

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Paperitekniikan koulutusohjelma  
Paperitekniikka

Opinnäytetyö

Ari Solja

**KARTONKIKONEEN ENERGIAN KÄYTÖN TEHOSTAMINEN**

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Simpele 2007

Tekn. lis. Päivi Viitaharju  
M-real Oyj, Simpele, valvojana DI Mika Leino

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paperitekniikka

Solja, Ari

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Huhtikuu 2007

Hakusanat

Kartonkikoneen energian käytön tehostaminen

67 sivua + 5 liitettä

Tekn. lis. Päivi Viitaharju

M-real Oyj, Simpele, valvojana DI Mika Leino

kartonkikone, kuivatusosan ja huuvan ilmastointi, lämmön talteenotto, höyry- ja lauhdejärjestelmä, energiatalous

## TIIVISTELMÄ

Tässä työssä tutkittiin kartonkikoneen energian käytön tehostamismahdollisuuksia. Työn taustalla on kartonkikoneella toteutettu investointiprojekti, jossa kasvatettiin koneen kapasiteettia. Investoinnin seurauksena koneen höyry- ja lauhdejärjestelmää, ilmastointia ja lämmön talteenottoa uusittiin, jolloin tuli tarpeelliseksi optimoida niiden ajotapoja. Niiden lisäksi työssä mietittiin kehityskohteita kartonkikoneen energiatalouden parantamiseksi sekä prosessinohjausjärjestelmän uudistamiseksi.

Työn tuloksena havaittiin, että koneilmastointia voidaan kehittää pysäyttämällä tarpeettomia tuulettimia sekä alentamalla kellarin ja välikaton asetustilapöytätiloja. Seisokkien ilmastoinnissa tehostamista ilmeni puhaltimien turhina päällä oloina. Esikuivatusosan ilmatasetta tutkittaessa huomattiin selvä korvausilman puute poistoilmaan nähden. Hyväksi vaihtoehdoksi höyrynkulutuksen laskemiseksi havaittiin korvausilman lämpötilan nosto infra- ja leijukuivainten poistoilmaa hyödyntämällä.

Lämmön talteenoton tila havaittiin kohtalaiseksi. Ainoastaan yhdessä lämmön talteenottoyksiköistä ei ole ilma/vesi-lämmönvaihdinta. Lisäämällä vesikennon yksikköön voidaan lämmön talteenottoa tehostaa huomattavasti. Tämän lisäksi lämmön talteenottoa voidaan parantaa kirkassuodoskennon putkitusta muuttamalla.

Höyry- ja lauhdejärjestelmän haasteena on läpipuhallushöyryjen vähentäminen paine-eroista huolehtimalla ja kaskadikytkennän edellytyksiä parantamalla. Muita kehityskohteita lämpötalouden parantamiseksi paikannettiin hiemolta ja pastakeittiöltä. Prosessinohjausjärjestelmän kehittämiseksi luotiin uusia energiatehokkuutta kuvaavia osoittimia, joilla parannetaan operaattoreiden tietoisuutta kuivatusosan ja lämmön talteenoton tilasta.

TAMPERE POLYTECHNIC

Paper Technology

Solja, Ari

Engineering Thesis

Thesis Supervisor

Commissioning Company

April 2007

Keywords

Improvement of Board Machine's Energy Efficiency

67 pages, 5 appendices

Päivi Viitaharju (Lic.Tech.)

M-real Oyj Simpele. Supervisor: Mika Leino (MSc)

board machine, drying section and hood ventilation, heat recovery, steam and condensate system, energy economy

## ABSTRACT

This engineering thesis was done to find out ways to improve board machine's energy efficiency. A major investment was done to the board machine a year ago. The target of this investment was to increase the output and the production speed of the board machine. During the investment, major modifications were made to the existing heat and condensate, air conditioning and heat recovery systems. These modifications made it necessary to reevaluate the existing ways to operate the systems. In addition to these, the goal of this thesis was to locate also other ways to improve the energy economy and the process control system.

As a result, it was discovered that the machine hall ventilation could be improved by stopping unnecessary fans. Savings in energy are also possible by decreasing the ventilation temperature set points of false ceiling and basement. It was also discovered that couple of unnecessary fans were running during the stoppages. The pre-drying section's hood was suffering from low supply air amount which needs to be corrected. The steam consumption could also be reduced by using the ventilation air from the air-float web-dryers as a source of heat energy for the supply air.

The status of the heat recovery was found to be average and it could be improved by adding a new air-to-water heat recovery unit to the system. Also a modification to the clear filtrate heat transfer unit's piping could improve the heat recovery.

The challenge for the steam and condensate system is to reduce the amount of blow through steam and to improve the functionality of the cascade connection. Other possible waste heat sources could be the ground wood plant and the coating colour kitchen. Process control system should be updated to include energy usage indicators such as surface condenser power.

## ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty M-real Oyj:n Simpeleen tehtaalle tammi- ja huhtikuun välisenä aikana kevättalvella 2007.

Haluan kiittää koko Simpeleen kartonkitehtaan henkilökuntaa saamastani tuesta ja opastuksesta. Erityiskiitos kuuluu Pekka Immoselle ja Jorma Toivaselle, jotka jaksoivat vastata kovapäisen insinööriopiskelijan joskus loputtomiltakin tuntuneisiin kysymyksiin.

Erityiskiitos kuuluu myös Mika Leinolle, joka tarjosi minulle tätä opinnäytetyötä sekä toimi työni valvojana. Kiitos myös Päivi Viitaharjulle, joka vastasi työni ohjaamisesta.

Simpeleellä huhtikuussa 2007

Ari Solja

## SISÄLLYSLUETTELO

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### ALKUSANAT

## 1 JOHDANTO ..... 7

### KIRJALLISUUSOSA

## 2 M-REAL SIMPELE ..... 8

2.1 Kartonkikone ..... 8

2.2 Kartonkilaadut ..... 9

2.2.1 Simcote ..... 9

2.2.2 Simwhite ..... 9

## 3 KUIVATUSOSAN ILMASTOINTI JA LÄMMÖN TALTEENOTTO..... 9

3.1 Kuivatusosan ilmanvaihto ..... 10

3.2 Huuvan 0-taso ..... 12

3.3 Lämmön talteenotto ..... 14

3.3.1 Poistoilman lämpötilan ja kosteuden vaikutus talteenottotehoon ..... 14

3.3.2 Lämmönvaihtimet ..... 15

3.4 Lämmön talteenottojärjestelmät ..... 17

## 4 HÖYRY- JA LAUHDEJÄRJESTELMÄ..... 18

4.1 Kaskadijärjestelmä ..... 19

4.2 Höyry- ja lauhdejärjestelmän säädöt ..... 22

4.3 Sylinterien lauhteenpoisto ..... 23

4.4 Katkotilanteiden hallinta ..... 25

### KOKEELLINEN OSA

## 5 KK3:N KUIVATUSOSAN ILMASTOINTI JA LTO-JÄRJESTELMÄ..... 26

5.1 Kuivatusosan rakenne ..... 26

5.2 Kuivatusosan ilmastointi ..... 26

5.2.1 Esikuivatusosan ilmatase ..... 27

5.2.2 Huuvan 0-taso ..... 30

5.2.3 Taskujen olosuhteet ..... 31

5.2.4	Kuivatusosan ilmastoinnin kehittäminen .....	32
5.3	Lämmön talteenottojärjestelmän rakenne.....	35
5.3.1	Ilma/vesi-lämmönvaihtimien nykytila.....	37
5.3.2	Parannusehdotukset ilma/vesi-lämmönvaihtimiin.....	38
5.3.3	Ilma/ilma-lämmönsiirtimien nykytila.....	40
5.3.4	Parannusehdotukset ilma/ilma-lämmönvaihtimiin .....	42
5.3.5	Kuivatusosan ja konosalin kuivanpään suorat poistot .....	43
<b>6</b>	<b>ARKKI- JA KONESALIN ILMASTOINTI.....</b>	<b>44</b>
6.1	Ilmastoinnin nykytila.....	45
6.2	Parannusehdotukset sali-ilmastointiin .....	46
6.3	Parannusehdotukset seisokkien aikaiseen ilmastointiin .....	48
<b>7</b>	<b>KK3:N HÖYRY- JA LAUHDEJÄRJESTELMÄ .....</b>	<b>49</b>
7.1	Järjestelmän nykytila .....	50
7.2	Nopeus- ja kuivatusrajoitteisen lajin vertailu .....	51
7.3	Höyryryhmä 7:n vaikutus käyryyden säätöön.....	55
7.4	Parannusehdotukset ja ajotapamuutokset .....	57
7.5	Katkotilanteiden ajotapa .....	58
<b>8</b>	<b>MUITA KEHITYSKOhteita ENERGIAN KÄYTÖN TEHOSTAMISEKSI.....</b>	<b>58</b>
8.1	Hiomon hönkähöyryn ja jäteveden lämmön talteenotto.....	58
8.2	Lämmönvaihtimien lauhde- ja pesuvesien hyväksikäyttö.....	59
8.3	Pastakeittiön vedenoton muuttaminen.....	60
<b>9</b>	<b>PROSESSINOHJAUSJÄRJESTELMÄN PUUTTEET JA UUDISTUKSET .....</b>	<b>61</b>
9.1	Järjestelmässä havaitut virheellisyydet.....	61
9.2	Energiatehokkuuden mittarit .....	63
9.2.1	Pintalauhduksen teho ja höyryvirta .....	63
9.2.2	Lämmön talteenoton tehokkuus .....	64
<b>10</b>	<b>YHTEENVETO .....</b>	<b>65</b>

## LÄHTEET

## LIITTEET

## 1 JOHDANTO

Kemiallinen metsäteollisuus on hyvin pääoma- ja energiaintensiivinen teollisuuden ala. Energia onkin sen toiseksi tärkein tuotantohyödyke heti puuraaka-aineen jälkeen. Tämä näkyy myös metsäteollisuutta kohtaavan rakennemuutoksen haasteista, joihin kilpailukykyisen energiansaannin turvaaminen kuuluu yhtenä tärkeimmistä. Energian hinta onkin parin viime vuoden aikana noussut voimakkaasti kasvaneen energian kysynnän sekä fossiilisten polttoaineiden hinnan nousun myötä. Tulevaisuudessa energian hinnan ennakoidaan jatkavan yhä kasvuaan mm. EU:n päästökauppajärjestelmän aiheuttaman kustannusnousun takia. Metsäteollisuudessa onkin tarvetta tehostaa energian käyttöä ja parhaiten tämä toteutuu huolehtimalla tuotantolaitosten korkeasta energiatehokkuudesta. Paperi- ja kartonkitehtaassa tämä tarkoittaa erilaisten prosessien, kuten massan valmistuksen, jauhatuksen, rainauksen, puristuksen ja kuivatuksen optimoimista sekä kehittämistä. Yleensä nämä energiansäästötoimenpiteet tarkoittavat prosessien yksinkertaistamista, tehokkaampien toimilaitteiden hankkimista tai sekundäärienergian parempaa hyödyntämistä.

Tässä opinnäytetyössä on tutkittu M-real Oyj:n Simpeleen tehtaan kartonkikone 3:n energian käytön tehostamismahdollisuuksia pääosin ilmastoinnin, kuivatusosan lämmön talteenoton sekä höyry- ja lauhdejärjestelmän osalta. Tarkoituksena on optimoida järjestelmien ajotapoja sekä paikallistaa kehityskohteita energiatalouden parantamiseksi. Ajotapojen optimoinnin taustalla on tehtaalla vuosina 2005–2006 toteutettu Siika-investointiprojekti, jolla nostettiin kartonkikoneen kapasiteettia.

## KIRJALLISUUSOSA

### 2 M-REAL SIMPELE

M-real-konserniin kuuluvan Simpeleen tehtaan vuotuinen kapasiteetti on 265 000 tonnia paperia ja kartonkia, josta yli 90 % menee vientiin. Paperikoneen kapasiteetti on 50 000 t/a havu- ja lehtipuusellusta valmistettua erikoispaperia joustopakkausihin, etiketteihin ja tarralaminaatteihin. Kartonkikoneen kapasiteetti on 215 000 t/a havu- ja lehtipuusellusta sekä hiokkeesta valmistettua taivekartonkia pakkaus- ja painotarpeisiin. /9/

#### 2.1 Kartonkikone

Kartonkikoneella rainanmuodostus tapahtuu kolmella perälaatikolla, joilla tuotetaan kartongin pinta-, runko- ja taustakerrokset. Runkokerroksen perälaatikko on laimennussäätöinen, ja pinta- sekä taustakerroksen perälaatikot kärkilistasäätöisiä. Viiraosaa seuraa kolminippinen puristinosa, josta raina siirtyy n. 46 % kuiva-ainepitoisuudessa kuivatusosalle. Esikuivatusosien jälkeen raina pintaliimataan filminsiirtoliimapuristimella, jota seuraa leiju- ja sylinterikuivaus sekä välikalanterointi ennen päällystystä. Päällystysosa käsittää kolme teräpäällystysyksikköä, joissa päällystyspasta levitetään rainan pintaan sivelytelojen avulla. Kartongin pintapuoli päällystetään aina kahdesti ja tausta, riippuen valmistettavasta lajista, kerran tai ei lainkaan. Päällystysyksiköiden jälkeen rainan kuivaaminen tapahtuu infra- ja leijukuivaimilla sekä sylintereillä. Päällystysosan jälkeen raina kalanteroidaan konekalanterilla. Kartonkikoneen leveys on n. 4 m ja pituus n. 150 m.

Valmiit konerullat leikataan pituusleikkurilla yksittäisrulliksi, josta ne jatkavat rullapakkaamoon tai arkittamoon. Arkkileikkauksen jälkeen kartonkiarkit pinotaan lavojen päälle, josta valmiit palleit jatkavat pakkaamoon, missä ne suojataan kutistekalvolla.



## 2.2 Kartonkilaadut

### 2.2.1 Simcote

Simcote on kahdesti pinnasta päällystetty taivekartonki, jonka tausta- ja pintakerrokset ovat 100 % havu- ja lehtipuusellua. Runkokerros koostuu pestystä hiokkeesta, joka antaa tuotteelle hyvän bulkin ja jäykkyyden. Simcote-lajia valmistetaan neliömassa-alueella 205...340 g/m<sup>2</sup> ja sitä käytetään elintarvike- ja yleispakkaukskartonkina. /9/

### 2.2.2 Simwhite

Simwhite on pinnastaan kahdesti ja taustastaan kerran päällystetty taivekartonki, jonka tausta- ja pintakerrokset sisältävät Simcoten tavoin 100 % havu- ja lehtipuusellua. Runkokerrokseen käytetään pestyä ja peroksidivalkaistua hioketta korkean vaaleuden saavuttamiseksi. Simwhiten neliömassa-alue on 200...400 g/m<sup>2</sup> ja sen käyttökohteita ovat mm. erilaiset kannet ja kortit, CD- sekä ruokapakkaukset. /9/

## 3 KUIVATUSOSAN ILMASTOINTI JA LÄMMÖN TALTEENOTTO

Rainan siirtyessä puristinosalta kuivatusosalle on rainan kuiva-ainepitoisuus tyypillisesti 33...55 % paperilajin ja puristinosan rakenteen mukaan.

Kuivatusosalla rainan vedenpoisto jatkuu haihduttamalla niin, että kuivatusosan loppupäässä rainan kuiva-ainepitoisuus on n. 90...98 %. Vaikka kuiva-ainepitoisuuden nousu kuivatusosalla onkin n. 35...65 prosenttiyksikköä, poistetaan sillä vähemmän kuin yksi prosentti viiraosalle alun perin tulevasta kokonaisvesimäärästä. /2/

Paperin ja kartongin valmistuksessa monisynterikuivaus on vallitseva menetelmä rainan sisältämän veden haihduttamiseksi. Siinä hyödynnetään höyryn lauhtuessaan luovuttamaa energiaa, joka siirretään sylinterivaipan läpi rainaan. Kuivatusosalla sylinterit sijaitsevat tavallisesti kahdessa rivissä lomittain ja raina kulkee pujotellen sylintereiden lomitse. Sylinterejä vasten rainaa puristaa kuivatusviira. Niillä sylintereillä, joilla on yhteinen viira, pyöriävät yhtä nopeasti ja muodostavat ns. käyttöryhmän. Käyttöryhmiä paperi- tai kartonkikoneessa on

tyypillisesti 5...7 valmistettavan paperi- tai kartonkilajin mukaan. Rainan siirtyessä puristinosalta kuivatusosalle sen lujuus on alhainen. Tämän vuoksi voidaan rainan kulkua kuivatusosan alkupäässä tukea yksiviiraviennillä, jolloin sama kuivatusviira kulkee sekä ala- että yläsylintereillä. Rainan lujuuden noustessa voidaan käyttää nopeudesta riippuen joko yksiviiravientiä tai kaksiviiravientiä, jossa sekä ala- että yläsylintereillä on omat kuivatusviiransa. /1; 2; 7/

Koska vedenpoisto kuivatusosalla tapahtuu höyryä hyväksikäyttäen, se tarkoittaa, että siinä käytetään merkittävästi enemmän energiaa viira- ja puristinosaan verrattuna. Voidaankin sanoa, että paperi- ja kartonkikoneen lämpöenergian kulutuksesta suurin osa tarvitaan kuivatukseen, mikä edustaa n. 90 %:a koko prosessin tarvitsemasta lämmöstä. Kuivatusosa onkin erotettu konesalista huuvan avulla, joka takaa rainan optimaaliset kuivatusolosuhteet. Rainasta haihtunut vesi siirtyy ympäröivään ilmaan, ja tämä kostea ilma poistetaan puhaltimilla huuvan välikaton kautta.

Ennen poistumistaan ulkoilmaan kostea ilma kierrätetään lämmön talteenottojärjestelmän kautta, jossa ilmaan sitoutunut energia pyritään siirtämään lämmönvaihtimia hyväksikäyttäen erilaisiin käyttökohteisiin. Näitä kohteita ovat yleensä huuvan korvausilman tai konesalin tuuletusilman esilämmitys sekä raakaveden, nollaveden tai lämmitysjärjestelmän kiertoveden lämmitys. Toimiva ilmastointi ja lämmön talteenottojärjestelmä muodostavatkin pohjan kuivatusosan tehokkaalle ja taloudelliselle toiminnalle. /2; 3/

### **3.1 Kuivatusosan ilmanvaihto**

Kuivatusosan ilmanvaihdon perustehtävät ovat /2/:

- rainasta haihtuneen veden poisto
- paperin tasaiselle kuivumiselle suotuisten olosuhteiden luominen
- kuivatuksen energiantalouden parantaminen
- koneen ajettavuuden parantaminen hallitulla ilmanpoistolla ja korvausilman tuonnilla
- suotuisten työskentelyolosuhteiden luominen konesaliin.

Näiden tehtävien saavuttamiseksi kuivatusosa on eristetty muusta konesalista koteloinnilla, johon kuuluvat konetason suljetun huuvan lisäksi kellariosan kotelointi. Koteloinnin ansiosta voidaan kuivatusosan energiankäyttöä vähentää lämpöhäviöiden pienentyessä sekä lämmön talteenoton tehostuessa. Suljettu huuvasta myös tehokkaasti kosteuden leviämisen ympäröiviin tiloihin ja suojaa näin muita rakenteita.

Kuivatustehon kannalta on hyvin tärkeää, että poisto- ja korvausilmamäärät ovat riittävällä tasolla, sillä kosteustaso rainan läheisyydessä vaikuttaa suoraan haihdutustehoon. Jos ilmanvaihto rainan läheisyydessä on riittämätön, kasvaa kosteus sylinterin ja rainan väliin muodostuvassa taskussa ja haihdutusteho laskee. Lisäksi hallitsematon poikkisuuntainen ilmavirta voi aiheuttaa vaihtelua rainan kosteusprofiiliin sekä rainan lepatusta reunoilta. Toisaalta tavalla, jolla korvausilma tuodaan taskuihin, voidaan myös merkittävästi vaikuttaa kuivatusosan ajettavuuteen. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat puhalluslaatikot, jotka taskutuuletuksen lisäksi toimivat rainan kulkua stabiloivina ajettavuuskomponentteina. Joissakin tapauksissa voi myös olla aiheellista tuoda korvausilmaa muihin huuvan kriittisiin kohtiin kondenssivaaran poistamiseksi. Myös rainan sisäänmeno- ja ulostuloaukkojen kohdissa voidaan käyttää erillisiä puhaltimia, jotka estävät haitalliset ilmavirtaukset huuvan ja konesalin välillä. /2; 5/

Huuvan poistoilma otetaan yleensä huuvan yläosassa sijaitsevan välikaton kautta, jotta huuvan ilmavirtaukset pysyvät mahdollisimman tasaisina läpi koko kuivatusosan. Jos poistoilmaa otettaisiin suoraan sylinterien yläpuolelta, saattaisi se aiheuttaa epäsuotuisia ilmavirtoja, jolloin rainan kuivuminen olisi epätasaista. Välikaton jälkeen poistoilma kulkeutuu poistoilmakanaviston ja lämmön talteenottotornien kautta ulos. /1; 5/

Rainan tehokkaan kuivatuksen takaamiseksi tulee huuvaan tuotavan korvausilman olla riittävän kuivaa ja lämmintä. Normaalisti korvausilma otetaan konesalista tai ulkoa ja esilämmitetään lämmön talteenottojärjestelmässä, minkä jälkeen se lämmitetään lopulliseen n. 95 °C lämpötilaan höyryllä. Yli 95 °C lämpötilaan lämmittäminen kasvattaa höyrykustannuksia tarpeettomasti, koska

haihdutuskapasiteetissa ei tapahdu juurikaan parannusta. Liian alhainen lämpötila heikentää haihtumista ja saattaa aiheuttaa kondensoitumisriskin /4/.

Konesalin yläpuolelta otettavan korvausilman hyötypuolia on sen jo valmiiksi korkeampi lämpötila. Joissakin tapauksissa sen vesipitoisuus saattaa tosin muodostua ongelmaksi. Kuten edellä todettiin, tuodaan lämmitetty korvausilma kuivatusosalle yleisimmin joko taskutuuletuslaitteiden tai puhalluslaatikoiden avulla. Taskujen kosteuden pitäminen alhaalla on tärkeää, koska merkittävä osa haihtumisesta tapahtuu itse asiassa rainan siirtyessä sylinteriltä toiselle eli ns. vapaassa viennissä. Kartonkikoneilla taskujen kosteudet vaihtelevat 200...300 g<sub>H<sub>2</sub>O</sub>/kg<sub>k.i.</sub>(vesihöyryn määrä kuivaa ilmakiloa kohden). Taskutuuletuslaitteiden avulla vaikutetaan myös poikkisuuntaiseen kosteusprofiliin sekä parannetaan rainan hallintaa vapaassa viennissä ehkäisemällä radan lepatusta.

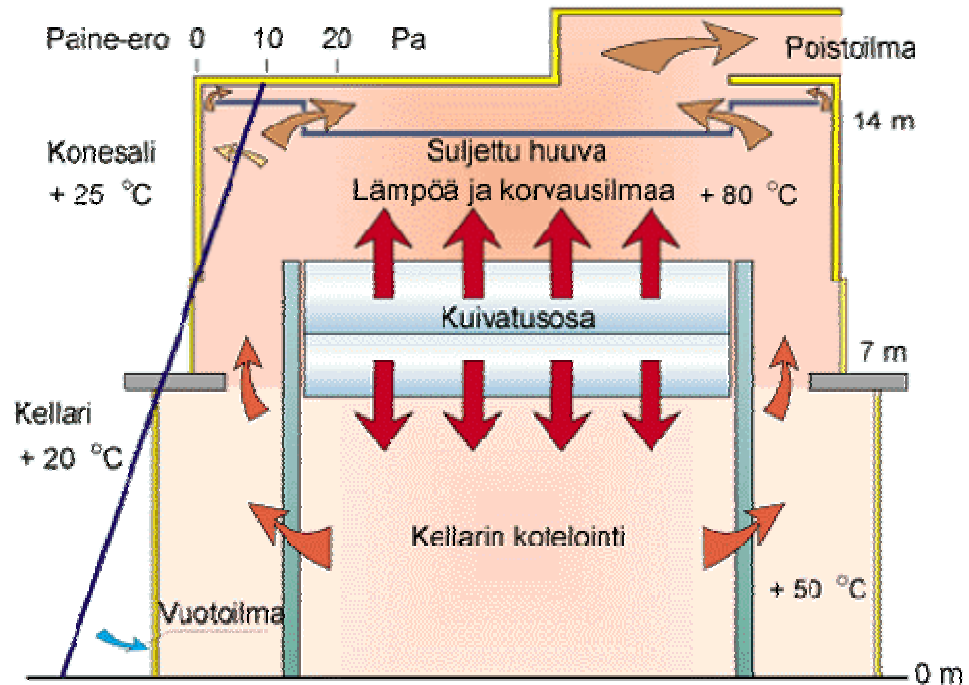
Tärkeä tekijä korvaus- ja poistoilmamääriä vertailtaessa on niiden välinen suhde. Se kertoo, kuinka paljon korvausilmaa kuivatusosalle tuodaan poistoilmamäärään nähden. Korvaus- ja poistoilman välistä erotusta kutsutaan vuotoilmaksi, koska erotusta vastaava ilmamäärä tulee kuivatusosalle pääosin suljetun huuvan kellariosan aukkojen kautta johtuen huuvan alaosan alipaineesta.

