



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

HAKEKUIVAAJA

Hakekuivaajan automatisointi sekä tehon määrittäminen

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikanala
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma
Mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Iiro Vilkman

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

VILKMAN, IIRO:

Hakekuivaaja

Hakekuivaajan automatisointi sekä tehon
määrittäminen

Tuotantopainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 51 sivua, 6 liitesivua

Kevät 2014

TIIVISTELMÄ

Teoriaosuudessa esitellään hakkeen ominaisuuksia sekä kosteuden mittaamiseen
käytettäviä menetelmiä ja erilaisia hakekuivureita.

Asiasanat: hake, kuivaus, kosteusmittaus, hakekuivuri

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

VILKMAN, IIRO:

Woodchip dryer

Presents the automation, and
performance of the dryer.

Bachelor's Thesis in Production Oriented Mechatronics, 51 pages, 6 pages of
appendices

Spring 2014

ABSTRACT

The theory part of the thesis presents qualities of woodchips, as well as moisture
measurement methods and a variety of chip dryers.

Key words: woodchip, drying, moisture measurement, chip dryer

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Työn tavoitteet	1
2	YRITYSESITTELY	2
2.2	Asiakkaat	2
2.3	Avainluvut	3
2.4	Konserni	3
3	HAKKEEN OMINAISUUKSIA	4
3.1	Puun koostumus	4
3.2	Lämpöarvo	5
3.3	Kosteus	7
3.4	Mittausmenetelmiä	7
3.4.1	Yksivaiheiset menetelmät	8
3.4.2	Kaksivaiheiset menetelmät	8
3.4.3	Muita menetelmiä	9
4	PUUN KUIVAUS	11
4.1	Kuivurit	12
5	MOLLIER- DIAGRAMMI	13
	LÄHTEET	15

1 JOHDANTO

Hakkeen käyttö lämmön- sekä sähkön tuotantoon on yleistymässä. Haketta on käytetty jo kauan lämmönlähteenä esimerkiksi maataloilla sekä lämpövoimalaitoksissa. Parhaan hyödyn saamiseksi hake on kuitenkin kuivattava. Jo vuosikymmeniä on ollut keinokuivureita, eritoten viljan kuivauksessa, mutta hakekuivurien käyttö on ollut vähäistä. Tämä työ käsittelee prototyyppiä hakekuivurista, joka käyttää kuumaa kuivauskaasua hakkeen kuivaamiseen. Työssä perehdytään erityisesti kuivaajan logiikkaohjelman suunnitteluun sekä kuivaajan tehon määrittelyyn. Opinnäytetyön perustana on E Lehtola Ky:n kehittämä prototyyppikuivaaja, jonka Raute Oyj on tilannut tuotekehittelyprojektiinsa.

1.1 Työn tavoitteet

Tässä opinnäytetyössä määritetään kuivaimen teho ja kapasiteetti sekä suunnitellaan logiikkaohjelma. Ohjelman tarkoitus on säätää kuivaajan lämpötila ja tankata automaattisesti.

2 YRITYSESITTELY

Raute on merkittävä puutuoteteknologian yritys joka palvelee puutuoteteollisuuden yrityksiä maailmanlaajuisesti. Suurimmat asiakasteollisuudet ovat: vaneri-, viilu-, LVL- , lastulevy- ja MDF-teollisuudet, parkettiteollisuus sekä ohutlevyteollisuus.(Raute 2014b.)

Rauten tuotteita ovat vaneri- ja viilu-, LVL-, levynkäsittely- ja pinnoituskoneet ja laitteet, lautaparkettitehtaiden koneet ja laitteet, ohutviilutehtaiden koneet ja laitteet, levyteollisuuden konenäkösovellutukset, teknologiapalvelut eli tehtaiden kunnossapito- ja varaosapalvelut, modernisoinnit, konsultointi ja kunnostetut koneet.(Raute 2014b.)

”Viilupohjaisissa teknologioissa, kuten vaneri ja LVL, Raute on liikevaihdolla mitattuna johtava konetoimittaja maailmassa. Lautaparketin tuotantolinjoissa Raute on yksi kolmesta merkittävästä toimittajasta.” (Raute 2014c.)

”Rautella on johtava markkina-asema maailmassa myös viilupohjaisen puutuoteteollisuuden tehdaslaajuisen projektien toimittajana. Kokonaistoimituskyky on vahva yksittäisistä koneista ja linjoista aina tehdaslaajuisiin toimituksiin asti.” (Raute 2014c.)

