

Petteri Vähätupa

NUOHOUKSEN KÄYTETTÄVYYDEN PARANTAMINEN

Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

2019

NUOHOUKSEN KÄYTETTÄVYYDEN PARANTAMINEN

Vähätupa, Petteri

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

Elokuu 2019

Ohjaaja: Hannelius, Timo; lehtori, SAMK

Työn valvoja: Saarinen, Timo; tehtaan kehitysvastaava, Metsä Fibre, Rauma

Sivumäärä: 50

Liitteitä: 3

Asiasanat: soodakattila, nuohous, höyry, jäähdytys, poksitiiviste

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tutkittiin Metsä Fibren Rauman sellutehtaan soodakattilan nuohointen käyttöikään vaikuttavia tekijöitä sekä esisuunniteltiin siihen liittyen höyryn jäähdytysjärjestelmä.

Työssä tarkasteltiin nuohointen vaunujen poksitiivisteiden vuotojen lisääntymiseen vaikuttavia prosessitekijöitä. Tarkastelussa selvitettiin muiden ongelmien vaikutusta poksitiivisteiden kulutuksen lisääntymiseen sekä esitettiin prosessin parannusvaihtoehtoja ja lisätutkimusehdotuksia. Poksitiivisteiden vuotoilmoituksia tutkimalla kartoitettiin ongelmakohdat neljän vuoden ajalta. Arvokasta lisätietoa saatiin myös käyttökäytännöllä.

Ennakkokäsityksenä oli, että poksitiivisteiden tiiviys johtuu ainakin tiivisteiden materiaalista ja käytetystä nuohoushöyryn lämpötilasta. Työn tuloksena todettiin, että poksitiivisteiden vuoto alkoivat selvästi lisääntyä vuoden 2016 lopulla, jolloin alettiin käyttää kuumempaa nuohoushöyryä. Tiivisteiden vikailmoitukset lisääntyivät vuodesta 2017 lähtien kasvaen edelleen vuonna 2018.

Tilastollisen aineiston perusteella esisuunniteltiin nuohoushöyryn jäähdytysjärjestelmä. Samaan jäähdytysjärjestelmään kuuluisi myös matalapainereduktion jälkeisen höyryn lisäjäähdytys. Lisäksi selvitettiin, miten nykyistä matalapainereduktion jäähdytyksen toimintaa muutettaisiin olosuhteisiin sopivammaksi. Jäähdytysjärjestelmästä tehtiin kaksi erilaista toteutusversiota, joiden kummankin kustannuksia ja käytettävyyttä vertailtiin.

Työn tulosten perusteella parannusehdotuksina voidaan pitää ym. höyryn lämpötilan laskemisen lisäksi myös vaihtoehdoisen poksitiivistemateriaalin kokeilemistä. Näillä toimenpiteillä parani prosessin ajettavuus sekä väheni nuohous- ja matalapainehöyrylaitteistojen ylimääräinen rasitus. Lisäksi alueen työntekijöiden työturvallisuus parani prosessihäiriöiden vähentyessä.

IMPROVEMENT OF USABILITY OF SWEEPING

Vähätupa, Petteri

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

August 2019

Supervisor 1: Hannelius, Timo; senior lecturer, SAMK

Supervisor 2: Saarinen, Timo; Development Manager, Metsä Fibre, Rauma

Number of pages: 50

Appendices: 3

Keywords: recovery boiler, sweeping, steam, cooling, packing seal

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to study factors having impact on usability of soot blowers in the recovery boiler of Metsä Fibre Co. in Rauma pulp mill. Also a cooling system for sweeping steam was designed.

The main process problem of soot blowers has been increased consumption of seal packs. Effect of other process conditions and parameters on this problem was also studied. It revealed that runnability occurred not evenly, i.e some soot blowers needed more service compared to other.

The steam cooling system was projected on the grounds of examination results. To the system would also include additional cooling for low pressure steam after reduction valve. In addition, also modification of the operation of current low pressure cooling system could reduce the sealing problem. Two different layouts of implementation were made. Costs and availabilities were compared in both versions.

Above mentioned improvement procedures would result in better and more stable runnability and load decrease of devices. It is self-evident that also working safety would increase. According to the study, it is also suggested that effect of seal material on the runnability will be tested by replacing the critical soot blower seal packs with new ones followed by sufficiently long control period.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	METSÄ FIBRE OY	7
2.1	Yritys.....	7
2.2	Rauman tehdas	7
2.3	Tuotteet	8
3	SELLUN VALMISTUS.....	9
3.1	Kuitulinja	9
3.2	Keittokemikaalien talteenotto	11
4	SOODAKATTILA.....	14
4.1	Toimintaperiaate	14
4.2	Olosuhteet	15
4.3	Nuohoimet.....	16
4.3.1	Rakenne	17
4.3.2	Toiminta	18
5	NUOHOUS	21
5.1	Nuohoushöyry.....	21
5.2	Ajosekvenssi	23
5.3	Toiminta ja arvot.....	24
5.3.1	Nuohoushöyry turbiinin väliotosta	24
5.3.2	Nuohoushöyry primääritulistimen jälkeen	25
6	NUOHOINTEN TARKASTELU	26
6.1	Vikatyyppit	26
6.1.1	Poksitiiviste	26
6.1.2	Suutinputki	29
6.1.3	Höyryventtiili	29
6.1.4	Seinäpoksi	30
6.1.5	Lauhde	31
6.2	Käyttömäärät.....	32
6.3	Nuohousalueet.....	34
6.4	Tulokset.....	37
7	HÖYRYN JÄÄHDYTYS	39
7.1	Toteutusvaihtoehdot.....	39
7.2	Ruiskutuksen säätö.....	41
7.3	Järjestelmän mitoitus	42

8 HYÖDYT JA KUSTANNUSARVIO.....	45
9 YHTEENVETO	48
LÄHTEET.....	50
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Soodakattilan nuohouksella ylläpidetään hyvää hyötysuhdetta ja vältetään kattilan tukkeutumista. Nuohointen kunnossapitoon on panostettava, jotta saavutetaan korkean ajettavuuden tavoitteet ja edesautetaan alueen turvallisuutta.

Tämän opinnäytetyön aiheena on Metsä Fibre Oy Rauman sellutehtaan nuohouksen käytettävyyden parantaminen. Työssä tutkitaan nuohoimen vaunun poksitiivisten kulutuksen lisääntymistä lyhyessä ajassa. Tarkastelua tehdään tutkimalla nuohointen muita vikatyyppejä ja pyritään löytämään niiden vaikutuksista syytä poksitiivisten kulutuksen lisääntymiseen. Tutkimusmateriaalina käytetään pääosin nuohointen historia- ja kunnossapitotietoja, joita on kirjattu SAP-järjestelmään, sekä prosessin mitaustietoja. Työn tutkimusmateriaalissa keskitytään erityisesti vuoden 2016 lopusta lähtien saataviin tietoihin, koska silloin prosessissa on tapahtunut suurempi muutos nuohouksen osalta. Tutkimusmateriaali ei ole täysin luotettava, minkä takia tulokset ovat suuntaa-antavia.

Työn tavoitteena on selvittää juurisyy poksitiivisten kulutuksen lisääntymiseen ja suunnitella ratkaisu ongelmaan. Koska vastaavaa ongelmaa on esiintynyt muillakin yrityksen sellutehtailla, tavoitteena on tuottaa kattava ja hyödyllinen teos, josta olisi hyötyä niin itselle kuin alan yrityksille.

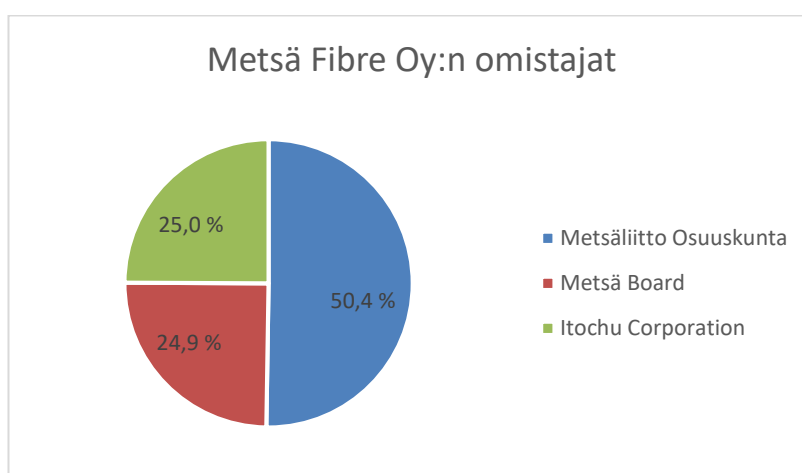
Ongelmaksi ilmeni nuohoushöyryn liian korkea lämpötila, johon ratkaisuna esisuunniteltiin nuohoushöyryn jäähdytysjärjestelmä. Jäähdytysjärjestelmää laajennettiin, jotta saataisiin tehtaan toinenkin ongelma ratkaistua, matalapainereduktion jälkeisen höyryn korkea lämpötila.

Työn aihe oli mielenkiintoinen ja antoisa. Opin paljon uutta soodakattilasta ja sen nuohouksesta. Työtä tehdessä huomasin, miten monipuolinen ja tärkeä vaihe nuohous on koko kattilaprosessissa. Sen toimintaan on syytä panostaa ja edelleen kehittää.

2 METSÄ FIBRE OY

2.1 Yritys

Metsä Fibre Oy on biotuotteita, bioenergiaa ja sahatavaraa valmistava yritys. Suomessa Metsä Fibrellä on neljä sellua ja muita biotuotteita valmistavaa tehdasta Äänekoskella, Joutsenossa, Raumalla ja Kemissä. Näiden lisäksi yrityksellä on kuusi sahaa, joista viisi on Suomessa ja yksi Venäjällä. Metsä Fibren emoyhtiö, Metsäliitto Osuuskunta, on Metsä Groupin emoyritys. Metsä Fibren omistus jakautuu kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1 Metsä Fibre Oy:n omistajat (Metsä Fibre Oy:n www-sivut 2019).

Yrityksen liikevaihto vuonna 2018 oli 2,5 miljardia euroa ja liiketulos 669 miljoonaa euroa. Sellun tuotanto samana vuonna oli noin 3 miljoonaa tonnia ja sahatavaran tuotanto noin 1,9 miljoonaa tonnia. Puunkäyttö oli 19,3 miljoonaa kuutiometriä. Yritys työllistää noin 1200 työntekijää. (Metsä Fibre Oy:n www-sivut 2019)

2.2 Rauman tehdas

Rauman sellutehdas käynnistyi vuonna 1996 ollessaan maailman ensimmäinen pelkästään kloorittoman TCF-sellun tuotantolaitos. Valmistuessaan tehtaan tuotantokapasiteetti oli 500 000 tonnia kloorittomasti valkaistua sellua. (Kemikaalilupahakemus 1/10) Ennen Metsä Fibre -nimitystä tehdas on ollut omistuksista riippuen Metsä-Rauma ja Metsä-Botnia. (Metsä Fibre Oy:n www-sivut 2019)

Nykyisen Rauman tehtaan tuotantokapasiteetti on 650 000 tonnia havusellua vuodessa. Tehtaan puunkulutus on 3,2 miljoonaa kuutiometriä ja se työllistää noin 120 henkilöä. Tehdas on yli-omavarainen tuotetun energiansa suhteen, sen energiaomavaraisuus on 138 %. (Metsä Fibre Oy:n www-sivut 2019)

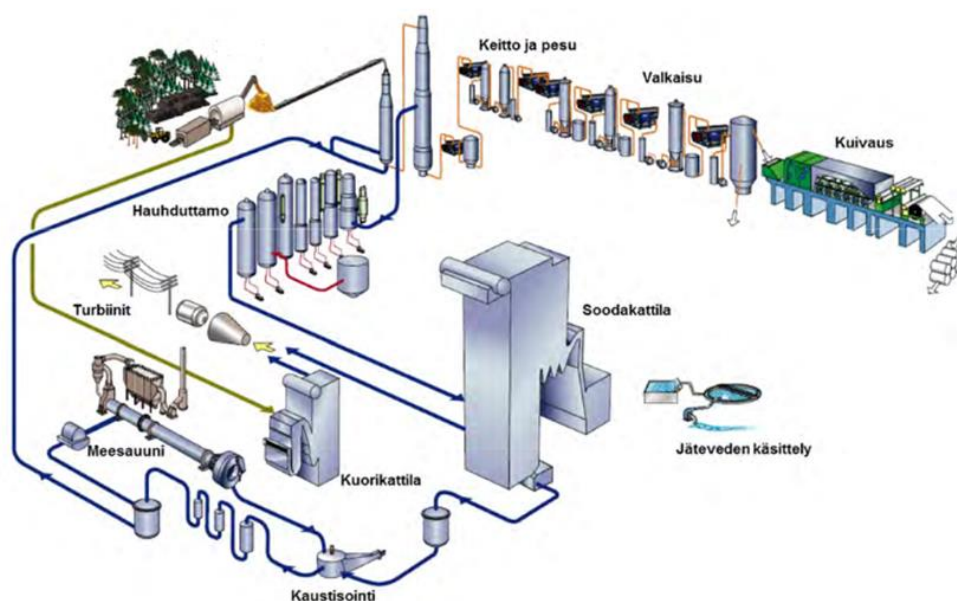
2.3 Tuotteet

Metsä Fibre on markkinasellun johtava toimittaja, joka tarjoaa asiakkailleen maailman laajimman selluvalikoiman. Sellua käytetään paperi- ja kartonkituotteiden valmistuksen raaka-aineena. Sellun valmistuksen sivutuotteina yritys tuottaa myös biokemikaaleja, kuten mäntyöljyä ja tärpättiä. Niitä käytetään hyvin monenlaisessa tuotannossa, esimerkiksi kemianteollisuudessa, biopolttoaineiden jalostuksessa ja kosmetiikkatuotteiden valmistuksessa. Lisäksi tehdas tuottaa bioenergiaa, jota hyödynnetään lämmön ja sähkön tuotannossa. (Metsä Fibre Oy:n www-sivut 2019)

Metsä Fibren sahojen tuotteita käytetään esimerkiksi rakennusteollisuuden, ovi- ja ikkunateollisuuden sekä huonekaluteollisuuden jalosteissa. (Metsä Fibre Oy:n www-sivut 2019)

3 SELLUN VALMISTUS

Valmistusprosessia kutsutaan sulfaattimenetelmäksi ja sen voi jakaa kahteen osaan, kuitulinjaan ja keittokemikaalien talteenottolinjaan kuvan 2 mukaisesti. Kuitulinjassa puuhake keitetään kemikaaleilla, joiden tehtävänä on poistaa puun sidosaineet. Keitetyistä puumassasta valmistetaan sellua, jota käytetään paperi- ja kartonkituotteiden valmistamiseen. Nimensä mukaisesti kemikaalien talteenottolinjan tarkoituksena on ottaa talteen keitossa käytetyt kemikaalit puumassan keittoliemestä ja jalostaa ne uudelleenkäyttävään muotoon. (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019)



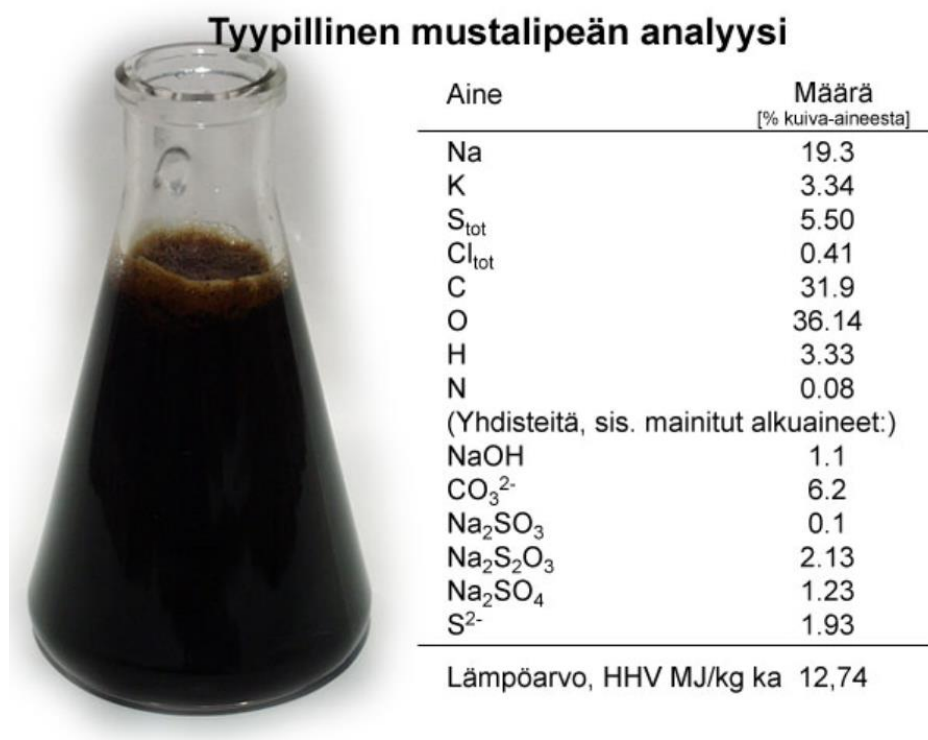
Kuva 2 Sellun valmistusprosessi (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019).

