



Lasse Miettinen

**ENERGIANSÄÄSTÖRATKAISUJEN KARTOITUS JA
KUSTANNUSVERTAILU BEST-IN OY:N KUIVAUSUUNEIHIN**

**ENERGIANSÄÄSTÖRATKAISUJEN KARTOITUS JA
KUSTANNUSVERTAILU BEST-IN OY:N KUIVAUSUUNEIHIN**

Lasse Miettinen
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Lasse Miettinen

Opinnäytetyön nimi: Energiansäästöratkaisujen kartoitus ja kustannusvertailu Best-In Oy:n kuivausuuneihin

Työn ohjaajat: Martti Rautiainen ja Risto Mattila

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012 Sivumäärä: 43 + 13 liitettä

Opinnäytetyö tehtiin Best-In Oy:n toimeksiannosta. Työn aiheena oli energiansäästöratkaisujen kartoitus ja kustannusvertailu yrityksen kuivausuuneihin. Tavoitteena oli etsiä yrityksen kuivausuuneihin soveltuvia laitteistoja, joilla saadaan vähennettyä uunien energiankulutusta tai otettua talteen uunien poistoilman sisältämää lämpöenergiaa.

Työssä selvitettiin uunien poistoilman mukana ulospuhallettavan hyödyntämättömän lämpöenergian määrä, jonka laskentaperusteita varten mitattiin uunien poistoilmasta ilmavirrat ja ilman kosteus. Energiansäästövaihtoehdoiksi valittiin poissulkevalla menetelmällä kolme päävaihtoehtoa: puhaltimien optimointi taajuusmuuttajilla, lämmöntalteenotto vesikiertoisella LTO-patterilla sekä kuivauslämpöpumppu. Vaihtoehdoille toteutettiin energiansäästölaskelmat ja alustavat kustannusarviot, joiden perusteella päädyttiin kannattavimpaan laitteistoon, jolle tehtiin lisäksi kattava kustannuslaskelma.

Kannattavimmaksi energiansäästöratkaisuksi osoittautui puhaltimien optimointi taajuusmuuttajilla, joilla poistoilmavirrat säädetään mahdollisimman alhaisille tasoille siten, ettei poistoilman kosteus nouse liian korkealle tasolle tuotteiden kuivaamisen kannalta. Ratkaisun etuina ovat pienet investointikustannukset, suuri energiansäästö, toimintavarmuus, asennustöiden helppous ja vähäinen huollontarve. Taajuusmuuttajilla arvioidaan saatavan kymmenien tuhansien eurojen vuosittaiset säästöt energiankulutuksessa. Todellinen säästön määrä saadaan selville, kun ilmavirtojen optimointi on suoritettu.

Asiasanat: energiansäästö, lämmöntalteenotto, taajuusmuuttaja, kuivausuuni

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLTÖ	4
1 JOHDANTO	6
2 KUIVAUSUUNIT	7
2.1 Tietoa kuivausuuneista	7
2.2 Uunien toiminta	8
2.3 Käyntiajat ja toimintalämpötilat	8
3 MITTAUKSET	10
3.1 Ilmamäärämittaukset ja poistoilmankosteuden määrittäminen	10
3.2 Mittauslaitteet	12
3.3 Mittausmenetelmät ja -tulokset	13
3.4 Mittausten epätarkkuus	16
4 ENERGIANSÄÄSTÖVAIHTOEHDOT	18
4.1 Energiansäästövaihtoehtojen valinta	18
4.2 Puhaltimien optimointi taajuusmuuttajilla	19
4.3 Lämmöntalteenotto vesikiertoisella LTO-patterilla	21
4.3.1 Lämmöntalteenotto käyttöveteen	22
4.3.2 Lämmöntalteenotto lämmitysverkostoon	23
4.4 Kuivauslämpöpumppu	23
5 ENERGIALASKELMAT	26
5.1 Hyödyntämätön energia poistoilmassa	26
5.2 Puhaltimien optimointi taajuusmuuttajilla	27
5.3 Lämmöntalteenotto vesikiertoisella LTO-patterilla	28
5.3.1 Lämmöntalteenotto käyttöveteen	28
5.3.2 Lämmöntalteenotto lämmitysverkostoon	29
5.4 Kuivauslämpöpumppu	30
6 KUSTANNUSLASKELMAT	32
6.1 Kustannuslaskelmien toteutusmenetelmät	32
6.2 Puhaltimien optimointi taajuusmuuttajilla	33
6.3 Lämmöntalteenotto vesikiertoisella LTO-patterilla	34
6.3.1 Lämmöntalteenotto käyttöveteen	34

6.3.2 Lämmöntalteenotto lämmitysverkostoon	35
6.4 Kuivauslämpöpumppu	36
7 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	41
LIITTEET	43

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on etsiä Best-In Oy:n kuivausuuneihin soveltuvia laitteistoja, joilla saadaan vähennettyä uunien energiankulutusta tai otettua talteen uunien poistoilman sisältämää lämpöenergiaa. Nykyisin poistoilma puhalletaan suoraan rakennuksesta ulos, jolloin poistoilman lämpöenergia jää hyödynnettämättä. Laitteistojen soveltuvuus kohteeseen arvioidaan teknisten ominaisuuksien ja hankintakustannusten perusteella.

Opinnäytetyö on tehty Best-In Oy:n toimeksiannosta. Kuivatusuunien energiansäästöön tähtäävän selvityksen katsottiin olevan tarpeellinen, koska uunit käyttävät suuren määrän energiaa, jonka ostohinta on ollut nouseva pitkällä aikavälillä tarkasteltuna. Kuivatusuunien lämmittämiseen käytettävä energia tuotetaan raskaalla polttoöljyllä Best-In Oy:n ja samalla alueella toimivan Atria Oyj:n yhteisessä lämpövoimalaitoksessa.

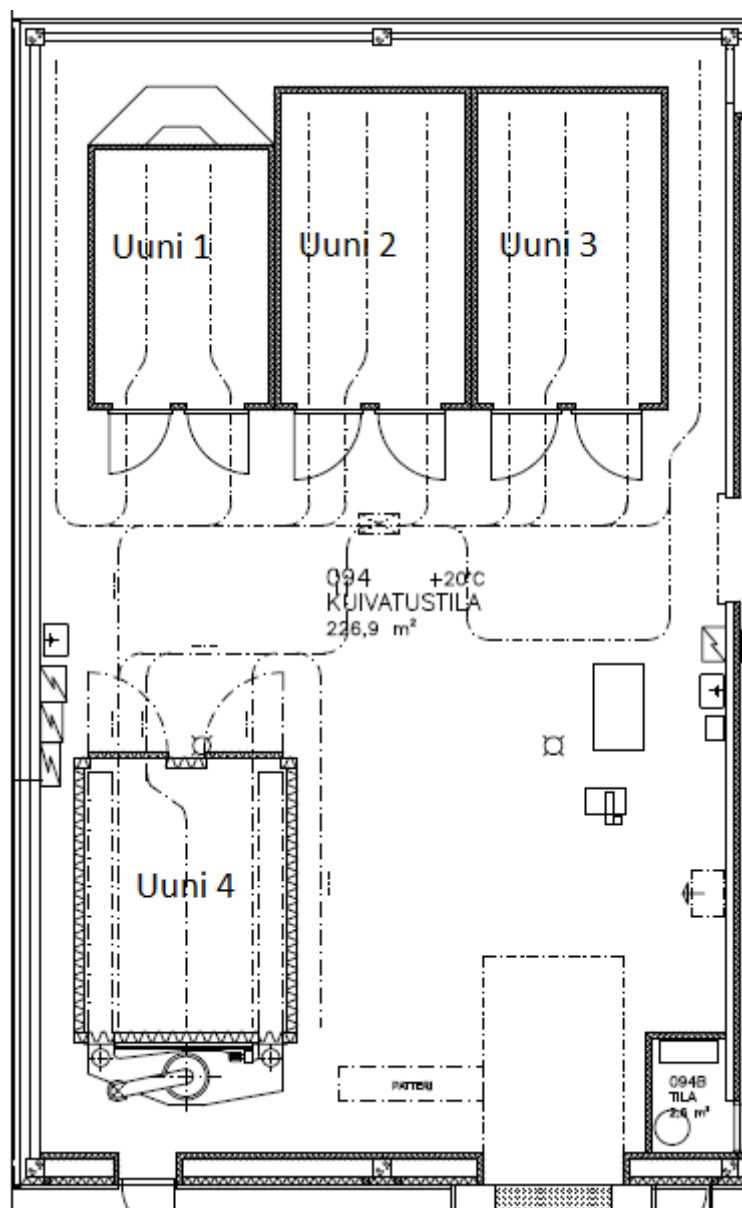
Best-In Oy on vuonna 2002 perustettu kotimaisia koiranruokia valmistava yritys, jonka omistajia ovat Atria Oyj ja HK Ruokatalo Oyj. Yrityksen tuotemerkkejä ovat muun muassa Best-In sekä Hubert, jonka tuoteperheeseen kuuluvat kuivausuuneissa paahdettavat koiranruoat kuten possunkorvat ja -saparot. Yrityksen tuotantolaitos sijaitsee Kuopiossa. (Best-In Oy. 2012.)

Työssä esitellään kuivausuunien toimintaperiaate ja käyntiajat sekä uunien poistoilman ilmavirtamittauksessa ja kosteuden määrittämisessä käytetyt menetelmät, mittalaitteet ja mittaustulokset. Työssä tehdään kartoitus sellaisista energiansäästöä tuottavista laitteistoista, jotka soveltuvat kohteeseen teknisten ominaisuuksiensa ja arvioitujen investointikustannustensa puolesta. Valituista laitteistoista tehdään mittaustulosten perusteella energialaskelmat sekä esitetään talteen saatava energiamäärä. Tämän lisäksi lasketaan taajuusmuuttajaratkaisun hankintakustannukset ja takaisinmaksuaika. Yhteenvedossa verrataan laitteistojen investointikannattavuutta ja tuodaan esille ehdotuksia investoinnin toimivaan toteuttamiseen.

2 KUIVAUSUUNIT

2.1 Tietoa kuivausuuneista

Best-In Oy:n kuivaustilassa on neljä kuivausuunia. Uunit sijaitsevat samassa tilassa, jonka lämpötilana pidetään noin 20 °C yhdellä tuloilmakoneella. Lisäksi huonetilassa toimii kesäaikana jäähdytyspatteri, jota palvelee ilmajäähdytteinen, ulkoasenteinen vedenjäähdytin. Uunit ovat numeroitu esitetyn pohjapiirustuksen mukaisesti. (Kuva 1.)



KUVA 1. Kuivaustilan pohjapiirustus (Hartikainen 2012)

Uunit ovat tehdasvalmisteisia ja niiden seinä- ja kattomateriaalit ovat molemmin puolin teräspinoitettua eriste-elementtiä. Jokaisen uunin päällä on yksi poistoilmapuhallin, joka poistaa ilmaa uuneista. Poistoilmapuhallin on suoravetoinen 3-vaihe -moottorilla varustettu potkuripuhallin, jonka syöttöjännite on 400 V. Poistoilmapuhaltimen lisäksi uuneissa 1 ja 4 on yksi kiertoilmapuhallin ja uuneissa 2 ja 3 on kaksi vuorotellen toimivaa kiertoilmapuhallinta. Uunin lämmitys tapahtuu sen takaosassa sijaitsevan putkipatterin voimalla, missä lämpövoimalaitokselta tuleva vesihöyry lauhtuu. Uunit ovat keskenään samaa kokoluokkaa sisätilavuuksien ollessa 35–40 m³.

2.2 Uunien toiminta

Uunien kuivausprosessi perustuu korkeaan lämpötilaan, riittävään kuivatusaikaan, suureen ilmanvaihtuvuuteen sekä voimakkaaseen turbulenttiseen ilmavirtaukseen uunien sisällä. Näitä tekijöitä muuttamalla voidaan vaikuttaa tuotteen laatuun sekä prosessin energiankulutukseen. Nykyisin käytössä olevat kuivausohjelmat ovat pääosin kokemuspärisen testauksen tulosta, jolloin ensisijaisena tavoitteena on ollut saada tuotteeseen toivotut ominaisuudet. Prosessin energiankulutukseen ei sen sijaan ole kiinnitetty huomiota.

