

Ronja Pullinen

Kuivatuslaitteiston suunnittelu käpykaristamoon

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Ronja Pullinen
Työn nimi	Kuivatuslaitteiston suunnittelu käpykaristamoon
Toimeksiantaja	PP Kiinteistötekniikka Oy
Vuosi	2024
Sivut	29 sivua
Työn ohjaaja(t)	Tero Lahikainen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli löytää energiatehokas ratkaisu käpyjen kuivatusprosessiin. Nykyisessä kuivatusprosessissa kävyt kuivattiin puhaltimen avulla. Puhallin otti ilman ulkoa ja puhalsi sen lämmityspatterin läpi uunin alaosaan, josta ilma poistui käpyjen läpi uunin yläosasta huoneeseen. Huoneesta ilma poistui erinäisten kammiopeletien läpi ulos. Kuivatusprosessin lopputulos oli halutunlainen, eli kävyt saatiin kuivaksi. Ongelmaksi muodostui kuitenkin se, että kuivatusprosessin alkaessa kammiopeletit vain aukesivat eikä automatiikka ohjannut peltejä. Järjestelmästä saisi energiatehokkaamman, kun ilma kiertäisi osittain takaisin puhaltimelle niin kuin pitäisi.

Työssä pohdittiin kolmea vaihtoehtoa: kahden adsorptiokuivaimen asentamista, lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtokoneen asentamista tai nykyisen järjestelmän uusimista. Taustaselvityksessä kartoitettiin vaihtoehtoa, joka olisi energiatehokas ja asiakkaan toiveita vastaava. Aikaisemmin kuivatusprosessia on yritetty muuttaa, mutta muutoksilla on menty vain huonompaan suuntaan, jolloin on palattu takaisin vanhaan tapaan toimia. Kiinteistö ja järjestelmässä oleva puhallin ovat 1960-luvulta, joten haasteita tuotti vanha kiinteistö, johon pitäisi saada sovitettua uutta teknologiaa. Prosessiin on vuosien varrella tehty parannuksia ja muutoksia. Myös puhallinta sekä sen moottoria on korjattu tarvittavilta osin. Kohteessa on painovoimainen ilmanvaihto ja ilmanvaihtokone palvelisi vain kuivatusprosessia. Kuivaimien ja ilmanvaihtokoneen kanssa ongelmaksi kuitenkin muodostuivat isot ilmamäärät sekä kiinteistön matalat ja ahtaat tilat.

Nykyisen järjestelmän uusimiseen päädyttiin muun muassa kokonaiskustannuksia ajatellen. Energiatehokkuutta saadaan kuitenkin muun muassa uusimalla nykyistä automatiikkaa. Puhallin on siis alkuperäinen ja toimiva, mutta puhaltimen vaihtaminen uuteen voisi tuoda säästöä sähköenergiassa. Tällaisesta kuivatusprosessista ei ole tehty paljoa tutkimusta, joten opinnäytetyössä tehtyä tutkimusta voi jatkossa vielä jatkaa ja käyttää tässä tai muissa vastaavissa kohteissa.

Asiasanat: puhallin, energiatehokkuus, kuivatuslaitteisto, käpykaristamo

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Ronja Pullinen
Thesis title	Designing drying equipment for pinecone drying cistern
Commissioned by	PP Kiinteistötekniikka Oy
Time	2024
Pages	29 pages
Supervisor	Tero Lahikainen

ABSTRACT

The objective of this thesis was to find an energy-efficient solution for the drying process of pinecones. In the drying process, the pinecones were dried with the help of a blower. The blower took air from the outside and blew it through the heating radiator to the bottom of the oven. From there the air exited through the cones from the top of the oven into the room. The air left the room through various chamber dampers. The result of the drying process was as desired, i.e., the pinecones were dry. The problem was that when the drying process started, the ventricular dampers only opened, and the automation did not control the dampers at all. The system would become more energy efficient if the air would partially circulate back to the fan as it should.

The thesis examined three options: installing two adsorption dryers, installing an air handling unit with heat recovery, or renewing the current system.

Background research investigated an alternative that would be energy efficient and responding to the customer's needs. In the past, attempts have been made to change the drying process, but the changes that were made, only took the process for worse, which led to reverting to the old way of working.

The building and the blower in the system are from the 1960s, so fitting the modern technology to the old building created some issues. Changes and improvements have been made in the process over the years. The blower and its motor have also been repaired when needed. The property has gravity ventilation, and the air handling unit would only serve the drying process. However, with the dryers and the air handling unit, the large air volumes and the cramped spaces of the property became a problem.

The decision to renew the current system was made, among other things, with the total costs in mind. Energy efficiency improves with changes made for example in automation. The fan is original but functional. However, replacing the blower with a new one could save electricity consumption. Not much research has been done on this kind of drying process, so the research done in this thesis can be continued and used in this or other similar areas in the future.

Keywords: blower, energy efficiency, drying equipment, seed extracting plan

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TAUSTASELVITYS	6
2.1	Painovoimainen ilmanvaihto	6
2.2	Lämmön talteenotto	7
2.3	Puhallin.....	8
2.3.1	Erilliset puhaltimet ja toiminto-osat	9
2.3.2	Puhaltimen vaihtaminen.....	10
2.4	Adsorptiokuivaus	13
2.5	Siemenen käsittely yleisesti	14
2.6	Suhteellinen kosteus.....	15
3	TAUSTATIETOJA.....	16
3.1	Siemen Forelia.....	16
3.2	Kuivatusprosessi.....	16
4	TUTKIMUSMENETELMÄT	17
4.1	Vierailut kohteessa	18
4.2	Kosteus- ja lämpötilaseuranta.....	18
5	TULOKSET.....	19
5.1	Kosteus- ja lämpötilaseurannan tulokset	19
5.2	Nykyisen järjestelmän uudistaminen.....	20
5.3	Puhallin.....	21
5.4	Ilmanvaihtokone.....	23
5.5	Kuivaimet.....	23
5.6	Kokonaiskustannuksien arviot	25
5.7	Lopputulokset	26
6	POHDINTA	26
	LÄHTEET.....	28

1 JOHDANTO

Siemen Forelia on alan johtava toimija Pohjoismaissa. Suomen suurin karistamo sijaitsee Keski-Suomessa, jossa voidaan käpyjen karistamisen lisäksi myös esikuivattaa, säilyttää ja varastoida käpyjä sekä siemeniä. Heidän nykyinen kuivatuslaitteistonsa on alkuperäinen vuodelta 1965, johon on tehty korjauksia ja muutoksia vuosien varrella, mutta tällaisenaan se kuluttaa energiaa melko paljon, joten jokin toimivampi ratkaisu olisi tarpeen. Tällä hetkellä kierto-prosessi ei toimi halutunlaisesti ja kuivatuksen aikana ilma ei kierrä takaisin prosessiin. Yhtenä ideana oli tehdä suljettu kierto, jossa kiertoilmaa kuivataan. Toisena vaihtoehtona oli asentaa uusi ilmanvaihtokone, jossa poistuvasta ilmasta otetaan lämpö talteen. Jos kumpikaan edellä mainituista ratkaisuista ei ole mahdollinen, niin kolmantena vaihtoehtona on uusia nykyinen järjestelmä toimivammaksi ja energiatehokkaammaksi. Arviolta 40 prosenttia Suomen energiankulutuksesta kulutetaan rakennuksissa. Eli energiatehokkaat rakennukset ovat samalla myös ilmastoteko.

