Akseli Lyyski

Viljankuivauksen energiaratkaisujen vertailu

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö
Kandidaatintutkielma
Sähkö- ja energiatekniikka

Vaasa 2025

VAASAN YLIOPISTO
Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö
Tekijä: Akseli Lyyski
Tutkielman nimi: Viljankuivauksen energiaratkaisujen vertailu
Tutkinto: Tekniikan kandidaatti
Oppiaine: Sähkö- ja energiatekniikka
Työn ohjaaja: Teemu Ovaska
Valmistumisvuosi: 2025 **Sivumäärä:** 28

TIIVISTELMÄ:
Suomessa viljantuotanto on ilmasto-olosuhteiden vuoksi vahvasti riippuvainen mekaanisesta viljankuivauksesta, sillä suurin osa sadosta korjataan selvästi yli varastointikosteuden. Viljankuivaus on samalla yksi maatilan suurimmista yksittäisistä energiankulutuskohteista, ja sen osuus sadonkorjuun energiankäytöstä voi olla jopa 40–60 %. Tässä kandidaatintutkielmassa tarkastellaan viljankuivauksen energiaratkaisuja suomalaisilla maatiloilla kirjallisuuskatsauksen avulla. Työssä keskitytään erityisesti kahteen keskeiseen energialähteeseen, kevyeen polttoöljyyn ja hakkeeseen, sekä lisäksi tarkastellaan viljankuivauksen optimointiin kehitetyn EcOcaucO-järjestelmän mahdollisuuksia vähentää energiankulutusta eräkuivureissa.

Teoreettisessa viitekehyksessä käydään läpi suomalaisen viljelyn ja viljankuivauksen historiallista kehitystä, viljantuotannon nykytilaa sekä viljankuivauksen perusperiaatteita ja yleisimpiä kuivurirakenteita. Erityishuomio kiinnitetään erä- ja jatkuvatoimisiin kuivureihin, kennokuivureihin sekä kuivurin energiankulutuksen määräytymiseen haihdutetun vesimäärän perusteella. Energiaratkaisujen tarkastelussa vertaillaan kevyen polttoöljyn ja hakkeen ominaisuuksia energiatiheyden, käytettävyyden, investointitarpeen ja polttoainekustannusten näkökulmasta.

Kirjallisuuden perusteella kevyt polttoöljy on helppokäyttöinen ja toimintavarma energialähde, mutta sen kustannus per energiayksikkö on selvästi haketta korkeampi, etenkin suurilla kuivattavilla viljamäärillä. Hake on tyypillisesti edullisempi energialähde, mutta sen hyödyntäminen edellyttää biouunin ja polttoainevaraston investointeja sekä panostusta polttoaineen hankintaan ja varastointiin. EcOcaucO-optimointijärjestelmän avulla voidaan vähentää polttoaineen kulutusta noin 15–20 % säätämällä puhallusilmaa poistoilman kosteuden mukaan ja parantaa samalla kuivauksen etäseurantaa. Tulosten perusteella kuivauksen energiaratkaisun valintaan vaikuttavat keskeisesti tilakoko, kuivattava viljamäärä, käytettävissä olevat polttoaineresurssit ja investointihalukkuus, eikä yksiselitteisesti parasta vaihtoehtoa ole, vaan ratkaisu on tilakohtainen kokonaisoptimointi.

AVAINSANAT: Viljanviljely, maatalous, lämmöntuotanto, energiatehokkuus, uusiutuvat energialähteet, fossiiliset polttoaineet.

Sisällys

1 Johdanto 5

2 Viljelyn historiaa 6

2.1 Viljan tuotanto suomessa 7

3 Perustietoa kuivauksesta 9

3.1 Yleisimmät kuivurirakenteet ja toimintatapa 10

3.1.1 Erä- ja jatkuvatoiminen kuivuri 10

3.1.2 Kennokuivurin rakenne 11

3.2 Kuivauksen toiminta eräkuivurilla 12

4 Energiaratkaisut viljankuivauksessa 14

4.1 Kevyt polttoöljy kuivauksen energialähteenä 14

4.2 Hake kuivauksen energialähteenä 16

4.3 Viljankuivauksen optimointi 19

5 Vertailu 21

5.1 Polttoaineiden kustannusvertailu 21

5.2 Investoinnit ja takaisinmaksuajat 22

5.3 Optimointi ja EcOcaucO – järjestelmän vaikutus 23

6 Johtopäätökset ja yhteenveto 25

Lähteet 27

Kuvat

Kuva 1. Viljan säilyvyys lämpötilan muuttuessa eri kosteusprosenteilla (Ahokas & Jokiniemi, 2021, s. 3). 9
Kuva 2. Kennokuivurin rakenne (Hautala & muut, 2013, s.79). 11
Kuva 3. Viljakuivaamon osat (Mepu Oy, 2015, s. 16). 13
Kuva 4. Öljyuuni (Arskagroup, n.d). 14
Kuva 5. Öljypoltin (Oilon, 2025). 15
Kuva 6. Polttoöljyn tarve (Ahokas & Jokiniemi, 2021, s. 8). 16
Kuva 7. Biouuni (lantmännenagro, n.d). 17
Kuva 8. Hake- ja öljyntarve peltohehtaaria kohden (Ahokas & Jokiniemi, 2021, s. 18). 18
Kuva 9. Etu-uuni (Arskagroup, n.d). 18

Taulukot

Taulukko 1. Puupolttoaineiden teholliset lämpöarvot (Alakangas & muut, n.d, s. 64). 19

Lyhenteet

%	prosentti
EU	Euroopan Unioni
ha	hehtaari
kg	kilogramma
kWh	kilowattitunti
LUKE	Luonnonvarakeskus
MWh	megawattitunti
MJ	megajoule

1 Johdanto

Suomessa viljellään vuosittain noin 2,2 miljoonaa peltohehtaaria, josta merkittävä osa käytetään viljanviljelyyn (Luke, 2025, n.d). Suomen viileä ja vaihteleva ilmasto aiheuttaa sen, että suurin osa viljasadosta korjataan kosteana, tyypillisesti noin 18–25 % kosteudessa, kun taas viljan myyntiä ja varastointia varten kosteuden tulisi olla alle 14 %. Liian kostea vilja altistuu helposti homekasvulle, itiöille ja lämpenemiselle, jotka kaikki heikentävät sadon laatua ja säilyvyyttä.

Viljan kuivaus on olennainen osa suomalaisen sadonkorjuuketjun jälkikäsittelyä, koska kuivaus varmistaa viljan säilyvyyden ja myyntikelpoisuuden, sekä ehkäisee taloudellisia tappioita, jotka voisivat syntyä pilaantuneesta sadosta. Kuivaus on myös yksi suurimmista energiasyöpöistä viljatilan toiminnassa, sen osuus saattaa olla jopa 40–60 % koko sadonkorjuusta.

Perinteisesti kuivauksen energialähteenä Suomessa on käytetty kevyttä polttoöljyä, mutta nousevat polttoainekustannukset ja ilmastotavoitteet ovat lisänneet kiinnostusta uusiutuvien energialähteiden, kuten puuhakkeen ja lämpöpumppujen hyödyntämiseen

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena on vertailla eri energiaratkaisuja viljankuivauksessa, erityisesti kevyen polttoöljyn ja puuhakkeen käyttöä sekä tarkastella uusien teknologioiden, kuten viljankuivauksen EcOcaucO-optimointijärjestelmän soveltuvuutta suomalaisissa olosuhteissa.

