

23.11.2007

YHTEENVETORAPORTTI ELLA- JA KATE-HANKKEEN AIKANA TEHDYSTÄ KASVIKUIVURIEN KEHTYSTYÖSTÄ

Luonnontuotealan teknologian kehityshankkeessa (KATE-hanke) ja sitä edeltäneessä Luonnotuote- ja erikoiskasvialan laitekehityshankkeessa (ELLA-hanke) yhtenä osa-alueena oli kasvikuivurien kehitys. Kehitystyön tavoitteena löytää kasvikuivurien toiminnalliset- ja rakenteelliset mitoitusarvot, ihanteellinen rakennevaihtoehto sekä energiateknisesti optimaalinen ratkaisu (1, s. 1). Lisäksi hankkeiden aikana etsittiin erilaisin kokein ja mittauksin tietoa varsinaisen kuivumisprosessin kasvikohtaisesta etenemisestä.

Kuivaamisen teoreettinen perusta

Yleisimmin kuivaamisella tarkoitetaan veden tai muun nesteen poistamista kiinteästä aineosuksesta osittain tai kokonaan. Kuivaaminen voidaan suorittaa monin tavoin, esimerkiksi absorboimalla kosteus toiseen aineeseen, mekaanisesti puristamalla, jäädyttämällä tai haihduttamalla. (2, s. 6)

Kuivaamista voidaan nopeuttaa käyttämällä kuivattavan materiaalin sallimaa korkeinta lämpötilaa, kasvattamalla kuivausilman virtausta ja asettamalla materiaali kuivumaan siten, että se on joka puolelta kosketuksissa ilman kanssa. Kuivaaminen liian nopeasti ei kuitenkaan ole aina hyväksi kuivattavalle materiaalille. Joillakin kasveilla liian nopea kuivaaminen aiheuttaa uloimpien solujen kutistumista, jolloin ne eivät enää läpäise vettä niin hyvin, mistä johtuen kuivaamisaika pitenee. (2, s. 6, 7)

Kuivauksen kannalta olennaiset ilman tilaa kuvaavat mitattavissa olevat suureet ovat ilman lämpötila ja kosteus. Kuivureissa paineolosuhteet vaihtelevat niin vähän, että paineen voidaan olettaa olevan kaikissa kuivauksen vaiheissa kaikissa kuivurin osissa sama kuin ympäröivä atmosfäärinen paine eli keskimäärin 101,3 kPa (760 mmHg). Tällä oletuksella voidaan käyttää standardi ilmakehän paineiselle ilmalle laadittuja taulukoita ja käyrästäjä ilman merkittävää virhettä. (3, s. 4)

Kuivumisprosessi on aluksi hyvin nopeaa, mutta sen jälkeen se hidastuu. hidastumisen syynä on se, kun pintakosteus on haihtunut, veden siirtyminen materiaalin sisäosista pintaan vie aikaa. Kuivumistapahtuma on eri kasveille erilainen, kasvikohtainen kuivumiskäyttäytyminen täytyy selvittää kokeiden avulla. (4, s. 7)

Yhden vesikilon haihduttamiseen tarvitaan energiaa 2,29 MJ eli 0,63 kWh (542 kcal). Lämminilmakuivauksessa kuivattava materiaali saatetaan lämpimän ilman yhteyteen yleensä puhaltamalla kuivaa ilmaa kuivattavan materiaalin läpi. Lämmin kuivailma vie materiaalin pinnasta haihtuvan kosteuden mukanaan. Lämmön siirtyminen ja veden poistuminen on sitä nopeampaa mitä suurempi ilman ja kuivattavan materiaalin välinen lämpötilaeroon. (4, s. 7)

23.11.2007

Suomessa kuivattavia kasveja ja niiden kuivattavat osat

<u>Kasvi</u>	<u>Kuivattava osa</u>
Mustikka (<i>vaccinium myrtillus</i>)	verso
Kataja (<i>juniperus communis</i>)	verso
Pohjan ruusunjuuri (<i>rhodiola rosea</i>)	juuri
Mesiangervo (<i>filipendula ulmaria</i>)	kukka
Piharatamo (<i>plantago major</i>)	siemen
Horsma (<i>chamaenerion angustifolia</i>)	kukka ja lehti
Koivu (<i>betula alba</i>)	lehti
Siankärsämö (<i>achillea millefolium</i>)	kukka
Ruokasienet	lakki ja jalka

Jokaisella kasvilla on omat kuivumisominaisuutensa, mutta ihannekuivauslämpötila sijoittuu kaikilla kasveilla välille 30...60 °C. (4, s. 4, 5)

kuivatusprosessin tavoitteena on laskea kasvien lopullinen kosteuspitoisuus 8...10 %:iin. Kuivatustuloksen voi tarkastaa laskemalla prosessissa haihdutetun veden määrän, tai kokenut henkilö voi todeta kasvin kuivaksi taitamalla kasvia (kuiva kasvi rapsahtaa poikki taipumatta). (5, s. 25)

Kasvikuivaimen rakenneosat

Kuivaimen pääosat ovat kuivausalusta, puhallin ja lämmöntuottoyksikkö. Kuivausalustan tärkein ominaisuus on ilmanläpäisykyky. Käytössä olevia pohjaratkaisuja ovat mm. rei'itetty teräslevy, verkkolevy ja punottu verkko. Kuivaimen pohjalevyn tulee olla puhdas ja ruostumattomasta- tai sinkitystä teräksestä valmistettu, muovitettu tai maalattu teräslevy ei käy. (4, s. 15)