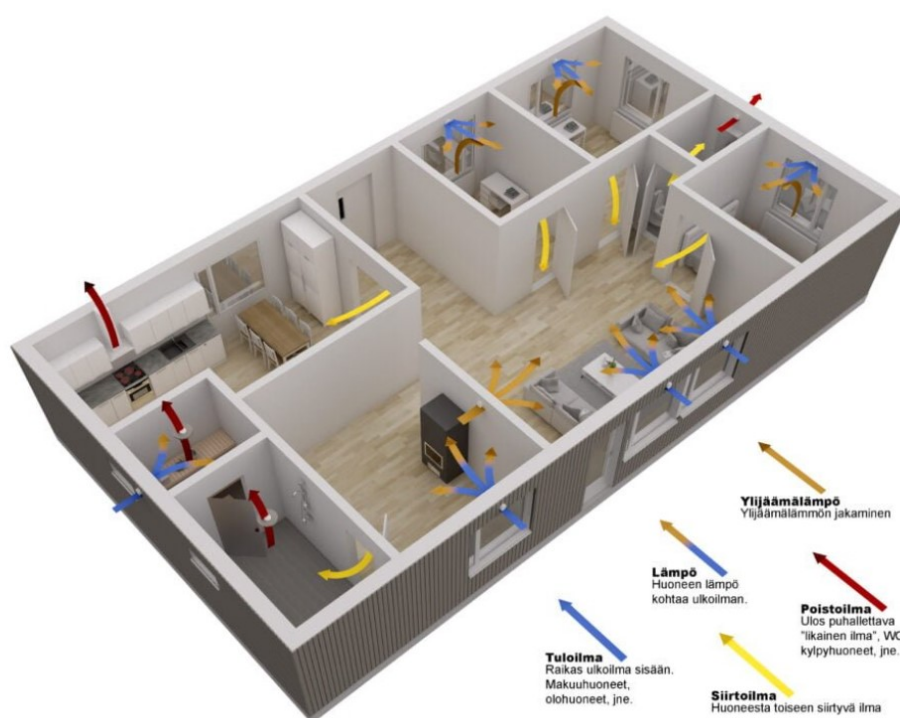
Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mikä näistä kolmesta kuivatusratkaisusta olisi järkevin toteuttaa teknisesti sekä asiakkaan toiveita kuunnellen. Koska kohde on rakennettu 1960-luvulla, tilat ovat ahtaat ja matalat. Nykyaikaisen teknologian yhdistäminen näihin tiloihin ilman isoja tilanmuutoksia voi tuottaa hankaluuksia. Laitteita käyttävät ja kuivatusprosessista vastuussa olevat henkilöt ovat myös ilmaisseet mielipiteensä siitä, että prosessi toimii tällä hetkellä hyvin vaikka energiatehokkuutta tulisi parantaa. Aikaisemmin kohde on myös tehty muutoksia, joilla prosessi on mennyt huonompaan suuntaan, jolloin on palattu vanhaan tapaan toimia.

Koska kirjallisuutta tai aikaisempaa tutkimusta ei ole juurikaan tästä kyseisestä prosessista, olivat haastattelut sekä vierailut kohteessa tärkeässä roolissa selvitetessä miten käpykaristamo toimii, millainen prosessi on kyseessä ja minkälaisen kosteusprosenttien kanssa ollaan tekemisessä.

2 TAUSTASELVITYS

2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu sisä- ja ulkoilman lämpötilaerojen vaikutukseen sekä tuulen aiheuttamaan paine-eroon rakennuksessa. Kylmäilma siis laskeutuu alas huonetilaan, josta se lämmitessään nousee huoneen yläosaan ja poistuu sieltä poistoilmaventtiilien tai tulisijojen hormien kautta pois rakennuksesta. Painovoimaiseen ilmanvaihtoon vaikuttaa myös rakennuksen korkeus ja käytettävät laitteet/koneet. Kuvassa 1 on esitetty painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate.



Kuva 1: Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate (Ilmakas s.a.)

Jos rakennukseen syntyy liian suuri paine-ero esim. tuulisella kelillä, voi vaarana olla, että vanhassa ja ei niin tiiviissä rakennuksessa ilma pyrkii pääsemään rakennuksen sisälle helpointa reittiä. Tämä voi johtaa siihen, että ilma kulkeutuu ulkoa sisälle vuotoilmana rakenteiden läpi tuoden samalla huonetilaan epäpuhtauslähteitä, villapölyä ja mikrobeja. Tämä pyritään välttämään tuomalla rakennukseen tarpeeksi korvausilmaventtiileitä oikein säädettynä, joiden kautta ilma pääsee virtaamaan hygieenisesti ja oikeaoppisesti sisälle. (Ilmakas s.a.)

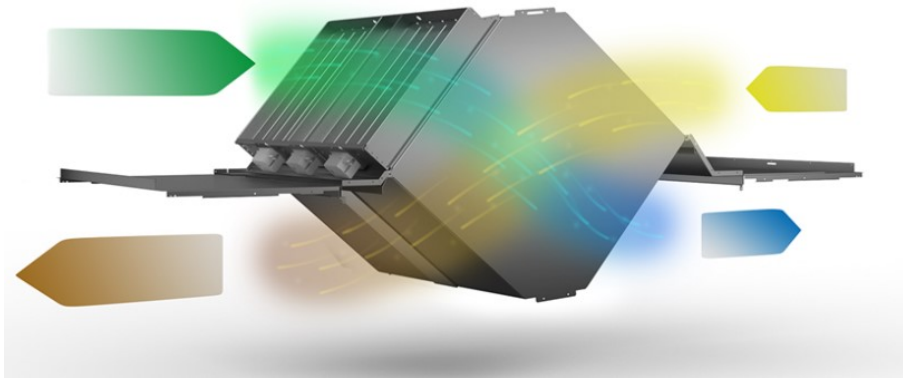
Ongelmia syntyy yleisesti, kun vanhoja painovoimaisella ilmanvaihdolla olevia rakennuksia remontoidaan ja saneerataan. Remontoinnin yhteydessä monesti parannetaan rakennuksen tiiveyttä, vaihdetaan ikkunoita ja ovia tiiviimpiin sekä tehdään rakeenteellisiä muutoksia. Tämän seurauksena syntyy helposti ongelmia ilmanvaihdon toimivuuden kannalta, jollei siihen ole kiinnitetty huomiota esimerkiksi lisäämällä korvausilmaventtiileitä. (Ilmakas s.a.)

2.2 Lämmön talteenotto

2000-luvulla on alettu kiinnostumaan lämmön talteenotosta, ja kaikissa kerrostaloissa, jotka on rakennettu vuoden 2005 jälkeen, on lämmön talteenotto. Vanhaan kerrostaloon se voidaan asentaa huippuimureiden tilalle. Kiinteistöjen kustannuksia voidaan huomattavasti vähentää ottamalla lämpö talteen poistoilmasta. Jopa 30–40 % rakennuksen lämmitysenergiasta poistuu poistoilman mukana. (Tomallen s.a.)

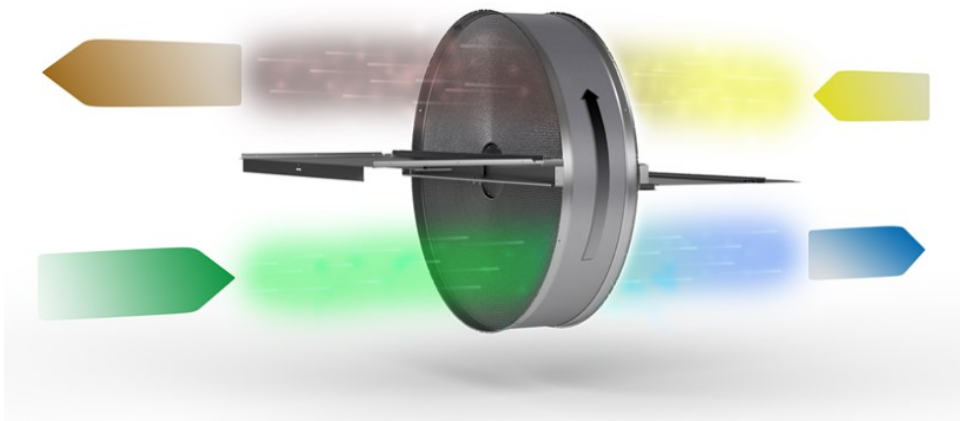
Lämmön talteenottoa varten tarvitaan lämmön talteenottoyksikkö, joka asennetaan ilmanvaihdon kokoomakammioon tai katolle, jossa lämmin ilmavirta menee sen läpi ennen kuin poistuu rakennuksesta. Yksikön putkistoissa kulkee lämmönkeruunestettä, joka sitoo lämmön poistoilmasta. Sitten neste kuljettaa lämpöenergian tekniseen tilaan lämmönkeruulinjaa pitkin. Lämpö siirtyy lämmönkeruunesteestä lämpöpumppuun. (Tomallen s.a.)