3.1 Kuitulinja

Sellua voidaan valmistaa sekä havupuista että lehtipuista. Rauman tehdas käyttää sellun valmistukseen ainoastaan havupuuta, tässä tapauksessa kuusta tai mäntyä. Tehtaalle puu tuodaan rankana tai valmiina hakkeena. Ranka kuoritaan, pestään, lajitellaan ja haketetaan. Puun kuori toimitetaan polttoon ja siitä tuotetaan bioenergiaa. Hake seulotaan, lajitellaan ja varastoidaan, jonka jälkeen se syötetään keittoprosessiin. (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019)

Keiton tarkoituksena on siis poistaa mahdollisimman paljon puun rakennetta sitovia aineita, kuten ligniiniä, mutta mahdollisimman vähän selluloosaa, joka parantaa kuidun vahvuutta ja lujuutta. Nykyisin yleisimpänä massan valmistusmuotona käytettävä sulfaattikeitto voidaan jakaa jatkuvatoimiseen keittoon sekä eräkeittoon. Keittokemikaalina käytetään natriumhydroksidin (NaOH) ja natriumsulfidin (Na_2S) seosta eli valkolipeää. (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019)

Keiton jälkeen puumassasta pestään pois epäorgaaninen keittokemikaali sekä orgaaninen ligniini ja liennut puuaines. Tämä pesuliemi, jota kutsutaan mustalipeäksi, otetaan talteen ja ohjataan keittokemikaalien talteenottolinjaan. Pesun tarkoituksena on puhdistaa massa sen jatkokäsittelyä varten. Kuvassa 3 mustalipeän tyypillinen analyysi. (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019)



Kuva 3 Pesuliemen eli mustalipeän tyypillinen analyysi ennen haihdutusta. (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019).

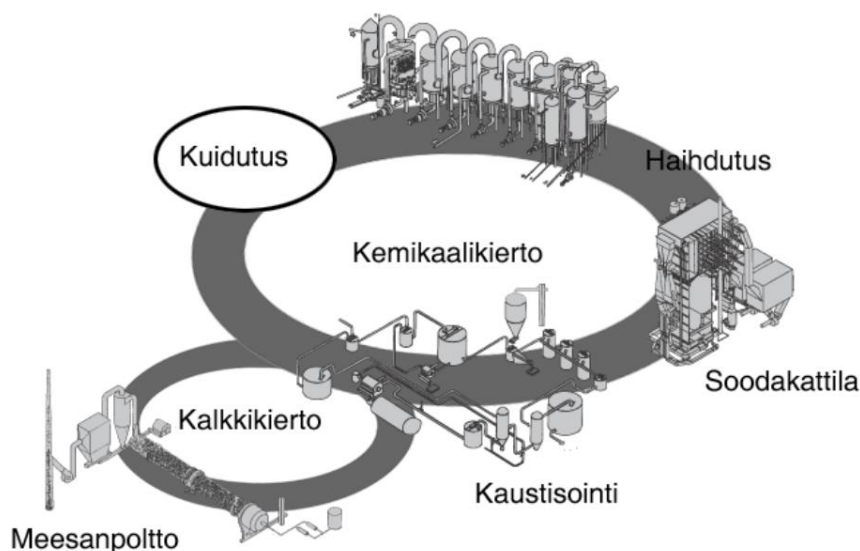
Pestystä massasta lajitellaan epäpuhtaudet, jotka ovat päässeet prosessin aikaisemmista vaiheista läpi. Epäpuhtaudet, kuten hiekka, kuorirooska ja muovi, heikentävät valmiin sellun ominaisuuksia ja laatua. Lajittelu on monivaiheinen prosessi, jossa hyödynnetään epäpuhtauksien erottamista sihtien ja painovoimaan perustuvien menetelmien avulla. (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019)

Massa ohjataan seuraavaksi prosessiin nimeltään happidelignifointi eli happivaihe. Prosessin tehtävänä on poistaa massaan jäänyt ligniini hapen ja alkalien avulla. Sen jälkeen puumassa ohjataan useassa vaiheessa tapahtuvaan valkaisuun, jossa se puhdistetaan ja saadaan aikaan lopullinen vaaleus. Massan valkaisussa pyritään poistamaan tai vaalentamaan ruskean värin aiheuttaja eli ligniini. (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019)

Lopuksi massa toimitetaan sellaisenaan viereiselle paperitehtaalle tai siitä tehdään arkkeja myöhempää jatkokäsittelyä varten. Paperitehtaalle toimitettava massa ei tarvitse kuivausta. Arkkimuotoon jalostettava sellu pitää kuivata paalausta ja kuljetusta varten. Yleensä kuivaukseen käytettävässä ratakuivatuksessa massa lajitellaan, levitetään viiralle, puristetaan ja kuivataan ylimääräinen kosteus pois käytännössä haihdutusmenetelmällä. Kuiva selluraina ohjataan leikkurille arkitettavaksi, jonka jälkeen se ladotaan ja paalataan. Paalit sidotaan käsittelyn helpottamiseksi ja lopuksi varastoidaan. Markkinasellu on yleensä tässä muodossa. (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019)

3.2 Keittokemikaalien talteenotto

Keittokemikaalien talteenotto prosessin tarkoituksena on saada keittokemikaalit talteen uudelleenkäytettäväksi ja hyödyntää mustalipeään liuennut energiamäärä. Talteenoton osastot ovat haihduttamo, soodakattila ja kaustistamo. Mustalipeästä poistetaan ylimääräinen vesi haihduttamalla, jonka jälkeen se ohjataan soodakattilaan polttoon. Poltossa siitä saadaan erotettua kemikaalit, jotka regeneroidaan, eli jalostetaan uudelleen keitossa käytettävään muotoon. Kemikaalien jalostus uudelleen valkolipeäksi tapahtuu kaustistamalla. Kuvassa 4 kemikaalien talteenotto prosessi. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2004, 164)



Kuva 4 Kemikaalien talteenotto prosessi (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019).

Pesuliemi ohjataan haihduttamoon, jonka ensisijaisena tehtävänä on poistaa pesuliemestä ylimääräinen vesi. Haihduttamo koostuu haihdutinyksiköistä, joiden kautta mustalipeää kierrätetään nostamalla sen kuiva-ainetta. Haihduttamossa otetaan talteen pesuliemessä olevat sivutuotteet, kuten metanoli, tärpätti ja suopa. Metanoli ohjataan polttoon ja suovasta valmistetaan mäntyöljyä. Mäntyöljy ja tärpätti toimitetaan jatkojalostettavaksi. Haihduttamolle tuleva mustalipeä on 15-18 %:n kuiva-aineessa ja polttoon menevän mustalipeän eli polttolipeän kuiva-ainepitoisuus on tehtaan laitteista riippuen 70-80 %. (Seppälä 2005, 147)

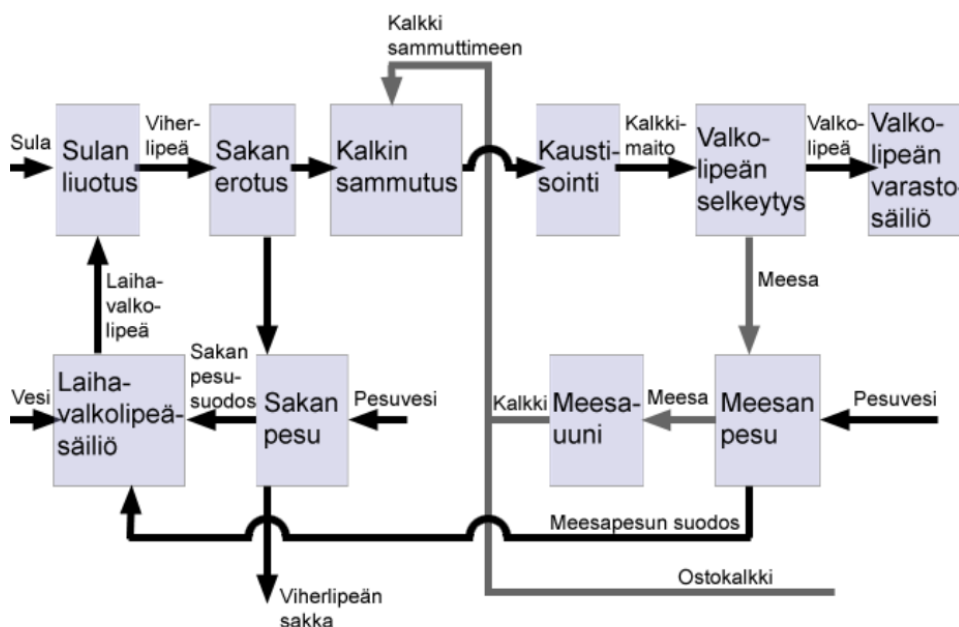
Haihduttamolta tuleva mustalipeä poltetaan soodakattilassa. Soodakattila on yleisesti selluteollisuudessa käytetty jäteliemien polttoon suunniteltu prosessikattila, jonka tehtävänä on kemikaalien talteenoton lisäksi polttaa orgaaninen aines ja ottaa talteen siitä syntyvä lämpö mahdollisimman tehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. Keittokemikaalit poistuvat kattilasta korkean lämpötilan vuoksi sulana, joka koostuu pääasiassa natriumkarbonaatista (Na_2CO_3) ja natriumsulfidista (Na_2S). Kemikaalisula liuotetaan liuotussäiliössä laihavalkolipeään, jolloin siitä syntyy viherliperä. (Seppälä 2005, 157)

Viherliperä johdetaan kaustisointiin, missä siitä valmistetaan keitossa käytettävää valkoliperä. Kaustisointi voidaan jakaa valkoliperän valmistukseen ja kalkkikiertoon. Viherliperään syötetään apukemikaalina kalkkia, jotka yhdessä reagoivat muodostaen

valkolipeää. Reagoidessaan kalkki muuttuu kalsiumoksidista (CaO) liukenemattomaksi kalsiumkarbonaatiksi (CaCO₃) ja sooda (Na₂CO₃) lipeäksi, eli natriumhydroksidiksi (NaOH).

Valkolipeän valmistuksessa syntyneet pesunesteet kerätään talteen laihavalkolipeäksi, jota käytetään viherlipeän valmistukseen ja tiheyden säätöön. Kalkki suodatetaan, jolloin sitä kutsutaan meesaksi. Meesa pestään ja kuivataan, jonka jälkeen se poltetaan uudelleenkäytettävään muotoon meesauunissa. Meesauuni on tiilellä vuorattu, sylinterin muotoinen uuni, jossa polttoaineena käytetään öljyä, kaasua tai muuta soveltuvaa ainetta. Rauman tehtaalla myös keittämön ja haihduttamon metanolipitoiset kaasut poltetaan yleensä meesauunissa tai erillisessä hajukaasukattilassa. Meesauuni on läpimitaltaan 2-4 metriä ja sen pituus on 20-150 metriä. Poltossa meesan kemiallinen koostumus muuttuu takaisin kalsiumoksidiksi. Prosessiin kuitenkin lisätään uutta kalkkia varmistamaan reaktio. Kuvassa 5 valkolipeän koko valmistusprosessi. Kaustisoinnin tarkoituksena on valmistaa mahdollisimman laadukasta valkolipeää, saattaa meesa mahdollisimman helposti erotettavaan muotoon sekä minimoida prosessissa syntyvät häviöt. (Seppälä 2005, 167)

Valkolipeän valmistuksen lohkokaavio



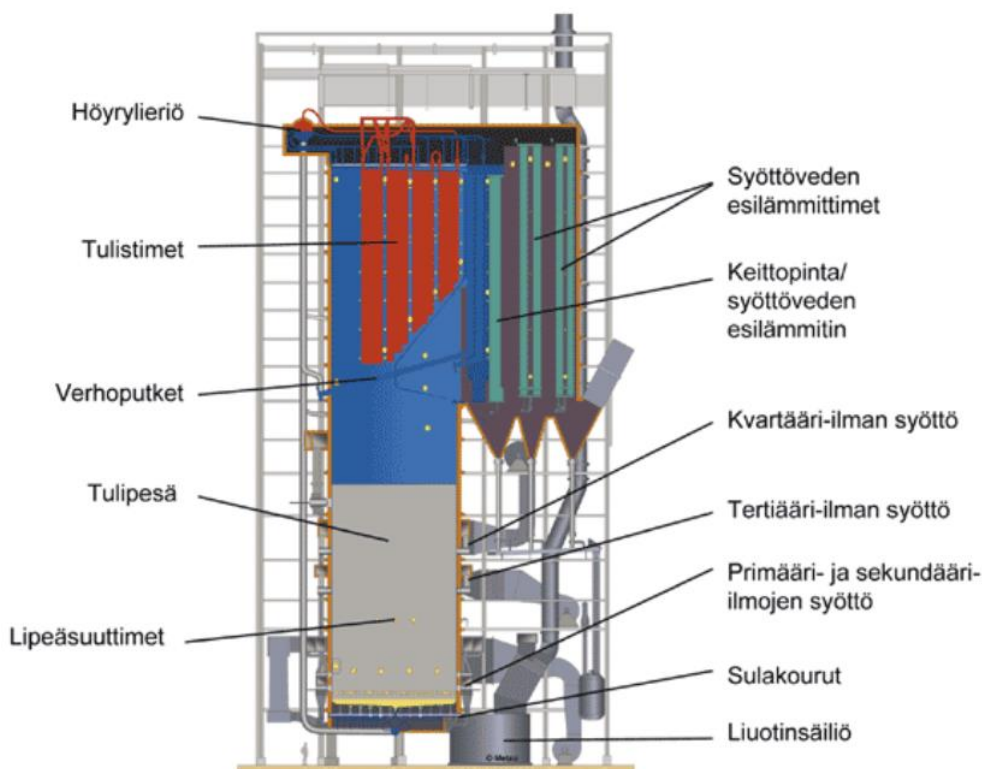
Kuva 5 Valkolipeän valmistusprosessi (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019).

4 SOODAKATTILA

4.1 Toimintaperiaate

Soodakattilan tulipesässä mustalipeän orgaaninen aines palaa hapetusvyöhykkeessä tuottaen lämpöä. Epäorgaaniset kemikaalit reagoivat ja erkanevat lämpötilan vaikutuksesta pelkistymisvyöhykkeessä. Kemikaalit poistuvat kattilasta korkean lämpötilan takia sulana sularännejä pitkin liuottajaan. Savukaasut vapauttavat lämpöä syöttöveden esilämmitykseen ja höyryn tulistukseen. Korkeapaineinen höyry ohjataan turbiiniin, joka tuottaa sähköä. Turbiinin väliotoista otetaan höyryä käyttökohteisiin. Savukaasut jatkavat matkaansa tulistimien ja syöttöveden esilämmittimien kautta sähkösuotimiin. Savukaasupuhaltimet, jotka myös säätelevät kattilan painetta, ohjaavat savukaasut piippuun. Kuvassa 6 soodakattilan osat. (Huhtinen 2004, 164-167)

Soodakattilan osat



Kuva 6 Soodakattilan osat (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019).

