

Lappeenrannan -Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Tuomas Vainikka

Talteenoton ajomallien ja työohjeistuksen yhtenäistäminen laadun ja käytettävyyden parantamiseksi

Tarkastaja: Diplomi-insinööri Esa Vakkilainen

Ohjaajat: Diplomi-insinööri Niko Tuhkanen

Diplomi-insinööri Kimmo Pakkanen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan -Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Tuomas Vainikka

Talteenoton ajomallien ja työhjeistuksen yhtenäistäminen laadun ja käytettävyyden parantamiseksi

Diplomityö

2019

81 sivua, 35 kuvaa, 3 taulukkoa ja 2 liitettä

Työn tarkastajat: TkT Esa Vakkilainen

Ohjaajat: DI Niko Tuhkanen, DI Kimmo Pakkanen

Hakusanat: sellutehdas, soodakattila, mäntyöljylaitos, kaasutuslaitos, toimintamalli, optimointi, jatkuva parantaminen

Keywords: pulp mill, recovery boiler, tall oil plant, gasification plant, operating models, optimization, continuous improvement

Tämä diplomityö on tehty Metsä Fibren Joutsenon tehtaalle. Tässä työssä tutkitaan ja kehitetään parhaita toimintatapoja työhjeiden laatimisessa ja niiden käyttöönotossa. Työssä tutkittiin myös yhtenäisten ajomallien ja työhjeiden toimivuutta soodakattilalla, mäntyöljylaitoksella sekä kuoren kaasutuslaitoksella. Optimaaliset ajomallit ja niiden seuraaminen ovat keskeisessä roolissa prosessien toiminnan ja jatkuvan parantamisen mallin kanssa. Ajomalleilla pyritään parantamaan jokapäiväistä käytettävyyttä, tuotteen laatua, tuotantotehokkuutta sekä turvallisuutta.

Työssä käytettiin talteenotto-osaston käytettävyydvastaavan, osastoinsinöörien sekä päiväprosessinohitajan laatimia ohjeellisia operointiparametrejä ja ajomalleja, joiden

avulla saavutettiin huomattavia tuloksia. Ohjeiden laatimisen tukena käytettiin PDCA- ja EFQM Excellence -mallia, jotka tukevat organisaation jatkuvan parantamisen mallia. Näiden mallien arviointialueet ja RADAR-logiikka auttaa tunnistamaan prosessissa ratkaisua vaativat haasteet.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Degree Program in Energy Technology

Tuomas Vainikka

Optimization of operating models and instructions to improve quality and usability in the recovery line

Master's Thesis

2019

81 pages, 35 figures, 3 tables and 2 appendixes

Examiners: Professor Ph.D. (Tech) Esa Vakkilainen

Supervisor: M.Sc. (Tech.) Niko Tuhkanen, M.Sc. (Tech.) Kimmo Pakkanen

Keywords: pulp mill, recovery boiler, tall oil plant, gasification plant, operating models, optimization, continuous improvement

This Master's Thesis was done for Metsä Fibre Joutseno mill. The aim of this Thesis was to investigate and develop best practices for improving and implementing operating models and instructions. The thesis also includes the investigation of the functionality of models and instructions at a recovery boiler, a tall oil unit and a bark gasification unit. The operating models and instructions play a key role in the process operating and continuous improvement model. The operating models are designed to improve usability, product quality and production efficiency and safety.

Development engineer, recovery line engineers and process operator created operational parameters and operating models that achieved significant results. The models was developed using the PDCA and EFQM models which support organization continuous improvement model. The assessment areas of these models and RADAR-logic help identifying the challenges that need to be solve in the process.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	4
Symboli- ja lyhenneluettelo	8
1 Johdanto	11
2 Jatkuvan parantamisen mallit	12
2.1 Jatkuvan parantamisen malli Metsä Fibrellä	12
2.2 Lean-toimintamalli	12
2.3 PDCA -malli.....	13
2.4 EFQM Excellence -malli.....	14
3 Työhön liittyvät ohjeistukset ja tiedoksiannot	17
4 Soodakattila	20
4.1 Soodakattilan tehtävät	20
4.2 Soodakattilan rakenne	21
4.2.1 Vesi- ja höyrykierto	21
4.2.1.1 Keittopinta.....	22
4.2.1.2 Ekonomaiserit I & II	22
4.2.1.3 Höyrylieriö	22
4.2.1.4 Tulistimet	23
4.2.2 Palamisilmajärjestelmä	24
4.2.2.1 Primääri-ilma.....	26
4.2.2.2 Sekundääri-ilma	27
4.2.2.3 Tertiääri-ilma.....	28
4.2.2.4 Kvartiääri-ilma	29
4.2.2.5 Hajukaasujen poltto.....	30
4.2.3 Nuohoimet.....	31
4.2.4 Sähkösuotimet	32
4.3 Soodakattilan kemikaalikierto	32
4.3.1 Haihduttamo.....	33
4.3.2 Kaustisointilaitos ja valkolipeän valmistus.....	34
4.3.3 Mustalipeän ominaisuudet	35
4.3.4 Polttolipeäsuuttimet	36
4.3.5 Tulipesä.....	36
4.3.6 Mustalipeän palaminen	37
4.3.7 Sulan käsittely ja viherlipeäjärjestelmä.....	39
4.3.8 Soodakattilan päästöt	41
5 Mäntyöljykeittäjä	43
5.1 Suovan erottuminen mustalipeästä.....	43

5.2	Suovan neutralointi.....	45
5.3	Palstoitus ja varastointi.....	46
5.4	Suovan koostumus.....	48
6	Kuoren kaasutuslaitos	49
6.1	Kuoren kaasutuslaitoksen komponentit.....	49
6.2	Kuoren kuivaaminen	51
6.3	Kuoren kaasutusprosessi	52
6.3.1	Kaasutusilma ja ilmakaappi	52
6.3.2	Petimateriaali ja tuhkan poisto.....	52
6.3.3	Kaasutusreaktiot ja tuotekaasu.....	53
6.3.3.1	Tuotekaasun koostumus	53
6.3.3.2	Pyrolyysi	54
6.3.3.3	Jäännöshiilen palamis- ja kaasutusreaktiot	54
6.3.4	Tuotekaasun jälkikäsittely.....	55
7	Ajo-ohjeet osastoittain ja tavoitetilat	56
7.1	Soodakattilan ajo-ohje	56
7.1.1	Soodakattilan polttolipeäruiskut ja niiden tarkastaminen	56
	Lipeäsuuttimien tarkastaminen	58
7.2	HDS -reaktorin STOP&GO.....	58
7.2.1	Tavoitteet	59
7.3	Kuoren kaasutuslaitoksen käynnistyksen optimointi	60
7.3.1	Kuoren kaasutuslaitoksen tehokas ylösajo.....	61
8	Työohjeistuskäytännöt Metsä Fibrellä	62
8.1	Organisaation työohjeistuksen nykytila	62
8.2	Työohjeistuksen haasteet.....	63
8.3	Työohjeistuksen kehittäminen.....	64
9	Työohjeistuksen ja toimintamallien käyttöönotto	67
9.1	Soodakattila	67
9.1.1	Tulistimien likaantuminen	67
9.1.2	Ekonomaiseri 2:n likaantuminen	68
9.2	Mäntyöljylaitoksen Stop & Go -ajo-ohje	70
9.2.1	Saannon muutokset kun Stop&Go:n jälkeen	70
9.3	Kuorenkaasutuslaitos.....	71
9.3.1	Kaasuttimen käynnistys	71
	Kaasuttimen optimaalinen lämmitys	72
	Kaasuttimen hidas lämmitys	73
10	Tulosten tarkastelu	76
10.1	Soodakattila	76
10.2	Mäntyöljylaitos.....	77
10.3	Kuoren kaasutuslaitos.....	77
10.4	Työohjeet ja toimintamallit talteenotto-osastolla	77
11	Yhteenveto	80

LÄHDELUETTELO**82****LIITE 1.** Palamisilma- ja savukaasuhäiriöt**LIITE 2.** Kaasuttimen lämmitysohje

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Symboliluettelo

h Entalpia

Roomalaiset aakkoset

d halkaisija [mm]

m massa [g], [kg]

P teho [MW]

Pa paine [kPa]

r säde [mm]

v nousunopeus [mm/s]

V tilavuusvirta [Nm^3]

Kreikkalaiset aakkoset

Δ delta

Alaindeksit

ka kuiva-aine

Lyhenteet

C hiili

CH₄ metaani

CH₄S metyylimerkaptani

CO hiilimonoksidi

CO ₂	hiilidioksidi
C ₂ H ₄	etaani
C ₂ H ₆ S	dimetyylisulfidi
C ₂ H ₆ S ₂	dimetyylidisulfidi
C _x H _y	hiilivety
CaCO ₃	kalsiumkarbonaatti
CaO	kalsiumoksidi
HDS	hydrodynaaminen erotin
H ₂	vety
H ₂ O	vesi
Na ₂ CO ₃	natriumkarbonaatti
NaOH	natriumhydroksidi
NaSO ₄	natriumsulfaatti
Na ₂ S	natriumsulfidi
NO _x	typen oksidit
O ₂	happi
pH	happamuus
ppm	miljoonasosa
RCOONa	rasva- ja hartsihappo
RCOOH	mäntyöljy
SO ₂	rikkidioksidi

TRS pelkistyneet rikkiyhdisteet

VOC haihtuvat rikkiyhdisteet

1 JOHDANTO

Optimaaliset ajomallit ja niiden seuraaminen ovat keskeisessä roolissa yrityksen toiminnan ja jatkuvan parantamisen mallin kanssa. Diplomityössä keskitytään erityisesti talteenoton prosesseihin, soodakattilaan, mäntyöljylaitokseen sekä kuoren kaasutuslaitokseen, joissa on tavoitteena yhtenäisten ajoparametrien löytyminen ja kehittämiseen sekä niiden käyttöönottoon vuoroissa. Näin on mahdollista saavuttaa parempi käytettävyys, tuotteen laatu, tuotantotehokkuus sekä parempi työturvallisuus.

Yhtenäisillä ajomalleilla tarkoitetaan vuorojen välisten operointiparametrien hajonnan vähentämistä, tavoitteena tasainen ja yhtenäinen ajotapa prosesseissa. Syyt vuorokohtaisiin poikkeamiin operointiparametreissa johtuvat usein totutuista ja oman vuoron sisällä toimiviksi havaituista tavoista. Hajonnan pienentämiseksi lipeälinjan ja voimalaitoksen käytettävyysvastaavat talteenoton kehitysvastaava sekä päiväprosessinohitaja ovat laatineet ohjeelliset ajoparametrit tasaiseen ajoon, sekä poikkeustilanteisiin.

Työn tavoitteena on löytää parhaat ajomallit jokaisessa vuorossa, ottaa ne käyttöön, jonka jälkeen tarkastellaan saavutettuja tuloksia. Lisäksi työssä etsitään tehokkain tapa ajomallien läpikäyntiin ja sisäistämiseen vuoroissa. Ajo-ohjeita kehitetään ja parannetaan työn edetessä jatkuvan parantamisen mallin mukaisesti, jotta löydetään tehokkaimmat operointiparametrit ja -mallit. Diplomityössä käytetään valmiiksi hyväksi koettuja ajomalleja, sekä uusia malleja, joita kehitetään työn edetessä.

2 JATKUVAN PARANTAMISEN MALLIT

Organisaation toiminnan kehittäminen on merkittävässä roolissa käytettävyyden, tuotelaadun sekä tuotantotehokkuuden kannalta. Erilaisia jatkuvan parantamisen malleja on useita, tässä luvussa esitellään jatkuvan parantamisen malli Metsä Fibrellä, Lean-toimintamalli, PDCA-malli sekä EFQM Excellence -malli.

2.1 Jatkuvan parantamisen malli Metsä Fibrellä

Joutsenon Metsä Fibrellä jatkuva parantaminen näkyy jokapäiväisessä työssä sekä yhtiön strategiassa. Prosessijohtamisen mallia on kehitetty Metsä Fibrellä systemaattisesti vuoden 2000 lähtien. Organisaatiossa on jatkuvan parantamisen mallit käytössä ja niillä pyritään kehittämään jokapäiväistä toimintaa ja parantamaan jo olemassa olevia toimintatapoja. Metsä Fibre sitoutuu vahvasti jatkuvaan parantamiseen sekä tekee tiivistä yhteistyötä keskeisten kumppaneiden kanssa. (Metsä Fibre, sisäinen)

Vuonna 2019 Metsä Fibre on saanut EFQM-laatupalkintokilpailussa tunnustusta voittaen Outstanding Achievement for Sustainability -palkinnon, joka myönnettiin Metsä Fibren erinomaisesta työstä kestävästä kehityksen edistämisestä sekä jatkuvassa parantamisessa. EFQM-arvitsijat nostivat esiin Metsä Fibren avoimen henkilöstön, yrityskulttuurin, turvallisuuden sekä jatkuvan parantamisen mallin. Lisäksi Metsä Fibre yltänyt yhdeksi finalistiksi vuoden 2015 EFQM-laatupalkintokilpailussa sekä voittanut vuonna 2012 Suomen Laatupalkinnon. (Metsä Fibre, sisäinen)

2.2 Lean-toimintamalli

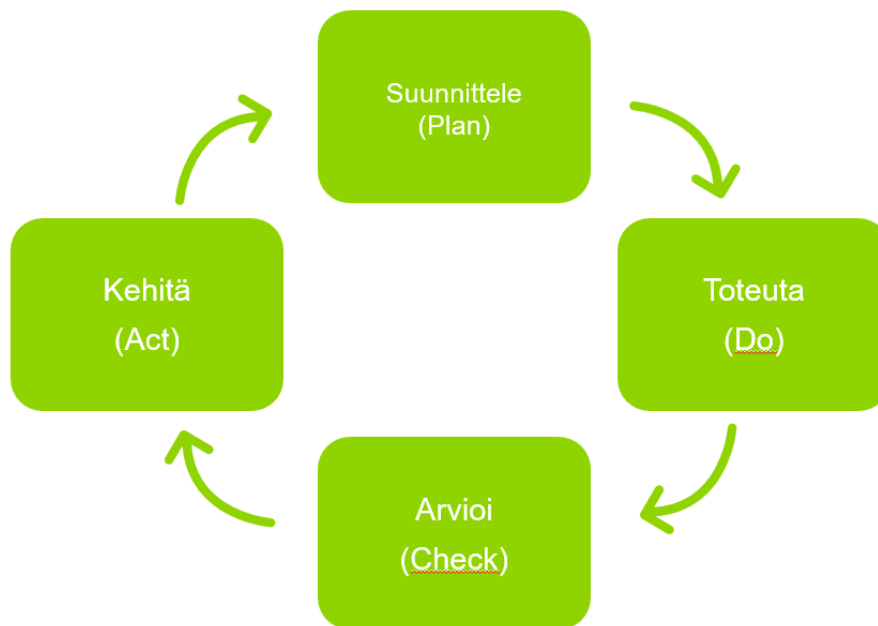
Lean-toimintamalli on prosessijohtamisen filosofia ja se on kehitetty toisen maailmansodan jälkeen Japanissa, Toyotan autotehtaalle. Leanin perusajatuksena on jatkuva kehittäminen luoden samalla lisäarvoa tuotteelle. Lisäarvoa luovat tuotteen laatu, hinta ja tuotteen valmistamiseen käytetty aika. (Torkkola, 2015)

Laadunhallinnan Lean-toimintamallin yhtenä tavoitteena on vakiinnuttaa työnkulkua. Kun työntekijät toimivat samalla tavalla, voidaan kartoittaa, kuinka toimintatavat tuottavuuteen ja laatuun. Näin päästään kehittämään toimintamalleja. Työnkulkua vakiinnutetaan yhteisillä työohjeilla, joissa kuvataan työtehtävien vaiheet askel

askeleelta. Työohjeiden on oltava selkeitä, riittävän informatiiviset ja lyhyet. Työohjeisiin lisätään tarvittaessa turvallisuuteen liittyvät asiat. Jatkuvan parantamisen -mallin mukaisesti on tärkeää, että työntekijät antavat palautetta sekä ehdotuksia työn suorittamisesta ja näin ollen toiminnan kehittämistä. (Kouri 2011, 16-17.)

2.3 PDCA -malli

Jatkuvaan parantamiseen ohjaava malli on yleisesti käytetty ja se perustuu neljävaiheiseen kehityssykliin: *Plan, Do, Check, Act*. Ensimmäisessä vaiheessa luodaan suunnitelma mitä halutaan tapahtuvan ja miten halutut tulokset saavutetaan (*Plan*). Tämän perusteella luodaan toimintamalli, jonka mukaan lähdetään tavoittelemaan haluttuja tuloksia (*Do*). Tässä vaiheessa toimintamalli ei ole vielä kuitenkaan valmis, vaan seuraavaksi selvitetään ja vertaillaan saatuja tuloksia haluttuihin tuloksiin (*Check*). Toimintamallin tarkastelun jälkeen päätetään, vaatiiko toimintamalli muutoksia saatujen tulosten perusteella, vai aloitetaanko kehityssykli uudestaan (*Act*). (Rother 2011, 121 – 122)



Kuva 1. Jatkuvan parantamisen kehä

Kuvassa 1 on esitetty PDCA-malli. Mallin tulee olla riittävän rajattu, jotta halutut muutokset ovat mahdollista saavuttaa. Tämä helpottaa epäonnistumiseen johtavien syiden löytämistä sekä lopullisen muutoksen läpivientiä. (Rother 2011, 137 – 138)

2.4 EFQM Excellence -malli

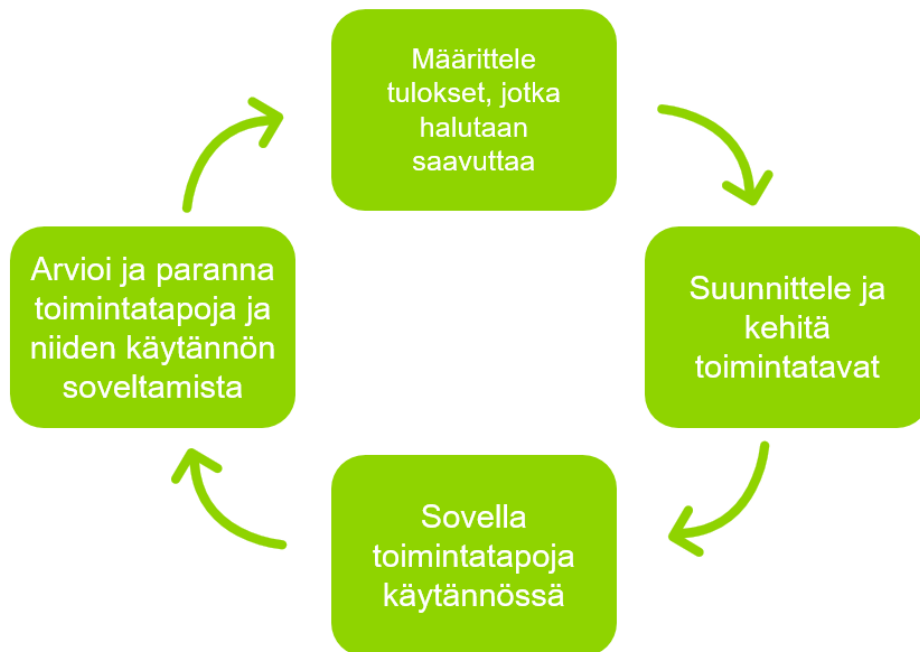
EFQM Excellence -malli on kehitetty tukemaan organisaatioiden toiminnan kehittämistä. Malli on kokonaisvaltainen erinomaisuuden arviointimalli ja kehittämistyökalu ja se on kehitetty johtamisen tukemiseen ja se on käytössä yli 30 000 organisaatiossa eri puolilla Eurooppaa. Suomessa EFQM -mallin käyttöä, koulutusta, asiantuntijatukea sekä arviointityökaluja tarjoaa Laatukeskus. Mallin keskeinen tavoite on kerätä tietoa parhaista käytännöistä ja jakaa sitä organisaatioille. Malli koostuu kolmesta osasta, jotka ovat Erinomaisuuden tunnuspiirteet, arviointi alueet sekä RADAR -logiikka (EFQM 2012 & Metsä Fibre 2019).

Erinomaisuuden tunnuspiirteet ovat lisäarvon tuottaminen asiakkaille, kestävän tulevaisuuden luominen, organisaatioiden kyvykkyyden kehittäminen, luovuuden ja innovoinnin hyödyntäminen, visionäärinen, innostava ja vastuullinen johtajuus, ketteruus

johtamisessa, osaava henkilöstö menestyksen tekijänä sekä huipputulosten tekeminen. (EFQM 2012)

Arviointialueet erinomaisuuden määrittämiseen koostuu yhdeksästä alueesta jotka ovat: johtajuus, strategia, henkilöstö, kumppanuudet ja resurssit, prosessit, tuotteet ja palvelut, asiakastulokset, henkilöstötulokset, yhteiskuntatulokset sekä toiminnan tulokset. Näillä arviointialueilla organisaatio pystyy jalkauttamaan erinomaisuuden tunnuspiirteet sekä RADAR -logiikan. (EFQM 2012)

RADAR -arviointilogiikka on työkalu, jolla arvioidaan organisaation systemaattista suorituskkyä ja sen avulla organisaatio pystyy tunnistamaan ratkaistavat haasteet jotta voidaan saavuttaa pysyvä erinomaisuus. Lyhenne RADAR tulee englanninkielien sanoista Results, Approaches, Deploy sekä Assess & Refine. Suomenkielinen lyhenne on TUTKA, joka tulee sanoista Tulokset, Toimintatapa, Käytännön soveltaminen sekä Arviointi ja parantaminen. (Räisänen & Korpi 2002, 21-22) Logiikka koostuu siis neljästä vaiheesta, jossa ensimmäisessä määritetään tavoiteltavat tulokset (Results), toisessa vaiheessa suunnitellaan ja kehitetään toimintamallit (Approaches), kolmannessa vaiheessa toteutetaan suunnitellut mallit (Deploy) ja viimeisessä vaiheessa arvioidaan ja parannetaan toimintamalleja ja niiden toteutusta (Assess & Refine). Kuvassa 2 on esitetty neljävaiheinen RADAR-arviointilogiikka. (EFQM 2012)



Kuva 2. Neljävaiheinen RADAR -arviointilogiikka

3 TYÖHÖN LIITTYVÄT OHJEISTUKSET JA TIEDOKSIANNOT

Työohjeella tarkoitetaan kirjallista, usein pidempiaikaista ohjeistusta tietystä työsuoritteesta. Työohjeen tarkoituksena on helpottaa käynnissäpitäjien toimintaa osastolla. Työohje tehdään kirjallisena ja tallennetaan vuoropäiväkirjan työohjeosioon. Työohjeet kuitataan vuoropäiväkirjaan, kun ne on luettu, kun taas tiedoksiannot ovat epävirallisempia ja lyhytaikaisempia työsuoritteita, joita ei tarvitse erikseen kuitata.

Tiedoksiannot ovat epävirallisempia, kuin työohjeet. Tiedoksianto voi olla sähköpostiviesti tai suullinen viesti jostakin tietystä työsuoritteesta, kuten sakkasuotimen huoltopäivää edeltävästä pesusta ja suotimen pysäytyksestä.

Työohje on työsuorite, jonka käynnissäpitäjät suorittavat alusta loppuun omatoimisesti. Työohjeet sisältävät seuraavat asiat:

- Prosessin ajaminen sellaiseen tilaan, jotta työsuoritetta voi alkaa tekemään
- Prosessilaitteiden turvallistaminen ja varmistaminen
- Työsuorite vaihe vaiheelta
- Prosessin palauttaminen takaisin normaaliin ajoon

Tiedoksianto on käynnissäpitäjän normaaliin työhön kuuluvaa prosessin ohjaamista tai prosessin osan saattamista sellaiseen tilaan, jotta kunnossapidon henkilöstö voi suorittaa turvallisesti tarvittavia huoltotoimenpiteitä. Tiedoksiannossa:

- Taseiden ohjaaminen sellaiseen tilaan, jotta osasto pysyy käynnissä työsuoritteen ajan
- Prosessilaitteiden huoltoon valmistavat toimenpiteet, kuten peseminen ja tyhjentäminen
- Prosessilaitteiden turvallistaminen ja varmistaminen

	Työohje	Tiedoksianto
CD-suotimen hapotus	X	
Sakkasuotimen huolto		X

Mustalipeäsuuttimien tarkastus	X	
HDS Stop & Go	X	
Kuoren kuivurin huoltopysäytys		X
Suotonauhapuristimen huolto		X

Taulukko 1: Työohjeita ja tiedoksiantoja eriteltynä

Taulukossa 1 on esitetty työohjeita sekä tiedoksiantoja, alla on esitelty työohjetta vaativat työsuoritteet lyhyesti:

- CD-suotimen hapotuksella tarkoitetaan valkolipeän kiekkosuodattimen happopesua, jonka tarkoituksena on pestä tukkeutuneet suodatinkankaat puhtaiksi.
- Mustalipeäsuuttimien tarkastuksen tarkoituksena on varmistaa suuttimien optimaalinen toiminta kattilan tehokkaan käytettävyyden takaamiseksi. Tarkastuksessa otetaan suutin pois käytöstä ja vedetään ulos kattilasta. Silmämääräisesti tarkastetaan onko suutin tukossa, palanut puhki, syöpynyt sekä onko lusikka palanut tai vääntynyt. Tämän jälkeen suutin vaihdetaan tai otetaan takaisin käyttöön. (Metsä Fibre 2019)
- HDS-reaktorin STOP & GO on reaktorin tyhjennys- ja uudelleen täyttämisohe, jonka tavoitteena on minimoida huonontuneen saannon aiheuttama mäntyöljyn tuotannonmenetys.