Tuotteiden kuivausprosessi käynnistetään sen jälkeen, kun tuotteet on siirretty uunin kuivausritilöille. Ensimmäisenä käynnistyy kiertoilmapuhallin, ja putkipatterin venttiili avautuu. Kiertoilmapuhallin imee uunissa olevaa ilmaa putkipatterin lävitse ja puhaltaa sitä takaisin uunin katossa olevien suuttimien kautta. Samalla uunin lämpötila alkaa nousta. Poistoilmapuhallin puhaltaa uunista ilmaa suoraan poistoilmakanavan kautta ulos. Vastaava ilmamäärä uunissa korvautuu huonetilasta korvausilma-aukkojen kautta uuniin virtaavasta ilmasta.

2.3 Käyntiajat ja toimintalämpötilat

Kuivausuuneilla on vakioidut ohjelmat, joiden mukaan ne toimivat. Keskilämpötilat ja käyntiajat on määritetty Best-In Oy:n käytössä olevan TempNet-lämpötilanseurantaohjelman avulla. Käyntiajan katsottiin alkavan, kun uunin lämpötila alkoi nousta, ja loppuvan, kun uunin lämpötila alkoi laskea. Käyntiaika kuvaa siten uunin putkipatterin toiminta-aikaa. Poistopuhaltimen toiminta-aika on usein putkipatterin toiminta-aikaa pidempi, sillä puhallinta pidetään kesäisin

manuaalisesti päällä kuivatusohjelman päätyttyä, jotta uunin sisältämä lämpöenergia ei siirtyisi työskentelytilaan. Uunin rakenteet ja kuivatut tuotteet luovuttavat siten poistoilmaan lämpöenergiaa hieman laskennallista käyntiaikaa pidempään. Keskilämpötila laskettiin samoista aikajaksoista kuin käyntiajat. Tarkasteluajankohta oli vuoden 2011 viikko 46. Uunien käyntiajat ja keskilämpötilat on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Uunien keskilämpötilat ja käyntiajat

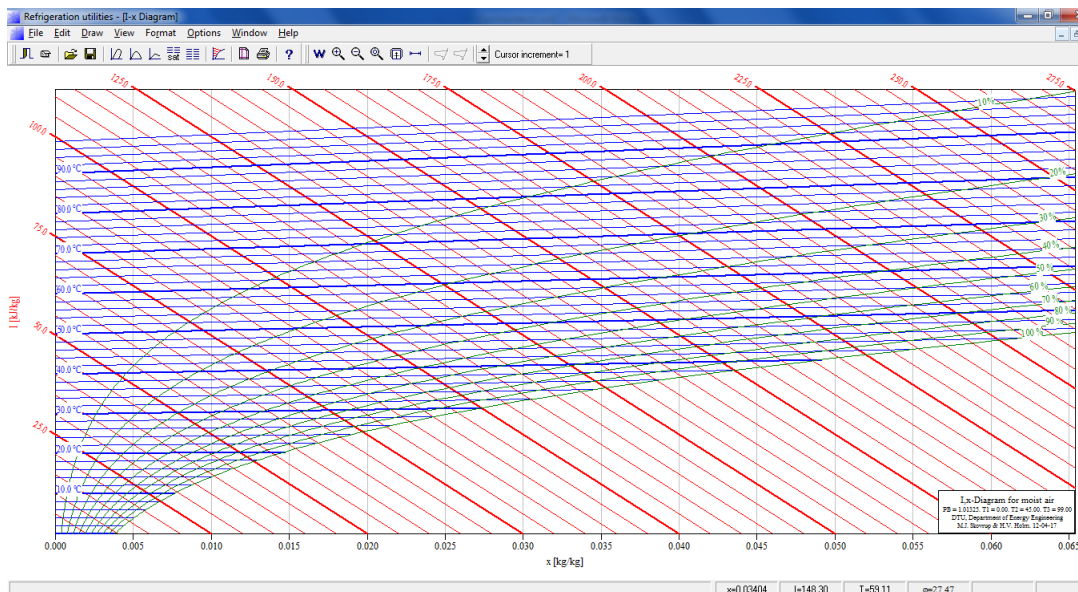
Tila	Keskilämpötila (°C)	Käyntiaika (h)	Käyntiaika (h/v)
Uuni 1	77	18,5	4 810
Uuni 2	79,9	19,3	5 026
Uuni 3	84,7	41,5	4 316
Uuni 4	88,6	41,7	6 500

3 MITTAUKSET

3.1 Ilmamäärämittaukset ja poistoilmankosteuden määrittäminen

Ilman kosteus eli absoluuttinen kosteus määritetään samassa tilavuudessa olevan vesihöyryn massan ja kuivan ilman massan suhteena (kg/kg k.i.) (Seppänen 1988, 188). Kosteus voidaan ilmaista myös vesihöyryn massan ja kuivan ilman tilavuuden suhteena (g/m^3). Tilastojen mukaan Kuopiossa ilman kosteus oli vuosina 1961–1980 vuosikeskiarvona $5,3 \text{ g}/\text{m}^3$ (Heino – Hellsten 1983, 44). Tätä arvoa käytetään laskelmissa kuivaustilan ilman kosteutena, sillä tilan kosteutta ei ollut mahdollista mitata tämän tutkimuksen puitteissa siten, että se olisi kattanut kokonaisen kalenterivuoden, jolloin sääolosuhteiden vaikutus olisi saatu minimoitua. Käytännössä kuivaustilan ilman kosteus on käytettyä arvoa suurempi, koska tilassa on ajoittaista kosteuskuormaa vesipesujen, raaka-aineiden ja henkilöstön tuottamana.

Ilman suhteellinen kosteus määritellään ilmassa vallitsevan vesihöyryn osapaineen suhteena samaa lämpötilaa vastaavan vesihöyryn kyllästymispaineeseen (Seppänen 1988, 188). Tässä työssä suhteellinen kosteus on määritetty CoolPack-ohjelman Ix-diagrammin avulla, josta suhteellinen kosteus saadaan lämpötila- ja kosteusarvojen perusteella (CoolPack). (Kuva 2.)



KUVA 2. Ix-diagrammi (CoolPack)

Ilmamäärämittausten tarkoituksena oli selvittää kuivausuuneista kuivausprosessien aikana poistuvat ilmamäärät. Ilmavirtojen, lämpötilojen ja ilman kosteuden avulla voidaan laskea poistoilman sisältämä energiamäärä. Mittaukset suoritettiin poistoilmakanavista kolmen päivän aikana marraskuussa 2011 Best-In Oy:n ja Atria Tekniikka Oy:n henkilökunnan avustuksella.

Poistoilman kosteus määritettiin, sillä ilmassa olevaan vesihöyryyn on sitoutuneena lämpöenergiaa, jota on mahdollista saada talteen kondensoimalla eli tiivistämällä vesihöyry vedeksi. Kondensoituminen tapahtuu, kun vesihöyryä sisältävää ilmaa jäähdytetään ilman kastepistelämpötilaan esimerkiksi jäähdytyspatterilla. Kondensoituessaan ilma luovuttaa vesihöyryn sisältämää energiaa tiivistymispintaansa.

Mittausten ajankohdat suunniteltiin kuivausohjelmien ehdoilla. Pyrkimyksenä oli aiheuttaa mahdollisimman vähän häiriötä tuotannolle, joten joidenkin uunien osalta ilmavirtamittaukset suoritettiin hyvin intensiivisellä aikataululla. Poistoilmavirta mitattiin balometrilla. Jotta mittaaminen mahdollistui, leikattiin seinästä ulospäintyöntyvien poistoilmakanavien ulospuhallusaukkojen ympärille pahvista kaulukset, joita vasten balometrin kehä saatiin painettua. Kuvassa 3 näkyvät ulospuhallusaukot ennen pahvikaulusten asentamista.



KUVA 3. Ulospuhallusaukot

Poistoilman kosteus määritettiin punnitsemalla kuivatettavat tuotteet ennen ja jälkeen kuivatuksen, jolloin saatiin selville tuotteista poistoilmaan höyrystyneen veden määrän. Tuotteista kuivatuksen aikana valuva rasva punnittiin ja otettiin huomioon laskelmissa. Kuivatettavia tuotteita on useita erilaisia ja niiden kosteussisällöt vaihtelevat. Uuneissa 1 ja 2 kuivatetaan vain yhtä tuotetta, kun puolestaan uuneissa 3 ja 4 voi olla useita erilaisia tuotteita saman kuivausohjelman aikana. Erilaisten tuotteiden osuus vaihtelee raaka-aineen saatavuuden ja mekin mukaan.

3.2 Mittauslaitteet

Ilmamäärän mittauksissa käytettiin kahta mittauslaitetta: Alnor APM 150 -balometria ja SwemaAir 300 -mittaria. Alnor APM 150 -balometrin mittaustarkkuus on ± 3 % imuaukosta mitattaessa ja ± 4 % ulospuhallusaukosta mitattaessa (BSRIA Instrument Solutions Ltd. 2002). (Kuva 4.)



KUVA 4. Alnor APM 150 -balometri. (BSRIA Instrument Solutions Ltd. 2002)

SwemaAir 300 -mittariin oli liitetty teleskooppinen SWA 31 -kuumalanka-anemometri (kuva 5). Kuumalanka-anemometrin mittaustarkkuus on $\pm 4,5$ % lukemasta (Pietiko Oy, 50).



KUVA 5. SwemaAir 300 -mittalaite (17web.com)

Punnituksissa käytettiin Best-In Oy:n tuotantotiloissa päivittäisessä käytössä olevaa Digi DI-30SS -vaakaa, jonka näyttötarkkuus on 0,5 kg. Mittausepä-tarkkuutta ei selvitetty.

3.3 Mittausmenetelmät ja -tulokset

Uunien poistoilmakanavissa ei ollut valmiina mittausyhteitä ilmavirran selvittä-mistä varten, joten mittaukset tehtiin kanavien imu- ja ulospuhallusaukoista. Ba-lometrilla mittaaminen tapahtui asettamalla laitteen kehys tiiviisti kanava-aukon ympärille siten, että koko ilmamäärä ohjautui mittalaitteen läpi. Mittausta jatket-tiin, kunnes näyttölukema vakioitui. Kuumalanka-anemometrilla mittaus suoritetiin kuljettamalla anemometrillä anturia kattavasti tasaisella vauhdilla kanava-aukon leikkauspinnalla. Tällä tavoin saatiin sekä imu- että ulospuhallusaukkojen ilmavirtojen keskinopeudet selville. Mittaamalla kanava-aukon pinta-ala ja ker-tomalla se keskinopeudella saatiin laskettua ilmavirta (Seppänen 1988, 113). (Kaava 1.)

$$q_v = A \times v$$

KAAVA 1

q_v = poistoilmavirta (m^3/s)

A = pinta-ala (m^2)

v = ilman nopeus (m/s)

Uuneissa 2, 3 ja 4 poistoilmakanavan imuaukko oli malliltaan tai sijainniltaan sellainen, ettei balometri soveltunut mittauslaitteeksi. Myös uunin 4 ulospuhal-

lusaukko oli mittaukseen soveltumaton viistoon puhaltavan ulkosäleikön vuoksi. Taulukossa 2 on esitetty uunikohtaisesti mittauskohdat ja mittauslaitteet, joilla ilmavirta pystyttiin luotettavasti mittaamaan, sekä ne mitatut ilmavirrat, joita on käytetty mitoitusarvoina energialaskelmissa.

TAULUKKO 2. Ilmavirtamittaukset

Tila	Mittauskohta	Mittalaite	Ilmavirta (dm ³ /s)
Uuni 1	Imuaukko	Balometri	454
Uuni 2	Ulospuhallusaukko	Balometri	650
Uuni 3	Ulospuhallusaukko	Balometri	854
Uuni 4	Imuaukko	SwemaAir	193

Punnitukset suoritettiin kerran uunista 1 ja uunista 4. Uunin 1 kuivatettava tuotemäärä punnittiin kokonaisuudessaan. Uunin 4 tuotteista punnittiin kaikki erilaiset tuotteet erikseen, jolloin saatiin selville kustakin tuotteesta kuivatusohjelman aikana poistunut veden määrä. Saatuja tuloksia verrattiin tuotannon työnjohtaja Mattilan (2012) valitsemaan hyvin keskimääräistä tuotantoa edustavan viikon tuotantomääriin ja tuotesuhteisiin.

