



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PIIPPUKUIIVAIMEN TUTKI- MUS- JA KEHITYSTYÖ: FINNOMEK OY

TEKIJÄ: Joni Kejonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Joni Kejonen			
Työn nimi Piippukuivaimen tutkimus- ja kehitystyö: Finnomec Oy			
Päiväys	1.6.2016	Sivumäärä/Liitteet	37/4
Ohjaaja Jarmo Pyysalo			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Finnomec Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli Finnomec Oy:n suunnitteleman piippukuivaimen tutkimus- ja kehitystyö. Opinnäytetyössä keskityttiin piippukuivaimen käyttöön viljankuivauksessa. Kehitettävä laite oli vielä suunnitteluasteella, joten opinnäytetyön raportista jätettiin pois kaikki salassa pidettävä, luottamuksellinen materiaali. Raportin pääsisällöksi muodostui siten selvitys työskentelymenetelmistä ja laskelmista.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää lämmönsiirtymistä johtumalla ja sen tehokkuutta piippukuivaimessa. Lisäksi työn aiheeseen kuului piippukuivaimen lämmitysaineen ja ilmanvaihdon prosessikierron suunnittelu sekä selvitys mahdollisuuksista käyttää piippukuivainta myös muiden materiaalien kuivaukseen. Tuotetut piirustukset ja dokumentit toimivat kuivaimen jatkosuunnittelun apuna.</p> <p>Opinnäytetyöprojektissa tutkittiin lämmön johtumista valitussa tilanteessa sekä laskennallisesti että kokeellisesti. Lämmitysaineen ja ilmanvaihdon suunnittelussa käytettiin VDI 2222 -menetelmää ottaen huomioon kuivattavan materiaalin vaatimukset. Vaihtoehtoisia kuivattavia materiaaleja etsittiin kirjallisuudesta ja arvioitiin niiden soveltuvuutta piippukuivaimelle.</p> <p>Piippukuivaimen todettiin soveltuvan viljan-, ja erityisesti, rehuviljan kuivaukseen. Potentiaalisia kuivausmateriaaleja todettiin olevan varsinkin rehuissa ja polttoaineissa. Opinnäytetyön konkreettisine tuotoksina syntyi 3D-osa-piirustuksia ja PI-kaavioita, ominaisuustaulukoita ja dokumentteja sekä koe- ja johtopäätösraportteja.</p>			
Avainsanat Vilja, viljankuivaus, polttoaineen kuivaus, biopolttoaine			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author Joni Kejonen			
Title of Thesis Research and Development of the Finnomec Oy's Dryer			
Date	1.6.2016	Pages/Appendices	37/4
Supervisor Jarmo Pyysalo			
Client Organisation /Partner Finnomec Oy			
<p>Abstract</p> <p>The subject of the thesis was a research and development project of a dryer designed by Finnomec Oy. It was focused on drying of grain. Designing of the dryer was still in its' early stages and therefore the public version of the thesis doesn't contain any confidential material. Introduction of the methods used and selected research data are presented in the published version of the thesis.</p> <p>The objects of the project were to research the effectiveness of heat conductivity and possibility to dry other materials in the dryer as well as designing heat and air flows in the process.</p> <p>When designing the flow systems, the VDI 2222- design method was used and the requirements of grain drying were taken into account. Alternative materials for drying were searched from various sources and ranked based on usability in the dryer.</p> <p>Finnomec Oy's dryer was considered to work well when drying grain. Especially good results could be expected with feed-grain and biofuels. As an outcome of the project the following materials were produced: 3D-drawings, PI-diagrams as well as charts, diagrams and feature diagrams and design suggestions for the dryer.</p>			
Keywords Grain, drying, biofuel drying			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
1.1	Finnomec Oy	5
1.2	Työn taustaa	7
2	VILJAN KUIVAUS	8
2.1	Viljan kuivauksen historia ja nykytilanne Suomessa	8
2.2	Viljan kuivauksen tarkoitus	8
2.3	Viljan kuivauksen haasteet	9
3	PIIPPUKUIVAIN	13
3.1	Piippukuivaimen esittely	13
3.2	Piippukuivaimen toimintaperiaate.....	13
3.3	Piippukuivain viljankuivauksessa	14
3.3.1	Viljan lämpötila	14
3.4	Piippukuivaimen tiedot laskelmiin	15
4	SUUNNITTELU	16
4.1	Suunnittelun tavoitteet	16
4.2	Käytetyt menetelmät.....	16
4.2.1	VDI 2222 -tuotekehitysmalli	16
4.2.2	3D-mallinnus	20
4.2.3	PI- kaaviot.....	20
4.2.4	Muu dokumentaatio	21
5	LÄMMÖN SIIRTYMINEN	22
5.1	Lämmön siirtymisen teoriaa	22
5.1.1	Konvektio	22
5.1.2	Johtuminen.....	23
5.2	Lämmönsiirtymiskoe.....	25
5.3	Piippukuivaimen laskelmia	29
6	VAIHTOEHTOISET KÄYTTÖKOHTEET	30
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	32
	LÄHTEET	33
	LIITTEET	34

1 JOHDANTO

Viljan kuivaaminen Suomessa tapahtuu pääsääntöisesti kuivureissa. Kuivurit ovat maataloille kalliita investointeja ja niitä käytetään vuosittain suhteellisen vähän aikaa. Kuivureissa viljan kuivaaminen tapahtuu lämpimän ilman avulla (lämmönsiirtopinnat) tai ulkoilmaa puhaltamalla (kylmäilmakuivurit). Kuivaus ja varastointi syövät viljan markkina-arvosta suuren osan, joten prosessin tehostaminen on tärkeää.

Piippukuivain on vaihtoehtoinen menetelmä viljan kuivaukseen. Piippukuivaimella viljan kuivaus tapahtuu pääosin johtamalla kiinteän lämmönsiirtopinnan läpi ja sekundäärisesti viljan sekaan puhallettavalla lämpimällä ilmalla. Piippukuivain on siirreltävä kuivausmenetelmä, joka on rakennettu esimerkiksi traktorin peräkärreyn. Liikuteltavuuden ansiosta viljaa voidaan kuivata jo pellolla puunnin yhteydessä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää piippukuivainta kohti valmista tuotetta ja tutkia laitteeseen tulevia teknisiä ratkaisuja. Tutkimuskohteena on myös johtamalla kuivaamisen ja ilma-kuivaamisen vertaaminen toisiinsa ja energiatehokkaan ilma- ja vesikierron suunnittelu. Projektin konkreettisina tuotoksina suunnitellaan periaatteelliset piirustukset ilma- ja vesikierrosta sekä PI-kaavio piippukuivaimelle. Suunnittelun ja tuotekehityksen apuvälineinä käytetään muun muassa VDI 2222-menetelmää. Lisäksi selvitetään onko kuivaimella mahdollista kuivata muita raaka-aineita, esimerkiksi polttoaineita (hake, sahanpuru, pelletit jne.) ja ruokakasveja, kuten viljat, rypsi ja rapsi jne.

Opinnäytetyön tavoitteena on myös koota ja tuottaa yritykselle informaatiota, joka edesauttaa laitteen suunnittelua, kehittämistä ja kaupallistamista.

Opinnäytetyön raportista on jätetty pois kaikki sellaiset tiedot, jotka on koettu salassa pidettäviksi. Sen vuoksi raporttiin sisällytettyihin taulukoihin on otettu vain havainnollistavia otteita ja julkaistu valittuja laskelmia. Raportissa ei julkaista piippukuivaimesta luotuja 3D-malleja ja piirustuksia eikä PI-kaavioita.

1.1 Finnomec Oy

Finnomec Oy on Pohjois-Savossa, Iisalmissa, toimiva yritys, joka tuottaa suunnittelu- ja tilitoimistopalveluita. Suunnittelupalveluihin kuuluvat mm. kone-, metallirakenne- ja hydraulikkasuunnittelu sekä tuotekehitys ja tuotteistaminen. Suurimmat asiakkaat ovat teollisuudenalan yritykset ja eniten suunnitellaan kuljettimia ja hoitotasoja. Lisäksi Finnomec Oy valmistaa myös omia tuotteita (esimerkiksi kuvien 1 ja 2 hiekoituslaitteet) ja tarjoaa 3D-tulostuspalveluja. Yritys työllistää kaksi henkilöä, mutta palkkaa tulevaisuudessa lisää työntekijöitä.



Kuva 1. Finnomec Oy:n SIRU-MEC hiekoitin. Hiekoittimella mahdollista säätää levitettävän hiekan määrää. (Finnomec Oy, verkkosivut)



Kuva 2. Finnomec Oy:n SAND-MEC, hiekoittimen lisälaitte. Laitteella hiekoitus voidaan suorittaa nostamatta lavaa, joten esimerkiksi sähkölinjoja ei tarvitse varoa. (Finnomec Oy, verkkosivut)

1.2 Työn taustaa

Opinnäytetyön aihe löytyi etsimällä yritysrekisteristä yrityksiä, joista opinnäytetyön suorittamista tiedustelisin. Soitin ensimmäisenä Finnomec Oy:n suunnittelusta vastaavalle Veijo Rönkölle, jolla oli tarjota mielenkiintoinen aihe. Varhaisessa vaiheessa olevan ”piippukuivaimen” kehitys- ja tutkimustyö vaikutti todella mielenkiintoiselta ja myös oli sitä.

Piippukuivain oli vielä työn alkaessa varhaisessa vaiheessa, joten siihen liittyvät laskelmat pyrittiin pitämään yksinkertaisina ja ratkaisemaan lähinnä perustavanlaatuisia kysymyksiä. Piippukuivaimen oli tehty vasta metalli- ja rakennesuunnittelua piirustuksineen. Esimerkiksi ilmankierto, mittalaitteet ja putkistot ovat vielä suunnittelematta ja piirtämättä.

Tehtävänä oli suunnitella laitteen lämmityksen kierto ja ilmanvaihto. IV-kierron suunnittelussa päätettiin soveltaa vapaasti VDI 2222 systemaattista suunnittelutapaa. Ratkaisuvaihtoehdoista oli määrä tehdä vaihtoehtoisia 3D-malleja ja PI-kaavioita.

Tehtävänä oli myös tutkia johtumalla lämpenemistä. Piippukuivaimen ratkaiseva ero muihin kuivureihin on juuri lämpö, joka johdetaan tasolta kuivattavaan materiaaliin. Laskelmissa käytettiin lämpöopin kaavoja ja teoriaa sekä sovellettiin muun muassa lämpöpatterin ja viljakuivureiden mitoitusaineistoja.

Kolmantena aiheena oli tutkia, mitä muita materiaaleja piippukuivaimella voisi kuivata. Eri materiaaleja vertailtiin ominaisuustaulukon avulla, jolloin laitteen suunnittelussa voidaan ottaa huomioon soveltuvien materiaalien vaatimat tekniset seikat.

Tavoitteena oli, että opinnäytetyö projektista on työnantajalle konkreettista hyötyä ja tuotettua informaatiota voidaan hyödyntää piippukuivaimen jatkosuunnittelussa, tuotannossa ja markkinoinnissa. Haastavinta opinnäytetyön tekemisessä oli aiheen rajaus ja aikataulus. Mitä enemmän aiheeseen tutustui, sitä enemmän alkoi tulla kehitysideoita piippukuivaimen suhteen. Aikaa opinnäytetyön tekemiseen olisi saanut olla moninkertainen määrä.

2 VILJAN KUIVAUS

2.1 Viljan kuivauksen historia ja nykytilanne Suomessa

Viljan kuivauksen historia Suomessa on värikäs. Se on muuttunut täysin käsityönä suoritetusta prosessista lähes täysin koneellistetuksi.

Ennen vanhaan vilja kerättiin käsin, sirppien avulla. Vilja koottiin nipuiksi eli lyhteiksi, joita ihminen pystyi siirtelemään. Vilja kuivattiin kahdella tavalla. Esikuivaus suoritettiin ulkona, jolloin ilman virtaus (tuuli), ja auringon säteily kuivasivat lyhteistä muodostettuja kasoja. Esikuivatetut lyhteet siirrettiin riihen parsille kuivamaan loppuun. Riihessä suoritettiin myös puinti, eli itse viljan irrotus korsiasta. Lopulta riihi toimi myös kuivan viljan säilytyspaikkana. (Koskiniemi, Esala, Heikkilä, Huvinen, Koivisto, Kuronen, Piipari, Rintamaa, Törmä ja Viirimäki, 2009, 5-6.)