Kuivaimen tärkeimpiä osia on puhallin. Kuivaustekniikka lava- ja hyllykuivaimissa vaatii niin suuren paineen ja hyvän säätömahdollisuuden, että keskipakopuhallin on tähän tarkoitukseen paras vaihtoehto. (4, s. 16)

Lämmöntuottoyksikön tehtävä on lämmittää ja kuivata puhallettava ilma hyötykasvikuivaimelle. Ilmalämmitys on helppo ja nopea tapa rakentaa kuivaustekniikka kuivaimelle. Sähkökäyttöiset lämmitysvastukset ovat suhteellisen helppo ja halpa tapa lämmitystekniikan toteuttamiseen. Lämmitysvastukset soveltuvat kuitenkin vain pienehköihin kuivaimiin ja kohottavat kuivaimen tulipaloriskiä. (4, s. 16, 17, 19)

Infrapunatekniikka on turvallinen tapa toteuttaa sähköllä toimiva lämmitys. Infrapunälämmitin tuottaa lämpösäteilyä, joka ei kuumenna itse lämmitintä vaan ainoastaan säteilyn kohtaava materiaali lämpenee ja kuivuu. (4, s. 17)

Lämmityskattilan ja vesilämmitteisen ilmakojeen yhdistelmällä voidaan toteuttaa suurta lämmitystehoa vaativa lämmitystekniikka. Lämmityskattilan sijoituspaikka voi olla melko kaukanakin kuivaimesta ja ilmakojeesta. (4, s. 17)

23.11.2007

Kuivainten jaottelu

Kuivainten jaottelu perustuu pääosin siihen, miten lämpö tuodaan kuivattavaan materiaaliin. Tällä perusteella kuivaimet jaetaan kontakti- ja konvektiokuivaimiin. Molemmat kuivaintyyppit voidaan vielä jakaa jatkuva- ja jaksotoimisiin kuivaimiin. Kuivauslaitteita voidaan luokitella myös sen perusteella, miten kuivattava materiaali käyttäytyy kuivattaessa. Staattisissa kuivaimissa materiaali pysyy paikallaan. Dynaamisissa kuivaimissa materiaali on liikkeessä. (5, s. 13)

Kontaktikuivaimissa kuivauskaasut johdetaan suoraan kosketukseen kuivattavan materiaalin kanssa. Konvektiokuivaimissa lämpö siirtyy materiaaliin epäsuorasti, usein johtumalla materiaalia koskettavista kuumista pinnoista. (5, s. 14)

Erilaisia kuivaintyypppejä

Lavakuivaimen rakenne on kaksipohjainen lavarakenne, jossa ylempi ns. välilevy on rei'itetty. Kuivattava materiaali lastataan välilevyn päälle ja sen alle puhalletaan lämmitettyä ilmaa (4, s. 12). Välilevyn alla oleva pohjalevy tulee asentaa kaltevaksi (ilmakanava on ahtaampi kuivaimen perällä, kuin etuosassa, lähellä puhallusaukkoa). Tämä edesauttaa materiaalin tasaista kuivumista kuivaimen kaikissa osissa. Kaltevasta pohjalevystä huolimatta materiaalia joudutaan kääntelemään kuivausprosessin kuluessa.

Hyllykuivaimessa kuivattavaa materiaali asetetaan kuivausritilöille. Ilmapuhaltimen avulla ohjataan ilmavirta seulahyllyjen alapuolelle. useampi peräkkäin oleva hyllykuivain muodostaa ns. tunnelikuivaimen. (4, s. 13)

Rumpukuivaimessa materiaali on joko hyllyissä tai pyörii rumpun sisällä vapaasti. Pyörimisen aikana rumpuun puhalletaan lämmitettyä ilmaa. (4, s. 14)

Leijupatjakuivaimet soveltuvat jauhomaisille tuotteille. Leijukuivaimen lämmön- ja tehonkulutus on suunnilleen sama kuin muissakin puhallin-kuivaimissa. (4, s. 14, 15)

Arinakuivaimet voivat olla joko konvektio- tai kontaktikuivaimia. Arinakuivaimessa telineille asetetut arinat muodostavat kuivausalustan. Kuumennetun ilman kierrätys tapahtuu arinoiden välissä puhaltimen avulla. (5, s. 15)

Pakastekuivaimet ovat tyypiltään kontaktikuivaimia. Pakastekuivaimessa materiaali ensin jäädytetään ja sitten kuivataan erittäin alhaisessa paineessa. (5, s. 15)

Virtauskuivaimessa (flash-kuivain) vesikalvon peittämiä kiintoainehiukkasia kuivataan nopeasti kuumassa, pyörteisessä ilmavirrassa, jolloin vesikalvo irtautuu räjähdysnomaisesti höyrystyen. Virtauskuivaimen kuivauskaasujen lämpötila voi olla jopa 500 °C, mutta sen kosketusaika materiaalin kanssa on niin lyhyt, että materiaalin lämpö ei nousse yli 70 °C:een. (5, s. 16)

23.11.2007

Aurinkoenergian käyttö kuivauksessa

Tutkittaessa aurinkoenergian mahdollisuuksia kuivauksen kannalta pyrittiin saamaan auringon tuottama lämpöenergia hyödyksi ja näin alentamaan kuivauksen sähköenergian tarvetta. Lisäksi tarkoituksena oli perehtyä aurinkoenergian tuottaman lämmön hallittuun käyttöön. (6, s. 1)

Tutkimusvälineenä käytettiin Rovaniemen ammattikorkeakoululla rakennettuja valonkeräimiä. Keräin koostui lankuista ja vanerista rakennetusta kourusta, jonka etupinnalle oli kiinnitetty katelevy siten, että levyn alapinnan ja kourun pohjan väliin jäi noin kymmenen senttimetrin korkuinen ilmakäytävä. Koko rakennelma oli metrin levyinen ja 3,5 metriä pitkä. Keräin käännettiin haluttuun suuntaan ja nostettiin noin 45 asteen kaltevuuskulmaan. Keräimiä rakennettiin kaksi kappaletta, joista toiseen asennettiin kirkas valokatelevy ja toiseen musta aaltopeltilevy. Katelevyn alla kourun pohjalevy oli tumma pinta ulospäin.

