



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

EERO PIIPPO

# **Paperikoneen huuvan ja ilmastoin- nin optimointi**

VALMET TECHNOLOGIES OYJ

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN  
TUTKINTO-OHJELMA  
2024

## TIIVISTELMÄ

Piippo, Eero: Paperikoneen huuvan ja ilmastoinnin optimointi, Valmet Technologies Oyj  
Opinnäytetyö, AMK  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Lokakuu 2024  
Sivumäärä: 37

Työn toimeksiantajana toimi Valmet Technologies Oyj. Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä tutkimusta ja tehostaa paperikoneen huuvan energiantehokkuutta. Aiheessa käsitellään kehitystyötä, suunnittelua, tutkimusta, mittaustuloksia, optimointia, laskelmointia ja visualisointia. Työssä käsitellään VacRoll-poistoilman takaisinkierrätystä, jolla saavutetaan energian säästöä paperikoneen ilmastoinnissa. Opinnäytetyössä käydään läpi lyhyesti Valmet Technologies Oyj:n yrityksen tehtävää ja historiaa. Huuvan tutkimus – ja kehittämismenetelmiin kuuluu mittaukset- ja laskelmat. Tulosten perusteella XT- säädöllä ohjataan korvausilman ja poistoilman suhdetta, joko toisen lisäämisellä tai vähentämisellä. Virtausmittauksien lisäystä, automatisointia ja olemassa olevien virtamittareiden puhdistus, jotta saadaan oikeita mittauservoja. Kanavien muutokset, sekä taskutuuletuksen lisäystä viiralenkkeihin takaisinkiertoa varten ja välikaton säätöluukkujen tasapainotusta.

Avainsanat: Valmet Oyj, tutkimus, kehitystyö, suunnittelu, optimointi, simulointi

## ABSTRACT

Piippo, Eero: Optimizing the paper machine's hood and air conditioning, Valmet Technologies Oyj  
Bachelor's thesis  
Electrical and automation engineering  
October 2024  
Number of pages: 37

The client of the work was Valmet Technologies Oyj. The aim of the thesis is to conduct research and improve the energy efficiency of the hood of a paper machine. The subject covers development work, research, measurement results, optimization, calculation, and visualization. The work deals with the recirculation of VacRoll exhaust air, which achieves energy savings in paper machine air conditioning. The thesis briefly reviews the mission and history of Valmet Technologies Oyj. Hood's research and development methods include measurements and calculations. Based on the results, the XT control controls the ratio of replacement air and exhaust air, either by increasing or decreasing the other. Addition of flow measurements, automation and cleaning of existing flow meters in order to obtain correct measurement values. Changes to the ducts, as well as the addition of pocket ventilation to the wire loops for recirculation and the balancing of the adjustment hatches in the intermediate ceiling.

Keywords: Valmet Oyj, research, development, design, optimization, simulation

## ALKUSANAT

Opinnäytetyön tekeminen on ollut erityisen opettavainen matka, johon on liittynyt haasteita moneen eri lähtöön. Osoitan erityisesti kiitokset kaikille Valmet Technologies Oyj:n Raision Service puolen tukijoille, joilta olen haastaltuani saanut paljon tietoa ja koulutusta aiheeseen. Haluan kiittää lämpimästi opinnäytetyöni ohjaajaa Jouko Ylikoskea, hänen hyvin asiantuntevasta alan kokeemuksesta ja ammattimaisista neuvojen annosta, sekä opetuksesta. Ylikoski on ohjannut minulle suuntaa työn toteutuksessa ja syventänyt omaa oppimistani, sekä osaamistani.

Kiitos.

Eero Piippo

Turku, 5.9.2024

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	8
2 VALMET TECHNOLOGIES OYJ .....	9
2.1 Historia .....	9
2.2 Toiminta.....	11
3 HUUVA .....	12
3.1 Yleiskatsaus .....	12
3.2 Järjestelmä .....	13
3.3 VacRoll .....	14
3.4 Ajettavuusjärjestelmät .....	16
4 LÄMMÖNTALTEENOTTO .....	21
4.1 Yleiskatsaus .....	21
4.2 Ahr-kenno.....	22
4.3 Chr-kenno.....	23
4.4 Pesusuutin.....	24
5 XT-SÄÄTÖ .....	25
6 PROJEKTIN DOKUMENTAATIOT .....	28
6.1 Uudelleenkierto- järjestelmä .....	28
6.2 Piiriluettelo .....	28
6.3 Toimintakaavio .....	29
6.4 Toimintaselostus .....	30
6.5 PI- kaavio .....	32
7 SIMULOINTI .....	33
8 YHTEENVETO.....	35
LÄHTEET .....	36
LIITTEET	

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

## Roomalaiset

$p$	paine	[bar, Pa]
$\dot{m}/q_{mi}$	massavirta	[kg/s]
$\rho$	ilman tiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]
$p_i$	ilmanpaine	[kPa]
$T$	lämpötila	[°C]
$Q$	teho	[kW]
$U$	jännite	[V]
$V$	tilavuus	[m <sup>3</sup> ]
$v$	ominaistilavuus	[m <sup>3</sup> /kg]
$v$	virtausnopeus	[m/s]
$d$	halkaisija	Ø
$A$	pinta-ala	[m <sup>2</sup> ]
$x_k$	kiertoilman kosteus	[gh <sub>20</sub> /kg <sub>ki</sub> ]
$x_p$	poistoilman kosteus	[gh <sub>20</sub> /kg <sub>ki</sub> ]
$T_k$	anturin kuivalämpötila	[°C]
$T_m$	anturin märkälämpötila	[°C]
$\Delta T$	Lämpötilan muutos	[°C]

## Lyhenteet

Analoginen signaali	Signaali, jonka arvo voi muuttua asetettujen arvojen mukaisesti
AUTO/LOCAL	Paikallis-ohjaus asetetaan käsikäyttö tilaan
AUTO/REMOTE	Kauko-ohjaustila
FBD	Function block diagram ohjelmointikieli, joka kuvastaa ohjelman toimtoa toimintalohkoilla
PI-kaavio	Putkitus ja instrumentointi kuva
LTO	Lämmön talteenotto
Konesali	Tehdasrakennuksen osa, jossa paperikone sijaitsee
Kuivatusosa	Paperin kuivatusprosessin osa, jossa vettä haihdutetaan
Huuva	Paperikoneen konesalin ja kuivatusosan erottava rakenne
AHR-kenno	Ilma-vesi lämmönvaihdin, Valmet tuotenimi
CHR-kenno	Ilma-ilma lämmönvaihdin, Valmet tuotenimi
LTO-torni	Lämmön talteenottoon sisältyvät rakenteet
Pitot	Virtausmittalaite staattisen, sekä dynaamisen ilmanpaineeseen
Nollataso	Huuvan alipaineen ja ylipaineen kohtaamistaso
Ilmatase	Korvausilmanvirtauksen ja poistoilmanvirtauksen suhde toisiinsa
Höyrypatteri	Vedenlämmitystä, jota käytetään prosessi, viirakäivon, käyttöveden, konesalin ja kiertoveden lämmitykseen
Puhalluslaatikko	Tarkoitus on luoda alipaineinen tila viiran ja puhalluslaatikon väliin puhaltamalla, tai imemällä kuumaa ilmaa ja kuivattaa paperia
VacRoll	Uritettu ja porattu tyhjiötela, Valmet tuotenimi
Nippi	Sulkeutuva/avautuva kita sylintereiden ja viiran välissä

## 1 JOHDANTO

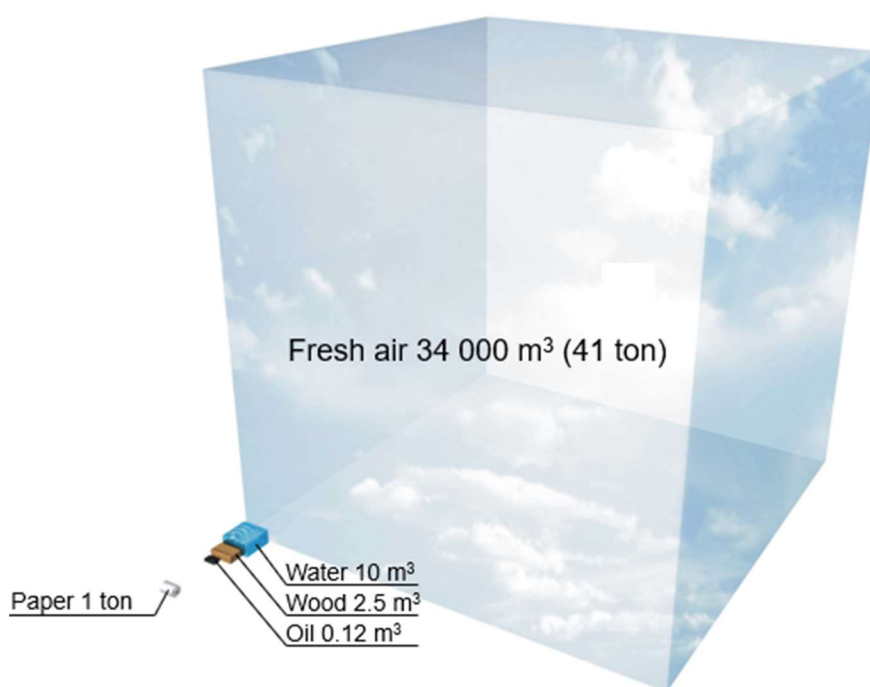
Kaikista opinnäytetöistä tehdään sopimus OP07A/B. Sopimus opinnäytetyön tekemisestä on opiskelijan, työn toimeksi antavan yrityksen/yhteisön ja SAM-Kin allekirjoittama kirjallinen sopimus opinnäytetyön tekemisestä. Sopimuksen teon yhteydessä on tärkeää varmistaa, että kaikki osapuolet ymmärtävät opinnäytetyön raportin olevan aina julkinen dokumentti. Mahdollinen luottamuksellinen osa voidaan sijoittaa opinnäytetyön raportista erilliseen, työnantajalle toimitettavaan dokumenttiin. Paperin ja kartongin valmistusprosessin kulun periaate; Materiaalin valmistamiseksi valmistusprosessissa sekoitetaan sopivasti valitut ja käsitellyt raaka-ainekomponentit vesipitoiseksi massaseokseksi, jotka levitetään tasaiseksi massarainaksi perälaatikolla. Rainaa lujitetaan suoutauttamalla, josta massa kulkee viira viennillä puristimelle millä haihdutetaan rainaa mahdollisimman paljon (poistetaan vettä) ja saadaan kuivaa tuotetta. Puristimelta viedään massa viira viennillä kuivatukseen (huuvaan), jossa rainasta poistetaan kosteutta höyrösyylinterien avulla ja korvausilmalla viedään rainasta haihtunut kosteus pois kuivatusosalta. Paperin päävienti tapahtuu pääasiassa paineilmalla ja päävientinarulla. Kuivatusosa on eniten energiaa kuluttava osa paperikoneessa, jota kompensoidaan lämmöntalteenotolla. Tämän jälkeen paperi on kuivunut ja se kulkee kiillotukseen, sekä päällystykseseen ja pakkaukseen rulliksi. Projektiin suunnitellaan dokumentaatioineen, sekä graafisine piirustuksineen paperikoneen huuvan XT- säätö, johon lisätään teoreettisesti VacRoll- poistoilman takaisinkiertäys huuvaan.



