



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SOODAKATTILAN NUOHOUKSEN MODERNISOINTI

TEKIJÄ:

Iiro Sahlman

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Iiro Sahlman	
Työn nimi Soodakattilan nuohouksen modernisointi	
Päiväys 21.9.2020	Sivumäärä/Liitteet 35/4
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Stora Enso Oyj, Enocell	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä soodakattilan likaantumiseen liittyviin asioihin ja Stora Enso Oyj:n Uimaharjun Enocellin tehtaan soodakattilan nuohoinjärjestelmän modernisointiin. Nykyisellään nuohoinjärjestelmä on toteutettu yksiparinuohouksena eli niin, että vain kaksi nuohointa voi nuohota samaan aikaan kattilaa. Samalla nuohouksen ohjelmistoa oli tarkoitus päivittää uudempaan, että se olisi helpompi käyttää ja varaosia olisi saatavilla. Enocellin tehtaalla oli tarkoitus siirtyä ajamaan liukosellua 18 kuukauden jakso, liukosellun valmistuksessa tulee kattilalle enemmän poltettavaa polttoainetta, joten nykyisen soodakattilan nuohousta tuli tehostaa.</p> <p>Opinnäytetyö aloitettiin kartoittamalla nykytilanne ja keräämällä tietoa höyrynkulutuksista. Höyrynkulutuksesta saatiin tietoa käyttöliittymästä. Stora Enso Oyj:n Imatran Kaukopään tehtaalta saatiin käyttäjäkokeuksia vastaavanlaisesta laitteistosta, jota oltiin myös Uimaharjuun hankkimassa. Useampia laitetoimittajia käytiin läpi nuohoinlaitteiston modernisoinnin osalta. Laitetoimittajien ehdotuksia muokattiin Enocellin tehtaan henkilökunnan toiveiden mukaan halutunlaisiksi.</p> <p>Työssä laskettiin myös, kuinka paljon hävitään sähkötehontuotannossa, kun lisätään höyryn käyttöä nuohouksessa. Energiahäviöt tuplaantuivat kaksiparinuohouksen ollessa kokoaikaisessa käytössä, koska nuohoushöyryn massavirta kasvasi 6 -> 12 kg/s. Työssä on otettu kantaa myös siihen, jos yksipari nuohousta käytetään 25 % ajoajasta vuorokaudesta kokoaikaiseen kaksiparinuohoukseen verrattuna. Energiahäviöt ei olleet merkittävin haitta työtä tehtäessä ja ne tiedostettiin jo ennen aloitusta. Investoinnilla haettiin enemmänkin käyttövarmuutta soodakattilalle ja uuden tuotteen tuomiin haasteisiin. Nuohousta käytetään 25 % ajoajasta vuorokaudesta kokoaikaiseen kaksiparinuohoukseen verrattuna.</p>	
Avainsanat Nuohous, soodakattila, selluloosa, hemiselluloosa, lämpöpintojen likaantuminen	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author(s) Iiro Sahlman	
Title of Thesis Sootblowing modernisation on recovery boiler	
Date 21.9.2020	Pages/Appendices 35/4
Client Organisation /Partners Stora Enso Oyj, Enocell	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this study was to get acquainted with issues related to the fouling of recovery boilers at the Enocell mill of Stora Enso oyj in Uimaharju. Black liquor is the main fuel in the recovery boiler, from which water is evaporated so that the moisture content of black liquor is about 75% when injected into the boiler. More hemicellulose is added to black liquor in the production of dissolving pulp than in the production of traditional pulp. Hemicellulose also has a poor calorific value at the same time, so a higher proportion of hemicellulose in black liquor increases load in the recovery boiler and at the same time dirt accumulates on the heating surfaces of the recovery boiler.</p> <p>In the study the operation of Stora Enso's recovery boiler at the Enocell mill was studied. There dissolving pulp is produced. Due to the production of dissolving pulp, the boiler will be under a constantly heavier load and therefore sootblowing of the boiler must be intensified with Enocell's recovery boiler. Boiler sootblowing is enhanced by changing single-pair scrubbing to two-pair scrubbing and changing the user interface to a new type of optimization program from the current list scrubbing. With the modernization of the sootblowers, more operational reliability is sought for the recovery boiler. Another aim is that there will be no need to burn oil or perform additional water wash interruptions.</p> <p>In the study it was also calculated how much is lost in electrical power generation by increasing the use of steam in sootblowing. In the study it is also discussed what happens if sootblowing is used 25 % of the driving time of production compared to full-time two-pair shootblowing.</p>	
<p>Keywords Sootblowing, recovery boiler, cellulose, hemicellulose,</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	STORA ENSO OYJ ENOCELLIN TEHDAS	7
2.1	Uimaharjun tehdas.....	7
2.2	Stora enso OYJ:n Enocellin tehtaan sähköntuotanto	7
3	SULFAATTISELLU TEHDAS	8
3.1	Soodakattila	8
3.2	Lämpöpintojen likaantuminen	9
3.3	Mustalipeä polttoaineena	11
3.4	Sellun valmistus.....	13
3.5	Hemiselluloosa.....	14
4	DCS JA LOGIIKAT	15
4.1	Automaatio.....	15
4.2	Valmet DNA.....	15
5	HÖYRYNUOHOUS	17
5.1	Höyrynuohous	17
6	ENOCELL NUOHOUS	20
6.1	Nuohousohjelma nykyinen.....	20
6.2	Nuohousohjelman päivitys	21
6.3	Höyrynkulutus 1-parinuohouksella.....	21
6.4	Höyrynkulutus kaksiparinuohouksella	22
6.5	Höyrynkulutus osittaisella kaksiparinuohouksella	23
6.6	Putkistosuunnittelu.....	23
6.7	Tasomuutokset	25
6.8	Nuohoushöyryn jäädytys	26
6.9	Stora Enso Oyj Imatran tehtaat/Kaukopää.....	26
7	KUSTANNUKSET (PIDETTÄVÄ SALASSA)	
8	POHDINTA.....	29
	LÄHTEET	30
	LIITEET	31
	LIITE 1: PI-KAAVIO SOODAKATTILAN NYKYISESTÄ NUOHONJÄRJESTELMÄSTÄ.....	31
	LIITE 2: SOODAKATTILAN ONGELMAKOHDAT	32

LIITE 3: Sähkötehoaviot	33
-------------------------------	----

KUVALUETTELO

KUVA 1. Soodakattilan rakenne	9
KUVA 2. Uimaharjun soodakattilan likaantumisen ongelmakohdista.	11
KUVA 3. Tyypillinen mustalipeän analyysi. (Knowpulp 2020.)	12
KUVA 4. Ligniinin ja kuidun erottaminen. (Knowpulp 2020.).....	14
KUVA 5. Valmet DNA – automaatiojärjestelmän rakenne (Valmet Automation: DNA esite 2018)	16
KUVA 6. Havainnekuva ulosvedettävän nuohoimen toiminnasta. (Voimalaitoskirja 2020.)	17
KUVA 7. Höyrynuohoimen rakenne (Clyde Bergemann Power Group)	18
KUVA 8. Nykyinen nuohouksen ajonäyttö. (Enocell/Voima experion 2020).	19
KUVA 9. Muutosehdotus nuohousjärjestelmään. (Valmet 2020).....	23
KUVA 10. Havainnekuva tasonlisäystarpeesta. (Valmet 2020).	24
KUVA 11. PI-kaavio jäähdytys ehdotelma. (Valmet 2020).	25
KUVA 12. Kaukopään nuohouksen käyttöliittymästä. (Sähköpostikeskustelusta Kaukopään edustajalta).....	26
KUVA 13. Kaukopään käyttöliittymästä ajo-ohjelmasta kuvakaappaus. (Sähköpostikeskustelu Kaukopään edustajan kanssa. 2020).	

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on tehdä esiselvitys kustannuslaskemiseen Uimaharjun sellutehtaan soodakattilalle nuohouksen modernisointia varten. Työn tilaajana oli Stora Enso Oyj:n Enocellin tehdas. Tarkoituksena on käydä läpi yksiparinuohouksen ja kaksiparinuohouksen hyötyjä ja haittoja. Uimaharjun sellutehdas on siirtymässä 18 kuukauden liukoselluntuotantoon molemmilla kuitulinjoillaan, jonka takia nykyistä soodakattilan nuohousta tulee tehostaa. Soodakattilan käyttövarmuutta halutaan parantaa kaksiparinuohouksella ja nuohouksen käyttöliittymän päivityksellä.

Nuohoinjärjestelmään on tarkoitus rakentaa rinnalle mahdollisuus nuohota kahta nuohoinparia kerralla. Tarkoituksena on myös, että voidaan vielä tulevaisuudessakin nuohota yksiparinuohouksella tarvittaessa pienemmillä ajoilla, jolloin saadaan lisättyä käyttövarmuutta nuohouksen osalta. Liukoselluntuotannossa tulee hemiselluloosaa mustalipeän sekaan perinteiseen selluvalmistukseen suhteutettuna enemmän. Liukoselluntuotannossa on siis suurempi määrä poltettavaa polttoainetta, joka kerryttää kattilan lämpöpinnoille tuhkaa.

Soodakattilan nopean likaantumisen takia nuohoimia ei pystytä huoltamaan kriittisiltä alueilta ajon aikana, koska vaarana on, että kattila menee tukkoon nuohoimien korjauksien aikana. Soodakattilalla ajetaan normaalituotannossa mustalipeää n. 3 300 tka/d tahdilla ja nykyinen nuohousjärjestelmä on suunniteltu toimimaan 3 000 tka/d. Lisääntyneen liukoselluntuotannon myötä soodakattilan poltettava kuorma tulee kasvamaan 3 600:sta aina 3 900 tka/d asti. Nykyisen nuohous ohjelman on tehnyt Honeywell, joka on tehty Pascal-ohjelmoinnilla. Käyttöliittymä on itsessään melko hankala käyttää ja nuohouksen resepteihin muutoksien tekeminen on monimutkaista.

2 STORA ENSO OYJ:N ENOCELLIN TEHDAS

2.1 Uimaharjun tehdas

Uimaharjun sellutehdas eli Enocell on Stora Enso Oyj:n sulfaattisellutehdas Uimaharjussa Pohjois-Karjalassa. Tehdas on perustettu vuonna 1967 korvaamaan paikkakunnalta vuonna 1952 lopetettua Kaltimon pahvitehdasta. Tehtaan kapasiteetti oli (2019) 490 000 tonnia t/a koivu- ja mäntysellua. Henkilökuntaa Enocellin tehtaalla on tällä hetkellä n. 180. Tehtaalla on kaksi erillistä tuotantolinjaa, joita molempia linjoja ajetaan erikseen. Uimaharjussa havukuitupuusta valmistetaan valkaistua sellua, ja koivukuitupuusta liukosellua. Liukosellusta valmistetaan tekstiilejä ja erikoistuotteita. Tulevaisuudessa Uimaharjun tehtaan on tarkoitus siirtyä pelkästään liukosellun valmistukseen molemmilla tuotantolinjoillaan.

2.2 Stora Enso oyj:n Enocellin tehtaan sähköntuotanto

Stora Enso oyj:n Enocellin tehtaalla on oma kuorikattila ja voimalaitos. Enocellin tehtaan sähköntuotanto Uimaharjussa oli vuonna 2019 650 GWh. Kuorikattila on tyypiltään leijukerroskattila, jonka polttoaineena käytetään tuotantoprosessin alkupäästä saatavaa puunkuorta. Kuorikattilan maksimi sähköteho on 107 MW. Sähköntuotannosta n. 360 GWh käytetään sellutehtaan omaan käyttöön, loput tuotetusta sähköstä menee myyntiin Fingridille, Sahalle ja Mantsiselle. Kokonaismyynti sähköstä oli vuonna 2019 n. 222GWh. Sähköstä noin 97 % tuotetaan biopolttoaineilla. Samalla alueella toimiva Stora Enso Wood Productsin Saha ostaa käyttämänsä lämmön ja sähkön sellutehtaalta. (Stora Enso 2020.)

Turbiinit käyttävät Enocellin tehtaan soodakattilan höyryä sähkön tuotantoon 364 MW verran. Tehdään tarpeisiin otetaan 80 bar:n prosessihöyryä ja turbiinin väliotosta otetaan välipainehöyryä 11 bar:n ja matalapainehöyryä 4 bar:n paineella. Turbiinin ollessa poissa käytöstä höyry ajetaan reduktioaseman läpi kolmen korkeapaine- ja kahden matalapaineventtiilin läpi. Turbiinin on toimittanut tehtaalle ABB Turbinen Nürnberg GmbH. Soodakattilan savukaasut puhdistetaan neljän kolmekenttäisen sähkösuotimien ja savukaasupesurin kautta. Savukaasupesurista otetaan pesuvedestä hukkalämpöä talteen ja käytetään sellutehtaan prosesseissa hyödyksi. Kuorikattilalla on kaksi kappaletta sähkösuotimia, joissa molemmissa on yhdet kentät.

