



MORENPBIZ.

More Natural Product Business by Enhanced Quality and Energy Efficiency of Drying

Lavakuivuri kasvien kuivaamiseen

Peräkärrikuivurin rakennusprojekti

Jaana Väisänen ja Teemu Huotari, Oamk Tekniikan ja luonnonvara-alan yksikkö

Johdannoksi

Olemme tähän julkaisuun koonneet asioita, joita lavakuivuria suunnittelevan rakentajan tulisi ottaa huomioon ennen rakennusprojektin alkua. Kuivurin suunnittelussa kannattaa käyttää asiantuntijoita, joita tosin ei ole liiaksi asti. Julkaisun loppuosassa kerromme tarinan peräkäräkuivurin suunnittelun ja rakentamisen vaiheista ja kompastuskivistä. Kuivuri siitä kuitenkin tuli, vaikka aika lailla noviisipohjalta sitä lähdettiin suunnittelemaan ja rakennuttamaan.

Sisällysluettelo

1 Lavakuivurin mitoittaminen ja laitteet

- 1.1 Runkorakenne
- 1.2 Puhaltimen mitoitus
- 1.3 Lämmittimen mitoitus
- 1.4 Tulo- ja poistoilmakanavat
- 1.5 Muut laitteet ja ohjaus

2 Ilmanohjaus ja lavakuivurien tyyppiviat

- 2.1 Ohjauslevyt ilmannopeuksien säätämisessä

3 Energian säästö poistoilmaa kierrättämällä

- 3.1 Kierrätys käytännössä

4 Hankkeessa rakennetun peräkäräkuivurin tarina

- 4.1 Suunnittelua
- 4.2 Suunnittelusta toteutukseen
- 4.3 Poistoilman kierrätys peräkäräkuivurissa
- 4.4 Kuivurin ohjauksen suunnittelu
- 4.5 Johtopäätökset peräkäräkuivurin suunnittelusta ja rakentamisesta

5 Lähteet

1 Lavakuivurin mitoittaminen ja laitteet

Kasvikuivuria rakentaessa lähtökohtana on tarpeen mukainen kuivurin mitoitus. Montako kiloa tuoretta raaka-ainetta pitää saada kuivattua kerralla? Se, onko raaka-aineen saanti päivittäistä vai satunnaista, vaikuttaa myös rakennettavan kuivurin tyyppiin. Kuivuri voi siten olla eräkuivuri tai jatkuvatoiminen. Pääosa meillä käytettävistä kuivureista on eräkuivureita (kaappikuivurit ja lavakuivurit). Jatkuvatoimisia ovat pudotuskuivuri ja hihnakuivuri.

Joustavan ja jatkuvan toiminnan kannalta hyvä ratkaisu voi myös olla kahden eräkuivurin järjestelmä, jossa iso kuivuri vastaanottaa tuoreet raaka-aineet ja kuivaa tuotteet lähes valmiiksi. Pienemmäksi kutistunut massa siirretään loppukuivaukseen pienempään kuivuriin, jossa tehdään loppukuivaus. Vain osittain kuivuneet paksut kasvien varsiosat voi siirron yhteydessä lajitella pois, jos niillä ei ole hyötykäyttöä, ja kuivata vain lehtimassa loppuun asti.

Kuivurin erä koko vaikuttaa puolestaan tarvittavan ilmamäärän ja lämpötehon suuruuteen. Nämä voi laskea alempana esitetyillä laskenta-kaavoilla.

1.1 Runkorakenne

Ensimmäinen askel on kuivurin rakenteen suunnittelu. Elintarvikeviranomaisten ohjeistuksen mukaan kasvimateriaalin kanssa kosketuksissa olevat pinnat tulisi olla ruostumatonta terästä tai elintarvikemuovia. Muiden osien, kuten ilmanakanavan materiaali voi periaatteessa olla mitä materiaalia tahansa, kunhan siitä ei irtoa epäpuhtauksia kuivausilmaan. Varsin yleisesti on käytetty runkona puuta ja seinämissä ns. maatila- tai filmivaneria, jonka pinnat ovat helposti puhdistettavissa. Filmivanerin valmistuksessa käytetään liimoina formaldehydi-fenoliyhdisteitä. Liima näkyy vanerissa tumman ruskeina raitoina. Modernit vanerien liimat eivät sisällä liuottimia eikä niistä haihdu haitallisia yhdisteitä ilmaan. Hyvä tietopaketti asiasta on Puuinfo.fi-sivustossa. (<https://puuinfo.fi/puutieto/insinööri tuotteet/puurakentamisen-liimat/>).

1.2 Puhaltimen mitoitus

Sopivan kokoisen ja tyyppisen puhaltimen valintaa varten täytyy ensin selvittää kuivauksessa tarvittava ilmavirta (m^3/h tai l/h) sekä kasvimassasta ja kuivurin osista koostuva vastapaine (bar). Mikäli kuivurissa on muita huomattavia painevastusta aiheuttavia osia kuten ahtaita kanavia, mutkia, ririläpohja tai ilmansuodatin, lasketaan kaikki painevastukset yhteen.

Tarvittava ilman tilavuusvirta [m^3/h] voidaan laskea kaavalla

$$Q_v = A * x * 3600$$

Missä

A = Kuivaustason pinta-ala [m^2]

x = tavoiteltu ilmannoisuus kuivaustason läpi [m/s]

Vastapainetta aiheuttavat kasvimateriaali, mahdolliset puristukset ja mutkat kanavistossa sekä toimilaitteet kuten ilmansuodatin tai lämmitin. Myös ilman tilavuusvirta vaikuttaa paineen syntymiseen, joten laskelmat ilmavirrasta on tehtävä ennen kuin painevastuksia voidaan arvioida. Eräiden kasvimateriaalien aiheuttamia vastapaineita eri kosteuksissa on listattu muun muassa MoreNPBiz-hankkeessa julkaistuun raporttiin "Luonnon-raaka-aineiden-kuivauslaitteiden-toimivuus-ja-energiatohokkuus" (Väisänen & Huotari 2021). Tarkoituksenmukaista on, että mitoitettaessa selvitetään suurin mahdollinen vastapaine, joka puhaltimen on kyettävä voittamaan. Myös Pyykkönen ym. (1998) arvioivat, että kun lavassa kuivausilman nopeuden halutaan olevan 0,25 – 0,3 m/s on sen

tilavuusvirran oltava 985 m³/h neliometriä kohti. Tällöin tuoreen 30 cm korkean yrttipatjan aiheuttama vastapaine on noin 100 – 150 Pa ja kuivauslaitteiston (kanavat, ririläpohja) 250 – 300 Pa.

Kun ilmavirta ja vastapaine ovat tiedossa, voidaan kääntyä ammattilaisen puoleen ja pyytää tarjous sopivasta puhaltimesta. Mikäli puhaltimen pitää kyetä toimimaan korkeiden vastapaineiden olosuhteissa, soveltuu käyttöön paremmin radiaalipuhallin. Aksiaalipuhallin puolestaan soveltuu prosessiin, jossa tarvitaan suuri ilmavirta, mutta vastapaineet ovat pienempiä. Koska vaaditun ilmavirran arvioinnissa voi olla epätarkkuuksia ja eri tilanteissa voidaan haluta käyttää eri ilmavirtoja, kannattaa puhaltimeen hankkia myös kierrosnopeuden säädin, eli taajuusmuuttaja.

1.3 Lämmittimen mitoitus

Lämmittimen mitoitukseen vaikuttavat haluttu kuivauslämpötila, ilmavirta sekä kuivuriin imettävän tuloilman lämpötila. Lämmittimen tulee olla riittävän tehokas, jotta tavoitelämpötila saavutetaan. Toisaalta lämmittimen teho määrittää pienimmän sallitun ilmavirran, jolla lämmitintä saa käyttää.