## 2 VALMET TECHNOLOGIES OYJ

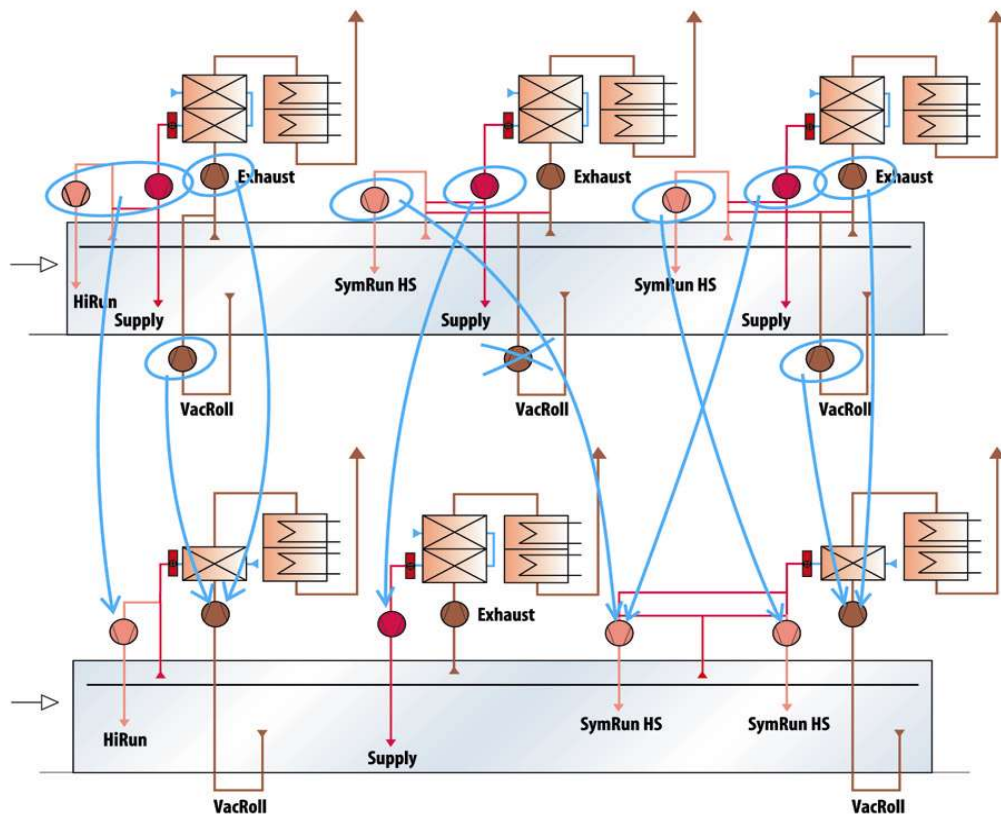
### 2.1 Historia

Toimeksiantaja työlle toimii Valmet Oy, jonka juuret ulottuvat 1750-luvulle. Yritys on toiminut 220 vuotta teollisuudessa ja on paperiteollisuuden johtavin toimija, joka on toimittanut yli 700 kartonkikonetta ja 900 paperikonetta maailmanlaajuisesti asiakkaille. Yrityksen pääkonttori sijaistee Espoossa ja Suomessa toimipisteitä on yli 30. Laitteet ja ratkaisut ovat suunniteltuja niin, että ne ovat käyttötarkoituksineen hyvin tehokkaita ja asiakkaille joustavat käyttötarpeidensa mukaan (Valmetin www-sivut, n.d). Paperikoneen kuivatusosa on eniten energiaa kuluttava osa paperikoneessa, jota kompensoidaan lämmöntalteenotolla. Tässä kuvataan paljonko tarvitaan raaka-aineita ja tuoretta lämmitettyä ilmaa paperin kuivatukseen, jos paperia valmistetaan 1 tonnin verran (Kuva 1).



Kuva 1 (Valmistumisen kulut)

2000- luvun alussa paperikoneilla oli useita puhallin moottoreita VacRoll- torneilla, puhallinlaatikoilla, sekä niiden poistoilmalla oli omat moottorinsa. Tälläinen järjestelmä oli tehokas, mutta kulutti runsaasti energiaa ja resursseja (Kuva 2). Teollisuudessa pyritään ekologisempaan ja energiatehokkaampaan talouteen, joten kiertoilma on mahdollistanut moottorien vähemmän käytön.



Kuva 2 (Moottorien käyttö ennen ja jälkeen)

Tämä mahdollistaa pienemmän kulutuksen, komponenttien määrän ja tilan tarpeen. Mallissa (Kuva 2) karsitaan 12 puhaltimesta 5 puhallinta, joten investointikustannukset ovat pienemmät, sekä energian kulutus huomattavasti pienempi ja huoltotarve vähäisempää. Kiertoilman käyttäminen paperiteollisuudessa on merkittävää edistystä kohti kestävämpää ja ympäristöystävällisempää tulevaisuutta, kun on osa tuotantoprosessien tehokkuutta ja laatu pystytään pitämään samalla tasolla. Tämä muutos on osa laajempaa trendiä teollisuudessa, jossa ympäristöystävälliset ratkaisut ja energiatehokkuus ovat asian ytimessä.

## 2.2 Toiminta

Valmetin liiketoiminta on jaettu viiteen toimintalinjaan ja viiteen maantieteelliseen alueeseen. Liiketoimintalinjat ovat palvelut, virtauksensäätö, automaatiojärjestelmät, sellu ja energia sekä paperit. Maantieteelliset alueet ovat Pohjois-Amerikka, Etelä-Amerikka, EMEA (Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka), Kiina ja Aasian ja Tyynenmeren alue. Alueet vastaavat myynnistä, asiakas tarpeiden täyttävien palvelujen tarjoaminen ja projektitoimitusten tukemisesta omalla alueellaan (Valmet n.d.). Yrityksellä on liiketoimintalinjalla 100 palvelukeskusta, jotka palvelevat 17 eri maassa. Huolto-osastolla työskentelee yli 6000 maailmanlaajuisesti, jotka palvelevat maailman 3800 sellu- ja paperitehtaista yli puolia vuosittain. Yritys työllistää Suomessa n. 6900 työntekijää ja sen henkilökunta laajentuu 40 eri maahan, joista on 78 eri kansalaisuutta ja yhteensä Valmetilla työskentelee 19 000 työntekijää alla kuvattu tilannetta (Valmetin [www-sivut](#), n.d), (Taulukko 1).

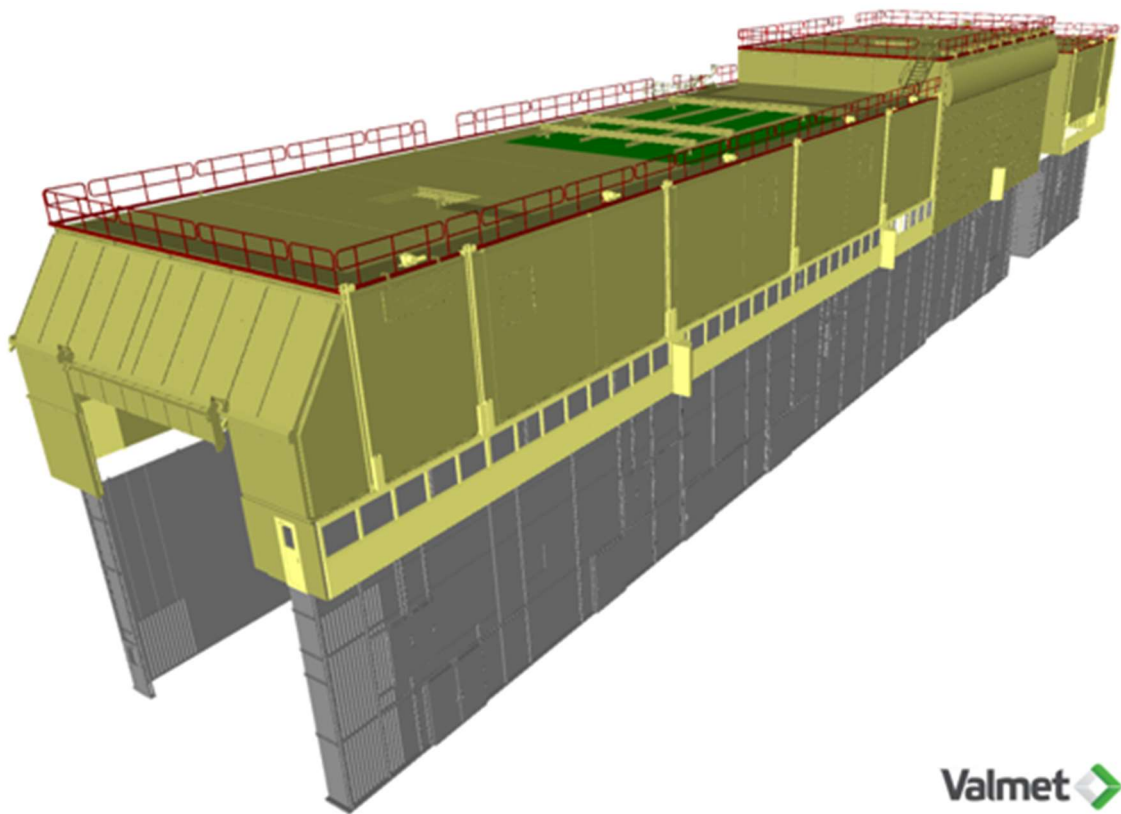
Maanosa	Työntekijä	Liikevaihto milj. euroa	Liiketoimintalinjat ja palvelut
Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka	10 787	1876	20 tutkimus- ja tuotekehityskeskusta 86 palvelukeskusta 24 tuotantoyksikköä 76 myyntikonttoria Pääkonttori
Kiina	2323	829	3 tutkimus- ja tuotekehityskeskusta 5 palvelukeskusta 6 tuotantoyksikköä 6 myyntikonttoria
Pohjois-Amerikka	2040	1058	3 tutkimus- ja tuotekehityskeskusta 29 palvelukeskusta 17 tuotantoyksikköä 11 myyntikonttoria
Aasian ja Tyynenmeren alue	1565	593	2 tutkimus- ja tuotekehityskeskusta 11 palvelukeskusta 6 tuotantoyksikköä 29 myyntikonttoria
Etelä-Amerikka	833	718	5 palvelukeskusta 1 tuotantoyksikköä 8 myyntikonttoria

Taulukko 1. Liiketoiminta 16.7.2024

## 3 HUUVA

### 3.1 Yleiskatsaus

Huuva on paperikoneen konesalin ja kuivatusosan erottava rakenne. Ilman tiilaa hallitaan konesalissa ja huuvassa toisistaan riippumatta. Huuvassa poistetaan rainasta vettä haihduttamalla puhallinlaatikoiden korvausilmalla ja höyryllä lämmitettyiden sylinterien korkealla lämmöllä. Kuivausosa on eniten energiaa kuluttava osa paperikoneessa. Primäärienergian kulutusta pienennetään, jota kompensoidaan lämmöntalteenotolla (Kuva 3).



