



Viljankuivauksen optimointi Ecocauco-laitteella

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Maaseutuelinkeinot

Kevät 2025

Viljami Rauhala

Koulutus	Maaseutuelinkeinot
Tekijä	Viljami Rauhala
Työn nimi	Viljankuivauksen optimointi Ecocauco-laitteella
Ohjaaja	Timo Teinilä

Vuosi 2025

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Ecocauco-laitteen vaikutusta viljankuivurin polttoaineen kulutukseen ja viljan kuivausaikaan. Ecocauco on optimointilaitteisto, joka on suunniteltu erätyttöisiin viljankuivureihin vähentämään polttoaineen kulutusta. Laitteiston on kehittänyt ja sitä markkinoi suomalainen Cauco Oy, joka oli tämän opinnäytetyön tilaajana.

Viljan kuivaus on pohjoisten viljely- ja sadonkorjuuolosuhteiden määrittämä vaatimus suomalaisilla viljailoilla, sillä viljasatoa ei saada korjattua niin kuivana, että se voisi säilyä varastossa pidempiä aikoja. Pohjoisissa viljelyolosuhteissa kuivaus muodostaa merkittävän osan viljanviljelyn energiakustannuksista ja suomalaisissa viljankuivureissa yleisimmän lämmönlähteen, kevyen polttoöljyn, hinnoissa on tapahtunut nousua 2020-luvulla.

Viljanjyvissä kosteutta on sitoutunut eri tavoin ja lujuuksiin. Siinä missä kuivauksen alkuvaiheessa kosteutta poistuu jyvistä varsin helposti, poistuu kuivauksen loppuvaiheessa kosteutta hitaammin eikä suuren kuivausilmamäärän lämmittäminen ja puhaltaminen kuivurin läpi enää nopeuta kuivumista. Ecocaucon toimintaperiaatteena on rajoittaa kuivausilman virtausta juuri kuivauksen loppuvaiheessa, jolloin kuivurissa oleva viljamassa luovuttaa kosteutta hitaammin. Tämä johtaa pienempään kuivausilman lämmitystarpeeseen ja polttoaineen kulutukseen.

Tutkimus Ecocaucon vaikutuksesta polttoainetalouteen ja kuivausaikaan tehtiin kolmella eteläsuomalaisella viljatilalla. Tutkimukset tehtiin kuivaamalla keskenään samanlaisia viljaeriä samankaltaisissa olosuhteissa sekä Ecocauco-laitteen ollessa päällä että pois päältä. Mukana olleista tiloista kahdelta saatiin tutkimuksen kannalta relevanttia tietoa.

Tulosten perusteella Ecocauco-laitteistoa käyttämällä polttoaineen kulutuksessa voidaan saada säästöjä mutta kuivausaika piteni jonkin verran. Kulutuksessa säästöt vaihtelivat 3–20 % välillä kuivauserästä riippuen. Tosin erityisesti kuivausajan osalta vaihtelu oli suurta ja sekä säästöt että vaikutus kuivausaikaan riippuvat monesta muuttujasta.

Avainsanat viljankuivaus, viljankuivuri, energiatehokkuus, maataloustutkimus

DP Bachelor's Degree of Natural Resources, Agriculture
Author Viljami Rauhala
Subject Optimizing grain drying process with Ecocauco unit
Supervisors Timo Teinilä

Year 2025

The main objective of this thesis was to research the effects of Ecocauco grain dryer optimization system on fuel consumption and drying time in batch-filled grain dryers. The thesis was commissioned by Cauco Oy, a Finnish company that is developing and marketing the system.

Due to the cool and humid weather often met in Finland and other Nordic countries during the harvest season in autumn, grain drying is mandatory to ensure proper preservation of grain for longer periods of time. The prices of light fuel oil, the most used fuel in Finnish grain dryers, have also been rising during the 2020s, which incentivizes farmers to look for solutions to improve energy efficiency of grain dryers.

Generally, when grains are being dried, they release moisture more slowly in later phases of the drying process, meaning that using the same airflow throughout the entire drying process makes no sense from the standpoint of energy efficiency.

The working principle of the Ecocauco optimization system is to lower airflow in the later phases of the drying process, when grains' rate of drying slows down. This results in a reduced need for heating the air for grain dryers, which in turn improves fuel efficiency.

The research of Ecocauco's effects on grain dryers' efficiency and time consumption was carried out at three different grain dryers located in Southern Finland. The research work was conducted by drying grains with the Ecocauco unit enabled and then by drying similar batches of grains under similar conditions with the Ecocauco unit disabled, effectively making the dryer work like normal grain dryer without any optimization unit installed.

The results from two grain dryers indicated that by using the Ecocauco unit, fuel consumption dropped by 3–20 %. There were on average, however, some increase in drying times. Variations between different batch pairs were large and they were considered to be highly dependent on the properties of grains, conditions and the dryer itself.

Out of the three grain dryers used in this project, relevant data from research's standpoint was only obtained from two facilities due to installation error of Ecocauco unit in the third facility, which led the unit to work in an unintended way. A greater amount of grain dryers and batch pairs would have been beneficial to ensure larger number of working dryer facilities in case of technical difficulties, as well as to improve the reliability of the results.

Keywords grain drying, grain dryer, energy efficiency, agricultural research

Pages 24 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Yleistä viljankuivauksesta.....	2
2.1	Viljan kuivauksen historiaa	3
2.2	Viljakuivureiden tekniikka	4
2.3	Jyvässä sitoutuneena olevan veden poistaminen.....	6
3	Aiempaa tutkimustyötä viljankuivauksen optimoinnista	7
3.1	Tapani Jokiniemi: Energy efficiency in grain drying process, tohtorintutkielma	7
3.1.1	Tutkimus kuivausprosessin hallinnasta ja optimoinnista	7
3.1.2	Tulokset.....	8
3.2	Mika Markkanen: Viljan lämminilmauvaajan ilmamäärän reaaliaikainen säätö.....	9
3.2.1	Tutkimuksen lähtökohdat.....	9
3.2.2	Kuivurit ja tutkimusvälineet	9
3.2.3	Ilmamäärän säätölaitteisto	10
3.2.4	Tutkimusolosuhteet ja kuivattu vilja.....	10
3.2.5	Tulokset.....	11
4	Tutkimus Ecocauco-optimoinnin vaikutuksesta viljankuivauksen polttoaineenkulutukseen ja kuivausaikaan	12
4.1	Toimintaperiaate	12
4.1.1	Laitteiston kehitystyö	14
4.2	Tutkimustyö	15
4.2.1	Mukana olleet tilat ja kuivurit.....	15
4.2.2	Tutkimusvälineet.....	15
4.2.3	Olosuhteet tutkimuksen tekemiselle.....	15
5	Aineisto ja tulokset	16
5.1	Yhteenveto kuivureiden tuloksista	16
6	Tulosten tarkastelu.....	21
7	Johtopäätökset.....	22
7.1	Omia pohdintoja.....	22
7.2	Kiitokset	23
	Lähteet.....	24

Kuvat

Kuva 1. Viljan säilyvyysaika vuorokausissa kosteuden ja lämpötilan mukaan. (Ahokas, Jokiniemi, n.d.)	2
Kuva 2. Tyypillisen erätäyttöisen kennokuivurin peruskomponentit. (Pensas, 2014)	4
Kuva 3. Kuivauskennoston rakenne. (Jokiniemi, 2016)	5
Kuva 4. Kaavio Markkasen käyttämien kuivurikoneistojen antureiden sijoittelusta. (Markkanen, 2020)	10
Kuva 5. Ecocaucon hallintaterminaali ja vaakanäyttö. (Teemu Arvonen, 2024)	13

Taulukot

Taulukko 1. Kuivuri 1:n koekuivauksien tulokset polttoaineen kulutuksen osalta	17
Taulukko 2. Kuivuri 1:n koekuivauksien tulokset ajankulun osalta	17
Taulukko 3. Kuivuri 2:n koekuivauksien tulokset polttoaineen kulutuksen osalta	18
Taulukko 4. Kuivuri 2:n koekuivauksien tulokset ajankulun osalta	19
Taulukko 5. Kuivuri 3:n koekuivauksien tulokset polttoaineen kulutuksen osalta	20
Taulukko 6. Kuivuri 3:n koekuivauksien tulokset ajankulun osalta	20

1 Johdanto

Suomalaisella viljatilalla energiaa kuluu huomattava määrä varsinaisten viljelytöiden, muokkauksen, kylvön, kasvinsuojelun ja sadonkorjuun lisäksi myös viljan kuivaamiseen, sillä kosteat syksyt useimmiten estävät viljan varastoinnin suoraan sadonkorjuun jälkeen kuivaamatta, kuten lämpimämpien ilmastojen maissa.

Kohonneet energian hinnat ovat saaneet viljelijöitä pohtimaan keinoja vähentää viljanviljelyssä kuluvan energian määrää. Itse viljelytöissä ratkaisuna voivat toimia muun muassa kevytmuokkaus, suorakylvö sekä muu viljelytöiden optimointi. Tilusjärjestelyjä tekemällä voidaan myös lyhentää tilakeskuksen ja peltojen välisiä etäisyyksiä ja siten vähentää traktoreiden ja työkoneiden polttoainekustannuksia. Kuivauksessa ratkaisuna on ollut tähän asti kuivurin lämpöeristäminen ja yökuivauksen välttäminen, joka voi tosin olla vaikea vaihtoehto toteuttaa tiloilla rajallisen kuivauskapasiteetin takia. Aivan viime vuosina Suomessa on myös kehitetty uutta tapaa vähentää kuivurin polttoaineenkulutusta optimoimalla kuivausprosessia itsessään.