Poistoilman sisältämä keskimääräinen kosteus kuivatusohjelman aikana saadaan laskettua punnitustulosten, korvausilman kosteuden, ilmavirran, ilman tiheyden ja uunien käyntiaikojen perusteella kaavalla 2. Ilman tiheytenä laskelmissa on käytetty arvoa 1,2 kg/m³.

$$X = \frac{q_v X_k + \frac{m_{vesi}}{t_{ohj}}}{q_v \times \rho}$$

KAAVA 2

X = poistoilman kosteus (kg/kg_{k.i.})

q_v = poistoilmavirta

X_k = korvausilman kosteus (kg/m³)

m_{vesi} = kuivattavista tuotteista poistoilmaan siirtyvä vesimassa (kg)

t_{ohj} = kuivatusohjelman kesto (s)

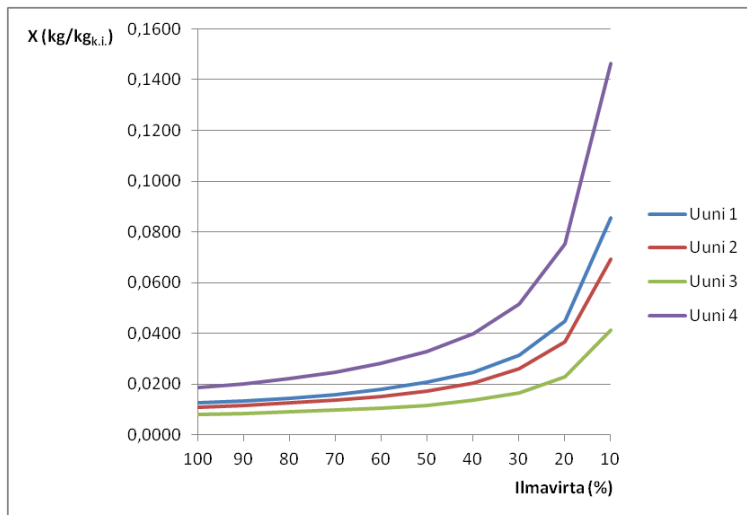
ρ = ilman tiheys (kg/m³)

Taulukossa 3 on esitetty poistoilman keskimääräinen kosteus x ja suhteellinen kosteus RH.

TAULUKKO 3. Poistoilman kosteus ja suhteellinen kosteus

Tila	x (g/kg)	RH (%)
Uuni 1	12,5	4,8
Uuni 2	10,9	3,7
Uuni 3	8,1	2,3
Uuni 4	18,6	4,4

Kaavasta 2 nähdään, että poistoilman kosteuteen vaikuttaa tuotteista poistuvan kosteuden lisäksi olennaisesti korvausilman kosteus. Tästä johtuen poistoilman kosteus ei ole suoraan verrannollinen poistoilmavirtaan. Kuvassa 6 on havainnollistettu poistoilman kosteuden nousu ilmavirtaa pienennettäessä nykyisestä 100 %:n tasosta 10 %:iin.



KUVA 6. Ilmavirran vaikutus poistoilman kosteuteen

3.4 Mittausten epätarkkuus

Käyttämällä kahta erilaista mittauslaitetta saatiin varmistettua laitteiden soveltuvuus kuhunkin mittauspisteeseen vertaamalla niiden antamia arvoja. Taulukon 2 mittauskohdista uunin 4 mittaus oli ainut, joka voitiin tehdä ainoastaan kuuma-lanka-anemometrilla.

Vaikka molemmat mittarit antoivat hyvin tarkasti samoja mittauslukemia, pidettiin balometria kuuma-lanka-anemometria luotettavampana mittalaitteena. Koko ilmavirta menee balometrin läpi, jolloin käyttäjän aiheuttamaa virhettä ei ilmene. Kuuma-lanka-anemometria kuljetaan puolestaan käsivaralla kanavan leikkauspinnalla mahdollisimman tasaista vauhtia. Tasaisen vauhdin ylläpitäminen on kuitenkin lähes mahdotonta, joten etenkin voimakkaasti turbulentsissa virtauksessa mittausvirheet ovat mahdollisia. Balometrilla ulospuhallusaukoista mitattaessa saattoi tapahtua pientä ohivirtausta kehän ja kanavan suulle asetetun pahvin välistä, minkä mittaustuloksiin aiheuttaman epätarkkuuden arvioidaan olevan merkityksetön, koska kuuma-lanka-anemometrilla mitatut tulokset erosivat balometrilla mitatuista tuloksista alle 3 %.

Punnitukset tehtiin vain kahden uunin tuotteille ja vain kerran, joten punnitusten perusteella ei voida tietää kuinka suuria vaihteluja kuivatuskertojen välillä ilmenee. Uunien 1 ja 4 punnitustulosten käyttäminen uunien 2 ja 3 kosteuden määrittämisessä aiheuttaa myös epätarkkuutta tuloksiin. Mittaustulokset ovat virhe-

lähteistä huolimatta tarvittavan tarkkoja, koska kuivattavien tuotteiden jakauma vaihtelee merkittävästi.

4 ENERGIANSÄÄSTÖVAIHTOEHDOT

4.1 Energiansäästövaihtoehtojen valinta

Lähtökohtana energiansäästövaihtoehtojen kartoituksessa oli löytää energiaa säästävää laitteistokokonaisuus, joka vaikuttaisi mahdollisimman vähän nykyisiin kuivatusprosesseihin. Kartoituksen alkuvaiheessa selvitettiin kuivatusuuneista hyödyntämättä jäävän energian määrä, käyttökohteet talteen otettavalle energialle sekä nykyisten tilojen aiheuttamat rajoitteet uusien laitteiden asennuksille. Ensisijaisena energiansäästömenetelmänä on optimoida nykyisen laitteiston toiminta, minkä jälkeen energiatehokkuutta voidaan vielä parantaa lämmöntalteenoton avulla (Federley 2009, 13). Energiansäästövaihtoehtoiksi valittiin poissulkevalla menetelmällä kolme päävaihtoehtoa, joiden valintaperusteita esitellään seuraavana.

Uunien poistoilmavirtojen mittaukset osoittivat, että uunien väliset poistoilmavirrat ja ilmankosteudet vaihtelevat merkittävästi aiheuttamatta kuitenkaan tuotteiden välille havaittavia laadullisia eroja. Tästä voidaan päätellä, että poistoilmavirtaa voidaan vähentää ainakin uuneista 3 ja 4, joiden ilmavirrat ovat suurimmat. Hyvin todennäköisesti poistoilmavirtaa voidaan vähentää jokaisesta uunistakaan, mutta sopiva ilmavirran taso täytyy etsiä kokeilemalla, joten sen määrää ei voida tämän tutkimuksen puitteissa selvittää. Ilmavirran vähentäminen toteutetaan energiatehokkaimmin ja kustannuksiltaan edullisimmin taajuusmuuttajilla, mistä on kerrottu lisää jäljempänä.

Energian talteenoton edellytyksenä on, että talteen otetulle energialle on olemassa käyttökohde. Kartoituksessa selvisi, että soveltuvia kohteita ovat käyttöveden lämmitys ja nykyisin kylmillään olevien varastotilojen lämmitys, jotka valittiin tarkasteltaviksi laitteistovaihtoehtoiksi. Käyttökohteista rajattiin pois lämpövoimalaitoksen syöttöveden esilämmitys, koska laitteiston hankintakustannusten arvioitiin olevan liian suuret muun muassa pitkien putkilinjojen vuoksi. Kiinteistön sosiaali- ja tuotantotilojen lämmitystarve arvioitiin olevan liian pieni soveltuakseen talteen otettavan energian käyttökohteeksi. Tutkittavaksi varastotilojen lämmönlähteeksi valittiin kiertoilmakonein toteutettava lämmitysjärjestel-

mä, joka soveltuu kohteeseen hyvin, koska kiertoilmakoneiden vesipatterit voidaan mitoittaa alhaiselle lämpötilalle. Tällöin saavutetaan hyvä lämmöntalteenotto poistoilmasta.

Energiaa voidaan säästää myös kierrättämällä nykyisin uunista ulos puhallettava ilma takaisin uuniin. Kuivatettavista tuotteista ilmaan siirtyvä kosteus tulee tällöin saada poistettua takaisinkierrätettävästä ilmasta, jotta kuivausprosessi säilyisi tehokkaana. Kuivatus voidaan toteuttaa vesikiertoisella tai suorahöyryteisellä jäähdytyspatterilla. Vesikiertoisen jäähdytyspatterin ongelmana on sen tarvitsema suuri kylmän veden määrä, jonka tuottamiseen tarvitaan vedenjäähdytyslaitteisto. Jäähdytyslaitteisto nostaa järjestelmän hankinta- ja käyttökustannukset suuriksi ja laskee järjestelmän kokonaishyötysuhdetta. Tutkittavaksi vaihtoehdoksi valittiin siten kuivauslämpöpumppu, jonka suorahöyrytyspatteri poistaa ilmasta kosteutta ja lauhdutinpatteri lämmittää takaisinkierrätettävän ilman.

4.2 Puhaltimien optimointi taajuusmuuttajilla

Poistopuhaltimien pyörimisnopeutta voidaan säätää niiden yhteyteen asennettavilla taajuusmuuttajilla kolmella eri tavalla. Teknisesti yksinkertaisin tapa on etsiä sopiva poistoilman määrä kokemusperäisesti, jolloin puhaltimen pyörimisnopeus säädetään niin alhaiselle tasolle kuin se kuivattavien tuotteiden ominaisuuksien säilyttämiseksi on mahdollista. Tällöin puhaltimen pyörimisnopeus pysyy samana koko kuivatusprosessin ajan.

Toinen toteutustapa on asentaa kosteusanturit mittaamaan poistoilman kosteutta ja ohjata puhaltimia kosteuden perusteella. Kosteusanturi lähettää tiedon ilman kosteudesta nykyiselle logiikkayksikölle, joka ohjaa taajuusmuuttajaa. Taajuusmuuttaja puolestaan säätää puhaltimien pyörimisnopeudet haluttuun arvoon. Kuivatusohjelman ilman kosteus pysyy vakiona, mutta puhaltimien pyörimisnopeudet muuttuvat kosteuden funktiona.

Logiikkayksikölle tuleva tieto ilman kosteudesta mahdollistaa toisaalta myös kuivatusprosessin ohjelmoinnin kosteuden mukaan siten, että kosteuspitoisuudelle asetetaan useita eri kosteusraja-arvoja kuivatusprosessin eri vaiheisiin. Ohjelmoinnilla voidaan esimerkiksi pitää poistoilman kosteus matalana kuivaus-

prosessin alkuvaiheessa ja antaa kosteuden nousta prosessin loppuvaiheessa. Menetelmä mahdollistaa kuivatusprosessin nykyistä tarkemman hallittavuuden sekä luo uusia edellytyksiä tuotekehitykselle ja energiansäästöille. Kustannuslaskelmissa ei käsitellä ohjelmoitavaa vaihtoehtoa, koska energiamäärää ei voida laskea, jos poistoilmavirta ei ole tiedossa.