Uimaharjun Enocellin sellutehtaan nykyinen soodakattila on käynnistynyt vuonna 1992, Uimaharjun tehtaan ajettavat sellulaadut on vaihtuneet useaan kertaan. Uimaharjun sellutehtaalla pystytään ajamaan seuraavia sellulaatuja mm. Koivuliukosellu, Havuliukosellu, Supreme, Supreme Plus, Supreme strong ja Mixed. Liukosellulaaduista jalostetaan kangaskuituja ja muista laaduista paperia yms. Alkuperäinen soodakattila on suunniteltu käsittelemään n. 3 000 tka/d mustalipeää tuottaen samalla 128 kg/s tuorehöyryä.

3 SULFAATTISELLUTEHDAS

3.1 Soodakattila

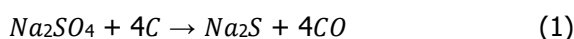
Soodakattila on prosessikattila, jonka tehtävänä on palauttaa sellunkeitossa käytetyt kemikaalit takaisin prosessiin uudelleen käytettäväksi. Keittokemikaalien palautuksen lisäksi soodakattilan tehtäviä on tuottaa höyryä, lämpöä ja sähköä tehtaan tarpeisiin. Soodakattilat ovat alikriittisiä luonnonkiertokattiloita. Soodakattiloiden tuorehöyryjen arvot ovat yleensä melko matalia, noin 85 bar ja 480 °C. (Vakkilainen 2005, 1–6, 1-10.)

Soodakattilassa poltetaan mustalipeän seassa olevat orgaaniset aineet, joista saadaan lämpöä veden muuttamiseksi höyryksi. Samaan aikaan palamistapahtuman aikana sellunkeittoprosessissa keittoneesteeseen sitoutuneet sellunkeitonkemikaalit reagoivat ja vapautuvat mustalipeästä tulipesässä. Rikki pelkistyy natriumsulfidiksi ja natrium muodostaa hiilidioksidin kanssa reagoidessaan natriumkarbonaattia. Kattilan tulipesässä tapahtuvan reaktion lopputulos on natriumsulfaatti. Natriumsulfidiksi pelkistyvän natriumsulfaatin määrää mitataan reduktioasteena. Palamisprosessin kemiallisena lopputuotteena tulee kemikaalisulaa. Kemikaalisulaa tulee soodakattilan alaosan sulakouruista, joka sisältää natriumkarbonaattia, natriumsulfidia, ja natriumsulfaattia. Kemikaalikierron aikana sulakourusta tuleva kemikaalisulan kemikaalit otetaan talteen ja käsitellään uudelleenkäytettäväksi sellunkeittoa varten. (KnowPulp 2020.)

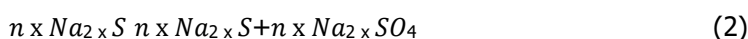
Soodakattilan pääpolttoaineena käytetään mustalipeää, joka väkevöidään haihduttamalla. Väkevöidystä mustalipeästä käytetään nimeä vahvalipeä. Mustalipeän Kuiva-ainepitoisuus vaihtelee 65 - 85 % välillä, ja kuiva-aineesta noin 60 % on orgaanista ja 40 % epäorgaanista ainesta. Kuorma- ja käynnistyspolttimissa käytetään yleensä öljyä tai kaasua. (Raiko 2002, 525)

Mustalipeä syötetään kattilaan ruiskutusaukoista lusikkasuuttimella sopivana lipeäsuihkuna. Lusikkasuuttimessa kuumaa mustalipeää syötetään paineella lusikan muotoista suutinta kohti, jolloin lipeäsuihku muuntuu pieniksi pisaroiksi. Lipeäpisaroiden tulisi olla niin pieniä, että reaktiopinta-alaa olisi riittävästi. Mustalipeän ruiskutuksen pisarakokoa voidaan säätää muuttamalla painetta ja lämpötilaa. (Raiko 2002, 530)

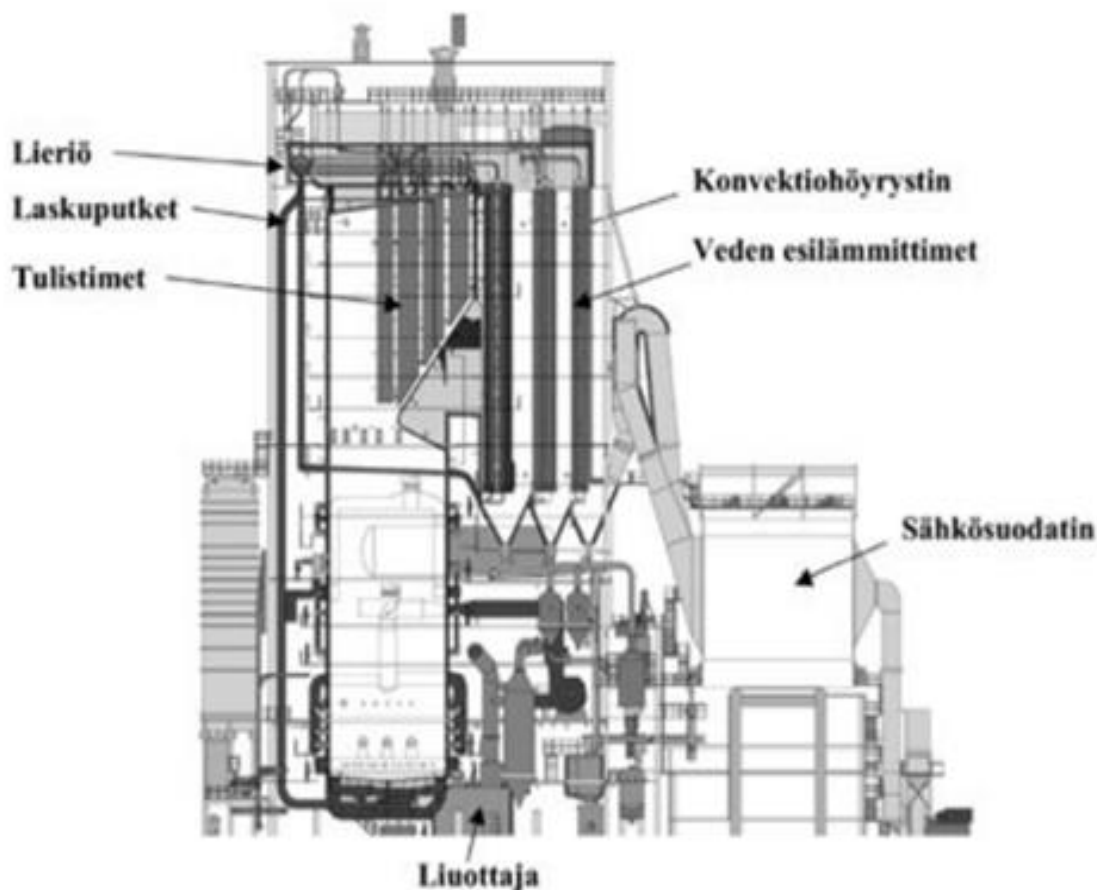
Lopulta mustalipeästä muodostuu kattilan pohjalle keko, jossa tapahtuu kemikaalien kierrätyksen kannalta tärkein reaktio kemikaalien palautuksen osalta, natriumsulfaatin pelkistyminen natriumsulfidiksi. Reaktio esitetty alla olevassa yhtälössä. (Raiko 2002, 543)



Pelkistymisreaktio tapahtuu, kun kekoon kertyy palamatonta hiiltä, kaavan 1 mukaisesti, että pelkistymisreaktion tapahtuu, on keossa oltava noin 1 000 °C lämpötila, sekä vähäinen määrä happea. Ilmajaon avulla saadaan aikaan vähähappinen ympäristö keolle. Pelkistymisreaktion tuloksien onnistumista kuvataan reduktioasteella, joka on esitetty alla olevassa kaavassa (2). (Raiko et al. 2002, s. 543)



Missä n on ainemäärä (mol). Kemikaalisula eli pelkistynyt sula valuu soodakattilan alaosassa olevia sularännejä pitkin liuotussäiliöön, jossa se liukenee viherlipeäksi. Soodakattilan palamisilma tuodaan kattilaan useammassa tasossa. Tulipesässä alimpana sijaitsevien primääri-ilmapuhaltimien avulla hallitaan kekoa, ja varmistetaan että keon lämpötila olisi lähellä 1000 °C. Sekundääri-ilmapuhaltimilla taas poltetaan kiinteä hiili, ja lipeästä haihtuneet eri hiilyyhdisteet. Tertiääri-ilmapuhaltimen avulla poltetaan savukaasujen mukana tulevat orgaaniset aineet ja samalla hallitaan kattilassa olevan palon kokoa. (Huhtinen 2008, 72)



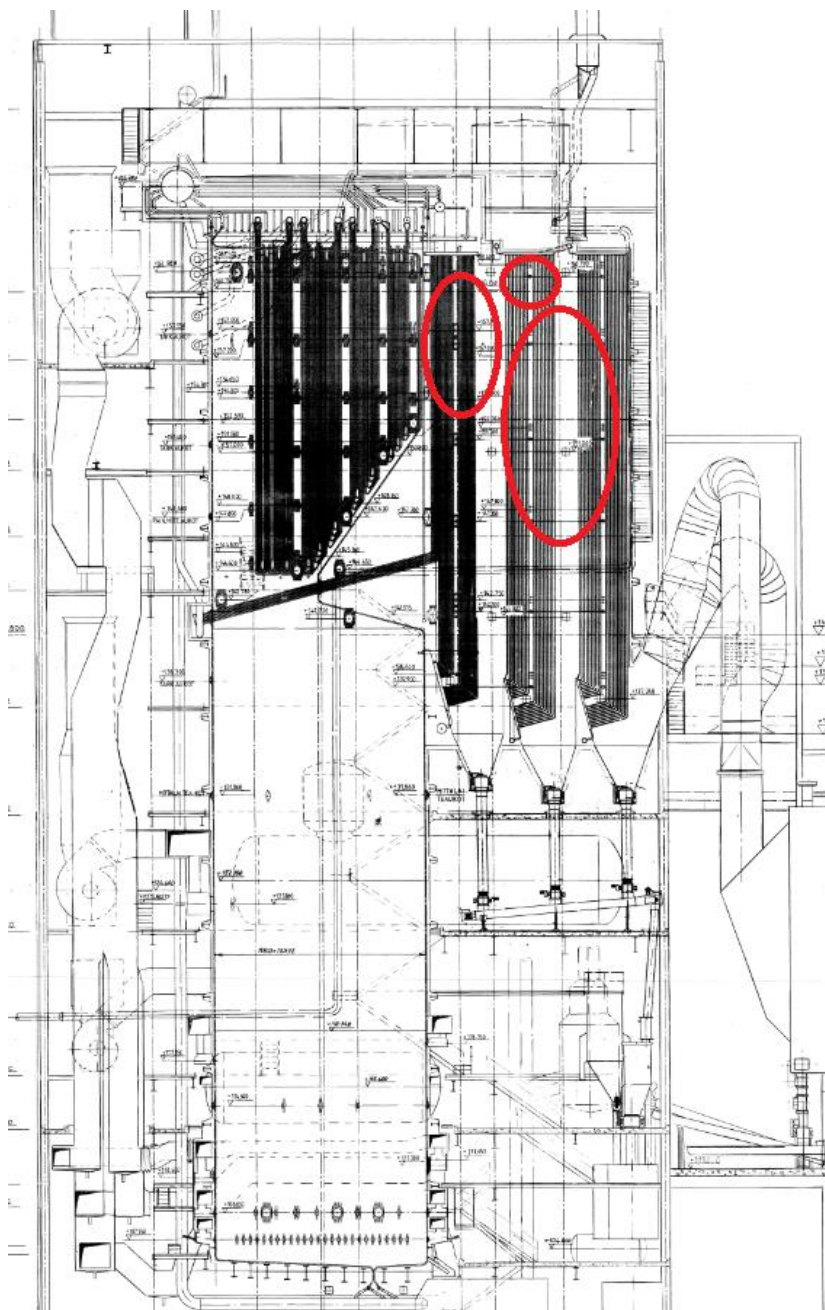
KUVA 1. Soodakattilan rakenne (Voimalaitostekniikka 2020)

3.2 Lämpöpintojen likaantuminen

Likaantumisongelmat koskettavat kaikkia kattiloita, joissa poltetaan tuhkapitoisia polttoaineita. Polttoaineen palamatta jäävä tuhka likaa lämpöpintoja, koska niihin tiivistyy höyrystyneitä alkaleita (esim. Na, K). Lämpöpinnoille tarttuu sulaa tuhkaa ja niihin kiinnittyy suoraan törmäämällä kiinteitä partikkeleita. Kiinteiden tuhkapartikkelien suorasta törmäyskiinnittymisestä ei usein aiheudu suuria ongelmia, koska tällaiset likakerrokset on helppo irrottaa kattilapinnoista nuohoamalla. Pinnat on kuitenkin puhdistettava riittävän usein, jotta tuhkapartikkelit eivät ehdi sintraantumalla takertua toisiinsa. Nuohouslaitteita käsitellään erikseen kohdassa (Luku 5.1. Höyrynuohoimet). (Voimalaitostekniikka 2020).