Lämmön talteenoton kolme tyyppiä ovat rekuperatiivinen, regeneratiivinen ja lämpöpumpuilla toteutettu lämmön talteenotto. Rekuperatiivisessa lämmön talteenotossa menopuolen väliaine ja poistopuolen väliaine virtaavat erillisissä kierroissa. Tämä menetelmä toimii lähes täysin ilman kunnossapitotarvetta ja hygieenisesti, kun levylämmönsiirtimen levyjen läpi vuoroittain virtaava lämmönsiirtoväliaine hoitaa lämmönsiirron (kuva 2). (Vaillant s.a.)



Kuva 2: Levylämmönsiirrin (Swegon s.a.)

Regeneratiivisessa menetelmässä lämpö varataan varajaan. Esimerkiksi pyörivä lämmönsiirrin, jossa tuloväliaineeseen siirretään lämpöä sitovan aineen energia (kuva 3). Tämän tyyppinen lämmön talteenotto edellyttää enemmän kunnossapitoa kuin rekuperatiivisessa menetelmässä. (Vaillant s.a.)



Kuva 3: Pyörivä lämmönsiirrin (Swegon s.a.)

Lämpöpumpuilla hoidetussa lämmön talteenotossa poistupuolen lämmönsiirtoväliaineen sitoma lämpö hyödynnetään, ja sen lisäksi lämpöä lisätään kompressoimalla, joten lämpöä voidaan käyttää lämmityskäytössä ja lämpimän käyttöveden valmistukseen. (Vaillant s.a.)

2.3 Puhallin

Puhallin liikuttaa ilmaa ulkoa tai sisällä läpi erilaisten ilmankäsittelyprosessien ja kanaviston. Siipipyörä (puhallinpyörä) koostuu eri määrästä siipiä, jotka on

kiinnitetty napaan. Kun pyörä pyörii, siivet tekevät työtä niin, että ilman paine kasvaa ja näin ilma saadaan liikkeelle. Normaalisti sähkömoottori pyörittää siipipyörää. Siipien sisäreuna voi suuntautua taaksepäin säteeseen nähden tai suoraan. Siivet voivat olla virtaussuuntaan nähden kaartua eteenpäin, taaksepäin tai ne voivat olla suorat. Ilma tulee radiaalipuhaltimiin siipipyörän akselin suuntaisesti, mutta poistuu akselia vastaan kohtisuoraan. Ilman imu- ja paine- aukot ovat toisiaan nähden suorassa kulmassa. Aksiaalipuhaltimissa ilma virtaa puhaltimen läpi siipipyörän akselin suuntaisesti. (Sandberg 2016 osa 2, 147–148.)

Tärkeimmät puhallinvalintaan vaikuttavat asiat ovat ilmavirta, paineenkorotus, hyötysuhde, säädettävyys ja käyttökohteen olosuhteet. Lisäksi on valtavasti kohteita, joissa puhaltimilta vaaditaan erityisominaisuuksia, jotka on näiden tarpeiden pohjalta kehitettyjä. (Sandberg 2016 osa 2, 147–148.)

2.3.1 Erilliset puhaltimet ja toiminto-osat

Puhaltimet voivat olla suorakäyttöisiä, jolloin siipipyörä on asennettu moottorin akselille tai käytettäessä ulkorootorimoottoria moottorin pyörivään ulko-osaan. Siipipyörä voidaan kytkeä myös voimansiirtojärjestelmän avulla moottoriin. Jotta vältetään voimansiirron kitkahäviöitä ja hihnojen pölyltä käytetään suoraa käyttöä. Tällöin myös huollon tarve vähenee. (Sandberg osa 1 2016, 195.)

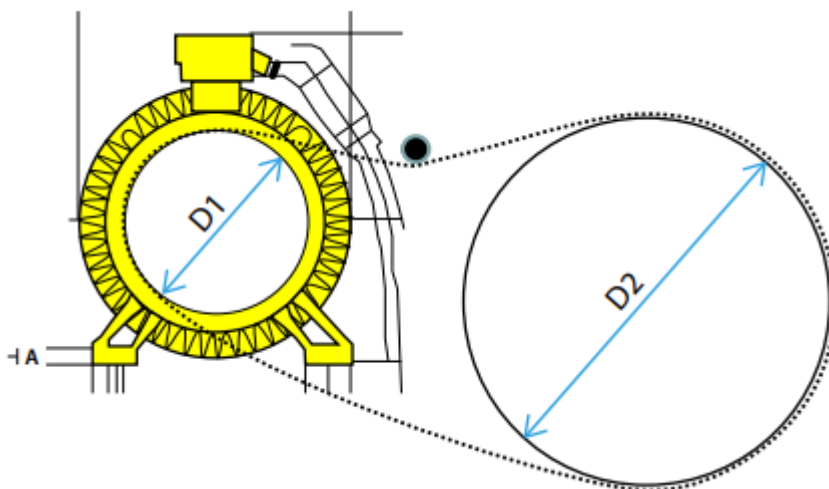
Suorassa käytössä moottorin pyörimisnopeus on sama kuin puhaltimen pyörimisnopeus. Useimmissa aksiaalipuhaltimissa on säädettävät siipikulmat, kun taas radiaalipuhaltimissa ja huippuimureissa toimintapiste pitää hakea moottorin pyörimisnopeutta säätämällä. Tavallisin menetelmä säätää moottorin pyörimisnopeutta on taajuusmuuntajan avulla. (Sandberg osa 1 2016, 195.)

Hihnakäyttöisissä puhaltimissa on lähinnä käytetty kiilahihnoja. Näitä pitää kulumisen takia kiristää ja/ tai vaihtaa säännöllisesti. Lattahihnaa käytettäessä sen etuna on kulumattomuus, pidempi ikä ja hyötysuhde. Lattahihnoja ei tarvitse jälkikiristää ja pölyn muodostus verrattuna kiilahihnoihin on olematonta. Lattahihnoja ei tule kuitenkaan käyttää, jos puhaltimella on käynnistyksiä ja pysäytyksiä tai hihna sijoitettaisiin ulos. (Sandberg osa 1 2016, 195.)

2.3.2 Puhaltimen vaihtaminen

Yleensä puhallin vaihdetaan sen takia, että halutaan säästää sähköenergiaa, halutaan vähentää huoltotarvetta, halutaan vähentää äänihaittoja, halutaan lisätä ilmavirtaa tai halutaan korvata vanha, kulunut tai rikkiäinen puhallin. Ennen uuden puhaltimen määrittämistä ja valintaa on selvitettävä puhaltimen toimintapiste, jonka määräävät paineenkorotus Δp [Pa] ja ilmavirta q [m^3/s]. Puhaltimet päätyvät määrättyyn toimintapisteeseen määrättyllä pyörimisnopeudella. (FläktWoods 2015, 2–3.)

Kun halutaan selvittää hihnäkäyttöisen puhaltimen pyörimisnopeus, on selvitettävä pyörimisnopeus moottorille sekä hihnapyörien halkaisijat, jotka ovat moottorin ja puhaltimen akselilla (kuva 4). Kun nämä ovat selvillä, voidaan puhaltimen pyörimisnopeus laskea kaavalla 1. (FläktWoods 2015, 5.)