Taajuusmuuttajilla saadaan säästöä pienenevän sähköenergian kulutuksen sekä vähenevän poistoilmavirran ansiosta, jolloin uunien lämmitykseen käytettävän höyryn kulutus laskee ja siten myös lämpölaitoksella höyryn tuottamiseen käytettävän polttoöljyn määrä laskee. Kummankin säästön määrä on riippuvainen puhaltimien pyörimisnopeuksista. Puhaltimen pyörimisnopeuden ja tilavuusvirran välillä pätee yhteys, joka osoittaa niiden olevan suoraan verrannollisia (Seppänen 1988, 131). (Kaava 3.)

$$\frac{q_{vx}}{q_{v0}} = \frac{n_x}{n_0}$$

KAAVA 3

q_{vx} = tilavuusvirta alkutilanteessa

q_{v0} = tilavuusvirta uudessa tilanteessa

n_x = pyörimisnopeus alkutilanteessa

n_0 = pyörimisnopeus uudessa tilanteessa

Puhaltimen tehontarve eli sähkönottoteho on puolestaan riippuvainen pyörimisnopeuden kolmanteen potenssiin (Seppänen 1988, 131). (Kaava 4.)

$$\frac{P_x}{P_0} = \left(\frac{n_x}{n_0}\right)^3$$

KAAVA 4

P_x = tilavuusvirta alkutilanteessa

P_0 = tilavuusvirta uudessa tilanteessa

n_x = pyörimisnopeus alkutilanteessa

n_0 = pyörimisnopeus uudessa tilanteessa

4.3 Lämmöntalteenotto vesikiertoisella LTO-patterilla

Poistoilman sisältämää energiaa voidaan hyödyntää sitomalla sitä veteen poistoilmakanavaan asennettavalla lämmöntalteenottopatterilla. Tutkittaviksi lämmitettävän veden käyttökohteiksi valittiin lämpimän käyttöveden lämmitys sekä kiertoilmakonein toteutettava lämmitysverkosto. Tarkastelu rajattiin molempien osalta ainoastaan lämmöntalteenottopatterin mitoitukseen, koska sen perusteella nähdään menetelmällä ilmasta veteen siirtyvä teho. Tehon perusteella on jo arvioitavissa järjestelmän järjestyksen investoinnin kannalta.

LTO-pattereiden mitoitukset tehtiin Coils for Windows -ohjelmalla. Ohjelmaan syötettiin tiedot ilmavirrasta, ilman lämpötiloista ennen ja jälkeen patteria, ilman suhteellinen kosteus sekä veden lämpötilat. Samalla valittiin haluttu patterin koko, putkirivien lukumäärä, lamellijako ja vesiteiden määrä. Ohjelma laskee syötettyjen lähtöarvojen perusteella toteutuvat arvot, jotka näkyvät syöttökenttien oikealla puolella (liitteet 2–9).

Menetelmän toimintaan oleellisesti liittyviä seikkoja ovat poistoilman rasvapitoisuus ja puhaltimien ominaisuudet. Puhaltimien ominaisuuksista ei ollut saatavissa dokumentteja, eikä rasvapitoisuuden määrittämiseen ryhdytty tämän tutkimuksen puitteissa. Rasvapitoisuus arvioitiin kuitenkin puhtaiden kanavapintojen perusteella vähäiseksi.

Poistoilman sisältämä rasva voi tarttua LTO-patterin lämmönsiirtopintoihin aiheuttaen patterin hyötysuhteen heikentymisen ja pesuntatarpeen lisääntymisen. Mikäli rasvasta aiheutuu haittaa, tulee järjestelmään lisätä rasvasuodatin. Suodatus voi tapahtua mekaanisesti tai UV-menetelmällä, jossa rasvamolekyylit hajoavat vedeksi, hiilidioksidiksi ja palmitiiniksi (Climecon Oy, 2). Puhdistettavuuden helpottamiseksi listaliitokselliset patterit mitoitettiin 4 mm:n lamellivälillä ja maksimissaan 400 mm pitkiksi, jolloin patterit voidaan vielä pestä painepesuria käyttäen.

LTO-patteri lisää poistoilmakanavan painehäviötä, jolloin puhaltimen tuottama ilmavirta laskee. Nykyiset käytössä olevat niin sanotut potkuripuhaltimet ovat erityisen herkkiä painehäviöille, joten pattereiden mitoituksessa käytettiin maksimipainehäviönä arvoa 50 Pa, jolla ei ole vielä merkittävää vaikutusta ilmavir-

toihin. Mikäli investointipäätös tehdään LTO-patterilla varustetusta järjestelmästä, tulee vaikutuksen suuruus kuitenkin ehdottomasti selvittää ennen järjestelmän hankintaa. Selvitys voidaan toteuttaa asentamalla poistoilmakanavan painepuolelle kuristin, joka aiheuttaa saman painehäviön kuin suunniteltu LTO-patteri. Tämän jälkeen poistoilmavirta mitataan ja verrataan saatuja arvoja tässä työssä saatuihin arvoihin.

4.3.1 Lämmöntalteenotto käyttöveteen

Nykyisin käyttövesi lämmitetään lämmönsiirtimellä, jonka ensiöpuolella kiertävä höyry tuotetaan lämpölaitoksella, kuten uunien lämmitykseen käytettävä höyry. Lämpimän käyttöveden lämpötila on 65 °C ja sen keskimääräinen päiväkulutus työpäivinä on noin 19,4 m³. Kulutus keskittyy käytännössä kahteen ajankohtaan, jolloin tuotantotiloja pestään. Aamuisin klo 8–10 vettä kulutetaan noin 3,8 m³ ja loput 15,6 m³ kuluu iltapäivisin suoritettavan pesun yhteydessä klo 13–18 välisenä aikana. (Mattila 2012.)

Käyttövesivaraajan latausteho ja varauskyky mitoitetaan yleensä vastaamaan vuorokauden kulutusta (RakMK D5. 2007, 55). Lataustehoa saadaan jatkuvasti kuivausuuneista, mutta sen määrä vaihtelee huomattavasti riippuen siitä, mikä tai mitkä uunit ovat toiminnassa. Latausteho on pienimmillään aamuisin ja suurimmillaan iltaisin, kun kaikki uunit ovat käynnissä.

Käyttöveden kulutuksen syklisyys ja uunien jaksottaiset käyntiajat edellyttävät suuren käyttövesivaraajan hankkimista, jotta käyttöveden lämpötila saadaan pidettyä haluttuna kulutuspiikkien aikana. Suurella varaajalla saavutetaan myös hyvä lämmöntalteenoton hyötysuhde, koska lämpöenergiaa voidaan siirtää varaajaan niissäkin tilanteissa, kun käyttövettä ei kuluteta. Varaajan valinnassa tulee kuitenkin huomioida myös varaajan vaatima tila ja hankintakustannukset sekä mahdollisen lisälämmönlähteen tarve. Lisälämmönlähteenä voi toimia esimerkiksi varaajaan asennettava sähkövastus tai nykyinen höyryverkoston lämmönsiirrin. Varaajan mitoitusta ei voitu tämän opinnäytetyön puitteissa tehdä, mutta sen tekeminen tulevaisuudessa voi olla perusteltua, mikäli muilla menetelmillä ei saada tehtyä haluttua energiatehokkuuden parannusta.

Käyttöveden lämmityksen tarvittavan tehon laskennassa mitoituslämpötilaerona käytetään yleensä 50 °C (RakMK D5. 2007, 55). LTO-pattereiden menopuolen mitoituslämpötiloiksi valittiin 75 °C, joka on mahdollista saavuttaa kasvattamatta pattereiden kokoa kohtuuttoman suuriksi. Paluulämpötilaksi valittiin 25 °C, jolloin pattereissa kiertävän veden lämpötilaeroksi muodostui 50 °C. Mitoitustulokset on esitetty liitteissä 2–5.

4.3.2 Lämmöntalteenotto lämmitysverkostoon

Kiinteistössä on kylmillään olevia varastotiloja noin 500 m², ja niiden muuttamista lämmitetyksi käyttötilaksi on harkittu. Mikäli varastotiloja lähdetään muuttamaan lämmitetyksi, tulee tilojen seinä- ja kattorakenteita uudistaa nykyistä energiatehokkaammiksi. Tämä nostaa olennaisesti järjestelmän investointikustannuksia. Kiertoilmakonein toteutettavan lämmitysjärjestelmän LTO-patterit mitoitettiin lämpötiloilla 35/25 °C. Mitoitustulokset on esitetty liitteissä 6–9.

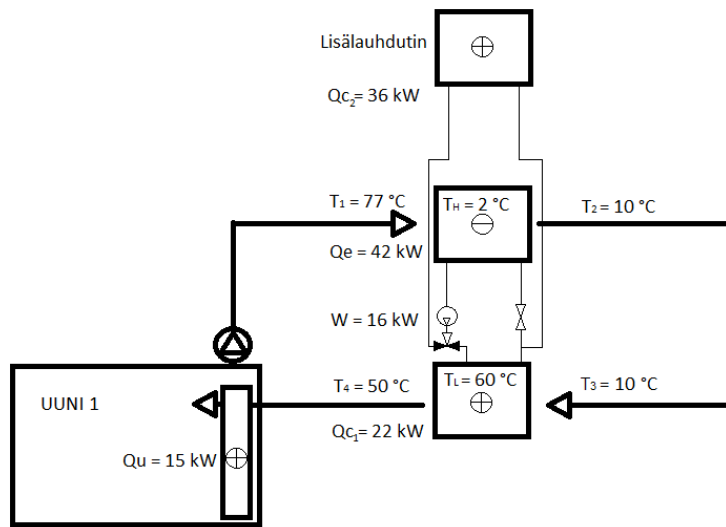
4.4 Kuivauslämpöpumppu

Kuivauslämpöpumppujen sovellutusalue on laaja ja niitä käytetään muun muassa elintarvikkeiden, puutavaran ja kosteiden tilojen kuivaukseen (Aittomäki 1996, 358–359.) Järjestelmässä ilmankierto suljetaan ja kanavaan lisätään höyrystys- ja lauhdutus patteri. Ilman kosteus tiivistyy höyrystyspatterin pintaan, josta se johdetaan viemäriverkostoon. Lauhdutinpatterilla jäähdytetyn ilman lämpötila nostetaan takaisin mahdollisimman lähelle uunin sisälämpötilaa, jotta ilman lämmittämiseen tarvittaisiin mahdollisimman vähän höyrypatterin tehoa.

Lämpöpumppujen mitoitus tehtiin jokaiselle uunille erikseen CoolPack-ohjelmalla. Kylmäaineeksi valittiin R152a, jonka ominaisuudet soveltuvat hyvin kuivatusprosessin lämpötiloille. Tulistuksen ja alijäähtymisen määräksi valittiin 5 Kelviniä, jota käytetään usein vastaavissa järjestelmissä (Hakala – Kaapola, 2007, 13, 67). Höyrystyslämpötilaksi valittiin 2 °C, jolla varmistetaan, ettei kondensoitua vesi jäädy patterin pintaan. Alhaisemmalla höyrystyslämpötilalla saataisiin tehokkaampi kuivaus, mutta samalla jäätymisriski kasvaisi. Toisaalta lämpötilaa nostamalla saavutettaisiin parempi lämpöpumpun hyötysuhde, mutta kuivaus heikkenisi ja ilman kosteus nousisi nykyisestä tasosta.

Koska jäähdytetyn ilman lämpötila pyritään nostamaan lauhtutinpatterilla mahdollisimman lähelle uunin sisälämpötilaa, tulee lauhtumislämpötilaksi valita korkea lämpötila. Rajoittavina tekijöinä ovat kompressorin, kylmäaineen ja öljyn lämpökestävyys sekä kompressorin laakereiden ja tiivisteiden paineen kesto (Aittomäki 1996, 133–134). Aittomäen (1996, 133–134) mukaan maksimi lämpötilarajana on 120–150 °C ja paineen kestonä painepuolella 25 bar ja imupuolella 7–8 bar. Rajoitusten vuoksi lauhtumislämpötilaksi valittiin 60 °C, jolloin kylmäaineen lämpötila puristuksen loppuvaiheessa on noin 100 °C, eikä kompressori näin ollen altistu liian korkeille lämpötiloille ja paineille. Lämpöpumpun kylmäaineen lämpötilat ja paineet on esitetty liitteen 3 p,h-piirroksessa.