Tämä työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena, jossa analysoidaan aiempia tutkimuksia, raportteja ja teknisiä julkaisuja, kuten ProAgria, Luonnonvarakeskus (LUKE), sekä Suomen Maataloustieteellinen Seuran julkaisuja. Katsauksen avulla muodostetaan kokonaiskuva siitä, miten kuivausenergian valikoituu kullekin tilalle.

2 Viljelyn historiaa

Suomen maatalouden juuret ulottuvat kivikaudelle. Maanviljelyn katsotaan kehittyneen Kiinassa jo noin 7000 vuotta ennen ajanlaskun alkua, ja Suomeen viljely rantautui muutama tuhat vuotta myöhemmin. Varhaisimmat merkit kasvien viljelystä Suomessa ovat noin vuodelta 5300 eaa., samaan aikaan kuin muualla Keski-Euroopassa. Ensimmäisiä viljelykasveja ovat olleet tattari ja hieman myöhemmin hamppu, ja viljely on aluksi ollut pienimuotoista metsästyksen, kalastuksen ja keräilyn rinnalla. Ensimmäinen viljakasvi oli ohra, jonka viljelyn arvioidaan alkaneen noin 4300 eaa., aluksi erityisesti Itä-Suomessa. Varhaisvaiheen viljely perustui polttoviljelyyn, jonka muotoja olivat kaski- ja kytöviljely (Syotavakaupunki, 2017).

Vähitellen viljelykasvit yleistyivät, ja vehnää tavattiin Suomessa jo ennen ajanlaskun alkua. Varhaisella rautakaudella alettiin viljellä ruista, josta tuli nopeasti ohran ohella tärkein pääviljalaji, ja kaura yleistyi hieman tätä myöhemmin. Kivikauden lopulta tunnetut piikivisirpit ovat maamme vanhimpia maataloustyökaluja, myöhemmin käyttöön otettiin aura, ja viljelytekniikat sekä muokkausvälineet kehittyivät asteittain. Keskiajalla pellon muokkaus tehostui uusien auratyyppien myötä, ja peltoviljely alkoi syrjäyttää kaskenpolttoa. Ruotsin vallan aikana viljelyalat olivat vielä pieniä, eikä käytössä ollut nykyisen kaltaisia viljalajikkeita tai -lajitelmia, mutta pitkällä aikavälillä sekä kaskenpolttokerrat että satotasot kasvoivat. 1700-luvulla peltojen sadot olivat jo moninkertaiset kylvömäärään nähden, ja tilojen halkomisen vapautuminen lisäsi peltoaloja tuntuvasti (Syotavakaupunki, 2017).

1800-luku merkitsi suurta murrosta maataloudessa. Tieto viljelymenetelmistä levisi aiempaa laajemmalle, työvälineet kehittyivät ja maatalouskoneet alkoivat yleistyä. Kaskiviljely kiellettiin 1800-luvun lopulla, ja viljelyssä siirryttiin kaksivuoroviljelystä kolmivuoroviljelyyn. Kääntöaurojen käyttöönotto tehosti muokkausta, ja viljan käsittely koneellistui viskurien ja puimakoneiden myötä. 1900-luvun alkuun saakka työ perustui pitkälti ihmisiin ja hevosiin, mutta toisen maailmansodan jälkeen alkoi nopea koneellistuminen, kun traktorit korvasivat hevoset ja mahdollistivat peltoalojen kasvattamisen.

1960-luvulla viljantuotanto lisääntyi myös apulantojen laajemman käytön myötä (Syotavakaupunki, 2017).

EU-jäsenyyden myötä 1990-luvulla ympäristötekijät nousivat yhä keskeisemmiksi. Lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käyttöön asetettiin rajoituksia, ja viljelijät sitoutuivat ympäristönhoito-ohjelmiin, jotka esimerkiksi velvoittivat perustamaan suojavyöhykkeitä peltojen ja vesistöjen väliin. Samalla maatalouden tukijärjestelmät muuttuivat. Nykyisin suomalainen maatalous kohtaa uusia haasteita, kuten kannattavuuden heikkenemisen sekä tilarakenteen muutoksen, maatilojen lukumäärä vähenee, ja jäljelle jäävät tilat kasvavat entistä suuremmiksi. Tämä kehitys heijastuu myös viljantuotantoon ja viljankuivauksen rooliin osana nykyaikaista maatilataloutta (Syotavakaupunki, 2017).

2.1 Viljan tuotanto suomessa

Suomi on yksin maailman pohjoisimmista viljelymaista, joka tekee viljantuotannosta ilmasto-olosuhteiden osalta vaativaa. kasvukausi on lyhyt ja lämpösumma pieni, vaikkakin kevätkuukausina päivän valoa riittää. Tämä rajoittaa sadon potentiaalia verrattuna eteläisempiin viljelymaihin. Suomessa viljan viljely sijoittuu lähinnä maan lounais-, etelä- ja länsiosiin, joissa maalajit ja ilmasto ovat suotuisammat kuin muualla maassa (Leipätiedotus ry, n.d).

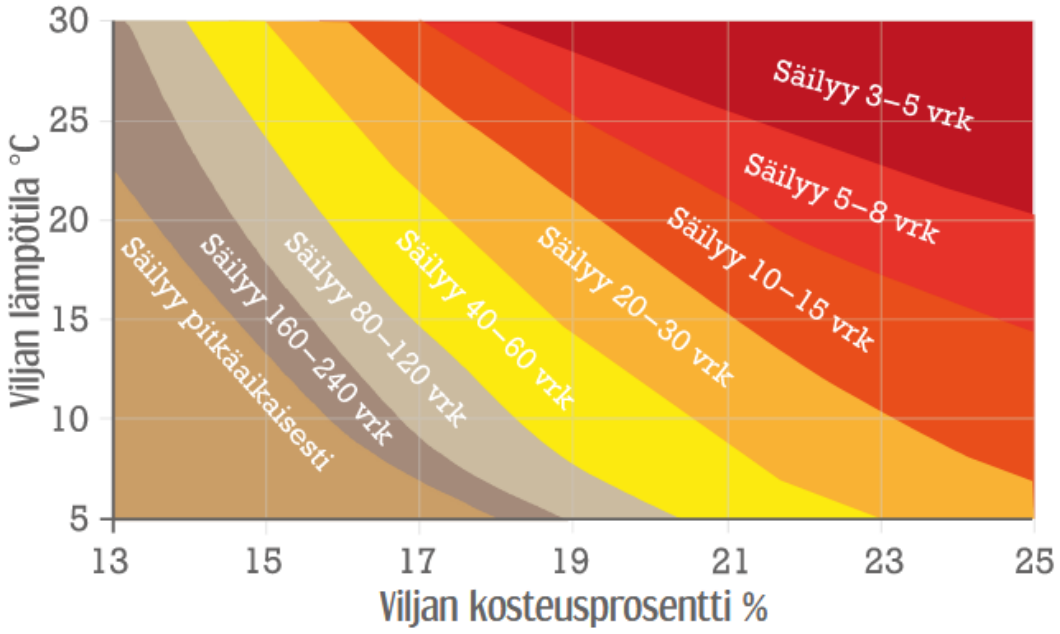
Suomessa maatilojen määrä on tippunut nopeasti 2000-luvun jälkeen, ja tuotanto on painottunut suuremmille tiloille. Noin kolmasosa tiloista keskittyy pääosin viljanviljelyyn, ja tuotanto onkin lisääntynyt tilakoon ja koneellistumisen lisääntyessä. Myös luomuviljan viljely on yleistynyt suomessa, sen tuotanto painottuu maan eteläosaan (Leipätiedotus ry, n.d).