Kiurun mukaan /4/ moderneilla paperikoneilla vuotoilmamäärä on alle 35 %. Vuotoilman tekee ongelmalliseksi se, että se on hallitsematon ja viileä ilmavirtaus. Koska se on pääosin peräisin huuvan kellariosasta, voidaan sen lämpötilana pitää n. 25 °C. Jos sen osuus nousee merkittäväksi, se tarkoittaa, että osaa sylinterien lämmityskapasiteetista käytetään tämän viileän ilman lämmittämiseen rainan lämmittämisen sijasta. Tämä heikentää kuivatuskapasiteettia ja pahimmillaan altistaa huuvan kondensoitumisriskille. Lisäksi se saattaa aiheuttaa kosteusprofiliin heittoja. Vuotoilman määrää vähennetään parhaiten huolehtimalla riittävästä korvausilman tuonnista kuivatusosalle sekä pitämällä huuva tiiviisti suljettuna tuotannon aikana.

### 3.2 Huuvan 0-taso

Johtuen huuvan kosteus- ja lämpötilaeroista siirryttäessä kellarista kohti välikattoa vallitsee huuvassa paine-ero sali-ilmaan nähden. Huuvan yläosassa vallitsee ylipaine ja alaosassa alipaine salin ilmanpaineeseen verrattuna. Kohtaa, jossa

huuvan ja sali-ilman paine-ero on nolla, kutsutaan huuvan 0-tasoksi. Kuva 1 havainnollistaa huuvan paine-eron ja 0-tason käsitteitä.



**Kuva 1** Paine-erot ja ilmavirtaukset huuvassa /5/

Ideaalitapauksessa 0-taso sijaitsee n. 1,5...2,0 metrin korkeudella konetasosta, koska yleensä kuivatusosalla rainan sisäänmeno- ja ulostuloaukot sijaitsevat tällä korkeudella. Yleensä 0-taso on alempana kuivatusosan märkeäpäässä kuin kuivassapäässä, koska kuivatusviirat kuljettavat ilmaa märkää päätä kohden. Jos huuvan 0-taso on liian alhaalla, se tarkoittaa, että sisäänmeno- tai ulostuloaukkojen läheisyydessä huuvassa vallitsee ylipaine. Tämän takia huuvan kuuma ja kostea ilma siirtyy konesaliin ja altistaa huuvan ulkoseinän sekä ulkoiset rakenteet kondensoitumisriskille. Jos taas 0-taso on liian ylhäällä, virtaa huuvaan konesalin kylmempää ilmaa. Tällainen virtaus saattaa laskea huuvan sisäpuolisten rakenteiden lämpötilaa alle kastepisteen ja aiheuttaa kondensoitumista. Kylmemmän ilman virtaus huuvaan heikentää myös kuivatusosan lämpötiloutta. /4; 5/

0-tasoa voidaan säätää huuvan poisto- ja korvausilmamääriä sekä niiden suhteita muuttamalla. Jos 0-taso on liian korkealla, korvausilman määrää voidaan kasvattaa, jolloin huuvan ylipaine kasvaa. Jos taas 0-taso on liian alhaalla,

korvausilman määrää tulee vastaavasti vähentää. Ilmamääriä säädettyä tulee kuitenkin aina ensisijaisesti huomioida riittävän taskutuuletuksen takaaminen kuivatuskapasiteetin ylläpitämiseksi.

### 3.3 Lämmön talteenotto

Suurin osa paperikoneen kuivatusosalta poistuvasta energiasta on sitoutunut huuvan poistoilmaan ja kuivatusosan lämmön talteenotosta (LTO) puhuttaessa tarkoitetaan lämmön siirtämistä huuvan poistoilmasta erilaisiin lämmönkäyttökohteisiin. Parhaimmillaan lämmön talteenotolla kyetään ottamaan talteen yli 50 % tästä energiasta. Tyypillisesti lämpöä siirretään huuvan korvausilmaan ja salin tuuletusilmaan sekä raaka-, nolla- ja lämmityksen kiertovesiin. Modernilla paperikoneella voidaan kylminä aikoina, jolloin lämmön tarve on suurimmillaan, saada talteen jopa yli 20 MW. Talteenotto teho vaihtelee kuitenkin runsaasti vuodenajasta ja lämmitystarpeesta riippuen. /1; 2; 5/

#### 3.3.1 Poistoilman lämpötilan ja kosteuden vaikutus talteenottoon

Tyypillisesti poistoilman lämpötila on 80...85 °C ja kosteus 120...180 g<sub>H2O</sub>/kg<sub>k.i.</sub> /3/. Lämpötilan vaikutus lämmönsiirtoon on helppo ymmärtää. Mitä korkeampi lämpötila poistoilmalla on, sitä suurempi lämpötilaero kahden pinnan välille lämmönsiirtimessä muodostuu. Tämä on tärkeää, sillä juuri lämpötilaero toimii lämmönsiirron ajavana voimana. Poistoilman korkeampi lämpötila mahdollistaa myös lämmitettävän väliaineen korkeamman lämpötilan, mikä on tärkeää lämmitettäessä esim. lämmitysjärjestelmän kiertovettä talvella, jolloin lämmöntarve on suurimmillaan. Kilposen mukaan /3/ poistoilman kasvavan lämpötilan tuoma nousu lämmön talteenottoon ei kuitenkaan ole 1:1 vaan lähempänä 88 %:a.

Poistoilman lämpötilaan ei juurikaan voida vaikuttaa ja siksi poistoilman kosteus onkin tärkeä kuivatusosan toimintaa optimoitaessa.

Poistoilman korkealla kosteudella voidaankin saavuttaa seuraavat hyödyt /1/:

- Kuivatusosan ominaisenergian kulutus laskee pienemmän poistoilmamäärän vuoksi. Tämä tarkoittaa samalla myös pienempää korvausilmamäärää, minkä takia tarvitaan myös vähemmän höyryä sen lämpötilan nostamiseksi tavoitelämpötilaan.
- Pienentyneiden ilmamäärien takia myös puhaltimien sähkönkulutus pienenee.
- Lämmön talteenotto tehostuu lämmönsiirtopinnoilla tapahtuvan kasvavan kondensoitumisen takia.
- Vähentyneen ilmamäärän takia mahdollistuu myös pienempi laitteisto ilmavirtojen käsittelyyn. Tämä alentaa investointikustannuksia ja helpottaa laitteiden sijoittelua.

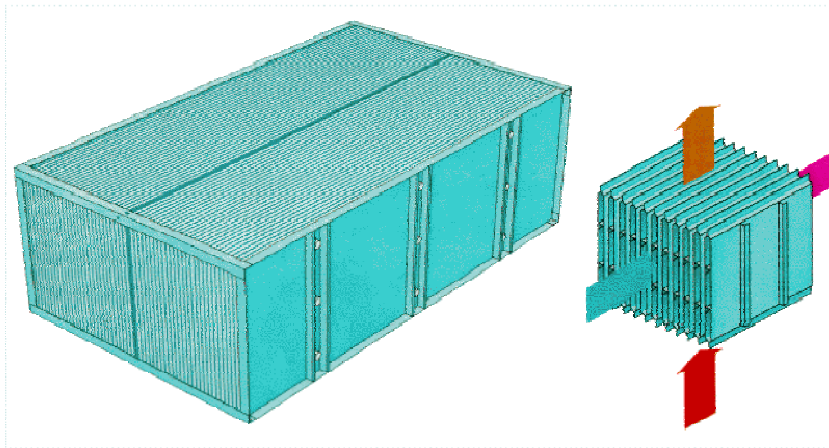
Kasvaneen poistoilman kosteuden takia tulee sylinterien taskujen tuuletukseen kiinnittää erityistä huomiota. Periaatteessahan kasvanut kosteus heikentää kuivatusosan haihdutustehoa, jota pitäisi kompensoida kasvattamalla sylinterien höyrynpainetta. Kosteuden nostolla ei kuitenkaan ole heikentävää vaikutusta haihdutustehoon, jos huolehditaan haihdutusalueiden tehokkaasta ilmastoinnista.  
/1; 5/

### 3.3.2 Lämmönvaihtimet

Lämmönvaihtimen tyypillä on suuri merkitys lämmön talteenoton tehokkuuteen. Mitä enemmän poistoilman kondensoitumista lämmönvaihtimessa tapahtuu, sitä tehokkaampaa lämmönsiirto on olomuodon muutoksen vapauttaman energian takia. Ilma/ilma-lämmönvaihtimessa tapahtuva kondensoituminen on melko vähäistä ja tämä heikentää sen kykyä tehokkaaseen lämmönsiirtoon. Ilma/vesi-lämmönvaihtimessa tapahtuu sen sijaan jo runsaammin kondensoitumista ja siksi sen lämmönsiirto on huomattavasti tehokkaampaa kuin ilma/ilma-lämmönvaihtimen. Seuraavissa kappaleissa esitellään tarkemmin näitä lämmönvaihtintyyppisiä.

Ilma/ilma-lämmönvaihtimessa (kuva 2) lämmönsiirto poistoilman ja lämmitettävän ilman välillä tapahtuu lämmönsiirtopinnan kautta, eivätkä ilmavirrat

ole suorassa yhteydessä toisiinsa. Lämmönsiirto perustuu pääosin konvektioon, mutta myös kondensoitumista voi tapahtua poistoilman lämpötilasta ja kosteudesta riippuen. Yleisimmin lämmityksen kohteena on huuvan korvausilma ja/tai konesalin tuuletusilma. Nykyisin kuitenkin vähemmän konesalin tuuletusilma, koska sen lämmitys pyritään hoitamaan lämmitysjärjestelmän vesi/glykoli-piirillä.  
/3; 5/

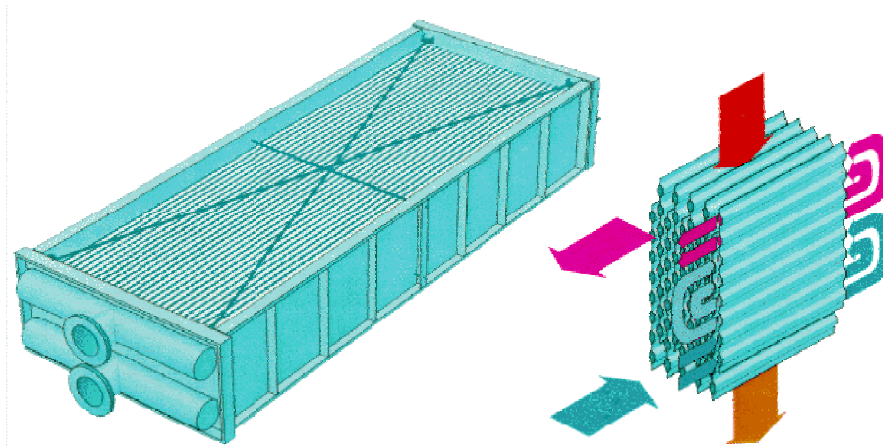


**Kuva 2** Ilma/ilma-lämmönvaihdin /5/

Jos halutaan parantaa ilma/ilma-lämmönvaihtimen lämmönsiirtoa, voidaan suurentaa lämmönsiirtopintoja tai kaventaa lämmönsiirtopinnat muodostavien levyjen etäisyyttä, jolloin lisätään virtausten turbulentsuutta. Menetelmillä saavutettu hyöty on kuitenkin vähäinen investointikustannuksiin verrattuna. /3/

Ilma/vesi-lämmönvaihtimissa (kuva 3) lämmönsiirto kosteasta poistoilmasta lämpöpintaan tapahtuu kondensoitumisen johdosta. Pinnasta veteen lämmönsiirto tapahtuu konvektion välityksellä. Yleisimmin vesikenoissa lämmitetään raaka-, nolla- tai ilmastoinnin kiertovettä. Ilmastoinnin kiertovetenä käytetään normaalisti vesi/glykoli-seosta jäätyksen estämiseksi. Raakavesivaihtimet ja ilmastoinnin kiertovesivaihtimet pysyvät yleensä puhtaina myös vesikenojen puolelta, mutta nollaveden sisältämien kuitujen, täyteainesten ja muiden epäpuhtauksien takia vesikeno on altis likaantumislle. Tämän takia kennosto on aina varustettava puhdistusjärjestelmällä tai sen on oltava helposti avattavissa puhdistusta varten. /2; 3/

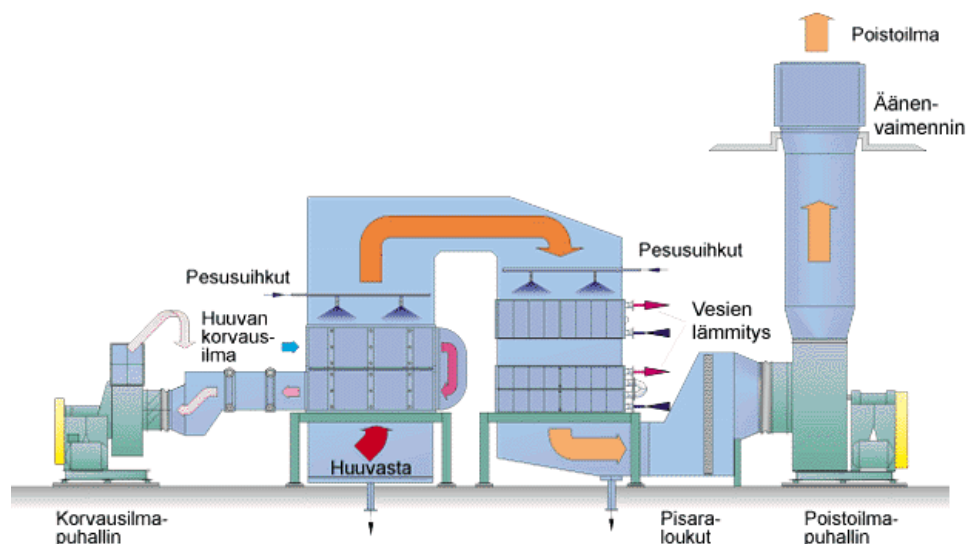




**Kuva 3** Ilma/vesi-lämmönsiirrin /5/

### 3.4 Lämmön talteenottojärjestelmät

Normaalisti kuivatusosan lämmön talteenottojärjestelmä ei koostu vain yhdestä lämmönvaihtimesta vaan useasta erilaiseen tekniikkaan perustuvasta lämmönvaihtimesta. Näin taataan lämmön talteenoton tehokkuus ja hyödynnetään lämpöä mahdollisimman tasaisesti läpi vuoden. Lämmönvaihtimia voidaan kytkeä erilaisiin järjestelmiin tehtaan lämmöntarpeen mukaan. Kuvassa 4 on esitelty nykyaikainen lämmön talteenottojärjestelmä.



**Kuva 4** Nykyaikainen lämmön talteenottotorni /5/

Järjestelmässä poistoilmalla lämmitetään ensiksi huuva-korvausilmaa, jonka lämpötila ilma/ilma-kennon jälkeen voi olla lähes 70 °C /3/. Koska korvausilman

tavoiteloppulämpötila on kaikista lämmityskohteista korkein, on järkevää sijoittaa se ensimmäiseksi, eli kohtaan, jossa poistoilmalla on suurin lämpötila. Ilma/ilma-kennon jälkeen tulevat ilma/vesi-kennot, joiden järjestys määräytyy tavoitellun loppulämpötilan mukaan. Tyypillisesti ensimmäisenä on nollavesikkeno (55 °C), toisena raakavesikkeno (50...55 °C) ja kolmantena lämmitysjärjestelmän kiertovesikkeno (46...50 °C), mutta järjestys saattaa vaihdella esim. vuotuisen lämmitystarpeen mukaan /3/. Kuljettuaan kaikkien lämmönsiirrinten läpi poistoilma puhalletaan ulkoilmaan mahdollisen äänenvaimentimen kautta. Lämmönsiirtimet on varustettu myös pesusuihkuilla, joiden tarkoituksena on pitää lämmönsiirtopinnat puhtaina mahdollisista epäpuhtauksista. Ne ovat sekvenssitoimisia ja suorittavat pesuohjelman automaattisesti, esim. kerran tunnissa. Lämmön talteenottotorni on jaettu kahteen osaan, jotta myöhemmän kennoston pesuvedet eivät valuisi alempien kennojen päälle ja näin jäädyttäisi lämmönsiirtopintoja. Pesu- ja kondenssivedet voidaan kerätä talteen ja palauttaa esim. suodattimen kautta takaisin prosessiin.

#### 4 HÖYRY- JA LAUHDEJÄRJESTELMÄ

Paperi- ja kartonkikoneen höyry- ja lauhdejärjestelmä on aina yksilöllisesti kullekin koneelle ja paperi- tai kartonkilajille suunniteltu kokonaisuus, eikä kahta täsmälleen samanlaista järjestelmää ole käytössä. Järjestelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon mm. käytettävissä oleva höyrynpaine, tuotantonopeus, neliömassa-alue, rainan kosteus puristinosan jälkeen sekä tuotettavan paperi- tai kartonkilajin ominaispiirteet.

Höyry- ja lauhdejärjestelmän tehtäviksi voidaan typistää kolme päätehtävää. Ensinnäkin järjestelmän on taattava kuivatusosan riittävä lämpöenergian saanti rainan kuivattamiseksi haluttuun loppukosteuteen. Toiseksi järjestelmän on huolehdittava sylinterien riittävästä lauhteenpoistosta ja kolmanneksi sen on kyettävä poistamaan lauhtumattomat kaasut kierrosta kaikissa olosuhteissa. /1; 2; 8/

Kuivatusosan sylintereihin tuodaan likimain kylläistä höyryä, joka lauhtuessaan vapauttaa suuren määrän energiaa. Tämä energia siirtyy sylinterin sisäpinnasta vaipan kautta rainaan. Sylinterien pintalämpötila kasvaa tasaisesti siirryttäessä

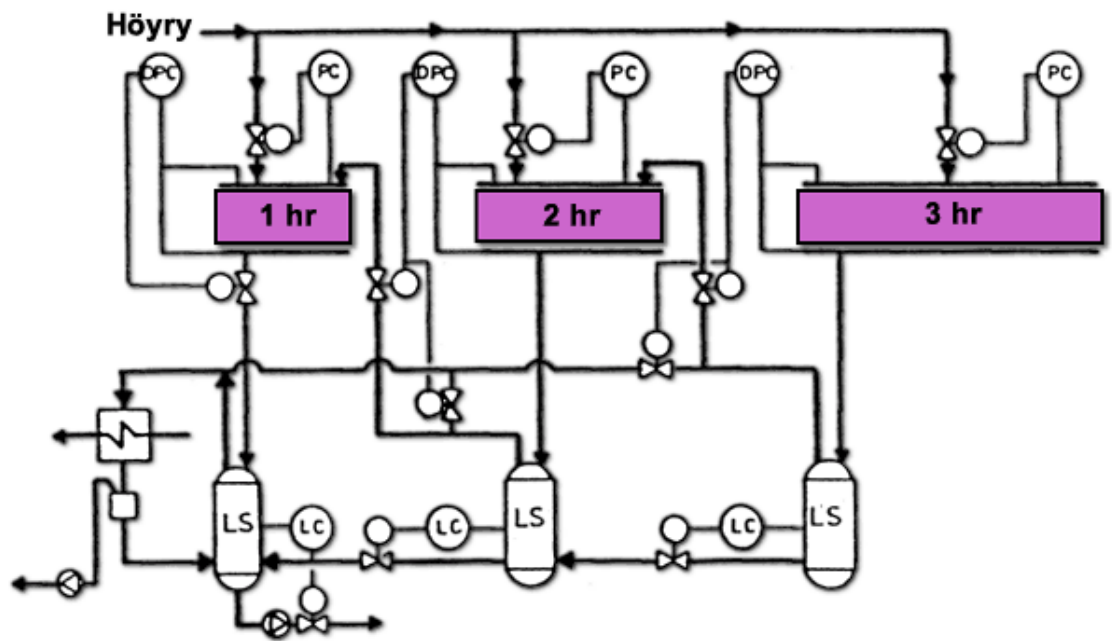
kuivatusosalla kuivaapäästä kohden. Pintalämpötilaa hallitaan sylintereihin tuotavan höyrynpaineen avulla, joka sekin kasvaa tasaisesti. Tietyllä ryhmällä sylintereitä on sama höyrynpaine ja tätä ryhmää kutsutaan höyryryhmäksi. Tyypillisesti paperi- tai kartonkikoneessa on 3...6 höyryryhmää, jotka eivät ole riippuvaisia käyttöryhmistä.

Lauhtunut höyry poistetaan sylintereistä sifonien avulla. Jotta lauhteen riittävän tehokas poistuminen voidaan taata, täytyy höyry- ja lauhdepuolen välillä olla tietty paine-ero. Tämän paine-eron takia sylintereistä poistuu lauhteen mukana myös ns. läpipuhallushöyryä, joka pyritään käyttämään hyväksi alhaisemman höyrynpaineen omaavassa höyryryhmässä. Läpipuhallushöyryn tarkoituksena on lisäksi varmistaa, että ilma ja lauhdemattomat kaasut poistuvat sylinteristä. Poistunut lauhde ja läpipuhallushöyry kerätään lauhdesäiliöihin, joissa höyry erottuu lauhteesta. Läpipuhallushöyry, jota ei voida käyttää hyväksi höyryryhmissä, johdetaan pintalauhduttimelle. Siellä se lauhtuu kylmän raakavesivirtauksen ansiosta. Pintalauhduttimen ja lauhdesäiliöiden lauhde palautetaan takaisin voimalaitokselle, jossa siitä muodostetaan uudelleen höyryä. Lauhteen palautus on tärkeää, koska se on kemiallisesti käsiteltyä ja sillä on korkea lämpötila, jolloin höyrytämiseen kuluu vähemmän energiaa.

Paperiteollisuudessa höyry- ja lauhdejärjestelmä on perinteisesti toteutettu kaskadi- tai termokompressorijärjestelmällä sekä niiden yhdistelminä. Seuraavassa kuvataan tarkemmin kaskadijärjestelmää.