Alla on esitetty työsuoritteet, joista annetaan tiedoksiannot:

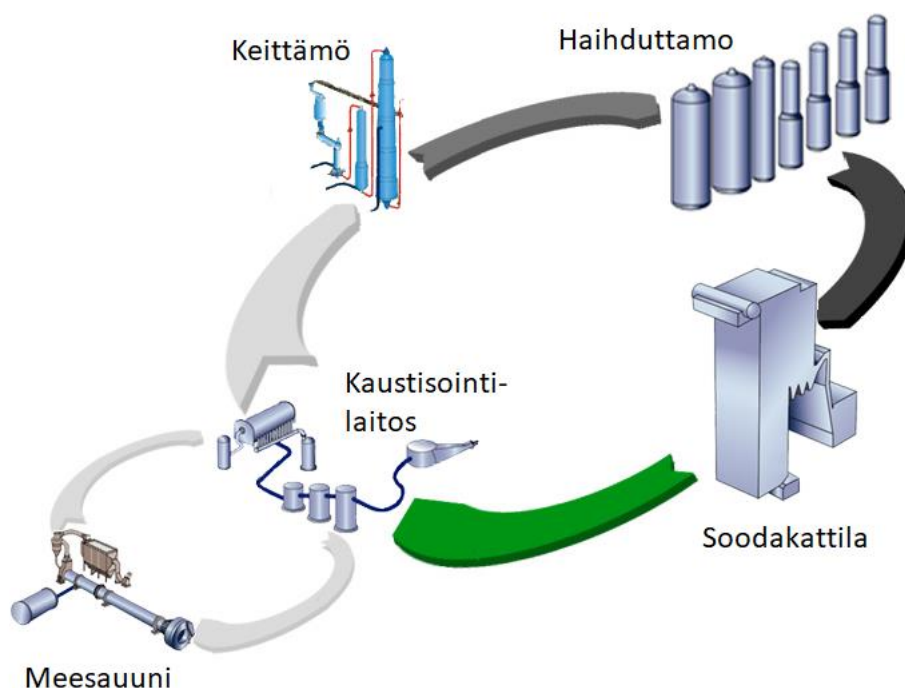
- Drex-sakkasuodinta käytetään X-Filterien suodattaman sakan pesuun. Sakkasuotimia on kaksi, joita huolletaan joka toinen viikko vaihtamalla tai korjaamalla suodatinlevyjen kankaita.
- Ennen kuorenkuivurin huoltopysäytystä käynnissäpitäjän tulee tehostaa kuoren kuivaamista lisäämällä kuivurille syöttöä, jotta kuivurin jälkeinen kuoren päiväsiilo tulee mahdollisimman täyteen. Tällä varmistetaan tuotekaasun riittäminen yli huoltopysäytyksen ja näin ollen vältetään maakaasun käytöltä ja taataan katkeamaton käytettävyyden ja optimaalinen tuotteen laatu.

- Suotonauhapuristin jätevedenpuhdistamolla huolletaan tarpeen mukaisesti. Yleisimpiä työsuoritteita on ylä- tai alaviiran vaihtotyöt. Ennen suotonauhapuristimen pysäytystä se erotetaan prosessista ja pestään käynnispitäjien toimesta.

Hyvin suunnitellut työohjeet hyödyttävät sekä työntekijää että työnantajaa. Lean -mallin mukaisesti helposti löytyvät ja ajan tasalla olevat työohjeet helpottavat työskentelyä ja työntekijälle jää enemmän voimavaroja työntekoon. Valmiilla työohjeilla työt voidaan suorittaa ilman suurempia viiveitä, joka tehostaa työntekoa. Toimivalla työohjeistuksella työ tehdään suoritetaan turvallisemmin ja sujuvammin, näin ollen yrityksen toiminnasta tulee tehokkaampaa, tuottavampaa sekä laadukkaampaa.

4 SOODAKATTILA

Tässä kappaleessa esitellään soodakattilan toiminta ja merkitys sulfaattisellutehtaassa. Sellunvalmistuksessa hake konvertoidaan massaksi höyryllä ja valkolipeällä. Joutsenon tehtaalla valkolipeän sijasta käytetään polysulfidireaktiolla valmistettua oranssilipeää. Prosessissa erottuneita kuitujen orgaanisia sidosaineita sekä keitossa jäljelle jääneitä kemikaaleja kutsutaan laihamustalipeäksi, joka saadaan väkevöityä mustalipeäksi nostamalla sen kuiva-ainepitoisuutta. Soodakattilan tehtävinä on ottaa talteen keitosta jääneet kemikaalit, sekä polttaa orgaaninen aines, mistä saadaan tuotettua höyryä sellutehtaan tarpeisiin sekä turbiinilla sähköksi. Näiden tehtävien lisäksi soodakattilaa täytyy pystyä ajamaan ympäristöystävällisesti. Kuvassa 3 on esitetty sulfaattisellutehtaan kemikaalikierto. (Vakkilainen, 2005)



Kuva 3. Sulfaattisellutehtaan kemikaalikierto (Knowpulp, 2017)

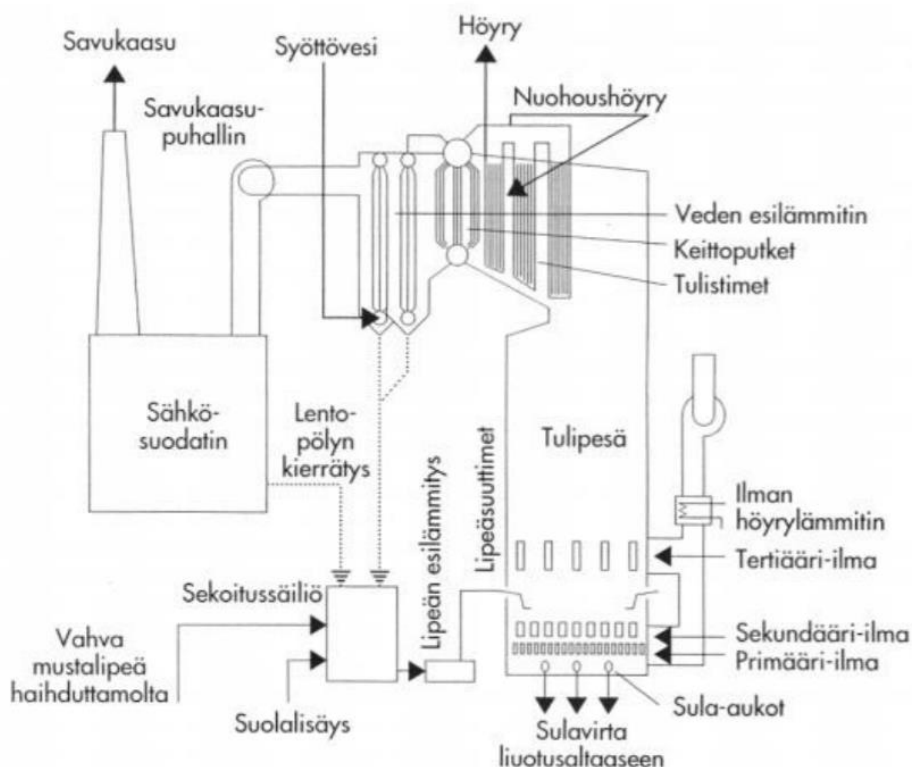
4.1 Soodakattilan tehtävät

Soodakattilan päätehtävät ovat mustalipeän regenerointi natriumsulfaatista (Na_2SO_4) natriumsulfidiksi (Na_2S) sekä lämmön ja sähkön tuotanto. Mustalipeä poltetaan

soodakattilassa, josta kemikaalisula otetaan talteen jatkokäsittelyä varten. Mustalipeän palamisessa natriumsulfaatti pelkistyy natrium sulfidiksi. Palamisessa tuotettu lämpö otetaan talteen soodakattilan vesihöyrypiirissä. Höyryä käytetään tehtaan energiantarpeisiin sekä muutetaan generaattorilla sähköksi, joka myydään sähköverkkoon. Sellutehtaat ovat usein energiaomavaraisia, eli ne tuottavat enemmän energiaa, kuin itse käyttävät. (Raiko, et al. 2002, 523)

4.2 Soodakattilan rakenne

Tässä luvussa esitellään soodakattilan toiminnan kannalta tärkeimmät osat ja prosessit. Aluksi esitellään soodakattilan rakenne ja laitteet, jonka jälkeen syvennyttään soodakattilan kemikaalikiertoon. Kuvassa 4 on esitetty soodakattila ja sen tärkeimmät osat.



Kuva 4. Soodakattila ja sen tärkeimmät osat. (Raiko et al. 2002, 523)

4.2.1 Vesi- ja höyrykierto

Soodakattilan vesi-höyrykierto tapahtuu paineenalaisessa painerungossa, joka koostuu syöttövesisäiliöstä, syöttövesipumpuista, höyrylieriöstä, keittoputkista, tulistimista sekä

ekonomaisesta. Syöttövesi pumpataan syöttövesisäiliöstä ekonomaisereille, joissa se esilämmitetään lähelle kiehumapistettä, jonka jälkeen se ohjataan höyrylieriöön.

4.2.1.1 Keittopinta

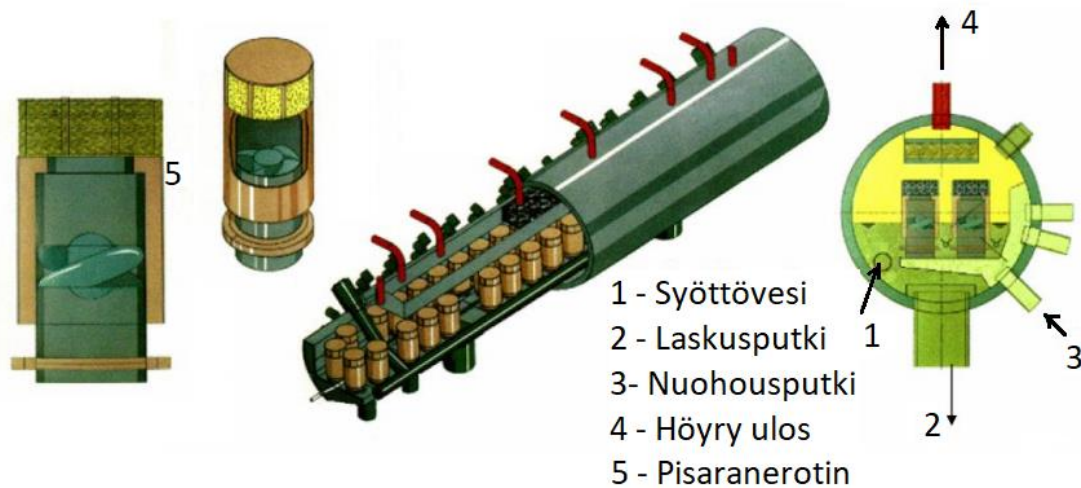
Keittopinta on pystyputkimallinen ja sijaitsee tulistimien jälkeen savukaasukanavassa. Savukaasut virtaavat putkien suuntaisesti alaspäin.

4.2.1.2 Ekonomaiserit I & II

Syöttövesi esilämmitetään savukaasujen lämmöllä lähelle veden kiehumispistettä. (Vakkilainen, 2005, 7-8) Ekonomaiserit I ja II ovat pystyputkimallisia, joissa savukaasujen virtaus on putkien suuntaisesti alaspäin. Ekonomaiserit ovat sijoitettu kahteen kaasuvetoon. (Metsä Fibre, 1998)

4.2.1.3 Höyrylieriö

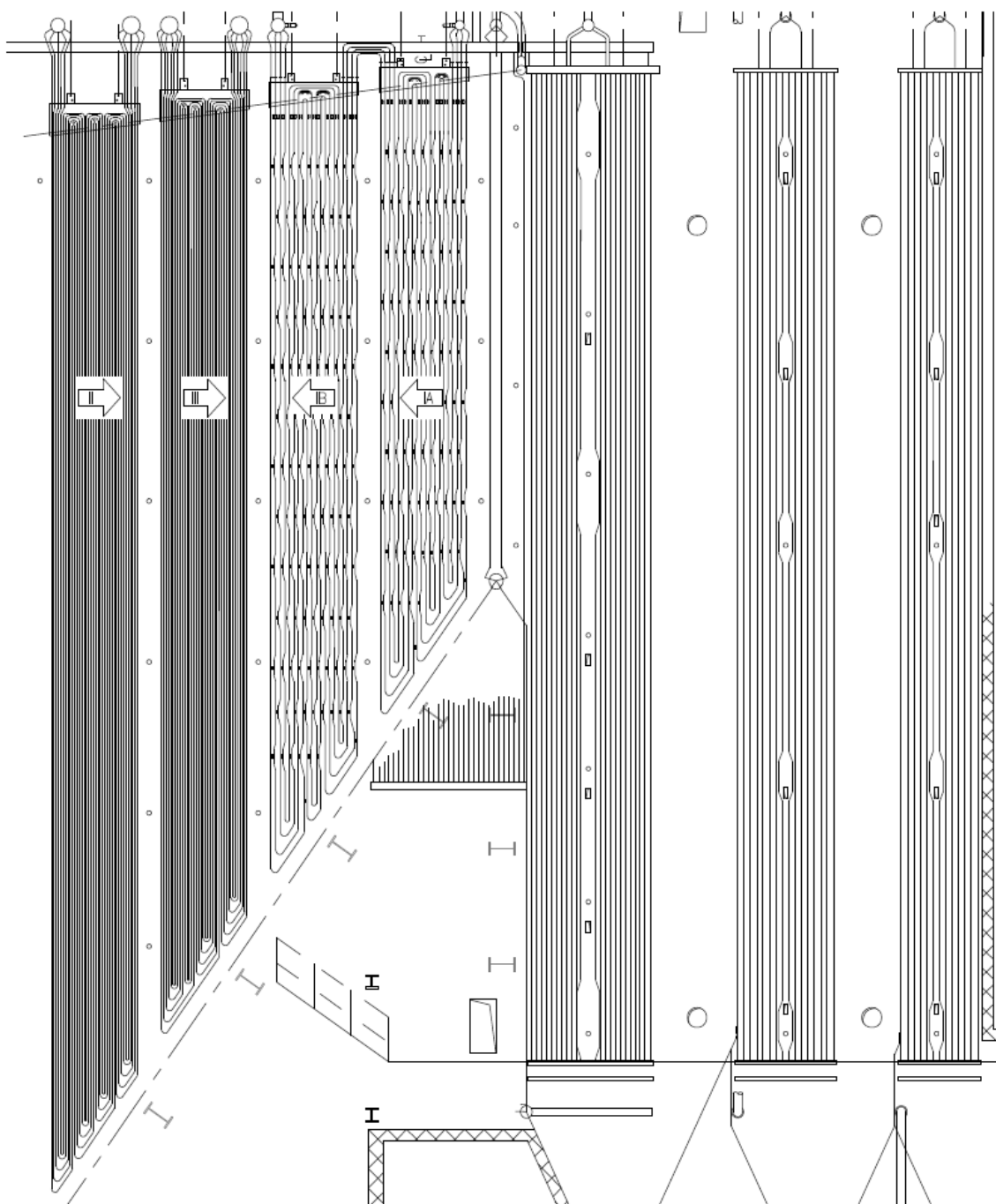
Ekonomaisereilta esilämmitetty syöttövesi syötetään höyrylieriölle. Höyrylieriössä kylläinen vesi ja höyry erotellaan toisistaan. Tiheyseron vaikutuksesta kylläinen vesi lähtee laskuputkista soodakattilan pääjakokammioon, josta se jakautuu tulipesään johtaville sivu- ja pohjaputkille, kun taas höyry nousee lieriön yläosaan, josta se johdetaan tulistimille. Kuvassa 5 on esitetty höyrylieriö. (Knowpulp, 2017)



Kuva 5. Höyrylieriö (muokattu lähteestä Vakkilainen, 2005)

4.2.1.4 Tulistimet

Tulistimet ovat sijoitettu soodakattilan nokan yläpuolelle, roikkumaan soodakattilan katosta. Tulistimet ovat nokan takana siitä syystä, että niitä täytyy suojata liialliselta säteilylämmöltä. Nokka myös ohjaa savukaasujen virtausta. Tulistimiin lämpö siirtyy pääosin konvektiolla. (Adams, T. et al. 1997, 13-14) Joutsenon soodakattilassa on kolmivaiheinen tulistus. Primääritulistimet IA ja IB, sekundääritulistin II sekä tertiääritulistin III. Höyryn lämpötilaa säädetään primääri- ja sekundääritulistimen jälkeen. Tulistimet on esitetty kuvassa 6. Höyryä jäähdytetään Dolezal-lauhduttimella, joka on sijoitettuna eko II ja lieriön väliin. (Metsä Fibre, 1998)



Kuva 6. Tulistimet vasemmalta oikealle II, III, IB ja IA

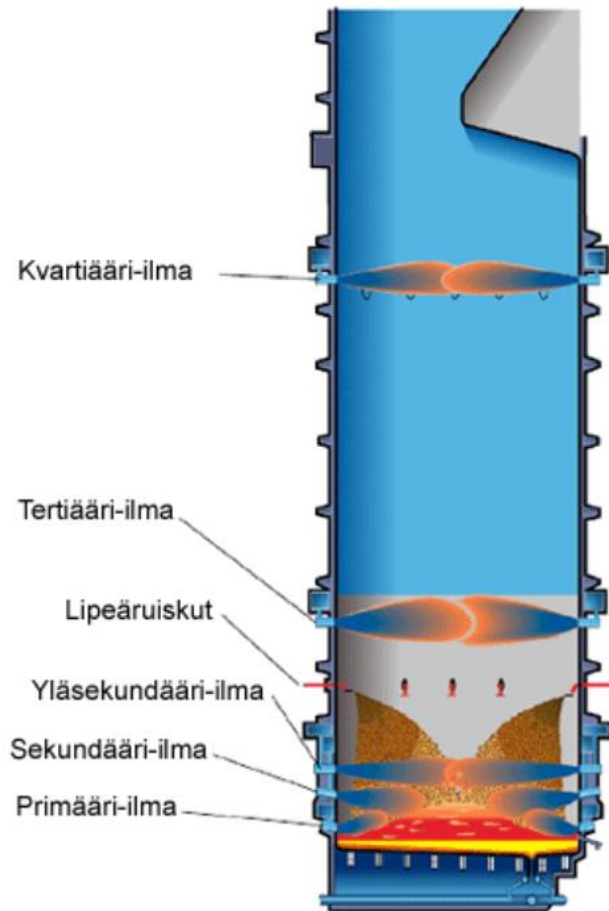
4.2.2 Palamisilmajärjestelmä

Soodakattilan palamisilmajärjestelmän avulla pystytään optimoimaan palamisilman syöttöä tasaisesti tulipesän eri alueille. Ilmajärjestelmän päätavoitteena on varmistaa

mustalipeän optimaalinen palaminen, korkea reduktioaste, matalat päästöt sekä se on merkittävässä roolissa kattilan puhtaana pysymisen kannalta. (Vakkilainen, 2005)

Palamisilma otetaan tavallisesti kattilarakennuksen sisältä, sillä se on ulkoilmaa lämpimämpää. Palamisilmajärjestelmä koostuu palamisilman esilämmittimistä, palamisilmapuhaltimista sekä viidestä palamisilmatasosta. Palamisilman esilämmitys tapahtuu höyrylämmönvaihtimilla. Primääri-ilma esilämmitetään 7 bar:n välipainehöyryllä ja sekundääri-ilma esilämmitetään 3 bar:n matalapainehöyryllä. Sekundääri-ilman lisäksi myös laimeat hajukaasut lämmitetään matalapainehöyryllä, ennen niiden polttamista. Tertiääri- ja kvartiääri-ilmaa ei esilämmitetä. (Metsä Fibre, 1998)

Palamisilman syöttäminen soodakattilaan tapahtuu Multi level -järjestelmällä eli monitasojärjestelmällä, jossa sekundääri-ilma syötetään kahdessa tasossa. Tämä tehostaa ilman tunkeutumista keon keskelle, parantaen näin palamisprosessia. Lisäksi Multi level -järjestelmän ansiosta savukaasujen virtausnopeudet ovat alhaisemmat tulipesän alaosassa, tämä vähentää lipeäpisaroiden karkaamista, eli carryoveria tulistinalueelle. Kuvassa 7 on esitetty palamisilmojen syöttö soodakattilaan. (Knowpulp, 2017)



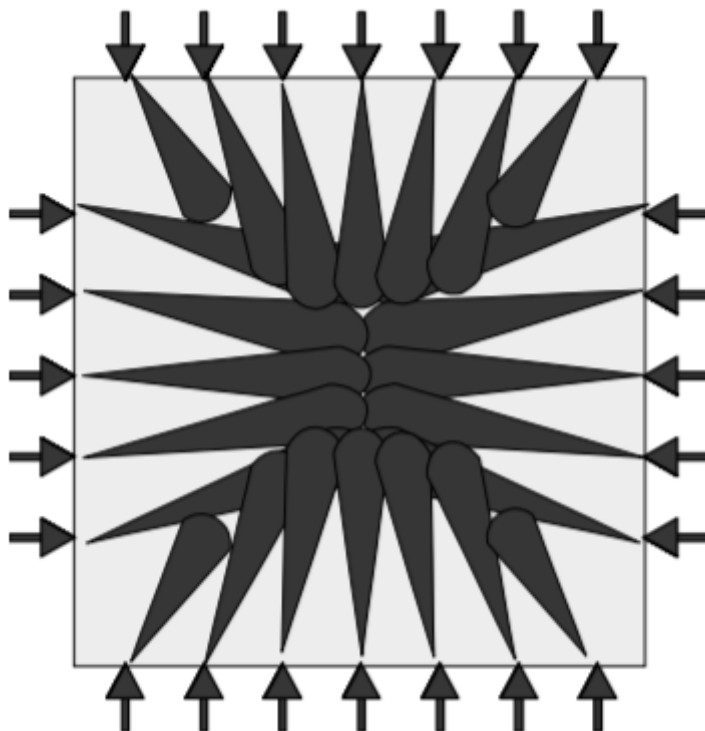
Kuva 7. Soodakattilan palamisilmajärjestelmä (muokattu lähteestä Mäntyniemi, 2001)

Primääri- ja sekundääri-ilman osuus palamisilmasta on 80 – 90 % ja tertiääri- ja kvartiääri-ilman osuus 10 – 20 %. Tyypillisesti palamisilmaa syötetään mustalipeän laadusta riippuen $3,6 - 4,0 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{ka}}$. Lisäksi lisäilmaa syötetään 10 – 20 %, jotta häviöiden jälkeen palamiseen jää riittävästi ilmaa. (Vakkilainen, 2005, 7-4)

4.2.2.1 Primääri-ilma

Primääri-ilma on lämmitetään välipainehöyryllä noin $150 \text{ }^\circ\text{C}$:n ennen tulipesään syöttämistä. (Metsä Fibre, 1998) Primääri-ilma syötetään soodakattilaan noin metrin korkeudelta, tasaisesti jokaiselta seinältä, jotta keko pysyy tulipesässä symmetrisenä. Primääri-ilmasuuttimet on suunnattu 45 asteen kulmaan, kohti kekoa, tällä hallitaan keon muotoa ja estetään sen kertyminen soodakattilan kulmiin. Mikäli sulakekoa ei hallita, se voi romahtaa kattilan seinää vasten ja päätyä primääri-ilma-aukoista ilmakonttiin ja sieltä

kattilahuoneeseen. Kuvassa 8 on esitetty primääri-ilman syöttö soodakattilaan. (Vakkilainen, 2005, 7-4)

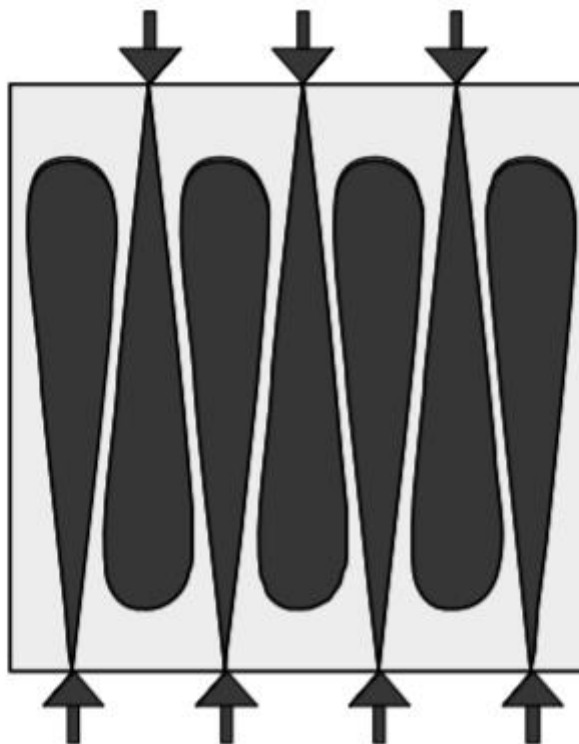


Kuva 8. Primääri-ilman syöttö soodakattilaan (muokattu lähteestä Wessel, 2015, 4)

4.2.2.2 Sekundääri-ilma

Sekundääri-ilmataso on tärkein soodakattilan toiminnan kannalta. Sekundääri-ilma lämmitetään matalapainehöyryllä noin 120 °C:n ennen kuin se syötetään kahdessa tasossa primääri-ilma-aukkojen yläpuolelta, kattilan etu- ja takaseinältä. Kattilan etuseinällä on neljä ja takaseinällä kolme suutinta, joita voidaan säätää yksitellen. (Metsä Fibre, 1998)

Sekundääri-ilmalla säädellään keon lämpötilaa ja sen tarkoituksena on polttaa keosta nousevia kaasuja ja hallita sulakeon kokoa. Korkeammalla lämpötilalla päästöt ovat alhaisempia. Koska mustalipeän kuiva-ainepitoisuus on korkea, on tärkeää, että sekundääri-ilman säätö toimii hyvin, sillä ilman toimivaa sekundääri-ilmajärjestelmää, sulakeko voi kasvaa hallitsemattomaksi. Lisäksi oikea ilmajako vähentää carryoveria ja näin ollen ehkäisee soodakattilan tukkeutumista. Kuvassa 9 on esitetty sekundääri-ilman syöttö soodakattilaan. (Vakkilainen, 2005, 7-4)



Kuva 9. Sekundääri-ilman syöttö soodakattilaan (muokattu lähteestä Wessel, 2015, 4)

4.2.2.3 Tertiääri-ilma

Tertiääri-ilmajärjestelmällä poltetaan palamisprosessista jäljelle jääneet palavat aineet. Tämän soodakattilan tertiääri-ilmasysteemi on jaettu kahteen osaan. Ensimmäinen osa on varsinainen tertiääri-ilmasysteemi, jolla syötetään lämmittämätöntä ilmaa etuseinältä tulipesään ja toinen systeemi koostuu laimeiden hajukaasujen -polttosysteemistä. Tästä toisesta osasta poistetaan hajukaasujen sisältämät pisarat ja se esilämmitetään ja syötetään laimeiden hajukaasujen puhaltimella kattilan takaseinän kautta tulipesään. Molemmat systeemit ovat jaettu kahteen tasoon, tertiääri- ja ylätertiääritasoon. Ylätertiääri-ilma syötetään tulipesään noin neljä metriä normaalin tertiääri-ilmatason yläpuolelta. (Metsä Fibre, 1998)

Tertiääri-ilmasuuttimet ovat sijoitettu lomittain, jotta ilma sekoittuu mahdollisimmat tehokkaasti, joka mahdollistaa paremman palamisen. Suuttimia on etuseinällä kolme ja takaseinällä kaksi. Ilmasuuttimia säädetään tertiääri-ilmapuhaltimen nopeutta säätämällä.

