



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# HAIHDUTTAMON HAIHDU- TUSTEHOKKUUDEN/TOI- MINTAVARMUUDEN KEHIT- TÄMINEN

Mondi Powerflute Oy

TEKIJÄ/T: Jimi Myöhänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Jimi Myöhänen			
Työn nimi Haihduttamon haihdutustehokkuuden/toimintavarmuuden kehittäminen			
Päiväys	10.3.2019	Sivumäärä/Liitteet	33
Ohjaaja(t) Anssi Suhonen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Mondi Powerflute Oy / Tapio Laukkanen / (Markku Meklin)			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia mahdollisuuksia haihduttamon haihdutuskapasiteetin kasvattamiseksi, pääasiassa esihaihduttamon osalta ja esi- ja sarjahaihduttamon välisen toiminnan kehittämistä olemassa olevien suunnitelmien pohjalta. Työn aikana tämän hetkisiä ongelmia käsiteltäessä tultiin useampaan eri kehitysvaihtoehtoon.</p> <p>Työn tilaajana toimi Mondi Powerflute Oy, jossa opinnäytetyön tekijällä on työkokemusta usealta vuodelta. Työtä lähdettiin tekemään tiedossa olevien ongelmakohtien pohjalta ja toimeksiantajan edustajan näkemysten perusteella.</p> <p>Työtä tehdessä varmistui, että esihaihduttimen ongelmakohtien korjaaminen nykyisellä laitteistolla kasvaisi niin suureksi investointikustannukseksi, että huomioon ottaen korjaustöistä johtuvat tuotantokatkokset ja vastaavuus tehtaan tulevaisuuden tarpeisiin, on kokonaan uuden esihaihduttimen rakentaminen kannattavin ratkaisu.</p> <p>Esi- ja sarjahaihduttamon välistä yhteisajoa tutkiessa jo olemassa olevien suunnitelmien pohjalta työssä tultiin siihen tulokseen, että esi- ja sarjahaihduttamon välille asennettavalla väliliemisäiliöllä saataisiin luotua tasapainoa ja "pelivaraa" esi- ja sarjahaihduttamon välille.</p> <p>Koko haihduttamon kapasiteetin optimoimiseksi tarkasteltiin kumpaakin haihduttamoa erillisyyksikkönä ja siten saatiin paras tulos kapasiteetissa. Etenkin sarjahaihduttamon osalta havaittiin mahdollisuuksia nostaa kapasiteettia.</p>			
Avainsanat haihduttamo, haihdutin, haihdutus, kapasiteetti, esihaihduttamo, MVR			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Jimi Myöhänen			
Title of Thesis Development of evaporation plant operations			
Date	10.3.2019	Pages/Appendices	33
Supervisor(s) Anssi Suhonen			
Client Organisation /Partners Mondi Powerflute Oy / Tapio Laukkanen / (Markku Meklin)			
<p>Abstract</p> <p>The goal of this thesis was to research different kind of possibilities to improve the capacity of an evaporation plant, especially the capacity of a pre-evaporator. The development of co-operation between the pre-evaporator and the main evaporation plant was also researched based on the existing plans. When studying the existing problems, many different kinds of development possibilities were discovered.</p> <p>The work was commissioned by Mondi Powerflute Oy where the author of this thesis has been working during several years. The work began by going through problems that were already well-known and using the knowledge and advice of one of the client's advocates.</p> <p>During the process it became clear that by investing in the fixing of the old pre-evaporator, the investing costs would rise so high that it would be reasonable to invest in the new pre-evaporator based on MVR technology. This was especially when considering the stoppage time of production during the assembly of the new pre-evaporator and the pre-evaporator meeting the future production goals planned for the factory.</p> <p>Researching the co-operation between the pre-evaporator and the main evaporation plant based on the existing plans, the result was that by building a tank, which contains liquor from the pre-evaporator, between the pre-evaporator and the main evaporation plant would create a balance between the pre-evaporator and the main evaporation plant.</p> <p>To optimize the whole evaporator plant's capacity, both of the evaporators, the pre-evaporator and the main evaporator, were considered as two separate units. In that way the best results in capacity were met. Especially, when investigating the main evaporator, possibilities to increase capacity were found.</p>			
Keywords evaporation, evaporator, pre-evaporator, MVR, evaporation plant			
Public			

## ESIPUHE

Tahdon välittää kiitokseni kaikille, jotka jollain muotoa ovat olleet osana opinnäytetyötäni. Kiitokset kuuluvat voimapäällikkö Markku Meklinille opinnäytetyön aiheesta, kunnossapitomestari Jukka Töhselle, sähköinsinööri Pertti Rytöselle, KP-Teknik Oy:n Sakari Kokkoselle ja koko voimalaitoksen henkilöstölle. Erityiskiitokset 1-vuorolle. Viimeisimpänä, mutta ei vähäisimpänä, tahdon kiittää teknologiapäällikkö Tapio Laukkasta työni erinomaisesta ohjaamisesta.

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	YRITYSESITTELY .....	8
2.1	Mondi Powerflute Oy .....	8
2.2	Yrityksen historiaa.....	9
2.3	Powerfluten prosessikuvaus.....	10
2.3.1	Puunkäsittely.....	10
2.3.2	Massanvalmistus.....	10
2.3.3	Lisämassa .....	10
2.3.4	Kartonginvalmistus.....	10
2.3.5	Jälkikäsittely.....	11
3	POWERFLUTEN VOIMALAITOS .....	12
4	HAIHDUTTAMOT JA NIISSÄ KÄYTETTÄVÄT LAITTEET .....	13
4.1	Haihdukkamon toiminta .....	13
4.2	Haihdutintyytit .....	14
4.2.1	Laskevakalvohaihduttimet (falling film).....	14
4.2.2	Nousevakalvohaihduttimet (rising film).....	15
4.2.3	Pakkokiertohaihdutin (Forced circulation).....	16
4.3	Haihduttamotyytit.....	16
4.3.1	Esihaihduttamo.....	16
4.3.2	Sarjahaihduttamo .....	16
5	MVR (MECHANICAL VAPOUR RECOMPRESSION) TOIMINTAPERIAATE .....	17
6	POWERFLUTEN HAIHDUTTAMO.....	20
6.1	Esihaihduttamo .....	20
6.2	Sarjahaihduttamo.....	20
7	HAIHDUTUSKAPASITEETIN/TOIMINTAVARMUUDEN KASVATTAMINEN .....	21
7.1	Tämänhetkiset ongelmat.....	21
7.1.1	Esihaihduttamo.....	21
7.1.2	Esihaihduttamon ajomalli.....	26
7.1.3	Esihaihduttimen puhallin.....	27
7.1.4	Sarjahaihduttamo .....	29

8	KEHITYSMAHDOLLISUUDET .....	30
8.1	Esihaiduttimen tuubien syöpymisen estäminen/lieventäminen.....	30
8.2	Esihaiduttimen putkipaketin uusiminen.....	30
8.3	Esihaiduttimen puhaltimen vaihtaminen .....	31
8.4	Uuden esihaiduttamon rakentaminen.....	32
8.5	Esi- ja sarjahaiduttamon ajo nykyisin .....	32
8.6	Esi- ja sarjahaiduttamon yhteisajon optimointi .....	33
9	YHTEENVETO.....	34
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT.....	35

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään Mondi Powerflute Oy:n kartonkitehtaan voimalaitokselle, jonka haihduttamon haihdutuskapasiteettia olisi todennäköisesti tarve kasvattaa vastaamaan tehtaan tulevaisuuden tarpeita. Jo nykyisellään haihduttamon haihdutuskapasiteetti saisi olla suurempi, koska se on laskenut huomattavasti siitä, kun uusi esihaihdutin asennettiin. Kapasiteetti ei siis enää ole sillä tasolla, kuin se on suunniteltu.

Tämänhetkisen laitteiston operointia voisi myös olla mahdollista optimoida ja tässä työssä sitä tul- laan käsittelemään eri lähestymiskulmista, sekä esihaihduttamon, että sarjahaihduttamon osalta. Pääasiassa työ keskittyy esihaihduttamoon.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään läpi erilaisia haihdutintyyppisiä ja niissä käytettäviä laitteis- toja. MVR-teknologiaa käsitellään omana lukunaan, koska se on olennainen osa tätä työtä. Työn kä- sittelyosuudessa käsitellään haihduttamon tämänhetkistä ajomallia, sen mahdollisia ongelmia/epä- kohtia ja lisäksi näille etsitään ratkaisuja.

Työn tarkoituksena on luoda pohjaa haihduttamon tulevaisuuden suunnittelua varten ja tuoda esille erilaisia kehittymismahdollisuuksia ja jopa ongelmakohtia, joita ei heti ensimmäisenä edes tule ajatel- leeksi. Tavoitteena on tuoda esille ongelmakohdat haihduttamon, erityisesti esihaihduttamon osalta ja pohjustaa mahdollisia ratkaisuja.

## 2 YRITYSESITTELY

Mondi Powerflute Oy (aiemmin Savon Sellu Oy) on Kuopion Sorsasalossa sijaitseva kartonkitehdas (kuva 1), jossa valmistetaan Powerflute® -tuotemerkillä myytävää ”neitseellistä” puolikemiallista aallotuskartonkia eli fluting -kartonkia. Nykyisin Mondi Powerflute Oy kuuluu Mondi Groupiin, joka on yksi maailman johtavista paperi- ja pakkausyhtiöistä. Powerfluten tuottamaa aallotuskartonkia käytetään pääasiassa kosteuskestävyyttä ja lujuutta vaativien pakkausten valmistukseen. Tällaisia ovat muun muassa hedelmä- ja vihanneslaatikot, elektroniikan, koneenosien ja joidenkin merkkituotteiden pakkaukset. (Powerflute Oyj 2018.)

### 2.1 Mondi Powerflute Oy

Tehtaan tuotanto aloitettiin vuonna 1968 ja tuotantokapasiteetti on n. 285 000 t/v. Raaka-aineena käytetään koivua, jonka vuosittainen kulutus on n. 725 000 m<sup>3</sup>/v. Henkilöstöä tehtaalla on 194, joista toimihenkilöitä on 55 ja työntekijöitä 139. Liikevaihto on n. 150 miljoonaa euroa. (Powerflute Oyj 2018.)



KUVA 1. Ilmakuva Powerfluten tehdasalueesta (Powerflute Oyj 2018.)



## 2.2 Yrityksen historiaa

- 1962: Savon Sellu Oy perustetaan. Tarkoituksena alkaa valmistaa sulfaattiselluloosaa.
- 1965: Metsäliitosta tulee pääomistaja. Tuotantosuunta vaihtuu, sulfaattiselluloosan sijaan tehtaan määrä alkaa valmistamaan aallotuskartonkia, eli flutingia.
- 1967: Perustukset valettu.
1968. Tuotanto alkaa (29.8.).
- 1969: Tehtaan tuotantokapasiteetti 110 000 t/v.
- 1972: Toinen keittolinja.
- 1977: Miljoona tuotettua tonnia.
- 1979: Tuotantokapasiteetti 148 t/v.
- 1984: Biologinen (bakteeriperäinen) jäteveden puhdistamo (ensimmäinen laatuaan Suomen paperi teollisuudessa).
- 1987: Metsä-Serla Oy Perustetaan.
- 1991: Savukaasupesuri valmistuu.
- 2005: Omistaja vaihtuu, Dermot Smurfit:n johtama sijoittajaryhmä ostaa Savon Sellu Oy:n.
- 2007: Powerflute Oyj listautuu Lontoon pörssiin.
- 2008: Puunkäsittely-yhtiö Harvestia perustetaan.
2014. Powerflute Oyj ostaa Corenso Oy:n.
- 2016: Omistaja vaihtuu. Madison Dearborn ostaa Powerflute Oyj:n ja vetää sen pois pörssistä.
- 2017: NPAC Oy muodostetaan Corenso Oy:n ja Poweflute Oyj:n emoyhtiöksi.
- 2017: Savon Sellu Oy:n tuotantoennätys n. 278 000 t/v.
- 2018: Omistaja vaihtuu, Mondi Group ostaa Powerflute Oyj:n.