Aurinkoenergiankeräimien keskimääräiseksi lämpötehoksi vuorokausitasolla on kesän -05 ja -06 mittauksen perusteella saatu 300 ... 500 W/m². Kirjallisuudessa esitetään samanlaisia tuloksia. Näin ollen mitoitusarvona on turvallista käyttää arvoa 300 W/m². (1, s. 3)

Kuivausilman kierrätyksen tutkiminen

Ilman kierrätyksessä, osa kasvimassan läpi puhalletusta ilmasta kierrätetään uudelleen käyttöön. Ilmankierrätyksessä kuivurin sisään menevään ilmaan sekoitetaan osa kuivurista pois tulevaa ilmaa, koska kuivurista pois tulevan ilman kuivauskyky ei ole juurikaan heikentynyt. Periaatteessa kaikki materiaalin läpi menevästä ilmasta voitaisiin ottaa uudelleen kiertoon mutta tästä seuraisi se, että ilmansuhteellinen kosteus nousisi niin suureksi että materiaalin ja ilman välinen tasapainotila kosteuden suhteen saavutetaan liian aikaisin, eli kuivuminen pysähtyy. Otettaessa kuivaa ”tuoretta” ilmaa kuivaukseen voidaan välttää kosteuden tasapainotilan saavuttaminen liian aikaisin ja saada materiaalin kuivaaminen suoritettua loppuun. (2, s. 26)

Ilman kierrätyksellä on suuri merkitys kuivausenergia määrään koska kuivauksen lopussa materiaalista lähtevä kosteus on niin pieni, että ilman kuivauskyky ei ole heikentynyt juuri lainkaan. Joten kuivausilma voidaan ottaa uudelleen osittain uudelleen kiertoon. (2, s. 39)

Kuivausilman kierrätyksellä ei ole vaikutusta kuivausajan pituuteen. Kuivausaika on samanpituisen kierrätettävän ilmanmäärän ollessa 0...80 % kuivatavasta ilmasta. Kuivausilman lämpötilalla ja korvausilman suhteellisella kosteudella on vaikutus kuivausajan pituuteen. (2, s. 39)

Energian säästöä saadaan noin 8 % käytettäessä 50 % kierrätystä ja n. 43 %, kun käytetään 80 % ilman takaisin kierrätystä. Energian säästö kasvaa kierrätysilman määrän lisääntyessä. Kuivausilman kierrätys kestää olla ainakin 86 %. Suurempaa ilman kierrätystä ei ole kokeiltu. (2, s. 40)

23.11.2007

Kuivurien testaus ELLA-hankkeessa

Kuivattavana materiaalina käytettiin tuoretta ruohoa. Ruohon määrä punnittiin kosteana ennen kuivausta ja toisen kerran kuivauksen jälkeen. Tällä tavalla saatiin kuivattavasta materiaalista poistunut vesi painoerotuksena. Kuivausnopeuden määrittämistä varten kuivurit varustettiin myös mittaustietoa tallettavilla (dataloggerit) ilmankosteusantureilla. Kuivausilmavirta mitattiin paine-eroon perustuvalla virtausmittarilla (mittalaippa) tai pitot-putkella. Tulokseksi saatiin ilman tilavuusvirta (m^3/h tai m^3/s). Tavoitelämpötilana kuivurin sisällä, kuivauksen aika pidettiin $+40\text{ °C}$. (3, s. 6)

Hyllykuivurikoe 8.6. – 12.6.2004

Kuivurissa oli kymmenen kuivauslaatikkoa viidessä korkeustasossa. Kuivattavana oli 20,2 kilogramman materiaalipanos, joka oli noin 20 % kuivurin maksimikapasiteetista. Kuivuri oli varustettu 10 kW:n lämmitysvastuksella ja 60 W:n tehoisella aksiaalipuhaltimella.

Kuivaustulos oli hyvin heikko. Neljän vuorokauden kuluttu ruoho oli vielä märkää. Syy tähän oli aivan liian pieni kuivausilmavirta. 60 W tehoinen puhallin kehitti ilmavirran $150\text{ m}^3/h$ vajaalla täytöksellä. Jos kuivuriin olisi laitettu 100 %:n täytös, ilmavirtaa ei olisi saatu panoksen läpi ollenkaan. (3, s. 7)

Hyllykuivurikoe 21. - 23. 6.2004

Kuivuriin tehtiin seuraavat muutokset: Imuilmanakanavaa jatkettiin ja siihen asennettiin keskipakoispuhallin Nederman 522311.

Kuivattavana oli 111,7 kilogramman materiaalipanos, joka oli kuivurin maksimikapasiteetti.

Kuivausarvoina käytettiin: kuivausilmavirta $1400\text{ m}^3/h$, puhaltimen antama paine 1000 Pa, puhaltimen akseliteho 800 W, puhaltimen ottoteho 1000 W.

Kokeen tulos: materiaalin massa kuivauksen jälkeen 29,95 kg, poistunut vesimäärä 81,75 kg, materiaalin loppukosteus 25 %. Kuivausaika 14 h, joten kuivumisnopeus oli 5,9 kg/h.