Suomen eniten viljelty viljakasvi on ohra, jota käytetään pääasiassa rehuksi sekä tärkin ja maltaan tuottoon. Myös kauralla on merkittävä osuus, suomi kuuluu maailman suurimpiin kauran viejämaihin. Leipäviljoista keskeisin on vehnä, jota hyödynnetään niin leipomoteollisuudessa, kuin rehu-, tärkkelys- ja alkoholituotannossa (Leipätiedotus ry, n.d).

Viljan satotasoihin vaikuttavat muun muassa viljelty lajike, talven- ja taudinkestävyys sekä kasvukauden sääolosuhteet. Viljantuotanto on pitkällä aikavälillä kehittynyt voimakkaasti, kaskiviljelyn aikaan hehtaarin ruispelto riitti ruokkimaan vain muutaman ihmisen, kun taas hevostalouden kaudella vastaava ala elätti jo lähes kymmenen ja traktoriaikakaudella vielä tätäkin enemmän. Kahden vuosisadan aikana viljan kokonaistuotannon arvioidaan moninkertaistuneen, samalla kun työvoiman tarve viljelypinta-alaa kohden on pienentynyt selvästi. Tämä kehitys on tehnyt viljasta yhden suomalaisen maatalouden tärkeimmistä tuotannonaloista ja luonut tarpeen tehokkaille sadon käsittely- ja varastointiratkaisuille (Leipätiedotus ry, n.d).

3 Perustietoa kuivauksesta

Viljankuivaus on suomalaisen maatalouden kannalta yksi tärkeimmistä sadonkorjuun jälkeisistä työvaiheista. Viljaa kuivataan, jotta voidaan turvata laatu ja myyntikelpoisuus. Varastointiin menevän sadon mikrobiaktiivisuus pystytään pysäyttämään kuivaamalla vilja tarpeeksi matalaan kosteuspitoisuuteen. Ilman kuivausta syksyllä korjatun sadon kosteus on suurella varmuudella liian korkea suoraan varastointiin, siksi kuivaus on suomalaisilla maatiloilla vakiomenetelmä ja viljakauppa perustuukin lähtökohtaisesti kuivan viljan myyntiin (Ahokas & Jokiniemi, 2013, s. 2). Kuivauksessa tavoitellaan 14 % kosteutta (Kuva 1), joka on yläraja siemenkaupalle, kuitenkin vilja säilyy talven yli myös 16 % kosteudessa (Hautala & muut, 2013, s. 29).



Kuva 1. Viljan säilyvyys lämpötilan muuttuessa eri kosteusprosenteilla (Ahokas & Jokiniemi, 2021, s. 3).

Suomen ilmasto-oloissa vilja joudutaan kuivaamaan lähes aina viileänä ja kosteana, joten kuivaus on välttämätön toimenpide lähes kaikilla vilja- ja rehutiloilla (Ahokas & Jokiniemi, 2013, s. 2–3). Kostea ja märkä vilja on altis homeille, bakteereille sekä oman kosteuden

poiston aiheuttamalle lämpenemiselle, nämä alttiudet voivat tehdä sadosta myyntikelvottoman. Siksi viljaa ei tule säilyttää pitkään ilman kuivausta. Ongelma ratkeaa viljankuivauksella, jolloin kosteuden alentaminen ja erän jäähdytys poistavat mahdolliset home- ja kondensoitumisongelmat.

Kuivausprosessin onnistuminen vaikuttaa merkittävästi viljan laatuun sekä tilan taloustilanteeseen. Kuivausprosessissa tulee tasapainotella ajan ja kustannuksien keskellä. Erityisesti siemen- ja leipäviljan itävyys ja leivontaominaisuudet kärsivät liian korkealla kuivauslämpötilalla (Hautala & muut, 2013, s. 71).

Kuivurin energiankulutuksen aiheuttaa kuivattava vilja, jota mitataan haihdutuksena vesikiloa kohden. Lämminilmakuivaus kuluttaa noin 1,4–2,0 kWh haihdutettua vesikiloa kohden (Hautala & muut, 2013, s. 89).

3.1 Yleisimmät kuivurirakenteet ja toimintatapa

Viljankuivurit luokitellaan toimintatavan, rakenteen, kuivausilman suunnan ja periaatteen mukaan. Kuivuri voi olla toimintatavaltaan joko jatkuvatoiminen- tai eräkuivuri ja käyttää kuivaamisessa lämmintä tai kylmää ilmaa (Hautala & muut, 2013, s. 78). Suomessa yleisin käytössä oleva kuivurityyppi on eräkuivuri.

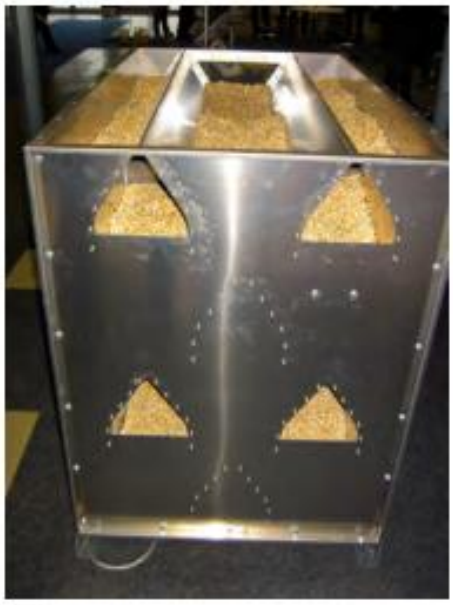
3.1.1 Erä- ja jatkuvatoiminen kuivuri

Viljankuivaus voidaan toteuttaa joko erä kerrallaan tai jatkuvana, jolloin viljaa syötetään tasaisella tahdilla kuivuriin eli ulos tullessaan se on jo kuivaa. Paras tilanne jatkuvatoimiselle kuivurille löytyy, kun vilja on mahdollisimman tasalaatuista, eli sama lajike ja sama kosteus. Koska ei ole erillisiä täyttö ja tyhjennysvaiheita niin jatkuvatoimisen kuivurin kapasiteetti on suurempi kuin eräkuivurilla. Mikäli vilja on erittäin kosteaa, joudutaan kuitenkin jakaa kuivausprosessi kahteen osaan. Viljan pilaantumisen estämiseksi jatkuvatoimisen kuivurin jäähdytys on todella tärkeässä roolissa. Jäähdytyksestä talteen otettava

lämpö voidaan hyödyntää kuivauksessa, ja näin parantaa energiatehokkuutta. Joitain nykyajan kuivureita voidaan käyttää, sekä eräkuivurina että jatkuvatoimisena kuivurina (Hautala & muut, 2013, s. 80).