Höyrystys- ja lauhtutus-patterit mitoitettiin siten, että höyrystyspatterin jälkeen ilman lämpötila on 10 °C ja lauhtutus-patterin jälkeen 50 °C. Tällöin kylmäaineen ja pattereista läpimenneen ilman väliset asteisuudet ovat 8 ja 10 astetta. Uuniin palaavan ilman lämpötila nostetaan 50 °C:sta haluttuun sisälämpötilaan uunin höyrypatterilla. Kuvassa 7 on periaatekaavio uunista 1, josta ilmenevät järjestelmän lämpötilat ja tehot. Sama toimintaperiaatekaavio pätee myös muihin uuneihin lukuun ottamatta tehoarvoja ja uunin lämpötiloja.



KUVA 7. Kuivauslämpöpumpputjärjestelmän periaatekaavio, uuni 1

$T_1 - T_4$ = ilman lämpötilat prosessin eri vaiheissa

T_H = höyrystimen lämpötila

T_L = lauhduttimen lämpötila

Q_{c1} = lauhduttimen teho

Q_{c2} = lisälauhduttimen teho

Q_e = höyrystimen teho

Q_u = uunin hörypatterin teho

W = kompressorin teho

Mitoituksen perusteella ilmeni, että kaikkea lauhdutustehoa ei voida käyttää takaisin kierrätettävän ilman lämmittämiseen, vaan järjestelmässä täytyy olla lisälauhdutin, jonka lämpöenergiaa voidaan hyödyntää esimerkiksi lämmitysverkon lämmittämiseen. Tämän tutkimuksen puitteissa hyödyntämisvaihtoehtoja ei voitu kartoittaa, joten lisälauhduttimen energia katsotaan laskelmissa jäävän hyödyntämättömäksi.

5 ENERGIALASKELMAT

5.1 Hyödyntämätön energia poistoilmassa

Nykyisin poistoilman sisältämä energia puhalletaan uuneista suoraan ulos ja suuri energiamäärä jää hyödyntämättä. Hyödyntämättömän energian määrä lasketaan kaavalla 5.

$$Q_{N, v} = \rho \times q_v \times \Delta h \times t$$

KAAVA 5

$Q_{N, v}$ = nykyinen poistoilman hyödyntämätön energiamäärä vuodessa (kWh)

Δh = entalpiaero (kJ/kg)

Entalpia määräytyy kosteuden ja lämpötilan perusteella ja se ilmaisee ilman lämpösisällön vertailutasoon nähden (Seppänen 1988, 330). Entalpiaero määritetään CoolPack-ohjelman Ix-diagrammista poistoilman ja korvausilman entalpoiden erotuksena. Entalpiaerojen perusteella saatu poistoilman hyödyntämätön energiamäärä on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Poistoilman hyödyntämättömän energian määrä vuodessa

Tila	$Q_{N, v}$ (kWh)
Uuni 1	201 778
Uuni 2	297 960
Uuni 3	327 305
Uuni 4	159 572
Yht.	986 615

5.2 Puhaltimien optimointi taajuusmuuttajilla

Laskelmissa tarkastellaan energiansäästöä kolmella eri asetusarvolla, joilla puhaltimien pyörimisnopeudet ja ilmavirrat ovat nykyisestä tasosta 90 %, 50 % ja 25 %. Tasot on valittu siten, että 90 %:n taso edustaa tasoa, joka voidaan hyvin suurella todennäköisyydellä toteuttaa jokaisessa uunissa aiheuttamatta tuotteisiin minkäänlaisia havaittavia muutoksia. Energiankulutukseen 90 %:n tasolla on jo merkittävä vaikutus. Tasoilla 50 % ja 25 % saadaan huomattavat energiansäästöt, mutta niiden käyttöönotto ei ole välttämättä mahdollista jokaisen uunin kohdalla, koska lisääntyvä kosteus voi vaikuttaa tuotteiden ominaisuuksiin.

Energiansäästö ei ole suoraan verrannollinen poistoilmavirtaan, koska ilmavirtaa pienennettäessä poistoilman kosteus nousee ja siten myös lämpösisältö kasvaa. Kosteus saadaan laskettua kaavalla 2. Entalpiaero määritetään Cool-Pack-ohjelmalla, minkä jälkeen teho lasketaan kaavalla 5. Taulukossa 5 on esitetty taajuusmuuttajilla saatava energiansäästö kullakin asetusarvolla.

TAULUKKO 5. Taajuusmuuttajilla poistoilmasta saatava energiansäästö vuositasolla

Tila	$Q_{N, v}$ (kWh)	$Q_{90\%}$ (kWh)	$Q_{50\%}$ (kWh)	$Q_{25\%}$ (kWh)
Uuni 1	201 778	13 226	73 351	108 945
Uuni 2	297 960	22 518	115 505	172 302
Uuni 3	327 305	28 638	143 875	213 362
Uuni 4	159 572	10 722	51 022	77 022
Yht.	986 615	75 103	383 753	571 632

Nykyinen vuosittainen sähkönkulutus saadaan puhaltimen käyttötuntien ja sähkönottotehon tulona kaavalla 6. Energiansäästö lasketaan nykyisen sähkönkulutuksen ja kaavalla 5 saadun alennetun pyörimisnopeuden mukaisen energi-

ankulutuksen erotuksena. Lisäksi otetaan huomioon taajuusmuuttajan hyötysuhde jakamalla energiankulutus arvioidulla hyötysuhteella 0,95.

$$Q_{N,sähkö, v} = t \times P$$

KAAVA 6

$Q_{N, sähkö, v}$ = nykyinen puhaltimien sähkönkulutus vuodessa (kWh)

t = puhaltimen käyntiaika vuodessa (h)

P = puhaltimen sähkönottoteho (kW)

Taulukossa 6 on esitetty taajuusmuuttajilla saatavat energiasäästöt puhaltimien sähkönkulutuksesta vuositasona.

TAULUKKO 6. Taajuusmuuttajilla sähkönkulutuksesta vuositasona saatava energiasäästö

Tila	t (h)	P (kW)	$Q_{N, sähkö, v}$ (kWh)	$Q_{90\%}$ (kWh)	$Q_{50\%}$ (kWh)	$Q_{25\%}$ (kWh)
Uuni 1	4810	0,75	3 608	84	313	355
Uuni 2	5026	2,2	11 058	257	960	1 088
Uuni 3	4316	0,7	3 021	70	262	297
Uuni 4	6500	0,75	4 875	113	423	479
Yht.			22 562	525	1 959	2 219

5.3 Lämmöntalteenotto vesikiertoisella LTO-patterilla

5.3.1 Lämmöntalteenotto käyttöveteen

Lämmöntalteenottopattereilla talteen saatavan energian määrä riippuu pattereiden sisällä kiertävän veden lämpötiloista. Energialaskelmat on tehty mitoituslämpötiloilla, jotka pätevät käyttövesivaraajan ja -kulutuksen ollessa sellaiset, että varaajasta LTO-patterille palaavan veden lämpötila on korkeintaan 25 °C. Paluulämpötilan noustessa korkeammaksi LTO-patterin teho laskee ja hyödyn-

tämättömän energian määrä nousee. Taulukosta 7 ilmenee käyttöveden talteen saatavan energian määrä mitoitusolosuhteissa, kun LTO-patterilta saatavan tehon siirtyminen käyttöveden oletetaan häviöttömäksi.

TAULUKKO 7. Käyttöveden LTO-pattereilla talteen saatavan energian määrä vuodessa

Tila	Q_{kv} (kWh)
Uuni 1	47 619
Uuni 2	90 428
Uuni 3	181 818
Uuni 4	42 328
Yht.	362 193

5.3.2 Lämmöntalteenotto lämmitysverkostoon

Varastotilojen muuttaminen lämmitetyiksi tiloiksi vaatii nykyisten rakenteiden perusteellista parantamista. Koska tulevia rakenteita ei tunneta, lämmitystarvetta ei voida tarkasti määrittää. LTO-patterilla talteen saatava energiamäärä on laskettu mitoitus tulosten perusteella siten, että vuosittainen lämmityskausi on otettu huomioon. (Taulukko 8.) Lämmityskaudeksi on katsottu se aika vuodesta, jolloin ulkoilman lämpötilojen pysyvyyssarvon laskentaperuste on 10 °C. Rakennusmääräyskokoelman D5 mukaan Kuopio kuuluu säävyöhykkeeseen 3, josta pysyvyyssarvoksi saadaan 0,7 (RakMK D5. 2007, 56, 67).

TAULUKKO 8. Lämmitysverkostoon LTO-pattereilla talteen saatava energiamäärä vuodessa

Tila	$Q_{\text{Lämmitys}}$ (kWh)
Uuni 1	93 266
Uuni 2	141 414
Uuni 3	201 683
Uuni 4	48 822
Yht.	485 185

5.4 Kuivauslämpöpumppu

Kuivauslämpöpumppujärjestelmän energiaa kuluttavia komponentteja ovat kompressori ja säätöjärjestelmä, jonka pientä sähkönkulutusta ei oteta huomioon laskelmissa. Lisäksi energiaa kuluu höyrypatterilla ilmaa lämmitettäessä. Näin ollen järjestelmällä saavutettava energiansäästö voidaan laskea vähentämällä kompressorin ja höyrypatterin energiankulutus nykyisestä hyödyntämättömästä poistoilman energiamäärästä. (Kaava 7.) Kompressori oletetaan laskelmissa häviöttömäksi.

$$Q_{S, v} = Q_{N, v} - (Q_{W, v} + Q_{U, v}) \quad \text{KAAVA 7}$$

$Q_{S, v}$ = kuivauslämpöpumpulla saatava energiansäästö vuodessa (kWh)

$Q_{N, v}$ = nykyinen hyödyntämätön poistoilman energia vuodessa (kWh)

$Q_{U, v}$ = uunin höyrypatterin kuluttama energia muutoksen jälkeen (kWh)

$Q_{W, v}$ = kompressorin kuluttama energia vuodessa (kWh)

Taulukossa 9 on esitetty kuivauslämpöpumpulla saatavat energiasäästöt. Arvot pohjautuvat liitteiden 10–13 mitoitustuloksiin.

TAULUKKO 9. Kuivauslämpöpumpulla saatavat vuotuiset energiansäästöt

Tila	$Q_{N,v}$ (kWh)	$Q_{U,v}$ (kWh)	$Q_{W,v}$ (kWh)	$Q_{S,v}$ (kWh)
Uuni 1	201 778	70 707	76 960	54 111
Uuni 2	297 960	117 113	113 595	67 252
Uuni 3	327 305	153 650	125 164	48 491
Uuni 4	159 572	57 850	59 800	41 922
Yht.	986 615	399 320	375 519	211 776

6 KUSTANNUSLASKELMAT

6.1 Kustannuslaskelmien toteutusmenetelmät

Kustannuslaskelmissa esitetään taajuusmuuttajaratkaisusta euromääräiset säästöt, investointikustannukset ja takaisinmaksuaika. LTO- ja kuivauslämpöpumppuratkaisuista esitetään euromääräiset säästöpotentiaalit pattereiden mitoitusperusteella. Lisäksi esitetään kuivauslämpöpumppujärjestelmän pääkomponenteista suuntaa antavia hintoja. LTO- ja kuivauslämpöpumppuratkaisujen tarkemmasta kustannustarkastelusta luovuttiin, koska niiden investointi- ja huoltokustannusten arvioitiin olevan huomattavasti korkeammat kuin taajuusmuuttajaratkaisussa. Päätökseen vaikutti myös se, että ensisijainen energiansäästökeino on pienentää poistoilmavirtoja. Kun poistoilmavirtoja pienennetään, muuttuvat LTO-pattereiden sekä kuivauslämpöpumpun mitoitusperusteet ja kustannukset.

Investoinnin kannattavuutta tarkastellaan usein takaisinmaksuajalla. Takaisinmaksuaika ilmoittaa vuosina sen ajan, jona investointi maksaa itsensä takaisin eli nettotuotot ylittävät investoinnin hankintakustannukset. Jos investointiin käytettävälle pääomalle ei lasketa korkoa, lasketaan takaisinmaksuaika hankintameno per vuotuinen nettotuotto. (Niskanen – Niskanen 2000, 321.) (Kaava 8.)

$$n = \frac{H}{t}$$

KAAVA 8

n = takaisinmaksuaika vuosina

H = hankintameno

t = vuotuinen nettotuotto

Uunien lämmittämiseen käytettävän höyryn hintana on käytetty vuoden 2012 helmikuun hintatasoa 0,092 €/kWh (Mattila 2012). Sähkön ostohintana on käytetty arvoa 0,1 €/kWh.