Lämmittimeltä vaadittu lämmitysteho voidaan laskea kaavalla

$$\Phi = \frac{Q_v}{3600} * \rho * c_p (T_2 - T_1)$$

Missä

Q_v = Ilman tilavuusvirta [m³/h]

ρ = ilman tiheys [kg/m³]

c_p = ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg*K]

T_2 = kuivausilman tavoitelämpötila

T_1 = tuloilman lämpötila

Tässä yhtälössä voidaan riittävällä tarkkuudella käyttää ilmalle arvoja $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ja $c_p = 1,0 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{K}$. Suurin vaadittu lämpötehon tarve saadaan, kun käytetään alinta tuloilman lämpötilaa, jolla kuivuria todennäköisesti käytetään, sekä suurinta kuivauksessa käytettävää lämpötilaa. Tuloilman ja kuivausilman lämpötilaeron kasvaessa myös lämmittimen tehontarve nousee. Kun vaadittu lämmitysteho, kuivauksessa käytettävät lämpötilat ja ilman tilavuusvirta tiedetään, voidaan pyytää lämmitintarjousta laitevalmistajilta.

Lämmittimen tulee olla termostaattiohjattu, jotta kuivausilman lämpötila on kontrolloitavissa. Termostaatin tulee myös olla riittävän laadukas, jotta kuivauslämpötila ei heittele liikaa asetusarvosta. Riittävänä tarkkuutena voidaan pitää korkeintaan 5 °C vaihtelua. Termostaatti tulee sijoittaa siten, että se mittaa kuivausilman lämpötilaa eikä häiriinny lämpövastusten lämpösäteilystä.

1.4 Tulo- ja poistoilmakanavat

Kuivurit sijoitetaan yleensä lämmittämättömiin rakennuksiin. Konvektiokuivuri tuottaa varsinkin kuivausprosessin alkuvaiheessa paljon kosteata, lämmintä ilmaa. Tämä kostea ilma pitää saada poistettua rakennuksesta, sillä muuten kuivuri kierrättää kostean poistoilman takaisin tuloilmaksi. Tällöin kosteaan tuloilmaan ei enää pysty sitoutumaan kosteutta kuivattavasta materiaalista, ja kuivuminen hidastuu. Kuivuriin tulisi rakentaa rakennuksesta ulos menevä riittävän suurikokoinen poistoilmakanava, jotta kosteus saadaan poistettua sisätilasta.

Poistoilmakanavassa voi myös olla puhallin, joka tehostaa ilman poistumista.

Tuloilma joudutaan usein ottamaan ainakin osittain rakennuksen ulkopuolelta. Tuloilma voi tietysti olla myös osittain lämmennyt ulko- ja sisäilman sekoitusta. Yleensä Suomessa keväällä tai syksyllä tehtävissä kuivauksissa ulkolämpötila liikkuneen haarukassa 10 °C - 15 °C.

Poistoilmassa olevaa lämpöä voi käyttää uudelleen tuloilmakanavaan ajamalla poistoilma lämmönsiirtimen läpi. Toinen vaihtoehto on kierrättää lämmintä poistoilmaa suoraan tuloilmakanavaan. Tämä kannattaa tehdä vasta kuivausprosessin puolivälissä, jolloin poistoilman suhteellinen kosteus on jo ehtinyt laskea alas. Valmiiksi lämmin ilma pystyy edelleen sitomaan itseensä kosteutta kuivattavasta materiaalista.

Tulo- ja poistoilmakanaviksi sekä poistoilman kierrätyskanavaksi käy tavallinen ilmastointiputki.

1.5 Muut laitteet ja ohjaus

Puhaltimen ja lämmittimen valinnan jälkeen täytyy vielä suunnitella, miten ne liitetään yhteen ja miten niiden ohjaus toteutetaan. Käytännössä suunnitelma teetetään tai vähintään hyväksytetään henkilöllä, jolla on tarvittavat pätevyydet sähkösuunnitelmien tekoon. Varsinaiset kytkennät tekee sähköasentaja. Sähkösuunnitelma kannattaa tehdä ennen kuin sähkö tai ohjauslaitteita tilataan, jotta varmistutaan että laitteet saadaan yhteensopiviksi.

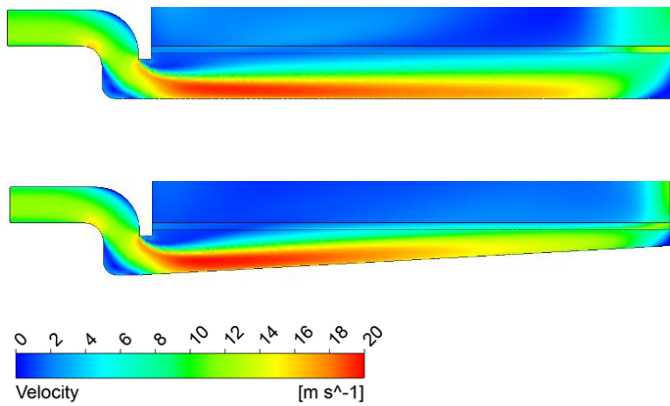
Olennoista on, että lämmitin saa käynnistyä vain, jos puhallin on käynnissä ja se tuottaa lämmittimelle riittävän ilmavirran. Toisaalta puhallinta ei pidä saada kytkettyä pois päältä ennen kuin lämmitin on jäähtynyt. Laitteistossa on myös hyvä olla HÄTÄ-SEIS-kytkin sekä muut mahdolliset turvatoiminnot, mikäli laite niitä vaatii.

Automatisoimalla puhalluksen, lämpötilan ja ilmankierrätyksen ohjausta voidaan pienentää seuraamisen tarvetta ja siten vähentää työmäärää. Ohjaukseen voi hyödyntää kiinteistöautomaatiossa käytössä olevia logiikoita. Täysin automatisoimalla voidaan saada koko kuivausprosessista itsenäinen, jolloin seuranta ei normaali tilanteissa tarvita ollenkaan.

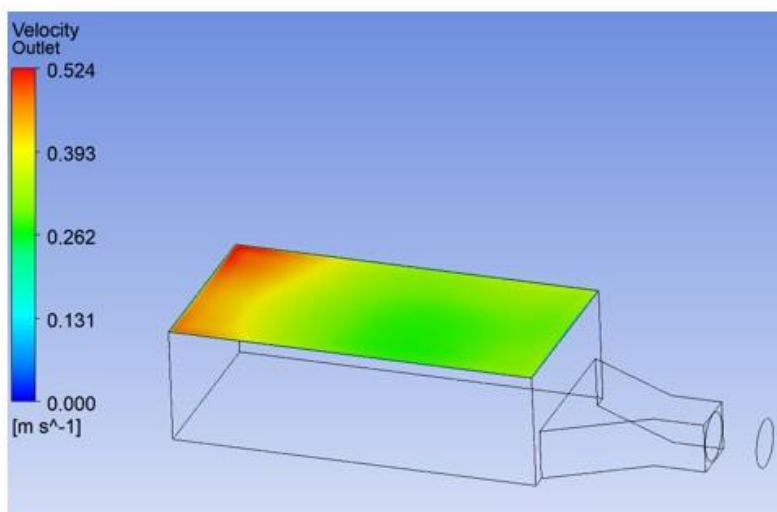
2 Ilmanohjaus ja lavakuivurien tyyppiviat

2.1 Ohjauslevyt ilmannopeuksien säätämisessä

Lavakuivurien tyyppivikana on epätasainen ilmavirran jakautuminen lavassa. Kuivuriin puhallettava ilma pyrkii suuntautumaan kohti peräseinää. Tämä johtaa siihen, että lavakuivurin etuosan ilman liike jää heikoksi ja suurin ilmannopeus havaitaan juuri peräseinän edessä. Myös kuivaustason keskivaiheille voi muodostua alue, jossa ilmavirta on hyvin vähäinen. Simulointimallin rakentamassa sivukuvassa 2.1 näkyy ilmakehän muodon vaikutus lavakuivurin ilmavirran jakautumiseen (Ziegler ym. 2014). Peräseinää kohti kapeneva ilmakehä näyttää mallissa tuottavan hiukan tasaisemman ilmavirran. Peräseinän edessä on kuitenkin voimakas ilmavirta, joka on jonkin verran voimakkaampi kuin suorakaiteen muotoisen kanavan mallissa. Kuvassa 2.2 puolestaan näkyy ilmavirran nopeudet pienen lavakuivurin eri puolilla ylhäältä päin kuvattuna.