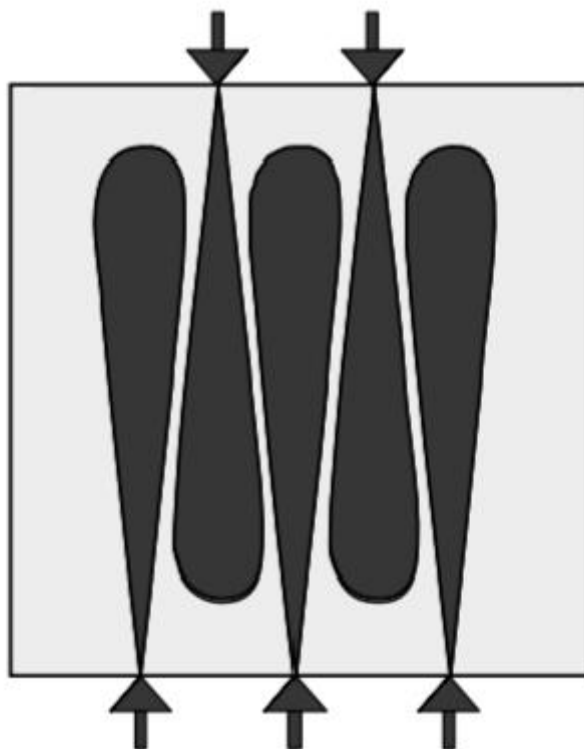
Tertiääri-ilman paine on huomattavasti muita suurempi. Kuvassa 10 on esitetty tertiääri-ilman syöttö soodakattilaan. (Metsä Fibre, 1998)



Kuva 10. Tertiääri-ilman syöttö soodakattilaan (muokattu lähteestä Wessel, 2015, 4)

4.2.2.4 Kvartiääri-ilma

Kvartiääri-ilma syötetään tulipesään etu- ja takaseinältä, jotka ovat toisiinsa nähden limittäin. Etuseinällä on kolme ilmasuutinta ja takaseinällä kaksi, joista jokaisessa on erillinen nopeudensäätöpelti. Kuvassa 11 on esitetty kvartiääri-ilman syöttö soodakattilaan. (Metsä Fibre, 1998)



Kuva 11. Kvartiääri-ilman syöttö soodakattilaan (Muokattu lähteestä Wessel, 2015, 4)

4.2.2.5 Hajukaasujen poltto

Soodakattilassa poltetaan myös sellunvalmistusprosessista aiheutuvia laimeita sekä väkeviä hajukaasuja. Hajukaasut ovat peräisin sellunvalmistusprosessista tai sen sivuvirroista. Laimeita hajukaasuja muodostuu kuitulinjalta sekä talteenottolinjalta erilaisissa säiliöissä, kanaaleissa sekä pesuissa. Laimeat hajukaasut ohjataan yleensä pesureihin, joissa niistä poistetaan vesihöyryä ja tärpättä. Veden poistaminen laimeista hajukaasuista on tärkeää, sillä veden joutuminen soodakattilaan voi aiheuttaa sularäjähdyksen. Laimeat hajukaasut lämmitetään matalapainehöyryllä, ennen niiden syöttämistä kattilaan. (Knowpulp, 2017)

Väkeviä hajukaasuja kerätään talteen haihduttamolta, keittimeltä sekä väkevöittimiltä. Väkevät hajukaasut ovat räjähtäviä kaasuja, joten niiden polttaminen ei ole niin yksiselitteistä, kuin laimeiden hajukaasujen. Niiden keräily tapahtuu suljetuissa säiliöissä ja ne syötetään vesilukon, höyryejektorin sekä vesilukkojen kautta erilliseen hajukaasupolttimeen. Väkevät hajukaasut voidaan myös polttaa erillisellä

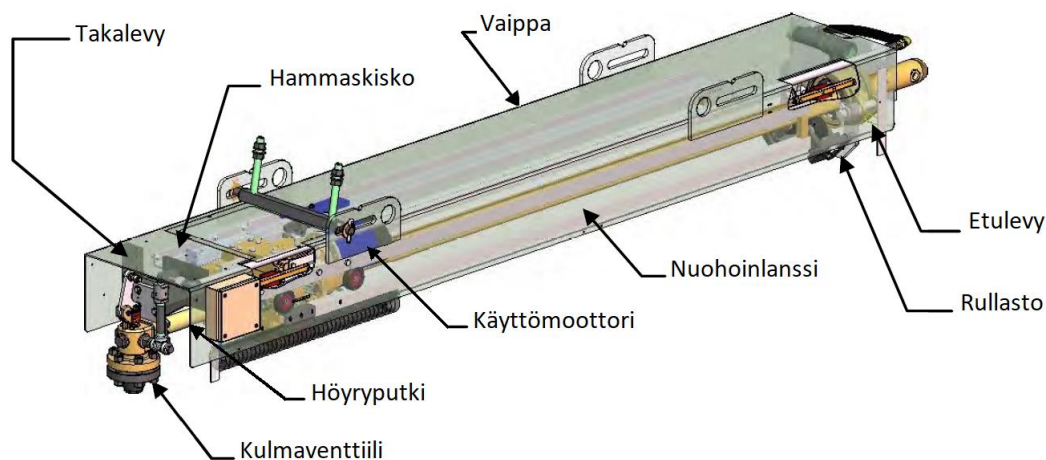
hajukaasupolttimella, mikäli prosessissa aiheutuu häiriöitä. Varapolttimena toimii erillinen soihutupoltin, joka on sijoitettu soodakattilan katolle. (Knowpulp, 2017)

4.2.3 Nuohoimet

Nuohoimet ovat tärkeimpiä soodakattilan oheislaitteita, sillä niitä käytetään soodakattilan lämmönsiirtopintojen puhdistamiseen ja näin ollen ehkäistään kattilan tukkeutumista sekä ylläpidetään hyvää lämmönjohtavuutta. Nuohoimia on sijoitettu soodakattilassa tulistinalueelle, keittopinnoille sekä ekonomaisereiden alueelle. Tulistinalueella nuohoimien irrottama tuhka putoaa takaisin tulipesään, kun taas keittopinnasta ja ekonomaisereista tuhka johdetaan kuljettimia pitkin sekoitussäiliöön, jossa se sekoitetaan vahvalipeän sekaan ja ohjataan takaisin soodakattilaan poltettavaksi. (Metsä Fibre 2019)

Soodakattilassa käytetään jatkuvatoimisia, ulosvedettäviä nuohoimia, jotka toimivat korkeapainehöyryllä. Tyypillinen nuohouspaine on 25 bar, mikäli nuohouspaine ei ole riittävän korkea, lämpöpinnat eivät puhdistu riittävästi. Normaalisti tulistinalueella ja kattilan perällä ekonomaisereissa pidetään parinuohous. (Metsä Fibre 2019 & Knowpulp 2017)

Nuohoin koostuu nuohoimen takaosassa sijaitsevasta höyryventtiilistä, suutinputkesta, nuohoinvaunusta, -moottorista sekä vaipasta. Nuohoinlanssi ajetaan kattilan sisään nuohoinvaunulla, jonka jälkeen nuohoimesta puhalletaan höyryä kattilaan. Kuvassa 12 on esitetty nuohoimen komponentit. (Metsä Fibre, 2019)



Kuva 12. Ulosvedettävä höyrynuohoin (muokattu lähteestä Metsä Fibre, 2019)

4.2.4 Sähkösuotimet

Sähkösuodattimia käytetään soodakattilan savukaasujen puhdistamiseen lentotuhkasta. Joutsenon soodakattilan savukaasupäästöjä hallitaan kolmella sähkösuotimella. Sähkösuotimet ovat sijoitettu ekonomaisereiden jälkeen, jolloin savukaasujen lämpötila on alle 200 °C. Savukaasujen virtausta ohjataan savukaasupuhaltimilla, jotka ovat sijoitettuna sähkösuotimien jälkeen. (Knowpulp, 2017)

Suotimien toiminta perustuu savukaasuhiukkasten ionisoimiseen, eli ne saavat sähköisen varauksen, jonka jälkeen varatut hiukkaset kulkeutuvat keräyselektrodeille sähkökentän vaikutuksesta. Hiukkaset muodostavat keräyselektrodeille tuhkerakkeen, jotka puhdistetaan tasaisin väliajoin lanka- ja levyravistimilla. Ravistimilla tuhka pudotetaan kuljettimille, jotka kuljettavat tuhkan sekoitussäiliöön, jossa se sekoitetaan vahvalipeän sekaan ja ohjataan takaisin soodakattilaan poltettavaksi. (Knowpulp, 2017 & Metsä Fibre 2019)

4.3 Soodakattilan kemikaalikierto

Tässä kappaleessa käsitellään sulfaattisellutehtaan kemikaalikierto soodakattilan osalta sekä käydään lyhyesti läpi haihduttamon, kaustisointilaitoksen ja valkolipeän valmistusprosessit. Soodakattilan neljä tärkeintä prosessia ovat:

- Hiilen poltto
- Sulfaatin pelkistäminen
- Pelkistyneen rikin poltto
- Rikin sidonta

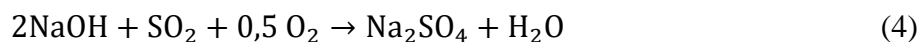
Mustalipeän sisältämä orgaaninen aine palaa tuottaen lämpöä, jonka avulla saadaan kehitettyä höyryä tehtaan tarpeisiin. Hiilen palaminen on esitetty yhtälössä 1.



Samaan aikaan kun hiili palaa tulipesässä, sellun keiton kemikaalit vapautuvat mustalipeästä. Tämä epäorgaaninen aine sisältää natrium ja rikkiyhdisteitä. Sulan sisältämä natriumsulfaatti (Na_2SO_4) pelkistyy natriumsulfidiksi (Na_2S) ja samalla vapautuu hiilidioksidia yhtälön 2 mukaisesti.



Mustalipeän palamisessa muodostunut rikkivety (H_2S) hapettuu muodostaen rikkidioksidia (SO_2) ja vesihöyryä. Rikkidioksidi sitoutuu natriumhydroksidin (NaOH) kanssa muodostaen natriumsulfaattia (Na_2SO_4) yhtälön 4 mukaisesti.



4.3.1 Haihduttamo

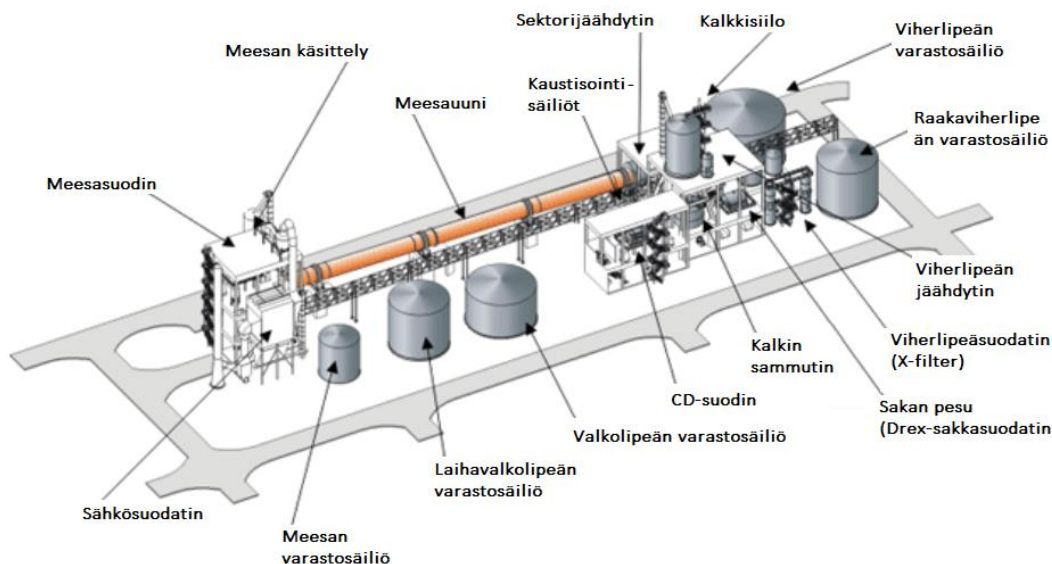
Haihduttamalla laiha mustalipeä vahvistetaan haihduttamalla vettä pois mustalipeän joukosta haihdutinyksiköissä. Keittämöltä saapuvan laihamustalipeän kuiva-aine on ennen vahvistusta noin 15 % ja se vahvistetaan haihdutinyksikkö 4:ssä noin 20 % kuiva-ainepitoisuuteen. Haihduttamo koostuu kuudesta haihdutin yksiköstä, jossa mustalipeän kuiva-ainepitoisuus nostetaan 79 - 81 %:in, tässä kuiva-ainepitoisuudessa olevaa mustalipeää kutsutaan polttolipeäksi. Haihduttamolta polttolipeä pumpataan soodakattilalaitokselle, jossa sen lämpötilaa nostetaan noin 140 °C asteeseen ennen polttamista. Suurin osa polttolipeästä ohjataan lipeärenkaan kautta polttoon, sekä osa lipeästä kierrätetään takaisin polttolipeäsäiliöön. (Metsä Fibre 1998)

4.3.2 Kaustisointilaitos ja valkolipeän valmistus

Soodakattilan sula ohjataan sularännejä pitkin liuotinsäiliöön, jossa se pisaroidaan höyryllä ja liuotetaan laihavalkolipeään, jolloin muodostuu viherliperää (Na_2CO_3). Liuotinsäiliöstä viherliperä pumpataan viherliperän syöttösäiliöön, josta se ohjataan X-filttereille, jotka puhdistavat viherliperän. X-filttereiltä puhdistettu viherliperä syötetään sammuttajaan, jossa viherliperä reagoi kalkin eli kalsiumoksidin (CaO) kanssa muodostaen kalkkimaitoa eli kalsiumhydroksidia (CaOH_2). Sammuttajalta kalkkimaito pumpataan kaustisointisäiliöihin, jossa kaustisointireaktiot tapahtuvat. (Knowpulp, 2019)

Kaustisointisäiliöistä kalkkimaito syötetään paineistettuun kiekkosuotimeen eli CD-suotimeen. CD-suotimessa valkoliperä erotetaan meesasta, erotus perustuu paine-eroon. Joutsenon tehtaalla erotettuvalkoliperä vielä syötetään polysulfidireaktoriin, jossa siihen sitoutuu rikkiä ja siitä muuttuu oranssiliperää. Oranssiliperää käytetään keittämöllä keittokemikaalina. CD-suotimelta meesa ohjataan varastosäiliön kautta meesasuoitimelle, jossa siitä poistetaan neste, jonka jälkeen se syötetään meesauuniin. Meesauunissa meesa poltetaan, jolloin sen sisältämä kalsiumkarbonaatti (CaCO_3) palaessaan muuttuu kalsiumoksidiksi (CaO), jota voidaan uudelleen käyttää sammuttajalla. Yhtälössä 5 on esitetty kalsiumkarbonaatin palaminen kalsiumoksidiksi. Kuvassa 13 on esitetty valkoliperän valmistuksen prosessit (Knowpulp, 2019)





Kuva 13. Valkolipeän valmistuksen prosessit (muokattu lähteestä Knowpulp, 2019)

4.3.3 Mustalipeän ominaisuudet

Mustalipeä sisältää hakkeesta keiton aikana liuenneita orgaanisia-aineita noin 60 % kuiva-aineesta ja epäorgaanisia aineita noin 40 %. Ligniinin osuus orgaanisista aineista on noin 30 – 40 %, muita orgaanisia yhdisteitä ovat hemiselluloosa sekä puun uuteaineet (Knowpulp, 2019). Epäorgaaniset aineet eivät pala, mutta muuttavat muotoaan, eli sulavat tulipesässä ja regeneroituvat. Epäorgaanisen aineen reaktioista kerrotaan kappaleessa 4.3.3. Mustalipeän tärkeimmät fysikaaliset ominaisuudet on:

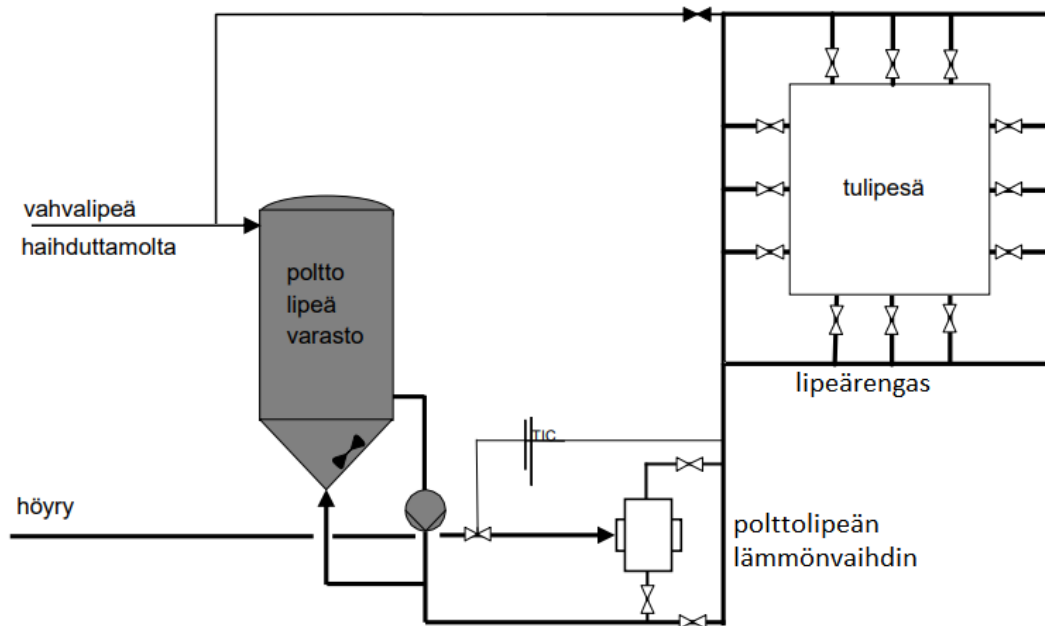
- Tiheys
- Viskositeetti
- Lämmönjohtavuus
- Ominaislämpö
- Pintajännitys

Mustalipeän tärkeimmät mitattavat arvot, joiden perusteella nämä fysikaaliset ominaisuudet voidaan määrittää ovat mustalipeän kuiva-ainepitoisuus sekä lämpötila. Mustalipeän viskositeetti ja tiheys ovat pisaran muodostumisen kannalta erittäin tärkeitä, sillä ne vaikuttavat poltettavan mustalipeän pisaroitumisominaisuuksiin. Pisaroitumisesti

on kerrottu tarkemmin kappaleessa 4.3.2. Kun mustalipeän lämpötila kasvaa, samalla kasvaa myös ominaislämpö. Kun kuiva-ainepitoisuus nousee, ominaislämpö laskee. (Knowpulp, 2019)

4.3.4 Polttolipeäsuuttimet

Haihduuttamolta vahvistettu mustalipeä syötetään polttolipeäsäiliöön, josta se pumpataan lämmönvaihtimen kautta lipeärenkaalle. Ennen lipeärenkasta polttolipeä vielä kuumennetaan höyrylämmönvaihtimella noin 140 °C. Lipeärenkaalta polttolipeä syötetään polttolipeäsuuttimilla soodakattilaan. Polttolipeää myös kierrätetään lipeärenkaan kautta takaisin polttolipeän varastosäiliöön. Polttolipeäsuuttimia soodakattilassa on tyypillisesti kahdeksan tai kymmenen. Kuvassa 14 on esitetty polttolipeän syöttö varastosäiliöstä lämmönvaihtimen kautta lipeä renkaalle.



Kuva 14. Polttolipeäsuuttimet ja lipeärenkas (muokattu lähteestä Vakkilainen, 2010)

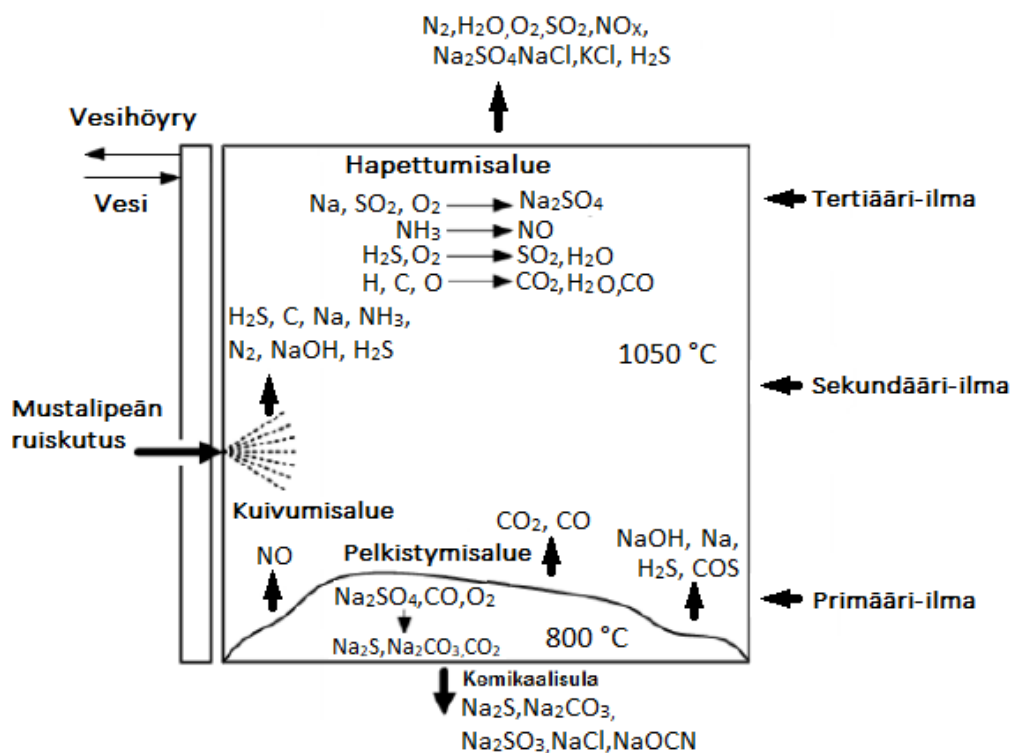
4.3.5 Tulipesä

Tulipesä on kaasutiivis ja se on valmistettu evitetyistä putkista hitsaamalla. Tulipesässä on heikennetty nurkka. Tulipesän alaosassa on noin metrin korkeudelle ulottuva osa

valmistettu kestävämmistä compound-putkista, lisäksi sivuseinien reunaputket ovat valmistettu Sanicro-materiaalista lisäämään tulipesän kestävyttä. (Metsä Fibre, 1998)

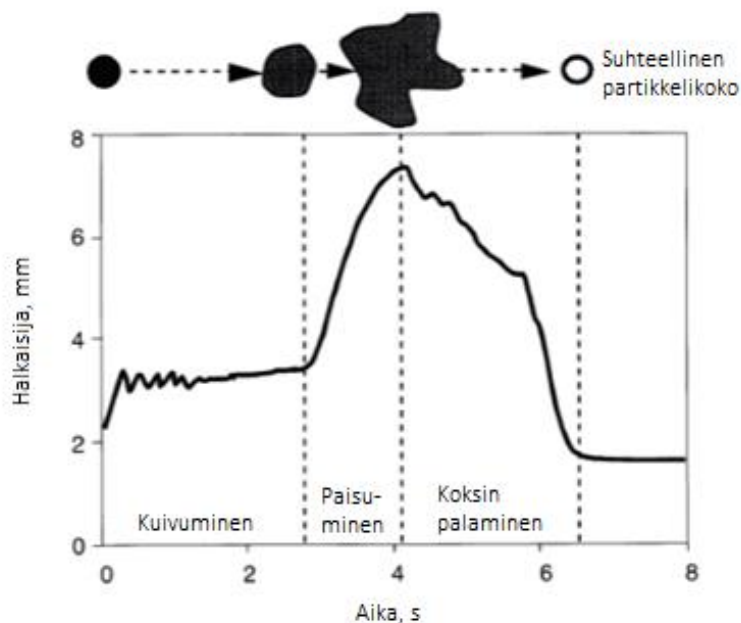
4.3.6 Mustalipeän palaminen

Polttolipeä ruiskutetaan lipeärenkaalta polttolipeäsuuttimilla tulipesään, soodakattilan pohjalle. Polttolipeäsuuttimia on tyypillisesti kahdeksan tai kymmenen. Lipeäsuutin pisaroittaa lipeäsuihkun siten, että pisarakoko on palamisen kannalta optimaalinen. Kuvassa 15 on havainnollistettu tulipesässä tapahtuvia reaktioita, lipeän ruiskutusta tulipesään sekä ilmajakoa.