Soodakattilaan syötettävä lipeä on nestemäistä korkeasta kuiva-ainepitoisuudesta huolimatta. Lipeä syötetään kattilan jokaiselta seinältä suuttimien läpi, jotka hajottavat

lipeävirtauksen suihkuksi. Lipeäpisarat kuivuvat matkallaan kohti kattilan pohjaa, jossa ne muodostavat pohjalle keon. Keossa tapahtuu kemikaalien regeneroituminen, jossa lipeän natriumsulfaatti pelkistyy natriumsulfidiksi. Reaktion hyvyttä mittaavana arvona pidetään reduktioastetta, jonka kaava on

$$\text{Reduktioaste} = \frac{Na_2S}{Na_2S + Na_2SO_4} * 100 \% \quad (1)$$

Reaktiota ja orgaanisen aineksen kaasuuntumista ohjataan primääri-ilman avulla. Lipeän lisäksi soodakattilassa käytetään alas- ja ylösajotilanteissa sekä lipeän tukipoltossa käynnistyspolttimia, joissa käytetään öljyä tai kaasua. (Huhtinen 2004, 164-166)

Kaasuuntunut orgaaninen aine poltetaan tulipesän hapetusvyöhykkeessä ja polttoa aktivoidaan alasekundääri-ilmalla. Yläsekundääri-ilmalla aktivoidaan keon huippua. Tertiääri-ilmalla ja tarvittaessa kvartiääri-ilmalla varmistetaan kaasujen palaminen loppuun. Ilma-aukkojen sijoituksella on suuri merkitys varmistettaessa palamisen tehokkuus. Palamisilma esilämmitetään korkeampaan lämpötilaan ennen syöttöä kattilaan. (Seppälä 2005, 157, 161)

Tulistimien ja ekonomaiserin pinnoilta sekä sähkösuotimelta kerätty tuhka ohjataan sekoitussäiliöön. Sekoitussäiliön tehtävänä on saattaa tuhka takaisin lipeäkiertoon ja edelleen uudelleenkäytettäväksi, koska tuhka koostuu pääasiassa natriumsulfaatista. (Seppälä 2005, 161) (Huhtinen 2004, 166)

4.2 Olosuhteet

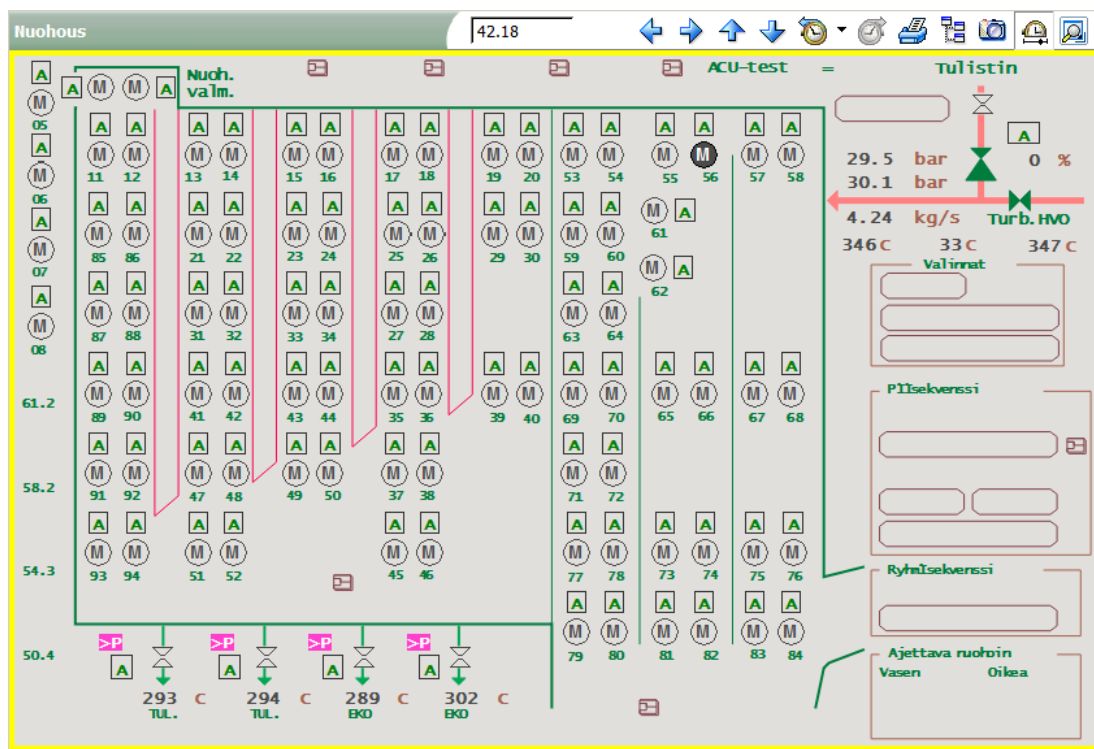
Soodakattilan tärkeimmät tavoitteet ovat saavuttaa oikeantyyppinen keko, jossa on korkea reduktioaste, polttaa lipeä ympäristöystävällisesti hyvällä hyötysuhteella sekä välttää kattilan likaantuminen. Kekoa muokataan syötettävän lipeän lämpötilalla, paineella, virtauksella ja ilmajaolla. Tärkeimpänä näistä voidaan pitää keon oikeaa lämpötilaa (yli 1000 °C), jonka avulla päästään korkeaan reduktioasteeseen sekä pieniin päästöihin. (Seppälä 2005, 158)

Poltettavan lipeän kuiva-ainepitoisuudella on merkittävä vaikutus niin hyötysuhteeseen, kemikaalien regeneroitumiseen kuin ympäristöystävälliseen, tehokkaaseen polttoon. Lipeän pisarakoko ei saa olla liian pieni, jolloin ne karkaavat savukaasujen mukana ulos tulipesästä. Pisarakoko ei myöskään voi olla liian suuri, jotta pisara ehtii kuivua matkalla kecoon. Pisarakokoa säädetään lipeän lämpötilalla. (Seppälä 2005, 158)

Savukaasujen sula tuhka ja sen mukana kulkeutuvat lipeäpisarat tarttuvat lämpöpinnoille tiukasti ja tekevät puhdistuksesta vaikeaa. Tämä aiheuttaa pitkällä aikavälillä kattilan tukkeutumista ja kerrostumia kattilan lämpöpinnoille, jolloin ainoana ratkaisuna saattaa olla seisokissa tehtävä lämpöpintojen puhdistus. Siksi oikealla lämpötilasäädöllä on suuri merkitys koko kattilan käytettävyyden kannalta. (Huhtinen 2004, 166)

4.3 Nuohoimet

Rauman tehtaan soodakattilassa on käytössä kokonaan ulosvedettäviä nuohoimia yhteensä 90 kappaletta. Nuohointen tehtävänä on puhdistaa kattilan tulistinalueen ja ekonomaiserialueen lämpöpintoja, jotta lämmönsiirto savukaasuista kattilaveteen ja höyryyn olisi mahdollisimman tehokasta. Nuohoimista 58 kappaletta on sijoitettu tulistinalueelle ja 32 kappaletta ekonomaiserialueelle. Nuohoimet on merkitty numeroin, joista parittomat ovat kattilan vasemmalla seinällä ja parilliset oikealla seinällä. Kattilahuoneessa nuohoimet ovat kerroksissa 8-14. Kuvassa 7 Rauman tehtaan nuohointen prosessikuva.



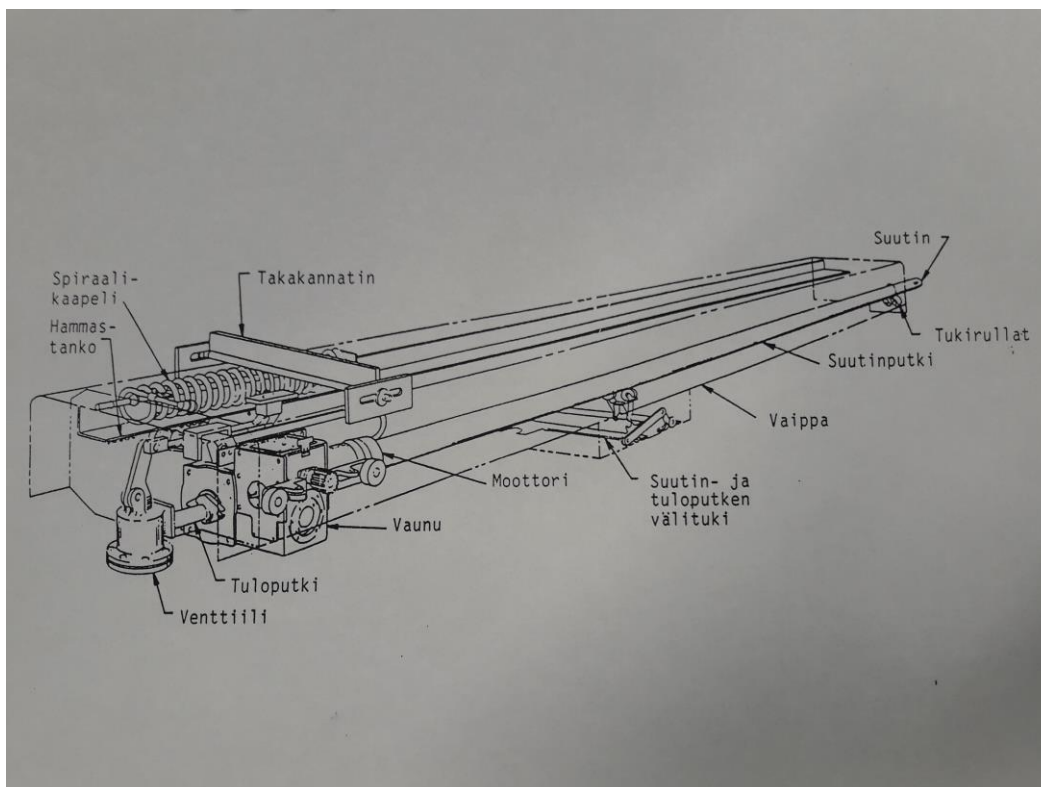
Kuva 7 Rauman tehtaan nuohoimet (DNA – Rauma).

Kohteessa käytössä oleva nuohointyyppi on IKSD-E, joka on suunniteltu vastaamaan soodakattilan asettamia suuria vaatimuksia ja kuluttavaa ympäristöä. Nuohousaineena käytetään höyryä, jota nuohoin suihkuttaa suuttimiensa läpi puhdistaan kattilan lämpöpintoja. (Soodakattila MB3-SK Laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeet 7/9)

4.3.1 Rakenne

Kuvassa 8 on nimetty nuohoimen rakenteen osat. Kattilan sisään menevää osaa kutsutaan suutinputkeksi, jonka päässä on kaksi vastakkaisilla puolilla olevaa suutinta. Suutinputki on kiinnitetty vaunuun, joka liikuttaa sitä kattilan sisään ja sieltä ulos. Suutinputken sisällä on tuloputki, joka johdattaa nuohoushöyryn suutinputkeen ja edelleen suuttimen kautta kattilaan. Vaunu koostuu käyttömoottorista, vaihdelaatikosta ja suutin- ja tuloputken tiivistepesästä. Höyryventtiili päästää avautuessaan höyryn tuloputkeen. Tukirullat ovat kattilan seinustalla ja niiden tehtävänä on kannatella kattilan sisään menevää suutinputkea. Kattilan seinässä on seinäpoksi, joka toimii nuohoimen läpivientinä kattilan sisään. Sen tehtävänä on myös puhdistaa suutinputkea, ettei kiintoaines kulkeudu kattilarakennukseen. Takakannatin kannattaa nuohoimen takaosaa, minkä aiheuttama paino on kohdistettu kattilan rakenteisiin. Kannatuksessa on

huomioitu kattilan lämpölaajenemisesta aiheutuvat liikkeet. Nuohoimen päällä on sitä suojaava vaippa. Vaipan alapuolella on hammastanko, jota pitkin vaunun hammaspyörä pyörii liikuttaen vaunua. Spiraalikaapelin kautta sähkö menee vaunun käyttömoottoriin.



Kuva 8 Nuohoimen IKSD-E rakenne (Soodakattila MB3-SK Laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeet 7/9).

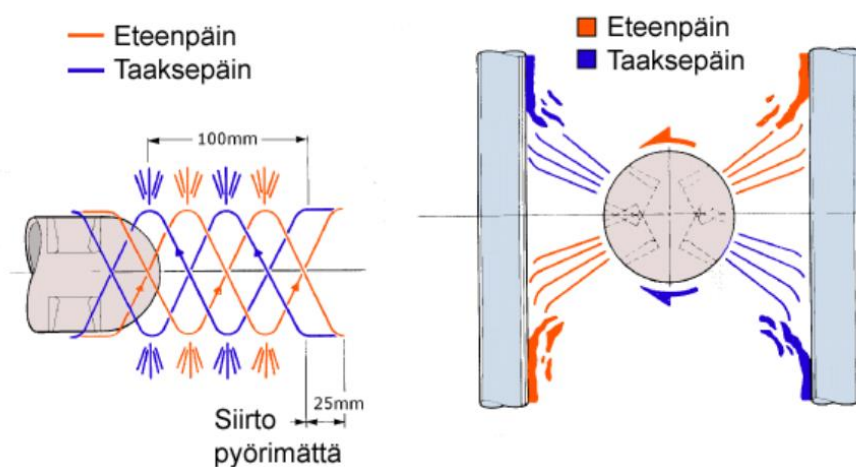
Nuohoin on säädetty siten, että suutinputken kattilan puoleinen pää on hieman alempana kuin vaunun puoleinen. Tällä pyritään ehkäisemään lauhteen kerääntymistä suutinputkeen. (Soodakattila MB3-SK Laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeet 7/9)

4.3.2 Toiminta

Nuohoimen ollessa kotirajalla suuttimet ovat suojassa kattilan seinärakenteissa. Käyttömoottorin käynnistyessä nuohoin lähtee liikkeelle ja vaunu työntää suutinputkea kattilaan. Höyryventtiili avautuu vasta suuttimien ollessa kattilan sisäpuolella. Nuohoin etenee kohti kattilan vastakkaista seinää pyörivin, ruuvimaisin liikkein tehden nuohousjäljestä spiraalin muotoisen. Käyttömoottori pyörittää vaihdelaatikkoa, joka ohjaa nuohointa etenemään pyörien. Saavuttaessaan vastakkaisen seinän se pysähtyy ja

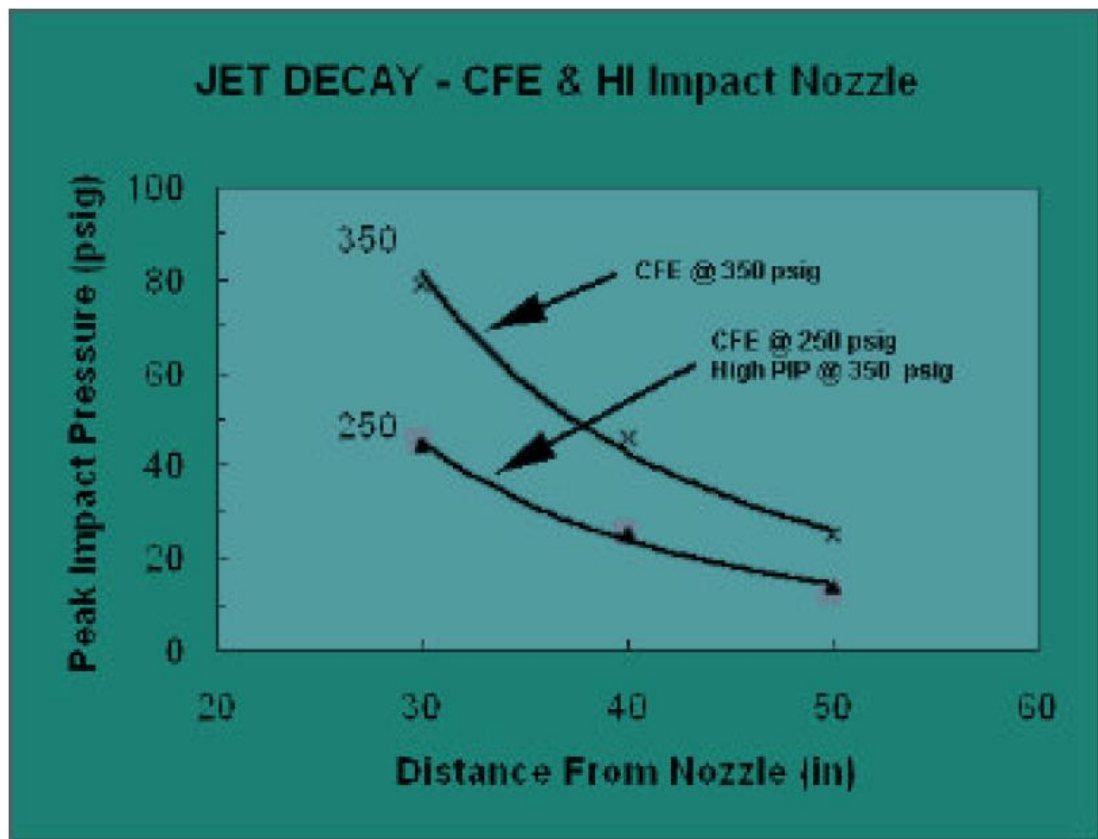
lähtee takaisin kohti kotirajaa. Lähtiessään takaisin nuohoin liikkuu pienen matkan pyörimättä, jonka jälkeen pyörivä liike jatkuu. Näin nuohoimen höyrystiuhku ei osu samaan kohtaan kuin mennessä, vaan nuohouksella saavutetaan täysi kattavuus kuvassa havainnollistetulla tavalla. Nuohoin palaa kotirajalleen sulkien höyryventtiilin, kun suuttimet ovat lähellä kattilan seinää. Kuvassa 9 havainnollistettu nuohoimen toimintaperiaatetta. (Soodakattila MB3-SK Laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeet 7/9)

Nuohoimen toimintaperiaate



Kuva 9 Nuohoimen toimintaperiaate (Metsä Fibren oppimisympäristö KnowPulp 2019).