Tekniikan kehittyessä viljaa alettiin puida koneellisesti, joten viljamäärät kasvoivat huomattavasti. Kasvaneiden satojen myötä ilmeni ongelma: kuivausteho ei enää riittänyt. Kuivaukseen käytettiin edelleen vanhoja riisiä, mikä ei kuitenkaan riittänyt kuivaamaan nykyisiä satoja siten, että niiden säilytys käyttökelpoisena pystyttiin takaamaan. (Koskiniemi, 2009, 5-6.)

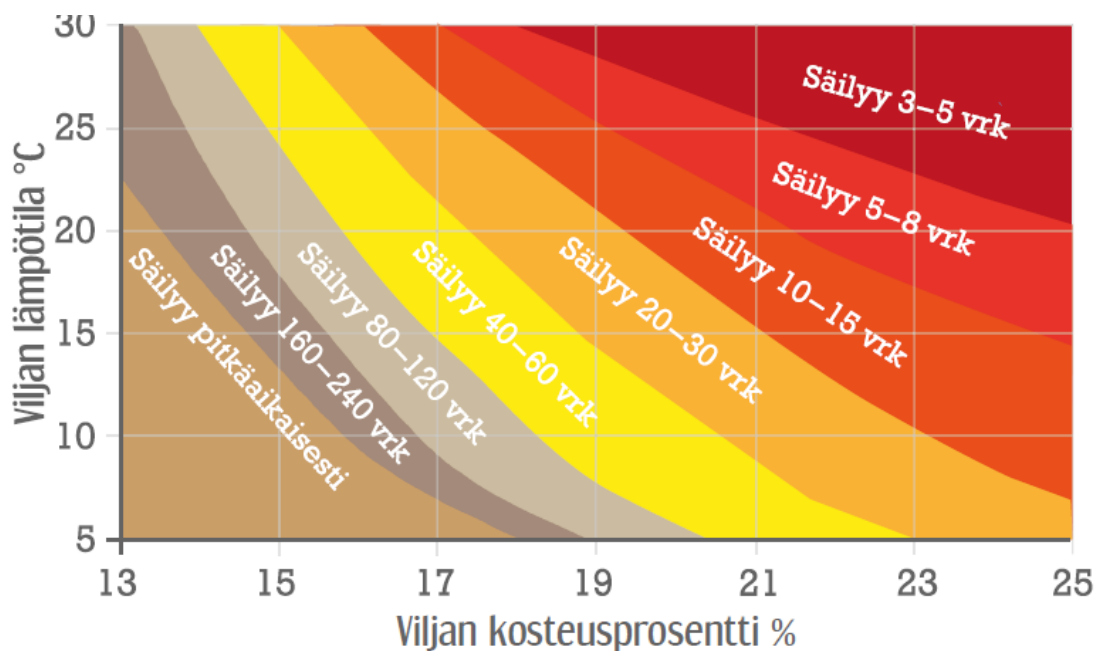
Tekniikan kehitys on vaikuttanut myös kuivurityyppeihin. 1900-luvun alkupuolella rakennettiin ensimmäiset, luonnollisella konvektiolla toimivat kuivurit. Vuosisadan keskivaiheilla suosittiin ns. säkki- ja lavakuivureita. Esim. säkkikuivurien rakentaminen lopetettiin, kun puimureissa siirryttiin säkityksen sijaan tilavampaan viljasäiliöön. Nykyisin pääosa kuivureista on lämmin- ja kylmäilmakuivureita, jotka pystyvät kuivaamaan suuria määriä viljaa. (Koskiniemi, 2009, 5-6.)

Kuivureiden energianlähde on myös muuttunut paljon. Jopa 1970-luvulle asti pääasiallinen energianlähde oli puuhalko. Sen jälkeen energianlähteeksi vaihtui öljy joka on pysynyt suosituimpana nykyhetkeen saakka. (Koskiniemi, 2009, 5-6.)

Öljyn hinnan nousu on johtanut siihen, että viime aikoina energianlähteitä on alettu käyttää laajemmin ja energiatehokkuuteen on alettu panostaa. Nykyään energianlähteinä voidaan käyttää mm. maa- ja kaukolämpöä, biopolttoaineita ja aurinkolämpöä.

2.2 Viljan kuivauksen tarkoitus

Viljan kuivaaminen suoritetaan sen säilyvyyden takia. Jos viljaa ei kuivattaisi, se alkaisi pilaantumaan hyvin nopeasti. Kuivauksella pyritään ehkäisemään mikrobien kasvu viljassa, joka johtaisi ensin pilaantumisen alkamiseen ja sitten leviämisen koko viljaerään. Viljan säilyvyys riippuukin viljan kosteudesta ja säilytysolosuhteista.



Kuva 3. Viljan säilyvyys eri kosteuksissa ja lämpötiloissa. (Ahokas ja Jokiniemi, 3)

Kuvasta 3 nähdään hyvin miten viljan lämpötila ja kosteus vaikuttavat säilyvyyteen. Yleensä vilja kuivataan alle 14 prosentin kosteuteen, jossa sen pitkäaikainen säilytys on turvallista. (Ahokas, 3.)

Viljankuivaus tulisi aloittaa pian puinnin jälkeen, koska viljan elintoiminnot jatkuvat puinnin jälkeenkin. "Vilja hengittää, käyttää varastoitunutta hiilihydraattiansa ja luovuttaa hiilidioksidia". Tämä tuottaa lämpöä ja kosteutta joka edesauttaa mikrobin (home, bakteerit, sienet) kasvua. (Hautala, Ahokas ja Jokiniemi, 2013, 22-23.)

Taulukossa 1 on arvioitu viljan pilaantumista ja kuivauksen aloittamista puintikosteuden perusteella.

Taulukko 1. Kuivauksen aloittaminen. (Hautala, 2013, 23)

Kosteus %	Pilaantuminen alkaa	Ominaisuuksien muuttuminen alkaa	Kuivaus aloitettava
yli 30	1 vrk	1 - 2 vrk	12 h kuluessa
20 - 30	3 - 5 vrk	2 - 3 vrk	25 % 24 h kuluessa 20 % 48 h kuluessa

2.3 Viljan kuivauksen haasteet

Viljan kuivaukseen liittyy monia haasteita. Veden olomuodot viljassa, ulkoilman kosteus, kuivureiden suhteellisen lyhyt käyttöaika ja suuri kuivauskapasiteetti lyhyen puintiajan takia ovat vain muutama esimerkki.

Vesi on sitoutunut viljaan kolmella tavalla:

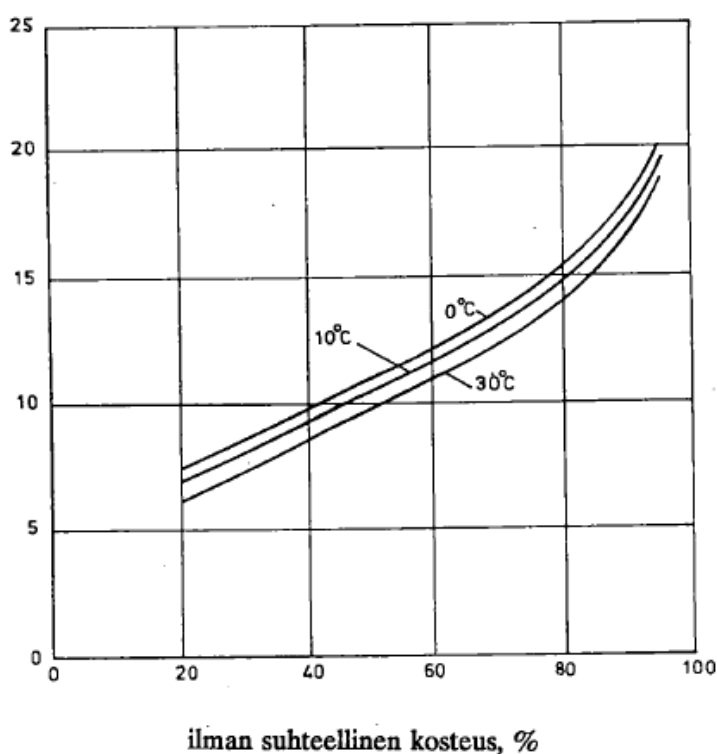
- Kemiallisesti: Kidevesi sitoutunut tiukasti eikä sitä poisteta kuivauksessa. Kideveden irrottaminen vaatisi kohtuuttomasti energiaa hyötyyn nähden, jopa 2-3 kertaisen määrän haihdutus energiaan nähden.
- Fysikaalis-kemiallisesti: Vesi on imeytynyt jyvään eli aiheuttanut sen turpoamisen. Suurin osa näin sitoutuneesta vedestä poistetaan kuivauksessa. Fysikaalis-kemiallisesti sitoutuneen veden irrottamiseen tarvitaan noin 1800 kJ/kg (vesikilo).
- Fysikaalis-mekaanisesti: Vesi on sitoutunut jyvän pinnalle tai suuriin kapillaareihin. Vesi on helppo poistaa ja kuivauksessa se poistetaan kokonaan. Kapillaarien koko vaikuttaa siihen, miten helposti vesi irtoaa jyvistä. Irrotusenergiaa tarvitaan 0-800 kJ/kg.

Veden irrottamisen lisäksi se täytyy haihduttaa. Tähän kuluu noin 2500 kJ/kg. Kokonaisuudessaan vesikilon poistamiseen kuivauksen aikana tarvitaan siis 4,3- 5,1 MJ. (Ahokas, 7-8; Hautala, 2013, 32.) Myöhemmissä laskuissa on käytetty arvoa 5 MJ/kg.

Kuivausprosessiin vaikuttaa olennaisesti myös ulkoilman kosteus ja lämpötila. Kylmäilmakuivureissa kuivaus voi jopa epäonnistua, jos ilman kosteus on liian suuri ja lämpötila liian alhainen. Tämä perustuu tasapainokosteuteen. Kuivattava materiaali voi siis luovuttaa tai saada kosteutta riippuen omasta ja ulkoilman kosteudesta sekä lämpötilasta.

Kun viljaan tiivistyneen veden höyrynpaine ja ilman esihöyryn osapaine tasoittuvat, on vilja saavuttanut tasapainokosteuden. Kuvasta 4 voidaan nähdä, että ohran kuivaaminen 14 % kosteuteen vaatii ilmaa, jonka kosteus jää alle 80 %.

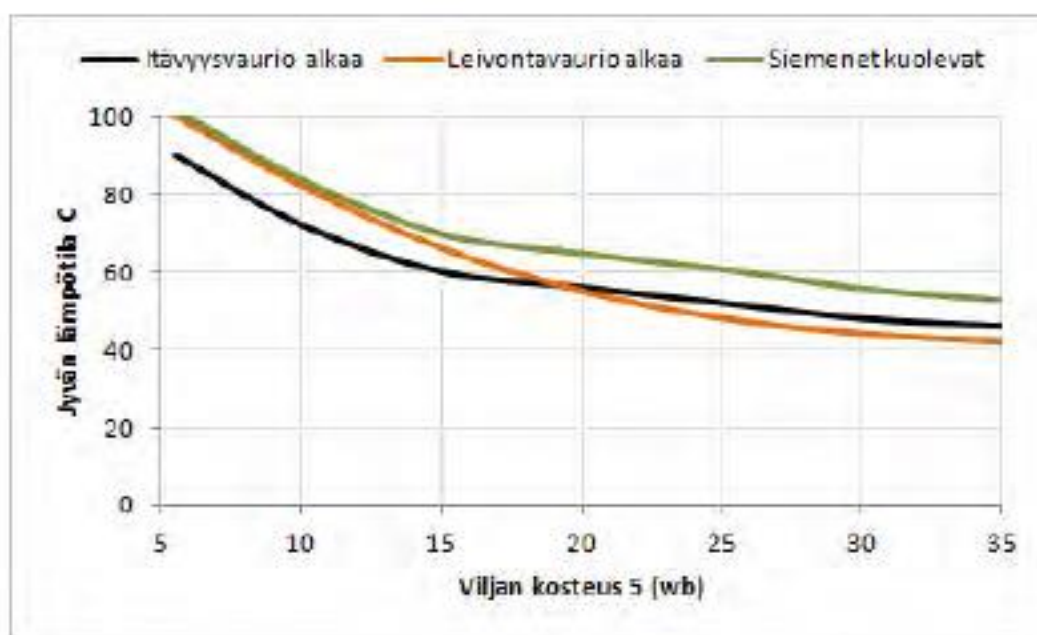
viljan vesipitoisuus, % (wb)