Likakerrokset heikentävät lämmön siirtymistä savukaasuista jäähdyttävään ainevirtaan. Lämmönsiirtimien lämpöpinnoille kiinnittynyt tuhka huonontaa lämmönsiirtimen lämmönläpäisykykyä ja tietyn lämpötehon siirto vaatii suuremman lämpöpinnan saavuttaessaan saman tehon. Käytännössä lämpöpintojen likaisuus näkyy siitä, että likaantunut lämmönsiirrin jäähdyttää huonommin savukaasuja ja savukaasun lämpötila nousee. Likakerroksen ollessa riittävän paksu saattavat liian kuumiksi jääneet savukaasut voi johtaa, jopa puhtaiden lämpöpintojen ylikuumenemisen. Lisäksi paksut tuhkerrokset aiheuttavat kattilassa virtausvastuksia savukaasuille, jotka heikentävät kattilan tehoa merkittävästi. Lämmönsiirtimien painehäviöitä tai savukaasun loppulämpötilan nousua voidaan pitää merkkinä lämmönsiirtimien likaisuudesta ja nuohoustarpeesta. Palamisen yhteydessä tuhkassa olevat alkalit voivat höyrystyä. Tämän jälkeen alkalit tiivistyvät yleensä ensimmäisten tulistinputkien pinnoille tai kiinteytyvät savukaasuvirtaan lämpötilan laskiessa. Mikäli lämpötila on riittävän korkea voi lämpöpinnoille muodostua tahmea kerros, joka kerryttää leijuvaa tuhkaa nopeasti itseensä. Likakerroksia syntyy lähinnä kattilan keski- ja yläosiin ja niiden puhdistaminen on työläämpää kuin kiinteiden pölyhiukkasten poistaminen. Sulat kerrostumat metallien pinnalla ovat ongelmallisia, koska sulatuhka edistää ennenaikaista kattilaputkien syöpymistä. Sulan tuhkan tarttuminen tulipesän jälkeisiin lämmönsiirtimiin estetään pitämällä savukaasujen loppulämpötila tulipesän yläosassa 40 - 50 °C tuhkan sulamislämpötilaa alempana. (Voimalaitostekniikka 2020)

Uimaharjun Enocellin soodakattilalla likaantumisen ongelmakohtina ovat ekonomaiserin 2:sen sisäänmeno ja keittopinnan keskiosa, jotka on esitetty kuvassa 2. Tuhkan kertyminen aiheuttaa kattilan putkistoihin syöpymiä ja heikentää kattilan tuottamaa lämpötehoa aiheuttaen samalla myös muita teknisiä ongelmia. Kattila likaantuu normaalia selluntuotantokattilaa nopeammin, koska Uimaharjussa valmistetaan liukosellua, josta tulee mustalipeän sekaan enemmän hemiselluloosaa perinteistä sellunkeittoa enemmän ja näin ollen poltettavaa polttoainetta on enemmän.



KUVA 2. Uimaharjun soodakattilan likaantumisen ongelmakohdista. (Enocell arkisto 2020) Mustalipeä polttoaineena

Sulfaattiselukeitto koostuu valkolipeästä ja hakkeen mukana tulevasta vedestä, pasutusvaiheen lauhteesta. Mustalipeälisäyksellä säädetään keittimen nesteen ja puun balanssia. Keiton aikana keittoseoksen valkolipeän tehollisten alkaliin (natriumhydroksidi, NaOH:n ja natriumsulfidi, Na₂S), sekä lämmön vaikutuksesta, puun ligniini ja muut orgaaniset yhdisteet liukenevat keittonesteseen. Keittovaiheessa vaikuttavat alkalit, natriumsulfidi ja natriumhydroksidi, kuluvat keiton kemiallisten reaktioiden aikana hiilhydraattien purkautumisreaktioihin, sekä happamien ryhmien neutraloimiseen. Keiton aikana keittoliemen aktiivikemikaalit muuttuvat passiivisiksi ja alkalia kuluu havupuusulfaatti-keitossa noin 150 kg NaOH/t puuta. (KnowPulp 2020.)

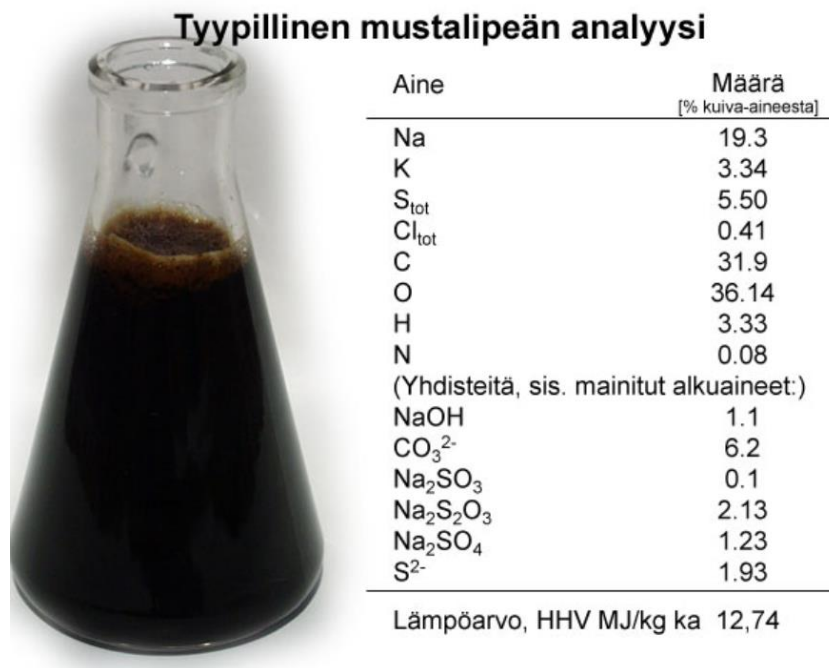
Sellumassan pesuprosessissa eroon otetusta laihamustalipeästä poistetaan vettä haihduttamalla. Vettä haihdutetusta laihamustalipeästä syntynyt mustalipeä saadaan poltettavaksi polttoaineeksi soodakattilaan. Soodakattilassa poltettavan mustalipeän kuiva-ainepitoisuuden tulisi olla vähintään 60 % sularäjähdyksvaaran takia. Haihduttamolta soodakattilalle polttoon kelpaavassa muodossa mustalipeän kuiva-ainepitoisuus tulisi olla n. 70 - 75 %. (KnowPulp 2020.)

Nykytekniikalla päästään vielä parempiin kuiva-ainepitoisuuksiin. Uusimmissa soodakattiloissa käytetään 75 - 80 % kuiva-ainepitoisuuksia. Uimaharjun sellutehtaalla mustalipeän kuiva-aineen osuus haihduttamolta lähtiessä on n. 75 % ja noin 130 °C lämmintä.

Mustalipeän liiallinen haihdutus lisää merkittävästi mustalipeän seassa olevan kuiva-aineen viskositeettiä, joka taas tuo haasteita mustalipeän pumppauksen ja sumutuksen osalta. Polttolipeän suurempi kuiva-ainepitoisuus kasvattaa taas soodakattilan höyryntuotantoa vähentäen savukaasujen rikkidioksidi (SO_2) pitoisuuksia, jonka takia nykyisillä soodakattiloilla halutaan nostaa kuiva-ainepitoisuuksia mustalipeän osalta suuremmiksi. (Vakkilainen 2004.)

Kemiallinen koostumus muuttuu laihamustalipeän osalta pesussa ja haihduttamalla. Prosessissa lipeä saattaa kuitenkin hapettua, samalla saadaan haihdutettua kaikki veden mukana tulleet aineet, joilla on suurempi haihtuvuus, kuin vedellä. (KnowPulp 2020.)

Tyypillinen mustalipeän alkuainekoostumus mäntypuuta raaka-aineena käyttävässä sulfaattisellutehtaassa on: 31,9 % hiiltä, 3,3 % vetyä, 36,1 % happea, 19,3 % natriumia, 5,5 % rikkiä, 3,3 % kaliumia ja 0,4 % klooria. Kuvassa 3 näkyy tarkemmat tiedon mustalipeän koostumuksesta. (KnowPulp 2020.)



KUVA 3. Tyypillinen mustalipeän analyysi. (Knowpulp 2020)

Kemiallisen massan valmistuksessa syntynyt jäteliemi sisältää noin 50 % puun kuiva-aineesta, sekä lähes kaikki keittoon lisätyt kemikaalit. Jäteliemi sisältää näin ollen, sekä epäorgaanisia että orgaanisia yhdisteitä. Sellumassan seasta erotettu jäteliemi erotetaan pesureissa. Edellä mainitun prosessin tuotosta sanotaan laihamustalipeäksi. Mustalipeää erottuu myös vielä sellumassan pesuvaiheissa. (KnowPulp 2020).

Mustalipeä on epäorgaanisista yhdisteistä koostuva sellunkeiton välituote, joka syntyy sellunkeitossa, kun keittokemikaalien vaikuttavat alkalit eli natriumhydroksidi (NaOH) ja natriumsulfidi (Na_2S) liuottavat puukuituja sitovan orgaanisen aineen keittokemikaalien joukkoon. (Raiko et al. 2002, 522.)

Mustalipeässä on myös orgaanisia yhdisteitä eli ligniiniä, hemiselluloosaa ja eri uuteaineita. Orgaaniset aineet palaessaan luovuttavat runsaasti lämpöä. Alkaliensa lisäksi mustalipeä sisältää myös natriumkarbonaattia (Na_2CO_3), natriumsulfaattia (Na_2SO_4) ja natriumtiosulfaattia ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Sellumassan pesu ja haihdutus muuttavat mustalipeän koostumusta niin, että pesuvaiheessa ilman happipitoisuus hapettaa mustalipeän natriumsulfidin polysulfidiksi tai natriumtiosulfaatiksi. Mustalipeässä oleva rikkivety ja metanoli häviää haihdutuksessa. (Knowpulp 2020.)

3.3 Sellun valmistus

Keittoprosesseja on kahdenlaisia eräkeitä ja jatkuvatoimisia keittäjäjä. Eräkeitossa sellun keitto tapahtuu sekvensseissä ja keittäjäjä keittäjäjällä on useita. Yhdestä keittäjäimestä saadaan aina yksi valmis keitto kerrallaan. Uimaharjun sellutehtaalla sellun keitto tapahtuu eräkeitimillä. Eräkeitimiä on kaiken kaikkiaan molemmilla linjoilla yhteensä 14 kappaletta. Jatkuvatoimisessa keitossa eli vuokeitossa haketta ja kemikaaleja syötetään jatkuvasti keittäjäimen yläpähän ja massaa poistetaan keittäjäimen alapäästä. Keitin on jaettu eri vyöhykkeisiin, jossa sellunkeiton eri vaiheet tapahtuvat. (Knowpulp 2020.)

Sekä erä- että vuokeitosta löytyy useita eri muunnelmia, jotka perustuvat erilaisiin keiton aikana tehtäviin liemenvaihtoihin. Näin pyritään reaktio-olosuhteita muuttamalla parantamaan sellumassan laatua ja saamaan kappataso mahdollisimman pieneksi. Näillä toimenpiteillä pyritään myös vähentämään keittäjämiseen tarvittavaa energian määrää. (Knowpulp 2020, Sellun keiton periaate.)