Nuohoimen puhdistusteho perustuu korkeapaineiseen höyrystiuhkuun, jonka nuohoin puhaltaa kattilan lämpöpinnalle optimaalisen muotoisena aiheuttaen pinnalle ikään kuin paineiskun. Siksi nuohoimen suuttimella on nuohouksen tehokkuuden kannalta suuri merkitys. Nuohouksen höyrystiuhku ei saa olla lämpöpintoja kuluttava lähimmille kattilan lämpöpinnoille, mutta nuohouksessa pitää olla mahdollisimman pitkäl-
täkin matkalta puhdistustehoa. Siksi nuohoimen suuttimen muodon pitää olla optimaalinen, jotta höyrystiuhku on oikean muotoinen ja suuttimessa olisi mahdollisimman vähän painehäviötä. Käytettäessä tehokasta suutintyyppiä voidaan maksimoida höyrynpaineen aikaansaama puhdistusteho ja sitä kautta voidaan säästää nuohoushöyryn kulutuksessa. Suuttimen tehokkuutta kuvataan kuvan 10 havainnoimalla tavalla, jossa höyrynpaineiskua mitataan tietyn etäisyyden päässä.



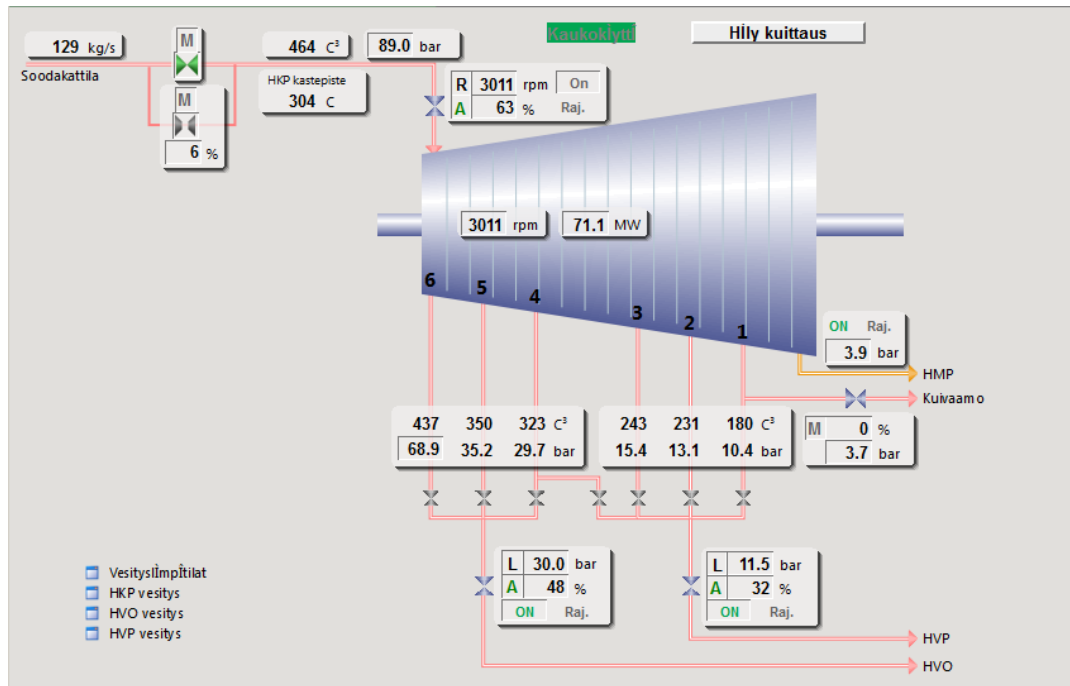
Kuva 10 Kahden eri suutintyyppin aiheuttamien paineiskujen vertailua (boilercleaning www-sivut).

5 NUOHOUS

5.1 Nuohoushöyry

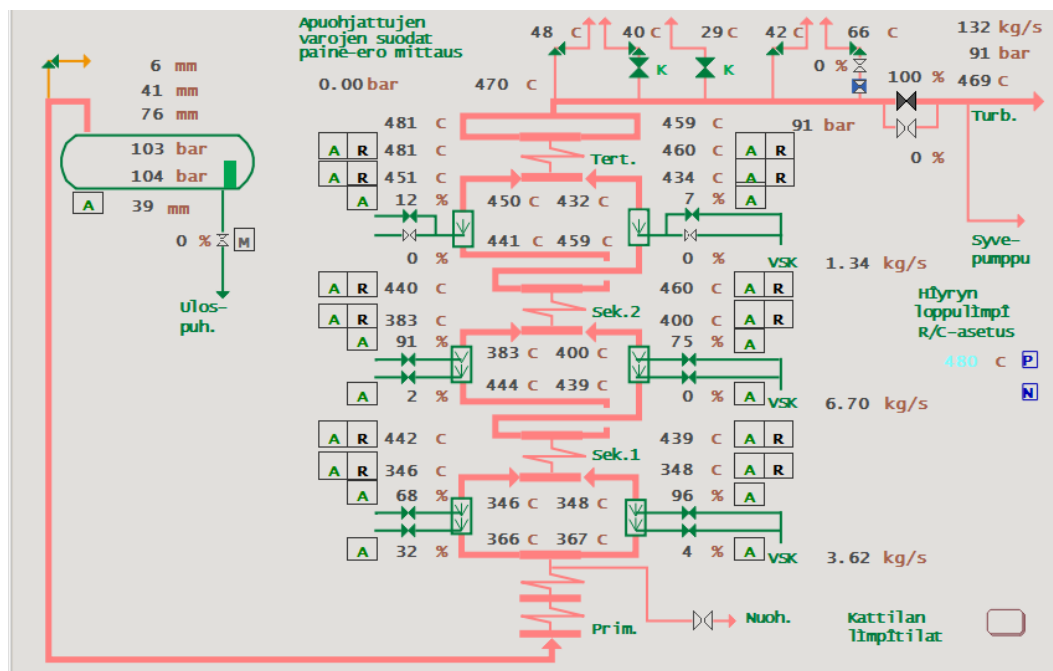
Nuohouksessa käytettävä höyry otetaan turbiinin väliotosta tai vaihtoehtoisella tavalla kattilan primääritulistimen jälkeen väliottona. Vuosihuoltoseisokissa syksyllä 2016 on tehty prosessimuutos, joka mahdollisti nuohoushöyryn käytön turbiinin väliotosta. Sitä ennen käytettiin säännöllisesti primääritulistimen jälkeistä höyryä nuohouksessa. Nykyisin höyry pyritään pääsääntöisesti ottamaan aina turbiinin väliotosta, jotta osa höyrystä saadaan hyödynnettyä sähkön tuotannossa. Primääritulistimen jälkeistä höyryä käytetään nuohoukseen poikkeavissa tilanteissa, kuten huoltoaikoina tai kattilan alas- ja ylösajotilanteissa. Nuohoushöyryn on oltava tulistettua höyryä, jotta vältetään lämpöpintojen ylimääräiseltä korroosiolta. (Soodakattila MB3-SK Laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeet 7/9)

Käytettävä nuohoushöyry (HVO=väliottohöyry) voi tulla kolmesta eri turbiinin väliotosta, 4, 5 tai 6. Kuvassa 11 havainnollistettu turbiinin väliotot. Nuohoushöyryn paine on 30 baaria, jolloin turbiinilta tulevan höyryn reitti määräytyy painesäädön mukaan. Ellei esimerkiksi 4. väliotosta otettavan höyryn paine vastaa pyyntiin asetettua painerajaa, säätö tarkastelee 5. välioton paineen riittävyttä. Ellei siinäkään paine riitä saavuttamaan asetuspainetta, tarkastellaan 6. välioton painetta. Mitä aikaisemmasta väliotosta nuohoushöyry tulee, sitä kuumempaa se on.



Kuva 11 Turbiinin väliotot (DNA – Rauma).

Primääritulistimen jälkeen otettava nuohoushöyry otetaan ennen ensimmäistä ruiskujäähdytystä. Korkeapaineista höyryä säädetään säätöventtiilien avulla nuohouksen painepyyntin mukaan. Primääritulistimen jälkeinen nuohoushöyryn paine voi olla 26-34 baaria, riippuen siis käytettävästä nuohoimesta. Kuvassa 12 primääritulistimen jälkeen lähtevä nuohoushöyrylinja.



Kuva 12 Primääritulistimen jälkeen lähtevä nuohoushöyrylinja (DNA – Rauma).

Kummatkin nuohoushöyrylinjat yhdistyvät yhdeksi päärunkolinjaksi. Päärunkolinja haarautuu neljään pienempään runkolinjaan: aluksi kattilan oikealle ja vasemmalle seinälle ja edelleen tulistinalueen linjaan sekä ekonomaiserialueen linjaan. Linjat ohjaavat höyryn nuohoimille. Nuohoushöyrylinjojen loppupäässä on kullekin linjalle venttiilit, jonka jälkeen höyrylinjat johtavat höyryn ulospuhallussäiliöön.

5.2 Ajosekvenssi

Kattilan nuohous on ohjelmoitu sekvenssiksi, joka toimii sille syötetyn ajoreseptin mukaan. Ajoresepti on ohje, johon on määritetty, kuinka taajaan ja missä järjestyksessä kutakin nuohointia ajetaan. Käytössä olevia ajoreseptejä on kaksi, joista toinen on tarkoitettu kattilan pienelle kuiva-ainekuormalle ja toinen suurelle kuiva-ainekuormalle. Tässä työssä ei tarkastella pienen kuiva-ainekuorman ajoreseptiä, koska se on käytössä harvoin, yleensä poikkeustilanteissa.

Ajoresepti on käsin tehty kattilan likaantumiseen perustuvan tiedon pohjalta. Mitä herkemmin likaantuva kattilan kohta on kyseessä, sitä useammin alueen nuohoimet ovat ajossa.

Nykyisin käytössä oleva ajoresepti koostuu kahdeksasta ryhmästä ja jokaisessa ryhmässä on 24 askelta eli nuohouskertaa. Nuohousresepti koostuu siis 192 nuohouskerasta. Ajoreseptin kesto on 16 tuntia ja yksittäisen nuohoimen työskentelyaika yhdellä kerralla on keskimäärin viisi minuuttia. Tällä hetkellä käytössä oleva ajoresepti on otettu käyttöön vuodenvaihteessa 2014-2015. (Nyqvistin henkilökohtainen tiedonanto 4.3.2019)

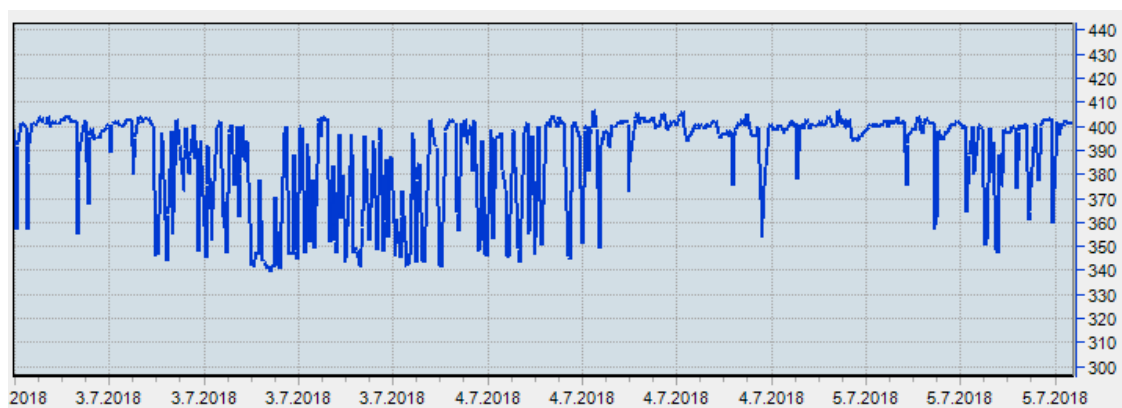
Automaatiikka hoitaa nuohointen ajoonlähtöajankohdan, jolloin operaattorin ei tarvitse käynnistää jokaista nuohointia erikseen. Operointi kuitenkin onnistuu myös manuaalisesti, jos halutaan esimerkiksi testata jotain tiettyä nuohointia. Nuohoimet työskentelevät pääosin yksi kerrallaan. Niiden ajo-ohjelma on tehty siten, että kaksi nuohointia on hetkellisesti ajossa silloin, kun edellinen nuohoin on lähellä kotirajaa, ajoreseptissä seuraava lähtee jo liikkeelle. Tällaiseen nuohointen ajotapaan on päädytty

nuohoushöyryn paineen heilahtelun minimoimiseksi. (Rautalan henkilökohtainen tiedonanto 28.3.2019)

5.3 Toiminta ja arvot

5.3.1 Nuohoushöyry turbiinin väliotosta

Turbiinin väliotosta nuohoushöyryn paineppynti on säädetty 30 baariin ja sen lämpötila vaihtelee turbiinin kuorman mukaan. Paineppynti on asetettu kyseiseen arvoon käyttökokemusten perusteella. Käyttöpaineeseen vaikuttaa myös käytössä olevat suutintyytit. Höyryn massavirta on yksittäisen nuohoimen ollessa ajossa noin 3,6-4,0 kg/s. Kahden nuohoimen samanaikaisen käytön aikana virtaus kohoaa hetkellisesti maksimissaan 6,5 kg/s. Turbiinin välioton kautta otettavan nuohoushöyryn lämpötila voi alimmillaan olla noin 330 °C. Tällöin turbiinin kuorma on suuri ja höyry saadaan 4. väliotosta tavoitellussa paineessa. Yleensä höyryn lämpötila on 330-350 °C ja tulee 4. tai 5. väliotosta. Turbiinin kuorman ollessa normaalia pienempi nuohoushöyry otetaan jo 6. väliotosta, jotta 30 baarin paineppynti saavutetaan. Tästä väliotosta otettaessa höyryn paine on noin 70 baaria, jolloin säätöventtiilin avulla nuohoushöyrylinjaan saadaan 30 baarin paine. Korkeasta paineesta johtuen höyryn lämpötila on myös huomattavasti korkeampi, enimmillään yli 400 °C. Kuvan 13 lämpötiläkäyrä havainnollistaa tilanteen, jossa nuohoushöyryn lämpötila kohoaa hetkellisesti.



Kuva 13 Turbiinin väliotosta otettavan höyryn lämpötiläkäyrä (°C) (DNA – Rauma).

5.3.2 Nuohoushöyry primääritulistimen jälkeen

Primääritulistimen jälkeen otettava nuohoushöyryn säätötapa poikkeaa turbiinin väliotosta otettavasta nuohoushöyrystä. Höyryn paine määräytyy kullekin nuohoimelle asetetun asetuspaineen mukaan 26-34 baarin välillä. Höyryn lämpötila on pienempi verrattuna turbiinin väliotosta otettavaan nuohoushöyryyn verrattuna, noin 270-310 °C. Massavirtauksessa on suurempia heilahteluja johtuen virtausta säätelevistä venttiileistä. Turbiinin väliottoventtiili poikkeaa toimintatavaltaan primääritulistimen jälkeen otettavan nuohoushöyryn säätöventtiilistä tehden höyryvirtauksesta tasaisemman ja mahdollistaen jokaiselle nuohoimelle syötettävän tietyn paineista höyryä.

6 NUOHOINTEN TARKASTELU

Nuohointen tarkempi tarkastelujakso alkaa 2015 vuoden alusta, jolloin nykyinen ajo-resepti on otettu käyttöön. Tarkempi tarkastelujakso ulottuu 2019 vuoden keväälle, jolloin tämän työn teko alkoi.

SAP-järjestelmästä hankittuja historiatietoja jokaiselle nuohoimelle voidaan pitää suuntaa-antavina, koska jokin vika saattaa vaikuttaa pitkään prosessiin tai sen laitteisiin ennen kuin se huomataan ja siitä tehdään kirjaus järjestelmään. Lisäksi ilmoitukset saattavat poiketa toisistaan kirjaajasta riippuen. Kirjaajien aktiivisuudessa tehdä kirjauksia on varmasti myös eroja, joten ajankohtiin ei voida täysin luottaa.

6.1 Vikatyypit

Nuohoimissa esiintyy monia erilaisia vikatyyppejä, joiden yksityiskohtaisempaan tarkasteluun ei tätä työtä varten ollut varattu resursseja. Vertailussa keskityttiin vikatyypien vaikutuksiin nuohoimille sekä etenkin työn ongelmaksi todetulle vaunun poksitiivisten vuodolle.