Vantaalla vuonna 2016 toimintansa aloittanut Cauco Oy on kehittänyt Ecocauco-nimisen järjestelmän, jonka toiminta perustuu kuivurin ilmamäärän vähentämiseen kuivausprosessin edetessä. Ilmamäärän vähentämistä perustellaan sillä, että kuivauksen myöhemmissä vaiheissa jyvät luovuttavat vähemmän kosteutta kuin alussa, ja tällöin myöhemmissä vaiheissa tarvittavan ilman määrä olisi vastaavasti pienempi. Koska kuivuriin tuleva ilmamäärä on pienempi, pienenee myös sen lämmittämiseen tarvittavan energian määrä. Järjestelmä on kuitenkin ollut saatavilla vasta muutaman vuoden ja ulkopuolisen tahon tuottamaa tutkimustietoa Ecocauco-optimoinnin vaikutuksista ei tähän asti ole ollut olemassa. Tilallisille opinnäytetyön tulokset voivat toimia referenssinä hankinnan kustannusvaikutuksia ja kuivurin käyttöaika arvioitaessa, mikäli järjestelmä haluttaisiin asentaa omaan kuivuriin.

Ensimmäisenä tutkimusaiheena on Ecocaucon vaikutus viljankuivurin polttoaineen kulutukseen. Toisena tutkimusaiheena selvitetään Ecocauco-optimoinnin käytön vaikutusta kuivausaikaan. Kuivausajan tutkiminen Ecocaucoa käyttäessä on myös tärkeä tutkimusaihe, sillä kuivauskapasiteetti tiloilla voi olla rajallinen ja potentiaalinen pidempi kuivausaika saattaisi vähentää kapasiteettia entisestään.

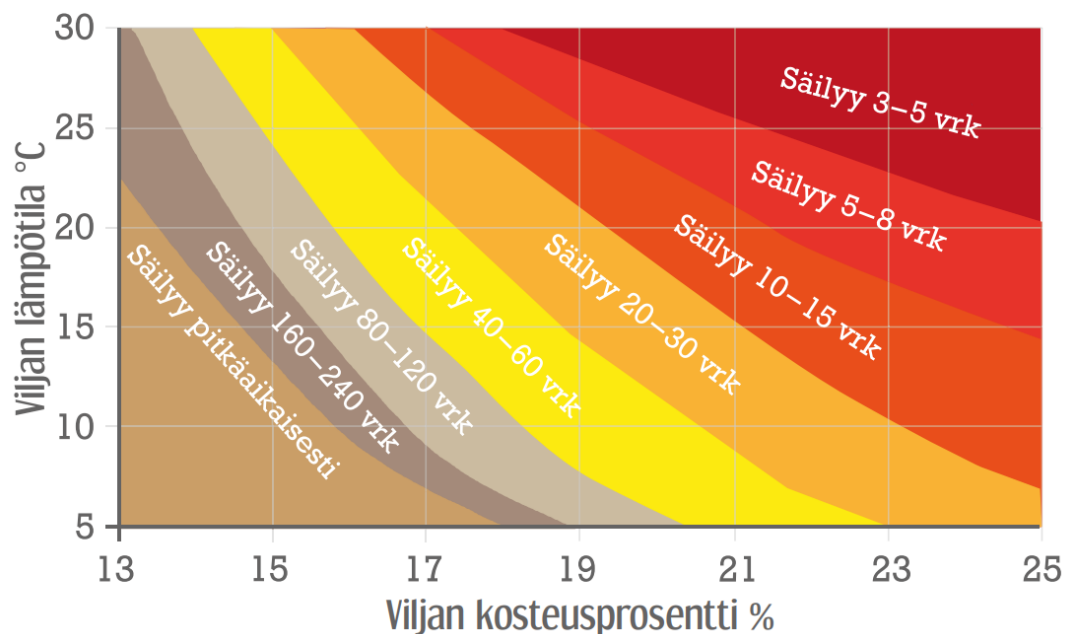
2 Yleistä viljankuivauksesta

Viljassa, kuten myös heinässä sekä muissa kosteissa materiaaleissa oleva elintoiminta ei pääty korjuuseen. Viljassa jyvien pinnalla olevilla pieneliöillä, kuten bakteereilla, homeilla ja sienillä, elinolosuhteet säilyvät otollisina viljan ollessa kosteana ja pilaantuminen on väistämätöntä, ellei viljaa kuivata (Ahokas & Jokiniemi, n.d, s. 2). Suomen sääolosuhteissa vilja joudutaan useimmiten korjaamaan syksyllä sellaisissa olosuhteissa, että kuivaaminen on suoritettava.

Alhainen kosteus on viljan säilyvyyden kannalta välttämättömyys. Pitkäaikaisessa varastoinnissa vaadittu kosteus on alle 14 %, jota käytetään myös kaupparajana.

Kosteuden lisäksi viljan säilyvyyteen vaikuttaa lämpötila ja säilytysaika. Kuvasta 1 voidaan nähdä, että esimerkiksi lämpötilan ollessa 20 celsiusastetta ja kosteuden ollessa 17 %, vilja säilyy 40–60 vuorokauden ajan (Kuva 1). Viljan tulee lisäksi myös kuivua tasalaatuisesti, sillä suurimmaksi osaksi kuivassakin viljassa kosteammat kohdat lähtevät pilaantumaan. Pilaantumisprosessissa viljasta vapautuu lisää lämpöä ja kosteutta, joka osaltaan laajentaa pilaantumakohtaa suuremmaksi. (Ahokas, Jokiniemi, n.d.)

Kuva 1. Viljan säilyvyysaika vuorokausissa kosteuden ja lämpötilan mukaan. (Ahokas, Jokiniemi, n.d.)



Viljankuivausmenetelmät perustuvat siihen, että viljasta sitoutuu kosteutta ilmaan sen kulkiessa viljamassan läpi. Kosteuden siirtyessä jyivistä ilmaan kasvaa ilman suhteellinen

kosteus. Suhteellinen kosteus kuvaa ilmassa vesihöyrynä olevan kosteuden määrää prosentteina verrattuna siihen, paljonko kyseisessä lämpötilassa voi olla enimmillään kosteutta vesihöyrynä (Ilmatieteen laitos, 2020). Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän kosteutta siihen voi sitoutua (Vornanen, 2016).

Lämminilmakuivurissa tuloilmaa lämmitetään korkeampaan lämpötilaan ja näin kuivausilman kosteudensidontapotentiaalia saadaan kasvatettua verrattuna kylmäilmakuivuriin, jossa kuivausilmaa ei lämmitetä.

Suomessa lämminilmakuivaus on vakiintunut pääasialliseksi säilöntämenetelmäksi sen vuoksi, että lämminilmakuivaus ei oikein suoritettuna rajoita viljan myöhempää käyttöä (Esala, 2009, s. 7). Oikein kuivattua ja säilöttyä viljaa voidaan siis käyttää lukuisiin eri käyttötarkoituksiin aina siemenviljasta rehuihin ja mallastuotantoon sekä muihin elintarvikkeisiin, joskin siemen- ja mallasviljaa kuivattaessa tulee käyttää alhaisempaa kuivauslämpötilaa siemenen itävyyden tai mallastusominaisuuksien suojaamiseksi.

Eläintiloille on nykyisin tarjolla oman rehuviljan säilöntävaihtoehtoina kuivaamisen lisäksi myös tuoresäilöntämenetelmiä, kuten murskesäilöntä ja kokojyväsäilöntä, mutta Suomen olosuhteissa tarve kuivaamiselle säilyy jatkossakin leipäviljan sekä kaiken muun kauppaviljan säilönnässä.

2.1 Viljan kuivauksen historiaa

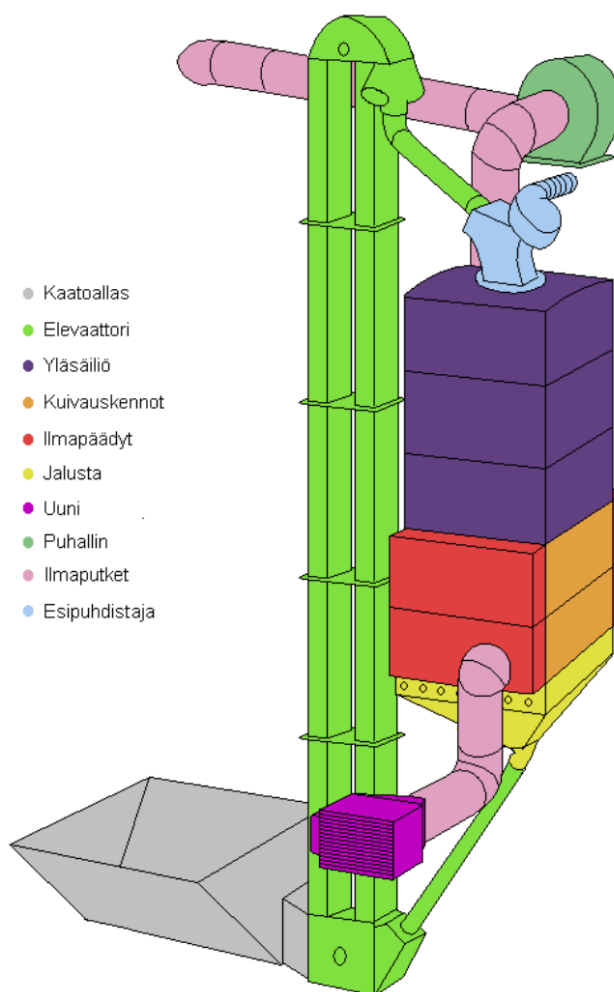
Ennen koneellista viljankorjuuta vilja niitettiin käsin sirpillä ja koottiin lyhteiksi. Lyhteistä koottiin kuhilaita, joissa oleva vilja sai kuivua auringon ja tuulen vaikutuksesta. Ulkona kuivumisen jälkeen lyhteet kerättiin kuhilailta ja vietiin riiheen, jossa kuivuminen jatkui. Kuivumisen jälkeen jyvät puitiin irti riihessä mekaanisesti ja eroteltiin ruumenista, jonka jälkeen vilja oli varasto- ja myyntikelpoista. (Törmä, 2009, s. 5)

