntalteenottolaitteiston sulkuventtiilin kiinni kuivauserän ensimmäisen kierron aikana, jonka aikana suurimmat roskat lentävät ulos. Hän neuvoo vasta ensimmäisen kierroksen jälkeen ottamaan käyttöön lämmöntalteenottolaitteiston (liite 2). (Ylitalo 2022.)

Ohjausyksikössä on puhalluslämpötilan optimointi. Alkukosteus poistuu pienemmällä puhalluslämpötilalla ja vasta loppukuivatuksen aikana tarvitaan korkeampaa lämpötilaa. Tämä optimointi on tehty mittaamalla poistoilmaa kosteusanturilla. Ylitalo arvioi puhalluslämpötilan optimoinnin parantavan hyötysuhdetta selvästi. Ohjausyksikkö myös soittaa tai lähettää viestin kuivauksen aikana tulleista hälytyksistä sekä kuivauksen päättymisestä. Tämä helpottaa kuivauksen valvontaa. PTE Tekniikka Oyn lämmöntalteenottolaitteistolla on Ylitalon mukaan päästy 50 %:n säästöön öljyn kulutuksessa suotuisissa sääoloissa. Järjestelmän hankintahinnaksi hän arvioi 11 000 € (alv 0 %). Takaisinmaksuaikaa lyhentää kevyen polttoöljyn nouseva hinta. Ylitalo mainitsee esimerkiksi suuren maatilan, jonka öljyn vuosikulutus olisi 10 000 litraa. Huomioimalla esimerkiksi 30 % säästön polttoaineen kulutuksessa sekä tämän hetken kevyen polttoöljyn hinnan, takaisinmaksuajassa voitaisiin päästä 3 vuoteen. Ilmalämpöpumpputekniikkaan perustuva lämmöntalteenottojärjestelmä olisi tehokkaampi, 50 %, mutta niiden hinta-arvio Ylitalon mukaan olisi yli 100 000 € (alv 0%). (Ylitalo 2022.)

2.5 Kuivauksen polttoainevaihtoehdot

Kuivauksen tarvitsemaa lämpöenergiaa voidaan tuottaa monilla eri polttoaineilla. Eniten käytetty on kevyt polttoöljy, joka on raakaöljystä valmistettu keskitisleyäe. Kevyen polttoöljyn energiatiheys on korkea: 10 MWh/m³. (Koskiniemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 10-11.) Polttoainevaihtoehtoja, joita tässä käsitellään ovat puupolttoaineita, viljat, puukaasu, biokaasu ja rypsiöljy.

2.5.1 Puupohjaiset polttoaineet ja peltoenergiat

Puu- ja peltopolttoaineita voidaan käyttää suoraan polttamalla biopolttimessa. Puupolttoaineita voidaan käsitellä eri muodoissa eli hakkeena, brikettinä ja pellettinä. Peltoenergioista polttamalla voidaan hyödyntää viljoja, rypsiä sekä esipuhdistajan irrottamaa jätettä. Esi-puhdistajan kerryttämä jäte voi olla merkittävä, sillä se voi olla joissain tapauksissa jopa puolet kuivauksessa tarvittavasta polttoaineesta. Jos laitetekniikka on riittävän kehittynyttä, niin voidaan käyttää eri polttoaineyhdistelmiä. (Koskiniemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 10-11.) Käyttökustannuksiltaan biopolttoaineyhdistelmillä saatetaan päästä selkeästi edullisiin kustannuksiin, kun verrataan öljyn käyttöön. Samalla pienennetään viljakilon hiilijalanjälkeä ja kierrätetään rahaa paikallistaloudessa. Parannetaan myös elintarvikkeiden huoltovarmuutta, kun ei olla riippuvaisia tuontiöljystä. (Karelia-ammattikorkeakoulu n.d., 8)

Polttokelpoista viljajätettä on myös markkinakelvoton vilja. Peltoenergioita käytettäessä on huomioitava, että ne sisältävät klooria sekä rikkiä ja nämä voivat syövyttää kattilaa. Lisäksi savukaasuissa olevan kloorin ja rikin takia kattilan säädöt sekä mitoitus vaativat erityistä huomiota. Viljojen tuhkapitoisuus on korkea. Tuhkan sulamislämpötila on alhainen, jolloin palopäässä voi esiintyä laavaantumista ja siitä johtuvia vaurioita. Ratkaisuna tähän on liikkuva arina. Tuhkaruuvi auttaa tuhkan poistamisessa. Viljan polttamisessa syntyy myös paljon nokea, jolloin nuohous- ja puhdistustarve kasvaa verrattuna hakkeen ja pelletin polttamiseen. (Kontulainen 2022.)

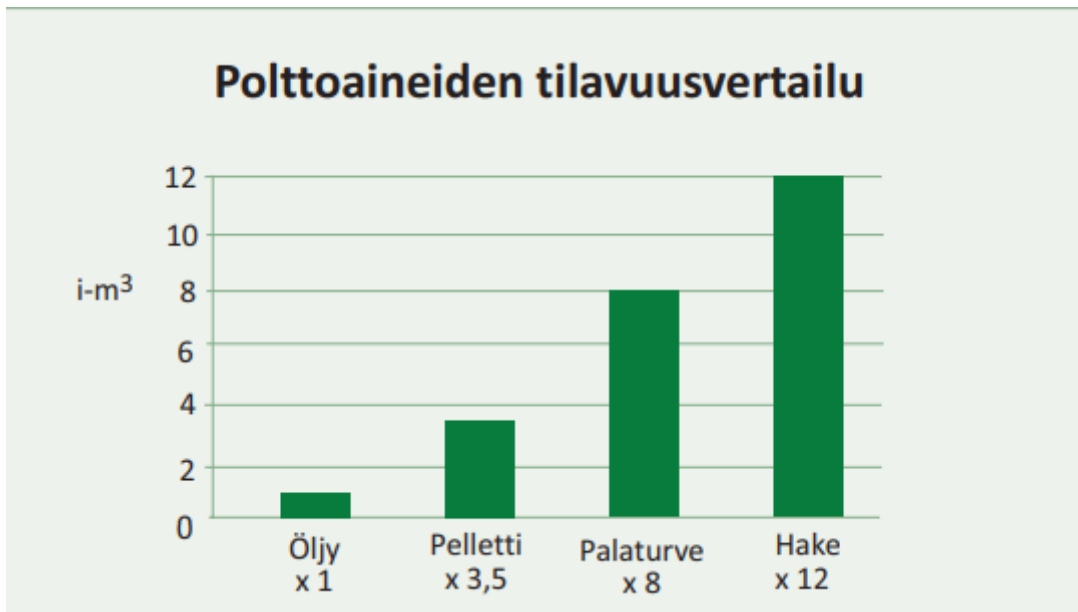
Puulla sekä oljella on lähes sama alkuainesisisältö sekä tehollinen lämpöarvo. Oljen polttaminen vaatii kuitenkin sille suunnitellun kattilan. Eri viljalajien olkien tuhkalla on eri sulamislämpötilat, jolloin arinan pitää toimia sulaneella sekä sulamattomalla tuhkalla. Lisäksi olkea

pollettaessa syntyy klooria, joka aiheuttaa kattilakiviä. Olki on lisäksi hankala säilöttävä, sillä se vaatii suuren varastotilan. Kun olki kerätään pellolta, siinä poistuu samalla tyyppä sekä kaliumia. Siksi pellolta voi kerätä oljen vain joka kolmas vuosi tai joka vuosi, mutta vain 1/3 -viljan viljelyssä olleelta alalta. Oljesta voidaan myös puristaa brikettejä tai pellettiä, joiden hyötysuhde on paalipolttoa parempi. (Kontulainen 2022.)

Taulukko 1. Polttoaineiden ominaisuuksia (Alakangas et al 2000, 152-155 & Tilastokeskus 2022b.)

	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineelle MJ/kg	Tehollinen oletuslämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	Kosteus %	Irtotiheys saapumistilassa kg/i-m ³ tai m ³	Energiatiheys MWh/i-m ³
Öljy					
Kevyt polttoöljy, rikitön	43	43	0,01-0,02	840-845	10*
Jalostetut biopolttonesteet					
Biopolttoöljy	38	38		880	
Energiapuu					
Kokopuu- tai rankahake	19-20	9,5	25-30	250-350	0,7-0,9
Metsätähdehake tai -murske	19-20	9,5	50-60*	250-400	0,7-0,9
Kantomurske	19-20	11,5	30-50*	200-300	0,7-1
Jalostetut puupolttoaineet					
Puupelletit ja -briketit	19-17	17	8-10	500-650	2,9-3,9
Kaasutettu puu		5*			
Kasvipäriset polttoaineet					
Vilja	20	14	14	520-590	2,2-2,5
Ruokohelpi	17	13	15-30	70-80	0,2-0,4
Rypsin siemen	37	37			
Olki	19	14	17-25	80	0,3-0,4
Esipuhdistajan jäte			20	300-350	1,5
		* MJ/m ³	*Kaatotuoreena		*MWh/m ³

Taulukosta 1, tehollista lämpöarvoa tarkastelemalla voidaan todeta, että kevyt polttoöljy on neljä ja puoli kertaa energiapitoisempaa kuin kokopuuhake, polttoaineen painoon suhteutettuna. Kun tarkastelee energiatiheyttä, havaitsee että haketta käytettäessä polttoaine vie yli kymmenen kertaa enemmän tilaa kevyeen polttoaineeseen verrattuna. Tätä on havainnollistettu kuvassa 16. Koska biopohjaisten polttoaineiden tehollinen lämpöarvo sekä energiatiheys on selkeästi vaatimattomampi kuin öljyn, on biopohjaisia polttoaineita käytettäessä käsiteltävä suuria polttoainemääriä. Lisäksi tarvitaan isoja varastoja sekä koneellista käsittelyä. Esimerkiksi olki, jonka tehollinen lämpöarvo on lähellä puupelletin tehollista lämpöarvoa. Kuitenkin oljen energiatiheys on kovin pieni, nousevat oljen kuljetus- ja varastointikustannukset korkeiksi. Kiinteät kustannukset ovat siis isommat sekä polttoaineen käsittely aiheuttaa lisää työtä kuivaussesonin aikana verrattuna öljyyn.



Kuva 16. puupohjaisten polttoaineiden ja öljyn tilavuusvertailu (Koskiniemi & Kehittyvä Metsäenergia -hanke 2009, 10-11).

Biopohjaisten polttoaineiden käyttö öljyn sijaan ei yleensä vähennä polttoaineen käyttöä. Se ennemminkin lisää sitä, biouunien hyötysuhteen ollessa usein huonompi kuin öljyuunien. Kuitenkin biopohjaisten polttoaineiden käytön voidaan katsoa vähentävän ilmastonmuutosta edistävän hiilidioksidin syntyä. Lisäksi biopohjaiset polttoaineet saattavat olla taloudellisesti kannattavia siinä mielessä, että monilla maatiloilla on polttoaineeksi sopivia sivuvirtoja. (Jokiniemi 2016, 25.)

2.5.2 Puukaasu

Puuhaketta on mahdollista muuttaa tervattomaksi tuotekaasuksi kaasutuslaitteistolla. Tämä on siitä kätevä ratkaisu, että puukaasua voidaan polttaa olemassa olevalla öljykattilalla. Kaasutuslaitteistoa voi käyttää minkä tahansa isomman öljykattilan yhteydessä, muita muutoksia ei vaadita kuin öljypolttimen vaihto tuotekaasupolttimeksi. Lisäksi valmius öljyn polttoon jää olemaan, jos sille jossakin vaiheessa tulee tarve. Kaasutusyksikkö on pieni sekä siirreltävässä, eikä vaadi isoa lämpölaitosta. (Ek 2022.)

Puun kaasutuksessa puu poltetaan ensin hiilidioksidiksi ja vedeksi, jonka jälkeen nämä pelkistetään hiilimonoksidiksi ja vedyksi poltosta saadun lämmön avulla. Puukaasu sisältää pääasiassa typpeä, hiilimonoksidia, vetyä ja hieman metaania. Puun sisältämästä energiasta

voidaan saada siirrettyä 70-80 %:ia kaasumaiseen muotoon, loppuosa on lämpöä ja hiili-jäännöstä. Terva saadaan hajotettua kaasuttimessa riittävässä kuumuudessa. Kaasu ohjataan kattilaan joustavaa letkua pitkin. (Ek 2022.)

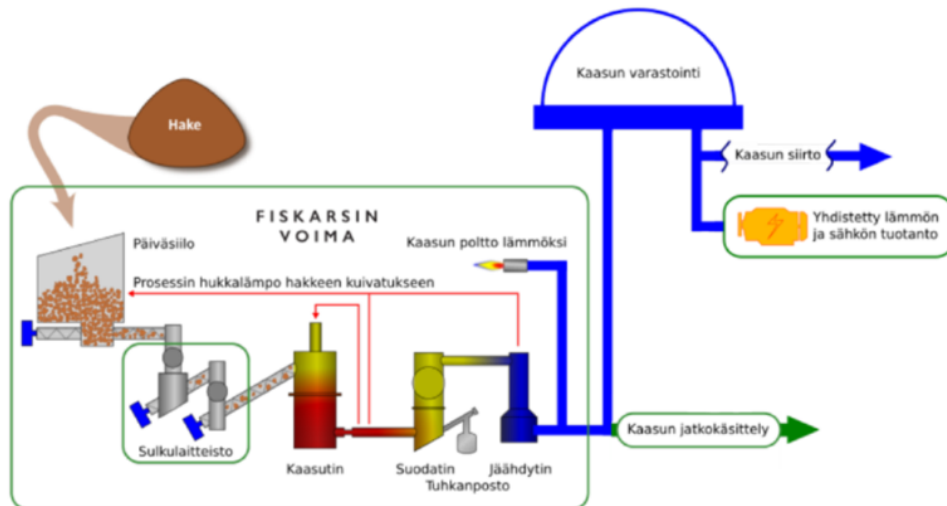
Etuja puukaasussa on muun muassa, että kaasu on helposti siirrettävissä putkia pitkin ilman häviöitä, kaasulla saadaan riittävän kuumaa kuivausilmaa, eikä ole jäätymisongelmia, kuten esimerkiksi radiaattoriratkaisuissa. Lisäksi kaasutuslaitteisto on siirrettävissä, jolloin se voidaan siirtää tuottamaan kaasua johonkin toiseen paikkaan viljakuivauksen ulkopuolisena aikana. (Ek 2022.)

Puukaasua polttamalla päästään hyvin pieniin hiukkas- sekä häkäpäästöihin verrattuna perinteiseen arinapolttoon. Savukaasujen happipitoisuus on pieni eli palamislämpötila on korkea ja palamishyötysuhde on hyvä. (Luke 2015, 23.)