#### **4.1 Kaskadijärjestelmä**

Kaskadijärjestelmän toiminta perustuu ajatukseen hyödyntää sylintereiltä lauhdesäiliöihin tullutta läpipuhallushöyryä alhaisemman höyrynpaineen höyryryhmässä. Kuvassa 5 on esitetty tyypillinen höyry- ja lauhdejärjestelmän kolmiportainen kaskadikytkentä. Järjestelmään kuuluvat kolme höyryryhmää ja lauhdesäiliötä, pintalauhdutin sekä tyhjöpumppu. Kytkennässä kolmas höyryryhmä on ns. päähöyryryhmä, joka saa kaiken höyrynsä päähöyrylinjasta eli höyrytukilta. Sen höyrynpaine on siten kolmesta höyryryhmästä korkein ja yleensä se saa asetuspaineen paperi- tai kartonkikoneen kosteussäädöltä. /1; 5/



**Kuva 5** Höyry- ja lauhdejärjestelmän tyypillinen kaskadikytkentä /5/

Höyryryhmä kolmen läpipuhallushöyryn ja lauhteen sekoitus ohjautuu lauhdesäiliöön, jossa läpipuhallushöyry erottuu lauhteesta. Läpipuhallushöyry ohjataan alempaan höyryryhmään eli tässä tapauksessa höyryryhmä kahteen. Jotta höyry kulkeutuisi alempaan höyryryhmään, on höyryryhmien 2 ja 3 välillä oltava suurempi paine-ero kuin ryhmä 3:n höyry- ja lauhdetukin välillä. Jotta läpipuhallushöyryä voitaisiin käyttää hyväksi alemmissä höyryryhmissä kaikissa tuotantotilanteissa, on järjestelmä mitoitettava niin, että jokaiseen höyryryhmään tarvitaan läpipuhallushöyryn lisäksi myös tuorehöyryä. Toisin sanoen korkeampipaineisesta ryhmästä tulevan läpipuhallushöyryn määrän on oltava pienempi kuin alempipaineisen ryhmän tarvitsema kokonaishöyrymäärä. Tällöin järjestelmä toimii taloudellisesti, eikä läpipuhallushöyryä turhaan ohjata pintalauhduttimelle. Ainoastaan kytkennän viimeisestä ryhmästä, kuvassa 5 höyryryhmä 1, ohjataan läpipuhallushöyry suoraan pintalauhduttimelle. /2; 5; 8/

Lauhteen tehokkaan poistumisen takia on huolehdittava riittävästä paine-erosta lauhde- ja höyrytukin välillä, jotta sylintereihin ei kerry liiaksi lauhdetta. Ylimääräinen lauhde heikentää huomattavasti lämmönsiirtoa höyrystä sylinterin ulkopintaan ja saattaa pahimmillaan aiheuttaa sylinterin täyttymisen lauhteesta. Kuvan 5 kaskadikytkennässä paine-eroa ohjataan alempipaineiseen ryhmään syötettävän läpipuhallushöyryn sekä pintalauhduttimelle vievän putkiston venttiileitä ohjaamalla. Tällä menetelmällä jokaiselle höyryryhmälle tulee rakentaa

oma lauhdesäiliö, koska suoraan höyryryhmästä lauhdesäiliöön vievässä putkistossa ei ole venttiiliä. Mikäli venttiili on olemassa (ryhmällä 1 kuvassa 5), voidaan sen avulla ohjata ryhmän paine-eroa. Venttiili mahdollistaa myös useamman höyryryhmän läpipuhallushöyryn ja lauhteen ohjaamisen samaan lauhdesäiliöön. /2; 8/

Kuivatusosan alussa sylintereiden pintalämpötilan tulee olla verrattain alhainen, jotta vältetään liian suuresta alkulämpötilasta johtuvat negatiiviset muutokset rainassa. Näihin kuuluvat mm. alentunut valonsirontakerroin ja lisääntynyt pinnan karheus. Tämän vuoksi pidetään usein ensimmäisen höyryryhmän sylintereissä normaalia ilmanpainetta matalampaa höyrynpainetta. Koska ryhmän läpipuhallushöyry ja lauhde ohjataan suoraan ensimmäiseen lauhdesäiliöön, on myös lauhdesäiliössä oltava alipaine, jotta paine-erosta huolehtiva venttiili toimii oikein. Alipainetta lauhdesäiliössä ylläpitää pintalauhdutin, johon läpipuhallushöyryt ohjataan. Pintalauhduttimella läpipuhallushöyry lauhtuu säiliön raakavesikierrosta takia. Höyryn lauhtuessa sen tilavuus muuttuu merkittävästi, ja pintalauhduttimella vallitseekin n. 0,50 barin alipaine. Tämän johdosta siis myös mm. ensimmäisessä lauhdesäiliössä vallitsee alipaine. Pintalauhduttimen toimintaa ja sen muodostamaa alipainetta ohjataan raakaveden kiertoa säätelämällä yhdessä lauhduttimeen kytketyn tyhjöpumpun kanssa. Tyhjöpumpun tehtävänä on lisäksi poistaa ilma ja lauhtumattomat kaasut järjestelmästä. /2; 8/

Sylinterien pintalämpötilan alentamiseksi ensimmäisessä höyryryhmässä voidaan 4...6 ensimmäiselle sylinterille toteuttaa myös oma säätöjärjestelmä, jolloin jokaisen sylinterin höyrynpainetta voidaan säätää yksilöllisesti. Myös esim. liimapuristimen jälkeen voidaan jälkikuivatusosalla toteuttaa samankaltainen järjestely liian korkean alkulämpötilan välttämiseksi. /2; 8/

Peruskaskadijärjestelmän tarjoama säätö ei mahdollista riittävän joustavaa paineen ja lämpötilan hallintaa eri höyryryhmissä. Kaskadikytkennässähän päähöyryryhmän paine määrittää muiden höyryryhmien paineet, koska järjestelmää hallitaan höyryryhmien välisillä paine-eroilla. Tämän lisäksi on otettava huomioon kunkin ryhmän tarvitsema paine-ero riittävän lauhteenpoiston varmistamiseksi sekä putkistossa tapahtuva painehäviö. Paine-ero ryhmien välillä

on siis vähintään ylemmän höyryryhmän tarvitsema paine-ero lauhteen poistamiseksi (n. 20...60 kPa) + putkiston ja venttiilien aiheuttama painehäviö (n. 15 kPa). Tämä tarkoittaa, että alemman höyryryhmän paineen tulee olla enintään tuon suuruinen, jotta korkeammassa paineessa olevan höyryryhmän läpipuhallushöyryä voidaan käyttää täysipainoisesti hyväksi ilman, että sitä tarvitsee ohjata pintalauhduttimelle. Tätä vähimmäispaine-eroa käytetään järjestelmän mitoituksessa. Se on tarpeen kaskadin muodostamiseksi höyryryhmien välille esim. sylintereitä lämmitettäessä seisokin jälkeen sekä katkoissa. Tyypillisessä ajotilanteessa eri höyryryhmien välinen paine-ero vaihtelee 50...100 kPa. Saman höyryryhmän sisällä voi olla myös erillisiä painesäätöjä eri sylintereille, esim. käyryyttä hallittaessa jaetaan höyryryhmä usein ala- ja yläsylinterien muodostamiin paineryhmiin. /2; 6; 8/

Etenkin laajalla neliömassa-alueella toimivat koneet tarvitsevat monipuolisemman paineen ja lämpötilan hallinnan, kuin mitä edellä kuvattu peruskaskadikytkentä voi tarjota /2/. Kaskadikytkennästä onkin olemassa useita erilaisia muunnelmia erilaisten tilanteiden hallintaan. Kuivatusrajoitteisella koneella kaskadikytkentäisen höyry- ja lauhdejärjestelmän ajo ei useinkaan ole energiataloudellisesti tehokasta. Suuremman tuotannon tavoittelussa nostetaan usein alempien höyryryhmien paineet korkeammiksi, kuin kaskadin käyttö vaatisi. Tällöin ei voida useinkaan käyttää ylemmän höyryryhmän läpipuhallushöyryä täysimääräisesti tai lainkaan hyväksi, koska alemmassa höyryryhmässä on tuorehöyryn avulla paine nostettu läpipuhallushöyryn painetta korkeammaksi.

## 4.2 Höyry- ja lauhdejärjestelmän säädöt

Säätöjärjestelmän tehtävänä on huolehtia, että sylintereiden höyrynpaineet sekä höyry- ja lauhdetukin väliset höyryryhmäkohtaiset paine-erot pysyvät operaattorin asettamissa arvoissa. Säädöllä pyritään konesuuntaisen kosteuden kehittymiseen niin, että tuetaan rainan ominaisuuksien suotuista kehitystä, esim. vältetään alkupään kuivatussylinterien liian korkeaa lämpötilaa.

Nykyisin on käytössä useita erilaisia höyry- ja lauhdejärjestelmän säätötapoja. Yleisin niistä on kuitenkin vakiopaine-erosäätö.

Vakiopaine-erosäädössä operaattori asettaa kullekin höyryryhmälle halutun paine-eron höyry- ja lauhdetukin välille ja järjestelmä pyrkii pitämään sen. Koska paine-ero on operaattorikohtainen, se saattaa vaihdella suurestikin henkilöiden erilaisten ajotapojen mukaan /7/. Paine-eron asettamisessa tulee olla tarkka, sillä liian pieni paine-ero saattaa aiheuttaa sylinteriin vesilastin eli sylinteri täyttyy lauhteesta. Kasvanut lauhteen määrä heikentää myös lämmönsiirtoa sylinteristä rainaan. Liian suuri paine-ero taas aiheuttaa tarpeettoman suuren läpipuhallushöyryvirran, joka tarpeettomasti kuormittaa pintalauhdutinta ja heikentää energiataloutta. Suuri läpipuhallushöyrymäärä johtaa myös putkiston eroosiovaikeuksiin mutkakohdissa /7/.

### 4.3 Sylinterien lauhteenpoisto

Sylinteriin lauhtuvan höyryn poistosta on huolehdittava kaikissa ajotilanteissa. Koneen ajonopeuden mukaan lauhde voi olla kolmessa eri tilassa sylinterin sisällä. Alhaisella nopeudella, alle 150 m/min, lauhde on lammikkona sylinterin pohjalla. Kun ajonopeutta kasvatetaan, alkaa lauhde nousta sylinterin sisäpintaa pitkin ylöspäin kitkavoimien vetämänä. Lauhde ei kuitenkaan pysy sylinterin kehällä, vaan putoaa alas ennen lakipisteen saavuttamista. Kun ajonopeus on n. 300...425 m/min, lauhde muodostaa renkaan sylinterin kehälle. Jo pienikin muutos lauhdekerroksen paksuudessa vaikuttaa lämpövirtaan sylinteristä rainaan. Lauhdekerros tulee pitää mahdollisimman ohuena ja tyypillisesti kerroksen paksuus vaihtelee 2,2...5,5 mm. Lämmönsiirtoa voidaan tehostaa asentamalla sylintereihin lämpölistat (kuva 6), jotka aiheuttavat lauhdekerrokseen turbulentsuutta. Lämpölistojen vaikutus kuivatuskapasiteetin kasvuun riippuu ajonopeudesta, ja välillä 460...610 m/min niiden vaikutus on n. +3...5 % /2, 7/



**Kuva 6** Kuivatussylinterin lämpölistat

Lauhteen poistoon käytetään nykyisin sifoneita, joita sylinterissä voi olla yksi tai kaksi, ja ne voivat sijaita sylinterin hoito- tai käyttöpuolella. Nykypäivänä on yleistä, että lauhteen poisto toteutetaan yhdellä sifonilla leveilläkin koneilla /2/. Sifonit voivat olla rakenteeltaan sylinterin mukana pyöriviä tai paikallaan olevia seisovia sifoneita. Sifonin ja sylinterin väliin tulee jättää n. 2 mm lämpölaajenemisvara kosketusvaurioiden välttämiseksi, minkä takia sifonin suuaukko sijoitetaan sylinterissä uraan ohuen lauhdekerroksen aikaansaamiseksi /7/.

Sifonin pyöriessä sylinterin mukana siihen kohdistuu keskipakovoima, joka vaikeuttaa lauhteenpoistoa. Jotta lauhde voidaan tehokkaasti poistaa, on poiston ajavaa voimaa eli paine-eroa höyry- ja lauhdetukin välillä kasvatettava. Tämä johtaa kasvavaan läpipuhallushöyryn määrään ja lisää höyrynkulutusta. Siksi pyörivien sifonien käyttö on rajoitettu nopeuksille, jotka ovat alle 1200 m/min. Pyörivän sifonin vaatima paine-ero lauhteen poistamiseksi on 30...60 kPa. /2/

Seisovien sifonien käyttöä ei rajoita tietty ajonopeus, vaan sifoni voi käyttää lauhteen poistossa jopa hyödyksi kehäytyneen lauhteen liike-energiaa. Tämän takia sifonin vaatima paine-ero lauhteen poistamiseksi on pienempi kuin pyörivällä sifonilla. /2/



#### 4.4 Katkotilanteiden hallinta

Katkojen aikana raina ei ole jäähdyttämässä sylinterien pintaa, jolloin pinnan lämpötila nousee. Sama lämpötilan nousu tapahtuu myös sylinterin sisäpinnassa ja höyryn lauhtuminen laskee. Tämä lisää läpipuhallushöyryn määrää ja heikentää siten lämpötaloutta sekä kuormittaa pintalauhdutinta, jolloin riittävän alipaineen ylläpitäminen vaikeutuu. Ratkaisuna tähän on usein esitetty sekä sylinterien höyrynpaineen että paine-eron vähentämistä. Tällä on haluttu helpottaa katkon jälkeistä päänvientiä, jotta rata ei kuivu liiaksi ja muutu hauraaksi. Liian korkea lämpötila aiheuttaa myös radan tarttumisen sylinteriin, mikä vaikeuttaa päänvientiä entisestään. Sylintereiden höyrynpaineiden lasku pitää kuitenkin olla maltillinen, koska jos sylinterien höyrynpainetta alennetaan liiaksi, voi katkon jälkeinen lämpötilojen ja kosteusprofiilien tasoittuminen normaalitilaan kestää liian kauan. Seurauksena voi helposti olla myös uusi katko. /7/

Höyrynpaineiden lasku katkotilanteessa tehdään yleensä yhdessä tai kahdessa osassa. Katkoilmaisimelta saadun tiedon perusteella pudotetaan paineita aluksi tietty määrä, ja katkon pitkittyessä voidaan paineita edelleen alentaa. Paineita nostettaessa voidaan katkon jälkeen tilapäisesti korottaa paineita hieman korkeammaksi kuin katkoa edeltävässä tilanteessa. Tämä mahdollistaa lämpötilojen ja rainan kosteusprofiilin nopeamman tasoittumisen. Tietyn ajan kuluttua alennetaan paineet normaalin ajon vaatimalle tasolle. Ohuita paperilajeja ajettaessa on kuitenkin huomioitava märänpään sylinterien lämpötilan erityisvaikutus paperin ominaisuuksiin, mikä rajoittaa paineen nostoa. Kartongit eivät kuitenkaan ole yhtä herkkiä korkeammalle lämpötilalle ja niille edellä mainittu järjestely sopii. /7/

Paineiden nousun ja laskun nopeutta mietittäessä tulee huomioida voimalaitoksen kyky reagoida muutoksiin. Päähöyrylinjassa tapahtuvia nopeita kulutusmuutoksia tulisi rajoittaa ja etenkin pienempien voimalaitosten kohdalla tulisi paineen nousu ja lasku tapahtua hitaasti. /7/

## KOKEELLINEN OSA

### 5 KK3:N KUIVATUSOSAN ILMASTOINTI JA LTO-JÄRJESTELMÄ

Liitteessä 1 on kuvattu kartonkikone 3:n kuivatusosan ilmastoinnin ja lämmön talteenottojärjestelmän rakenne.

#### 5.1 Kuivatusosan rakenne

Kartonkikone sisältää yhteensä kuusi höyryryhmää, joihin sisältyy 75 sylinteriä. Näiden lisäksi taustapäällystysyksikön jälkeen sijaitsee yksi erikseen ohjattava sylinteri. Käyttöryhmiä koneessa on seitsemän ja lisäksi edellä mainittu erikseen ohjattava sylinteri. Sylinterit sijaitsevat neljässä eri huuvassa, joista viimeinen, kuivanpään puoleinen, on ns. avohuuva, jossa ei ole nosto-ovia sulkemaan huuvan alaosa, vaan se on avoin noin kahden metrin korkeudelta konesalin tasolta. Märästäpäältä kuivaanpäähän kuljettaessa ensimmäisenä on ns. esikuivatusosa, joka sisältää 49 sylinteriä, toisena ns. jälkikuivatusosa, jossa on 14 sylinteriä, kolmantena pintaliimausyksikön jälkeinen kuivatusosa, jossa on 8 sylinteriä ja neljäntenä siis avohuuva, jossa on yhteensä 5 sylinteriä. Ensimmäistä ja seitsemättä ryhmää lukuun ottamatta, käyttöryhmissä käytetään kaksiviiravientiä. Ensimmäisessä käyttöryhmässä ei ole alasynteriryhmällä lainkaan kuivatusviiraa kartongin pölyämistäipumuksen takia. Myöskään seitsemännessä käyttöryhmässä ei ole alaviiraa.

Esikuivatusosaa voidaan pitää suljettuna huuvana, koska se on katettu kokonaan myös kellariosastaan. Jälkikuivatusosa sekä pintaliimausyksikön jälkeinen kuivatusosa ovat suljettuja konetasolta, mutta kellariosastaan ne ovat kunnolla suljettuja ainoastaan käyttöpuolelta. Niiden kellariosan hoitopuolella sijaitseva osuus on osin avoin, johtuen kellarissa kulkevan hylkykuljettimen käyttökoneistosta ja muusta putkituksesta.

#### 5.2 Kuivatusosan ilmastointi

Esikuivatusosan kuuman ja kostean ilman poistosta huolehtivat pääosin kolme poistoilmapuhallinta, jotka ottavat ilmaa huuvan välikatosta. Poistoista huolehtivat LTO-tornien 1, 2 ja 3 poistoilmapuhallimet sekä osin LTO-torni 5:n

poistoilmapuhallin, joka on kytketty 3- ja 4-tornien tuloilmakanavistoon. Korvausilmaa esikuivatusosalle tuovat taskutuulettimet sekä viiralenkkien tuuletus. Näiden puhaltimien ilmanotto sijaitsee annostelutasolla, josta ne imevät konesalin lämmintä ilmaa.

Jälkikuivatusosan ilman poistosta huolehtivat LTO-torni 4:n poistoilmapuhallin sekä LTO-torni 5:n poistoilmapuhallin, joka on kytketty 4-tornin tuloilmakanavistoon. Korvausilmaa jälkikuivatusosalle tuovat taskutuuletus ja viiralenkkien tuuletus, jotka kuuluvat saamaan kanavistoon esikuivatusosan taskutuuletuksen ja viiralenkkien tuuletuksen kanssa.

Pintaliimayksikön jälkeisen huuvan poisto on myös kytketty LTO 4 tornin poistoilmapuhaltimeen. Korvausilmaa huuvaan tuovat konesalin käyttö- ja hoitopuolella sijaitsevat taskupuhaltimet sekä huuvan märän- että kuivanpään puoleiset jakoilmaputkistot. Taskupuhaltimet ja jakoilmaputkisto ottavat ilman UCL 9 -puhaltimeen kytketystä kanavistosta, johon tulevat osa infra- ja leijukuivainten poistoilmasta. Merkittävän osan jälkikuivatusosan ja pintaliimayksikön jälkeisen kuivatusosan korvausilmasta muodostaa myös vuotoilma, joka kulkeutuu huuviin niiden kellariosan hoitopuolen aukoista.

Avohuuvan ilmastoinnista yhdessä infra- ja leijukuivainten poisto- ja tuloilmapuhaltimien kanssa huolehtii yksi poistoilmapuhallin, joka poistaa ilmaa suoraan ulkoilmaan. Koska huuva ei ole katettu konesalin lattiaan saakka, ei avohuuvassa sijaitsevalle viidelle sylinterille ole myöskään erillistä poisto- tai korvausilmakanavistoa.

Kuivatusosan ilmastoinnin toimivuutta voidaan arvioida useilla eri mittareilla. Tärkeimpiä niistä ovat huuvan ilmatase ja 0-taso sekä sylinterien ja rainan väliin muodostuvien taskujen kosteudet. Seuraavassa käsitellään tarkemmin näitä tekijöitä.

### **5.2.1 Esikuivatusosan ilmatase**

Kartonkikone 3:n kuivatusosista vain esikuivatusosa on kyllin suljettu, jotta on järkevää puhua sen ilmataseesta. Muut kuivatusosat eivät ole riittävän suljettuja

kellariosastaan, jolloin niihin pääsee virtaamaan huomattavat määrät vuotoilmaa. Tästä syystä vain esikuivatusosan ilmatase mitattiin.

Mittaukset suoritettiin 30.3.2007, jolloin tuotannossa oli Simwhite 200 g/m<sup>2</sup>. Tuotantomäärä oli tuolloin 27,8 t/h ja tuotantonopeus 549 m/min. Mittaukset toteutettiin Pitot-putkella sekä yhdistetyllä lämpö- ja kosteusmittarilla. Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto saaduista tuloksista ja sen jäljessä niitä on eritelty tarkemmin poisto- ja korvausilman osalta. Taulukossa  $q_m$  on massavirta,  $t$  lämpötila ja  $x$  vesihöyryn määrä kuivaa ilmakiloa kohden.

**Taulukko 1** Esikuivatusosan ilmatase

	$q_m / \text{kg}_{\text{k.i.}}/\text{s}$	$t / ^\circ\text{C}$	$x / \text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{k.i.}}$	$q_m / \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{s}$
LTO 1 poisto	5,0	74,4	97	0,48
LTO 2 poisto	12,1	77,7	118	1,43
LTO 3 poisto	23,2	78,0	105	2,44
POISTOILMA	40,3			4,35
Taskutuuletus	7,3	95,0	17	0,13
Viiralenkkien tuuletus	9,2	95,0	19	0,17
KORVAUSILMA	16,5			0,30
Korvausilman osuus poistoilmasta 41 %				

### Poistoilma

Kuten taulukosta 1 voidaan nähdä, on poistoilman kosteus melko alhainen verrattuna esim. lämmön talteenoton toiminnan kannalta optimaalisiin kosteuksiin (suljetulle huuvalle 120...180 g<sub>H2O</sub>/kg<sub>k.i.</sub>). Periaatteessahan kuivatusosaa tulee ajaa niin korkealla kosteudella kuin se tuotanto huomioiden on mahdollista, koska poistoilman korkeampi kosteus kasvattaa lämmönvaihtimissa tapahtuvaa lauhtumista. Tulee kuitenkin huomioida, että mittauksia tehtäessä tuotannossa oli laji, joka kuuluu kartonkikoneen neliömassa-alueen alapäähän.

Neliömassan kasvaessa voimistuu myös haihtuminen, joka heijastuu selvästi poistoilman korkeampina kosteuksina. Tämä todettiin myös uusintamittauksessa Simwhite 270 g/m<sup>2</sup> -lajilla, jossa LTO 1:n, 2:n ja 3:n poistoilmakosteudet olivat 121 g<sub>H2O</sub>/kg<sub>k.i.</sub>, 134 g<sub>H2O</sub>/kg<sub>k.i.</sub> ja 126 g<sub>H2O</sub>/kg<sub>k.i.</sub>. Koska kosteuksissa tapahtui näin merkittävä muutos, ei poistoilman määrää kannata vähentää tai lisätä.

Kuivatusosan ilmastonin kehittämisen kannalta olisi kuitenkin hyvä, että poistoilmakanavat varustettaisiin jatkuvatoimisilla kosteusmittareilla, jolloin

kosteuksia voitaisiin tarkkailla eri lajeilla. Näin varmistuttaisiin myös raskaimpien lajien riittävästä tasku- ja viiralenkkituuleuksesta, ja mikäli niidenkin kohdalla kosteudet pysyisivät oikeissa rajoissa, voitaisiin erikseen harkita poistoilman rajoittamista korkeamman kosteuden saavuttamiseksi.

### Korvausilma

Korvausilman osuus on vain 41 %:ia poistoilmasta, kun hyvänä ohjearvona suljetulle huuvulle voidaan pitää 60...70 %:a. Esikuivatusosalla ei ole kuitenkaan realistista tavoitella näin korkeita lukemia, konetason ja kellariosan avonaisten kohtien takia. Tavoitteen tulisi olla kuitenkin selvästi 50 %:in yläpuolella. Vuotoilman määrän vähentäminen heijastuu positiivisesti kuivatusosan energiatehokkuuteen, koska tällöin pienempi osa kuivatussylinderien kapasiteetista kuluu viileämmän ilman lämmittämiseen.

Tavallisesti on myös edullisempaa lämmittää esilämmitettyä korvausilmaa tasku- ja viiralenkkituuleuksen vaatimaan 95 °C:n lämpötilaan höyryllä kuin kellarin viileää ilmaa poistoilman n. 77 °C:n lämpötilaan sylintereillä. Tässä mittauksessa tosin havaittiin, että lämpötilaerot olivat kääntyneet päinvastoin, sillä annostelutason ilmaa (n. 41 °C) lämmitettäessä 95 °C:een oli lämpötilaero (95 °C - 41 °C = 54 °C) suurempi kuin kellarin ilman (n. 25 °C) lämmittäminen poistoilman lämpötilaan (77 °C - 25 °C = 52 °C). Lämpötilaerot ovat hyvin lähellä toisiaan, mutta yksinkertaistaen tulos tarkoittaa, että konesalista otettavan korvausilman lämmittäminen höyryllä on itse asiassa kalliimpaa kuin vuotoilman lämmittäminen sylintereillä.

Asia ei kuitenkaan ole näin yksinkertainen, sillä vuotoilma ei ole hallittu ilmavirtaus kuten tasku- ja viiralenkkituuletus, jolloin sen suuri osuus saattaa aiheuttaa rainan lepatusta ja kosteusprofiiliheittoja. Raskaammilla lajeilla, joilla kuivatuskapasiteetti muodostuu rajoitteeksi, runsaan vuotoilmamäärän lämmittäminen sylintereillä laskee jo ennestään kriittistä kuivatustehoa.