Kun sadonkorjuuta tehostavat puimakoneet alkoivat yleistyä, riihessä tehtävän jälkikuivauksen teho jäi jälkeen puintitehosta. 1900-luvun alussa alettiin rakentamaan ensimmäisiä varsinaisia viljankuivureita, joissa oli kuivauskaappi tai -laatikko ja luonnollinen veto. 1950-luvulta eteenpäin valmistettiin sekä kylmä- että lämminilmatoimisia lava- ja säkkikuivureita. Niistä jälkimmäiset jäivät melko nopeasti pois, kun nopeasti yleistyvissä ja kehittyvissä leikkuupuimureissa säkityslaitteet korvautuivat viljasäiliöillä. Lavakuivureiden valmistuksen loppuessa 1980-luvun taitteessa vakiintui hallitsevaksi viljankuivausmenetelmäksi edelleen käytössä oleva siilotyyppinen lämminilmakuivaus. (Törmä, 2009, ss. 5–6)

2.2 Viljakuivureiden tekniikka

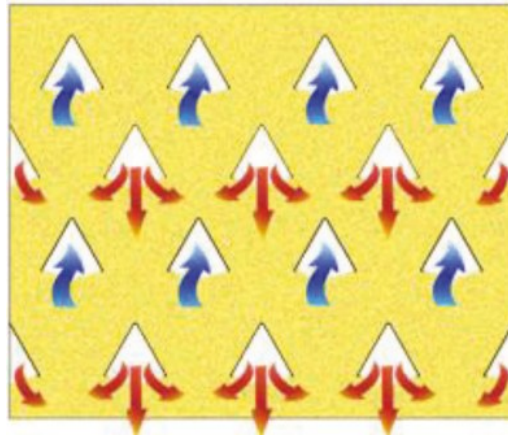
Kuivureita on sekä erä- että jatkuvatoimisia ja kylmä- että lämminilmatyypisiä. Suomessa tyypillisin ratkaisu on lämmintä ilmaa hyödyntävä erätäyttöinen, viljaa kierrättävä sekavirtaus- eli kennokuivuri (Kuva 2). Siinä kuivuri täytetään kaatoaltaaseen tai -suppiloon kiptulla viljalla elevaattorin avulla. Kuivaus käynnistetään kuivurin ollessa täynnä ja elevaattorin avulla viljamassa kiertää kuivurissa ylhäältä alas. Varsinainen kuivaus tapahtuu kuivurin keskivaiheilla, kuivauskennostossa. (Lötjönen & Pentti, 2005, s. 38)

Kuva 2. Tyypillisen erätäyttöisen kennokuivurin peruskomponentit. (Pensas, 2014)



Kennostossa on A-kirjaimen muotoisia kuivaus- ja poistoilmaharjoja, jotka sijaitsevat limittäin toisiinsa nähden (Kuva 3). Lämmin kuivausilma virtaa kuivattavan, alaspäin virtaavan viljan sekaan sitomaan kosteutta ja kosteuden sitonut ilma poistuu poistoilmaharjojen ja kanavien kautta ulos kuivurista. Kuivauskennoston alaosassa on myös syöttölaite, joka annostelee viljan elevaattorille ja määrittää viljan kiertonopeuden kuivurissa. (Lötjönen & Pentti, 2005, s. 38)

Kuva 3. Kuivauskennoston rakenne. (Jokiniemi, 2016)



Tässä työssä käsiteltyjä siilomallisia lämminilmakuivureita on olemassa sekä alipaine- että ylipainetoimisena. Ylipainekuivurissa kuivausilma puhalletaan uunin ja kuivauskennoston läpi puhaltimella, joka sijaitsee ennen uunia. Alipainekuivurin toiminta perustuu puolestaan siihen, että kuivausilma imetään uunin ja kuivauskennoston läpi imurilla, joka sijaitsee kennoston poistoilmapäädyn jälkeen sijaitsevassa poistoilmakanavassa. Alipainekuivurin suurimpana etuna on vähäpölyisyys, sillä kuivaussiilossa oleva alipaine imee viljapölyä pois kuivaussiilosta. Alipainekuivuri on teoriassa myös hieman tehokkaampi, joskin etu on hyvin vähäinen. (Lötjönen & Pentti, 2005, s. 43)

Ylipainekuivurin etuna puolestaan on parempi paloturvallisuus, sillä koneistossa vallitseva ylipaine rajoittaa kipinöiden ja palamiskaasujen joutumista kuivaussiiloon tilanteessa, jossa uuni palaa puhki. Vastaavassa tilanteessa alipainekuivurissa vallitseva alipaine taas imisi palokaasut ja kipinät sisään kennostoon. (Lötjönen & Pentti, 2005, s. 43)

Suomessa yleisimpänä polttoaineena lämminilmakuivureissa on kevyt polttoöljy hyvän hyötysuhteen ja säädettävyyden takia. Muita käytössä olevia lämmönlähteitä ovat eri biopolttoaineet, kuten puuhake ja -pelletti sekä maakaasu, joka on yleisempi lähinnä suuremmissa kuivureissa (Lötjönen & Pentti, 2005, s. 37). Harvinaisempiin lämmönlähteisiin kuuluu kaukolämpö. Uutena lämmönlähteenä viljankuivauksessa on myös aurinkoenergia, jota Suomessa kehitetty, etenkin erikoiskasveille ja luomuun suunniteltu Viljakas -konttikuivuri hyödyntää (Viljakas, n.d.).

2.3 Jyvissä sitoutuneena olevan veden poistaminen

Yhden vesikilon haihduttamiseen vaadittu energiamäärä, toisin sanoen höyrystymisenergia, on noin 2500 kilojoulea. Suomen viljakuivureissa yleisimpänä polttoaineena käytettävän kevyen polttoöljyn energiasisältö on noin 43 megajoulea öljykilolta, joten teoriassa yhdellä kilolla kevyttä polttoöljyä voitaisiin haihduttaa noin 17 kilogrammaa vettä. Todellisuudessa viljaa kuivattaessa tarvitaan haihdutusenergian lisäksi myös irroitusenergiaa jyvään tiukemmin sitoutuneen kosteuden poistamiseksi. Lisäksi polttoaineen epätäydellinen palaminen uunissa ja lämpöhäviöt kuivurijärjestelmän lukuisissa eri komponenteissa laskevat hyötysuhdetta. (Esala, 2009, s. 7).

Vasta korjatuissa, tuoreissa viljanjyvissä on vettä sitoutuneena kolmessa eri muodossa. Sitoutumistavan ja -lujuuden mukaan jaoteltuna jyvässä on vettä sitoutuneena fysikaalis-mekaanisesti, fysikaalis-kemiallisesti ja kemiallisesti eli kidevetenä. Kemiallisesti sitoutuneessa kosteudessa jyvämateriaalin ja veden väliset sidokset ovat niin vahvoja, ettei kidevettä olisi mahdollista poistaa ilman korkeaa lämpötilaa ja suurta energiamäärää, joka olisi 2–3-kertainen veden haihdutusenergiaan nähden. Niinpä viljankuivauksessa tähdätään vain fysikaalis-mekaanisesti sekä fysikaalis-kemiallisesti sitoutuneen veden poistamiseen. (Esala, 2009, s. 7)

Fysikaalis-mekaanisesti sitoutuneesta vedestä puhuttaessa tarkoitetaan jyvän pintaan sekä suuriin kapillaareihin sitoutunutta kosteutta. Tällä tavalla sitoutuneen kosteuden poistamiseksi riittää pelkkä veden haihdutusenergia, noin 2500 kilojoulea vesikiloa kohti, sekä lisäksi 0–800 kilojoulea irroitusenergiaa, mikäli jyvässä olevat kapillaarit ovat pienempiä. Tällä tavoin sitoutunut kosteus poistetaan aina kokonaan kuivauksessa. Fysikaalis-kemiallisesti sitoutunut kosteus, eli kolloidinen paisuntavesi on kosteutta, joka on sitoutunut jyvämateriaaliin osmoottisesti. Näin sitoutuneen vesikilon poistamiseen tarvittava energiamäärä koostuu veden haihdutusenergian lisäksi myös noin 1800 kilojoulestä irroitusenergiaa, eli vaadittu kokonaisenergiamäärä yhden fysikaalis-kemiallisesti sitoutuneen vesikilon poistamiseksi on noin 4300 kilojoulea. (Esala, 2009, s. 7)

3 Aiempaa tutkimustyötä viljankuivauksen optimoinnista

Viljankuivauksesta oli tätä työtä varten kattavasti lähdemateriaalia, kuten AMK-opinnäytetöitä, kandidaatintöitä, maisterintutkielmia ja oppaita. Opinnäytetyön ohjaajan, Timo Teinilän mukaan tutkimustyötä viljan kuivauksesta tehtiin varsin paljon etenkin 2000-luvun alussa. Viljankuivauksen optimointiin liittyen Tapani Jokiniemen ja Mika Markkasen tekemät tutkimukset osoittautuivat erinomaisiksi lähteiksi.