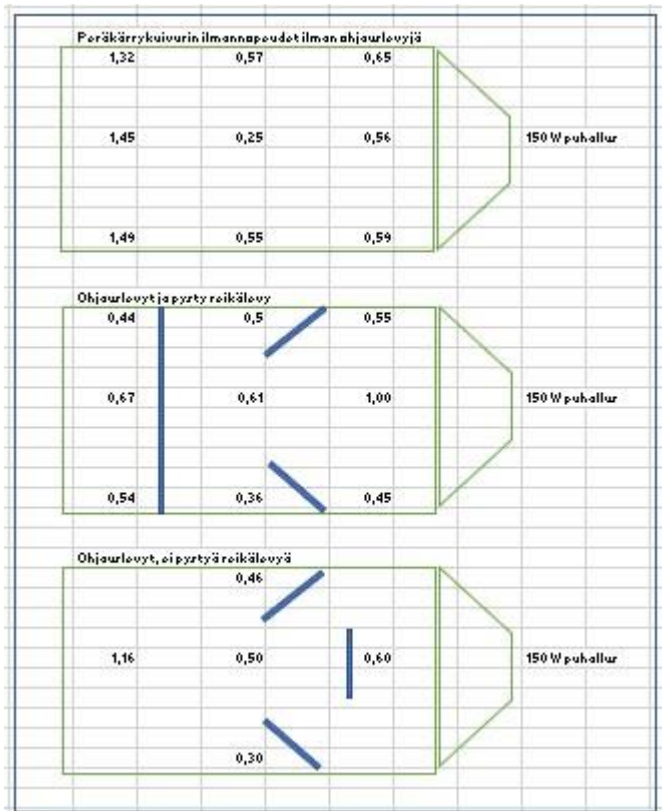


Kuva 2.1: Ilmakanavan geometrian vaikutus ilmannopeuksiin kuivurilavassa (Ziegler ym. 2014).



Kuva 2.2: SolidWorks-simulaatio lavakuivurista, jossa tehokas puhallin painaa pääosan ilmavirrasta kohti peräseinää. Kuva Mikael Risberg, LTU 2020)

Suorakulmainen ilmakanava on yleisin ratkaisu lavakuivureissa. Ilmakanavaan tulisi sijoittaa ohjauslevyjä, joiden avulla saadaan peräosan ilmavirtaa vaimennettua. Ohjauslevyjen sijoittelu harkitaan kuivurikohtaisesti etsimällä kohdat, joihin ilma heikoiten kulkee. Alla esimerkki ohjauslevyjen vaikutuksista ilmannopeuksiin kuivausrilän alla kuivurin ilmakanavassa (Kuva 2.3).



Kuva 2.3: Ilmakanavan ilman nopeudet eri ohjauslevyjä käytettäessä. Pystysuora sininen palkki keskimmaisessa kuvassa on reikälevy, lyhyet palkit ovat riman tai laudan pätkiä.

3 Energian säästö poistoilmaa kierrättämällä

Kuivurin poistoilman lämpö kannattaa kierrättää takaisin tuloilmaan, joko lämmönsiirtimen avulla tai poistoilmaa kierrättämällä. Näin säästetään lämmittimen energiankulutuksessa. Poistoilman kierrätys kannattaa aloittaa vasta sitten kun poistoilman kosteus on laskenut puoleen lähtötilanteesta. Lämmönsiirrintä voi sen sijaan käyttää koko prosessin ajan.

Omien kokeittemme mukaan, jos kierrätys aloitetaan kuivauksen puolivälissä ja kuivausilmasta 40 % kierrätetään uudelleen, tämä vähentää kuivausprosessin energian kulutusta arviolta 20-30%.

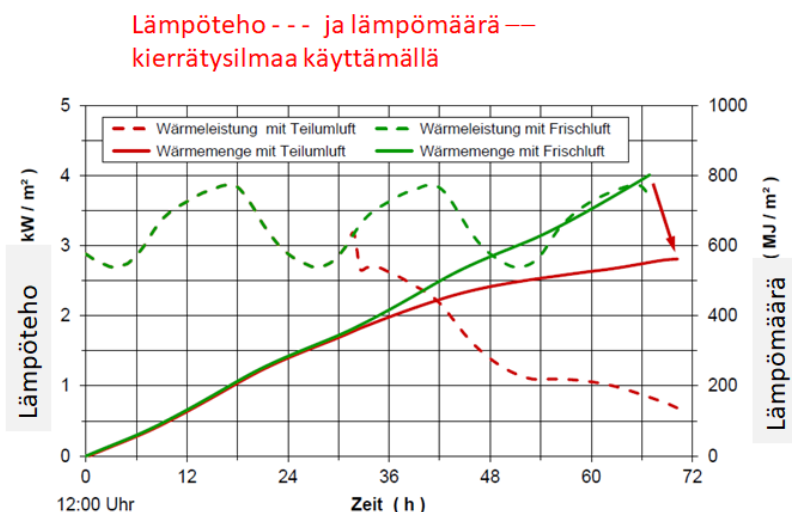


Abb. 4.6: Wärmeleistung und gesamte Wärmemenge pro m² Rostfläche im reinen Frischluft-Betrieb und im geregelten Teilumlufung-Betrieb.

Kuva: Ziegler 2017

Kuva 3.1: Kaaviossa näkyy ilmankierrätyksen vaikutus kuivumisen vaatimaan lämpömäärään (vihreä ja punainen kiinteä viiva) ja lämpötehoon. Ilmankierrätys aloitettiin tässä kokeessa kuivausprosessin puolivälissä, jolloin 78 prosenttia kasvin kosteudesta oli jo poistunut (Ziegler 2017). Kaavion mukaan kuivausaika on niukasti pidentynyt ilmankierrätystä käytettäessä.

3.1 Kierrätys käytännössä

Yksinkertaisimmillaan ilmankierrätys voidaan toteuttaa liittämällä kuivurin poistoaukko ilmastointikanavalla suoraan kuivurin ilmanottoaukkoon. Koska 100% kierrätys suhde ei ole järkevää, tarvitaan tuloilma-aukkoon T-haara, jonka toinen haara ottaa aluksi vain tuoretta tuloilmaa ja toinen haara on pellillä suljettu. Poistoilman lämmitettyä ja sen suhteellisen kosteuden alennuttua avataan poistoilmahaaran säätöpelti. Jotta tuloilman ja poistoilman seossuhde olisi paremmin säädettävissä, molemmissa haaroissa tulisi olla säätöpellit. Jos säätöpellit ei ole, kierrätysilman osuus kuivausilmasta jää yleensä noin 40 prosenttiin. Poistoilma-aukossa täytyy myös olla T-haara, jossa säätöpelti, jotta alkuvaiheen kostea ilma saadaan poistettua putken kautta ulos.

Kierrätysilmakanavaan menevä haaraan ei tarvita erillistä säätöpeltiä, koska tuloilmakanavan päässä sen säätöpelti on kiinni.