Laskennallinen lämmitystehon tarve 9,3 kW (ilman lämpötilan nousulla $20 \rightarrow 40\text{ °C}$). Lämmitysenergiankulutus 130 kWh/kuivausjakso, lämmitysenergiankulutus per kilogramma tuoretta materiaalia 1,16 kWh/kg. Puhaltimen energian kulutus 14 kWh / kuivausjakso, eli 0,13 kWh/kg. Kokonaisenergiankulutus tuorekiloa kohti 1,29 kWh/kg.

Poistunut vesimäärä oli lähes sama kaikista kuivaus laatikoista. Kuivauskoetta voidaan pitää täysin onnistuneena ja kuivaustulosta hyvänä. (3, s. 7,8)

23.11.2007

Hylläkuivurikoe Apukan tutkimusasemalla 22. - 24.6.2004

Testattava kuivuri: Ylivieskan 4H:n 5-tasoinen hyllykuivuri, jossa on 3 kuivauslaatikkoa kullakin tasolla. Kuivurissa on kuumailmapuhallin Malmbergs 9 kW, jossa on 9 kW:n lämmitys- vastus ja aksiaalipuhallin.

Kuivattavana materiaalina oli tuore heinä, jota tuli kuivuriin yhteensä 61 kg, jolloin kuivurin koko kapasiteetti tuli käyttöön. Kuivausilmavirta oli 560 m³/h, puhaltimen antama paine 500 Pa (arvio) ja puhaltimen ottoteho 200 W.

Kokeen tulos: materiaalin massa kuivauksen jälkeen 17,9 kg, poistunut vesimäärä 42,9 kg, loppukosteus 49 %. Kuivausaika 31 h, jolloin kuivumisnopeudeksi tuli 1,4 kg/h. Laskennallinen lämmitystehon tarve (keskimääräinen) 3,7 kW. Lämmitysenergian tarve 115 kWh/kuivausjakso, eli 1,9 kWh/kg (tuorekilo). Puhaltimen energian kulutus 6,2 kWh/kuivausjakso, eli 0,1 kWh/kg (tuorekilo). Energian kokonaiskulutus per tuorekilo 2,0 kWh/kg.

Tällä kuivurilla kuivaustulos oli heikko. Loppukosteus jäi liian korkeaksi ja kuivauslaatikoiden väliset erot suuriksi.

Alhainen kuivausnopeus ja siitä seuraava pitkä kuivausjakso johtui pienestä kuivausilmavirrasta ja epätasaisesta kuivumisesta. Kuivausilma ei virrannut tasaisesti kaikkien kuivaustasojen kautta vaan kanavoitui kahdelle ylimmälle tasolle. Kun nämä tasot saavuttivat loppukosteutensa, muiden tasojen kuivuminen lakkasi, koska ilma virtasi jo kuivuneiden laatikoiden läpi.

Parannusehdotukset: rakenteelliset muutokset siten, että kaikkien tasojen virtausvastus tulee samaksi. Malmbergs 9 kW lämpöpuhallin korvataan erillisellä keskipakoispuhalimella (toiminta-arvot: ilmavirta 900 m³/h paineen lisäys 800 Pa, ottoteho noin 500W ja lämmitysvastuksella, jonka teho on 5 kW. (3, s. 8,9)

Pyörivän hyllykuivurin testaus Puolangalla 30.6. - 2.7.2004

Testattavassa kuivurissa neljä kuivaushyllyä kiertää vaakalieriön muotoisen kuivurin vaipan keskiakselin ympäri.

Kuivattavana materiaalina tuore ratamon lehti (5,27 kg) ja tuore, silputtu väinönputki (2,45 kg). Täytös yhteensä 7,72 kg. Ratamoa panostettiin kolmeen koriin ja väinönputkea yhteen. Täytös oli vajaa, arviolta noin 50 % täydestä.

Puhaltimena käytettiin Nederman (art.no 522311) -keskipakoispuhallinta, ja lämmittimenä 10 kW vastuslämmittintä. Ilmavirtausta kuristettiin kuivurin vaipassa olevalla poistoilmaluukun asennolla.

Kuivausilmavirta oli 740 m³/h, puhaltimen antama paineen nousu 1070 Pa, puhaltimen akseliteho 400 W ja puhaltimen ottoteho 500 W.

23.11.2007

Kokeen tulos: materiaalin kokonaismassa kuivauksen jälkeen 2,00 kg, vettä poistunut 5,72 kg, loppukosteus 23 %. Kuivausaika 16 h, kuivausnopeus 356 g/h.

Laskennallinen lämmitystehon tarve 4,9 kW, lämmitysenergian kulutus 79 kWh/kuivausjakso, eli 10,2 kWh/kg (tuorekilo). Puhaltimen energiankulutus 8 kWh/kuivausjakso, eli 1,0 kWh/kg (tuorekilo). Kokonaisenergiankulutus 11,2 kWh/kg.

Kuivaustulos oli hyvä eikä kosteus eroja eri koreihin sijoitetun materiaalin välillä ollut. Energian käytön kannalta tulos sitä vastoin ei ollut tyydyttävä. Perussyynä tähän oli kuivurin kokoon ja panostettuun materiaalmäärään nähden liian suuritehoisen puhaltimen ja lämmitysvastuksen käyttö. Lämmitetyn kuivausilman kuivauskapasiteetista käytettiin vain pieni osa.