Kuva 15. Tulipesän reaktiot, lipeän ruiskutus sekä ilmajaot (muokattu lähteestä Suhr et al. 2015, 236)

Lipeäpisaran palaminen tapahtuu neljässä vaiheessa, jotka tapahtuvat osittain samanaikaisesti. Vaiheet ovat mustalipeäpisaran kuivuminen, pyrolyysi, koksen palaminen sekä sulassa tapahtuvat reaktiot. (Vakkilainen, 2005, 4-6) Kuvassa 16 on esitetty palamisen vaiheet.



Kuva 16. Mustalipeäpisaran palaminen esitettyä ajan ja halkaisijan funktiona (Muokattu lähteestä Vakkilainen, 2006, 45)

Mustalipeäpisaran kuivuminen tapahtuu osittain samanaikaisesti pyrolyysin kanssa. Pyrolyysissä lipeäpisaran sisältämä vesi höyrystyy ja lipeäpisara paisuu moninkertaiseksi vapauttaen samalla orgaanisia sekä epäorgaanisia yhdisteitä. Orgaaniset yhdisteet palavat vapautuessaan muodostaen näkyvän liekin, epäorgaaniset aineet kuten natrium ja rikki voivat päätyä vapautuessaan ilmvirran mukana kattilan yläosiin aiheuttaen tukkeutumista ja likaantumista kattilassa.

Kuivuminen ja pyrolyysi tapahtuvat pääosin ennen lipeäpisaran putoamista kattilan pohjalle. Kun pyrolyysireaktio on lähes kokonaan reagoanut, alkaa koksin palaminen. Koksi on huokoista jäljelle jäänyttä, huokoista, epäorgaanista ainetta, jonka palaessa vapautuu regeneroinnin kannalta tärkein aine, rikki (S). Rikki pelkistyy natriumsulfaatista (Na_2SO_4) natriumsulfidiksi (Na_2S) seuraavien reaktioiden mukaisesti (Vakkilainen 2005, 6-8)





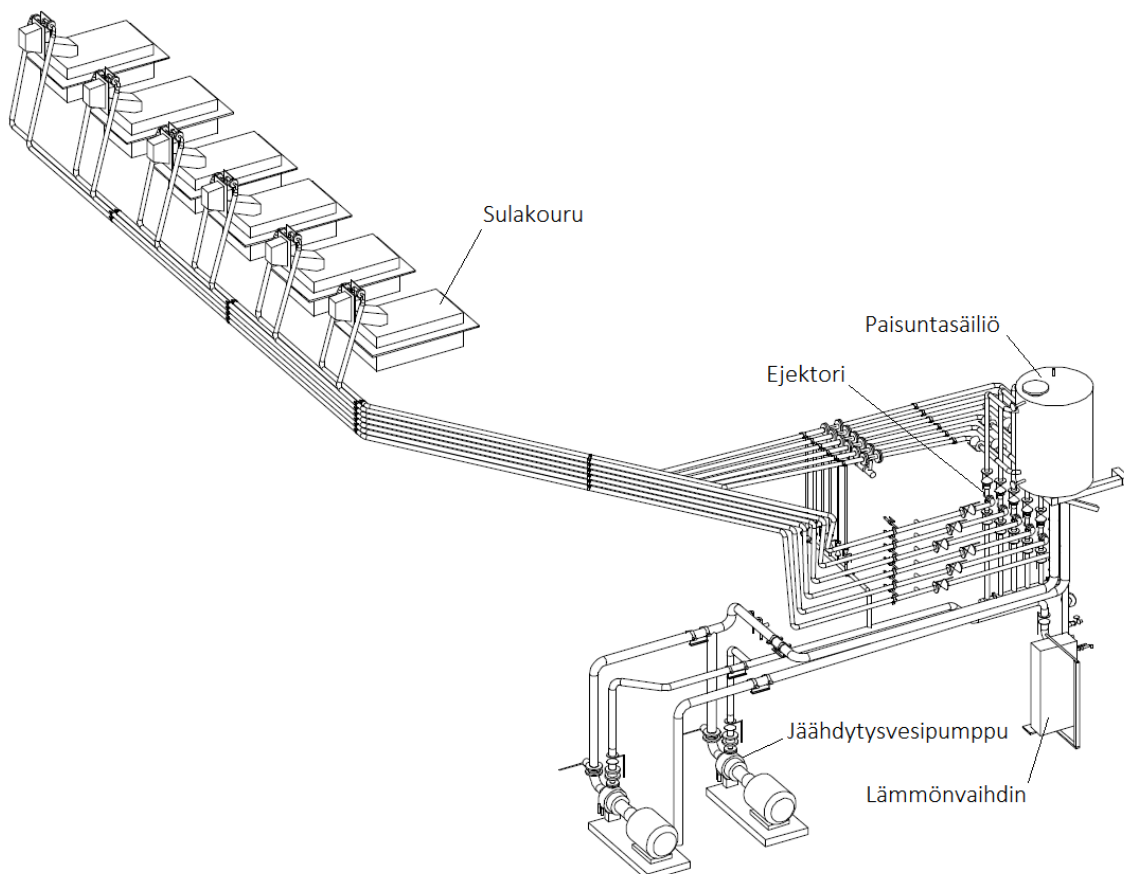
Koksin palamisen aikana epäorgaaninen aine saa nestemäisen, sulan muodon. Sula koostuu pääosin natriumkarbonaatista (Na_2CO_3) ja natriumsulfidista (Na_2S). Soodakattilan yksi tärkeimmistä tehtävistä on keittokemikaalien regenerointi, eli keittokemikaalien pelkistäminen uudelleen hyödynnettävään muotoon. Regenerointia kuvataan reduktioasteella, eli natriumsulfidin suhteella natriumsulfaattiin sekä -sulfidiin. Reduktioaste on tyypillisesti yli 95 % ja se saadaan laskettua yhtälöllä (KnowPulp 2017)

$$\text{Reduktioaste} = \frac{\text{Na}_2\text{S}}{\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_4} \cdot 100\% \quad (9)$$

4.3.7 Sulan käsittely ja viherlipeäjärjestelmä

Kattilasta sula poistuu sulakouruja pitkin noin 800 – 900 °C lämpötilassa liuotinsäiliöön. Ennen sulan putoamista liuotinsäiliöön, se pisaroidaan höyryllä tasaiseksi sumuksi, jotta sulan aiheuttama paukkuminen vähentyisi. Liuotinsäiliöön syötetään kaustisointilaitokselta saatavaa laihavalkoliipeää, joka reagoi sulan kanssa muodostaen viherlipeää. Viherlipeästä valmistetaan valkoliipeää kaustisointilaitoksella.

Sulakourut ovat jäädytetty vedellä, joka kiertää sulakourun sisällä olevissa lohkoissa. Jäädytysvesi syötetään paisuntasäiliöstä sulakourun jäädytyslohkoon siten, että se kiertää ensin kourun pohjan, jonka jälkeen vesijako suunnataan kourun sivuille ja kourun yläosaan. Jäädytysvesilinjaan luodaan alipaine ejektoreilla, jotta mahdollisessa sulakourun vauriotilanteessa vesi ei pääse sulan kanssa kosketuksiin ja aiheuttaisi sularäjähdyksen. Ejektorit kierrättävät jäädytysveden takaisin paisuntasäiliöön. Sulakourujen jäädytysvesipumpulla kierrätetään vettä paisuntasäiliöstä lämmönvaihtimen läpi ejektoreiden kautta takaisin paisuntasäiliöön. Paisuntasäiliön pinta pidetään vakiona lisäämällä lauhdetta tai lisävettä säiliöön tarvittaessa. Kuvassa 17 on havainnollistettu sulakourujärjestelmän toimintaa. (Metsä Fibre, 1998 & 2019)



Kuva 17. Sulakourujärjestelmä (Metsä Fibre)

Kattilasta sulakouruja pitkin valuva sula hajotetaan kahdella höyrystyksellä ennen sen ohjaamista liuotinsäiliöön. Jokaisella sulakourulla on kaksi höyrystyskappa. Kaustisointilaitokselta pumpattava laihavalkolipeä reagoi sulan kanssa muodostaen viherlipoa sekoittimilla varustetussa liuotinsäiliössä. Liuotinsäiliön höngät ohjataan hönkäpuhaltimen kautta hönkäpesuriin, jossa ne pestään ja ohjataan piippuun. Viherlipoa pumpataan viherlipoan tasaussäiliöön kaustisointilaitokselle. (Metsä Fibre, sisäinen)

4.3.8 Soodakattilan päästöt

Haitalliset päästöt syntyvät palamisreaktioiden yhteydessä soodakattialan alaosissa, eivätkä ne muutu enää keittopinnan jälkeen. Taulukossa 2 on esitetty soodakattilan haitalliset savukaasupäästöt.

Päästö	Yhdiste
Rikkidioksidi (ppm)	SO ₂
Typen oksidit (ppm)	NO _x
Hiilimonoksidi (ppm)	CO
Pelkistyneet rikkiyhdisteet (ppm)	TRS
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (ppm)	VOC
Kiintoainepartikkelit (mg/m ³ n)	-

Taulukko 2. Soodakattilan mitattavat päästöt

Rikkidioksidi (SO₂) päästöt riippuvat poltettavan lipeän kuiva-ainepitoisuudesta, sekä lipeän sisältämän rikin (S) määrästä. Mikäli keon lämpötila on alhainen, rikkipäästöt kasvavat. Lipeän rikkipitoisuus riippuu lipeän sulfiditeetistä, joka kuvaa natriumsulfidin määrää keittolipeässä. Paras tapa rikkipäästöjen vähentämiseen on lipeän kuiva-ainepitoisuuden nostaminen, sillä samalla tulipesän lämpötila nousee ja rikki pelkistyy reagoitessa natriumyhdisteiden kanssa muodostaen natriumsulfaattia (Na₂SO₄). Rikkidioksidipäästöihin vaikuttaa myös kattilan kuorma. Kuorman ollessa matalampi, tulipesä on epävakaampi ja on näin ollen herkempi muutoksille. (Metsä Fibre, 1998)

Savukaasujen typenoksideista yli 95 %:a on typpioksidia (NO), loput 5% on typpidioksidia (NO₂). Typpioksidien määrään vaikuttaa palamislämpötila, palamisilman määrä sekä poltettavan lipeän typpipitoisuus. Lipeän typpipitoisuuteen vaikuttaa sellun keitossa käytetty hakesuhde, lehtipuulla typpipäästöt ovat 20 – 50 %:a havupuuta korkeammat. (Metsä Fibre, 1998 & Knowpulp 2017)

Hiilimonoksidin (CO) määrä riippuu suoraan palamisen täydellisyydestä. Hyvällä ilmajaolla hiilimonoksidi sekoittuu tehokkaasti polttoilmaan ja näin ollen happitaso voidaan pitää alhaisena, ilman että CO-päästöt kasvavat. (Metsä Fibre, 1998)

Pelkistyneet rikkiyhdisteet (TRS) johtuvat alhaisesta palamislämpötilasta ja niitä muodostuu erityisesti sellaisilla alueilla tulipesässä, joissa lipeä palaa huonosti. TRS-päästöt ovat 95 %:sesti rikkivetyä (H_2S), loput dimetyylisulfidia (C_2H_6S), dimetyylidisulfidia ($C_2H_6S_2$) sekä metyyliimerkaptania (CH_4S). Pelkistyneet rikkiyhdisteet hapettuvat rikkidioksidiksi (SO_2) sekundääri- ja tertiääri-ilmavyöhykkeillä, joissa on korkeat lämpötilat. Matalalla kattilan kuormalla TRS-päästöt kasvavat. (Metsä Fibre, 1998)

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ovat pääosin metaania, lisäksi esiintyy pieniä määriä etaania ja muita yhdisteitä. VOC -pitoisuus savukaasuissa ilmaistaan metaanina ja niiden pitoisuuteen vaikuttaa palamisen täydellisyys. (Metsä Fibre, 1998)

Kiintoainepartikkelit koostuvat natriumsulfaatin (Na_2SO_4) ja natriumkarbonaatin (Na_2CO_3) lisäksi pienistä määristä epäorgaanisia yhdisteitä. Partikkelien määrä on riippuvainen tulipesän lämpötilasta, lipeän ruiskutuksesta sekä palamisilman ilmajaosta. Kiintoainepartikkelit otetaan talteen sähkösuotimilla, joista ne palautetaan mustalipeän joukkoon ja uudelleen polttoon. (Metsä Fibre, 1998)

5 MÄNTYÖLJYKEITTÄMÖ

Mäntyöljy on sulfaattiselluntehtaan tärkeä sivutuote, jota saadaan jalostamalla puun uuteaineita. Sulfaattisellun keitossa puun rasvat ja hartsihapot liukenevat keittoprosessissa alkaliseen oranssilipeään. Nämä rasvat ja hartsihapot johdetaan keittämöltä haihduttamolle laihamustalipeän mukana. Haihduttamalla nämä erottuvat lipeäsäiliöiden pinnalle kerrokseksi, jota kutsutaan suovaksi. Tässä kappaleessa esitellään suovan jalostus mäntyöljyksi jatkuvatoimisella HDS-keittämöllä.

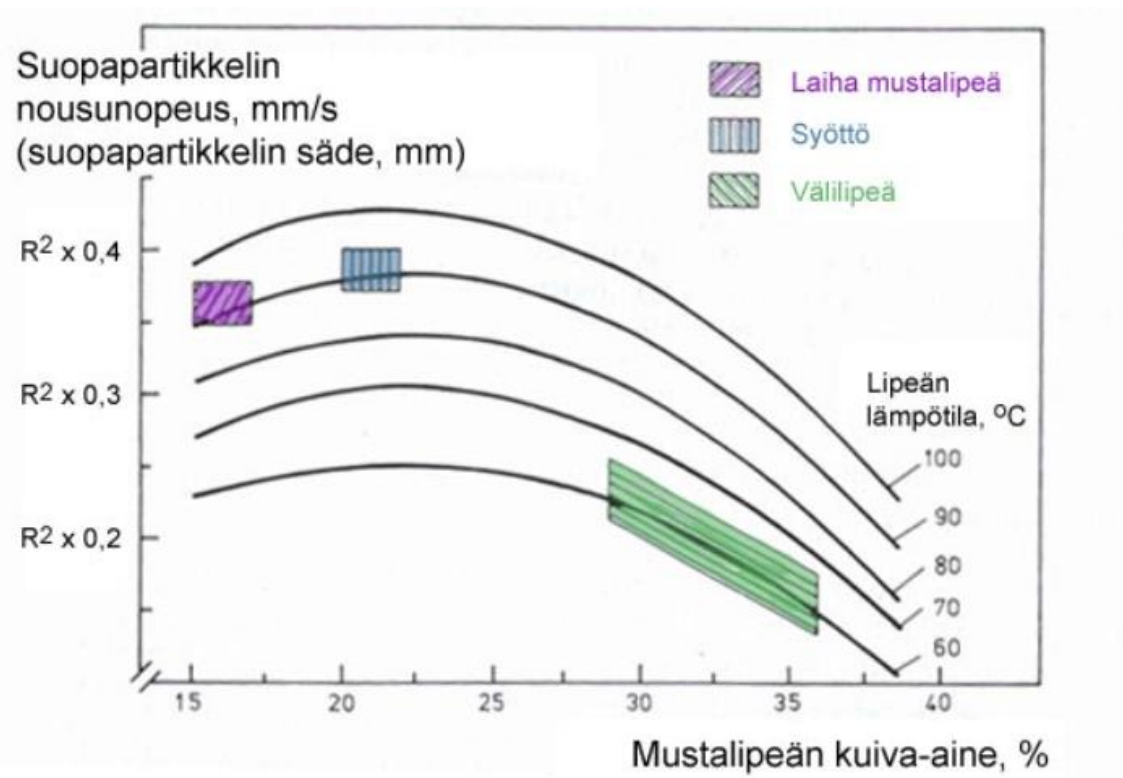
Suovan erottumiseen lipeästä vaikuttaa mustalipeän lämpötila, kuiva-ainepitoisuus, uuteaineiden koostumus, suopartikkelien koko, sekä lipeän laskeutumisenopeus. Lipeäsäiliöiden pinnalle erottunut suopa poistetaan suovankeräysrännejä pitkin suovan keräyssäiliöön ylikaatona nostamalla lipeäsäiliöiden pintaa. Kapillaari- ja adheesiovoimien vaikutuksesta suovassa on reilusti mustalipeää, jota poistetaan suovan keräyssäiliöstä ja tasaussäiliöistä. (Knowpulp 2017) Tasaussäiliöistä suopa pumpataan mäntyöljykeittämölle.

5.1 Suovan erottuminen mustalipeästä

Suovan erottuminen mustalipeästä tapahtuu haihduttamalla kahdessa laihalipeäsäiliöissä, pesulipeäsäiliössä sekä välilipeäsäiliössä. suovan erottumiseen lipeästä vaikuttaa:

- Mustalipeän lämpötila
- Kuiva-ainepitoisuus
- Uuteaineiden koostumus
- Suopartikkelien koko
- Lipeän laskeutumisenopeus (Knowpulp, 2017)

Kuvassa 18 on esitettyinä suovan erottumiseen ominaiset lämpötilat prosessin eri vaiheissa.



Kuva 18. Suopartikkelin nousunopeuden riippuvuus mustalipeän kuiva-aineesta, lämpötilasta ja suopartikkelin suuruudesta (Knowpulp, 2017)

Kuvassa 18, on esitetty optimaalinen lämpötila-alue suovan erottumiselle laihamustalipeästä (violetti), syöttölipeästä (sininen) sekä välilipeästä (vihreä). Keittämöltä tulevan laihan mustalipeän lämpötila tulee olla 88 – 92 °C, partikkelikoon ollessa noin 0,35 mm, jotta suovan erottuminen on optimaalista. Syöttölipeästä suopa erottuu samassa lämpötilassa. Välilipeästä suopa erottuu matalammassa, noin 55 – 65 °C:ssa, partikkelikoon ollessa lähes puolet pienempi, eli noin 0,20 mm.

Lipeäsäiliöiden pinnalle erottunut suopa poistetaan suopaussekvenssillä, jonka automatiikka nostaa lipeäsäiliöiden pintaa, jolloin suopa siirtyy suovankeräysrännejä pitkin suovan keräyssäiliöön ylikaatona. Suovankeräyssäiliöön päätyy suovan lisäksi myös mustalipeää kapillaari- ja adheesiovoimien vaikutuksesta. (Knowpulp, 2017) Mustalipeä, joka on suopaa tiheämpää, poistetaan säiliön pohjalta pesulipeäsäiliöön suovan keräyssäiliön lipeäpumpulla.

Suovan keräyssäiliössä suopaa kierrätetään suovan keräyssäiliön syöttöpumpulla, jotta suovan sisältävä kipsi ja ligniini ei muodostaisi faaseja, jolloin suovasta tulee epähomogeenistä. Samalla pumpulla suopa pumpataan suovan tasaussäiliö 1:en.

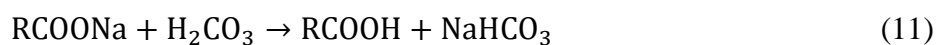
Tasaussäiliö 1:ssä suopaa kierrätetään, jotta suovan koostumus pysyy homogeenisenä. Tasaussäiliö 1:stä suopaa ajetaan ylikaadolla tasaussäiliö 2:en, josta se pumpataan suovan CO₂-vaiheeseen, jossa suopa neutraloidaan. Suovan viipymäaika tasaussäiliöissä on kahdesta viiteen päivään. (Joni Komulainen & Henri Taina keskustelu 10.10.2019)

5.2 Suovan neutralointi

Suopa neutraloidaan kaksivaiheisessa prosessissa, joista ensimmäinen on CO₂-keitto. Neutralointi tapahtuu neutralointireaktorissa, jonka paine pidetään noin 8,5 bar:ssa ja lämpötila noin 48 °C. Reaktoriin syötetään suopaa, laimennusvettä sekä hiilidioksidia. Hiilidioksidi reagoi ensin veden kanssa muodostaen hiilihappoa. (Laxén & Tikka, 2008, 377.)



Veden ja hiilidioksidin välinen reaktio on esitetty yhtälössä 10. Reaktiossa syntynyt hiilihappo reagoi suovan kanssa muodostaen raakamäntyöljyä sekä natriumvetykarbonaattia. Reaktiossa kaikki suopa ei reagoi, hiilihapon kanssa, jonka takia prosessissa on kaksi neutralointivaihetta.



Hiilidioksidireaktorin jälkeen suopa-bikarbonaattivesi -seos ohjataan kaasunerotusreaktoriin, jossa reaktiossa syntyneet kaasut ohjataan hajukaasun keräilyyn, jonka jälkeen seoksen pH:ta säädetään rikkihapolla ennen suopaöljysäiliötä. Bikarbonaattivesi sisältää vettä, ligniiniä sekä kalsiumia, jotka palstoitukseen joutuessaan vähentävät kapasiteettia ja saantoa. Optimaalisen erottumisen kannalta tavoite pH on noin 7,3 – 7,6, vuodenaikasta riippuen. Rikkihappo ja jäljelle jäänyt reagoimaton suopa muodostavat mäntyöljyä sekä natriumsulfaattia yhtälön 12 mukaisesti.

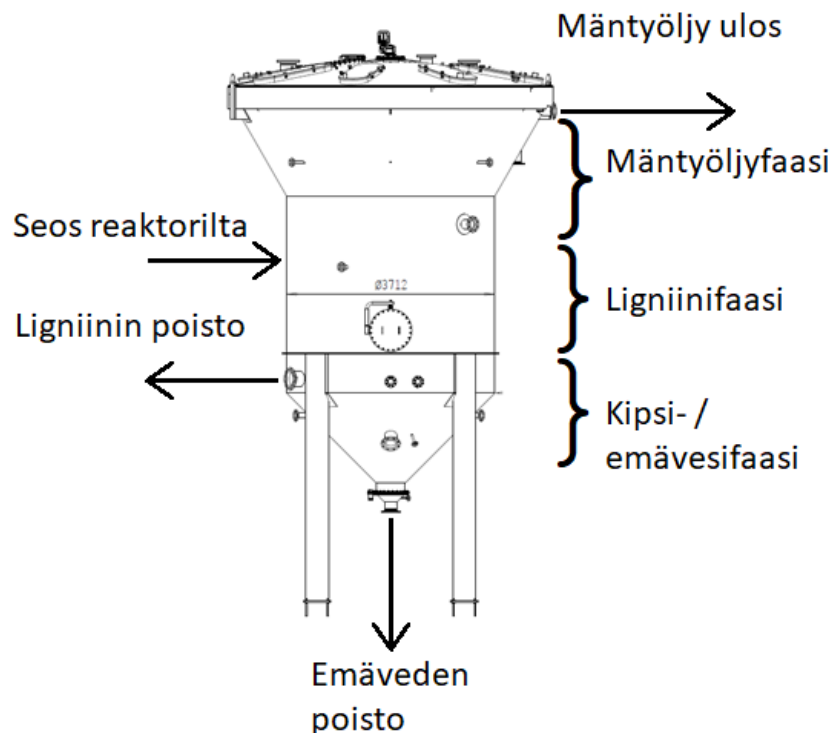


Suopaöljysäiliössä bikarbonaatti laskeutuu tiheämpänä aineena säiliön pohjalle, josta se pumpataan laihalipeälinjaa pitkin vuotolipeäsäiliöön. Suopaöljy pumpataan ylemmästä yhteestä höyrylämmönvaihtimen kautta välireaktoriin. Lämmönvaihtimella suopaöljy lämmitetään 98 – 100 °C, jolloin osa karbonaattisidoksista hajoaa muodostaen hiilidioksidia ja rikkivetyä. Välireaktorissa muodostuneet kaasut erotetaan suopaöljystä ja ohjataan hajukaasujen keräilyyn. (Laxén & Tikka, 2008, 377–378.)