Jos halutaan lisätä laitteistoon automatiikkaa, säätöpellit voisivat ohjautua poistoilman suhteellisen kosteuden mukaan. Riittävän matala RH % -arvo avaisi kierrätyksen, jolloin lämmin kuiva poistoilma voidaan käyttää uudelleen tuloilmana.

Kierrätysilmakanava voi olla ilmastointiputkea, ja tarvittavat putkihaarat saa helposti hankittua. Meidän kokeilussamme käytettiin halpaa puruputkea. Puruputken liittäminen poistoilma-aukkoihin tai putkihaaroihin toteutettiin metallipannoilla.

Kierrätysilmakanava on syytä eristää, jotta lämpöenergiaa eri karkaa ympäristöön. Kierrätyskanavan voi rakentaa myös kuivauslaatikon sivuseinää vasten, jolloin kierrätysilmakanava on kosketuksessa valmiiksi lämpimän pinnan kanssa. Vain kanavan ulkoseiniin tarvitaan silloin eristys.

4 Hankkeessa rakennetun peräkäräkuivurin tarina

4.1 Suunnittelua

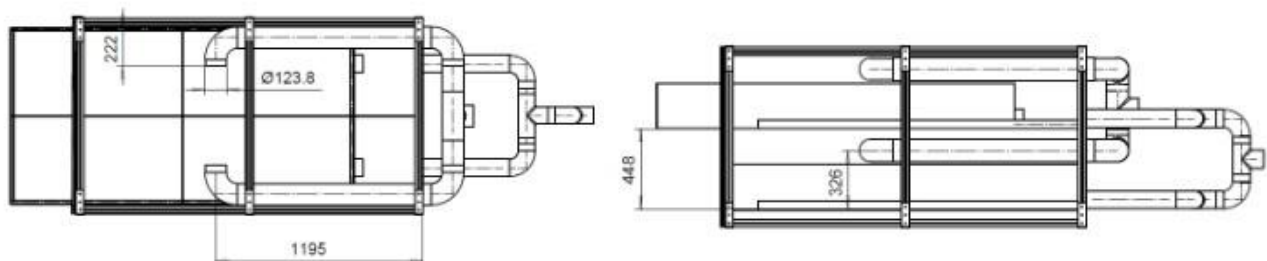
MoreNPBiz-hankkeen peräkäräkuivurin suunnittelun lähtökohtana oli saada aikaan liikuteltava kuivuri, jonka voi ajaa luonnonraaka-aineiden keruu- tai sadonkorjuupaikkaan, ja luoda mahdollisuus aloittaa kuivaaminen lämmittämättömällä ilmalla paikan päällä. Sadonkorjuun jälkeen moni kasviainese alkaa nopeasti lämmetä – yleinen ongelma esimerkiksi viljan puinnin jälkeen, jos viljaa ei nopeasti saada kuivuriin. Puhallus lämmittämättömällä ilmalla alentaa massan lämpötilaa ja parhaassa tapauksessa vie osan pintakosteudesta mennessään, jos puhallusilman suhteellinen kosteus on riittävän matala. Toinen tavoite oli kustannusten ja ajan säästäminen, eli kuivuri, johon saadaan kerta-ajolla riittävän suuri määrä kasviainesta.

Peräkäräkuivurin rakennussuunnittelu käynnistyi Oamkissa energiatekniikan insinööriopiskelijoiden projektioipintojen harjoitustyönä. Opiskelijat suunnittelivat pohjatietojen perusteella kaksikerroskuivurin, jossa kuivausyksiköt toimivat ilmapirran osalta itsenäisesti. Opiskelijat selvittivät myös aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia kuivurin lisälämmön saantiin. Lähtökohtana oli, että puhaltimet pystyisivät maastossa toimimaan akkukäyttöisinä. Alla suunnittelun lähtökohdat:

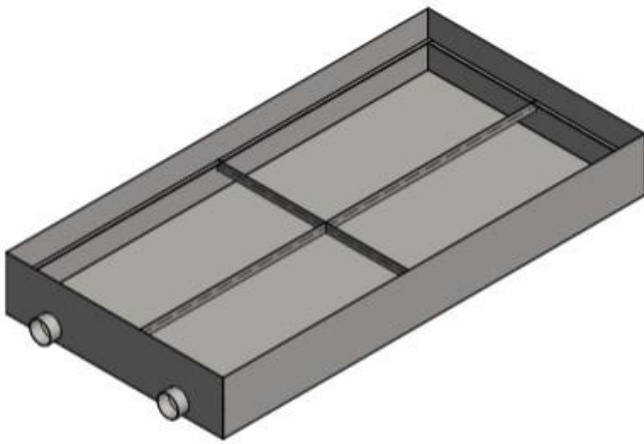
- Kahden päällekkäisen kuivauslaatikon järjestelmä, jossa kummallakin laatikolla oma tuloilma- ja poistoilmakanavisto, jotta kumpikin laatikko kuivuu samanaikaisesti
- Maastossa – puhallus lämmittämättömällä ilmalla, akut energianlähteenä
- Asentopaikassa – puhaltimen ja kuivurin väliin lämmitin, lämminilmakuivaus

Kuivurin suunnittelua jatkettiin hankkeen omana työnä. Kuivurista piirrettiin CAD-suunnittelumallit (Kuvat 4.1, 4.2, ja 4.3).

Hankkeen vieraana olleelta tutkija Thomas Ziegleriltä ATB-tutkimuslaitoksesta saatiin ohjeistusta kuivausilman sopivista ilman nopeuksista kuivauslavassa. Saatujen ohjeiden mukaisesti mitoitettiin ilmapirtaus kuivausritilällä 0,20 m/s, mikä kokonaisuuden kannalta tarkoittaa tilavuusvirtaa 400 litraa/s.



Kuva 4.1 ja 4.2: Peräkäräkuivurin suunnittelumalli, kesä 2019. Kuivuriin suunniteltiin kaksi päällekkäistä kuivausyksikköä. Oikealla sivukuvassa näkyvät tuloilmaputket sijoittuvat kuivausritilöiden alapuolelle. Poisto- ja kierrätysilmaputket lähtevät kuivauslaatikoiden sivulta. Kuvat: Sanna Hiltunen.

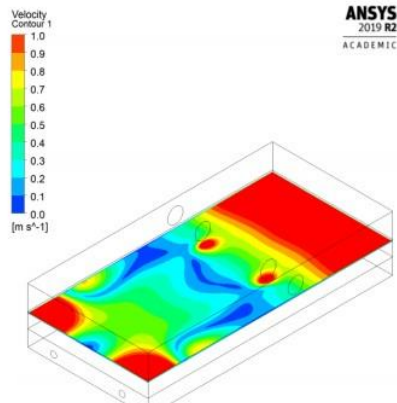


Kuva 4.3: Kuivauslaatikko, jossa tuloilmakanava alla, ristikon päällä kuivausritilä. Kuva: Sanna Hiltunen.

Puhaltimen mitoittamista varten selvitettiin kuivuriritilän ja ilmakehän aiheuttamaa painehäviötä. Kanaviston ja kasvien aiheuttama painehäviö oli laskelmien mukaan yhteensä 1,444 kPa, kun ilmavirran nopeudeksi kuivauslavassa asetettiin 0,2 m/s. Tästä kasvimaan (10 – 20 cm kerrokset/kuivauslaatikko) osuus olisi vain 115 – 230 Pa. Laskelmat siis osoittivat, että mutkainen tulo- ja poistoilmakanavisto aiheuttaa selvästi merkittävämmän painehäviön puhaltimelle kuin itse tuore kasvimaassa. Painehäviö luonnollisesti myös kasvaa ilman tilavuusvirran kasvaessa.