Havainto nostaa kuitenkin esiin selvän kehityskohteen eli tasku- ja viiralenkkituuletukseen otettavan konesalin ilman suhteellisen alhaisen lämpötilan. Varsin usein LTO-järjestelmissä juuri ilma/ilma-lämmönvaihdin sijaitseekin

ensimmäisenä ulkoa tai konesalista otettavan huuven korvausilman esilämmittämiseksi. Tällöin korvausilmalle saadaan mahdollisimman korkea lämpötila ennen lopullisen lämpötilan saavuttamista höyrypatterilla.

Kartonkikoneen LTO-järjestelmässä ilma/ilma-kennot sijaitsevat kuitenkin vesikentöjen jälkeen, jolloin niillä saavutettava ilman lämpötila jää alhaisemmaksi kuin konesalista otettavan ilman lämpötila. Energiatalouden kannalta olisikin suotavaa, että tasku- ja viiralenkkituuletukseen otettavan ilman lämpötilaa voitaisiin nostaa ennen höyrypatteria.

### **5.2.2 Huuven 0-taso**

Kartonkikoneen esikuivatusosan 0-tason on viiratoimittaja viimeksi määrittänyt 30.8.2006. Mittauksissa paljastui, että 0-taso sijaitsee läpi huuven aivan konesalin lattiatasolla. Sekä hoito- että käyttöpuolella 0-taso on lähes samalla korkeudella, joten haitallisia poikkivirtauksia kuivatusosalla ei ole. Sen sijaan matala 0-taso kertoo huurossa vallitsevasta ylipaineesta, jonka seurauksena kuumaa ja kosteaa ilmaa virtaa huuven radanvientiaukoista konesaliin. Vaarana tällaisessa tilanteessa voi olla, että kostea ilma kondensoituu ulkopuolisiin rakenteisiin ja aiheuttaa vauriota sekä tiputusvaaran. Tällaisia ongelmia ei kuitenkaan kartonkikoneella ole ollut, joten matalasta 0-tasosta ei aiheudu haittaa.

Tyypillisesti matalaa 0-tasoa on korjattu rajoittamalla korvausilmamäärää, mutta tämä ei ole mahdollista jo nykyisellään liian alhaisen korvausilmamäärän takia. Vähentäminen olisi myös melko haasteellista, sillä tiedossa ei ole, millaiset kosteustasot taskuissa vallitsevat eri lajeilla ja tuotantomäärillä. Lisäksi samat korvausilmakanavistot, jotka toimittavat ilmaa esikuivatusosalle, ovat yhteydessä myös muihin kuivatusosiin. Näin ei voida säätää pelkästään esikuivatusosan tuuletusta vaikuttamatta muihin.

Vaihtoehtoinen tapa vaikuttaa huuven 0-tasoon on säätää huuven välikaton luukkuja, joilla vaikutetaan poistoilmavirtauksiin. Tyypillisesti luukut ovat enemmän auki huuven märänpään puoleisessa päässä ja suljetumpia kuivassapäässä. 0-tasoon vaikuttaa voimakkaasti myös huuven tiiviys, jossa myös esikuivatusosalla on parannettavaa avoimien ovien ja luukkujen muodossa.

Esikuivatusosaa lukuun ottamatta muiden kuivatusosien 0-tasoja ei ole mitattu, eikä se nykyisillä huuvan rakenteille ole käytännöllistäkään niiden avonaisen kellarirakenteen takia. Niiden kohdalla 0-tasosta puhuminen ei ole merkityksellistä ennen rakenteiden tiivistämistä.

### 5.2.3 Taskujen olosuhteet

Taskujen olosuhteita kartonkikoneella on viimeksi tutkittu kuivatusviiratoimittajien tekemillä mittauksilla 14.6.2006 ja 30.8.2006. Kummassakin loppuraportissa todettiin niiden olevan pääosin kunnossa. Ensimmäisessä raportissa todettiin kosteusarvojen olevan erittäin hyvällä tasolla ja toisessa raportissa ainoana toimenpiteenä ehdotettiin 2-, 3- ja 4-höyryryhmän ylätaskutuuletusten tehostamista niiden osin korkeiden kosteuksien johdosta. Mikäli merkittäviä muutoksia huuvan poisto- tai korvausilmamääriin tai välikaton luukkujen asentoihin tehdään, on taskuolosuhteiden uudelleen mittaaminen suositeltavaa.

Esi- ja jälkikuivatusosan taskutuuletukseen sekä viiralenkkien tuuletukseen otetaan konesalin ilmaa annostelutasolla sijaitsevilla ilmanottoyksiköillä. Taulukkoon 2 on koottu tietoa mm. ottoilman kosteudesta ja lämpötilasta. Taulukossa  $\varphi$  on suhteellinen kosteus ja  $t_{kp}$  kastepistelämpötila.

**Taulukko 2** Korvausilman lämpötila ja kosteussisältö

Taskutuuletus				
Mittauspiste	t / °C	$\varphi$ / %	$t_{kp}$ / °C	x / g <sub>H2O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>
1	40,7	25,3	17,0	15,0
2	42,5	27,3	19,7	18,6
Viiralenkkien tuuletus				
Mittauspiste	t / °C	$\varphi$ / %	$t_{kp}$ / °C	x / g <sub>H2O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>
1	41,6	29,7	20,3	12,2
2	44,5	31,4	23,7	14,5

Kuten taulukosta 2 voidaan nähdä, on konesalin ilma suotuista käytettäväksi huuvan korvausilmana matalan vesisisältönsä ansiosta. Tosin, kuten edellä mainittiin, on sen lämpötila suhteellisen alhainen ja korkeammalla lämpötilalla olisi höyrynkulutusta merkittävästi vähentävä vaikutus.

Ilmanottoyksiköiden jälkeen sekä taskutuuletus- että viiralenkkien tuuletusilma lämmitetään höyryllä 95 °C lämpötilaan, jota voidaan pitää optimina haihdutuskapasiteetin maksimoimiseksi.

#### 5.2.4 Kuivatusosan ilmastoinnin kehittäminen

Esikuivatusosan korvausilmamäärää tulisi mahdollisuuksien mukaan nostaa, jotta vuotoilman määrää saataisiin vähennettyä ja kuivatuskapasiteettia tehostettua. Asiaan voidaan vaikuttaa esim. puhaltimien lapakulmia säätämällä. Tasku- ja viiralenkkituuletuksen ilmanottoa tulisi kehittää niin, että ottoilman lämpötilaa saataisiin nostettua. Tällä hetkellä ilmanotto tapahtuu annostelutasolta, josta lämpötilaltaan n. 41 °C konesalin ilmaa imetään lämmitettäväksi höyrypattereilla lopulliseen 95 °C:een. Varteenotettavin vaihtoehto lämpötilan nostamiseksi on hyödyntää osaa infra- ja leijukuivainten poistoilmasta suoraan tai epäsuorasti, jolloin päästäisiin korkeisiin lämpötiloihin. Taulukossa 3 on esitetty LTO 4:lle johdettavan leijukuivainten poistoilman tila.

**Taulukko 3** Leijukuivainten poistoilman tila

t / °C	φ / %	t <sub>kp</sub> / °C	x / g <sub>H<sub>2</sub>O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>
106,8	5,8	40,2	49,4

Tällä hetkellä kuivainten kuuma poistoilma ohjataan LTO 3:n, 4:n ja 5:n poistoilmakanavistoihin. Niiden lämmön talteenoton kannalta voisi olla jopa hyödyllistä muuttaa järjestelyä ohjaamalla kuivainten poistoilmat muualle, koska poistoilman alhaisesta kosteudesta johtuen, ei lämmönvaihtimissa tapahdu haluttua lauhtumista.

Leijujen poistoilman hyödyntämisessä tulee kuitenkin ottaa huomioon seuraavia asioita. Laitetoimittajan mukaan poistoilman kosteus vaihtelee ja voi olla jopa 100 g<sub>H<sub>2</sub>O</sub>/kg<sub>k.i.</sub>. Tämän lisäksi leijujen poistoilmamäärän tulee olla jatkuvasti säädettävissä, jolloin myös virtaus taskutuuletukseen vaihtelisi. Poistoilman mukana saattaa myös kulkeutua paperisilppua ja muita epäpuhtauksia, kuten palamistuotteita ja paperiradasta haihtuneita kemikaaleja. Laitetoimittajan suositus onkin, että poistoilman lämpöenergiaa hyödynnettäisiin lämmön talteenottoa hyväksikäyttäen. Mittauksissa kosteuden havaittiin kuitenkin olevan vain n. 50 g<sub>H<sub>2</sub>O</sub>/kg<sub>k.i.</sub>, mikä takaa riittävän alhaisen kosteuden ja kastepisteen. Nykyisin



taustapäälystysyksikön jälkeisten leijukuivaiten poistoilmaa hyödynnetään jo suoraan pintaliimausyksikön jälkeisen huuvan korvausilmana. Tässä järjestelyssä ei paperisilpusta tai muista epäpuhtauksista ole koitunut haittaa. Tulee tosin huomioida, että taustapäälystysyksikön leijukuivaimissa käytetään korkeapaineista höyryä nestekaasun sijasta ilman kuumentamiseen. Paperiradasta haihtuneiden kemikaalien määrät ovat myöskin hyvin pieniä eikä niiden vaikutus ole merkittävä.

Vaihtoehtoina leijujen poistoilman hyödyntämisessä ovat siis ilman suora johtaminen korvausilmaksi tai kuivainten poistoilmakanaviston varustamista uudella ilma/ilma-lämmönvaihtimella, jolla esilämmitettäisiin huuvan korvausilmaa ennen höyrypatteria. Jälkimmäistä vaihtoehtoa vaikeuttaa kuitenkin tasku- ja viiralenkkituuletuksen ilmanoton sijainti, sillä niiden läheisyydessä ei ole tilaa suurille rakenteille. Investointi voisi silti olla kannattava, sillä jos lasketaan, että korvausilman lämmitys järjestetään kokonaan tuorehöyryllä ja onnistuttaisiin nostamaan ottoilman lämpötilaa 41 °C:sta 60 °C:een, tämä tarkoittaisi yli 40 000 €:n säästöä höyrynkulutuksessa vuosittain (8000 h, 15 EUR/MWh). Tämä lukema ei kuitenkaan aivan tarkasti vastaa todellisuutta, sillä myös hönkähöyryä käytetään korvausilman lämmittämisessä.

Tällä hetkellä poisto- ja korvausilmamäärät pysyvät samoina lajista ja tuotantomäärästä riippumatta. Tähän vaikuttavat puhaltimien toiminta vakiokierrosnopeudella sekä huuviin osin yhtenäinen korvausilmakanavisto. Näiden kytköksien takia ei yhden huuvin ilmanvaihtoon voida puuttua vaikuttamatta toiseen. Ainoastaan taskutuuletuksen poikkisuuntainen säätö olisi nykyjärjestelmällä mahdollista muuttamalla kunkin taskutuuletuksyksikön säätölevyjen asentoa, mutta tätä ei käytännössä tehdä, koska levyjen siirtely tulee tehdä käsin eikä siihen ole mahdollisuutta lajikohtaisesti.

Ongelmia kuivatusosan ilmastoinnin hallinnassa aiheuttaa myös poisto- ja korvausilmasta kerättävän tiedon puute. Nykyisellään poisto- ja korvausilmasta mitataan ainoastaan lämpötila ja sekin mittaustieto on osin väärää rikkoutuneiden tai väärin sijoitettujen mittalaitteiden takia.

Riittävän mittaustiedon saaminen korvaus- ja poistoilmasta on tärkeää, jotta voidaan seurata huurossa tapahtuvia kosteusmuutoksia eri lajeilla ja

tuotantomäärillä. Nykyisellään ei ole tiedossa, millaiset olosuhteet huuvaissa vallitsevat erilaisissa ajotilanteissa. Tilannetta on kartoitettu ainoastaan yksittäisillä mittauksilla, jotka kohdistuvat mittaushetkellä ajossa olevaan lajiin ja tuotantomäärään jatkuvan mittaustiedon puuttuessa. Olosuhteet taskuissa saattavat olla hyvät yhdellä lajilla, mutta välttävät siirryttäessä toiseen lajiin tai korkeampaan tuotantomäärään.

Ensi askel parempaan kuivatusosan ilmastointiin olisikin varustaa huuvan poistoilmakanavat kosteusmittareilla. Alussa nämä kosteusmittaukset on järkevää toteuttaa esi- ja jälkikuivatusosilla niiden suljetumman rakenteen ja suuremman kuivatussylinterimäärän takia. Kosteusmittareiden puolesta puhuvat myös alhainen hankintahinta ja nykyisin saavutettava korkea toimintavarmuus ja luotettavuus. Myös poistoilmaa mittaavat toimimattomat lämpömittarit tulisi uusia, jotta lämmön talteenottojärjestelmän toimintaa pystyttäisiin paremmin valvomaan nähtäessä, kuinka suuri lämpötilapudotus poistoilmassa tapahtuu sen kulkiessa lämmönvaihdinten lävitse.

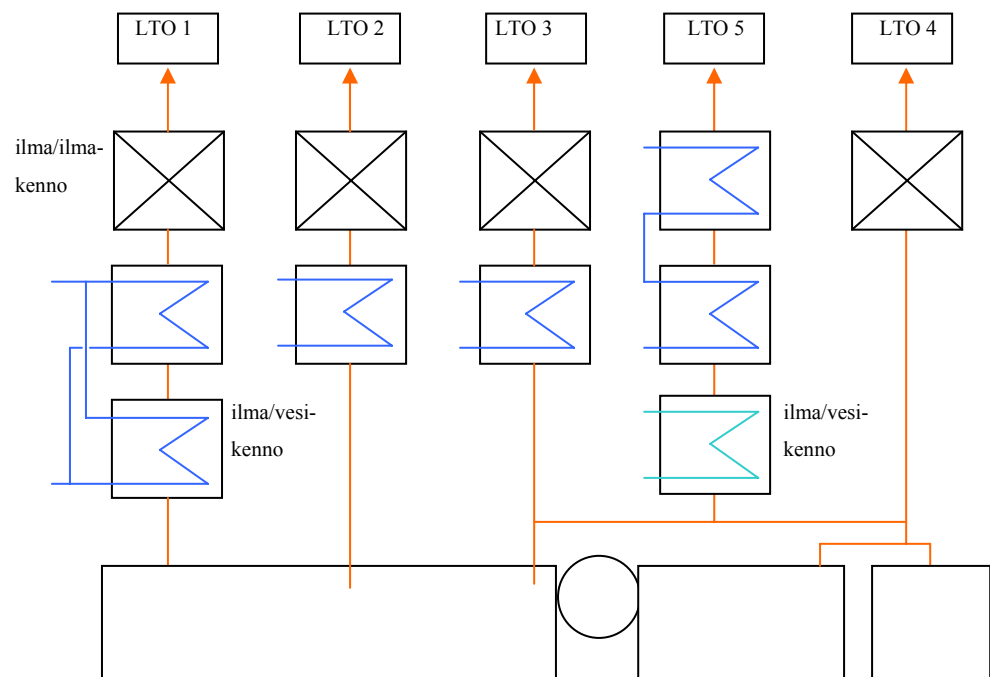
Edelleen kuivatusosan toimintaa voidaan parantaa jakamalla erilleen korvausilmakanavistot niin, että jokainen huuva saisi korvausilmansa oman puhaltimen kautta. Tällaiseen järjestelyyn tulee viimeistään siirtyä, jos kartonkikoneen kapasiteetin noston yhteydessä rakennetaan jenkki sylinterin tilalle uusi kuivatusryhmä. Tällöin vanhat puhaltimet eivät enää ole riittäviä huolehtimaan kasvaneen haihdutuskapasiteetin ilmanvaihdosta. Jaettaessa korvausilmakanavistot erilleen mahdollistuu huuva kohtainen lajin ja tuotantomäärän mukaan säätävä poistoilman kosteus. Tämä vaatii kuitenkin taajuusmuuttajilla varustetut poisto- ja korvausilmapuhaltimet, jotta poisto- ja korvausilman suhdetta voidaan säätää halutulle tasolle. Invertterien hankinnan puolesta puhuu myös nykyisin säätöpelleillä tapahtuva poistoilman säätö, sillä kuristuksesta johtuen puhaltimien hyötysuhde ei ole paras mahdollinen.

Myös huuviin tiiviyttä tulisi parantaa, sillä tällä hetkellä ainoastaan esikuivatusosa on riittävän tiivis tarkkaa kosteussäätöä varten. Tiiviyyteen on hyvä kiinnittää huomiota myös, vaikka kosteussäätöä ei toteuttaisikaan, koska nykyisellään vuotoilmamäärät jälkikuivatusosalla ja pintaliimayksikön jälkeisellä kuivatusosalla ovat suuret niiden kellarin avonaisen rakenteen johdosta. Vähentämällä

vuotoilman määrää parannetaan energiataloutta ja kasvatetaan kuivatustehoa. Tiivistämällä huuven rakennetta vaikutetaan myös 0-tasoon.

### 5.3 Lämmön talteenottojärjestelmän rakenne

Kuivatusosan lämmön talteenottojärjestelmä koostuu viidestä lämmön talteenottotornista, joilla kuumasta ja kosteasta huuven poistoilmasta siirretään lämpöä eri käyttökohteisiin (kuva 7).



**Kuva 7** Lämmön talteenottojärjestelmän rakenne

Kuvasta 7 voidaan nähdä missä järjestyksessä lämmönvaihtimet kussakin lämmön talteenottotornissa sijaitsevat. Taulukko 4 kertoo, mihin eri LTO-yksiköillä lämpöenergiaa siirretään.

**Taulukko 4** LTO-yksiköiden sisältämät lämmönvaihtimet ja lämmityskohteet

Lämmönvaihdinyksikkö	LTO 1	LTO 2	LTO 3	LTO 4	LTO 5
ilma/ilma-lämmönsiirrin	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	ei
lämmityskohde	välikaton ja annostelutason tuuletusilma	kellarin tuuletusilma	välikaton tuuletusilma	välikaton ja kellarin tuuletusilma	-
ilma/vesi-lämmönsiirrin	kyllä	kyllä	kyllä	ei	kyllä
lämmityskohde	raakavesi	raakavesi	raakavesi	-	kiertovesi ja vesi/glykoli-seos

LTO-yksiköt 1, 2 ja 3 ottavat poistoilman esikuivatusosan välikatosta. Ensiksi ilma kiertää ilma/vesi-lämmönvaihtimille, joissa lämmitetään raakavettä. Raakavesi otetaan raakavesisuodattimelta ja johdetaan lämminvesisäiliöön, josta saavat käyttövetensä mm. viira- ja puristinosaan korkeapainesuihkut.

Normaalitilanteessa lämminvesisäiliöön otettava raakavesi kiertää aina ensin LTO-yksiköiden tai pintalauhduttimen läpi. LTO-torni 1:ssä on kaksi rinnankytkettyä ja LTO-torneissa 2 ja 3 kummassakin yhdet ilma/vesi-lämmönvaihtimet. Niiden jälkeen huuvan poistoilma johdetaan ilma/ilma-lämmönvaihtimiin, jotka ovat rakenteeltaan putkilämmönvaihtimia ja joissa esilämmitetään raitisilmaa.

Ilma/ilma-lämmönvaihtimen jälkeen ilma purkautuu tilaan, josta eri puhaltimet imevät ottoilmansa. Näiden puhaltimien tilaan aiheuttaman alipaineen johdosta myös ulkoilma virtaa ilma/ilma-lämmönvaihtimien lävitse.

Tarvittaessa, kuten kesäisin, voidaan lämmönvaihdin ohittaa ohituspeltien avulla, jolloin raitisilmaa ei esilämmitetä huuvan poistoilmalla. Talvisin ilmaa voidaan lämmittää myös tuorehöyryllä, jos haluttuun loppulämpötilaan ei päästä pelkän ilma/ilma-lämmönvaihtimen avulla. Höyrypatterit sijaitsevat joko ilmakennon tai puhaltimien yhteydessä.

LTO-torni 4:n kautta kulkevat jälkikuivatusosan ja liimapuristimen jälkeisen kuivatusosan poistoilmat sekä osa infra- ja kaasukuivainten poistoilmoista. Yksiköllä lämmitetään ainoastaan ulkoilmaa ilma/ilma-lämmönvaihtimella välikaton ja kellarin tuuletusilmaksi. LTO-torni 5 ottaa ilmaa LTO-torneilta 3 ja 4, joiden tuloilmakanavistot on liitetty siihen. 5-tornissa poistoilmasta siirretään ensimmäiseksi lämpöä kirkassuodokseen ilma/vesi-lämmönvaihtimella. Suodosta kierrätetään kirkassuodosta lämmönvaihtimelle, jonka jälkeen se palautetaan takaisin samaan altaaseen. Tämän ilma/vesi-lämmönvaihtimen jälkeen on kaksi sarjaan kytkettyä ilma/vesi-lämmönvaihdinta, joilla lämmitetään vesi/glykoli-seosta. Vaihtimet ovat sarjassa, jotta niiden jälkeinen loppulämpötila olisi mahdollisimman korkea, koska vesi/glykoli-seosta käytetään sali-ilman lämmittämiseen ja lämmön siirtyminen on sitä tehokkaampaa, mitä suurempi lämpötilaero ilman ja vesi/glykoli-seoksen välillä on.

Kaikki ilma/vesi-lämmönvaihtimet on varustettu myös pesureilla, jotka automaattisesti tietyin väliajoin suorittavat kennostojen pesun. Ilma/ilma-lämmönsiirtimissä ei tällaisia pesureita ole ja kennot pitää pestä manuaalisesti.

### 5.3.1 Ilma/vesi-lämmönvaihtimien nykytila

Ilma/vesi-lämmönvaihtimet, joilla lämmitetään raakavettä, toimivat moitteettomasti ja siirtävät tehokkaasti lämpöä veteen. Niiden kapasiteetti onkin suurempi kuin normaalissa ajotilanteessa vaaditaan. LTO 1:n, 2:n ja 3:n maksimivirtaamat ovat samassa järjestyksessä 1200 l/min, 1400 l/min ja 1100 l/min, mutta todellinen virtaama normaalitilanteessa on n. 70 % maksimista.

Lämminvesisäiliöön ohjataan yhdessä LTO:lla lämmitetyn veden lisäksi myös pintalauhduttimella lämmitetty raakavesi. Tästä aiheutuu ajoittain ongelmaa, koska paine-erojen noustessa höyryryhmissä höyry- ja lauhdetukin välillä korkeiksi, kasvaa pintalauhduttimen teho niin suureksi, että se yksinään riittää lämmittämään kaiken lämminvesisäiliön tarvitseman veden. Tällöin LTO-yksiköiden raakavesikenttien virtaus kuristetaan nolnaan, jolloin lämpöä ei siirry lainkaan ilma/vesi-lämmönvaihdinten kautta. Tämä laskee lämmön talteenotontehoa merkittävästi, koska suuri osa lämmön talteenotosta tapahtuu juuri ilma/vesi-kentöissä niissä tapahtuvan huuven poistoilman lauhtumisen takia. Ongelma liittyy kuitenkin höyry- ja lauhdejärjestelmän ajotapaan, jota pyritään muuttamaan niin, että paine-erot pysyisivät alhaalla.

Ongelmia vesikiertoissa aiheuttavat myös mm. katkot ja ajoittainen hiomon tai kuorimon suuri vedentarve. Lämminvesisäiliöstä vettä otetaan kirkassuodosaltaan sekä rungon ja pinnan kiertovesialtaiden täydennyksiksi. Katkon aikana vedentarve nousee esim. pulpperoinnin lisääntyessä ja tämä lisää kiertovesialtaiden lämminvesitarvetta eikä lämminvesisäiliöstä saatava vesimäärä tällöin riitä.

Samanlaiseen tilanteeseen joudutaan, jos kuorimon tai hiomon vedentarve kasvaa suureksi, koska ne ottavat vetensä rungon kiertovesialtaasta. Kasvanut lämminvesitarve tyydytetään ottamalla lisänä raakavettä, joka lämmitetään tuorehöyryllä. Tämä kasvattaa merkittävästi energian kulutusta ja heikentää lämpötaloutta. Lisäksi talviaikaan vaarana voi olla höyryn riittävyys kuivatusosalla

etenkin kuivatusrajoitteisilla lajeilla, koska raakaveden lämmitykseen käytettävän lämmönsiirtimen teho on suuri.