Valmet 

Kuva 3

### 3.2 Järjestelmä

Paperin kuivatusosan poistoilmapuhaltimet, sekä VacRoll puhaltimet imevät huuvesta kuumaa poistoilmaa (yleensä n. 75...85 °C) ja paperiradasta haihtuvaa vesihöyryä, joka kulkeutuu poistoilmakanavistosta LTO-tornin kennojen lamellien lävitse, siirtäen lämpöenergiaa poistoilmavirrasta korvausilmavirtaan. Korvausilmapuhaltimet (Kuva 4) puhaltavat LTO-tornin (poistoilmalla esilämmitettyjen) kennojen lävitse korvausilman höyrypattereilta ilmanvaihtokanaviin, joista ilma kulkeutuu kuivatusosaan. Poistoilman ja korvausilman erotuksesta saadaan vuotoilma (E, exhaust) = S, supply + L, leakage), joka kulkeutuu konestalista huuvaan. Konesalin ilman lämpötila on n. 20...25 °C, joka on alhainen huuvan korkeaan lämpötilaan verrattuna. Tämä aiheuttaa energian hukkaamista konestalista vuotaneen viileän ilman lämmitykseen ja kondenssia koneen runkoon sekä muihin osiin. Normaalisti korvausilma lämmitetään 95 °C:n ja sen on oltava vähintään poistoilman lämpöistä ilmaa. Ilmatase tarkoittaa korvausilmanvirtauksen ja poistoilmanvirtauksen suhdetta ja se kuuluisi olla n. 65...70%. Esimerkkinä huuvan vuotoilman energian häviön laskennasta: Huuvaan vuotaa kylmää vuotoilmaa konestalista ja aiheuttaa kondenssia. Käsiteltävässä esimerkissä ilmatase on 38%, joka tarkoittaa, että kylmän vuotoilman lämmitykseen tarvitaan tehoa kuivatussylintereiden kautta: Lähtötiedot: Korvausilma = 50 kg<sub>k.i./s</sub>, poistoilma = 130 kg<sub>k.i./s</sub>, vuoto sisään = 80 kg<sub>k.i./s</sub>, salin lämpötila = 30 °C, sylinterin vaadittava lämpötila = 85 °C.

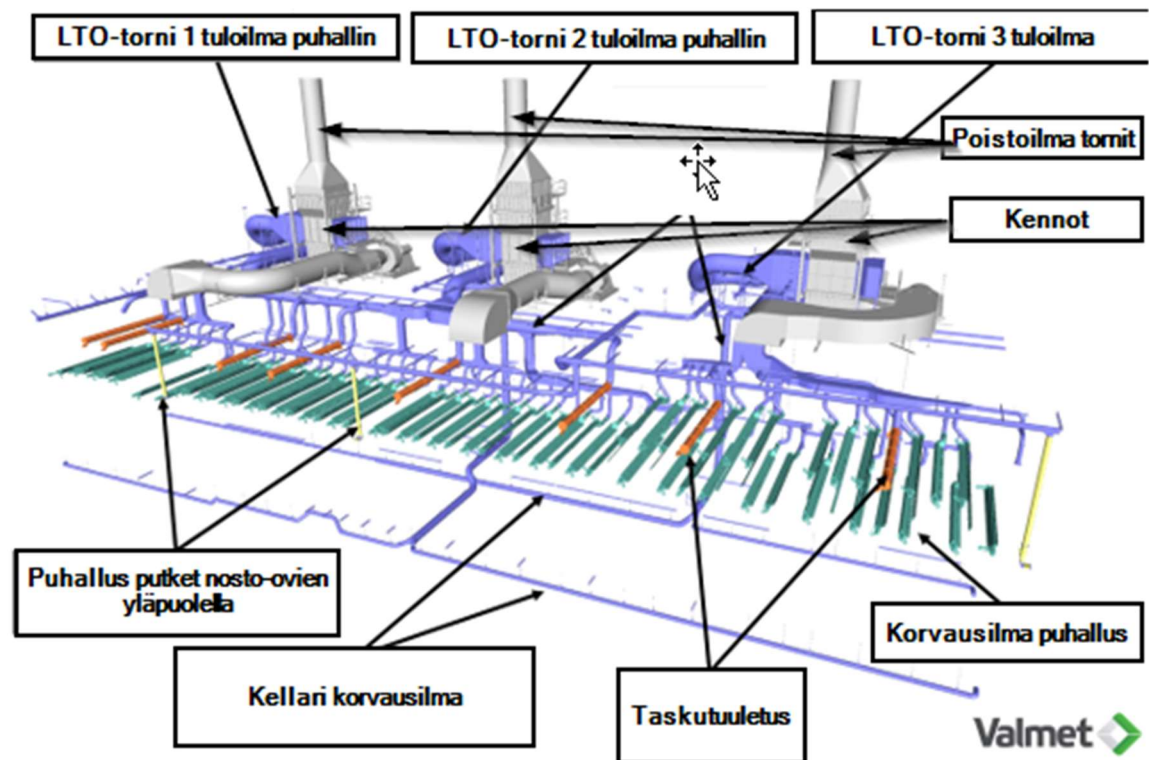
- 50 kg<sub>k.i./s</sub> / 130 kg<sub>k.i./s</sub> = 38% ilmatase.
- 130 kg<sub>k.i./s</sub> – 50 kg<sub>k.i./s</sub> = 80 kg<sub>k.i./s</sub> vuotoilma.
- 85 °C - 30 °C = 55 °C astetta sylinterillä lämmitettäväksi.

*Kaava 1*

$$\dot{m} * c * \Delta T = Q$$

$$\text{Massavirta} * \text{Lämpötilan muutos} = \text{Teho}$$

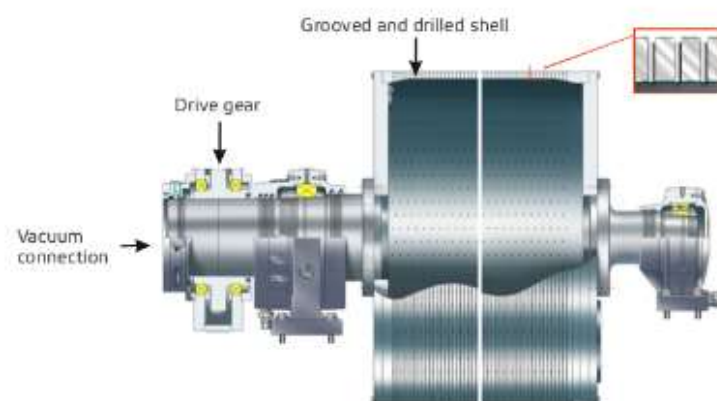
$$80 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * \frac{1,02 \text{kJ}}{\text{kg}} * 55^\circ\text{C} = 4500 \text{ kW} = 4,5 \text{ MW}$$



Kuva 4

### 3.3 VacRoll

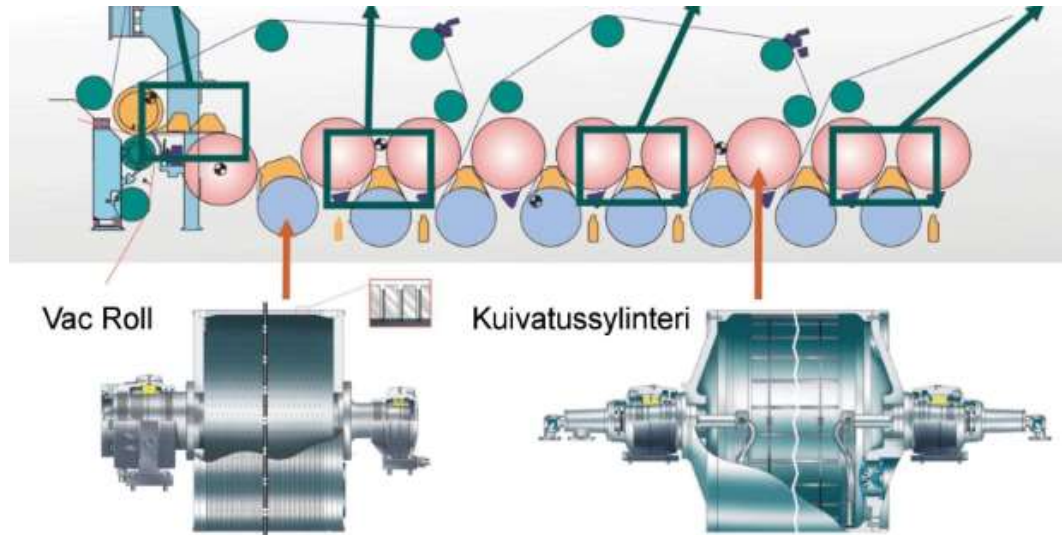
VacRoll- telat (Kuva 5) on uritettuja ja porattuja tyhjiöteloja, joita käytetään yksivieraisessa kuivausosassa nopeassa koneessa. Poistoilmakanava on kytetty telan ajopuolen päähän. Ilmaa useimmiten imetään telan vaipan reikien kautta, joka luo alipainetta urissa. Alipaine pitää paperin kosketuksessa kuivatusviiraan estäen ajettavuus ongelmia, kuten paperin lepatusta (Dryer section, n.d).



Kuva 5

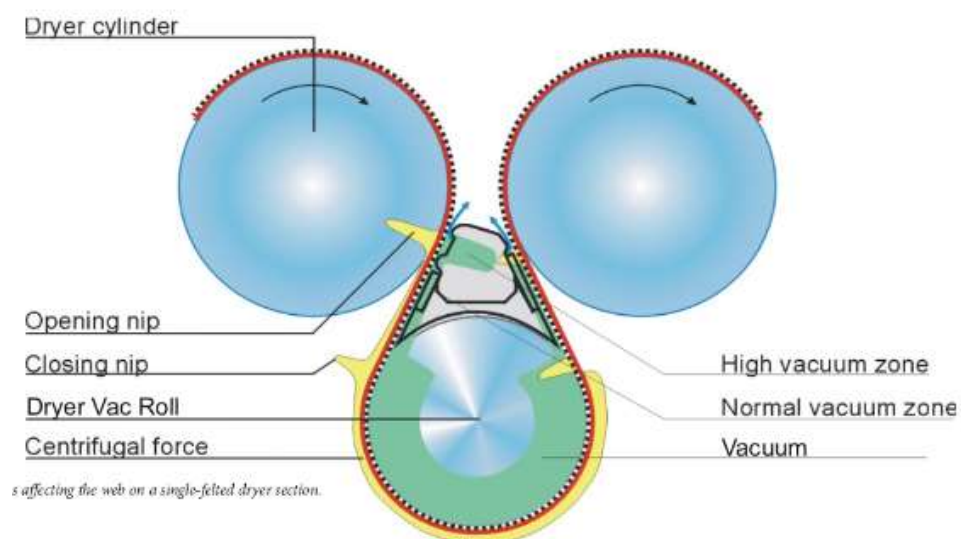


Telat sijaitsevat kuivatussylinterien alapuolella (Kuva 6) ja yleensä VacRoll:eja käytetään koneissa, joiden nopeus on suuri ( $>1200\text{m/min}$ ). Näiden tarkoitus on poistaa kosteutta ja tukea paperiradan kulkua.



Kuva 6

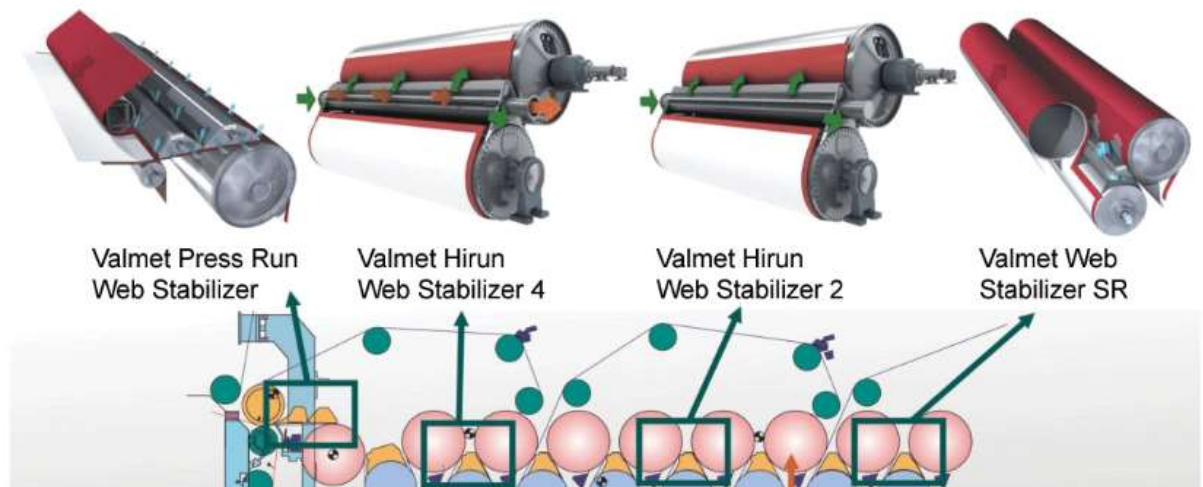
VacRoll:n yläpuolella sijaitsee puhallinlaatikko, jonka avulla synnytetään alipaine sylinteriltä VacRoll-telalle siirtyvän viiran alueelle, sekä VacRoll-telalta ylös sylinterille siirtyvän viiran alueelle. Alipaine kehitetään suutinpuhalluksella, sekä VacRoll-telan imuvaikutuksen avulla (Suljetun huuven ilmatasapaino, 2024), (Kuva 7).



Kuva 7 (VacRoll)

### 3.4 Ajettavuusjärjestelmät

Huuva- osion paperin kuivatukseen on kehitetty sarja erilaisia puhalluslaatikoita, joita ovat PressNip, PressRun, UnoRun, SymRun, HiRun, TwinRun (Kuva 8). Periaatteena on puhalttaa valmiiksi lämmitettyä kuivaa korvausilmaa, jolla alipaineistetaan paperi viiraa vasten. Tarkoituksena on luoda rataa tukeva alipaine puhaltamalla, ei imulla. Alipaine saadaan ejektioperiaatteella ns. Coanda-ilmiöllä ja erityisesti tähän tehtävään kehitetyillä suuttimilla.

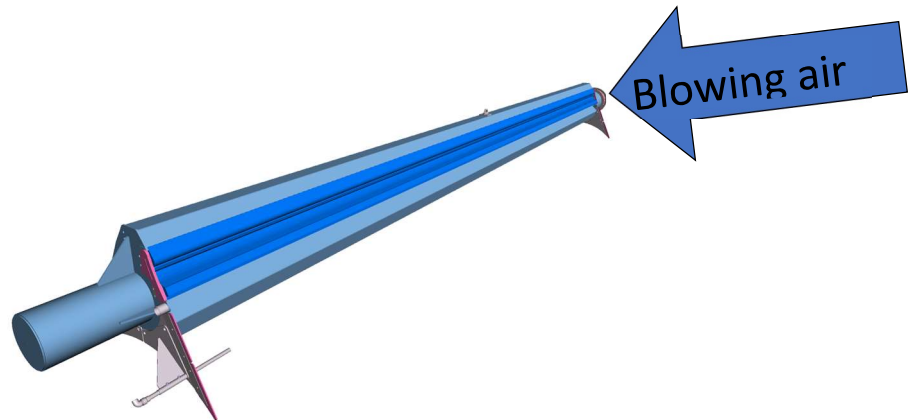


Kuva 8

Puhalluslaatikoiden säännöllisillä huolloilla, oikein linjatuilla ja sopivalla ilmamäärällä saadaan paras hyötytehosuhde puhalluslaatikoille. Ajettavuuteen vaikuttavat huuvan sisäiset ilmavirtaukset, sylinterien pintalämpötilat ja paperiradan kosteusprofiili (Dryer section, n.d).

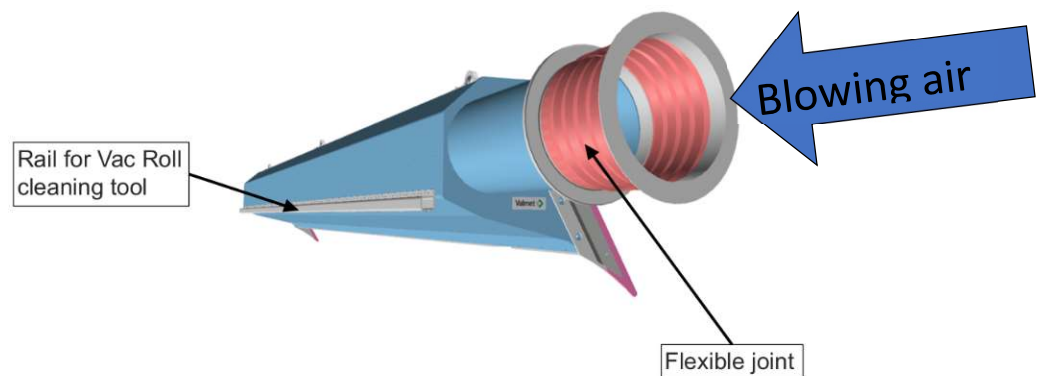


Valmet HiRun Web Stabilizer (Kuva 9) on erillinen suuren alipaineen alue, jossa paperi irrotetaan kuivatussyinterin pinnasta. Tämä suuren alipaineen vyöhyke varmistaa pään ja rainan siirron sylinteriltä seuraavalle VacRoll-telalle ja takaa erinomaisen ajettavuuden. HiRun mahdollistaa koneen nopeuden nostoa, helpottaa paperin päänvientiä ja parantaa paperikoneen tuottavuutta. Hyöty hallita rainan vetoeroa paperin ominaisuuksien optimoimiseksi.



Kuva 9 (HiRun Web Stabilizer 2)

Valmet UR-Puhalluslaatikon (Kuva 10) toiminta tarkoituksena on luoda paperiradan ja sylinterin väliseen avautuvaan nippiin alipaine, jolla pyritään irrottamaan paperi radan viirasta. Ilmaa puhalletaan sulkeutuvasta nipistä poispäin, jolloin se luo nipissä alipaineen ja rata imeytyy kiinni viiraan. Samalla estyy ilmapussin muodostuminen vastapuolen sulkeutuvassa nipissä, koska radan ja viiran väliin ei enää pääse ilmaa.



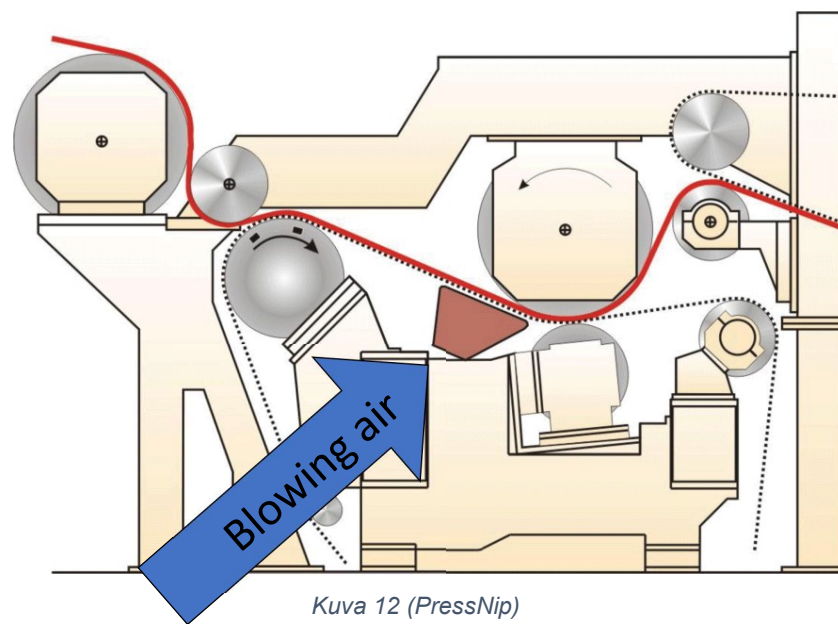
Kuva 10 (UnoRun)

Valmet SR-puhalluslaatikolla (Kuva 11) on matala energiankulutus matalan il-  
mamäärän vaikutuksesta, jolla saadaan luotua tehokas alipaine koko tasku-  
alueelle rainan tukemiseksi ja ajettavuuden saavuttamiseksi. SymRun puhalti-  
met ovat helppo huoltaa ja tarvitaan pieni ilmajärjestelmä, sekä pienempi tilan-  
tarve. Rakenteessa käytetään taskun kummallakin puolella puhallussuuttimia,  
jotka luovat alipaineen laatikon ja kuivatusviiran väliin. Tämä puhallussuutti-  
men rakenne mahdollistaa merkittävästi puhallusilmaa, kanavien rakennetta ja  
puhaltimien kokoa pienemmäksi.



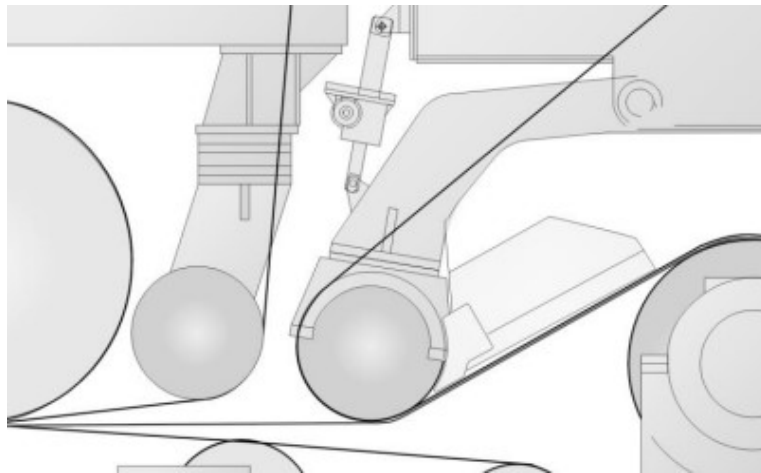
Kuva 11 (SymRun)

Valmet Press Nip puhalluslaatikko (Kuva 12) on paperikoneen puristinosa ja asennetaan ennen erillistä puristinta estämään radan irtoaminen puristinhuovasta. Puhalluslaatikon ja puristinhuovan väliseen tilaan muodostuu alipaine, kun ilma purkautuu puhallussuuttimista. PressNip-puhalluslaatikossa on neljä suutinta. Alipaine pitää rainan kiinni puristinhuovassa estäen radan lepatuksen.

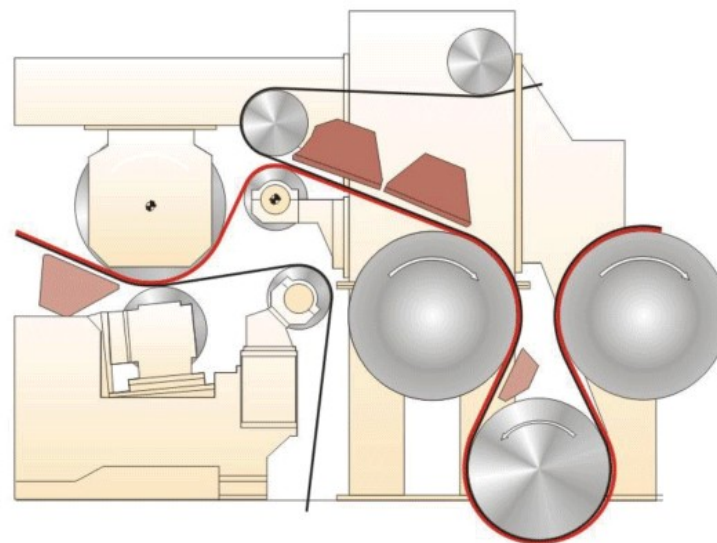


Kuva 12 (PressNip)

Valmet Press Run suurimpana tehtävä on tukea rainaa mahdollisimman tehokkaasti ja välttää radan lepattaminen. PressRun-puhallinlaatikkoja on 1-osaista (Kuva 13), tai 2-osaista (Kuva 14). 1-osaisessa PressRun-puhalluslaatikossa (Kuva 13) on vain yksi puhalluslaatikko ja neljä suutinta, joista purkautuu ilmaa kymmeniä metrejä sekunnissa ja saadaan aikaiseksi suuri alipaine. 2-osaisessa PressRun-puhalluslaatikossa (Kuva 14) on kaksi puhalluslaatikkoa, joissa on kummassakin on 2 suutinta. Ilmaa purkautuu kymmeniä metrejä sekunnissa ja saadaan aikaiseksi suuri alipaine.



Kuva 13 (PressRun 1-os)

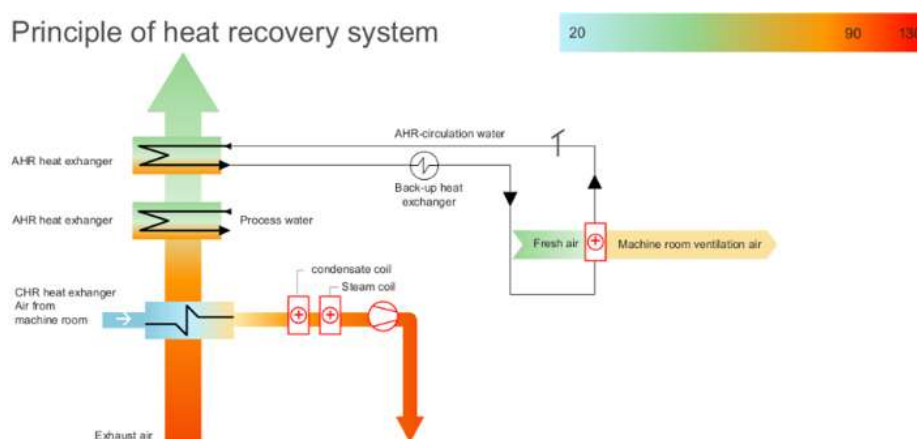


Kuva 14 (PressRun 2-os)

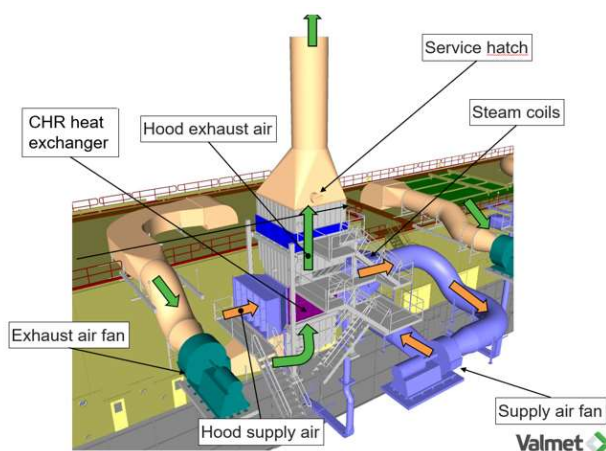
## 4 LÄMMÖNTALTEENOTTO

### 4.1 Yleiskatsaus

Kuivatusosan poistoilmapuhaltimet, sekä VacRoll puhaltimet imevät huuvasta kuumaa poistoilmaa (yleensä n. 75-85 °C) ja paperiradasta haihtuvaa vesihöyryä, joka kulkeutuu poistoilmakanavistosta LTO-tornin kennojen lävitse siirtäen lämpöenergian poistoilmavirrasta korvausilmavirtaan. Korvausilmapuhaltimet puhaltavat LTO-tornin (poistoilmalla esilämmitettyjen) lamellikennojen (CHR) lävitse korvausilmaa höyrypattereiden kautta ilmanvaihtokanaviin, joista ilma kulkeutuu erilaisille puhalluslaatikoille. Lämmöntalteenottotorni esitettynä poistoilman lämpöenergian siirrolla korvausilmaan ja muihin prosessilaitteisiin (Kuva 15, 16).



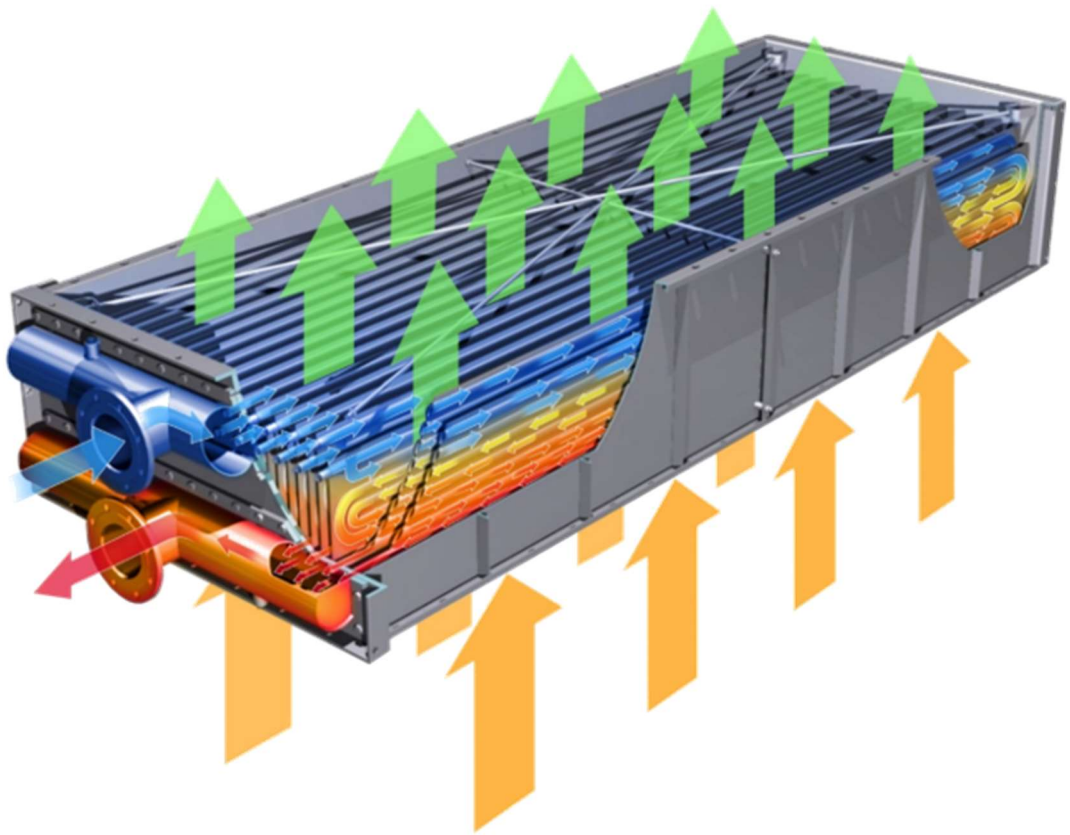
Kuva 15



Kuva 16

#### 4.2 Ahr-kenno

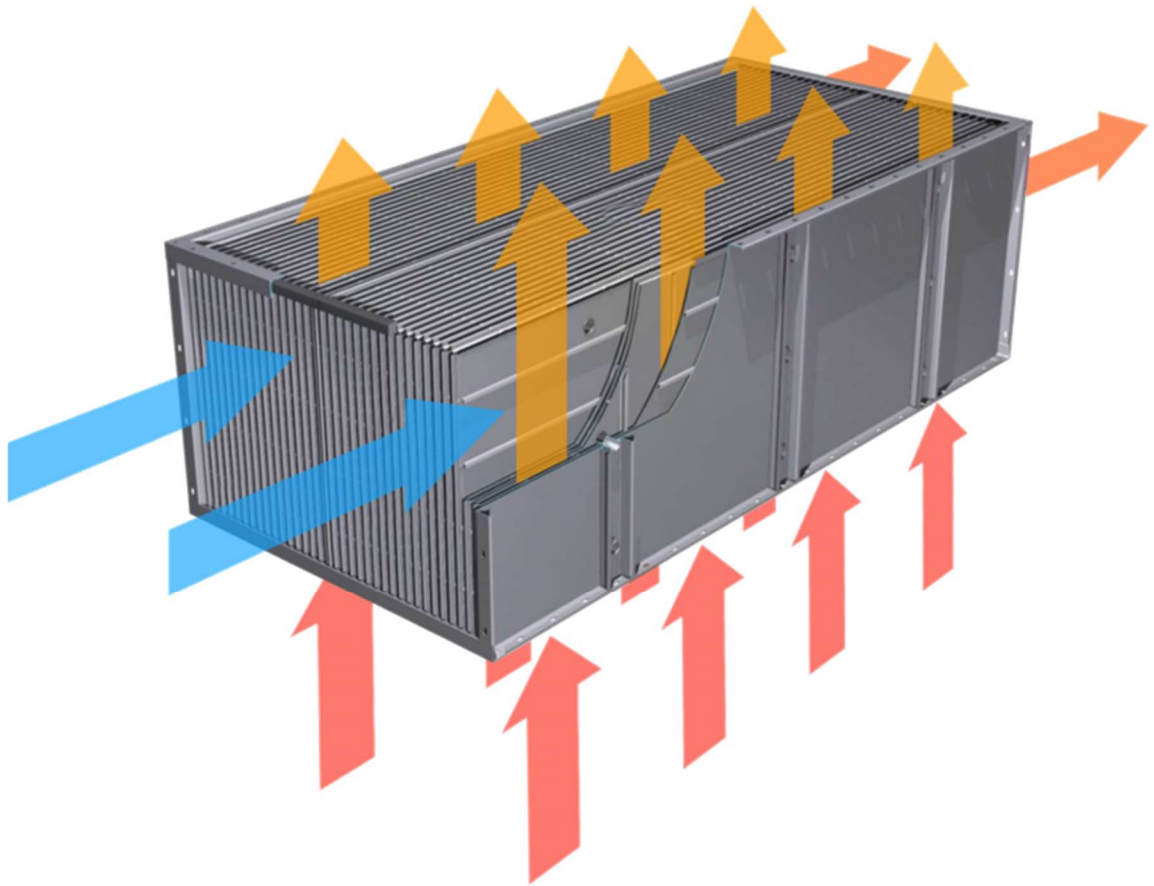
Ilma-vesi lämpökenno (Air-to-water heat exchanger), jonka sisällä kulkee kiertoveden yhtenäinen putkisilmukka. Kuumen poistoilman (usein huuvan välikatosta) lämpöä käytetään lämpöenergian siirtoon poistoilmavirrasta vesivirtaan. Tämän jälkeen ilma virtaa kennon lävitse tornista ulos poistoilmana (Kuva 17). Poistoilmalla lämmitetään vettä, jota käytetään esimerkiksi: Prosessivesien ja konesalin tuloilman kiertoveden lämmitykseen.



Kuva 17

#### 4.3 Chr-kenno

Ilma-ilma lämpökenno (Air-to-air heat exchanger), jota käytetään siirtämään lämpöenergiaa poistoilmavirrasta korvausilmavirtaan. Ilma-ilma lämpökennon lamellien lävitse virtaa kuuma poistoilma huvasta LTO-torniin. Poistoilmalla lämmitettyä korvausilman virtausta käytetään yleensä, Konesalin tuloilmana ja huuven korvausilmalaitteille (Kuva 18).

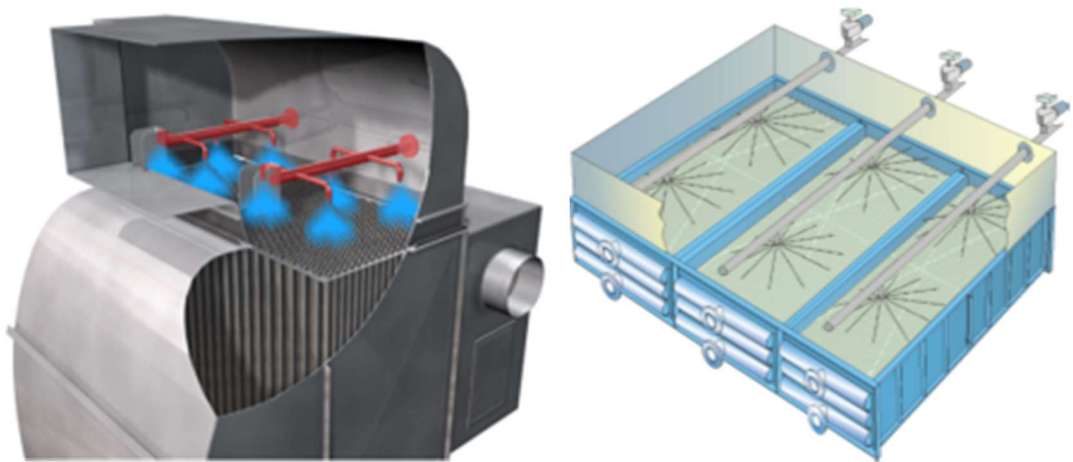


Kuva 18



#### 4.4 Pesusuutin

Kennoja pidetään puhtaana liiallisen tukkiutumisen vuoksi poistoilman mukana tulleesta pölystä ja muusta jätteestä. Pesusuuttimet sijaitsevat ahr-kennon yläpuolella, jossa on tarvittava määrä pesulinjoja riippuen ahr-kennojen määrästä. Pesulinjat käyvät jokaisen 1 tunnin välein, 15 minuutin jakson 400l/min automaatio- ohjatuilla venttiileillä, jotka toimivat portaittain veden liiallisen ker-  
tymisen takia (Kuva 19).



Kuva 19



## 5 XT-SÄÄTÖ

XT- säädöllä huuven ilmajärjestelmää ohjataan korvausilman- ja poistoilman suhteen. X- kuvaa kuinka monta grammaa kosteutta poistuu kiloa kuivaa ilmaa kohti sekunnissa ( $g_{H_2O}/kg_{k.i./s}$ ) ja T-kuvaa lämpötilaa. Kostean ilman kanssa kosketuksiin tulevat rakenteet, joiden lämpötila on kastepistettä alhaisempi, jäähdyttävät ympärillään olevan ilman ja ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy ko. pinnoille. VacRoll poistoilmavirran kierrätys takaisin huuvaan vaatii XT-säädön, komponenttien lisäykset, graafisen suunnittelun ja siihen liittyvän projektin dokumentoinnin. Huuven poistoilman kosteus mitataan kosteusmittausantureilla ja tämän perusteella säädetään poistoilman määrää puhaltimen taajuusmuuttajalla. Anturit sijoitetaan huuven poistoilmakanaviin ja anturien säätimelle (Vaisala HMT330, Kuva 20) asetetaan mittausarvoksi, joko tietyn anturin mittausarvo, tai korkein arvo kaikista poistoilmakanavan anturien mittausarvoista. Asetusarvot ovat asetettu huuven poistoilman lämpötilan mukaan (Taulukko 2) AUTO/REMOTE- tilassa;

<u>Poistoilma</u>	<u>asetusarvo</u>
°C	$g_{H_2O}/kg_{k.i.}$
50	50
60	65
74	120
81	160
90	190
100	215

Taulukko 2. Asetussarvot 16.7.2024

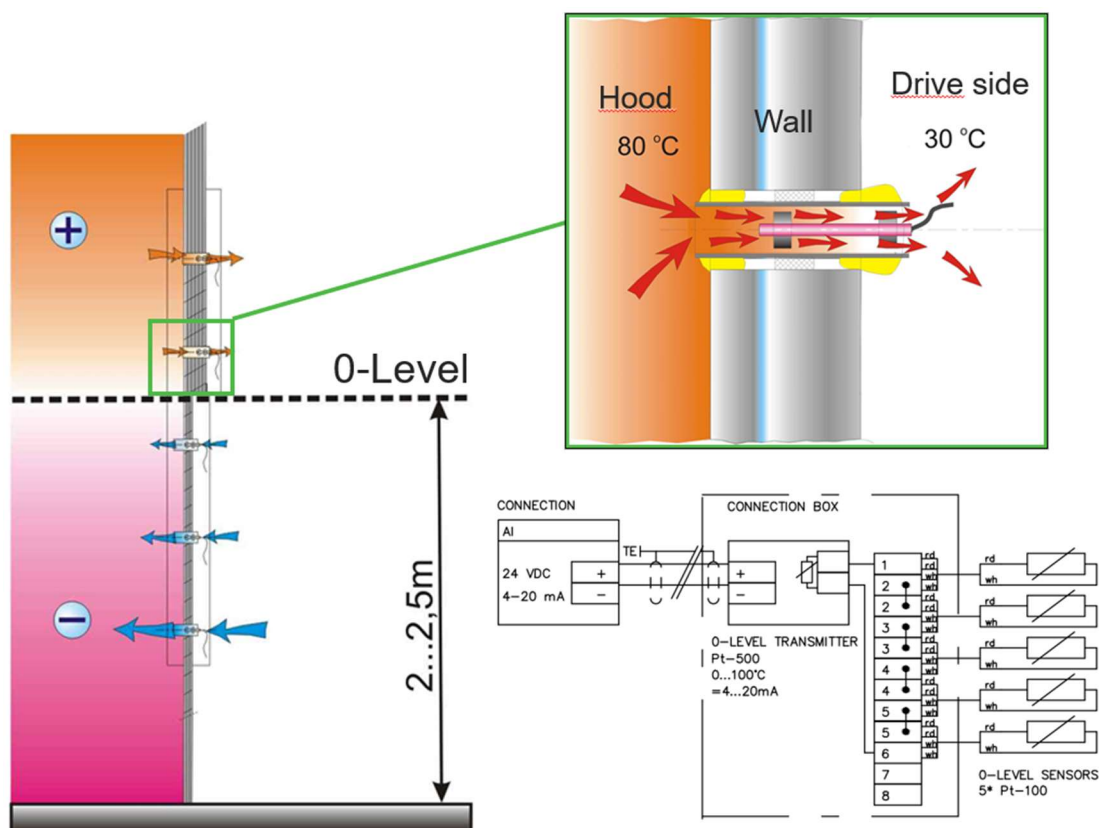


Kuva 20

Korkeus, jossa ylipaine ja alipaine kumoavat toisensa kutsutaan 0-tasoksi. Paperitehtaan konesalin ja huuuvan yläosassa vallitsee aina ylipaine ja alaosassa alipaine, talvella on suuremmat ja kesällä pienemmät. 0- tason korkeuden säätämällä voidaan vaikuttaa kuivatusosan ja konesalin vuotoilmoihin (vuotoilmamäärä = kokonaispoistoilmamäärä - kokonaiskorvausilmamäärä). Huuuvan 0-taso säädetään tavallisesti noin 2 m:n korkeuteen konetasosta. Huuvakonstruktiosta riippuen vuotoilman osuus voi olla suuri, tai pieni. Tämän takia vuotoilma vakio määritellään käyttöönotossa huuva kohtaisesti. Huuuvan yläosassa olevalla välikatolla saadaan ilma poistumaan tasaisesti koko huuvasta. Välikatossa on säätöluukut ilman tasapainotusta varten. Välikatosta poistetaan ilmaa, sekä poistoilmana poistoilmapuhaltimilla, että kiertoilmana ajettavuuspuhaltimilla. Välikatto tulee olla lievästi alipaineinen konesaliin nähden (Suljetun huuuvan ilmatasapaino, 2024, s. 13). Oikealla säädöllä saavutetaan seuraavat edut:

- energian säästö
- vältetään kondensoituminen
- luodaan paperin kuivatukselle oikeat olosuhteet

0- tasoa mitataan PT-100 lämpötila-antureilla (Kuva 21). 0- tason korkeutta säädetään korvausilman, tai poistoilman virtausta säätämällä. Korvaus- ja poistoilman dynaamista painetta mitataan mittaustantureilla, joista viedään tieto painelähtetimelle. Automaatiojärjestelmä laskee ilmvirtauksen  $\text{kg}_k.\text{i./s}$  paine-eron avulla. Korvausilmavirtauksen ohjaus AUTO- tilassa antaa asetusarvon korvausilmavirtaukselle.



Kuva 21 (0- taso)

## 6 PROJEKTIN DOKUMENTAATIOT

### 6.1 Uudelleenkierto- järjestelmä

Tulo- ja poistoilmakanaviin on lisätty useita antureita, lähettämiä, sekä niiden tunnuksot jokaiselle laitteille piiriluettelon määritelmien mukaisesti; Lämpötilapiiri TI-xxx / laite TT-xxx, kosteusmittauspiiri MIC-xxx / laite MT-xxx, virtausmittauspiiri FI-xxx / laite FT-xxx ja painemittauspiiri PIC-xxx / laite PI-xxx (Liite 1). Kanava muutokset tehdään torneille 1- ja 4 VacRoll poistoilman takaisinkierätykselle, sekä puhaltimen sijaintia muutetaan ennen LTO- tornia. VacRoll poistoilmankierrätyksellä estetään välikaton ylipaineisuutta ja kondensoitumista, joten paineenmittaus komponentit on lisätty etu- ja jälki huuuvan välikattoon. Paineen mittaukselle, kosteusmittaukselle ja VacRoll poistoilman takaisinkieräto piireille tehdään toimintakaaviot ja toimintaselostukset.

### 6.2 Piiriluettelo

Piiriluettelo kattaa kaikki projektissa tarvittavat laitteet ja niiden olennaiset tiedot; Positiot, piirin tunnuksot, laite kuvauksot, putken- halkaisijat, signaalin tyypit ja laitemallit. Luettelolla varmistetaan, että kaikki tarvittavat komponentit on tunnistettu, tilaamista varten ja ovat yhteensopivia keskenään. PI-kaavion laitteiden positioiden määrittely ja toimintaselostus on huomattavasti järkevämpää tehdä piiriluettelon laitteiden positio määritelmien jälkeen. Piiriluettelo toimii viitteenä hankinnoille ja asennuksille, jotta projekti voi edetä sujuvasti ja suunnitelman mukaisesti (kuva 22). Laiteluettelo sisältää 5- LTO-tornin taa-juusmuuttajat ja anturit sekä etu/jälki huuuvan 0-tason lämpötila-antureista.



LOOP AND DEVICE LIST  
STATUS: FINAL

DOCU  
FLOW SHEET: 1

DATE	NAME	ACCEPTED BY	CHANGES																	
2024-7-8	Eero Pippo	-	FINAL DATA																	
LOOP TAG	LOOP DESCRIPTION 1	LOOP DESCRIPTION 2	DEVICE TAG	DEVICE DESCRIPTION	CONT. ROL. SYS. TEM	SIGNAL TYPE	RANGE	SUPPLY	AAI	AI	AO	BI	BO	MANUFACTURER MODEL	DELIVERY	ORDER CODE	HOOK-UP	FUNCTION DIAGRAM	COMMENTS	
PRE DRYER, CLOSED HOOD, HEAT RECOVERY, EXHAUST/SUPPLY AIR																				
P-1201	HOOD FALSE CEILING	PRESSURE	PT-1201	DIFF. PRESSURE TRANSMITTER	DCS	4-20 mA	-150Pa...150Pa							E-H PWD79-AAAT8B0AAA	RAI (I)	VAL0360221	TKU0136903		SOFTWARE LOOP	
FC-801	PRELUYICH	SUPPLY AIR FLOW			UCS												IKU0194086		SUPPLY WARE LOOP	
MC-301	PREDRYER	EXHAUST AIR HUMIDITY			DCS														SOFTWARE LOOP	
U-401	PREDRYER	0-LEVEL 1	LE-401	TEMPERATURE SENSOR	DCS									SXS WT-KAAPRELL4/100-3000/SEL-4J-KLA (5 kg)	RAI (I)	VAL0249466	PAN0005258+ IT8332700			
U-401	PREDRYER	0-LEVEL 1	LT-401	TEMPERATURE TRANSMITTER	DCS	4-20 mA	0-100°C							E-H TMT182-A23BA, P-500	RAI (I)	TKU0106318	PAN0005258+ IT8332700			
U-401	PREDRYER	0-LEVEL 1	U-401		DCS		0.5-3.5 m												CALCULATION	
U-402	PREDRYER	0-LEVEL 2	LE-402	TEMPERATURE SENSOR	DCS									SXS WT-KAAPRELL4/100-3000/SEL-4J-KLA (5 kg)	RAI (I)	VAL0249466	PAN0005258+ IT8332700			
U-402	PREDRYER	0-LEVEL 2	LT-402	TEMPERATURE TRANSMITTER	DCS	4-20 mA	0-100°C							E-H TMT182-A23BA, P-500	RAI (I)	TKU0106318	PAN0005258+ IT8332700			
U-402	PREDRYER	0-LEVEL 2	U-402		DCS		0.5-3.5 m												CALCULATION	
TOWER 1																				
H-52444HC-53	T1 HOOD SUPPLY AIR		S2444F53	FREQUENCY CONVERTER	DCS	Profibus DB	0-100%									CUST			Existing	
F-101	T1 HOOD SUPPLY AIR	FLOW	FT-101	DIFF. PRESSURE TRANSMITTER	DCS	4-20 mA	0-1000Pa							E-H PWD79-AAAT8B0AAA/0...15Pa	RAI (I)	VAL0360220	TKU0094603			
F-101	T1 HOOD SUPPLY AIR	FLOW	FE-101	FLOWBAR	DCS									VALMET	RAI (I)	TKU0077901	TKU0094603		#1585 m, A-1 97 mm	
F-101	T1 HOOD SUPPLY AIR	FLOW	F-101		DCS		0-77 Kg/s												CALCULATION	
F-101	T1 HOOD EXHAUST AIR	FLOW		FREQUENCY CONVERTER	DCS	Profibus DB	0-100%									CUST				

Kuva 22

## 6.3 Toimintakaavio

Toimintakaavion ohjelmallinen toiminta tehdään prosessin toimintaselostuksen pohjalta. Toimintakaavio on graafinen piirustus, joka kuvastaa prosessin ohjauksen ohjelman vaiheita tulo- ja lähtösignaalien kanssa. Tämä kuvastaa, joko 1- tai useamman toimilaitteen toimilohkoa ehtoineen, jolla käynnistetään tai pysäytetään kyseinen objekti. Toimintakaaviossa on käytetty FBD- pohjaista (function block diagram) ohjelmointikieltä. Toimintakaavioiden tekemiseen käytettiin Valmet AutoCAD Mechanical 2023- suunnittelutyökalua, joista muodostui kaiken kaikkiaan 38 ohjauspiiriä. Piireissä on mm. poistoilman ohjauspiiri, korvausilman ohjauspiiri, virtausilman ohjauspiiri, kosteusilman ohjauspiiri, välikaton paineen ohjauspiiri, 0- tason säätöpiiri ja takaisinkierroilman säätöpellin ohjauspiiri. X- kuvaa lämpötilaa, jota mitataan TI-157 lämpötila anturilla T2 poistoilmakanavasta ja Y- kuvaa kosteutta poistoilmasta. Lämpötilaa mitataan poistoilmasta antureilla: T1/MI-115, T2/MI-158, T3/MI-203, joista tieto kulkee SEL- funktiolohkon lävitse. SEL- funktiolohko lukee poistoilman kosteusmittausarvoa tuloista a, b, c ja antaa lähtötiedon 1 sille annetun asetusarvon ylittämisestä. Asetusarvot X, Y on määriteltynä AUTO/REMOTE tilassa miten monta grammaa kosteutta poistuu kiloa kuivaa ilmaa kohti sekunnissa ( $g_{H_2O}/kg_{k.i./s}$ ). Määriteltujen lämpötilan X- arvoilla pyritään pitämään Y- arvojen mukaista kosteutta poistoilmapuhaltimien kierrosnopeutta säätämällä taajuusmuuttajalla 52444HC-xxx (Taulukko 2, Liite 2). Korvausilmamäärää mitataan

jokaisen tornin korvausilmakanavasta, jotka lasketaan yhteen ja tieto menee säätimen INPUT:tiin. Poistoilmamäärää mitataan virtausmittaus antureilla tornien poistoilmakanavista, johon sisältyy VacRoll- takaisinkierto huuvaan. Tämä täytyy vähentää kokonaispoistoilman virtauksesta todellisen tuloksen saamiseksi. Huuvan korvausilmapiiri seuraa poistoilman virtausta, joten kokonaispoistoilman summa – huuvaan tuleva vuotovakio (30 kg/s) = kokonaiskorvausilma. Etukuivaimen FIC-801 säädin ohjaa OUTPUT:sta korvausilmapuhaltimien taajuusmuuttajia T1, T2 ja T3 (Liite 3). VacRoll poistoilman takaisinkieritys ohjauspiirissä mitataan T1 poistoilmakanavistosta ilmavirtausta, lämpötilaa ja kosteutta. Poistokanavan pinta-ala täytyy määritellä, jotta saadaan laskettua näiden mittaustulosten perusteella todellinen takaisinkierityksen ilmanvirtaus (kg.k.i./s). VacRoll poistoilman takaisinkieritys piirin OUTPUT:sta kulkee tulotieto FIC-801 korvausilmapiiriin (Liite 4). MIC- piirin  $O_{MIN}$  asetusarvoksi on määritetty kiinteä minimi arvo 40 %. Etuhuuvan MIC-901 ja jälkihuuvan MIC-1101 säätimien OUTPUT ohjaa säätöalueella 45...40 % lähtötiedolla 0...100 % (Liite 5) etuhuuvan PIC-1201 ja jälkihuuvan PIC-1301 säätimen  $O_{MIN}$  asetettua arvoa (Liite 6). PIC- säätimien OUTPUT ohjaa säätöpeltiä säätöalueella 0...100 % lähtötiedolla 20...50 % peltiä kiinni, tai auki riippuen joko poistoilman kosteudesta (MIC-xxx), tai välikaton paineesta (PIC-xxx) (Liite 6).

#### 6.4 Toimintaselostus

Toimintaselostus luodaan PI- kaavion pohjalta asiakkaan tilaamansa toiveiden ja toiminnallisuuden mukaan, joten toimintaselostusta noudatetaan sen ehtojen mukaisesti ohjelmaa automatisoidessaan. Toimilaitteiden toiminnat selostetaan ehdoilla, joilla ohjataan logiikkakaavioiden signaaleja. Toimintaselostuksessa kuvataan ajettavuus komponenttien yhteentoimivuutta ja sen automatisoitua toimintaa. Selostuksessa tuodaan esiin huuvan ilmanvaihdon toimintaperiaate; Tuloilman, kiertoilman- ja poistoilman-, virtauksen, kosteuden, 0- tason, huuvan välikaton paineenmittaus piirin, poistoilman takaisinkieritys piirin ja lämpötilan määritelmät. T1 etuhuuvan ja T4 jälkihuuvan VacRoll säätöpelti-, poistoilma-, ilmavirta ja kierrätysilma piirin ollessa AUTO- tilassa (Liite 7):

1.AUTO/LOCAL VACROLL SÄÄTÖPELTI: Paperiradan ajotilanteessa kanavan säätöpellin ohjausarvo on 0...100 % (ohjaus asetetaan paikalliseen käsikäyttöön).

AUTO/REMOTE VACROLL SÄÄTÖPELTI: Ohjaus tulee moottorin säätöpellin PID-xxx säätimeltä, kun säätimen OUTPUT:sta ohjaustieto säätää peltiä 0...100 %.

2.AUTO/LOCAL VACROLL POISTOILMAPUHALLIN:

Paperiradan ajotilanteessa puhaltimen ohjausarvo on 0...100 % (80 %) (ohjaus asetetaan paikalliseen käsikäyttöön).

AUTO/REMOTE VACROLL POISTOILMAPUHALLIN:

Ohjausarvo tulee kosteudensäätö piiristä MIC-xxx, kun säätimen OUTPUT:sta ohjaustieto säätää välillä 40...100 %, VacRoll poistoilmapuhallin-xxx kiertää 40...100 %.

3.VACROLL POISTOILMAVIRTAUS FUNKTIO:

Dynaamista painetta mitataan anturilla, jonka painelähetin lähettää tiedon FIC-xxx korvausilmapiiriin ja laskee ilmavirran.

4.AUTO/LOCAL VACROLL KIERRÄTYSILMA FUNKTIO:

Dynaamista painetta mitataan anturilla, jonka painelähetin lähettää tiedon FIC-xxx korvausilmapiiriin ja laskee ilmavirran kg/s. VacRoll poistoilman lämpötilaa mitataan TI-xxx anturilla ja kosteutta mitataan MI-xxx anturilla. Liitanta muiden piirien ja laitteiden kanssa: T2 poistoilmavirtauksen FI-xxx, huuven kosteudenmittaus piirin MIC-901, T1 VacRoll kierrätysilma piirin FI-xxx rinnan (Liite 8). Etuhuuvun PIC-1201 ja jälkihuuvun PIC-1301 paineenmittauspiirit mittaavat välikaton alipainetasoa. Jos alipainetaso on liian pieni huuven poistoilman kosteuden säätöjärjestelmän piiri MIC-901, tai MIC-1101 ohjaa huuven välikaton poistoilmapuhaltimien nopeutta kovemmilla kierroksilla saavuttaakseen tietyn alipainetason (Liite 9). Etu- ja jälkihuuvun kosteudenmittaus piirin ollessa AUTO- tilassa (Liite 10):

AUTO/LOCAL HUUUVAN KOSTEUDENMITTAUS PIIRI:

Asettaa paperiradan ajotilanteessa kosteussäädön asetusarvon (Taulukko 2) valitun kosteuden asetuspisteen mukaan ja tämä on tuotannosta riippuvainen. (ohjaus asetetaan paikalliseen käsikäyttöön).

AUTO/REMOTE HUUUVAN KOSTEUDENMITTAUS PIIRI:

Huuvan poistoilman kosteuden säätöjärjestelmän MIC-xxx piirin (Taulukko 2) asetusarvo lasketaan huuvan poistoilman lämpötilan mukaan ja ilmamäärää säädetään huuvan poistoilmapuhaltimen taajuusmuuttajan asetusarvoa muuttamalla. Kosteussäätimen ohjaustieto ollessaan 0...40 %, joka ohjaa VacRoll poistoilmapuhaltimia 60...100 % (yleensä poistoilmapuhallin on päällä 100 % hyvän ajettavuuden varmistamiseksi, ettei alipaineisuus katoa paperiradan ollessa päällä). Kosteussäätimen ohjaustieto ollessaan 0...40 % huuvan välikaton poistoilmapuhaltimien nopeus on 40...100 %. Välikaton huuvan PIC-xxx paineenmittaussäätö piiri antaa ylipaineesta 0...100 % ohjaustiedon, tämä ohjaa huuvan välikaton poistoilmapuhaltimien taajuusmuuttajien nopeutta minimissään 20...50 %.

#### HUUVAN TULOILMAVIRTAUS FUNKTIO:

0- tason pitämiseksi oikealla suunnittelulla tasolla on pidettävä tuloilman määrää sopivalla tasolla. Asetusarvo tuloilmalle on kokonaispoistoilman summa miinus - huuvaan tuleva vuotoilma vakio (30 kg/s) miinus – VacRoll takaisin kierrätetty ilma (T1 FIC-801, T4 FIC-1001) = kokonaiskorvausilma (Liite 11).

#### 6.5 PI- kaavio

PI-kaavio (putkitus ja instrumentointi) on tärkeimpiä perussuunnittelun dokumentaatioita, joista saadaan selville prosessin teknillinen suunnitelma putkistoihin ja toimilaitteiden sijainnit prosessissa. PI- kaavion piirtämiseen käytettiin Valmet AutoCAD Mechanical 2023- suunnittelutyökalua. PI- kaavio koostuu 5 LTO- tornista, joista 2- torniin tehdään huuvan VacRoll poistoilman takaisinkierto- järjestelmä. Etu- huuvan märkäpäähän T1 VacRoll kierto 1 ja jälki- huuvan märkäpäähän T4 VacRoll kierto 2 (Liite 12).



## 7 SIMULOINTI

Projektista tehdään simulaatio Valmet LTOSIM työkalulla. Simulointi on todellisuutta jäljittelevä ympäristö, joten selvitetään teoreettisesti laskemalla ja simuloidaan ajotilanteet etuhuuvasta ilman VacRoll poistoilman takaisinkierätystä, sekä VacRoll poistoilman takaisinkierätyksellä.

Etuhuuvasta mitatut T1, T2 ja T3 lähtötiedot (Taulukko 3).

Poisto			Tulo		
Vac 1	31	kg/s	Korvaus 1	12	kg/s
Huuva 2	22	kg/s	Korvaus 2	27,8	kg/s
Huuva 3	25	kg/s	Korvaus 3	13	kg/s
Kok.	78	kg/s	Kok.	52,8	kg/s

Taulukko 3. Lähtötiedot

Simulaatio ilman poistoilman takaisinkierätystä (0 %). Mittaustuloksien perusteella simuloidut tulokset T1, T2 ja T3 AHR, sekä CHR- kennojen talteenotetun energian määrä (Liite 13,14,15). Simulointi poistoilman takaisinkierätyksellä (50 %), josta täytyy laskea ensimmäiseksi huuvasta poistuva vesimäärä ( $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{k.i.}}/\text{s}$ ). Tuloksen saamiseksi täytyy laskea T1, T2 ja T3 erikseen poistoilman ilmavirta  $\text{kg/s} * \text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{k.i.}}/\text{s} / 1000 =$  summattuna kaikki yhteen tuloksena  $= 9,01 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{k.i.}}/\text{s}$ . Torni 1 Vac poisto, 50% takaisinkierätys  $31 \text{ kg/s} = 15,5 \text{ kg/s}$ . Kokonaispoisto  $78 \text{ kg/s} - \text{takaisinkierätykseen} 15,5 \text{ kg/s} = \text{kokonaispoisto kierätyksellä} 62,5 \text{ kg/s}$ . Poistuvan veden määrä  $9,01 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{k.i.}}/\text{s} / \text{kokonaispoisto} 62,5 \text{ kg/s} = \text{monta grammaa kosteutta poistuu kiloa kuivaa ilmaa kohti sekunnissa} 145 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{k.i.}}/\text{s}$ . Mittaustuloksien perusteella simuloidut ja lasketut tulokset T1, T2 ja T3 AHR, sekä CHR- kennojen talteenotettu energia, (50%) poistoilman takaisinkierätyksellä (Liite 16,17,18). Projektin suunnittelu, laskelointi ja simulointi osuuksien valmistuttua päädytään tilanteeseen, jossa tarkastellaan VacRoll poistoilman takaisinkierätyksen hyötyjä. T1, T2 ja T3 kennojen talteenotettujen energian määrät 0 % ja 50 % kierrolla, laskettu alla olevassa taulukossa (Taulukko 4). Voimme todeta Vac torni 1 AHR- kennojen

energian talteenoton olevan vähäisempää kierron jälkeen, koska ilma kierrätetään takaisin huuvaan ja poistuvan ilmamäärä putoaa 50 %. Torni 2 ja torni 3 energian talteenottaminen on kasvanut 50 % kierrätyksen vaikutuksesta. Tästä voimme todeta CHR, sekä AHR- kennojen varastoivan kosteammasta ilmasta ( $145\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{k.i./s}}$ ) enemmän energiaa. Poistoilman takaisinkierätyksen esimerkkiin on määritelty höyryn hinnaksi 30,00 € ja ajoikkunaksi 8000 tuntia vuodessa.

kierto 0%			kierto 50%		
	CHR	AHR		CHR	AHR
Torni 1	682	3609	Torni 1	765	2846
Torni 2	709	3103	Torni 2	788	3953
Torni 3	725	3426	Torni 3	799	4389
kW säästö	2116	10138	kW säästö	2352	11188
			kW säästöt yht	236	1050
			MW/höyry	30,00€	
			Vuodessa (8000h)	253 888,00€	

*Taulukko 4. Säästöt*

## 8 YHTEENVETO

Projektin aiheena oli paperinkoneen kuivatusosan XT- säätö ja siihen lisättynä VacRoll poistoilman takaisinkierto, johon liittyy monenlaista dokumentaatioita ja suunnittelua. Kuivatusosan XT- säätöön huomioitiin VacRoll poistoilman takaisinkierto ja sen mukaan rakennettiin toimiva kokonaisuus. Työssä tehtiin laskelmointeja ja simulaatioita, joilla saadaan suuntaa antavaa tulosta hyödyistä.

Projektin tekemisessä tutustuin moneen käyttösovellukseen työn eri vaiheissa ja opettelin paperikoneen teoriaa syvemmin, jotta olisi mahdollista toteuttaa kyseistä projektia. Opinnäytetyön aikana sain laajalti työkokemusta ja oppimista aiheesta. Koin projektin hyödyllisenä, jota mahdollisesti käytetään tulevaisuudessa. Projekti oli todella opettavainen kokemus tulevaisuuden työelämää varten, sekä oppimisen harjoittelun kannalta.

## LÄHTEET

Valmet Technologies Oyj:n Raisio konttorin työntekijät mm. Pauli Kovanen, Ralf Kotiranta, Eetu Määttä, sekä työn ohjaaja Jouko Ylikoski ja Valmet Oyj:n arkistot. (2024).

Valmet www-sivut. (N.d). Haettu 28.5.2024 osoitteesta  
<https://www.valmet.com/fi/>

Knowpap Paper Technology www-sivut. (N.d). Dryer section.  
Haettu 29.5.2024 osoitteesta  
<https://www.knowpap.com/>

Valmet.sharepoint. (N.d). Haettu 3.6.2024 osoitteesta  
[Flow - Front Page \(sharepoint.com\)](#)

Air Systems käyttöohje. Suljetun huuvan ilmatasapaino. (2024).  
Viitattu 14.8.2024

Puusta paperiin M-502. Paperikoneet yleistä. (1981).  
Viitattu 20.8.2024

Tekniikan taulukkokirja. Genesis-kirjat OY. Esko Valtanen. (2013).

Valmetin historia. Valmet www-sivut. (N.d). Haettu 23.8.2024 osoitteesta  
<https://www.valmet.com/about-us/history/>

**Liitteet 1-18 salattu.**