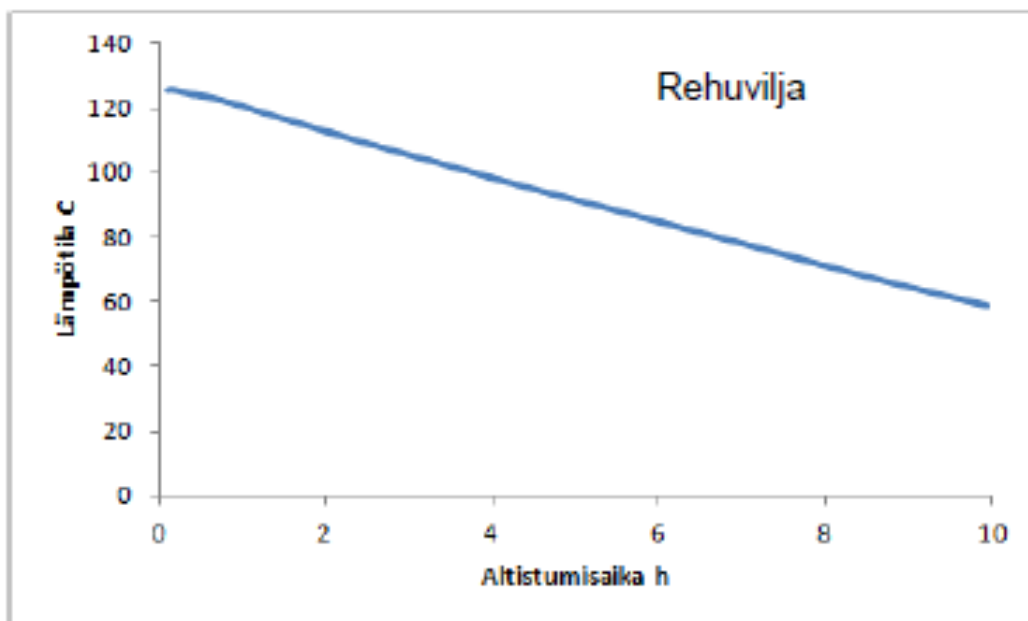
Kuva 4. Ohran tasapainokosteus. (Sariola, Paavola, Ahokas ja Tuunanen, 1990, 26)

Lämminilmakuivureilla alhainen ulkoilman lämpötila taas kasvattaa energiankulutusta koska ilman lämpötilaa pitää nostaa, koneellisesti, enemmän. Ilman lämmittäminen on tärkeää viljankuivauksessa. Kun ilmaa lämmitetään, sen suhteellinen kosteus pienenee, joten se voi sitoa itseensä lisää kosteutta. Toisin sanottuna, mitä lämpimämpää kuivausilma on, sitä enemmän se poistaa kosteutta viljasta. Ilman kykyä sitoa itseensä kosteutta voi tarkastella Mollier-diagrammista (Liite 3). Diagrammin avulla nähdään nopeasti, kuinka paljon ilman vedensitomiskyky kasvaa, kun sitä lämmitetään. Lämmittämisen etuna on myös lyhenevä kuivausaika, joka kasvattaa kuivurin kapasiteettia ja vähentää energiankulutusta. (Ahokas, 2014.)

Kuivauslämpötilan nostamisen kanssa tulee kuitenkin olla varovainen. Jos viljaa kuivataan liian korkeassa lämpötilassa, saattaa siihen koitua lämpövaurioita, jotka vaikuttavat mm. itävyyteen, leivontaan ja siementen elinvoimaan. Lämpövaurioiden syntymiseen vaikuttavat viljan kosteus, lämpötila ja lämpötilalle altistumisaika. Lisäksi eri viljalajikkeilla edellä mainittujen ominaisuuksien raja-arvot vaihtelevat. Kuvassa 5 on esitetty viljan lämmönkestävyys viljan kosteuden ja ytimen lämpötilan mukaan. Rehuviljan (kuva 6) kuivaaminen on huomattavasti huolettomampaa. Sitä voidaan kuivata korkeillakin lämpötiloilla ennen kuin sen ominaisuudet alkavat heikentyä. (Ahokas, 2014; Hautala, 2013)



Kuva 5. Viljan lämmönkestävyys. (Ahokas, 2014)



Kuva 6. Rehuviljan lämmönkestävyys (Ahokas, 2014)

3 PIIPPUKUIVAIN

3.1 Piippukuivaimen esittely

Piippukuivain on Finnomec Oy:n kehittämä kuivauslaite. Laitteella voidaan kuivata mm. haketta ja viljaa. Piippukuivaimesta tekee ainutlaatuisen sen koko, kuivaustapa ja mahdollisuus kuivata eri materiaaleja.

Piippukuivaimessa tapahtuu lämmönsiirtoa kaikilla kolmella tavalla eli johtumalla, konvektiolla ja säteilemällä. Tässä opinnäytetyössä säteilemällä tapahtuva lämmönsiirto on kuitenkin jätetty huomiotta, koska todettiin sen olevan verrattain pientä.

Kuivaus tapahtuu metallipinnalta johtuvalla sekä ilman konvektiolla tuomalla lämmöllä. Lämpötiloja voidaan säätää tilanteen mukaan, jolloin piippukuivain sopii myös herkästi lämpövaurioituville materiaaleille, esimerkkinä rypsi. Se, että lämpö siirtyy pääosin metallipinnalta johtumalla, nopeuttaa lämmönsiirtymistä ja siten koko kuivausprosessia.

Piippukuivain on suunniteltu sen kokoiseksi, että se voidaan sijoittaa esim. traktorin peräkärriin. Tämä mahdollistaa kuivauksen missä vain. Viljan kuivaus tulee aloittaa melko nopeasti puinnin jälkeen, jotta viljan pilaantumiselta vältytään. Piippukuivain antaa mahdollisuuden aloittaa kuivaus jo suoraan pellolla puinnin yhteydessä. Vilja voidaan myös kuivata suoraan asiakkaan luona tarvittaessa.

3.2 Piippukuivaimen toimintaperiaate

Piippukuivain koostuu piippumoduuleista, joita voi olla vaihteleva määrä. Kuivaimessa piippuja asennetaan sarjaan X kappaletta ja sarjoja voi olla rinnan Y kappaletta. Kuivattava materiaali kulkee pystysuorissa piipuissa, metallilevyjä pitkin, alaspäin. Elevaattorit siirtävät materiaalin seuraavan piipun yläpäähän. Piippusarjojen molemmiin puolin sijaitsevat materiaalisäiliöt. Märäsäiliöstä kuivattava materiaali siirretään elevaattorilla ensimmäiselle piipulle ja viimeiseltä piipulta elevaattori siirtää materiaalin kuivasäiliöön. Piippujen sisällä kiertää piippuja ja levyjä lämmittävä aine. Aine voi olla muun muassa vettä, höyryä tai savukaasua.

Tässä työssä oletetaan lämmönlähteenä käytettävän öljypoltinta, jonka avulla lämmitetään putkissa kiertävää vettä.

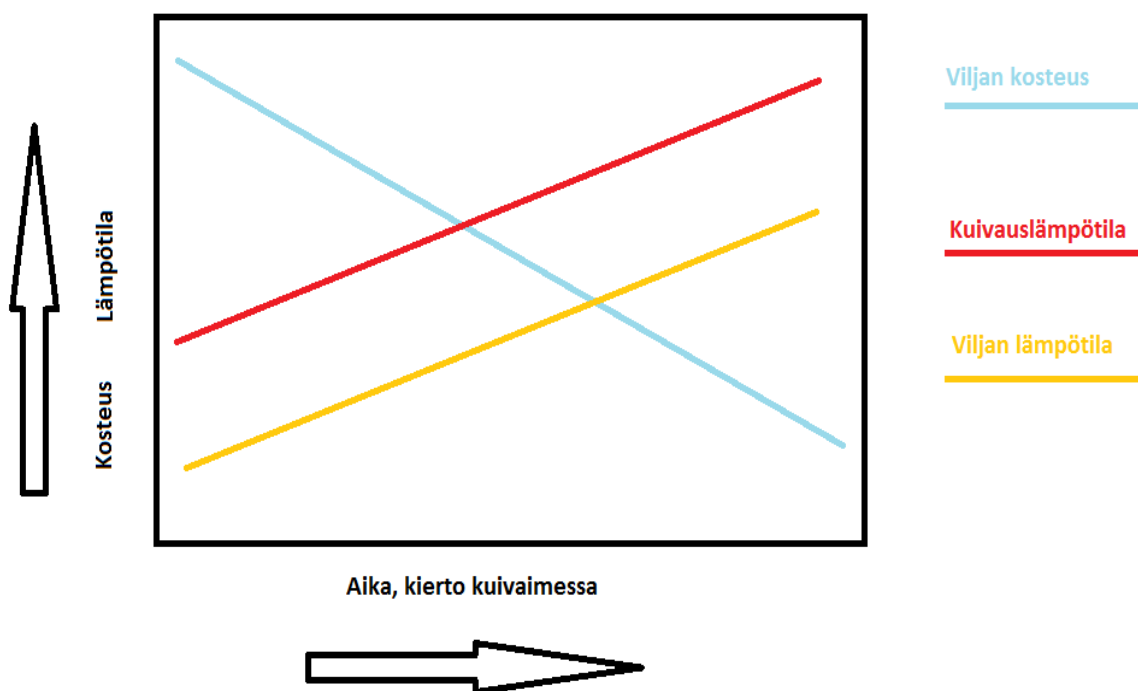
Piippukuivaimen suunnittelussa energiatehokkuus on tärkeä kriteeri. Kuivaimen energiatehokkutta nostetaan eristyksillä, lämmöntalteenotolla ja mahdollisesti aurinkoenergialla. Ilman esilämmityksessä hyödynnetään poistuvan ilman lämpöä ja mahdollisesti auringon säteilyä. Aurinkoenergian käyttö kasvattaa kuivauksen tehokkuutta ja vähentää käyttökustannuksia.

3.3 Piippukuivain viljankuivauksessa

Piippukuivaimen suurimmat edut ovat sen siirrettävyys ja lämmönsiirtämisen nopeus. Metallipinnalta johtuva lämpö yhdistettynä lämmittävään ilmaan tekevät siitä tehokkaan ja monikäyttöisen kuivurin.

3.3.1 Viljan lämpötila

Koska teräs on hyvä lämmönjohde, tulee kuivauslämpötilojen kanssa olla tarkkana. Levyiltä suoraan jyviin johtuva lämpö saattaa nostaa jyvien lämpötilaa liian nopeasti, mikä saattaa johtaa erilaisiin lämpöaurioihin. Aiemmin mainittiin kuinka lämpöaurioiden syntyyn vaikuttavat mm. viljan kosteus, lämpötila ja altistumisaika. Näihin seikkoihin voidaan piippukuivaimella vaikuttaa lämmitysfluidin (ilman ja levyjä lämmittävän) kierrolla ja lämpötilalla. Kierto on mahdollista toteuttaa siten, että alussa kosteaan viljaan kohdistuu pienemmät lämpötilat ja viljan kuivuessa, lämmönkestävyyden kasvaessa myös sen hetkinen kuivauslämpötila nousee.



Kuva 7. Tilojen muuttuminen prosessin edetessä.

Rehuviljan kuivaukseen piippukuivain soveltuu mainiosti koska, viljaa voidaan kuivata korkeilla lämpötiloilla melko pitkään. Tähän tarkoitukseen piippukuivaimen suunnittelu ja toteutus on yksinkertaisinta.

Prosessin, lämpötilojen ja nopeuden, mittaamisen ja säädön suunnittelussa viljan lämmönkesto tulee ottaa huomioon. Eri ratkaisuvaihtoehdoista on laadittu dokumentti työnantajalle.

3.3.2 Käyttö ja hankinta

Piippukuivaimen siirrettävyys mahdollistaa sen käytön jo suoraan pellolla. Piippukuivainta voidaan esimerkiksi käyttää esikuivurina, jonka jälkeen lopullinen kuivaus ja jäähdytys suoritettaisiin kuivurissa jossa vilja myös varastoidaan. Piippukuivain mahdollistaa myös logististen kustannusten pienentämisen. Vilja olisi mahdollista kuljettaa pellolta suoraan loppuasiakkaalle ja kuivata vilja suoraan asiakkaan varastoon. Ratkaisu poistaisi yhden etapin viljan kuljetusketjussa, kun sitä ei tarvitsisi kuljettaa kuivurille ja sieltä edelleen asiakkaalle.