3.1 Tapani Jokiniemi: Energy efficiency in grain drying process, tohtorintutkielma

Väitöskirjassaan Tapani Jokiniemi tutki erilaisia tapoja parantaa viljankuivurin energiatehokkuutta, joista yksi oli kuivausprosessin optimointi ja hallinta. Muita tutkittuja tapoja olivat kuivaussiilon lämpöeristys ja lämmön talteenotto poistoilmasta. (Jokiniemi, 2016, s. 5)

3.1.1 Tutkimus kuivausprosessin hallinnasta ja optimoinnista

Jokiniemen tutkimuksessa kuivausprosessin hallinnasta ja optimoinnista käytettiin koekuivauksiin pienoiskuivuria. Tutkimus tehtiin kahdessa vaiheessa, joista ensimmäisessä kokeiltiin ilmamäärän vähentämisen toimivuutta konseptina ja verrattiin sitä perinteiseen kuivaukseen sekä tavallisella että korotetulla lämpötilalla, toisen vaiheen keskittyessä ilmamäärän säädön automatisoinnin tutkimiseen. Laboratorio-olosuhteissa tehdyissä tutkimuskuivauksissa kuivattiin ohraa ja kauraa. (Jokiniemi, 2016, ss. 35–36)

Ensimmäisessä tutkimusvaiheessa kokeiltiin kuivausilmamäärän vähentämistä kuivauksen aikana manuaalisesti poistoilman suhteellisen kosteuden lisäämiseksi ja siten hyötysuhteen parantamiseksi. Ilmamäärää laskettiin siten, että kuivauksen loppuvaiheessa tuloilman virtaus oli enää noin puolet kuivauksen alkuvaiheeseen verrattuna. Lisäksi kokeiltiin perinteistä kuivaustapaa korotetulla lämpötilalla. Toisessa tutkimusvaiheessa tavoitteena oli luoda kustannuksiltaan edullinen järjestelmä ilmamäärän säädön automatisoimiseksi. Tutkimusvaiheessa luotu automatisoitu säätöjärjestelmä toimi tarkkailemalla poistoilman kosteutta ja vähentämällä kuivausilman ottoa kuivauksen edetessä poistoilman suhteellisen kosteuden laskiessa. (Jokiniemi, 2016, ss. 35–36)

3.1.2 Tulokset

Päätavoitteena kuivausprosessia optimoitaessa oli lisätä poistoilman suhteellista kosteutta verrattuna tavanomaiseen kuivausprosessiin, toisin sanoen poistaa sama vesimäärä pienemmällä ilmamäärällä. Tulosten odotettiin osoittavan vähentynyttä energiankulutusta johtuen kuivausprosessin paremmasta hyötysuhteesta ja korkeammasta kuivauslämpötilasta kuivauksen jälkipuolella, joka parantaa ilman kykyä sitoa vettä. (Jokiniemi, 2016, s. 43)

Jokiniemen tekemissä koekuivauksissa energiankulutus väheni verrattuna tavanomaiseen kuivaukseen, jossa ilmanottoa ei vähennetä kuivauksen edetessä. Kauraa kuivatessa vaikutus oli ohraa huomattavampi; kauralla tehdyissä kuivauksissa energiankulutus putosi keskimäärin ilmamäärää vähennettäessä 14 %, kun ohraa kuivatessa saavutettiin 5 % energiansäästö verrattuna tavanomaiseen kuivaustapaan. Korotettua kuivauslämpötilaa käytettäessä laski myös tavanomaisen kuivausprosessin energiankulutus kauraa kuivatessa, mutta ohralla samaa vaikutusta ei nähty. Vaikutuksen arveltiin johtuvan ohranjyvien erilaisesta muodosta ja rakenteesta. (Jokiniemi, 2016, s. 44)

Kokeissa kuivausilman lämmitysteho säilyi vakiona kuivauksen läpi ilmamäärän vähentyessä, jonka vuoksi sen lämpötila kasvoi käänteisesti. Tämän vuoksi rajoitetulla ilmamäärällä tehdyissä kuivauksissa myös kuivausaika lyheni perinteiseen kuivaukseen verrattuna. Sama vaikutus esiintyi vielä voimakkaampana kokeiltaessa tavanomaista kuivausprosessia korotetulla lämpötilalla. (Jokiniemi, 2016, s. 43)

Jokiniemen tutkimus osoittaa, että kuivausilmamäärän vähentäminen poistoilman suhteellisen kosteuden mukaan voi parantaa kuivauksen energiatehokkuutta. Huomioitavaa on se, etteivät Jokiniemen tutkimusasetelman pienoiskuivuri ja tyypillinen suomalaisilta viljailoilta löytyvä viljakuivuri Ecocauco-järjestelmällä varustettuna ole keskenään täysin vertailukelpoisia. Ecocaucon ohjatessa kuivausilman ottoa polttoaineen kulutus vähenee apusuuttimen käyntiajan vähentymisen seurauksena, mutta kuivauslämpötila ei kasva verrattuna samalla lämmöllä tehtyyn tavanomaiseen kuivaukseen.

3.2 Mika Markkanen: Viljan lämminilmakuivaajan ilmamäärän reaaliaikainen säätö

Opinnäytetyötä tehdessä erityisen hyväksi referenssiksi osoittautui Mika Markkasen maisterintutkielma ”Viljan lämminilmakuivaajan ilmamäärän reaaliaikainen säätö”. Työssään Markkanen tutki ilmamäärän säädön toimivuutta oikeassa kuivurissa maatalaolosuhteissa Viikin opetus- ja tutkimustilan viljakuivurissa Helsingissä syksyllä 2018.

3.2.1 Tutkimuksen lähtökohdat

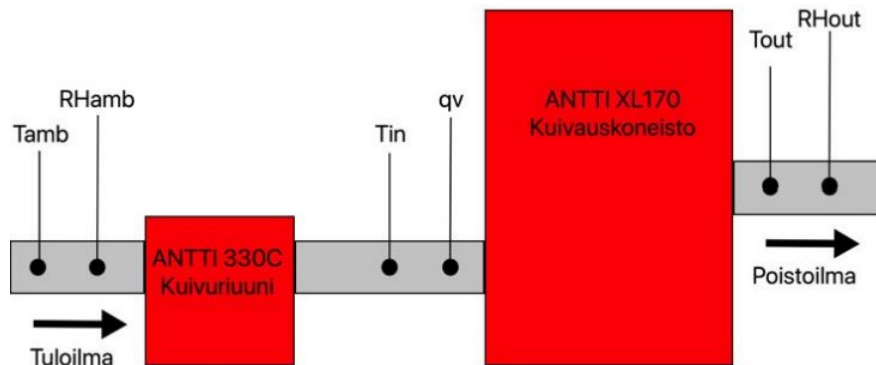
Mika Markkasen tarkoituksena oli tutkia maisterintutkielmassaan reaaliaikaista kuivausilmamäärän säädön toimivuutta täysikokoisessa viljakuivaamossa. Aiemmissa, Tapani Jokiniemen vuonna 2016 tekemissä tutkimuksissa kuivausilman määrän vähentäminen oli kokeessa käytetyllä pienoiskuivurilla laskenut kauran kuivaamisen energiankulutusta 14 %, ohralla säästön ollessa 5 %. (Markkanen, 2020, s. 19)

3.2.2 Kuivurit ja tutkimusvälineet

Tutkimuksessa käytetty Viikin kuivuri sopi tarkoitukseen erinomaisesti kaksoiskoneistonsa ja samanlaisen varustelun vuoksi. Viikin koetilalla sijaitsevassa, yhteiskapasiteetiltaan 340 hehtolitran eräkuivurissa oli kaksi Antti XL 170 -koneistoa, kummatkin yhteisellä kaatosuppilolla mutta omilla maakaasutoimisilla Antti 330C -kuivuriuuneilla ja kiertoelvaattoreilla varustettuna. Koneistojen lämpöeristykset muutettiin keskenään samanlaisiksi, jotta eroja kuivureiden keskinäistä vertailua varten ei olisi ilmentynyt. Molemmissa kuivureissa oli asennettuna lisäksi vaaka-anturit kuivauserän punnitsemista varten (Markkanen, 2020, ss. 20–21).

Tarvittavat anturit koetoimintaa varten oli jo asennettuna koneistoihin aikaisempien kokeiden jäljiltä (Kuva 4). Tuloilmakanavassa ennen uunia sijaitsivat lämpötila-anturi T_{amb} ja tuloilman suhteellista kosteutta mittaava kosteusanturi RH_{amb} . Lämpötila-anturi T_{in} ja ilmamääräanturi q_v mittasivat kuivausilman lämpötilaa ja tilavuutta. Poistoilmakanavassa lämpötila-anturi T_{out} mittasi poistoilman lämpötilaa ja kosteusanturi RH_{out} poistoilman suhteellista kosteutta. (Markkanen, 2020, s. 21)

Kuva 4. Kaavio Markkasen käyttämien kuivurikoneistojen antureiden sijoittelusta. (Markkanen, 2020, s. 21)



3.2.3 Ilmamäärän säätölaitteisto

Markkasen tutkimuksessa asennettiin ilmamäärän säätöä varten puhaltimen automaattinen säätö toiseen kuivurissa olevista koneistoista. Säätö perustui Puhku Plus - puhallinohjainlaitteeseen, joka tarkkaili anturoinnin avulla poistoilman kosteutta ja säätö antureiden keräämän kosteustiedon avulla puhaltimen kierroslukua taajuusmuuttajan avulla automaattisesti. (Markkanen, 2020, s. 22)