5.3 Palstoitus ja varastointi

Välireaktorilta suopaöljy pumpataan palstoitukseen. Palstoituksen tarkoituksena on vapauttaa ligniini sekä veteen liukenemattomat orgaaniset hapot natriumsuoloista rikkihapolla (Knowpulp, 2017). Ennen reaktoria suopaöljyn pH:ta lasketaan rikkihapolla. Rikkihapon määrää ohjaa emäveden pH, jonka tulisi olla 2,6 – 3,0, jolloin suopa on täydellisesti hapotettu. (Metsä Fibre, 2019)

Palstoitusreaktiossa muodostuu neljä faasia, mäntyöljyfaasi, ligniinifaasi, emävesifaasi ja kipsifaasi. Emävesifaasi sisältää reagoimattoman rikkihapon sekä natriumsulfaattia. Reaktorista reaktiotuotteet siirtyvät ylikaatona HDS-erottimeen, jossa faasit muodostuvat. (Laxén & Tikka, 2008, 373.)



Kuva 19. HDS-erottimen toimintaperiaate (Muokattu lähteestä Metsä Fibre, 2019)

Kuvassa 19 on esitetty HDS-erotin ja sen toimintaperiaate. Mäntyöljyllä on alhaisin tiheys, joten se nousee lamelliosaan, josta se otetaan talteen ylikaadolla. Emävesi- ja kipsifaasi muodostuvat HDS:n pohjalla olevaan kartioon, josta ne poistetaan takaisin haihduttamolle. Ligniini muodostuu mäntyöljyfaasin ja kipsifaasin väliin. Ligniiniä poistuu vaipan keskikohdasta, mutta myös emäveden mukana. Poistuva emävesi neutraloidaan natriumhydroksidilla, ennen haihduttamolle palautusta. Ligniini liukenee neutraloinnin yhteydessä ja erottumaton mäntyöljy muuttuu takaisin suovaksi. (Laxén & Tikka, 2008, 373.)

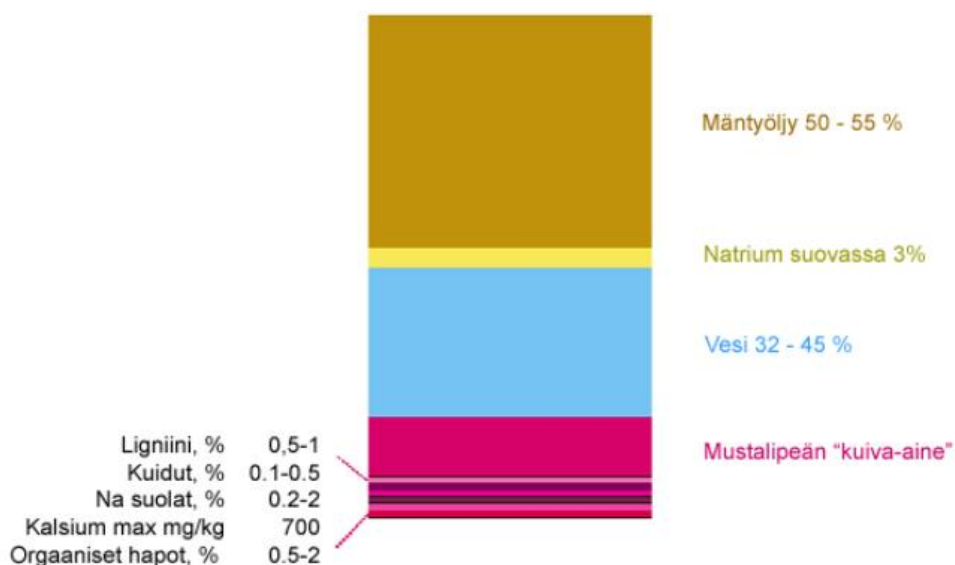
Emävetä voidaan myös kierrättää takaisin ligniiniin, jotta ligniini ja kipsi ei puuroudu ja erottuminen ei esty. Talteen otettu mäntyöljy ohjataan imusäiliöön, jonka jälkeen se tyhjökuivataan vesipitoisuuden laskemiseksi. Tyhjökuivaimessa vallitsee alipaine, jonka avulla poistetaan hajukaasut. Tyhjökuivauksen jälkeen mäntyöljy

pumpataan varastosäiliöihin. Mäntyöljyn varastosäiliöissä mäntyöljy ja loput vedet erottuvat ja ne poistetaan säiliöiden pohjalta pumpulla. Mäntyöljy lastataan varastosäiliöistä säiliöautoihin ja toimitetaan asiakkaille. (Laxén & Tikka 2008, 373.)

5.4 Suovan koostumus

Suopa koostuu mäntyöljystä, natriumista, vedestä, ligniinistä, kuiduista sekä suoloista sekä orgaanisista hapoista. Hyvälaatuisessa suovassa on vain vähän mustalipeää, alle 1 %, sillä se aiheuttaa erottumisvaikeuksia, heikentää mäntyöljyn laatua sekä likaa laitteistoa. Liian suuri ligniinipitoisuus aiheuttaa mäntyöljyn erottumisongelmia. Korkea kuitupitoisuus on mustalipeää ja ligniiniä suurempi ongelma. Myös korkea kalsiumpitoisuus on ongelma, sillä kalsium lisää tukkeutumisriskiä ja näin ollen puhdistustarve kasvaa. (Knowpulp 2017)

Puhtaan ja hyvälaatuisen suovan saanto voi olla 98%, mutta voi laskea alle 60%, kun ongelmia ilmenee. Huonoa saantoa seuraa suovan kattilan hyötysuhteen lasku, kun polttolipeän mäntyöljypitoisuudet nousevat. Hyvälaatuisessa suovassa on mäntyöljyä 50 – 55 %, natriumia noin 3 %, vettä 32 – 45 % ja mustalipeän kuiva-aineita loput 5 – 15 %. (Knowpulp 2017) Kuvassa 20 on esitetty hyvälaatuisen suovan koostumus.



Kuva 20. Hyvälaatuisen suovan koostumus (Knowpulp, 2017)

6 KUOREN KAASUTUSLAITOS

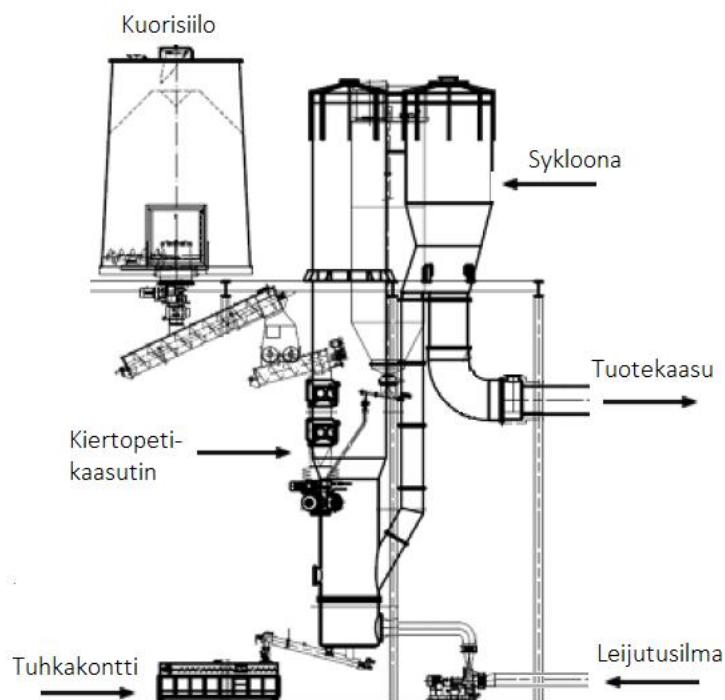
Meesan polttaminen kalkiksi eli kalsinointi meesauunissa vaatii lämpöenergiaa sekä korkeaa lämpötilaa. Kuoren kaasutuslaitoksen tehtävänä on tuottaa tuotekaasua, jota poltetaan meesauunissa. Kaasutin tuottaa tuotekaasun kuivatusta puunkuoresta termisellä kaasutusprosessilla. (Metsä Fibre, 2019)

Kaasutusprosessi poikkeaa tavallisemmasta suorasta polttoprosessista siten, että yli-ilman sijaan reaktoriin syötetään huomattavasti vähemmän ilmaa, noin 20 – 50 %, stoikiometriseen palamiseen vaadittavasta ilmamäärästä. Ali-ilmalla vain osa polttoaineesta palaa, tuottaen samalla lämpöä lopulle polttoaineelle, joka kaasuuntuu. Kaasuuntumisreaktioissa syntyy vetyä (H), hiilimonoksidia (CO), hiilidioksidia (CO₂) sekä hiilivetyjä (C_xH_y), jotka johdetaan reaktorista poltettavaksi meesauunissa, jossa kaasun sisältämällä energialla kalsinoidaan kalsiumkarbonaatti kalsiumoksidiksi. (Sarkomaa, 1992 & Metsä Fibre 2019) Hiilineutraalilla kaasulla korvataan fossiilinen polttoaine, joten Joutsenon tehdas on hiilineutraali normaalin tuotannon aikana.

Polttoaineet ovat peräisin pääosin tehtaan omalta kuorimolta, jossa kuori kulkee kuoren repijän sekä kuoripuristimen läpi, jotta polttoaine on mahdollisimman homogeenistä. Tämän jälkeen kuori kuivataan kuoren kuivaimella ja syötetään varastosiihloon ennen polttoa. Kuorenkaasutuslaitoksella käytetään pääasiassa koivu- ja mäntykuorta, mutta kaasuttimessa voidaan kaasuttaa myös kuusikuorta, purua sekä jatkojalostukseen sopimatonta haketta. (Metsä Fibre, 2019)

6.1 Kuoren kaasutuslaitoksen komponentit

Kuoren kuivauksen jälkeen ruoki ohjataan kolakuljetinta pitkin kuoren syöttösihloon, josta se syötetään pohjalla olevan purkuruuvien kautta tasaustaskulle. Tasaustaskussa on kaksi kuoren annosteluruuvia, joista se syötetään sulkusyöttimien kautta vesijäähdytetyille polttoaineen syöttöruuville. Myös petikalkin syöttö tapahtuu sulkusyöttimien jälkeiseen syöttöruuvien kautta. Syöttöruuvit syöttävät polttoaineen kuoren kaasutusreaktoriin. Kuvassa 21 on esiteltyä yksinkertaistettu kaasutuslaitos komponentteineen.



Kuva 21. Kuoren kiertopetikaasutin (Muokattu lähteestä Metsä Fibre 2019)

Kaasutusreaktori on CFB-kattila eli kiertopetikaasutin, jossa polttoaine ja tuhka kiertävät koko tulipesän tilavuudelta syklonin kautta takaisin tulipesän pohjalle. Kiertopetikaasutin koostuu teräskuoresta ja muuratusta sisäpinnasta. Polttoaine syötetään kaasuttimeen arinan yläpuolelta, jossa kaasutusreaktiot sekä pyrolyysi tapahtuvat. Esilämmitetty leijutusilma, joka toimii samalla kaasutusilmana syötetään arinan pohjalta kaasuttimeen joka mahdollistaa kiertopedin toiminnan. Kaasuttimen arina jakaa leijutusilman tasaisesti kaasuttimeen ja on suunniteltu siten, ettei polttoaine ja kalkki pääse kulkeutumaan ilmaakaappiin. Kaasuttimessa on jatkuvasti pieni ylipaine. (Metsä Fibre, 2019)

Kuten kaasutusreaktori, sykloona muodostuu teräskuoresta ja muuratusta sisäpinnasta. Syklonissa suuren ja pienet partikkelit erottuvat toisistaan. Pienet partikkelit ja tuotekaasu ohjataan meesauunille, kun taas suuret partikkelit palautuu kiertopetikattilan pohjalle ja takaisin kiertoön paluuputkella (diplekillä). Palautusputki, kuten reaktori sekä sykloni, koostuu sisäpinnalta muuratusta teräskuoresta. (Metsä Fibre, 2019)

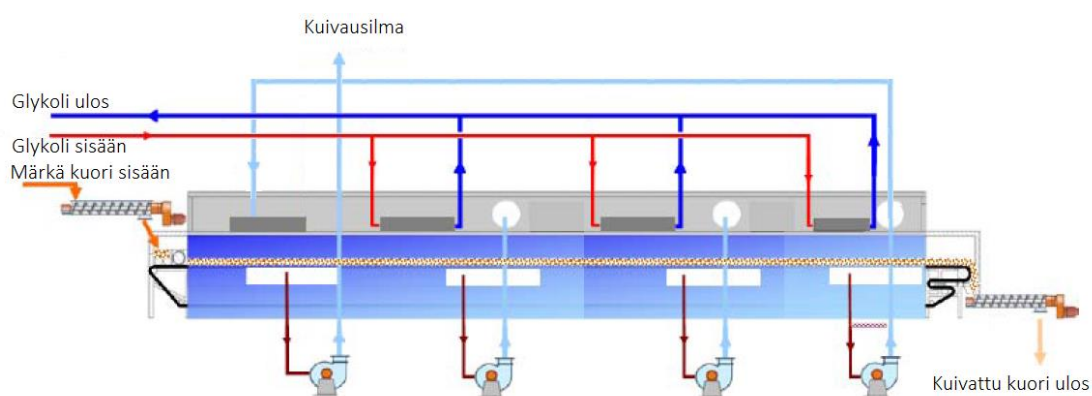
Tuotekaasu poltetaan meesauunissa, joka on varustettu tuotekaasun polttoon soveltuvalla polttimella. Tukupolttoaineena meesauunissa voidaan käyttää metanolia. (Metsä Fibre, 2019)

Tuhkaa poistetaan kattilan pohjalta vesijäähdytetyllä tuhkaruuvilla, joka jäähdyttää tuhkan ennen sen ohjaamista tuhkakonttiin. Tuhkan lämpötila ei saa nousta liian korkeaksi, ettei se sula ja sintraannu. (Metsä Fibre, 2019)

Kun kaasutinta käynnistetään, täytyy kaasutusreaktori ja petimateriaali lämmittää yli 750 °C:ksi, ennen kuin polttoainetta voidaan syöttää kattilaan. Tämä siksi jotta polttoaine syttyy ja tuotekaasua alkaa muodostumaan. Kaasutin käynnistetään käynnistyspolttimella. (Metsä Fibre, 2019)

6.2 Kuoren kuivaaminen

Ennen kuoren kaasuttamista tuotekaasuksi kuoresta poistetaan kosteus viirakuivaimella, joka käyttää lämmityskierrossa matalapainehöyryä. Kuori syötetään kuoribunkkerista kiekkoaseulalle kuljettimella. Kiekkoseulalta kuori ohjataan levikkiruuville, joka varmistaa kuoren tasaisen jaon kuivaimen viiralle. Viirakuivaimen toimintaperiaate on esitelty kuvassa 22.



Kuva 22. Kuoren viirakuivuri (Metsä Fibre, 2019)

Kuvassa 22 märkä kuori syötetään vasemmalta levikkiruuville viiralle. Kuivurissa on kolme lämmönvaihdinta, joilla ilma lämmitetään. Kuuma ilma siirtyy alipaineen vaikutuksesta hakepatjan ja viiran läpi kuivausilmapuhaltimille, joista ilma ohjataan

ulkoilmaan. Poikkeuksena kuvassa vasemmalla oleva kuivausilmapuhallin, jossa ei ole lämmönvaihdinta, vaan se saa ilmansa kuvassa oikealla olevasta kuivausilmapuhallin 4:n (oikeanpuoleinen) poistoilmasta. Viirakuivaimen jälkeen polttoaineen kuiva-ainepitoisuus on 94 – 98 %. (Metsä Fibre, 2019)

6.3 Kuoren kaasutusprosessi

Kaasutusprosessissa kiinteässä muodossa oleva kuori, hake tai puru muutetaan kaasumaiseksi polttoaineeksi. Kaasutus tapahtuu alistoikiometrisissä olosuhteissa ja korkeassa lämpötilassa. Lämpö tuotetaan kuoren osittaispolttamisella kaasutusreaktorissa. Kaasutusprosessin lämpötila on polttoaineesta riippuen 700 – 900 °C. Liian korkea lämpötila voi aiheuttaa petimateriaalin sintraantumista. Prosessissa tapahtuneissa kemiallisissa reaktioissa syntyy tuotekaasua. Tuotekaasun sisältämää energiaa käytetään meesauunissa, jossa kaasun sisältämällä energialla kalsinoidaan kalsiumkarbonaatti kalsiumoksidiksi. (Metsä Fibre, 2019)

6.3.1 Kaasutusilma ja ilmakaappi

Kaasutusreaktoriin syötettävä kaasutusilma on meesauunin säteilylämmöllä lämmitettyä ilmaa. Kaasutusilman lämpötilaa säädetään sekoittamalla meesauunin poltinpäästä otettavaa kuumaa ilmaa ja meesauunin säteilysuojan alta otettavaa lämmintä ilmaa säätöpellin avulla. Kaasutusilman lämpötilan tulee olla noin 140 – 160 °C. (Metsä Fibre 2019)

Kaasutus ilma syötetään reaktorin arinan alapuolella sijaitsevaan ilmakaappiin, joka muodostuu teräs kuoresta sekä muurauksesta. Ilmakaapin tehtävänä on jakaa kaasutusilma tasaisesti koko arinan pinta-alalle ja estää leijutettavan polttoaineen ja kalkin pääsy ilmakaappiin. (Metsä Fibre, 2019)

6.3.2 Petimateriaali ja tuhkan poisto

Petimateriaalina kaasutusreaktorissa käytetään hienojakoista ja lämpöä kestävä kalkkia, joka tempautuu biopolttoaineen mukana koko kaasuttimen tilavuudelle. Petikalkin tarkoituksena on sitoa ja siirtää lämpöä polttoaineeseen ja näin ollen varmistaa palamisreaktioita. Petikalkki myös sitoo reaktiossa syntyvää rikkiä ja estää sen pääsyn

savukaasujen mukana meesauuniin. Petikalkkia syötetään automaattisesti tasaisin väliajoin polttoaineen sekaan ennen kaasutusreaktoria. (Metsä Fibre, 2019)

Palamisreaktioissa muodostunut tuhka poistetaan automaattisesti tasaisin väliajoin. Tuhka poistetaan kaasutusreaktorin pohjalta jäähdytetyllä tuhkaruuvilla ja syötetään tuhkakonttiin, josta tuhka viedään jatkojalostukseen. Tuhkaa voidaan käyttää esimerkiksi maanparannusmateriaalina. (Metsä Fibre, 2019)

6.3.3 Kaasutusreaktiot ja tuotekaasu

Palamisprosessin aikana kaasuttimessa tapahtuu lukuisia kemiallisia reaktioita, joista osa tapahtuu vain yhteen suuntaan ja osa reaktioista on palautuvia. Endotermiset reaktiot ovat tärkeitä siitä syystä, että näin tuotekaasuun saadaan sidottua suuri määrä energiaa, koska meesauunissa kalsinointireaktio vaatii suuren määrän energiaa. Toisaalta myös eksotermisiä palamisreaktioita tarvitaan polttoaineen kuivumiseen, pyrolyysiin sekä kaasuuntumiseen. Kaasuuntumisprosessissa pyrolyysissä muodostuneet kaasut palavat alistoistoikiometrisesti reagoiden polttoaineen ja hiilen kanssa. Merkittävimmät reaktiot kaasutusprosessin kannalta on esitetty kappaleissa 6.3.3.2 ja 6.3.3.3. (Raiko et al. 2002, 198 & Basu, 2013, 208)

6.3.3.1 Tuotekaasun koostumus

Tuotekaasu koostuu pääosin hiilimonoksidista (CO), hiilidioksidista (CO₂), vedystä (H₂), vedestä (H₂O) sekä metaanista (CH₄). Taulukossa 3 on esitetty kaasun koostumus tilavuusprosentteina.

Yhdiste	til-%
Hiilimonoksidi (CO)	17,9
Hiilidioksidi (CO ₂)	13
Vety (H ₂)	15,9
Vesihöyry (H ₂ O)	8,8
Metaani (CH ₄)	5,7
Etaani (C ₂ H ₄)	0,4

Typpi (N ₂)	38,3
-------------------------	------

Taulukko 3. Tuotekaasun ominaisuudet (Metsä Fibre, 2019)

6.3.3.2 Pyrolyysi

Pyrolyysi on biopolttoaineen palamisessa ja kaasuuntumisessa tapahtuva termokemiallinen reaktio, jossa polttoaine muuttuu lämmöntuonnin vaikutuksesta kaasuja tervamaiseen muotoon. Pyrolyysireaktiossa polttoaine vapauttaa hiilen (C) ja metanolin (CH₄) lisäksi korkeampia hiilivetyjä (C_xH_y), kuten tervoja. Pyrolyysireaktioita tapahtuu 550 – 850 °C lämpötilassa. Pyrolyysistä jäljelle jäänyttä ainetta kutsutaan jäännöshiileksi. (Raiko et al. 2002, 192) Yhtälössä 13 on esitetty puuperäisen polttoaineen



6.3.3.3 Jäännöshiilen palamis- ja kaasutusreaktiot

Jäännöshiilen palaminen ja kaasutusreaktiot eroavat huomattavasti pyrolyysistä. Kun pyrolyysi perustuu ympäristön lämmön siirtymisestä polttoaineeseen, palamis- ja kaasutusreaktiot aiheutuvat reagoivien molekyylien diffuusiosta polttoainepartikkelin pintaan ja sisäosiin. Diffusoituvat molekyylit reagoivat heterogeenisesti jäännöshiilen kanssa. Jäännöshiilen palamisreaktiot ovat lämpöä vapauttavia eli eksoterimiä reaktioita, kun taas kaasutusreaktiot ovat pääosin endotermisiä reaktioita. Yhtälöissä 14 ja 15 on esitetty jäännöshiilen palamisreaktiot ja yhtälöissä 16 - 18 jäännöshiilen kaasutusreaktiot. (Raiko et al. 2002, 202)

Palamisreaktiot



Kaasutusreaktiot





Pyrolyysireaktiossa vapautunut hiili muodostaa kaasutusreaktioissa pääosin hiilimonoksidia, joka on yksi keskeisimpiä kaasun komponentteja.

6.3.4 Tuotekaasun jälkikäsittely

Kaasutusreaktorin jälkeen tuotekaasu ohjataan sykloniin, joka erottelee karkean kiintoaineen, eli petimateriaalin, tuhka- ja polttoainehiukkaset tuotekaasusta. Savukaasu ohjataan sykloniin pyörteisenä, jolloin suuret partikkelit osuvat syklonin reunoille, josta ne putoavat pudotusputkea pitkin takaisin tulipesään. Tuotekaasu ja siihen syklonin jälkeen jäävä hyvin hieno pöly johdetaan syklonista tuotekaasuputkea pitkin meesauunin polttimelle. (Metsä Fibre, 2019)

7 AJO-OHJEET OSASTOITTAIN JA TAVOITETILAT

Työn tarkoituksena on löytää optimaaliset ajomallit soodakattilalle, mäntyöljylaitokselle sekä kuoren kaasutuslaitoksen poikkeustilanteisiin. Ajomallien tarkoituksena on operointiparametrien pitäminen oikealla tasolla, muutosten huomaaminen ja näin ollen operointiparametrien hajonnan väheneminen. Ajomalleista luodaan ajo-ohjeet, jotka käydään läpi jokaisen vuoroinsinöörin kanssa, nostaan esille tärkeimmät operointiparametrit. Tämän jälkeen vuoroinsinööri käy ohjeet läpi oman vuoronsa kanssa talteenotto-osastolla. Työohjeista kerätään palautteet, jotka toimitetaan osaston osastoinsinöörille sekä kehitysinsinöörille, jotka muokkaavat ohjeita saadun palautteen mukaisesti. Seuraavissa luvuissa esitellään toimintamallit soodakattilan, mäntyöljylaitoksen sekä kuoren kaasutuslaitoksen optimaaliseen ajamiseen.