Kuivurit ovat kalliita investointeja, joiden käyttöaika jää vuosittain pieneksi. Piippukuivain voisi toimia esimerkiksi parin maatilan yhteishankintana, joka vähentäisi maatalousyrittäjän investoinnin suuruutta ja takaisi laitteen korkean käyttöasteen. Piippukuivainta voisi myös käyttää viljasesongin ulkopuolella mm. hakkeen kuivaukseen.

3.4 Piippukuivaimen tiedot laskelmiin

Piippukuivaimen laskelmia varten tuli laskea muun muassa lämmönsiirtopinta-ala sekä pinta-ala, jolla vilja ja levy ovat kosketuksissa toisiinsa. Tässä raportissa ei julkaista rakenteeseen liittyviä mittoja. Pinta-aloja laskiessa käytettiin normaaleja pinta-alan laskemisen kaavoja.

Viljakerroksen kosketuspinta-ala levyn kanssa: Laskettiin, mikä on levyjen kokonaispinta-ala, kun piipun pituus on x . Oletettiin, että kun viljapeti on levyn päällä niin, noin puolet levyn alasta on kosketuksissa viljaan ja puolet viljapedin ilmarakoihin.

Viljapedin kosketuspinta-ala levyyn, kun piippu on x mittainen = $\text{Levyjen ala}/2 = 0,46 \text{ m}^2$

4 SUUNNITTELU

4.1 Suunnittelun tavoitteet

Tehtävänä oli suunnitella piippukuivaimen ilman- ja vedenkierto periaatteellisesti. Suunnittelussa tärkeimpänä kriteerinä oli mahdollisimman energiatehokas kierto. Tässä vaiheessa lämmöntalteenotto oli tarkoitus suorittaa passiivisesti ilman lämpöpumppuja.

4.2 Käytetyt menetelmät

Suunnittelun tukena ja työkaluina käytettiin mm. VDI 2222- menetelmää ja ratkaisunhakumatriisia. Piirustukset tehtiin Autodesk Inventor ja AutoCAD PI&D-ohjelmilla.

4.2.1 VDI 2222 -tuotekehitysmalli

Tausta

VDI 2222 on systemaattinen tuotekehitysmalli, joka on kehitetty Saksassa. Menetelmän kehittäneet insinöörit pyrkivät aikaansaamaan suunnitteluprosessin, joka etenisi systemaattisesti ja analyttisesti intuitiivisen suunnittelun sijaan. Menetelmä koostuu neljästä vaiheesta:

1. Tehtävän määrittäminen

Tehtävä määritellään mahdollisimman tarkasti vaatimuksineen ja reunarvoineen. Alussa myös asetetaan vaatimukset, joita lähdetään toteuttamaan. Tämä vaihe on syytä tehdä huolellisesti ja perusteellisesti, jotta myöhempien vaiheiden perustavanlaatuiset ongelmat vältetään.

2. Luonnosvaihe

Tässä vaiheessa etsitään ratkaisut edellisen kohdan vaatimuksille. Ratkaisujen etsimisessä edetään vaiheittain laatien ensin periaatteelliset ratkaisut, niiden osatoiminnot ja edelleen niiden ratkaisut. Taulukko, johon on listattu osatoiminnot ja niiden ratkaisuehdotukset, on nimeltään morfologinen taulukko. Taulukosta valitaan kullekin osatoiminnolle yksi ratkaisu, jolloin saadaan ratkaisu toiminnolle. Vaihtoehdot voidaan arvioida esimerkiksi pisteyttämällä eri kriteerein. Arvioinnin jälkeen esimerkiksi liian kalliit, monimutkaiset tai epävarmat vaihtoehdot voidaan nyt hylätä ja koostaa kokonaisratkaisuja parhaista yhdistelmistä. Arviointia suoritetaan kunnes jäljellä on yksi malli, jota mahdollisesti lähdetään kehittämään.

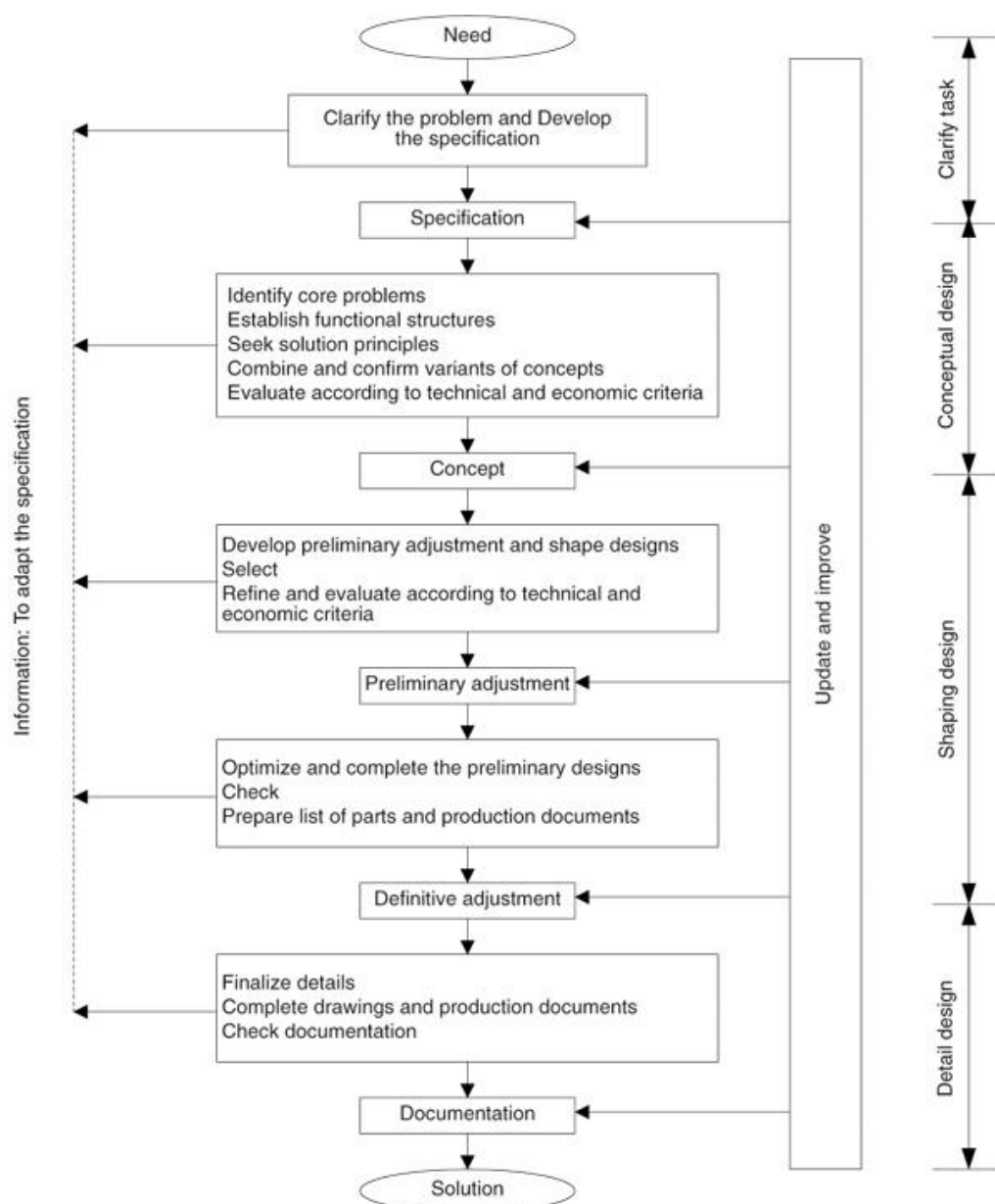
3. Kehitysvaihe

Kehitysvaiheessa valittua mallia viedään eteenpäin. Laaditaan tarkempia piirustuksia ja varmistetaan mallin toimivuus. Mallin toiminnot ja osat lyödään lukkoon.

4. Viimeistely

Viimeistelyvaiheessa ratkaistaan viimeisetkin yksityiskohdat, esimerkiksi väri ja valmistustapa. Tarkat osa- ja kokoonpanokuvat sekä muut valmistamisdokumentit laaditaan nyt. (Jokinen, 2010; Windahl ja Välimaa, 2012; Tervonen, 2014.)

Työn edistymistä ja tuloksia arvioidaan ja edelliseen vaiheeseen voidaan, ja pitääkin tehdä muutoksia, kun tarve vaatii. Kuvasta 8 nähdään miten VDI 2222-prosessi etenee. Suunnitteluprosessin perimmäinen tarkoitus on systemaattisuuden avulla välttää sellainen tilanne, jossa lähes valmiista tuotteesta löydetään vakava, koko projektin vaarantava, virhe. (Tervonen, 2014, 7-11.)



Kuva 8. VDI 2222- prosessi. (ESED, verkkojulkaisu)

Soveltaminen

Tässä työssä sovellettiin vapaasti VDI 2222-menetelmää, käyttäen metodin luonnostelu-vaihetta.

Ilma- ja vesikierron energiatehokkaan toiminnan kannalta laadittiin vaatimuslista (taulukko 2). Vaatimuslistaan listattiin kaikki toiminnot ja ominaisuudet, joita osa-alueelta vaadittiin. Vaatimukset jaettiin luokkiin: KV, VV ja T, joissa:

KV tarkoittaa kiinteää vaatimusta joka laitteen on täytettävä,

VV tarkoittaa vaatimusta esim. raja-arvoa johon tulisi vähintään päästä ja

T tarkoittaa toivetta, joka voidaan laitteeseen sisällyttää, jos se ei aiheuta liiallisia kustannuksia tai ongelmia.

Taulukko 2. Ote Piippukuivaimen vaatimuslistasta.

KV,VV,T	Piippukuivain	1-5, 1 ei tärkeä, 5 tärkein
Vaatimus-luokka	Vaatimus	Tärkeys
	Mitat	
	Energia	
VV	Kuivauksen lämmön lähde vaihtoehtoinen	3
VV	Lämpöä siirtävänä nesteenä savukaasu	3
VV	Lämpöä siirtävänä nesteenä vesi	3
	Materiaalit	
VV	Rivat mahdollisimman hyvin lämpöä johtavaa	4
VV	Lämminvesi putket mahdollisimman hyvin lämpöä johtavaa	4
	Käyttö	
KV	Laitteen käyttäminen mahdollisimman helppoa	3
VV	Laitteen huolto vaivatonta	4
	Turvallisuus	
VV	Laitteessa ei saa syttyä tulipaloo	3
VV	Laite ei saa aiheuttaa tulipaloo ympäristöön	4
KV	Laite varustettava alkusammutusvälineillä	5
	Kuljettaminen	
	Kuivain siirreltävä	4
	Toiminnot	
	Ilmakierron LTO	4
	Vesikierron LTO	5
KV	Pääasiallinen lämmönsiirtymismuoto johtuminen levyiltä	5

Vaatimuslistan jälkeen jaettiin ilma- ja vesikierron toiminnot osatoiminnoiksi. Osatoimintoluetteloon (taulukko 3) kirjattiin kunkin prosessin vaiheet ja esitettiin niihin erilaisia ratkaisumalleja.

Taulukko 3. Ote osatoimintolistasta ja morfologisesta taulukosta (Joni Kejonen 2016)

	Osatoimintoluettelo	
Prosessi	Osatoiminto	Ratkaisu
1. Vesikierto	1.Veden lämmitys	1.Öljypoltin lämmittää vettä
		2.Savukaasulla lämmitetään vettä
		3.Kaasulla lämmitetään vettä
		4. LTO savukaasuista.
1. Vesikierto	2. Energiatehokas kierto	1. Putkien eristäminen piippujen ulkopuolella
		2.LTO Savukaasuista
		3.LTO poistuvasta ilmasta
		4. Putkipituus minimiin
		5. Venttiilit yms. Minimiin
2. Ilmakierto	1.Ilman lämmitys	1. LTO savukaasuista
		2.LTO paluuedestä
		3.LTO poistuvasta ilmasta
2.Ilmakei	2.Ilman kierrättäminen	1. Puhaltimilla piipuilla
		2. Imu piipuilla

Prosessien, toimintojen ja ratkaisujen numerointi auttaa laitteen suunnittelussa tulevaisuudessa (taulukko 4). Eri vaihtoehtojen numerointi nopeuttaa ja selkeyttää dokumentointia ja selkeyttää suunnittelun edetessä tapahtuneita muutoksia.