3.1.2 Kennokuivurin rakenne

Kennokuivureita käytetään Suomessa yleisesti kuumailmakuivureina. Kuivurin varsinaisessa kuivatusosassa on kennomaisia ilmakammioita (Kuva 2), joista vuorottelevat tulo- ja poistoilmakanavat. Kuivausilma johdetaan tuloilmakennoihin, joista se kulkee viljakerroksen läpi ja poistuu poistoilmakennojen kautta. Vilja liikkuu kuivaimessa koko ajan, ja kuivurin alla oleva syöttölaite säätelee viljan kiertonopeutta. Eräajossa elevaattori nostaa syöttölaitteen tuoman viljan kennojen päällä olevaan varastosiiloon. Kennorakenne mahdollistaa ohuen viljakerroksen ja tehokkaan sekoittumisen kierron ansiosta. Jatkuvatoimisessa käytössä syöttölaitteen nopeus säädetään niin, että ylhäältä tuleva kostea vilja ehtii kuivua ennen poistumistaan kuivurin alaosasta.



Kuva 2. Kennokuivurin rakenne (Hautala & muut, 2013, s.79).

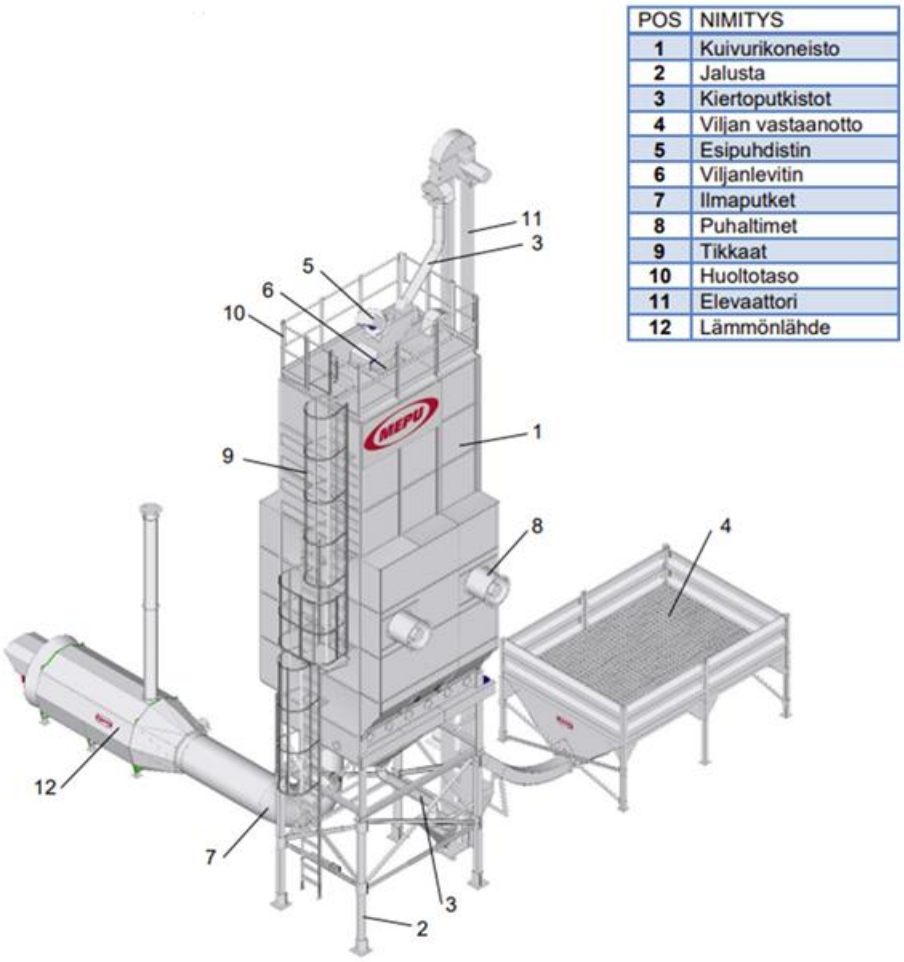
Kennokuivurin kennot ovat kuin palapelin paloja, kennostoja voidaan pinota päällekkäin, jolloin kuivurista saadaan halutun kokoinen kokonaisuus. Kuivauksen aikana viljan tilavuus pienenee pääasiassa kosteuden poistumisen vuoksi, joten ylimmät kennot toimivat varastokennoina ilman kuivausilmakennoja ja kompensoivat viljan kutistumista. Näin estetään kuivausilman karkaaminen yläkautta, sama periaate on ollut käytössä myös siilokuivureissa ilmahattujen avulla. Kennot jakavat kuivausilman tasaisesti viljakerrokseen, jolloin kuivauksen lopputulos on mahdollisimman tasalaatuinen (Hautala & muut, 2013, s. 79).

3.2 Kuivauksen toiminta eräkuivurilla

Kuvassa 2 on esitetty tyypillisen viljankuivaamon pääosat ja niiden toiminnallinen yhteys. Eräkuivauksessa vilja kaadetaan ensin vastaanottoaltaaseen (4), josta se kulkeutuu elevaattorin (11) avulla kuivurikoneiston yläosassa sijaitsevaan esipuhdistimeen (5). Esipuhdistimessa poistetaan pöly ja kevyet epäpuhtaudet, minkä jälkeen vilja ohjataan viljanlevittimeen (6), joka jakaa sen tasaisesti kuivuriosaan (1).

Kuivausilma tuotetaan erillisessä lämmönlähteessä (12) ja johdetaan puhaltimien (8) ja ilmaputkiston (7) kautta kuivurikoneistoon. Lämmin ilma virtaa viljamassan läpi ja poistaa kosteutta haihduttamalla sen. Kuivauksen aikana vilja kiertää jatkuvasti kuivurissa, elevaattori (11) nostaa viljaa takaisin ylös, jolloin kierto on jatkuva ja kuivuminen tapahtuu tasaisesti koko massassa. Kun erä on valmis, se ohjataan siiloon tai muuhun varastointi paikkaan ja näin ollaan valmiita täyttämään kuivaaja uudelleen.

Kuivurikoneisto (1) lepää jalustan (2) päällä, ja siihen on liitetty tikkaat (9) sekä huoltotaso (10), jotka mahdollistavat turvallisen käytön ja ylläpidon. Kuvassa näkyvät numerot havainnollistavat kuivausprosessin etenemistä ja sen pääkomponentteja aina viljan vastaanotosta kuivattuun lopputuotteeseen.



Kuva 3. Viljakuivaamon osat (Mepu Oy, 2015, s. 16).

Suomessa yleinen ratkaisu on ollut pakettikuivaamo, eli koneisto rakennetaan kuivaamo rakennuksen sisään. Nykyaikana rakennusmateriaalien hintojen nousun, ja kustannustehokkuuden takia suositaan stand-alone-kuivureita, joissa on Kuvan 4 mukainen koneisto tehdään suoraa pihalle. Pakettikuivaamon etuina on säältä suojaisat sisätilat ja muun muassa rakenteen ja koneiston väliin jäävään tiloihin saa viljasiiloja, ja näin varastointikapasiteettia enemmän.

4 Energiaratkaisut viljankuivauksessa

Suomessa yleisin käytössä oleva kuivauksen energialähde on kevyt polttoöljy. Se on vakaa ja oletettavasti aina saatavilla toisinkuin biopolttoaineissa voi muodostua ongelmaksi niiden hankinta sekä varastointi.

Öljy ja kaasu ovat pääsääntöisesti tasalaatuisempia polttoaine vaihtoehtoja, kuin turve ja hake. Hakkeessa ja turpeessa on useammin laatuongelmia, kuten kosteutta ja vaihteleva palakoko, joiden vuoksi niiden polttaminen ei ole yhtä täydellistä. Lisäksi hyötysuhteet verrattuna öljyyn ja kaasuun ovat heikommat, eli myös energiankulutus on näitä polttoaineita suurempi. Biopolttoaineiden hyvänä puolena on toisaalta ekologisuus, sillä ne eivät aiheuta hiilidioksidipäästöjä (Ahokas & Jokiniemi, 2021, s. 8).