7.1 Soodakattilan ajo-ohje

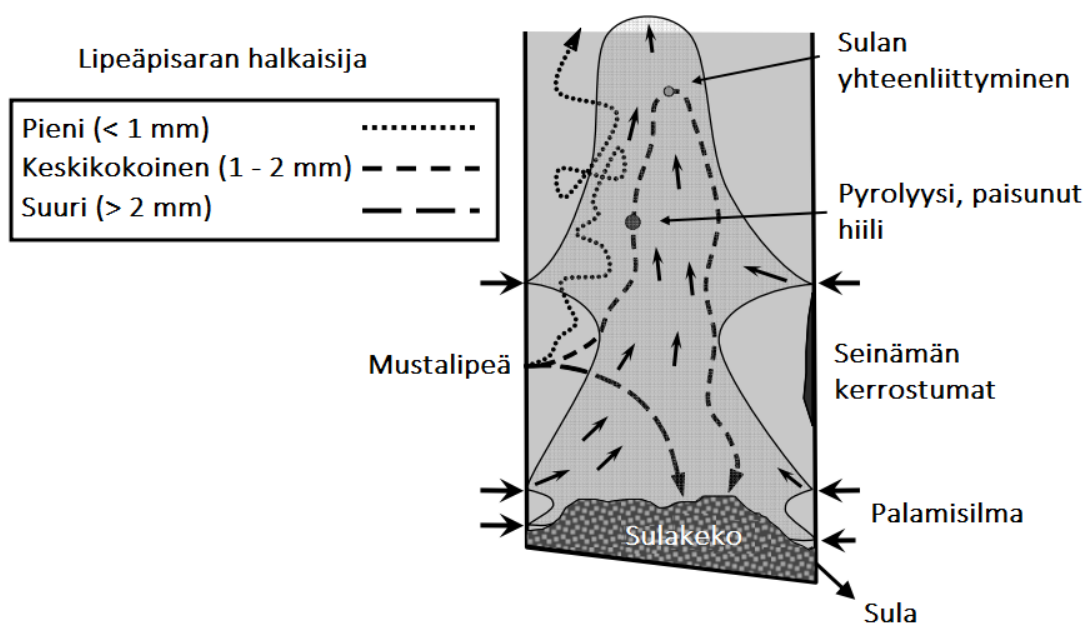
Soodakattilan ajo-ohje on laaja kokonaisuus, joka pitää sisällään kattilan normaalin kuorman 3500 – 4000 tka/d ajomallin. Ajomallin tarkoituksena on operointiparametrien pitäminen oikealla tasolla, poikkeusten huomaaminen ja näin ollen operointiparametrien hajonnan väheneminen. Mikäli muutoksiin ei reagoida, seurauksena on soodakattilan likaantuminen ja ennen pitkää tukkeutuminen. Ajo-ohjeen osalta keskityttiin soodakattilan polttolipeäsuuttimien kunnonvalvontaan ja niiden vaihtoon. Tässä luvussa esitellään soodakattilan seurattavat operointiparametrit, joiden avulla likaantumista voidaan ehkäistä.

7.1.1 Soodakattilan polttolipeäruiskut ja niiden tarkastaminen

Lipeäruiskujen tehtävänä on optimaalisen pisarakoon saavuttaminen ja pisaroiden levittäytyminen, jotta palaminen ja kemikaalien regenerointi tulipesässä olisi mahdollisimman tehokasta. Pisarakoolla ja niiden levittäytymisellä tulipesässä hallitaan sulakeon kokoa.

Polttolipeän lämpötilan sekä ruiskutuspaineen hallinta on tärkeää, sillä liian korkeassa lämpötilassa tai paineessa lipeän viskositeetti laskee ja tästä syystä lipeäpisanan koko voi pienentyä. Myös niin sanottu flashing-ilmiö eli paisuntakiehuminen

polttoliipeäsuuttimessa voi hajottaa lipeäsuihkun, jolloin pisaroiden halkaisija pienenee. Liian pienet lipeäpisarat karkaavat savukaasujen mukana tulipesän yläosiin ja aiheuttavat soodakattilan likaantumista. Optimaalinen pisarakoko on 2 – 4 mm, jolloin pisara ei karkaa savukaasujen mukana. Kuvassa 23 on esitettyä erikokoisten lipeäpisaroiden lentoratoja tulipesässä. (Wessel, 2008, 2)



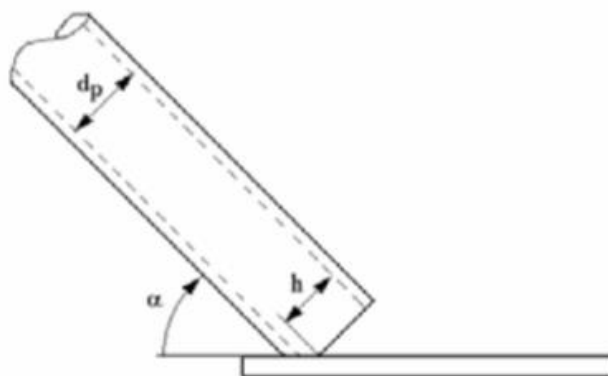
Kuva 23. Lipeäpisaran lentorata (muokattu lähteestä Wessel, 2008, 2)

Optimaalisen palamisen edellytykset ovat pisarakoon ja levittäytymisen lisäksi tulipesän alaosan riittävän korkea lämpötila, riittävä ilmamäärä sekä polttoliipeäruiskujen toimivuus. Tämän vuoksi oikeanlaisten polttoliipeäruiskujen valinta ja niiden kunnonvalvonta on tärkeä osa tulipesän keon hallinnan kannalta. Mikäli polttoliipeäruiskujen ruiskutuskulma on liian jyrkkä tai loiva, ei lipeäpisaroiden lentorata ole optimaalinen. Myös olosuhteet soodakattilassa ovat vaativia ja sen vuoksi lipeäruiskujen kunnonvalvonta on erittäin tärkeä osa soodakattilan ajamista.

Lipeäsuuttimien tarkastaminen

Polttolipeäsuuttimet tarkastetaan 14 vuorokauden välein ja vaihdetaan tarpeen vaatiessa ohjeistuksen mukaan. Lipeäsuuttimien kunnonseurannasta on tehty tehtaan järjestelmään tarkastustaulukko, jossa näkyvät suuttimet, niiden vaihtopäivämäärä sekä vaihdon syy.

Suuttimen tarkastuksessa suutin otetaan ensin pois käytöstä, jonka jälkeen se vedetään ulos kattilasta ja tarkastetaan silmämääräisesti. Suutin vaihdetaan mikäli suutin putki tai lusikka on palanut puhki, lusikka on taipunut tai suutin on tukossa. Mikäli suutin on kunnossa, sitä ei tarvitse vaihtaa. Tarkastuksen jälkeen valitaan tarkastustaulukon vetovalikosta oikea vaihtoehto, kuten ”Lusikka taipunut”, jonka jälkeen tallennetaan. Kuvassa 24 on esitetty periaatekuva lusikkasuuttimesta.



Kuva 24. Periaatekuva lusikkasuuttimesta (Miikkulainen et al. 2000)

7.2 HDS -reaktorin STOP&GO

Mäntyöljyn saanto HDS:ssä laskee kun mäntyöljy ei enää erotu suopaöljystä. Syinä tähän on tiheyserojen häviäminen HDS:stä, joka usein johtuu heikkolaatuisesta suovasta. Mäntyöljylaitoksen Stop & Go -ajo-ohje pitää sisällään HDS-reaktorin tyhjennys- ja täyttöohjeen. Ohjeistuksen tarkoituksena on auttaa tunnistamaan HDS-reaktorissa huonontunut mäntyöljyn saanto hyvissä ajoin, jotta tuotanto pystytään pitämään optimaalisena.

Ajo-ohje käydään läpi jokaisen vuoroinsinöörin kanssa, nostaan esille tärkeimmät operointiparametrit. Tämän jälkeen vuoroinsinööri käy saman ohjeen läpi oman vuoronsa kanssa talteenotto-osastolla. Työohjeesta kerätään palaute, joka toimitetaan osaston osastoinsinöörille, kehitysinsinöörille sekä talteenoton päivätyöntekijälle, jotka muokkaavat ohjetta saadun palautteen mukaisesti.

7.2.1 Tavoitteet

Mäntyöljyn saanto heikkenee, kun mäntyöljy ei erotu HDS -reaktorissa. HDS:n toiminta perustuu tiheyseroihin ja silloin kun tiheyseroja ei saavuteta, pääsee mäntyöljy karkaamaan emäveden ja ligniinin poiston yhteydessä. HDS:n STOP&GO:ssa HDS reaktori tyhjenetään ja täytetään uudelleen, tavoitteena saada faasien väliset tiheyserot kohdilleen. Tyhjentämällä reaktori saadaan mäntyöljyn erottamisesta tehokkaampaa, kuin entisellä mallilla, jossa reaktoria vain vajautetaan.

Lisäksi tehostetaan seuranta tiettyjen parametrien osalta mäntyöljylaitoksella. Heikkolaatuinen suopa voi johtua useista tekijöistä, alla on listattuna seurattavat parametrit, joita seuraamalla saadaan suovasta ja suopaöljystä tasalaatuisempaa.

- Liian nopea suopaus laiha- ja välilipeäsäiliöistä
- Bikarbonaattiveden tasainen poistaminen
- Hapotussuhde on liian suuri
- Suovan lämpötila on liian alhainen palstoituksessa
- HDS:n pohjan hallinta

Suopaamisen tasaisuutta on parannettu luomalla suopaussekvenssi, jonka avulla suopaaminen tapahtuu käynnissäpitäjien asettamien parametrien mukaisesti. Toisaalta suopaa voi olla laiha- ja välilipeäsäiliöissä niin paljon, että suopaamisnopeutta on nostettu, joka voi heikentää suovan laatua, sillä liian nopealla suopaamisella suovan mukaan joutuu mustalipeää. Laadukkaan suopaamisen varmistamiseksi suopaa tulisi poistaa säiliöistä riittävän rauhallisesti.

Bikarbonaattiveden poistamisen tasaisuudella, saavutetaan suopaöljyn tasainen laatu. Bikarbonaattivettä tulee poistaa saman verran, kuin CO₂-vaihteeseen ajetaan laimennusvettä. Mikäli bikarbonaattivettä pääsee palstoitukseen ja HDS:ään, joka vähentää kapasiteettia sekä saantoa.

Rikkihappoa annostellaan suovan lipeäpitoisuuden mukaan. Bikarbonaattiveden pH tulee olla välillä 7,48 – 7,58, jotta saavutetaan optimaalinen hapotus ennen palstoitusta. Tyypillinen rikkihappo / suopa -suhde on 2,2 – 2,4 %. Palstoituksessa lisätty rikkihappo laskee seoksen pH:ta, jolloin HDS:stä poistettava pH on 2,6 – 3,0 %. (Metsä Fibre, 2019)

Suovan lämpötilaa nostetaan ennen palstoitusta. Lämmönvaihtimella suopaöljy lämmitetään 98 – 100 °C, jolloin osa karbonaattisidoksista hajoaa muodostaen hiilidioksidia ja rikkivetyä. Mikäli suopaöljyä kuumennetaan liikaa tai liian pitkään, harsti- ja rasvahapot alkavat hajoamaan ja saanto heikkenee. (Metsä Fibre, 2019)

HDS:n emäveden ja ligniinin poistosuhteella on mäntyöljyn erottumisen kannalta merkittävä rooli. Mikäli poistosuhde on liian suuri, siitä seuraa tiheyserojen pieneneminen HDS:n keskikerroksesta ja pohjasta, joka mahdollistaa mäntyöljyn karkaamisen virtauksen mukana pohja- ja keskikerrokseen. Tämä laskee saantoa ja tiheyserojen palauttaminen on hankalaa.

7.3 Kuoren kaasutuslaitoksen käynnistyksen optimointi

Kuorenkaasutuslaitoksen käynnistysohje pitää sisällään kaasutusreaktorin optimaalisen lämmityksen sekä petimateriaalin ja kuoren syötön aloittamisen. Ajomallin tarkoituksena on vähentää maakaasun käyttöä saamalla kaasutusreaktori ripeästi normaaliin tuotantoon.

Ajo-ohje käydään vaihe vaiheelta läpi jokaisen vuoroinsinöörin kanssa, jonka jälkeen vuoroinsinööri käy saman ohjeen läpi oman vuoronsa kanssa talteenotto-osastolla. Työohjeesta kerätään palaute, joka toimitetaan osaston osastoinsinöörille sekä kehitysinsinöörille, jotka muokkaavat ohjetta saadun palautteen mukaisesti.

7.3.1 Kuoren kaasutuslaitoksen tehokas ylösajo

Meesauunissa poltetaan maakaasua silloin, kun kuoren kaasutuslaitos ei ole käynnissä. Kuorenkaasutinta pysäytetään meesauunin tai kaasuttimen huoltotöiden takia. Usein huoltotyöt ovat lyhytaikaisia, joten kaasutin ei ole pitkiä aikoja pysäytettynä. Lyhyissä pysäytyksissä kaasuttimen lämpötila ei laske alle 400 °C, jolloin sen voi käynnistää nopeastikin takaisin tuotannolle. Vähentääksemme maakaasun käyttöä on kaasutuslaitoksen käynnistyksen optimointi tärkeää.

Lyhytaikaisten pysäytysten aikana kaasuttimen lämpötila ei laske niin alas, että kaasuttimen muurauksiin pääsisi tiivistymään kosteutta, joka voi aiheuttaa vaurioita muurauksessa. Kun huoltotyöt ovat valmiita, voidaan kaasutinta lämmittää täydellä teholla käynnistyspolttimella, joka on 2,5 MW. Kun kaasuttimen lämpötila on 750 °C, voidaan tuotekaasun syöttö aloittaa. Vaikka meesauunin lämpötila ei ole välttämättä vielä optimaalinen kalsiumkarbonaattipitoisuuden kannalta, voidaan uuni lämmittää optimitilaan tuotekaasua käyttämällä. Liitteessä 2 on kaasuttimen käynnistysohje.

8 TYÖOHJEISTUSKÄYTÄNNÖT METSÄ FIBRELLÄ

Tässä kappaleessa esitellään organisaation nykytila työohjeiden käytöstä, niiden laatimisesta sekä ohjeiden viestimisestä talteenotto-osastolle. Työohjeistuskäytännön nykytilan selvittämiseksi määritetään organisaation tämän hetkinen tilanne työohjeistuksessa, jonka jälkeen tehdään analyysi työohjeistuskäytännön toimivuudesta. Seuraavassa vaiheessa havaintojen perusteella luodaan uusi toimintamalli tai kehitetään vanhaa.

8.1 Organisaation työohjeistuksen nykytila

Tässä työssä keskitytään talteenotto-osastoon, joka koostuu kehitysinsinööristä, kahdesta osastoinsinööristä, sekä noin 30 talteenotto-osaston käynnissäpitäjästä, jotka ovat jaettu viiteen vuoroon. Lisäksi osastolla toimii viisi vuoroinsinööriä, jotka vastaavat koko tehtaan tasolla prosessin ohjauksesta.

Talteenotto-osastolla on viisi operointipistettä, joilla käynnissäpitäjät toimivat: turbiini ja vesilaitos, soodakattila, haihduttamo ja mäntyöljylaitos, kaustisointilaitos ja meesauuni sekä jätevesilaitos. Vuoroissa työntekijöillä ei ole kiinteitä vakansseja, vaan he kiertävät vuorokierron aikana eri operointipisteiden välillä. Organisaatioon kuuluu myös yhdestä kahteen päiväprosessinhoitajaa, jotka tukevat vuoron toimintaa.

Työohjeita luodaan poikkeustilanteiden varalle tai työsuoritteisiin, joita suoritetaan harvemmin tai vaativat poikkeusjärjestelyjä. Organisaation johtamismallissa työohjeet laativat osastojen osastoinsinöörit tai kehitysinsinööri. Työohjeen laatija tiedottaa ohjeistuksesta vuoroinsinööriä, joka tiedottaa vuoroa ohjeesta. Vakiintunut käytäntö on, että vuoroinsinööri tulostaa ohjeen ja käy sen vuorohenkilöstön kanssa läpi. Osastoinsinööri tai kehitysinsinööri tallentaa ohjeen tehdasyksikön vuoropäiväkirjaan, jossa työntekijöillä on velvollisuus kuitata ohje läpikäydyksi. Usein ohje välitetään myös sähköpostilla vuoroinsinööreille, sekä osaston sähköpostiin.

8.2 Työohjeistuksen haasteet

Havaintojen perusteella haasteiksi työohjeistuksen toimintamallissa koettiin tässä kappaleessa esitellyt työohjeistuksen vaiheet. Kappaleessa käydään läpi ongelmakohtat ja seuraavassa kappaleessa esitellään ratkaisut ongelmakohtiin.

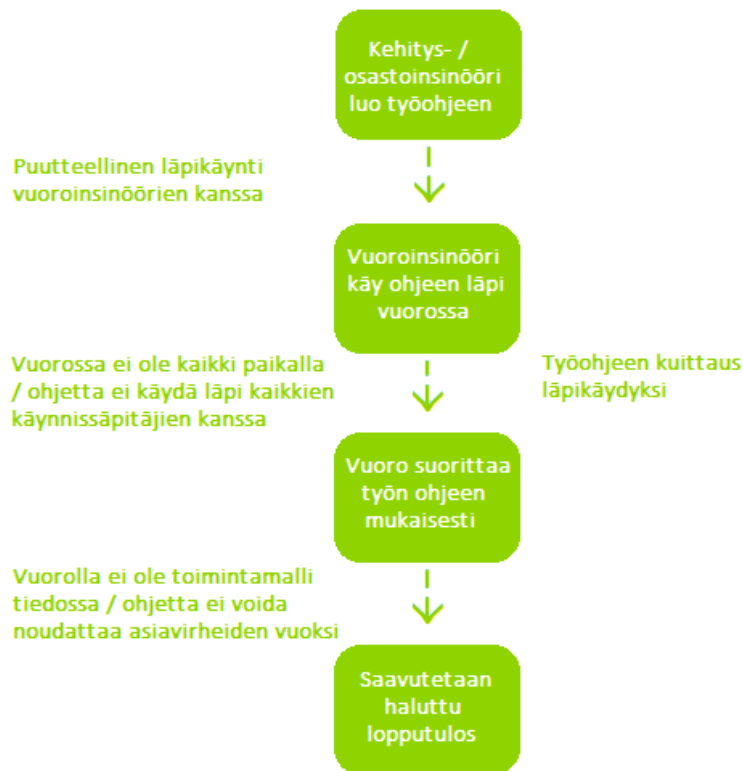
Laadukkaan ja selkeän tiedonkulun merkitys on erittäin tärkeää, jotta ohjeen sisältämä informaatio tavoittaa kattavasti henkilöt kaikilla tarvittavilla organisaatiotasolla. Vuoroinsinöörin riittävän perehtyminen ohjeistukseen varmistaa ohjeen laadukkaan läpikäynnin. Vuoroinsinöörien on varattava riittävä aika ohjeen laadukkaaseen läpikäyntiin vuorohenkilöstön kanssa.

Työohjeen läpi käyminen kaikkien vuorossa työskentelevien kanssa voi olla hankalaa, sillä työntekijöillä ei ole kiinteitä vakansseja, vaan kiertävät osastojen välillä. Prosessinohitajat käyvät säännöllisesti osastoilla kierroksilla, joten henkilö ei välttämättä ole valvomossa, sillä hetkellä kun vuoroinsinööri käy ohjeen muun vuoron kanssa läpi. Henkilön palatessa valvomoon omalle operointipisteelle, hänen työpisteelle on voitu jättää työohjeet läpikäytäväksi itsenäisesti. Tämä toimintamalli ei takaa työohjeen kattavaa läpikäyntiä.

Työohjeiden mahdolliset asiavirheet ohjeistuksessa voi estää ohjeen noudattamisen. Näin ollen palautteen saaminen vuorolta on erityisen tärkeää, jotta ohjeistus on selkeää.

Työohjekäytännöissä tunnistetaan seuraavia kehityskohteita. Vuoroinsinöörin laadukas työohjeen läpikäynti on tärkeää, jotta työohjeen informaatio välittyy vuorolle. Lisäksi on tärkeä tavoittaa ja käydä ohjeistus läpi kaikkien vuorotyöntekijöiden kanssa. Yhtenä haasteena on käynnissäpitäjien epätietoisuus siitä, milloin ohje tulee kuitata luetuksi vuoropäiväkirjasta. Kaikissa työohjeissa on kuittausvelvollisuus, vaikka tästä ei erikseen muistuteta. Kun vuoroinsinööri on käynyt ohjeistuksen läpi, käynnissäpitäjät kuittaavat ohjeen vuoropäiväkirjasta.

Työohjeistuksen läpivientiä voidaan kuvata geneerisenä ketjuna, jossa edetään askelina. Kuvassa 25 on esitetty työohjeen läpikäynnin ongelmakohtia, jotka on esitetty katkoviivalla.



Kuva 25. Työohjeen läpiviennin haasteet

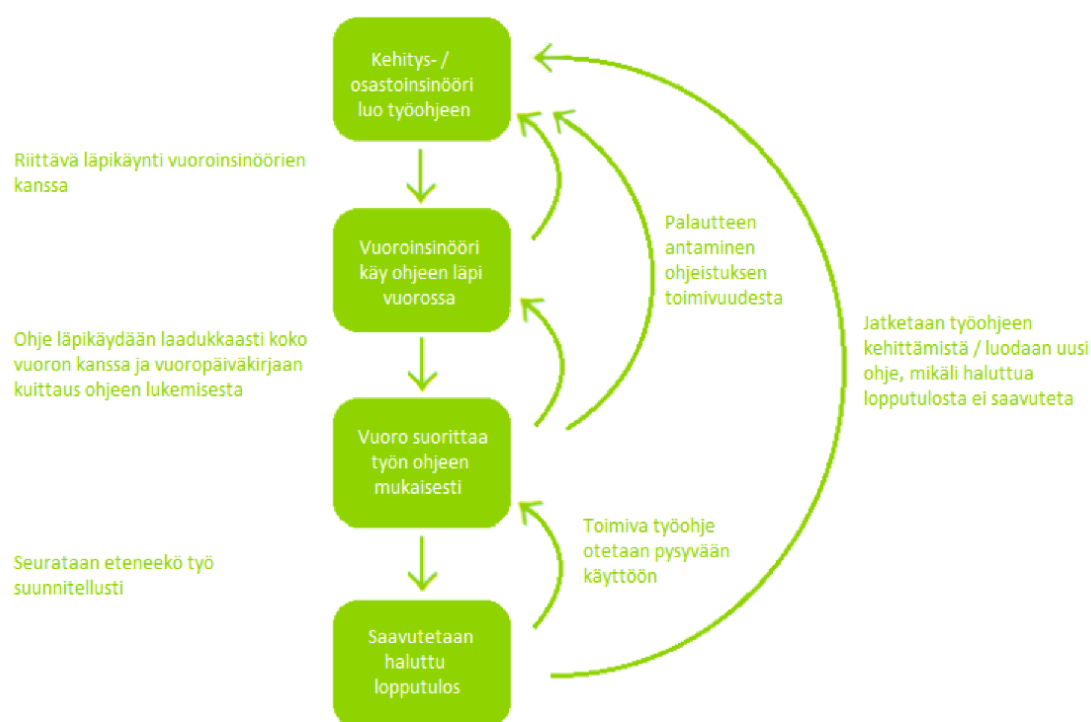
8.3 Työohjeistuksen kehittäminen

Tässä kappaleessa esitellään työohjeistuksen kehitysideoita, jotta ohjeista saadaan suoraviivaista, selkeää ja tehokasta. On tärkeää luoda yhdenmukainen toimintamalli työohjeistuksessa.

Ohjeen laatija käy työohjeen paikalla olevan vuoroinsinöörin laadukkaasti läpi kanssa läpi, jotta vuoroinsinööri pystyy viestimään sen vuorolle selkeästi. Työvuoron vaihdossa vuoroinsinööri viestii seuraavan vuoron insinööriä ohjeistuksesta ja käy ohjeen tämän kanssa läpi. On tärkeää, että ohje välittyy vuorolta toiselle.

Mikäli ohjeissa on epäselvyyksiä tai asiavirheitä, ne korjataan ennen ohjeen viemistä eteenpäin. Työohjeiden on oltava selkeitä, riittävän informatiiviset ja lyhyet (Kouri 2011, 16-17). Työohjeisiin lisätään tarvittaessa turvallisuuteen liittyvät asiat.

Vuoroinsinööri käy oman työvuoron henkilöstön kanssa ohjeistuksen läpi. Mikäli työohjeessa on korjattavaa, on palautteen saaminen työntekijöiltä tärkeää, jotta ohjetta pystytään kehittämään sen mukaan, että sitä voidaan noudattaa. Vuorossa työskentelevien henkilöiden mielipide työohjeesta on tärkeä, sillä he ovat ammattilaisia työssään. Kehitysideoiden ja palautteen viestiminen ohjeen laatijalle tapahtuu vuoroinsinöörin välityksellä tai suoraan palautteena ohjeen laatijalle. Työohjeen läpikäynti on esitetty askel askeleelta kuvassa 26.



Kuva 26. Työohjeen läpiviennin vaiheet

Kuvassa 22 on esitetty työohjeistuksen läpikäynti vaihe vaiheelta. Vasemmassa laidassa on kuvattu työsuorituksen eteneminen askel askeleelta. Käynnissäpitäjät antaa työohjeesta palautteen sekä kehitysideoita, jotka vuoroinsinööri välittää kehitys- tai osastoinsinöörille tai vaihtoehtoisesti vuorohenkilöstö antaa palautteen suoraan ohjeen laatijalle. Palautteen saaminen ja työohjeistuksen arviointi toimii PDCA -toimintamallin mukaisesti. Kun työohje on saatu lopulliseen muotoon PDCA -sykli päätetään ja työohje otetaan pysyvästi käyttöön.

Käynnissäpitäjät kuittaavat ohjeen vuoropäiväkirjasta, kun ohje on käyty läpi vuoroinsinöörin kanssa. Jos ohjeeseen tulee muutoksia, ohje päivitetään vuoropäiväkirjaan. Riippuen muutoksesta, määritellään, täytyykö ohje kuitata uudelleen. Ohje kuitataan uudestaan, mikäli se sisältää ratkaisevia asiavirheitä tai sitä ei ole turvallista noudattaa. Ohjetta ei tarvitse kuitata uudestaan, mikäli kyseessä on epäoleellinen asia, kuten pieni kirjoitusvirhe.