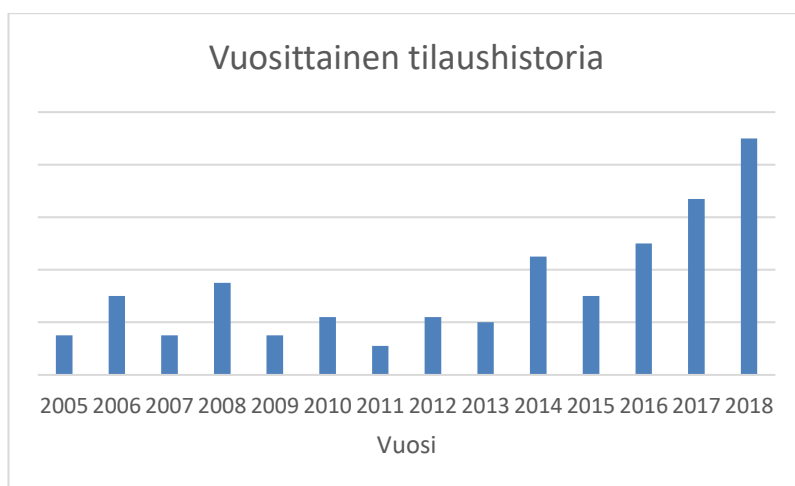
6.1.1 Poksitiiviste

Poksitiiviste on vaunun poksipesään asennettava tiiviste, jonka tehtävänä on estää vaunun kautta vapautuva nuohoushöyry. Poksitiiviste on tiivistepakka, joka koostuu useammasta tiivisterenkaasta. Se asennetaan nuohoimen tuloputken päälle. Poksitiivisteellä on korkeita kestävyysvaatimuksia, koska sen pitää kestää kuuma, yli 30 baarin höyry. Lisäksi siltä vaaditaan mekaanisen rasituksen kestoja liikkuessaan vaunun mukana tuloputken päällä.

Poksitiivisten vuotoa on hankala ennakoida. Vuoto tulee ainoastaan silloin ilmi, kun nuohoin on ajossa. Tällöin nuohoimen liikkuessa nuohoushöyryä pääsee vuotamaan vaunun poksipesän kautta kattilarakennukseen, mikä yleensä huomataan vuodosta aiheutuneesta äänestä. Poksitiiviste saattaa vuotaa pitkäänkin ennen kuin se huomataan,

sillä harvemmin ajossa olevan nuohojen vuotavaa poksitiivistettä on epätodennäköisempää havainnoida kuin useammin ajossa olevan. Siksi esimerkiksi historiatiedoista saatavien poksitiivisten rikkoontumisajankohtien perusteella on vaikea tehdä tarkkaa selvitystä sen kestävyuden tai vuotoon johtaneen tapahtuman määrittämiseen. Liitteessä 1 jokaisen nuohojen poksitiivisten vuotokertojen määrät.

Poksitiivistevuotojen historiatietojen perusteella vuotojen määrä on selvästi noussut samaan aikaan, kun turbiinin väliotosta on alettu ottamaan nuohoushöyryä. Poksitiivisten tilaushistoria havainnollistettu kuvassa 14. Tilastoon kuitenkin vaikuttaa myös se, että samaan aikaan nuohojen huoltoon alettiin käyttää enemmän aikaa. Vuosittainen poksitiivisten kulutus on kolminkertaistunut siihen aikaan, kun turbiinin väliotosta on alettu ottamaan nuohoushöyryä. Suurin ero aikaisempaan nuohoushöyryyn verrattuna on sen korkeampi lämpötila. Varsinkin aikaisemman välioton aiheuttama lämpötilapiikki menee reilusti yli nykyisen poksitiivisten mitoituslämpötilan.



Kuva 14 Poksitiivisten vuosittainen tilaushistoria (SAP Logon).

Poksitiivisten asennustapa vaikuttaa osittain myös sen kestävyteen. Käyttöön on otettu vasta 2018 vuoden lopulla asennustapa, jolla varmistetaan poksitiivisten oikea asettuminen tiivistepesään. Sitä edeltävällä asennustavalla ei saatu täyttä varmuutta asennuksen laadusta, jolloin poksitiivisten kestävyys saattoi kärsiä. Vaikutuksia laadukkaamman asennustavan varmistumisesta on vielä lähes mahdotonta selvittää, koska toiminnan aloittamisesta on kulunut niin vähän aikaa.

Asennettu poksitiiviste kiinnitetään vaunuun poksipainimella, joka pitää poksitiivisten renkaat tiiviinä toisiaan vasten. Poksipainin kiristetään muttereilla sopivaan

momenttiin. Käytön myötä poksitiiviste elää poksipesässä ja poksipainin pääsee löystymään. Löystynyt poksipainin sallii tiivisteiden liikkeen tiivistepesässä, jolloin poksitiivistevuoto syntyy helpommin.

Tiivistettä vasten olevien pintojen, tuloputken pinnan ja poksipesän pinnan, on oltava sileät, jotta poksitiiviste ei naarmuunnu. Naarmuuntumista saattaa aiheuttaa kuluneesta pinnasta aiheutunut hankausjälki. Tuloputket olisi hyvä vaihtaa kovapintaisiin malleihin, jotta pinta ei naarmuuntuisi niin helposti. (Hinkkasen henkilökohtainen tiedonanto 27.3.2019)

Nuohojen vaunun väärä asento vaikuttaa tiivisteiden mekaaniseen rasitukseen. Väärä asento voidaan havaita esimerkiksi asennettaessa uutta tiivistettä tiivistepesään, jolloin tiivistetilä ei ole symmetrinen. Tällöin vaunu painaa poksitiivistettä toiselta sivulta enemmän kuin vastakkaiselta sivulta, mikä johtaa epätasaiseen kulumaan. Vaunun virheellinen asento johtuu yleensä vaunun kuluneista kannatuskiskoista. Kannatuskiskot on hitsattu nuohojen vaippaan, mikä hankaloittaa korjaustoimenpidettä. Poksipesässä on kuparirengas, jonka tehtävänä on muun muassa oikaista vääntynyttä vaunua. Renkaan vaihto tai kuntotarkistus on mahdollista suorittaa vain vaununvaihdon yhteydessä. Käytössä olevissa vaunuissa saattaa olla vikaantuneita renkaita, jotka saattavat myös ilmetä vaunun vääntymisenä. (Hinkkasen henkilökohtainen tiedonanto 27.3.2019)

Kaikissa nuohoimissa käytetään samanlaista poksitiivistettä, pois lukien nuohoimet 18, 26, 28 ja 36. Nämä nuohoimet ovat matalapainenuohoimia, joiden tuloputken halkaisija on suurempi kuin muiden. Tästä syystä niiden poksitiivistekin on erilainen, mutta käyttöarvot, kuten syötettävän höyryn paine tai lämpötila eivät kuitenkaan poikkea muista nuohoimista. Vertailussa näissä neljässä nuohoimessa on vähemmän poksitiivistevuotoja kuin muissa.

6.1.2 Suutinputki

Vääntynyt suutinputki rasittaa vaunua ja sen poksipesässä olevaa poksitiivistettä. Suutinputken vääntymisen syynä on kattilan sisäpuolelle muodostuneen suolakertymän eli kamin putoaminen ajossa olevan suutinputken päälle. Kameja kertyy kattilan alueelle, jossa nuohous ei ole riittävää. Ajan mittaan kami kasvaa ja yleensä irtoaa nuohouksen vaikutuksesta. Kuumien olosuhteiden edesauttamana suutinputki vääntyy, mikä myöskin huomataan visuaalisesti tai pahimmillaan nuohoimen jumittumisena. Käyntihäiriöstä tulee tieto valvomoon, jolloin nuohoin ajetaan ulos kattilasta apukeinoja käyttäen. Ellei nuohointa ajeta riittävän nopeasti ulos kattilasta, suutinputki saattaa vääntyä myös lämpötilan vaikutuksesta. Vääntynyt suutinputki voidaan tiettyyn rajaan asti oikaista ja ottaa uudelleen käyttöön, pahemmin vaurioituneet joudutaan vaihtamaan kokonaan uusiin.

Suutinputki menee kattilan seinäpoxsin läpi. Seinäpoxsin läpivienti on vain vähän suutinputken halkaisijaa suurempi, jolloin vääntyneestä suutinputkesta aiheutunut ylimääräinen liike rasittaa vaunua ja sen poksitiivistettä.

Kameja kertyy kattilan etuseinälle ja siksi alueen nuohointen suutinputket ovat usein vääntyneitä. Varsinkin alueen ylimpien kerrosten nuohoimilla on yleisenä ongelmana suutinputken vääntyminen. Alueen samoilla käyttökerroilla olevia nuohoimia verrattaessa hajontaa poksitiivisten rikkoutumisessa kuitenkin löytyy. Esimerkiksi nuohoimet 6, 7, 8 ja 10 ovat hyvin samantyyppisiä nuohoimia, joilla esiintyy yleisesti suutinputken vääntymää. Poksitiivistevuodot näillä nuohoimilla vuodesta 2015 eteenpäin kuitenkin vaihtelee yhdestä tapauksesta neljään tapaukseen, minkä perusteella suutinputken vääntymää ei voida pitää ainoana syynä poksivuotoon. (SAP Logon)

6.1.3 Höyryventtiili

Vuotavaa höyryventtiiliä voidaan myös pitää poksitiivisten kestävyyttä heikentävänä tekijänä. Vuotokohta on yleensä karan tiiviste, joka alkaa vuotamaan. Vuotava höyryventtiili päästää höyryä virtaamaan tuloputken läpi, vaikka nuohoin ei ole ajossa. Vuotava nuohoushöyry pitää nuohointa koko ajan kuumana, jolloin se on jatkuvan

rasituksen alaisena. Höyryventtiilivuodon toteamiseen käytetään lämpökameraa, jonka avulla voidaan havaita lepotilassa olevan nuohoimen tavallista kuumempi tuloputki. Jotta höyryventtiili voidaan vaihtaa, pitää nuohoushöyryn virtaus sulkea. Vaihto edellyttää oikeat olosuhteet sekä riittävät resurssit, joten vuotava höyryventtiili voi olla pitkäänkin käytössä.

Höyryventtiilillä on paineensäätömutteri, jolla voidaan rajoittaa manuaalisesti venttiilin läpi kulkevan höyryn painetta. Höyrynpaineen säätötavan muututtua automaattiseksi vaihdettujen höyryventtiilien paineensäätömutteri on säädetty maksimiasentoon, ettei se rajoita virtausta. Prosessissa kuitenkin saattaa olla vielä käytössä höyryventtiileitä, joiden läpi kulkevaa virtausta on rajoitettu mutterilla. Kun nuohoushöyry tulee primääritulistimen jälkeen, sen massavirtaa tarkastellessa voidaan kohdentaa mahdollisesti manuaalisesti säädetty höyryventtiilit. Lisäksi näiden kohteiden nuohoushöyryn paine voidaan olettaa olevan normaalia pienempi, mikä saattaa säästää myös poksitiivistettä. Toisaalta nuohouksen riittävyys voidaan samaan aikaan kyseenalaistaa näissä kohteissa.

6.1.4 Seinäpoksi

Seinäpoksiin kertyy suolapitoista kiintoainetta nuohoimen liikkuessa kattilasta ulos. Kertynyt kiintoaines vaikeuttaa nuohoimen liikkumista ja lopulta saattaa aiheuttaa nuohoimen jumittumisen. Jumittunut nuohoin ajetaan ulos kattilasta apukeinoja käyttäen, samalla periaatteella kuin vääntyneen suutinputken kohdalla. Jumittuminen rasittaa hammaskiskoja sekä rattaita, joita pitkin vaunu liikuttaa nuohointa. Tukkoisista seinäpoksista aiheutuvaa jumittumisongelmaa esiintyy yleisemmin ekonomaiserialueella. Myöhemmin on joihinkin nuohoimiin asennettu erilaisia seinäpoksia, joissa seinäpoksien huuhtelujärjestelmä pitää sitä paremmin puhtaana. Näissä nuohoimissa ei ole ollut jumittumisongelmaa ja suutinputken pinta on puhdas. (Siltalan henkilökohmainen tiedonanto 15.4.2019)

Tukkoisella seinäpoksilla saattaa myös olla vaikutusta poksitiivisten kestävyyskykyyn, kun jumittuneena kulmaventtiili pysyy auki ja nuohoushöyryä virtaa pidemmän aikaa.

Esimerkiksi nuohoimissa 55 ja 56 on suunnilleen saman verran poksivuotoja, mutta 55 nuohoimessa on ollut vain yksi jumittumisilmoitus 2015 vuodesta lähtien, kun taas 56 nuohoimessa tapauksia on ollut useampia. Lisäksi nuohoimissa 76 ja 80 ei ole ollut 2015 vuoden jälkeen yhtään poksivuotoa, vaikka jumittumisongelmia on ollut useampia. (SAP Logon) Tutkimuksen perusteella seinäpoksista aiheutunutta jumittumista ei voida pitää selkeänä syynä poksitiivisteiden vuodelle.

6.1.5 Lauhde

Nuohousaineena käytetystä höyrystä tulee lauhtuessaan vettä eli lauhdetta. Putkilinjaa suunniteltaessa tämä pitää huomioida putkikallistuksilla, riittävällä höyryn virtauksella sekä lauhteen poistolla. Lauhteen poisto on toteutettu pitämällä runkolinjassa jatkuva höyryvirtaus, joka ohjataan reikälevyjen läpi. Mikäli virtaavan höyryn lämpötila laskee riittävän alas, nuohouslinjan lopussa on vesitysventtiileitä, jotka avautuessaan voimistavat virtausta. Näin linja saadaan kuumemmaksi, mikä estäisi lauhtumista. Runkolinjan kallistuksilla johdetaan lauhde haluttuun suuntaan. Myös nuohoimet on asennettu kattilaan päin kallistumaan.

Lauhteesta aiheutuvaa ongelmaa esiintyy lähes jokaisessa nuohoimessa. Ongelma tulee ilmi nuohoimen lähtiessä ajoon, jolloin höyryventtiilin avautuessa höyrynpaine työntää lauhteen vaunun poksitiivisteiden läpi kattilarakennukseen. Lauhdetta tulee yleensä vaunun edetessä muutaman metrin, jolloin se hiipuu ja hetken kuluttua lakkaa kokonaan. Lauhdetta tulee yleisesti enemmän tulistinalueen nuohoimista kuin ekonomaiserialueen nuohoimista. Ekonomaiserialueella nuohoustarve on suurempi ja runkolinja hieman lyhyempi, mitkä saattavat vaikuttaa ongelmaan. Poksitiivisteeseen aiheutuvien seurausten lisäksi tulisi myös huomioida lauhdeongelman aiheuttamia seurauksia kattilan sisäpuolelle.

Lauhde aiheuttaa ongelmia työntyessään poksitiivisteiden läpi kattilarakennukseen. Poksipesässä oleva lauhde laajenee höyrystyessään, jolloin se varmasti kuluttaa myös poksitiivistettä. Poksitiiviste saattaa löystyä poksipesässä, jolloin se alkaa helpommin vuotamaan. Havaintojen mukaan suurimmat ”lauhdesuihkut” sijoittuvat tulistinalueelle, varsinkin 14. kerroksen nuohoimiin. Nuohoinkohtaista ”lauhdesuihkua”

vertailtaessa nuohointen käyttömäärillä ei tutkimusten mukaan ollut selkeää vaikutusta. Lähtökohtaisesti sellaiset nuohoimet, joilla on enemmän lepoaikaa, höyryn jäähtyminen on todennäköisempää. Tällöin lauhdeongelmakin olisi näissä tapauksissa suurempi, mutta näin ei siis kuitenkaan ole. Nuohointen lauhdesuihkujen arviointia kirjattu liitteeseen 1.

Nuohoushöyrylinjojen todellista kaltevuutta on vaikea varmistaa, koska niiden päällä on eristekerros. Havaintojen mukaan runkolinjassa on muutamia kohtia, joiden riittävä kaltevuus kannattaisi varmistaa. Nämä kohdat eivät kuitenkaan selitä laajaa, lähes jokaisen nuohoimen kohdalla aiheutuvaa lauhdeongelmaa.

Lauhteen kerääntymistä nuohointen höyryventtiilin jälkeiselle osuudelle ei pidetä todennäköisenä, koska nuohoimen kallistuksen tulisi olla huomattavan pieni. (Siltalan henkilökohtainen tiedonanto 15.4.2019) Ajatusta ei voida kuitenkaan täysin sivuuttaa, koska täyttä varmistusta lauhdetaskujen sijainnista ei ole.