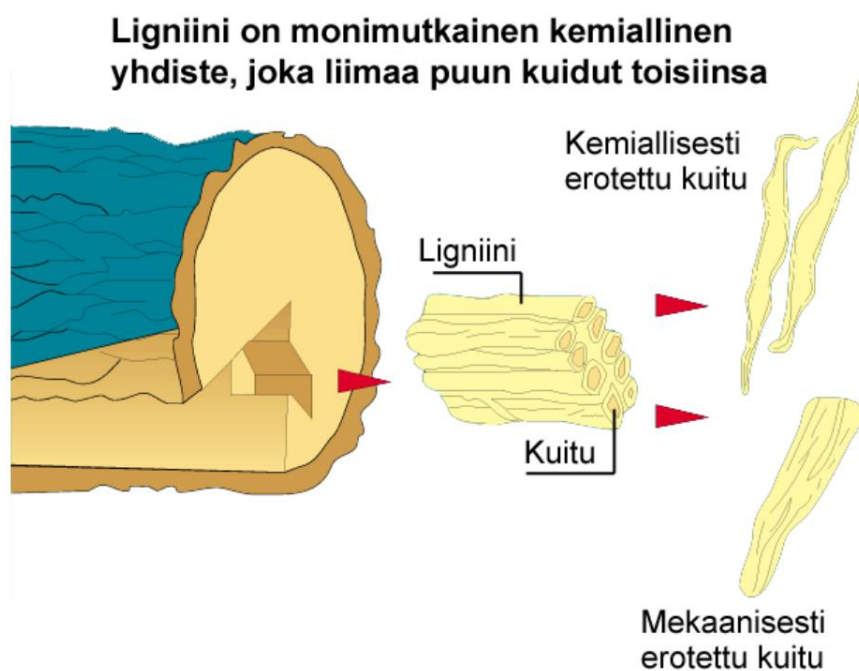
Sulfaattiselluloprosessi pohjautuu vahvan alkalisen liuoksen käyttöön, jossa tehollisista alkaleista natriumhydroksidi toimii keittonesteessä ligniiniä irrottavana kemikaalina ja natriumsulfidi nopeuttaa keiton aikana tapahtuvia reaktioita. Edellä mainittujen toimien ansiosta prosessin tarvitsevaa keittoaikaa voidaan lyhentää ja tuotantoa saadaan tehostettua. Natriumsulfidin käytöllä keittokemikaalina on myös muitakin etuja. Se muun muassa pienentää natriumhydroksidin aiheuttamaa selluloosan liukenemistä keittonesteeseen ja säilyttää puukuidun lujuuden. Perinteisesti keittokemikaaleina käytetään kemikaaleja, jotka liuottavat mahdollisimman paljon ligniiniä ja mahdollisimman vähän selluloosaa. Keittoprosessissa kemikaalien lisäksi tarvitaan runsaasti lämpöä ja yleensä sulfaattisellun keitossa käytettävä keittolämpötila on noin 150 - 170 °C. (Knowpulp 2020, Sellun keiton periaate.)

Keittäjämiseen kulutetun energian vähentämiseksi on keiton kappalukua pyritty laskemaan mahdollisimman pieneksi. Selluntuotannossa ihanteellinen kappaluku on yleensä alle 30. Pienemmällä kappaluvulla on etuna, että valkaisussa ei tarvitse poistaa niin paljon ligniiniä ja myöskin keittokemikaaleja kuluu vähemmän. Valkaisussa poistettava ligniini päättyy lopulta jätevesiin, joten jätevesimäärän

kannalta keittoa on järkevää jatkaa niin pitkälle, kuin mahdollisista. Kappalukua ei kannata kuitenkaan alentaa liikaa keittovaiheessa, koska massan lujuusominaisuudet ja saanto putoavat tietyn pisteen jälkeen huomattavasti. Nykyisellään ligniiniä poistetaan enemmän happidelignifioinnissa, koska ne ovat kehittyneet nopeasti, niin kappatason pienennyksistä on luovuttu. (Knowpulp 2020, Sellun keiton periaate.)

3.4 Hemiselluloosa

Hemiselluloosat ovat useista polysakkarideista kuten arabinoksytaanista koostuvia heteropolymeerejä, joita esiintyy kasvin soluseinissä yhdessä selluloosan sekä ligniinin kanssa. Puun solurakenteessa hemiselluloosa sijaitsee selluloosan muodostamien kuitujen seassa väliaineena ja muodostaa ristsidoksia ligniinin (kuva 4) kanssa. Ligniinin pitoisuus vaihtelee soluseinämän rakenteellisten osien välillä. Hemiselluloosan rakenne on kiteetön ja se on helposti muutettavissa sokeriksi entsyymien, happojen tai emästen avulla. Havu- ja lehtipuiden välillä hemiselluloosien pitoisuuden ja tyypit vaihtelevat. Hemiselluloosat rakentuvat monosakkarideista kuten ksyloosi, mannoosi, galaktoosi, ramnoosi, ja arabinoosi, jotka ovat D- ja L-pentoosi-, että heksoosiryhmien sokereita. Hemiselluloosan takia kattilaan tulee enemmän poltettavaa polttoainetta, mutta hemiselluloosassa on itsessään heikompi lämpöarvo. (Knowpulp 2020.)



KUVA 4. Ligniinin ja kuidun erottaminen. (Knowpulp 2020)

4 DCS JA LOGIIKAT

4.1 Automaatio

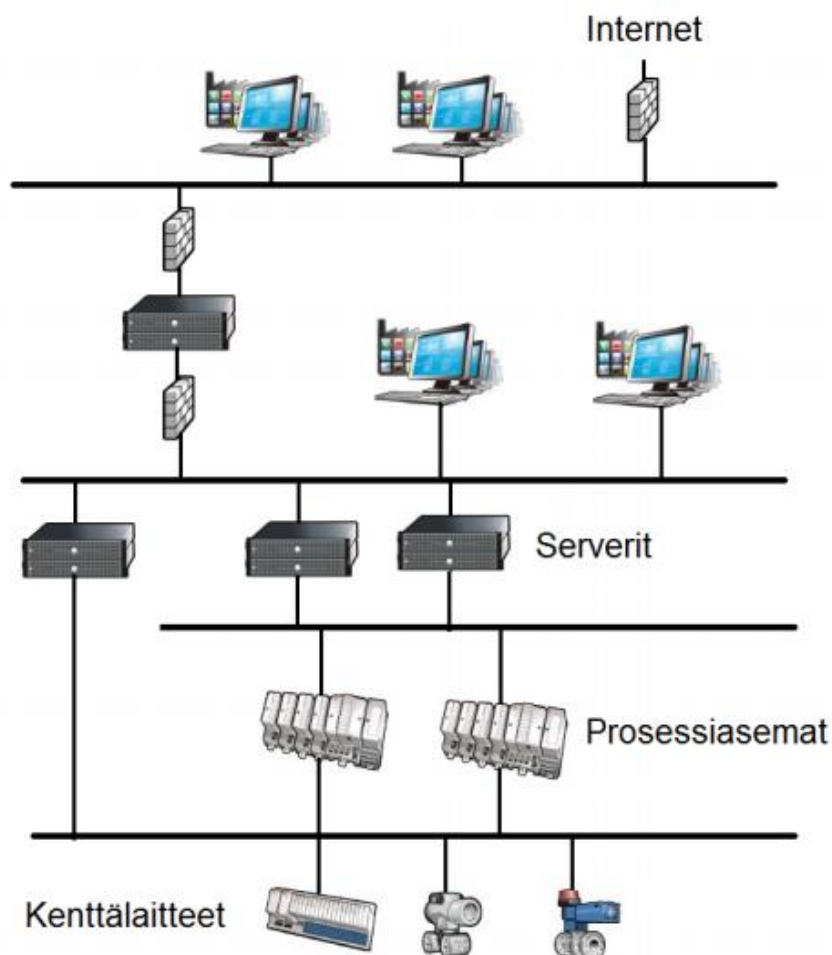
Automaatio on yleistynyt ja kehittänyt koko ajan nykyisissä tehtaissa. Automaation avulla saadaan turvallistettua ja helpotettua työtä esimerkiksi valvontatehtävissä ja laitteiston ohjauksissa. Automatisoidut laitteet ovat nykyisellään melko luotettavia, mutta vaativat kumminkin vielä ihmisen vahtimaan toimintaa. Automaatiolla on saatu raskaat ja vaaralliset työt pois ihmisiltä ja näin pystytään vähentämään henkilövahinko riskejä merkittävästi. (DCS järjestelmän toimintaympäristö automaatiomoniste 2020, 27).

Automaation kehityksellä on pystytty vähentämään jatkuvatoimisissa tehtaissa eri vuorojen välisiä eroja ja on pystytty samalla ajamaan prosesseja tasaisemmin. Tasaisemmalla prosessilla on saatu parempia tuloksia myös laadullisesti. Laadun tasaantuminen on näkynyt myös hylkytuotannon vähentymisenä ja raaka-aine kustannuksien säästöinä. (DCS järjestelmän toimintaympäristö automaatiomoniste 2020, 27)

Tuotannon kasvu voi aiheutua useammasta tekijästä. Tuotantoa voidaan kasvattaa parantamalla prosessien hyötysuhdetta tai kuten edellisessä esimerkissä paremman laadun kautta. Raaka-aineiden tehokkaampi käyttö nostaa tuotantoa ja samalla parantaa tehtaan käyttöastetta. Tuotantoa voidaan tehostaa myös muutostilanteiden paremman hallinnan ja vähentyneiden häiriöiden kautta. (DCS järjestelmän toimintaympäristö automaatiomoniste 2020, 27)

4.2 Valmet DNA

Valmet DNA on hajautettu automaatiojärjestelmä, jolla voi ohjata suuria teollisuuslaitoksia tai yksittäisiä yleensä teollisuuden prosesseja. Automaatiojärjestelmällä voidaan ohjata esimerkiksi prosesseja, koneita, moottoreita ja sähkökäyttöjä. Automaatiojärjestelmään pystytään myös liittämään esimerkiksi kunnonvalvontajärjestelmiä ja raportointiohjelmia. (Valmet 2020.)



KUVA 5. Valmet DNA – automaatiojärjestelmän rakenne (Valmet Automation: DNA esite 2018)

Valmet DNA on hajautettu automaatiojärjestelmä. Prosessi jaetaan osiin siten, että yleensä yksi osaprosessi tai tehtaan osa on tietyn prosessiaseman (PCS, Process Control Server) ohjattavana. Prosessiasemalle ladataan prosessiin räätälöity ohjelma. I/O-liitännät ovat yleensä lähellä prosessia tai sähkökeskuksissa. Prosessiasemat ovat yleensä samoissa serveritiloissa muiden prosessiasemien kanssa. I/O-liitännät keskustelevat prosessiasemien kanssa reitittimien ja kytkimien kautta. Prosessiasemat voivat olla kahdennettuja, jolloin toisen vikaantuminen ei vaikuta järjestelmän toimintaan. ACN I/O-sarjan korteilla ei pysty toteuttamaan esimerkiksi painelaitedirektiivin vaatimia turvatoimintoja. Tämän vuoksi järjestelmään on mahdollista liittää pääautomaatiojärjestelmästä erillinen turvalogiikka, joka toteuttaa vaaditut turvatoimenpiteet, esimerkiksi voimalaitoskattiloilta vaaditun suojatason. Turvalogiikan tehtävä on ajaa prosessi turvalliseen tilaan sille määrätyn laukaisuehtojen toteutuessa. Turva-automaatiojärjestelmät toimivat itsenäisesti pääautomaatiojärjestelmästä välittämättä. Tämä tarkoittaa sitä, että jos niiden välinen yhteys katkeaa ei sillä ole vaikutusta turva-automaation toimintaan, vaan turva-automaatio ohjaa prosessin turvalogiikalle määritellyllä tavalla. I/O-kehikot kytkeytyvät prosessiasemaan kytkimien kautta. Mediamuuntimet liittävät esimerkiksi Profibus DP -kenttäväylän tai toisen automaatiojärjestelmän pääautomaatiojärjestelmään. (Valmet 2020.)