Fredik Ek on ollut suunnittelemassa puukaasutuslaitteistoa, jota on kokeiltu viljankuivauksen yhteydessä. Laitteistossa on päivän tarpeeseen mitoitettu hakevarasto. Ruuvikuljetin kuljettaa polttoaineen kaasuttimelle. Ennen kaasutinta on sulkulaitteisto, joka estää hallitsemattoman ilmavirtauksen kaasuttimeen, kun siellä on alipaine. Kaasuttimessa ylipaineen vallitessa sulkulaitteisto estää pyrolyysikaasujen pääsyn polttoainevarastoon. Puukaasutin toimii myötävirtaperiaatteella ja sen toiminta on säädettävissä polttoaineen ominaisuuksien, kuten hakkeen palakoon mukaan. Tuhka kulkeutuu kaasun virtauksen mukana sykloniin, jossa tuhka erotetaan ja josta se tippuu tuhkatynnyriin. Syklonin jälkeen on vielä kangassuodatin, joka poistaa hienoa nokea. Suodattimen jälkeen kaasua voidaan jäähdyttää, joka helpottaa kaasun siirtoa. Kaasu siirretään polttimelle letkun avulla. (Uudenmaan ELY-keskus 2015, 9-10.)

Laitteiston käynnistymisen jälkeen kestää hetken ennen kuin laitteiston lämpötila on noussut käyntilämpötilaan. Kaasut, jotka ovat syntyneet ennen tätä voivat liata suodattimet sekä tervata jälkijäähdyttimen, joten ne ohjataan automaatio-ohjattuun soihtuun. Kun käyntilämpötila on saavutettu ja kaasu palaa vakaasti käynnistyspiirin soihdulla, siirtää järjestelmän automaatio syntyneen kaasun varsinaiseen tuotantopiiriin. Tuotekaasu jäähdytetään suodattimelle sopivaksi eli noin 200 °C:een. Jos kaasua pitää siirtää pidemmälle, niin sitä voidaan jäähdyttää vielä suodattimen jälkeen. Kaasutuslaitteen hyötysuhdetta parannetaan siirtämällä jäähdytyksen lämpöä joko kaasuttimen ensiöilmaan tai polttoainevarastoon kuivamaan polttoainetta, kuten kuvasta 17 voidaan havaita. Tuotekaasua voidaan siirtää putkia

pitkin taajuusmuuttajaohjatuilla puhaltimilla sekä sähköpneumaattisesti toimivilla venttiileillä. Kaaviossa on myös havainnollistettu kaasun varastointi tai jatkokäsittelymahdollisuus. (Uudenmaan ELY-keskus 2015, 9-10.)



Kuva 17. Kaasuttimen konseptisuunnittelua. Kaaviosta puuttuu kaasuttimen ja suodattimen välinen esijäähdytyn sekä laitokseen integroitu soihtu. (Uudenmaan ELY-keskus 2015, 10.)

Laitteiston automaatiota on kehitetty paljon viime vuosina. Pilottikokeiluja on tehty viljan-kuivaukseen. Tällä hetkellä kehitellään tehokkaampaa kaasutuslaitetta, jonka tehot asettuvat 500 kW ja 1 MW väliin. Tähän laitteistoon yhdistetään metanointi. Ensimmäinen tämän kokoluokan prototyyppi on vasta rakenteilla. Varsinkin automaatio tuo lisää hintaa kaasutuslaitokselle. Investointi on iso ja se pitää yhdistää johonkin muuhun käyttöön viljan-kuivauksen ulkopuolella, jotta investointi olisi kannattava. Ek arvioi 200 kW:n laitoksen hinnaksi noin 200 000 euroa. (Ek 2022.)

2.5.3 Biokaasu

Toinen kaasumainen polttoainevaihtoehto on biokaasu. Sitä syntyy, kun mikro-organismit hajottavat orgaanista ainetta hapettomissa olosuhteissa muodostaen biokaasua mädättämölaitoksilla tai kaatopaikoilla. Raakabiokaasu sisältää vaihtelevasti 55 - 75 %:a metaania, 25 - 45 %:a hiilidioksidia sekä pieniä määriä hiilimonoksidia, vesihöyryä, typpeä, happea, ammoniakkia, vetyä ja rikkiyhdisteitä. (Motiva 2013, 3.) Biokaasu on hiilidioksidineutraali

polttoaine, siitä ei aiheudu hiukkaspäästöjä, eikä se sisällä rikkiä, pölyä tai raskasmetalleja (Motiva 2022b).

Biokaasun koostumus vaihtelee riippuen siitä mistä raaka-aineista kaasu on tuotettu. Lisäksi kaatopaikoilta kerätty biokaasu eroaa reaktorilaitoksella tuotetusta biokaasusta. Kaatopaikoilta kerätyssä biokaasussa on enemmän typpeä ja metaanipitoisuus on pienempi. Raaka-biokaasua voidaan käyttää sellaisenaan sähkön- ja lämmöntuotantoon. Biokaasua puhdistetaan poistamalla siitä rikkiyhdisteitä, siloksaaneja ja muita haitta-aineita. Kun biokaasusta vielä poistetaan pääosin kosteus ja hiilidioksidi, saadaan jalostettua biokaasua, jota voidaan käyttää maakaasun tavoin liikenteessä, teollisuudessa, lämmön ja sähkön tuotannossa kaasuverkon kautta tai sen ulkopuolella. Ajoneuvojen tankkausasemilla myydään jalostettua biokaasua eli biometaania, joka on noin 97 %:a metaania. (Suomen kaasuyhdistys n.d., 12.) Jalostetun biokaasun tehollinen lämpöarvo on 10 kWh/m³ eli energiasisältö on lähelle sama kuin yhdellä litralla öljyä (Motiva 2013, 25). Raakabiokaasun, jonka metaanipitoisuutta ei ole korotettu, energiasisältö vaihtelee metaanipitoisuuden mukaan ollen noin 4-6 kWh/m³. Tällaisen biokaasun jakelu rajoittuu lähialueille ja yleensä yritysasiakkaille. (Alakangas et al 2000, 189 & 195.) Biokaasu, joka on tarkoitettu lämmöntuotantoon, on halvempaa kuin jalostettu, liikennekäyttöön tarkoitettu biokaasu. Suuri osa biokaasusta jalostetaan liikennekäyttöön, sillä se on tuottajalle kaikista taloudellisista ratkaisuista. Vuonna 2018 tuottaja sai liikennekaasusta 80-90 €/MWh ja lämmöntuotantoon tarkoitettu kaasu 30-40 €/MWh. (Mutikainen 2020, 5.) Biokaasun hinta on nousussa, mutta hintojen suhde on edelleen samansuuntainen. Vaikka liikennebiokaasun hinta on korkeampi, vaatii sen tuotanto tuottajalta sitoutumista sekä osaamista kaasun puhdistamiseen, paineistukseen ja jakeluun, lisäksi isoja investointeja (Alm 2022, 21).

Maatalouden biomassat ovat merkittävä hyödyntämätön energiapotentiaali. Lantaa muodostuu noin 17,3 milj. tonnia ja ylijäämänurmia noin 1,5 milj. tonnia vuodessa. Biokaasupotentiaali tästä biomassasta on 4 TWh. Tähän lukuun ei ole huomioitu biomassaksi viljeltyä pelto-biomassaa. (Suomen biokierto & biokaasu ry 2022.) Lopputuotteita ovat biometaani (nesteytetty ja paineistettu) liikenteeseen ja teollisuuteen sekä biokaasu paikalliseen lämmön- ja sähköntuotantoon. Biokaasulaitoksella syntyy myös mädätettä, jota voidaan käyttää kierrätysravinteena ja maanparannusaineena maatalouteen, viherrakentamiseen ja kasvualustoihin. (Arffman & Taavitsainen 2021, 5 & 21.) Suomessa kotieläintuotanto ja sitä myötä lannan muodostuminen on alueellisesti keskittynyttä. Lantaa on hyödynnetty lannoitteena

peltoilla, mutta sen käyttäminen kerää peltomaahan fosforia. Alueilla, joilla lantaa syntyy, ei kaikkea lantaa voida levittää peltoon liiallisesta fosforin kertymisestä johtuen. Ylijäämä-lanta pitäisi saada kuljetettua alueille, jossa fosforia tarvitaan. Biokaasulaitos mahdollistaa lannan kuljettamisen, sillä mädätteestä voidaan tuottaa helposti kuljetettavaa kierrätyslannoitevalmistetta. (Alm 2022, 18.)

Suomen biokaasulaitoksia ovat teollisuuden sekä yhdyskuntien lietteitä käsittelevät laitokset, maatilojen omat laitokset sekä yhteismädätyslaitokset. Vuonna 2021 maatiloilla toimivia laitoksia oli 25 kpl. MTK, Bioenergia ry, Suomen biokierto- ja biokaasu ry, Suomen kuukasuyhdistys ry, Suomen lähiennergialiitto ry ja Suomen kiertovoima ry ovat esittäneet julkilausuman, jossa esitetään Suomen biokaasun tuotanto- ja käyttötavoitteeksi 4 TWh vuodelle 2030. Julkilausumassa esitetään myös otettavaksi käyttöön erilaisia ohjauskeinoja tavoitteen pääsemiseksi. (Alm 2022, 24.) Biokaasun lisäämiseen vaikuttaakin olevan tällä hetkellä poliittista tahtoa ja investointitukia on mahdollista saada. (Arffman & Taavitsainen 2021, 10.) Anna Virolainen-Hynnä Suomen biokierto ja Biokaasu rystä kirjoittaa sähköpostiviestissään, että tällä hetkellä on mahdollista saada investointitukea biokaasulaitoksen rakentamiseen ja että biokaasun käyttöä tuetaan verohelpotuksin. Tällä hetkellä biokaasun lämmityskäytön ja työkonekäytön energiavero on nolla, mutta tämä saattaa muuttua jo ensi vuonna. (Virolainen-Hynnä 2022.) Tämän hetken energiamyllerryksessä epävarmuutta tuo muun muassa mahdolliset lakimuutokset verotukseen.

Maatila, jolla on 150 lypsylehmää voi tuottaa lehmän lannasta omassa biokaasulaitoksessaan biokaasua, jonka energiasisältö vuositasolla on 630 megawattituntia. Tämä vastaa noin 23 m³ biokaasua, jonka metaanipitoisuus on 60 %:a. (Motiva 2013, 23.) Biokaasua voidaan tuottaa erilaisilla menetelmillä. Yksinkertaisissa laitoksissa on kaksi kaasutiivistä säiliötä päällekkäin. Alempi astia eli mädätyssäiliö, on kooltaan suurempi ja se on avoin ylempään kaasusäiliöön. Mädätyssäiliössä on hajoava biomateriaali, joka hienonnetaan ennen syöttöä. Syntyvä biokaasu kohoaa ylempänä olevaan kaasukellona toimivaan kaasusäiliöön. Järjestelmä tiivistyy kaasutiiviiksi mädätyssäiliötä vasten vesilukkoperiaatteella. Reaktorissa olevan kaasun määrän tietää tarkastamalla miten korkealla kaasukello kelluu. Vallitsevan ilman lämpötilalla on myös vaikutusta laitoksen toimintaan. Huomionarvoista on, että yksinkertaiset, eristämättömät ja lämmittämättömät laitokset käyvät huonosti talvella. (Motiva 2013, 14.)

2.5.4 Rypsiöljy

Myös bioöljyillä voidaan pyrkiä korvaamaan fossiilista öljyä. Bioöljyjä voidaan valmistaa esimerkiksi ohrasta, rapsista, rypsiä, puusta ja metsäteollisuudesta syntyvistä sivutuotteista. (Alakangas et al 2000, 21). Rypsin keskisato vuodessa on 1600-1800 kg/hehtaari (Ruokatieto Yhdistys ry 2022). Rypsiöljyä voidaan puristaa rypsin siemenistä yksikertaisella ruuvipuristimella. Siemenmassassa on lajikkeesta ja kasvuolosuhteista riippuen 40-45 %:a öljyä. Kuumapuristuksella voidaan saada noin 34 %:a öljyä siemenmassasta. Maatilatason puristimet ovat yleensä kylmäpuristimia tai lämmittäviä kylmäpuristimia, joilla voidaan saada 25 -28 %:a öljyä siemenmassasta. (Vihma et al 2006, 22.) Eli noin 1700 kg/ha keski-sadolla ja viljelemällä 20 hehtaaria rypsiä, voidaan saada noin 9 000 kg rypsiöljyä. Siemenen puristetähdettä voidaan käyttää valkuaisrehuna sioille ja naudoille. Sillä voidaan korvata soijan rehutuontia. (Vihma et al 2006, 19.)

Ongelmallista rypsiöljyissä on korkea viskositeetti, joten öljyn polttaminen vaatii esilämmityksen, esimerkiksi sähkölämmitteisellä vastusnauhalla, noin 100°C:een. (Citerm n.d., 14). Lisäksi kasvisöljyjen leimahduspiste on korkea ja haihtuvuus huono eli syttymisomaisuudet ovat huonot. Öljy voidaan sytyttää jollakin sytytyskaasulla, joka syttyy ensin ja sytyttää kasviöljyn. Kevytöljypoltin on korvattava moniöljypolttimella. Siinä on esilämmitysjärjestelmä, joka lämmittää rypsiöljyn, jolloin öljyn viskositeetti alenee ja syttyvyys paranee. Moniöljypolttimessa paineilma puhaltaa öljyn polttimelle hajottaen öljyn sumumaiseksi. (Pentti Korpela Oy 2020.)

Rypsiöljyn energiasisältö on 38 MJ/kg, fossiilisilla polttoöljyillä se on reilu 40 MJ/kg. (Alakangas et al 2000, 13.) Energiasisällöltään rypsiöljy siis vastaa hyvin fossiilisia polttoöljyjä. Rypsiöljyn hinnassa on nousupainetta, sillä kotimaisen rypsin tarjonta on pienempää kuin kysyntä ja raaka-ainetta joudutaan ostamaan maan rajojen ulkopuolelta (Latva-Teikari 2021). Bioöljyjen hinnan kehitykseen yleisesti vaikuttaa kasvattavasti EU:n uusiutuvan energian -direktiivi. Suomi tavoittelee vähintään 51 %:n uusiutuvan energian osuutta vuonna 2030, joka kasvattaa biopolttoaineiden kysyntää. (Motiva 2022c.) Biopolttoaineiden tarjonnan rajoitukset aiheuttavat hinnoille nousupainetta.