Lauhdeongelmaa voidaan pitää merkittävänä poksitiivistettä heikentävänä tekijänä. Lauhde tarvitsee tilaa työntyessään tiivistepakan läpi, jolloin tiivistepakka löystyy. Tiivistepakan ylimääräisen liikkeen epäillään edesauttavan poksitiivisteen vuotoa. Prosessissa on kuitenkin poikkeaviakin tapauksia, joissa lauhdetta suihkuu melko runsaasti nuohoimen lähtiessä liikkeelle, mutta poksitiivistevuodot eivät ole yleisiä. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi nuohoimet 39, 47 ja 48.

6.2 Käyttömäärät

Käyttömäärien mukaan jaettaessa tarkastellaan, mitkä nuohoimet ovat ajoreseptin mukaan saman verran käytössä. Näin pystytään rajaamaan ja vertailemaan käytöltään samanlaisia nuohoimia. Ajoreseptin mukaan nuohoimet käynnistyvät joko 1, 2, 3, 4 tai 12 kertaa ajoreseptin aikana, eli käyttömäärien perusteella nuohoimet voidaan jakaa viiteen ryhmään. Niiden nuohointen tarkastelu, jotka käynnistyvät kerran ajoreseptin aikana jätettiin tarkastelussa vähemmälle huomiolle vähäisen ja epäluotettavien historiatietojen perusteella. Tällaisia nuohoimia on kuitenkin eniten kohteessa.

Luotettavinta tietoa saadaan niistä nuohoimista, jotka käynnistyvät 12 kertaa ajoreseptin aikana.

Samojen käyttömäärien nuohoimia verrattaessa poksitiivistevuodot ovat pääpiirteittäin samalla tasolla, toki poikkeuksiakin löytyy. Tilaston mukaan nuohoimilla 55 ja 56 on puolet useammin poksitiivistevuotoja kuin 61 ja 62 nuohoimilla, vaikka kaikki neljä nuohointa käynnistyvät 12 kertaa ajoreseptin aikana. Vastaava tapaus ilmenee verrattaessa nuohointa 69 ja 70, joissa käynnistymiskertoja kummallakin nuohoimella on 4 ajoreseptin aikana. Suurin poikkeama löytyy verrattaessa nuohoimia 8 ja 9, jolloin nuohoimessa 9 on viisi poksitiivistevuotoa samaan aikaan kun nuohoimessa 8 on yksi. (SAP Logon) Jokaisen nuohoimen poksitiivisten vuotokerrat on liitteessä 1.

Poikkeamat tilastoon saattavat johtua osittain huoltotoimenpiteestä. Joissain vuototapauksissa pelkkä poksipainimen kiristys saattaa korjata vuodon, toisinaan koko tiivistepakka on vaihdettu uuteen. Oletuksena voidaan pitää, että kokonaan uusittu tiivistepakka kestää pidempään verrattuna kiristettyyn, käytettyyn tiivistepakkaan.

Teoriassa sellaisen nuohoimen, joka käynnistyy kaksi kertaa ajoreseptin aikana, poksitiiviste hajoaa puolet useammin kuin sellaisen nuohoimen, joka käynnistyy vain kerran ajoreseptin aikana. Tällä periaatteella pystytään erottamaan ne nuohoimet, joissa esiintyy useimmin poksitiivisten vuotoja. Taulukossa 1 listattu nuohoimia, joiden käyttö on suhteutettu, ja kunkin nuohoimen poksitiivisten suuntaa antava käyttöikä. Saatujen tulosten perusteella ylimpien kerrosten nuohointen poksitiivisteet hajoavat useimmiten.

Taulukko 1 Eniten poksitiivisteitä kuluttavat nuohoimet, joiden käyttö on suhteutettu (1.1.2017 - 28.2.2019) (SAP Logon).

Nuohointen käyttöön suhteutettu tiivisteiden kulutus					
Poksitiivisten suuntaa-antava käyttöikä	Nuohoimet				
	12 kk	24kk	36 kk	48kk	72 kk
	9	14	6	16	5
	11	15	7	63	8
	12	17	10	70	60
	57	21	59	71	61
	67	35	86		62
	92	51	88		64
		53			
		55			
		56			
		69			
		72			
		75			
		83			

6.3 Nuohousalueet

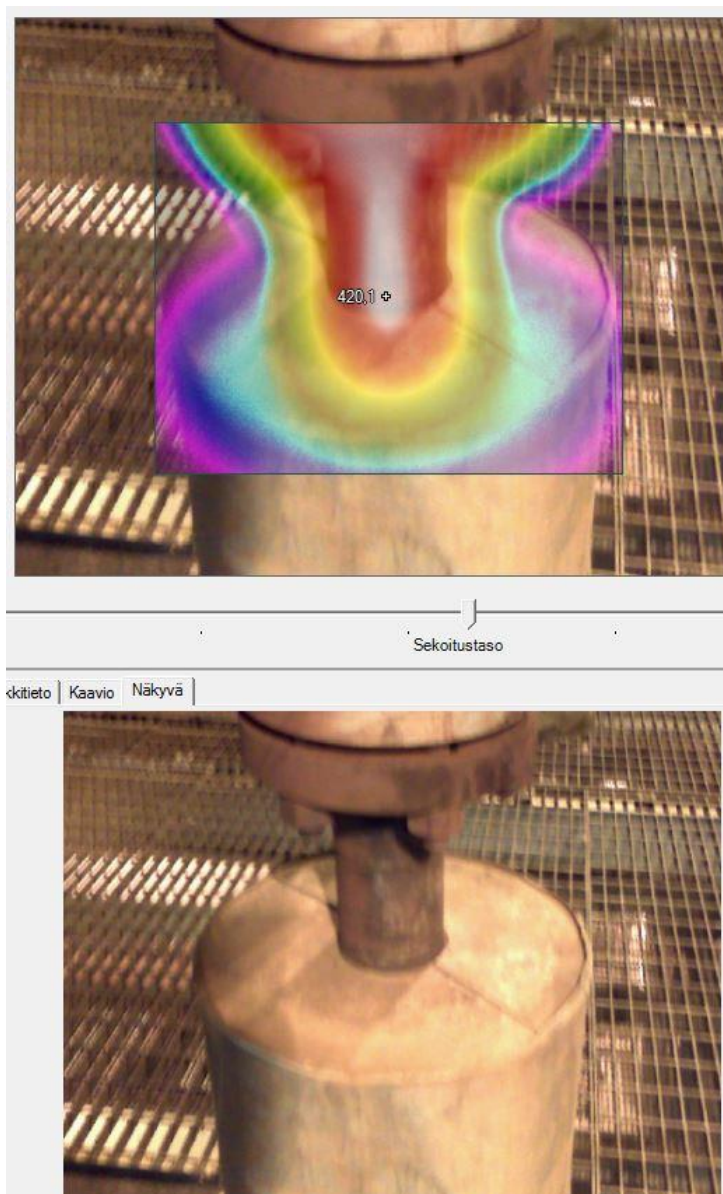
Nuohousalueiden vertailua tehtiin kerrosten välisten nuohointien sekä savukaasujen virtaussuuntaan nähden tehdyllä nuohousalueiden jaottelulla.

Historiatiedoista selvitetiin poksitiivisteivuotojen määrä kerroksittain, jokaisen kerroksen nuohointien lukumäärä, keskimääräinen käynnistymiskertojen määrä ajoreseptin aikana sekä kerroskohtaisten nuohointien käyttömäärät. Tutkimuksen mukaan kerroksen 14 nuohoimissa on ollut huomattavasti eniten poksivuotoja. Kuten taulukosta 2 voidaan havaita, esimerkiksi kerroksen 13 nuohoimilla on suurempi käyttömäärä, enemmän keskimääräisiä käynnistymiskertoja ajoreseptissä ja melkein puolet vähemmän poksitiivisten vuotoja kuin 14 kerroksen nuohoimilla, vaikka nuohointien lukumäärä on molemmissa kerroksissa sama.

Taulukko 2 Nuohointen jako kerroksittain (SAP Logon).

Vuotojen määrä kerroksittain				
Kerros	Nuohointen lukumäärä	Keskimääräiset ajokerrat	Vuodot 2015 - 2/2019	Nuohoustarve
14	18	2,889	66	27 %
13	18	3,111	36	29 %
12	20	1,7	28	18 %
11	10	1,7	16	9 %
10	12	1,5	15	9 %
9	6	1,333	6	4 %
8	6	1	5	3 %

Lepotilassa olevien nuohointen höyryventtiilin takana olevan linjan lämpötilamittausten perusteella kerrosten välillä ei ollut suuria eroja. Mitatut lämpötilat ovat kuitenkin huomattavasti pienemmät kuin samasta kohdasta mitattu lämpötila ajossa olevasta nuohoimesta. Samasta pisteestä mitattu lämpötilaero lepotilassa olevan nuohoimen ja käynnissä olevan nuohoimen välillä on noin 50 °C. Lämpötila vesitysventtiilin kohdalta runkolinjasta on noin 20 °C suurempi kuin lepotilassa olevan nuohoimen höyryventtiililtä mitatun. Kuvassa 15 lämpökamerakuva runkolinjasta juuri ennen nuohoimen höyryventtiiliä. Kuvan höyryventtiili on kiinni ja nuohoin ei siis ole ajossa.



Kuva 15 Lämpökamerakuva lepotilassa olevan nuohoimen nuohoushöyrylinjasta ennen nuohoimen höyryventtiiliä (420,1 F = 215,6 °C. Päärunkolinjan lämpötilamittaus oli samalla hetkellä noin 290 °C).

Vertaillessa alueittain savukaasun virtaussuuntaan nähden poksitiivisteessä oli eniten vuotoja etuseinän ja toisen sekundääritulistimen välisissä nuohoimissa, sekä kahdessa ensimmäisessä ekonomaiserin välisissä nuohoimissa. Ekonomaiserialueen nuohointen suuri tiivistevuotolukema saattaa johtua osittain myös alueen nuohointen suuremmasta käytöstä etuseinän alueen nuohoihin verrattaessa. Taulukossa 3 tutkimustulokset nuohoimia verrattaessa savukaasujen etenemissuuntaan nähden. Tämä vertailu viittaa suutinputken taittumisongelman ja jumittumisongelman olevan poksitiivisten kestävyttä heikentäviä tekijöitä.

Taulukko 3 Nuohointen jako savukaasujen virtaussuuntaan nähden.

Vuotojen määrä savukaasujen virtaussuuntaan nähden				
Nuohousalue	Nuohointen lukumäärä	keskimääräiset ajokerrat	Vuodot 2015 - 2/2019	Nuohoustarve
etuseinä - sek. 2	18	2,111	47	20 %
sek. 2 - sek. 1	12	1,333	15	8 %
sek. 1 - prim.	10	1,4	18	7 %
prim. - tert.	12	1	10	6 %
tert. - eko3	6	1,666666667	9	5 %
eko3 - eko2	14	2,857	28	21 %
eko2 - eko1	10	5,4	35	28 %
eko1 - takaseinä	8	1	11	4 %

6.4 Tulokset

Poksitiiviseen rikkoontumiseen vaikuttavia tekijöitä on useita ja jokaisen syyn vaikutusten laajuuden määrittämiseen pitäisi tehdä jatkotutkimuksia. Kaikilla vikatyypeillä voidaan katsoa olevan jonkinasteista vaikutusta poksitiiviseen kestävyysasteeseen, mutta mitään selkeää tai yksiselitteistä aiheuttajaa ei löytynyt. Tutkimustulosten mukaan voidaan arvioida suurin aiheuttaja poksitiiviseen kulutuksen lisääntymiseen ja kehittää siihen ratkaisu.

Poksitiiviseen keskimääräinen vuosikulutus on noin kolminkertaistunut samaan aikaan, kun turbiinin välilotosta on alettu ottamaan nuohoushöyryä. Kahden viime vuoden (2017 ja 2018) poksitiivistekustannukset ovat olleet suunnilleen samat kuin sitä edeltäneiden 8 vuoden poksitiivistekustannukset yhteensä. (SAP Logon) Vaihtoehtoisesta poksitiivistemallista on saatu tarjous, mutta sen kokeilua tehtaan nuohoihin ei tämän työn aikana suoritettu.

Poksitiiviseen lämmönkesto-ominaisuudet eivät vastaa kohteen lämpötiloja, mitä voidaan pitää merkittävimpänä syynä poksitiivisten kulutuksen lisääntymiseen. Ratkaisuna olisi vaihtaa nykyinen tiivistepakka paremmin kohteen olosuhteita vastaavaan malliin. Uutta tiivistepakkaa suunniteltaessa huomiota kannattaisi kiinnittää myös tiivistepesän symmetrisyyden varmistamiseen. Tiivistepakkaan voisi sisällyttää esimerkiksi ylimääräisen metalliholkin, joka pitäisi tiivistepesän paremmin symmetrisenä poksitiiviseen mekaanista kulumista ajatellen.

Tutkimusten pohjalta saatiin tietoa, mihin poksitiivisten kestävyys kannalta kannattaisi jatkossa kiinnittää huomiota. Mutterikiristeiset poksipainimet löystyvät käytön aikana, mihin ratkaisuna kannattaisi kokeilla jousikuormitteisia poksipainimia. Käytännössä ennen mutteria asennetaan jousikuormitteinen prikka, joka pitää poksipainimen kireällä. Niiden avulla tiivistepakka ei pääsisi löystymään, ja samalla huoltokierrokseen käytettyä aikaa saataisiin pienennettyä.

Lauhdeongelman ratkaisuun kehoitetaan kiinnittämään huomiota ensisijaisesti vesitysventtiilin avautumislämpötilaan. Avautumislämpötila on säädetty 217 °C vaikka 30 baarin paineessa olevan kylläisen höyryn lämpötila on noin 235 °C. (Sirén 2017) Lisäksi olisi hyvä myös selvittää, minne lauhdetta kerääntyy, reikälevyjen kunto ja mitoitus, mahdollisten lauhteenpoistimien lisäys linjastoon sekä nuohointen ja runkolinjojen riittävän kaltevuuden tarkistus.

Kerroksen 14 nuohoimet erottuvat muista suuren poksitiivisten vuotomäärän takia. Tähän ei tutkimuksissa löytynyt selkeää syytä. Selkeän syyn löytämiseksi tähän olisi myös hyvä kiinnittää huomiota jatkotutkimuksia tehdessä.

7 HÖYRYN JÄÄHDYTYS

Merkittävimpana syynä nuohointen käyttöikää heikentävänä ja vaunun poksitiiviseen kulutuksen lisääntymiseen voidaan pitää liian kuumaa nuohoushöyryä. Ratkaisuna on suunnitella turbiinin välioton jälkeiseen nuohoushöyryyn jäähdytysjärjestelmä, jonka avulla saadaan höyryn lämpötilaa laskettua. Höyryn jäähdytykseen päädyttiin huomattavan korkeiden lämpötilapiikkien takia, mikä johtuu nuohoushöyryn tulleen turbiinin aikaisimmasta (6.) väliotosta.

Järjestelmä on tarkoitus toteuttaa ruiskujäähdytyksellä. Ruiskujäähdytykseen päädyttiin, koska turbiinin muidenkin väliottohöyryjen, kuten välipaine- ja matalapainehöyryn jäähdytykseen on myös käytetty ruiskujäähdytystä. Käytännössä nuohoushöyryn joukkoon ruiskutetaan vesisumua, joka jäähdyttää höyryä matalampaan lämpötilaan. Ruiskutusvetenä on tarkoitus käyttää kattilan syöttövettä.

Rauman tehtaalla on ollut ongelmia myös matalapainereduktion jälkeisen höyryn lämpötilan kanssa. Höyryä ei saada jäähdytettyä riittävästi, jolloin se on käyttökohteissa normaalia kuumempaa. Nuohoushöyryn jäähdytysjärjestelmä on tarkoitus mitoittaa siten, että järjestelmään yhdistetään myös matalapainereduktion jälkeisen höyryn lisäjäähdytys. Lisäjäähdytys toteutetaan samanlaisella ruiskujäähdytyksellä kuin nuohoushöyryn jäähdytys ja ruiskutusvetenä käytetään niin ikään syöttövettä.

7.1 Toteutusvaihtoehdot

Jäähdytysjärjestelmä on suunniteltu toteutettavaksi kahdella eri tavalla. Ensimmäisessä toteutusvaihtoehdossa ruiskutusvesi otetaan suoraan syöttövesipumppujen jälkeisestä linjasta ja toisessa toteutusvaihtoehdossa ruiskuvettä pumpataan syöttövesisäiliöstä omalla pumpulla. Ruiskujen sijainnit höyrylinjoissa, sekä tärkeimpien toimilaitteiden sijainnit on kartoitettu.