9 TYÖOHJEISTUKSEN JA TOIMINTAMALLIEN KÄYTTÖÖNOTTO

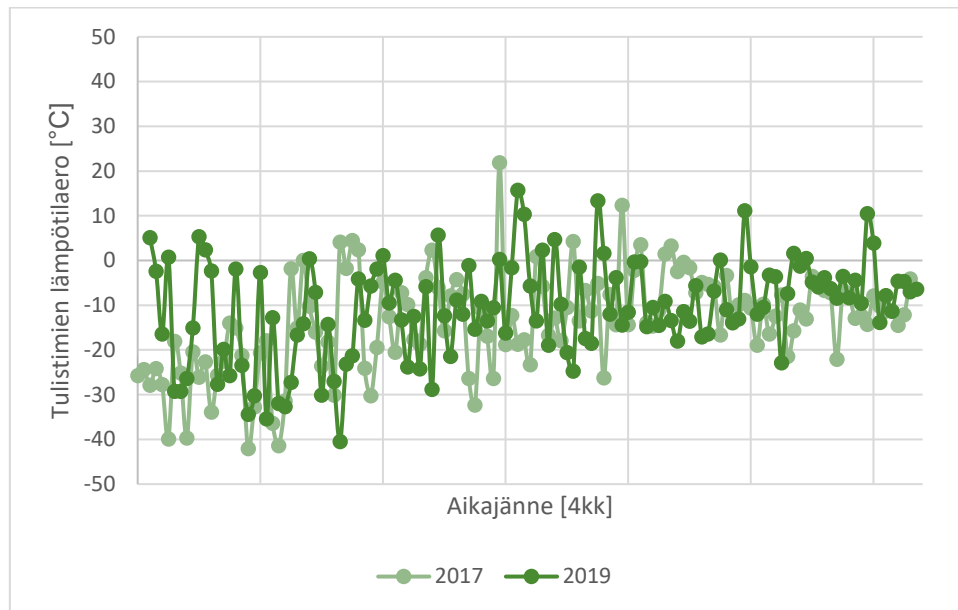
Tässä luvussa esitellään toimintamallien käyttöön oton jälkeen tehdyt havainnot ja niitä vertaillaan aiempiin ajoparametreihin. Soodakattilan osalta vertaillaan kahta ajojaksoa, mäntyöljylaitoksella tutkitaan HDS-erottimen Stop & Go -ajo-ohjeen toimivuutta ja kuoren kaasutuslaitoksella tutkitaan kuoren kaasuttimen tehokasta lämmitystä ja käynnistystä.

9.1 Soodakattila

Soodakattilan likaantumista seurataan tulistimien lämpötilan sekä ekonomaiseri 2 painereojen avulla. Näin havaitaan likaantumisen eteneminen, sekä nähdään ajojakson aikana tehtyjä toimenpiteitä kuten soodakattilalla tehdyt puhdistustoimenpiteet. Vuoden 2019 vertailujaksona käytetään vastaavaa ajojaksoa vuonna 2017, sillä molemmat ajojakson ovat hyvin saman tyyppiset.

9.1.1 Tulistimien likaantuminen

Tulistimien likaantumista seurataan tulistimien lämpötilaeron perusteella. Höyry kiertää tulistimissa ristiin, eli tulistimen IB vasemman puolen höyrylinja johdetaan tulistimen II oikealle puolelle ja IB oikealta puolelta vasemmalle puolelle. II tulistimelta höyryputket menevät ristiin III tulistimeen. Näin saadaan höyryn lämpötilat pysymään paremmin tasapainossa oikealla ja vasemmalla puolella. Kun kattila alkaa tukkeutua ja lämmönsiirto heikkenee siltä puolelta, joka on tukkoinen. Kuvassa 27 on esitetty vuosien 2017 ja 2019 tulistimien vasemman ja oikean puolen lämpötilan nousun välinen erotus. Lämpötilaerojen perusteella voidaan päätellä se, kummalta puolelta soodakattila alkaa tukkeutua. (Metsä Fibre, sisäinen)



Kuva 27. Tulistimien kuormakorjattu lämpötilaero

Tulistimien lämpötilaeron aikajänteeksi valikoitui neljä kuukautta, sillä molempien vuosien ajojaksot olivat hieman katkonaisia niin sanotun soodakattilan normaalin kuorman osalta. Kun lämpötilaero on negatiivinen, on oikean puolen lämmönsiirto tehokkaampaa. Kuvasta 24 voidaan päätellä, että tulistin on alkanut tukkeentua, sillä soodakattilan oikean puolen tulistimien lämmönsiirto on parempaa. Lämpötilaerot lasketaan yhtälön 19 mukaisesti.

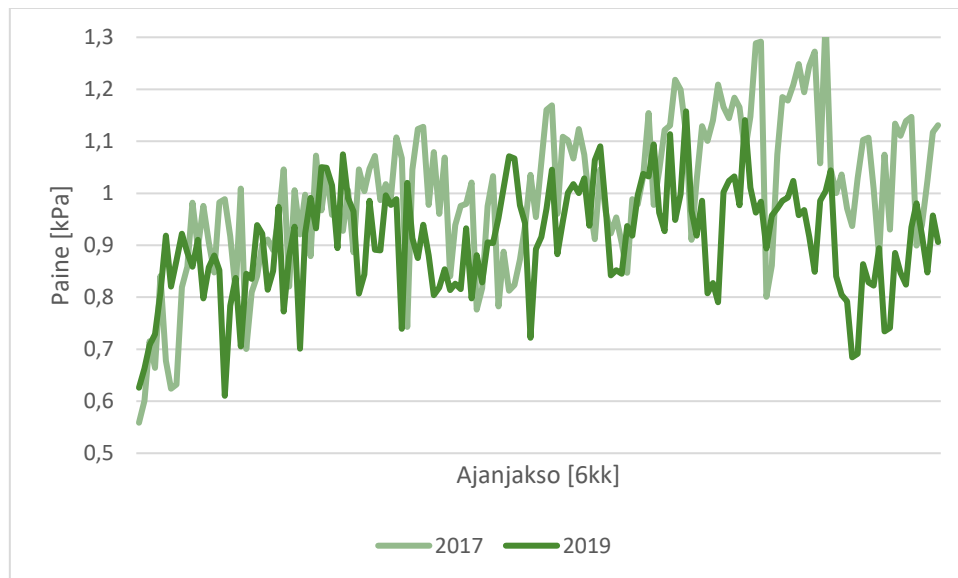
$$\begin{aligned}
 & (\text{Tulistin}_{1,\text{vas}} + \text{Tulistin}_{2,\text{vas}} + \text{Tulistin}_{3,\text{vas}}) - (\text{Tulistin}_{\text{oik},1} + \text{Tulistin}_{\text{oik},2} + \\
 & \text{Tulistin}_{\text{oik},3}) \rightarrow \text{Tulistimien lämpötilaero} \quad (19)
 \end{aligned}$$

Vuosina 2017 ja 2019 lämpötilaerot kehittyvät seisakin jälkeen melko saman tyyppisesti, eikä suuria poikkeamia ole. Lämpötilaerojen tavoite on ± 10 °C, mutta poikkeamaa on tyyppillisesti paljon. Lämpötilaeroja saadaan pidettyä lähempänä tavoitetta tasaisella kattilan kuormalla, oikealla ilmaajaolla sekä tehokkaalla tulistinalueen nuohouksella.

9.1.2 Ekonomaiseri 2:n likaantuminen

Ekonomaiserin likaantumista seurataan paine-eron muutoksilla. Kuvassa 28 havainnollistetaan ekonomaiserin likaantumista kahdella eri ajanjaksolla. Jakson alku on

vuosihuollon jälkeen, jolloin soodakattila on pesty. Jakson edetessä paine-ero kasvaa, josta voidaan päätellä likaantumisen eteneminen.

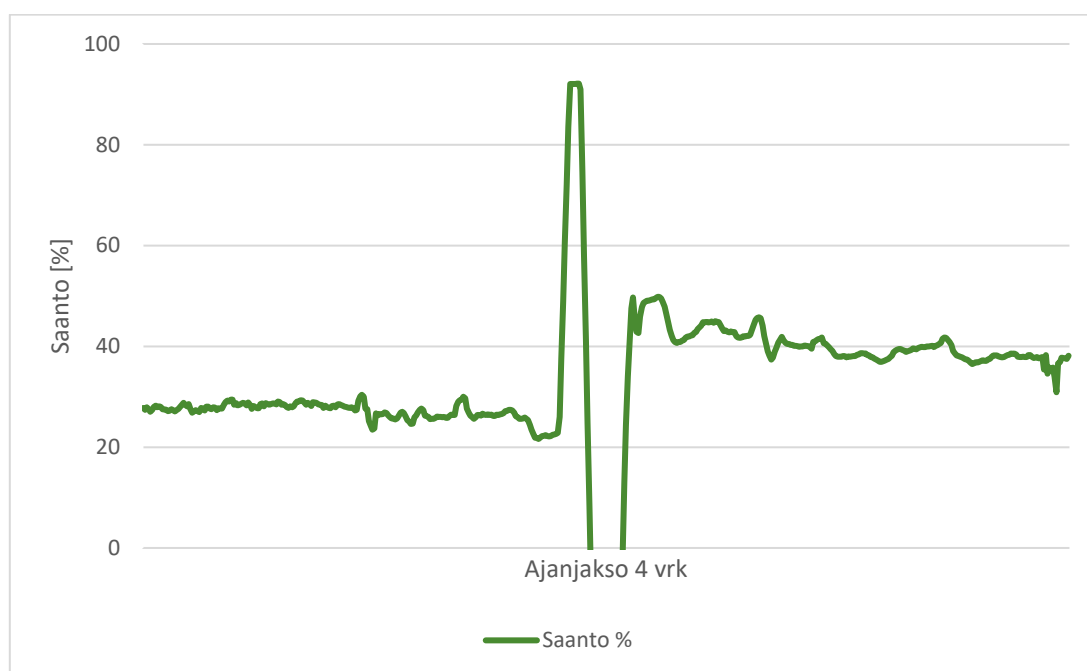


Kuva 28. Ekonomaiseri 2:n likaantuminen

Ekonomaiserin likaantumista voidaan seurata paine-eron muutoksella, kun paine-ero kasvaa, ekonomaiseri alkaa tukkeentua. Vuonna 2017 likaantuminen on ollut voimakkaampaa, jolloin paine-erotkin ovat korkeammat. Kun paine-ero kasvaa liian korkeaksi, täytyy tuotantoa rajoittaa tai suorittaa puhdistustoimenpiteitä. Puhdistustoimenpiteillä tarkoitetaan palveluntoimittajan tarjoamaa räjäytyspuhdistusmenetelmää, jossa sintraantunut tuhka poistetaan lämmönvaihdinpinnoista räjäytyksen aiheuttamaan paineaaltoon perustuen. Näitä puhdistusmenetelmiä on kokeiltu kahden eri palveluntoimittajan tarjoamana. Molemmissa ajojaksoissa on toteutettu puhdistustoimenpiteitä suunnilleen samoihin aikoihin loppujakson aikana, tästä johtuen molemmat paine-erot ovat pudonneet noin 30 %, jonka perusteella saavutettu hyöty on ollut suuri.

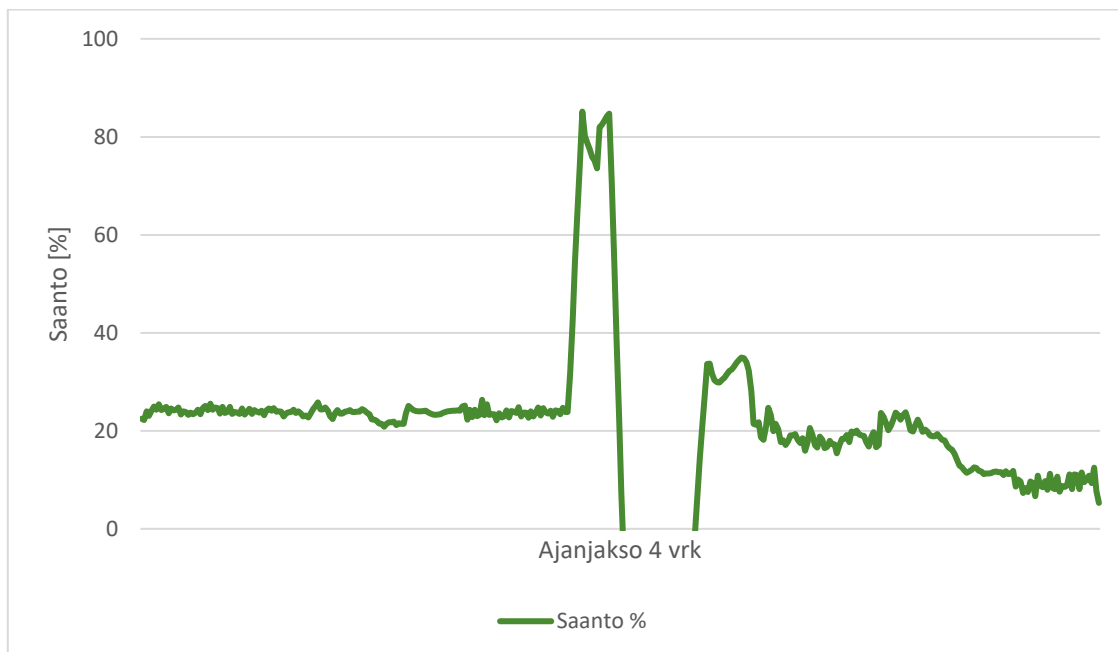
9.2 Mäntyöljylaitoksen Stop & Go -ajo-ohje

9.2.1 Saannon muutokset kun Stop&Go:n jälkeen



Kuva 29. Stop&Go paransi saantoa

Stop&Go tehdään kun analyysien perusteella voidaan todeta, että suopaöljyssä on parempi mäntyöljyn saantopotentiaali, kuin mitä HDS -erottimesta saadaan. Hyvä mittari on suopaöljyn kuiva-ainepitoisuus. Kun kuiva-ainepitoisuus suovassa on 50 - 60 % on teoreettinen saanto yli 50 %. Kuvassa 29 on esitettyä esimerkkitapauksessa mäntyöljyn saanto on ollut ennen Stop&Go:ta pitkään noin 27 %. Stop&Go:n jälkeen saanto nousi hetkellisesti yli 40 %:in ja jäi noin 40 %:in kahdeksi vuorokaudeksi.



Kuva 30. STOP&GO ei parantanut saantoa

Mikäli suopaöljy ei ole priimalaattaa, ei STOP&GO välttämättä paranna HDS:n saantoa. Kuvassa 30 saanto, ennen HDS:n tyhjennystä oli noin 22 % ja STOP&GO:n jälkeen nousi hetkellisesti noin 32 %:iin, mutta tiheyserojen ollessa huonot, saanto lähti pian laskemaan. Tiheyserot johtuvat usein huonolaatuisesta suovasta tai jostakin muusta ongelmasta prosessissa. Tilanteen ratkaisemiseksi on selvitettävä syy huonoon suovan laatuun. Kun suovan laatu on parantunut, tulee HDS:lle tehdä uusi STOP&GO.

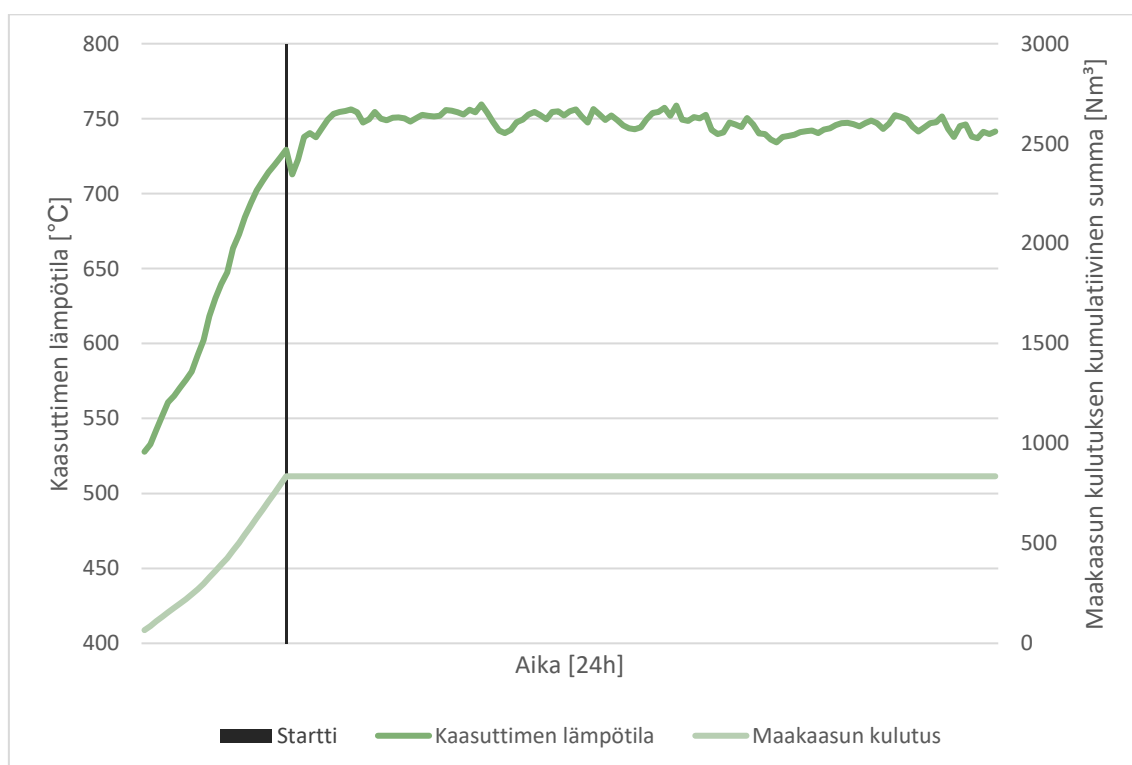
9.3 Kuorenkaasutuslaitos

9.3.1 Kaasuttimen käynnistys

Kuoren kaasuttimen tehokas käynnistäminen säästää maakaasua sekä vähentää CO₂-päästöjä. Meesauuni voidaan lämmittää tuotekaasulla tasaisemmin optimilämpötilaan, sillä tuotekaasua käyttäessä liekki on pidempi ja uunin lämpötilaprofiili on parempi, jolloin uuni lämpenee tehokkaammin myös uunin syöttöpäästä. Meesauunin tasainen lämmitys taas tehostaa uunin toimintaa.

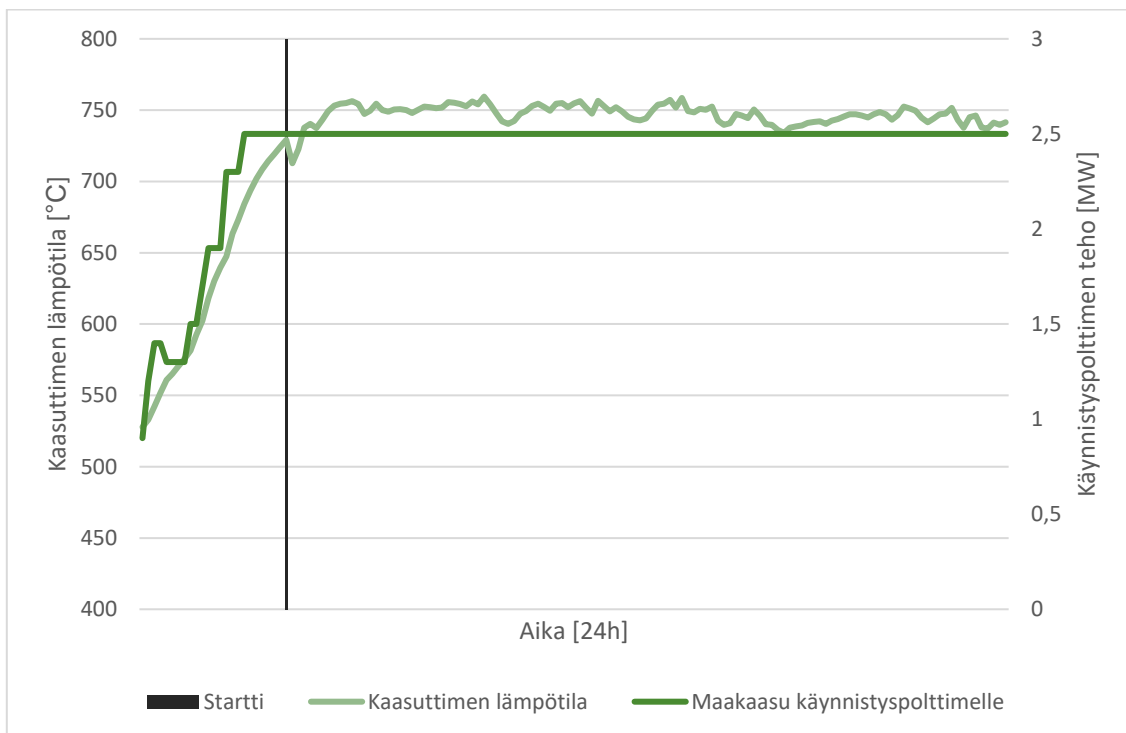
Kaasuttimen optimaalinen lämmitys

Kuvasta 31 nähdään, että kaasuttimen lämmitykseen meni ainoastaan hieman yli neljä tuntia ja maakaasua kului kaasuttimen lämmityksen aikana 835 Nm³. Kaasutinta lämmitettiin tasaisesti noin 70°C/h.



Kuva 31. Kuoren kaasuttimen optimaalinen lämmityskäyrä sekä maakaasun kulutuksen kumulatiivinen summa

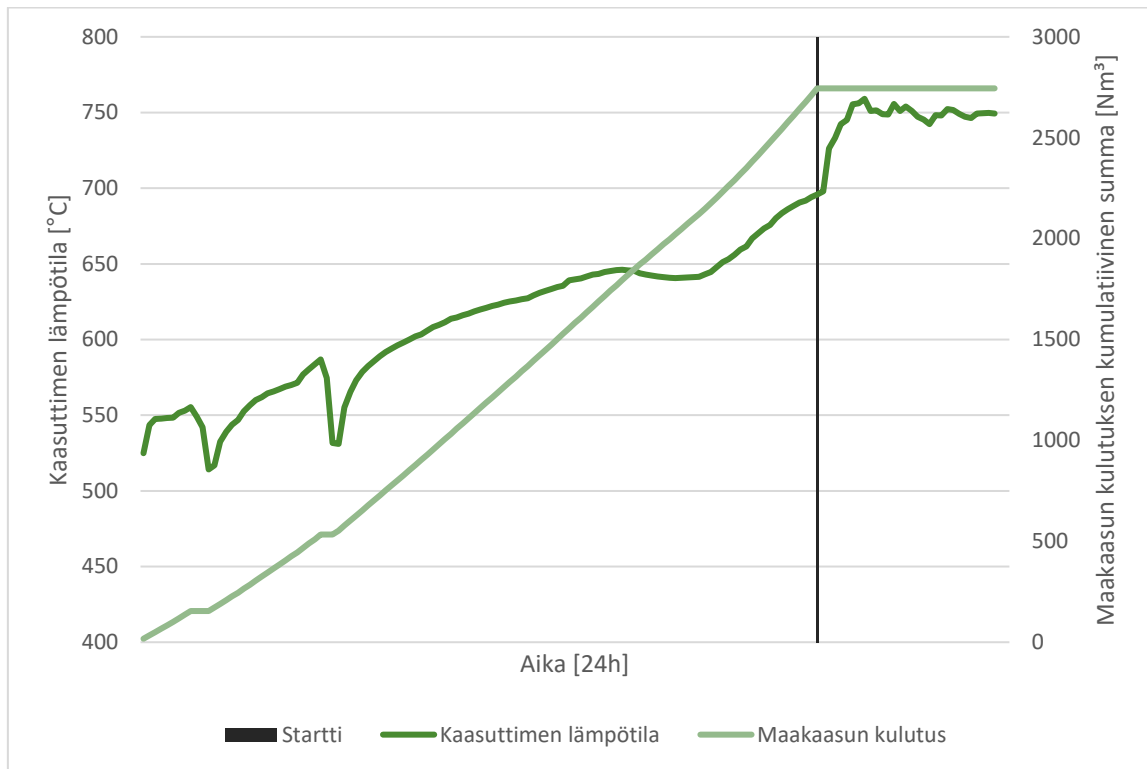
Kuvassa 32 on esitetty kaasuttimen lämpötiläkäyrä sekä käynnistyspolttimen tehon käyrä. Käynnistyspolttimen tehoa nostettiin tasaisesti 2,5 MW:in asti, jolloin kaasuttimen lämpötiläkin nousi tasaisesti vaadittuun lämpötilaan. Tämän jälkeen kuoren syöttö kaasuttimeen aloitettiin ja tuotekaasua alettiin polttaa meesaunissa.