3.2.4 Tutkimusolosuhteet ja kuivattu vilja

Markkasen tekemässä tutkimuksessa kuivattiin seitsemän erää kauraa ja 11 erää ohraa. Erien puintikosteudet vaihtelivat välillä 11–23 %. Kuivauserät pyrittiin kuivaamaan samalla kertaa samaan aikaan täysissä kuivureissa, jotta kuivureiden keskinäinen vertailu onnistuisi parhaiten. (Markkanen, 2020, ss. 23–24)

3.2.5 Tulokset

Kuivurilla, jossa ilmamäärän säätölaitteisto oli käytössä, saatiin Markkasen tutkimuksessa ohran kuivauksessa keskimäärin 11 % säästö suorassa lämmitysenergian kulutuksessa verrattuna kuivuriin, jolla ilmamäärän säätölaitteistoa ei ollut käytössä. Kauraa kuivatessa säästö oli vielä suurempi, keskimäärin 30 %. Kauraerien vähäinen määrä toi epävarmuutta mittauksiin, mutta kaiken kaikkiaan tulokset olivat silti samansuuntaisia Jokiniemen ja Ahokkaan vuonna 2014 tekemien kokeiden tulosten kanssa. Ahokas ja Jokiniemi saavuttivat lämmitysenergian kulutuksessa 5 % säästön ohralla ja 14 % säästön kauralla, kun ilmamäärän rajoittamista kokeiltiin laboratorio-oloissa pienoiskuivurilla. (Markkanen, 2020, s. 32)

Markkanen päätyi tutkielmassaan johtopäätökseen, että ilmamäärän aktiivinen säätö kuivausprosessin edetessä voi tuoda säästöjä lämmitykseen käytetyn energian kulutuksessa myös suurella maatilamittakaavan kuivurilla. Markkasen mukaan kuivauslämpötilan aktiivinen säätö prosessin edetessä olisi kuitenkin hyödyllinen lisä. Lisäksi kullekin viljaerälle olisi eduksi saada oma optimoitu ilmamäärän säätökäyrä alkukosteuden mukaan. (Markkanen, 2020, s. 33)

4 Tutkimus Ecocauco-optimoinnin vaikutuksesta viljankuivauksen polttoaineenkulutukseen ja kuivausaikaan

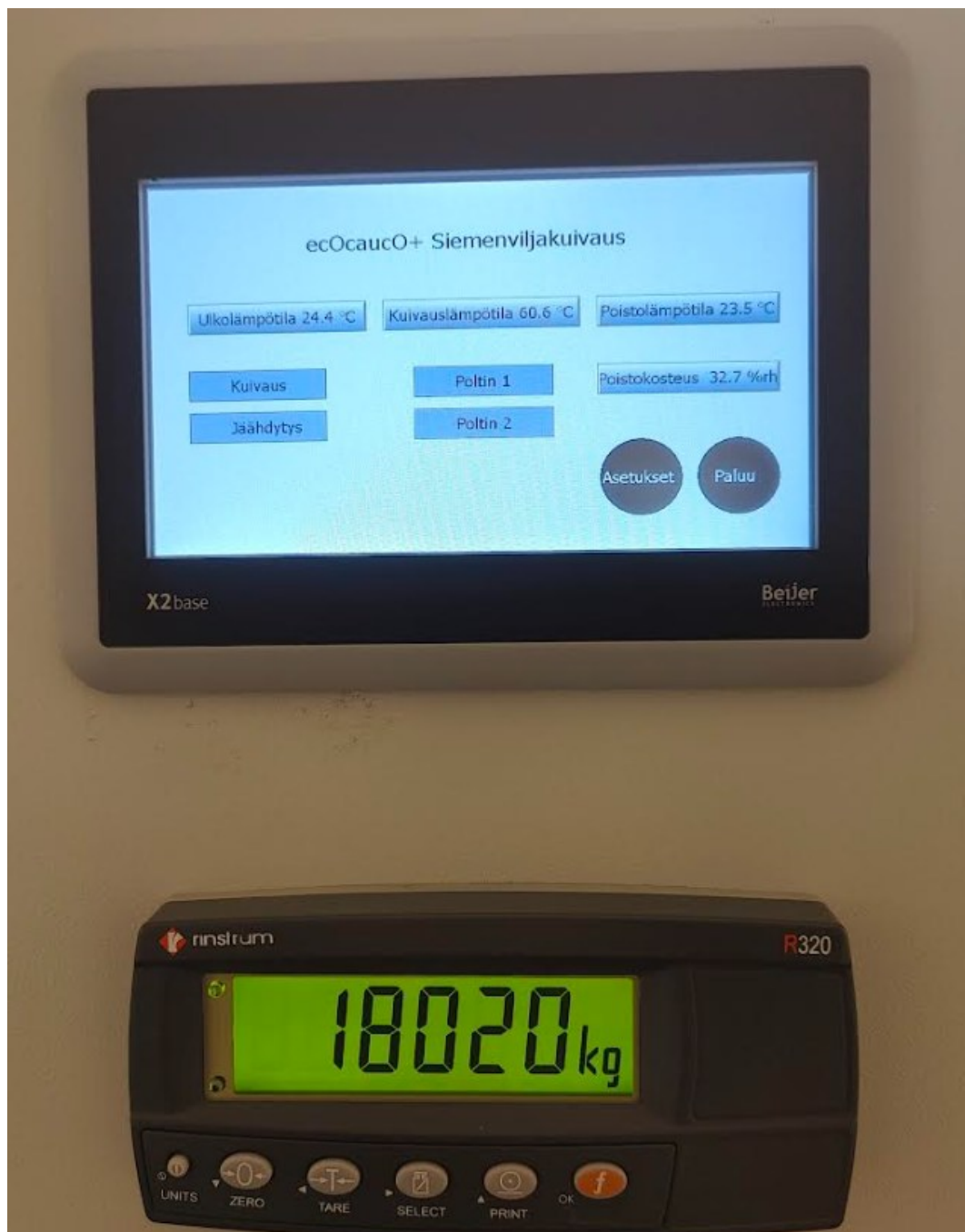
Opinnäytetyön varsinaisina aiheina oli tutkia Ecocauco-järjestelmän vaikutusta kuivausprosessin polttoaineen kulutukseen sekä kuivausaikaan. Järjestelmää markkinoidaan ensisijaisesti polttoaineen säästöllä. Kyseessä olevan laitteen käytön vaikutuksesta ei aiemmin ole ollut tarjolla ulkopuolista tutkimustietoa. Tietoa muista markkinoilla olevista kaupallisista sovelluksista, joissa vastaavaa toimintaperiaatetta hyödynnetään, ei opinnäytetyötä tehdessä löytynyt.

4.1 Toimintaperiaate

Ecocauco-järjestelmän pääkomponentit ovat taajuusmuuttaja, logiikkaohjausyksikkö, kosteusanturi ja lämpötila-anturit ulko- sekä kuivausilmalle. Poistoilmakanavassa sijaitsevat kosteus- ja lämpötila-anturit mittaavat poistoilman kosteutta ja lämpötilaa.

Logiikkaohjausyksikkö määrittää anturidatan perusteella poistoilman suhteellisen kosteusprosentin ja säätää ylipaineuivureissa puhaltimia, tai alipaineuivurissa imuria, saadun kosteusprosentin mukaan. Järjestelmää hallitaan keskusyksikössä olevan kosketusnäytöllisen ohjaustermiinalin (Kuva 4) kautta tai matkapuhelimeen saatavan etäseurantasovelluksen avulla.

Kuva 5. Ecocaucon hallintaterminaali (ylempänä) ja vaakanaäyttö. (Teemu Arvonen, 2024)



Tavallisessa lämminilmakuivurissa kuivausilman määrä säilyy samana koko kuivausprosessin ajan, jolloin kuivauksen edetessä, myöhempien vaiheiden aikana, poistoilman suhteellinen kosteus laskee jyvien luovuttaessa kosteutta hitaammin. Ecocauco pyrkii säätämään kuivurin läpi kulkevan ilmamäärän siten, että poistoilman suhteellinen kosteus säilyisi mahdollisimman korkeana koko kuivauksen ajan. Tällöin tarvittavan kuivausilman määrä ja sen myötä ilman lämmitystarve pienentyy, vaikka poistoilman mukana poistuu sama absoluuttinen määrä kosteutta.

Ecocaucossa on erilaisia kuivausohjelmia eri käyttökohteiden mukaan ja niiden lämpötiloja voi käyttäjä muokata itse tarpeen mukaan. Tavallisen tasalämpökuivauksen lisäksi on toinen, rehuviljakuivaukseksi kutsuttu ohjelma, jolle voidaan ohjelmoida toinen kuivausohjelma, esimerkiksi korkeammalla kuivauslämpötilalla rehuviljaa varten.

Lisäksi on siemenviljakuivaus, jossa alkukuivaus tehdään yhden kierron ajan hellävaraisemmin 10 celsiusastetta alemmalla lämpötilalla itävyyden suojaamiseksi, ennen lämmön nostoa tavalliseen siemenviljan kuivauslämpötilaan.

Piensiemenkuivausohjelmassa rajoitetaan puhallustehoa sekä kuivauksen että jäähdytyksen aikana, jotta piensiemenet eivät lennä poistoilman mukana ulos.

Järjestelmään kuuluu lisäksi etäseuranta. Perusmallissa etäseuranta näyttää polttoaineen hetkellisen kulutuksen, tuntikulutuksen sekä kuivaus-, poistoilma- ja ulkolämpötilan. Paremmiin varustellussa versiossa mukaan tulee kuivaussiiloon asennettavat vaaka-anturit, jolloin etäseurannan kautta voidaan tarkastella edellä mainittujen kulutus- ja lämpötilatietojen lisäksi myös kuivurissa olevan viljaerän massaa sekä alkukosteudesta ja kuivauserän painon muutoksesta johdettua laskennallista kosteuden poistumaa. Etäseuranta toimii kännykkäsovelluksen kautta.