Suurin osa Rauten toimituksista on niin sanottuja projektitoimituksia. Projektien koko vaihtelee yksittäisistä toimituksista aina uusiin tehtaisiin tai modernisointeihin. Tyypillinen projekti sisältää konetoimituksen, prosessin suunnittelun, asiakkaan henkilökunnan koulutuksen, käyttöönotto-, kunnossapito- ja varaosapalvelut. Koneet ja muut kaluston Raute valmistaa itse. Päätuotantolaitos sijaitsee Nastolassa. Rautella on myös tuotantoyksiköitä Kajaanissa, Vancouverin alueella Kanadassa sekä Shanghai alueella Kiinassa. Myyntiverkosto kattaa markkina-alueet globaalisti. (Raute 2014d.)

2.2 Asiakkaat

”Asiakkaan valmistamat erilaiset levytyypit tuotetaan erilaisilla tuotantolinjoilla ja koneilla, joissa voidaan kuitenkin hyödyntää samankaltaisia perusteknologioita ja niihin liittyvää erikoisosaamista, kuten puunkäsittely, puun leikkaaminen, puun

kuivaaminen, laatulajittelu, liimaaminen, kuumapuristaminen ja levynkäsittely.” (Raute 2014a.)

Rauten potentiaalisten asiakkaiden määrä on noin 1 000, joka on suhteellisen pieni määrä. Tästä syystä asiakasuhteiden jatkuvuus on todella tärkeää.

Asiakasteollisuuden käyttämä puuraaka-aine on muuttumassa maailmanlaajuisesti pienempiläpimittaisiin puihin ja yhä enemmän istutusmetsien käyttöön. Yksi Rauten ydinosamisalueista on pienten puiden tehokas prosessointi monipuolista automaatiota hyödyntäen. Huolimatta siitä, että koko maailman levyteollisuuden kapasiteetti kasvaakin hitaasti, puuraaka-ainepohjan muuttuminen, jatkojalostuksen lisääntyminen ja uusien lopputuotteiden tulo markkinoille luovat kysyntää Rauten palveluille ja tuotteille. Myös Rauten jatkuvan tuotekehityksen tuloksena markkinoille tuodut uudet teknologiaratkaisut vahvistavat asiakkaiden kilpailukykyä ja luovat näin Rauten teknologialle uutta kysyntää. (Raute 2014a.)

2.3 Avainluvut

Liikevaihdon määrä vuonna 2011 oli 74,3 miljoonaa euroa, tästä suurimman osan kattaa projektitoimitukset joiden osa oli 63 % ja teknologiapalveluiden osuus oli 37 %. Suurimmat markkina alueet olivat Euroopassa ja Venäjällä. Henkilöstön määrä vuoden 2011 lopussa oli 464 henkilöä. (Raute 2014a.)

2.4 Konserni

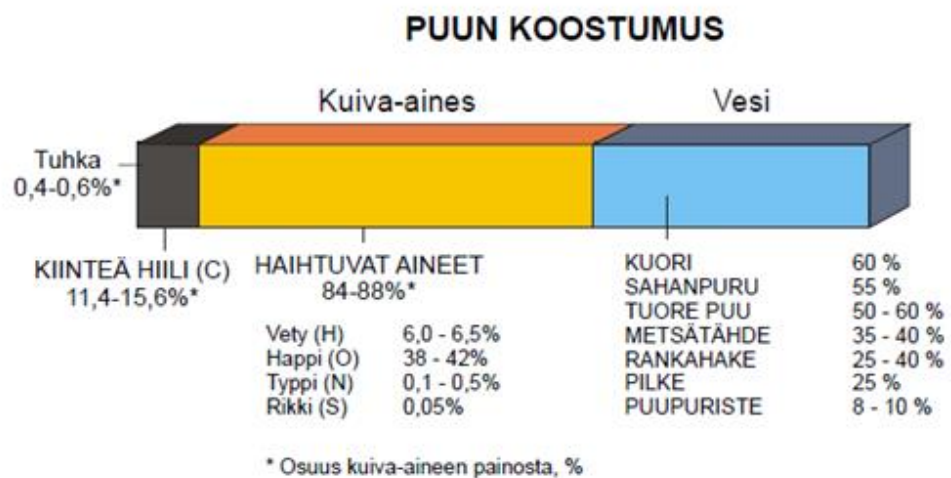
Raute-konsernin liiketoimintaa johtaa Raute Oyj:n toimitusjohtaja apunaan konsernin johtoryhmä. Konsernin johtoryhmän tehtävänä on vastata liiketoiminnan suunnittelusta, toteutuksesta ja kehittämisestä, strategiasta, budjetista, kehittämiskohteista ja resursseista. (Raute 2014a.)