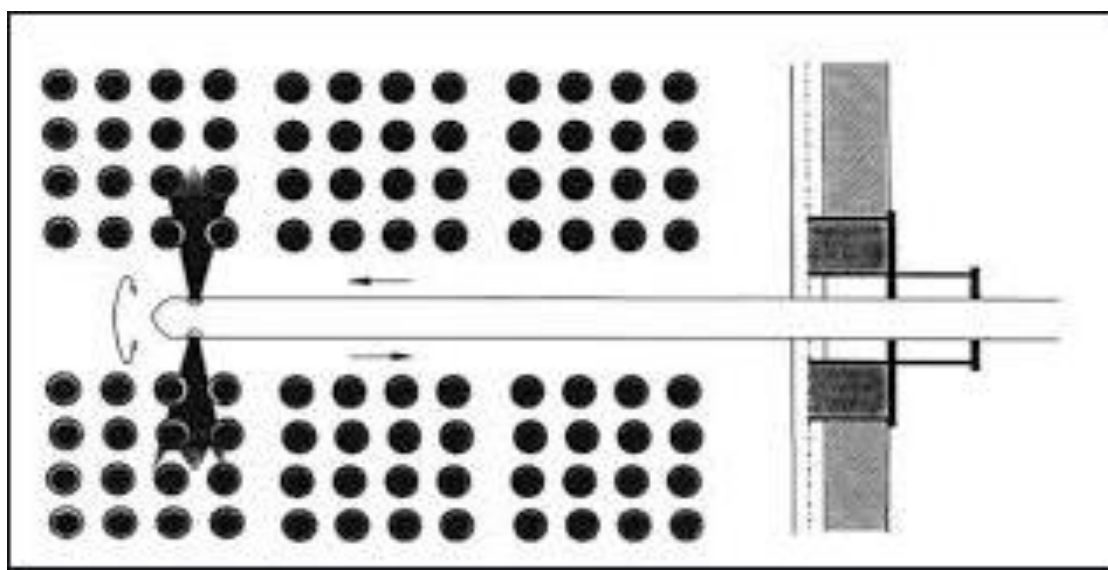
5 HÖYRYNUOHOUS

5.1 Höyrynuohous

Soodakattilan nuohouksessa käytetään yleensä höyrynuohoimia, joita on useita erityyppisiä. Yleisimpiä nuohoimia ovat seinänuohoimet, ulosvedettävät nuohoimet, pyörivät monisuutin-nuohoimet, haravanuohoimet ja pyörivien ilmanesilämmittimien-nuohoimet. Ulosvedettävät nuohoimet ja seinänuohoimet koostuvat edestakaisin liikkuvasta pyörivästä suutinputkesta, joissa on useampi suutinaukko. Monisuutin-nuohoimet eivät liiku ollenkaan kattilan sisällä vaan ovat tuettuja kattilan seinistä tai lämpöpinnoista. (Huhtinen et al. 2000, 214 - 216)

Nuohoimissa voidaan käyttää höyryn lisäksi paineilmaa, mutta se on harvinaista höyryn helpon saatavuuden takia. Paineilmalla haetaan säästöä höyrynkulutukseen, mutta se tuo taas sitten paineilman tuottoon lisäkustannuksia. Nuohoushöyry otetaan yleensä suoraan tulistimilta ja lasketaan höyrylinjassa olevalla venttiilillä haluttuun paineeseen tai höyry voidaan ottaa myös turbiinista välioton kautta. Nuohoushöyryn paine on tavallisesti n. 20 - 30 bar ja höyryn on oltava tulistunutta, koska pisarat voivat aiheuttaa vahinkoa lämpöpinnoille ja aiheuttavat suuria lämpöshokkeja. (Huhtinen et al. 2000, 214 - 216)

Yllä mainituista nuohoinlaitteista yleisimmin käytettyjä ovat ulosvedettävät nuohoimet. Ulosvedettävät nuohoimet sijaitsevat soodakattilan ulkopuolella suuttimen päätä lukuun ottamatta ja nuohoimet työnnetään kattilan sisälle vain nuohouksen ajaksi, ettei nuohoimet pääse vääntymään. Nuohoimesta lähtee tulemaan höyryä vasta siinä vaiheessa, kun nuohoin on mennyt n.10 cm kattilan sisälle, turvallisuussyistä. Nuohoinputkien liikuttamiseen käytetään sähkömoottorilla ja vaihdelaatikkolla toimivaa vaunua. Nuohoushöyrylinjan vesityksellä ja lämpötilamittauksella varmistetaan, ettei höyryn mukana tule pisaroita kattilan lämpöpinnoille. Kuvassa (6) on havainnekuva ulosvedettävän nuohoimen toiminnasta (Huhtinen et al. 2000, 215)

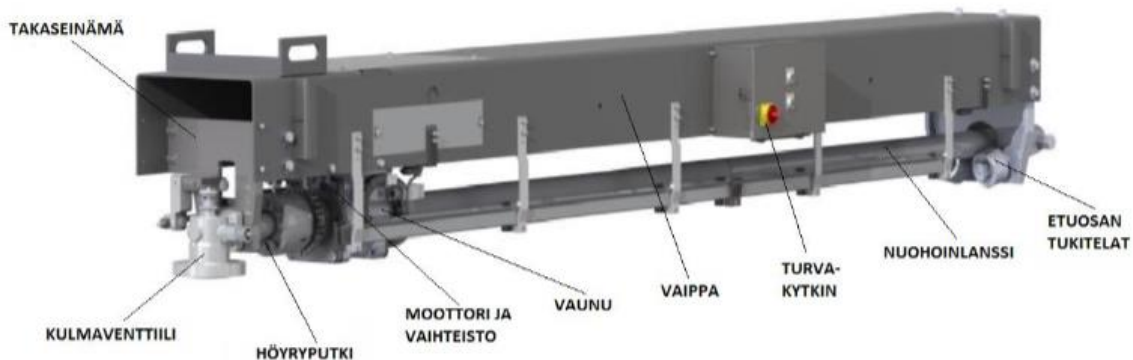


KUVA 6. Havainnekuva ulosvedettävän nuohoimen toiminnasta. (Voimalaitostekniikka 2020.)

Nuohoimen suutinpäistä tuleva höyrysuihku koostuu ydinalueesta, sekä ydinaluetta ympäröivästä turbulentista alueesta. Nokeentumien poistamisen kannalta tehokkain kohta höyrysuihkusta on ydinalue, joka on yleensä 10 - 15 kertaa suuttimen halkaisijan pituinen. Nuohoimen keskiosassa vallitsevaa painetta kutsutaan peak impact pressureksi. Tuhkan irrottamiseksi lämpöpinnoilta on höyrysuihkun kohdistetun paineen oltava noin kaksinkertainen kertyneen tuhkan vetolujuuteen verrattuna. Nuohoinsuuttimet on suunniteltu aina toimimaan tietyllä höyrynpaineella, tällöin suihkun ydinalue on mahdollisimman tasainen. (Phobali et al. 2013, 69 - 70)

Soodakattilan nuohoimet on määritelty toimimaan ennalta tehdyn nuohousohjelman mukaan, joka on suunniteltu varmistamaan tehokas nuohoustulos. Nuohousohjelmia voi olla useampia, joista valitaan tilanteeseen ajotilanteeseen sopiva. Herkemmin likaantuvilla alueilla olevat nuohoimet nuohoavat useammin, kuin taas vähemmän likaantuvilla alueilla. Ulosvedettävillä nuohoimilla on varottava ohjelmaa tehdessä, ettei ylempänä oleva nuohoin irrota suurta kertymää alempana solevan nuohoimen päälle vahingoittaen kattilassa sisällä olevaa nuohoinputkea. Lämpöpinnoille kertyvä lika on hyvin erityyppistä eri puolilla kattilaa, ja siksi nuohoimissa käytetään erilaisia suuttimia ja nuohouspaineita. Mikäli kertymät ovat hauraita, lika irtoaa hyvin nopeasti suihkun osuessa likaan. Siksi nuohousteho on hyvä tällaisilla nuohousalueilla, vaikka nuohoin liikkuisikin nopeasti lämpöpintojen ohi. Sisäänmenomatallaan nuohoin poistaa suurimman osan heikoimmista kertymistä. Nuohoinhöyryä on siis mahdollista säästää liikuttamalla nuohointa nopeammin, tai vähentämällä nuohoushöyryn määrää nuohointa takaisin vedettäessä. (Vakkilainen 2018)

Nuohoustarpeen määrittäminen sopivaksi on tärkeää soodakattilan käyttövarmuudelle. Oikein määritetyn nuohoustarpeen avulla pystytään varmistamaan kattilan mahdollisimman tehokas toiminta ja säästämään nuohoushöyryä. Nuohoustarpeen määrittämisen apuna käytetään prosessista saatavia mittauksia. Nuohoustehoon liittyviä yleisimmin käytettäviä mittareita ovat kattilan vetohäviö lämmönsiirtopinnan yli ja savukaasujen lämpötila. (Leviskä 1999, 108.)



KUVA 7. Höyrynuohoimen rakenne (Clyde Bergemann Power Group 2020)

Uimaharjun Enocellin soodakattilan nuohoimet ovat ulosvedettäviä höyrynuohoimia merkiltään Bergemann kuvassa 7 näkyvä havainnekuva Enocellin tehtaalla käytettävistä höyrynuohoimista. Enocellin soodakattilasta ulosvedettäviä höyrynuohoimia löytyy kaiken kaikkiaan 82 kappaletta. Lisänuohoimia on tarkoitus vielä lisätä tulevaisuudessa. Nuohoukseen käytettävä höyry otetaan suoraan primääritulistimelta ja tarvittavan nuohoushöyryn paineen säätö tapahtuu säätöventtiilillä PV-803, josta nuohoushöyryn painetta saadaan säädettyä. Toimintaperiaate selviää liitteestä 1 olevasta

PI-kaaviosta. Yksittäisten nuohimien höyrynpaineensäätö tapahtuu kulmaventtiilistä ja jokaisella nuohimella on oma paineensäätimensä, josta saadaan säädettyä erikseen jokainen nuohoin haluttuun paineeseen. Paineen säädöllä haetaan nuohoustehon säätöä ja hallintaa höyryn kulutukseen. Nuohoukseen menevä höyry käytettäisiin muutoin suoraan sähköntuotantoon. Nuohoushöyrylle liian kovalle säädetty paine taas johtaa keittopinnan putkistojen ja tulistimien heiluntaan. Putkistojen heiluminen aiheuttaa taas soodakattilassa putkirikkoja tai kiinnikkeiden irtoamisia lyhentäen laitteiden käyttöikä. (Stora Enson edustaja Uimaharjusta, 2020).

6.2 Nuohousohjelman päivitys

Ohjelmamuutos nykyiseen Experion Honeywell järjestelmään tehtäisiin siten, että saataisi muutettua nykyinen "listanuohous" optimoivaan nuohoukseen. Uudessa Valmetin DNA Optimizer järjestelmässä ei ole erikseen määritettyä nuohousohjelmaa vaan se määrittää itse mistä kannattaa nuohota savukaasuvirtausten lämpötilojen perusteella. Jos järjestelmässä huomataan, että tietty nuohoinpari on erityisen tehokas, niin voidaan kyseiselle nuohoinparille antaa lisäaikaa nuohota. Järjestelmässä voi myös antaa tietyille pareille lisänuohouksia käsin, jos havaitaan likaantumista jossain tietyssä kohdassa kattilaa. Ohjelmisto pystyttäisiin liittämään jo olemassa olevaan Valmet DNA järjestelmään, joka on käytössä turbiinin ohjauksissa. Uusi käyttöliittymä toisi etuna, sen että nuohousta ei tarvitsisi enää vahtia niin paljon ja samalla saisi vanhan järjestelmän päivitettyä uuteen.

6.3 Höyrynkulutus 1-parinuohouksella

Parinuohouksella tarkoitetaan sitä, että kaksi nuohointa tekevät töitä samaan aikaan. Nuohoushöyryn käyttö on nuohouksessa keskimäärin 4,5 - 6 kg/s ja paine on lähes vakiona aina n. 33 bar yksittäisellä nuohoimella ja lämpötilaltaan 356 - 365 °C. Taulukosta 1 olevasta excel-tilauksesta nähdään, että yksiparinuohoukselle höyrynmäärän lisääntyessä turbiinin tehohäviöt kasvaa. Laskelmissa käytettiin perälauhteesta saatua hyötysuhdetta, joka oletettiin olevan 30 %. Tarkemmat laskelmat löytyvät liitteestä (3). Taulukosta nähdään, kuinka paljon sähkötehoa hävitään höyrynmäärän lisääntyessä. Lämpötiloina on käytetty suurinta (365 °C) lämpötilaa normaali ajon ollessa käynnissä. Alla olevasta taulukosta näkyy, kuinka paljon menetetään sähköä, jos käytetään yksiparinuohousta 1 - 24 tuntia kokoaikaisesti ajon aikana. Keskiarvo sähkönmenetykseksi saadaan yhdessä tunnissa 4,9 MWh. Energiahäviö saadaan laskettua kaavalla (3), jossa O_m = massavirta, E = entalpia ja n on hyötysuhde. Yksiparinuohouksen energiahäviöt 1 - 24 tunnissa saadaan laskettua kaavalla (4), joissa on tehohäviö $P * t$ = aika.

$$O_m * E * n \quad (3)$$

$$P * t \quad (4)$$

TAULUKKO 1. yksiparinuohouksen energiahäviöt 1 - 24 tunnin käytöllä

Höyryn mas- sa- virta kg/s (O_m)	Sähkönmenetys 1 (t) tunnissa	Sähkönmenetys 6 (t) tunnissa	Sähkönmenetys 12 (t) tunnissa	Sähkönmenetys 18 (t) tunnissa	Sähkönmenetys 24 (t) tunnissa	
4,5	4,22	25,3	50,6	75,9	101,3	MWh
4,6	4,31	25,9	51,8	77,6	103,5	MWh
4,7	4,41	26,4	52,9	79,3	105,8	MWh
4,8	4,50	27,0	54,0	81,0	108,0	MWh
4,9	4,59	27,6	55,1	82,7	110,3	MWh
5	4,69	28,1	56,3	84,4	112,5	MWh
5,1	4,78	28,7	57,4	86,1	114,8	MWh
5,2	4,88	29,3	58,5	87,8	117,0	MWh
5,3	4,97	29,8	59,6	89,5	119,3	MWh
5,4	5,06	30,4	60,8	91,1	121,5	MWh
5,5	5,16	30,9	61,9	92,8	123,8	MWh
5,6	5,25	31,5	63,0	94,5	126,0	MWh
5,7	5,34	32,1	64,1	96,2	128,3	MWh
5,8	5,44	32,6	65,3	97,9	130,5	MWh
5,9	5,53	33,2	66,4	99,6	132,8	MWh
6	5,63	33,8	67,5	101,3	135,0	MWh

6.4 Höyrynkulutus kaksiparinuohouksella

Kaksiparinuohous tarkoittaa sitä, että kattilassa on samaan aikaan neljä nuohointa kerralla. Tämä mahdollistaa sen, että voidaan nuohota tulipesää ja takavetoa samaan aikaan. Samalla tuplanuohous antaa mahdollisuuden ajaa kattilaa kovemmalla kuormalla kuin sitä on alun perin suunniteltu.