4.1.1 Laitteiston kehitystyö

Cauco Oy:n Teemu Arvosen mukaan (henkilökohtainen tiedonanto, 13.2.2025) laitteiston kehitys alkoi vuonna 2010 ja kaupallistaminen tapahtui 2022, jolloin ensimmäinen versio tuli myyntiin. Kaupalliseen versioon on tuotu uusia ominaisuuksia vuosittain, muun muassa ohjelmistopuolella ja jo asennettuja laitteita päivitetään. Yhdellä tutkimuksessa mukana olleista kuivureista korjattiin taajuusmuuttajien ohjauksessa ollut virhe, joka aiheutti puhaltimien kierroslukua ohjaavien taajuusmuuttajien vääränlaisen toiminnan ja tämän seurauksena huomattavasti haluttua vajaamman ilmamäärän oton kuivauksen alkuvaiheessa. Kun jyvien pinnoille sekä laajimpiin kapillaareihin sitoutunut kosteus poistetaan, kuivausilman tarve on suurimmillaan eikä kuivauksen loppuvaiheessa otettava pienempi ilmamäärä riitä.

4.2 Tutkimustyö

Ecocauco-laitteiston vaikutusta polttoaineen kulutukseen ja kuivausaikaan tutkittiin tavallisilla viljailoilla Etelä-Suomen alueella. Tutkimukset tehtiin kuivaamalla ominaisuuksiltaan samanlaisia viljaeriä samankaltaisissa olosuhteissa sekä Ecocauco-laitteiston ollessa toiminnassa että ohitettuna ja tämän jälkeen vertailemalla kuivauksien polttoaineenkulutusta ja ajankulua kuivauseräparien kesken.

4.2.1 Mukana olleet tilat ja kuivurit

Tutkimuksessa mukana olleet tilat ja niillä olevat viljankuivurit sijaitsivat Uudenmaan, Kanta-Hämeen sekä Varsinais-Suomen alueella. Kuivureita oli tutkimuksessa aluksi neljä, mutta lopulta koekuivauksia päästiin tekemään kolmella kuivurilla, joista kahdelta saatiin tutkimusaiheen kannalta relevanttia dataa.

4.2.2 Tutkimusvälineet

Tutkimusvälineinä työssä käytettiin viljankosteusmittaria, ajastusta ja laitteiston etäseurantasovelluksen tuottamaa dataa. Kuivauserästä poistuneen veden määrä päätettiin määrittää kuivureissa olleiden vaaka-antureiden punnitseman painon muutoksen perusteella. Kahdella tiloista oli erillinen virtausmittari kuivurin polttoainesäiliössä, joten seurantasovelluksen laskemia kulutuslukemia pystyttiin vertailemaan virtausmittareiden mittaamiin lukemiin ja todentamaan paikkansapitäviksi.

4.2.3 Olosuhteet tutkimuksen tekemiselle

Syksyn 2024 sadonkorjuusajat olivat hyvät ja viljaa päästiin puimaan pääasiassa hyvässä säässä. Kuiva syksy aiheutti positiivisen ongelman tutkimuksen teon kannalta, sillä kuivassa ja lämpimässä korjattu vilja vaati usein vain vähän kuivausta ja tämän vuoksi eroja polttoaineen kulutuksessa oli vaikeampi saada. Käyttäjien kokemusten mukaan Ecocaucon vaikutus polttoaineenkulutuksessa oli huomattavampi edellisellä kuivauskaudella 2023, jolloin säät olivat viileämmät ja kosteammat.

5 Aineisto ja tulokset

Aineiston keruu alkoi 27.8.2024 ja päättyi syyskuun lopulla. Aineistoa kerättiin sekä Ecocaucon taustapalveluun, josta tiedot saatiin hyödynnettäväksi opinnäytetyötä varten, että itse mitaten yhteistyössä viljelijöiden kanssa.

Taustapalvelussa olevista tiedoista saatiin pää- ja apusuuttimien käyntiajat sekunneissa, lämpötilatiedot kuivausilman ja ulkoilman osalta sekä suutinkokojen ja polttimien käyntiaikojen perusteella laskettu öljynkulutus. Tiedot vietiin Excelliin, jossa ne käytiin läpi ja muokattiin työtä varten selkeämmin esitettävään muotoon, josta polttoaineen kulutus ja kuivausaika ovat selkeämmin luettavissa. Kuivausaika sisältää ajan, jolloin polttimet ovat olleet käynnissä, eli uunin käyntiajan kuivauksen alusta jäähtytyksen alkuun. Jäähtytysaikaa ei siis ole laskettu mukaan kuivausaikaan. Tilalliset nimesivät kuivauserät itse Ecocaucon palvelussa, joten nimeäminen ei ollut kaikissa kuivauserissä yhtenäistä.

5.1 Yhteenveto kuivureiden tuloksista

Kanta-Hämeessä sijaitsevalla tilalla oleva kuivuri nimettiin Kuivuri 1:ksi aineiston käsittelyä varten. Kyseinen kuivuri oli ylipainekuivuri, jossa koneisto oli Arska-merkkinen 285 hehtolitrin kapasiteetilla. Kuivurilla kuivattiin viljaa Ecocaucon rehuviljalle ja siemenviljalle tarkoitetuilla kuivausohjelmilla. Siemenvehnä 362 -erällä käytettiin siemenviljan kuivausohjelmaa, kun taas Rehuvehnä 396 -erällä käytössä oli vastaavasti rehuviljalle suunniteltu ohjelma.

Kuivuri 1:n tulokset näyttivät etua polttoainetaloudessa Ecocaucoa käytettäessä, erityisesti erien Siemenvehnä 362 ja Siemenvehnä 371 välillä, jotka toimivat keskenään vertailuerinä. Poistettua vesikiloa kohti kulutus oli lähes 20 % pienempi kuin perinteisessä kuivauksessa. Erissä Rehuvehnä 396 ja 393 ero oli taas paljon pienempi.

Taulukko 1. Kuivuri 1:n koekuivauksien tulokset polttoaineen kulutuksen osalta.

Kuivuri 1: Arska							
Kuivauserän tunniste	Kuivauserän massa alussa (kg)	Kuivauserän massa lopussa (kg)	Alku-kosteus %	Loppu-kosteus %	Poistettu vesimäärä (kg)	Polttoaineen kokonais-kulutus / kuivauserä (l)	Polttoaineen kulutus litraa / poistettu vesikilo
Siemenvehnä 362 (Ecocaucolla)	19600	18510	18.6	12.1	1090	220.7	0.2025
Siemenvehnä 371 (Vertailukuivaus ilman Ecocaucoa)	20050	19160	17.2	12.9	890	225.1	0.2529
Rehuvehnä 396 (Ecocaucolla)	14600	13980	16	12.3	620	126.4	0.2039
Rehuvehnä 393 (Vertailukuivaus ilman Ecocaucoa)	17610	16760	16	12.3	850	179	0.2106

Kuivausajassa erien 362 ja 371 välinen ero oli selkeä ilman Ecocaucoa kuivaamisen eduksi. Erien 396 ja 393 välinen vertailu kuivausajan osalta oli vaikeampaa. Ilman Ecocaucoa kuivatun erä 393:n kuivuminen kesti huomattavasti kauemmin, kuin Ecocaucolla kuivatulla erä 396:llä. Kuivausajan osalta tulokset olivat siis päinvastaiset, kuin edellisessä kuivauseräparissa, tosin eron syynä on todennäköisesti yli 3000 kiloa suurempi aloituspaino ilman Ecocaucoa kuivatulla kuivauserällä. Tuloksista pystyi havaitsemaan, että jo valmiiksi melko kuivalla, 16 kosteusprosentin viljalla eroja kulutukseen oli vaikeampi saada. Syynä tähän on viljan kuivumiseen vaadittava viljamassan lämmitys, joka vaatii suhteessa enemmän energiaa silloin, kun vilja on jo valmiiksi kuivahkoa.

Taulukko 2. Kuivuri 1:n koekuivauksien tulokset ajankulun osalta.

Kuivuri 1: Arska								Kaikki ajat ilmoitettu Suomen kesäaikana (UTC +3)	
Kuivauserän tunniste	Kuivaus-lämpötila (°C)	Ylin poistolämpö (°C)	Ylin ulkoilman lämpötila kuivauksen aikana (°C)	Alin ulkoilman lämpötila kuivauksen aikana (°C)	Kuivauksen alkuaika (Päivämäärä, kellonaika)	Kuivauksen loppumisaika (Päivämäärä, kellonaika)	Kuivauksen kesto ilman jäähdtytystä (hh:mm)	Poistettuja vesikiloja minuutissa (kg/min)	
Siemenvehnä 362 (Ecocaucolla)	73.9	43.7	22.4	14.4	5.9.2024 19:31:51	6.9.2024 06:52:31	11:21	1.601	
Siemenvehnä 371 (Vertailukuivaus ilman Ecocaucoa)	70.5	43.3	21.1	14.1	6.9.2024 19:16:13	7.9.2024 02:56:34	07:40	1.935	
Rehuvehnä 396 (Ecocaucolla)	72.3	44.4	19.4	16.7	12.9.2024 13:32:49	8.9.2024 17:58:08	04:25	2.340	
Rehuvehnä 393 (Vertailukuivaus ilman Ecocaucoa)	72.3	45	19.4	16.4	11.9.2024 15:12:11	11.9.2024 21:35:40	06:23	2.219	

Varsinais-Suomessa sijaitseva kuivuri nimettiin aineiston käsittelyä varten kuivuri 2:ksi. Laitteistona kuivuri 2:ssa oli Arskan koneisto 305 hehtolitrin tilavuudella ja lämpöeholtaan 310 kilowatin alipaineuunilla. Kuivuri 2:lta saatiin vain yksi tavallinen vertailukuivaus ilman Ecocaucoa, mutta kyseisen erän pariin saatiin onneksi olosuhteiltaan ja viljaerältään hyvin samankaltainen erä, jossa käytettiin Ecocauco-optimointia (Ohra Sting 1). Lisäksi mukana oli toinen erä (Ohra Sting 2), joka oli hieman pienempi ja kuivattiin viileämmän ulkolämpötilan vallitessa.