Konsernin johtoryhmä kokoontuu vuosittaisen suunnitelman mukaan vähintään neljä kertaa vuodessa. Johtoryhmän jäsenet raportoivat kukin oman toiminta-alueensa asioista ja ottavat osaa muiden toiminta-alueiden käsittelyyn ja päätöksentekoon. (Raute 2014a.)

3 HAKKEEN OMINAISUUKSIA

3.1 Puun koostumus

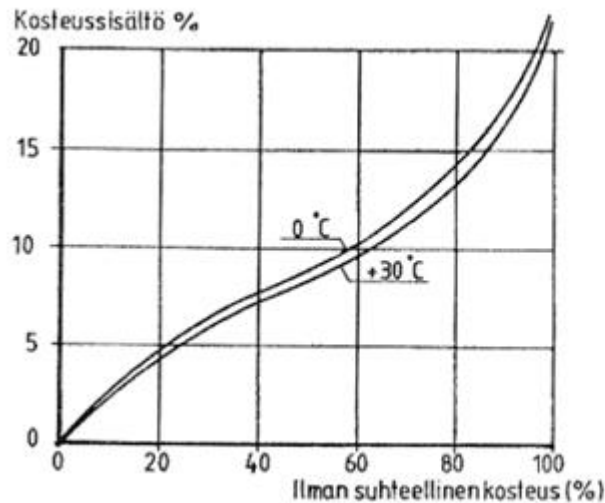
Puu sisältää haihtuvia aineita paljon (kuva 1) noin 80 - 90%. Haihtuvien aineiden takia se on pitkäliekkinen polttoaine ja vaatii suuren palotilan.



KUVA 1. Puun koostumus (Alakangas 2000).

Puu on hygroskooppinen aine, ja joutuessaan kosketuksiin ilman kanssa se pyrkii tasapainotilaan. Puu sitoo tai luovuttaa kosteutta, kunnes se saavuttaa tasapainotilan. Kun puun sitoman veden vesihöyryn osapaine on suurempi kuin ympäröivän ilman, se luovuttaa vettä vesihöyrynä ilmaan. Veden siirtymistä tapahtuu molempiin suuntiin, kunnes osapaine-erot tasoittuvat. Kyseinen ilmiö kuvataan kosteustasapainokäyrällä (kuva 2). Vallitseva lämpötila vaikuttaa aina

kosteustasapainokäyrään. (Kares & Linna 1983, 20.)



KUVA 2. Puun kosteuden ja ilman suhteellisen kosteuden välinen tasapainokäyrä (Kares & Linna 1983, 20)

3.2 Lämpöarvo

Hakkeen tärkein laatuun vaikuttava mitattava ominaisuus on kosteus, joka on suoraan verrannollinen hakkeen lämpöarvoon. Kosteuden kasvaessa lämpömäärä pienenee. Kosteuden haihduttaminen puusta vie energiaa ja näin ollen tuottavuus energiantuotannossa heikkenee. Lämpöarvolla tarkoitetaan täydellisessä palamisessa vapautuvaa lämpömäärää massayksikköä kohti. Yksikkö on tavallisesti kiinteiden ja nestemäisten polttoaineiden osalta megajoulea polttoainekiloa kohti, MJ/kg tai MWH/kg.

Lämpöarvo voidaan ilmoittaa kalorimetrisenä, eli ylempänä lämpöarvona, tai tehollisena eli alempana lämpöarvona. Kalorimetrinen lämpöarvo osoittaa palamisessa vapautuvan energian kokonaismäärän, joka on riippumaton puun kosteudesta (kaava 1). Tehollista lämpöarvoa laskettaessa huomioon otetaan myös veden höyrystämiseen tarvittava energia (kaava 2 ja 3). Se on siis hyödyllisempi polttoaineen ominaisuutta kuvaava suure. (Alakangas, 2003; Hakkila, 2003.)

Suomessa yleisin käytetty suure on tehollinen lämpöarvo (kaava 1) (niin sanottu alempi lämpöarvo), joka saadaan muunnoskaavan avulla kalorimetrisestä lämpöarvosta ottamalla huomioon polttoaineen sisältämän vedyn palamisessa

syntyvän ja savukaasuissa poistuvan vesihöyryn haihduttamiseen kuluva lämpömäärä.