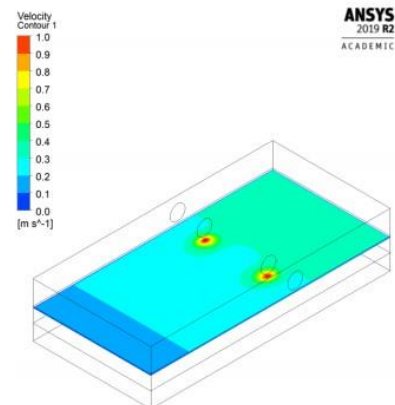
Tilannetta tarkasteltiin myös CFD-simulaatioiden avulla, jotka teki Hampus Markeby-Ljungqvist LTU Energiatekniikan yksiköstä (kuva 4.4). Simulaatiossa näkyy, että alemmassa laatikossa ilmavirran nopeudet ovat selvästi äärevämpiä kuin ylemmässä kuivauslaatikossa. Päättelimme, että ilmakehien halkaisijoita pitäisi suurentaa, koska simulaatiossa havaitut nopeudet saattavat aiheuttaa putkistossa ulvontaa. Senkin jälkeen kanaviston mutkaisuus olisi kuitenkin merkittävämpi painehäviön aiheuttaja. Alalaatikon liian suurien ilmavirtojen alentaminen tulisi toteuttaa puhaltimen erilaisella suuntauksella. Lopputuloksena todettiin, että suunniteltua rakennetta pitää merkittävästi yksinkertaistaa.

	Min Velocity	Max Velocity	Ave Velocity	
Case 1	0.059	2.1	0.82	[m/s]



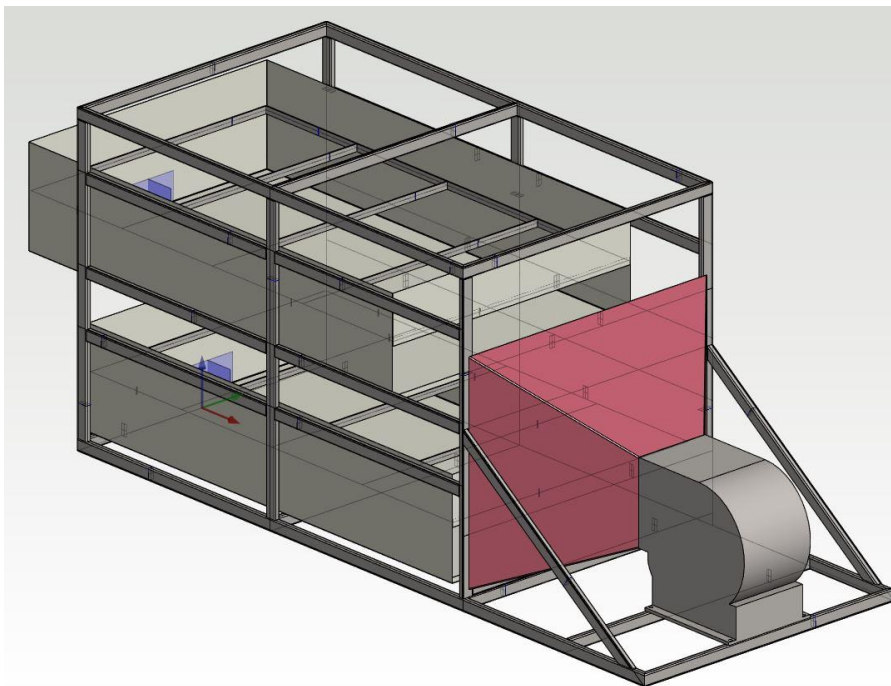
Case 2

	Min Velocity	Max Velocity	Ave Velocity	
Case 2	0.13	0.40	0.27	[m/s]



Kuva 4.4: CFD-simulaatio ilmannopeuksista kasvimaassassa kuivauslaatikoissa. Vasemmalla alalaatikko ja oikealla ylälaatikko. Punaiset ympyrät ylä- ja alalaatikoissa kuvaavat voimakasta ilmavirtaa poistoilmakanavien kohdalla. Kuva: Hampus Markeby-Ljungqvist 2019.

Seuraava suunnitteluversio näkyy kuvassa 4.5. Siinä tuloilmaputkisto on korvattu suppilolla, joka yhdistää molemmat kuivausyksiköt. Tässäkin mallissa alalaatikon ilmavirrat ovat todennäköisesti suurempia kuin ylälaatikossa, koska puhallin on sijoitettu alalaatikon tasolle. Tässä versiossa ei ole ratkaistu ilmankierrätyskanavien sijoittelua.



Kuva 4.5: Peräkärrikuivuri suppilomaisella yhteellä. Kuva Timo Kiviahde 2019.

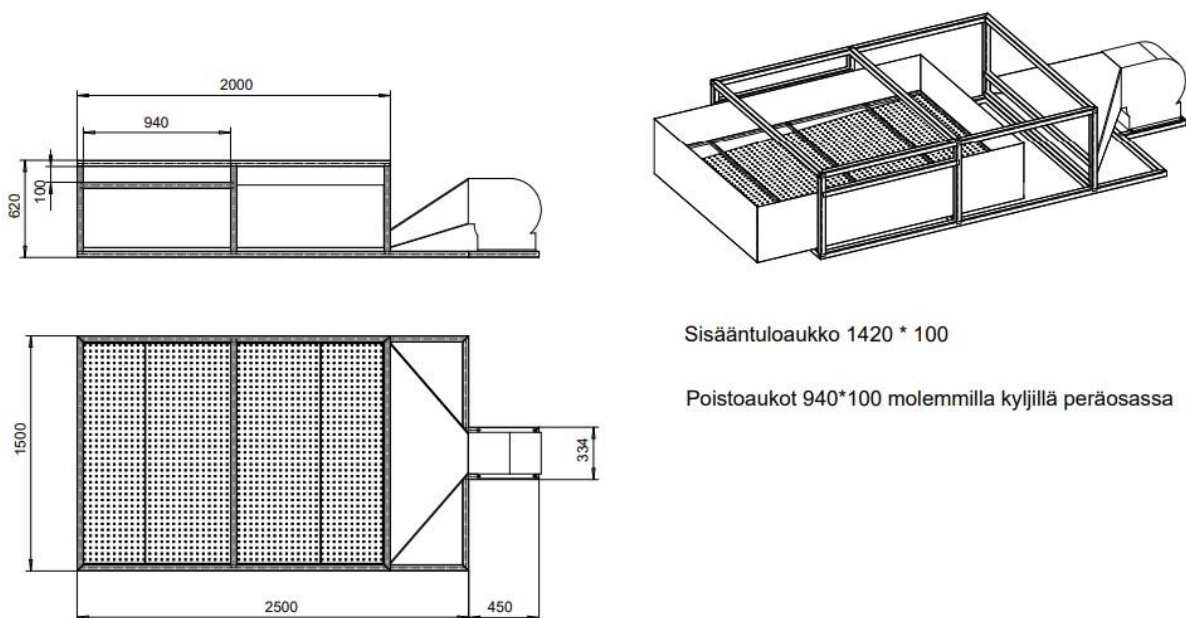
4.2 Suunnittelusta toteutukseen

Tavoitteena oli mahdollisimman kevyt, mutta kestävä kuivurirakenne. Pohdittiin alumiinirunkoa, mutta havaittiin että alumiinin työstäjiä ei alueella ollut, joten rakennusmateriaaliksi valittiin ohut teräspelti ja huonekaluputkirunko.