## 2.3 Powerfluten prosessikuvaus

### 2.3.1 Puunkäsittely

Koivukuitupuu tuodaan kuorimolle autolla ja junalla. Puu vastaanotetaan hajotuspöydälle ja lyhennetään alle kolmen metrin pituisiksi pätkiksi, jotka kuljetetaan sulatuskuljettimen kautta kuorimarumpuun. Kuorinta tapahtuu kuivakuorintana eli kuori otetaan kuivana ulos rummista voimalaitokselle polttoon. (Powerflute Oyj 2018) Kuoritut puut kulkevat pesun ja kiviloukun kautta hakkuun, jossa puut haketetaan halutun kokoisiksi lastuiksi. Hakulta hake siirretään puhaltamalla hakekasalle varastoon. Hakekasalta hake puretaan kolakuljettimilla seulomoon, jossa hake seulotaan ja ylisuuri hake murskataan oikean mittaiseksi. (Powerflute Oyj 2018.)

### 2.3.2 Massanvalmistus

Seulomolta hake jatkaa matkaansa massatehtaalle, jossa siitä poistetaan pesemällä mahdollinen hiekka ja muut epäpuhtaudet. Paasausastiassa hake kuumennetaan höyryllä ilman poistamiseksi ja nesteen imukyvyyn parantamiseksi. Tämän jälkeen hakkeeseen imeytetään voimalaitoksen savukaasupesurilla valmistettu keittoneste eli ammoniumsulfiitti. Haketta keitetään keittimissä 170°C lämpötilassa ja 10 barin paineessa. Keiton jälkeen massa on vielä lastumaista, jonka vuoksi se kuidutetaan ennen pesua. Kuidutettu massa pestään pesureissa vastavirtamenetelmällä. Kartonkikoneen kierto-vesi (puhdas pesuvesi) tulee viimeiseen pesuvaiheeseen pesuvedeksi ja sieltä edelleen kolmen pesurin kautta ensimmäisen vaiheen pesun liemisäiliöön. Tämän jälkeen syntyneestä ohutliemestä (punalipeä) suodatetaan kuidut pois ja se pumpataan voimalaitoksen varastosäiliöön odottamaan syöttöä haihduttamolle. Siellä siitä haihdutetaan vettä pois sen verran, että se on polttokelpoista (50-55%). Viimeisestä pesuvaiheesta tuleva puhdas massa menee ensimmäisen portaan jauhimille, jossa se jauhetaan kuitumaiseksi odottamaan syöttöä kartongin valmistukseen. (Powerflute Oyj 2018.)

### 2.3.3 Lisämassa

Lisämassalinjalla käsitellään tehtaan omien asiakkaiden leikkuureuna, oma hylky ja muut aallotuskartongin raaka-aineeksi solvetuvat massat. Massat hajoitetaan, sekoitetaan ja seoksesta poistetaan epäpuhtaudet. Valmis massa saostetaan ja jauhetaan ennen kartonkikoneelle pumppausta. (Powerflute Oyj 2018.)

### 2.3.4 Kartonginvalmistus

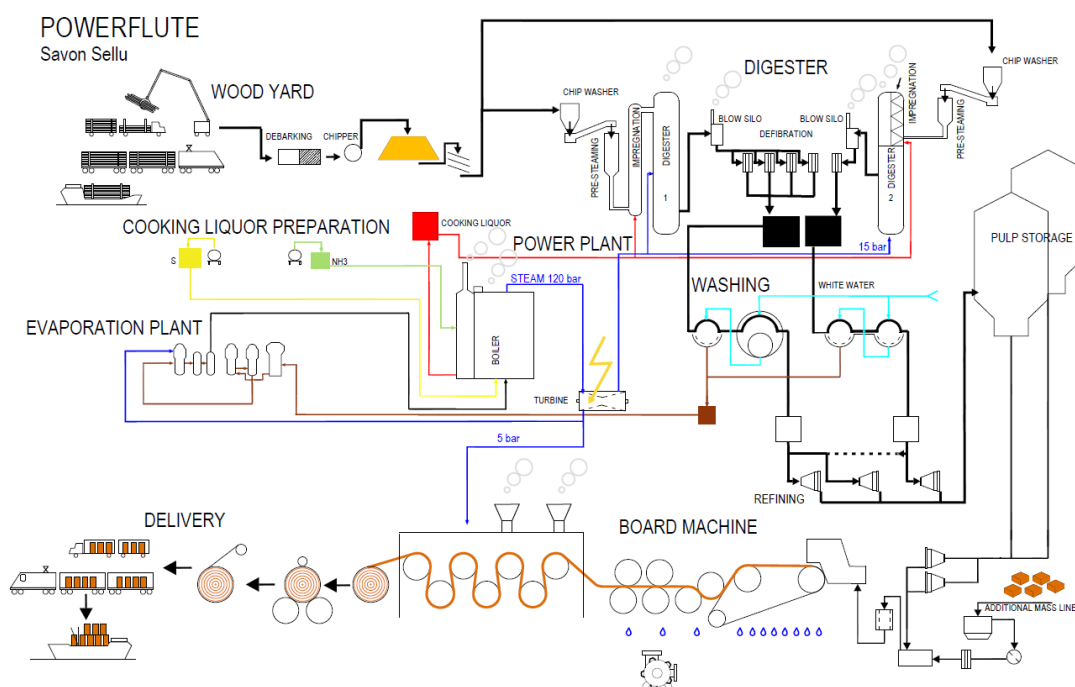
Kartongin valmistuksen tärkeimmät prosessivaiheet ovat massan loppujauhatus, annostelu, syöttö perälaatikkoon ja rainaus koneella. Ensimmäisessä vaiheessa massa otetaan massatornista toisen portaan jauhattukseen, jossa pyritään tekemään massa lujuusominaisuudet, joita tarvitaan lopputuotteessa. Sen jälkeen suoritetaan eri massojen annostelu halutussa suhteessa sekoitussäiliöön, josta massa sitten pumpataan koneen lyhyeen kiertoon laimennettavaksi. Kartonkikoneen tärkeimmät osat ovat perälaatikko, viiraosa, höyrylaatikko, kolmivaiheinen puristinosa sekä kuivausosa,

jonka jälkeen on pope -rullain. Massa laimennetaan perälaatikon syöttöpumpulla n. 1% sakeuteen ja pumpataan perälaatikon lähestymisputkiston kautta perälaatikkoon. Perälaatikossa massan virtaus tasoitetaan ja käännetään kohti huulikanavistoa, jossa virtaus turbuloidaan kuitujen eroittamiseksi toisistaan ja johdetaan huuliaukolle. Huuli jakaa massan tasaisesti koko märkäviiran leveydelle. Viiraosalla poistetaan pääosa vedestä. Puristinosalla raina kulkee kahden huovan ja puristintelojen välissä. Vettä poistetaan rainasta nipeissä joko telan pinnalle ja siitä kaukaloihin tai huopiin, joista se imetään pois huopaimureilla. Rainan loppukuivaus tehdään kuivatusosalla, jossa raina kulkee 69 kuivaussylinteirin kautta rullaukseen pope-rullaimelle. Lopputuotteen kosteus ja neliöpaino mitataan koneen lopussa olevalla mittapalkilla, joka ohjaa kuivatusosan höyryjä kosteuden saavuttamiseksi ja massan syöttöä nelipainon osalta. Lopputuotteen laatumittaukset tehdään konerullista automaattimittauksilla (Autoline) sekä osittain laboratorin toimesta. (Powerflute Oyj 2018.)

### 2.3.5 Jälkikäsitely

Kartonkikoneen levyinen konerulla rullataan uudelleen ja leikataan asiakkaan haluamaan leveyteen ja halkaisijaan. Pakkaamossa asiakasrullat pakataan tuotepakkauksiin ja siirretään tuotevarastoon odottamaan lähetystä asiakkaalle. (Powerflute Oyj 2018.)

Kuvassa 2 havainnollistettu koko tehtaan prosessi.



KUVA 2. Powerfluten prosessikuvaus (Powerflute Oyj 2018.)

### 3 POWERFLUTEN VOIMALAITOS

Voimalaitos on otettu käyttöön samaan aikaan muun tehtaan kanssa, vuonna 1968. Voimalaitoksella poltetaan prosessista muodostuva liemi ja kuori, sekä lisäksi ”ulkopuolisina” polttoaineina pääasiassa turvetta ja tukipolttoaineena öljyä. Voimalaitoksella on käytössä korkeapaineinen pääkattila sekä matalapaineinen apukattila. (Powerflute Oyj 2018.)

Pääkattilan on valmistanut Oy Tampella Ab. Voimalaitos on vuosien saatossa ollut useamman modifioinnin kohteena. Muun muassa 1980-luvulla käyttöön otettiin turveasema sekä turpeensyöttölaitteisto. Vuonna 2011 liemiunit poistettiin ja tulistinputkia lisättiin. Erilaisia kokeiluja polttoaineiden suhteen on tehty usein.

Pääkattila on ns. sekapolttokattila, jonka lämpöteho on 93,9 MW. Kattilan hyötysuhde on n. 87%. Höyryn tuotantoteho on noin 118t/h lämpötilassa 525°C ja 115 bar:n paineessa. Kattilan höyryteho on tällöin 90,4 MW. Kaikki tehtaan tarvitsema lämpöteho ja n. 70% sähköenergiasta tuotetaan voimalaitoksella. (Powerflute Oyj 2018.)

Pääkattilassa käytetään neljää erilaista polttotekniikkaa: ketjuarina-, viistoarina-, suutin- sekä pölypoltto. Näillä kaikilla yhdessä tehdään voimalaitoksen tuottama sähkö, lämminvesi, höyry sekä skeä raaka-aine (SO<sub>2</sub>) keittonesteen valmistukseen. (Powerflute Oyj 2018.)

Pääkattilassa turvepolttimia on kaksi, yksi tukiöljypoltin ja kolme kuormaöljypoltinta. Turpeen poltto tapahtuu pölypolttona. Palamaton turve palaa jälkipolttona ketjuarinalla. Kuori poltetaan viistoarinalla, josta palamaton osa johdetaan vielä loppupolttoon ketjuarinalle. Prosessiliemi poltetaan suutinpolttona neljällä polttimella, joista kaksi sijaitsee kattilan etuseinällä ja kaksi kattilan takaseinällä. Myös pieni määrä sularikkiä suihkutetaan kattilaan rikkipolttimella korvaamaan prosessina hävinnyt rikin osuus (make-up lisäys). Kattilan jälkeen savukaasut puhdistetaan ensivaiheessa sähkösuotimella ja sen jälkeen toisena vaiheena on savukaasupesuri. Pesurissa poistetaan savukaasusta partikkelit ja absorptio-osalla valmistetaan tehtaan keittoneste, jolloin saadaan 99% savukaasun sisältämästä rikkidioksidista talteen. (Powerflute Oyj 2018.)

Apukattilan polttoaineena toimii kevyt polttoöljy. Apukattila tuottaa höyryä 16 tonnia tunnissa n. 200°C lämpötilassa ja 16 bar:n paineessa. Höyryteho on 9,8 MW. Apukattilaa käytetään laitoksen seisakeissa sekä tukena tehtaan alas- ja ylösajoissa. (Powerflute Oyj 2018.)