Kuivan puun tehollinen lämpöarvo saadaan kaavasta (1) (Alakangas 2003)

$$q_{net,d} = q_{cal} - 2,443 \times 0,09H = q_{cal} - 0,219H \quad (1)$$

missä

$q_{net,d}$ = Vettä sisältämättömän puun tehollinen lämpöarvo, MJ/kg

q_{cal} = Puun kalorimetrinen lämpöarvo, MJ/kg

H = Puun vetypitoisuus, %

Vettä sisältävän puun tehollinen lämpöarvo kokonaismassaa kohden saadaan kaavasta (2) (Alakangas 2003) :

$$q_{net,ar} = q_{net,d} - \frac{100-M}{100} - 0,02443 \times M \quad (2)$$

missä

$q_{net,ar}$ = Vettä sisältävän puun tehollinen lämpöarvo, MJ/kg

q_{netdr} = Vettä sisältämättömän puun tehollinen lämpöarvo, MJ/kg

M = Puun kosteus % (veden osuus kokonaismassasta)

Vettä sisältävän puun tehollinen lämpöarvo tilavuusyksikköä kohti saadaan kaavasta (3) (Hakkila 2003) :

$$q_{net,ar,v} = \frac{\rho}{1 - \frac{M}{100}} \times q_{net,ar} \quad (3)$$

missä

$q_{net,ar,v}$ = kostean polttoaineen tehollinen lämpöarvo,
MJ/m³

ρ = Puun kuivatuoretiheys, kg/m³

M = Puun kosteus % (veden osuus
kokonaismassasta)

$q_{net,ar}$ = Vettä sisältävän puun tehollinen MJ/kg

3.3 Kosteus

Kosteuden vaikutus teholliseen lämpöarvoon riippuu paljon puulajista ja sen käyttökosteudesta. Wahlroosin (1979) mukaan eri puulajien teholliset lämpöarvot saadaan seuraavista kaavoista (kaavat 4-7). (Kares & Linna 1983, 2-3):

$$\text{Koivu } Q_w = 18,9 - 0,213 \times w \quad (4)$$

$$\text{Mänty } Q_w = 19,3 - 0,218 \times w \quad (5)$$

$$\text{Kuusi } Q_w = 19,0 - 0,214 \times w \quad (6)$$

Hakkeelle riittävän tarkka tehollinen lämpöarvo saadaan yleisesti kaavasta 7. (Kares & Linna 1983, 3):

$$Q_w = 19,0 - 0,214 \times w \quad (7)$$

3.4 Mittausmenetelmiä

Mittausmenetelmät voidaan karkeasti jakaa kahteen periaatteeseen: yksivaiheisiin sekä kaksivaiheisiin.

3.4.1 Yksivaiheiset menetelmät

Yksivaiheiset menetelmät soveltuvat nopeisiin ja likimääräisiin mittauksiin, ei siis laboratoriokäyttöön. Menetelmistä yleisimpiä ovat mittarit, joilla mitataan puun sähköisiä ominaisuuksia. Mittareilla mitataan muun muassa puun sähkövastusta eli puun resistanssia, joka on suoraan verrannollinen johtimen poikkipinta-alaan. Resistanssiin vaikuttaa myös puun ominaisvastus. Toinen mitattava suure on dielektrisyysvakio, joka on puuaineesta johtuva tekijä. Suureeseen vaikuttavat kosteus, lämpötila ja taajuus. Kolmantena mittaustapana on tehokerroin, joka on puulajille ominainen ja kosteudesta riippuvainen tekijä. Tehokerroin on suoraan verrannollinen puukappaleen lämpötilan nousuna näkyvään tehohäviöön. (Kärkkäinen 2007, 183 – 184, 251 – 252.)

Yksivaiheisten mittareiden perusteena on verranto kosteuden ja sähkövastuksen välillä. Mittareiden paikkansapitävyyteen vaikuttaa paljon myös lämpötila, koska sähkövastus vaihtelee lämpötilan mukaan. Kosteuden ollessa alle 10 % ja lämpötilan noustessa 10 asteeseen, alenee sähkövastus puoleen. Myös puulajeilla on merkitystä mittaukseen, mutta eurooppalaisilla puulajeilla erot ovat kohtuullisen pienet. (Kärkkäinen 2007, 184.)