Ruiskutustarvetta laskiessa ja järjestelmää mitoitettaessa todettiin, että matalapainereduktion ruiskutukseen menee huomattavasti suurempi määrä ruiskutusvettä kuin nuohoushöyryn ruiskutukseen. Putkikokoja mitoitettaessa tämä huomioitiin.

Käytettävää ruiskutusvettä kartoittaessa pitää kiinnittää huomiota veden puhtauteen korroosion sekä lahteen hyödyntämisen kannalta. Lisäksi myös veden lämpötila ja paine tulisi huomioida. Liian alhaisen ruiskutusvesilinjan yhdistäminen kuumaan höyrylinjaan on haastavaa materiaaliteknisistä syistä. Siksi esimerkiksi 20 °C kemiallisesti puhdistettu vesi ei sovellu yhtä hyvin järjestelmän ruiskutusvedeksi kuin 115 °C syöttövesi. Lisäksi kemiallisesti puhdistettu vesi ei ole riittävän puhdasta, jotta lauhteet voitaisiin ottaa talteen ja hyödyntää. Riittävän korkea ruiskutusveden paine on edellytys ruiskutuksen toiminnalle. Paineen pitää olla sen verran suurempi kuin ruiskutettavan linjan paine, että ruiskutus onnistuu. Ruiskutusveden maksimitarvetta laskiessa on huomioitava, että molemmat järjestelmän ruiskutukset eivät ole käytännössä samaan aikaan käytössä. Putkilinjat ja laitteet on kuitenkin mitoitettava siten, kuin molemmat ruiskut olisivat käytössä.

Ensimmäisessä toteutusvaihtoehdossa syöttövesipumppujen jälkeiseen linjaan tehdään haara ruiskutusjärjestelmää varten. Syöttövesilinjan korkea paine (noin 115 baa-ria) ja sopiva lämpötila soveltuvat hyvin ruiskutukseen, ja siksi syöttövesi ruiskutusvetenä onkin paras vaihtoehto. Syöttövesilinjasta lähtevä haara tehtäisiin ennen syöttöveden esilämmittimiä ja sen on tarkoitus johtaa suoraan matalapainereduktion jälkeisen höyryn ruiskutukseen. Tästä putkihaarasta lähtee erillinen haara nuohoushöyryn ruiskutukseen. Ensimmäisessä toteutusvaihtoehdossa järjestelmän putkilinjoissa on paine syöttövesipumppujen ollessa käytössä. Ruiskutusveden säätö tapahtuu kummankin ruiskun omalla säätöventtiilillä. Liitteessä 2 esisuunniteltu prosessikaavio versiosta 1.

Toisessa toteutusvaihtoehdossa syöttövedettä ruiskutetaan järjestelmään omalla pumpulla. Ruiskutuslinjat ja instrumentointi on tarkoitus tehdä pääpiirteittäin samalla tavalla kuin ensimmäisessäkin toteutusvaihtoehdossa. Toisessa toteutusvaihtoehdossa on lisäksi suunniteltu minimikiertolinja, joka haarautuu pumpun painepuolelta takaisin syöttövesisäiliöön. Minimikiertolinjalla on tarkoitus tasata pumpun käyntiä silloin, kun ruiskutusta on pelkästään nuohoushöyrylinjaan. Koska pumpu on mitoitettava molempien ruiskutuskohteiden samanaikaiseen käyttöön, on pumpu liian suuri pelkästään nuohoushöyryn ruiskutustarpeelle. Minimikiertolinjalla saadaan lisättyä virtaustarvetta pelkästään nuohoushöyryn ruiskutuksen ollen käytössä, jolloin pumpun käynti on tasaisempaa. Liitteessä 3 esisuunniteltu prosessikaavio versiosta 2.

7.2 Ruiskutuksen säätö

Nuohoushöyryn ruiskutusta säättävä venttiili avautuu höyryn lämpötilan mukaan. Höyryn lämpötilamittaus suoritetaan kolmella lämpötilamittauksella, joiden keskimäinen mittaustulos toimii säätöarvona. Säätöventtiili saa avautumiskäskyn, kun höyryn lämpötila on 350 °C ja on täysin auki lämpötilan ollessa 430 °C. Säätöventtiiliä ennen on moottorikäyttöinen sulkuventtiili, joka avautuu säätöventtiilin saadessa avautumiskäsky. Linjassa on kaksi pikasulkuventtiiliä, jotka sulkevat ruiskutusveden virtauksen höyrylinjan paineen noustessa liian korkeaksi. Painemittaus on ruiskun ja säätöventtiilin välissä, ja säätöarvo saadaan kolmen mittaustuloksen keskimmäisestä mittauksesta. Nuohoushöyryn ruiskutuslinjassa on myös omat paine- ja virtausmittaukset.

Matalapainereduktion käytössä oleva ruiskutus ei ole riittävä nykyisellä järjestelmällä. Nykyistä ruiskutusta säättävä lämpötilamittaus on liian lähellä ruiskutuspistettä, jolloin mitattava höyry ei ole ehtinyt ruiskutuksen jälkeen muuttua kylläiseksi. Siksi nykyinen mittaus antaa virheellisen tiedon. Todellisuudessa reduktion kautta ajettava matalapainehöyry kyllästyy ja tulistuu myöhemmin linjastossa ja on käyttökohteissaan liian kuumaa.

Lisäruiskutuksen lisäksi nykyiseen matalapainereduktion ruiskutuksen toimintaan pitäisi tehdä muutos. Matalapainereduktion jälkeistä höyryä mitattaisiin aluksi nykyisestä mittauspisteestä. Kun nykyinen reduktioventtiilin ruiskutusta säätelevä venttiili on 30 % auki tai höyryvirtaus on vähintään 25 kg/s mittaus siirtyisi kolmeen etämittaukseen, joiden keskimmäisestä mittaustuloksesta tulisi ruiskutusventtiiliä säättävä arvo. Etämittausten keskimmäisen mittauksen lähtöarvo on 160 °C ja maksimiarvo 220 °C. Nykyisen ruiskutusventtiilin avautuessa 80 % esisuunniteltu lisäruiskutus aloittaisi tukemaan nykyistä ruiskutusta. Lisäruiskutuksesta tulisi lämpötilaa säättävä ruiskutus ja nykyinen ruiskutus pysyisi 80 % auki. Lisäruiskutuksen säätö tapahtuisi etämittauksista. Tällä tavoin saataisiin jäähdytettyä reduktioventtiilin jälkeistä höyryä riittävästi, mutta kuitenkin varmistamalla höyryn saapuminen käyttökohteisiin kylläisenä. Matalapainereduktion lisäruiskutuslinjassa on samat laitteet kuin nuohoushöyryn ruiskutuslinjassa.

Omalla ruiskutuspumppulla suunnitellussa toteutusvaihtoehdossa pumppu saa käyntitietonsa joko turbiinin väliottohöyryn virtaustiedosta tai matalapainereduktion avautumistiedosta. Pumppu kierrättää ruiskutusvettä aluksi pelkän minimikierron kautta, jotta ruiskun säätöventtiilin avauduttua ruiskutus alkaisi mahdollisimman nopeasti. Minimikierto pysyy päällä pelkän nuohoushöyryn ruiskutuksen ollessa käytössä, koska nuohoushöyryn ruiskutukseen menevä virtaus on paljon pienempi verrattaessa matalapainereduktion lisäruiskutukseen. Minimikierto sulkeutuu reductioventtiilin jälkeisen lisäruiskutuksen käynnistyttyä. Pumpun kierroksia säädetään taajuusmuuttajalla, joka ottaa käyntitietonsa ruiskutusvesilinjan painemittauksesta. Ruiskutusvesilinjassa on takaiskuventtiili, joka estää linjaa kokonaan tyhjenemästä.

7.3 Järjestelmän mitoitus

Jäähdytysjärjestelmä esisuunnitellaan mahdollista toteutusta varten. Esisuunnitelmassa kartoitetaan tarvittavat laitteet ja instrumentoinnit mahdollisesti toteutettavalle järjestelmälle. Ruiskutusveden tarve on laskettu maksimiarvoilla molempien ruiskutuskohteiden samanaikaiseen käyttöön ja putkikoot mitoitetaan sen mukaan, samoin pumppu. Järjestelmävaihtoehdoista on tehty prosessikaaviot, jotka ovat liitteissä 2 ja 3. Esisuunnitelmassa on selvitetty, mitä mittauksia järjestelmässä olisi ja mihin ne sijoitettaisiin. Jokaiselle laitteelle on hahmotettu toiminnankuvaus, jossa kuvaillaan laitteen toiminta. Putkilinjojen mahdollinen reitti on selvitetty, jotta tiedetään kunkin putkiosuuden pituudet ja painehäviöt. Käytettävät putket ovat standardimalleja, joten oikeat putkikoot ja -tyypit saadaan selville käytössä olevista sovelluksista.

Sekä nuohoushöyryn ruiskutukseen että matalapainereduktion jälkeiseen lisäruiskutukseen on ruiskutusveden maksimivirtaukset laskettu samalla periaatteella. Laskennat tehdään yhtä kilogrammaa kohti, siksi kaavoissa massaa ei ole merkitty. Nuohoushöyryn ruiskutusvedentarpeen laskentaa on selvitetty entalpioiden avulla. Laskenta on tehty suhteuttamalla nuohoushöyryn luovuttama energiamäärä nuohoushöyryn energiamäärän ja syöttöveden entalpian summalla.

Suhdeluku on ruiskutusveden virtaus yhtä nuohoushöyrykiloa kohti, joka on lopuksi kerrottu nuohoushöyryn maksimivirtauksella. Vastaukseksi on saatu tarvittavan

ruiskutusveden maksimivirtaus. Aluksi on selvitetty syöttöveden lämmitykseen tarvittava energiamäärä (ΔQ_1).

$$\Delta Q_1 = c m \Delta t \quad (2)$$

Sijoittamalla arvot kaavaan (2) ja olettamalla $m = 1.0 \text{ kg}$ saadaan ominaislämmöksi:

$$\Delta Q_{1115^\circ\text{C} \rightarrow 235^\circ\text{C}} = 4,23 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \times (235^\circ\text{C} - 115^\circ\text{C}) = 507,5 \text{ kJ/kg}$$

missä,

c = syöttöveden ominaislämpökapasiteetti

m = syöttöveden massa

Δt = lämpötilaero

(kotiposti www-sivut 2019)

Syöttöveden höyrystymisenergia saadaan taulukoista. Höyrystymisenergia (r) 30 baarissa ja 235°C on 1790 kJ/kg . (Sirén 2017) Höyrystynyt syöttövesi lämpenee eli tulistuu. Tulistumiseen tarvittava lämpöenergian määrä (ΔQ_2) on laskettu sijoittamalla arvot kaavaan (2) ja olettamalla $m = 1.0 \text{ kg}$ saadaan

$$\Delta Q_{2235^\circ\text{C} \rightarrow 350^\circ\text{C}} = 5 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \times (350^\circ\text{C} - 235^\circ\text{C}) = 574,9 \text{ kJ/kg}$$

missä,

c = höyryn ominaislämpökapasiteetti (350°C , 30 bar)

m = höyryn massa

Δt = lämpötilaero

(kotiposti:n www-sivut 2019)

Summaamalla edelliset energiamäärät saadaan ruiskutusveden lämpöenergia (h_2)

$$h_2 = \Delta Q_1 + r + \Delta Q_2 \quad (3)$$

Sijoittamalla arvot kaavaan (3) saadaan ruiskutusveden lämpöenergiaksi:

$$h_2 = 507,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 1790 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 574,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 2872,4 \text{ kJ/kg}$$

(kotiposti www-sivut 2019)

Tämä on siis lämpömäärä yhtä ruiskutusvesikiloa kohden, jonka se sitoo nuohoushöyrystä. Höyryn luovuttama energia on laskettu vähentämällä nuohoushöyryn entalpiasta (h_1) jäädytetyn höyryn entalpia (h_3). Nuohoushöyryn entalpia on otettu nuohoushöyryn maksimilämpötilasta, jonka on ajateltu olevan 430 °C. Tällöin 30 baarin höyryllä entalpia on noin 3293,7 kJ/kg. Jäädytetty höyry on 350 °C ja taulukon mukaan sen entalpia on 3115,3 kJ/kg. (Sirén 2017) Höyryn luovuttamaksi energiaksi saadaan

$$\Delta h = h_1 - h_3 \quad (4)$$

Sijoittamalla kaavaan (4) arvot höyryn luovuttamaksi energiaksi saadaan:

$$\Delta h = 3293,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 3115,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 178,4 \text{ kJ/kg}$$

(kotiposti www-sivut 2019)

Nuohoushöyryn ruiskutusveden maksimitarve ($q_{r,max}$) saadaan laskettua seuraavalla kaavalla

$$q_{r,max} = \frac{\Delta h}{(\Delta h + h_2)} \times q_{max}. \quad (5)$$

Sijoitetaan arvot kaavaan (5) ja saadaan ruiskutusveden maksimivirtaukseksi:

$$q_{r,max} = \left(\frac{178,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{\left(178,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 2872,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)} \right) \times 7 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 0,41 \text{ kg/s}$$

missä,

Δh = höyryn luovuttama energiamäärä

h_2 = ruiskutusveden lämpöenergia

q_{max} = höyryn maksimivirtaus

(kotiposti www-sivut 2019)

Samalla periaatteella laskettu matalapainereduktion jälkeisen höyryn maksimiruiskustarvetta saatiin tulokseksi 8,13 kg/s. Matalapainehöyryn maksimilämpötilaksi valittiin 220 °C ja jäädytetty höyry olisi 160 °C. Matalapainereduktion jälkeisen höyryn maksimivirtaus on 160 kg/s, joten siksi ruiskutusveden tarve on huomattavasti

suurempi matalapainereduktion jälkeisellä ruiskutuksella kuin nuohoushöyryn ruiskutuksella. Yhdistettäessä maksimivirtaukset saadaan ruiskutusveden kokonaisvirtaukseksi noin 8,5 kg/s.

8 HYÖDYT JA KUSTANNUSARVIO

Saadusta poksitiivistetarjouksesta on vaikea arvioida takaisinmaksuaikaa, koska sen kestävyyttä ei tiedetä. Jotta vaihtoehdoisen poksitiivistemallin käyttöönotto kannattaisi, vuosittaisen poksitiivisteiden kulutuksen pitäisi olla yli puolet pienempi. Jos poksitiivisten vuotuisissa kulutusmäärissä päästäisiin suunnilleen samoihin määriin kuin ennen vuotta 2016, olisi poksitiivisten takaisinmaksuaika arvioltaan 3-5 vuotta. Silloin vuotuista säästöä kertyisi noin 60 % siitä summasta, mitä tällä hetkellä menee vuosittaisen poksitiivistemäärän hankkimiseen. Poksitiivisten takaisinmaksuaikaa on laskettu arvioimalla sen kestävyys. Kestävyyttä on arvioitu poksitiivisten vuosittaisena tilausmääränä, joka olisi suunnilleen sama kuin tilausmäärä ennen vuotta 2016. Vaihtoehdoisen poksitiivistemallin takaisinmaksu-aikaan vaikuttaa myös mahdolliset muutokset prosessiin tai sen toimintaan, millä saadaan poksitiivisten käyttöikää pidennettyä.

Tiivistepakan vaihto kestävämpään malliin vähentää nuohointen huolto- ja korjausaikaa, jolloin kattilan tukkeutuminen vähenee. Pitämällä kaikki nuohoimet tasaisella ajolla pysyy kattilan lämpöpinnat pidempään puhtaampina, mikä ylläpitää kattilan hyötysuhdetta ja vähentää tuotannon rajoituksia.

Molemmista jäähdytysjärjestelmän esisuunnitteluvaihtoista on tehty karkeat kustannusarviot. Kustannusarvioissa on huomioitu materiaalikustannukset, kuten instrumenttien ja putkiosuuksien kustannukset sekä järjestelmien rakentamiseen käytetyt työtunnit. Kustannuksissa on huomioitu myös esivalmistelut, kuten rakennusvaiheessa käytettävien telien kustannukset. Lisäksi kummankin version automaatiokustannukset on otettu huomioon, sisältäen tarvittavat materiaalit, työtunnit, ohjelmoinnit ja suunnittelut.

Syöttövesilinjasta otettava ruiskutushaara, eli versio 1 on kustannuksiltaan noin 18 % edullisempi kuin omalla ruiskutusvesipumpulla toimiva järjestelmä, eli versio 2. Sähkö- ja automaatiokustannukset ovat versiossa 1 noin 10 % edullisemmat toteuttaa ja mekaaniset kustannukset olivat versiossa 1 noin 27 % edullisemmat kuin versiossa 2.