4.1 Kevyt polttoöljy kuivauksen energialähteenä

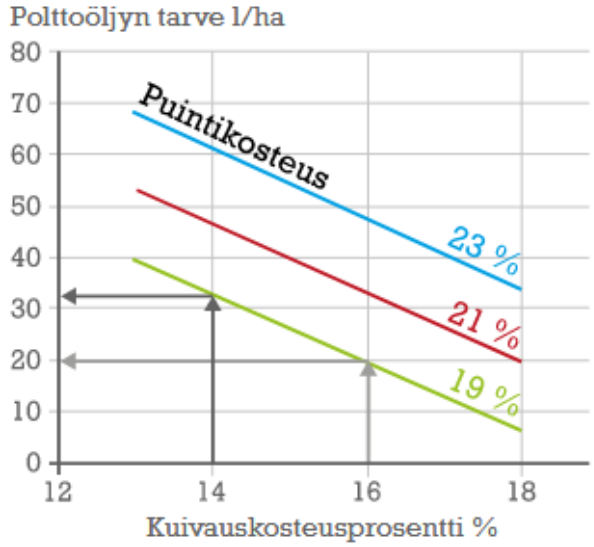
Yleisin lämminilmakuivurin energialähde on kevyt polttoöljy, jota poltetaan öljyuunilla Mäkelä (1983, s. 4). Kevyttä polttoöljyä käytettäessä, kuivuriin liitettävä öljyuuni mitoitetaan viljakaapin koon mukaan riittoisaksi. Öljyuuni on varmatoiminen ja vaatii vain vähän huoltoa, ja lisäksi se on helppo automatisoida kuivaukseen (Kuva 4).

Kuva 4. Öljyuuni (Arskagroup, n.d).

Kun viljankuivurissa käytetään kevyttä polttoöljyä, silloin tarvitaan sopiva öljypoltin (Kuva 5). Öljypolttimen rakenne on yksinkertainen ja se on helposti ohjelmoitavissa monenlaiseen automatiikkaan. Polttimen pääosat ovat puhallin, öljypumppu, sytytyskärjet ja suutin. Öljy käyttöisessä kuivurissa palokaasu johdetaan lämminvaihtimen kautta ulos. Lämmönvaihtimessa palokaasu luovuttaa lämpöään ulkoa imettävälle kuivausilmalle. Polttimen hyötysuhde on noin 90 % (Hautala & muut, 2013, s. 89).

Kuva 5. Öljypoltin (Oilon, 2025).

Kevyt polttoöljy on ollut pitkään suomalaisilla maatiloilla yleisin energialähde viljankuivauksessa, sillä se tarjoaa helposti hallittavan ja tehokkaan lämmönlähteen kuivuri-ilman lämmittämiseen. Öljy sisältää 43 MJ/kg energiaa (Kilpeläinen, n.d, s. 4). Kilpeläinen (n.d, s. 4) kertoo myös, että veden haihduttamiseen jyvästä vaaditaan teoriassa 0,07–0,12 litraa öljyä vesikiloa kohti (3–4,5 MJ/kg). Todellisuudessa energiankulutus on kuitenkin huomattavasti suurempi, noin 4,5–7 MJ/kg vesikiloa kohti.



Kuva 6. Polttoöljyn tarve (Ahokas & Jokiniemi, 2021, s. 8).

Yllä olevasta Kuvasta 6 nähdään, miten puintikosteus vaikuttaa kuivauksen polttoöljyn kulutukseen. Kun kuivurissa halutaan kuivata puintikosteudeltaan 19 %:n vilja 14 %:n kosteuteen tarvitaan noin 33 litraa öljyä hehtaarin alalta puitua viljamäärää kohden Ahokas & Jokiniemi (2021, s. 8).

4.2 Hake kuivauksen energialähteenä

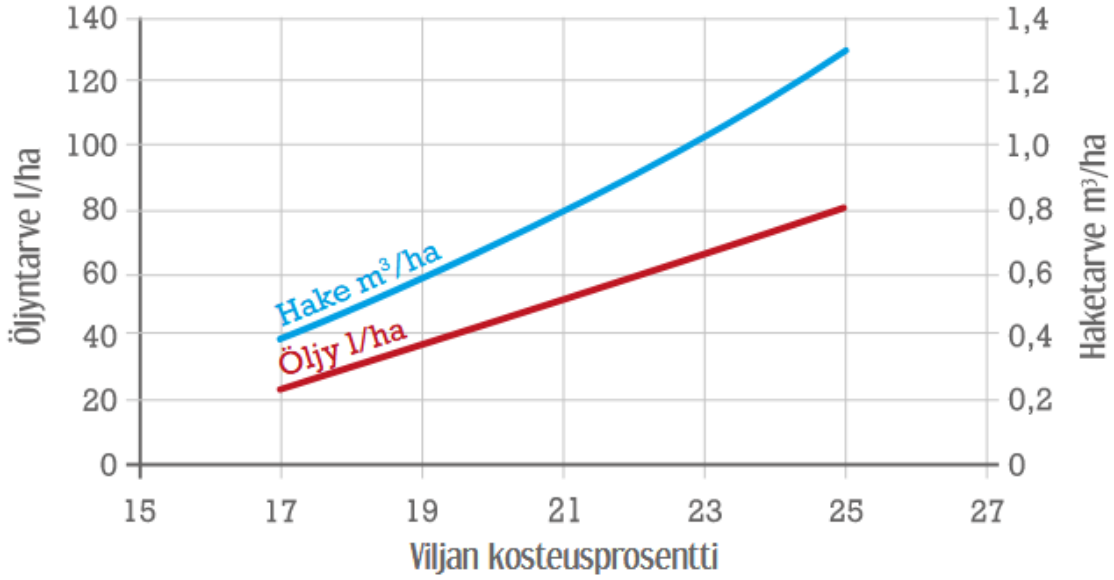
Siirtyminen hakkeen ja turpeen kaltaisiin kotimaisiin polttoaineisiin ei automaattisesti paranna kuivurin energiataloutta, vaan kyse on ensisijaisesti fossiilisen polttoaineen korvaamisesta uusiutuvalla. Biouunin etuna öljyuuneihin verrattuna on tehojen parempi säädettävyys (Kuva 7). Kun polttoaineen syöttöä lisätään tai vähennetään, myös uunin tuottama teho muuttuu, mikä helpottaa kuivauslämpötilan pitämistä mahdollisimman tasaisena. Tämä hoidetaan käytännössä automatiikalla, ohjausjärjestelmä mittaa kuivausilman lämpötilaa ja muuttaa polttoaineen syöttöä niin, että aseteltu lämpötila säilyy. Biopolttoaineen ominaisuudet, kuten kosteus, palakoko ja laatu, vaikuttavat kuitenkin suoraan sen lämpötehoon ja siten uunin toimintaan. (Ahokas & Jokiniemi, 2021, s. 16).

Kuva 7. Biouuni (lantmännenagro, n.d).