3.4.2 Kaksivaiheiset menetelmät

Kaksivaiheiset menetelmät ovat laboratorio-olosuhteissa käytettyjä mittaustapoja joilla on mahdollisuus saada tarkkoja tuloksia. Menetelmät eivät sovellu nopeisiin mittauksiin, vaan edellyttävät pitkiä kuivausaikoja.

Yleisin ja ehdottomasti yksinkertaisin menetelmä on lämpökaappimenetelmä. Mittaus on tosin hidasta ja vaatii noin vuorokauden kuivausajan. Lämpötilaa nostamalla voidaan kuivausaikaa lyhentää, mutta se vaikuttaa myös lopputuloksen tarkkuuteen heikentävästi.

Menetelmässä puuta kuivataan lämpökaapissa ja mitataan puun absoluuttisesti kuiva massa. Absoluuttisen kuivan massan määrittäminen on tosin ogelma, koska standardit vaihtelevat paljon ja näin ollen kuivauskaapin lämpötila myös. Kansainvälinen ISO-standardi on käytetyin Suomessa. Standardeissa lämpötilat ja kuivaus ajat vaihtelevat sekä tieto tarvittavasta tuuletuksesta harvoin löytyy.

Joissain standardeissa ohjeistetaan kuivaamaan tietty aika ja toisissa näytettä tulee kuivata niin kauan, että kahdessa peräkkäisessä mittauksessa saadaan puuaineen kuivaksi massaksi sama tulos. Standardit vaihtelevat osittain siksi, että eri puulajien haihtuvat aineet reagoivat eri tavalla muun muassa lämpötilaan, kuivausaikaan sekä tuuletukseen. (Kärkkäinen 2007, 182.)

Tavoitteena lämpökaappimenetelmässä on nostaa kuivausilman lämpötila veden kiehumispisteen yläpuolelle. Lämmön avulla vesimolekyyleihin tuodaan energiaa ja vesimolekyylien liike-energian vaikutuksesta ne pyrkivät poistumaan puusta. Lämpökaappimenetelmä ei kuitenkaan takaa absoluuttisen kuivaa puuta, koska puu on imevää ainetta, jonka seuraksena vesimolekyylien liike-energia ei riitä poistamaan kaikkea vettä. Puuhun jäänyt vesi voidaan todeta Litwayn ja Mckimyn (1975) mukaan esimerkiksi titraamalla. (Kärkkäinen 2007, 182.)

Kaksivaiheisiin menetelmiin kuuluu myös uuttaminen ja K. Fisherin menetelmä. Uuttamismenetelmää käytetään enemmän trooppisiin lehtipuihin, joissa on veden lisäksi monia muita haihtuvia aineita. K. Fisherin menetelmällä taas päästään todella tarkkoihin tuloksiin. Menetelmä perustuu titraamiseen ja mittaamiseen käytetään ainetta joka reagoi kemiallisesti puussa olevan veden kanssa.

3.4.3 Muita menetelmiä

Kosteuden määrittämiseen kehitetään jatkuvasti uusia menetelmiä, joilla voidaan mitata nopeammin ja tarkemmin. Mittauksia täytyy tehdä monissa sovelluksissa, kuten viilun prosessoinnissa, jatkuvalla mittausmenetelmällä, jolla saadaan tarkka arvo nopeasti.

Uusia menetelmiä ovat muun muassa mikroaalto-, infrapuna-aalto- sekä ydinmagneettiseen resonanssiin perustuva menetelmä. Mikroaaltomenetelmä perustuu puun ja veden erilaisiin dielektrisiin ominaisuuksiin. Menetelmän tuloksiin vaikuttavat muun muassa puun tiheys. (Kärkkäinen 2007, 185.)

Infrapuna-aaltomenetelmä perustuu säteilyn mittaamiseen puusta. Vesi heijastaa säteilyä, jonka perusteella määritetään kosteus. Tietyillä aallonpituuksilla säteily absorboituu tehokkaasti, mutta silti tunkeumasvyvyys on maksimissaan noin 1 mm. (Kärkkäinen 2007, 185.)

Kolmas menetelmä, ydinmagneettinen resonanssi, perustuu molekyylien käyttäytymiseen homogeenisessa magneetikentässä. Magneetikenttään tuodaan energiaa radiotaajuisena aaltoliikkeenä. Menetelmällä päästään parhaimpaan tarkkuuteen nykyisistä yksivaiheisista menetelmistä, eivätkä tulokset ole riippuvaisia näytteen lämpötilasta, mikä on suuri etu menetelmässä. Menetelmien yhteenveto taulukossa 1 (Kärkkäinen 2007, 185.)