6.2 Puhaltimien optimointi taajuusmuuttajilla

Järjestelmään soveltuvia taajuusmuuttajia valmistavat useat alan yritykset, kuten kotimaiset ABB ja Vacon. Tarjouskyselyjen perusteella taajuusmuuttajien kappalehinta asennustarvikkeineen ilman arvonlisäveroa on noin 500 euroa.

Kosteusantureita valittaessa painotettiin kuumuuden ja rasvahöyryjen kestoon liittyviä ominaisuuksia. Anturin rasvasuodatin tulee olla helposti puhdistettavissa ja vaihdettavissa. Tarjouskyselyn perusteella järjestelmään soveltuva anturi maksaa lähettimien ja asennustarvikkeiden kanssa noin 1 100 euroa uunia kohden. Taajuusmuuttajien ja antureiden asennukset suorittaa Best-In Oy:n oma huoltohenkilökunta, joten asennuskustannuksia ei muodostu.

Nykyisin puhaltimien sähkönkulutuksen ja hyödyntämättömän poistoilman energian yhteiskustannukset ovat edellä mainituilla hinnoilla laskettuna 93 025 euroa vuodessa. Taulukossa 10 on esitetty investointikustannus sekä taajuusmuuttajilla puhaltimien pyörimisnopeuksien eri asetuseroilla saatava kokonaisu säästö.

TAULUKKO 10. Taajuusmuuttajien investointikustannukset ja niillä saatava euronääräinen säästö vuodessa (n=asetusarvo)

Tila	Investointi (€)	n ₉₀ % (€)	n ₅₀ % (€)	n ₂₅ % (€)
Uuni 1	1 600	1 301	7 062	10 378
Uuni 2	1 600	2 331	11 587	16 939
Uuni 3	1 600	2 706	13 499	19 926
Uuni 4	1 600	1 101	5 118	7 566
Yht.	6 400	7 439	37 265	54 809

Takaisinmaksuajat ovat huomattavan lyhyitä, sillä jo 90 %:n tasolla päästään alle vuoden takaisinmaksuaikaan. Taulukossa 11 on esitetty takaisinmaksuajat taajuusmuuttajien eri asetusarvoilla.

TAULUKKO 11. Taajuusmuuttajainvestoinnin takaisinmaksuajat vuosissa (n=asetusarvo)

Tila	n ₉₀ % (v)	n ₅₀ % (v)	n ₂₅ % (v)
Uuni 1	1,23	0,23	0,15
Uuni 2	0,69	0,14	0,09
Uuni 3	0,59	0,12	0,08
Uuni 4	1,45	0,31	0,21
Yht.	0,86	0,17	0,12

6.3 Lämmöntalteenotto vesikiertoisella LTO-patterilla

6.3.1 Lämmöntalteenotto käyttöveteen

Järjestelmä kostuu LTO-patterista, käyttövesivaraajasta, kiertovesipumpusta, putkistosta säätölaitteineen sekä järjestelmän toimintaa ohjaavasta automaatiojärjestelmästä. Järjestelmään voidaan lisätä myös lämmönsiirrin, jolloin LTO-piirissä kiertävä vesi ei sekoitu varaajassa kiertävään veteen. Hankintahinta-arviota näille osille ei tehty, koska järjestelmää ei mitoitettu kokonaisuudessaan, ja näin ollen hintojen määrittämiseen tarvittavia tietoja komponenttien ominaisuuksista ei ollut saatavissa.

LTO-pattereilla poistoilmasta käyttöveteen talteen saatavan energian arvo on esitetty taulukossa 12. Todellisuudessa arvo on jonkin verran esitettyä arvoa pienempi, koska putkistoissa ja lämmönsiirtimissä syntyy lämpöhäviöitä. Lisäksi pumppujen ja automatiikan kuluttama sähkö aiheuttaa kustannuksia ja vähentää siten energian kokonaissästöä.

TAULUKKO 12. LTO-pattereilla käyttöveteen saatava euromääräinen energiansäästö vuodessa

Tila	Energiansäästö (€)
Uuni 1	4 762
Uuni 2	9 043
Uuni 3	18 182
Uuni 4	4 233
Yht.	36 219

6.3.2 Lämmöntalteenotto lämmitysverkostoon

Järjestelmän pääkomponentteja ovat LTO-patteri, kiertoilmakoneet, pumpput, lämmönsiirrin, putkistot säätölaitteineen sekä automaatiojärjestelmä, joka ohjaa lämmitysjärjestelmän toimintaa. Kuten käyttövesijärjestelmän kohdalla, myös tämän järjestelmän hankintahinta-arviosta luovuttiin, koska järjestelmää ei mitoitettu kokonaisuudessaan, ja siten hinnoitteluperusteitakaan ei ollut käytettävissä.

Taulukosta 13 ilmenee poistoilmasta lämmitysverkostoon saatava energia euromääräisenä. Todellisuudessa arvo on jonkin verran esitettyä pienempi, koska putkistoissa ja lämmönsiirtimissä syntyy lämpöhäviöitä. Myös pumppujen ja automatiikan kuluttama sähkö aiheuttaa kustannuksia ja vähentää siten energian kokonaissäästöä.

TAULUKKO 13. LTO-pattereilla lämmitysverkostoon saatava euromääräinen energiansäästö vuodessa

Tila	Energiansäästö (€)
Uuni 1	8 580
Uuni 2	13 010
Uuni 3	18 555
Uuni 4	4 492
Yht.	44 637

6.4 Kuivauslämpöpumppu

Kuivauslämpöpumppujärjestelmän kalleimmat yksittäiset komponentit ovat kompressori sekä höyrystys- ja lauhdutuspatit. Kompressoreiden kappalehintojen arvioitiin olevan 5 000–12 000 euroa ja pattereiden noin 1 500 euroa. Näiden lisäksi huomattavia investointikustannuksia koituu säätöjärjestelmistä, putkituksista, kanavoinneista ja asennustyöstä. Järjestelmällä saadaan energiansäästöä höyrynkulutuksen vähentyessä, mutta toisaalta sähkönkulutus kasvaa kompressorin kuluttaman sähkön vuoksi. Energiansäästöä saadaan taulukon 14 mukaisesti.

TAULUKKO 14. Kuivauslämpöpumpulla saatava vuosittainen euromääräinen energiansäästö

Tila	Energiansäästö (€)
Uuni 1	4 362
Uuni 2	5 278
Uuni 3	3 460
Uuni 4	3 378
Yht.	16 479

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli etsiä Best-In Oy:n kuivausuuneihin soveltuva energiaa säästävä tai talteenottava laitteisto, jolla saavutetaan kustannussäästöjä koiranruokien kuivausprosessissa. Työn alkuvaiheessa tehtyjen mittausten perusteella selvisi, että uunien välisissä poistoilmavirroissa esiintyi suuria vaihteluita, vaikka uunien 1 ja 2 sekä uunien 3 ja 4 käyntiajat ja kuivattavien tuotteiden määrät ovat pääosin samat. Tästä voitiin päätellä, että ilmavirtoja voidaan pienentää ainakin joidenkin uunien kohdalla vaikuttamatta tuotteiden laatuun.

Mittaustulosten pohjalta tehtyjen alustavien energiansäästö- ja kustannuslaskelmien avulla valittiin kolme järjestelmää tarkempaan energiansäästö- ja kustannustarkasteluun: taajuusmuuttaja-, kuivauslämpöpumppu- ja LTO-patterijärjestelmät. Näistä taajuusmuuttajajärjestelmä osoittautui selvästi kannattavimmaksi investointikohteeksi. Sen etuina ovat pienet investointi- ja huoltokustannukset, toimintavarmuus sekä asennuksen helppous. Taajuusmuuttajien asennus voidaan suorittaa seisonta-aikojen puitteissa, jolloin tuotantokatkoksia ei aiheudu tai ne ovat lyhytaikaisia.

Kuivauslämpöpumppujärjestelmällä ja LTO-patterijärjestelmillä arvioidaan investointikustannusten nousevan korkeiksi ja toimintavarmuuden olevan selvästi taajuusmuuttajaratkaisua heikompi. Huollontarve ja huoltokustannukset ovat myös huomattavan suuret. Järjestelmien asennustyöt aiheuttavat tuotantokatkoksia, sillä uuneja ei voida käyttää asennusten aikana. Kuivauslämpöpumppujärjestelmällä ja LTO-patterijärjestelmillä saatava energiansäästö nykyisillä ilmavirroilla on huomattava, mutta korkeiksi arvioitujen kustannusten vuoksi ne eivät ole investointikannattavuudeltaan taajuusmuuttajajärjestelmän tasolla.

Taajuusmuuttajilla saatava säästö on riippuvainen siitä, kuinka paljon poistoilmavirtaa voidaan pienentää aiheuttamatta haittaa tuotteiden kuivatusprosessiin. Laskelmissa esimerkkiarvoina käytettiin poistoilmavirran tasoja, jotka ovat nykyisestä poistoilmavirran tasosta 90 %, 50 % ja 25 %. Näillä esimerkkilaskelmillä takaisinmaksuajoiksi saatiin 0,86, 0,17 ja 0,12 vuotta. Euromääräinen säästö kyseisillä poistoilmavirran tasoilla on 7 439 €, 37 265 € ja 54 809 € vuodessa.

Mikäli jokaisen uunin poistoilmavirtaa voidaan pienentää 25 %:iin nykyisestä, saadaan säästöä 54 809 € vuodessa investoinnin takaisinmaksuajan ollessa noin 1,5 kuukautta.

Käyttöveteen LTO-patterijärjestelmällä talteenotettavan energiamäärän perusteella laskettu säästö ilman investointi- ja huoltokustannuksia on 36 219 € vuodessa. Laskelmassa on oletettu, että LTO-patterista saatava energia voidaan käyttää täysimääräisesti käyttövesivaraajassa kiertävän käyttöveden lämmittämiseen. Käytännössä tämä ei toteudu, koska putkistoissa syntyy lämpöhäviöitä ja käyttöveden kulutuksen ollessa vähäistä varaajan sisältämän veden lämpötila nousee mitoituslämpötilaa korkeammaksi, jolloin lämmöntalteenotto teho laskee. Tällöin myös vuosittaisen säästön määrä pienenee.

LTO-patterijärjestelmällä lämmitysverkostoon talteenotettavan energiamäärän perusteella laskettu säästö ilman investointi- ja huoltokustannuksia on 44 637 € vuodessa. Säästön määrä on todellisuudessa kuitenkin esitettyä arvoa pienempi, koska putkistoissa ja lämmönsiirtimissä syntyy häviöitä. Laskelmassa on lisäksi oletettu, että lämmitettävien varastotilojen lämmöntarve on vähintään uuneista lämmityskaudella saatavan energiamäärän suuruinen. Mikäli lämmöntarve on pienempi, laskee LTO-pattereiden teho ja siten myös säästön määrä pienenee.

Kuivauslämpöpumpulla saatava laskennallinen vuosisäästö ilman investointi- ja huoltokustannuksia on 16 479 €. Laskelmassa ei ole otettu huomioon kanaviin asennettavien pattereiden aiheuttaman painehäviön vaikutusta ilmavirtaan. Todellisuudessa painehäviön vaikutuksesta ilmavirta pienenee ja pattereiden tehot laskevat, jolloin myös säästön määrä pienenee. Tätä seikkaa ei ole otettu huomioon myöskään LTO-järjestelmien laskelmissa. Lisälauhdittimen luovuttamaa energiamäärää ei huomioitu laskelmissa, ja mikäli energia voidaan käyttää hyödyksi, nousee järjestelmällä saavutettava kokonaisvuosisäästö esitettyä korkeammaksi.