Samassa yhteydessä ryhdyttiin varmuuden vuoksi selvittämään Oamkin omistaman kaksiakselisen Farmi-perävaunun kantavuutta (350 cm*150 cm). Perävaunun oma paino on 426 kg, joten siihen pystyy lastaamaan noin 320-350 kg tavaraa. Jos metallisen kaksikerroskuivurin paino olisi noin 200 kg, niin kuivattavaa tuotetta pystyisi lastaamaan vain korkeintaan 150 kg. Jos materiaali olisi esim. kuutiopainoltaan 500 kg, ja lastattuna 10 cm kerroksena laatikoihin, massan paino olisi 200 kg (kuivauslaatikoiden tilavuus yhteensä 0,4 m³). Tällaisia materiaaleja voisivat olla esim. juureskuutiot. Lehtiyrttien kuutiopaino on matalampi - esimerkiksi tuoreen persiljan kuutiopaino on 257 kg, joten 0,4 m³:n paino olisi 103 kg.

Laskelmista valkeni, että peräkärriymme kantavuus ei ihan riittäisi kantamaan huonekaluputkirunkoa, peltilevyseinämiä ja kahta erillistä kuivauslaatikkoa sekä tuoretta kasvimassaa. Suunnitelma meni siis suurelta osin romukoppaan. Päätimme tyytyä perinteiseen yksikerroksiseen malliin, mikä tekisi järjestelmästä varsin yksinkertaisen rakentaa. Tällöin kuivauslaatikko olisi korkeaseinäisempi, niin että kuivauslaatikkoon mahtuisi 0,4 kuutiota massaa.

Otimme yhteyttä useisiin ohutpeltifirmoihin, jotta löydettäisiin yritys, joka rakentaisi hankkeelle pilottikuivurin periaatesuunnitelman pohjalta. Moni yritys kuitenkin edellytti, että ostajalla olisi valmiit asennuskuvat sisältäen tarvikemäärät. Siihen meillä ei ollut osaamista. Lopulta Ilmastointi Kotikumpu Oy tarjoutui valmistamaan pilottikuivurin. Kuivurin mitoituksia vielä hiottiin yhdessä yrityksen kanssa (Kuva 4.6).



Kuva 4.6: Peräkärrikuivurin lopullinen rakennepiirros. Rungon laitaan taakse sijoitettiin suorakulmaiset poistoilm-aukot, jotka saa suljettua. Kuivurin kattoon sijoitettiin lisäksi kaksi peltihatulla varustettua 250 mm poistoilm-aukkoa. Kuva: Teemu Huotari.



Kuvat 4.7, 4.8 ja 4.9: Ylinnä kuivauslaatikko ulosvedettynä. Laidoissa olevat poistoaukot avoinna. Alakuvassa puhaltimeen on liitetty poistoilman kierrätysputki. Putken toinen pää on kiinnitettynä kuivurin kannessa olevaan poistoilma-aukkoon. Oikealla puhallin-kanavalämmitin-yhdistelmä kiinnitettynä kuivurin muuntoyhteeseen. Kuvat Jaana Väisänen.

Kuivurissa on ulosvedettävä kiskoilla liikkuva erillinen kuivauslaatikko, jonka perälauta aukeaa tyhjennyksen helpottamiseksi. Kuivurilaatikon etuseinässä on oikealla näkyvän muuntoyhteen kokoinen aukko. Kuivurin runkoon pantiin plexi-ikkuna, jotta kasvien kuivumistilannetta pystyisi paremmin seuraamaan luukkuja aukomatta. Alakuvassa puhaltimeen vasempaan ilmanottoaukkoon asennettu poistoilman kierrätysputki. Tuore ulkoilma tulee puhaltimen oikealta sivulta.

Valmista kuivuria testattiin ja koekäytettiin kesällä 2020 sekä laboratoriossa että yrityksissä. Puhaltimena oli hankkeeseen ostettu tehokas radiaalipuhallin (Casals BD 10/8 EEC, jossa teho 1,2 kW ja käyttölämpötila 50 asteeseen asti) ja rakennuskonevuokraamosta vuokrattu Elkomat 9 kW rakennuslämmitin, jonka oma puhallusteho on varsin vaatimaton. Nämä oli ilmastointiteipillä naitettu yhteen ja liitetty kuivurin muuntoyhteeseen (kuva alla).

Puhallin osoittautui yhden laatikon mallissa aivan liian isoksi. Puolet pienemmällä teholla olisi pärjätty. Puhallinta käytettiin pienimmällä mahdollisella kierrosluvulla, jotta kuivuriin saatiin sopiva ilman virtausnopeus.



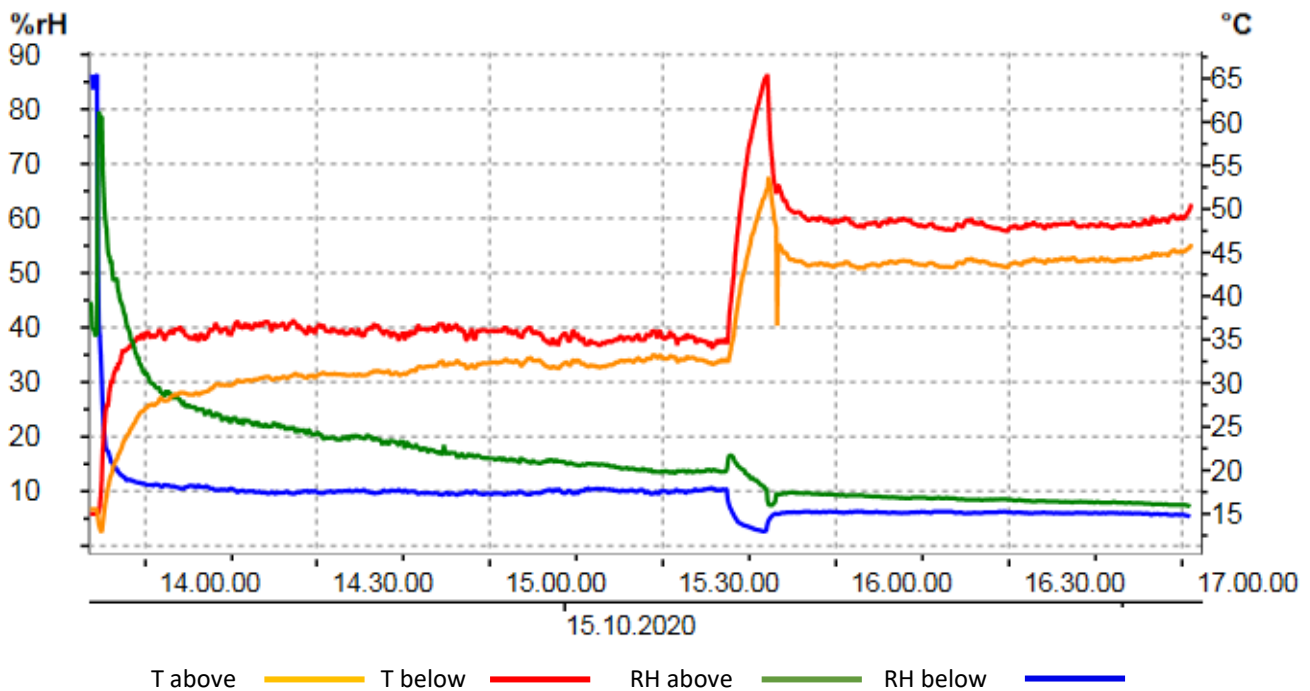
Kuva 4.10 ja 4.11: Casals-radiaalipuhallin ja Ramirentista lainattu Elkomat-rakennuspuhallin 9 kW. Oikealla syksyn 2020 viimeiset vihreät kasvit kuivumassa – juolavehnää ja väinönputkea.