Menetelmä	Mitattava kosteus, %	Lämpötila-alue C	Tarkkuus, %-yksikköä	Ajanmenekki
Lämpökaappi	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	-0,7-+1,5	24 h
Kuumakuivaus	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	-0,7-+1,5	40 min
Uuttaminen	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	± 2	1 h
Sähkövastusmittaus	alle 30	Yli 0	± 5	Lyhyt
Tehohäviön mittaus	Ei rajoitusta	Yli 0	± 2	Lyhyt
Mikroaaltomittaus	15-30	Yli 0	± 1,5	Lyhyt
Infrapuna-aaltomittaus	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	± 3	Lyhyt
Ydinmagn. resonanssi	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	± 1	2 min

TAULUKKO 1. Yhteenveto kosteuden määrittämenetelmistä (Kärkkäinen 2007, 186)

4 PUUN KUIVAUS

Puuta kuivataan käyttötavan mukaa. Kotitalouksissa sekä maataloilla käytettävät polttopuut kuivataan tavallisesti ennen käyttöä. Kuivaus aloitetaan normaalisti jo, kun puut kasataan ja annetaan kuivua ennen kuin ne pilkotaan ja halotaan. Kuivumista tehostetaan vielä halkomalla puut sekä pinoamalla ne ilmastavasti. Halkojen kosteus tulisi olla 15–20 prosenttia tulisijoissa käytettäessä.

Puun lämpöarvo muihin kiinteisiin polttoaineisiin verrattuna on pieni, joten se asettaa omat vaatimuksensa puun kuivaamiseen sekä polttoon. Tehollinen lämpöarvo kuivalla puulla on 18,3 - 20,0 MJ/kg. (Alakangas 2000.)

Haihdutettaessa puusta kosteutta tarvitaan energiaa noin 2500 kJ/kg H₂O. Puussa on myös kemiallisesti sitoutunutta hydraatti- ja kidevettä, joka on vaikeammin poistettavaa, mutta kemiallisesti sitoutuneella vedellä ei ole merkitystä normaalissa kuivatuksessa. (Kares & Linna 1983, 19.)

Kosteudella on suuri vaikutus hakkeen poltossa saatavaan hyötyyn. Hakkeen kuivaaminen edesauttaa sen säilyvyyttä. Jos hake on kosteaa, se edesauttaa homeitiöiden kasvua, joka ovat terveysriski. Esimerkiksi keskuslämmityskattiloissa käytettävän hakkeen varastointikosteus ei saisi ylittää 25:tä prosenttia.

Hakkeen kosteuden vaikutus saatuun hyötyyn (Viirimäki 2008) :

Kosteus 20 %	haketta 100 m ³
Kosteus 30 %	haketta 130 m ³
Kosteus 50 %	haketta 200 m ³

Liian kostea hake palaa tehottomasti ja aiheuttaa nokipäästöjä normaalia enemmän. Mitä kosteampaa käytettävä hake on, sitä vähemmän siitä saadaan lämpöenergiaa. Kosteaa hake aiheuttaa myös ongelmia varastoinnissa talvella jäätyessään. (Viirimäki 2008.)

Luonnonkuivauksen lisäksi on teknisesti mahdollista käyttää energiantuotannossa ja teollisuusprosesseissa syntyvää sekundäärilämpöä puupolttoaineiden höyry- tai

savukaasukuivatukseen. Keinokuivatuksella saavutetut hyödyt eivät kuitenkaan toistaiseksi kata kuivauskustannuksia. Jos puupolttoaineiden hinta kasvaa päästökaupan seurauksena tulevaisuudessa, keinokuivaus saattaa tulla kannattavaksi. Toistaiseksi metsähakkeen osalta on tyydyttävä luonnonkuivaukseen. Tuotantoketjut ja kausivarastointi ovatkin suuressa määrin riippuvaisia luonnonkuivauksen tarjoamista hyödyistä ja niitä on ohjattava luonnon ehtojen mukaisesti. (Hakkila 2004, 70.)