LTO 5:llä lämmitetään sekä kirkassuodosta että vesi/glykoli-seosta. Kirkassuodoksen virtausmäärät lämmönvaihtimessa ovat suuria verrattuna raakavesikennoihin, mutta talteenottoteho on mitoitusta pienempi, koska poistoilman kosteus on alhaisempi. Vaihtimen jatkuvaa suorituskykyä on kuitenkin mahdoton seurata, koska vaihtimesta ulosvirtaavan kirkassuodoksen lämpötilaa seuraava lämpötila-anturi on rikkoutunut, eikä todellista lukemaa ole saatavilla. Anturi tulisi korjata pikaisesti, jotta saataisiin tietoa siitä, miten talteenottoteho vaihtelee eri lajeilla ja tuotantomäärillä.

LTO 5:n vesi/glykoli-seoksen lämmitys toimii hyvin. Ulkolämpötilan mukaan täytyy seosta lämmittää ilma/vesi-kennojen lisäksi myös tuorehöyryllä. Lopputyön aikana höyryventtiilin asento on vaihdellut 0...100 % lauhan alkutalven ja helmikuun paukkupakkasien takia. Höyryventtiilin vaihtelusta voidaan sanoa, että järjestelmän säätö sekä ilma/vesi-lämmönsiirrin toimivat hyvin.

### **5.3.2 Parannusehdotukset ilma/vesi-lämmönvaihtimiin**

Jotta lämmönsiirto lämmönvaihtimissa olisi paras mahdollinen, tulee huuван poistoilman olla mahdollisimman kosteaa, jolloin lämmönvaihtimissa tapahtuva lauhtuminen on suurimmillaan. Laitetoimittajan tekemien takuumittausten (24.1.2007) mukaan on LTO 3:n ja 5:n kosteuspitoisuuksissa kuitenkin parantamisen varaa. Vaikka mittaus koskikin ainoastaan viimeksi uusittuja lämmön talteenottojärjestelmän osioita, koskee sama ongelma myös LTO 4:ää sen vuoksi, että näillä kolmella tornilla on yhteinen tuloilmakanavisto.

Kuivan tuloilman selittää osin kanaviston yhteys infra- ja leijukuivainten poistoilmakanavaan, josta lämmön talteenottoyksiköt saavat runsaasti kuumaa ja kuivaa ilmaa. Mittaus ei siis suoraan kerro sitä, että huuвasta poistettaisiin ylimäärin ilmaa, minkä takia kosteuspitoisuus jäisi matalaksi.

Laitetoimittajan ehdotus tilanteen parantamiseksi on laskea LTO 5 poistoilmapuhaltimen (UIL 318) pyörimisnopeutta, koska se on selkeästi tehokkain LTO 3:n, 4:n ja 5:n poistoilmapuhaltimista. Pyörimisnopeuden pudottaminen vaatii kuitenkin, että moottori varustetaan taajuusmuuttajalla tai, että

ilmavirtausta kuristetaan säätöpelleillä, jolloin puhaltimen hyötysuhde laskee. Tämä vähentää kosteuden nousun tuomia etuja ja huomioon tulee myös ottaa tuuletuksen riittävyys raskaimmilla lajeilla, sillä laitetoimittajan mittausta tehtiin Simcote 255 g/m<sup>2</sup> -lajilla.

LTO 5 kirkassuodoskennon talteenottoa voidaan nykyisestä kasvattaa muuttamalla putkiston kytkentää. Tällä hetkellä kenno ottaa suodosta kirkassuodossäiliöstä ja kennon jälkeen suodos pumpataan takaisin saman säiliön yläosaan lämminvesisäiliön suotimen kautta. Kirkassuodossäiliöstä otto tapahtuu säiliön alaosasta, josta suodosta imetään myös varsinaiseen käyttötarkoitukseensa viiraosan suihkuvedeksi. Tätä kytkentää voitaisiin muuttaa, koska ei ole järkevää imeä suodosta lämmitettäväksi samasta kohdasta, josta sitä jo otetaan käyttöön. Asiaan liittyy myös se, että samaan aikaan säiliön yläosaan johdetaan huopaimureiden lukkovesisäiliön viileämpää suodosta. Jotta lämmönvaihto ilma/vesi-kennossa olisi mahdollisimman tehokasta, tulisi lämpötilaero suodoksen ja ilman välillä olla mahdollisimman suuri. Tästä johtuen kytkentää voitaisiin muuttaa siten, että LTO 5:n kirkassuodoskennolle ohjattaisiin suoraan, kirkassuodoksen sijasta, lukkovesisäiliön suodos, jolloin lämmön talteenotto tehostuisi. Mittauksen, joka suoritettiin 10.4.07, mukaan lukkovesisäiliön jälkeisellä suotimella suodoksen lämpötila on 33,2 °C ja kirkassuodossäiliöstä lähtevällä virtauksella 42 °C. Tämä tarkoittaisi, että kytkentää muuttamalla saataisiin lähes 10 °C nousu nykyiseen lämpötilaeroon nähden. Kytkentämuutoksen tekeminen putkistoon ei vaadi suurtakaan investointia, sillä riittäisi, että lukkovesisäiliön suodos johdettaisiin LTO 5:n kennostolle pumppaavan pumpun imupuolelle. Tämä tarkoittaa, että nykyisin kirkassuodossäiliön yläosaan tuleva putki jatkettaisiin saman säiliön alaosaan, jossa pumppu sijaitsee. Nykyistä ohjausta tulisi myös muuttaa niin, että joka tilanteessa voitaisiin varmistua lukkovesisäiliön pinnankorkeuden pysymisestä halutulla tasolla.

Lämmön talteenottoyksiköistä ainoastaan LTO 4 ei ole tällä hetkellä varustettu ilma/vesi-lämmönvaihtimella vaan ainoastaan ilma/ilma-kennolla. Tämä alentaa selvästi sen lämmön talteenottoa, koska ilma/vesi-kennolla on parempi hyötysuhde lämmön talteenotossa. Tämän takia suurin mahdollisuus lämmön

talteenottokapasiteetin nostoon liittyy juuri LTO 4:n varustamiseen vesi/ilma-kennolla.

Mahdollisen investoinnin yhteydessä tulee kuitenkin tarkkaan miettiä, mitä uudella kennolla kannattaa lämmitellä. Tällä hetkellä lämminvesitarve voidaan tyydyttää LTO 1:n, 2:n ja 3:n raakavesikenttien sekä pintalauhduttimelta tulevan virtauksen avulla. Suurella todennäköisyydellä lämminvesitarve tulee tyydytetyksi myös tilanteessa, jossa höyry- ja lauhdejärjestelmän paine-erot saadaan pudotettua alemmalle tasolle.

Myöskään nollaveden lämmittäminen ilma/vesi-lämmönvaihtimessa ei tuo kaivattua lisähyötyä, koska vaihtimen kapasiteetti ei riitä nostamaan pinta-, runko- tai taustakerroksen vesikiertojen lämpötilaa tasolle, josta koituisi merkittävää hyötyä. Järkevintä olisikin yhdistää kenno LTO 5:n jo olemassa olevaan vesi/glykoli-kiertoon ja laajentaa kiertoa korvaamalla sillä vanhoja höyrypattereita ja lämmittimiä. Tällaisia korvattavia höyrypattereita voisivat olla esim. välikatolle puhaltavien tuulettimien yhteydessä sijaitsevat yksiköt.

Ilma/vesi-lämmönvaihtimien tehokkaan lämmönsiirron takaamiseksi on huolehdittava niiden säännöllisestä puhdistamisesta. Vaikka kaikki ilma/vesi-kentistä onkin varustettu automaattisilla pesusuihkuilla, jotka säännöllisin väliajoin suorittavat kennoston puhdistuksen, ei pesuilla ole vaikutusta kennoston sisäpuoleen, jossa neste virtaa. Säännöllisen pesun tarve korostuu etenkin LTO 5:n kirkassuodoskennossa, jossa mm. kuidut ja täyteainehiukkaset likaavat lämmönsiirtopintoja. Tällä hetkellä tehtaalla ei ole kuitenkaan sovittu kennostojen säännöllisestä puhdistuksesta ja epäselvyyttä on myös siitä, kenelle puhdistus kuuluu. Hyvänä toimintatapana olisi puhdistaa kennot kerran vuodessa esim. pitemmän seisokin yhteydessä. Tämä ajankohta olisi hyvä ajoittaa syksyyn, jolloin raakaveden lämpötila alkaa kesän jäljestä alentua. Tällöin sen mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien, kuten humuksen, määrä alkaa vähentyä ja toisaalta viilentyvien ilmojen takia lämmitystehon tarve kasvaa /6/.

### **5.3.3 Ilma/ilma-lämmönsiirtimien nykytila**

Ilma/ilma-lämmönvaihtimet toimivat sinänsä kuten niiden pitääkin, mutta ongelmia tuottavat mm. niihin liittyvät ohjaus- ja ohituspeltien asennot sekä



höyrypattereiden likaisuus. Ohjaus- ja ohituspeltien tarkoituksena on mahdollistaa kesäisin raitisilman ottaminen ohi lämmönsiirtoyksikön, jotta lämpötila arkki- ja konosalissa ei nousisi liian korkeaksi. Tämän opinnäytetyön aikana on kuitenkin tullut selväksi, että peltien ohjaus ei toimi. Lisäksi peltien asentojen takia joudutaan tuuletusilman lämmityksessä käyttämään tarpeettoman paljon tuorehöyryä, eikä aina silloinkaan päästä haluttuun loppulämpötilaan.

Ulkoilmaa otetaan myös lämmönsiirtimiin kaikissa yksiköissä ilman esisuodatusta, minkä takia siirtimet ja höyrypatterit likaantuvat nopeammin ja siirrintä seuraavan tilan sisärakenteet altistuvat ilman mukanaan tuomille epäpuhtauksille. Kaikissa lämmönsiirrin tiloissa on myös rakennusjätettä, joka vaikeuttaa paikoin kulkemista. Tilat ovat myös hyvin alipaineisia ja siirtyminen tilasta toiseen on hankalaa. Seuraavassa käydään yksityiskohtaisemmin läpi eri LTO-yksiköissä esiintyviä ongelmia.

LTO 1:n sivustalla sijaitseva raitisilmapelti on jumiutunut niin, että kylmää ilmaa pääsee virtaamaan ohi lämmönvaihtimen, kun samaan aikaan höyrypatterilla lämmitetään tuuletusilmaa. Ongelman tekee pahaksi vielä se, että pelti sijaitsee vastapäätä puhaltimia, jotka imevät ilmaa arkittamon välikattoon. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa ohituspelleistä tuleva kylmä ja lämmönvaihtimelta tuleva lämmin ilma eivät ehdi sekoittua ja puhaltimet imevät siis osin kylmää ilmaa välikattoon. Lisäksi ilma/ilma-lämmönvaihtimen jälkeinen höyrypatterin lauhdeputki on vahingoittunut alaosastaan ja vuotaa.

LTO 2:n ja 3:n ilma/ilma-lämmönvaihtimet sijaitsevat yhteisessä tilassa ja vaihdinten jälkeen esilämmitetyt ilmat sekoittuvat keskenään. Vaikka näiden yksiköiden ohituspellit ovatkin kiinni, ne päästävät ohitseen kylmää ilmaa, koska eivät ole riittävän tiiviit. LTO 3:n tapauksessa tilanne on sama kuin LTO 1:llä eli puhaltimet, jotka imevät ilmaa arkittamon välikattoon, ottavat ilman ohituspeltien korkeudelta, jolloin ne imevät suoraan osin kylmää ilmaa. Tämä johtaa kasvaneeseen höyrynkulutukseen, kun puhaltimen jälkeisellä höyrypatterilla ilma lämmitetään asetettuun loppulämpötilaan.

LTO 3:n lämmönvaihdinputkisto, jossa kuuma huuvan poistoilma kulkee, on sijoitettu suoriin riveihin niin, että kylmä ilma pääsee suoraan putkiston läpi (kuva

8). Tämä heikentää lämmönsiirtoa verrattuna muihin ilma/ilma-lämmönsiirtimiin, joissa putket on sijoitettu vinottain, jotta ilmaan aiheutuu lämmönsiirtoa tehostavia pyörteitä.



**Kuva 8** LTO 3:n putkilämmönsiirrin

LTO 2:n sivustalla oleva ilmakennoston tarkastusovi on suljettu laudankappaleilla, koska varsinaiset sulkimet ovat jumiutuneet. Lisäksi vierustalla sijaitseva höyrypatteri, jolla esilämmitetty ulkoilma lämmitetään haluttuun loppulämpötilaan kellarin tuuletusilmaksi, on pahoin likaantunut. Tämä heikentää merkittävästi lämmönsiirtoa patterista ilmaan ja lisää näin höyrynkulutusta. LTO 4:n raitisilma ohituspellit ovat kiinni, mutta ne eivät ole riittävän tiiviit ja kylmää ulkoilmaa virtaa lämmönvaihtimen jälkeiseen sisätilaan. Kellarin tuuletuspuhaltimia edeltävä höyrypatteri on pahoin likaantunut. Tornin sivustalla sijaitseva ovi on suljettu puukapulalla, koska sulkimet ovat jumiutuneet. Tilassa vallitsee poikkeuksellisen suuri alipaine, ja kulkeminen tilan lävitse on hankalaa.

#### **5.3.4 Parannusehdotukset ilma/ilma-lämmönvaihtimiin**

Lämmönsiirtimien kunnossapitoa pitää tehostaa, jotta edellä esitetyt kunnossapidolliset ongelmat saadaan korjattua. Tämän lisäksi on ohituspeltien kuntoon kiinnitettävä huomiota ja vialliset sekä toimimattomat pellit olisi hyvä vaihtaa, jotta kylmää ilmaa ei turhaan virtaisi jäähdyttämään lämmönvaihtimissa esilämmitettyä ilmaa.

Opinnäytetyön aikana suljettu LTO 3:n ohituspeltilämsi välikattoon puhaltavien tuulettimien höyrynkulutusta niin, että höyryventtiili sulkeutui 50 %:sta 26 %:iin. Tämä osoittaa, että pienilläkin asioilla voidaan vaikuttaa lämpötalouteen. Myöskin peltejä säätävät toimilaitteet kärsivät huonosta kunnosta eikä suurin osa niistä toimi lainkaan. Peltien ja toimilaitteiden uusinnan yhteydessä olisi myös hyvä päivittää ja yksinkertaistaa koko tuuletusilman lämmitysjärjestelmän toimintalogiikka.

Talvisin kaikkien ohituspeltien tulisi olla kiinni ja kaikki ilma tulisi ottaa ilma/ilma-lämmönvaihtimien kautta. Kesäisin ohituspeltejä voisi ohjata automaatiojärjestelmä, kuten nykyisinkin. Selvintä olisi tehdä Alcont-prosessinohjausjärjestelmään valintalaatikko, jolla operaattorit voisivat kytkeä järjestelmän kesä/talvi tilaan.

Yhtenä vaihtoehtona talvikauden lämmityksessä on myös esitetty lämpimän ilman ottamista konosalista kiertoilmapeltejä avaamalla. Tämä ei kuitenkaan ole suotavaa, koska konosalin ilman kastepiste on liian korkea, kuten taulukosta 5 käy ilmi, eikä kondensoitumisriskiä näin voida välttää.

**Taulukko 5** Konesalin ilman tila kiertoilmapeltien läheisyydessä

LTO-yksikkö	t / °C	φ / %	t <sub>kp</sub> / °C	x / g <sub>H2O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>
LTO 2	36,6	33,6	18,0	13,0
LTO 4	39,7	33,4	20,6	15,3

### 5.3.5 Kuivatusosan ja konosalin kuivanpään suorat poistot

Kuivatusosalta ja konosalin kuivastapästä poistetaan suoraan ulkoilmaan osin lämmintä ja kosteaa ilmaa kierrättämättä sitä lämmön talteenoton kautta. Näistä tärkeimmät, lämpövirraltaan suurimmat, ovat puhaltimien UIL 1, 53 ja 139 poistot. UIL 1 poistaa ilmaa pintaliimapuristimelta, UIL 53 kuivastapästä ja UIL 139 avohuuvasta. Näiden poistojen lämpövirtoja tutkittiin, koska haluttiin selvittää, olisiko niiden ohjaamisesta LTO-järjestelmään vastaavaa hyötyä. Taulukkoon 6 on koottu tiedot puhaltimien poistoilmojen sisällöstä. Taulukossa v on ilman virtausnopeus ja q<sub>v</sub> tilavuusvirta.

**Taulukko 6** Puhallinten poistoilman lämpötila ja kosteus

Puhallin	t / °C	$\phi$ / %	t <sub>kp</sub> / °C	x / g <sub>H2O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>	v / m/s	q <sub>v</sub> / m <sup>3</sup> /s
UIL 1	57,8	10,8	17,0	12,2	1,3	1,4
UIL 53	46,6	31,0	25,3	20,3	4,3	4,9
UIL 139	45,7	20,1	17,5	12,5	6,4	3,6

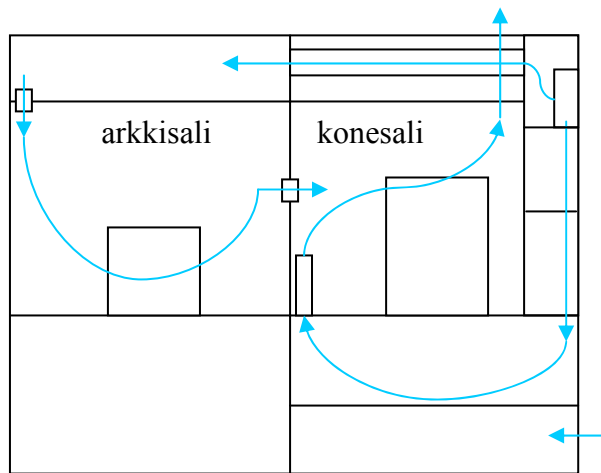
Kuten taulukosta 6 voidaan nähdä, on poistojen lämpötila alhainen. Niitä ei siten kannata esim. yhdistää olemassa oleviin kanaviin, jotka kuljettavat ilmaa päällystysosan kuivattimilta lämmön talteenottoon.

## 6 ARKKI- JA KONESALIN ILMASTOINTI

Liitteissä 2 ja 3 on kuvattuna arkki- ja konesalin ilmastointijärjestelmät.

Arkittamon vanhempi puoli ja konesali muodostavat toiminnallisen kokonaisuuden sali-ilmastoinnin osalta. LTO-yksiköillä esilämmitetty ilma puhalletaan arkittamon välikattoon, jossa pyritään pitämään ylipainetta. Tämän ylipaineen vaikutuksesta ilma siirtyy luonnostaan arkkisaliin välikatossa olevien tuuletusaukkojen kautta. Ilmastointia tehostamassa on myös puhaltimia, jotka ottavat ilmaa välikatosta ja puhaltavat sen arkki- tai konesaliin.

Arkkisalista ilma kierrätetään konesaliin puhaltimien ja salien välillä vallitsevan paine-eron turvin. Konesalin katossa on tasaisesti poistoja, mutta suhteellisesti enemmän niitä on märässäpäässä, mistä viiraosan kostea ja lämmin ilma poistetaan ulkoilmaan. LTO-yksiköillä huolehditaan myös I-kellarin osittaisesta tuuleuksesta yhdessä erillisten puhaltimien kanssa. I-kellarin ilma kiertää myös osittain takaisin konetasolle. II-kellarin tuuleuksesta huolehditaan erillisten puhallinten avulla. Arkkisalin alapuolinen osa on ns. kylmä tila, jota ei erikseen lämmitetä. Kuvassa 9 on esitetty yksinkertaistettu kaavio arkki- ja konesalin ilmastoinnin havainnollistamiseksi.



**Kuva 9** Arkki- ja konesalin ilmastointi

## 6.1 Ilmastoinnin nykytila

Ilmastoinnin toimivuutta kartoitettiin normaalitilanteessa ja lyhyen seisokin aikana, jolloin tehtiin kosteus- ja lämpötilamittauksia kaikissa kartonkitehtaan kerroksissa, myös välikatossa. Näiden mittausten tulokset on esitelty liitteessä 4. Mittausten perusteella voidaan sanoa arkki- ja konesalin ilmastoinnin toimivan hyvin sekä normaalitilanteessa että lyhyen seisokin aikana. Kummassakin salissa oli miellyttävät työskentelyolosuhteet sekä lämpötilan että kosteuden suhteen. Ehkä tärkeimpänä tuloksena voidaan mainita välikaton olosuhteiden pysyminen hyvinä seisokinkin aikana, kuten taulukosta 7 voidaan nähdä.

**Taulukko 7** Välikaton ilman lämpötila ja kosteus

Normaalitila					
Paikka	Mittauspiste	t / °C	φ / %	t <sub>kp</sub> / °C	x / g <sub>H2O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>
ark. välikatto	1	26,0	13,2	-4,0	2,7
"	2	28,4	13,4	-2,1	3,2
"	3	31,5	17,8	4,2	5,1
kones. välikatto	4	22,9	21,2	-0,5	3,7
"	5	26,1	15,2	-2,2	3,2
"	6	25,1	14,7	-3,3	2,9
Seisokki					
Paikka	Mittauspiste	t / °C	φ / %	t <sub>kp</sub> / °C	x / g <sub>H2O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>
ark. välikatto	1	21,5	11,8	-8,3	1,9
"	2	20,7	9,2	-11,6	1,4
"	3	20,4	9,6	-11,4	1,4
kones. välikatto	4	17,0	12,2	-11,1	1,5
"	5	21,9	9,5	-10,5	1,5
"	6	22,5	12,4	-7,0	2,1

Taulukko 7 kertoo selvästi, että aikaisemmin ongelmana tai pelkona ollut välikatossa tapahtuva kondensoituminen ei enää muodosta ongelmaa. Kosteustasot ovat matalat kummallakin puolella välikattoa.

Työn aikana muodostuikin kuva siitä, että ilmastoinnin todelliset puutteet paljastuvat kesäisin, jolloin salin tuloilmaa ei saada riittävästi jäähdytettyä ja lämpötila nousee.

## 6.2 Parannusehdotukset sali-ilmastointiin

Vaikka sali-ilmastointi toimiikin tällä hetkellä moitteettomasti, on siinä silti tehostamisen varaa. Seuraavassa esiteltävillä muutoksilla saadaan aikaan höyrynsikä sähkönkulutuksen laskua.

Arkittamon välikattoon sekä I-kellariin puhallettavan ilman asetustemperatuuria voitaisiin laskea. Välikaton asetustemperatuuri vaihtelee 25...28 °C ja I-kellarin 27...30 °C. Kuten taulukosta 7 ja liitteestä 4 käy ilmi, voidaan lämpötilan asetusravot kummassakin tapauksessa laskea 22 °C:een ilman, että siitä aiheutuisi ongelmia kondensoitumisen muodossa, koska kastepisteet ovat huomattavan paljon alempana kummassakin tapauksessa. Toimenpiteellä olisi höyrynkulutusta vähentävä vaikutus.

Välikaton tuuletukseen Siika-projektin yhteydessä tehtyjen lisäysten takia on todennäköistä, että osa välikaton vanhemmista puhaltimista voidaan pysäyttää. Tällainen tilanne koskee erityisesti LTO 3:n ilma/ilma-lämmönsiirtimen jälkeisestä tilasta välikattoon puhaltavia UIL 100, 101 ja 102 puhaltimia. Kohtaa, johon ne välikatolla ilmaa puhaltavat, tuulettavat myös puhaltimet UIL 266 ja 231. UIL 266 ottaa ilmansa ulkoa ja sitä lämmitetään vesi/glykoli-seoksen avulla. Puhaltimen tuottama ilmavirta välikattoon on paljon voimakkaampi kuin edellä mainitun kolmen puhaltimen.

LTO 1:n välikattopuhaltimia ei voida pysäyttää, koska niillä on merkittävä vaikutus arkkisalin märänpään tuuletukseen. Myöskään LTO 4:n molempia puhaltimia ei pakkasilla voida pysäyttää, koska samalla kohtaa sijaitseva puhallin UIL 230 puhallaa melko viileää ilmaa välikattoon. Ilman LTO 4:n puhaltamaa lämmintä ilmaa, voisi välikaton lämpötila laskea liian alas kovimmilla pakkasilla.

Keväällä ja kesällä tilanne on tietysti toinen, jolloin lämpötilan alenema ei muodosta ongelmaa. Puhaltimien UIL 100, 101 ja 102 pysäytyksen puolesta puhuu myös LTO 3:n ilma/ilma-kennon alhainen kyky rakenteensa puolesta siirtää lämpöä ulkoa otettavaan ilmaan. Puhaltimet kun sijaitsevat LTO 3:n ilma/ilma-lämmönsiirtimen läheisyydessä.