Kotimaisiin polttoaineisiin siirtyminen kuivurilämmityksessä vaatii yleensä uuden uunin sekä polttoainevaraston rakentamisen. Kuivuriuunien tehot ovat tyypillisesti muutamien satojen kilowattien ja megawatin välillä, jolloin polttoaineen syötön on oltava automaattinen. Poltossa syntyy tuhkaa, jonka määrä vaihtelee polttoaineen mukaan, puulla tuhkapitoisuus on alle 1 %, kun taas turpeella se voi nousta 6–7 prosenttiin. Tämän vuoksi tuhkan poistoon tarvitaan automaattiset järjestelmät. Turvetta tai viljaa poltettaessa tuhka voi lisäksi sulaa palamislämpötilassa. (Ahokas & Jokiniemi, 2021, s. 17).

Hakkeen käyttö edellyttää, että polttoaine hankitaan valmiiksi ennen kuivauskauden alkua. Jos hake tuotetaan omasta metsästä, puu on kaadettava, annettava kuivua ja haketettava ennen polttoa. Tuoreen puun kosteus on tyypillisesti noin 50 %, kun taas homehtumatta säilyvän puun kosteuden tulisi olla alle 20 %. Rankojen kuivuminen kevään ja kesän aikana riippuu huomattavasti sääoloista ja sateiden määrästä. Puuvaraston on hyvä olla ilmava ja katettu, jotta puu kuivuu riittävästi. Hakkeen kulutus vaihtelee voi-

makkaasti viljasadon suuruuden ja puintikosteuden mukaan. Kuvassa 8 on esitetty esimerkkilaskelma siitä, kuinka paljon haketta (tai vastaavasti öljyä) kuluu tyypillisesti yhden hehtaarin viljasadon kuivaamiseen. (Ahokas & Jokiniemi, 2021, s. 18).



Kuva 8. Hake- ja öljyntarve peltohehtaaria kohden (Ahokas & Jokiniemi, 2021, s. 18).

Kuva 9. Etu-uuni (Arskagroup, n.d).

Etu-uuni on lisälaite öljykäyttöiseen kuivuriin (Kuva 9). Etu-uunissa poltettavasta materiaalista syntyvä kuivausilma imetään uunin läpi ja johdetaan öljyuunin lämmönvaihtimeen. Sitä voidaan käyttää kaikissa öljykäyttöisissä viljankuivureissa.

Taulukosta 1 nähdään eri puulajien teholliset lämpöarvot. Voidaan heti todeta, jos palataan kohtaan 3.1, että hakkeen lämpöarvo on joka lajikkeella pienempi, kuin öljyllä eli sitä kuluu enemmän.

Taulukko 1. Puupolttoaineiden teholliset lämpöarvot (Alakangas & muut, n.d, s. 64).

Puupolttoainelaji	Puulaji	Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg
Kuorellinen kuitupuu	Mänty	19,3
	Kuusi	19,1
	Koivu	19,5
Taimistojen kokopuuhake	Mänty	20,5
	Kuusi	19,6
	Koivu	19,6
Harvennusten kokopuuhake	Mänty	19,6
	Kuusi	19,2
	Koivu	19,0
Hakkuutähdehake neulasitta	Mänty	20,4
	Kuusi	19,7
	Koivu	19,7
Hakkuutähdehake neulasineen	Mänty	20,5
	Kuusi	19,8
Metsätähdehake		19,3
Kanto- ja juuripuu	Mänty	19,5
	Kuusi	19,1
Sahanpuru		18,9
	Mänty, kuoreton	19,0
Kutterinlastu		18,9
Kuori	Mänty	20,0
	Kuusi	18,6
	Koivu	22,7
Hake	Paju	16,2–18,9

4.3 Viljankuivauksen optimointi

EcOcaucO on Cauco Oy:n kehittämä viljankuivauksen optimointijärjestelmä, joka asennetaan olemassa olevaan eräkuivuriin esim. Mepu-kuivuriin vähentämään polttoaineen kulutusta säätämällä puhallusilmaa kuivauksen aikana. Laitteisto mittaa poistoilman suhteellista kosteutta kuivurin poistokanavasta jatkuvasti ja säätää puhaltimen kierrosnopeutta taajuusmuuttajalla. Alussa poistoilma on lähes 100 % ja puhallus täydellä teholla,

mutta loppua kohti, kun jyvä luovuttaa kosteutta hitaammin, niin laite automaattisesti pienentää ilmamäärää, jotta sama vesimäärä poistuu pienemmällä tarvittavalla ilmamäärällä. Laitteiston tavoitteena on, että koko ajan poistuu mahdollisimman paljon vettä mahdollisimman pienellä energialla. Caucon mukaan EcOcaucO-optimointijärjestelmällä saavutettava polttoainesäästö on 15—20 % luokkaa riippuen olosuhteista. Tämä tarkoittaa 100 ha tilalla noin 1 800 € vuosittaista säästöä (Cauco, n.d),

EcOcaucO-järjestelmään kuuluu myös kattava kuivurin etäseurantalaitteisto. Järjestelmä näyttää kuivurin tilan mobiilisovelluksessa, ja näin vältytään turhilta käynneiltä kuivaamolla kesken kiireisen sadonkorjuun (Cauco, n.d).

5 Vertailu

Kuten luvuissa 4.1 ja 4.2 todettiin, kevyen polttoöljyn ja hakkeen ominaisuudet poikkeavat toisistaan sekä energiasisällön, hinnan että käytännön toteutuksen näkökulmasta. Kevyen polttoöljyn etuina ovat korkea energiatiheys, tasalaatuinen polttoaine ja helppo käytettävyys, kun taas hake on tyypillisesti energiayksikköä kohti edullisempi, mutta vaatii enemmän varastointitilaa, käsittelyä ja työtä. Lisäksi luvussa 4.3 esitelty EcOcaucO -optimointijärjestelmä tarjoaa mahdollisuuden vähentää polttoaineen kulutusta riippumatta siitä, kumpaa polttoainetta käytetään. Tässä luvussa tarkastellaan näiden ratkaisujen eroja viljankuivauksen näkökulmasta erityisesti polttoainekustannusten, investointien takaisinmaksuaikojen sekä optimoinnin vaikutuksen kautta.

5.1 Polttoaineiden kustannusvertailu

Polttoaineiden kustannuksia voidaan tarkastella sekä energiayksikköä (€/MWh) että kuivattua viljamäärää (€/ha tai €/tonni) kohti. Kevyen polttoöljyn energiatiheys on korkea ja polttotekniikka hyvin hallittua, mikä näkyy kuivauksen toimintavarmuutena. Toisaalta polttoöljyn litrahinta on viime vuosina ollut selvästi haketta korkeampi vastaavaa energiamäärää kohti. Hakkeen energiatiheys on alhaisempi ja vaihtelee kosteuspitoisuuden mukaan, mutta etenkin omasta metsästä tuotettuna sen kustannus per energiayksikkö on tyypillisesti selvästi polttoöljyä pienempi.

Kirjallisuudessa esitettyjen esimerkkien perusteella puintikosteuden nousu ja kuivattavan hehtaarimäärän kasvu lisäävät polttoaineen kulutusta merkittävästi. Tällöin polttoaineen yksikköhinnan ero korostuu, kun kuivataan useita kymmeniä hehtaareja vuodessa ja puintikosteus on korkea, polttoöljyllä toteutetun kuivauksen vuotuiset polttoainekulut voivat muodostua moninkertaisiksi verrattuna hakkeeseen. Polttoöljyn etuna on kuitenkin se, ettei tila tarvitse omaa polttoaineen tuotantoa tai suuria varastotiloja, vaan polttoaine toimitetaan valmiina säiliöön. Tämä vähentää työn, kaluston ja suunnittelun tarvetta.