Kuva 4: Hihnapyörien halkaisijat (FläktWoods 2015)

$$\eta_{\text{puhallin}} = \eta_r x \frac{D_1}{D_2} \quad (1)$$

jossa,

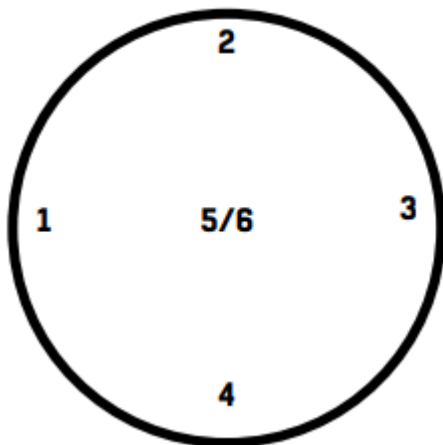
η_{puhallin} = puhaltimen pyörimisnopeus

η_r = sähkömoottorin akselin pyörimisnopeus [1/s]

D_1 = halkaisija [m]

D_2 = halkaisija [m]

Puhaltimen ilmavirta ja paineenkorotus tulisi mitata, jotta saadaan puhaltimen toimintapiste tarkasti selville. Kanavassa kulkevan ilmavirran saa laskemalla selville virtausnopeuden ja kanavakoon perusteella. Niin sanottua yksipistemittausta voidaan käyttää virtauksen mittaamiseen pienissä kanavissa, kun mitataan kanavan keskeltä. Virtausnopeus on suurempi kanavan keskellä, kuin reunoilla, joten mittausvirhe voi olla suuri. Isommissa kanavissa, joissa on suuremmat ilmavirrat, käytetään niin sanottua viisipistemittausmenetelmää (kuva 5). Ilmavirran laskemiseen käytetään viidestä pisteestä saatujen nopeuksien keskiarvoa. (FläktWoods 2015, 6.)



Kuva 5: Mittapisteet kanavassa (FläktWoods 2015)

Paineen mittauksessa käytetään paine-ero mittaria. Kanavassa ennen puhallinta on aina alipaine ja puhaltimen jälkeen ylipaine ilmavirran suunnassa. Puhaltimen paineenkorotus on suurimman alipaineen ja suurimman ylipaineen kokonaisero, ja se saadaan laskettua kaavalla 2.

$$\Delta p = p_{max} - p_{min} \quad (2)$$

jossa,

Δp = puhaltimen paineenkorotus [Pa]

p_{\max} = suurin ylipaine [Pa]

p_{\min} = suurin alipaine [Pa]

Mikäli muita tarkempia menetelmiä ei voida käyttää, voidaan puhaltimen moottorin nimellistehoa eli kilpitehoa (kuva 6) pitää yhtenä mitoituskriteerinä. Jos ei tiedetä tarvittavaa paineenkorotusta, mutta tiedetään ilmavirta, niin on mahdollista, että valitaan uusi puhallin saman tehoisella moottorilla ja luottaa siihen, että vanhassa puhaltimessa on todennäköisesti häviöitä ja huonompi hyötysuhde verrattuna uuteen puhaltimeen. Tämä ei ole kuitenkaan suositeltava tapa, koska lopputuloksen paikkaansa pitävyys voi olla epävarma. (FläktWoods 2015, 7.)



Kuva 6: Kohteessa olevan puhaltimen moottorin kilpitiedot

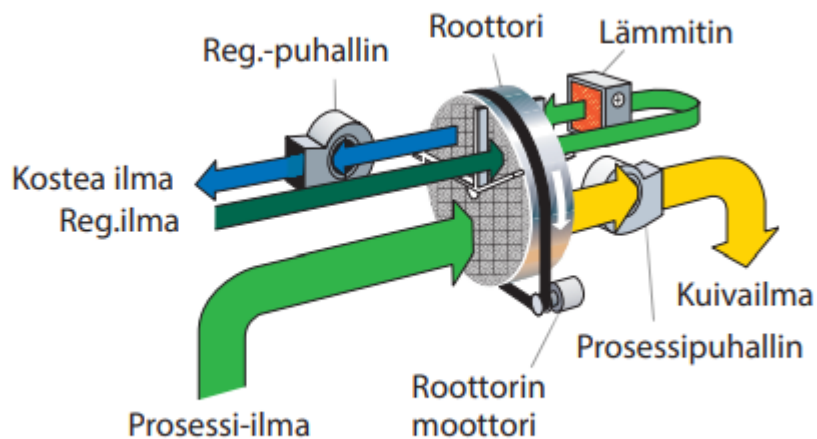
Kokemusperäistä kaaviomitoitusta voidaan käyttää, jos paineenkorotuksen mittaaminen ei onnistu eikä se käy ilmi mistään dokumentaatiosta. Paineenkorotus voidaan tällöin päätellä ilmavirran, rakentamisvuoden ja järjestelmän pai-

nehäviöiden keskinäisistä suhteista. Tällä tavoin päästään arvoon, joka on todennäköisesti lähellä totuutta. Kuitenkin kaaviomitoitusta käytettäessä olisi hyvä tehdä tiedossa olevilla tiedoilla ristiin tarkastuksia. (FläktWoods 2015, 8.)

2.4 Adsorptiokuivaus

Adsorptiokuivaus on prosessi, jossa vesihöyry sitoutuu adsorptiomateriaaliin. Materiaali voi olla kiinteä tai nestemäinen. Kuivaavan ilmankuivaimen perustoimintaperiaate on yksinkertainen. (Atlas Copco s.a.)

Roottori sitoo kosteuden ilmavirrasta, ja se on tyypillisesti silikageelillä pinnoitettu. Vesimolekyylit sitoutuvat roottoriin. Ilmalla, joka poistuu roottorista, on korkeampi lämpötila, koska adsorptioprosessi vapauttaa energiaa ja lämmittää ilmaa. Prosessi-ilmavirta poistaa kosteuden ilmasta ja regenerointi-ilmavirta poistaa kosteuden roottorista, jotta sen kuivauskyky palautuu. Ulkoilmavirta lämmitetään ja kuuma, kuivempi ilma kulkee roottorin läpi, jolloin ilma viilenee. Tästä vapautunut vesihöyry puhalletaan ulos regenerointi-ilman mukana. (Stravent s.a.)



Kuva 7: Recusorb R:n kuivausperiaate (Kryotherm s.a.)

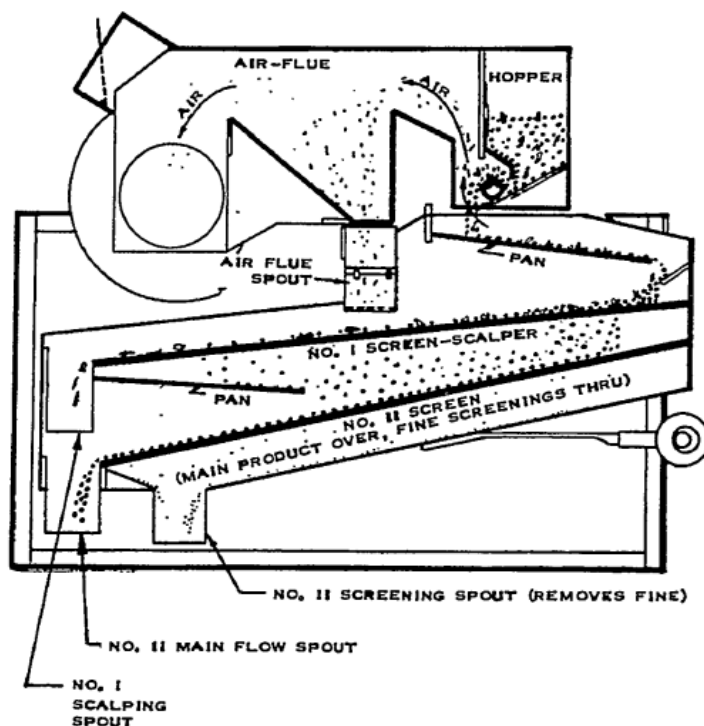
Kuvassa 7 esitetään kuivausperiaate, jota kuivaimessa käytetään. Recusorb R on varustettu sisäisellä lämmöntalteenotolla. Lämmöntalteenotto-osa-alueella käytetään hyväksi lämpöä, jota roottorin regeneroinnissa absorboidaan, joten sisään tuleva ilma esilämmitetään ja osittain kuivataan. Kuiva ilma tulee näin

kuivemmaksi ja viileämmäksi muihin sorptiokuivaimiin verrattuna, sekä energian kulutus pienenee. (Kryotherm s.a.)

2.5 Siemenen käsittely yleisesti

Siementen käsittelyssä käytetään metodeja ja tekniikoita, jotta saadaan puhdasta ja korkealaatuista siementä. On kahta eri koulukuntaa, kun puhutaan siementen prosessoinnista: siemenerän käsittely ja jatkuvan siemenvirtauksen käsittely. (US Forest Service s.a.)