4.1 Kuivurit

Kuivureita on pääasiassa kahdenlaisia, kylmäilmakuivureita sekä kuivureita, joissa kuivausilma esilämmitetään. Kylmäilmakuivureiden kaksi yleisintä mallia on taso- ja pystykuivurit. Molemmissa kuivausilma puhalletaan hakepatjan läpi puhaltimilla. Tasokuivurit ovat pinta-alaltaan suuria, mikäli niissä kuivattava materiaali on pienipalaista. Hake levitetään reikälevyn, ritilän tai suomulevyn päälle, jonka alla on ilmakehät, mistä kuivausilma puhalletaan. Pohjan aukkopinta-alan tulisi olla Kareksen (1981) mukaan 5 – 10 % koko pohjan alasta. Pystykuivurissa kuivausilma puhalletaan kuivaajan keskiosasta sivuille, jonka seinämät voivat olla somu- tai reikälevy. Suuremmalla palakoolla seinämät voivat olla esimerkiksi harvaa lautaa. (Linna 1984, 23 – 25.)

Kylmäilmakuivauksessa puhallettavaa ilmaa ei lämmitetä. Tarvittava ilmamäärä on näin ollen paljon suurempi kuin kuuma, noin 400 – 500 m³/h, kuivattavaa hakekuutiota kohti. Toisaalta, mikäli hakekerros on noin 1,2 m paksu, tarvittava ilman määrä on noin 400 m³/m². Täyttö tulisi toteuttaa siten, että hake ei lajitu. Eritoten pystykuivaajaa täytettäessä tulisi seuloa hieno aines pois, jotta vältetään holvaamiselta.

Siirrettävät kuivurit ova käteviä, esimerkiksi maataloilla. Kuivurin voi rakentaa esimerkiksi viljakärryyn tai vaihtolavalle, jolloin kärryyn voi ottaa muuhun käyttöön tarvittaessa.