Taulukko 4. Esimerkki osatoimintoluettelon numeroinnista dokumentoinnissa.

PVM	Malli	Vanha	Korvaava
20.8.2017	V.5.2	1.1.1	1.1.2
12.9.2017	V.5.2.1	2.2.2	2.2.1
11.11.2017	V5.3	1.2.3	1.2.2

Lopuksi tehtiin yksityiskohtaisemmat osatoimintoluettelot ja morfologiset taulukot ilma- ja vesikierrolle niiden rakenteen osalta. Morfologiset taulukot sisälsivät ratkaisuvaihtoehtoja sanallisesti kuvailtuna sekä 3D-piirustus- ja PI-kaaviovaihtoehtoja.

Taulukko 5. Ote morfologisesta taulukosta ilmakierron osalta.

2.2.1		Ratkaisuvaihtoehdot	
Osatoiminto	1	2	3
Ilman tulo piipulle	Ilman syöttö alhaalta 1-2 tuloa, [3D-malli]	Ilman syöttö koko piipun matkalta 4-8 tuloa [3D-malli]	Ilman syöttö koko piipun matkalta kulmilla
Ilman kierto piipussa	Ilman tulojen varassa, rakenteen mukaisesti	Ilmakanava [3D-malli]	Rakenteeseen reikälevy
...			

Ilmakierron osalta valittu rakenne voidaan nyt ilmaista numeroin. Esimerkiksi kun ilmakiertoon tulee yksi syöttö alhaalta ja ilmakanava jne., voidaan se ilmaista numeroin.

Kun laitteen lopullista rakennetta aletaan suunnittelemaan, voidaan morfologisen taulukon avulla edetä suunnittelussa seuraavasti:

1. Hylätään morfologisesta taulukosta ne vaihtoehdot, joita ei ole järkevä toteuttaa. Syitä hylkäämiselle voivat olla mm. liian korkea hinta, ei toteuta vaatimuksia, liian monimutkainen jne.
2. Luodaan jäljelle jäävistä ratkaisuvaihtoehdoista kokonaisuuksia.
3. Arvioidaan tuotettuja malleja valittujen kriteerien pohjalta. Arviointi voidaan suorittaa intuitiivisesti, numeerisesti tai painottaen numeerisesti. Ks. taulukko 5.
4. Valitaan malli, jota lähdetään kehittämään.

Taulukko 6. Painotetun arvioinnin perusteella jatkokehitetään Versio 3.

Kriteeri	painotus ($\Sigma 1$)	Versio 1 (1-5)	Versio 2(1-5)	Versio 3 (1-5)
Valmistamisen hinta	0,3	2	4	5
Komponenttien hinta	0,2	3	3	3
Helppo käyttää	0,3	4	2	3
Helppo huoltaa	0,2	1	3	4
Tulos	1	2,6	2,6	3,8

Tässä opinnäytetyössä edettiin ilma- ja vesikierron kanssa morfologiseen taulukkoon saakka ja valittiin ratkaisut osin intuitiivisesti. Taulukkopohjat arvioinnille ovat työnantajan käytettävissä jatkosuunnittelussa.

4.2.2 3D-mallinnus

Opinnäytetyössä mallinnettiin eri vaihtoehtoja ilmakierrolle piipuissa. Mallintamiseen käytettiin Autodesk Inventor-ohjelmaa. Mallintamisessa lähdettiin VDI 2222-menetelmässä vaadittujen ominaisuuksien ja toimintojen perusteella piirtämään osia. Suuntaa-antavat 3D-osat piirrettiin piippukuivaimen arvioitujen mittojen mukaan. Morfologiseen taulukkoon mallinnettiin erilaisia osavaihtoehtoja, joista koostettiin kokoonpanomalleja.

Osa- ja kokoonpanomallit ovat työnantajan käytettävissä jatkosuunnittelussa.

4.2.3 PI-kaaviot

Vaatimus- ja osatoimintoluetteloiden pohjalta piirrettiin AutoCAD PI&D-ohjelmalla PI-kaavioita. PI-kaavioihin mallinnettiin tärkeimmät komponentit ja venttiilit. Suurimmat eroavaisuudet eri versioiden välillä koskivat ilma- ja vesikierron toteutusta.

PI-kaavioita ei julkaista tässä raportissa.

4.2.4 Muu dokumentaatio

Opinnäytetyön aikana käytiin läpi mittava määrä julkaisuja, opinnäytetöitä ja kirjoja eri aiheista. Tiedot, joista koettiin olevan hyötyä piippukuivaimen kehittämisessä ja käytössä eri tilanteissa, koostettiin erilliseen dokumenttiin. Tietoja koottiin taulukon 7 mukaisesti. Taulukkoon sisältyi hyödyllistä tietoa varsinkin piippukuivaimen käytöstä eri materiaaleille.

Taulukko 7. Esimerkki taulukosta johon koottiin tärkeäksi koettua tietoa.

Asiasana/ongelma	Havainto/ratkaisu	Perustelu	Lähde	Tärkeys 1-5
Viljankuivaus lämpötilat	Kuivauslämpötila vaikuttaa viljan laatuun	Liian korkea lämpötila pilaa mm. itävyyden	x	5
Viljan kuivauksen aloittaminen	Viljan kuivaus tulee aloittaa pian puinnin jälkeen	Liian pitkä aika aiheuttaa viljan pilaantumisen	x	2

Lämmönsiirtymiseen liittyen suoritettiin koe, jossa verrattiin riisin kuivumista metallipinnalla ja ilman metallipintaa. Tästä tutkimuksesta syntyi mittauspöytäkirja, Excel-tilukoita ja laskelmia sekä valokuvia.

5 LÄMMÖN SIIRTYMINEN

5.1 Lämmön siirtymisen teoriaa

Lämpö voi siirtyä kolmella tavalla: konvektiolla, johtumalla ja säteilemällä. Piippukuivaimen tapauksessa hallitsevia lämmönsiirtymismuotoja ovat konvektio ja johtuminen. Säteilemällä tapahtuva lämmön siirtyminen havaittiin pieneksi, joten sitä ei käsitellä enempää.

5.1.1 Konvektio

Konvektio tarkoittaa lämmön siirtymistä fluidin, nesteen tai kaasun, virtauksen mukana. Konvektiolla tapahtuvaa siirtymistä on kahta lajia, vapaa ja pakotettu konvektio. Vapaassa konvektiossa virtaus aiheutuu fluidissa olevien lämpötilaerojen seurauksena. Kun fluidin virtaus aiheutetaan erillisen pumppun avulla on kyseessä pakotettu konvektio. (Hautala ja Peltonen, 2007, 173.)

”Konvektion aiheuttama lämmönsiirto on varsin mutkikas tapahtuma, minkä kuvaamiseen ei ole yksinkertaista yhtälöä” (Inkinen ja Tuohi, 2006, 408). Konvektioon liittyvissä laskuissa tarkastellaan yleensä lämpövirtaa Φ , jonka yksikkö on watti, W .

Lämpövirta on lämpömäärä jaettuna ajalla:

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \frac{mcT}{t} = cT \frac{m}{t} \quad (1)$$

Merkitään $m/t = q_m$, jossa q_m = massavirta. Siten saadaan (Hautala, 2007, 173; Seppänen, Kervinen, Parkkila, Karkela ja Meriläinen, 2006, 66-128.),

$$\Phi = cTq_m \quad (2)$$

$Q =$	lämpömäärä	[J]
$\Phi =$	lämpövirta	[W]
$t =$	aika	[s]
$m =$	paino	[kg]
$c =$	ominaislämpökapasiteetti	[J/K*kg]
$q_m =$	massavirta	[kg/s]

Laskelmat

Tarkastellaan yksinkertaista tilannetta, jossa fluidi virtaa levyn yli. Virtaavana fluidina toimii ilma, joka kiertää piipuissa. Ilman nopeuden oletetaan olevan pieni, kuitenkin kyseessä on pakotettu konvektio.

Lämmön siirtyminen konvektiolla ilman ja levyn välillä lasketaan Newtonin jäähtymislaiilla. (Jahkonen, 2009; Convective heat transfer coefficients table chart, verkkosivu; Convective heat transfer, verkkosivu.)

$$\Phi = h_c A \Delta T \quad (3)$$

$\Phi =$	lämpövirta	[W]
$h_c =$	lämmönsiirtymiskerroin	[W/m ² *K]
$A =$	pinta-ala	[m ²]
$\Delta T =$	lämpötilaero	[K]

Lämmönsiirtymikertoimeksi valittiin 50 W/m²K. Luku saatiin arvioimalla virtaus piipussa hitaaksi, mutta pakotetuksi ja valitsemalla sitten arvo taulukosta. (Convective heat transfer coefficients table chart, verkkosivu; Convective heat transfer, verkkosivu.)

Ilma virtaa levyn yli, jolla on viljaa. Levyn pinta-ala on aiemmin määritelty viljan ja levyn kosketuspinta-ala kerrottuna kahdella. $A = 0,46\text{m}^2 * 2 = 0,9 \text{ m}^2$.

Lämpötilaero 60 C° asteisen ilman ja 20 C° asteisen viljalevyn välillä on 40 C° eli 40 K.

Lämpövirraksi levylle saadaan $\Phi = 1800 \text{ W}$

5.1.2 Johtuminen

”Lämpöenergian johtuminen aineissa voidaan ajatella olevan seuraus molekyylien törmäyksistä. Siinä kohdassa, mitä kuumennetaan, alkavat molekyylit liikkua aina vain nopeammin; värähdysliike kasvaa. Törmäyksissä hitaammin liikkuviin naapureihin siirtyy energiaa ja näiden molekyylien nopeudet kasvavat. Näin energia siirtyy törmäysten kautta yhä kauemmas ja lopulta koko kappaleeseen.” (Inkinen, 2006, 409)

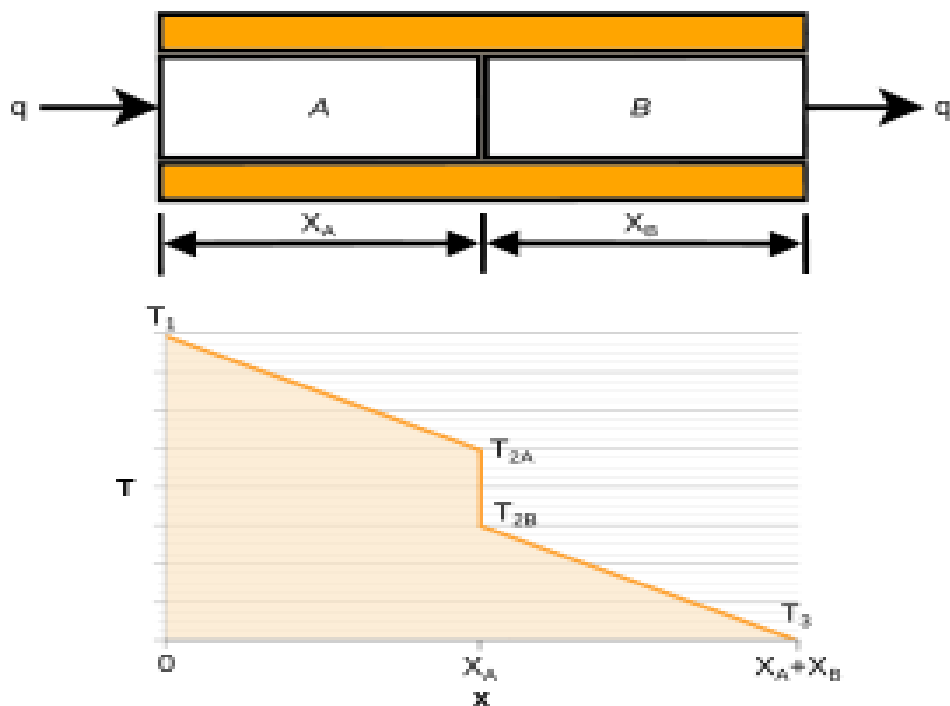
Laskelmat

Tässä työssä tavoitteena oli tutkia johtumalla lämpenemistä piippukuivaimessa. Laskelmien tekemistä hankaloitti se, ettei piippukuivaimesta ollut juuri muita lähtöarvoja tiedossa kuin arviot osien mitoituksesta. Jos tarkastellaan piippukuivaimen prosesseja lämmönsiirron kannalta, ovat ne melko

monimutkaisia. Laskelmissa tulisi ottaa huomioon kolme, toisiinsa nähden ristiin virtaavaa, massavirtaa. Lämmitysvedellä, ilmalla ja viljalla on kullakin erilaiset lähtöarvot ja kuivausprosessin aikana ne muuttuvat eri tavalla toisiinsa nähden. Laskelmien lähtöarvot olivat eri julkaisuista poimittuja, samankaltaisten prosessien arvoja ja hyviä arvauksia. Laskelmien tuloksia ei voi pitää tarkkoina vaan niitä tulee tarkastella kriittisesti suuntaa-antavina. Edellä mainittujen seikkojen takia keskityttiin tarkastelemaan lämmön johtumista metallilevyltä viljakerrokseen.