Eräkäsittely on joustavaa siemenen tyyppin ja prosessin järjestyksen suhteen. Henkilöstö voi seurata siementä käsittelyn joka askeleella ja muutoksien tekeminen sekä puhdistaminen ovat helppoa. Laitteita voi vaihtaa ja päivittää tarpeen mukaan. Eräkäsittelyä yleisesti suositaan varsinkin pienille siemenerille. Jatkuvassa siemenvirtauksen käsittelyssä kävyt ja siemenet liikkuvat toisiinsa yhdistettyjen käsittelyvaiheiden läpi. Tämän vuoksi siemenen puhdistusprosessissa voi olla mukana vähemmän henkilöstöä. Mutta jos laitteistoa hajoaa, joudutaan sulkemaan koko tuotantolinja. Koska tarvittavaa laitteistoa on paljon, niin siemenpaikan mahdollinen saastuminenkin kasvaa. On myös paljon vaikeampaa määrittää siemenen vioittumisen syy. Tätä menetelmää käytetään usein, kun on isoja siemeneriä käsiteltävänä. (US Forest Service s.a.)



Kuva 8: Esimerkki siemenen käsittelykoneesta. (US Forest Service s.a.)

Tiivistettynä prosessi siis menee niin, että ensimmäisenä kävyt avataan kuivaamalla, tämän jälkeen kävyt laitetaan rumpuun, jossa siemenet tippuvat kävyistä pois. Näiden vaiheiden jälkeen siemenet jatkavat matkaansa eteenpäin, jossa niitä käsitellään vielä enemmän, ennen kuin ne varastoidaan. Prosessiin liittyy paljon vaiheita, joissa puhdistetaan, poistetaan ja kuivataan osia. Kuvassa 8 on esitetty esimerkki, minkälainen siementen käsittelylaite voi olla. (US Forest Service s.a.)

2.6 Suhteellinen kosteus

Suhteellinen kosteus (RH) yksinkertaistetusti mittaa ilmassa olevan vesihöyryn pitoisuutta. Se on ilmassa oleva vesihöyry prosenttiosuutena (%RH) määrästä, joka saturaation saavuttamiseen tarvitaan samassa lämpötilassa. Jos järjestelmän lämpötila on stabiili, myös RH on stabiili, koska suhteellinen kosteus on vahvasti riippuvainen lämpötilasta ja hyvin herkkä muutoksille lämpötiloissa. (Vaisala s.a.)

On tiettyjä asioita mitkä auttavat ymmärtämään, miten suhteellisen kosteuden periaate toimii, mutta tuloksiin voivat vaikuttaa muutkin tekijät, ellei kyseessä

ole suljettu järjestelmä. Ensimmäisenä on se, että lämpötilan noustessa ilmasta tulee kuivempaa (RH pienenee) ja ilmasta tulee kosteampaa, kun lämpötila laskee (RH kasvaa). Ja paineen laskiessa ilmasta tulee kuivempaa (RH pienenee) ja paineen noustessa ilmasta tulee kosteampaa (RH kasvaa). Selvästi yleisin syy valvoa suhteellista kosteutta on lopputuotteen kosteuden hallinta. Yleensä se tarkoittaa, että varmistetaan ettei RH nouse koskaan liian korkeaksi. (Vaisala s.a.)

3 TAUSTATIETOJA

3.1 Siemen Forelia

Siemen Forelia tuottaa jalostettuja metsäpuiden siemeniä Suomessa ja myy siemeniä Suomessa sekä Pohjoismaissa. Heillä on tänä päivänä noin 100 siemenviljelystä Suomessa ja tuotantoala on noin 1700 ha. Tuottamisen ja myymisen lisäksi Siemen Forelia tarjoaa palveluita siementen itävyyden määrittämiseen ja käpyjen karistukseen. (Siemen Forelia s.a.)

3.2 Kuivatusprosessi

Siemenen tuotannossa vuosi alkaa syksyllä, kun siemensato kypsyynt. Tällöin viljelyksillä aloitetaan siemensadon keruu. Kun kävyt on saatu kerättyä, ne kuljetetaan karistamoon Keski-Suomeen. (Siemen Forelia s.a.)

Avoimen haastattelun avulla selvitettiin, miten kuivatusprosessi toimii ja etenee. Käpyjen kosteus ennen esikuivatusta on n. 36–46 % ja esikuivatuksen jälkeen kosteus on minimissään 30 %. Kosteus ei voi olla tämän alle, koska silloin kävyt ovat liian kuivia uuniin. Uuniin laitetaan 10 000 litraa käpyjä. Esikuivatuksen aikana puhalletaan 15-asteista ilmaa. Tässä prosessissa menee noin 2–3 vuorokautta.

Karistuksessa menee noin kaksi vuorokautta, mutta esimerkiksi kovalla pakkasella, kun ilma on todella kuivaa, voi karistuksessa mennä vain vuorokausi. Karistuksessa puhallettava ilma on noin 42-asteista, ja karistuksen jälkeen käpyjen kosteus on noin 2,4–4,5 %. Karistuksen jälkeen kävyt laitetaan karistus-

rumpuun. Rummussa kävyistä pyöritetään siemenet irti ja kävyt ajetaan putkistoa pitkin poltettavaksi erilliseen rakennukseen. Siemenet menevät seuraavaan rumpuun, jossa ne kastellaan, että saadaan lenninsiivet pois ja sitten niitä kuivataan linjastolla. Tämän jälkeen suoritetaan vielä prevac-käsittely, jossa siemenet vesikäsitellään sekä puhdistetaan alipaineella ja sitten viimeinen kuivaus, jonka jälkeen siementen lopullinen kosteusprosentti on 5,5–6,5 %. Viimeisenä ennen pullosta siemenet menevät linjastolle, jossa niille tehdään vielä viimeinen mekaaninen puhdistus, että saadaan tyhjät siemenet pois. Tässä vaiheessa ei enää kuivata tai kastella.

Tämän jälkeen siemenet varastoidaan odottamaan jatkoa. Siemenet siirretään Rovaniemelle siemenkeskukseen, jossa niille tehdään idätyskoe laboratoriossa ja laatukriteerit täyttävät siemenet kuljetetaan suoraan asiakkaalle.

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimuksen menetelmäsuuntausta, jossa pyritään ymmärtämään kohteen ominaisuuksia, merkityksiä ja laatua kutsutaan laadulliseksi eli kvalitatiiviseksi tutkimusmenetelmäksi. Tutkimusmenetelmää voidaan toteuttaa monella erilaisella menetelmällä. Yhteisenä piirteenä esiin nousee muun muassa kohteen taustaan, esiintymisympäristöön, merkitykseen ja tarkoitukseen, ilmaisuun sekä kieleen liittyvät näkökulmat. Määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimus perustuu kohteen kuvaamiseen ja tulkitsemiseen tilastojen ja numeroiden avulla. Tutkimusmenetelmässä kiinnostaa usein erilaiset luokittelut, syy- ja seuraussuhteet, vertailut ja numeerisiin tuloksiin perustuvaan ilmiön selittämiseen. Menetelmäsuuntaukseen sisältyy useita laskennallisia ja tilastollisia analyysimenetelmiä. (Jyväskylän yliopisto 2021.)

Näiden menetelmien eroja usein korostetaan, mutta molempia suuntauksia voidaan käyttää myös samassa tutkimuksessa ja eri tavoilla selittää samoja tutkimuskohteita. Monet menetelmät asettuvat lähtökohdiltaan suuntausten ääripäiden välimaastoon ja osa analyysimenetelmistä perustuu vahvasti laadullisen tutkimuksen tai määrällisen tutkimuksen suuntaukseen. (Jyväskylän yliopisto 2021.)

Avoimessa haastattelussa haastattelija käsittelee haastateltavan ajatuksia, käsityksiä ja mielipiteitä sen mukaan, kun ne tulevat keskustelussa esille. Kaikista eri haastattelujen muodoista avoin haastattelu on lähinnä keskustelua. Haastateltavan on huolehdittava tilanteen ohjailusta, koska haastattelussa ei ole kiinteää runkoa. (Eskola 2010.)