Casals-Elkomat-yhdistelmä toimi varsin hyvin, ja kuivauslämpötila liikkui 40 – 45 asteen tuntumassa. Osa puhaltimen ilmavirrasta tässä yhdistelmässä päätyi ”harakoille”, koska puhaltimen liitosta lämpöelementtiin ei pystytty tekemään tiiviiksi. Kuivurin epätasainen ilmavirran jakautuminen korjattiin lisäämällä ilmakehään ohjauslevyt, ja niiden avulla saatiin kuivattava massa kuivumaan tasaisesti. Kuivurilla kuivattiin kesän ja syksyn aikana mm. horsmanlehteä, ruohosipulia, mesiangervon kukkaa, lehtikaalia ja persiljaa. Kuivaaminen kesti pääosin vuorokauden tai puolitoista 40 asteen lämpötilalla ja 0,20 m/s puhalluksella. Lisätietoa ohjauslevyjen sijoittelusta on saatavissa julkaisusta ”Luonnon raaka-aineiden kuivauslaitteiden toimivuus ja energiatehokkuus”. Yrityksissä tehdyistä koeajoista havaittiin, että ulkoilman kosteusolosuhteet vaikuttivat merkittävästi kuivumisen nopeuteen. Pari kertaa kosteissa olosuhteissa kuivattaessa jouduttiin siirtämään massa loppukuivaukseen sisätiloihin toiseen kuivuriin.

4.3 Poistoilman kierrätys peräkärrykuivurissa

Syksyllä 2020 rakennettiin kuivuriin poistoilman kierrätysjärjestelmä. Tämä toteutettiin siten, että toiseen kuivurin kannessa olevaan poistoilma-aukkoon kiinnitettiin 250 mm puruputki, jonka toinen pää liitettiin puhaltimen toiseen ilmanottoaukkoon. Puhaltimen toinen ilmanottoaukko pysyi auki. Kiinnitys toteutettiin kiristettävillä metallipannoilla. Toinen kuivurin poistoilma-aukko jätettiin avoimeksi. Tällä järjestelmällä kuivausilmasta 40 prosenttia otettiin poistoilman kierrätyksestä, ja 60% tuoreesta tuloilmasta. Kierrätyksen vaikutusta kuivurin sähköenergian kulutukseen mitattiin energiamittarilla, joka otti sekä lämmittimen että puhaltimen sähkönkulutuksen. Kuivausilman lämpötiloja ja suhteellista kosteutta mitattiin antureilla sekä ilmakehän kuivausritilän alapuolelta että kasvimaaston päältä. Arvioimme, että tällä kierrätysasteella saavutettaisiin noin 20-30% energian säästö koko prosessin aikana, jos kierrätys käynnistetään prosessin puolivälissä.

Kierrätyksen vaikutus näkyi mittauksissa kuivauslämpötilan nousuna, koska Elkomat-rakennuslämmittimen termostaatti sallii varsin suuret lämpötilavaihtelut eikä ole riittävän herkkä pitämään asetettua lämpötilaa. Tämän takia kuivureissa ei pitäisi käyttää rakennuslämmittimiä, joiden termostaatit ovat melko epätarkkoja. Alla olevassa kuvassa näkyy koekuivaus, jossa toteutettiin poistoilman kierrätys. Lämpimän kierrätysilman vaikutus energian säästymiseen arvioitiin lämpötilanousun perusteella.



Kuva 4.12: Ilman lämpötila ja kosteus kuivausprosessissa, jossa lämmittimenä rakennuslämmitin 9 kW. Lämpimän poistoilman kierrätys alkoi 15:30. Lämpötila (T) kasvimassan päällä (keltainen) ja ilmakehässä ritilän alapuolella (punainen), ilman suhteellinen kosteus (RH%) kasvimassan päällä (vihreä) ja ilmakehässä (sininen). Kuva Teemu Huotari.

4.4 Kuivurin ohjauksen suunnittelu

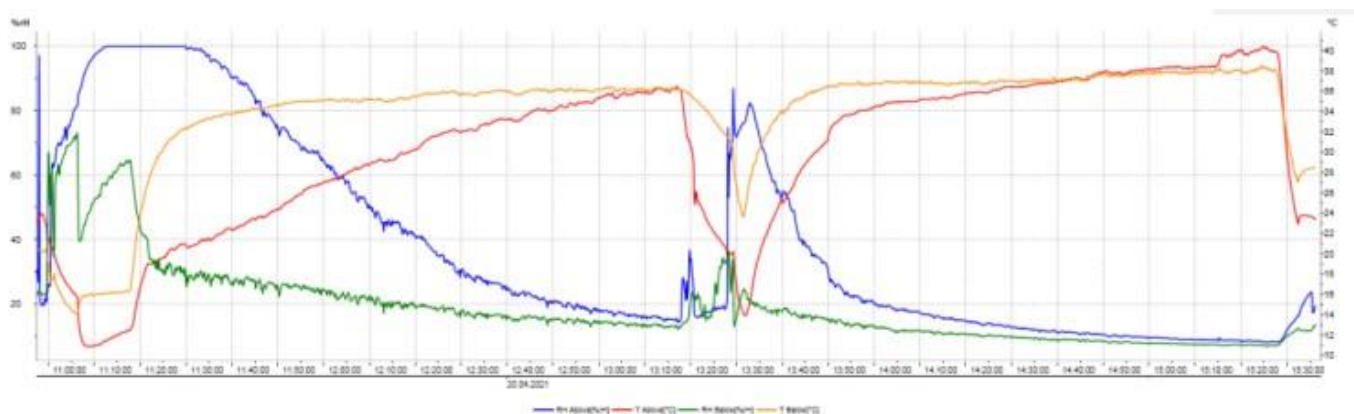
Kuivuriin hankittiin keväällä 2020 12 kW kanavalämmitin ja siihen termostaattiohjaus. Tehokas kanavalämmitin valittiin, koska ajatuksena oli pystyä käyttämään kuivuria lämmittämättömissä olosuhteissa viileään vuodenaikaan, jolloin lämmittimen pitää pystyä nostamaan kuivausilman lämpötila 10 asteesta 40 – 50 asteeseen. Kesän ja alkusyksyn aikana koetimme löytää sähköasennusliikettä, joka asentaisi puhaltimen ja lämmittimen sekä termostaatin kuivuriin siten, että laite olisi palo- ja sähköturvallinen. Lähtökohtana asentamiseen olisi se, ettei lämmitintä pystyisi käynnistämään ennen kuin puhallin on päällä. Puhaltimen tulisi myös toimia jälkijäähdyttimenä. Yhdistelmä vaikutti kuitenkin usealle asiaan tutustuneelle asentajalle liian haastavalta. Usean kuukauden yrityksen jälkeen ymmärsimme, että tarvitsemmekin sähköasentajan sijaan sähkö- ja automaatiosuunnittelijan palveluita. Asia nytkähti eteenpäin, kun yhteistyö Etteplan Oyj:n sekä Oamkin Sähkö- ja automaatiotekniikan osaston kanssa käynnistyi. Suunnittelijaksi löydettiin opinnäytetyöaihetta vailla oleva opiskelija Jussi Laitinen, jonka ohjaajina toimivat Etteplan Oyj:n asiantuntijat.

Ensimmäisenä haaveena kuivurin ohjauksen suhteen oli saada aikaan valmiita ”kuivausohjelmia”. Aromaattisille eteerisille öljyjä sisältäville kasveille olisi matalan lämpötilan ohjelma, fenolihydrideiden takia arvokkaille yrteille olisi korkeamman lämpötilan ohjelma ja juurespalojen kuivaukselle olisi puolestaan ohjelma, jossa prosessin

puolivälissä lämpövastukset ovat jonkin aikaa pois päältä, jotta juurespalojen sisemmissä kudoksissa oleva kosteus ehtii diffundoitua pintaosiin.