Pysäytettäessä UIL 100, 101 ja 102 puhaltimet pitää niiden virtauskanava tukkia, jotta välikatosta ei ala paine-eron ajamana virrata ilmaa LTO 3:n tilaan.

Pysäytettäessä kyseiset puhaltimet saadaan hyötyä säästyneestä höyrystä ja sähköstä. Koska puhaltimien höyrynkulutusta ei mitata, ei voida myöskään laskea säästyvää höyrymäärää. Puhaltimet sen sijaan ovat kaikki teholtaan 15 kW ja vuodessa tämä tarkoittaa 12 600 €:n säästöä (8000 h, 35 EUR/MWh) sähköenergiassa.

Mikäli kaikkia kolmea puhallinta ei voida pysäyttää, voi kyseeseen tulla myös kahden puhaltimen pysäyttäminen. Tuulettimien pysäyttämisen jälkeen voidaan harkita myös LTO 4:n välikattoon puhaltavien tuulettimien pysäyttämistä, jos ilmatase yhä sen sallii. Mikäli lämpötila välikatossa laskee tämän johdosta liian alas, voidaan puhaltimet UIL 230 ja 231 varustaa vesi/glykoli-kierrolla, jotta välikaton lämpötila pystytään pitämään halutulla tasolla. Talvisin kyseiset puhaltimet kierrättävät arkkisalista otettua ilmaa takaisin välikattoon. Ilma kuitenkin viilenee puhaltimissa, koska niiden koneisto sijaitsee ulkona. Kesäisin ne pitävät arkkisalin viileänä puhaltamalla arkkisalista poistamansa ilman suoraan ulos, jolloin kiertoa takaisin ei ole.

Annostelutasoa tällä hetkellä tuulettavat puhaltimet UIL 95 ja 215 toimivat osittain päällekkäin ja tästä syystä UIL 95 voitaisiin pysäyttää. Tämä vaatii, että 215:n tuuletuskanavaan tehdään yksi tai kaksi lisätuuletusaukkoa kohtaan, johon 95 tällä hetkellä puhaltaa. Paine 215:n kanavassa on riittävä takaamaan näiden kahden lisäaukon ja jo olemassa olevien tuuletusaukkojen ilmavirtauksen tason. Koska LTO 1:n tilassa, jossa kummankin näiden puhaltimen ilmanotot sijaitsevat, vallitsee alipaine, on 95 puhallusaukko tai muu kohta tukittava, jotta ilmavirta ei käänny annostelutasolta LTO 1:n tilaan. Tämä on kuitenkin helposti tehty eikä vaadi muutoksia virtauskanavistoon. Toimenpiteellä säästetään sähköenergiaa, kun ylimääräinen puhallin voidaan pysäyttää.

Osin päällystysosan ja liimapuristimen jälkeisten infra- ja leijukuivainten poistot kokoava UCL 9 puhallin kierrättää poistojen kuumaa ja kuivaa ilmaa kuudennen höyryryhmän viiralenkeille. Kanavistossa on sen määränpuoleisessa päässä säätöpelti, joka mahdollistaa LTO-tason tuulettamisen, mutta tämä on turhaa ja putki tulisi sulkea. Tämä kasvattaisi kuudennen ryhmän tuuletusta.

### 6.3 Parannusehdotukset seisokkien aikaiseen ilmastointiin

Kuten aikaisemmin todettiin, on ilmastointi hyvällä tasolla myös seisokkien aikana. Joidenkin puhaltimien kohdalla voidaan kuitenkin kysyä, pitääkö niiden olla päällä koko seisokin ajan tai lainkaan. Seisokkiaikaiseen ilmastointiin ei, niin kuin ei muinakaan aikoina, juuri kiinnitetä huomiota. Seisokin alkaessa valitsee sylinterimies Alcont-järjestelmästä ilmastoinnin alavalikosta lyhyt tai pitkä seisokki -asennon seisokin pituuden mukaan. Normaalityössä on tuotanto-asento valittuna. Seuraavassa keskitytään lyhyen seisokin aikaisiin puhaltimien asentoihin ja niiden tarpeellisuuteen.

Lyhyen seisokin aikana (21.2.2007) toiminnassa olivat kaikki LTO-tornien poistopuhaltimet. Tämän tarpeellisuuden voi kyseenalaistaa. LTO 1:n, 2:n ja 3:n poistot tapahtuvat esikuivatusosalta ja LTO 4:n jälkikuivatusosalta sekä pintaliimausyksikön jälkeiseltä kuivatusosalta. LTO 5 ottaa poistoilmansa LTO 3:n ja 4:n kanavistosta. Heti seisokin alkaessa esim. LTO 2:n ja 3:n poistopuhaltimet olisivat voineet pysähtyä, koska LTO 1:n ja 5:n poistopuhaltimet olisivat olleet riittäviä huolehtimaan esikuivatusosan ilmanvaihdosta. Tietyn ajan, esim. kahden tunnin, kuluttua seisokin alkamisesta, jolloin kaikki sylinterit ovat riittävästi jäähtyneet, voitaisiin kaikki puhaltimet sammuttaa, koska huuvaan ei enää kerry kosteutta.

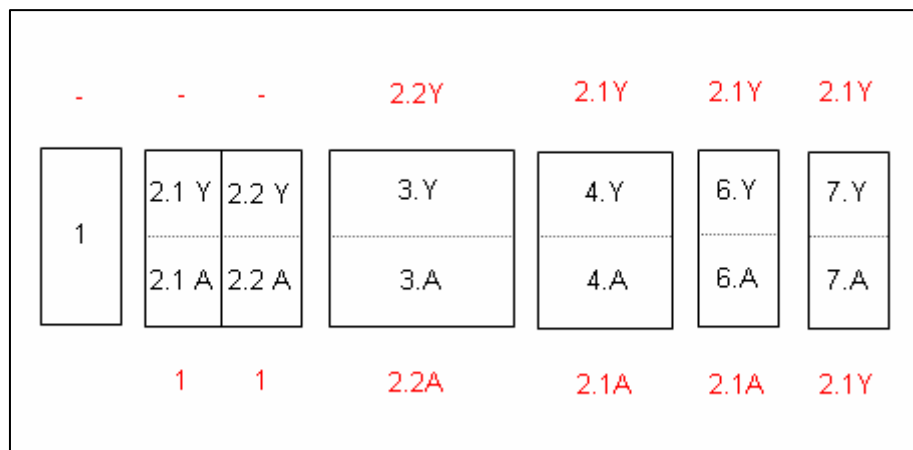
Myös puhaltimen UIL 215 pysäyttäminen heti seisokin alkaessa on mahdollista. Tämä puhallin tuulettaa kuudennen höyryryhmän taskuja, mutta päälle jäävä LTO 4:n poistopuhallin on kykenevä huolehtimaan myös niiden riittävästä tuuleuksesta. Osakseen huuvaan tuulettaa myös UCL 9, joka puhalltaa päällystysosan kuivainten poistot huuvaan viiralenkkeihin. Kuitenkin myös sen päälläoloa tulee harkita, sillä infra- ja leijukuivainten jäähtyessä on puhallin turhaan päällä koko seisokin ajan.



## 7 KK3:N HÖYRY- JA LAUHDEJÄRJESTELMÄ

Kartonkikone 3:n höyry- ja lauhdejärjestelmä koostuu kuudesta höyryryhmästä ja yhdestä yksittäin ohjattavasta sylinteristä. Höyryryhmät on liitetty toisiinsa osin kaskadikytkennöin, eli korkeamman höyrynpaineen höyryryhmistä johdetaan läpipuhallushöyryä alhaisemman höyrynpaineen ryhmiin.

Kuvassa 10 on esitetty kaskadijärjestelmän rakenne. Siinä mustat laatikot edustavat höyryryhmiä ja näiden ylä- sekä alapuolelle olevat punaiset numerot kertovat, mihin höyryryhmiin läpipuhallushöyry ohjataan. Esimerkiksi 4.Y höyryryhmän yläpuolella oleva 2.1Y merkintä tarkoittaa, että neljännen höyryryhmän yläpuolella oleva 2.1Y merkintä tarkoittaa, että neljännen höyryryhmän yläpuolisista sylintereistä ohjataan läpipuhallushöyry 2.1 ryhmän yläpuolisiin sylintereihin. Jos ryhmän yläpuolella on viiva, se tarkoittaa, että ryhmä ei ole kaskadikytkennässä muihin ryhmiin.



**Kuva 10** Kaskadijärjestelmän rakenne

Ideana nykyisessä järjestelmässä on, että rainan lämpötilaa voidaan tasaisesti nostaa ja samalla taata riittävä käyryyden hallinta. Kartonkikoneelle tyypillisenä ratkaisuna on kaikki höyryryhmät, lukuun ottamatta ensimmäistä, jaettu ylä- ja alapuolisiin sylintereihin, jotta niissä voidaan pitää erisuurta höyrynpainetta käyryyden säätämiseksi. Kartonkikone 3:lla käyryyttä säädetään ryhmillä 4, 6 ja 7, ja muissa ryhmissä pidetään samaa höyrynpainetta ala- ja yläsylintereissä.

Höyryryhmä kaksi on erotettu kahteen osaan, jotta voidaan taata rainan lämpötilan tasainen nousu. Kuvassa ei ole piirrettynä yksittäin ohjattavaa sylinteriä nro 80,

koska sen merkitys on vähäinen. Viimeisessä investoinnissa tehtyjen muutosten takia höyryryhmä 5:tä ei ole lainkaan.

Tuorehöyryä otetaan ryhmiin 3, 4, 6 ja 7 sekä lähes aina myös ryhmään 2, mutta ryhmälle 1 riittää useimmiten pelkkä läpipuhallushöyry. Rullaimen mittapalkilta saatava kosteus antaa paineasetusarvon höyryryhmälle 6, joka säättää konesuuntaista kosteutta. Myös ryhmä 4 osallistuu säätöön, koska sen paine on asetettu seuraamaan ryhmän 6 painetta. Tämä mahdollistuu ryhmien välillä olevalla paineen suhdesäädöllä, jolla eri höyryryhmien paineita voidaan asettaa seuraamaan nimettyä ryhmää. Tällöin voidaan määrittää, että esim. suhde 4.A/6.A on 100 % eli ryhmissä on sama paine. Tämä kytkentä on käytössä ryhmien 4 ja 6 sekä ryhmien 2.1 ja 2.2 välillä. Muiden ryhmien paineet operaattori asettelee kokemuksen perusteella lajille ja tuotantomäärälle sopiviksi sekä käyryyden hallinta huomioiden.

Höyry- ja lauhdejärjestelmä on vakio paine-erosäätöinen, jolloin jokaisen höyryryhmän paine-ero höyry- ja lauhdetukin välillä pidetään tuotantotilanteessa vakiona. Katkojen aikana paine-erot laskevat automaattisesti ennalta asetettuihin arvoihin, jotta pintalauhduttimelle menevän läpipuhallushöyryn määrää saadaan pienennettyä. Varsinaista höyrynpaineiden alentamista katkoissa ei kuitenkaan automaattisesti tehdä, vaan operaattorit alentavat paineita katkokohdan ja keston mukaan.

## 7.1 Järjestelmän nykytila

Kartonkikone 3:n höyry- ja lauhdejärjestelmän ajamisen tekee haastavaksi koneella tuotettava laaja neliömassa-alue sekä siitä johtuvat tiheet lajinvaihdot. Haasteita lisää Simcote- ja Simwhite-lajien erilaisuus päällystyksen osalta, jolloin käyryyden hallinta muuttuu täysin siirryttäessä taustaltaan päällystämättömästä lajista päällystettyyn. Käytännössä tämä tarkoittaa, että höyryryhmissä 4, 6 ja 7 joudutaan vaihtamaan ala- ja yläsylinterien välillä vallitseva paine-ero päinvastaiseksi, jolloin Simcote-lajilla yläsylinterien korkeampi paine vaihtuu Simwhitella alasynterejä matalampaan paineeseen. Nämä muutokset vaikeuttavat optimaalista läpipuhallushöyryn käyttöä, koska ryhmien välillä ei voida ylläpitää tarvittavaa paine-eroa, jota tarvitaan kaskadin muodostamiseen. Erityisesti käyryyden hallinta mutkistaa tilannetta, koska paine-eroa ala- ja yläsylinterien

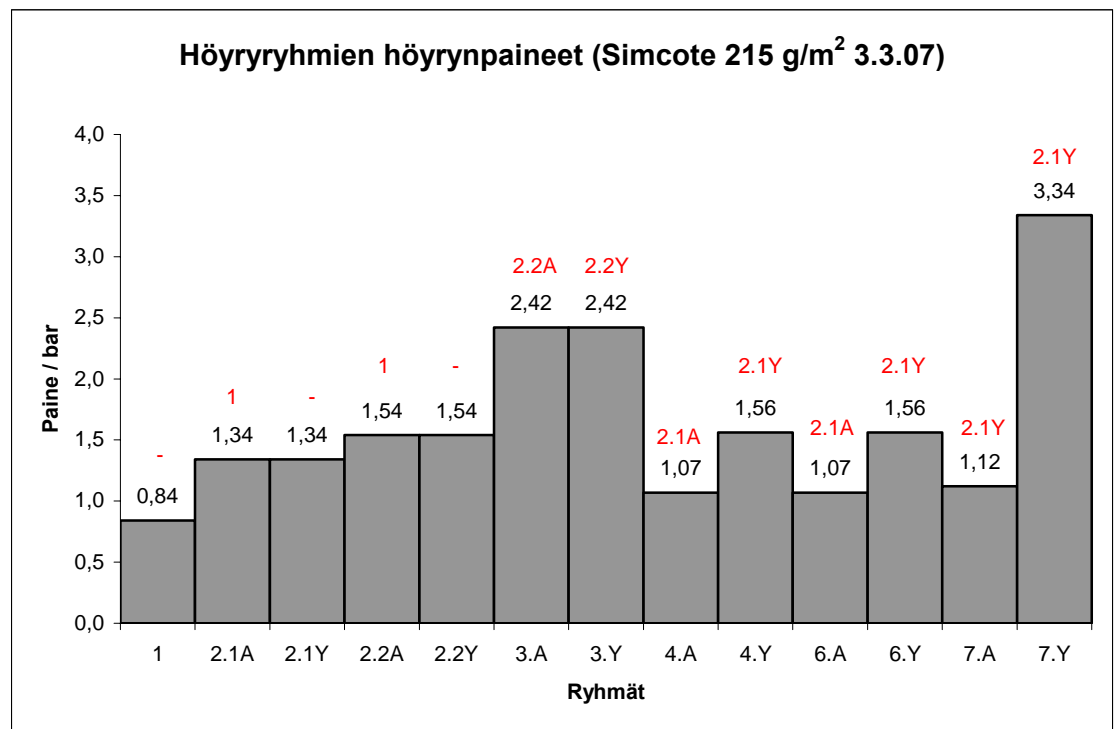
välillä pitää kasvattaa. Tällöin niistä toisen paine saattaa laskea alemmaksi, kuin kaskadikytkentä edellyttää.

Paine-erot höyry- ja lauhdetukin välillä ovat lähes kaikissa höyryryhmissä n. 0,21 bar hieman ajotilanteesta riippuen. Tätä voidaan pitää hyvänä tasona ja se takaa, että läpipuhallushöyryä ei ajeta ylimäärin pintalauhduttimelle. Myös katkojen paine-erot on pystytty alentamaan kautta linjan n. 0,15 bar tasolle, jota voidaan pitää hyvänä. Tällöin katkoissa ei lauhtumisen alenemisen johdosta ohjata liikaa höyryä suoraan pintalauhduttimella, vaan energiatalous säilyy hyvänä myös katkojen aikana.

## **7.2 Nopeus- ja kuivatusrajoitteisen lajin vertailu**

Jotta nähdään höyry- ja lauhdejärjestelmän ajotapojen vaihtelu sekä niiden vaikutus läpipuhallushöyryn käyttöön, on hyvä tehdä vertailua eri lajien kesken. Seuraavassa verrataan toisiinsa nopeusrajoitteista ja kuivatusrajoitteista lajia sekä Simcote- ja Simwhite-lajia näiden lajien välillä olevien ajotapaerojen selvittämiseksi.

Kuvassa 11 on esitetty nopeusrajoitteisen lajin Simcote 215 g/m<sup>2</sup> eri höyryryhmien höyrynpaineet. Kuvassa punaisella esitetyt numerot kertovat, mihin ryhmään kunkin ryhmän läpipuhallushöyry ohjataan. Jos numeron paikalla on viiva, se tarkoittaa, että ryhmästä ei ohjata läpipuhallushöyryä muihin ryhmiin.



**Kuva 11** Höyrinpaineiden vaihtelut höyryryhmien välillä nopeusrajoitteisella lajilla

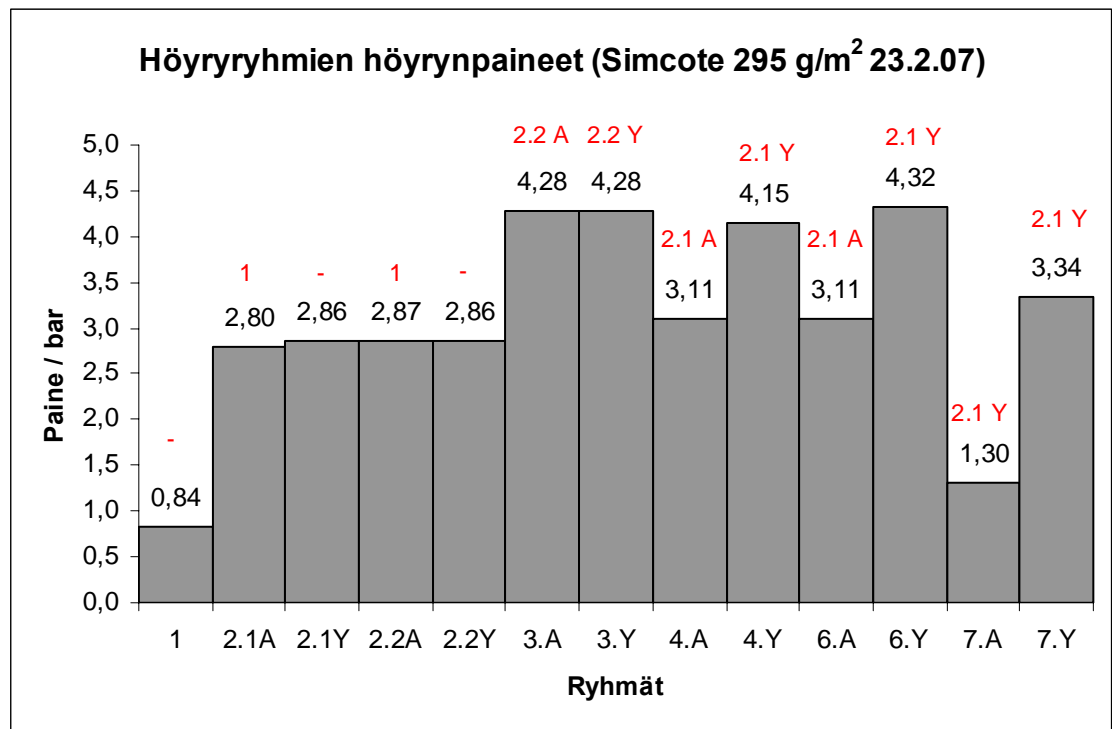
Kuvasta 11 voidaan havaita, että alkukuivatusosalla ryhmissä 1, 2.1, 2.2 ja 3 ei ole eroa ala- ja yläsylinterien höyrinpaineissa. Eroa alkaa syntyä vasta ryhmissä 4, 6 ja 7, joissa paine-erolla hallitaan käyryyttä. Koska kyseessä on Simcote-laji, jota ei päällystetä taustapuolelta, pidetään yläsylintereissä korkeampaa höyrinpainetta. Näin kartongin pintapuoli kohtaa kuumemman sylinterin ja kartonki käyristyy taustaa kohden. Kun pintapuoli päällystetään kahdesti, on lopputuloksena oiennut kartonki. Koska kyseessä on alhainen neliömassa, ei paine-eron ala- ja yläsylinterien välillä tarvitse olla suuri. Höyryryhmä 7 sylinterien välillä on suurempi ero, koska ryhmä käsittää vain neljä sylinteriä, jolloin muutoksen aikaansaaminen käyryyteen edellyttää suurempaa paine-eroa.

Kaskadikytkennän kannalta tilanne ei ole toivottava, sillä höyryryhmien 4 ja 6 ylempienkin sylinterien paine on niin alhainen, että niiden läpipuhallushöyryä ei juuri voida käyttää alemmissä höyryryhmissä. Esimerkkinä voidaan ottaa ryhmä 4.Y, jonka höyrinpaine on 1,56 bar ja paine-ero höyry- ja lauhdetukin välillä 0,30 bar. Tämä tarkoittaa, että läpipuhallushöyryn paine on 1,26 bar (1,56 bar - 0,30 bar), josta pitää vielä vähentää putkiston aiheuttama painehäviö n. 0,15 bar. Tällöin päästään n. 1,11 bar paineeseen, jota ryhmän 2.1Y pitäisi hyödyntää. Tämä ei kuitenkaan onnistu, koska ryhmässä on 1,34 bar paine, jotta kartongin riittävästä

kuivumisesta voidaan huolehtia. Tämän takia on läpipuhallushöyry ohjattava pintalauhduttimelle, mikä heikentää energiataloutta. Höyryryhmä 3:n höyrynpaine on yleensä, niin kuin tässäkin tapauksessa, riittävän korkea, jotta sen läpipuhallushöyryä voidaan käyttää 2.2 ryhmässä. Myöskään ryhmien 2.1A ja 2.2A läpipuhallushöyryn ohjaamisessa 1. ryhmälle ei ole ongelmia, eikä 1. ryhmässä tarvitsekaan normaalisti käyttää lainkaan tuorehöyryä.

Kuvassa 11 esitetty tilanne on hyvin tyypillinen alhaisen neliömassan lajeille, joille riittää alhaisempi höyrynpaine. Tällöin myöskään käyryyttä säätävillä höyryryhmillä ei tarvitse pitää korkeaa höyrynpainetta, jolloin läpipuhallushöyryä ei voida käyttää hyväksi kaskadin avulla.

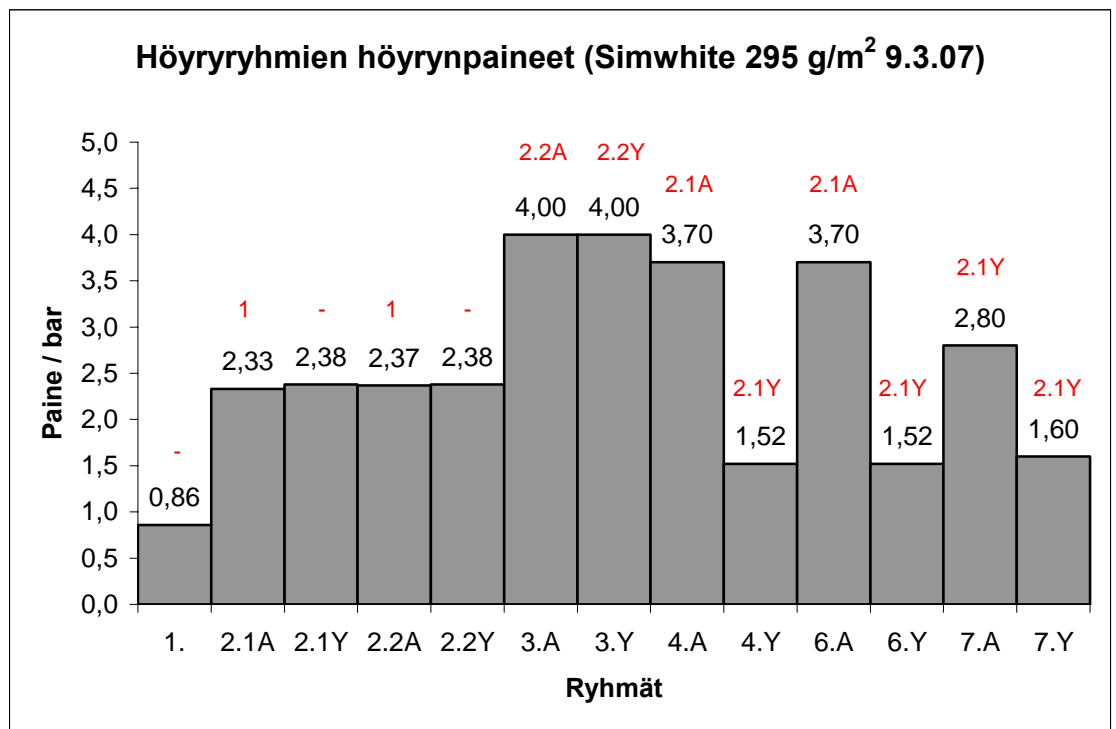
Tilanne muuttuu höyrynpaineiden osalta melkoisesti, kun siirytään korkeampaan neliömassaan. Kuvassa 12 on esitetty kuivatusrajoitteisen lajin Simcote 295 g/m<sup>2</sup> höyryryhmien höyrynpaineet. Niissä voidaan huomata selvää kasvua Simcote 215 g/m<sup>2</sup> -lajiin verrattuna. Ainoastaan höyryryhmän 1 paine on sama kummassakin. Se johtuu siitä, että rainan lämmitys tulee aloittaa maltillisesti alhaisella höyrynpaineella, jotta vältetään rainan negatiivisilta muutoksilta. Myös käyryyttä säätävien ryhmien ala- ja yläsylinterien välisen paine-eron tulee olla suurempi kasvaneen neliömassan takia.