## 4 HAIHDUTTAMOT JA NIISSÄ KÄYTETTÄVÄT LAITTEET

Haihduuttamoita käytetään sellu-/paperitehtaan kemikaalien talteenotossa. Haihduttamon tehtävänä on haihduttaa vettä niin runsaasti, että saavutetaan kyllin korkea kuiva-ainepitoisuus liemen polttamista varten. (Knowpap 2018.)

Haihdutus tapahtuu tavallisimmin lämmönsiirtimissä tehtaan vastapainehöyryä käyttäen. Haihdutus-höyry on käytettävä mahdollisimman taloudellisesti hyödyksi, koska lämpöenergia edustaa selvästi suurinta kustannuserää haihdutuksessa. Tästä syystä nykyiset haihduttamot ovat monivaihehaihduttamoita. Tämä tarkoittaa sitä, että haihdutus jaetaan useampaan vaiheeseen, jolloin kussakin yksikössä haihdutettu höyry käytetään edelleen haihdutuksen seuraavassa vaiheessa. Primäärihöyryä tarvitaan vain ensimmäisessä vaiheessa, joka siis toimii primäärihöyryn paineessa. Tämän jälkeen paine ja lämpötilat laskevat vaiheesta seuraavaan mentäessä. Sarjan lopussa on huomattava alipaine, joka saadaan aikaan lauhduttimilla käyttäen apuna tyhjöpumppua tai höyryejektoria. (Knowpap 2018.)

Sellutehtailla haihduttamon tehtävänä on nostaa pesuosastolta tulevan musta-/punalipeän kuiva-ainepitoisuutta niin, että se sopii poltettavaksi kattilassa. Haihduttamolle tulevan musta-/punalipeän kuiva-ainepitoisuus on yleensä n. 7-15%. Haihduttamon jälkeinen kuiva-aine riippuu haihdutettavan aineen ominaisuuksista ja voi olla punalipeällä 50-65% tai mustalipeällä yli 70% ja jopa n. 80% nykyaikaisella haihduttamalla.

Haihduttamosta saadaan polttokelpoisen lipeän lisäksi primäärilauhdetta, sekundäärilauhdetta, lämmintä vettä, raakasuopaa, metanolia ja tärpähtiä. (Klemetti, 1999, 148.)

### 4.1 Haihduttamon toiminta

Jos prosessissa syntyy suuri määrä ylimääräistä energiaa (höyryä tai vettä), voidaan käyttää suora-höyry -menetelmää, jolloin käyttötarkoituksesta riippuen voi riittää yksittäinen haihdutin. Mikäli ylimääräistä energiaa muodostuu prosessissa vain vähän, käytetään monivaihehaihdutusta. (Ajon Apu Oy, 2011) Monivaihehaihdutuksen suurin etu on energiataloudellisuus, sillä energian tarve jakaantuu yksiköiden määrän mukaan. Esimerkiksi 4-vaiheisen haihduttamon energiantarve on neljäsosa verrattuna yksivaiheiseen haihduttamoon. Monivaihehaihdutuksen haittapuolena mainittakoon korkeat investointikustannukset. Esihaihduttamoita käytetään sarjahaihduttamon apuna. Nimensä mukaisesti esihaihduttamo sijaitsee ennen varsinaista sarjahaihduttamo. Siellä syöttestä haihdutetaan pois suuri osa vettä ja täten syöte on reilusti korkeammassa kuiva-ainepitoisuudessa sarjahaihduttamoon syötettäessä. MVR-haihdutin on tyypillinen esihaihdutin.

## 4.2 Haihdutintyytit

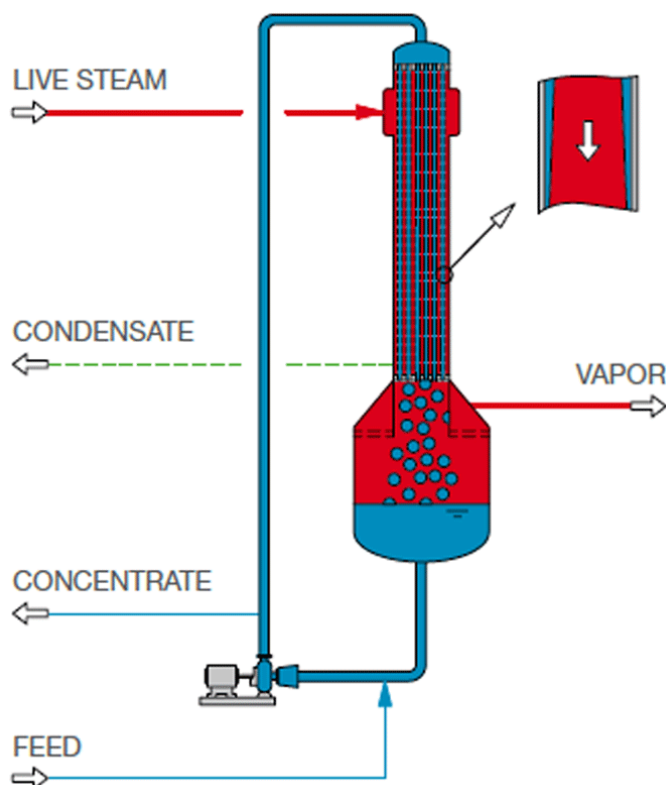
Haihduttimia on toimintaperiaatteen mukaan jaettuna kolmea eri tyyppiä: laskevakalvohaihduttimet (falling film), nousevakalvohaihduttimet (rising film) ja pakkokierto Haihduttimet (forced circulation). Käytettävä haihdutintyyppi riippuu prosessista ja nesteestä, joka sen sisällä kiertää.

### 4.2.1 Laskevakalvohaihduttimet (falling film)

Laskevakalvohaihdutin on yksi kustannustehokkaimmista ja energiataloudellisimmista haihdutinratkaisuista.

Syötettävä neste syötetään lämpöpinnan yläosaan. Neste siirtyy alas putkia pitkin kalvona. Kun prosessiin siirretään energiaa ulkopuolelta, kalvossa oleva vesi haihtuu kiehumisprosessin myötä. Kuivaainepitoisuus kasvaa ja konsentraatti kerätään haihduttimen pohjalle, ennen kuin se pumpataan ulos. (Ajon Apu Oy, 2011.) Haihdutuksessa syntynyt höyry kerätään talteen joko haihduttimen yläosasta tai alaosassa olevasta taskusta ja johdetaan seuraavaan vaiheeseen käyttöön tai kierrätetään omaankäyttöön (MVR).

Tyypillisiä Falling film- haihduttimen eli laskevakalvohaihduttimen sovelluksia ovat nesteet, joiden viskositeetti ei ole suuri. Tällöin nesteet eivät pala herkästi kiinni lämpöpintaan. Esimerkkejä sovelluksista: Maito- ja muut meijerituotteet, kalanjalostusteollisuuden ekstraktit, teollinen jätevesi, bio-kaasulaitosten rejektiveden käsittely, tärkkelysteollisuuden nestevirrat, mineraaliteollisuus ja kemialliset nesteet. (Ajon Apu Oy, 2011.)



KUVA 3. Laskevan kalvon putkihaihdutin (Evatherm)

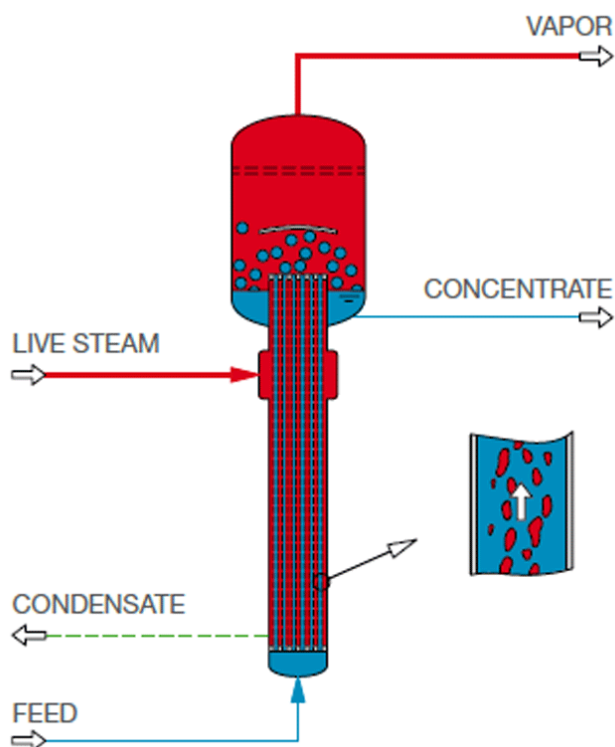
#### 4.2.2 Nousevakalvohaihduttimet (rising film)

Nousevakalvohaihduttimet ovat vanhinta haihdutintekniikkaa, joka on yleisesti käytössä sellu-, paperi-, ja kartokitehtailla. Myös opinnäytetyön kohteena olevassa haihduttamossa on kyseisiä haihduttimia. Nousevakalvohaihduttimet ovat rakenteeltaan joko putkihaihduttimia tai vaihtoehtoisesti levyhaihduttimia, ensimmäisenä mainitut ovat käytössä Powerfluten haihduttamalla.

Haihdutettava aine syötetään alhaalta päin putkien sisälle. Putkia lämmitetään ulkopuolelta höyryllä. Putkissa noustessaan liemi alkaa kiehua. Putken seinämille kertyy nestekalvo ja keskelle muodostunut höyry virtaa suurella nopeudella ylöspäin. Lämmönsiirrinputkiston yläpuolella höyry ja neste erotetaan toisistaan. Heti putkiston yläpuolella on törmäyslevy, sen jälkeen laajennusosa, jossa pisarat erottuvat painovoiman vaikutuksesta höyryvirrasta, ja lopuksi on vielä erillinen pisaranerotin. Väkevöitynyt neste poistuu haihduttimesta lämmönsiirrinyksikön päällä olevasta yhteestä. (Huhtinen, 2000, 77)

Toimiakseen tämän tyyppinen haihdutus vaatii suuren lämpötilaeron höyryn ja nesteen välille. Nousevakalvohaihduttimilla kuiva-ainepitoisuudeksi saadaan yleensä n. 60%. Nämä haihduttimet ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja taloudellisia, koska kiertopumpuille ei ole tarvetta.

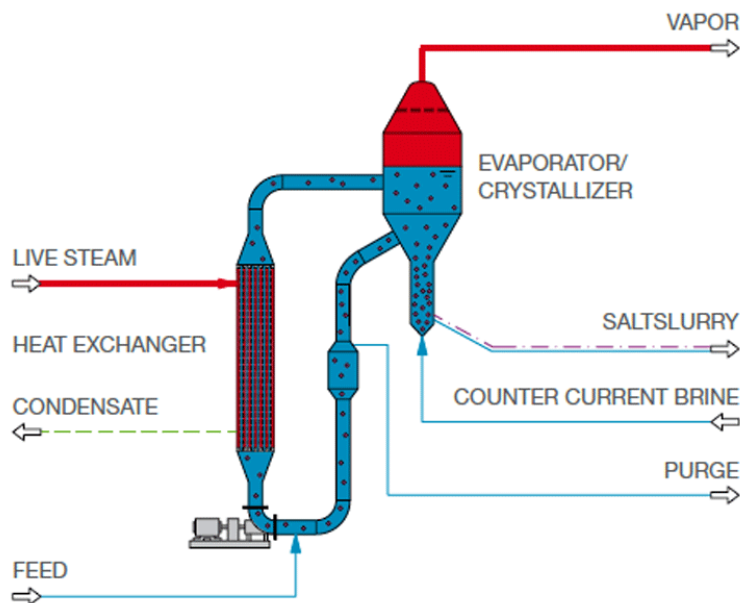
Tyypillisiä sovelluksia nousevakalvohaihduttimille ovat tuotteet, joiden viskositeetti ei ole suuri ja jotka eivät sisällä kuitupitoista materiaalia. Esimerkkejä: Mehun, makeutusaineiden ja muiden elintarvikkeiden konsentrointi, kalanjalostusteollisuuden proteiinieksaktien konsentrointi, tiettyjen jätevesivirtojen konsentrointi, kemiallisten tuotteiden konsentrointi. (Ajon Apu Oy, 2011)



KUVA 4. Nousevakalvohaihdutin (Evatherm)

### 4.2.3 Pakkokiertoahdutin (Forced circulation)

Pakkokiertoahduttimissa neste kierrätetään pumpun avulla erillisen kuumentimen (lämmönsiirtimen) läpi, jossa sitä lämmitetään höyryn avulla. Kuumentimesta neste jatkaa matkaansa kohti painesäiliötä, jossa höyrystyneet kaasut erotetaan nesteestä. Höyry lauhdutetaan nesteeksi esimerkiksi pintalauhduttimella tai suihkulauhduttimella. Vaihtoehtoisesti ne voidaan myös johtaa aikaisempiin yksikköihin lämmittämään. Pakkokiertoahduttimia käytetään useimmiten sarjahaiduttamoiden viimeisinä yksikköinä, jossa tuotteen viskositeetti ei ole enää alhainen.