Saatujen tulosten perusteella on selvää, että taajuusmuuttajien asentaminen jokaisen uunin poistoilmapuhalttimeen on kannattavaa ja se tulisi tehdä mahdollisimman nopealla aikataululla, koska energiansäästöpotentiali on huomatta-

van suuri. Taajuusmuuttajat on mahdollista asentaa ensin esimerkiksi vain uuneihin 2 ja 3, joiden ilmavirrat ovat suurimmat, ja niistä saatujen käyttökokemusten perusteella asentaminen voidaan suorittaa muihinkin uuneihin, mikäli järjestelmä todetaan käytännössä toimivaksi.

Taajuusmuuttajilla tehdyn poistoilmavirtojen optimoinnin jälkeen on perusteltua suorittaa ilmavirtamittaukset uudestaan ja selvittää, onko hyödyntämättömän energian määrä edelleen niin suuri, että esimerkiksi lämmöntalteenottojärjestelmällä voitaisiin pienentää energiankulutusta entisestään.

Energiansäästölukemat ja investointikustannukset ovat teoriassa saavutettuja laskennallisia arvoja. Todelliset säästöt ja kustannukset saadaan selville vasta investoinnin ja laitteiston käyttöönoton jälkeen.

LÄHTEET

17web.com. Ei julkaisutietoja. Saatavissa:

<http://www.17web.com/cc/business/ecommerce/pro/images/2003/10/1753.jpg>.

Hakupäivä: 13.4.2012.

Aittomäki, Antero 1996. Kylmäteknikka. 2. painos. Helsinki: Kylmätuki.

Best-In Oy. 2012. Saatavissa: <http://www.best-in.fi/yritys>. Hakupäivä 11.5.2012.

BSRIA Instrument Solutions Ltd. 2002. Product Data Sheet. Saatavissa:

<http://www.bis.fm/assets/documents/faxdatasheets/APM150%20APM151%20Balometer.PDF>. Hakupäivä 13.4.2012.

Climecon Oy. 2012. UV-puhdistusjärjestelmä ammattikeittiöiin. Saatavissa:

http://www.climecon.fi/download.php?liite_id=9714. Hakupäivä 21.4.2012.

Coils for Windows. Versio 9.0. CD-ROM. Luvata Söderköping AB.

CoolPack. Versio 1.49. Saatavissa: [http://www.ipu.dk/English/IPU-](http://www.ipu.dk/English/IPU-Manufacturing/Refrigeration-and-energy-technology/Downloads/CoolPack.aspx)

[Manufacturing/Refrigeration-and-energy-technology/Downloads/CoolPack.aspx](http://www.ipu.dk/English/IPU-Manufacturing/Refrigeration-and-energy-technology/Downloads/CoolPack.aspx).

Hakupäivä 5.1.2012.

Federley, Jaana 2009. Energiatehokas lämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä. Motiva Oy. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/files/2418/Energiatehokas_l_mmitys_ja_LTO.pdf. Hakupäivä 21.4.2012.

Hakala, Pertti – Kaapola, Esko 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. 2. painos.

Opetushallitus.

Hartikainen, Eero 2012. Re: Kuivaustilan pohjapiirustus. Sähköpostiviesti. Vas-

taanottaja: Lasse Miettinen. 16.3.2012.

Heino, Raino – Hellsten, Eino 1983. Tilastoja Suomen ilmastosta 1961–1980.

Liite Suomen Meteorologiseen vuosikirjaan Nide 80 osa 1a - 1980. Ilmatieteen laitos.

Mattila, Risto 2012. Työnjohtaja, tuotanto, Best-In Oy. Keskustelu 25.1.2012.

Niskanen, Jyrki – Niskanen, Mervi 2000. Yritysrahoitus. Helsinki: Edita.

Pietiko Oy. SwemaAir. Käyttöohje. Saatavissa:

<http://www.pietiko.fi/mittarikirjallisuus/KOH300V1.pdf>. Hakupäivä 13.4.2012.

RakMK D5. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Ympäristöministeriö. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>. Hakupäivä: 21.4.2012.

Seppänen, Olli 1988. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. LVI-kustannus.

LIITTEET

Liite 1 Kuivauslämpöpumpun p,h-piirros

Liite 2 Käyttövesijärjestelmän LTO-patterin mitoitus (uuni 1)

Liite 3 Käyttövesijärjestelmän LTO-patterin mitoitus (uuni 2)

Liite 4 Käyttövesijärjestelmän LTO-patterin mitoitus (uuni 3)

Liite 5 Käyttövesijärjestelmän LTO-patterin mitoitus (uuni 4)

Liite 6 Lämmitysjärjestelmän LTO-patterin mitoitus (uuni 1)

Liite 7 Lämmitysjärjestelmän LTO-patterin mitoitus (uuni 2)

Liite 8 Lämmitysjärjestelmän LTO-patterin mitoitus (uuni 3)

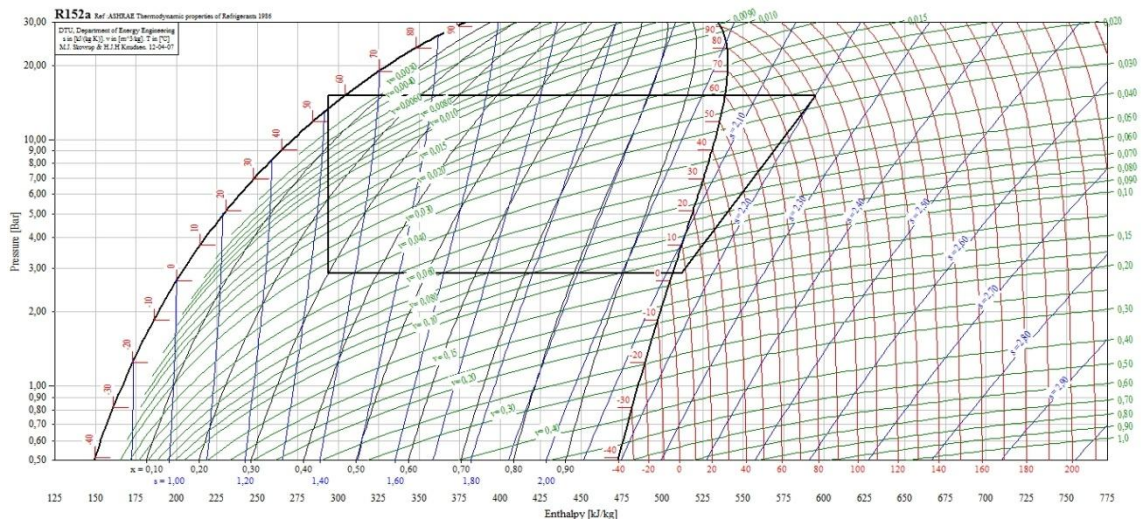
Liite 9 Lämmitysjärjestelmän LTO-patterin mitoitus (uuni 4)

Liite 10 Kuivauslämpöpumpun mitoitus (uuni 1)

Liite 11 Kuivauslämpöpumpun mitoitus (uuni 2)

Liite 12 Kuivauslämpöpumpun mitoitus (uuni 3)

Liite 13 Kuivauslämpöpumpun mitoitus (uuni 4)



Coils Lämmitys-/jäähdytyspatterit - [Uuni 1, KV]

Arkisto Näytä Vaihtoehto Ohje

Vesi Höyrystin Höyry Lauhdutin

Id
Tunniste: Uuni 1, KV

Patterisovellus
Patterisovellus: Kanavapatteri

Ilma
Virta, m³/s: 0.454 0.45
Lämpötila sisään, °C: 77 77.0
Tuloilman kosteus, %: 4.8
Lämpötila ulos, °C: 40 59.5
Poistoilman kosteus, %: 10
Nopeus, m/s: 1.1
Painehäviö, Pa: 30

Ilmapuolen kehys
 Reitetty laippaliitos Työntölistaliitos

Patteri
 Koteloitdut kokoojaputki Näkyvissä olevat kokoc

Tyyppi: QLHG QLHG
Kanavan liitosmitta, leveys, mm: 700 700
Kanavan liitosmitta, korkeus, mm: 700 700
Putkirivien lukumäärä: 8 8
Lamellijako: 4 4
Vesiteiden määrä: 16 16
Liitäntäpuoli: Ei määritellyt
Liitäntäkoko DN: DN1x32

Vesi
Lämpötila sisään, °C: 25 25.0
Lämpötila ulos, °C: 75 74.9
Virta, l/s: 0.05
Nopeus, m/s: 0.0
Painehäviö, kPa: 0.1

Teho
Teho, kW: 9.9

Tuotetunnus ja hinta
QLHG-070-070-08-40-16-0-A X ...
QLHG-070-070-08-40-16-0-A
Hinta: Hintaa pyydettyäessä Pattereitten lkm.: 1

Coils Lämmitys-/jäähdytyspatterit - [Uuni 2, KV]

Arkisto Näytä Vaihtoehto Ohje

Vesi Höyrystin Höyry Lauhdutin

Id
Tunniste: Uuni 2, KV

Patterisovellus
Patterisovellus: Kanavapatteri

Ilma
Ilmapuolen kehys
 Reitetty laippaliitos Työntölistaliitos

Patteri
 Koteloitdut kokoojaputli Näkyvissä olevat kokoc

Virta, m³/s:	0.65	0.65
Lämpötila sisään, °C:	79.9	79.9
Tuloilman kosteus, %:	3.7	
Lämpötila ulos, °C:	40	56.6
Poistoilman kosteus, %:		10
Nopeus, m/s:		1.2
Painehäviö, Pa:		36

Virta, l/s:		0.09
Lämpötila sisään, °C:	25	25.0
Lämpötila ulos, °C:	75	74.8
Nopeus, m/s:		0.1
Painehäviö, kPa:		0.2

Teho
Teho, kW: 18.8

Tyyppi: QLHG QLHG

Kanavan liitosmitta, leveys, mm: 800 800

Kanavan liitosmitta, korkeus, mm: 800 800

Putkirivien lukumäärä: 8 8

Lamellijako: 4 4

Vesiteiden määrä: 18 18

Liitäntäpuoli: Ei määritelly

Liitäntäkoko DN: DN1x32

Tuotetunnus ja hinta
QLHG-080-080-08-40-18-0-A X ...
QLHG-080-080-08-40-18-0-A

Hinta: Hintaa pyydettyäessä Pattereitten lkm.: 1

Coils Lämmitys-/jäähdytyspatterit - [Uuni 3, KV]

Arkisto Näytä Vaihtoehto Ohje

Vesi Höyrystin Höyry Lauhdutin

Id
Tunniste: Uuni 3, KV

Patterisovellus
Patterisovellus: Kanavapatteri

Ilma
Virta, m³/s: 0.854 0.85
Lämpötila sisään, °C: 84.7 84.7
Tuloilman kosteus, %: 2.3
Lämpötila ulos, °C: 40 48.7
Poistoilman kosteus, %: 11
Nopeus, m/s: 1.2
Painehäviö, Pa: 38

Ilmapuolen kehys
 Reitetty laippaliitos Työntölistaliitos

Patteri
 Koteloitdut kokoojaputit Näkyvissä olevat kokoc

Tyyppi: QLHG QLHG
Kanavan liitosmitta, leveys, mm: 900 900
Kanavan liitosmitta, korkeus, mm: 900 900
Putkirivien lukumäärä: 8 8
Lamellijako: 4 4
Vesiteiden määrä: 18 18
Liitäntäpuoli: Ei määritellyt
Liitäntäkoko DN: DN1x32

Tuotetunnus ja hinta
QLHG-090-090-08-40-18-0-A X ...
QLHG-090-090-08-40-18-0-A

Hinta: Hintaa pyydettyäessä Pattereitten lkm.: 1

Vesi
Lämpötila sisään, °C: 25 25.0
Lämpötila ulos, °C: 75 74.9
Virta, l/s: 0.18
Nopeus, m/s: 0.1
Painehäviö, kPa: 0.7

Teho
Teho, kW: 37.8

Coils Lämmitys-/jäähdytyspatterit - [Uuni 4, KV]