Parannusehdotukset: Käytettäessä tätä kuivuria täydellä panoksella (30 kg ... 40 kg) sopiva puhaltimen mitoitus on seuraava: ilmavirta 300 m³/h, paineen nousu 600...1000 Pa, akseliteho 150...200 W, suositeltava puhallintyyppi keskipakoispuhallin, lämmitys elementti 2 kW. (3, s. 10,11)

Yhteenveto kesän 2004 kuivurikokeista

Hyllykuivurin toiminta-arvot 100 kg:n panokselle ja 40 °C kuivauslämpötilalle

Kuivausilma virta	1200 ... 1500 m ³ /h
Puhaltimen antama kokonaispaine	900 ... 1200 Pa
Puhaltimen akseliteho	800 ... 1000 W
Puhallintyyppi	keskipakoispuhallin
Lämmitysteho	8 ... 10 kW

Näillä toiminta-arvoilla saadaan panos kuivaksi noin 16 tunnin kuivausjakson aikana. Energian kulutus on noin 1,3 kWh/kg tuoretta materiaalia. Kokeissa lämmitetyn kuivausilman kuivauskapasiteetti tuli hyväksikäytetyksi vain noin 30 %:sti.

Kuivurikehitys ELLA-hankkeessa

Kiinteä hyötykasvikuivain

Ella-laittekehityshankkeen eräs tavoite oli esimitoittaa kuivaamo mukana olleelle yrittäjälle. Käsittelyhallin pinta-ala oli n. 72 m², josta kiinteälle hyötykasvikuivaimelle varattu pinta-ala oli 16 m². Mitoittamisen perustana oli kuivaimen käyttö ruusunjuuren kuivaamiseen. Kuivaimen kuivauskapasiteetti tuli olla n. 500 kg tuoretta ruusunjuurta per vuorokausi. Ruusunjuuren rakenne mahdollistaa vain n. 3 cm:n paksuisen kuivauskerroksen (kuivauksen aikainen möyhminen heikentää lopputuotteen aromiarvoja). näiden lähtöarvojen perusteella sopivimmaksi kuivaintyyppiä valittiin hylly- ja lava-kuivaimen yhdistelmä. (4, s. 21)

23.11.2007

Kuivaimen kokonaispituudeksi tuli 8 000 mm, leveydeksi 1 600 mm ja korkeudeksi hyllykuivain varustuksella 1 670 mm, käytettäessä kuivainta lava-kuivaimena korkeus oli 650 mm. Kuivaimen tuli kuusi hyllyä, joille mahtui yhteensä 96 kuivauslaatikkoa. Yhden kuivauslaatikon mitat olivat 800 x 600 x 200 mm. (4, s. 22)

Kuivaimessa oli galvanoidusta rhs-putkesta tehty runko ja käyttäjän mieltymysten mukaan joko vaneri- tai teräslevy katteet. Kuivaimen tuli 2 kpl keskipakopuhaltimia, jotka sijoitettiin kuivaimen vastakkaisiin päätyihin, perusrungon päälle. Kuivaimen poistoilmaa tarkkailtiin lämpötila- ja kosteusanturilla. Kuivaimen toimiessa hyllykuivaimena poistoilmakanavaan asennetaan talteenottoyksikkö, jolla lämmitetään tuloilmaa. (4, s. 23)

Kuivaimen energiantarpeen määrittely tehtiin ruusunjuuren ominaisarvojen pohjalta. Ruusunjuuren märkätiheys on 370 kg/m^3 ja kuivatiheys 8 %:n kosteudessa 148 kg/m^3 . Kuivaimen tuorepanostus oli 500 kg eli $1,35 \text{ m}^3$, joten materiaalin kuivamassaksi tuli 200 kg. Tavoitteellinen kuivausaika oli 20 tuntia lämpötilaerolla $\Delta t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$. Näillä arvoilla kuivaimen kuivaustehoksi tulisi $14,2 \text{ kg/h}$ (vettä). (4, s. 24)

Tarvittavan ilman massavirran arvoksi määritettiin 4043 kg/h eli $0,94 \text{ m}^3/\text{s}$. Laskennalliseksi lämmitystehon tarpeeksi määritettiin $48,5 \text{ kW}$ ja lämmitysenergian kulutukseksi $970 \text{ kWh/kuivausjakso}$. Puhaltimen laskennalliseksi tehontarpeeksi hyötysuhteella 0,9 määritettiin $1,25 \text{ kW}$, jolloin puhallinenergian kulutukseksi tulisi $25 \text{ kWh/kuivausjakso}$. Näistä arvoista kokonaisenergiankulutukseksi ruusunjuurelle saatiin $1,99 \text{ kWh/kg}$ (tuoretta ruusunjuurta). (4, s. 25, 26)

Liikuteltava kasvikuivuri

Kuivurin mitoituksen perustana oli käyttäjätaholta tullut toive, että laite pysyisi kerrallaan kuivaamaan n. 100 kg tuoretta mustikanversoa. Laite suunniteltiin henkilöauton peräkärkyssä kuljetettavaksi. (5, s. 27)

Aiempien mittausten perusteella energiatehokkain kuivaustulos saavutetaan, kun puhaltimen tuottama ilmavirta on $140 \text{ m}^3/\text{kuivattava m}^2$. Liikuteltavan kasvikuivurin kehitysversion kuivauspinta-ala oli $17,5 \text{ m}^2$, joten kokonaisilmamäärän tarpeeksi määritettiin $0,68 \text{ m}^3/\text{s}$. Puhaltimen laskennalliseksi tehontarpeeksi määritettiin 680 W . (5, s. 27, 28)

Lämmitysvastuksen laskennalliseksi tehontarpeeksi määritettiin $16,32 \text{ kW}$, mutta koska maksimi-ilmavirtaa oletettiin käytettävän vain harvoin, kuivaimen suositeltiin 12 kW:n lämmitintä. (5, s. 29, 30)