KUVA 5. Pakkokiertoahdutin (Evatherm)

## 4.3 Haihduttamotyypit

### 4.3.1 Esihaiduttamo

Esihaiduttamolla pyritään optimoimaan entisestään energiatehokkuutta/energiataloudellisuutta. Esihaiduttamo on yksinkertainen ratkaisu haihduttamon energiatehokkuuden/energiataloudellisuuden kasvattamiseksi, sillä se voidaan rakentaa entisen, jo käytössä olevan haihduttamon jatkoksi jopa ilman suurempia tuotantokatkoksia.

Tyypillisin esihaiduttamoissa käytetty haihdutusmenetelmä on MVR-haihdutus. MVR-haihdutus on erittäin energiataloudellinen, sillä se ei vaadi tuorehöyryä toimiakseen. Samalla energiamäärällä MVR-haihdutuksessa veden haihtuminen on runsaampaa perinteiseen sarjahaidutukseen verrattuna.

### 4.3.2 Sarjahaiduttamo

Sarjahaiduttamo on yleisin haihduttamoratkaisu. Sarjahaidutuksen hyötynä on haihdutukseen tarvittavan energiamäärän tehokas hyötykäyttö. Yksinkertaisuudessaan tarvittava energiamäärä (höyry) jakaantuu haihdutinyksiköiden määrän mukaan. Haittapuolena korkeat investointikustannukset (arviolta noin miljoona euroa yksikköä kohden).



## 5 MVR (MECHANICAL VAPOUR RECOMPRESSION) TOIMINTAPERIAATE

MVR-haihduttamossa on yhdistetty haihdutus- ja puristusprosessien hyviä puolia energian säästämiseksi. Haihdutin on tarvittava pinta-ala lämmönsiirtoon ja puristuksella saadaan tarvittava haihdutusenergia lisättyä höyrypuolelle. MVR-haihduttimen toiminta on esitetty kuvissa 7 ja 8, jossa syötettävä neste (1) syötetään esilämmittimeen, jossa se lämmitetään ulos tulevalla lauhteella. Esilämmitetty syöte (2) on haihduttimeen syötettäessä lähellä kiehumispistettä. Kierrätettävästä syöttestä haihdutetaan falling film periaatteella puhdasta kyllästettyä höyryä, joka imetään pisaraerottimien jälkeisestä höyrytaskusta puhaltimelle (3). MVR-puhallin tai kompressorin kompressoii höyryn, jonka paine ja sitä myötä lämpötila nousee. Puhaltimen/kompressorin tehoaste on yleensä 60-85%, riippuen käytetystä tyypistä. Tulistettu höyry kyllästetään kompressorin (4) jälkeen injektioimalla lauhdetta, ennen kuin se siirtyy haihduttimen höyrypuolen lämmönsiirtopinnoille. Höyrypuolella höyry lauhtuu ja poistuu haihduttimesta puhtaana lauhteena (5). Lauhde pumpataan ulos, ja sen sisältämä lämpö käytetään syötteen lämmittämiseen. Haihduttimesta poistuva lauhde (6) on yleensä 3-10°C lämpimämpää kuin syöte. (Ajon Apu Oy, 2011, Fortum, 2018.)

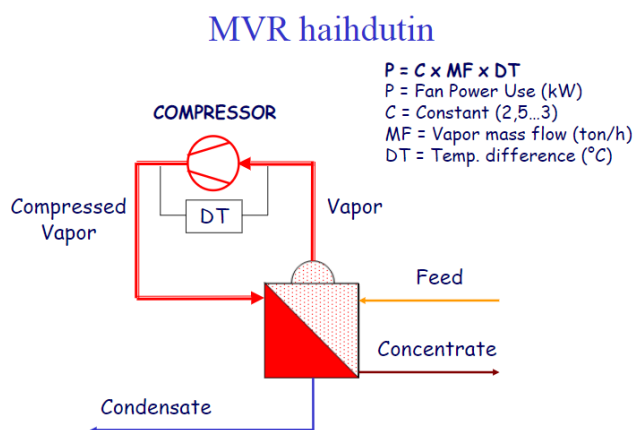
Haihduttimen lämmönsiirron nopeus lämmönvaihtimessa voidaan laskea Newtonin jäähtymislakiin perustuvalla kaavalla 1, jossa näkyy pinta-alan ja lämpötilaeron merkitys lämmönsiirtoon (Vepsäläinen 2016.):

$$\dot{Q} = UAsF\Delta T_{lm} \quad (1)$$

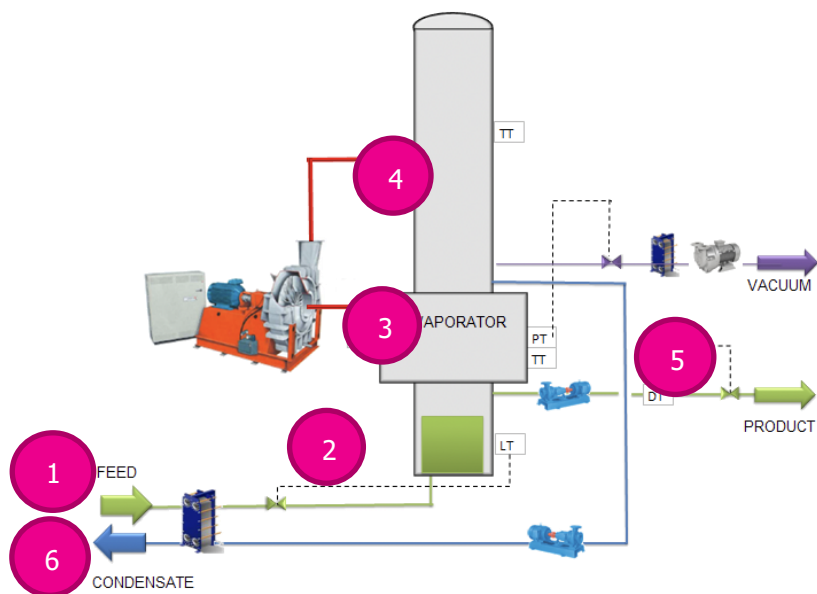
jossa

- $\dot{Q}$  = lämpöteho
- $U$  = kokonaislämmönsiirtokerroin
- $AS$  = lämmönsiirtopinta-ala
- $F$  = korjauskerroin
- $\Delta T_{lm}$  = logaritminen lämpötilaero

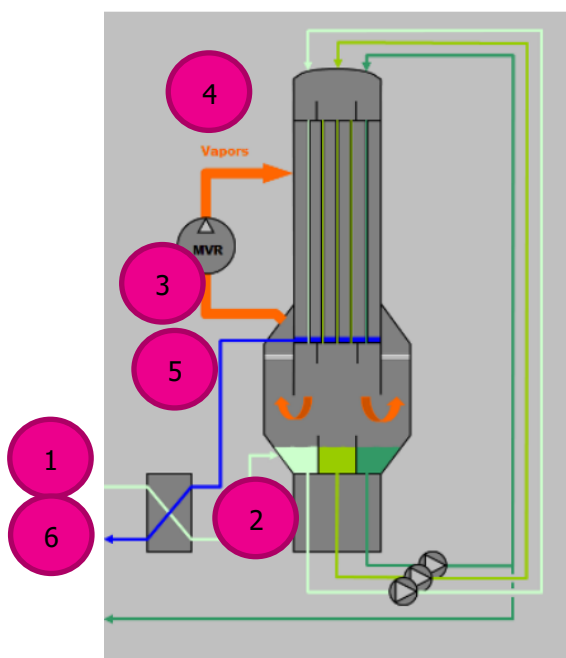
Kaavassa 2 taasen näkyy kasvavan massavirran vaikutus MVR puhaltimen tehoon:



KUVA 6, KAAVA 2. Kasvavan massavirran vaikutus MVR puhaltimen tehoon. (Chemitec Consulting Oy 2008)



### MVR-haihdutin

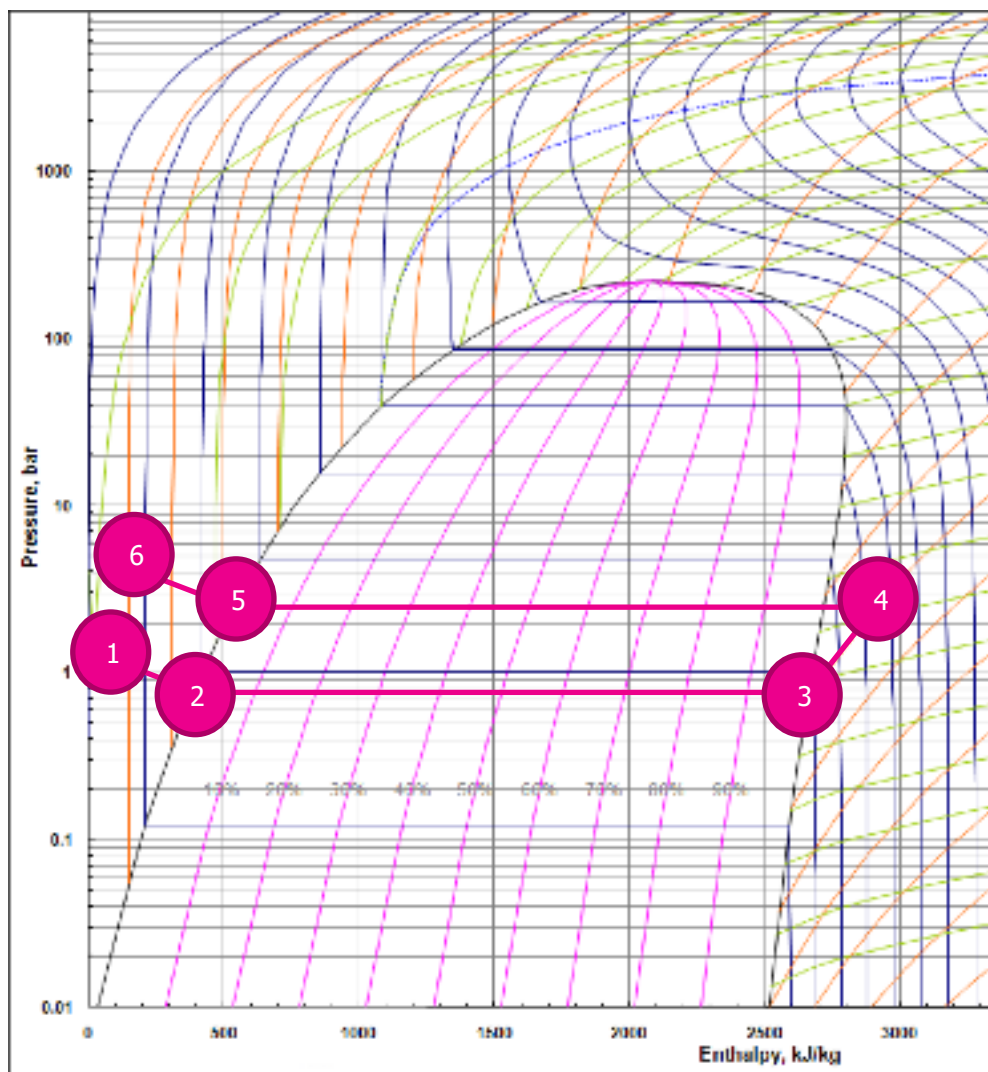


Biokaasulaitoksilla syntyvät kierrätyslannoitteet  
tulevaisuudessa

Nesteravinne-seminaari 27.3.2018

**Gasum**  
Jukka Salmela

KUVA 7. MVR-haihduttimen yksinkertaistettu toimintakaavio. (Ajon Apu Oy 2011, Gasum 2018)



KUVA 8. Paine-entalpia / Mollierin käyrä vedelle (Ajon Apu Oy 2011)

## 6 POWERFLUTEN HAIHDUTTAMO

Powerfluten tehtaan haihduttamo koostuu esihaihduttimesta ja nelivaiheisesta sarjahaihduttamosta. Esihaihduttamona toimii MVR-haihdutin, jonka kapasiteetti on n. 45 m<sup>3</sup>/h. Sarjahaihduttamon teoreettinen kapasiteetti on n. 50 m<sup>3</sup>/h. Koko haihduttamon kapasiteetti on siis esihaihduttamo + sarjahaihduttamo eli 45 m<sup>3</sup>/h + 50 m<sup>3</sup>/h = 95 m<sup>3</sup>/h. Esihaihduttamon syöttö on normaalisti n. 100-115 m<sup>3</sup>/h ja kuiva-aine vaihtelee 8-10% välillä riippuen massan pesusta ja haihduttamon puhtaudesta. Sarjahaihduttamo on otettu käyttöön vuonna 1968 ja sen on toimittanut Rosenlew. Esihaihdutin on otettu käyttöön vuonna 1986, toimittajana Rosenlew.

### 6.1 Esihaihduttamo

Esihaihdutin on laskevakalvohaihdutin (falling film). Se käyttää MVR (Mechanical Vapour Recompression) tekniikkaa, jossa ei normaalitilanteessa tarvita tuorehöyryä, kuten sarjahaihduttamalla. Yksikön itsensä tuottama höyry kompressoidaan turbopuhaltimella takaisin käyttöpaineeseen. Esihaihduttimella on oma pintalauhdutin ja tyhjiöpumppu, jolla poistetaan lauhtumattoma kaasut. Powerfluten MVR-haihdutin eroaa kuvan 7 haihduttimesta siten, että Powerfluten haihduttimessa ei ole syötteen esilämmitintä. Haihduttimeen tulevan syötteen, eli laihaliemen lämpötila on pääasiassa korkeampi kuin haihduttimessa kiertävä liemi. Tämän kiertävän liemen lämpötila määräytyy haihduttimessa vallitsevan alipaineen vuoksi noin 85-93°C. Toinen ero on MVR-puhaltimelle johdettavan höyryn lähtöpaikka eli Powerfluten haihduttimen höyry otetaan haihduttimen yläpäästä (falling film) ja tästä johdettua haihduttimen lämmönvaihtopaketissa on keskellä kanava, jota pitkin höyry nousee alaosasta ylös.

### 6.2 Sarjahaihduttamo

Sarjahaihduttamo koostuu neljästä sarjaankytketystä haihduttimesta. Esihaihduttimelta liemi syötetään 3. yksikköön, josta haihdutettu liemi virtaa "ylijuoksuna" 4. yksikköön. 4. yksiköstä liemi pumpataan yksiköiden sisäisten esilämmittimien (4. yksiköstä 3. yksikköön, 3. yksiköstä 2. yksikköön ja niin edelleen) kautta 1. yksikköön. 1. yksiköstä liemi pumpataan 2A -yksikköön ja siitä edelleen 2B -yksikköön. Tämän jälkeen liemen kuiva-ainepitoisuus on n. 50-54% ja se on valmista poltettavaksi. Liemi varastoidaan 90 m<sup>3</sup>/h säiliöön, josta se syötetään liemen esilämmittimien kautta kattilaan. Yksiköt 1, 3 ja 4 ovat nousevakalvohaihduttimia (rising film) ja yksiköt 2A ja 2B ovat pakkokiertoaihduttimia (forced circulation).

## 7 HAIHDUTUSKAPASITEETIN/TOIMINTAVARMUUDEN KASVATTAMINEN

Haihduksen haihdutuskapasiteetti on laskenut viime vuosien saatossa huomattavasti ja ennen pitkää investointeja on tehtävä. Ongelmat sijaitsevat pääasiassa esihaihduttimen puolella, johon viimeisin suuri investointi uuden putkipaketin muodossa tehtiin vuonna 2012. Sarjahaihduttamon osalta ongelmat ovat pienempiä.

### 7.1 Tämänhetkiset ongelmat

#### 7.1.1 Esihaihduttamo

Esihaihduttimella ongelma on alkanut muodostua haihduttimen lämmönvaihtoputkien syöpymisen, jonka johdosta ne ovat alkaneet vuotaa. Vuodon vaikutuksesta on mahdollista, että lauhteet pääsevät liemipuolelle, jolloin liemi laimenee uudelleen. Korjaustoimenpiteenä vuotavat putket ovat tulpattu, jolloin tällä toimenpiteellä on suora vaikutus esihaihduttimen haihdutuskapasiteetin laskuun (pienentynyt lämpöpinta). Mikäli putkia ei tulpattaisi olisi vaikutus sama laimentumisen takia ja samalla saattaisi tapahtua turhaa COD-pitoisuuden kasvua lauhteiden mukaan joutuvasta liemestä. Esihaihduttimen putkipaketti on vaihdettu uuteen vuonna 2012, kun edellistä oli jouduttu tulppaamaan niin paljon, että kapasiteetti laski huomattavasti. Merkittävää uudessa putkipaketissa on se, että se on siis vain kuusi vuotta vanha. Uudesta paketista tulpattiin vuonna 2016 68 putkea. Vuoden 2017 ja 2018 vuosihuolloissa tuubeja on tulpattu lisää ja tällä hetkellä putkia on tulpattu 172 kappaletta eli n. 6,4%. Putkia on yhteensä 2692 kappaletta, joiden halkaisija 51mm, seinämävahvuus 1,2mm ja pituus 8500mm. Vuotojen sijainti putkissa on suurin piirtein lauhdepinnan kohdalla, tarkempi sijainti lienee lauhdepinnan yläraja.

Putkipaketissa on likakertymä puhaltimen vastapuolella olevalla sektorilla lauhdepuolella, aivan kuten edellisessä putkipaketissa. Lisäksi samalta sektorilta tuubeja on mennyt liemipuolelta tukkoon, jotka kaikki eivät ole normaalissa pesussakaan auennut. Korkeapainepesua tässä tapauksessa ei voi käyttää, koska se rikkoisi putket, joissa on jo uutenakin ohut seinämävahvuus. Likaantuminen todennäköisesti johtuu heikosta virtauksesta puhaltimen vastapuolella olevalla sektorilla. Vanhaa putkipakettia poistaessa ja uutta asentaessa tilaajan asennusvalvoja, Sakari Kokkonen (KP-Teknik) kertoi vanhan putkipaketin painaneen yli 50 tuhatta kilogrammaa poistovaiheessa ja uuden paketin paino asennettaessa oli n. 41 tuhatta kilogrammaa. Likakertymän määrä on siis todella huomattava.



KUVA 9. Esihaiduttimen alkuperäinen putkipaketti. (Powerflute Oy 2018)

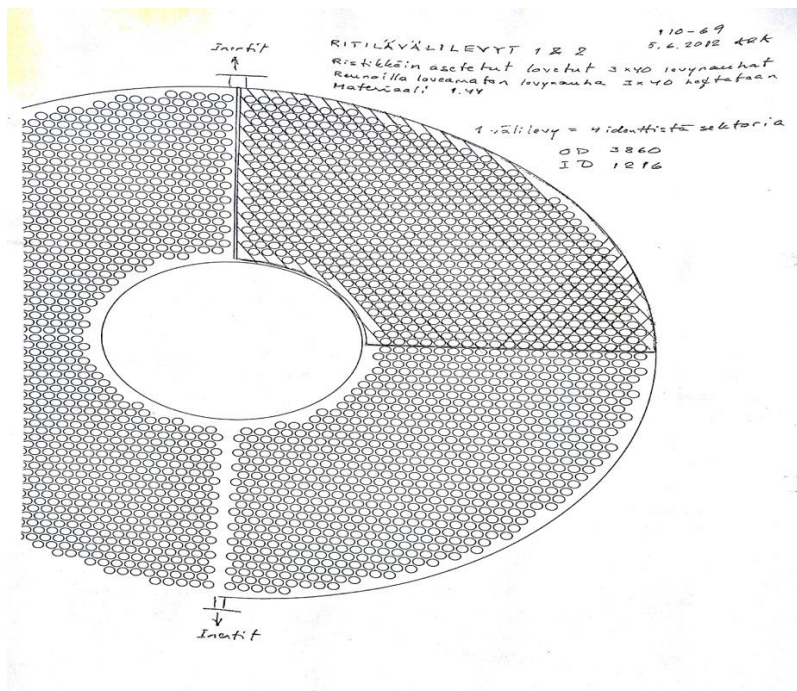


KUVA 10. Käytössä oleva putkipaketti miesluukusta katsottuna. (Powerflute Oy 2018)

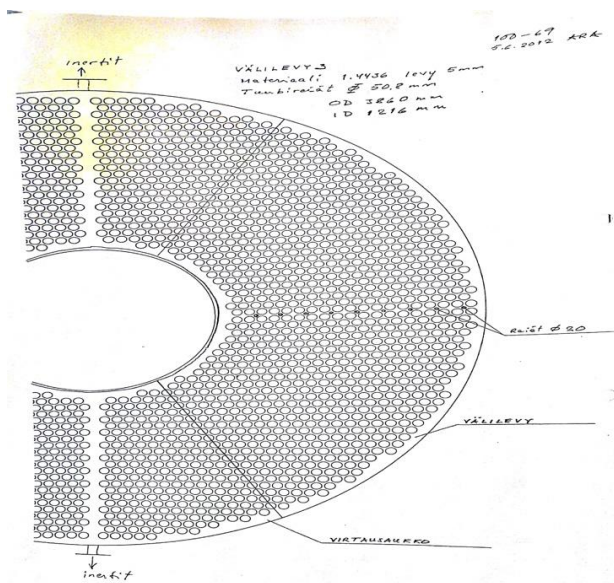


KUVA 11. Käytössä oleva putkipaketti alapuolelta katsottuna (Powerflute Oyj 2018)

Nykyisen ja edellisen putkipaketin välillä on muutamia eroja. Nykyisen putkipaketin sisään on asettettu ohjauslevyjä, eli ns. baffleita (baffle plate) ohjaamaan höyryn virtausta siten, että lauhtumattomien kaasujen poisto laitteesta varmistettaisiin. Lisäksi putkipaketin sisällä on ns. grid-baffleita (grid baffle), eli tukiristikoita estämässä putkien värähtelyn. Edellisessä putkipaketissa ei kumpikaan baffleita ollut. Lauhteen poistoputkia nykyisessä on kaksi kappaletta ja ne sijaitsevat noin 200mm korkeammalla, kuin entisessä, jossa lauhteen poistoputkia oli yksi kappale. Toisin sanoen lauhdepinta pitäisi olla n. 200mm korkeammalla. Materiaaliltaan putkisto on samanlainen kuin edeltäjensä. On olemassa mahdollisuus, että nykyisen putkipaketin nopea-aikainen toiminnan heikkeneminen johtuu edellämainituista eroista vanhaan putkipakettiin verrattuna.

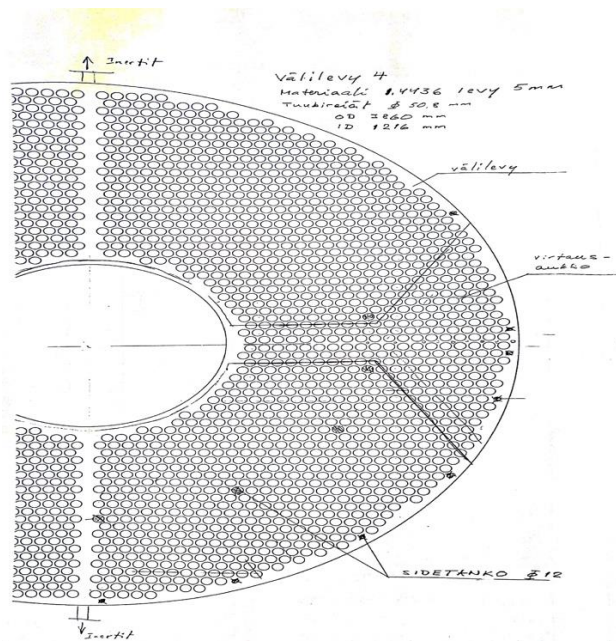


KUVA 12. Ritilävällilevyjen (grid baffle) piirrustukset. (Powerflute Oyj 2018)

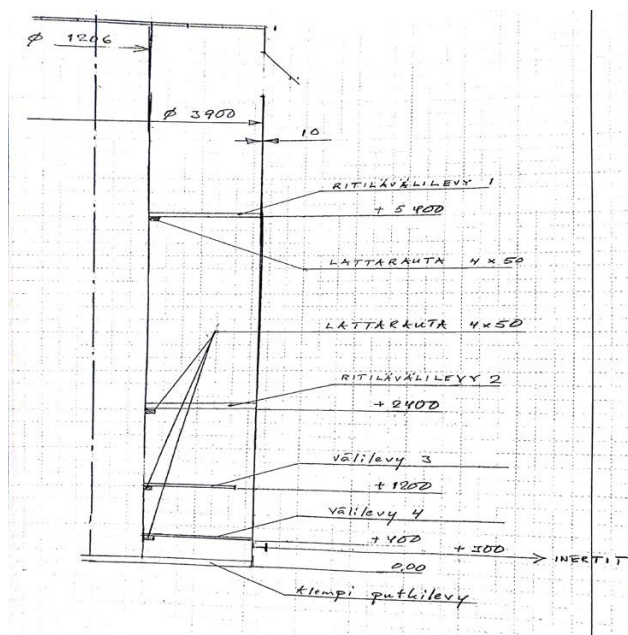


KUVA 13. Välilevyn (baffle plate) 3 piirrustukset. (Powerflute Oyj 2018)





KUVA 14. Välilevyn 4 (baffle plate) piirustukset. (Poweflute 2018)



KUVA 15. Välilevyjen sijainti haihduttimessa. (Poweflute 2018)

### 7.1.2 Esihaihduttamon ajomalli

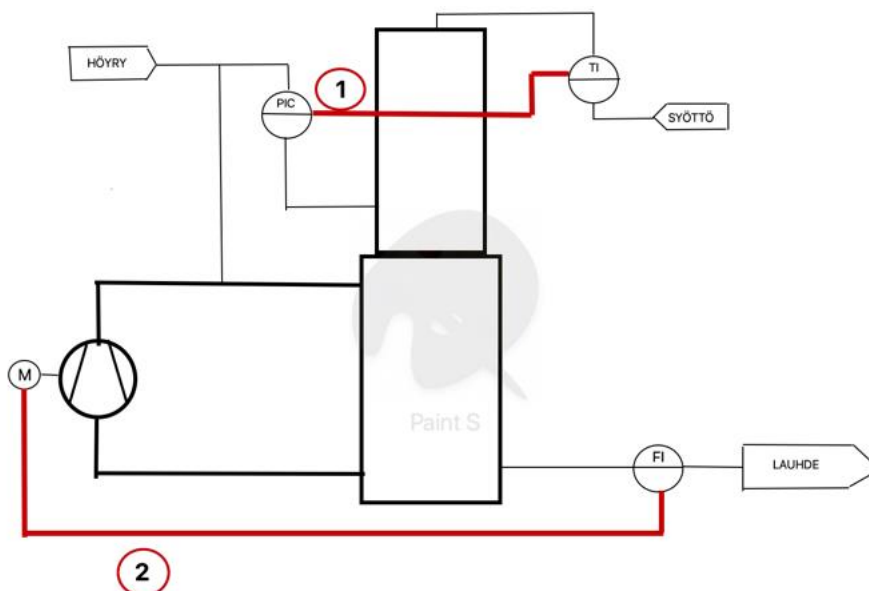
Normaali tilanteessa MVR-haihduttimen syötettä lämmitetään poistuvalla lauhteella, jotta syöte on hyvin lähellä kiehumispistettä saapuessaan haihduttimeen. Tarkastelun kohteena oleva MVR-haihduttin ei käytä esilämmitintä, sillä syöte on n. 2-6°C lämpimämpää kuin haihduttimessa kiertävä liemi. Tämä johtuu haihduttimessa olevasta noin 25-35 kPa:n alipaineesta. Periaatteessa syötteen lämpötilan tulisi olla sama, tai ainakin lähelle sama kuin haihduttimessa kiertävä syöte. Tällä hetkellä tilanne on se, että tuleva syöte luo puhaltimelle ylimääräistä taakkaa lämpötilaeron luoman runsaan paisuntahöyrymäärän johdosta.

Esihaihduttimessa olevan tyhjiön optimaalinen taso jakaa mielipiteitä. Usean operaattorin mukaan optimaalinen alipaine olisi n. 22-25 kPa:n tuntumassa. Tällä on huomattu saavutettavan paras haihdutusteho. Teoreettiselta kannalta ajateltuna mitä pienempi alipaine on (lähempänä ilmanpainetta), sitä korkeammassa lämpötilassa vesi alkaa haihtua ja samalla tarvitsee höyrystymiseen pienemmän energian. Toinen ongelma on MVR-haihduttimen puhaltimen toiminta, syöttölämpötilan ollessa yli kierrätyslämpötilan, vapautuu syötöstä paisuntahöyryä, joka lisää kierrossa olevan höyryn määrää. Alipainetta pienentämällä olisi mahdollista saada syöttöliemen ja haihduttimen kiertöliemen välinen lämpötilaero nolnaan. Tämä olisi puhaltimelle edullisin vaihtoehto, koska ylimääräistä, lämpötilaeron johdosta syntynyttä paisuntahöyrykuormaa ei muodostuisi ja puhaltimen kierrosluku ei ajautuisi ylikierroksille, vaan pysyisi toiminta-alueella.

Kun ajetaan MVR-haihdutinta ilman paisuntahöyryä, saataisiin selville nykyisen haihduttimen teoreettinen haihdutuskapasiteetti tällä pinta-alalla. Uusi toimintapiste kertoisi haihduttimen pienentyneen lämpöpinnan vaikutuksen kapasiteettiin.

Pienentynyt lämmönsiirtopinta-ala haihduttimessa voidaan korvata lisäämällä lämpötilaeroa höyry- ja syöttöpuolen välillä. Mikäli muutos halutaan tehdä nykyisellä puhaltimella, ei puhaltimelle tulevaa höyryvirtaa voi lisätä yli suunnitellun (tehon tarve kasvaa), vaan silloin lisälämmitys höyryllä on suoritettava puhaltimen jälkeen. Toinen vaihtoehto on korvata nykyinen puhallin uudella korkeammalla kompressoinnin omaavalla puhaltimella. Isommalla lämpötilaerolla ( $\Delta T$ ) saataisiin kompensoitua lämpöpinnan heikentymisen johdosta muodostunutta kapasiteettihäviötä suoraan muuttuneen  $\Delta T$ :n suhteessa, esimerkiksi jos nykyisen puhaltimen  $\Delta T=7^{\circ}\text{C}$  ja uuden  $\Delta T=9^{\circ}\text{C}$ , niin  $9^{\circ}\text{C}/7^{\circ}\text{C}$ .

Laitos on suhteellisen vanha ja säätö tapahtuu yksikkösäätimillä, joten kaikkia optimoituja säätöjä ei ole pystytty tekemään. Säätötoiminnan parantaminen vaatisi esihaihduttamon kytkemistä automaatiojärjestelmään, jossa voitaisiin tehdä monimutkaisemmat säädöt.



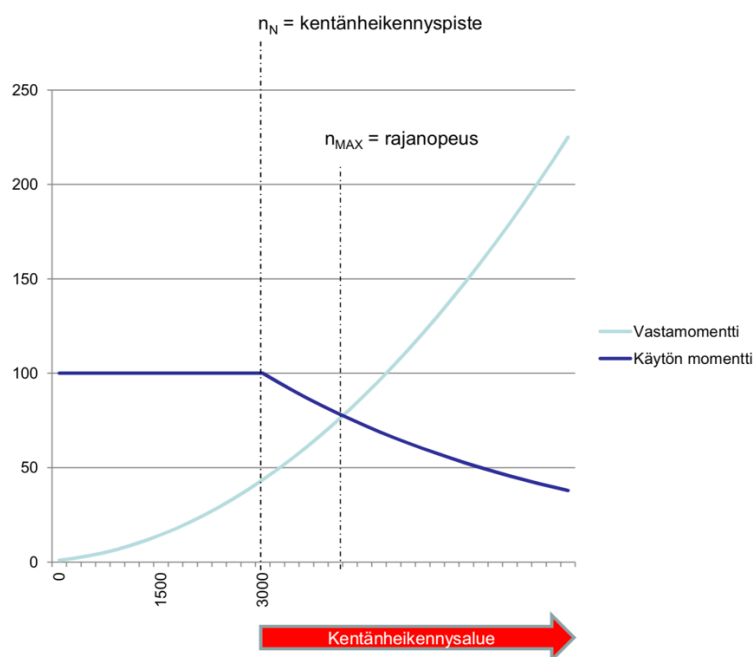
KUVA 16. Havainnollistava kuva, kuinka MVR-haihdutinta ajetaan oikein. 1: Haihdutuspaineen säätötavoite tulovirtauksen lämpötilan mukaan. 2: Haihdutustehon ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ( $\text{l/s}$ ) säätö lauhteen virtauksesta (puhaltimen kierrosluku). (Powerflute Oyj 2018)

### 7.1.3 Esihaihduttimen puhallin

Esihaihduttimen termokompressorissa on WEG:n valmistama GHF 450C 400V, 800kW, 3000rpm moottori, jossa IEC 450 öljyvoidellut liukulaakerit D- ja N- päässä. Taajuusmuuttaja on ABB ACS800-07-1030-3 (1030kVA) vuodelta 2007.

Moottorilla on lähes aina ajettu yli 3000rpm, johon se on suunniteltu. Normaali tilanteessa kierrokset ovat n. 3200-3300rpm välillä. Tämä ei kuitenkaan ole suositeltavaa, koska teoriassa ylikierroksilla ajamisesta saatu hyöty on minimaalista mahdollisiin vahinkoihin verrattuna.

Alla olevalla käyrällä ja kaavojen 3 ja 4 avulla osoitetaan, mitä käytännössä tapahtuu, kun moottorilla ajetaan yli suunniteltujen kierrosten.



KUVA 17. Havainnollistava käyrä kierrosten kasvattamisen vaikutuksesta momenttiin. (Powerflute Oyj 2018)

$$P = M \omega \quad (3)$$

$$\omega = 2 \pi f \quad (4)$$

jossa

P = teho

M = momentti

$\omega$  = kulmanopeus

f = kierrosnopeus 1/s

1) Nopeusalueella 0... $n_{NIM}$

P kasvaa, M on vakio =>  $\omega$  kasvaa

$$(P = M \omega = M 2 \pi f)$$

2) Nopeusalueella  $n_{NIM}$

P on vakio,  $\omega$  kasvaa => M pienenee

$$(M = P / \omega = P / 2 \pi f)$$

Momentti pysyy vakiona ja teho P kasvaa nimelliskierroslukuun (lue nimellistaajuuteen 50Hz) saakka, jonka jälkeen teho pysyy vakiona. Kun mennään tämän alueen yläpuolelle, ei teho enää kasva. Koska teho ei kasva ja kulmanopeus kasvaa, seuraa siitä momentin pieneneminen.

Jossain vaiheessa tullaan pisteeseen, missä vastamomentti ylittää käytöstä saatavan momentin. Tämän pisteen yli ei pääse.

Kokeilimme lyhyellä aikavälillä, mitä vaikutusta on haihduttamon toimintaan sillä, että laskimme puhaltimeen moottorin kierrosluvun 3000rpm. Tällä kierrosluvulla taajuus oli 50Hz, virta 625A ja taajuusmuuttajan lämpö 69,5%. 3250rpm kierrosluvulla taajuus oli 54,3Hz, virta 850A ja taajuusmuuttajan lämpö 84,2%.

Tällä kierrosten alentamisella oli kuitenkin selkeä vaikutus siihen, että kuinka paljon lientä syötetään säiliöstä esihaihduttamolle. Syöttö heikkeni n. 8 m<sup>3</sup>/h. Tämän seurauksena haihduttamo ei pysy tuotannon mukana pidemmällä aikavälillä, koska laihaliemisäiliön pinta alkaisi nousta n. 190-200 m<sup>3</sup>/h vuorokaudessa. Tästä johtuen massatehdas joutuisi rajoittamaan massan pesua, joka vaikuttaisi tuotteen laatuun.

#### 7.1.4 Sarjahaihduttamo

Työssä ei käsitellä sarjahaihduttamon toimintaa ja ajotapoja kuin miten se liittyy esihaihduttamon toimintaan. Sarjahaihduttamon syöttö on riippuvainen sen puhtaudesta, koska sen ja esihaihduttamon välissä ei ole puskuria, on esihaihduttamon syöttökin riippuvainen sarjahaihduttamon syötöstä.

Esihaihduttamo voidaan pitää käynnissä, kun sarjahaihduttamo on pesussa. Liemet voidaan palauttaa syöttösäiliöön tai ne voidaan pumpata omiin säiliöihin. Vastaavasti sarjahaihduttamo voidaan pitää käynnissä, kun esihaihduttamo seisoo.

## 8 KEHITYSMAHDOLLISUUDET

### 8.1 Esihaihduttimen tuubien syöpymisen estäminen/lieventäminen

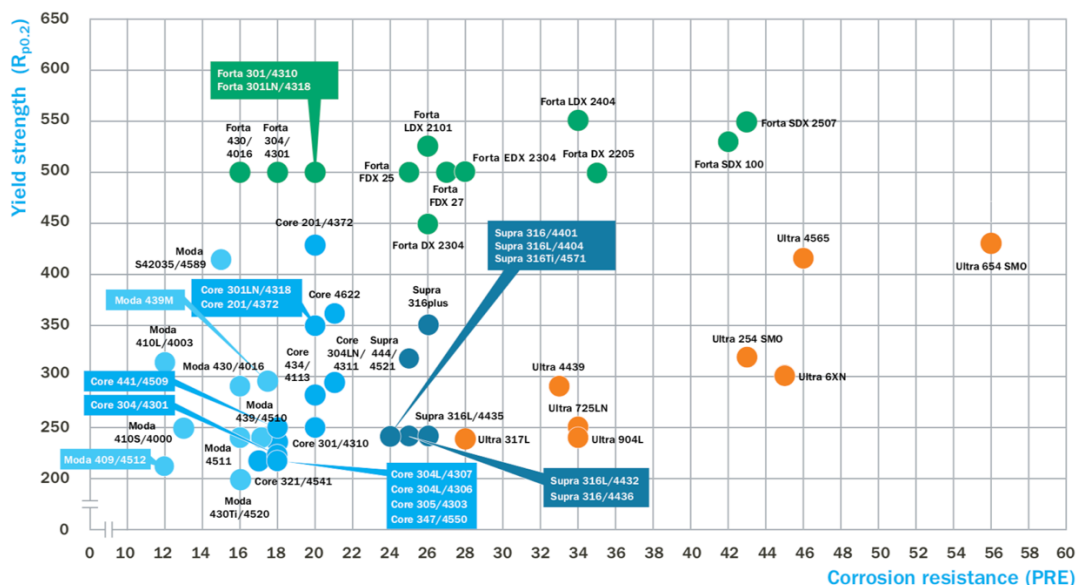
Perimmäinen syy tuubien näin nopeaan syöpymiseen olisi syytä selvittää, jotta välttyttäisiin vastaavalta ongelmalta tulevaisuudessa. Mahdolliseksi syyksi ongelmaan on epäilty NSSC keitossa syntyvää etikkahappoa ja muurahaishappoa. Puusta vapautuvaa etikkahappoa on yleensä runsaasti liemessä ja sitä kautta myös esihaihduttamon lauhteessa. Muurahaishappoa on reilusti pienemmässä määrin, kuin etikkahappoa, mutta se on paljon syövyttävämpää. Mikäli syy putkien syöpymiseen on etikka- ja muurahaishappo, on niiden pysymistä liemessä parannettava, eli emäksen vaihtoa tehostettava ( $Mg \Rightarrow NH_4$ ), jolloin etikka- ja muurahaishapon haihtuminen estyy.

Sarjahaihduttamolla ei ole esiintynyt vastaavaa ongelmaa, ainoastaan yksi putkivuoto on esiintynyt yksiköissä, 3. ja 4., joissa etikkahappoa esiintyisi, jos sitä tulee läpi esihaihduttamosta. Etikka- ja muurahaishappo haihtuvat ensimmäisessä vaiheessa, eli esihaihduttamolla, hyvin ja ei aiheuta enää ongelmia jälkipään haihduttimissa.

### 8.2 Esihaihduttimen putkipaketin uusiminen

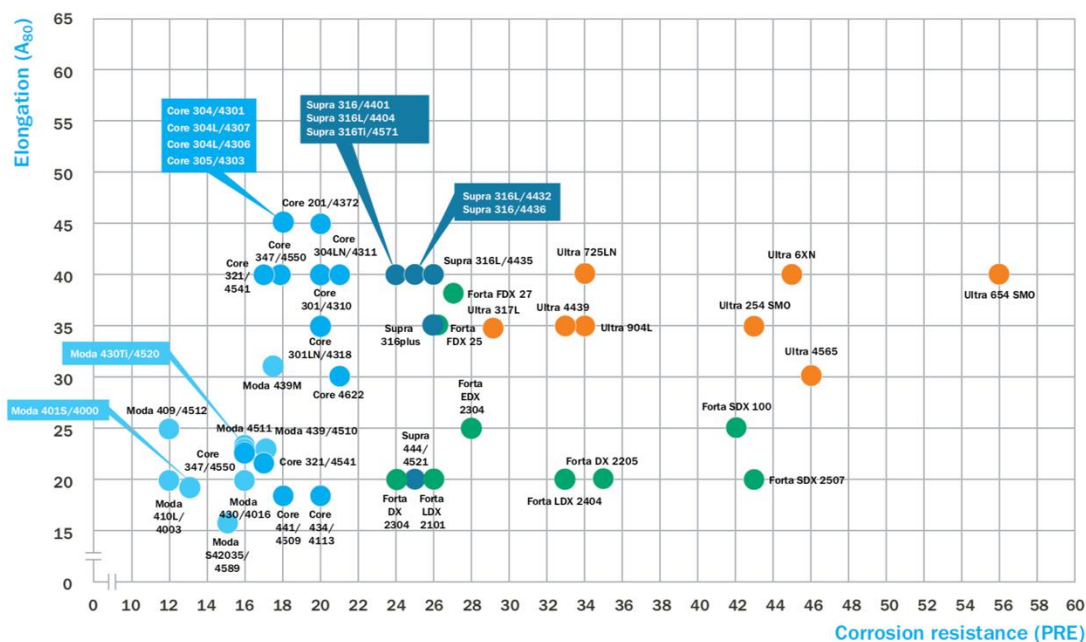
Koska tehtaalla on tarve lisätä haihdutuskapasiteettia, ei pelkkä putkipaketin vaihtaminen samanlaiseen ole riittävä ratkaisu, vaan samalla olisi uuden putkipaketin kokoa kasvatettava. Ongelmaksi kuitenkin muodostuisi uuden putkipaketin tuomat kustannukset ja asennuksen aiheuttama tuontakatos. Uusi putkipaketti voi maksaa 1,5 – 2 miljoonaa euroa. Jotta uudessa putkipaketissa ei muodostuisi samaa ongelmaa kuin vanhassa, eli putkien syöpymistä, pitäisi siihen miettiä vaihtoehtoinen putkimateriaali, joka kestäisi paremmin korroosiota. Nykyisessä putkipaketissa käytössä on AISI 316L teräs. Yksi vaihtoehto voisi olla esimerkiksi Outokumpu 654 SMO teräs, joka on huomattavasti AISI 316L terästä edellä korroosion kestävydessä.

## Yield strength vs. corrosion resistance



KUVA 18. Eri teräslaatuojen myötölujuuden sekä korroosion keston vertailua. (Outokumpu 2015).

## Elongation vs. corrosion resistance



KUVA 19. Eri teräslaatuojen venymän ja korroosion keston vertailua (Outokumpu 2015).

### 8.3 Esihaiduttimen puhaltimen vaihtaminen

Esihaiduttimen puhaltimen vaihtaminen korkeamman lämpötilan nousun antavaan olisi eräs ratkaisu kapasiteettihäviöiden korjaamisessa, mutta tällaista investointia ei lienee järkevää tehdä, mikäli myös putkipakettia ei vaihdeta. Mikäli uusi putkipaketti rakennettaisiin vastaamaan tehtaan toiveita, kasvaisi puhaltimen koko lisääntyvän virtauksen vuoksi. Tällöin jouduttaisiin hankkimaan uusi puhallin moottoreineen ja perustuksineen. Kuten jo aiemmin mainittu, on selvää, että isompi puhallin ( $\Delta T$ ) palauttaisi kapasiteettihäviöitä, mutta pelkän puhaltimen uusiminen olisi lähinnä vain tekoehitystä ennen kuin putkipaketti joudutaan uusimaan. Kyseessä on niin iso investointi, että

molempien vaihtaminen ei olisi yhtä kannattavaa, kuin kokonaan uuden MVR haihduttimen rakentaminen.

#### 8.4 Uuden esihaihduttamon rakentaminen

Koska tehtaan tarve on lisätä haihdutuskapasiteettia ja sen seurauksesta nykyisten laitteiden investoinnit kasvaisivat huomattavan isoiksi, sekä asennusajat pitkiksi, olisi järkevää tarkastella uuden esihaihduttamon rakentamista. Uudella esihaihduttamolla pystytään vastaamaan tulevaisuuden tarpeisiin ja se on mahdollista rakentaa käynnin aikana, jolloin tuotantokatkos jää mahdollisimman lyhyeksi. Taloudellisuusvertailussa uuden rakentamisen ja vanhan korjaamisen välillä tulisi huomioida sekä investointikustannukset, että asennusaika ja vastaavuus tulevaisuuteen.

#### 8.5 Esi- ja sarjahaihduttamon ajo nykyisin

Esihaihduttamon osalta nykyinen ajotapa perustuu itsenäiseen ajoon haihduttimena. Säädössä ei ole tehty muutoksia hankinnan jälkeen, vaan ne ovat vielä alkuperäisessä muodossa, jolloin haihduttimen parasta haihdutuskapasiteettia ei saavuteta helposti. Samalla toimiessaan hyvin voisi haihduttimen läpi ajaa isompaa virtausta, jolloin voitaisiin varastoida esihaihdutettua lientä ennen sarjahaihduttamoa, mikäli se ei vetäisi kaikkia. Nykyisten ongelmien korjaaminen (pienentynyt pinta-ala esimerkiksi säätämällä haihduttimen alipaineen ja höyrypuolen lämpötilaa, ei ole oikein säätötekniisiä mahdollisuuksia. Heikentyneen haihdutuskapasiteetin parantamiseksi olisi tehtävä muutoksia haihduttamon ajotapaan ja säätöihin (alipainesäätö) sekä niiden operatiivisiin käyttöihin tarvittaessa.

Nykyisin esi- ja sarjahaihduttamoa ajetaan yhtenä pakettina, jossa pyritään pitämään syöttö sarjalle vakiona. Sarjahaihduttamon normaalisyöttö on 68 m<sup>3</sup>/h. Normaali tilanteessa syöttö pyritään aina pitämään 68 m<sup>3</sup>/h, mutta mikäli liemen poltossa on ongelmia, niin syöttöä pienennetään, jottei polttoliemisiä täytyisi. Syöttö on kuitenkin aina välillä 60 – 68 m<sup>3</sup>/h.

Sarjahaihduttamon tuotantokapasiteetti määräytyy sen mukaan, paljonko liemen syöttövirtaus 3. yksikköön on. Periaatteessa syötön voi vapaasti säätää suuremmaksikin, esimerkiksi 75 m<sup>3</sup>/h, jolloin liemen syöttövirtaus kasvaisi 7 m<sup>3</sup>/h. Se myös tarkoittaa sitä, että esihaihduttamolle syötetään 7 m<sup>3</sup>/h enemmän lientä. Tällöin sarjahaihduttamolla pitäisi liemen vakiosyötön sijaan pitää yllä vakio höyrysyöttö 1. yksikölle ja maksimoida siten haihdutusmäärä koko haihduttamossa. Saatu hyöty haihdutustehokkuuden kannalta on selkeä ja tämä antaisi kapasiteettia liemen käsittelyyn, mikäli massatehtaalla on tarve lisätä pesua. Joskus happopesun jälkeen näin onkin tehty jonkin aikaa. Ajettaessa näin haihduttamon likaantuminen vähentää liemen läpäisyä ja siten haihdutuskapasiteettia. Ajotapojen haihdutuskapasiteettierojen selvittämiseksi olisi tehtävä koeajo molemmilla tavoilla ja verrattava toteutuneita haihdutuskapasiteetteja jakson aikana. Ongelmaksi voi muodostua 4. yksikön ylitäytyminen, joka johtuu siitä, että lientä ei saada pumpattua tarpeeksi paljoa 4. yksiköstä 1. yksikköön. Syynä tähän voi olla likaantunut putkisto 4. yksikön ja 1. yksikön välillä. Normaalisti 4. yksiköstä 1. yksikköön menevän liemen virtaus on n. 41 – 45 m<sup>3</sup>/h. ja isommalla syötöllä se vaatisi



pumpun uusintaa tai ainakin päivitystä. Jo nykyisellä 68 m<sup>3</sup>/h syötöllä pumppausteho alkaa hiipua ja 4. yksikkö täyttyä pesuvälin loppupuolella.

## 8.6 Esi- ja sarjahaihduttamon yhteisajon optimointi

Optimoitaessa haihduttamon toimintaa ensimmäinen asia on, etteivät esi- ja sarjahaihduttamo ole riippuvaisia suoraan toisistaan, jolloin kumpaakin voidaan itsenäisesti optimoida. Tämän tilanteen mahdollistaa niiden välissä oleva varastosäiliö, jonka pinta vaihtelee tilanteen mukaan. Esihaihduttamon toimiessa hyvin, sen läpi virtaa enemmän lientä kuin sarja pystyy käsittelemään, joten silloin osa virtauksesta johdetaan varastosäiliöön. Vastaavasti sarjahaihduttamon toimiessa hyvin, se pysyy käsittelemään enemmän lientä, kuin esihaihduttamo ehtii käsitellä ja silloin varastosäiliön pinta laskee. Mikäli varastosäiliö on tyhjä, tulee silloin nostaa esihaihduttamon syöttöä vastaamaan sarjahaihduttamon syöttöä ja samalla antaa esihaihdutuksen jälkeisen kuiva-aineen laskea hieman. Haihdutustuloksen maksimoimiseksi tärkeintä on seurata molempien haihduttamoiden kykyä haihduttaa ja siitä määritellä koko haihduttamon syöttö.

Aikaisemmin työssä käsiteltiin esihaihduttamon haihdutustehoon vaikuttavia tekijöitä, joten tässä keskitytään sarjahaihduttamon haihdutustehon parempaan hyötykäyttöön. Sarjahaihduttamon nykyinen ajotapa vakiovirtaus ei tuo kapasiteetin maksimointia, vaan kapasiteetin maksimoimiseksi olisi haihduttamon haihdutusteho vakioitava. Tämä tarkoittaa syötettävän höyryn määrän vakioimista ja syötön lisäämistä maksimi tasolle. Tällöin syöttö olisi aina suurempi seuraavaan pesuun asti kuin nykyisellä ajotavalla. Negatiivisena asiana voisi ajotavassa olla nopeampi likaantumisen tai pinttynempi lika haihduttimissa, mutta sen selville saamiseksi olisi vertailtava ajotapoja etsittävä sopiva kompromissi maksimin ja nykyisen ajotavan välillä.

## 9 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena tutkia, että millä keinoin opinnäytetyön kohteena olevan haihduttamon haihdutuskapasiteettia saataisiin kasvatettua. Pääasiassa asiaa tarkasteltiin esihaihduttamon osalta, jossa suurimmat ongelmat sijaitsevat. Myös esi- ja sarjahaihduttamon yhteiseloä tutkittiin jo olemassa olevien suunnitelmien pohjalta.

Opinnäytetyötä tehdessä tuli koko ajan vahvemmin selväksi se, että esihaihduttamon kapasiteettia ei ole taloudellisesti järkevää yrittää saada nostettua, tai paremmin sanottuna palautettua nykyisellä laitteistolla. Nykyistä laitteistoa päivittämällä saatu hyöty olisi marginaalista ja/tai lyhytkestoista välttämättömän välttelyä.

Opinnäytetyön lopputulokseksi saatiin päätelmä, että uuden, isomman ja tehokkaamman esihaihduttimen rakentaminen MVR -teknologian pohjalta olisi taloudellisesti järkevin ratkaisu, sillä vanhan esihaihduttimen päivittämiseen liittyvät kustannukset ja asennusajat kasvaisivat suuriksi. Samalla panostuksella olisi järkevin rakentaa uusi laitteisto, joka myös pystyisi vastaamaan paremmin tehtaan tulevaisuuden tuotantotavoitteisiin.

Lisäksi työssä käsiteltiin esi- ja sarjahaihduttamon välistä yhteisajoa. Nykyisellään esi- ja sarjahaihduttamo ovat keskenään sarjaan kytkettynä. Olemassa olevien säiliöiden muutossuunnitelmien tukena tarkasteltiin esi- ja sarjahaihduttamon välille asennettavan väliliemisäiliön tuomia hyötyjä. Väliliemisäiliö toimisi ns. puskurisäiliönä ja sen tuoma hyöty näkyisi selvästi silloin, kun sarjahaihduttamon puolella on tuotanto-ongelmia. Esihaihduttamoa ei välttämättä tarvitsisi pysäyttää, kuten tällä hetkellä vastaavassa tilanteessa joudutaan tekemään. Väliliemisäiliö joka tapauksessa toisi tasapainoa ja joustovaraa esi- ja sarjahaihduttamon väliselle yhteisapelille.

Työssä havaittiin myös, että haihduttamon erillinen optimointi voisi tuoda lisäkapasiteettia haihduttamolle, mutta tarkan kapasiteetin nousun määrittämiseksi pitäisi järjestää vertailuja, joissa saataisiin selville optimoinnin hyödyt. Suurin hyöty olisi varmasti sarjahaihduttamon ajotapamuutos nykyisestä syöttövirtausvakio -tavasta haihdutus maksimoitu -tapaan ja sen optimointi pesutarpeen mukaan.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Evatherm. Falling film evaporator [viitattu 15.6.2018]. Saatavissa: <http://www.evatherm.com/en/technology/fallingfilm.php>

Evatherm. Rising film evaporator [viitattu 15.6.2018]. Saatavissa: [http://www.evatherm.com/en/technology/rising\\_film\\_evaporator.php](http://www.evatherm.com/en/technology/rising_film_evaporator.php)

Evatherm. Rising film evaporator [viitattu 15.6.2018]. Saatavissa: [http://www.evatherm.com/en/technology/forced\\_circulations\\_crystallizer.php](http://www.evatherm.com/en/technology/forced_circulations_crystallizer.php)

Ajon Apu Oy. Tuotteet & palvelut. [viitattu 15.6.2018]. Saatavissa: [http://ajonapu.com/PDF/EP-CON\\_catalogue2011\\_FIN1C.pdf](http://ajonapu.com/PDF/EP-CON_catalogue2011_FIN1C.pdf)

SEPPÄLÄ, Markku, KLEMETTI, Ursula, KORTELAINEN, Veli-Antti, LYYTIKÄINEN, Jorma, SIITONEN, Heikki & SIRONEN, Raimo. 1999. Paperimassan valmistus. Helsinki: Opetushallitus.

HUHTINEN, Markku, KETTUNEN, Arto, NURMINEN, Pasi ja PAKKANEN, Heikki. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Opetushallitus.

HIRSJÄRVI, Sirkka, REMES, Pirkko ja SAJAVAARA, Paula 2009. Tutki ja kirjoita. 15. painos. Helsinki: Tammi.

VEPSÄLÄINEN, Jarno 2016. Viilunkuivaimen kuivausilman lämpö- tilan nostaminen. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2018-11-26.] Saatavissa:

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/116310/Opinnaytetyov1.0%20Jarno%20Vepsalainen.pdf?sequence=1>

Chemitec Consulting Oy 2008. Haihdutusteknologian perusteet. [Viitattu 2018-11-26.] Saatavissa: <https://mycourses.aalto.fi/mod/resource/view.php?id=63914>

Gasum 2018. Biokaasulaitoksilla syntyvät kierrätyslannoitteet tulevaisuudessa. [Viitattu 2018-11-26.] Saatavissa: [https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2018/09/Tuorla-Nesteravinne\\_2018.pdf](https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2018/09/Tuorla-Nesteravinne_2018.pdf)

Outokumpu 2015. Stainless steels for extremely corrosive environments. [Viitattu 2018-11-26.] Saatavissa:

[https://www.notzgroup.com/media/wysiwyg/PDF/NME/15\\_Outokumpu\\_Ultra\\_range\\_Datasheet\\_May\\_2015.pdf](https://www.notzgroup.com/media/wysiwyg/PDF/NME/15_Outokumpu_Ultra_range_Datasheet_May_2015.pdf)