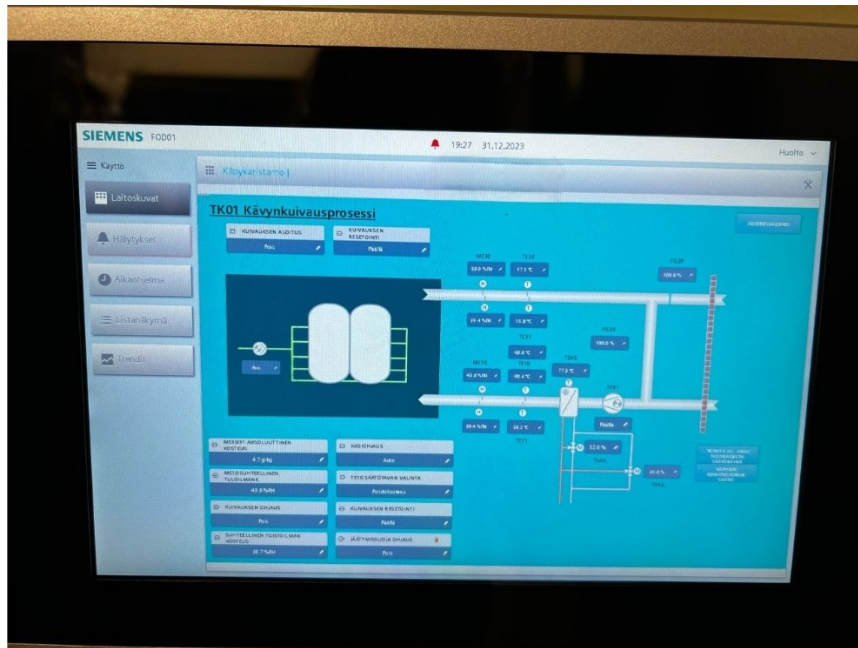
4.1 Vierailut kohteessa

Työssä on tärkeää ymmärtää, miten prosessi toimii ja mikä on haluttu lopputulos, jotta voidaan suunnitella toimiva ja parhaiten asiakkaan tarpeita palveleva kokonaisuus. Vierailukäynneillä päästiin tutustumaan karistuslaitteistoon ja kuivatusprosessiin asiantuntevien työntekijöiden avulla. Suoritin avointa haastattelua kierrellessämme tiloissa ja kirjasin samalla asiat ylös.

Avoimen haastattelun lisäksi suoritin käynneillä lämpötilojen ja kosteuden seuranta sekä näin millaisiin tiloihin mahdolliset tulevat laitteet olisi sijoitettava.

4.2 Kosteus- ja lämpötilaseuranta

Kosteus- ja lämpötilaseurannalla haluttiin selvittää mitkä ovat käpyjen kosteusprosentit kuivausprosessin alkaessa ja kuivauksen edetessä sekä varmistaa ovatko vanhat kosteus- ja lämpötila-anturit toiminnassa ja yhteys valvontalakeskukseen eli VAK:iin toimii.



Kuva 9: Prosessikaavio.

Prosessikaaviossa (kuva 9) näkyy, että puhallin olisi koko ajan päällä vaikka näin ei todellisuudessa olisi. Puhallin pitäisi myös saada laitettua päälle etänä, mutta se ei toimi.

5 TULOKSET

5.1 Kosteus- ja lämpötilaseurannan tulokset

Seuranta suoritettiin 10.1.2024 ja ulkoilma oli noin +1- asteinen. Kosteutta ja lämpötiloja seurattiin kahden tunnin ajan prosessikaaviosta VAK:in näytöltä (kuva 9). Seurannan tulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Kosteus- ja lämpötila-arvot.

TULOILMA		°C	RH
	Alku	40,5	43,8
	5 min	52,5	84
	30min	50,1	9,7
	1h	50,1	9,6
	1,5h	50,4	9,3
	2h	49,9	9,8
POISTOILMA		°C	RH
	Alku	17,1	38
	5 min	15,4	68,8
	30min	19,1	58,9
	1h	23,5	44,9
	1,5h	25,1	39,6
	2h	26,4	35,5

Seurannassa huomattiin, että tuloilman lämpötila ja suhteellinen kosteus ta-
soittui 30 minuutin jälkeen ja pysyi tasaisena loppuajan. Poistoilmassa lämpö-
tila nousi hiljalleen ja suhteellinen kosteus laski. Seurannan tulokset olivat
odotusten mukaisia. Kun tulopuolella lämpötila nousi, niin suhteellinen kosteus
laski. Kun poistopuolella kosteus poistui kävyistä poistoilman mukana, suh-
teellinen kosteus nousi hetkellisesti ennen kuin lähti laskemaan.

5.2 Nykyisen järjestelmän uudistaminen

Nykyisen järjestelmän toiminnan kannalta tärkeimmät osat ovat puhallin, läm-
pöpatteri ja ilmapellit. Puhallin ottaa ilman ulkoa ja puhalttaa ilman lämpöpatte-
rin läpi uunin alaosaan. Ilma kulkee käpyjen läpi niitä samalla kuivaten ja pois-
tuu uunin yläosasta suodattimien läpi huonetilaan. Huonetilassa on kosteus-
sekä lämpötila-anturit, jotka viestivät automatiikan kanssa, miten ilmapeltejä
tulisi aukoa sekä sulkea, jotta osa ilmasta kiertäisi takaisin puhaltimelle ja osa
meni ulos. Kävyt itsessään eivät tarvitse raitista ilmaa, mutta sekaan on otet-
tava kuivaa ilmaa, jotta kosteus poistuu.

Tämänhetkisellä kuivausjärjestelmällä päästään toivottuun lopputulokseen eli
kävyt saadaan kuivattua. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin järjestelmän auto-
matiikka ja energian kulutus. Automatiikka ei kommunikoi kosteus- tai lämpö-
tila-antureiden kanssa, ja pellit vain aukeavat, kun kuivausprosessi alkaa,

sekä sulkeutuvat kun prosessi päättyy. Eli ilma poistuu eikä kierrä takaisin prosessiin, jolloin järjestelmä olisi paljon energiatehokkaampi.

Automatiikkaa pitäisi pystyä ohjailemaan VAK:in näytöltä, joka on asennettu sinne noin 15 vuotta sitten. Sekä VAK:ilta pitäisi mennä tietoa toimiston tietokoneeseen, jolta prosessia olisi helpompi hallita, mutta näin ei tällä hetkellä ole.

5.3 Puhallin

Kohteessa on Suomen Puhallintehtaan puhallin (kuva 10), josta ei ollut mitään muuta tietoa saatavissa, kuin se mitä oli laitekilvissä, jotka olivat puhaltimen kaavussa ja sen moottorissa. Suomen Puhallintehtas perustettiin vuonna 1931, ja vuodesta 2016 se on ollut nimeltään FläktGroup Finland Oy.



Kuva 10: Puhallin.

Laatoista selvisi kaavun malli ja se, että moottorin teho on 11kW ja moottorin kierrosnopeus on 1455 r/min. Tuotteen tuotetietojen löytäminen oli hankalaa puhaltimen iän vuoksi. Otin yhteyttä FläktGroupin puhaltimien myyntipäällikköön kysyäkseni, olisiko heillä mahdollisesti jotain tuotetietoja tallessa tai olisiko heillä jotain samanlaista puhallinta, ja hänellä sattui olemaan tuotteen tiedot skannattuna koneellaan. Tuote ei ollut hänelle tuttu, joten sataprosenttista varmuutta vastaavuudesta ei ole, koska skannatussa esitteessä ei ole tuotekoodin avainta. Nykyään myös puhaltimien esitteet sekä yksiköt ovat muuttuneet.