Lämpötila- ja kosteusantureiksi kuivaimen suunniteltiin 2- tai 4-johdintekniikalla toimivia suhteellisen kosteuden mittalaitteita. puhaltimen säätöön suunniteltiin PID-säätimellä varustettua $0,4...4,0 \text{ kW:n}$ tehoalueen taajuusmuuttajaa. (5, s. 31)

23.11.2007

Kuivaimeen suunniteltiin kaksi säätöpiiriä, MIC ja TIC. MIC-piiri säätää puhaltimen kierrosnopeutta kosteusanturin mittaustulosten perusteella. TIC-piiri säätää puhaltimen kierrosnopeutta lämpötilanturin mittaustulosten perusteella. Säätöpiireihin suunniteltiin GSM-ohjausmahdollisuus. GSM-ohjaus ilmoittaa vastuuhenkilön matkapuhelimeen tekstiviestillä mahdolliset anturiviat ja liian suuret poikkeamat lämpötilan tai kosteuden asetteluarvosta. (5, s. 31, 32)

Pudotuskuivain, 3 tasoa

3-tasoisessa pudotuskuivaimessa ritilälevypohjaiset kuivauslaatikot (3 kpl) sijoitettiin päällekkäin. Toimintaperiaatteena oli, että tuoreen kasviaineksen panostus tehtäisiin aina ylimpään laatikkoon ja kuivan materiaalin talteenotto tapahtuisi alimmasta laatikosta. Kokonaisuudessaan kuivausprosessin suunniteltiin etenevän seuraavasti: ylin laatikko panostetaan täyteen tuoretta materiaalia, jonka annetaan kuivua määrätty aika; tämän jälkeen ylimmän laatikon pohjaritilä vedetään ulos siten, että hieman kuivunut materiaali putoaa alemmalle tasolle; nyt ylimmän laatikon pohjaritilä työnnetään takaisin paikoilleen ja laatikko panostetaan täyteen tuoretta materiaalia; kuivurin annetaan taas käydä määrätty aika, jonka jälkeen materiaalit pudotetaan vuorotellen yhtä tasoa alemmas ja ylimmälle tasolle panostetaan tuore-erä; kun kuivuri nyt on käynyt aikansa voidaan alimmasta laatikosta kerätä kuiva materiaali talteen. Tämä sykli toistuu uudelleen ja uudelleen.

Päällekkäisiin kuivauslaatikoihin päädyttiin, koska mittauksissa oli havaittu, ettei kuivausilman kuivatuskyky heikkene oleellisesti vielä yhden eikä toisenkaan materiaalikerroksen läpäisyssä (ks. 2, s. 40).

Kuivurin kokonaistilavuus oli 1,8 m³ eli 0,6 m³ per taso. Lämmityselementtinä kuivurissa oli 15 kW:n lämmitysvastus ja puhaltimena 0,37 kW:n keskipakopuhallin. Ohjauksineen kuivurin kokonaistehontarve oli 18 kW.

Kuivurin puhallin oli invertterisäätöinen ja se ohjaus hoidettiin kosteusanturin mittaustiedon pohjata. Lämmitysvastuksen tehoa voitiin säätää kolmiporaisella asteikolla lämpötilanturin mittaustiedon pohjalta. Kuivurin ilma-venttiilejä ohjattiin kosteusanturien avulla. Kuivurin invertterissä oli PID-sisääntulo kosteusanturin signaalille.

Pudotuskuivain, 2 tasoa

2-tasoinen pudotuskuivain on toimintaperiaatteeltaan täsmälleen samanlainen kuin 3-tasokuivainkin. Tuore kasviaines panostetaan aina ylempään laatikkoon ja kuiva materiaali otetaan talteen alemmasta laatikosta.

Myös ohjaus oli periaatteiltaan vastaava 3-tasokuivurin kanssa. kokonaistilavuus 2-tasokuivurissa oli 1,2 m³ eli 0,6 m³ per taso. Lämmityselementtinä 2-tasokuivurissa oli 12 kW:n lämmitysvastus ja puhaltimena 0,55 kW:n keskipakopuhallin. Kokonaistehontarve ohjauksineen oli 15 kW.

23.11.2007

3 lohkoinen lavakuivain

Lavakuivaimen rakenne oli kaksipohjainen lavarakenne, jossa ylempi lava oli ilmaa läpipäästävää ritilälevyä. Kuivattava materiaali lastattiin ritilälevyn päälle ja sen alle puhallettiin lämmitettyä ilmaa. Ritilälevyn alla oleva pohjalevy asennettiin ilman virtaussuuntaan nousevaksi tasaisen kuivaustuloksen saavuttamiseksi. Kuivain koostui kolmesta peräkkäisestä lohkoista, jotka voitiin tarvittaessa erottaa väliseinillä.

Tilavuutta kuivuriin tuli 0,75 m³ per lohko eli yhteensä 2,25 m³. Kuivurissa suunniteltiin käytettävän yrittäjällä jo valmiiksi olevaa lämmityselementtiä ja puhallinta tai valmista lämpöpuhallinta.

4 kerroksinen laatikkokuivain

Kuivaimessa oli 0,14 m³:n vetoisia kuivauslaatikoita neljässä kerroksessa. Kuivaimen kokonaistilavuus oli 6,90 m³.

Lämmityselementtinä kuivurissa oli 15 kW:n lämmitysvastus ja puhaltimena 0,37 kW:n keskipakopuhallin. Ohjauksineen kuivurin kokonaistehontarve oli 18 kW.