Arkisto Näytä Vaihtoehto Ohje

Vesi Höyrystin Höyry Lauhdutin

Id
Tunniste: Uuni 4, KV

Patterisovellus
Patterisovellus: Kanavapatteri

Ilma
Virta, m³/s: 0.193 0.19
Lämpötila sisään, °C: 88.6 88.6
Tuloilman kosteus, %: 3
Lämpötila ulos, °C: 40 51.8
Poistoilman kosteus, %: 15
Nopeus, m/s: 0.9
Painehäviö, Pa: 22

Ilmapuolen kehys
 Reiitetty laippaliitos Työntölistaliitos

Patteri
 Koteloitdut kokoojaputli Näkyvissä olevat kokoc

Tyyppi: QLHG QLHG
Kanavan liitosmitta, leveys, mm: 500 500
Kanavan liitosmitta, korkeus, mm: 500 500
Putkirivien lukumäärä: 8 8
Lamellijako: 4 4
Vesiteiden määrä: 18 18
Liitäntäpuoli: Ei määritely
Liitäntäkoko DN: DN1x25

Tuotetunnus ja hinta
QLHG-050-050-08-40-18-0-A X ...
QLHG-050-050-08-40-18-0-A

Hinta: Hintaa pyydettyäessä Pattereitten lkm.: 1

Vesi
Lämpötila sisään, °C: 25 25.0
Lämpötila ulos, °C: 75 74.9
Virta, l/s: 0.04
Nopeus, m/s: 0.1
Painehäviö, kPa: 0.1

Teho
Teho, kW: 8.8

Coils Lämmitys-/jäähdytyspatterit - [Uuni 1, lämmitys]

Arkisto Näytä Vaihtoehto Ohje

Vesi Höyrystin Höyry Lauhdutin

Id
Tunniste: Uuni 1, lämmitys

Patterisovellus
Patterisovellus: Kanavapatteri

Ilma
Virta, m³/s: 0.454 0.45
Lämpötila sisään, °C: 77 77.0
Tuloilman kosteus, %: 4.8
Lämpötila ulos, °C: 30 27.7
Poistoilman kosteus, %: 54
Nopeus, m/s: 1.0
Painehäviö, Pa: 29

Ilmapuolen kehys
 Reitetty laippaliitos Työntölistaliitos

Patteri
 Koteloitdut kokoojaputli Näkyvissä olevat kokoc

Tyyppi: QLHG QLHG
Kanavan liitosmitta, leveys, mm: 700 700
Kanavan liitosmitta, korkeus, mm: 700 700
Putkirivien lukumäärä: 8 8
Lamellijako: 4 4
Vesiteiden määrä: 16 16
Liitäntäpuoli: Ei määritelty
Liitäntäkoko DN: DN1x32

Vesi
Lämpötila sisään, °C: 25 25.0
Lämpötila ulos, °C: 34 35.0
Virta, l/s: 0.74
Vesi
Nopeus, m/s: 0.6
Painehäviö, kPa: 9

Tuotetunnus ja hinta
QLHG-070-070-08-40-16-0-A X ...
QLHG-070-070-08-40-16-0-A
Hinta: Hintaa pyydettyäessä Pattereitten lkm.: 1

Teho
Teho, kW: 27.7

Coils Lämmitys-/jäähdytyspatterit - [Uuni 2, lämmitys]

Arkisto Näytä Vaihtoehto Ohje

Vesi Höyrystin Höyry Lauhdutin

Id
Tunniste: Uuni 2, lämmitys

Patterisovellus
Patterisovellus: Kanavapatteri

Ilma
Virta, m³/s: 0.650 0.65
Lämpötila sisään, °C: 79.9 79.9
Tuloilman kosteus, %: 3.7
Lämpötila ulos, °C: 30 27.6
Poistoilman kosteus, %: 47
Nopeus, m/s: 1.2
Painehäviö, Pa: 34

Ilmapuolen kehys
 Reitetty laippaliitos Työntölistaliitos

Patteri
 Koteloitoidut kokoojaputli Näkyvissä olevat kokoc

Tyyppi: QLHG QLHG
Kanavan liitosmitta, leveys, mm: 800 800
Kanavan liitosmitta, korkeus, mm: 800 800
Putkirivien lukumäärä: 8 8
Lamellijako: 4 4
Vesiteiden määrä: 18 18
Liitäntäpuoli: Ei määritellyt
Liitäntäkoko DN: DN1x32

Vesi
Lämpötila sisään, °C: 25 25.0
Lämpötila ulos, °C: 34 35.0
Virta, l/s: 1.12
Vesi
Nopeus, m/s: 0.9
Painehäviö, kPa: 22

Tuotetunnus ja hinta
QLHG-080-080-08-40-18-0-A X ...
QLHG-080-080-08-40-18-0-A
Hinta: Hintaa pyydettyäessä Pattereitten lkm.: 1

Teho
Teho, kW: 42.0

Coils Lämmitys-/jäähdytyspatterit - [Uuni 3, lämmitys]

Arkisto Näytä Vaihtoehto Ohje

Vesi Höyrystin Höyry Lauhdutin

Id
Tunniste: Uuni 3, lämmitys

Patterisovellus
Patterisovellus: Kanavapatteri

Ilma
Virta, m³/s: 0.854 0.85
Lämpötila sisään, °C: 84.7 84.7
Tuloilman kosteus, %: 2.3
Lämpötila ulos, °C: 30 27.6
Poistoilman kosteus, %: 36
Nopeus, m/s: 1.2
Painehäviö, Pa: 36

Ilmapuolen kehys
 Reitetty laippaliitos Työntölistaliitos

Patteri
 Koteloitdut kokoojaputli Näkyvissä olevat kokoc

Tyyppi: QLHG QLHG
Kanavan liitosmitta, leveys, mm: 900 900
Kanavan liitosmitta, korkeus, mm: 900 900
Putkirivien lukumäärä: 8 8
Lamellijako: 4 4
Vesiteiden määrä: 18 18
Litätäpuoli: Ei määritelly

Litätäkoko DN: DN1x32

Tuotetunnus ja hinta
QLHG-090-090-08-40-18-0-A X ...
QLHG-090-090-08-40-18-0-A

Hinta: Hintaa pyydettyäessä Pattereitten lkm.: 1

Vesi
Lämpötila sisään, °C: 25 25.0
Lämpötila ulos, °C: 34 35.0
Virta, l/s: 1.60
Vesi
Nopeus, m/s: 1.2
Painehäviö, kPa: 38

Teho
Teho, kW: 59.9

Coils Lämmitys-/jäähdytyspatterit - [Uuni 4, lämmitys]

Arkisto Näytä Vaihtoehto Ohje

Vesi Höyrystin Höyry Lauhdutin

Id
Tunniste: Uuni 4, lämmitys

Patterisovellus
Patterisovellus: Kanavapatteri

Ilma
Virta, m³/s: 0.193 0.19
Lämpötila sisään, °C: 88.6 88.6
Tuloilman kosteus, %: 3
Lämpötila ulos, °C: 30 27.8
Poistoilman kosteus, %: 53
Nopeus, m/s: 0.9
Painehäviö, Pa: 21

Ilmapuolen kehys
 Reitetty laippaliitos Työntölistaliitos

Patteri
 Koteloitdut kokoojaputli Näkyvissä olevat kokoc

Tyyppi: QLHG QLHG
Kanavan liitosmitta, leveys, mm: 500 500
Kanavan liitosmitta, korkeus, mm: 500 500
Putkirivien lukumäärä: 8 8
Lamellijako: 4 4
Vesiteiden määrä: 18 18
Liitäntäpuoli: Ei määritelty
Liitäntäkoko DN: DN1x25

Vesi
Lämpötila sisään, °C: 25 25.0
Lämpötila ulos, °C: 34 35.0
Virta, l/s: 0.39
Vesi
Nopeus, m/s: 0.5
Painehäviö, kPa: 6

Tuotetunnus ja hinta
QLHG-050-050-08-40-18-0-A X ...
QLHG-050-050-08-40-18-0-A
Hinta: Hintaa pyydettyäessä Pattereitten lkm.: 1

Teho
Teho, kW: 14.5

Cycle info [One stage]. Refrigerant: R152a

Select cycle number:

Delete cycle

Values:

Evaporating temperature [°C]:	2.00	Condensing temperature [°C]:	60.00
Superheat [K]:	5.00	Subcooling [K]:	5.00
Dp evaporator [bar]:	0.00	Dp condenser [bar]:	0.00
Dp suction line [bar]:	0.00	Dp liquid line [bar]:	0.00
Dp discharge line [bar]:	0.00		
Isentropic efficiency [0-1]:	0.70		

Calculated:

Qe [kJ/kg]:	217.618
Qc [kJ/kg]:	300.648
COP:	2.62
W [kJ/kg]:	83.030
Pressure ratio [-]:	5.271

Dimensioning:

Qe [kW]:	42.000
Qc [kW]:	58.025
m [kg/s]:	0.19299843
V [m ³ /h]:	79.6519
W [kW]:	16.025
Q loss [kW]:	0.000

Volumetric efficiency

n_vol:

Displacement [m³/h]: 0

OK Coordinates of points... Print Copy Update Help

Cycle info [One stage]. Refrigerant: R152a

Select cycle number:

[1]

Delete cycle

Values:

Evaporating temperature [°C]:	2.00	Condensing temperature [°C]:	60.00
Superheat [K]:	5.00	Subcooling [K]:	5.00
Dp evaporator [bar]:	0.00	Dp condenser [bar]:	0.00
Dp suction line [bar]:	0.00	Dp liquid line [bar]:	0.00
Dp discharge line [bar]:	0.00		
Isentropic efficiency [0-1]:	0.70		

Calculated:

Qe [kJ/kg]:	217.618
Qc [kJ/kg]:	300.648
COP:	2.62
W [kJ/kg]:	83.030
Pressure ratio [-]:	5.271

Dimensioning:

Qe [kW]:	59.200
Qc [kW]:	81.787
m [kg/s]:	0.27203588
V [m ³ /h]:	112.2712
W [kW]:	22.587
Q loss [kW]:	0.000

Volumetric efficiency

n_vol: 0.00

Displacement [m³/h]: 0

OK Coordinates of points... Print Copy Update Help

Cycle info [One stage]. Refrigerant: R152a

Select cycle number:

[1]

Delete cycle

Values:

Evaporating temperature [°C]:	2.00	Condensing temperature [°C]:	60.00
Superheat [K]:	5.00	Subcooling [K]:	5.00
Dp evaporator [bar]:	0.00	Dp condenser [bar]:	0.00
Dp suction line [bar]:	0.00	Dp liquid line [bar]:	0.00
Dp discharge line [bar]:	0.00		
Isentropic efficiency [0-1]:	0.70		

Calculated:

Qe [kJ/kg]:	217.618
Qc [kJ/kg]:	300.648
COP:	2.62
W [kJ/kg]:	83.030
Pressure ratio [-]:	5.271

Dimensioning:

Qe [kW]:	76.000
Qc [kW]:	104.997
m [kg/s]:	0.34923526
V [m ³ /h]:	144.1320
W [kW]:	28.997
Q loss [kW]:	0.000

Volumetric efficiency

n_vol: 0.00

Displacement [m³/h]: 0

OK Coordinates of points... Print Copy Update Help

Cycle info [One stage]. Refrigerant: R152a

Select cycle number:

[1]

Delete cycle

Values:

Evaporating temperature [°C]:	2.00	Condensing temperature [°C]:	60.00
Superheat [K]:	5.00	Subcooling [K]:	5.00
Dp evaporator [bar]:	0.00	Dp condenser [bar]:	0.00
Dp suction line [bar]:	0.00	Dp liquid line [bar]:	0.00
Dp discharge line [bar]:	0.00		
Isentropic efficiency [0-1]:	0.70		

Calculated:

Qe [kJ/kg]:	217.618
Qc [kJ/kg]:	300.648
COP:	2.62
W [kJ/kg]:	83.030
Pressure ratio [-]:	5.271

Dimensioning:

Qe [kW]:	24.100
Qc [kW]:	33.295
m [kg/s]:	0.11074434
V [m ³ /h]:	45.7050
W [kW]:	9.195
Q loss [kW]:	0.000

Volumetric efficiency

n_vol: 0.00

Displacement [m³/h]: 0

OK Coordinates of points... Print Copy Update Help