Fläkt Woods Oy:n tekemässä ilmankäsittelykoneen puhaltimen vaihto-oppaassa on käsitelty puhaltimen vaihtoa sen kannalta, ettei dokumentaatiota puhaltimesta ole. Oppaassa on kokemuseräiseen kaaviomitoitukseen annettu kaksi kaaviota, jossa kaaviosta A voidaan selvittää puhaltimen ilmavirta asennusvuoden ja ottotehon perusteella. Kaaviosta katsottuna puhaltimen ilmavirraksi saataisiin n. 6 m³/s. Kaaviosta B voidaan samasta risteyskohdasta katsoa järjestelmän paineenkorotus, joka kaavion mukaan olisi n. 815 Pa. Kaaviomitoituksen lisäksi tulisi aina tehdä ristiintarkastuksia, koska tähän mitoitustapaan liittyy monia epävarmuuksia. Yhtenä epävarmuustekijänä on se, että asennusvuodet kaaviossa loppuvat vuoteen 1969 ja kohteessa oleva puhallin on asennettu vuonna 1965.

Uusi puhallin olisi todennäköisesti ollut kaavullinen radiaalipuhallin ja liitoskohta olisi varustettu pussikauluksella, jossa olisi ollut hieman joustovaraa asennuksen suhteen. Vanhaa sähkömoottoria olisi todennäköisesti voinut hyödyntää tässä tapauksessa.

Mittaamalla saatiin sähkömoottorissa olevan juoksupyörän halkaisijaksi 145 mm ja puhaltimen akselilla olevan juoksupyörän halkaisijaksi 200 mm. Joten puhaltimen pyörimisnopeus saadaan laskettua kaavalla 1.

$$1455\text{r/min} \times \frac{145\text{mm}}{200\text{mm}} = 1055\text{r/min} \quad (1)$$

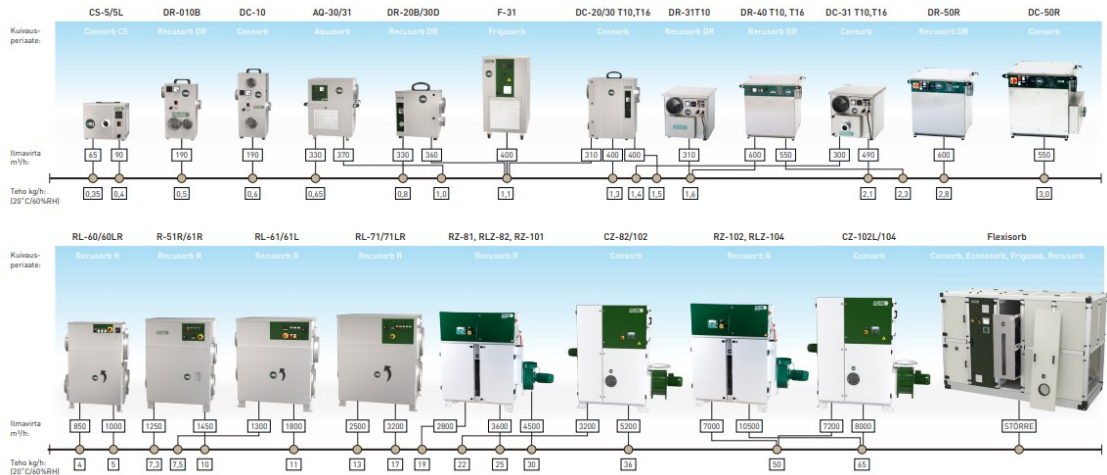
5.4 Ilmanvaihtokone

Yhtenä vaihtoehtona oli asentaa kohteeseen ilmanvaihtokone, jossa poistuvasta ilmasta otettaisiin lämpö talteen. Lämmön talteenotossa lämmenteestä rakennuksesta kerätään talteen lämpöenergiaa siten, että lämpö voidaan uudelleen hyödyntää. Tehokkaalla lämmön talteenotolla voidaan vähentää CO₂-päästöjä, säästää energiaa sekä alentaa kustannuksia. Kustannukset LTO-järjestelmään liittyen ovat toki kohdekohtaisia, ja kokonaiskustannukset riippuvat koko järjestelmän laajuudesta. Vanhemmissa rakennuksissa voi kuitenkin tulla haasteita esimerkiksi tiiviyden suhteen, joka osaltaan lisääisi kustannuksia. Tehokas lämmön talteenotto maksaisi itsensä kuitenkin nopeasti takaisin.

Kohteessa on painovoimainen ilmanvaihto, ja asennettava ilmanvaihtokone olisi palvellut vain kuivatusprosessia. Asiaa lähdettiin tarkastelemaan ensin sen perusteella, mahtuisiko mahdollinen laitteisto kuivaamoon. Vierailulla otettiin mittoja ja kävi ilmi, että sisätiloihin kone ei tulisi mahtumaan. Yhtenä vaihtoehtona pohdittiin koneen asentamista katolle, mutta silmämääräisesti todettiin, että ilman isoja tilanmuutoksia ei olisi laitteita saatu asennettua.

5.5 Kuivaimet

Peruseriaatteena on siis se, että pyörivä roottori adsorboisi jatkuvasti kosteutta prosessi-ilmasta. Alustavien tietojen mukaan kohteeseen tarvittaisiin kaksi kuivainta, joiden kuivausteho olisi 37 kg/h per kuivain. Oikean kuivaimen etsintä aloitettiin Kryothermin kuivaimista. Heidän sivuiltaan (kuva 11) kuivainmalliksi olisi valikoitunut Recusorb RLZ-102. Kuvassa 12 on esitetty kuivaimen teknisiä tietoja.



Kuva 11: DST ilmankuivaimet (Kryotherm s.a.)

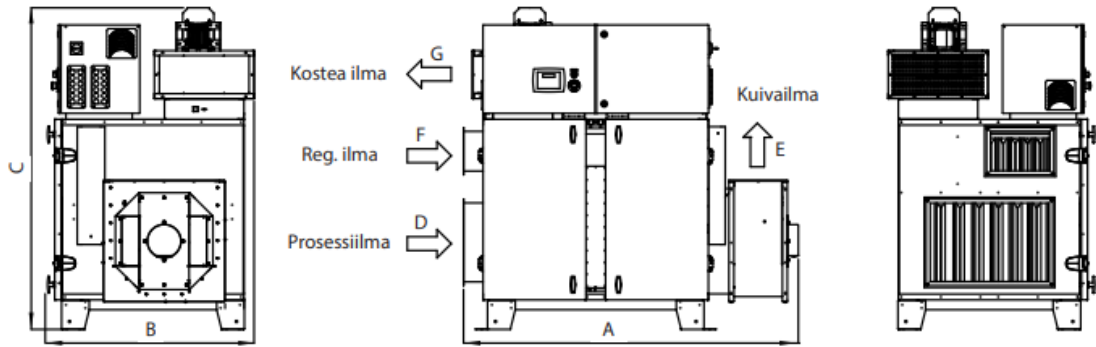
Kuivainmalli ICE	RLZ-81	RLZ-82	RLZ-101	RLZ-102
Nimellisteho ¹ (kg/h)	20	27	34	54
Kuiva ilmavirta ² (m³/h)	4500	6000	9000	12000
Käytettävissä oleva staattinen paine (Pa)	300	300	300	300
Kosteaa ilmavirta ² (m³/h)	750	1000	1300	2100
Käytettävissä oleva staattinen paine (Pa)	200	200	200	200
Lämmittimen teho ³ (kW)	24	30	40	63
Liitäntäteho (kW)	27,6	35,4	46,3	72,7
Varokkeet 3x230 / 3x400 V 50Hz (A)	50	63	80	125
Paino (kg)	307	345	415	568

1. Pätee olosuhteissa 20C/60%RH.
2. Ilmamäärät pätevät ilman tiheydelle 1,20 kg/m³.
3. Lämmitin voi olla sähköllä, höyryllä tai kaasulla toimiva.

Kuva 12: Kuivaimen tekniset tiedot (Kryotherm s.a.)

RLZ ICE koken mitat [mm]				
	RLZ-81	RLZ-82	RLZ-101	RLZ-102
A	1692	1855	1770	2246
B	1043	1043	1292	1292
C	1637	1658	1932	1983
D	400 x 600	400 x 600	500 x 1000	500 x 1000
E	245 x 560	280 x 640	306 x 720	356 x 800
F	200 x 300	200 x 300	300 x 400	300 x 400
G	194 x 450	194 x 450	194 x 450	194 x 450

Kuva 13: Kuivaimen mittoja (Kryotherm s.a.)