Kuivurien kehitys KATE-hankkeessa

Kasvikohtaisten kuivumisarvojen tutkiminen

KATE-hankkeessa kasvikohtaisia kuivumisarvoja tutkittiin mustikanverson ja katajanverson osalta. Tutkimuksissa käytettiin KBF 115 – olosuhdekaappia. Olosuhdekaapin sisälämpötilaa ja sisäilman suhteellista kosteutta voidaan säädellä. Testejä ajettiin molemmilla materiaaleilla useita kertoja siten, että kaikissa testeissä lämpötila pidettiin vakiona +40 °C:ssa, mutta suhteellista kosteutta muutettiin testiajojen välissä välillä 40...90 %r.H. (yksi testiajo ajettiin aina vakio-olosuhteilla esim. 40 °C ja 60 %r.H.; seuraavaan ajoon kosteusarvo vaihdettiin).

Testit suoritettiin siten, että olosuhdekaappiin punnittiin erä tuoretta testimateriaalia verkkolevyastiassa, joka sitten käytiin punnitsemassa muutaman tunnin välein. Näin pyrittiin saamaan jokaiselle suhteellisen kosteuden arvolle oma kasvikohtainen kuivumiskäyränsä, joka olisi massan suhteellinen vähenemä ajan funktiona.

Kuivumiskäyriä saatiinkin piirrettyä, ja ne noudattivat yksittäin tarkasteltuna mm. VAKOLAn tiedotteessa 77/98 (s. 4) esiteltyä tyypillistä kuivumiskäyttäytymistä. Testien tuloksia yhteenvedettäessä kuitenkin ilmeni, etteivät samoilla olosuhteilla eri ajankohtina ajettujen testien tulokset vastanneet toisiaan, eivätkä eri suhteellisella kosteudella ajettujen testien tulokset käyttäytyneet loogisesti. Yhtenä mahdollisena selityksenä tähän tarjottiin materiaalin ominaisuuksien luonnollista muuttumista testiajojen välillä.

23.11.2007

Mittausjärjestelmän rakentaminen 2-kerroskuivuriin

KATE-hankkeen aikana rakennettiin taltioiva mittausjärjestelmä kuivuriyksikköön, johon oli asennettu kaksi 2-kerroskuivuria peräkkäin. Kuivuriyksikössä oli käytössä kuivausilmankierrätysjärjestelmä. Yhtenä mittausjärjestelmällä saatavien tietojen käyttötarkoituksena olikin löytää optimaaliset kuivausilmankierrätysasetukset. Toisena tavoitteena mittausjärjestelmälle oli kuivuriyksikön energiatehokkuuden parannuskohteiden löytäminen ja kuivausajankäytön optimiarvojen hahmottaminen.

Mittausjärjestelmä koostui lämpötila-, ilmankosteus-, virtausnopeus- ja energiankulutuksen mittauksesta useissa kohdissa, sekä graafisesta käyttöliittymästä. Lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin seitsemästä kohdasta: tulo- ja lähtöilmaputkesta, materiaalin alapuolelta, kummankin kammion alemman materiaaliapatjan yläpuolelta sekä kummankin kammion ylemmän materiaaliapatjan yläpuolelta. Ilman virtausnopeus mitattiin tuloilman putkesta, kuivausilman kierrätysputkesta ja molempien kammioiden poistoilmakanavasta. Energiankulutusmittari oli kytkettynä termostaattiohjattuun lämmitysvastukseen, puhallin toimi vakioteholla, joten sen energiankulutus voitiin laskea mittaamatta.

Mittaustietojen kokoaminen, tallentaminen ja graafinen esittäminen hoidettiin LabView-ohjelmalla rakennetulla sovelluksella. Labview-sovellukseen lisättiin myös mahdollisuus seurata graafista käyttöliittymää ja imuroida mitaustietoja Internetin kautta.

Toni Hämäläinen
kehitysinsinööri

23.11.2007

LÄHDELUETTELO

1. Rantapirkola, Tapani 2006. Kasvikuivurin kehitys. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja liikenteen yksikkö. Raportti.
2. Määttä, Ville 2006. Kasvinkuivaimen energiataloudellinen tarkastelu. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja liikenteen yksikkö. Opinnäytetyö.
3. Rantapirkola, Tapani 2004. Kasvikuivurien kehitys, loppuraportti. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja liikenteen yksikkö. Raportti.
4. Laukkanen, Timo 2005. Kiinteän hyötykasvikuivaimen kehittäminen. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja liikenteen yksikkö. Opinnäytetyö.
5. Koivuranta, Henrik 2005. Liikuteltavan kasvikuivurin kehitys. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja liikenteen yksikkö. Opinnäytetyö.
6. Pikkupeura, Kari 2006. Aurinkokerääjä. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja liikenteen yksikkö. Yhteenveto.
7. Pikkupeura, Kari 2006. Kasvimassan kuivauslaite. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja liikenteen yksikkö. Yhteenvetoraportti.
8. Pyykkönen, Markus 1998. Yrttikuivurin suunnittelu ja käyttö. VAKOLAn tiedote 77/98. Maatalouden tutkimuskeskus. Vihti.

23.11.2007

Lisätietoa aiheesta:

Lampinen, Petra – Leskinen, Marita – Särkkä-Tirkkonen, Marjo 2002. Yrttien laatu: mikrobit hallintaan. Mikkeli: Helsingin yliopisto, Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus. Seminaariaineisto.

Sillanpää, Liisa 1993. Kasvikuivaimet vertailussa. Työtehoseuran kotitaloustiedote 4/1993 (480). Työteho-seura. Helsinki.

Partanen, Birgitta 2004. Biomi Oy taikoo uusia mahdollisuuksia luonnontuotteille. Luonnontuotealan teemaryhmän lehti 1/2004. Padasjoki: Biomi Oy.

Homehaitat ryömintätiloissa. 1999. Esite. Kryotherm OY. Itäsalmi.