Ongelmaksi johtamalla siirtyvän lämmön laskemisessa tuli rajapinnat. Kirjallisuudesta ei löytynyt tietoa vilja-teräs-rajapinnan lämmönsiirtymiskertoimelle, joten jätin sen huomioimatta laskuissani.

Tarkastellaan tilannetta, jossa viljakerros on metallilevyn päällä ja metallilevyltä johtuu viljaan lämpöä. Tilannetta havainnollistaa kuva 9.



Kuva 9. Lämmön johtuminen kahden kiinteän aineen välillä. (Thermal contact conductance, 2016, verkkosivu)

Johtumalla aiheutuva lämpövirta saadaan laskettua Fourierin ensimmäisen lain (4) avulla. (Jahkonen, 2009; Convective heat transfer coefficients table chart, verkkosivu; Convective heat transfer, verkkosivu)

$$\Phi = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (4)$$

$\Phi =$ lämpövirta [W]

$\lambda =$ lämmönjohtavuus [W/m*K]

$\Delta T =$ lämpötilaero [K]

$\Delta x =$ etäisyys pinnasta [m]

Kun oletetaan että tila on eristetty eikä lämpöhäviöitä synny (energiat pysyvät vakiona), saadaan kaavasta 4 johdettua kahden materiaalin välillä tapahtuvalle lämmön johtumiselle kaava (Hautala, 2007, 160-170; Thermal contact conductance, verkkosivu.):

$$\Phi = \frac{T_1 - T_3}{\frac{\Delta x_A}{\lambda_A A} + \frac{1}{h_c A} + \frac{\Delta x_B}{\lambda_B A}} \quad (5)$$

$\Phi =$ lämpövirta [W]
 $\lambda_A =$ teräksen lämmönjohtavuus [W/m*K]
 $\lambda_B =$ viljan lämmönjohtavuus [W/m*K]
 $T_1 =$ levyn lämpötila [K]
 $T_3 =$ viljan lämpötila [K]
 $\Delta x_A =$ levyn paksuus [m]
 $\Delta x_B =$ viljakerroksen paksuus [m]
 $A =$ viljan ja levyn kosketusala [m²]
 $h_c =$ rajapinnan lämmönsiirtymiskerroin

Koska kaavassa 5 lasketaan lämpötilojen erotus, voidaan käyttää celsiusasteita eli $T_1 = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $T_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Levyjen ja viljakerroksen arvoiksi valittiin $\Delta x_A = 0,005 \text{ m}$ ja $\Delta x_B = 0,01 \text{ m}$. Lämmönjohtavuuden arvot poimittiin kirjallisuudesta. $\lambda_A = 45 \text{ W/(m*K)}$ ja $\lambda_B = 0,15 \text{ W/(m*K)}$. (Seppänen, 2006, 76.) Viljan lämmönjohtavuutta hieman nostettiin, koska puidessa viljan kosteus on suurempi kuin lähteessä mainitulla (Ahokas, 2011, 16). Kosketusalan arvona pidetään $0,46 \text{ m}^2$. Rajapinnan lämmönsiirtymiskertoimelle ei kirjallisuudesta löytynyt arvoa, joten se jätettiin huomioimatta. Kirjallisuudessa rajapinnan arvot olivat metallipareilla suuria ja orgaanisilla materiaaleilla pieniä. (Hautala, 2007, 160-170; Thermal contact conductance, verkkosivu.)

Kun arvot syötetään kaavaan 5 saadaan lämpövirraksi levyltä viljaan, kun piipun pituus on x :
 $\Phi = 2460 \text{ W}$.

5.2 Lämmönsiirtymiskoe

Johtumalla lämpenemisen ja konvektiolla lämpenemisen eroja testattiin käytännössä. Koe suoritettiin tavallisilla kotitalousvälineillä. Kokeessa pyrittiin, jollain tasolla, simuloimaan lämminilmakuivurin ja piippukuivaimen toimintaa.

Kokeen kuvaus

Kostutettua riisiä kuivattiin kiertoilmauunissa kahden tunnin ajan. Riisi oli jaettu kahteen yhtä suureen erään. Toinen erä kuivattiin puuvillakankaan päällä (suurin piirtein sama lämmönjohtavuus kuin

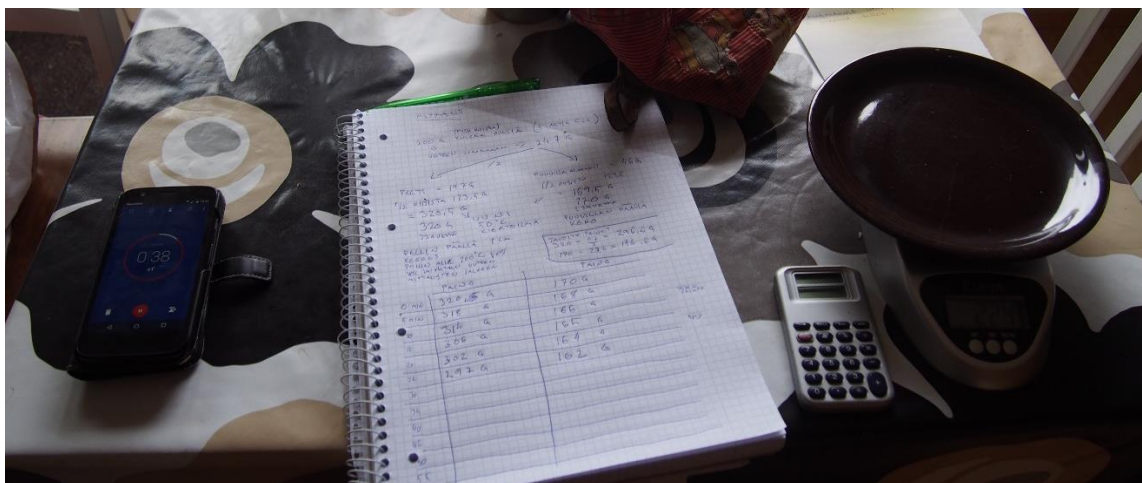
ilmalla) ja toinen erä teräslevyn päällä (kuva 10). Näin siis saatiin aikaan tilanne, jossa yksi erä viljaa kuivataan lämpimällä ilmalla ja toinen erä lämpimällä ilmalla sekä metallipinnalta johtuvalla lämmöllä. Tulokset taulukoitiin ja niitä vertailtiin toisiinsa.



Kuva 10. Punnitus.



Kuva 11. Kuivauserät uunissa.



Kuva 12. Punnitus, ajanotto ja tulosten kirjaus.

Kokeessa käytetty laitteisto ja tarvikkeet olivat:

- Kiertoilmauuni
- Digitaalinen keittiövaaka, mittaa gramman tarkkuudella.
- Sekuntikello
- Vedenkeitin
- Puuvillainen alusta toiselle erälle
- Teräsastia, n. 2 l + kansi, terästä
- Muistiinpanovälineet
- Excel – taulukkolaskentaohjelma

Taulukossa 11 koejärjestelyt esitetään vaiheittain.

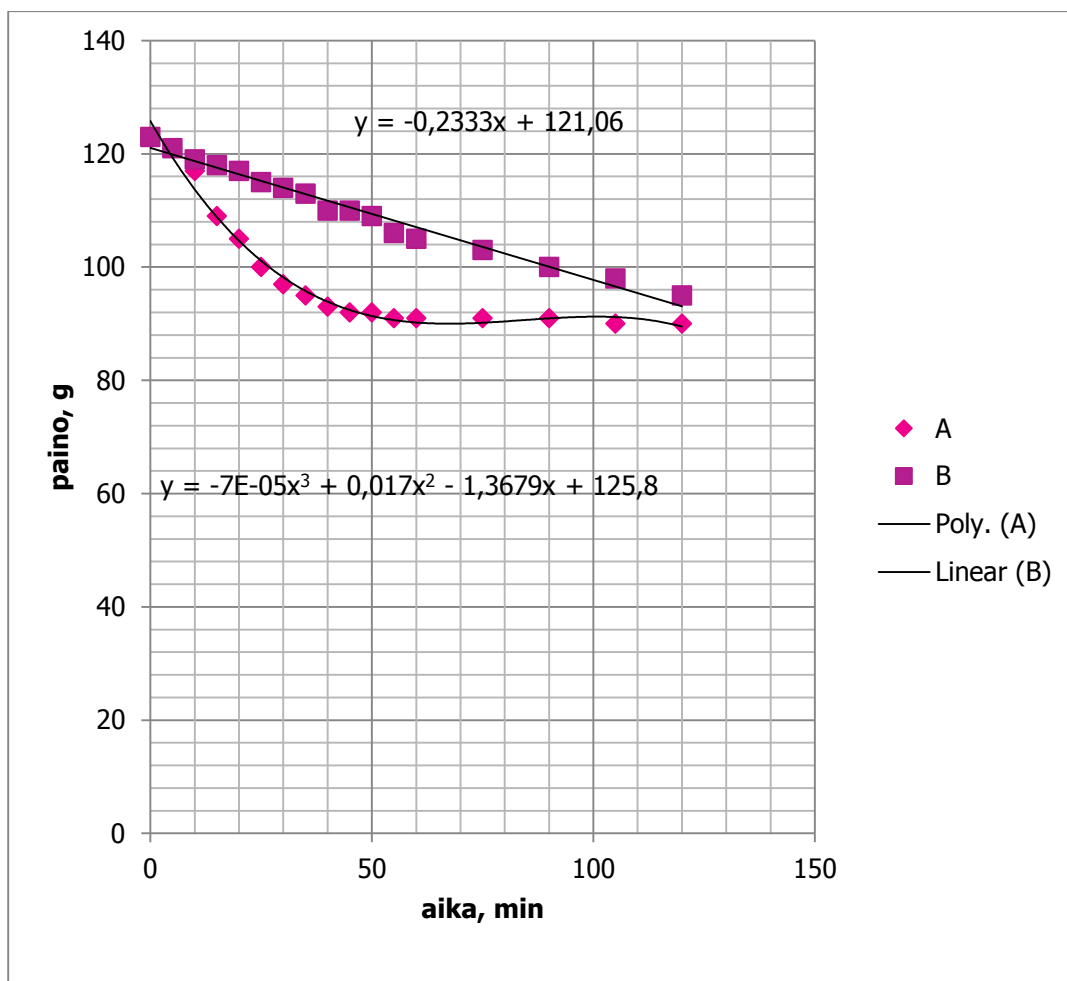
Taulukko 11. Kokeen kulku

Vaihe	Tapahtuma	arvot
1.	Mitattiin 200 grammaa puuroriisiä	200 g
2.	Laitettiin riisi likoamaan veteen tunniksi	1 h
3.	Kuivattiin riisi valuttamalla ja imeyttämällä	
4.	Punnittiin kostunut riisi. Paino nyt 247 g	247 g
5.	Jaettiin riisi kahteen yhtä painavaan erään (123 g).	123 g
6.	Erä A asetettiin teräslevyn päälle (noin 1cm kerrokseksi) ja levy laitettiin astian päälle, joka oli täytetty kiehausvedellä.	n. 95 C°
7.	Erä B asetettiin puuvillakankaan päälle keoksi.	
8.	Riisit laitettiin kiertoilmauuniin, jonka lämpötilana pidettiin 50C°	50 C°
9.	Levyn alle vaihdettiin kiehuva vesi 10 minuutin välein.	<100 C°,
10.	Ensimmäisen tunnin ajan erät punnittiin viiden minuutin välein. Pellin alta pyyhittiin siihen kertynyt vesi pois ennen punnitsemista.	
11.	Toisen tunnin aikana punnitseminen suoritettiin 15 minuutin välein.	
12.	Erien painot merkittiin joka punnitsemiskerralla taulukkaan.	
13.	Tulosten vertailu ja taulukoiden laadinta.	