Versiossa 1, jossa ruiskutusvesi otetaan suoraan syöttövesilinjasta, ei tarvita erillistä pumpppua tai muita siihen tarvittavia laitteita. Versio 1 on kustannuksiltaan edullisempaa toteuttaa ja käytöltään selkeämpi.

Vaikka versio 2, jossa on oma ruiskutusvesipumppu, on kustannuksiltaan kalliimpi, sen tuomat edut muuhun käyttöön ovat paremmat kuin version 1. Omalla pumpulla varustettu ruiskutusjärjestelmä ei lisää syöttövesipumpun käyttöä, vaan toimii omana järjestelmänä. Toteutuessaan versiota 2 on helpompi modifioida muuhunkin käyttöön soveltuvaksi, esimerkiksi kattilan vesipesuun. Se on käytettävyydeltään parempi, koska se toimii omana prosessina, eikä muutokset syöttövesilinjassa vaikuta siihen.

Höyryn jäähdytysjärjestelmän avulla olisi mahdollista saada molempien höyryverkkojen korkeat lämpötilapiikit karsittua. Nuohoushöyryn tullessa turbiinin aikaisimmasta väliotosta sen lämpötila voi mennä hyvin lähelle esimerkiksi höyrylinjan mitoituslämpötilaa, mikä aiheuttaa varmasti ylimääräistä rasitusta linjaston laitteille. Vaikutuksia voidaan olettaa olevan myös matalapainereduktion jälkeisellä höyryllä, kun se tulee normaalia kuumempaan käyttökohteisiin. Lämpötilat kummassakaan höyrylinjassa ei missään vaiheessa nousisi normaalia huomattavasti korkeammaksi, millä olisi vaikutusta myös prosessin ajettavuuden kannalta.

Varsinaista takaisinmaksuaikaa jäähdytysjärjestelmälle on vaikea arvioida, koska järjestelmän hyödyistä tulleita säästöjä on vaikea määrittää rahallisesti. Jäähdytysjärjestelmän säästö voidaan mitata laiterikkojen vähenemisenä, korjauskustannusten säästönä ja ajettavuuden paranemisenä. Merkittävin säästö tulee matalapainereduktion toiminnan muutoksella ja reduktion jälkeisen höyryn lisjäähdytyksellä, joten siksi se onkin otettu mukaan järjestelmään. Matalapainehöyryn lämpötilan kohoaminen kuormittaa laitteita ja lisää sellun tuotannonmenetysten riskiä. Rahallista säästöä on vaikea

selvittää, koska edullisimmassa tilanteessa ei ole ollenkaan tuotannon menetyksiä, mutta pahimmillaan menetykset voivat olla merkittäviä. Jäähdytysjärjestelmän myötä laitteiden käyttöikä pitenee ja korjaustöistä aiheutuvat kustannukset pienenevät. Jäähdytysjärjestelmä vaikuttaa kaikkiin matalapainehöyryverkon laitteisiin, mutta vaikutuksen suuruutta on vaikea arvioida. Höyryn lämpötilan kohoaminen aiheuttaa ylimääräistä kuormitusta esimerkiksi lauhduttimissa, minkä vaikutuksesta jonkin osaston ajovauhtia saatetaan joutua rajoittamaan.

Höyryn lämpötilan pitämistä järkevällä tasolla lisätään höyrylinjojen ja niihin kuuluvien laitteiden käyttöikää ja materiaalikustannuksia. Liian kuumasta höyrystä aiheutuvat laiterikot ovat turvallisuusriski myös alueen työntekijöille. Ehkäisemällä höyryn lämpötilapiikkien muodostuminen parannetaan laitteiden kestävyyttä ja edistetään työntekijöiden turvallisuutta.

9 YHTEENVETO

Metsä Fibre Rauman sellutehtaan nuohointen käyttöön pidentäminen osoittautui mielenkiintoiseksi ja haastavaksi opinnäytetyön aiheeksi. Nuohointen käyttöikään vaikuttaa monia eri asioita, joiden kunkin vaikutuksen laajuuden arviointi oli haastavinta. Vikatyyppeiden tutkimuksessa käytettyjen historiatietojen pohjalta tehtyjen päätelmien takia tutkimustulokset ovat pääasiassa suuntaa-antavia. Tarkempien tulosten selvittämiseen pitäisi nuohoiimiin ja nuohoukseen tehdä jatkotutkimuksia, joilla voitaisiin varmistaa tutkimustulokset.

Opinnäytetyön tärkeimpänä ongelmana oli nuohoimen vaunun poksitiivisten rikkoontuminen. Poksitiivisteitä on jouduttu vaihtamaan huomattavasti useammin viime vuosina kuin aikaisemmin. Prosessissa ja työskentelyssä on tapahtunut muutoksia, joista tärkeimpänä poksitiivisten uusimistarpeen lisääntymiseen voidaan pitää nuohoushöyryn ottoa turbiinin väliotosta. Tämän seurauksen nuohoushöyryn lämpötila kohoaa joissain tilanteissa huomattavasti aikaisempaa korkeammaksi, mikä on reilusti yli poksitiivisten mitoituslämpötilan. Mikäli nuohoushöyryn jäähdytysjärjestelmä toteutuu, pitäisi lauhdeongelmaan löytyä ratkaisu. Muuten lauhdetta kertyy entistä enemmän, kun höyryä jäähdytetään lähemmäs kyllästymispistettä.

Korkeiden lämpötilapiikkien välttämiseksi turbiinilta otettavaan nuohoushöyrylinjaan esisuunniteltiin ruiskutusjäähdytys. Jäähdytysjärjestelmästä tehtiin kaksi erilaista toteutusversiota ja laskettiin kummankin version kustannusarviot sekä eriteltiin säästökohteet. Jäähdytysjärjestelmään esisuunniteltiin myös matalapainereduktion jälkeisen höyryn jäähdytys, mikä on myös ollut tehtaalla ongelmana. Reduktioventtiilin jälkeen olisi tarkoitus asentaa lisäruiskutus, joka avustaisi jo käytössä olevaa jäähdytystä. Myös reduktioventtiilin jälkeisen höyryn jäähdytyksen toimintaa suunniteltiin toteutettavaksi paremmin olosuhteisiin sopivaksi.

Jotta varsinainen ongelma, eli poksitiivisten uusimistarpeen lisääntyminen saataisiin ratkaistua, pitäisi jäähdytysjärjestelmän lisäksi vaihtaa poksitiiviste kestävämpään malliin. Ajatusta tukee tehtaan neljän matalapainenuohoimen erilainen poksitiivistemalli, joita ei ole tarvinnut uusia niin usein.

Opinnäytetyön aihe on ollut mielenkiintoinen ja antoisa. Olen oppinut paljon uutta niin soodakattilasta ja sen nuohouksesta, sekä nuohoimista ja niiden toimintaan vaikuttavista tekijöistä. Työni aikana olen huomannut, miten monipuolinen prosessi nuohous on, ja kuinka paljon eri tekijät vaikuttavat nuohointen käytettävyyteen. Työtä tehdessä olikin haastavaa osata rajata omaa työtä ja välttää kiinnittämästä liikaa huomiota sivutekijöihin. Kiinnostavaksi työstä teki erilaisten vikatyyppeiden vaikutusten arviointi nuohointen käytettävyyteen ja niiden ratkaisujen pohdinta.

LÄHTEET

Boilergleaning www-sivut. 2019. Viitattu 11.6.2019. <http://www.boilercleaning.org/Literature/brochure/ASD/CFE%20High%20Performance.pdf>

DNA – Rauma.Ink. 2019. MG Citrix Apps.

Hinkkanen, H. 2019. Käynnissäpitomestari, Botnia Mill Service. Joutseno. Henkilökohtainen tiedonanto 27.3.2019.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2004. Höyrykattilatekniikka. 6. p. Helsinki: Edita Prima Oy

Kemikaalilupahakemus. 1995. 16A0259. Oy Metsä-Rauma AB. Jaakko Pöyry

Kotiposti www-sivut. 2019. Viitattu 10.6.2019. <http://www.kotiposti.net/ajniemi-nen/lal.pdf>

Metsä Fibren intranet. KnowPulp oppimisympäristö. v. 17.0. Viitattu 15.5.2019.

Metsä Fibren www-sivut. 2019. Viitattu 9.5.2019. <https://www.metsafibre.com/fi/sahatavara/kayttokohteet/Pages/default.aspx>

Metsä Fibren www-sivut. 2019. Viitattu 9.5.2019. <https://www.metsafibre.com/fi/Sellu/Biokemikaalit-ja-muut-biotuotteet/Pages/default.aspx>

Metsä Fibren www-sivut. 2019. Viitattu 9.5.2019. <https://www.metsafibre.com/fi/yhtio/Pages/default.aspx>

Metsä Fibren www-sivut. 2019. Viitattu 9.5.2019. <https://www.metsafibre.com/fi/yhtio/Tuotantolaitokset/Pages/Rauma.aspx>

Nyqvist, K. 2019. Talteenoton käytettävyysvastaava, Metsä Fibre. Rauma. Henkilökohtainen tiedonanto 4.3.2019.

Rautala, J. 2019. Voimalaitoksen käytettävyysvastaava, Metsä Fibre. Rauma. Henkilökohtainen tiedonanto 28.3.2019.

SAP Logon.Ink. 2019. SAP Logon for Windows.

Seppälä, J. M., Klemetti, U., Kortelainen, V.-A., Lyytikäinen, J., Siitonen, H. & Siironen, R. 2005. Paperimassan valmistus. 2-3.p. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

Siltala, T. 2019. Service Supervisor, Diamond Power Finland Oy. Tuusula. Henkilökohtainen tiedonanto 15.4.2019.

Sirén, P. 2017. Höyrytaulukot. Höyrytekniikan kurssimateriaali.

Soodakattila MB3-SK Laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeet. 1996. Kansio 1501107. Oy Metsä-Rauma AB. Tampella Power.

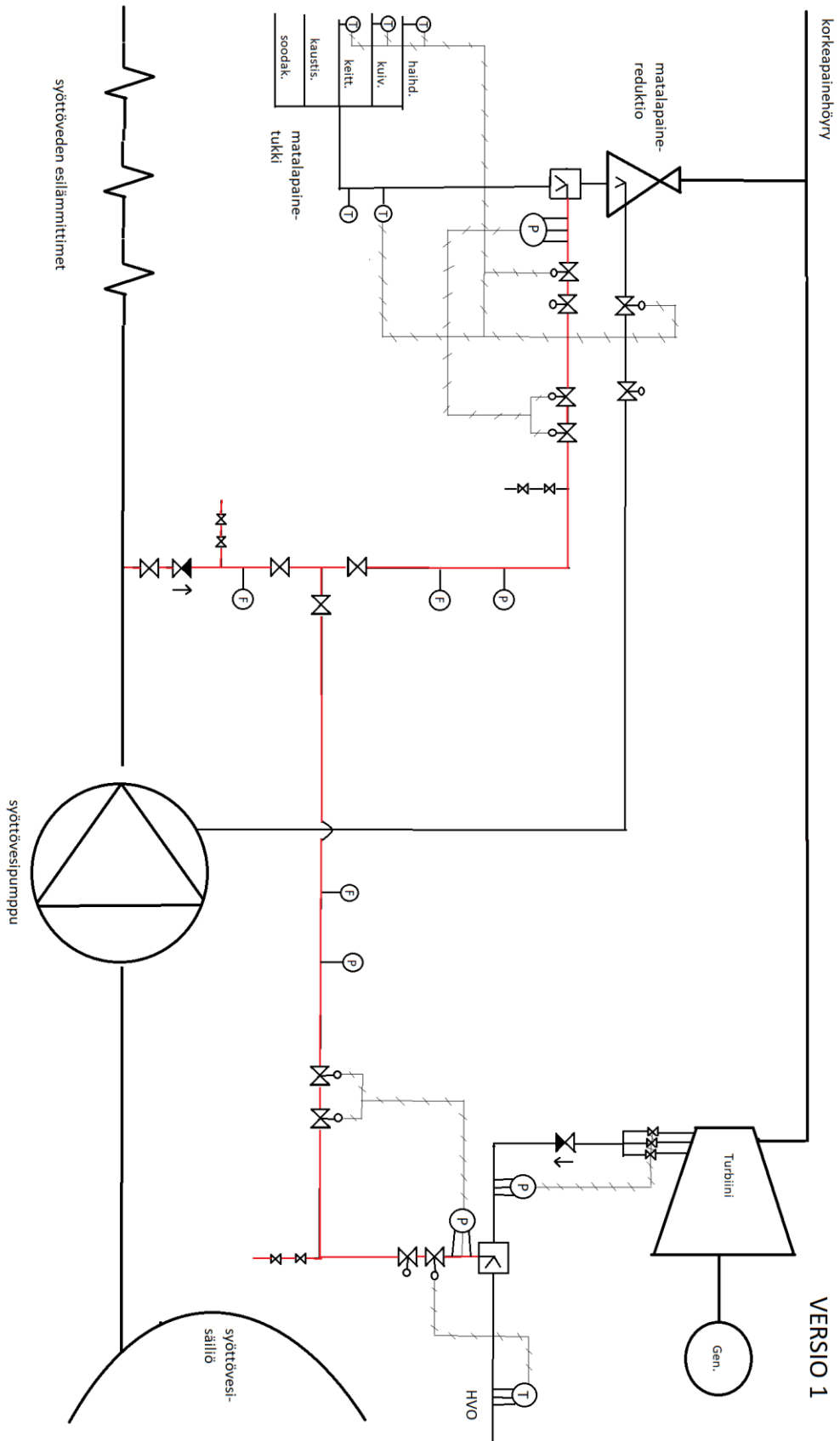
LIITE 1

NUOHINTEN POKSITIIVISTEIDEN RIKKOONTUMISILMOITUKSET JA
LAUHDESUIHKUARVIOT

Nuohoin	Kerros	Ajokerrat	Poksitiivisten vuotoilmoitusten määrä		"Lauhesuihkun" määrä
			2014 - 2016	2017 - 2/2019	arvioitu 1 - 5
5	13	3	1	2	ei arvioitu
6	13	3		2	ei arvioitu
7	12	3	1	4	5
8	12	3	1	1	3
9	14	3	1	5	3
10	14	3	1	2	4
11	14	2	1	4	2
12	14	2	3	5	3-4
13	14	2		1	2
14	14	2		3	4
15	14	2		3	1
16	14	2	1	2	3
17	14	1	3	1	5
18	14	1			4
19	14	1	1	1	3
20	14	1		1	5
21	13	2	1	3	ei arvioitu
22	13	2	1	1	ei arvioitu
23	13	2	2	2	3
24	13	2	2	1	2
25	13	1		1	ei arvioitu
26	13	1			ei arvioitu
27	13	1		1	ei arvioitu
28	13	1			0
29	13	2		2	ei arvioitu
30	13	2		1	ei arvioitu
31	12	1		1	0
32	12	1		1	4-5
33	12	1		1	ei arvioitu
34	12	1	1		ei arvioitu
35	12	1		2	1
36	12	1			1
37	12	1		1	3
38	12	1		1	2
39	12	2	1		4-5
40	12	2		2	3
41	11	1		1	3
42	11	1		2	5
43	11	1		1	ei arvioitu
44	11	1	1	1	ei arvioitu
45	11	1		1	3

46	11	1	1		3
47	10	1	1		4
48	10	1			4
49	10	1		1	ei arvioitu
50	10	1		1	ei arvioitu
51	9	1		1	ei arvioitu
52	9	1	1		5
53	14	2	1	2	ei arvioitu
54	14	2	2		ei arvioitu
55	14	12	5	8	1
56	14	12	2	8	1-2
57	14	1		2	3
58	14	1		1	3
59	13	3		2	2-3
60	13	3		1	1
61	13	12	1	4	2
62	13	12	1	4	0
63	12	4	1	2	ei arvioitu
64	12	4		2	3-4
65	12	1		1	ei arvioitu
66	12	1		1	ei arvioitu
67	12	1		2	1
68	12	1			1
69	11	4		4	4-5
70	11	4	1	2	4-5
71	10	4		3	2
72	10	4	1	3	2
73	10	1		1	ei arvioitu
74	10	1		1	ei arvioitu
75	10	1		2	1-2
76	10	1			1-2
77	9	2	1	2	2
78	9	2	1		2
79	8	1	2		ei arvioitu
80	8	1			ei arvioitu
81	8	1		1	3-4
82	8	1		1	3-4
83	8	1		2	3
84	8	1			1
85	13	2	1	1	ei arvioitu
86	13	2	1	3	ei arvioitu
87	12	2		1	4-5
88	12	2		2	3
89	11	2		1	4
90	11	2		1	5
91	10	1		1	ei arvioitu
92	10	1		2	ei arvioitu
93	9	1			5
94	9	1		1	3

TOTEUTUSVERSIO 1



TOTEUTUSVERSIO 2