**Kuva 12** Kuivatusrajoitteisen lajin höyrynpaineiden vaihtelut eri höyryryhmissä

Kaskadikytkennän kannalta tilanne on parempi, sillä ryhmissä 4 ja 6 on suuremmat höyrynpaineet kuin ryhmässä 2.1. Erityisen helppoa kaskadin muodostaminen on yläsylinteriryhmien kanssa, joiden paineet ovat selvästi korkeammalla kuin 2.1Y ryhmän. Alasynteriryhmien paineet ovat melko lähellä 2.1A ryhmää ja tämä vaikeuttaa läpipuhallushöyryn käyttöä, mutta tilanne ei ole läheskään yhtä huono kuin nopeusrajoitteisilla lajeilla.

Täysin toisenlainen tilanne vallitsee samalla neliömassalla, mutta Simwhite-lajilla, joka vaatii suuremman paine-eron ala- ja yläsylinterien välillä riittävän käyryyden aikaansaamiseksi (kuva 13). Ala- ja yläsylinterien paineet ovat myös päinvastaisesti kuin Simcote-lajilla. Nyt kartongin tausta kohtaa sylinterien kuumemman puolen, jolloin käyristyminen tapahtuu päinvastaiseen suuntaan. Tämä on tarpeen, koska myös taustapuoli päällystetään.



**Kuva 13** Höyryryhmien höyrinpaineet Simwhite 295 g/m<sup>2</sup> -lajilla

Kaskadikytkennän kannalta tilanne on huomattavasti heikompi kuin Simcote-lajilla, koska 4. ja 6. höyryryhmän yläsylinterien paineet ovat huomattavasti alemmat kuin 2.1Y ryhmän. Alasyliinterien osalta tilanne on tosin paljon parempi.

### 7.3 Höyryryhmä 7:n vaikutus käyryden säätöön

Kartonkikoneen uusinnan jälkeen ei ole ollut täyttä varmuutta siitä, kuinka paljon höyryryhmä 7:llä voidaan vaikuttaa kartongin käyryyteen. Ryhmään kuuluu ainoastaan neljä sylinteriä, joista kahdessa alimmaisessa ei ole kuivatusviiraa. Ryhmän vaikutus käyryyteen haluttiin selvittää, jotta nähdään voiko ryhmän ajotapaa muuttamalla vaikuttaa aikaisempien höyryryhmien höyrinpaineisiin. Tällöin voitaisiin vähentää esim. höyryryhmä 4:n käyryyssäätöä, jolloin sen läpipuhallushöyryn käyttö helpottuisi, koska ala- ja yläsylinterien välillä ei tarvitsisi pitää niin korkeaa paine-eroa.

Asiaa tutkittiin muuttelemalla höyrinpaineita ryhmissä 4 ja 7 sekä ottamalla poikkiratanäytteet konerullista. Koeajo suoritettiin 11.4.07, kun ajo-ohjelmassa oli Simcote 280 g/m<sup>2</sup> -lajin pidempi yhtämittäinen ajo, jotta muiden käyryyteen vaikuttavien tekijöiden vaikutus olisi mahdollisimman vähäinen. Ensimmäiseksi höyryryhmä 7:n ala- ja yläsylinterien välinen paine-ero kasvatettiin suurimmilleen,

jotta nähtiin millainen vaikutus ryhmällä on käyryyteen. Konerullasta otetusta poikkiratanäytteestä nähtiin, että ryhmällä oli jonkinlainen, ei kuitenkaan kovin merkittävä vaikutus käyryyteen.

Tämän jälkeen ryhmän paineita pudotettiin niin, että ala- ja yläsylinterien välinen paine-ero supistui huomattavasti. Konerullasta otetusta poikkiratanäytteestä voitiin päätellä, että tällä ei ollut juuri lainkaan vaikutusta alkuperäiseen käyryyteen nähden.

Seuraavaksi koetta jatkettiin nostamalla höyryryhmä 7:n sylinterien paine-ero samalle tasolle kuin ensimmäisessä kokeessa, mutta samaan aikaan nostettiin myös höyryryhmä 4:n alasynterien painetta 0,5 bar. Tämän seurauksena 4. ryhmän ala- ja yläsylinterien välinen paine-ero supistui, mikä samalla merkitsi myös 4. ryhmän käyryyssäädön heikkenemistä. Konerullasta otetusta poikkiratanäytteestä nähtiin, että käyryys oli kuitenkin säilynyt sopivalla tasolla. Höyryryhmä 4:n paine-eron kaventumista oli siis pystytty tasapainottamaan ryhmä 7:n paine-eron nostolla.

Koeajo osoittaa, että 7. ryhmällä voidaan vaikuttaa käyryyteen jonkin verran niin, että aikaisempien ryhmien käyryyssäätöä voidaan alentaa. Tämä ei kuitenkaan päde Simwhite-lajille, jonka käyryyssäätö tapahtuu päinvastaiseen suuntaan kuin Simcote-lajilla. Lisäksi 7. ryhmän alasyntereillä ei ole kuivatusviiraa, mikä heikentää niiden mahdollisuuksia käyryyssäätöön.

Paineen nouseminen 4. ryhmän alasyntereillä nostaa painetta myös lauhdesäiliö 6:ssä. Tämä säiliö on yhteinen 6. ryhmän alasynterien kanssa ja paineen nousu säiliössä heikentää näiden alasynterien paine-eron hallintaa, koska paine lauhdesäiliössä saattaa nousta lähes alasynterien paineen tasolle. Tämä tulee huomioida, kun 4. ryhmän alasynterien painetta nostetaan.

Ryhmien 6 ja 4 lauhteiden ohjaaminen samaan säiliöön merkitsee myös, että 4. ryhmän alasynterien paineen nousu ei suoraan tarkoita kaskadikytkennän paranemista, koska 6. ryhmän alempien paineiden johtaminen samaan lauhdesäiliöön alentaa yhteistä läpipuhallushöyryn painetta. Siksi olisikin tärkeää, että 4. ryhmän paineita nostettaessa huolehdittaisiin samalla, että 2.1 ryhmän alasynterien paine olisi hieman alempana kuin lauhdesäiliöstä 6 saatava



läpipuhallushöyry. Tällä olisi myös rainan kosteutta tasapainottava vaikutus, kun 4. ryhmän alasynterien paine kasvaisi ja 2.1 ryhmän laskisi.

#### 7.4 Parannusehdotukset ja ajotapamuutokset

Tärkeimpiä asioita, joihin kuivatusosan toiminnassa höyry- ja lauhdejärjestelmän osalta tulee kiinnittää huomiota, ovat paine-erojen suuruus niin höyry- ja lauhdetukin välillä kuin eri höyryryhmienkin välillä, jotta läpipuhallushöyryä voidaan tehokkaasti hyväksikäyttää. Höyry- ja lauhdetukin paine-erojen tulisi olla lähempänä 0,20 bar, johon tällä hetkellä jo päästään.

Höyryryhmien välisissä paine-eroissa on tärkeintä huolehtia höyryryhmien 4 ja 6 paineista, jotta niiden läpipuhallushöyryä voidaan käyttää 2.1 höyryryhmässä. Paras tilanne olisi, jos höyryryhmien 4 ja 6 ala- ja yläsyntereillä voitaisiin kummassakin pitää ainakin hieman korkeampaa painetta kuin 2.1 ryhmässä. Tulee kuitenkin huomioida, että etenkin alhaisimmilla neliömassoilla ja Simwhite-lajilla tämä on harvoin mahdollista, koska käyryydensäättö voi vaatia suurempien paine-erojen käyttämistä kuin optimaalisen kaskadikytkennän saavuttaminen edellyttäisi. Höyryryhmien 2.1, 2.2 ja 3 höyrynpaineet ovat aina korkeammat kuin niiden kanssa kaskadikytkennässä olevien edeltävien ryhmien, joten niiden höyrynpaineista ei tämän takia tarvitse erikseen huolehtia.

Höyryryhmällä 7 tehdyn koeajon perusteella voidaan osittain helpottaa läpipuhallushöyryn käyttöä Simcote-lajilla. Tilanteessa, jossa 4. ja 6. ryhmän alasynterien paineet ovat alemmalla tasolla kuin 2.1 ryhmän, voidaan 7. ryhmän paine-eroa ala- ja yläsynterien välillä kasvattaa, jolloin ryhmän käyryyssäättö tehostuu. Tämä mahdollistaa 4. ryhmän alasynterien paineen nostamisen ilman, että käyryys kehittyy ei-haluttuun suuntaan. Kun 4. ryhmän alasyntereiden paineita on nostettu, voidaan alentaa 2.1 ryhmän painetta ilman, että kuivatuskapasiteetti alenee. Yleensä riittää, että paineiden nostot ja laskut ovat melko pieniä, sillä 4. ja 6. ryhmän alasynterien paineet ovat melko lähellä 2.1 ryhmän alasynterien paineita.

Toiseksi mahdollisuudeksi käyryydensäädön helpottamiseksi on esiin noussut pintaliimamäärien sovittaminen erilaisiksi Simcote- ja Simwhite-lajeille. Simcote-lajilla voitaisiin esim. ajaa enemmän pintaliimaa kartongin taustapuolelle kuin

pintapuolelle, jolloin kartongin käyristämiseen ei tarvittaisi niin suurta paine-eroa ala- ja yläsylinterien välillä kuin nykyään. Tämä helpottaisi käyryyden hallintaa sekä mahdollistaisi paremman kaskadikytkennän. Järjestely voitaisiin toteuttaa vaihtamalla pintaliiman annostelusauva siirryttäessä lajista toiseen.

Voi olla myös tarpeen lisätä esim. kuvan 13 kaltainen näyttö prosessinohjausjärjestelmään, jotta operaattorit saavat kulloinkin selkeän kuvan siitä, kuinka kaskadikytkentä höyryryhmien välillä toimii ja miten siihen tulisi puuttua.

## **7.5 Katkotilanteiden ajotapa**

Katkoissa rainan sylintereitä jäähdyttävä vaikutus puuttuu, ja näin lauhtuminen sylintereissä heikkenee. Jos paine-eroja ei alenneta, johtaa tämä kasvaneeseen läpipuhallukseen ja huonoon energiatalouteen. Nykyisellään katkoissa alennetaankin automaattisesti höyryryhmien paine-eroa höyry- ja lauhtetukin välillä. Katkopaine-erot ovat n. 0,15 bar ja sitä voidaan pitää hyvänä tasona.

Itse sylinterien höyrynpaineiden alentaminen katkoissa ei ole välttämätöntä, koska tällä ei ole juuri lainkaan vaikutusta energiatalouteen. Yleensä paineiden pudottamisella tähdätään päänviennin helpottamiseen, jotta raina ei kuivu liikaa. Kartonkikoneella tällaisia ongelmia ei kuitenkaan esiinny, joten paineen alentaminen siitä syystä ei ole tarpeellista. Mikäli tällaista katkoautomaatiikka halutaan kehittää, voidaan hyvänä nyrkkisääntönä pitää 60 %:a katkoa edeltävää painetasosta. Katkoissa ei tule tavoitella samaa sylinterien pintalämpötilaa kuin normaalissa tuotannossa, koska tällöin, kun rata saadaan päälle, jäähtyvät sylinterit alempaan lämpötilaan, jolloin katkoista toipuminen vie kauemmin.

## **8 MUITA KEHITYSKOhteita ENERGIAN KÄYTÖN TEHOSTAMISEKSI**

### **8.1 Hiomon hönkähöyryn ja jäteveden lämmön talteenotto**

Hiomossa sijaitsee kuusi ketjuhiomakonetta, jotka tuottavat hioketta kartonkikoneen tarpeisiin. Hiomisen yhteydessä höyrystynyt vesi kulkeutuu

hiomakoneiden yläosaan, josta se kerätään höngänpoistokanavistoon. Kanavistot eivät ole erityisen hyvässä kunnossa, ja ne vuotavatkin hönkää täyttöpesien ympäristöön.

Kuuden hiomakoneen höngät kootaan yhteen ja höngällä lämmitetään hiomon tuuletusilmaa. Tällä tavalla hyödynnettynä on lämmön talteenotto mitätöntä, koska ilmanvaihtokennosto on huonossa kunnossa. Itse asiassa koko hiomon ilmastoinnissa olisi paljon parannettavaa, ja talvisin tilat pysyvätkin lämpimänä hiontaprosessista vapautuvan lämmön ansiosta. Pääosa höngän lämpövirrasta puhalletaan ulos ilman hyödyntämistä.

Hönkää voitaisiin hyödyntää esim. lämmittämällä kuorimolle tulevaa jätevedenpuhdistamon jälkiselkeyttimen vettä, jolloin kartonkikoneen rungon kiertovesisäiliön vettä ei tarvittaisi juurikaan. Kuorimo käyttää mieluiten juuri kiertovesisäiliön vettä sen korkeamman lämpötilan takia. Lämmintä vettä käytetään kuorimolla talvisin, koska sillä helpotetaan kuoren irtoamista jäisistä puista kuorimarummussa.

Toinen hiomon osin hyödyntämätön lämpöenergian lähde on hiomon jätevesi. Tällä hetkellä sen avulla lämmitetään kahdella lämmönvaihtimella mm. valkaisutornin laimennusvettä, mutta näiden kahden yksikönkin jälkeen jätevesi sisältää huomattavan lämpöenergiämäärän. Lämmönvaihdinten jälkeinen jätevesivirtaus vaihtelee 1600...2000 l/min ja sen lämpötila on n. 50 °C. Tätä lämpöä voitaisiin käyttää esim. kartonkikoneen 0-veden lämmittämiseen, jolloin mm. lyhyen kierron lämpötila nousisi. Tämä parantaa vedenpoistoa ja lisää aineiden liukoisuutta, jolloin esim. saostumista johtuvat ongelmat vähenisivät. Myöskään jätevedenpuhdistamon toiminta ei häiriinny, vaikka hiomon jäteveden lämpötila alenisi. Sillä saattaisi päinvastoin olla positiivinen vaikutus, koska nykyisellään jätevettä joudutaan kesäaikaan jäähdyttämään korkean lämpötilan takia.

## **8.2 Lämmönvaihtimien lauhde- ja pesuvesien hyväksikäyttö**

Nykyisellään LTO 1:n, 2:n, 3:n ja 5:n lauhde- ja pesuvedet kerätään yhteen ja johdetaan nokkakyyppiin. Virtauksen lämpötila on n. 54,1 °C. LTO 4:n lauhde- ja pesuvedet sen sijaan johdetaan kanaaliin, mutta niiden osuus on melko vähäinen

siksi, että LTO 4 sisältää ainoastaan ilma/ilma-lämmönvaihtimen, jossa ei tapahdu merkittävästi lauhtumista. Jos LTO 4:n rakennetta tulevaisuudessa muutetaan sisältämään ilma/vesi-kenno, on myös sen lauhde- ja pesuvedet hyvä kerätä talteen.

Nykyisin talteen kerättävien lauhde- ja pesuvesien ohjaaminen nokkakyyppeihin ja sitä kautta rungon kierto-vesijärjestelmään ei välttämättä ole paras mahdollinen ratkaisu. Tällä saadaan kyllä vesien sisältämä energia talteen, mutta raakaveden käyttöä ratkaisulla ei vähennetä. Parempi tapa olisi ohjata lämmin vesi sihtauksen kautta lämminvesisäiliöön, jolloin myös raakaveden tarve pieneneisi. Toinen vaihtoehto on ohjata vedet esim. pinnan kierto-vesijärjestelmään, joka tarvitsee raakavesitäydennystä. Myös tällöin lauhde- ja pesuvesillä olisi raakavedenottoa vähentävä vaikutus.

### **8.3 Pastakeittiön vedenoton muuttaminen**

Kartonkikoneen pastakeittiöllä valmistetaan päällystyspasta sekä massa- ja pintatärkki. Näiden valmistukseen käytettävä vesi otetaan nykyisin raakavesilinjasta, jolloin veden lämpötila on alhainen. Kuitenkin päällystyspastan sekä massa- ja pintatärkin valmistuksessa vesimassaseos kuumennetaan tiettyyn tavoitelämpötilaan. Jos pastakeittiön vedenotto tapahtuisi lämminvesisäiliöstä, olisi seoksen lämpötila ennen kuumennusta korkeampi ja näin tavoitelämpötila saavutettaisiin pienemmällä energiamäärällä.

Lämminvesisäiliössä riittää kapasiteettia pastakeittiön tarpeen tyydyttämiseksi, sillä LTO-yksiköiden ilma/vesi-lämmönvaihtimet mahdollistavat nykyistä suuremmat virtaukset. Pastakeittiölle otettavan veden tulee kuitenkin olla alle 50 °C, koska tärkkelyksen viskositeetti kasvaa esilieton aikana, mikäli lämpötila ylittyy. Tämän ei kuitenkaan tulisi olla ongelma, sillä lämminvesisäiliön asetustemperatuurilämpötila on 45 °C. Lisäksi siirtoputkistossa tapahtuu lämpöhäviötä. Korkeampi lämpötila muodostaisi bakteereille sopivamman kasvualustan, mutta tästä ei todennäköisesti koituisi mitään ongelmaa.

## 9 PROSESSINOHJAUSJÄRJESTELMÄN PUUTTEET JA UUDISTUKSET

### 9.1 Järjestelmässä havaitut virheellisyydet

Prosessinohjausjärjestelmässä havaittiin opinnäytetyön tekemisen yhteydessä virheellisyyksiä mittaustiedossa, prosessin graafisessa kuvauksessa sekä toimintalogiikassa. Nämä virheellisyydet johtuvat rikkoutuneista tai väärin sijoitetuista mittalaitteista ja uudistusten yhteydessä tehdyistä prosessi- ja kytkentämuutoksista. Virheiden takia järjestelmän käytettävyys heikkenee. Liitteessä 5 on kuvia prosessinohjausjärjestelmän näytöistä, joihin on numeroilla merkitty virheelliset kohdat. Seuraavassa listassa olevilla numeroilla viitataan liitteen 5 kuviin.

- 1 Taskutuuletukseen ei enää oteta ilmaa LTO 2:n ilma/ilma-kennon kautta vaan suoraan konetasolta. Lisäksi kuvakkeen yhteydessä on jäänteinä lämpötilaosoitin, joka näyttää -189 °C.
- 2 Poistoilmapuhaltimien säätöpeltien asennot eivät pidä paikkaansa ja LTO 1:n kohdalla lukemana on -4 %. Näiden peltien tarkoitus on kuristaa ilmavirtausta tarpeen mukaan, mutta niiden asennoista ei ole tarkkaa tietoa, joten ei tiedetä kuinka paljon ne tarpeettomasti kuristavat poistopuhaltimien ilmavirtausta.
- 3 Myöskään raitisilmapeltien todelliset asennot eivät vastaa prosessinohjausjärjestelmän näyttämää arvoa. Peltien ja niitä liikuttelevien toimilaitteiden kunto on paikoin todella heikko ja ne kaipaavatkin uudistusta.
- 4 Huuvan poistoilman lämpötilat eivät pidä paikkaansa joidenkin LTO-yksiköiden osalta. Myöskään lämmönvaihdivien jälkeisiin lämpötiloihin ei voi luottaa. Virheelliset lämpötilat johtuvat rikkoutuneista tai virheellisesti sijoitetuista antureista. Oikeiden lämpötilojen tietäminen auttaisi lämmön talteenoton tehokkuuden arvioinnissa.

- 5 UIL 52 puhallinta ei enää ole.
- 6 Viiralenkkituuletuksen ottoilma otetaan annostelutasolta eikä LTO 3:n ilma/ilma-lämmönvaihtimen kautta.
- 7 Jenkkisynterinin lämmön talteenottoyksikköä ei enää ole. Selvyyden lisäämiseksi tulisi paikalle piirtää nykyinen LTO 5 yksikkö, jonka tiedot löytyvät tällä hetkellä erilliseltä välilehdeltä. Prosessipiirroksen päivittäminen selkeyttäisi myös nykyistä LTO 3:n, 4:n ja 5:n välistä yhteyttä.
- 8 Valitsemalla kaasukuivain 2 -painikkeen ei pääse kyseiseen valikkoon vaan ohjautuu virheellisesti infra 5 -valikkoon.
- 9 LTO 5:n kirkassuodosta lämmittävän lämmönvaihtimen osoitin näyttää virheellistä 111 °C lämpötilaa kennon läpikulkeneelle suodokselle.
- 10 Kuva näyttää virheellisesti, että lämmön talteenottoyksiköistä ohjautuisi lauhde- ja pesuvedet sihdin kautta lämminvesisäiliöön. Todellisuudessa osa vesistä ohjautuu kanaaliin ja osa sihtaamatta nokkakyypiin.
- 11 Pistepuhallinta UIL 19 ei enää ole.
- 12 Verhopuhallinta ei enää ole.

Edellä mainittujen virheiden lisäksi tulisi huomiota kiinnittää eri kuvakkeiden sijoitteluun niin, että samaan kokonaisuuteen kuuluvat kohteet olisivat peräkkäisillä sivuilla. Nyt esim. taskutuuletusta kuvaava sivu on sijoitettu erilleen muusta ilmastoinnista, kun taas viiralenkkituuletus on mainittu ilmastoinnin yhteydessä.

## 9.2 Energiatehokkuuden mittarit

Opinnäytetyön tekemisen aikana on muodostunut selkeä käsitys siitä, että operaattoreilla ei ole riittävää kuvaa, miten kuivatusosan tai lämmön talteenoton tehokkuus vaihtelee eri hetkinä. Tämän takia asiaan ei kiinnitetä huomiota eikä sitä koeta merkitykselliseksi. Koska on tärkeää, että operaattorit ovat tietoisia prosessin kulloisestakin tilanteesta ja mahdollisuuksiensa mukaan pyrkivät muuttamaan tilannetta suotuisampaan suuntaan, on prosessinohjausjärjestelmään hyvä kehittää energiatehokkuutta kuvaavia mittareita. Seuraavassa esitellään ideoita tällaisiksi mittareiksi.

### 9.2.1 Pintalauhduttimen teho ja höyryvirta

Parhaat indikaattorit höyry- ja lauhdejärjestelmän energiataloudellisesta toiminnasta ovat pintalauhduttimen teho ja höyryvirta. Jos teho kasvaa suureksi, se kertoo suuresta läpipuhallushöyrymäärästä, jota ei voida käyttää hyväksi alemman paineen höyryryhmissä. Tämä johtaa tarpeettoman suureen höyrynkulutukseen ja kustannusten nousuun. Siksi Alcontiin tulisi lisätä osoitin, joka kertoo pintalauhduttimen kuorman ja höyryvirran. Tällaisen osoittimen avulla voitaisiin helposti tarkastaa järjestelmän tila ja seurata sen kehitystä eri lajeilla ja nopeuksilla. Osoitin antaisi myös operaattoreille mahdollisuuden tarkastella höyry- ja lauhdejärjestelmän ajotapaa ja puuttua siihen pintalauhduttimen kuorman kasvaessa.

Pintalauhduttimen teho voidaan laskea seuraavasti:

$$Q = 4,19 \cdot q_m \Delta t, \quad (1)$$

missä 4,19 on veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C),  $q_m$  on veden massavirta ja  $\Delta t$  on veden lämpötilan muutos. Tällä hetkellä tiedossa on jo raakaveden lämpötilan muutos, mutta massavirran saamiseksi täytyy pintalauhdutin varustaa raakaveden virtausmittarilla.