Kuva 14: Piirros koneesta (Kryotherm s.a.)

Kierrätettävä ilmamäärä olisi suuri, ja, tila jonne kuivaimet olisi saatava on matala ja ahdas. Kuvista 13 ja 14 nähdään kuivaimen mittoja, ja näiden perusteella olisi hyvin todennäköistä, että kuivaimia ei saataisi haluttuun tilaan. Kuivaimetkaan eivät olisi ihan energiapihejä, sillä niissä on isot sähkölämmityspatterit sekä alkuinvestointi on iso koneiden hankinnan ja mahdollisten tilamuutosten takia.

5.6 Kokonaiskustannuksien arviot

Taulukossa 2 on esitetty kustannusarviot jokaisesta kolmesta vaihtoehdosta.

Taulukko 2: kustannusarviot.

KUSTANNUSARVIOT	
Kuivaimet 2kpl	~70 000€
Ilmanvaihtokone	~25 000-30 000€
Nyk. järj. uusiminen	~15 000€

Kuivaimelle tulisi hintaa 35 000 € kappaleelta eli yhteensä 70 000 €. Ilmanvaihtokone, jossa olisi poistokone esimerkiksi katolle asennettuna sekä tulo-kone alhaalla ja näiden välissä glykoli lämmöntalteenottoputkisto. Hinta-arvio tälle olisi 25 000 €- 30 000 € välissä. Automatiikan ja pellistön uusimiselle hintaa tulisi noin 15 000 €, mutta samalla uusitaan muutakin rakennuksen automatiikkaa.

5.7 Lopputulos

Kiinteistöön ollaan samalla uusimassa käyttövesiputkia, asennetaan vesi-ilma-lämpöpumppu nykyisen hakekattilan rinnalle sekä uusitaan kohdepoistoja halli- leihin, mutta hallien perusilmanvaihtoon ei tehdä muutoksia. Ajatellen koko sa- neerausprojektin laajuutta sekä kokonaiskustannuksia päädyttiin asiakkaan toiveesta uusimaan nykyinen järjestelmä. Olisi tullut kalliimmaksi asennuttaa kiinteistöön kuivaimia tai uusia LTO-laitteita, joten parannetaan prosessin energiatehokkuutta uusimalla ja eristämällä laitteistoa. Kuivaimista lähtisi isot kanavat, joihin ei olisi myöskään ollut tilaa. Niissä olisi ollut myös isotehoiset sähköpatterit, jotka olisivat kuluttaneet energiaa sekä tilat olisivat olleet todella hankalat ajatellen koneiden kokoa ja suuria ilmamääriä.

Suunnitelmana on, että kaikki nykyiset kammiopellit (ulkoilma, kiertoilma ja ulospuhallusilma) vaihdetaan uusiin sekä eristetään ja pellit varustetaan 24V:n toimilaitteilla. Automatiikka eli alakeskus vaihdetaan uuteen niin, että nykyiset anturit jäävät ja uusi grafiikka sekä ohjelmointi tehdään tilaajan mukaan. Kaikki nykyiset alakeskuspisteet liitetään uuteen. Suunnitelmien mukaan on tehty uudet piirustukset, joiden mukaan urakoitsija toteuttaa muutostyöt.

6 POHDINTA

Opinnäytetyössä oli mielenkiintoista tutkia vaihtoehtoja, joilla päästäisiin toivottuun lopputulokseen. Haasteita tuotti laitteiden ja tilojen yhteensovittaminen ilman, että kokonaiskustannukset olisivat kohonneet reilusti. Lopputulos, mikä työllä saavutettiin, on kuitenkin kaikkia osapuolia palveleva. Tällaisesta kuiva- tusprosessista ei ole tehty paljoa tutkimusta, joten opinnäytetyössä tehtyä tut- kimusta voi mahdollisesti jatkaa ja hyödyntää tulevaisuudessa, joko tässä tai muissa vastaavanlaisissa kohteissa. Puhaltimen vaihto olisi yksi tapa, jolla voisi vielä tehostaa nykyisen järjestelmän uudistamista. Lisäksi puhaltimen il- mavirran, paineenkorotuksen sekä moottorin tarkan tehon selvittämiseksi voisi suorittaa tarkempia mittauksia.

Osaavan henkilökunnan haastattelemisen oli isossa osassa opinnäytetyötä tehdessä, jotta ymmärrettiin, mikä koko prosessi on sekä mitä halutaan tai ei

haluta saavuttaa. Keskeisessä roolissa oli myös se, että ei haluttu huonontaa jo toimivaa prosessia, kuten aiemmin oli tapahtunut. Uusimalla nykyistä laitteistoa varmistetaan kuivatusprosessin toiminta jatkossakin, mutta parannetaan samalla nykyisen järjestelmän toimintaa sekä energiatehokkuutta.

LÄHTEET

Bareroot Nursery Equipment Catalog. s.a. US Forest Service. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fs.usda.gov/t-d/pubs/pdfpubs/pdf92242839/pdf92242839pt03.pdf> [viitattu 16.1.2024].

Eskola, L. 2010. Henkilöhaastattelun toteuttaminen. Opinnäytetyö. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/17009/Eskola_Laura.pdf?sequence= [viitattu 7.3.2024].

Erilaiset lämmönsiirrintyytit. s.a. Swegon. WWW- dokumentti. Saatavissa: <https://www.swegon.com/fi/oppaat/tekniikat/erilaiset-lammonsiirrintyytit/> [viitattu 27.4.2024].

Ilmankuivaimet. s.a. Kryotherm. WWW- dokumentti. Saatavissa: <https://kryotherm.fi/wp-content/uploads/2018/08/DST-ILMANKUIVAIMET.pdf> [viitattu 6.3.2024].

Improve compressed air quality with an adsorption dryer. s.a. WWW- dokumentti. Atlas Copco. Saatavissa: <https://www.atlascopco.com/en-us/compressors/wiki/compressed-air-articles/absorption-adsorption> [viitattu 3.6.2024].

Kosteudenpoiston kuivatusratkaisut. s.a. Stravent. WWW- dokumentti. Saatavissa: https://stravent.fi/kosteudenpoiston_kuivatusratkaisut.html [viitattu 15.2.2024].

Laadullinen tutkimus. 2021. Jyväskylän yliopisto. WWW- dokumentti. Saatavissa: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/laadullinen-tutkimus> [viitattu 17.4.2024].

Mikä on lämmön talteenotto? s.a. Vaillant. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vaillant.fi/asiakkaat/neuvoja-ja-tietoa/lammitys-sanasto/master-heat-recovery-1925014.html> [viitattu 16.4.2024].

Määrällinen tutkimus. 2021. Jyväskylän yliopisto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/maarallinen-tutkimus> [viitattu 17.4.2024].

Painovoimainen ilmanvaihto. s.a. Ilmakas. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ilmakas.fi/painovoimainen-ilmanvaihto> [viitattu 27.4.2024].

Poistoilman lämmön talteenotto. s.a. Tomallen. WWW- dokumentti. Saatavissa: <https://www.tomallensenera.fi/lammon-talteenotto> [viitattu 3.3.2024].

Puhaltimen vaihto ilmkäsittelykoneeseen. 2015. Fläkt Woods Oy. PDF- dokumentti. [viitattu 27.4.2024].

Siemenviljelykset. s.a. Siemen Forelia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://siemenforelia.fi/sie.menviljelykset/> [viitattu 15.1.2024].

Suhteellinen kosteus- mikä se on ja miksi se on tärkeä? s.a. Vaisala. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vaisala.com/fi/blog/2020-05/suhteellinen-kosteus-mika-se-ja-miksi-se-tarkea> [viitattu 17.4.2024].

Vesterinen, T. 2019. Mollierin diagrammi avuksi kuivausajan arviointiin. *Koneviesti*. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.koneviesti.fi/maatalous/95a2c869-3536-5f19-8e89-d38922b079af> [viitattu 15.1.2024].