Polttoaineenkulutuksessa huomattiin selkeä ero Ecocaucolla kuivaamisen eduksi. Ohra Sting 1 -erää kuivatessa Ecocauco päällä polttoainetta kului poistettua vesikiloa kohti noin 10 % vähemmän, kuin ilman Ecocaucoa kuivatessa vertailuerässä. Myös toisessa Ecocaucolla kuivatessa erässä (Ohra Sting 2) kului selvästi vähemmän polttoainetta, joskin viljaerän koko oli hieman pienempi. Toisaalta ulkoilman lämpötila oli myös alhaisempi, kuin muiden kuivurilla kuivattujen tutkimuskuivausten aikana. Ohra Sting 2 -erässä poistettua vesikiloa kohti polttoaineenkulutus oli yli 11 % pienempi verrattuna kuivaukseen, jossa Ecocaucoa ei käytetty.

Taulukko 3. Kuivuri 2:n koekuivauksien tulokset polttoaineen kulutuksen osalta.

Kuivuri 2: Arska							
Kuivauserän tunnistus	Kuivauserän massa alussa (kg)	Kuivauserän massa lopussa (kg)	Mitattu alkukosteus %	Mitattu loppukosteus %	Poistettu vesimäärä (kg)	Polttoaineen kokonaiskulutus / kuivauserä (l)	Polttoaineen kulutus litraa / poistettu vesikilo
Ohra Sting 1 (Ecocaucolla)	16870	14510	25	12.9	2360	314	0.1331
Ohra Sting 2 (Ecocaucolla)	13500	11720	25	13.2	1780	233	0.1309
Ohra Sting (Perinteinen kuivaus ilman Ecocaucoa)	17260	14710	24.5	12.5	2550	377	0.1478

Päävertailuerissä (Ohra Sting 1 ja Ohra Sting ilman Ecocaucoa) vettä poistui viljamassasta perinteisellä kuivausmenetelmällä odotetusti hieman nopeammin, kuin Ecocaucon kanssa kuivatusta erästä. Toisessa Ecocauco-erässä (Ohra Sting 2) vettä poistui nopeammin, kuin kummassakaan muussa erässä. Ohra Sting 2 -erässä nopeampi veden poistuma johtui todennäköisesti erän pienemmästä koosta.

Taulukko 4. Kuivuri 2:n koekuivauksien tulokset ajankulun osalta.

Kuivuri 2: Arska					Kaikki ajat ilmoitettu Suomen kesäaikana (UTC +3)			
Kuivuserän tunnistus	Kuivauslämpötilä (°C)	Ylin poistolämpö (°C)	Ylin ulkoilman lämpötilä kuivauksen aikana (°C)	Alin ulkoilman lämpötilä kuivauksen aikana (°C)	Kuivauksen alkuaika (Päivämäärä, kellonaika)	Kuivauksen loppumisaika (Päivämäärä, kellonaika)	Kuivauksen kesto ilman jäädytystä (hh:mm)	Poistettuja vesikiloja minuutissa (kg/min)
Ohra Sting 1 (Ecocaucolla)	66.4	38.1	21.3	11.7	20.9.2024 07:32	20.9.2024 19:35	12:03	3.264
Ohra Sting 2 (Ecocaucolla)	68.9	37.3	13.7	7.1	21.9.2024 13:00	21.9.2024 20:58	07:58	3.724
Ohra Sting (Perinteinen kuivaus ilman Ecocaucoa)	69.3	37.1	20	11.1	19.9.2024 15:31	20.9.2024 05:58	12:27	3.414

Uudellamaalla sijaitseva kuivuri nimettiin Kuivuri 3:ksi. Kyseessä oleva alipainetyyppinen kuivuri oli mukana olleista kuivureista suurin. Antti-teollisuuden valmistamassa, 670 hehtolitrana pakettikuivaamossa oli 1000 kilowatin tehoinen uuni. Kaikki Kuivurilla 3:lla kuivatut tutkimuserät olivat RGT Planet-mallasohraa. Muista kuivureista poiketen Kuivuri 3:ssa asennettuna oleva Ecocauco oli kaupallisen perusmallin ensimmäinen versio, jossa ei ole erillisiä kuivausohjelmia. Kuivuserien ja olosuhteiden samankaltaisuuden takia verrattiin ensimmäisinä kuivuseräpareina keskenään eriä RGT Planet 1 ja 2 sekä toisena eriä 3 ja 4.

Toisin kuin muilla tutkimuksessa mukana olleilla kuivureilla, ei polttoaineen kulutuksessa Kuivuri 3:lla tehdyissä koekuivauksissa saatu näkymään merkittävää etua Ecocaucon hyväksi. Poistettua vesikiloa kohti vakioitu polttoaineenkulutus oli lähes sama erissä RGT Planet 1 ja 2. Eriä 3 ja 4 verratessa Ecocaucon kanssa kuivatessa kulutus kasvoi verrattuna perinteiseen kuivaukseen. Korkeamman kulutuksen lisäksi kuivausaika piteni Ecocauco -kuivauksessa verrattuna perinteiseen kuivaukseen. Vettä poistui molemmissa vertailupareissa selkeästi hitaammin Ecocauco-kuivauksessa perinteiseen kuivaukseen verrattuna.

Taulukko 5. Kuivuri 3:n koekuivauksien tulokset polttoaineen kulutuksen osalta.

Kuivuri 3: Antti							
Kuivauserän tunniste	Kuivauserän massa alussa (kg)	Kuivauserän massa lopussa (kg)	Alku-kosteus %	Loppu-kosteus %	Poistettu vesimäärä (kg)	Polttoaineen kokonais-kulutus / kuivauserä (l)	Polttoaineen kulutus litraa / poistettu vesikilo
RGT Planet 1 (Ecocaucolla)	44000	40380	20	12.8	3620	467.1	0.1290
RGT Planet 2 (Vertailukuivaus ilman Ecocaucoa)	42430	39440	21.2	12.6	2990	388.1	0.1298
RGT Planet 3 (Ecocaucolla)	33000	31860	17.2	13	1140	168.3	0.1476
RGT Planet 4 (Vertailukuivaus ilman Ecocaucoa)	31170	29610	16	12.3	1560	169.1	0.1084

Taulukko 6. Kuivuri 3:n koekuivauksien tulokset ajankulun osalta.

Kuivuri 3: Antti								Kaikki ajat ilmoitettu Suomen kesäaikana (UTC +3)	
Kuivauserän tunniste	Kuivaus-lämpötila (°C)	Ylin poistolämpö (°C)	Ylin ulkoilman lämpötila kuivauksen aikana (°C)	Alin ulkoilman lämpötila kuivauksen aikana (°C)	Kuivauksen alkuaika (Päivämäärä, kellonaika)	Kuivauksen loppumisaika (Päivämäärä, kellonaika)	Kuivauksen kesto ilman jäähtytystä (hh:mm)	Poistettuja vesikiloja minuutissa (kg/min)	
RGT Planet 1 (Ecocaucolla)	70	41	22.4	14.4	29.8.2024 10:55	29.8.2024 20:04	09:09	6.594	
RGT Planet 2 (Vertailukuivaus ilman Ecocaucoa)	70	39	21.1	14.1	30.8.2024 11:06	30.8.2024 17:06	06:00	8.306	
RGT Planet 3 (Ecocaucolla)	70	41	19.4	17.6	7.9.2024 11:26	7.9.2024 14:49	03:23	5.616	
RGT Planet 4 (Vertailukuivaus ilman Ecocaucoa)	70	39	19.4	16.4	30.8.2024 22:53	31.8.2024 01:16	02:23	10.909	

Kuivuri 3:lla tulokset olivat selvästi huonompia muihin tässä työssä mukana olleisiin kuivureihin verrattuna, joilla Ecocaucon kanssa tehty kuivaus säästi polttoainetta. Syy löytyi taajuusmuuntajien ohjauksesta, jossa ollut virhe johti liian matalaan imureiden kierroslukuun ja siten noin puolet tarvittua alempaan ilmamäärään kuivauksen alkuvaiheessa, jossa ilmamäärän tulisi olla suurimmillaan. Puutteellisen ilmamäärän takia viljamassa ei saanut tarpeeksi lämpöä kuivauksen alkuvaiheessa, jotta kuivuminen olisi lähtenyt kunnolla käyntiin. Tämä johti huomattavasti pidempään kuivausaikaan joko samalla tai korkeammalla polttoainekulutuksella poistettuihin vesikiloihin suhteutettuna, kuin perinteisessä kuivauksessa. Taajuusmuuttajan ohjausongelman korjaamisen jälkeen Ecocauco toimi suunnitellulla tavalla mutta tuloksia myöhemmistä kuivauksista ei valitettavasti saatu tähän työhön. Saadut kuivauserät olivat loppusyksyn aikana liian pieniä, jotta niitä olisi voinut luotettavasti vertailla 670 hehtolitraa vetävässä kuivurissa.

6 Tulosten tarkastelu

Tuloksia analysoitaessa huomattiin suurta vaihtelua eri kuivurien välillä. Kuivuri 3:n tulosten tarkastelu tutkimuksen kannalta voi olla kyseenalaista, sillä Ecocauco laitteena ei toiminut oikein taajuusmuuntajan ohjauksen ongelman vuoksi ja siksi Ecocauco päällä tehdyt kuivaukset johtivat huonompaan polttoainetalouteen ja pidentyneeseen kuivausaikaan. Kuivuri 3:n tulosten tarkastelu Cauco Oy:n henkilökunnan toimesta johti kuitenkin myös vian löytymiseen ja korjaamiseen ja laite toimi myöhemmillä kuivauksilla oikein. Tutkimuksessa ongelmana oli pieni otanta kuivureiden rajallisen määrän takia. Myös ilman Ecocaucoa tehtyjä perinteisiä kuivauksia olisi ollut hyvä saada lisää muilla kuivureilla.

Kuivuri 1:llä vehnää kuivattaessa parempi kuivauspareista näytti noin 20 % alhaisempaa polttoaineenkulutusta verrattuna perinteiseen kuivaukseen. Tässä kuivauksessa oli käytössä Ecocaucon siemenviljakuivausohjelma. Toisessa vertailuparissa samalla kuivurilla saatiin vain kolmen prosentin säästö polttoaineenkulutuksessa Ecocaucolla kuivattaessa verrattuna perinteiseen kuivaukseen. Tässä kuivauksessa ohjelma oli rehukuivausohjelma. Huomattavasti matalampi alkukosteus todennäköisesti selittää pienentyneen edun kulutuksessa. Matalampi erän paino selittää todennäköisesti nopeamman vedenpoistuman.

Kuivuri 2:lla kuivattu ohra oli muilla kuivureilla kuivattuja viljoja kosteampaa. Kaikissa erissä viljan kosteus oli noin 25 % kuivauksen alkaessa. Tulokset osoittivat tällä kuivurilla 10–11 % säästöä polttoaineen kulutuksessa molemmissa Ecocauco-kuivauksissa verrattuna perinteiseen kuivaustapaan. Tämä antaa näyttöä siitä, että Ecocaucon hyödyt näkyisivät parhaiten kosteammalla viljalla, kuten Ecocaucoa aiempina syksyinä käyttäneet tilalliset olivat kertoneet. Saatu polttoaineen säästö on myös linjassa Mika Markkasen Viikissä 2018 tekemien tutkimuskuivausten kanssa, joissa ilmamäärän säädöllä saatiin ohran kuivauksessa keskimäärin 11 % säästöä suorassa energiankulutuksessa (Markkanen, 2018, s. 32).

Ecocaucon käytön vaikutuksesta kuivausaikaan oli vaikeampi saada vastausta. Kaikkein samankaltaisimmilla kuivauserillä ja yhtenevimmissä olosuhteissa tehtyjä Ecocauco-kuivauksia ja perinteisiä kuivauksia vertaillen voidaan kuitenkin huomata, että perinteinen kuivaustapa poisti vettä hieman nopeammin kuin Ecocaucolla tehty kuivaus. Tässä vaihtelu oli vielä suurempaa kuin polttoaineen kulutuksessa.

7 Johtopäätökset

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, paljonko Ecocauco-optimointi säästää polttoainetta viljankuivauksessa. Toisena tutkimusaiheena oli selvittää, kuluuko Ecocauco-laitteen kanssa kuivaukseen enemmän aikaa verrattuna perinteiseen kuivaukseen ilman ilmamäärän säätöä.

Tulosten perusteella Ecocauco-järjestelmällä voidaan saada säästöjä viljankuivauksen polttoaineenkulutuksessa. Tämä vaihtelee kuitenkin paljon kuivattavan materiaalin ominaisuuksista, kuivausolosuhteista ja todennäköisesti myös kuivurista riippuen. Tulosten tarkastelu vahvisti, että Ecocaucon polttoaineensäästö toteutuu parhaiten, kun vilja on kosteaa. Selkeimmin polttoaineensäästö näkyi niissä kuivauksissa, joissa viljan aloituskosteudet olivat suurimpia, noin 25 %.

Vaikutuksesta kuivausaikaan oli tulosten perusteella vaikeampi antaa vastaus. Kuivausolosuhteiden ja -erien ollessa kuivauskoepareissa samankaltaisimpia, poistui vettä nopeammin perinteisellä kuivaustavalla kuin Ecocaucolla. Tässäkin on huomattavina muuttujina kuivattavan materiaalin ominaisuudet, kuivausolosuhteet ja kuivuri.

7.1 Omia pohdintoja

Tämä opinnäytetyö tutustutti perinpohjaisesti viljankuivauksen teoriaan ja sen toteutumiseen käytännössä. Lisäksi opinnäytetyö tarjosi hyvän mahdollisuuden päästä kokeilemaan maataloustutkimusta käytännössä. Opinnäytetyön tekeminen opetti tekijälleen viljankuivauksen lainalaisuudet paljon paremmin kuin agrologiopinnat koulun penkillä. Kaiken kaikkiaan koen, että opinnäytetyö edisti ammatillista kehitystäni agrologina hyvin.

Aiemman kokemuksen puute viljankuivaukseen liittyvästä tutkimuksesta saattoi kostautua työtä tehdessä, sillä otin aiheen vastaan verrattain myöhään elokuussa nopealla aikataululla. Jos saisin tehdä tämän työn uudelleen, käyttäisin hieman enemmän aikaa suunnitteluun ja yrittäisin saada enemmän verrokkikuivauksia perinteisellä tavalla, kenties myös hieman laajemman otannan kuivureita siltä varalta, että ilmenee teknisiä haasteita. Viljan kuivauskausi Suomessa on loppujen lopuksi melko lyhyt ja tällaisen tutkimusopinnäytetyön suunnittelun ja ennakoivalmisteluiden tekemiseen voisi olla hyvä varata enemmän aikaa.

Ihanteellinen koeympäristö kuivauskokeille olisi ehdottomasti Markkasen vuonna 2018 käyttämä Viikin koetilan viljakuivaamon kaltainen, kahdella samanlaisella rinnakkaisella

koneistolla varustettu kuivuri (Markkanen, 2020, s. 20). Tosin tällaisia kuivureita Suomesta voi olla vaikea löytää muualta. Lisäksi, koska Ecocaucon kohderyhmänä on tyypilliset suomalaiset viljatilat tyypillisine kuivureineen, on tärkeää myös tutkia laitteen toimintaa tilatasolla eri merkkisissä kuivureissa.

7.2 Kiitokset

Lopuksi haluan esittää kiitokset tämän opinnäytetyön teossa mukana olleille tilallisille, joiden kuivureilla koekuivaukset tehtiin, Teemu Arvoselle ja muulle Cauco Oy:n henkilökunnalle sekä opinnäytetyön ohjaaja Timo Teinilälle.

Tilallisia haluan kiittää mahdollisuudesta käydä vierailmassa kuivureilla sekä muistiinpanojen tarjoamisesta työtä varten. Ilman, teidän, tilallisten ylimääräistä vaivannäköä tämä opinnäytetyö tutkimuksineen ei olisi onnistunut. Timolle esitän kiitokset hyvästä ja riittävästä ohjauksesta, joka auttoi kirjoitustyön aikana opinnäytetyön parantamisessa ja saattamisessa valmiiksi.

Lopuksi Cauco Oy:n väelle ja erityisesti Teemulle haluan esittää kiitokset aineiston tarjoamisesta työtä varten, ohjeistuksesta ja kaikesta tuesta opinnäytetyön toteuttamisessa.

Lähteet

- Ahokas J & Jokiniemi T. (n.d.) *Viljankuivaus*. Energia-akatemia. <https://www.energia.agrotekno.fi/wp-content/uploads/2021/04/viljankuivaus.pdf>
- Esala, J. (2009). Viljankuivauksen teoria. Teoksessa E. Koskiniemi (toim.), *Viljankuivaus kotimaisella polttoaineella -opas* (ss. 7–9). Etelä-Pohjanmaan Metsäkeskus.
- Ilmatieteen laitos. (30.11.2020). *Ilman kosteus*. Ilmatieteen laitos. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>
- Jokiniemi, T. (2016). *Energy efficiency in grain preservation*. [tohtorintutkielma, Helsingin Yliopisto]. Helda. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-51-2495-1>
- Lötjönen, T, Pentti, S. (2005). Kuivausteknologia. Teoksessa A-M. Kirkkari, R. Palva, H. Teräväinen (toim.), *Viljasadon käsittely ja käyttö* (ss. 34–51). ProAgria.
- Markkanen, M. (2020). *Viljan lämminilmakuivaajan ilmamäärän reaaliaikainen säätö*. [maisterintutkielma, Helsingin yliopisto]. Helda. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/750fd3cd-0367-436f-a170-a7968ab94284/content>
- Pensas, M. (12.5.2014). *Viljankuivaamon sähköasennukset*. [insinööriyö, Metropolia-ammattikorkeakoulu]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201405208663>
- Törmä, J. (2009). Viljankuivauksen historia. Teoksessa E. Koskiniemi (toim.), *Viljankuivaus kotimaisella polttoaineella -opas* (ss. 5–6). Etelä-Pohjanmaan Metsäkeskus.
- Viljakas. (n.d.) *Kuivuri*. Viljakas. <https://viljakas.fi/kuivuri/>
- Vornanen, P. (2016). *Viljakuivurien energiatarkastelu*. [kandidaatintyö, LUT University]. LUTPub. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2016051111805>