Kaksiparinuohouksen takia joudutaan nuohoushöyryn määrää lisäämään 6 kg/s ->12 kg/s, koska nuohoimet toimivat omina ryhminään. Höyry otetaan suoraan primääritulistimelta, joten tämä määrä höyryä jää pois turbiinin sähköntuotannosta. Keskiarvo yhden tunnin tuplanuohouksen höyrymäärille on tehohäviönä sähköntuotannossa 8,9 MWh. Alla olevasta excel-taulukosta näkyy energiahäviöt 1 - 24 tunnin jatkuvalla käytöllä. Laskelmissa käytettiin kaavoja (3) ja (4) Energiahäviöt kaksinkertaistuvat höyrynmäärän tuplaantuessa.

TAULUKKO 2. Kaksiparinuohouksen energiahäviöt 1 - 24 tunnin käytöllä

Höyryn massa- virta kg/s (O_m)	Sähkönmenetys 1 (t) tunnissa	Sähkönmenetys 6 (t) tunnissa	Sähkönmenetys 12 (t) tunnissa	Sähkönmenetys 18 (t) tunnissa	Sähkönmenetys 24 (t) tunnissa	
6,0	5,6	33,8	67,5	101,3	135,0	MWh
6,5	6,1	36,6	73,1	109,7	146,3	MWh
7,0	6,6	39,4	78,8	118,1	157,5	MWh
7,5	7,0	42,2	84,4	126,6	168,8	MWh
8,0	7,5	45,0	90,0	135,0	180,0	MWh
8,5	8,0	47,8	95,6	143,5	191,3	MWh
9,0	8,4	50,6	101,3	151,9	202,5	MWh
9,5	8,9	53,4	106,9	160,3	213,8	MWh
10,0	9,4	56,3	112,5	168,8	225,0	MWh
10,5	9,8	59,1	118,1	177,2	236,3	MWh
11,0	10,3	61,9	123,8	185,7	247,5	MWh
11,5	10,8	64,7	129,4	194,1	258,8	MWh
12,0	11,3	67,5	135,0	202,5	270,0	MWh
12,5	11,7	70,3	140,6	211,0	281,3	MWh
13,0	12,2	73,1	146,3	219,4	292,5	MWh

Kaksiparinuohoukselle on enemmänkin tarve vain silloin kun poltetaan yli 3 300 tka/d mustalipeää päivässä. Jatkuvatoimiselle kaksiparinuohoukselle on suurin tarve silloin, kun tehdas ajaa päälaatu- naan molemmilla linjoillaan liukosellua.

6.5 Höyrynkulutus osittaisella kaksiparinuohouksella

Kaksiparinuohoukselle ei ole kokoaikaista käyttötarvetta, suurin käyttötarve kaksiparinuohoukselle on, kun tehtaalla ajetaan liukosellua. Kaksiparinuohouksen käytöstä tehtiin laskelmia käyttäen yksiparinuohouksen höyrynkäytön keskiarvona 5,5 kg/s ja kaksiparinuohouksen keskiarvona oli 11 kg/s. Nuohouksen ollessa 24 tuntia kokoaikaisesti käytössä ja kaksiparinuohousta käytettäessä 25 % ajasta sain sähkötehon häviöksi 155 MWh. Jos kaksiparinuohousta käytetään 50 % 24 tunnissa yksiparinuohouksen lisäksi vastaava tehonmenetys on jo 186 MWh, kun taas 75 % käytöllä tehomenetys on 204 MWh. Näissä laskelmissa käytettiin perälauhteesta saatavaa hyötysuhdetta, joka on oletusarvona 30 %.

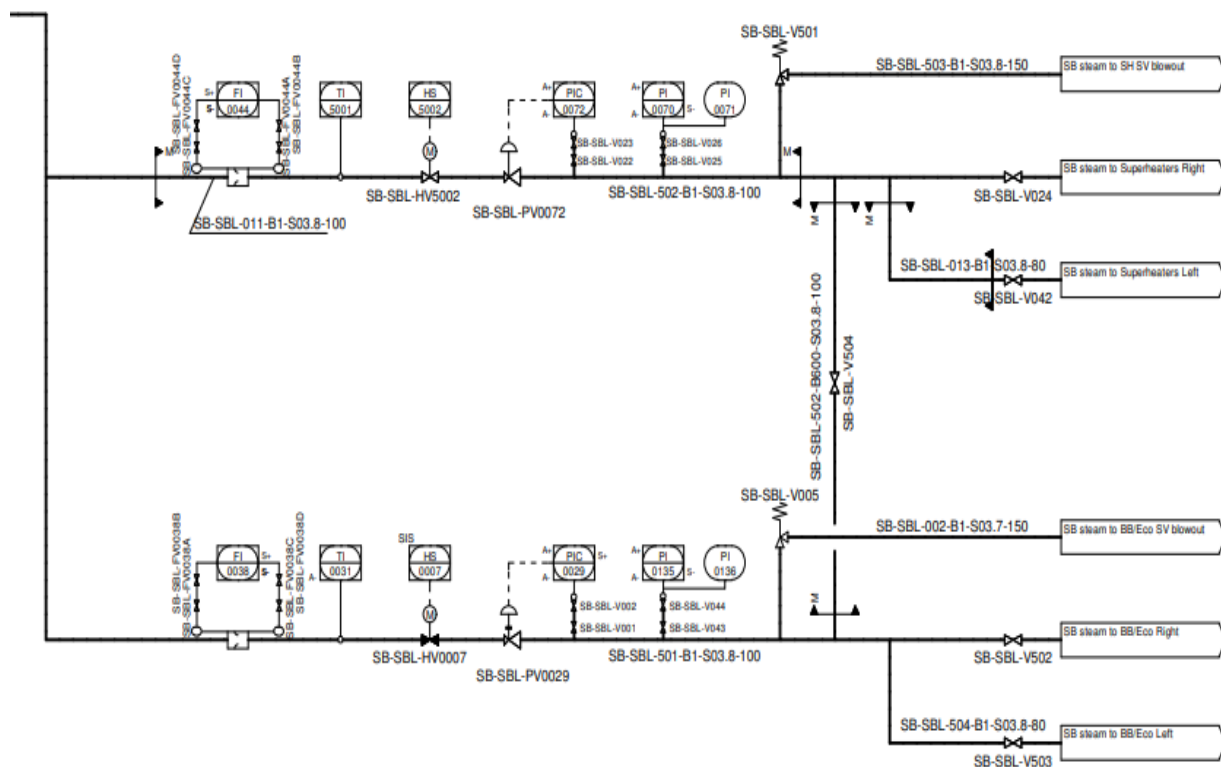
6.6 Putkistosuunnittelu

Putkistojen muutokset suunnitellaan standardin EN 13480 mukaisesti. Runkolinja tullaan uusimaan primääritulistimelta säätöventtiiliin asti, jonka putkistokoko on DN100 ja vanhan putkiston koko on riittävä uudellakin nuohousjärjestelmällä Valmetin laskelmien mukaan. Säätöventtiilin jälkeen höyryn nopeus nousee nykyisestä 13 m/s aina 26 m/s saakka. Säätöventtiili (PV-803) toimii rajapintana toimitukselle, vanha säätöventtiili jää käyttöön myös päivitettyssä järjestelmässä. Säätöventtiilin jälkeen

putkikoko pysyy samana DN100, jossa höyryn nopeus nousee 41 m/s -> 82 m/s säätöventtiilin rajoittamisen takia. Putkistoa tullaan uusimaan seinän jälkeen DN150 putkistoon. Putkisto haarautuu seinän jälkeen vasempaan tulistimien ja oikeaan keittopinnan, sekä ekonomaiserien puolelle. Siellä putkistokoko on DN80, jossa höyryn nopeus nousee 35 m/s->70 m/s, joka on DN80 putkelle liian suuri. Nuohousalueella höyryn nopeus pysyy 35 m/s ja tämä ei aiheuta tarvetta putkistomuutoksiin. Yksittäisien nuohoimien höyrynpaineensäätö tapahtuu myös tulevaisuudessa nuohoimien omilla kulmaventtiileillä.

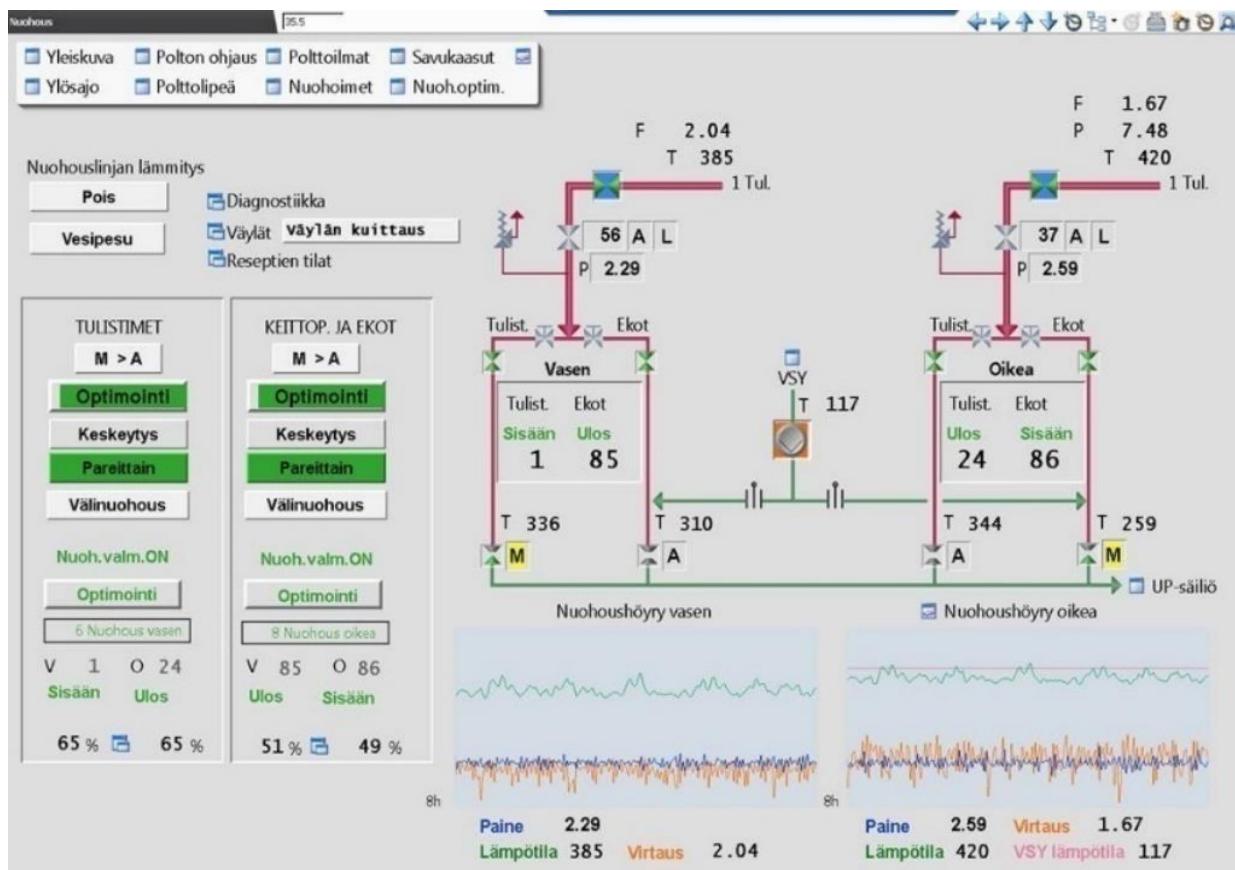
Varoventtiileitä tulee uuteen järjestelmään kaksi kappaletta nykyisen yhden sijaan. Varoventtiilien määrää kasvatetaan, koska syöttäviä höyrylinjoja on tulevaisuudessa kaksi. Samalla kun varoventtiilit ovat molemmissa höyrylinjoissa, saadaan soodakattilan käyttövarmuutta parannettua, jos esimerkiksi jokin venttiileitä vikaantuu niin soodakattilaa ei tarvitse ajaa alas vaan voidaan nuohota vielä toisen linjan kautta. Samalla nuohouslaitteiston höyrylinjat täyttävät painelaitelaidedirektiivin asettamat säännökset myös vikatilanteessa. Varoventtiilin tunnus alla esitetystä PI-kaaviossa on SB-SBL-V501.