Pintalauhduttimen höyryvirtaus (kg/s) voidaan puolestaan laskea seuraavasti:

$$m_h = \frac{Q}{2250}, \quad (2)$$

missä  $Q$  on edellä laskettu pintalauhduttimen teho ja 2250 (kJ/kg) on höyryn lauhtumislämpö, joka todellisuudessa on paineen funktio, mutta tässä voidaan käyttää riittävällä tarkkuudella yksittäistä arvoa /7/.

### 9.2.2 Lämmön talteenoton tehokkuus

Jotta lämmön talteenoton toiminnasta ja tehokkuudesta saataisiin muodostettua selkeä kuva, on Alcontiin hyvä lisätä lämmön talteenoton tehoa kuvaava mittari. Kaikkien ilma/vesi-lämmönvaihtimien paitsi LTO 5:n vesi/glykoli-kennon tehon seuranta voidaan toteuttaa ilman uusien mittalaitteita hankkimista. LTO 5:n osalta ongelmaksi muodostuu vesi/glykoli-seoksen lämpötila ennen ilma/vesi-kennoa, koska sitä ei tällä hetkellä erikseen mitata.

Haluttaessa seurata myös ilma/ilma-lämmönvaihtimien lämmön talteenoton tehokkuutta, tulee niiden yhteyteen asentaa erilliset lämpötila-, kosteus- ja massavirtamittarit, jotta saadaan selville huuven poistoilmassa tapahtuva entalpian muutos. Näiden mittareiden avulla voidaan laskea suoraan myös koko lämmön talteenottoyksikön teho ja hyötysuhde.

Ilma/vesi-lämmönvaihdinten teho voidaan laskea, kun tiedetään lämmönvaihtimen läpi virtaavan nesteen massavirta ja lämpötilan muutos. Lämpöteho voidaan laskea kaavan 1 avulla. LTO-yksiköissä 1, 2 ja 3 lämmitetään raakavettä, joten niiden tehon laskenta on helppoa, koska ominaislämpökapasiteettina voidaan käyttää arvoa 4,19 kJ/kg°C. LTO 1:n tapauksessa voidaan kahta rinnan kytkettyä kennoa käsitellä yhtenä yksikkönä.

Hyvänä osoittimena LTO-järjestelmien toimivuudesta voidaan myös pitää lämpötilassa tapahtuvaa pudotusta, joka huuven poistoilmassa tapahtuu sen kulkiessa eri lämmön talteenottokennostojen lävitse. Poistoilmakanavistoissa on nykyisellään lämpömittarit ennen LTO-kennoja ja niiden jälkeen, mutta valitettavasti kaikki niistä eivät toimi. Vaihdamalla nämä mittarit uusiksi voidaan



tarkkailla lämpötilassa tapahtuvaa pudotusta eri vuodenaikoina, eri tuotantomäärillä ja eri lajeilla. Lämpötiloista voidaan luoda selkeät osoittimet jokaiselle LTO-yksikölle, ja yhdessä lämpötehon kanssa niitä voidaan käyttää lämmön talteenoton tehokkuuden tarkkailuun.

## 10 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia ilmastoinnin, kuivatusosan lämmön talteenoton sekä höyry- ja lauhdejärjestelmän tehokkuutta niiden toiminnan optimoimiseksi. Lisäksi tarkoituksena oli tunnistaa kehityskohteita lämpötalouden parantamiseksi ja prosessinohjausjärjestelmän uudistamiseksi.

Konesalin ja vanhan arkkisalin ilmastoinnin todettiin toimivan pääosin hyvin ja vastaavan sille asetettuihin vaatimuksiin. Kokonaisuutta tarkasteltaessa huomattiin kuitenkin, että ilmastointia voidaan tehostaa nykyisestään. Kartonkitehtaan välikaton ja I-kellarin tuuletusilman lämpötilaa voidaan laskea sekä Siika-projektin aikana ilmastointiin tehtyjen muutosten vaikutuksesta voidaan myös osa välikaton ilmastoinnista karsia pois. Tällaisia kohteita ovat osa lämmön talteenottotiloista välikattoon puhaltavista tuulettimista, joiden kapasiteetti on melko alhainen uusiin tuulettimiin verrattuna. Myös seisokkien aikaisessa ilmastoinnissa huomattiin osin päällekkäisyyksiä, joita voidaan purkaa pitämällä vain tarvittavat puhaltimet päällä.

Kuivatusosan ilmastoinnissa havaittiin joitakin puutteita ja kehityskohteita. Määritettäessä esikuivatusosan ilmatase huomattiin, että korvausilmamäärää tulisi nostaa. Tällä olisi suotuinen vaikutus huuvan energiatalouteen, samoin kuin korvausilman lämpötilan nostamisella ennen höyrylämmitystä. Tärkeää olisi myös saada tarkkaa mittaustietoa siitä, kuinka huuvan poistoilman kosteustasot vaihtelevat, jotta voitaisiin arvioida ilmastoinnin riittävyyttä koko neliömassa-alueella. Huuvan tiiviydestä huolehtimalla voidaan saada parannusta nykyiseen 0-tasoon ja samalla alennetaan vuotoilman määrää.

Kuivatusosan poistoilman lämmön talteenoton tehoa voidaan nykyisestään kasvattaa lisäämällä lämmön talteenottotorni 4:ään ilma/vesi-lämmönvaihdin. Tällä hetkellä tornissa on vain ilma/ilma-lämmönvaihdin, jonka teho on vähäinen

vesikennoon nähden. Potentiaalisin lämmönsiirron kohde uudelle kennolle olisi vesi/glykoli-seos, jonka nykyistä kiertoa voitaisiin laajentaa kattamaan uusia lämmityskohteita. Myös LTO 5:n kirkassuodosta lämmittävän ilma/vesi-lämmönvaihtimen putkistoinnin muutoksella voidaan parantaa lämmön talteenottoa. Ilma/ilma-lämmönvaihtinten tehostamiseksi on niiden kunnossapitoa parannettava sekä niihin liittyvää tuuletusjärjestelmää toimilaitteiden ja toimintalogiikan osalta uusittava. Nämä toimenpiteet mahdollistavat höyrynkulutuksen alentamisen.

Höyry- ja lauhdejärjestelmän haasteena on läpipuhallushöyryjen vähentäminen paine-eroista huolehtimalla ja kaskadikytkennän edellytyksiä parantamalla. Tällä hetkellä paine-erot höyry- ja lauhdetukin välillä ovat hyvät niin tuotannon aikana kuin katkoissakin. Höyryryhmien välisten paine-erojen ylläpitämiseksi voidaan höyryryhmä 7:n paine-eroa kasvattaa, jolloin käyryydensäädöstä aiheutuvat ala- ja yläsylinterien paine-erot tasoittuvat ja läpipuhallushöyryyn käyttö helpottuu. Tämän lisäksi voidaan harkita muutoksia eri lajien pintaliimamäärissä, jolloin sylinterien käyryyssäätö ei vaadi yhtä suurta paine-eroa.

Energiataloutta voidaan lisäksi parantaa hyväksikäyttämällä hiomossa syntyvää lämpöenergiaa erilaisiin tarkoituksiin. Lisäksi lämmönvaihtimien lauhde- ja pesuvedet sekä pastakeittiön vedenoton muuttaminen tarjoavat energiansäästö mahdollisuuksia.

Prosessinohjausjärjestelmään tulisi tehdä uusia osoittimia, joilla operaattorit voisivat nykyistä paremmin seurata kuivatusosan ja lämmön talteenoton tehokkuutta. Tällaisiksi mittareiksi sopisivat pintalauhduttimen teho ja höyryvirta sekä ilma/vesi-lämmönvaihtimien teho. Niiden avulla operaattorit olisivat tietoisempia prosessin tilasta ja voisivat ohjata sitä mahdollisuuksiensa mukaan suotuisampaan suuntaan.

**LÄHDELUETTELO**

- 1 Häggblom-Ahnger, Ulla – Komulainen, Pekka, Paperin ja kartongin valmistus. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä 2003.
- 2 Karlsson, Markku (toim.), Papermaking Science and Technology, Papermaking Part 2, Drying. Fapet Oy, Gummerus. Jyväskylä 2000.
- 3 Kilponen, Leena, Improvement of heat recovery in existing paper machines. Lisensiaattityö. Teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. Espoo 2002.
- 4 Kiuru, Tomi, Paperikoneen kuivatusosan lämmön talteenoton hyötysuhteen nosto. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. Espoo 2000.
- 5 KnowPap 6.0, Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö. VTT Tuotteet ja tuotanto 2004.
- 6 Kortelainen, Sami, Paperikoneen kuivatusosan ilmastoinnin ja lämmön talteenoton kunnonvalvonnan kehittäminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Puunjalostustekniikan osasto. Espoo 2004.
- 7 Kuismin, Heli, Paperikoneen kuivatusosan höyry- ja lauhdejärjestelmän säätöjen tutkiminen. Diplomityö. Oulun yliopisto. Prosessitekniikan osasto. Oulu 1988.
- 8 Perrault, Robert D. (toim.), Paper Machine Steam and Condensate Systems. Tappi Press. Atlanta USA 1990.
- 9 Simpele Board General Presentation. Simpeleen kartonkitehtaan yleisesittely. M-real Oyj. 2006.

## **LIITELUETTELO**

- LIITE 1 Kaavio kuivatusosan ilmastoinnista ja lämmön talteenottojärjestelmästä
- LIITE 2 Kaavio konesalin ilmastoinnista
- LIITE 3 Kaavio vanhan arkittamon ilmastoinnista
- LIITE 4 Mittaustulokset konesalin eri kerrosten lämpötila- ja kosteustasoista
- LIITE 5 Tulosteita prosessinohjausjärjestelmän näytöistä

**LIITE 4 (1/2)**

Mittaukset tuotannon aikana

13.2.2007

Simwhite 280 g/m<sup>2</sup>; 30,1 t/h; 427 m/min  
ulkolämpötila -5,0 °C

Seisokkimittaukset

21.2.2007

ulkolämpötila -10,2 °C

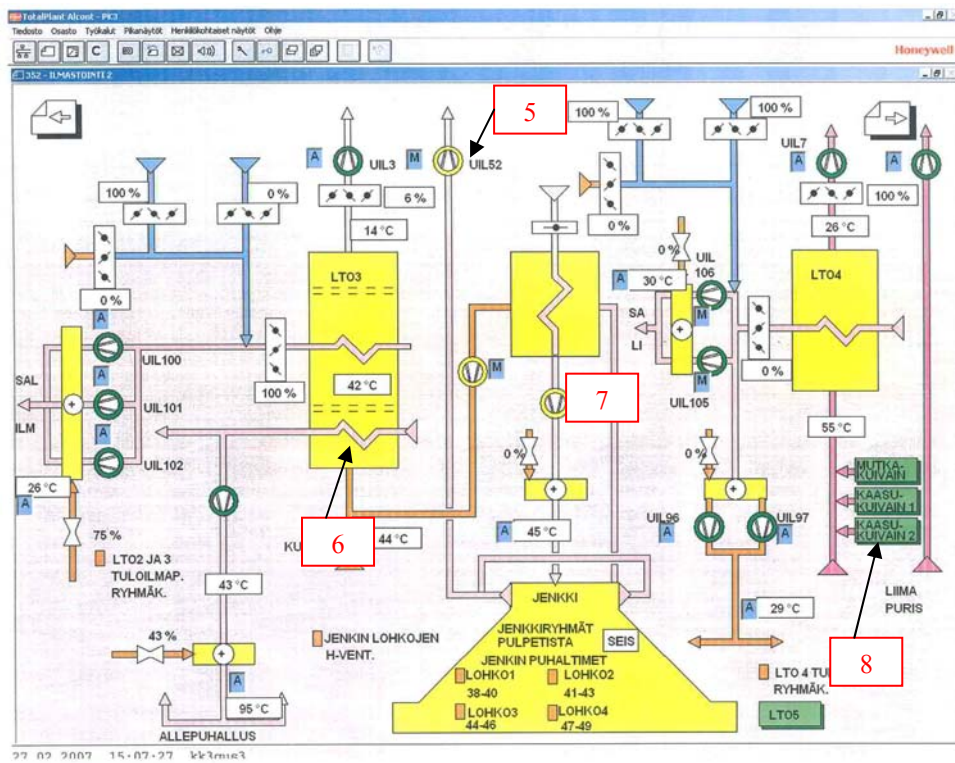
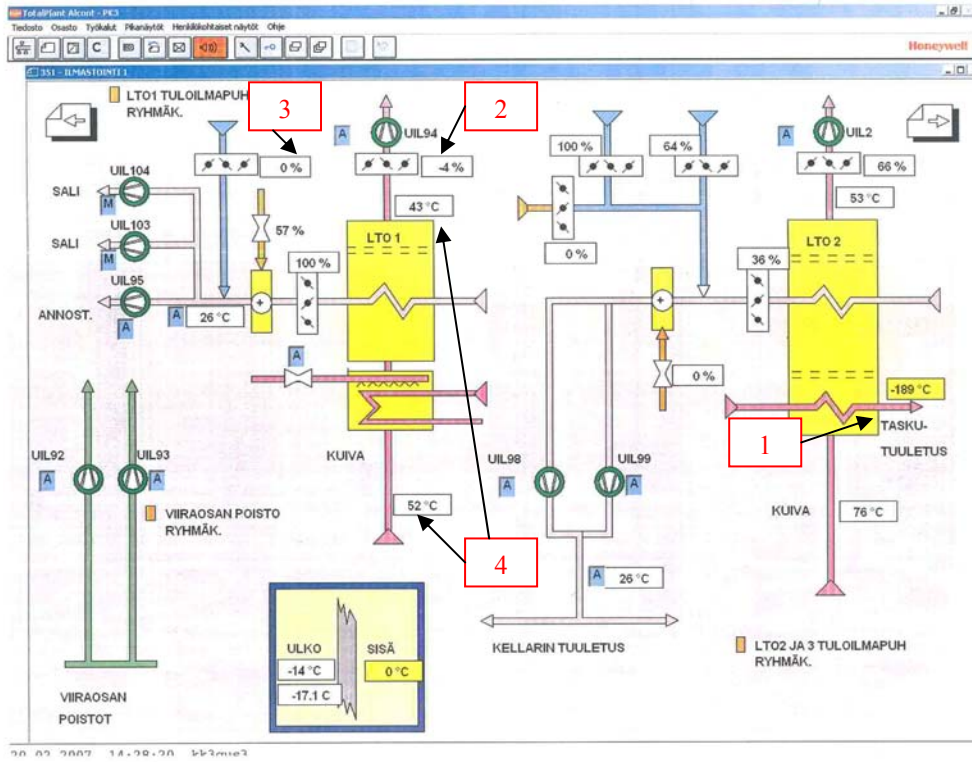
KONETASO									
Tuotanto					Seisokki				
Mittauspiste	t / °C	φ / %	t <sub>kp</sub> / °C	x / g <sub>H2O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>	Mittauspiste	t / °C	φ / %	t <sub>kp</sub> / °C	x / g <sub>H2O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>
1	30,7	32,2	12,2	8,9	1	21,0	18,5	-3,4	2,8
2	33,2	20,5	7,6	6,5	2	19,3	21,0	-3,2	2,9
3	29,5	36,6	13,1	9,4	3	21,1	16,5	-4,7	2,6
4	32,8	25,8	10,7	8,0	4	21,0	23,2	-0,7	3,6
5	29,8	24,3	7,2	6,3	5	21,3	14,1	-6,4	2,2
6	35,2	52,8	24,1	19,0	6	21,6	38,1	6,7	6,1
7	30,8	21,3	6,2	5,9	7	21,3	12,3	-8,0	1,9
8	35,7	37,0	18,7	13,6	8	22,6	24,7	1,4	4,2
9	30,7	21,7	6,4	6,0	9	21,1	12,5	-7,9	1,9
10	38,0	24,8	14,4	10,3	10	22,9	10,7	-8,4	1,8
11	29,1	17,6	2,1	4,4	11	20,9	13,1	-7,5	2,0
12	32,6	20,2	6,9	6,2	12	20,5	10,9	-9,9	1,6
13	28,9	18,4	2,5	4,5	13	21,1	18,6	-3,3	2,9
14	28,1	16,9	0,7	4,0	14	20,0	11,3	-9,8	1,6
15	31,7	18,4	4,8	5,3	15	19,6	11,6	-9,8	1,6
16	27,2	16,6	-0,4	3,7	16	20,4	11,1	-9,7	1,6
17	27,5	17,8	0,9	4,0	17	20,1	10,5	-10,6	1,5
18	26,3	17,7	-0,2	3,8	18	20,2	10,6	-10,4	1,5
19	27,1	17,8	0,6	4,0	19	21,0	9,5	-11,1	1,5
20	26,7	18,5	0,8	4,0	20	20,5	10,4	-10,4	1,5
21	26,7	15,6	-1,5	3,4	21	22,9	8,9	-10,5	1,5
22	25,7	19,4	0,6	4,0	22	19,7	11,2	-10,1	1,6
23	26,0	19,3	0,8	4,0	23	20,7	10,2	-10,5	1,5
24	25,6	19,0	0,3	3,9	24	19,8	12,2	-9,1	1,7
25	25,6	19,3	0,5	3,9	25	19,8	11,3	-10,0	1,6
26	25,5	17,3	-1,1	3,5	26	19,6	12,5	-9,0	1,8
27	25,2	18,3	-0,6	3,6	27	19,6	12,4	-9,1	1,7
28	25,2	17,3	-1,3	3,4	28	19,5	12,7	-8,9	1,8
29	24,9	17,7	-1,2	3,5	29	19,5	13,3	-8,3	1,9
30	24,7	16,7	-2,1	3,2	30	19,6	12,7	-8,8	1,8
31	24,3	18,4	-1,2	3,5	31	19,2	14,3	-7,7	2,0
32	24,0	18,9	-1,1	3,5	32	17,9	15,7	-7,6	2,0
33	23,9	17,9	-1,8	3,3	33	17,7	16,8	-6,9	2,1
34	24,0	17,5	-2,0	3,2	34	16,7	15,9	-8,3	1,9
35	24,1	16,6	-2,6	3,1	35	19,3	15,0	-7,1	2,1
36	24,2	17,6	-1,8	3,3	36	18,8	13,8	-8,4	1,8

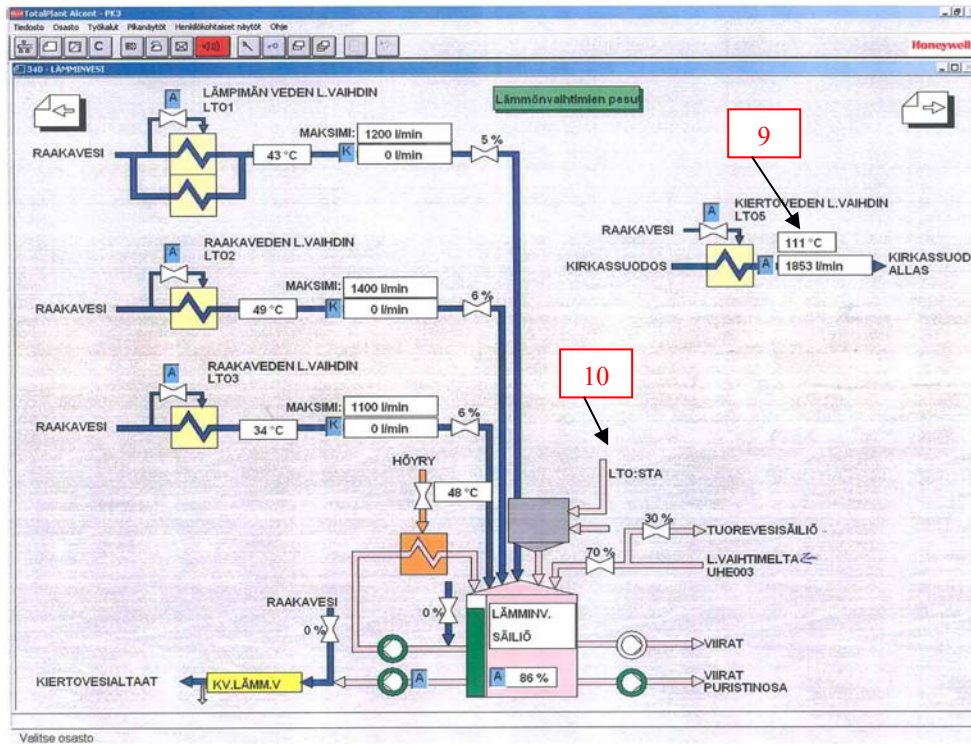
LIITE 4 (2/2)

I-KELLARI									
Tuotanto					Seisokki				
Mittauspiste	t / °C	φ / %	t <sub>kp</sub> / °C	x / g <sub>H2O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>	Mittauspiste	t / °C	φ / %	t <sub>kp</sub> / °C	x / g <sub>H2O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>
1	33,3	26,3	11,4	8,4	1	21,6	14,5	-5,8	2,3
2	34,6	25,6	12,1	8,8	2	21,3	23,0	-0,6	3,6
3	32,7	23,3	9,1	7,2	3	20,3	18,1	-4,2	2,7
4	33,0	19,6	6,8	6,1	4	19,4	13,6	-8,1	1,9
5	29,5	16,5	1,5	4,2	5	20,2	12,7	-8,4	1,9
6	26,3	20,4	1,8	4,3	6	18,3	13,2	-9,3	1,7
7	30,2	14,6	0,3	3,9	7	16,4	12,8	-11,0	1,5
8	30,9	19,3	4,8	5,4	8	15,4	12,8	-11,7	1,4
9	27,7	28,0	7,5	6,5	9	18,6	17,2	-6,0	2,3
10	32,1	19,5	6,0	5,8	10	15,7	12,9	-11,4	1,4
11	26,3	23,8	4,0	5,1	11	17,1	14,6	-9,0	1,8
12	23,7	14,0	-4,9	2,5	12	16,9	12,9	-10,5	1,5

II-KELLARI									
Tuotanto					Seisokki				
Mittauspiste	t / °C	φ / %	t <sub>kp</sub> / °C	x / g <sub>H2O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>	Mittauspiste	t / °C	φ / %	t <sub>kp</sub> / °C	x / g <sub>H2O</sub> /kg <sub>k.i.</sub>
1	24,8	54,7	15,1	10,7	1	20,8	59,6	12,7	9,1
2	25,6	49,5	14,3	10,2	2	19,9	51,9	9,7	7,5
3	26,3	47,0	14,1	10,1	3	19,8	56,4	10,9	8,1
4	26,5	46,0	14,0	10,0	4	20,0	52,4	10,0	7,6
5	19,5	21,8	-2,7	3,1	5	19,7	17,1	-5,3	2,4
6	23,9	30,0	5,3	5,5	6	19,5	27,6	0,3	3,9
7	21,5	37,9	6,5	6,0	7	17,3	45,2	5,3	5,5
8	21,8	27,3	2,1	4,4	8	16,8	39,6	3,0	4,7
9	22,0	26,5	1,9	4,3	9	17,1	28,2	-1,3	3,4
10	21,2	26,9	1,4	4,2	10	18,7	24,4	-1,8	3,3
11	20,0	26,8	0,3	3,9	11	18,6	21,0	-3,7	2,8

# LIITE 5 (1/3)





Veitsee osasto

3. KONESALIN MUU ILMANVAIHTO

HOITOTASON PUHALLIN	UIL107	<input type="checkbox"/>
HOITOTASON PUHALLIN	UIL108	<input type="checkbox"/>
MÄRÄNPÄÄN LISÄTUULOILMAPUHALLIN	UIL128	<input type="checkbox"/>
MÄRÄNPÄÄN LISÄTUULOILMAPUHALLIN	UIL129	<input type="checkbox"/>
PISTEPUHALLIN	UIL015	<input type="checkbox"/>
PISTEPUHALLIN	UIL016	<input type="checkbox"/>
PISTEPUHALLIN	UIL017	<input type="checkbox"/>
PISTEPUHALLIN	UIL019	<input type="checkbox"/>
PÄÄLLYSTYSOSA TUULOILMAPUHALLIN	UIL115	<input type="checkbox"/>
PÄÄLLYSTYSOSAN YLEISPOISTOPUHALLIN	UIL053	<input type="checkbox"/>

Red box 11 highlights the row for UIL017.

Legend:

- S □ 20.00
- M ■ 9.67
- O □ 99.70



# LIITE 5 (3/3)