Hakkeen kohdalla polttoainekustannus riippuu voimakkaasti siitä, tuotetaanko hake itse vai hankitaanko se ostopolttoaineena. Omasta metsästä tuotettu hake voi olla nimellisesti hyvin edullista, mutta kustannuksiin on huomioitava puuston hankinta, kuivatus, haketus, käytetty työaika sekä kaluston hankinta ja ylläpito. Ostopolttoaineena hankittu hake on yleensä yksikköhinnaltaan polttoöljyä edullisempaa, mutta hinnan vaihtelut ja sopimusjärjestelyt vaikuttavat kokonaiskustannuksiin. Yhteenvetona voidaan todeta, että polttoaineiden kustannusvertailussa hake on useimmissa esimerkkitapauksissa selvästi polttoöljyä edullisempi energialähde erityisesti suurilla kuivattavilla viljamäärillä, kunhan polttoainehuolto ja logistiikka on järjestetty tehokkaasti.

5.2 Investoinnit ja takaisinmaksuajat

Pelkkä polttoaineen hinta ei kuitenkaan ratkaise energiaratkaisun kannattavuutta, vaan olennaista on myös tarvittavien investointien suuruus ja niiden takaisinmaksuaika. Kevyen polttoöljyn käyttö perustuu monilla tiloilla jo olemassa olevaan uunikalustoon, jolloin lisäinvestointien tarve on pieni, jos järjestelmää ei uudisteta. Tällöin polttoöljy on investointimielessä matalan kynnyksen ratkaisu, vaikka vuosittaiset käyttökustannukset voivat olla korkeat.

Hakkeeseen siirtyminen edellyttää yleensä uuden biouunin hankintaa sekä riittävän polttoainevaraston rakentamista. Lisäksi tilan on joko investoitava omaan haketuskalustoon tai solmittava urakointisopimus. Näin ollen hakkeen käyttöönotto muodostaa tyypillisesti kerralla suuremman investoinnin kuin öljyn käytön jatkaminen. Investoinnin kannattavuus riippuu saavutettavista vuotuisista säästöistä polttoainekuluissa, mitä suurempi kuivattava viljamäärä ja mitä suurempi polttoöljyn ja hakkeen hintaero, sitä lyhyempi takaisinmaksuaika.

Investoinnin takaisinmaksuaikaa voidaan arvioida yksinkertaisesti jakamalla hankinnan kokonaiskustannus vuosittaisilla säästöillä. Kirjallisuudessa esitettyjen tapausesimerkkien perusteella takaisinmaksuaika voi viljatilan koosta ja kuivattavasta hehtaarimäärästä riippuen vaihdella muutamasta vuodesta yli kymmeneen vuoteen. Pienillä tiloilla, joilla

kuivattava viljamäärä on rajallinen, hakeinvestointi voi jäädä taloudellisesti niukasti kannattavaksi, jos polttoöljyn ja hakkeen hintaero on pieni tai jos hakkeen hankinta ja logistiikka ovat kalliita. Toisaalta suurilla viljatiloilla, joilla kuivattavaa viljaa on vuosittain paljon, biouuni ja hakevarasto voivat maksaa itsensä takaisin suhteellisen nopeasti.

Koska sekä polttoaineiden hinnat että kuivaustarve vaihtelevat vuosittain, kannattavuuden arvioinnissa on tärkeää tarkastella useita skenaarioita. Herkkyystarkastelun avulla voidaan arvioida, miten polttoaineiden hintaheilahtelut, satotason vaihtelut ja puintikosteus vaikuttavat takaisinmaksuaikaan. Jos investointi säilyy kannattavana useimmissa tarkastelluissa skenaarioissa, hakepohjainen ratkaisu voidaan nähdä taloudellisesti kilpailukykyisenä vaihtoehtona polttoöljylle, erityisesti pitkällä aikavälillä.

5.3 Optimointi ja EcOcaucO – järjestelmän vaikutus

EcOcaucO-optimointijärjestelmä tuo vertailuun kolmannen ulottuvuuden, joka ei korvaa polttoainevalintaa, mutta vaikuttaa merkittävästi molempien vaihtoehtojen energiatehokkuuteen. Järjestelmä mittaa poistoilman kosteutta ja säätää puhallusilmaa taajuusmuuttajalla niin, että kuivurin ilmamäärä vastaa paremmin jyvästä haihtuvan veden määrää kuivauksen eri vaiheissa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kuivauksen alkuvaiheessa ilmamäärä on suuri, kun viljan kosteutta poistuu runsaasti, ja loppuvaiheessa puhallusta pienennetään, kun jyvän luovuttama kosteus vähenee.

Caucon (n.d) mukaan järjestelmän avulla voidaan saavuttaa noin 15–20 %:n polttoainesäästö kuivauksessa. Tämä säästö kertautuu sekä öljy- että hakepohjaisissa ratkaisuissa ja lyhentää kaikkien energiajärjestelmään tehtyjen investointien takaisinmaksuaikaa. Esimerkiksi tilalla, jolla kuivataan vuosittain suuri määrä viljaa ja polttoainekustannukset ovat merkittävä kuluerä, optimointijärjestelmä voi muodostua taloudellisesti hyvin houkuttelevaksi lisäinvestoinniksi ilman, että polttoainetta tarvitsee välttämättä vaihtaa.

Optimointijärjestelmän etuina ovat myös parempi prosessin hallinta ja etäseuranta. Kuivurin tilaa voidaan seurata mobiilisovelluksen kautta, mikä vähentää tarvetta fyysisille käynneille kuivaamolla ja helpottaa työn organisointia kiireisen puintikauden aikana. Tämä ei välttämättä näy suoraan polttoaineen kulutuksena, mutta parantaa työturvallisuutta, säästää työaikaa ja pienentää riskiä inhimillisistä virheistä, kuten liian kuivaksi tai liian kosteaksi jääneistä eristä.

Kun tarkastellaan energiaratkaisuja kokonaisuutena, EcOcaucO-tyyppinen optimointi voidaan nähdä “kerroinvaikutuksena”, joka parantaa sekä öljy- että hakejärjestelmien taloudellista ja teknistä tehokkuutta. Polttoainevalinta ratkaisee peruslähtökohdan kustannus- ja päästötasolle, kun taas optimointi vaikuttaa siihen, kuinka tehokkaasti valitun polttoaineen energia saadaan hyödynnettyä viljankuivauksessa. Tilakohtaisessa tarkastelussa onkin perusteltua arvioida paitsi polttoaineen vaihtoa myös mahdollisuutta tehostaa olemassa olevaa kuivuria investoimalla ohjaus- ja seurantajärjestelmiin.

6 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena oli vertailla viljankuivauksessa käytettäviä energiaratkaisuja suomalaisissa olosuhteissa, keskittyen kevyen polttoöljyn ja hakkeen käyttöön sekä tarkastellen EcOcaucO-optimointijärjestelmän soveltuvuutta eräkuivureihin. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena hyödyntäen kotimaisia tutkimuksia, raportteja ja asiantuntijalähteitä. Tarkastelun kohteena olivat sekä tekniset ratkaisut että taloudelliset vaikutukset, erityisesti polttoainekustannukset ja investointien takaisinmaksuajat.