Nykyisen varoventtiilin aukeamispainne on ollut viime painelaitetarkastuksessa 44 baaria, johon uudet varoventtiilit myös tullaan säätämään. Myös äänenvaimennin 764 – 341 - HUP tulee tarkastaa, että liittyykö äänenvaimentimen ulospuhallus yhteisiin varojen ulospuhallusputkiin vai onko se omanaan ja riittääkö siinä virtausmäärät uusille virtausnopeuksille.



Kuva 9. Muutosehdotus nuohousjärjestelmään. (Valmet 2020).

Kuvassa 9 näkyy muutosehdotuksesta PI-kaavio. Kaaviossa on esitetty, että jos paineensäädin (SB-SBL-PV0029 tai SB-SBL-PV0072) tai jokin mittalaitteista vikaantuu, pystytään vielä ajamaan höyryä



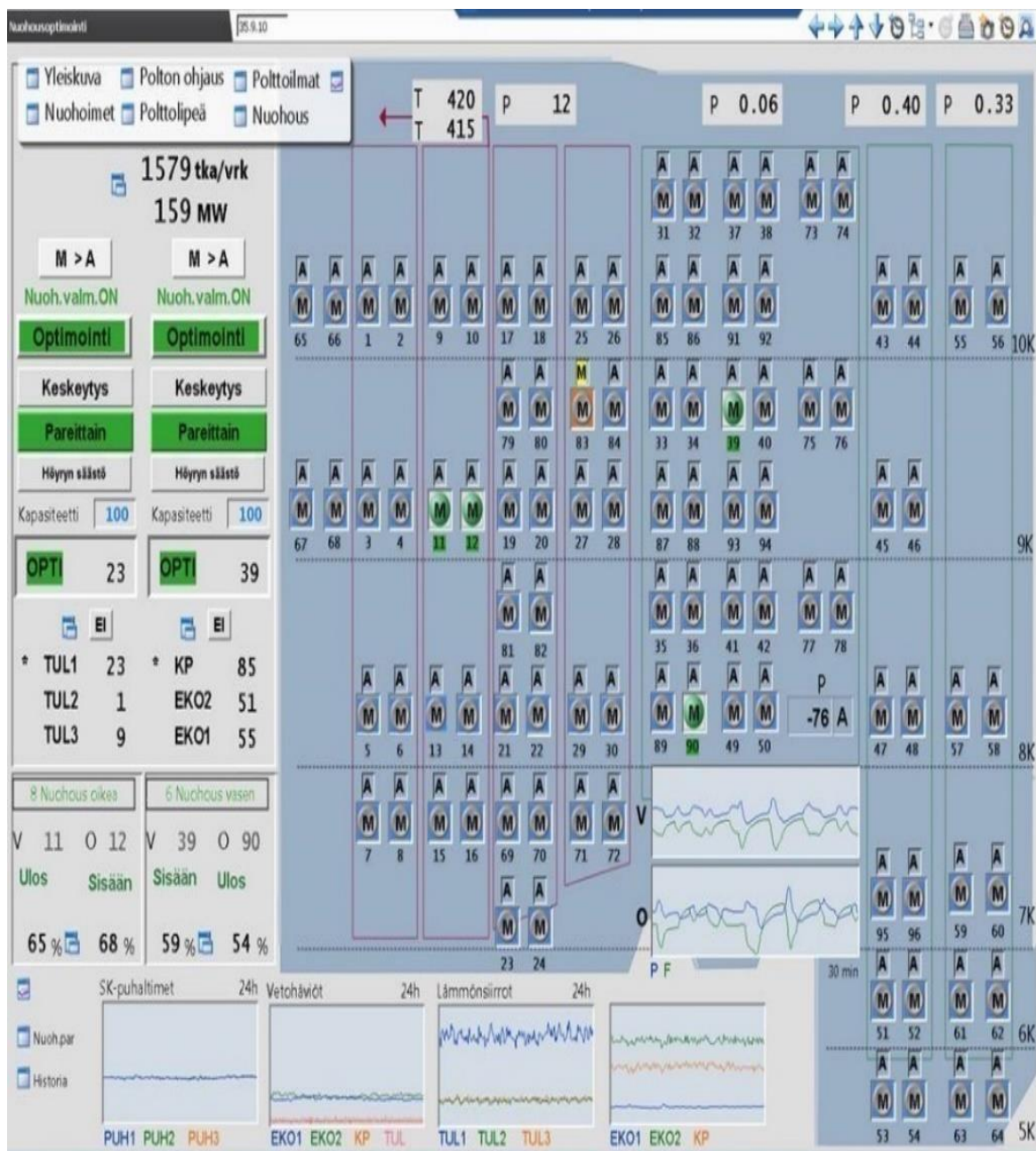
Kuva 12. Kaukopään nuohouksen käyttöliittymästä. (Sähköpostikeskustelusta Kaukopään edustajalta 2020)

Sähkömenetystä Kaukopäessä ei ole laskettu, koska tarve kaksiparinuohoukselle oli välttämätön lisääntyneen ajomäärän takia. Nuohoushörynmäärä tuplaantui noin 4 kg/s -> 8 kg/s.

Soodakattila 6:sen puolella nuohouksen toteutus on toteutettu niin, että ohjaavia ohjelmia on vain yksi ja sinne on, myös jätetty mahdollisuus nuohota pienemmillä höyrynkulutuksilla 1 parinuohouksena. Nuohoushöyry otetaan soodakattila 6:sella samasta höyrylinjasta soodakattila 5:sen kanssa, joka jakaantuu sitten soodakattila 6:sen puolella neljään eri osaan.

Jos kattilaan halutaan tehdä lisänuohouksia tietyille alueille niin Kaukopäessä on käytössä ns. erikoisryhmäajo, joka tapahtuu niin että valitaan käyttöliittymästä halutut nuohoimen nuohoamaan lisänä normaaliin optimoivaan nuohoukseen väliin. Kun erikoisnuohousparit ovat valittuna lähtee ohjelma nuohoamaan ensin erikoisryhmällä, jonka jälkeen jatkaa nuohoamaan optimoimalla automaattisesti. Vaihtoehtoisesti voi myös laittaa kaikki nuohoimet manuaalitilaan ja yhden parin automaattitilaan, jolloin ohjelma ajaa vain valittuja nuohoimia.

Kaukopäessä lisänuohouksien tarvetta ei ole ollut, koska optimoiva ajo on toiminut moitteetta. Ainoastaan erikoisryhmäajoa on tarvinnut käyttää silloin, kun on ollut nuohoimen huoltoa ja on tarvinnut testata nuohoimia.



Kuva 13. Kaukopään käyttöliittymästä ajo-ohjelmasta kuvakaappaus. (Sähköpostikeskustelu Kaukopään edustajan kanssa 2020).

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua Stora Enso Oyj:n Enocellin tehtaaseen soodakattilaan ja ylipäätään, kuinka sellutehdas oikein toimii. Soodakattilan nuohous ei ollut entuudestaan kovinkaan tuttu asia itselle ja oli mielenkiintoista päästä tutustumaan aiheeseen. Pääsin osallistumaan opinnäytetyön osalta toimittajan palaveriin mukaan, joka avasi perustaa millaista muutosta nuohoukseen, ollaan aikomassa tehdä. Sain käyttäjäkokemuksia Stora Enson Kaukopään tehtaalta, jonne oli tehty hyvinkin vastaavanlainen projekti jo aiemmin.

Kaksiparinuohouksen osalta uskon, että tulee toteutumaan Uimaharjun tehtaalle, koska tehdas on siirtymässä seuraavaksi 18 kuukaudeksi liukosellutuotantoon. Lisääntyneen tuotannon myötä kattilan nuohousta on tehostettava juuri tuolla tuplanuohouksella, toki pienemmillä ajoilla tulisi pystyä vielä käyttämään yksiparinuohousta samalla tavalla kuin ennenkin.

Valmetin tarjoama uusi käyttöliittymä on todettu toimivaksi Kaukopään tehtaalla ja uskon vahvasti, että se toimisi myös Uimaharjussa vastaavalla tavalla. Kaukopäästä saimme hyviä vinkkejä liittyen uuden ohjelman käyttöönottoon ja varmasti myös laitetoimittaja on saanut oppia edellisestä vastaavanlaisesta projektista. Nykyinen käyttöliittymä on Uimaharjussa tehty aikanaan Honeywellin toimesta ja itse ohjelma on tehty perinteisempään malliin "listanuohouksena" ohjelmaa on paranneltu vuosien varrella Uimaharjun kattilaan soveltuvammaksi muuttamalla pareja, jotka nuohoavat seuraavaksi. Uudessa käyttöliittymässä olisi etuna se, että saataisiin päivitettyä vanhan tietokoneen mekaaniset osat uusiin tehokkaampiin ja nuohousohjelma olisi uudessa ohjelmistossa optimoiva eli nuohotaan sieltä mistä on tarve ja näin ollen pystyttäisiin luopumaan myös "listanuohouksesta". Tämä toisi myös mukanaan säästöä höyrynkäyttöön, ettei nuohota turhaan sellaista paikkaa mitä ei ole tarve nuohota vaan saataisiin höyry turbiinin käyttöön.

Tasomuutokset tulevat myös tarpeeseen, että pystytään käyttämään ja huoltamaan laitteistoa niin kuin ennenkin. Fyysiset muutokset ei tule olemaan kovinkaan merkittäviä laitteiston putkistomuutosten osalta.

Päivätuotannon osalta pystytään edellä mainituilla muutoksilla ajamaan suurempia tuotantomääriä, jotka taas tuovat sitten pysyvämpää pidemmän aikavälin tuotantoa. Pidemmän aikavälin tuotannon osalta nuohouksen päivityksillä saadaan parannettua käyttövarmuutta soodakattilan osalta ja pystytään ajamaan pidempiä jaksoja ilman ylimääräisiä pesukatkoja. Nykyisellään pesukatkoja voi tulla useampi vuodessa. Nuohouksen parantamisella saadaan myös pidettyä soodakattilan keittoputkistoja pidettyä puhtaampana, jonka vuoksi putkistojen elinkaari saadaan jatkumaan.

Soodakattilan putkistorikko tulee maksamaan huomattavasti enemmän, kuin nuohouksen modernisointiin liittyvä investointi jo keittomenetyksien osalta. Karkeasti arvioituna keittomenetyksinä investointi maksaisi itsensä takaisin reilussa vuorokaudessa, riippuen sellun sen hetkisistä markkinoista.