Kuva 32. Kuoren kaasuttimen optimaalinen lämmityskäyrä sekä käynnistyspolttimen teho

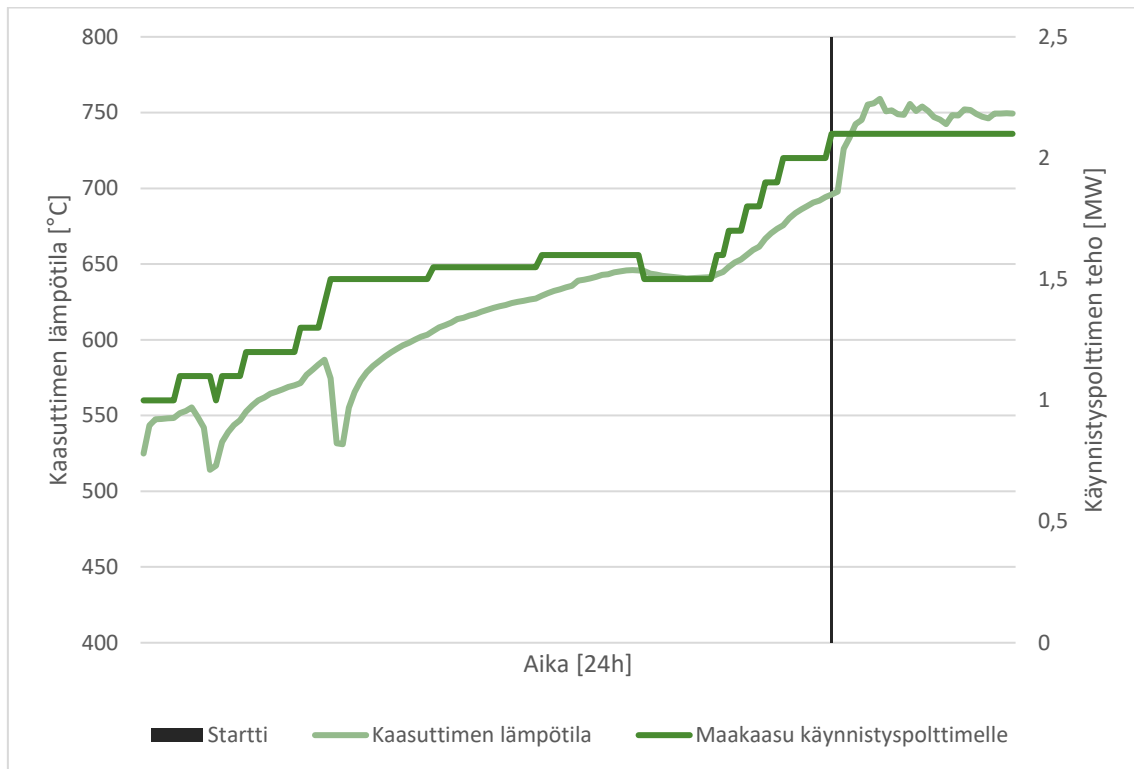
Kaasuttimen hidas lämmitys

Kuvasta 33 nähdään, että kaasuttimen lämmitys kesti 19 tuntia, jonka aikana maakaasua kului 2744 Nm³, joka on 3,3 kertaa enemmän kuin kaasuttimen optimaalisessa lämmityksessä. Kaasuttimen hitaassa lämmityksessä käynnistyspolttimelle asetettu teho oli liian alhainen, jotta kaasutin olisi lämmennyt optimaalisesti ja tästä syystä lämmitys kesti 19 tuntia. Kaasuttimen lämpötila nousi keskimäärin ainoastaan 9°C/h.



Kuva 33. Kuoren kaasuttimen hitaan lämmityksen lämmityskäyrä sekä maakaasun kulutuksen kumulatiivinen summa

Osasyysksi voidaan todeta haasteet meesauunilla. Kaasuttimen lämmityksen aikana meesauunilta sammui maakaasutulet kaksi kertaa, jolloin kaasuttimen käynnistyspoltin pysähtyi turvalukitusten vuoksi lämmitysjakson alussa. Kaasutin olisi kuitenkin saatu lämmitettyä nopeammin, mikäli käynnistyspoltin tehoa olisi nostettu tasaisemmin kohti 2,5 MW:a. Kuvassa 34 on esitetty kaasuttimen hitaan käynnistyksen lämpötilakäyrä sekä käynnistyspoltin tehon käyrä.



Kuva 34. Kuoren kaasuttimen hitaan lämmityksen lämmityskäyrä sekä käynnistyspolttimen teho

10 TULOSTEN TARKASTELU

10.1 Soodakattila

Polttoliipeäruiuskujen kunnonvalvontatilastoa seuraamalla huomataan, että lipeäsuuttimia tarkastetaan säännöllisesti ja ne vaihdetaan tarpeen mukaan. Tyypillisin syy suuttimen vaihtoon on lusikan taipuminen. Esille nousi erityisesti lipeäsuutin 3, joka sijaitsee soodakattilan etuseinän oikeassa laidassa sekä lipeäsuutin 12, joka sijaitsee kattilan oikean seinän oikeassa laidassa. Lipeäsuutin 3 on vaihdettu neljästi ja lipeäsuutin 12 on vaihdettu kolmesti viimeisen neljän kuukauden aikana lusikan taipumisen vuoksi, kun taas muita suuttimia ei ole vaihdettu kuin kerran tai kahdesti.

Ajo-ohjetta noudattamalla tulistinalueen tukkeutuminen ei muuttunut vertailuvuoteen nähden. Tukkeutumista on havaittavissa enimmäkseen tulistimien oikealla puolella, joka viittaa epätasaiseen ilmajakoon. Tukkeutuminen pääosin epätehokkaasta nuohouksesta, joka johtuu nuohointen heikosta kunnosta ja heikentyneestä käytettävyydestä. Toinen syy tukkeutumiseen on carryover, jonka määrää ei saatu hallittua ajo-ohjeen avulla. Carryover tulistimien alueella johtuu epätasaisista ilmavirroista ja mahdollisista ruiskutusongelmista.

Ekonomaiseri 2 likaantuminen oli kuitenkin vähäisempää kuin vertailuvuotena. Vuoden 2019 ajojakson loppupuolella paine-ero on noin 20 % matalampi verrattuna vuoteen 2017, joka viittaa siihen, että kattilan tukkeutumista on pystytty rajoittamaan ekonomaiserien osalta ajo-ohjetta noudattamalla.

Soodakattilalla suoritettiin lokakuussa 2019 räjäytyspuhdistus. Puhdistuksia on suoritettu aiemminkin, mutta aiemmin kyseisen työn suoritti toinen palveluntarjoaja. Puhdistus suoritettiin tulistimien ja ekonomaisereiden alueelle. Tulistinalueella likakertymiä paikoin todella runsaasti ja se oli palanut tiukasti tulistinputkistoihin kiinni, toisin kuin ekonomaisereiden alue, josta lika oli helpommin poistettavissa. Palveluntoimittaja suosittelee säännöllistä puhdistusväliä, jotta lika on poistettavissa helpommin. (Metsä Fibre, sisäinen)

10.2 Mäntyöljylaitos

Mäntyöljylaitoksen STOP&GO tehostaa mäntyöljyn saantoa ja on tehokas tapa palauttaa tuotanto tavoitetasolle silloin, kun suopa on hyvälaatuista. Saanto ei kuitenkaan jää 40 %:in kuin pariksi vuorokaudeksi, joka johtuu pääosin suovan laadun muutoksista. Pitämällä suovan laatu riittävän tasaisena, on mahdollista pitää mäntyöljyn tuotanto korkealla tasolla pidempiäkin ajojaksoja.

Syitä suovan laadun muutoksille on useita. Tehtaalla voi sattua odottamattomia tuotannon muutoksia, joka voi vaikuttaa säiliöiden pintoihin. Mikäli laihalipeäsäiliöiden pinnat ovat alhaiset, ei suopaus ole mahdollista. Myös liian täydet lipeäsäiliöt voivat aiheuttaa hallitsemattoman suopauksen. Pitämällä laihalipeäsäiliöiden pinnat riittävän korkealla, kuitenkin siten, että ne ovat hallittavissa, päästään optimaaliseen tilanteeseen suopauksen kannalta.

10.3 Kuoren kaasutuslaitos

Kuoren kaasuttimen lämmityksessä haasteita voi tulla meesauunin ajojen kanssa, sillä uunilta voi sammua tulet häikäpiikeistä tai muista syistä, jolloin turvalukitukset pysäyttävät myös kuoren kaasuttimen käynnistyspolttimen. Myös meesauunin liekinvartijat eivät välttämättä havaitse liekkiä, jos meesauunissa meesa pölyä erityisen paljon, jonka seurauksena turvalukitukset sammuttavat meesauunista tulet. Optimaalisessa tilanteessa kuoren kaasuttimen voi lämmitellä tehokkaasti ja tuotekaasulle voidaan siirtyä lyhyessäkin ajassa.

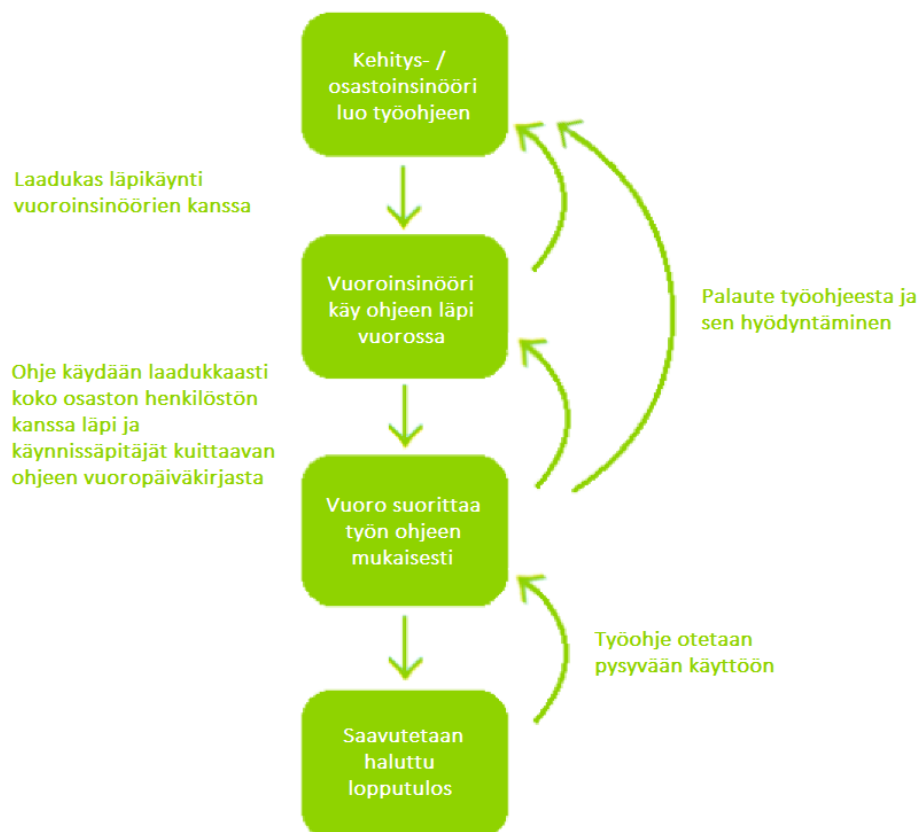
Kaasuttimen käynnistysohjetta on vuosien aikana päivitetty ja ohjeen päivityksen yhteydessä on tärkeää, että uusi, päivitetty ohje käydään käynnissäpitäjien kanssa läpi ja ohje kuitataan vuoropäiväkirjasta läpikäydyksi. Näin käynnissäpitäjillä on viimeisin tieto mahdollisista muutoksista kaasuttimen käynnistyksen suhteen.

10.4 Työohjeet ja toimintamallit talteenotto-osastolla

Työohjeistuskäytännöt ovat henkilöstöllä tiedossa, mutta niiden laadukas läpikäynti ei ole täysin ongelmaton. Käynnissäpitäjät eivät ole välttämättä samaan aikaan valvomossa, kun vuoroinsinööri käy kierroksellaan työohjeen läpi. Pääosin kuitenkin työohjetta

koskevan työpisteen käynnissäpitäjän kanssa ohje käydään läpi, mutta niiden käynnissäpitäjien, jotka eivät valvomossa ole, saattaa ohjeistuksen läpikäynti jäädä puutteelliseksi. Lisäksi työohjeiden kuittaaminen vuoropäiväkirjasta on ollut vähäistä. Tästä syystä siihen tulisikin panostaa, jotta kokonaiskuva työohjeiden läpikäymisestä hahmottuisi paremmin.

Työohjekäytäntöä talteenotto-osastolla täytyy yhtenäistää ja panostaa työohjeiden ja ajomallien laadukkaaseen läpikäyntiin. Mikäli käynnissäpitäjä ei ole valvomossa, tulee vuoroinsinöörin kuitenkin käydä uusi ohjeistus henkilön kanssa myöhemmin läpi, jotta yhtenäiset toimintamallit toteutuvat. Työohjeista saatua palautetta kannattaa hyödyntää nykyistä enemmän, jotta ohjeista saadaan luotua riittävän kattavia ja niitä on helppo noudattaa.



Kuva 35. Toimivan työohjeistuksen malli

Kuvassa 35 on esitetty tehokkaan työhjeistuksen malli, jota käyttämällä päästään tavoiteltuun lopputulokseen. Työhjeiden laadukas läpikäynti on tärkeässä roolissa, kun ohjeesta informoidaan vuoroinsinöörejä sekä käynnissäpitäjiä. Työhjeistus-mallin noudattaminen vaatii sitoutuneisuutta niin kehityspäälliköltä, osastoinsinööreiltä, vuoroinsinööreiltä kuin käynnissäpitäjiltä. Kun työhje on käyty laadukkaasti läpi, se tulee kuitata vuoropäiväkirjasta, jotta voidaan varmistaa, että työhjeistus on käyty läpi. Kun työhjeistusta ja yhteisiä käytäntöjä noudatetaan, saadaan talteenoton käytettävyys ja tuotantotehokkuus paremmalle tasolle.

11 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää paras käytäntö työhjeistuksen toimintamallille eri työhjeita ja mittausdataa tutkimalla. Mittausdatan perusteella voitiin arvioida ajomallin hyödyt sekä mahdolliset haasteet työn suorittamisessa. Työhjeiden implementointi vuoroihin oli vaihtelevaa, jonka vuoksi työsuoritteiden toteutus vaihtelee paljon.

Soodakattilan ajo-ohje on laaja kokonaisuus, joka pitää sisällään kattilan normaalin kuorman ajomallin. Ajomallin osalta keskityttiin soodakattilan polttolipeäsuuttimien kunnonvalvontaan ja vaihtoon. Soodakattilan lipeäsuuttimien kunnonvalvonnalla on suuri merkitys soodakattilan optimaalisen ajamisen kannalta. Tulistinalueen tukkeentuminen ei vielä ole rajoittanut kattilan kuormaa, mutta ilman räjäytyspuhdistusta tuotannon rajoittaminen on välttämätöntä. Nuohointen käytettävyys on myös merkittävässä roolissa tukkeutumisen kannalta, sillä kriittisten alueiden säännöllinen nuohous on soodakattilan käytettävyyden kannalta välttämätöntä.

Mäntyöljylaitoksella mäntyöljyn saannon heikentyessä käytetään STOP&GO -ajo-ohjetta silloin, kun muiden seurattavien parametrien perusteella voidaan olettaa, että potentiaali parempaan mäntyöljyn tuotantoon on mahdollista. Ajo-ohjetta käyttämällä saadaan HDS-erottimen faasit uudelleen muodostettua ja mäntyöljyn saanto paranee. Ajo-ohjeen myötä käynnissäpitäjät ovat toimineet itsenäisemmin mäntyöljylaitoksen ongelmatilanteiden selvityksessä, joka parantaa huomattavasti tuotantokapasiteettia.

Kuorenkaasutinlaitoksen käynnistys -ohjeen avulla saatiin tehostettua kaasuttimen lämmitystä tavoitelämpötilaan ja vähennettyä maakaasun kulutusta meesauunilla. Joissain tilanteissa kaasuttimen lämmittäminen optimaalisesti voi olla haastavaa, sillä tehtaalla voi olla muita haasteita, jotka rajoittavat tai estävät kaasuttimen lämmittämisen tehokkaasti. Esimerkiksi meesa voi pölytä erityisen paljon, jonka vuoksi uunin maakaasutulet voivat sammua useasti. Kuitenkin pääsääntöisesti käynnistysohjeen avulla voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä maakaasun kulutuksessa.

Työhjeistuksen toimintamallit talteenotto-osastolla toimivat pääsääntöisesti hyvin. Työhjeiden henkilökohtainen läpikäynti on paras toimintamalli työhjeiden laadukkaaseen läpikäyntiin ja näin ollen työn laadukkaaseen suorittamiseen. Työhjeiden läpikäynti vaatii sitoutuneisuutta niin kehityspäälliköltä, osastoininööreiltä,

vuoroinsinööreiltä kuin käynnissäpitäjiltä. Kun työohje on käyty laadukkaasti läpi, se kuitattiin vuoropäiväkirjasta läpikäydyksi, jotta voidaan varmistaa, että työohjeistus on käyty läpi. Kun työohjeistusta ja yhteisiä käytäntöjä noudatetaan, saadaan talteenoton käytettävyydestä ja tuotantotehokkuudesta parempi.

LÄHDELUETTELO

Adams, Terry. 1997. Kraft Recovery Boiler. American Forest & Paper Association. TAPPI Press. ISBN 0-9625985-9-3.

Basu, Prabir. 2010. Biomass gasification and pyrolysis: Practical desing and theory. Academic Press. ISBM: 978-0-12-374988-8.

Engblom, Markus. 2017. Introduction to Kraft process: Black liquor and The black liquor recovery boiler. [verkkojulkaisu], [viitattu 3.9.2019], saatavilla: http://users.abo.fi/maengblo/FPK_II_2017/

KnowPulp. 2017. KnowPulp-oppimisympäristö. Versio 17.0. Päivitetty 12/2017 [viitattu 16.4.2019]. Prowledge Oy, AEL. Saatavissa: <http://www.knowpulp.com/suomi>. Palvelu on maksullinen ja vaatii käyttäjätunnuksen.

Komulainen, Joni. Keskustelu 10.10.2019

Kouri, Ilkka. 2011. Lean-taskukirja. Helsinki: Teknologiateollisuus ry. ISBN 978-952-238-037-1.

Laxén Torolf, Tikka Panu, 2008. Chemical pulping part 2, Recovery of Chemicals and Energy, 2nd edition: Soap and tall oil, Helsinki: Paperi ja Puu Oy, s. 360-380, Papermaking Science and Technology vol 6. ISBN 978-952-5216-26-4.

Metsä Fibre. 1998. Soodakattilan käyttöohje : Oy Metsä-Botnia AB, Joutseno Pulp, Soodakattila SK3. [sisäinen materiaali]

Metsä Fibre. 2019. Tehtaan sisäinen työohjeistus. [sisäinen materiaali]

Metsä Fibre. 2019 [sisäinen materiaali]

Miikkulainen Pasi, Järvinen Mika & Kankkunen Ari. 2000. Black liquor properties in operating recovery boiler furnaces. INFUB 5 European Conference in Industrial Furnaces and Boilers. Porto, Portugal.

Raiko, Risto. et al. 2002. Poltto ja palaminen. Jyväskylä. International Flame Research Foundation (IFRF) Suomen kansallinen osasto. Toinen painos. ISBN 951-666-604-3.

Mäntyniemi Jussi, Haaga Kari. 2001. Operating experience of XL-sized recovery boilers. Atlanta. Tappi Press.

Rother, Mike. 2011. Toyota Kata. Porvoo: Bookwell Oy ISBN: 978-952-220-362-5

Sarkomaa Pertti, Punnonen Pekka. 1992. Polttotekniikan seminaari: polttoaineen kaasutus, opetusmoniste. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu (LTKK). ISBN 951-763-727-6

Suhr, Michael et al. 2015. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. European Commission. ISBN 978-92-79-48167-3.

Taina, Henri. Keskustelu 10.10.2019

Torkkola, Sari. 2015. Lean asiantuntijatyön johtamisessa. Helsinki: Talentum Pro. ISBN 978-952-14-2489-2.

Vakkilainen, Esa 2005. Kraft recovery boilers - principles and practice. Helsinki, Finland: Suomen Soodakattilayhdistys. ISBN 952-91-8603-7.

Vakkilainen, Esa 2006. Kraft recovery boilers – High Dry Solids Firing.

Vakkilainen, Esa 2010. Höyrykattilatekniikka – Soodakattilat. Lappeenranta. Lappeenrannan Teknillinen Ylipisto. Luentomateriaali.

Wessel, Rick. 2008. Black Liquor Spraying. The Babcock & Wilcox Company. TAPPI Kraft Recovery Short Course. TAPPI Press.

Wessel, Rick. 2015. Recovery Boiler Air Systems. The Babcock & Wilcox Company. TAPPI Kraft Recovery Short Course. TAPPI Press.

LIITE 1. Palamisilma- ja savukaasuhäiriöt

SOODAKATTILAN KÄYTTÖOHJE

Oy Metsä-Botnia Ab
Joutseno Pulp
Soodakattila SK3

23.04.98



154 (215)

6.6.5.5 Palamisilma- ja savukaasuhäiriöt

Häiriö	Havainto	Toimenpiteet
Vetohäviöt kasvaneet	Tarvitaan suurempi veto tulipesään Savukaasupuhaltimien ohjaus 100% ja kattila puhaltaa lipeäruiskuaukoista - kattila osittain tukossa	a) lisää nuohousta käsin tukkeuma-alueelle b) pudota kattilan kuormaa, jos tarpeen HUOM: apupolttoaine lisää carry-overia ja savukaasun lämpötiloja ja edistää likaantumista
Höyryn lämpötiloissa vasen/oikea-epätasapaino	Savukaasun lämpötilat ovat vinossa. Vain toinen puoli kattilasta on likaantunut. Vinous savukaasun happipitoisuuksissa.	a) Tasaa sekundääri-ilman ja lipeän virtaukset vasemmalle ja oikealle puolelle b) Tarkista sekundääri-ilmamalli; pyörytys luo vinoutta. c) Tarkista ko. virtausmittaukset
Alhainen savukaasun lämpötila	Ekonomaisereissa tai savukaasukanavissa korroosiota. Täyteen kuormaan tarvitaan enemmän polttoainetta. Ongelmia sähkösuodattimilla	a) Nosta syöttöveden lämpötilaa b) Vähennä ekonomaiserien keskiosan nuohousta HUOM: Vesipesun jälkeen lämpöpinnat ovat "liian puhtaat". Normaali kerrostumat kasvavat muutamassa viikossa. Käytä korkeampaa syöttöveden lämpötilaa.
Savukaasun lämpötila ennen keittopintaa korkea	Korkea höyryn lämpötila. Liikaa palamisilmaa (happi korkea). Palaminen liian ylhäällä pesässä. Carry-over (palamattomia lipeäpartikkeleita kattilan yläosissa).	a) Säädä palamista, jos tarpeen. b) Tarkista happipitoisuus nokalla ja ekonomaiserin jälkeen.
Kattila puhaltaa savua ja tulta tulipesän aukoista ulos	Savukaasupuhallin pysähtynyt. Putkivuoto. Vedonsäätö ei toimi. Tulistimien alaosan nuohomien käytössä veto pesä paineen puolella.	a) tarkista, onko vuotoa. b) Tarkista vedon säädön toiminta. c) Lisää vedon asetusta, jos tarpeen.
Savukaasupuhallin pysähtyy	Tulipesä on paineen puolella ja puhalttaa ulos savua ja tulta. - lukitukset - puhaltimen ylikuorma HUOM: tarkista lukitusketju	a) selvitä pysähtymisen syy b) käynnistä puhallin
Alhainen tulipesän paine (suuri veto)	Ilmapuhallin pysähtynyt tai pelti sulkeutunut. Savukaasupuhaltimien säätö ei toimi.	a) Jos vedon säätö ei toimi automaattilla, säädä savukaasupuhaltimien nopeutta käsin. b) Säilytä suositeltu happipitoisuus savukaasussa. Jos häiriö rajoittaa ilman syöttöä, vähennä vastaavasti polttoaineen syöttöä.

LIITE 2. Kaasuttimen lämmitysohje

Kaasuttimen lämmitys/käynnistys

Lämmitys/käynnistys MU startin yhteydessä

- Tämä ohjeistus on tarkoitettu käytettäväksi kun MU:lla on ollut esimerkiksi savukaasukanavan pesu tai muu lyhytaikainen seisakki.
- Kaasarin lämmitys aloitetaan kun lämpötilamittarit 98TI0162 ja 98TI0265 lämmöt yli 350 °C.
- Mikäli kaasuttimen alueella ei ole tehty työtä ja kaasuttimen lämpötila on yli 400 °C, voidaan kaasutinta lämmittää maksimiteholla 2,5 MW. Koska kaasuttimen luokkuja ei ole avattu ja lämpötila on pysynyt korkeana, ei ole vaaraa kosteuden aiheuttamista riskeistä.
- Kaasarin lämmittäminen ja starttaaminen huonontaa aina karbonaattia, tästä syystä se tehdään siinä vaiheessa kun karbonaatti on muutenkin huonoa koska uuni on vasta käynnistetty.
- Kalkkipallero ei tiedä millä energialla uuniin syötetään.
- Tällä tavalla saamme nopeammin vakaan tilanteen uunilla ja säästämme tietenkin maakaasua.
- Kaasari käynnistetään aina joka tapauksessa ja tästä syystä sen käynnistämisen viivytys ei ole kenellekään eduksi.