Tulosten perusteella kevyt polttoöljy tarjoaa edelleen toimintavarman ja helppokäyttöisen ratkaisun viljankuivaukseen. Sen etuina ovat korkea energiatiheys, tasalaatuinen polttoaine, pieni tilantarve ja vähäinen työmäärä polttoainehuollossa. Kuivuri voidaan usein pitää teknisesti yksinkertaisena, ja olemassa olevia uuneja voidaan käyttää ilman merkittäviä lisäinvestointeja. Toisaalta polttoöljyn yksikköhinta on selvästi kotimaisia biopolttoaineita korkeampi, ja kustannusrasitus korostuu erityisesti suurilla tiloilla ja märkinä satovuosina, jolloin kuivattavaa viljamäärää ja haihdutettavan veden määrää kertyy paljon.

Hakepohjainen ratkaisu näyttäytyy taloudellisesti kilpailukykyisenä ja pitkällä aikavälillä usein edullisempana energialähteenä, etenkin silloin kun tilalla on käytettävissä omaa metsävaraa tai edullinen haketoimitus. Hakkeen haittapuolina ovat suurempi varastointitilan tarve, polttoaineen laadun vaihtelu sekä biouunin ja varastoinnin investointikustannukset. Siirtyminen hakkeeseen ei siis paranna kuivurin energiataloutta automaattisesti, vaan se korvaa ennen kaikkea fossiilisen polttoaineen uusiutuvalla energialähteellä. Ratkaisun kannattavuus riippuu kuivattavan viljamäärän suuruudesta, polttoaineiden hintaerosta sekä siitä, kuinka tehokkaasti polttoainehuolto ja logistiikka on järjestetty.

EcOcaucO-optimointijärjestelmä osoittaa, että merkittäviä säästöjä voidaan saavuttaa myös olemassa olevia järjestelmiä kehittämällä. Poistoilman kosteuteen perustuva puhallusilman säätö vähentää turhaa ilmamäärää kuivauksen loppuvaiheessa ja pienentää polttoaineen kulutusta arviolta 15–20 %. Tämä näkyy erityisesti tiloilla, joilla kuivattavaa viljaa on vuosittain paljon. Lisäksi etäseurantaan perustuva käyttö helpottaa työn organisointia ja parantaa prosessin hallintaa kiireisen sadonkorjuun aikana. Optimointijärjestelmä voidaan nähdä suhteellisen kevyenä investointina, joka parantaa energiatehokkuutta riippumatta siitä, käytetäänkö kuivauksessa öljyä vai haketta.

Yhteenvetona voidaan todeta, että viljankuivauksen energiaratkaisun valintaan ei ole yhtä oikeaa vastausta, vaan paras vaihtoehto määräytyy tilakohtaisesti. Suurilla viljatiloilla, joilla on käytettävissä omaa metsävaraa tai edullinen haketoimitus ja riittävästi varastointitilaa, hakepohjainen ratkaisu voi tarjota selviä säästöjä polttoainekustannuksissa kohtuullisella takaisinmaksuajalla. Pienemmillä tiloilla, joilla kuivattava viljamäärä on rajallinen tai investointikyky vähäinen, kevyen polttoöljyn käyttö voi edelleen olla perusteltu ja riskitön vaihtoehto, erityisesti jos nykyinen uunikalusto on hyvässä kunnossa. Tutkimus osoittaa myös, että riippumatta valitusta polttoaineesta energiatehokkuuden parantamiseen on merkittävä potentiaali prosessin ohjauksessa, automaatiossa ja optimoinnissa. Jatkossa olisi hyödyllistä tarkastella tarkemmin tilakohtaisia taloudellisia laskelmia erilaisilla satotasoilla ja polttoaineiden hintaskenaarioilla sekä vertailla käytännön mittaustietoon perustuen hakkeen ja öljyn kulutusta eri kuivurityypeissä. Lisäksi uusiutuvan energian, kuten lämpöpumppujen ja hukkalämmön hyödyntämisen, yhdistäminen perinteisiin kuivuriratkaisuihin tarjoaa kiinnostavia mahdollisuuksia viljankuivauksen hiilijalanjäljen pienentämiseen ja energiatehokkuuden parantamiseen pitkällä aikavälillä.

Lähteet

Ahokas, J., & Jokiniemi, T. (2021). Viljankuivaus. Noudettu 4. marraskuuta 2025, osoitteesta https://www.energia.agrotekno.fi/wp-content/uploads/2021/04/viljankuivaus.pdf

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J., Korhonen, J. (n.d). Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Noudettu 27. marraskuuta, osoitteesta https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2016/T258.pdf

Arskagroup, (n.d). Biouuneilla edullista lämpöä. Noudettu 6. marraskuuta 2025, osoitteesta https://www.arskagroup.com/arskametalli/ratkaisu/biouunit/

Arskagroup, (n.d). Öljyuunit (alipaine). Noudettu 7. marraskuuta 2025, osoitteesta https://www.arskagroup.com/mepu/ratkaisu/oljyuunit-alipaine/

Cauco, (n.d). Viljakuivureiden etäseuranta ja viljan kuivauksen optimointi. Noudettu 6. marraskuuta 2025, osoitteesta https://cauco.fi/

Hautala, M., Jokiniemi, T., Ahokas, J. (2013). Maatilakuivurit. Noudettu 6. marraskuuta 2025, osoitteesta https://www.energia.agrotekno.fi/wp-content/uploads/2021/04/Maatilakuivurit.pdf

Juha, K. (n.d). Viljankuivauksen teoriaa. Noudettu 4. marraskuuta 2025, osoitteesta https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/kilpelainen_viljankuivauksen_teoriaa.pdf

Lantmännenagro, (n.d). Biouuni. Noudettu 21. marraskuuta 2025, osoitteesta https://www.lantmannenagrokauppa.fi/tuote/mepu-biouuni/

Leipätiedotus ry, (n.d). Viljan tuotan suomessa. Noudettu 27. lokakuuta 2025, osoitteesta https://www.leipatiedotus.fi/tietoa-leivasta/pellolta-poytaan/viljan-tuotanto/suomessa.html

Luonnonvarakeskus (2023). Käytössä oleva maatalousmaa. Noudettu 6. marraskuuta 2025, osoitteesta https://www.luke.fi/fi/tilastot/kaytossa-oleva-maatalousmaa/kaytossa-oleva-maatalousmaa-2023

Mepu Oy, (2015). Viljankuivaamon käyttöohje S / M / C – sarja. Noudettu 7. marraskuuta 2025, osoitteesta https://www.arskagroup.com/mepu/wp-content/uploads/sites/2/M-ja-S_sarja-kayttoohje-D16694_FI.pdf

Mäkelä, O. (1983) Viljankuivausopas. Noudettu 6. marraskuuta 2025, osoitteesta https://jukuri.luke.fi/server/api/core/bitstreams/7907a70a-f79b-4417-b877-62bfe5ac91ff/content

Oilon, (n.d), Öljypoltin. Noudettu 7. marraskuuta 2025, osoitteesta https://oilon.com/fi/tuotteet/oilon-teollisuuspolttimet/

Syotavakaupunki, (2017). Maanviljelyn historian vaiheita Suomessa. Noudettu 27. marraskuuta, osoitteesta https://syotavakaupunki.fi/maanviljelyn-historian-vaiheita-suomessa/