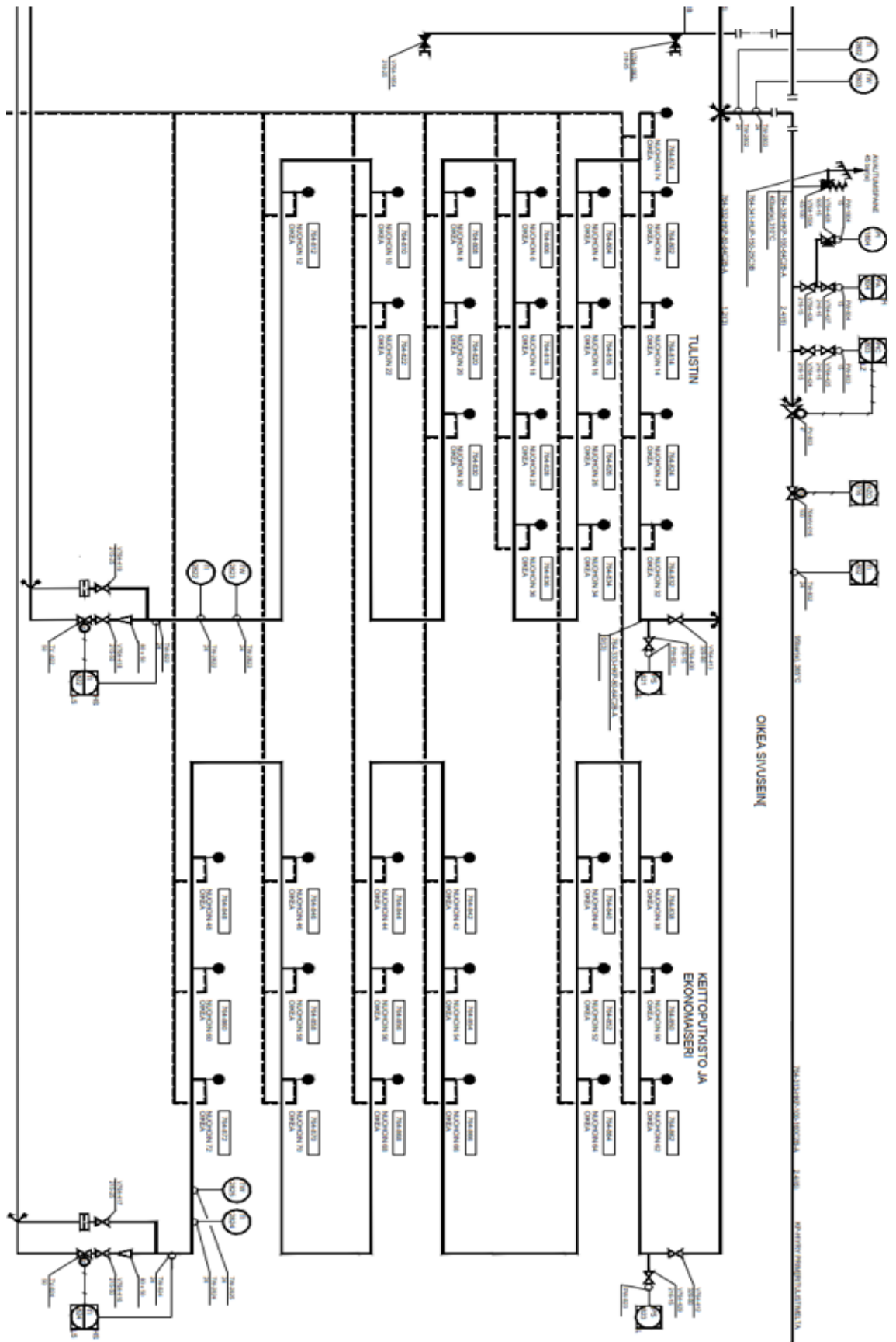
Tavoitteet opinnäytetyön osalta täyttyivät hyvin. Sain laskettua energiahäviöt, jotka tulivat nuohouksen höyrymäärän kasvaessa. Kokonaisuudessaan investointi tullaan toteuttamaan seuraavassa tehtaan vuosiseisokissa.

LÄHTEET

- Clyde Bergemann Power Group, 2020. Kuva Clyde Bergemannin kotisivuilta.
- DCS järjestelmän toimintaympäristö automaatiomoniste,2020. s.27.
- Enocell/Voima experion, 2020. Käyttöliittymä nuohoinjärjestelmästä.
- Huhtinen, Markku 2013. Voimalaitostekniikka. 2.
- KnowPulp, 2020. KnowPulp-oppimisympäristö.
- Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet 2020, osa 2) SFS-EN ISO 14122-2:2016.
- Leviskä, 1999. s108
- Phobali A., Emami B., Bussmann M., Tran H. 2011. Studies on sootblower jet dynamics and ash deposit removal in industrial boilers.
- Stora Enson edustaja Uimaharju, 2020. Stora Enson opinnäytetyön ohjaaja.
- Sähköpostikeskustelusta Kaukopään edustajalta. 2020.
- Vakkilainen, Esa. 1996. Recovery boiler adjustable air. Ahlstrom Machinery.
- Vakkilainen, Esa. 2005. Kraft recovery boilers – Principles and practice. Suomen Soodakattilayhdistys ry.
- Vakkilainen, Esa. 2010. Höyrykattilatekniikka-kurssin materiaalit: Vesi-höyrykierron suunnittelu. Savonia Moodle-materiaalit.
- Vakkilainen, Esa. 2016. Höyrykattilatekniikka-kurssin materiaalit: Voimalaitostekniikka. Savonia moodle-materiaalit.
- Valmet, Laitetoimittajan edustaja. 2020. Valmetin edustajat palavereista.

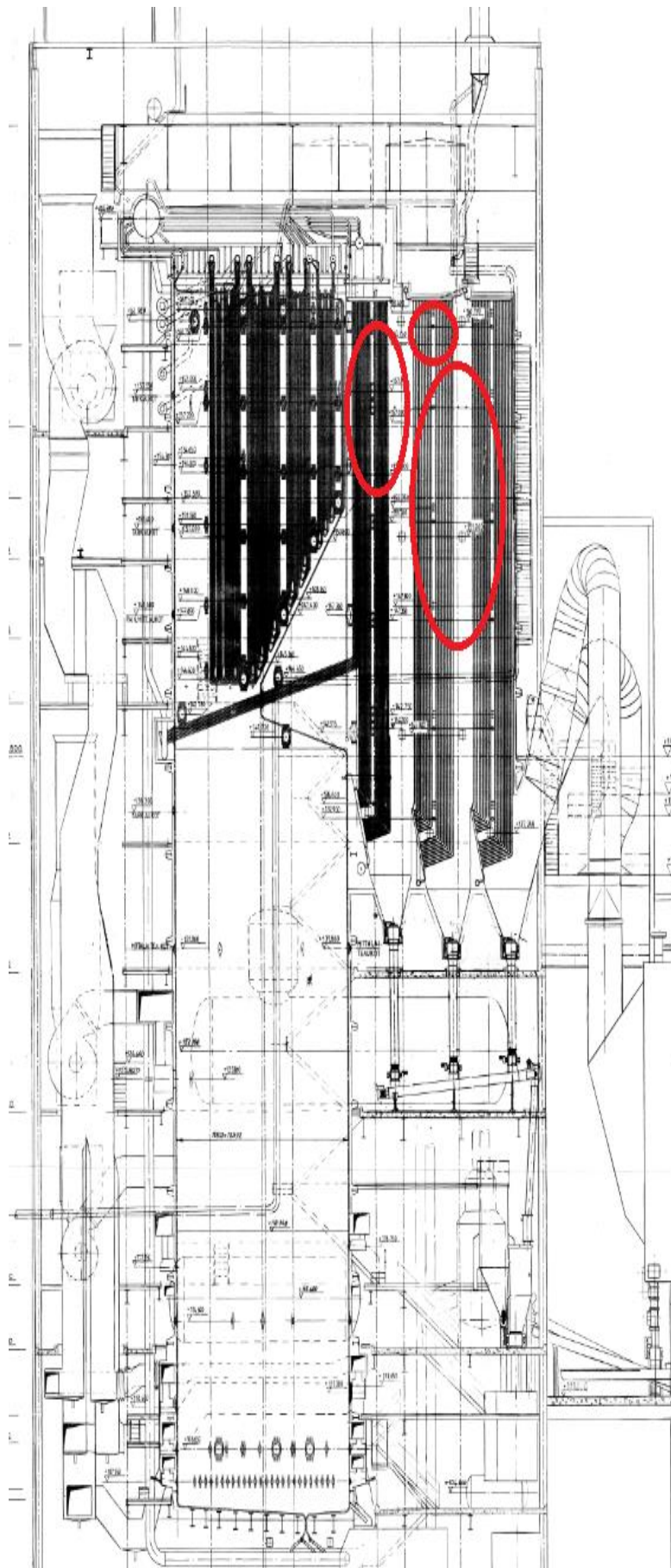
LIITEET

LIITE 1: PI-KAAVIO SOODAKATTILAN NYKYISESTÄ NUOHOINJÄRJESTelmäSTÄ



7.1 LIITE 2: SOODAKATTILAN ONGELMAKOHDAT

Kuvassa merkityt kohdat ovat keittopinta ja 2. ekonomaiserin sisäänmeno ja yläosa.



7.2 LIITE 3: Sähkötehoaviöt

Höyrynkulutuksen vaikutus sähkötehoon

Höyryn määrä kg/s	Höyrynpaine 1	Höyrynpaine 2	Lämpötila 1	lämpötila 2	Entalpia 1 kJ/kg	Entalpia 2 kJ/kg	Sähkötehon menetys MW 1	Sähkötehon menetys MW 2	Hyötysuhde %
4,0	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	3,75	3,77	30
4,1	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	3,84	3,86	30
4,2	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	3,94	3,95	30
4,3	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	4,03	4,05	30
4,4	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	4,13	4,14	30
4,5	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	4,22	4,24	30
4,6	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	4,31	4,33	30
4,7	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	4,41	4,42	30
4,8	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	4,50	4,52	30
4,9	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	4,59	4,61	30
5,0	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	4,69	4,71	30
5,1	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	4,78	4,80	30
5,2	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	4,88	4,90	30
5,3	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	4,97	4,99	30
5,4	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	5,06	5,08	30
5,5	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	5,16	5,18	30
5,6	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	5,25	5,27	30
5,7	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	5,34	5,37	30
5,8	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	5,44	5,46	30
5,9	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	5,53	5,55	30
6,0	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	5,63	5,65	30
6,1	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	5,72	5,74	30
6,2	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	5,81	5,84	30
6,3	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	5,91	5,93	30
6,4	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	6,00	6,02	30
6,5	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	6,09	6,12	30
6,6	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	6,19	6,21	30
6,7	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	6,28	6,31	30
6,8	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	6,38	6,40	30
6,9	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	6,47	6,50	30
7,0	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	6,56	6,59	30
7,1	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	6,66	6,68	30
7,2	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	6,75	6,78	30
7,3	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	6,84	6,87	30
7,4	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	6,94	6,97	30
7,5	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	7,03	7,06	30
7,6	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	7,13	7,15	30
7,7	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	7,22	7,25	30
7,8	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	7,31	7,34	30
7,9	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	7,41	7,44	30
8,0	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	7,50	7,53	30
8,1	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	7,59	7,63	30
8,2	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	7,69	7,72	30

8,3	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	7,78	7,81	30
8,4	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	7,88	7,91	30
8,5	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	7,97	8,00	30
8,6	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	8,06	8,10	30
8,7	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	8,16	8,19	30
8,8	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	8,25	8,28	30
8,9	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	8,35	8,38	30
9,0	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	8,44	8,47	30
9,1	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	8,53	8,57	30
9,2	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	8,63	8,66	30
9,3	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	8,72	8,75	30
9,4	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	8,81	8,85	30
9,5	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	8,91	8,94	30
9,6	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	9,00	9,04	30
9,7	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	9,10	9,13	30
9,8	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	9,19	9,23	30
9,9	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	9,28	9,32	30
10,0	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	9,38	9,41	30
10,1	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	9,47	9,51	30
10,2	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	9,56	9,60	30
10,3	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	9,66	9,70	30
10,4	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	9,75	9,79	30
10,5	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	9,85	9,88	30
10,6	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	9,94	9,98	30
10,7	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	10,03	10,07	30
10,8	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	10,13	10,17	30
10,9	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	10,22	10,26	30
11,0	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	10,31	10,36	30
11,1	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	10,41	10,45	30
11,2	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	10,50	10,54	30
11,3	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	10,60	10,64	30
11,4	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	10,69	10,73	30
11,5	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	10,78	10,83	30
11,6	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	10,88	10,92	30
11,7	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	10,97	11,01	30
11,8	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	11,06	11,11	30
11,9	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	11,16	11,20	30
12,0	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	11,25	11,30	30
12,1	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	11,35	11,39	30
12,2	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	11,44	11,48	30
12,3	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	11,53	11,58	30
12,4	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	11,63	11,67	30
12,5	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	11,72	11,77	30
12,6	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	11,81	11,86	30
12,7	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	11,91	11,96	30
12,8	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	12,00	12,05	30
12,9	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	12,10	12,14	30
13,0	30 bar	33 bar	354 C	362C	3126	3138	12,19	12,24	30