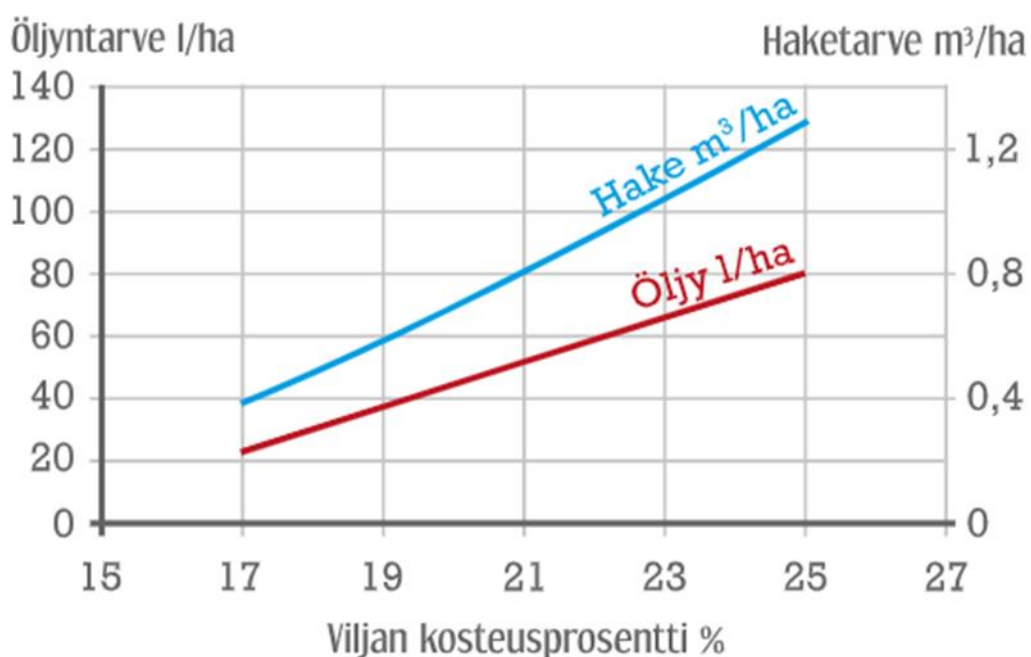
2.6 Kuivausenergian säästämisen vaihtoehdot

Kuivauksessa kannattaa pyrkiä energiatehokkuuteen riippumatta käytetystä polttoaineesta. Se on järkevää taloudellisesti sekä päästömielessä. Tehokkaalla lämmöntuotannolla voi myös pidentää laitteiden käyttöikää.

2.6.1 Puintikosteus, kuivauskosteus sekä ulkolämpötilan vaikutus

Energian kulutus riippuu siitä, paljonko viljasta pitää poistaa vettä, joka riippuu puinti- sekä kuivauskosteudesta. Viljan puintikosteuden ollessa 23 %:ia, 25 %:n sijaan, kuluu polttoainetta yli 10 l/ha vähemmän (kuva 18). (Ahokas & Jokiniemi n.d., 8.)

Puinti kannattaa toteuttaa iltpäivällä ja kuivaus päiväaikaan, jolloin hyödynnetään tehokkaimmin alhaista ilman kosteutta ja auringon lämpöä. Yöaikaista kuivausta välttämällä voidaan säästää 5-10 %:ia kuivauksen energiakulutuksesta. (Palva et al 2005, 78.) Kylmäilma-toiminen puskurivarasto lämminilmakuivurin yhteydessä lisää vastaanottokapasiteettia. Tällöin viljaa voidaan puida varastoon kuivalla säällä. Varastoinnissa vilja kuivuu jo useita prosenteja kylmäilmapuhalluksen ansiosta. Näin voidaan säästää 20-30 %:ia lämminilmakuivurin energiatarpeesta. (Palva et al 2005, 79.)



Kuva 18. Polttoaineen tarpeen muutos viljan puintikosteuden muutoksen suhteen. (Ahokas & Jokiniemi n.d., 8.)

Viljaa usein ylikuivataan esim. 12 %:iin, jotta voidaan varmistua varastoinnin onnistumisesta. Viimeiset prosenttiyksiköt kuitenkin kuluttavat suhteellisen paljon energiaa ja ylikuivaamisen välttämiseksi voidaan säästää 10-20 %:ia kuivurin energian kulutuksessa. (Palva et al 2005, 78.) Lisäksi rehuviljaa ei tarvitse kuivata 14 %:iin, vaan rehuviljalla riittää kuivaus 16 %:iin (Ahokas & Jokiniemi n.d., 8).

Kuivurin imuilman lämpötila vaikuttaa suoraan kuivurin tehontarpeeseen ja energiankulutukseen. Esimerkiksi kun ulkoilman lämpötila on 5 °C, vaaditaan 20 % enemmän energiaa kuivaamiseen kuin 15 °C:een ulkolämpötilassa. Huomioimalla ulkolämpötila kuivausvaiheessa, voidaan energiaa säästää 10-20 %:ia. (Ahokas & Jokiniemi n.d., 7.)

2.6.2 Kuivurin eristäminen

Kuivurin eristämällä saavutetaan myös energiasäästöjä. Kuivurin eristämättömien peltipintojen luovuttama lämpöhäviö on 300-500 W/m². Eristää kannattaa puhallusilman tuloputket, sisäänmenopuolen päädyt sekä kuivurin sivut. Poistopuolta ei tarvitse eristää. On mitattu, että eristäminen on vähentänyt energian kulutusta 10-30 %:ia. Myös kuivurin kapasiteetti paranee sekä kuivausajat lyhentyvät. (Ahokas & Jokiniemi n.d., 10.) Erityisesti eristämisestä on hyötyä, jos kuivataan korkeilla lämpötiloilla tai kuivurilla ei ole suojarakennusta ympärillä. (Palva et al 2005, 78.)

2.6.3 Kuivauslaitteiden kunto ja säädöt

Kuivurin kunnosta huolehtimalla voidaan säästää energiaa jopa 15 %:ia. Lämpöhäviöitä syntyy, jos kuivauskennojen ja liitosten väleistä pääsee vuotamaan lämmintä ilmaa. Lämpövuotoja syntyy myös, jos varastosiilossa on liian vähän viljaa. Myös öljyuunien suuttimien kunto ja säätö on tärkeää. Polttimen ilmamäärä pitäisi säätää oikeaksi. Jos liekki on vaalea ja kirkas on ilmamäärä liian suuri. Tumma punainen liekki tarkoittaa liian pientä ilmamäärää. Myös nuohous pitäisi suorittaa säännöllisesti. (Ahokas & Jokiniemi n.d., 10.) Jos kuivauksen aikana kuivurin säätöjä ei muuteta, kannattaa kuivausilman lämpö ja määrä sekä viljan kiertonopeus olla suhteellisen suuria. Mutta, jos säätöjä muutetaan kuivauksen aikana, kannattaa

kuivaus aloittaa edellä mainitulla tavalla. Kuivauksen loppuvaiheessa kuivauslämpötilaa kannattaa nostaa ja ilmamäärää pienentää. Näin saatetaan säästää energiakulutuksessa. (Palva et al 2005, 78.)

2.7 Valtion myöntämät tuet kuivuri-investointiin

Valtio myöntää maatalouden energiatuotannon rakentamisinvestointeihin tukea, kun energiaa käytetään maatalouden tuotantotoiminnassa. Energialaitoksessa tulee käyttää energialähteenä uusiutuvaa energiaa. Haku on jatkuva, mutta hakemukset ratkaistaan neljäkertaa vuodessa. Hakemukset asetetaan etusijajärjestykseen valintakriteerien mukaan. Painotus on liiketoimintasuunnitelmalla sekä sen kannattavuus- ja maksuvalmiuslaskelmilla. Hakijaa sekä maatilaa koskevat tietyt edellytykset. Vaikka hakemus täyttäisi kaikki asetetut kriteerit, investointitukea ei välttämättä riitä jokaiseen hankkeeseen. (Ruokavirasto 2021.) Investointituki on 40 %:ia hyväksytyistä kustannuksista. Kolmen verovuoden aikana rakennusinvestointitukea voidaan myöntää maksimissaan 1 500 000 euroa maatilaa kohden. Pienin myönnettävä tukisumma on 7 000 euroa. (Kontulainen 2022.) Lisäksi investointihankkeeseen voi hakea valtioneuvoston tukia maksimissaan 500 000 euroa investointia kohden. Valtioneuvoston tukia voi olla korkeintaan 80 % takauksen kohteena olevasta lainasta. Valtioneuvoston tukia voi olla voimassa maksimissaan 2 500 000 eurolla maatilaa kohti. Valtioneuvoston tukille on annettava vastavakuus, kuten kiinteistö- tai yrityskiinnitys. (Ruokavirasto 2021.) EU:lla on myös tukiohjelmia, joilla se tarjoaa rahoitustukea tai teknistä apua, kuten maaseudun kehittämissuunnitelmaa. Maaseudun tukirahoilla on suunniteltu nostettavan maatalouden biokaasuinvestointien tukitasoa 40 %:sta 50 %:iin. (Arffman & Taavitsainen 2021, 8.)

2.8 Yhteiskuivaus

Vaikka puhutaan kuivaukseen käytetyn polttoaineen kustannuksista, pääosa viljan kuivauksen kustannuksista tulee kuivurin pääomakustannuksista. Pääomakustannusten pienentämiseen on rajallisesti keinoja. Näitä ovat mahdollisimman matalat investointikustannukset tai yksikkö koon kasvattaminen. (Palva et al 2005, 77.) Kuivauspalvelun voi ostaa tilan ulkopuolelta. Viljavarastot tarjoavat keskitettyä kuivauspalvelua vaihtoehtona maatalojen omalle kuivaukselle. Suomen Viljava Oy tarjoavaa viljan kuivauspalvelua Kokemäellä, Koriolla,

Kouvolassa sekä Perniössä. Koriolla on Viljavan suurin kuivauskapasiteetti, siellä on kuivattu kiireisimpinä kuivausvuosina noin 25 000 t/kuivauskausi, joka on myös Korian maksimi kuivauskapasiteetti. Nykyään Koriolla kuivataan vajaa 10 000 t/kuivauskausi. Kokemäellä on kuivattu enimmillään 8 000 t/kuivauskausi, tämän ollessa myös Kokemäen maksimi kuivauskapasiteetti. Normaali kuivausmäärä viime vuosina on ollut 3 000-4 000 t/kuivauskausi. Perniössä viime vuosina on kuivattu 1 000-3 000 t/kuivauskausi. Suomen Viljava Oy:n teknisen johtajan Olli Rämän mukaan viljavarastolla kuivattava viljamäärä on ollut laskeva viime vuosina (liite 3). (Rämä 2022.) Hyötyinä yhteiskuivauksessa on, että päästään pienempiin pääomakustannuksiin sekä pienempiin ympäristöpäästöihin. Olli Rämä kertoo sähköpostiviestissään, että he käyttävät lämmöntuotannon polttoaineena pääosin viljapölyä. (Rämä 2022.)

Toinen vaihtoehto yhteiskuivaukselle on kuivuriyhtymän perustaminen. Näin pääomakustannukset jakautuvat usealle maatilalle. Suurilla, yhdistetyillä viljamäärillä voidaan saada esimerkiksi biopoltin kannattavaksi, jos se yksittäiselle tilalle ei sitä olisi. Maatilojen tulee sijaita lähellä toisiaan, tilayhteistyö vaatii myös joustavuutta ja hyvää suunnittelua. Viljan kuivaussesonki on lyhyt, sääriippuvainen ja aikataulullisesti tiukka.

Yksi vaihtoehto kuivata ilman omaa lämmöntuotantolaitosta on liittyminen kaukolämpöverkkoon, jos maatila ja kuivuri ovat lähellä lämpöverkkoa tai suurta kiinteän polttoaineen lämpölaitosta. Syksyisin kaukolämpölaitokset toimivat pienellä teholla ja kapasiteettia on reservissä.

3 Yhteenveto

Tässä kappaleessa on yhteenveto työssä käsitellyistä erilaisista mahdollisuuksista kuivata viljaa. SWOT-analyysin avulla käydään läpi eri menetelmien vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat.

3.1 Kylmäilmakuivaus

Kylmäilmakuivaus perustuu ilman luontaiseen kuivauskykyyn ja hyvissä sääolosuhteissa se on kustannustehokas sekä ympäristöystävällinen tapa kuivata viljaa. Se ei rajoita puintikapasiteettia, sopii myös viljan tuuletukseen ja jäähtymykseen sekä mahdollistaa lisälämmön käytön tarvittaessa. Hyvinä puolina ovat matalat investointi- ja energiakustannukset, suuri vastaanottokapasiteetti ja kuivauslaarien toimiminen myös viljan varastotilana. Kylmäilmakuivaus ei kuitenkaan ole kovin tehokas ja nopea tapa kuivata viljaa Suomen oloissa. Se ei ole toimiva kosteassa säässä ja kaupparepoiseen viljan kosteuteen ei päästä kaikissa olosuhteissa. Jos maatilalla on valmiiksi olemassa oleva biokattila, sen hyödyntäminen kylmäilmakuivurissa lisälämmönlähteenä esimerkiksi radiaattorin avulla, voisi ratkaista ongelman (kuva 19).



Kuva 19. SWOT-analyysi kylmäilmakuivauksesta.

3.2 Öljypoltin

Valtaosalla maatiloista on viljankuivauksen lämmöntuottamiseen käytössään öljypoltin. Syynä tähän on se, että öljypoltin on suhteellisen halpa investointi, sen tekniikka on yksinkertaista ja huoltoa ei tarvita paljoa. Lisäksi polttoaineena öljy on energiatiheää, tasalaa- tuista, öljy ei vie paljoa tilaa ja sitä on helppo käsitellä. Nestemäinen polttoaine vaatii vain vähän liikkuvia osia ja häiriötilanteita sattuu vain harvoin. Öljypoltin vaatii aina lämmön- vaihtimen, jolloin osa tuotetusta lämmöstä häviää savukaasujen mukana, tämä heikentää hyötysuhdetta. Fossiilisen öljyn oletuspäästökerroin on iso. Vaihtoehtoisesti voidaan polttaa bioöljyjä, joilla tosin on erilaisia ominaisuuksia. Esimerkiksi rypsiöljyllä on korkea visko- siteetti, jolloin vaaditaan saattolämmitystä ja moniöljypoltinta. Bioöljyä käytettäessä kan- nattavuutta parantaa se, että tuottaa öljyn itse. Fossiilisen öljyn hinta on vahvassa nousussa, joka lisää kannattavuutta siirtyä biopolttoaineisiin (kuva 20).

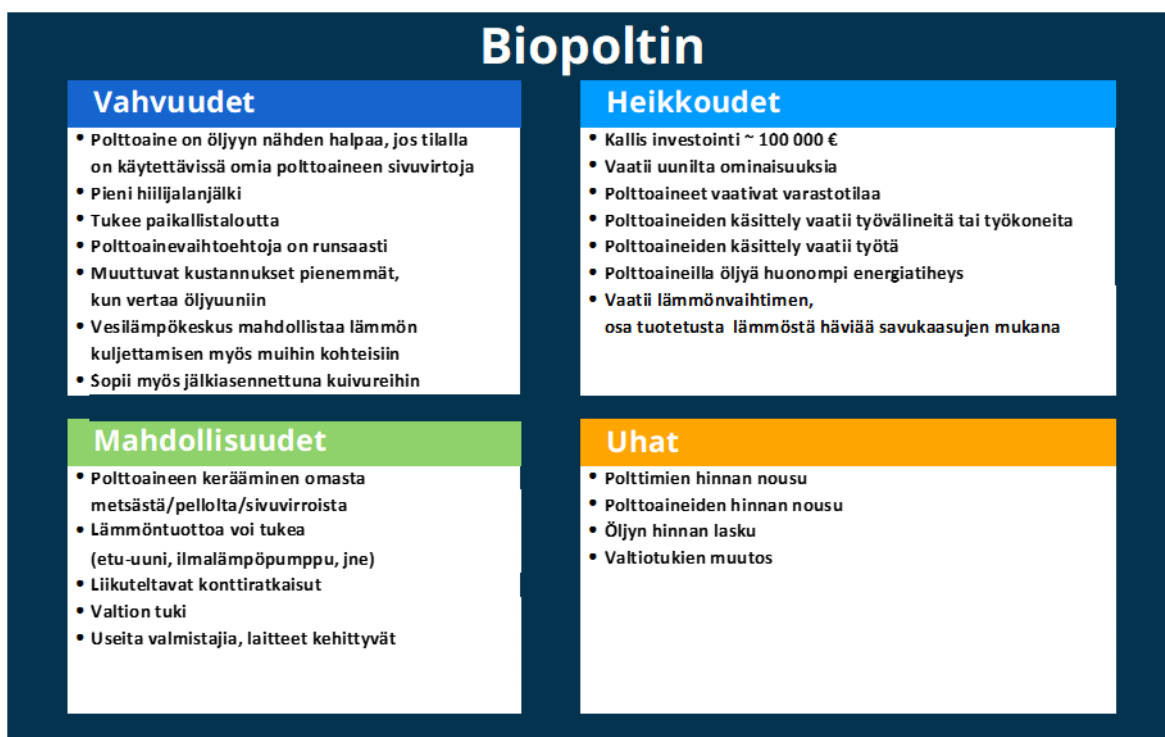
<h2>Öljypoltin</h2>	
<h3>Vahvuudet</h3> <ul style="list-style-type: none"> • Halpa investointi ~ 15 000 € • Yksinkertainen tekniikka • Ei vaadi paljoa huoltoa • Yksinkertaista käyttöä • Öljy ei vaadi isoja varastointiloja • Öljy on energiatiheää 	<h3>Heikkoudet</h3> <ul style="list-style-type: none"> • Fossiilisella öljyllä palamistuotteita, jotka edistävät ilmaston lämpenemistä • Fossiilisen öljyn korkea hinta • Poltin vaatii lämmönvaihtimen, jolloin osa tuotetusta lämmöstä häviää savukaasujen mukana • Bioöljyillä usein korkea viskositeetti, vaatii esilämmityksen • Bioöljyillä heikko saatavuus ellei itse tuota
<h3>Mahdollisuudet</h3> <ul style="list-style-type: none"> • Lämmöntuottoa voi tukea korvatakseen öljyn käyttöä (aurinkokeräimillä, radiaattorilla, jne) • Bioöljyn polttaminen vaihtamalla moniöljypolttimeen • Puukaasun polttaminen öljykattilassa, vaihtamalla poltin tuotekaasupolttimeksi 	<h3>Uhat</h3> <ul style="list-style-type: none"> • Öljyn hinnan nousu • Energiaverotuksen muutoksen

Kuva 20. SWOT-analyysi öljypolttimesta.

3.3 Biopoltin

Biopolttimen pääomakustannus on suurempi kuin öljypolttimen, mutta muuttuvat kustannukset ovat pienemmät. Jotta biopoltin -investointi olisi kannattava, maatilatoiminnasta pitäisi syntyä sivuvirtoja, joita voidaan käyttää polttoaineina, kuten haketta, myyntikelvotonta viljaa tai lajittelutähteitä. Kannattavuus vaatii myös isoja viljankuivausmääriä eli kyseessä olisi iso viljatila tai kuivuriyhtymä tai sitten biopoltin tulisi yhdistää muuhun lämmöntuotantoon, joka vaatii isoja tehoja. Konttimallinen poltin on siirrettävissä ja helpommin hyödynnettävissä kuivausajan ulkopuolella, vaikka kasvihuoneessa tai rakennustyömaalla. Jos poltetaan vain pellettiä, on siilo ja purkauslaitteet mahdollista saada edullisemmin, kuin hakkeelle. Pelletti on myös tasalaatuisempaa polttoainetta, jolloin huollon tarve ja siihen liittyvät kustannukset pienenevät.

Biopolttoaineiden hiilidioksidipäästöjä ei lasketa Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästö määrään, jolloin polttoaine katsotaan olevan ilmastoystävällinen ratkaisu. Laitteistoja kehitetään, koska niille on markkinoita, samalla automatiikka ja käyttö kehittyy. Biopolttimen kannattavuuteen vaikuttaa öljyn hinnan taso sekä valtion tukimahdollisuudet. Huonoina puolina on, että biopohjaisia polttoaineita käytettäessä on käsiteltävä suuria polttoainemääriä. Lisäksi tarvitaan isoja varastoja sekä koneellista käsittelyä, jolloin kuljetus- ja varastointikustannukset nousevat korkeiksi (kuva 21).



Kuva 21. SWOT-analyysi biopolttimesta.

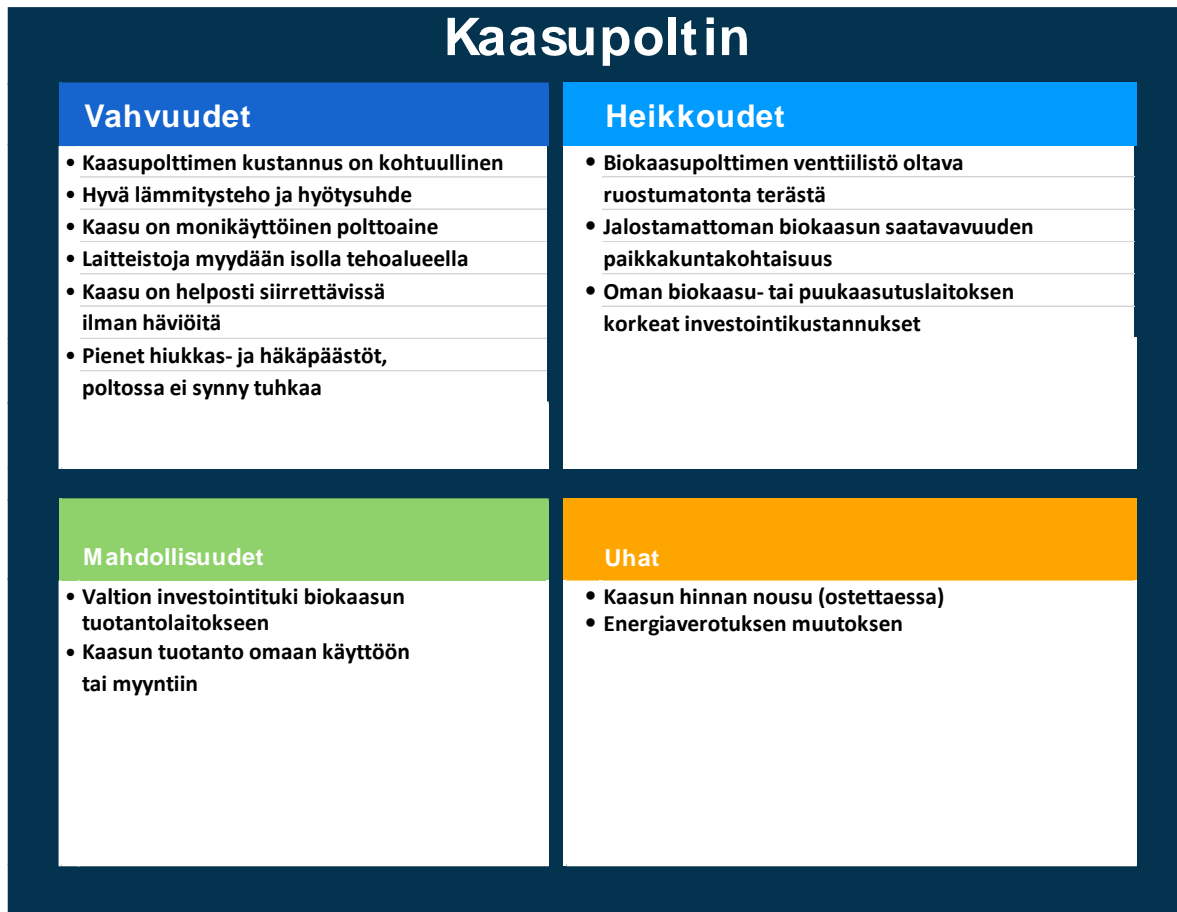
3.4 Kaasupoltin

Kaasupolttimen kustannus on kohtuullinen, se on verrattavissa öljypolttimen hintaan. Biokaasun kohdalla kustannuksia nostaa polttimen venttiilistö, joka täytyy olla ruostumatonta terästä, sillä biokaasun rikkivedyt reagoivat useimpien metallien kanssa aiheuttaen korroosiota. Kaasupolttimia myydään laajalla tehoalueella, niillä on hyvä lämmitysteho sekä hyötysuhde.

Polttoaineena kaasu on monikäyttöinen, sitä voidaan hyödyntää lämmöntuotannon lisäksi esimerkiksi moottoreissa. Kaasua on helppo siirtää putkia pitkin, eikä siirrosta synny häviöitä. Lämmöntuotantoon tarkoitetun biokaasun saatavuus eroaa jonkun verran paikkakunta-kohtaisesti. Raakabiokaasua ei kannata kuljettaa pitkiä matkoja, vaan se yleensä myydään paikallisesti. Lisäksi energiaverotusta koskevaa lainsäädäntöä muokataan ja biokaasun kohdistuvat verotuspäätökset saattava lähitulevaisuudessa muuttua.

Mahdollista olisi tuottaa itse puu- tai biokaasua, mutta se vaatisi ison investoinnin puukaasutus- tai biokaasulaitteistoon. Tämä voisi olla kannattavaa, kun raaka-aine tulee tilan sisältä. Useilla maataloilla on raaka-ainetta saatavilla tilan sivuvirroista tai maatalousjätteistä.

Kaasu tulisi hyödyntää tilalla muissa käyttötarkoituksissa viljankuivauksen ulkopuolella. Laitosinvestointiin voisi olla mahdollista saada valtiolta tukea. Oman biokaasulaitoksen avulla maatilat, joilla on paljon biokaasun raaka-aineena hyödynnettäviä biomassoja, voisivat olla suhteellisen omavaraisia lämmön ja sähkön suhteen. Sähkön hinnan nopean kallistumisen myötä biokaasun CHP -laitokset ovat muuttuneet kannattaviksi (kuva 22).



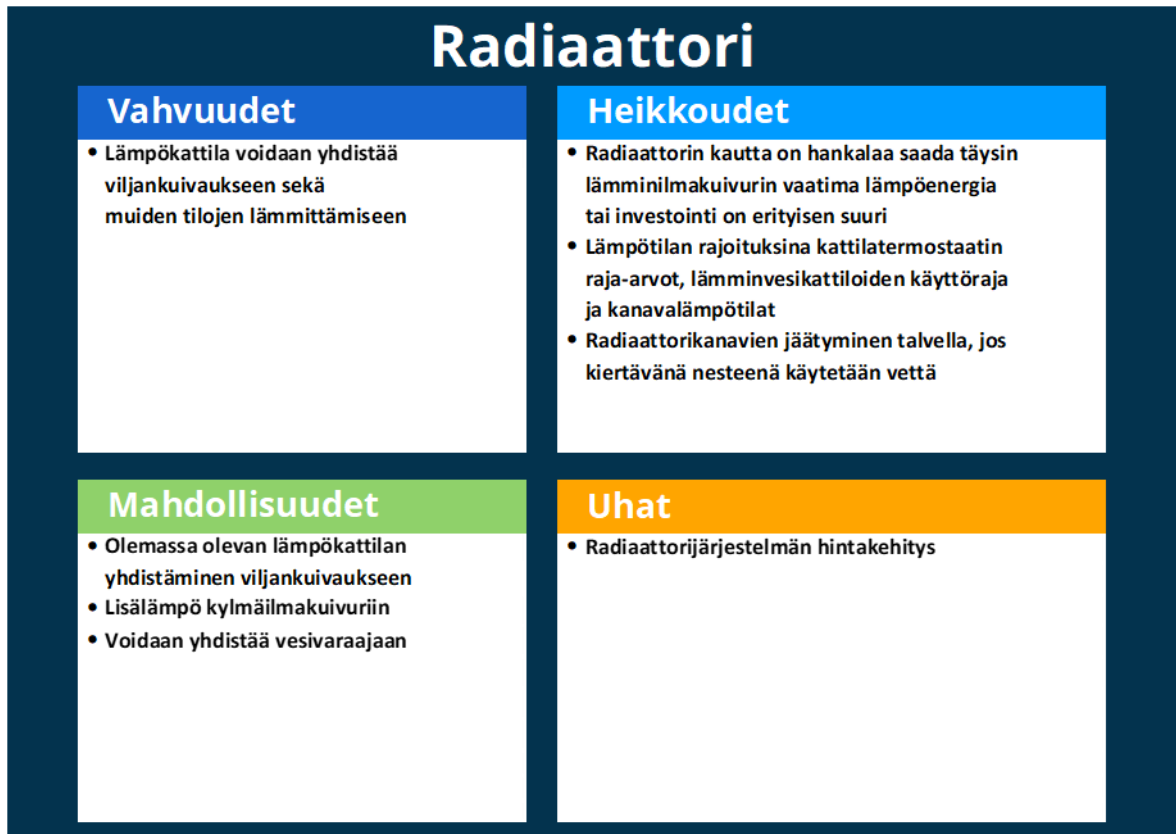
Kuva 22. SWOT-analyysi kaasupolttimesta.

3.5 Radiaattori

Olemassa oleva lämpökattila voidaan yhdistää viljankuivaukseen radiaattorin avulla. Lämpökattilasta saadaan lämmitystehoja viljankuivauksen aikaan kuivurilla ja muihin tuotantotiloihin muuhun aikaan vuotta. Kannattavin radiaattoriratkaisu on, jos lämmitystehontarve viljankuivauksen ulkopuolella on yhtä suurta kuin kuivurin vaatima lämmitysteho. Tämä toteutuu esimerkiksi kotieläintiloilla, joilla vaaditaan isoja lämmitystehoja talvella. Radiaattoria voidaan käyttää myös öljypolttimen rinnalla lämmittämään öljypolttimen imuilmaa,

varsinkin jos järjestelmässä on vesivaraaja. Radiaattorilla voidaan tuottaa myös lisälämpöä kylmäilmakuivuriin.

Radiaattorissa kiertävän nesteen lämpötilalle on kuitenkin rajoituksia, joka hankaloittaa viljankuivauksen toteuttamista yksin radiaattorin avulla. Kannattavuus riippuu lämpökeskukseen ja kuivurin välisestä etäisyydestä, joka vaikuttaa investointikustannuksiin (kuva 23).

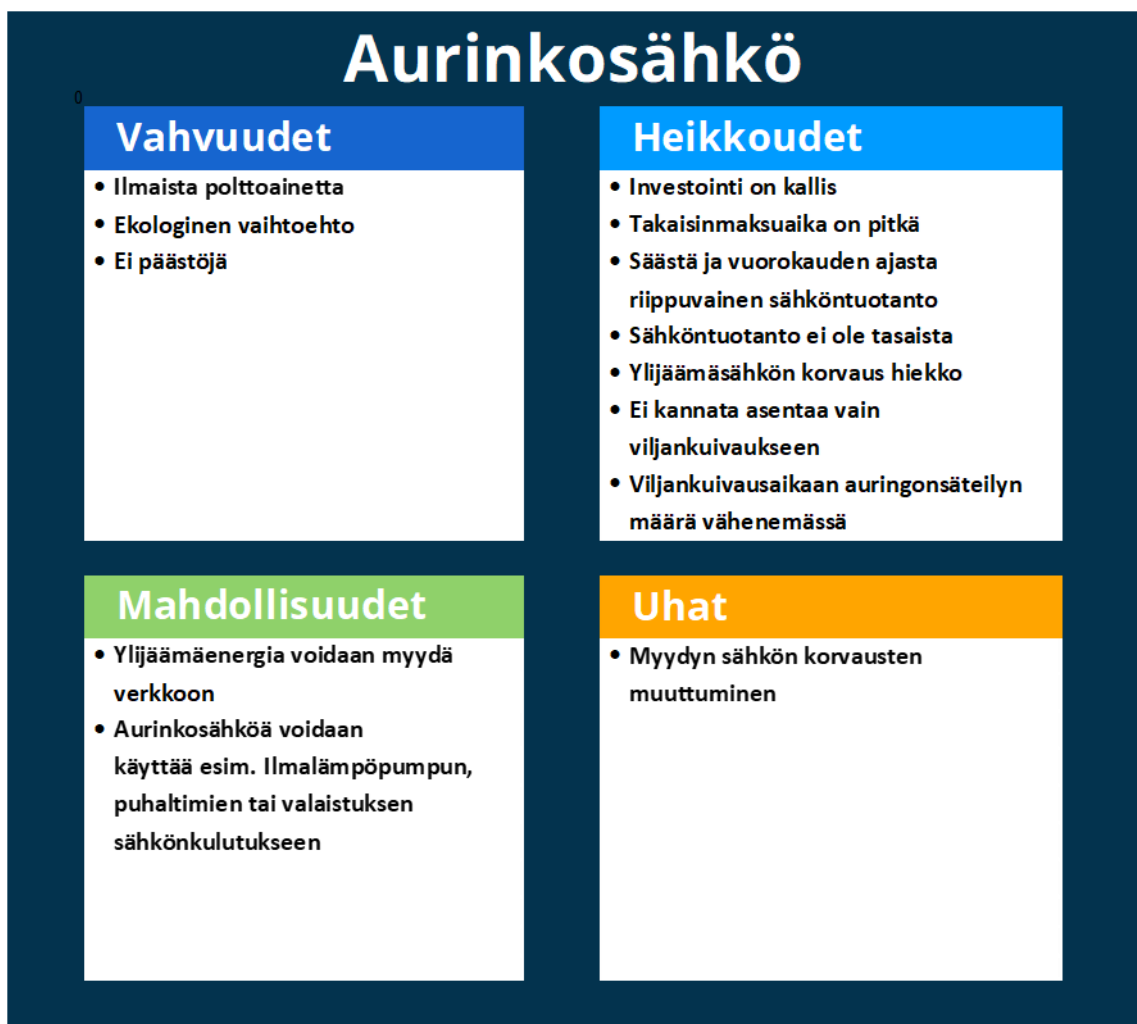


Kuva 23. SWOT-analyysi radiaattorista.

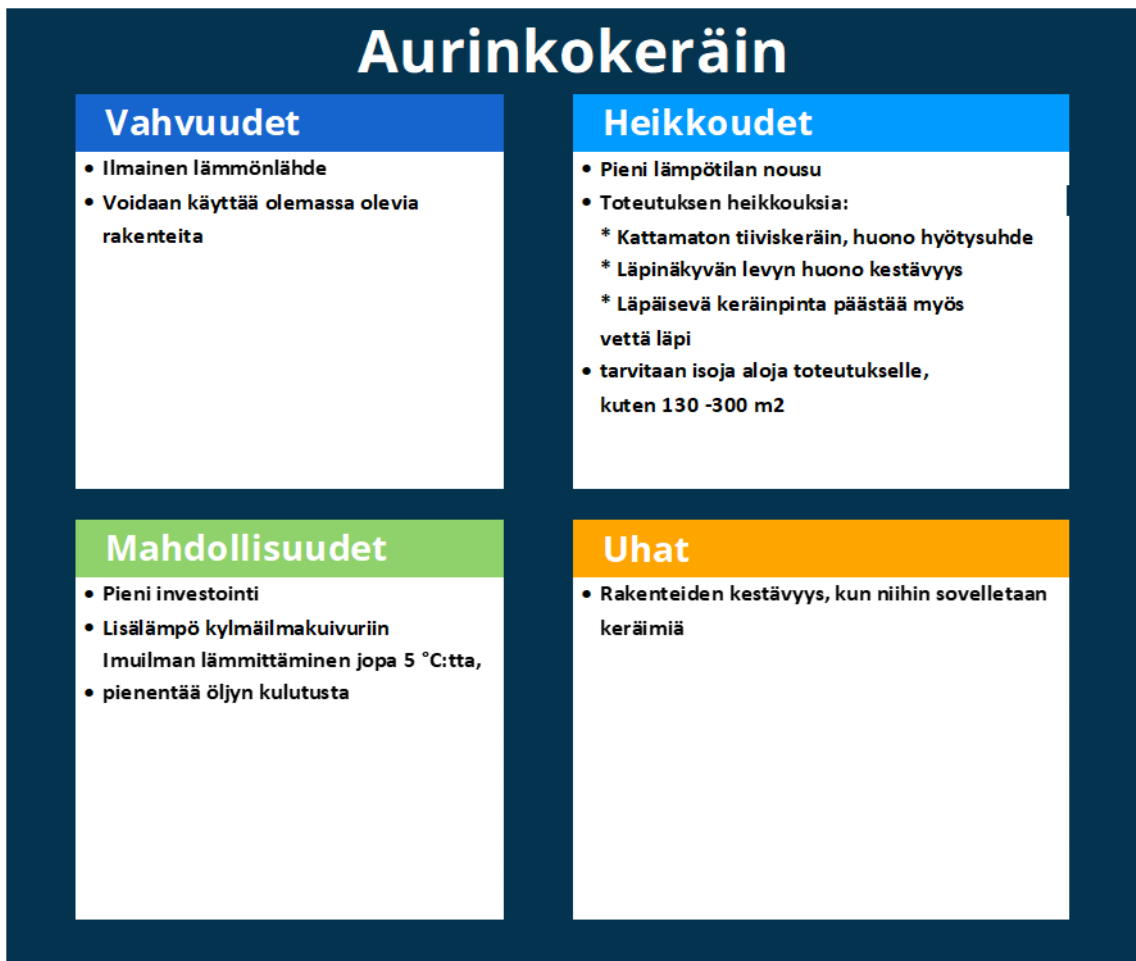
3.6 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on ilmaista ja ympäristöystävällistä energiaa. Sähköpaneelilla tuotetun ylijäämä sähköä voi myydä verkkoon, jos järjestelmä on liitetty verkkoon ja myynnistä sovittu sähköyhtiön kanssa. Aurinkosähköä voidaan hyödyntää elevaattorin, puhaltimien, lämpöpumpun tai lämpövastusten käyttämiseen tai valaisuun. Kuitenkin aurinkosähköjärjestelmät ovat kalliita ja koska viljankuivausaika vuodessa on lyhyt ja auringon säteily syksyllä jo vähenemässä, monimutkaisen keräimen asentaminen viljankuivaukseen, on taloudellisesti kannattamatonta (kuva 24).

Aurinkoenergian käyttö viljankuivauksessa on taloudellisesti kannattavaa vain yksinkertaisilla lämpökeräimillä. Aurinkokeräimellä voidaan lämminilmakuivureissa nostaa kuivuriuunin imuilman lämpötilaa noin 5 °C:tta. Tämäkin vähentää osaltaan polttoaineen kulutusta, erityisesti isoissa kuivausmäärissä. Imuilman lämpötilan nousu saattaa vaikuttaa myös kapasiteettia nostavasti, kun kuivausilman määrää ei tarvitse rajoittaa lämpötilan nostamiseksi. Keräämiseen voi hyödyntää valmiita katto- sekä seinärakenteita. Huonona puolena tässä ratkaisussa on rakenteiden kestävyys, kun niissä sovelletaan aurinkokeräimiä, lisäksi toteutus vaatii ison pinta-alan (kuva 25).



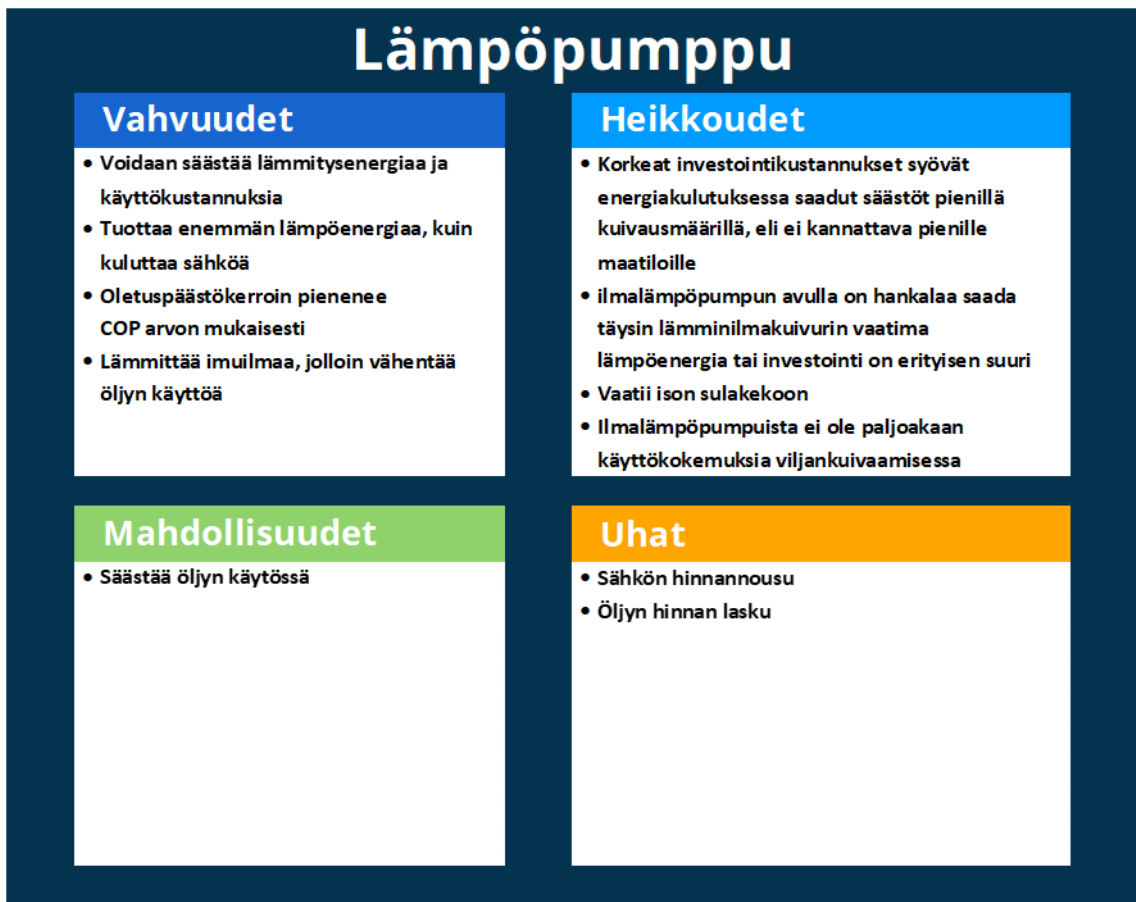
Kuva 24. SWOT-analyysi aurinkosähköstä.



Kuva 25. SWOT-analyysi auringon lämpökeräimestä.

3.7 Lämpöpumppu

Lämpöpumppu voisi olla kannattava ratkaisu suurilla tiloilla, joissa kuivausmäärät ovat isot ja jossa suuremman sulakekoon tehokapasiteetti saadaan hyödynnettyä muuallakin kuin viljankuivauksessa. Lämpöpumpuilla on mahdollista säästää ostetussa lämmitysenergiassa ja kuivurin käyttökustannuksissa. Lisäksi sähkön päästökerroin on pienempi kuin öljyn. Kuitenkin pienillä kuivausmäärillä korkeat investointikustannukset syövät energiakulutuksessa tehdyt säästöt (kuva 26).



Kuva 26. SWOT-analyysi lämpöpumpusta.

3.8 Lämmöntalteenotto

Viljakuivurin lämmöntalteenotossa on selkeä säästöpotentiaali energiansäästön ja päästöjen näkökulmasta. Lämpöenergiaa on paljon talteen otettavissa. Lämmöntalteenotto soveltuu parhaiten uusiin rakennettaviin kuivureihin. Se kannattaa huomioida rakennettaessa, koska usein kuivausilma- ja poistoilmaputket ovat eripuolilla kuivurirakennusta. Lämpimän ilman siirtomatka on tällöin pitkä ja se nostaa investointikustannuksia sekä lämpöhäviöitä. Lämmöntalteenotto voidaan toki asentaa myös vanhoihin kuivureihin.

Lämmöntalteenotto lämmönvaihtimeen perustuvalla tekniikalla, nousi potentiaaliseksi toimeksi taloudellisesta sekä ympäristön näkökulmasta. Lämmönvaihtimeen perustuvan lämmöntalteenoton takaisinmaksuaika on kohtuullinen. Lämpöpumppujärjestelmään perustuva lämmöntalteenoton pääomakustannus on suurempi. Markkinoilla lämmöntalteenottolaitteistoja ei ole merkittävästi ja haastateltu PTO Tekniikka Oy:n Marko Ylitalo vastasi

haastattelussa, että heiltäkin puuttuu kokonaan mainonta liittyen lämmöntalteenottojärjestelmään. Vaikuttaa siltä, että vaikka järjestelmä koetaan potentiaalisesti energiatehokkuuden kannalta, yritykset eivät panosta järjestelmien kehitykseen tällä hetkellä.

(kuva 27).

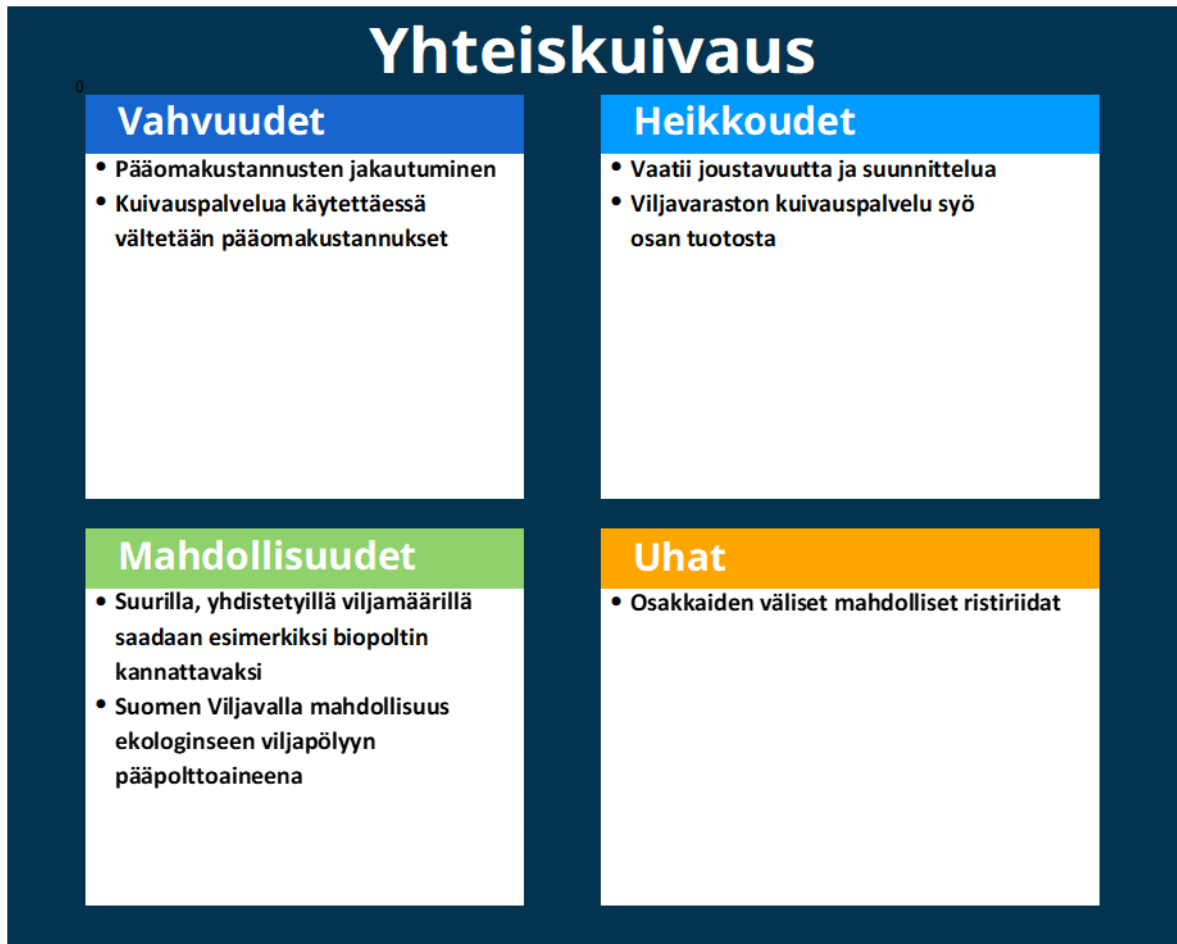


Kuva 27. SWOT-analyysi lämmöntalteenotosta.

3.9 Yhteiskuivaus

Pääosa viljan kuivauksen kustannuksista tulee kuivurin pääomakustannuksista. Yhteiskuivauksella voidaan jakaa pääomakustannuksia yhteistyössä oleville viljajaloille. Yhdistetyillä viljamäärillä saadaan investoinnin takaisinmaksuaikaa lyhyemmäksi ja investointi kannattavammaksi. Yhteiskuivaus sopii maataloille, jotka sijaitsevat riittävän lähellä toisiinsa, intressit kuivuri-investoinnin suhteen ovat yhtenevät ja suunnittelu sekä joustavuus onnistuu maanviljelijöiden kesken. Kuivaus voidaan myös ostaa viljankuivauspalveluna,

jolloin saadaan leikattua pääomakustannukset. Kuivauspalvelun käyttäminen helpottaa maanviljelijää työkuorman vähentyessä puintiaikaan, mutta edellyttää että maatila on sijoittunut suhteellisen lähelle toimituspaikkaa. (kuva 28).



Kuva 28. SWOT-analyysi yhteiskuivauksesta.

4 Johtopäätökset

Tarkoituksena oli tutkia vaihtoehtoja siirtyä kestävämpään lämmöntuotantoon öljyn polton sijaan viljankuivauksessa. Työssä käsiteltiin lämmöntuotannon poltintarkeitä, muita vaihtoehtoja kuivata viljaa sekä ympäristöystävällisempiä polttoainevaihtoehtoja. Maatilat ovat keskenään erilaisia, joten kannattavin lämmöntuotantotapa tai polttoaine riippuu tilakohtaisesti esimerkiksi tilan olemassa olevista resursseista, tilan muusta lämmitystarpeesta, kuivattavan viljan määrästä, kuivuriuunin tehosta ja kuivurin tehontarpeesta. Yhtä selkeää vaihtoehtoa ei voida esittää.

Kuten aiemmissakin tutkimuksissa on todettu, ongelmana useassa tapauksessa on se, että kuivurin tehontarve sopii harvoin yhteen maatalan muun lämmitystehontarpeen kanssa. Lisäksi kuivuri-investoinnit ovat usein kalliita ja kuivurin lämmöntarve on vain lyhyt aika vuodesta eli käyttötuntien määrä vuodessa on suhteellisen vähäinen investoinnin suuruuteen nähden. Mitä isompi investointi viljankuivaukseen on, sitä suuremmat kuivausmäärät tarvitaan, jotta investoinnit olisivat kannattavia. Lisäksi nämä investoinnit olisi hyvä saada käyttöön jossain muussa maatalan toiminnassa viljankuivauksen ulkopuolella, jolloin takaisinmaksuaika lyhenee. Toinen merkittävä tekijä investointien taloudelliseen kannattavuuteen on öljyn hinnan kehittyminen.

Yhteenvedossa on tuotu esiin lämmöntuotannon vaihtoehtoja sekä käsitelty niiden vahvuuksia, mahdollisuuksia, heikkouksia ja uhkia. Parasta olisi, jos öljyn käytöstä voitaisiin luopua kokonaan. Kuitenkin ensisijainen tavoite vaihtaa kallistuva öljy täysin vaihtoehtoiseen polttoaineeseen ei välttämättä ole kaikissa tapauksissa, ja varsinkin pienillä tiloilla, taloudellisesti kannattavaa johtuen juuri isoista pääomakustannuksista. Voidaan todeta, että kannattavaa kaiken kokoisilla maataloilla on huomion kiinnittäminen energiatehokkaaseen kuivurin käyttöön, jolloin voidaan ainakin vähentää öljyn käyttöä. Maanviljelijä pystyy tiivistämään kuivurisiiloa ja eristämään kuivurin suhteellisen edullisesti. Kunnossapitotoimet tai -tarkastukset, kuten polttimen säädöt, puhallettava ilmamäärä, nuohous olisi hyvä tehdä ennen kuivauksen aloitusta. Energiatehokas kuivurin käyttö lyhentää myös kuivausaikaa.

Jatkotutkimusaiheena näkisin maatalojen yhteistoiminnan tutkimisen perusteellisemmin. Perustamalla maatalojen yhteisen energiatuotannon esimerkiksi biokaasulaitoksen muodossa.

Kuivuriyhtymä voisi olla maatilayhteistyön jatke. Kuivuriyhtymänä on mahdollista kasvat-
taa kuivattavan viljan määrää niin, että kalliimpikin kuivuri-investointi muuttuu kannatta-
vaksi pääoman jakautuessa. Mutta millainen maatilayhteistyömalli mahdollistaa yhteisen
energiatuotannon tai kuivurin käytön? Olisiko maatilojen mahdollista olla energiaomavarai-
sia ja miten toiminta pitää huomioida verotuksellisesta näkökulmasta? Energianhinta on tällä
hetkellä nousussa, millaisessa tilanteessa energiaomavaraisuuteen investoiminen on kannat-
tavaa? Toinen mielenkiintoinen jatkotutkimusaihe olisi syvällisempi tutkimus kuivurin sää-
döistä kuivauksen eri vaiheissa, millainen vaikutus niillä on ja millaisilla säädöillä on suurin
positiivinen vaikutus energiatehokkuuden näkökulmasta.

Lähteet

Ahokas, J. & Jokiniemi, T. n.d. Viljankuivaus. [verkkojulkaisu]. Energia-akatemia julkaisu. Agroteknologian laitos. Helsinki: Helsingin Yliopisto. [viitattu: 3.3.2022]. Saatavissa: <https://www.energia.agrotekno.fi/wp-content/uploads/2021/04/viljankuivaus.pdf>

Ahokas, J & Mikkola, H. 2013. Viljankäsittelyn tehostaminen tulevaisuuden yksiköissä. [verkkojulkaisu]. Maataloustieteiden laitos. Helsinki: Helsingin Yliopisto. [viitattu: 3.7.2022]. Saatavissa: https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/energiatehokkuutta_viljankuivaukseen_ahokas_ja_mikkola_iv.pdf

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. [verkkojulkaisu]. VTT Technology 258. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. [viitattu: 27.4.2022]. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Alm, M. 2022. Uusiutuva energia. Biokaasulla kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. [verkkojulkaisu]. TEM toimialaraportit 2022:1. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. [viitattu: 3.8.2022]. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163758/TEM_2022_01_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Antti-Teollisuus. 2020. Asennus- ja käyttöohje. Vulcan M10 kuivuriunit. [verkkosivu]. [viitattu: 3.4.2022]. Saatavissa: https://antti.fi/wp-content/uploads/408100-Vulcan-M10-Kuivuriunit_fi_11-2020-1.pdf

Arffman, M. & Taavitsainen, T. 2021. Biokaasun nykytilaselvitys Keski-Suomessa. [verkkojulkaisu]. Jyväskylä: Keski-Suomen liitto. [viitattu: 3.8.2022]. Saatavissa: <https://keski-suomi.fi/wp-content/uploads/sites/3/2021/02/2021-02-01-Keski-Suomen-Liitto-Nykytilaselvitys.pdf>

Arskametalli Oy. 2021a. Graincast, jakso 1. Kaasu kuivurin lämmönlähteenä. [podcast]. [viitattu: 1.8.2022]. Saatavissa: <https://www.arskametalli.fi/podcast/jakso-1/>

Arskametalli Oy. 2022. Arska. Kaikki mitä tarvitset viljan kuivaukseen ja varastointiin. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 17.07.2022]. Saatavissa: https://www.arskametalli.fi/files/tuotesite2022_FI_web.pdf

Citerm. n.d. Citerm -moniöljypoltin. G-sarja ja Junior. Käyttö- ja turvallisuusohjeet asentajalle/käyttäjälle. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 2.8.2022]. Saatavissa: https://xn--moniljypoltti-met-pwb.fi/wp-content/uploads/2020/05/Citerm_uusi.pdf

Kankare, M. 2022. Sähköpostikeskustelu. Tuotanto- ja suunnittelupäällikkö: Arskametalli Oy.

Ek, F. 2022. Puhelinkeskustelu. 12.4. 2022 ja 19.4.2022. Osakas: Xylo Gas Oy.

Hautala, M. 2007. Fysiikkaa pellostä pöytään ja takaisin peltoon. MMTEK -julkaisuja 25. Agroteknologian laitos. Helsinki: Helsingin yliopisto.

Heikkilä, M. 2022. Konttikuivuri sopii erikoiskasveille. [verkkojulkaisu]. Maatilan Pellervo. [viitattu: 10.6.2022]. Saatavissa: <https://maatilanpellervo.fi/2022/03/07/konttikuivuri-sopii-erikoiskasveille/>

Ilmatieteen laitos. 2012. Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeillä I ja II (Vantaa), kWh/m². [verkkojulkaisu]. Helsinki: Ilmatieteen laitos. [viitattu: 3.6.2022]. Saatavissa: https://assets.ctfassets.net/hli0qi7fbbos/31HA86Y2UicDR8zFRQi7aO/fe23e9c9928d9de3c4b89c5788fbf8eb/Vantaa_pystypinnat45_TRY2012.pdf

Ilmatieteenlaitos. 2020. Rikkidioksidi. [verkkosivu]. [viitattu: 30.7.2022]. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rikkidioksidi>

Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Böök, H., Lindfors, A., Pirinen, P., Laapas, M. & Mäkelä, A. 2020. Nykyisen ja tulevan ilmaston säätietoja rakennusfysikaalisia laskelmia ja energialaskennan testivuotta 2020 varten. [verkkojulkaisu]. Helsinki: Ilmatieteen laitos. [viitattu: 3.4.2022]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/321164/FMI-raportteja-RASMI-2020_v2.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Jokiniemi, T. 2016. Energy efficiency in grain preservation. [verkkojulkaisu]. Väitöskirja. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Helsinki: Helsingin yliopisto. [viitattu: 3.4.2022]. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/166973/Energyef.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Järvenpää, M. & Kivinen, K. 1988. Kylmäilmakuivausopas. Ajonkestävä monikäyttökui-vuri. [verkkojulkaisu]. Työtehoseura & Pellervo-lehti. Helsinki: Työtehoseura. [viitattu:

6.5.2022]. Saatavissa: https://www.tts.fi/files/3461/Kylmailmakuivausopas-Ajonkestava_monikayttokuivuri.pdf

Karelia-ammattikorkeakoulu. n.d. Viljankuivaus ja siihen liittyvät energianäkökulmat. [verkkodokumentti]. [viitattu: 10.3.2022]. Saatavissa: https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/kilpelainen_viljankuivauksen_teoriaa.pdf

Kontulainen, J. 2022. Haastattelu. 21.2.2022. Energianeuvoja: ProAgria.

Koskiniemi, E. & Kehittyvä Metsäenergia -hanke (toim.). 2009. Viljankuivaus kotimaisella polttoaineella -opas. Helsinki: Metsäkeskus.

Latva-Teikari, K. 2021. Rypsiöljyn raaka-aineesta on kova pula, ja siksi osa siemenistä joudutaan tuottamaan meille Baltiasta – yhä harvempi viljelijä uskaltaa viljellä rypsiä, vaikka siitä saisi hyvän hinnan. [verkkajulkaisu]. Yle. [viitattu: 2.8.2022]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11977081>

Luke. 2015. Selvitys puukaasun käytöstä viljankuivauksessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 7/2015. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 13.3.2022]. Saatavissa: https://jukur.luke.fi/bitstream/handle/10024/485502/luke-luobio_7_2015.pdf?sequence=4

Luke. 2022. Maatalouslaskenta 2020: Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus 2020. [verkkosivu]. [viitattu: 20.3.2022]. Saatavissa: <https://www.luke.fi/fi/tilastot/maa-ja-puutarhatalouden-energiankulutus/maatalouslaskenta-2020-maa-ja-puutarhatalouden-energiankulutus-2020>

Motiva. 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. [verkkajulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [viitattu: 1.8.2022]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf

Motiva. 2022a. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. [verkkosivu]. [viitattu: 10.5.2022]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

Motiva. 2022b. Maakaasu ja biokaasu. [verkkosivu]. [viitattu: 1.8.2022]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_vii-saasti/energialahteet/maakaasu_ja_biokaasu

Motiva. 2022c. Uusiutuvan energian RED II -direktiivi. [verkkosivu]. [viitattu: 1.8.2022]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/uusiutuvan_energian_red_ii_-direktiivi

Mutikainen, M. 2020. Biokaasun tuotannosta liikennekäyttöön – Missä tökkii? [verkkajulkaisu]. Ramboll Finland. [viitattu: 1.8.2022]. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/16249680/Biokaasu-tuotannosta-liikennek%C3%A4ytt%C3%B6n-Mutikainen-Mirja.pdf/9b75a422-3831-74a6-91c0-131455a20bf6/Biokaasu-tuotannosta-liikennek%C3%A4ytt%C3%B6n-Mutikainen-Mirja.pdf>

Niittymaa, V. 2016. Siirtyminen kotimaiseen energiaan viljankuivauksessa hidastui - halpa öljy hyydytti hakkeen. [verkkajulkaisu]. Maaseudun Tulevaisuus. [viitattu: 10.5.2022]. Saatavissa: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/82e06029-6770-5348-9f47-13f1c3442ef5>

Palva, R., Kirkkari, A. & Teräväinen, H. (toim.). 2005. Viljasadon käsittely ja käyttö. ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja nro 1012. Helsinki: Otava Kirjapaino Oy.

PKS Sähkönsiirto Oy. 2020. Verkkopalveluhinnasto. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 12.5.2022]. Saatavissa: https://pks.fi/wp-content/uploads/2020/02/2020_Sahkoverkkopalveluidenhinnasto_A4_2.pdf

Pentti Korpela Oy. 2020. Moniöljypolttimet. [verkkosivu]. [viitattu: 2.8.2022]. Saatavissa: <https://moniljypolttimet.fi/>

Ruokatieto Yhdistys ry. 2022. Rypsi ja muut öljykasvit. [verkkosivu]. [viitattu: 2.8.2022]. Saatavissa: <https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/maatilalla-kasvatetaan-ruokaa/peltoikasvit/rypsi-ja-muut-oljykasvit>

Ruokavirasto. 2021. Maatalouden investointituet. [verkkosivu]. [viitattu: 27.5.2022]. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/tuet-ja-rahoitus/maatalouden-investointituet/>

Rämä, O. 2022. Sähköpostihaastattelu. Tekninen johtaja: Suomen Viljava Oy.

Suomen Biokierto & Biokaasu ry. Biokaasu ja maatilat. [verkkosivu]. [viitattu: 3.8.2022]. Saatavissa: <https://biokierto.fi/biokaasu/biokaasu-ja-maatilat/>

- Suomen kaasuyhdistys ry. n.d. Biokaasun turvallisuusohje. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 3.8.2022]. Saatavissa: <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/biokaasun-turvallisuusohje>
- Tilastokeskus. 2020. Energiavuosi 2020. Energia ja päästöt. Sähkön ja lämmön tuotannon ominaishiilidioksidipäästöjen liukuvat keskiarvot tarkemmin (hyödynjakomenetelmä, g CO₂ / kWh). [verkkajulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 30.7.2022]. Saatavissa: https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2021/html/suom0011.htm
- Tilastokeskus. 2022a. Energian hinnat. Tärkeimpien öljytuotteiden kuluttajahinnat. [verkkajulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 12.5.2022]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehi/2021/04/ehi_2021_04_2022-03-10_kuv_001_fi.html
- Tilastokeskus. 2022b. Polttoaineluokitus 2022. [verkkajulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 27.5.2022]. Saatavissa: https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
- Uudenmaan ELY-keskus. 2015. Öljyn korvaaminen kaasutetulla puulla. Retrofit kaasuttimen tarina. Helsinki: Svenska lantbrukssällskapens förbund (SLF) ja Fiskarsin Voima Oy.
- Vilja-alan yhteistyöryhmä VYR. 2021. Viljelytietoa. [verkkosivu]. [viitattu: 3.3.2022]. Saatavissa: <https://www.vyr.fi/fin/viljelytietoa/tilastoja/kaytossa-oleva-maatalousmaa>
- Vihma, A., Aro-Heinilä, E. & Sinkkonen, M. 2006. Rypsibiodieselin (RME) maatilatuotannon kannattavuus. [verkkajulkaisu]. MTT:n selvityksiä 115. Helsinki: MTT Taloustutkimus. [viitattu: 3.8.2022]. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts115.pdf>
- Virolainen-Hynnä, A. 2022. Sähköpostikeskustelu. Toiminnanjohtaja. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry.
- Äijälä, O., Kuusinen, M. & Koistinen, A. (toim.). 2010. Energiapuun korjuu ja kasvatusta: Hyvän metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Helsinki: Metsäkustannus Oy.

Liite 1. Sähköpostihaastattelu Markku Kankare, Arskametalli Oy

Hei,

Opiskelen LUTissa energiatekniikkaa ja teen parhaillaan diplomityötä öljyn korvaamisesta uusiutuvilla polttoaineilla viljankuivauksessa.

Olen tutustunut teidän tuotteisiinne.

Mietin, että onkohan mahdollista saada arviohintoja esimerkiksi Ecoheaterille, Etu-uunille sekä kaasupolttimelle samassa teholuokassa?

Vai onko kaasupolttimenne teholtaan verrattavissa Ecoheateriin ja Etu-uuniin?

Tekisin taloudellista kannattavuusvertailua öljypolttimen vaihtamiseen näihin tuotteisiin.

Olisi paras vaihtoehto, jos käytössäni olisi hinta-arvio pienemmän teholuokan ja ison teholuokan uuneille. Todennäköisesti mitä isompi viljamäärä ja kapasiteetti, sitä kannattavampaa öljystä poisvaihtaminen olisi.

Kiitän ja etukäteen!

Mukavaa viikkoa!

Ystävällisin terveisin,

Johanna Malmi

Hei Johanna,

Hienoa, että tutkit vaihtoehtoisen energian käyttöä viljankuivauksessa.

Tuotteidemme hinnoittelu on vähän hankalaa tässä tapauksessa, koska me toimitamme vain uunin (=lämmönvaihdin) ja toimituksemme ei kuulu poltinta eikä varastoa polttoaineelle.

Muutama sana tuotteistamme.

Etu-uuni on öljykäyttöisen uunin ”lisävaruste” eli se ei toimi yksinään kuivurin lämmönlähteenä vaan tarvitsee aina kaverikseen öljyuunin. Kuivausilma imetään Etu-uunin läpi öljyuunin puhaltimen avulla ja poltettaessa syntyvät savukaasut ohjataan öljyuunin lämmönvaihtimen läpi. Etu-uuni on siis käytännössä tulipesä kiinteää polttoainetta polttavalle polttimelle. Etu-uunilla varustetun systeemin maksimiteho on 400kW.

Ecoheaterissa on sekä tulipesä, että lämmönvaihdin eli se toimii kuivurin lämmönlähteenä yksinään. Ecoheater on ns. alipaineuuni eli puhaltimet imevät kuivausilman sen läpi. Ecoheaterin maksimiteho on 650kW.

Molempiin kiinteän polttoaineen vaihtoehtoihimme asiakas voi vapaasti valita minkä tahansa valmistajan polttimen.

Karkea hinta-arvio kiinteän polttoaineen polttolaitokselle on alkaen 100.000€, joten järkevä takaisinmaksuaika vaatii suhteellisen suuren viljelypinta-alan. Toki tämänhetkinen öljyn hinnan kehitys tukee biopolttoaineisiin siirtymistä pienemmilläkin pinta-aloilla.

Hinta-arvio on valmiille laitokselle polttoainevarastoineen. Konttiratkaisuja löytyy hitusen edullisempaan hintaan, mutta tarvittavien muutostöiden kanssa ollaan hyvin lähellä 100.000€ lukemaa.

Kaasupolttimista löytyy tehoaluetta 200-32000kW. Polttoaineena voi käyttää nestekaasua, maakaasua ja biokaasua. 800kW kaasupolttimen OVH on n. 24.000€. Lisäksi tarvitaan kaasuvarasto. Nestekaasulle varastotankki yleensä vuokrataan kaasuntoimittajalta. Vuokraa en tiedä, koska se annetaan vain asiakkaalle. Voit kysyä vuokralle noin arviota Kosan Gas Oy:ltä, Lasse Kaitasalolta.

Maakaasua käytetään Suomessa verraten vähän suppean jakeluverkoston takia. Yleisimmin on käytössä nestekaasu. Biokaasun kanssa kustannuksia nostaa polttimen venttiilistö, joka täytyy olla ruostumatonta terästä.

Konttiratkaisuista voit kysellä Ari Inkivaaralta, Alfaflame Oy.

Toivottavasti tästä on jotain apua. Kysele ihmeessä lisää, kun työsi edistyy.

Markku Kankare

Tuotanto- ja suunnittelupäällikkö

Production and Design Manager

+358 45 805 3885

Arskametalli Oy

Saarentaantie 33

FI-31400 Somero

www.arskametalli.fi

Liite 2. Sähköpostihaastattelu Marko Ylitalo, PTE Tekniikka Oy

Haastattelu PTE Tekniikka Oy

19.4.2022

Viljankuivauksessa poistoilman kosteus on korkea, joten lämmöntalteenotto on toteutettava lämmönvaihtimen avulla. Ymmärtääkseni hankalinta lämmöntalteenotossa on poistoilman sisältämä lika ja tomu, jotka likaavat lämmönvaihtimen pintaa ja tukkii suodattimet. Puhdistaminen pitäisi tapahtua nopeasti ja helposti sekä menettämättä lämpöenergiaa.

- **Miten te olette ratkaisseet tätä ongelmaa?**
- **Osaatko avata minulle, millaiset ovat teidän lämmönvaihdin- sekä suodatusyksikkönne?**

Meillä on suodatusyksikkö ennen lämmönvaihdinta. Suodatusyksikössä on teollisuusmallin suodattimet suurella kapasiteetilla. Yleensä asiakas ottaa tuplasuodattimet, jolloin puhdistus voidaan suorittaa prosessin ollessa käynnissä ja vaihtaa tarvittaessa nopeasti puhdistetut suodattimet erien välillä. Riippuu tietysti kuivattavan viljan määrästä ja roskien määrästä, mutta yleensä riittää muutama (1-3) puhdistuskerta per kuivauskausi. Tätä ainakaan asiakkaat eivät ole kokeneet ongelmaksi. Lisäksi systeemi on varustettu sulkuventtiilillä, jota suositellaan pitämään auki ensimmäisen kierron ajan, eli noin 20-40min riippuen kiertonopeudesta. Tällöin suurimmat roskat lentävät pihalle, eivätkä mene tukkimaan suodattimia. Tosin tätä ei kuulemma juuri kukaan tee ja silti suodattimet kestävät tukkeutumatta hyvin. Ohjausyksikössä on lähtö, että venttiilin toiminnan voisi automatisoida, mutta se vaatii jonkinlaisen toimilaitteen sulkuventtiiliä ohjaamaan.

ProAgrian lähteen mukaan onnistuneella lämmöntalteenotolla voitaisiin säästää jopa 50 %:ia polttoaineen kulutuksessa. Teidän nettisivujen materiaaleissa näyttäisi olevan, että olette päässyt 30 %:n vähennykseen öljyn kulutuksessa laitteiston asennuksen jälkeen.

- **Kuulostaako 50 %:n säästö öljyn kulutuksessa mielestäsi realistiselta?**

Kuulostaa hyvinkin realistiselta. Itse asiassa sopivissa olosuhteissa (sade) pelkästään tällä meidän LTO:lla + ohjausyksiköllä päästiin mittausten mukaan noin 50% säästöön.

- **Osaatko kommentoida mitä se vaatisi?**

Ilmalämpöpumppuun perustuvalla tekniikalla päästään varmasti yli 50% säästöihin, mutta alkuinvestointi on +100k€, eli se ei monelle ole tässä tilanteessa vaihtoehto.

- **Onko PTE-LTO laitteistolle kiinnostusta?**

Kiinnostusta on ollut jonkin verran ja asiakaspalaute on ollut hyvää. Ongelmana tässä meidän kohdalla on markkinointi, jota ei ole. Ylivoimaisesti suurin osa meidän liikevaihdosta tulee teollisuuspuolelta, jotenka maatalouspuoleen ei ole hirveästi edes panostettu.

Koko LTO:n kehitys lähti siitä, että mietittiin, miten tutun maataloudesta saisi kustannuksia pudotettua ja hänelle tehtiin ensimmäinen versio jo 10v sitten. Siellä olemme päässeet testaamaan ja kehittämään laitteiston toimivuutta ja parametrejä.

Mielestäni asia on tärkeä ja kiinnostusta pitäisi olla.

Rajoittavana tekijänä mautiloilla on tietysti kannattavuus ja takaisinmaksuaika.

- **Osaatko määritellä takaisinmaksuaikaa teidän tarjoamallenne LTO järjestelmälle?**

Takaisinmaksuaika riippuu aivan täysin kuivattavan viljan määrästä. Pienillä tiloilla pitkä ja suurilla lyhyt. Jos näillä PÖ:n hinnoilla ja 10 000 l vuosikulutuksella laskee 30% säästön, takaisinmaksuaika on alle 3v.

- **Millaiset hehtaarit pitäisi olla viljelyssä, että takaisinmaksuajassa päästäisiin esim. 10 vuoteen?**

Tähän en oikein osaa vastata, koska minulla ei ole hajuakaan, paljonko kuivaukseen kuuluu polttoöljyä per hehtaari.

- **Mitä laitteisto maksaa kauttanne sisältäen lämmönvaihdinyksikön, suodatinyksikön, 3-tieventtiilin, 3 lämpötilalähetintä, suodatinvahdin ja PTE-GSM ohjausyksikön?**

Pitäisi varmasti tarkastaa alihankkijoiden tarkat hinnat, mutta noin 11 000€ ALV0%

Tähän vielä kannattaa huomioida, että ohjausyksikkö osaa lähettää tekstiviestin tai soittaa hälytyksistä ja kuivauksen päättymisestä, eli helpottaa oleellisesti kuivatusprosessin valvontaa.

Käsittelen työssäni esimerkkitilaa, joka tosin on suhteellisen pieni. Tilalla on 38 hehtaaria peltoa, joilla viljellään viljaa. Keskimääräinen sato on 4000 kg/ha. Kuivuri on eristämätön kennokuivuri (tosin tämän DI-työn yhteydessä eristämistä suunnitellaan). Kuivurin öljypoltin on vuodelta 1987. Sen on valmistanut Jaakko Tehtaat Oy ja malli on Jaakko 180B. Ilmamäärä polttimen läpi on 12 100 m³/tunnissa, ilmoitettu teho on 205 kW ja hyötysuhde 87 %. Kennoihin puhallettava ilma on 60 °C:tta.

- Millainen takaisinmaksuaika olisi lämmöntalteenottojärjestelmän asentamisella tällaiseen kohteeseen?

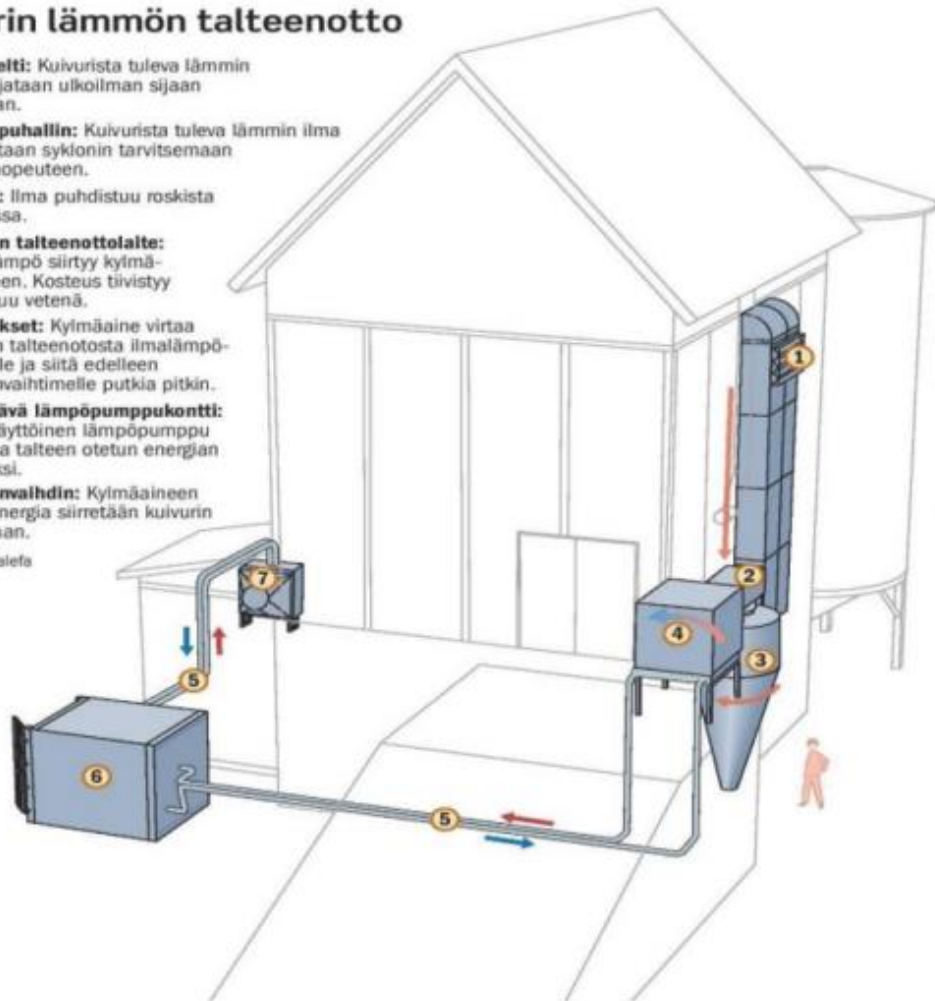
Laskin summittaisesti meidän logien mukaan, että öljyä kuluisi noin 2400l per kuivatuskausi LTO:n asentamisen jälkeen. Esimerkkikuivurissa 12m³ viljaerän kuivaamiseen meni noin 112l öljyä. Alkukosteus oli 35% ja loppukosteus 12.5%.

Olen löytänyt kahdenlaisen lämmöntalteenottototeutuksen, toinen on Calefa Oy:n ”Maho-ton”, joka ottaa talteen lämpöä levylämmönvaihtimella ja johtaa lämmön nestekierrolla läm-pöpumpulle. Mahottomassa on sykloni, joka puhdistaa poistoilmasta suurimmat epäpuhtau-det. Lisäksi pussisuodattimilla toteutetaan hienosuodatus. Pussisuodattimet on puhdistetta-va kuivauserien välissä, mutta heidän mukaansa kyseessä on noin vartin työ.

Kuivurin lämmön talteenotto

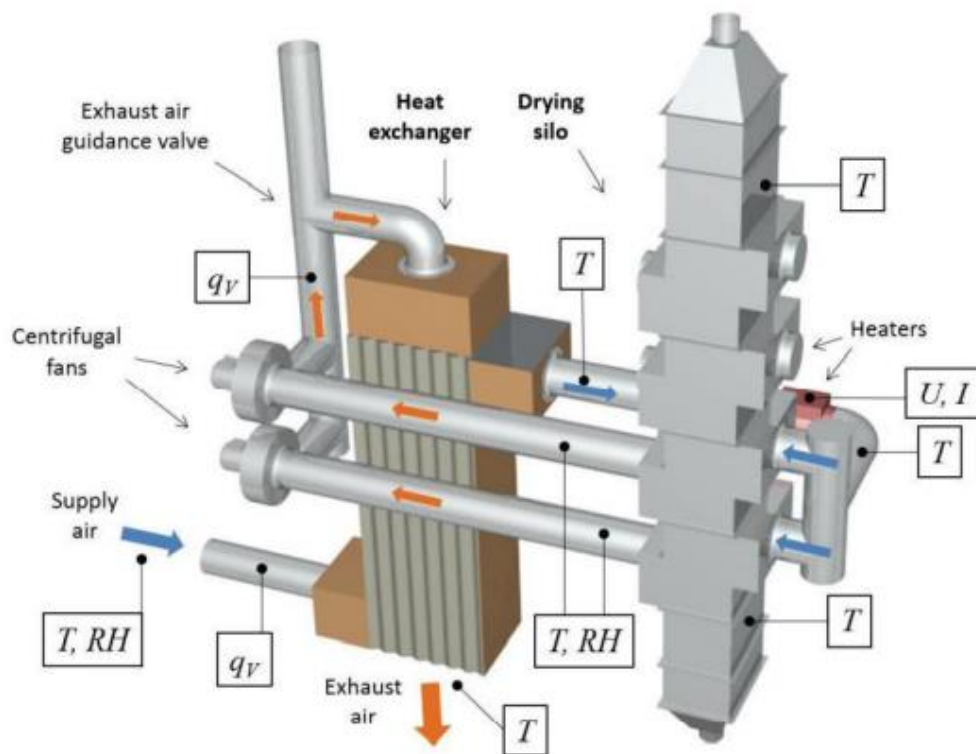
- 1 **Sulkupeltti:** Kuivurista tuleva lämmin ilma ohjataan ulkoilman sijaan kanavaan.
- 2 **Kanavapuhallin:** Kuivurista tuleva lämmin ilma puhalletaan syklonin tarvitsemaan virtausnopeuteen.
- 3 **Sykloni:** Ilma puhdistuu roskista syklonissa.
- 4 **Lämmön talteenottoalite:** Ilman lämpö siirtyy kylmäaineeseen. Kosteus tiivistyy ja poistuu vetenä.
- 5 **Putkitukset:** Kylmäaine virtaa lämmön talteenotosta ilmalämpöpumpulle ja siitä edelleen lämmönvaihtimelle putkia pitkin.
- 6 **Siirrettävä lämpöpumpukontti:** Dieselkäyttöinen lämpöpumppu muuntaa talteen otetun energian lämmöksi.
- 7 **Lämmönvaihdin:** Kylmäaineen lämpöenergia siirretään kuivurin tuloilmaan.

Lähde: Calefa
MT



Havainnekuva Mahottomasta.

Toinen toteutus on Tapani Jokiniemen väitöskirjasta. Hän tutkii yksinkertaista ilma-ilma -levylämmönvaihdinta, jonka suunnittelua ei tosin ole viimeistelty lämmöntalteenoton kanalta vaan ennemminkin puhdistuksen ja kestävyysn kannalta. Tällä yksinkertaisella le-vylämmönvaihdin järjestelmällä hän pääsi tutkimuksessaan 18 % polttoainesäästöihin.



Havainnekuva levylämmönvaihtimesta. Kuvaan on merkitty myös tutkimuksen mittauspisteet. (Jokiniemi 2016)

Ei välttämättä tarvitse kommentoida näitä toteutuksia, mutta havainnollistin ne koska oma ymmärrykseni asiasta perustuu näihin kahteen hyvin erilaiseen ja hintaiseen toteutukseen.

- **Osaatko näiden kahden erilaisen toteutuksen valossa avata/verrata teidän järjestelmäänne?**

- **Tuleeko sinulle jotakin kommentoitavaa mieleen, jotta osaisin DI-työssäni ottaa mahdollisimman laajasti asioita huomioon?**

Tuo ”Mahoton” on juuri se ilmalämpöpumppuun perustuva +100 000€ (10v sitten) mak-sava härveli. Eli alkukustannus on aika tolkuttoman iso pientilalliselle. Tuo tuli vähän uutena tietona, että siinä pitää suodatin puhdistaa joka erän jälkeen. Ilmeisesti se on aika pie-neksi mitoitettu. Meillä suodatinten vaihto onnistuu alle 5min. Tietysti niiden puh-taaksi pu-haltaminen vie hiukan aikaa, mutta ilman vaihtosuodattimiakin se onnistuu varmasti 15min ajassa, eikä tosiaan tarvitse tehdä erien välissä.

Meidän systeemi on aika pitkälle jälkimmäisen systeemin kaltainen, eli suodatin ja lämmönvaihdin + ohjausyksikkö. Ohjausyksikkö myös optimoi puhalluslämpötilaa, jota muut eivät käsittäkseni tee. Alkukosteus poistuu pienemmällä puhalluslämpötilalla ja vasta loppukuivatuksen aikana tarvitaan korkeampaa lämpötilaa. Olemme mitanneet tämän asentamalla kosteusanturin poistoputkeen. Se tosin ei ole kovin pitkäikäinen, koska me-nee pölystä tukkoon aika nopeasti, mutta saimme kuitenkin tehtyä tarvittavat mittaukset laitteiston optimointiin.

Soittele tai kysy sähköpostilla, jos jäi jotain epäselvää. Ehkä osa hyvästä hyötysuhteesta selittyy tosiaan tuolla puhalluslämpötilan optimoinnilla, jota muut eivät tee.

Kiitos hirmuisesti jo etukäteen!

Liite 3. Sähköpostihaastattelu Olli Rämä, Suomen Viljava Oy

Haastattelu Suomen Viljava Oy

04.05.2022

Suomen Viljava Oy tarjoavaa viljan kuivauspalvelua Kokemäellä, Koriolla, Kouvolassa sekä Perniössä. Kuivurin kuivauskapasiteetti näyttäisi olevan 2500-7000 tonnia tuoretta viljaa kuivauskaudessa.

- **Ilmeisesti kapasiteetti vaihtelee paikkakuntien välillä?**

- o Koriolla on Viljavan suurin kuivauskapasiteetti ja siellä on kuivattu parhaimpina vuosina n. 25 000 t/kuivauskausi (2005-2010). Nykyään 10 000 t on tiukassa
- o Kokemäellä on enimmillään kuivattu 8000 t/kuivauskausi, mutta viime vuosina 3000-4000 t on ollut normaali määrä.
- o Perniössä normaali kuivaus määrä viime vuosina ollut 1000-3000 t/kuivauskausi.
- o Yllä luetut ”ennätysvuodet” ovat myös aika lailla maksimi kapasiteetti per paikkakunta.

- **Kuinka paljon Suomen Viljavalle tulee yhteensä viljaa vuosittain kuivattavaksi?**

- o Katso ed. kohta

-Onko kuivattava viljamäärä lähiaikoina lisääntynyt, vähentynyt vai pysynyt suurin piirtein samana?

- o Trendi on ollut laskeva, koska maataloille on rakennettu kuivureita ja siloja. Esim viimeinen hyvä viljavuosi 2019 ei näkynyt piikkinä kuivauksessa.

Nettisivuiltanne katsoin, että lämmönlähteenä on kaasua.

-Käytetäänkö muuta polttoainetta lämmönlähteenä, kuten esipuhdistajan jätettä tai myyntikelvotonta viljaa?

- o Kaikilla kolmella paikkakunnalla päälämmönlähde on viljapöly mitä poltetaan meidän biokattiloissamme.

- o Korja: esim. viime syksynä pystyttiin kaikki kuivaamaan omalla lämmöllä. Mikäli tuoreviljan kosteus on korkealla ja kuivattavaa on paljon niin 3MW + 600 KW kuivurit omalla lämmöllä ja toinen 3 MW kuivuri maakaasulla.
- o Kokemäellä ja Perniössä öljykattilalla priimataan lämpöpiirin lämpöä hiukan isommaksi tehon nostamiseksi (koska kuivureita on vain yksi per paikkakunta), mutta päälämmön lähde on bio.

-Jos käytetään kaasun lisäksi muuta polttoainetta, niin mitä ja missä suhteessa kaasun käyttöön nähden?

Kaasua käyttämällä päästään parempiin hyötysuhteisiin kuin öljyä polttamalla sekä CO2 päästöt ovat pienemmät.

-Mikä on suurtehokuivurin hyötysuhde sekä kuivurien tehot?

- o Kokemäki 2 MW
- o Korja, 2x3 MW + 600 KW
- o Perniö 1 MW
- o Hyötysuhteita ei kukaan ole koskaan miettinyt, mutta laitevalmistajalta voisi saada tietoa (Cimbria). Tietysti meidän kuivurimme eivät ole uusia, mutta suunnan saa laitevalmistajalta.

-Osaatteko arvioida CO2 päästöjä, jos X määrä viljaa kuivataan teidän palvelunne kautta yhteiskuivauksena tai erikseen yksityisillä maataloilla öljyä polttoaineena käyttäen?

- o CO2 päästöt ovat Viljavalla tonnia kohti pienemmät kuin normaali maatalakuivauksessa koska kuivauksen energia pääosin biopolttoaine. Maatilat käyttävät kuivaukseen enimmäkseen kevyttä polttoöljyä.
- o Niin pölynkäyttäminen polttoaineena tuottaa tietenkin CO2 päästöjä, mutta EU on määritellyt tietyt sivuvirrat CO2 vapaiksi, joten sen osalta päästöt ovat nolla

- Paljonko kuivaus kauttanne maksaa?

- o Liite

Kiitos paljon vastauksista jo etukäteen