Vege Dryer 500. 2004. Esite. Wegebon Biology. Siikainen.

Wind-Dry puutavaran lauhdekuivaajat. 2002. Esite. Innocool. Suonenjoki.

Kosonen, Matti 1999. Rumpukuivurimallista toimivaksi tuotantolaitteeksi. Luonnontuote-tiedote 1/99. Villala: Kesvent Oy.

Pääkkönen, Kirsti 1999. Yrttien ja vihannesten kuivaus kehittyy. Puutarha & kauppa 43/99. Villala: Kes-vent Oy.

Itkonen, Anja 1998. Kiteellä rakennettiin uudenlainen luonnontuotekuivuri. Karjalainen 26.9.1998. Kitee.

Haatainen, Marjo 1999. Yrtit ja marjat kuiviksi tehokkaasti. Länsi-savo 10.8.1999. Hirvensalmi.

Leppänen, Risto 1999. Yrtit kuiviksi Savonlinnassa. Itä-Savo 11.8.1999. Savonlinna.

M 150-300k vaunukuivurit. 2001a. Esite. Mepu Oy. Yläne.

Eki 60s ja 120s. 2001b. Esite. Mepu Oy. Yläne.

Lämpölinja. 2002. Esite. Mepu Oy. Yläne.

Pakkanen, Santeri 2005. Vapo kuivattaa biomassaa aurinkoenergialla. Tekniikka&talous 12.5.2005. Kih-niö.

Lajunen, Marja 2005. Mikroaallot näkymätön apulainen. Kaleva 15.5.2005.

Hyötykasvikuivuri Pikku Orakas. 2006. Esite n:o 5210. Orakas tuotteet OY. Lemi.

Kuivaa Sopu-kuivurilla. 2006. Esite. Mesiheinä Ky.

Otsonin käytöstä tuoretuotevalmistuksessa. 2005. Moniste. AWEL Technologies Oy. Hämeenlinna.

Infrapunakuivaus. 2005. Esite. AWEL Technologies Oy. Hämeenlinna.

23.11.2007

OTSONI (O₃) ja Sovellukset. 2004. Moniste. AWEL Technologies Oy. Hämeenlinna.

Pyykkönen, Markus 1998. Yrttikuivurin suunnittelu ja käyttö. VAKOLAn tiedote 77/98. Maatalouden tutkimuskeskus. Vihti.

Hovi, Antti 1994. Kotimaisten yrttien jatkojalostusprojekti. Loppuraportti vuosilta 1992 – 1994. Lahti: Helsingin yliopisto, Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus.

Pääkkönen, Kirsti 2000. Kuivaustekniikan kehittäminen luonnontuotteiden pientuotantoon. Loppuraportti vuosilta 1998 – 1999. Helsinki: Helsingin yliopisto, elintarviketeknologian laitos.

Pääkkönen, Kirsti 1998. Rumpukuivurin mallikone toimii odotetusti. Luonnontuote-tiedote 2/98. Helsinki: Helsingin yliopisto, elintarviketeknologian laitos.

Pääkkönen, Kirsti 1999. Metsäsienten raskasmetallipitoisuustutkimus. Luonnontuote-tiedote 1/99. Helsinki: Helsingin yliopisto, elintarviketeknologian laitos.

Galambosi, Bertalan 1994. Yrttien kuivatus ja kuivatuslaitteet. Puutarha 7B/94.

Pääkkönen, Kirsti – Sorsa, Seppo – Mattila, Mirjami 1998. Viljeltävien yrttikasvien ja luonnonkasvien kuivaustekniikan kehittäminen. Kirjallisuustutkimusraportti. Helsinki: Helsingin yliopisto, elintarviketeknologian laitos.

Hannukkala, Antti – Heinonen, Alpo – Rantala, Marjatta – Salow, Harri – Mäkitalo-Ylitalo, Irja 1995. Tuotantomittakaavaisen yrttikuivauksen vertailututkimus. Loppuraportti. Lapin Maaseutukeskus r.y.

Sariola, Juha – Tuunanen, Lauri – Paavola, Jarmo – Ahokas, Jukka 1990. Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö. VAKOLAn tutkimusselostus 57. Vihti.

Tekijä ei tiedossa 2000. Luomun koneet ja laitteet. MTT. Mikkeli.

Sillanpää, Liisa – Janhonen, Hille 1994. Säilö kuivaamalla. Työtehoseuran kotitaloustiedote 3/1994 (494). Työtehoseura. Helsinki.

Kokoontaittava elintarvikekuivuri. Vuosi ei tiedossa. Esite. Sopotuote Oy. Rovaniemi.

Myllylä, Ismo 2005. Biomassakuivuri uudistaa turvetuotantoa. Vapoviesti 1/2005.

Alakomi, T. – Kivinen T. – Mikkola, H. – Sarin, H. 2000. Ajonkestävä monikäyttöinen kylmäilmakuivuri. VAKOLAn rakenneratkaisuja 8:16 p. MTT

JABLOKO-infrapunakuivuri ja FERUZA-yleiskuivurit. 2004. Esite. Myllyposti OY. Kaarina.

Antti tarjoaa kuivuritekniikan kehittyneimmät ratkaisut. 2003. Esite. Antti-teollisuus OY. Kanunki.

Mepu siilokuivurit, WB kuivurit, kuivuripaketit, lämminilmakehittimet, Hot Bio Box polttolaitos. 2004. Esite. Mepu OY. Yläne.

LKT paisto-, säilytys- ja peltivaunut, työpöydät. Vuosi ei tiedossa. Esite. Leipomokoneteollisuus LKT Oy. Hyvinkää.