Sähkö- ja automaatio suunnitelman tuloksena kuivuriin kytkettiin ohjausyksikkö, joka parantaa kuivurin sähköturvallisuutta sekä ohjaa kuivurin kuivauslämpötilaa ja ilmanvaihtoa. Ohjausyksikön kokosi tilauksen mukaisesti ARR-Systems Oy. Ohjausyksiköstä jätettiin pois poistoilman kierrätyksen ohjaus, koska hankkeen toiminta-aika oli jo loppumassa ja taloudelliset resurssit jo vähissä.

Laitteistoa testattiin pariin kertaan kuivaamalla märkää yksivuotista säilörehua, jonka lähtökosteus oli noin 85% (Kuva 4.13).



Kuva 4.13: Peräkärrikuivurin ohjausyksikön testaus, jossa materiaalina märkä silputtu säilörehu (85% kosteus). Rehu kuivattiin 4,5 tuntia kestäneen testin aikana 42% kosteustilaan. Keskellä kuvaa näkyy massan pöyhinnän vaikutus. Vihreä: Ilman RH% ilmanavassa ritilän alla, sininen: ilman RH% kuivattavan massan päällä, oranssi: lämpötila ilmanavassa, punainen: lämpötila kuivattavan massan päällä. Kuva: Jussi Laitinen 2021.

4.5 Johtopäätökset peräkärrikuivurin suunnittelusta ja rakentamisesta

Peräkärrikuivurin suunnittelu ja rakentaminen oli opettavainen prosessi. Tekijöille haaste oli iso ja moniulotteinen, koska kyseessä on kasvibiologiaan, ilmanvaihtoon, lämmitykseen ja sähkö- ja automaatiotekniikkaan liittyvä ongelma. Paljon virheitä ja mutkia tuli läpikäytyä, vaikka artikkeleita kuivausprosesseista oli luettu, ja energia- ja ilmastointitekniikan osaamista oli saatavilla. Soveltuvien ratkaisujen löytämisessä oli usein se ongelma, ettei osannut kysyä asiantuntijoilta oikeita kysymyksiä, eivätkä lämpö- ja ilmastontiasiantuntijat olleet perehtyneet kuivausprosessien hallintaan.

Projektin tavoitteena oli ensinnäkin saada rakennettua energiatehokas laitteisto, jolla kuivausprosessi saataisiin alkuun jo raaka-aineiden sadonkorjuu- tai keruupaikalla, jotta tuotteiden itselämpeneminen saadaan estettyä. Suunniteltu kuivuri osoittautui liian isoksi aurinkoenergia- tai akkukäyttöisille puhaltimille, joten siltä osin tavoitetta ei saavutettu. Kaiken kaikkiaan kuivurin suunnittelussa edettiin monimutkaisesta yksinkertaiseen. Ensimmäinen suunnitteluvuoro, monimutkainen ilmaputkistorakenne, joka olisi sallinut tehokkaan poistoilman kierrätyksen ja sitä kautta säästöä energiankulutukseen, aiheutti laskelmiemme mukaan selvästi kovemman painevastuksen puhaltimelle kuin itse kuivattava materiaali. Suuri painevastus edellyttää puhaltimelta tietysti suurempaa tehoa, eli on ristiriidassa alkuperäisen energiatehokkuustavoitteen kanssa. Myös CFD-simulaatio osoitti suunnitelmassa olevan runsaasti ongelmakohtia, jotka edellyttäisivät putkikoon kasvattamista ja puhaltimen parempaa suuntausta. Seuraavana kompastuskivenä oli käytettävissä olevan peräkärryn kantavuus.

Alun perin tavoitteena ollut kaksikerroksinen kuivuri, joka olisi tehokkaasti kuivannut molemmat kuivauslaatikot samanaikaisesti. Peräkärryn kantavuutta ei kuitenkaan ollut osattu ottaa alkusuunnittelussa huomioon. Lopputuloksena päädyttiin yksikerroksiseen ja muuntoyhteellä varustettuun keveämpään lavakuivurirakenteeseen. Rakennetulla yksinkertaisella kuivurilla saatiin kuitenkin tavoitteen mukaisesti testattua poistoilman kierrätyksen energiansäästömahdollisuudet ja selvitettyä, että lavakuivurien epätasainen ilmavirran jakautuminen on korjattavissa ohjauslevyjen avulla.

Kuivurin koeajoissa yrityksissä ei juurikaan noussut uusia teknisiä ongelmia esiin. Kuivurin kuivausteho riippui erittäin paljon ulkoilman kosteus- ja lämpöolosuhteista, koska kuivuria käytettiin pääosin ulkona. Testauksen hyödyksi voinee katsoa myös sen, että samalla saatiin perehdytettyä yksi uusi yrittäjä kuivaamisen saloihin.

Kuivaamisen ohjauksen suunnittelu venyi hankkeen loppumetreille. Jussi Laitisen opinnäytetyö ”kasvikuivaimen ohjauksen suunnittelu” sisälsi toimivan ohjausyksikön suunnittelun lisäksi jatkokehitysehdotuksia. Ilmanvaihdon ja lämpötilan sekä poistoilman kierrätyksen automatisoinnilla olisi mahdollista vähentää yrittäjän valvontatyötä. Automatisointi kuullostaa kalliilta ratkaisulta, mutta ihmistyö kuivaamisen ohjauksessa saattaa loppujen lopuksi olla kalliimpi vaihtoehto kuin automaatio-ohjaus, jossa voidaan hyödyntää rakennusten ilmanvaihdossa käytettyjä edullisia ohjelmoitavia logiikoita.

Kiitämme MoreNPBiz-hankkeen rahoittajia Interreg Pohjoinen, Lapin liitto ja Kaustisen seutukunta sekä kuivurin rakennusprojektin yhteistyökumppaneitamme Ampplance Oy, Are Oy, Etteplan Oyj, Ramirent Finland Oy, ARR-Systems Oy, Ilmastointi Kotikumpu Oy, SystemAir Oy, Suomen Imurikeskus Oy, Calendan Yrtit, Laitalan luomutila, LAromit Oy, Nokko Arctic Experience, Norrbottens Destilleri Ab sekä LTU Energiatekniikka. Kiitokset myös Sanna Hiltunen ja Timo Kiviahde, Oamk Tekniikka ja luonnonvara.

5 Lähteet

Laitinen, Jussi 2021. Kasvikuivaimen ohjauksen suunnittelu. Opinnäyte. Oamk Sähkö ja automaatio, <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202105189245>.

Puuinfo Oy. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/puurakentamisen-liimat/>

Pyykkönen, M., B. Galambosi, J. Havento, A. Hovi, A. Huhtala, J. Karhunen, K. Pääkkönen, R. Sinisalo & S. Sorsa 1998. Yrttikuvurin suunnittelu ja käyttö. VAKOLAn Tiedote 77/98. Maatalouden Tutkimuskeskus.

Väisänen, J. & Huotari T. 2021. Luonnon raaka-aineiden kuivauslaitteiden toimivuus ja energiatehokkuus. MoreNPBiz-hankkeen raportti.

Ziegler, T., Jubaer, H., Teodorov, T., Mellmann, J. 2014. Effizienzsteigerung der Flächentrocknung. Schlussbericht zum BMELV/FNR-Teilvorhaben 22012609 im Verbundprojekt "Zeitnahe und nachhaltige Verbesserung bestehender Band-, Kipphorden und Flächentrockner für Kamille, Melisse und Baldrian". Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Potsdam, 05.09.2013.

Ziegler, T. 2017. Leitfaden Trocknung von Arznei- und Gewürzpflanzen. Schlussbericht zum BMEL/FNR-Demonstrationsprojekt Arzneipflanzen (KAMEL). Förderkennzeichen 22015612. Bornimer Agrartechnische Berichte (94) ISSN: 0947-7314. Potsdam-Bornim: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB)