

Lasse Repo

## **HAIHDUTTIMEN PESU KÄYTÖN AIKANA**

## **HAIHDUTTIMEN PESU KÄYTÖN AIKANA**

Lasse Repo  
Opinnäytetyö  
Syksy 2020  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikka

---

Tekijä: Lasse Repo

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Haihduttimen pesu käytön aikana

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Washing of Evaporator during operation

Työn ohjaajat: Jukka Ylikunnari, Ilkka Laakso

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2020

Sivumäärä: 36 + 2 liitettä

---

Stora Enso Oulu Oy:n sellutehtaan haihduttamon käytettävyys on riippuvainen haihduttimien likaantumisen estämisestä, puhtaana pysymisen hallinnasta sekä mahdollisimman nopeasta ja tehokkaasta pesujärjestelystä. Haihduttimen pesu on erittäin tärkeää haihduttimen toiminnan ja tehokkuuden varmistamiseksi. Pesua varten on hyvä olla olemassa suunnitelma, jonka mukaan haihdutinta pestään sekä on hyvä tietää, mitä asioita pesun aikana on otettava huomioon. Pesu voidaan suorittaa manuaalisesti paneelilta, mutta se olisi hyvä saada toimimaan automaattisella sekvenssillä, jotta haihduttamon ajoa sekä yksittäisen haihduttimen toimintaa saataisiin optimoitua.

Työssä tarkasteltiin 1D-haihduttimen pesua käytön aikana. Haihdutin on lamellityyppinen laskevan kalvon haihdutin, joka on haihduttamon polttolipeää valmistava yksikkö. Pesua tutkittiin tarkastelemalla pesuja, keskustelemalla kokoneiden operaattoreiden kanssa sekä tutkimalla mittausdataa Savcor Wedge -prosessinanalysointijärjestelmällä. Pesua varten tarkasteltiin menetelmiä ja tärkeitä huomioitavia asioita, joiden on todettu vaikuttavan pesun onnistumiseen manuaalisesti paneelilta.

Haihduttimen pesun kehittäminen automaattisesti toimivaksi pesusekvenssiksi olisi erittäin kannattavaa, mutta monet pesussa tällä hetkellä ilmenevät ongelmat tekevät siitä hyvin haastavaa. Ongelmat, kuten pinnanmittauksen luotettavuus ja polttolipeän riittävyys, eivät itsessään estä pesun onnistunutta suorittamista manuaalisesti, vaan enemmänkin vaativat operaattorilta tarkkaa seuraamista koko pesun ajan. Pesua varten tulisi tehdä muutoksia ongelmakohtiin, jotta mahdollisesta pesusekvenssistä tulisi toimiva.

---

Asiasanat: sellutehdas, haihduttamo, likaantuminen, pesu

# SISÄLLYS

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| TIIVISTELMÄ                       | 3  |
| SISÄLLYS                          | 4  |
| LYHENTEET                         | 6  |
| 1 JOHDANTO                        | 7  |
| 2 STORA ENSON OULUN SELLUTEHDAS   | 8  |
| 2.1 Kuitulinja                    | 8  |
| 2.2 Lipeälinja                    | 10 |
| 3 HAIHDUTTAMO                     | 11 |
| 3.1 Toiminta                      | 12 |
| 3.2 Haihdutus                     | 13 |
| 3.2.1 Laskevan kalvon haihdutin   | 15 |
| 3.2.2 Nousevan kalvon haihdutin   | 16 |
| 3.3 Haihduttamon ongelmat         | 17 |
| 3.3.1 Vaahtoaminen                | 17 |
| 3.3.2 Kapasiteetin aleneminen     | 17 |
| 3.3.3 Lauhteiden puhtaus          | 18 |
| 3.3.4 Haihduttimien likaantuminen | 18 |
| 3.4 Lauhteet                      | 19 |
| 3.4.1 Primäärilauhde              | 19 |
| 3.4.2 SLA-lauhde                  | 19 |
| 3.4.3 SLB-lauhde                  | 20 |
| 3.4.4 SLC-lauhde                  | 20 |
| 3.5 Mustalipeä                    | 20 |
| 3.5.1 Suolalipeä                  | 22 |
| 3.5.2 Soodalipeä                  | 22 |
| 4 HAIHDUTTIMEN PESU               | 23 |
| 4.1 1D-haihdutin                  | 23 |
| 4.2 Pesu                          | 24 |
| 4.3 Ajolle otto                   | 29 |
| 4.4 Ongelmat                      | 31 |
| 5 YHTEENVETO                      | 35 |

LÄHTEET

36

LIITTEET

Liite 1 Haihduttamon ajokuva

Liite 2 1D-ajokuva

## LYHENTEET

|      |  |
|------|--|
| 1ABC | Höyrykierron mukaan nimetty haihdutinyksikkö |
| 1D   | Höyrykierron mukaan nimetty haihdutinyksikkö |
| EPO  | Polttolipeä                                  |
| EVH  | Vahvamustalipeä                              |
| HKK  | Hajukaasukattila                             |
| SLA  | Sekundäärilauhde A                           |
| SLB  | Sekundäärilauhde B                           |
| SLC  | Sekundäärilauhde C                           |

# 1 JOHDANTO

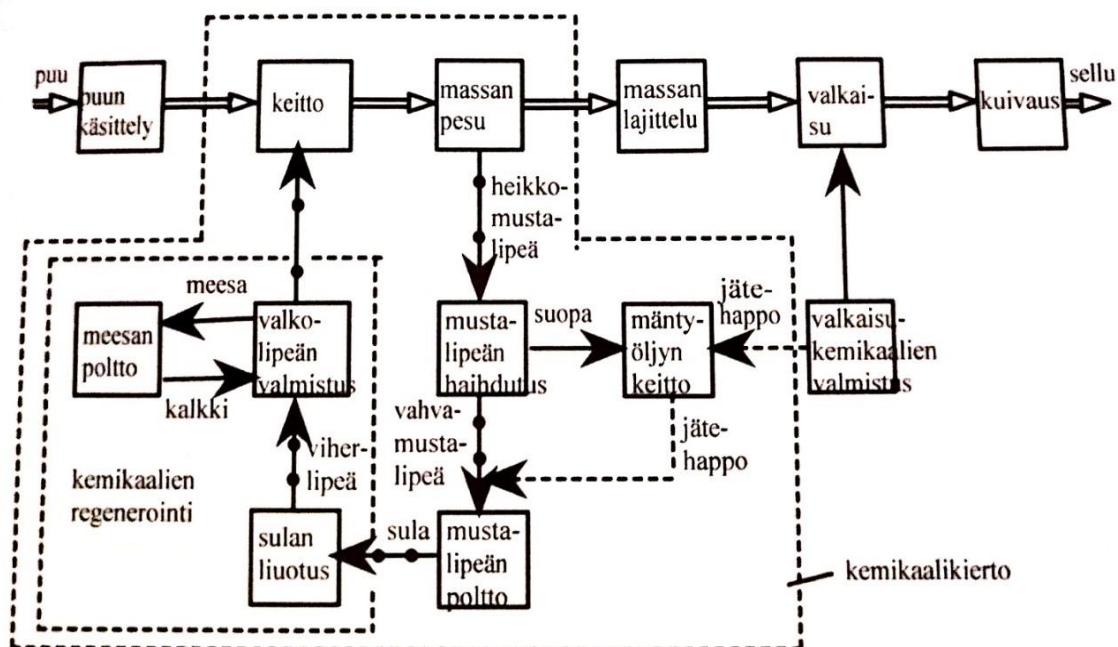
Tämä opinnäytetyö tehdään Stora Enso Oyj:n Oulun sellutehtaan haihduttamolle. Haihduttamalla tuotetaan sellutehtaalla soodakattilalla poltettava polttoliipeä, mikä on tärkeä osa tehtaan kemikaalikiertoa sekä prosessihöyryn ja muun energian tuotantoa. Haihduttamon käytettävyys on paljolti riippuvainen laitteiden likaantumisen estämisestä ja puhtaana pysymisen hallinnasta sekä mahdollisimman tehokkaasta ja nopeasta pesujärjestelmästä.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan haihduttamon haihdutussarjan 1D-haihduttimen pesua ajon aikana. Pesu on välttämätön toimenpide haihduttimen toiminnan ja käytettävyiden takaamiseksi. Työssä tarkastellaan pesuun vaikuttavia tekijöitä, joita operaattorin tulisi huomioida haihdutinta pestäessä. Haihdutinta pestään aina tarvittaessa käsin ohjauspaneelilta, mutta yhtenäistä pesuohjetta ei ole olemassa, vaan kukin operaattori on tehnyt sen tavallaan.

Pesua varten olisi hyvä suunnitella pesusekvenssi, mutta sen toteuttaminen on haasteellista. Pesussa voidaan kuitenkin ottaa huomioon tiettyjä asioita, jotta se olisi mahdollisimman onnistunut. Tätä työtä varten seurataan suoritettavia pesuja, keskustellaan kokeneiden operaattoreiden kanssa ja tutkitaan mittausdataa Savcor Wedge prosessianalysointijärjestelmästä.

## 2 STORA ENSON OULUN SELLUTEHDAS

Stora Enso Oyj:n tehdas koostuu sulfaattisellutehtaasta, voimalaitoksesta, kahdesta paperikoneesta ja arkittamosta. Tehtaan tärkeimmät tuotteet ovat puuvapa päällystetty paperi ja valkaistu havupuusellu. Tehtaan vuotuinen kapasiteetti on 1 080 000 tonnia paperia ja 380 000 tonnia valkaistua havupuusellua. Tehdas tuottaa sivutuotteenaan myös raakamäntyöljyä ja tärpähtiä. Sellutehtaan toiminta voidaan jakaa kahteen osaan, kuitulinjaan ja lipeälinjaan (kuva 1). Kuitulinja kattaa prosessin aina puunkäsittelystä valmiin sellumassan kuivatukseen ja lipeälinja kattaa sellutehtaan kemikaalikierron ja sen sivutuotteiden käsittelyn. (1.)



KUVA 1. Sulfaattisellun valmistuksen lohkokkaavio (2, s. 65)

### 2.1 Kuitulinja

Sellutehtaan kuitulinja koostuu puunkäsittelystä, keitosta, massan pesusta, massan lajittelusta, happivaiheesta, valkaisusta ja kuivatuksesta. Puunkäsittelystä tehtaalle autoilla ja junilla tuodut havupuut kuoritaan kuorimarummussa, minkä jälkeen ne haketetaan hakekasalle ulos. Tehtaalla käytetään myös ulkopuolisilta

sahoilta tulevaa sahaketta. Puiden kuori jatkokäsitellään ja hyödynnetään polttamalla se tehtaan voimalaitoksella leijupetikattila K3:lla, ja näin saadaan hyödynnettyä kuoren energia. (2, s. 65 - 67.)

Hakekasalta hake kuljetetaan keittämöön, jossa on tarkoitus vapauttaa puun kuidut toisistaan liuottamalla niiden sidosaine ligniini. Liuottaminen toteutetaan keittokemikaaleja, natriumhydroksidia ( $\text{NaOH}$ ) ja natriumsulfidia ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) sisältävässä keittonesteessä korkeassa lämpötilassa jatkuvatoimisessa vuokeittimessä. Liennut ligniini sekoittuu keittonesteeseen ja muodostaa laihamustalipeää. Puumassasta pestään siihen lienneet keittokemikaalit vedellä pesuketjussa. Aikaisemmin pesuvedet laskettiin vesistöön sellaisinaan ja keittoneste valmistettiin aina uusista kemikaaleista, mutta nykyään kemikaalit voidaan ottaa talteen ja käyttää keitossa uudestaan. Keittimestä tuleva laihamustalipeä ja massan pestusta saatava pesulipeä ajetaan haihduttamolle kemikaalien talteenottoa varten. Massan lajittelussa on tarkoituksena poistaa esimerkiksi huonosti keittynyt hake, oksanappula ja muut siihen kuulumattomat kiintoaineet. Lajittelu on tärkeä osa prosessia, sillä muuten voi esiintyä ongelmia lopputuotteessa tai myöhemmässä vaiheessa prosessia. (2, s. 65 - 67.)

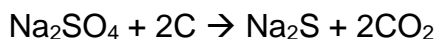
Happivaiheessa on tarkoituksena poistaa vielä ligniiniä massasta. Keittoprosessissa sellua ei voida keittää kovin alhaiseen kappalukuun menettämättä saantoa. Kappaluvulla kuvataan massan ligniinipitoisuutta. Happidelignifiointi on selektiivisempi ja hellävaraisempi prosessi. Sen tarkoituksena on hajottaa ja hapettaa ligniiniä alkaliin liukenevaan muotoon ja tuhota ligniinissä olevia värillisiä yhdisteitä ja poistaa epäpuhtauksia. (3.)

Valkaisun tarkoituksena on massan vaaleuden ja puhtauden parantaminen. Valkaisu tehdään useassa vaiheessa, sillä massaa ei ole kannattavaa vaalentaa tarpeeksi yhdessä vaiheessa, koska yhdellä vaiheella lujuus kärsisi. Valkaisuvaiheita on emäksisiä ja happamia. Oulun sellutehtaan valkaisuissa kemikaaleina käytetään klooridioksidia ( $\text{ClO}_2$ ) ja happea ( $\text{O}_2$ ). Valkaistua sellua käytettiin Oulussa pääasiassa paperikoneilla PK6 ja PK7 sekä kuivattiin kuivatuskoneella KK4, ennen loppuvuoden 2020 muutosinvestointia ruskean massan tuotantoon. (3.)

## 2.2 Lipeälinja

Oulun sellutehtaan lipeälinja koostuu haihduttamosta, soodakattilasta, kaustisoinnista ja meesanpoltosta. Lipeälinjan tehtävänä on ottaa talteen ja regeneroida keittokemikaaleja.

Haihduttamon tehtävä on poistaa mahdollisimman paljon vettä mustalipeästä, jotta se saadaan poltettavaan muotoon soodakattilalle. Haihduttamolle tulee laihamustalipeää keittämöltä, mikä sisältää keittokemikaaleja ja poltettavia orgaanisia yhdisteitä. Soodakattilalla poltetaan haihduttamon tuottamaa mustalipeää, jotta siitä saadaan talteen sen sisältämät keittokemikaalit ja energia. Soodakattilassa natriumsulfaatti ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) muutetaan takaisin natriumsulfidiksi ( $\text{Na}_2\text{S}$ ). (3.)



Sulat keittokemikaalit otetaan talteen soodakattilan pohjalta sulakourujen kautta ja liuotetaan laihavalkolipeään, jolloin syntyy viherlipeää. Kemikaalisula sisältää natriumsulfidia ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), natriumkarbonaattia ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), natriumsulfaattia ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) ja monia muita yhdisteitä. Viherlipeä johdetaan kaustistamoon edelleen prosessoitavaksi. (3.)

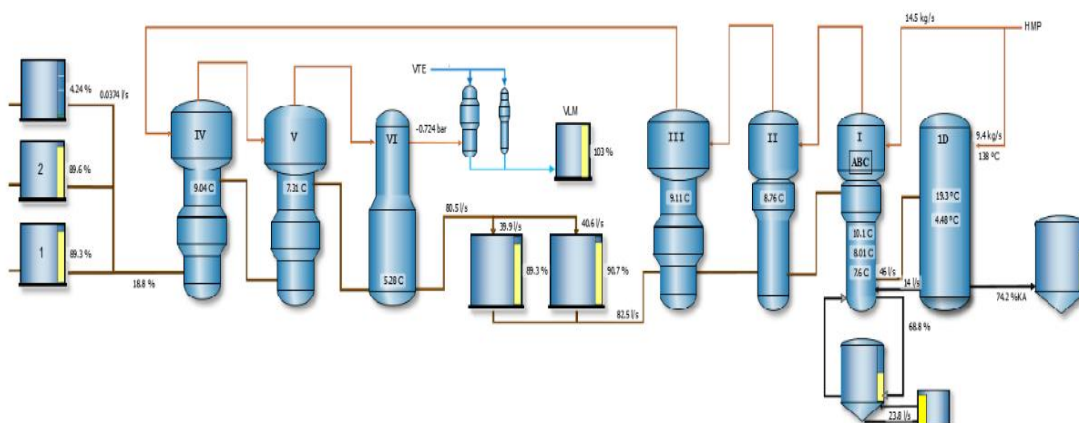
Kaustisoinnissa viherlipeässä oleva natriumkarbonaatti ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) muutetaan natriumhydroksidiksi lisäämällä siihen poltettua kalkkia ( $\text{CaO}$ ). Poltettu kalkki muuttuu viherlipeän vaikutuksesta ensin sammutetuksi kalkiksi ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Eksotermisessä kaustisointireaktiossa syntyy natriumhydroksidin lisäksi kalsiumkarbonaattia ( $\text{CaCO}_3$ ) eli meesaa. Meesa pelkistetään polttamalla se meesauunissa takaisin kalkiksi ja palautetaan takaisin kiertoon. (2, s. 69.)



Meesanpoltto yhdessä kaustisoinnin kanssa muodostavat niin sanotun kalkkikierron. Lipeälinjaan kuuluu myös mäntyöljykeittäjä, jossa mustalipeästä erotetusta suovasta separoidaan raakamäntyöljyä rikkihapon avulla mäntyöljyseparaattorissa. (2, s. 69.)

### 3 HAIHDUTTAMO

Oulun sellutehtaan haihduttamo koostuu seitsenvaiheisesta matalapainehöyryä käyttävästä haihdutussarjasta (kuva 2). Haihduttimista neljäs, viides ja kuudes yksikkö tekevät välilipeää ja kolmas, toinen ja ensimmäinen vahvamustalipeää ja 1D polttolipeää. Haihduttamo on rakennettu vuonna 1987 ja viimeisin uudistus on ollut vuonna 2011. Haihduttamon suunniteltu kapasiteetti on 422 t/h haihdutettua vettä, mihin tänä päivänäkin päästään, eikä haihduttamo ole osoittautunut tehtaan pullonkaulaksi. Sarjalla tehdään kuiva-aineeltaan noin 75-prosenttista polttolipeää soodakattilalle poltettavaksi ja haihduttamon syöttölipeän kuiva-ainepitoisuus pidetään noin 18,5 %:n tuntumassa. (4.)



KUVA 2. Oulun sellutehtaan haihduttamo (5)

Haihduttimista 1ABC, 2, 3, 4 ja 5, ovat alkuperäisiä vuodelta 1987 ja 6-yksikkö on lisätty sarjaan vuonna 1990. Uusin haihdutussarjaan lisätty yksikkö vuodelta 2011 on 1D-haihdutin. Sarjan haihduttimista vain 4-yksikkö on toimintaperiaatteeltaan nousevan kalvon haihdutin ja muut yksiköt ovat toimintaperiaatteeltaan laskevan kalvon haihduttimia. Haihduttimista vain 1D-haihdutin on tyypiltään lamelli haihdutin ja muut yksiköt ovat putkihaiduttimia. Haihduttamoon kuuluu haihdutinyksiköiden lisäksi esimerkiksi myös kaksi laihamustalipeäsäiliötä, keräilylipesäiliö, kaksi välilipesäiliötä, vahvamustalipesäiliö ja polttolipesäiliö. (4.)

### 3.1 Toiminta

Oulun sellutehtaan haihduttamo koostuu seitsenvaiheisesta haihdutussarjasta, jonka tehtävänä on haihduttaa keittämöltä tuleva laihamustalipeä ja siihen sekoitettavat sivuvirrat soodakattilalle poltettavaksi sopivaksi polttolipeäksi. Haihdutussarjaan luodaan alipaine tyhjöpumpulla sekä pää- ja jälkilauhduttajan avulla sarjan viimeisen yksikön jälkeen. (6.)

Haihduttamolla käytettävä matalapainehöyry kiertää yksiköissä käytännössä lipeän kulkusuunnan vastaisesti. Yksiköissä 1D ja 1ABC käytetään tuorehöyryä, joka haihduttaa lipeästä vettä ja yksiköissä muodostuva sekundäärihöyry kulkee alipaineen vaikutuksesta 2-yksikköön. Seuraavissa yksiköissä muodostuva höyry kulkee alipaineen seurauksena aina seuraavaan yksikköön ja näin ollen haihduttaa vettä mustalipeästä sarjassa. Yksiköissä 2 - 6 käytetäänkin aina edeltävän yksikön sekundäärihöyryä haihduttamiseen.

Höyryn kulkusuunta yksiköissä on 1D/1ABC → 2 → 3 → 4 → 5 → 6. Päälauhduttimella, jälkilauhduttimella sekä tyhjöpumpulla tehdään alipaine jäähdyttämällä lauhtumatonta hönkää kuudennen yksikön jälkeen, jolloin kiehumispiste yksiköissä laskee. Alipainetta säädetään muuttamalla lauhduttimilta poistuvan lämpimän veden lämpötiloja jäähdyttämällä sitä tehdasvedellä. Haihduttamolla kerätään lauhteita joka vaiheessa haihdutusta ja lauhteet jaetaan eri jakeisiin niiden puhtauden mukaan.

Lipeä tulee haihduttamolle keittämöltä ensin kahteen laihamustalipeäsäiliöön, joista tapahtuu mustalipeän syöttö haihdutussarjalle. Laihamustalipeäsäiliöissä tapahtuu mustalipeän ensimmäinen suovan erotus, jolloin säiliöiden pinta nostetaan vuorotellen niin ylös, että mustalipeän pinnalla oleva kevyempi suopa ylikaadetaan suopakouruihin ja kerätään talteen suovan vastaanottosäiliöön jatkokäsittelyä varten. Syöttölipeä syötetään 4-yksikköön, joka toimii nousevan kalvon periaatteella. Yksiköstä mustalipeä siirtyy ylikaatona seuraavaan viidenteen yksikköön, jossa kiertopumppu kierrättää lipeää ja siirtopumppu siirtää sitä aina seuraavaan yksikköön.

Kuudennen yksikön jälkeen mustalipeä pumpataan välilipeän esilämmittimien kautta kahteen välilipeäsäiliöön, joissa tapahtuu suovan erotus samalla tavalla kuin laihamustalipeäsäiliössä. Välilipeäsäiliöistä mustalipeä syötetään 3-yksikköön, josta lipeä pumpataan taas 2-yksikköön. Kakkosyksikön siirtopumpun linjasta otetaan vahvistuslipeää keittämölle, jolla säädetään syöttölipeän kuiva-ainepitoisuutta haihduttamolle (liite 1). Kakkosyksiköstä mustalipeä syötetään 1ABC-yksikköön, joka on jaettu kolmeen eri lohkoon lipeän vahvuuden mukaan. Lipeä syötetään yksikköön valitun ajotavan mukaan siten, että lipeä tulee syöttölohkoon, pumpataan välilohkoon ja siitä vahvimpaan lohkoon. Ajotapaa vaihdetaan aina 8 tunnin välein siten, että vahvimasta lohkosta tulee syöttölohko ja välilohkosta vahvalohko.

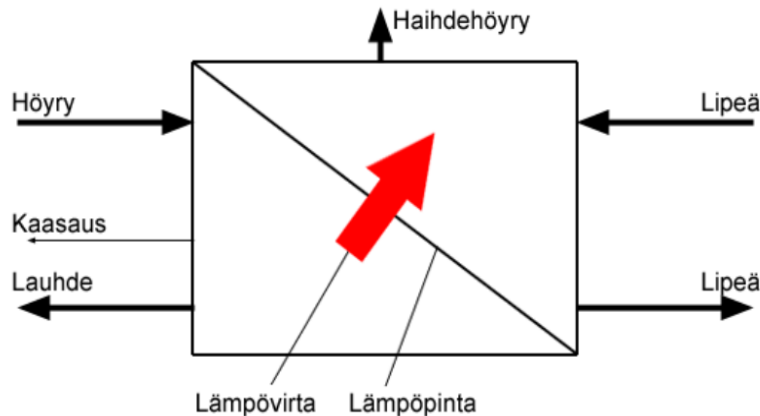
1ABC-yksiköstä tulevaa lipeää kutsutaan vahvamustalipeäksi ja se pumpataan EVH-säiliöön. Osa 1ABC:n lipeästä syötetään suoraan seuraavaan 1D-yksikköön ja 1D-yksiköstä otetaan kiertopumpun linjasta omavahvistusta 1ABC-yksikköön. EVH-säiliöstä lipeä pumpataan takaisin 1ABC-yksikköön, mutta EVH-säiliössä tapahtuu niin sanottu suolanhaku, jolla vahvamustalipeää väkevöitetään. 1D-yksiköstä poistuvaa mustalipeää kutsutaan polttolipeäksi ja se pumpataan EPO-säiliöön, josta soodakattila ottaa polttolipeänsä. Mustalipeän kierto yksiköiden välillä on  $4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1ABC \rightarrow 1D$

### 3.2 Haihdutus

Haihduttamon ensisijainen tehtävä on haihduttaa mustalipeästä mahdollisimman paljon vettä pois, ja haihduttamon kapasiteettia tarkastellaankin haihdutetun veden määrällä. Monivaihehaihduttamossa sisään syötetty energia eli primäärihöyry käytetään moneen kertaan. Ensimmäisessä vaiheessa vapautunut höyry kiehuttaa vettä seuraavassa matalammassa paineessa ja lämpötilassa toimivassa vaiheessa. Prosessi toistetaan kussakin seuraavassa vaiheessa. Haihduttimien numerointi perustuu niiden käyttöhöyryn kulun mukaiseen järjestykseen. Näin ollen yleinen höyryn ja lipeän vastavirtakytkentä tarkoittaa, että lipeää haihdutetaan vaiheitten käänteisessä järjestyksessä. Viimeisessä vaiheessa tuotettu höyry lauhdutetaan jäähdytysveden avulla tyhjölauhduttimessa. (3.)

Haihdutukseen tarvitaan noin 1 kg matalapainehöyryä jokaista haihdutettua vesikiloa kohti, mikä tarkoittaa noin 2500 kJ/kgH<sub>2</sub>O energiankulutusta. Monivaihehaihduttamoilla höyryn ja energian kulutusta saadaan pienennettyä huomattavasti, sillä höyry saadaan käytettyä moneen kertaan. Monivaihehaihduttamon höyrynkulutus 5-vaiheisella haihduttamolla on noin 550 kJ/kgH<sub>2</sub>O ja 7-vaiheisella noin 400 kJ/kgH<sub>2</sub>O, joten höyrynkulutusta saadaan näin laskettua huomattavasti. (2, s. 69)

Haihdutuksen periaate on, että veden haihdutukseen tarvittava lämpö otetaan lauhtuvasta höyrystä (kuva 3). Tehokkaan lämmönsiirron säilyttämiseksi lauhtuvalta puolelta on johdettava ulos heikosti lauhtuvia yhdisteitä kaasauksen kautta, jotta haihdutin ei pääse tukkeutumaan näihin yhdisteisiin ja lämmönsiirto näin ollen loppumaan. Haihdutuskapasiteetin tekijöitä ovat lämpöpinnan suuruus, lämmönsiirtokyky sekä lauhtuvan höyryn ja mustalipeän välinen tehollinen lämpötilaero. Tehokas haihdutus edellyttää näiden tekijöiden pysymistä riittävän hyvinä. (3.)



KUVA 3. Haihdutuksen periaate (7)

Lämpövirta lasketaan kaavalla 1.

$$\Phi = k \cdot A \cdot dT$$

KAAVA 1

$\Phi$  lämpövirta

$k$  lämmönläpäisykerroin

$A$  lämpöpinta  
 $dT$  lämpötilaero

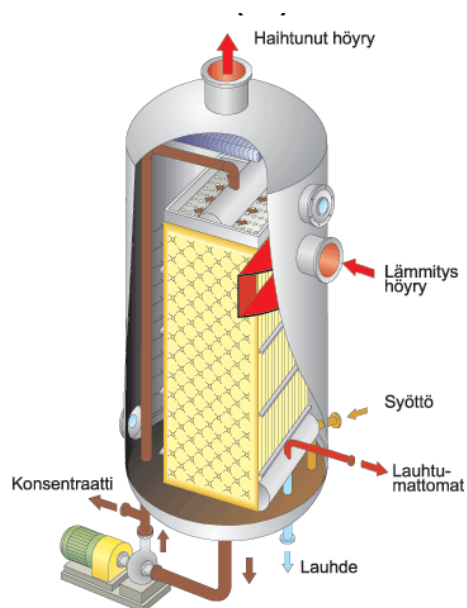
Haihdutusmäärä lasketaan kaavalla 2.

$$m_H = m_S \frac{X_T - X_S}{x_T} \quad \text{KAAVA 2}$$

$m_H$  haihdutusmäärä  
 $m_S$  syötön massavirta  
 $X_T$  tuotteen kuiva-aine  
 $X_S$  syötön kuiva-aine

### 3.2.1 Laskevan kalvon haihdutin

Laskevan kalvon haihduttimilla eli Falling Film- tai FF-haihduttimilla pystytään saavuttamaan korkea mustalipeän kuiva-ainepitoisuus (kuva 4). Haihduttimet toimivat tehokkaasti myös pienillä tehollisilla lämpötilaeroilla, mikä mahdollistaa hyvän osakuormasäädön. FF-haihduttimet voivat olla lamelli- tai putkityyppisiä.



KUVA 4. Laskevan kalvon haihdutin (7)

Lamellirakenteessa haihduttava höyry lauhtuu lamellien sisällä ja lipeä kiehuu lamellien ulkopinnalla. Haihduttimen kiertopumppu nostaa lipeän yksikön yläosaan lipeän jakolaatikkoon, joka jakaa sen tasaisesti kaikkien lamellien ulkopinnoille (kuva 5). Kiehuva lipeä valuu ohuena filminä lamellien ulkopinnoilla haihduttimen pohjalle. FF-haihduttimia tehdään myös putkityyppisinä, joissa lipeä pumpataan yläosan jakolevylle, josta se valuu tuubeihin tasaisesti. Höyry tuodaan yksikön kuumentimen vaippapuolelle, jonka alaosassa on lauhteiden ja kaasun poisto. (3.)



*KUVA 5. 1D:n lipeän jakolaatikko*

### **3.2.2 Nousevan kalvon haihdutin**

Nousevan kalvon haihduttimet ovat sellutehtaiden vanhinta yleisesti käytössä olevaa haihdutintekniikkaa. Lipeä syötetään alhaalta putkien sisälle ja putkia lämmitetään ulkopuolelta höyryllä. Kiehunnassa vapautuva höyry vetää lipeän kiihtyvällä vauhdilla putkea pitkin ylös muodostaen putken sisäpinnalle lipeäkalvon. Lämpöä luovuttava höyry lauhtuu putken ulkopinnalla, joten haihduttimen vaipan järjestely on normaalin pystyputkisen haihduttimen mukainen. Haihdutin vaatii

toimiakseen suuren tehollisen lämpötilaeron lauhtuvan höyryn ja mustalipeän välille, joten osakuormansäätö on mahdollista hyvin rajoitetusti. Haihduttimen etuna sen yksinkertaisuuden lisäksi on kuitenkin alhainen sähkönkulutus, sillä se ei tarvitse lipeän kiertopumppua. (3.)

### **3.3 Haihduttamon ongelmat**

Sellutehtailla on yleisesti ollut pulmana haihdutusta ajatellen, että haihduttamon on oletettu toimivan kuitulinjan ja soodakattilan välillä riippumatta siitä, millaisia lipeitä ja jätenesteitä sinne ajetaan. Lipeän laadulla voidaan vaikuttaa haihdutuksen toimintojen parantamiseen, kuten sarjan likaantumiseen, suovan erottumiseen ja haihduttimien pesutarpeeseen sekä pesujen tehokkuuteen. Yleisimpiä prosessiongelmia haihduttamoilla ovat vaahtoaminen, kapasiteetin aleneminen, lauhteiden puhtaus ja haihduttimien likaantuminen. (3.)

#### **3.3.1 Vaahtoaminen**

Erityisesti havumustalipeää haihdutettaessa esiintyy usein käyntiinajojen, pesujen tai häiriötilanteiden yhteydessä lipeän vaahtoamista varsinkin sarjan laihimassa vaiheessa. Usein vaahtoamisen syynä voi olla liian laiha lipeä, maksimi tyhjä viimeisessä vaiheessa sekä samanaikaisesti runsas suopajäännös lipeässä. Vaahtoamista hallitaan säätämällä sarjaan menevän lipeän väkevyys riittävän korkeaksi esimerkiksi sekoittamalla välilipeää syöttölipeään. Ellei vaahtoamista saada hallintaan väkevyyttä tai tyhjää säätämällä, voidaan lipeän sekaan annostella vaahdonestoainettakin. (3.)

Likaislauhteiden puhdistus edellyttää myös mahdollisimman vähälipeisiä lauhteita strippauskolonniin, sillä lauhteen vaahtoaminen estää strippauskolonnin toiminnan. Tästä syystä kerättävät likaislauhteet palautetaan laihamustalipeän joukkoon, mikäli niiden lipeäpitoisuus on liian korkea. (3.)

#### **3.3.2 Kapasiteetin aleneminen**

Normaalijossa haihdutuskapasiteetin aleneminen johtuu käytännössä vaahtoisesta syöttölipeän väkevyyden alenemisen takia, laiteviasta, joka aiheuttaa ilman pääsyn sarjaan ja huonontaa tyhjän suuruutta tai laitoksen tai yksittäisen

laitteen likaantumisesta. Koska haihduttamalla haihdutetaan epäpuhtaita liuoksia, ei lämpöpintojen likaantumiselta voi välttyä. Erilaisten pesujärjestelmien avulla likaantuneet laitteet voidaan normaalin käytön aikana hoitaa pesemällä lipeäsäiliöiden kapasiteettien antamien aikarajojen puitteissa. (3.)

### **3.3.3 Lauhteiden puhtaus**

Koska haihduttamon lauhteita käytetään muualla tehtaalla prosessivetenä, niiden puhtaus on erittäin tärkeää. Haihduttamon laitteisto järjestetään sekä rakenteeltaan että prosessikytkennältään siten, että pääosa haisevista rikkiyhdisteistä ja laihalipeen sisältämästä metanolista saadaan erotettua pois hajukaasujen käsittelyyn. Syynä lauhteiden likaantumiseen on usein jonkin haihdutinyksikön ylikuohaaminen tai haihduttimen pesun epäonnistuminen. Vakavampi lauhteiden likaantuminen yleensä aiheutuu joko laiteviasta, kuten tuubivuodosta tai lamellin repeämästä tai pisaranerottimen tukkeutumisesta. Kummankin vian korjaaminen edellyttää seisokkia. Pisaranerottimia varten on joissakin tapauksissa varauduttu käytön aikaiseen huuhteluun. (3.)

### **3.3.4 Haihduttimien likaantuminen**

Haihduttimien käytettävyys on paljolti riippuvainen laitteiden likaantumisen estämisestä ja puhtaana pysymisen hallinnasta sekä mahdollisimman nopeasta ja tehokkaasta pesujärjestelmästä. Lämpöpinnoille kiinnittyvät likaavat ja tukkeutuvia aiheuttavat epäpuhtaudet voidaan jakaa pääasiassa kolmeen ryhmään.

- orgaaniset yhdisteet (esim. suopa)
- burkeiitti ( $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \times \text{Na}_2\text{CO}_3$ )
- muut epäorgaaniset yhdisteet (erityisesti kalsium).

Lipeän kuitupitoisuus voi myös olla osasyllinen pintojen likaantumiseen, ja onkin tärkeää, että pesemöltä tuleva lipeä olisi mahdollisimman kuituvapaata eikä kuitusuotimia ohitettaisi edes häiriötilanteissa. Useasti likaantumisessa on kyse useamman likakomponentin yhdistelmästä. Usein likaantumisongelman ratkaiseminen ei ole enää mahdollista pelkästään haihduttamalla, vaan tarvitaan koko kemikaalikierron hallintaa. (3.)

Burkeiitti saostuu jokaisessa haihduttamossa, ja sillä on kriittinen alue, jossa sen likaava vaikutus on suurimmillaan. Kun kriittinen alue on ohitettu, vähenee kiteytyminen lämpöpinnoille. Saostuminen on hallittavissa pesuilla sekä erilaisilla lipeän ominaisuuksiin vaikuttavilla tekijöillä, kuten suolan noudolla, kidelipeän kiertäyksellä ja sivuvirtojen kohdistuksella. (8.)

### **3.4 Lauhteet**

Selluprosessin sulkeutuessa haihduttamon lauhteiden puhtauteen on alettu kiinnittää yhä suurempaa huomiota. Vedenkäytön vähennyksen edellytyksenä on, että lauhteet voidaan käyttää uudelleen muualla tehtaassa, kuten esimerkiksi valkaisussa, massan pesussa, kaustisoinnissa ja haihduttimien pesussa. Lauhteiden tulee sisältää mahdollisimman vähän lipeästä haihdutuksessa vapautuvia yhdisteitä, kuten metanolia ja haisevia rikkiyhdisteitä. (3.)

Haihduttamolta kerätään erilaisia lauhteita ja likaisimmat lauhteet saadaan haihduttamon höyrykierron loppupäästä. Lauhteiden puhtautta seurataan mittaamalla niiden johtokykyä (mS/m) ja ne luokitellaan johtokyvyn mukaan eri jakeisiin. Haihduttamon likaislauhteiden puhdistus tapahtuu höyrykäyttöisessä strippauskolinnissa, jossa käyttöhöyrynä käytetään ykkösvaiheen tuottamaa sekundäärihöyryä, mutta poikkeustilanteissa voidaan käyttää myös matalapaineista tuorehöyryä. Oulun haihduttamon tuottamat lauhteet ovat primäärilauhde, SLA-lauhde, SLB-lauhde ja SLC-lauhde. (6.)

#### **3.4.1 Primäärilauhde**

Primäärilauhde on haihduttamon puhtain lauhde, joka on lauhtunutta tuorehöyryä. Primäärilauhdetta kerätään 1ABC- ja 1D-yksiköistä ja se pumpataan takaisin voimalaitokselle, joten sen täytyy olla puhdasta, ettei voimalaitokselle pääse likaisia lauhteita, jotka aiheuttaisivat ongelmia veden laadussa. (6.)

#### **3.4.2 SLA-lauhde**

SLA-lauhde on haihduttamon puhtain sekundäärilauhde. Lauhdetta kerätään yksiköistä 2 - 4 ja se pumpataan suoraan SLA-lauhdesäiliöön, josta sitä voidaan

käyttää sellutehtaan eri prosesseihin, kuten massan pesuun. Mikäli lauhde menee likaiseksi esimerkiksi haihduttimen pesun seurauksena ja sen johtokyky nousee, pumpataan lauhde lauhdesäiliön sijasta keräilylipeäsäiliöön. (6.)

### **3.4.3 SLB-lauhde**

Sekundäärilauhde B on haihduttamon toiseksi puhtainta sekundäärilauhdetta, jota kerätään yksiköistä 5 - 6 sekä päälauhduttimesta. SLB pumpataan myös SLA-lauhdesäiliöön, mikäli se on tarpeeksi puhdasta, mutta muuten lauhde pumpataan keräilylipeäsäiliöön. Osa SLB-lauhteesta kuitenkin käytetään kaustistamalla eri prosesseihin, kuten meesan laimennukseen. (6.)

### **3.4.4 SLC-lauhde**

SLC-lauhde on haihduttamon likaisin sekundäärilauhde, ja sitä kerätään myös yksiköistä 5 - 6, eikä sitä sellaisenaan voida käyttää tehtaan muihin prosesseihin. Lauhde puhdistetaan strippauskolonnissa höyryllä, jotta sitä voidaan hyödyntää puhtaampana muissa prosesseissa. Strippauskolonnista puhdistettu lauhde pumpataan johtokyvyn mukaan joko SLA- tai SLB-lauhteeksi. (6.)

## **3.5 Mustalipeä**

Sulfaattisellun pesussa massasta erottuvaa nestettä kutsutaan mustalipeäksi (kuva 6). Mustalipeä syntyy keitossa valkolipeän vaikuttavien alkalien natriumhydroksidin ( $\text{NaOH}$ ) ja natriumsulfidin ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) sekä lämmön vaikuttaessa puuhun, jolloin puussa oleva ligniini ja muut orgaaniset yhdisteet liukenevat keittonesteseen. Mustalipeästä käytetään eri nimityksiä pesemön ja soodakattilan välillä, joilla kuvataan mustalipeän kuiva-ainepitoisuutta tai kohtaa, jossa mustalipeä on prosessissa. (3.)



*KUVA 6. Mustalipeän erotus (3)*

Pesemöltä haiduttamolle tulevaa mustalipeää kutsutaan laihamustalipeäksi, jota sitten vahvistetaan haihduttamon vaiheesta kaksi otettavalla mustalipeällä. Vahvistuksen jälkeen mustalipeää kutsutaan syöttölipeäksi. Mustalipeästä erotetaan suopaa eri vaiheissa ja suovan erotus tehdään säiliöissä, kuten laihamustalipeäsäiliössä ja välilipeäsäiliössä. Yksiköiden 4 - 6 tekemää mustalipeää kutsutaan välilipeäksi ja yksiköiden kolme, kaksi ja 1ABC:n tekemää mustalipeää kutsutaan vahvamustalipeäksi. Soodakattilalle syötettävää väkevöityä vahvamustalipeää kutsutaan polttolipeäksi.

Mustalipeän sisältämät tärkeimmät orgaaniset yhdisteet ovat ligniini, hiilihydraatit ja uuteaineet. Epäorgaaniset pääkomponentit ovat natriumkarbonaatti ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), natriumsulfaatti ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), natriumsulfidi ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) ja natriumhydroksidi ( $\text{NaOH}$ ). Tyypillinen mustalipeän alkuainekoostumus mäntyä raaka-aineena käyttävässä sulfaattisellutehtaassa on

- 34 % hiiltä C
- 36 % happea O
- 19 % natriumia Na
- 5 % rikkiä S
- 4 % vetyä H
- 1,7 % kaliumia K
- 0,3 % klooria Cl.

Mustalipeän lämpöarvon lähteenä on orgaaninen aines, joka palaessaan luovuttaa lämpöä. Lämpöarvoon vaikuttaa keiton aikana liuenneiden orgaanisten yhdisteiden määrä, laatu sekä puulaji. Useimpien mustalipeiden kalorimetriset lämpöarvot vaihtelevat välillä 12 - 15 MJ/kg kuiva-ainetta. (3.)

### **3.5.1 Suolalipeä**

Suolalipeällä väkevytetään mustalipeää lisäämällä mustalipeään soodakattilan tuhkaa. Sekoitussäiliöön tuodaan vahvamustalipeää ja tuhkaa soodakattilan sähkösuotimilta ja suppiloista. Suolanhaku tapahtuu siten, että EVH-säiliöstä pumpataan osa lipeästä sekoitussäiliöön ja sekoitetaan soodakattilan tuhkaan. Sekoitussäiliöstä suolalipeä pumpataan takaisin EVH-säiliöön ja suolapitoinen vahvamustalipeä pumpataan 1ABC:n kiertopumppujen imupuolelle laihimpaan lohkoon tai 1D:n kiertolinjaan. (6.)

Suolalipeän syötön tarkoituksena on tuoda kiteitä vahvamustalipeän sekaan sekä nostaa lipeän kuiva-ainetta. Suolanhaualla on tärkeä rooli myös 1ABC ja 1D-haihduttimien likaantumisen estämisessä, sillä uudet muodostuvat kiteet kiinnittyvät jo olemassa oleviin kiteisiin eivätkä haihduttimien lämpöpinnoille ja näin ollen vähentävät yksiköiden pesutarvetta. (8.)

### **3.5.2 Soodalipeä**

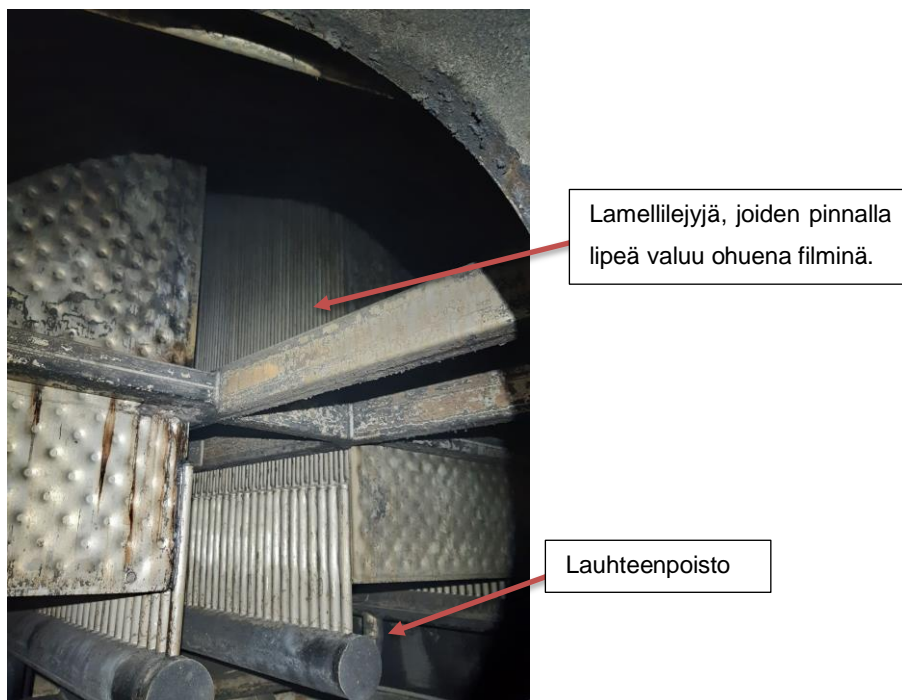
Soodakattilan tulipesän alaosan sulakourujen kautta ulos valuva kemikaalisula sisältää muun muassa natriumsulfidia ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), natriumkarbonaattia ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ja natriumsulfaattia ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Kemikaalisula liuotetaan meesan pesusta saatavaan laihavalkolipeään, jolloin syntyy soodalipeää eli viherlipeää. Soodalipeä johdetaan sakan erotuksen jälkeen kaustistamoon edelleen prosessoitavaksi keitossa käytettävään muotoon valkolipeäksi. (3.)

## 4 HAIHDUTTIMEN PESU

Haihduttimien pesu on tärkeää, sillä likaantuessaan ne voivat alentaa haihduttamon kapasiteettia ja heikentää sen energiatehokkuutta. Onkin tärkeää, että pesuja varten on olemassa suunnitelma ja ohjeistus. Haihduttimia pestään joko tietyin väliajoin tai silloin, kun lämpöpinnat ovat likaantuneet. Likaantumista seurataan lauhtuvan höyryn ja mustalipeän välisellä lämpötilaerolla, joka noustessaan kertoo lämpöpintojen likaantumisesta. Haihduttimia voidaan pestä ajon aikana, mikäli polttolipeän riittävyys varmistetaan pesun ajaksi. Pesuja voidaan suorittaa suunnittelemalla haihduttimelle pesusekvenssi tai haihdutin voidaan pestä paneelilta manuaalisesti. Manuaalisesti pesu on huomattavasti vaikeampaa ja vaatii operaattorilta enemmän keskittymistä kuin pesusekvenssillä pesu, mutta aina pesusekvenssiä ei voida toteuttaa.

### 4.1 1D-haihdutin

Haihduttimen lämpöpinta muodostuu kaksilevyisistä lamelleista, joiden mitat ovat noin 1,5 m x 9 m (kuva 7). Höyry lauhtuu lamellin sisäpuolella ja lipeä kierrätetään lämpöpintojen yli. Erinomaisen lipeänjaon sekä lämpöpinnan muodon ansiosta lipeä valuu ohuena filminä lamellin ulkopintaa pitkin lamellin yläosasta haihdutinyksikön pohjalle. Lamellien keskimääräinen etäisyys toisistaan on noin 20 – 50 mm, jolloin kehitetyn sekundäärihöyryn nopeus lamellien välistä varsinaiseen höyrytilaan on niin pieni, ettei se pääse vaikuttamaan filminmuodostukseen. Varsinaisena höyrytilana toimii koko lamellipakettia ympäröivä paineastia. Tässä tilassa ylöspäin suuntautuvan höyryn pieni nopeus yhdessä tehokkaiden Euroform-tyyppisten pisaranerottimien kanssa johtavat siihen, että sekundääri- ja likaislauhteiden kuiva-ainepitoisuudet ovat erittäin pienet. (7.)



*KUVA 7. 1D-haihduttimen lamellipaketteja*

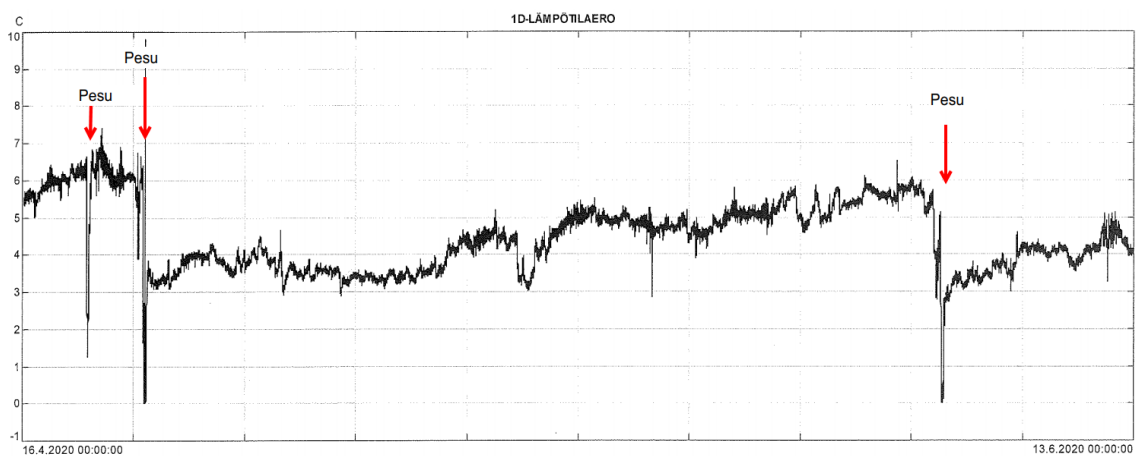
## 4.2 Pesu

Tässä työssä tarkastellaan 1D-haihduttimen pesua ajon aikana, pesun onnistumista ja sitä, mitä pesua suoritettaessa on otettava huomioon (kuva 8). Haihdutin on lamellilittyypinen laskevan kalvon haihdutin, joka on haihdutussarjan lipeäkierron viimeinen yksikkö. Haihduttimen pesu suoritetaan manuaalisesti paneelilta aina tarvittaessa, eikä sille ole olemassa pesusekvenssiä (liite 2). Pesua 1D-haihduttimelle suoritetaan hieman eri tavoilla riippuen siitä, kuka sitä pesee, ja onkin huomattu, että pesutulos saattaa vaihdella ajoittain. Pesua varten ei ole kunnollista yhtenäistä pesuohjetta, jonka mukaan operaattorit pesisivät sitä aina samalla tavalla.



KUVA 8. 1D-haihdutin

Haihduttimen likaantumista seurataan lämpötilaerolla ja pesu yksikölle pitää suorittaa silloin, kun lämpötilaero on noussut liian korkeaksi (kuva 9). Lämpöpinta on likainen silloin, kun lämpötilaero on noussut 1,5-kertaiseksi verrattuna samalla höyrymäärällä puhtaaseen lämpöpintaan, tai pestävä viimeistään lämpötilaeron ollessa 2-kertainen. Nykyisellään lämpötilaero puhtaalla lämpöpinnalla on noin 3,2 - 3,5 °C, joten yksikkö on pestävä lämpötilaeron ollessa noin 5,0 - 6,7 °C, jotta se saadaan pestyä yhdellä kertaa kunnolla ja sen kapasiteetti ei pääse laskemaan. (9.)



KUVA 9. Lämpötilaeron kuvaaja

Ennen pesua haihduttamon säiliöt pitää ajaa pesun edellyttämälle mallille, jotta haihduttamoa ja soodakattilaa voidaan ajaa pesun ajan. Lipeäsäiliöiden pinnat muuttuvat paljon haihduttimen pesun aikana (kuva 12):

- EPO säiliö n. 80 %
- EVH säiliö n. 40 %
- laiha-/välilipeäsäiliöt <90 %
- keräilylipeäsäiliö tyhjä.

Haihduttimen likaantuminen ja sen pesujen välit vaihtelevat melko paljon riippuen tuotantotilanteesta ja haihduttamon ajoista. Joskus pesuja joudutaan suurilla tuotantovauhdeilla toteuttamaan jopa kahden viikon välein ja pienillä tuotantovauhdeilla voidaan mennä pitkäänkin pesemättä. Keskimäärin haihdutinta pestään kuitenkin noin kerran kuukaudessa. Pesu onkin hyvä suorittaa pienillä tuotantovauhdeilla, sillä se antaa enemmän pesuaikaa. Onnistunut pesu haihduttimelle kokemuksen perusteella vaatii vähintään kolme tuntia, mutta mielellään aikaa saisi olla enemmänkin, sillä yksikön hallittu takaisin ajolle otto ja kuiva-aineen nosto vie myös aikaa.

1D-haihduttimen pesun aikana ei nykyisellään pystytä tuottamaan polttolipeää soodakattilalle 1ABC-haihduttimella, joten polttolipeän riittävyys pesun ajaksi on varmistettava tankkaamalla EPO-säiliö mahdollisimman täyteen. EVH-säiliölle on hyvä tehdä tilaa, jotta sinne voi ajaa mahdollisimman paljon lipeää 1ABC-haihduttimelta. Noin 70 %:n kuiva-aineen polttolipeää voitaisiin tehdä 1ABC-haihduttimella, mikäli otettaisiin käyttöön 1D-haihduttimen ohitus EPO-säiliölle, mutta tällaista toteutusta ei ole vielä toistaiseksi otettu käyttöön.

Soodakattilan polttoa on pienennettävä, jotta polttolipeää riittää pesun ajaksi, mutta sitäkin rajoittaa tuotantotilanne. On huomattu, että soodakattilalla voi alkaa tulla polttolipeän saatavuuden kanssa ongelmia EPO-säiliön näyttäessä jo 25 %:n pintaa. Yleensä haasteita pesun aikana on vähemmän silloin, kun keittimen tuotantovauhti on alhainen. Haihdutin onkin hyvä pestä aina, kun keittovauhti laskeaan alemmas, sillä silloin haihduttamolle tulee vähemmän pesulipeää ja polttoa voidaan yleensä pudottaa paremmin, mikä puolestaan antaa paremmin aikaa onnistuneeseen pesuun.

Haihdutinta pestään pääasiassa SLA-lauhteella, mutta pesussa voidaan käyttää SLA-lauhteen lisäksi soodakattilan savukaasupesurin vettä. Yksikön pesu aloitetaan, kun lipeän kuiva-aine ja haihduttimen pinta on laskettu riittävän alas hyvissä ajoin maltillisesti, sillä se edesauttaa yksikön pinnanmittauksen toimivuutta ja luotettavuutta. Pinnanmittaus on osoittautunut ongelmalliseksi, sillä se ei tahdo toimia kunnolla, kun yksikön sisällä olevan nesteen tiheys muuttuu nopeasti tai likaantuessaankin se voi näyttää pinnan väärin. Pinnanmittauksen toimivuus on erittäin tärkeää, ettei yksikkö pääse menemään vahingossa tyhjäksi tai liian täyteen, jolloin yksikkö tulee yli ja pesunesteet pääsevät likaamaan lauhteet.

Yksikköön on hyvä ottaa useampi vesitäyttö onnistuneen pesun varmistamiseksi. Vesitäyttöjä on hyvä ottaa vähintään 2 - 3 kertaa ja jokaisen täytön tulisi kestää noin 20 - 30 minuuttia. Tärkeintä pesussa on kuitenkin ajaa yksikköön mahdollisimman paljon pesunestettä, jotta kiertopumput saavat kierrättää mahdollisimman laihaa pesunestettä ja pestä lämpöpintoja. Vettä tulisi ajaa yksikköön yhteensä noin 50 l/s, jotta yksikköön saadaan tarpeeksi pesunestettä. Pesunesteet tyhjennetään keräilylipeäsäiliöön ja tyhjennyksenkin tulisi kestää noin 20 - 30 minuuttia tyhjentämällä noin 50 l/s tai suunnilleen yhtä kauan kuin yksikköä on täytettykin pesunesteellä. Keräilylipeäsäiliöstä pesunesteet ajetaan takaisin haihduttamolle syöttölipeän joukkoon. Pesunesteiden syöttö kannattaa tehdä hitaasti, sillä se voi vielä sisältää pesussa liuenneita suoloja ja likaantumista aiheuttavia komponentteja, jotka voivat aiheuttaa likaantumista uudestaan nopeastikin (10).

Pesun aikana on tiettyjä asioita, joita operaattorin kannattaa seurata tarkasti onnistuneen pesun takaamiseksi:

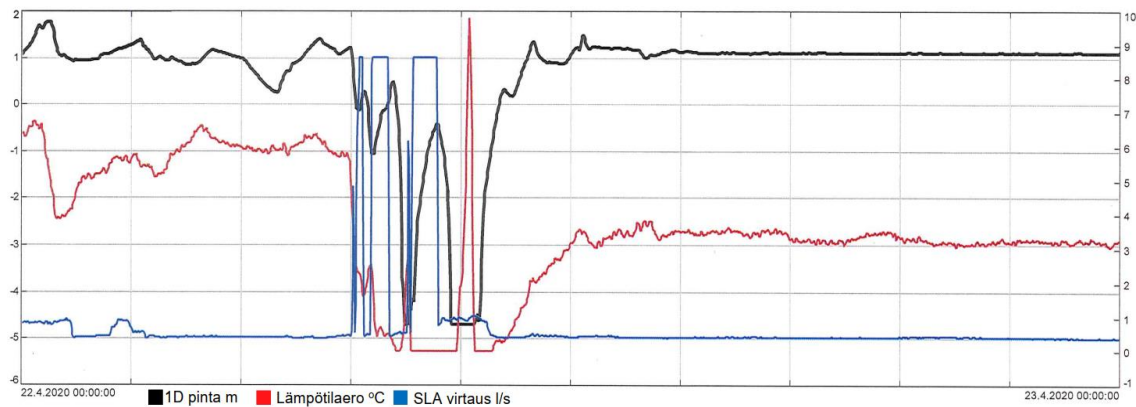
- kiertopumppujen kuormat
- kuiva-ainemittaukset
- haihduttamon hajukaasujen paine
- yksikön pinta
- paljonko vettä ajaa yksikköön
- polttolipeän riittävyys
- lauhteiden johtokyky
- sarjan vedot

- linjojen huuhtelu.

Kuiva-ainemittauksiin ei voi täysin luottaa pesun aikana, joten on hyvä seurata kiertopumppujen kuormiakin, jotka antavat melko hyvän kuvan kuiva-aineen kehittymisestä yksikössä. Normaalilla ajolla kiertopumpun (32516) kuormat ovat noin 79 %, joka vastaa noin 75 %:n kuiva-ainetta yksikössä. Haihduttamon hajukaasujen paineen seuraaminen ei suoraan vaikuta itse yksikön pesuun, mutta sen seuraamisella ja ohjaamisella voi estää paineen heilahdukset hajukaasulinjassa.

Yksikön pintaa on tärkeä seurata, jotta vältetään suuremmat ongelmat lauhteiden likaantumisessa. Pinnanmittaukseenkaan ei voi täysin luottaa, joten tulee seurata yksikköön ajettavan ja sieltä poistuvan nesteen määrää. Virtauksia seuraamalla voi pitää huolen yksikön pinnan pysymisestä turvallisissa rajoissa. Pesun aikana on myös tärkeä seurata sarjan vetoja, ettei sarjan toiminta pääse pesun aikana menemään sekaisin ja yksiköt paineellisiksi. Linjojen tukkeutumisen välttämiseksi operaattorin tulee pitää huoli, että jokainen linja on huuhdeltu kunnolla lauhteella, laihalipeällä tai pesunesteellä.

Kuvassa 10 näkee, kuinka onnistuneessa pesussa yksikköön on otettu kaksi vesitäyttöä SLA-lauhteella. Täyttöjen välissä yksikkö on ajettu mahdollisimman tyhjäksi, jotta haihdutinta tulisi pestyä mahdollisimman puhtaalla pesunesteellä. Vesitäyttöjen välillä on tärkeää tyhjentää yksikköä mahdollisimman paljon, sillä ei voi tietää varmasti, kuinka paljon yksikössä on ollut vielä lipeää pesua aloitettaessa. Mikäli yksikössä on ollut vielä lipeää pesua aloitettaessa, saattaa pesuneste olla vain laihempaa lipeää, eikä näin ollen pese lämpöpintoja kunnolla. Pesussa yksikön pinnanmittaus vaikuttaisi reagoineen vesitäyttöihin ja tyhjennyksiin, mutta pinnan muutokset ovat niin nopeita, ettei voi sanoa varmaksi, onko pinnanmittaus näyttänyt kuitenkaan oikeaa pintaa.



*KUVA 10. Onnistunut pesu*

### 4.3 Ajolle otto

Yksikön pesun loputtua haihdutinta aletaan ottamaan ajolle aloittamalla lipeä-täyttö ja lisäämällä höyryä yksikköön. Kuiva-aineen ja pinnan nostaminen hallitusti yksikössä vie aikaa, joten tulee pitää huoli, että senkin ehtii tehdä polttoli-  
peän riittävyyden asettamissa rajoissa.

Mikäli pesussa on käytetty savukaasupesurin vettä, tulee kentältä käydä irrottamassa savukaasupesurin vesiletku, avaamassa EVH-säiliön pohja ja raottaa pumpun (37172) kierto (kuva 11).

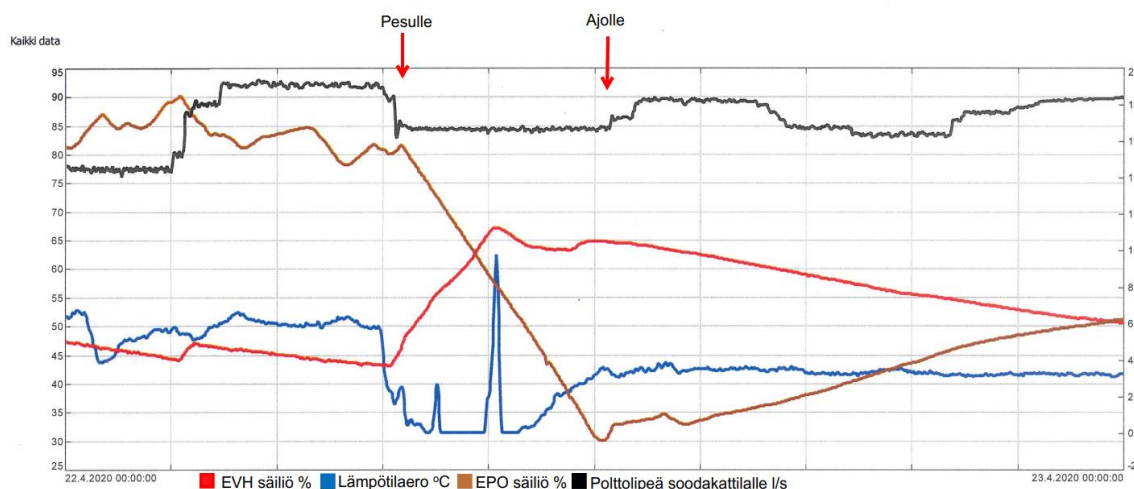


*KUVA 11. EVH-säiliön pohjan kytkentä pesussa*

Yksikköön aletaan ottamaan lipeää joko EVH-säiliöltä tai suoraan 1ABC:lta nostamalla yksikön pintaa hiljalleen. Höyryä lisätään vähitellen, ettei kuiva-aine pääse nousemaan hallitsemattomasti liian korkeaksi. Täyttö ja kuiva-aineen nosto voidaan tehdä nopeastikin tarvittaessa ajamalla enemmän lipeää ja höyryä yksikköön, mutta silloin on riskinä, että kuiva-aine nousee jossakin vaiheessa hallitsemattomasti. Kuiva-aineen noustessa yli 60 %:iin lipeä voidaan kääntää menemään EVH-säiliöön keräilylipeäsäiliön sijasta. Kun kuiva-aine on saatu nostettua yli 68 %:iin, voidaan lipeä kääntää takaisin EPO-säiliölle. Kuiva-aineen nostossa kannattaa seurata myös kiertopumppujen kuormien kasvua, eikä vain luottaa kuiva-ainemittauksiin.

Haihduttamo ajetaan samalle mallille kuin ennen pesun aloitusta, kun 1D:llä saadaan tuotettua polttolipeää. Suolalipeä käännetään 1ABC:lle ja omavahvistus 1D:ltä laitetaan samalle tasolle kuin ennen pesua. Soodakattilan polttoa voidaan tarvittaessa, kunhan 1D:llä saadaan tuotettua tarvittava polttolipeä. Onnistuneen pesun jälkeen yksikön lämpötilaeron tulisi olla noin 3,2 - 3,5 °C, mutta jos lämpötilaero on jäänyt korkeammaksi, on yksikkö vielä likainen, ja todennäköisesti se on pestävä lähiaikoina uudestaan.

Kuvassa 12 näkee, kuinka EVH-säiliön, EPO-säiliön ja soodakattilan poltto kehittyy pesun ja ajolle oton aikana. EPO-säiliön pinta tippuu nopeasti, vaikka soodakattilan polttoa on pienennetty 17 l:aan/s



KUVA 12. Pesu 22.4.2020

Pesun aikana EVH säiliön pinta nousee nopeasti, sillä 1ABC-haihdutin tuottaa edelleen vahvamustalipeää pesun aikana. Haihduttimen otto takaisin käyttöön tapahtuu vasta, kun sillä saadaan tuotettua polttolipeää, vaikka varsinainen pesu yksikölle onkin jo suoritettu. Ajolle oton jälkeen lämpötilaero tasoittuu, säiliöiden pintoja voidaan ajaa normaalille mallille ja soodakattilan polttoa voidaan tarvittaessa lisätä.

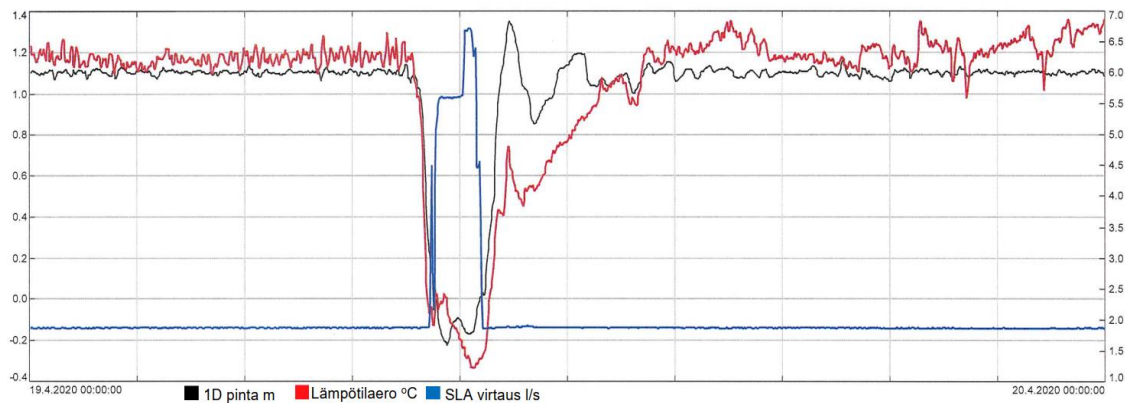
#### **4.4 Ongelmat**

Haihduttimen pesussa voi ilmetä monia ongelmia, jotka vaikuttavat itse haihduttamon tai muiden prosessien toimintaan negatiivisella tavalla. Ongelmia voi ilmetä niin inhimillisestä virheestä kuin laiterikosta tai prosessihäiriöstäkin. Tiettyihin ongelmiin operaattori voi itse vaikuttaa tarkalla seuraamisella ja prosessien maltillisella ajamisella sekä prosessin hyvällä tuntemisella.

Yhtenä suurimpana ongelmana 1D-haihduttimen pesussa on yksikön pinnanmittaus, joka itsessään jo tekee pesusekvenssin toteuttamisesta haastavaa, ellei jopa mahdotonta nykyisellään. Pinnanmittaus mittaa alalipeätilan pintaa, mutta ei ota huomioon nesteen tiheyttä mittauksessa. Pinnanmittauksen alue on  $-4,7 - 1,95$  m. Pesun aikana haihduttimen sisällä olevan lipeän tiheys pienenee aina jopa veden tiheyteen asti, joten pinnanmittaus ei välttämättä näytä oikeaa pintaa pesun aikana. Pinnanmittaukselle on olemassa höyrytys välipainehöyryllä anturin puhdistamiseksi. Höyrytys toimii automaattisesti aina 12 tunnin välein, mutta se ei kuitenkaan poista ongelmaa siitä, ettei pinnanmittaus ota huomioon tiheyttä. Pesun aikana pinnanmittaus saattaa nopeastikin näyttää haihduttimen olevan tyhjä, vaikka näin ei todellisuudessa olekaan.

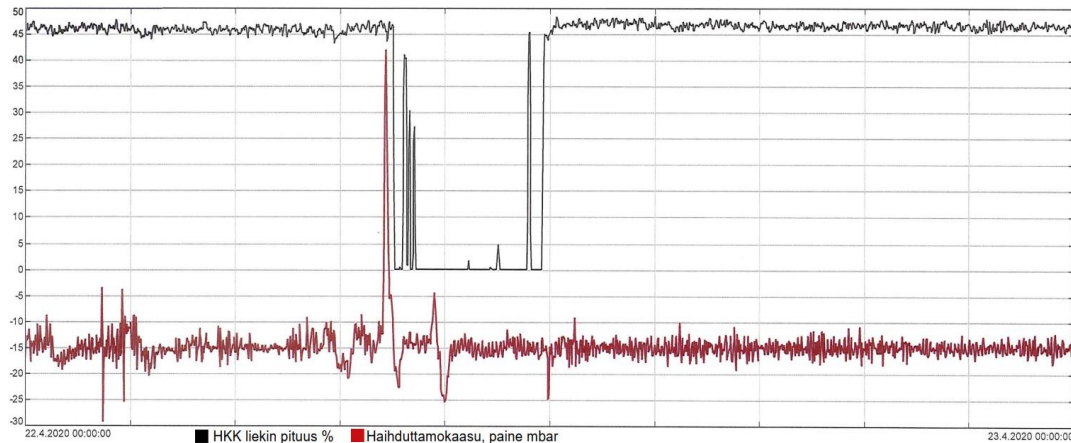
On huomattu, että maltillinen lipeän laimentaminen hyvissä ajoin ennen pesua edesauttaa pinnanmittauksen toimivuutta. Pinnanmittauksen nopeat ja väärät muutokset tekevät pesusekvenssin suunnittelemisesta erittäin vaikeaa, sillä olisi turvallisinta, että sekvenssi seuraisi pinnan tasoa. Pinnanmittaus olisikin saatava sellaiseksi, että se ottaa huomioon haihduttimen sisällä olevan nesteen tiheyden, mikäli pesu halutaan toteuttaa sekvenssillä.

Kuvassa 13 näkyy, kuinka epäonnistuneessa pesussa yksikköön on otettu vain yksi vesitäyttö SLA-lauhteella. Pesu voi onnistua yhdelläkin vesitäytöllä. Yksikön pinnanmittaus ei kuitenkaan ole missään vaiheessa käynyt lähelläkään mittauksen alarajaa, mikä viittaisi siihen, että pesua on alettu suorittamaan SLA-lauhteella yksikön ollessa vielä melko täynnä mustalipeää. Pesun aikana yksikön lämpötilaero on laskenut. Tämä johtuu siitä, että lipeän lämpötila on laskenut ajatessa vettä yksikköön. Pesun epäonnistuminen tässä tapauksessa vaikuttaisi johtuneen siitä, että lämpöpintoja on yritetty pestä vain hieman laihemmalla mustalipeällä. Lämpöpinnat eivät ole puhdistuneet, ja kun yksikköä on alettu täyttää lipeällä, lämpötilaero on noussut samalle tasolle kuin ennen pesua tai jopa hieman korkeammaksikin.



*KUVA 13. Epäonnistunut pesu*

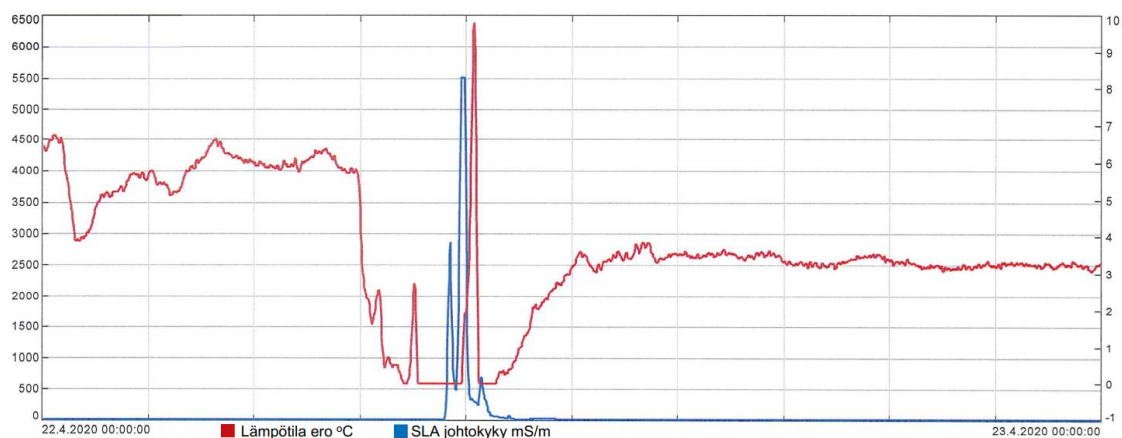
1D-haihduttimen pesun aikana on tärkeä seurata haihduttamon hajukaasujen painetta. Haihduttamolla suoritettavien pesujen aikana hajukaasujen paineessa saattaa tulla muutoksia, joista voi seurata hajukaasukattilan sammuminen (kuva 14). Haihduttamolta kerätään väkeviä hajukaasuja hajukaasukattilalla poltettavaksi ja sen sammuesssa hajukaasut ohjataan poltettavaksi soodakattilalle, mikäli soodakattila pystyy sillä hetkellä ne polttamaan. Huonossa tapauksessa HKK:n sammuesssa hajukaasuja ei voida ohjata soodakattilalle, vaan ne pitää ohjata ulos, mistä aiheutuu ylimääräisiä ympäristöpäästöjä. Haihduttamon hajukaasujen painetta seuraamalla ja ohjaamalla operaattori voi välttää hajukaasukattilan sammumisen pesun aikana. Kattilan takaisin päälle ajaminen ei aina ole yksinkertaista ja voi työllistää huomattavastikin operaattoria, joten sen sammuminen kannattaa välttää.



*KUVA 14. HKK:n sammuminen*

Kuvassa 14 näkyy, kuinka haihduttamokaasun paine on päässyt nousemaan nopeasti muuten onnistuneen pesun aikana, mikä on aiheuttanut HKK:n sammumisen. Kattilan päälle saaminen ei ole onnistunut nopeasti, vaan se on ollut sammuksissa reilu kolme tuntia, mikä ei missään nimessä ole hyvä asia.

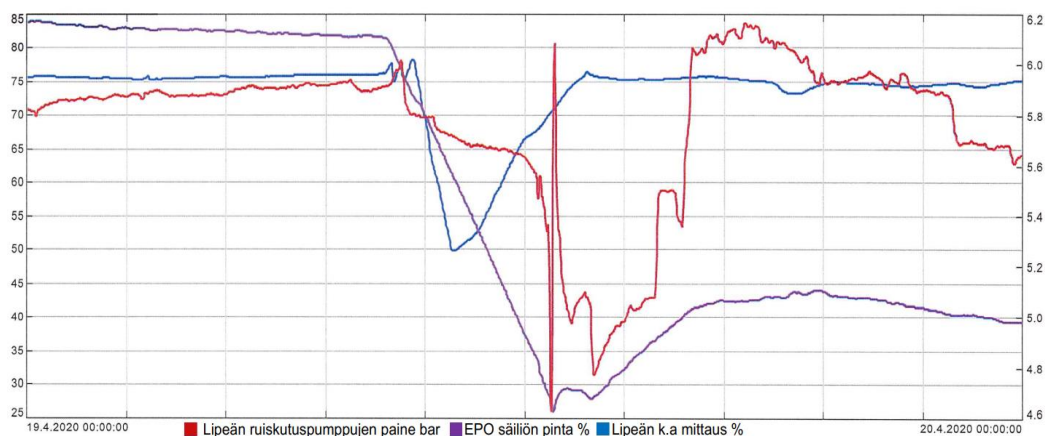
Yksi yleisimmistä ongelmista pesun aikana on sekundäärilauhteiden likaantuminen (kuva 15). Lauhteet likaantuvat yleensä sarjan lipeäkierron ensimmäisille yksiköille pesuja tehtäessä mutta voivat likaantua herkästi myös 1D:tä pestäessä. Lauhteiden likaantuminen johtuu yleensä yksikön vaahtoamisesta silloin, kun lipeä pääsee menemään liian laihaksi. 1D-yksikköä pestäessä sekundäärilauhteet likaantuvatkin monesti yksikön pesua lopeteltaessa, sillä silloin yksiköissä voi tapahtua vaahtoamista.



*KUVA 15. SLA likaantuminen*

Sekundäärilauhteiden likaantuminen ei yleensä aiheuta pidempiaikaisia ongelmia, ellei kyseessä ole laiterikko, mutta hetkellisesti lauhteiden johtokyky voi nousta huomattavasti. Lauhteiden likaantuminen on vaikeasti estettävissä oleva ongelma, joka vaatii koko haihdutussarjan tarkkaa seuraamista, mutta useasti sekundäärilauhteiden hetkelliselle likaantumiselle ei löydy selvää syytä.

Haihduttimen pesua ajon aikana rajoittaa polttolipeän riittävyys, mikä aiheuttaa omat ongelmansa pesun suorittamisessa. EPO-säiliö on kooltaan 500 m<sup>3</sup>, ja se on ajettava mahdollisimman täyteen polttolipeää ennen pesun suorittamista. Lipeän polttoa on vähennettävä, jotta lipeä riittää koko pesun ajaksi. Polttolipeän saatavuuden kanssa on tullut kuitenkin ongelmia EPO-säiliön näyttäessä 25 %:n pintaa, mikä voi aiheuttaa sen, että soodakattilalle voi joutua laittamaan öljyä palamaan höyryntuotannon varmistamiseksi (kuva 16).



*KUVA 16. EPO-säiliön pinnan vaikutus ruiskutuspumppujen paineeseen*

Lipeän ruiskutuspumppujen paine alkaa laskemaan, kun säiliö alkaa olemaan niin tyhjä, että polttolipeän saatavuus heikkenee. EPO-säiliön pinnanmittaus ei siis näytä täysin luotettavasti oikeaa polttolipeän määrää säiliössä. Pesuja varten olisikin erittäin hyvä ottaa käyttöön 1D:n ohitus, jotta 1ABC:llä saataisiin tehtyä väliaikaisesti hieman laihempaa polttolipeää. Pesua suoritettaessa on myös erittäin tärkeää, ettei soodakattilalle pääse missään nimessä vettä tai liian laihaa polttolipeää, sillä se aiheuttaa sularäjähdyksvaaran.

## 5 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena tutkia Stora Enso Oulu Oy:n haihduttamon 1D-haihduttimen pesua käytön aikana. Haihduttimen pesua tutkittiin seuraamalla yksikölle suoritettavia pesuja ja keskustelemalla lipeälinjan operaattoreiden kanssa ongelmista, joita heidän kokemuksellaan on todettu. Datat analysointiin käytettiin Savcor Wedge -prosessinanalysointijärjestelmää, jonka avulla tutkittiin myös aikaisemmin suoritettuja pesuja.

Pesussa on tiettyjä huomioitavia seikkoja niin yksikköä pestäessä kuin otettaessa sitä takaisin ajolle. Työssä tarkasteltiin pesun vaiheita ja toteuttamistapoja, jotka on todettu toimiviksi ja hyödyllisiksi yksikön onnistuneen pesun suorittamiseksi. Lisäksi tarkasteltiin pesun toteuttamisen edellytyksiä ja tärkeitä seurattavia asioita, jotta pesu ei pääsisi epäonnistumaan eikä aiheuttamaan ongelmia muissaakaan tehtaan prosessiosissa.

Työssä tarkasteltiin pesuun liittyviä ongelmakohtia, joita on pesujen aikana havaittu ja jotka vaikeuttavat pesun kehittämistä pesusekvenssillä toteutettavaksi. Manuaalisesti paneelilta suoritettujen pesujen tulos on saattanut vaihdella ajoittain, mutta tiettyjä asioita operaattori voi ehkäistä ottamalla huomioon pesuun liittyviä ongelmakohtia. Pesussa erityisen haasteelliseksi on osoittautunut yksikön pinnanmittaus, joka tulisi saada ottamaan huomioon yksikön sisältämän nesteen tiheys. Pesua varten olisi hyvä ottaa käyttöön myös 1D-yksikön ohitus EPO-säiliölle, ettei polttoliipeä pääsisi loppumaan pesun aikana. Ohitus antaisi enemmän aikaa huolelliseen ja turvalliseen pesun suorittamiseen.

1D-haihduttimen pesu olisi hyvä saada pesusekvenssillä suoritettavaksi, jotta pesutulokset olisi aina mahdollisimman hyvät ja haihduttimen ajoa saataisiin näin optimoitua. Toimivan sekvenssin tekeminen yksikölle nykyisellään ilman muutoksia on kuitenkin erittäin haastava tehtävä.

## LÄHTEET

1. Stora Enso Oyj Oulun tehdas 16.06.2020. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.
2. Huhtinen, Markku – Korhonen, Risto – Pimiä, Tuomo – Urpalainen, Samu 2013. Voimalaitostekniikka. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy.
3. KnowPulp 2020 Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. Sulfaattisellun valmistus. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oulu Oy.
4. Evaporation plant mapping Oulu Visit 23.7.2018. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.
5. Haihduttamo. Svacor Wedge -prosessinanalysointijärjestelmä
6. Haihduttamon toimintakuvaukset. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.
7. Andritz Koulutusaineisto Stora Enso, Kemijärvi – Haihduttamon kapasiteetin nosto. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.
8. Björk, Maria – Wadsborn, Rickard – PCC Minimised scaling in black liquor evaporation. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.
9. Andritz Käyttöohje Stora Enso, Kemijärvi – Haihduttamon kapasiteetin nosto. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.
10. David T. Clay, Ph.D. Evaporation fouling
11. Haihduttamo. Honeywell -prosessinhallintajärjestelmä.
12. 1D-ajokuva. Honeywell -prosessinhallintajärjestelmä.