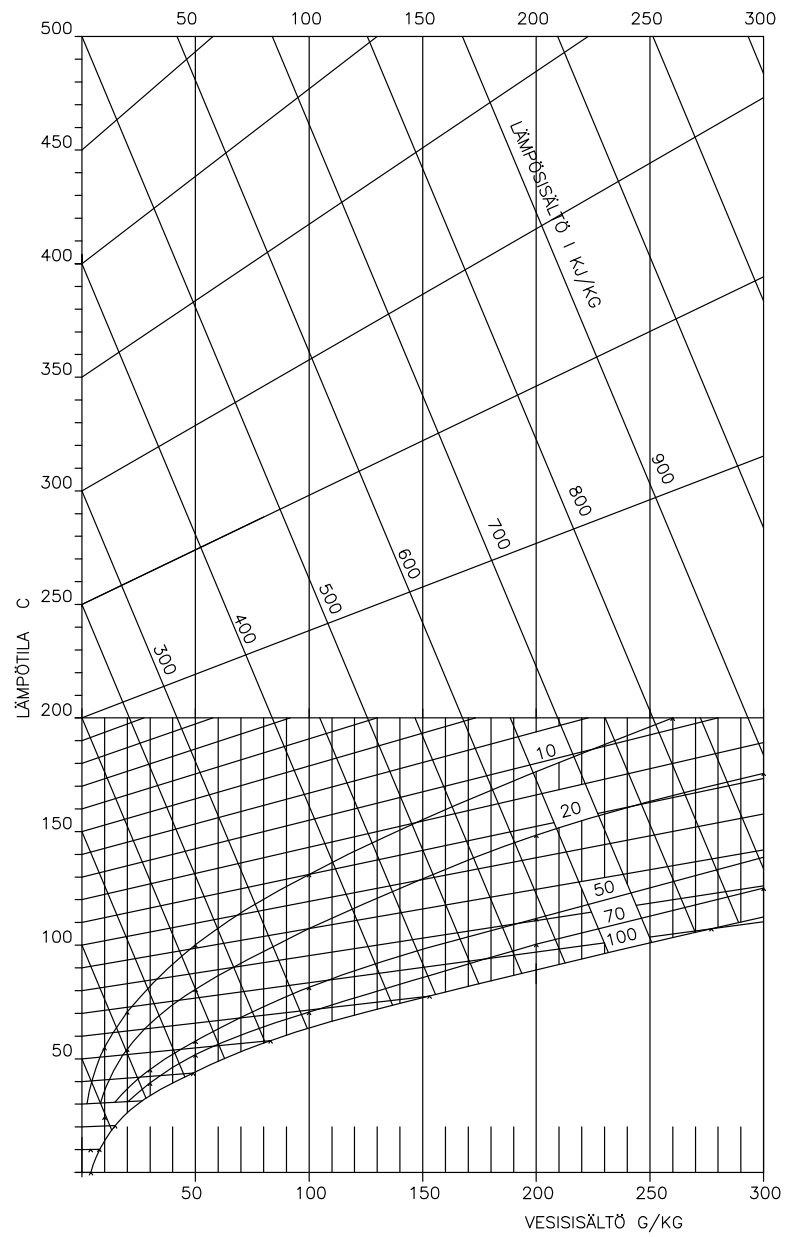
5 MOLLIER- DIAGRAMMI

Mollier-diagrammista on suuri apu laskettaessa hakekuivurille tärkeitä ominaisuuksia. Kuvasta 3 selviää ilman suhteellinen kosteus, absoluuttinen kosteus, lämpötila ja entalpia sekä niiden muutosten vaikutus eri prosesseissa. Diagrammin avulla voidaan esittää muutokset, miten esimerkiksi ilman lämmittäminen tai hakkeen kuivausaika vaikuttavat kuivaukseen. Kuivurin tehokapasiteettia laskettaessa piirros on todella tärkeä, jotta saadaan tietää, kuinka paljon energiaa tarvitaan kuivaukseen ja kuinka paljon ilma sitoo kosteutta tietyissä olosuhteissa.

Mollier-diagrammi (kuva 3) kuvaa ilman vedensitomiskykyä. Diagrammin pystyviivat osoittavat ilman vesisällön (g/kg), vaakaviivat ilman lämpötilan (°C), ja vinot viivat osoittavat ilman entalpiaa, lämpösisältöä (kJ/kg) verrattuna 0 °C:ssa olevaan kuivaan ilmaan. Kaarevat viivat kertovat ilman suhteellisen kosteusprosentin. (Kuva 3.)

Mollierdiagrammissa käytetään yleensä seuraavia suureita:

t on kuiva lämpötila	°C
ϕ on suhteellinen kosteus	%
x on vesisältö	kg/kg k.i.
h on entalpia (lämpösisältö)	kJ/kg



KUIVAN ILMAN I-X PIIRROS

KUVA 3. Mollier-diagrammi (Lehtola 2014)

LÄHTEET

Painetut lähteet

Kares, M. & Linna, V. 1983. Polttohakkeen puhallinkuivatus pientaloissa ja maataloilla. Helsinki: Poly kopio Oy.

Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999 – 2003. Sipoo: Paino-Center Oy.

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Alakangas, E. 2003. Puupolttoaineen keskimääräisiä ominaisuuksia. Jyväskylä: Gummerus.

Hakkila, P. 2003. Puu polttoaineena. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Puhakka, A., Alakangas, E., Alanen, V., Airaksinen, L., Soini, R., Siponen, T. & Kainulainen, S. 2001. Hakelämmitysopas. Helsinki, Joensuu: Motiva.

Elektroniset lähteet

Lehtovaara, J. 2010. Fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien määrittäminen. Vapo Oy [31.3.2014]. Saatavissa:
<http://www.eubionet.net/GetItem.asp?item=digistorefile;150651;1361¶ms=%20open;>

Raute. 2014a. Asiakkaat [viitattu 19.2.2014]. Saatavissa:
<http://www.raute.fi/sijoittajat>

Raute. 2014b. Liiketoiminta [viitattu 19.2.2014]. Saatavissa:
<http://www.raute.fi/raute-lyhyesti>

Raute. 2014d. Tuotteet [19.2.2014]. Saatavissa: <http://www.raute.fi/plywood-and-veneer>

Raute. 2014c. Teknologia [19.2.2014]. Saatavissa:
<http://www.raute.fi/technology-services>

Viirimäki, J. 2008. Maatilan hakelämmitys opas. Bioenergiatieto [6.3.2014].

Saatavissa:

http://www.bioenergiatieto.fi/default/?__EVIA_WYSIWYG_FILE=4546&name=file

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia [3.3.2014]. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT energia.

Saatavissa:

http://www.karkola.fi/Dokumentit/tekninen/Tarjouspyynnot/Vuokkoharjun_biola mpoyrittaja/Polttoaineet_VTT_T2045.pdf

Oy Autrol AB. 2014. Lämpötila-anturit [3.4.2014]. Saatavissa:

<http://www.autrol.fi/tuoteet/lampotila/anturit.html>

Suullinen lähde

Lehtola, E 2014. Tittelli: koulutus insinööri, toimitusjohtaja. Haastattelu pvm. 3.2.2014