Kokeen tulokset:

Kahden tunnin kuivauksen jälkeen riisien yhteenlaskettu paino oli 185 g. Riisistä oli siis haihdutettu vettä $247 \text{ g} - 185 \text{ g} = 62 \text{ g}$. Kun kostutettu riisi alussa valutettiin, oli veteen irronnut riisistä tärkkelystä, joka osin selittää alkuperäisen painon alittamisen. Kuivauksella riisi saatiin jopa kuivemmaksi kuin mitä se oli pakkauksessa.

Teräslevyn päällä kuivattu riisi kuivui kokeen aikana huomattavasti nopeammin ja kuivemmaksi kuin puuvillan päällä kuivattu. Levyn päällä kuivattu erä kuivui noin 55 minuutissa 91 gramman painoon, jonka jälkeen paino putosi vain 2 grammaa tunnissa. Puuvillan päällä kuivattu erä kuivui tasaista tahtia ja kahden tunnin kuluttua riisin loppupaino oli 95 grammaa.



Kuva 13. Riisinkuivauskokeen tulokset taulukossa.

Kuvaajista (Kuva 13, Liite 2) näkyy, että kuivuminen tapahtuu eri tavalla erillä A ja B. Tuloksista voidaan laskea karkea arvio kesimääräisestä kuivumisnopeudesta. Jos huomioidaan tähän erän A kohdalla ainoastaan ajanjakso 0-55 min, saadaan seuraavat keskimääräiset kuivumisnopeudet:

Erän A kuivumisnopeus, $(123\text{g}-91\text{g})/(55\text{min}\cdot 60) = 0,0097 \text{ g/s}$

Erän B kuivumisnopeus, $(123\text{g}-95\text{g})/(120\text{min}\cdot 60) = 0,0039 \text{ g/s}$

Erä A yhdisti konvektiolla ja johtumalla tapahtuvaa kuivumista ja erä B pelkällä konvektiolla tapahtuvaa kuivumista. Jos verrataan erien kuivumisnopeuksia toisiinsa saadaan arvoksi:

$A/B = 0,0097 \text{ g/s} / 0,0039 \text{ g/s} = 2,49 = 2,5$. Erä A siis kuivui 2,5 kertaa nopeammin.

Verrataan tulosta aiemmin laskettuihin konvektion ja johtumisen tuloksiin

Konvektion lämpövirta = 1800 W. Konvektio + johtumisen lämpövirta = 1800W + 2460W

$4260 \text{ W} / 1800 \text{ W} = 2,36$. Saatujen tulosten korrelaatiota (2,5 & 2,36) on syytä tarkastella kriittisesti, sillä tilanteet ja menetelmät erosivat toisistaan ja perustuivat osin arvioihin.

Kokeen tuloksista ei voida vetää tarkkoja johtopäätöksiä koska testausolosuhteet sisälsivät paljon muuttujia. Esimerkiksi veden ja uunin lämpötiloja ei ollut mahdollista mitata, vaan ne perustuivat arvioon; kiertoilmauuni oli säädetty 50 C° ja vesi kuumennettu kauttaaltaan kiehuvaaksi. Lisäksi uunin luukkaa piti avata ja materiaalin seistä huoneenlämmössä punnitusten aikana. Koe pyrittiin kuitenkin suorittamaan siten, että molempiin mittauseriin kohdistuisivat samat ulkoiset vaikutukset. Erät punnittiin samaan aikaan ja ne olivat huoneenlämmössä yhtä kauan. Erien alustojen paino mitattiin ennen ja jälkeen kokeen ja ne vähennettiin erien kokonaispainosta.

5.3 Piippukuivaimen laskelmia

Esimerkkinä tarkastellaan tilannetta, jossa 1000 kg viljaa kuivataan piippukuivaimella. Viljaerän paino kuivattuna 14 % kosteuteen painaa 1000 kg. Silloin se sisältää 140 kg vettä ja 860 kg kuiva-ainetta. Oletetaan, että viljan kosteus puintihetkellä on 23 %. Viljaerän vesimäärä 23 % kosteudessa on siis $(860 \text{ kg} * 0,23) / (1 - 0,23) = 257 \text{ kg}$

Kuivauksen aikana haihdutettavan veden määrä on siis

$257 \text{ kg} - 140 \text{ kg} = 117 \text{ kg}$

Vesimäärän haihduttamiseen tarvitaan energiaa

$5 \text{ MJ/kg} * 117 \text{ kg} = 585 \text{ MJ}$

Yhdistetty konvektion ja johtumisen lämpövirta on 4260 W = 4260 J/s

Aikaa veden haihduttamiseen, kun piipun pituus on x, kuluu

$585000000 \text{ J} / 4260 \text{ J/s} = 137324 \text{ s}$

Oletetaan, että x pituisia piippuja on laitteessa 9 kpl

$137324 \text{ s} / 9 = 15258 \text{ s} = 4,2 \text{ h}$

Viljaerän kuivaamiseen kuluisi siis aikaa, karkeasti yksinkertaistamalla laskien, noin neljä tuntia.

6 VAIHTOEHTOISET KÄYTTÖKOHTTEET

Tässä työssä tutkittiin piippukuivaimen käyttöä viljankuivauksessa. Piippukuivain on rakenteeltaan sellainen laite, että sillä on mahdollista kuivata myös monia muita materiaaleja. Yhteenvedona: jos materiaalin lämmönkestävyys on erittäin pieni tai raekoko suuri niin piippukuivaimen käyttämistä kuivaukseen tulee tarkoin miettiä.

Elintarvike- ja viljelyskäyttöön tulevien materiaalien kuivaaminen vaatii kuivaukselta tiettyjä reunaeh-toja. Vaikka lämpötilan ja rakenteen muokkaaminen näille materiaaleille onkin mahdollista, niin se vaatii työtä ja resursseja. Piippukuivaimen testausvaiheessa kannattaa kiinnittää huomiota rakenteen lisäksi eri materiaalien käyttäytymiseen ja testata kuinka alhaiset lämpötilat vaikuttavat kuivausaikoi-hin.

Materiaalit, joihin ei kuivauksen aikana tule helposti lämpövaurioita, tai niillä ei ole merkitystä niiden käytön kannalta, ovat parhaita kuivausmateriaaleja piippukuivaimelle. Esimerkiksi rehuviljaa ja ha-ketta voidaan kuivata tehokkaasti suhteellisen korkeilla lämpötiloilla ilman, että niiden käyttö jat-kossa vaarantuu.

Piippukuivaimen kannalta kuivattavan aineen raekoko on rajoittavin tekijä. Kuivattavan materiaalin koko voidaan huomioida jo suunnitteluvaiheessa ja suunnitella rakenne muunneltavaksi tai sopivaksi useimmille kuivausmateriaaleille.

Eri materiaalien osalta koostettiin taulukko, johon listattiin kunkin materiaalin ominaisuuksia kuten raekoko, lämmönkestävyys (maksimilämpötilat, altistumisajat...), nykyinen kuivaustapa jne. Lisäksi taulukoitiin, miten kunkin materiaalin käyttö vaikuttaa suunnitteluun ja laitteen rakenteeseen. Mate-riaalien ominaisuuksille tehtiin numeerista arviointia, jonka perusteella materiaaleja voi lajitella mm. rakenteen muutostarpeen, markkinoiden koon ja käytön helppouden mukaan.

Taulukko 12. Esimerkki eri materiaalien numeerisesta arvioinnista.

Materiaali	K1	K2	K3	K4
A	2	2	1	2
B	2	4	1	4
C	3	4	5	3

Selitteet:

A: Vilja, elintarvike/viljely

B: Vilja, rehu

C: Hake, polttoaine

K1: Raekoko, eli materiaalin partikkelien koko. Arvostelu 1-5,

jossa 1 = pölymäinen rakenne ja 5 = pilke.

K2: Lämmönkestävyys, eli herkkyys lämpöaurioille. Arvostelu 1-5,

jossa 1 = huono, vaatii tarkkailua ja 5 = erinomainen, säädön ja tarkkailun tarve mitätön.

K3: Käytettävyyssaste vuosittain. Arvostelu 1-5,

jossa 1= n. 1 kk ja 5 = ympäri vuoden

K4: Muutosten tarve piippukuivaimeen. Arvostelu 1-5,

jossa 1= tehtävä paljon muutoksia ja 5 = käy suoraan

Jne.

Suunnittelussa voidaan myös painottaa haluttuja ominaisuuksia antamalla arvoille painotuskertoimia.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tarkkojen laskelmien tekeminen ja prosessin simuloiminen on erittäin haastavaa ja esimerkiksi konvektio- ja johtumislämmönsiirtoa laskettaessa valmiita kaavoja ei ole, vaan joudutaan soveltamaan koe- ja mittaustuloksia. Piippukuivaimen testausvaihe tuleekin paljastamaan käytännön edut ja haitat sekä kuivaustehon ja kapasiteetin. Kuivaustehon ja –kapasiteetin perusteella voidaan tarkemmin selvittää eri mahdollisuudet viljankuivauksessa. Testauksessa tulee huomioida varsinkin eri materiaalien käyttäytyminen ja niiden vaikutukset kuivausprosessiin. Elintarvikkeeksi kuivattavan viljan kuivauksen onnistuminen riippuu monesta tekijästä. Testausvaiheessa tuleekin ottaa huomioon myös tehokkuus matalilla lämpötiloilla kuivatessa ja mahdollisuus säätää prosessin lämpötiloja tarvittaessa.

Opinnäytetyötä varten tehdyn selvityksen perusteella piippukuivain sopisi viljankuivaukseen. Piippukuivainta voisi käyttää esikuivurina, joka kasvattaisi kokonaisviljankuivauskapasiteettia. Piippukuivaimella saavutettaisiin hyötyjä varsinkin silloin, kun ilmakeivurit kärsivät kehnosta säästä. Ilma-kuivauksessa kylmä ja kostea sää vaikuttaa viljaan ja kuivausilmaan ja siten kuivaustehoon merkittävästi, kun taas piippukuivaimessa kuivausilman osuus koko prosessin lämmönsiirrossa on vähäisempi.

Siirreltävyys mahdollistaa piippukuivaimen käytön useassa paikassa ja usealla eri tavalla. Maatilayrittäjät voivat esimerkiksi:

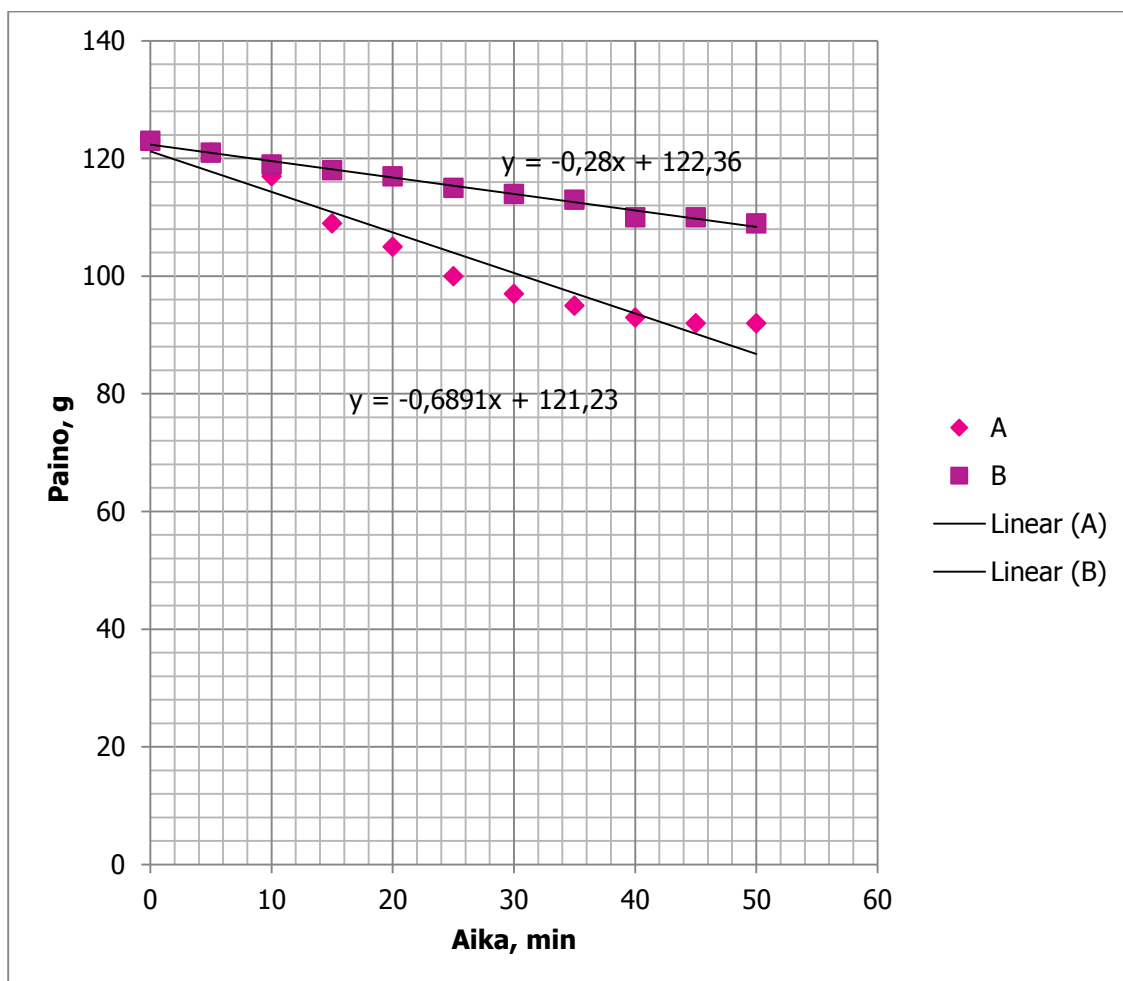
- Puinnin aikana käyttää piippukuivainta esikuivurina siellä, missä tarve vaatii. Tämä nopeuttaa puintia, koska kuivauskapasiteetti kasvaa.
- Siirtää kuivauspistettä nopeasti, parhaaseen mahdolliseen paikkaan.
- Hoitaa kuivauksen asiakkaan luona.
- Omistaa piippukuivaimen yhteisomistuksena usean yrittäjän kesken.
- Käyttää piippukuivainta sesongin ulkopuolella polttoaineen kuivaukseen.
- Kuivata kahta eri lajia samanaikaisesti. Esimerkiksi elintarvikekäyttöön menevää viljaa lämminilmakeivurilla ja rehuviljaa piippukuivaimella.

Piippukuivaimen käyttö muiden materiaalien kuivauksessa voi avata sille vaihtoehtoisia markkinoita esimerkiksi turve- ja lämmöntuotannon sektorilta. Esimerkiksi lämmöntuottajat saisivat joustavuutta polttoaineiden toimitukseen ja lisää kapasiteettia polttoaineen kuivaukseen.

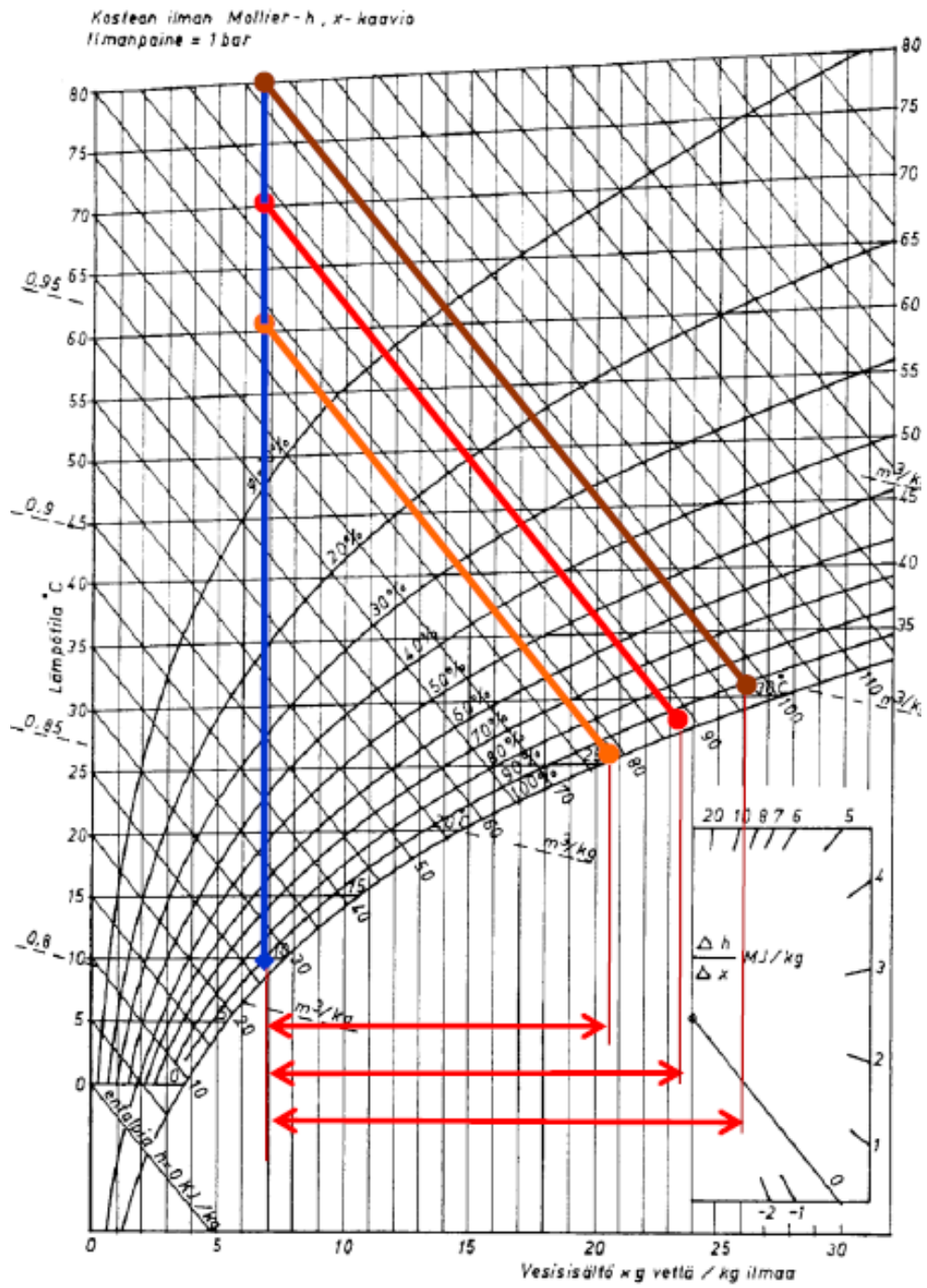
LÄHTEET

- Hautala M. ja Peltonen H. 2007. Insinöörin (AMK) fysiikka osa 1. Lahti: Lahden teho-opetus.
- Inkinen P. ja Tuohi J. 2006. Momentti 1, insinöörifysiikka. Helsinki: Otava.
- Seppänen R., Kervinen M., Parkkila I., Karkela L. ja Meriläinen P. 2006. Maol taulukkokirja. Helsinki: Otava.
- Wikipedia, vapaa tietosanakirja. 2016. Thermal contact conductance. Verkkosivu. [Viitattu 8.5.2016][Liite 4] Saatavilla: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_contact_conductance
- Ahokas J. ja Hautala M. 2011. Agroteknologian perusteita. Helsingin Yliopisto: Maataloustieteiden laitos. [Viitattu 8.5.2016] Saatavilla: <http://blogs.helsinki.fi/opiskelijaksi-viikkiin/files/2015/11/agroteknologian-perusteita.pdf>
- Engineersedge.com. Convective heat transfer coefficients table chart. Taulukoituja arvoja konvektion tehokkuudesta. Verkkosivu. [Viitattu 8.5.2016] Saatavilla: http://www.engineersedge.com/heat_transfer/convective_heat_transfer_coefficients__13378.htm
- Engineeringtoolbox.com. Convective heat transfer. Konvektion lämmönsiirtyminen. Verkkosivu. [Viitattu 8.5.2016] Saatavilla: http://www.engineeringtoolbox.com/convective-heat-transfer-d_430.html
- Koskiniemi E., Esala J., Heikkilä P., Huvinen M., Koivisto M., Kuronen K., Piipari P., Rintamaa J., Törmä J. ja Viirimäki J. 2009. Viljankuivaus kotimaisella polttoaineella –opas. Sastamala: Vammaspaino.
- Ahokas J. ja Jokiniemi T. Viljankuivaus. Helsingin yliopisto: Agroteknologia. [Viitattu 11.5.2016] Saatavilla: http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/74/Viljankuivaus_netti.pdf
- Hautala M., Ahokas J., Jokiniemi T. Maatilakuivurit. Helsingin yliopisto: maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. [Viitattu 11.5.2016] Saatavilla: <http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/59/Maatilakuivurit.pdf>
- Sariola J., Paavola J., Ahokas J. ja Tuunanen L. 1990. Kylmäilmakuivurien mitoitus ja käyttö. Valtion maataloudenteknologian tutkimuslaitos. [Viitattu 12.5.2016] Saatavilla: <https://juuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/484443/vtselostus57.pdf?sequence=1>
- Ahokas J. 2014. Viljankuivauksen tehostaminen. Helsingin yliopisto: maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. [Viitattu 12.5.2016] Saatavilla: <http://www.seduaiukuiskoulutus.fi/loa-der.aspx?id=99154706-7ac6-4c7f-9d4c-54a02fb465a1>
- Jokinen T. 2010. Tuotekehitys. Aalto-yliopisto: Teknillinen korkeakoulu. [Viitattu 12.5.2016] Saatavilla: <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>
- Windahl R. ja Välimaa V. 2012. Tuotekehitysprojekti AMK-yritysyhteistyönä opas. Turun AMK. [Viitattu 12.5.2016] Saatavilla: <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>
- ESED. Systemaattinen tuotekehitys. Verkkosivu. [Viitattu 12.5.2016] Saatavilla: http://www.mpcorporacion.com/magazine/mp26/i_3_3.html
- Tervonen V. 2014. Valokaariuunin mittausjärjestelyn parannustyö. OAMK: Opinnäytetyö. [Viitattu 12.5.2016] Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78233/Tervonen_Vaino.pdf?sequence=1
- Finnomec.fi. 2014. Finnomec Oy:n kotisivut. Verkkosivu. [Viitattu 18.5.2016] Saatavilla: <http://www.finnomec.fi/>
- Jahkonen J. 2009. LED-valaisimen jäädytys. Teknillinen korkeakoulu: diplomityö. [Viitattu 18.5.2016] Saatavilla: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2009/urn100001.pdf>

Liite 2. Kokeen tuloksien kuvaaja



Liite 3. Mollier- diagrammi (Ahokas, 2014)



Liite 4

Lähteiden lähteitä:

Wikipedia, vapaa tietosanakirja. 2016. Thermal contact conductance. Verkkosivu. [Viitattu 8.5.2016][Liite 4] Saatavilla: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_contact_conductance

Holman, J. P. (1997). Heat Transfer, 8th Edition. McGraw-Hill.

Çengel. Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer.

Fletcher, L. S. (November 1988). "Recent Developments in Contact Conductance Heat Transfer". Journal of Heat Transfer 110: 1059. Bibcode:1988ATJHT.110.1059F.

Madhusudana, C. V.; Ling, F. F. (1995). Thermal Contact Conductance. Springer.

Lambert, M. A.; Fletcher, L. S. (November 1997). "Thermal Contact Conductance of Spherical Rough Metals". Journal of Heat Transfer.

Williamson, M.; Majumdar, A. (November 1992). "Effect of Surface Deformations on Contact Conductance". Journal of Heat Transfer.

Heat Transfer Division (November 1970). "Conduction in Solids - Steady State, Imperfect Metal-to-Metal Surface Contact". General Electric Inc.

ASTM D 5470 – 06 Standard Test Method for Thermal Transmission Properties of Thermally Conductive Electrical Insulation Materials

Jahkonen J. 2009. LED-valaisimen jäähdytys. Teknillinen korkeakoulu: diplomityö. [Viitattu 18.5.2016] Saatavilla: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2009/urn100001.pdf>

Çengel Yunus A. 2003. Heat Transfer: A Practical Approach. Toinen painos. New York. McGraw-Hill. ISBN: 0-07-115150-8