



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

HEWI

Andritz Oy

TEKIJÄ

Teemu Pärnänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Teemu Pärnänen			
Työn nimi HEWI			
Päiväys	06.05.2020	Sivumäärä/Liitteet	39
Ohjaajat Lehtori Pasi Lepistö ja Lehtori Jari Ijäs			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Kehityspäällikkö Heikki Lappalainen			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä tehtiin tutkimus HEWI punnitusjärjestelmän vaikutuksesta selluntuotantoon ja soodakattilan nuohouksen ajoituksen parantumiseen sekä tutkittiin, kuinka tärkeää järjestelmän viritys on. Työ toteutettiin yhteistyössä Andritz Oy:n kanssa Stora Enson Varkauden tehtaalle.</p> <p>Työn alussa kuvataan soodakattilan toimintaa yleisesti, mikä se on. Soodakattila on selluntuotannon välttämätön osa, jonka tarkoituksena on polttaa selluntuotannossa syntyvä mustalipeä ja talteenottaa prosessissa syntyvät kemikaalit ja lämpö. Mustalipeän poltosta vapautuu natriumia ja rikkiä, jotka kerätään talteen jatkokäsittelyä varten. Prosessissa syntyvä lämpö otetaan talteen sähkön ja höyryn tuotantoa varten.</p> <p>HEWI punnitusjärjestelmä on suunniteltu parantamaan soodakattilan nuohousta, jotta kattila ei tukkeutuisi ja siitä saataisiin kaikki hyöty irti. HEWI:llä päästään näkemään lentotuhkan kerääntyminen riippuville lämpöpinnoille reaaliajassa, joka ei ennen ollut mahdollista. HEWI perustuu venymäliuska mittaukseen, joka käyttää Wheatstonen siltaa, jotta mittaustulos olisi mahdollisimman tarkka. Antureiden tieto kulkeutuu DCS automaatiojärjestelmään mA viestiä tai Profibus kenttäväylän avulla, josta antureiden mittaustietoa voidaan tarkastella. HEWI mittaustulosten perusteella voidaan nähdä noin 30 kg tarkkuudella lentotuhkan kerääntyminen kattilan sisälle. Tämän mittaustiedon perusteella nouhouksia voidaan kohdistaa tarvittaviin paikkoihin kustannustehokkaasti.</p> <p>Työssä tutkittiin, kuinka HEWI saataisiin viritettyä näyttämään parempia mittaustuloksia, joilla päästäisiin entistä tarkempiin tuloksiin. HEWI-järjestelmän avulla voidaan kohdistaa kattilan nuohousta entistä tarkemmin, jolloin sen hyötysuhde paranee ja käyttöikä pitenee.</p>			
Avainsanat Soodakattila, nuohous, HEWI			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Teemu Pärnänen			
Title of Thesis HEWI			
Date	06 May 2020	Pages/Appendices	39
Supervisors			
Client Organisation /Partner Mr Heikki Lappalainen, Development manager			
<p>Abstract</p> <p>The objective of this thesis was to study and present the HEWI weighing system and its benefits in pulp production. The HEWI weighing system was designed to improve the sweeping of the recovery boiler in order to avoid the boiler from clogging and to get all benefits out of it. With HEWI it is possible to see the accumulation of fly on suspended heat surfaces in real time, which was not possible before. HEWI is based on strain gauge measurement which uses Wheatstone's bridge in order to make the result as accurate as possible. The information from the sensors goes to the DCS system by using mA or Profibus where the results can be viewed. With the HEWI measurement results, the accuracy is +/- 30 kg and it shows carefully where the ashes are mostly built up and therefore the sweeping can be targeted there.</p> <p>The thesis process was started with the installation of HEWI weighing system to Stora Enso Varkaus factory on summer 2018. After the installation it became clear that this would be an ideal topic for a thesis. At this stage it was possible to learn the essentials of the HEWI weighing system and why it is a necessary part of pulp production. The thesis was implemented in cooperation with Andritz Ltd at the Stora Enso Varkaus factory.</p> <p>At the beginning of the thesis process, the focus was on getting familiar with a recovery boiler; it is a necessary part of pulp production the purpose of which is to burn the black liquor that generates in pulp production and gathers the chemicals and heat that are also generated in the process. The burning of black liquor releases sodium and sulphur which are then collected for further processing. The heat that is born in the process is gathered for electricity and steam production. For this thesis, a study was executed on the effects of the HEWI weighing system on pulp production and on the improvement of the timing of the recovery boiler's sweeping. It was also examined how important it is to tune up the system. There was also an experimental part in the thesis where the HEWI's operations were studied over the past years. It included describing the operations and suggestions on how it could be improved</p> <p>The thesis explored how the HEWI weighing system could be tuned up to show even better measurement results when even more accurate results could be gathered. As a result of the thesis, it has become clear that with this system, the sweeping can be timed and targeted even more accurately to improve the efficiency and lifetime of the boiler.</p>			
Keywords Recovery boiler, sweeping, HEWI			

ESIPUHE

Opinnäytetyö on tehty Stora Enso Varkauden tehtaan soodakattilalle. Työssä on esitetty soodakattilan perusteita, nuohouksesta ja uudesta HEWI-mittausjärjestelmästä. Työssä esiteltiin miten uusi HEWI vaikuttaa nykyiseen soodakattilan nuohoukseen ja tutkittiin, miten se on viimeisen vuoden aikana toiminut. Opinnäytetyö tuo esille, kuinka tämä pilotti järjestelmä edistää soodakattilan toimintaa ja mitä parannettavaa siinä vielä olisi.

Opinnäytetyön valvojana toimi Pasi Lepistö ja ohjaajana Andritz Oy:n tuotantopäällikkö Heikki Lappalainen. Haluan kiittää heitä molempia hyvästä ohjauksesta opinnäytetyön tekohetkellä. Erityisesti kiitän vielä Heikkiä työaikana saamistani neuvoista ja hyvästä työaiheesta.

Lisäksi haluan kiittää Vihavaisen Rikua, joka avusti minua Varkauden tehtaalla HEWI trendikäyrien tulkitsemisessä.

Viimeiseksi haluan kiittää vanhempiani ja avopuolisoani, koska he jaksoivat tsemppata minua koko opiskelujeni ajan.

Joensuussa

Teemu Pärnänen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	ANDRITZ	8
2.1	Andritz Pulp & Paper.....	8
2.2	Andritz Oy	9
2.3	Andritz Automation.....	9
2.4	Stora Enso Varkaus	9
3	SOODAKATTILAN TOIMINTA (TUONONEN, 2012)	10
3.1	Soodakattilan toimintaperiaate.....	10
3.2	Soodakattilan rakenne	11
3.3	Tulipesäprosessi.....	13
3.4	Soodakattilaproessin hallinta	14
3.4.1	Polttolipeäsyötön ohjaus.....	15
3.4.2	Palamisilman säätö	16
3.4.3	Tulipesäkeon profiilin ja lämmön säätely.....	16
4	LÄMMÖNSIIRTOPINTOJEN PUHDISTUS.....	17
4.1	Lämpöpintojen tukkeutuminen.....	17
4.1.1	Lämpöpintojen korroosio	18
4.1.2	Tulipesän korroosio.....	19
4.1.3	Savukaasukanavan korroosio.....	19
4.2	Nouhousjärjestelmät.....	20
4.2.1	Höyrynuohoin.....	21
4.2.2	Nuohoimen toimintaperiaate	21
5	HEWI-JÄRJESTELMÄ.....	23
5.1	HEWI toimintaperiaate.....	24
5.2	HEWI:n vaikutus sellutuotantoon	27
6	KOKEELLINEN OSIO	28
6.1	Tutkimuksen suunnittelu	28
6.2	Mittaustulosten valmistelu	29
6.3	Mittausten tilastollinen käsittely	32
6.4	Tulosten arviointi	34
7	YHTEENVETO.....	37

7.1	Tehtävänanto ja tavoitteet	37
7.2	Työn suorittaminen	37
7.3	Lopputulokset.....	38
8	LÄHDELUETTELO.....	39

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee Stora Enso Oy Varkauden tehtaan soodakattilalle asennettua Andritz Oy:n kehittämää HEWI punnitusjärjestelmää, jolla vaikutetaan tehtaan soodakattilan toiminnan tehokkuuteen. Opinnäytetyö on tehty Andritz Oy:lle.

Andritz Oy kuuluu Andritz-konserniin, joka on yksi maailman johtavista teollisuuden teknologiaratkaisujen toimittajista. Andritz Oy valmistaa muun muassa soodakattiloita ja on asentanut Varkauden tehtaalte soodakattilan, johon opinnäytetyöni kuuluu.

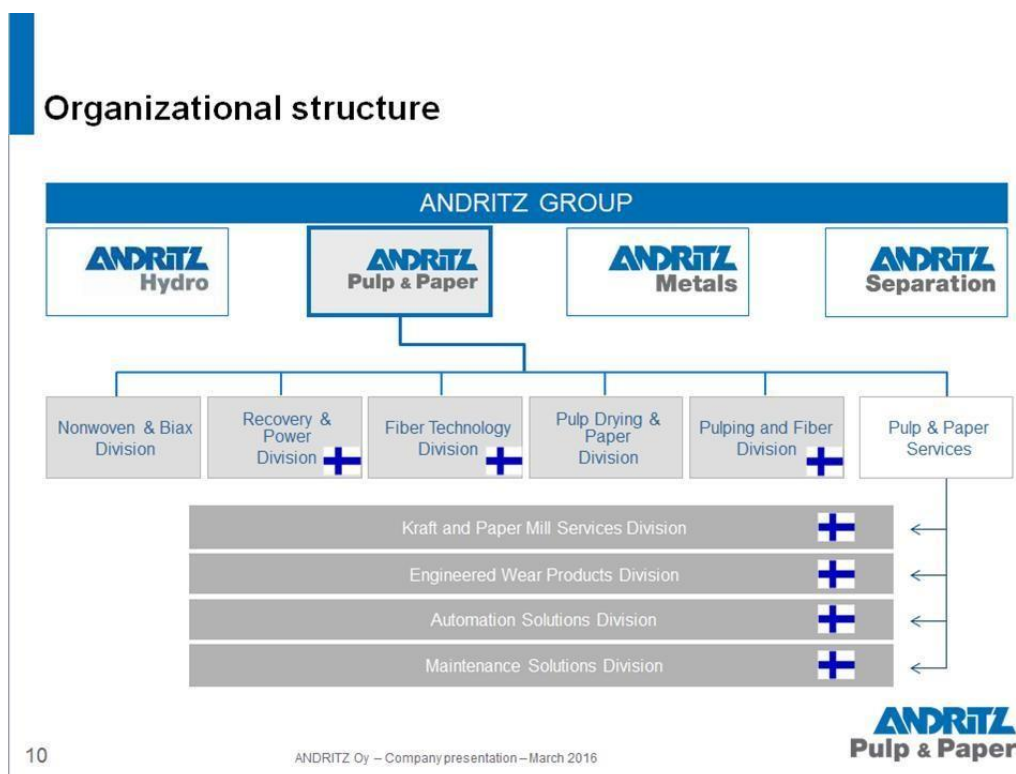
Stora Enso Varkaus on Stora Enso -konserniin kuuluva tuotantolaitos aivan Varkauden kaupungin keskustassa. Varkauden tehdas tuottaa aaltopahvia 390 000 tonnia ja 310 000 tonnia selluloosaa vuodessa, tehtaalla työskentelee 307 työntekijää.

Varkauden tehtaan soodakattilassa poltetaan selluntuotannossa syntyvä mustalipeä, joka sisältää kaikki tuotannon epäorgaaniset keittokemikaalit. Soodakattilasta sanotaan sen olevan selluntuotannon ydin, koska se tuottaa koko tehtaalle sähköä. Soodakattilan tehtävänä on keittokemikaalien uudelleen muodostaminen sekä tuottaa korkeapaineistettua höyryä poltosta saadun lämmön avulla. Höyryä käytetään sähköntuotannossa ja muissa tehtaan käyttökohteissa.

Opinnäytetyössäni esitellään HEWI, joka on uusi mittausjärjestelmä soodakattilaan. HEWI mittaa lentotuhkan kerääntymistä kattilan tulistimiin. Mittaus on ennen toteutettu paine-eromittauksilla kattilan eripuolilta, joka ei kohdistu suoraan kattilaan niin hyvin kuin HEWI. HEWI:stä saadulla tiedolla voidaan seurata mihin lentotuhka helpoiten kerääntyy ja optimoida kattilan nuohousta. Tämän avulla soodakattilasta saadaan kaikki hyöty irti sekä voidaan ehkäistä mahdolliset tukkeutumat.

2 ANDRITZ

Andritz Oy on osa Andritz-konsernia, joka on yksi maailman johtavista vesivoimateollisuuden, sellu- ja paperiteollisuuden sekä metalli- ja terästeollisuuden teknologiaratkaisujen toimittajista. Konsernin pääkonttori sijaitsee Itävallan Grazissa ja kaiken kaikkiaan konsernilla on noin 26 000 työntekijää. Andritz Group jakautuu neljään liiketoiminta-alueeseen (ks. kuva 1): vesivoima, sellu ja paperi, metallit ja erotusteknologia. (Hämäläinen, 2018)



KUVA 1. Andritz Groupin yritys rakenne.

2.1 Andritz Pulp & Paper

Suurin osa Andritz:n Suomen toimipisteistä kuuluu Pulp and Paper -toimialan alle. Andritz Pulp and Paper on yksi maailman johtavista sellu- ja paperiteollisuuden yrityksistä ja se tarjoaa laitteistoja sekä järjestelmiä nimensä mukaan paperin ja sellun tuotantoon. Andritz Pulp and Paper on tuottanut ja tuottaa sellu- ja paperiteollisuuden ratkaisuja ympäri maailmaa. Toimialalla on myös Service eli huoltodivisio, joka tarjoaa laitosten ja järjestelmien uudelleenrakennusta, huoltoa ja korjausta sekä modernisointia. Pulp and Paper tarjoaa myös teknologiaa energiateollisuuteen, kuten biomass-, voima- ja soodakattiloita. Toimialan tuotteisiin kuuluu muun muassa myös energiaa tuottavia kaasulaitoksia, savukaasujen puhdistusratkaisuja sekä jätteenpolttolaitoksia. (Hämäläinen, 2018)

2.2 Andritz Oy

Andritz Oy toimittaa sellu- ja paperiteollisuuden järjestelmiä. Yrityksen tuotteita ovat kuituprosessit, puunkäsittely, kemikaalien talteenotto ja massankäsittely. Yritys toimittaa myös biomassakattiloita ja kaasutuslaitoksia energian tuotantoon. Yritys työllistää Suomessa noin 1100 ihmistä ja toimipisteitä on Helsingissä, Kotkassa, Lahdessa, Savonlinnassa, Tampereella ja Varkaudessa. Varkauden yksikkö siirtyi Andritz konsernille vuonna 2000, kun se osti liiketoiminnan Ahlströmiltä. Varkauden yksikkö työllistää reilut 200 työntekijää. Kaupungissa on myös Warkaus Works Oy, joka kuuluu Andritz Oy:n alaisuuteen. Warkaus Works Oy valmistaa voima- ja soodakattiloiden osia ja toimittaa niitä ympäri maailmaa. (Hämäläinen, 2018)

2.3 Andritz Automation

Andritz Automation on yritys, joka tarjoaa sähköautomaatio toteutuksia ja palveluita Andritz konsernin sisäisille divisioonille sekä muille teollisuudenaloille, kuten kaivos-, vesivoima-, massa- ja paperiteollisuudelle. Andritz Automation myös suunnittelee ja valmistaa turva-automaatiojärjestelmiä toimittamiinsa laitoksiin. Toimiala työllistää maailmanlaajuisesti noin 2100 henkilöä ja toimipaikkoja on 109. (Hämäläinen, 2018)

2.4 Stora Enso Varkaus

Stora Enso Oy Varkauden tehtaat on osa Stora Enso –konsernia. Varkauden tehdas on entinen A. Ahlströmin saha, jonka Enso –konserni osti 1987. Varkauden tehdas sijaitsee Varkauden kaupungin keskustassa. Varkauden tehdas valmistaa vuosittain 310 000 tonnia sellua ja 390 000 aaltopahvia. Varkauden tehtaalla on ikää yli sata vuotta, joten sillä on pitkä historia selluntuotannossa.



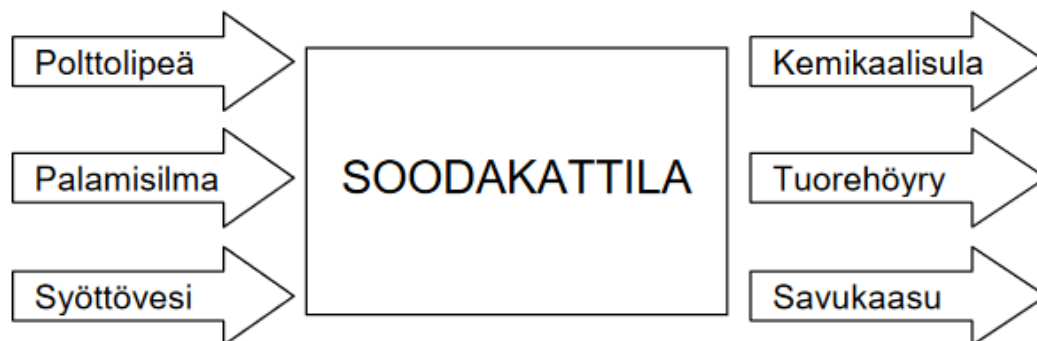
KUVA 2. Stora Enso Oy Varkauden tehdas. (Stora Enso, n.d.)

3 SOODAKATTILAN TOIMINTA

Sellun keitossa käytettävät natriumyhdisteet ovat kalliita ja siksi jo sellunvalmistuksen alkuvaiheessa alettiin kierrättämään kemikaaleja takaisin prosessiin. Sulfaattisellutehtaissa mustalipeä syntyy valkolipeän reagoidessa puun ligniinin ja muiden ainesosien kanssa keiton yhteydessä. Mustalipeä saa nimensä siitä, että se on jossain määrin mustaa ja se sisältää keitossa käytettyä puun ligniiniä sekä natrium- ja rikkipohjaisia kemikaaleja. (Kittilä, Mikko, 2001)

Soodakattilan päätehtäviin kuuluu polttaa mustalipeän sisältämä orgaaninen materiaali ja tuottaa poltosta syntyneellä lämmöllä korkeapaineista höyryä. Korkeapaineistettua höyryä käytetään sähköntuotannossa ja muissa teollisuuslaitoksen käyttökohteissa. Kattilan toinen tehtävä on ottaa talteen keittokemikaalit ja niiden uudelleen muodostaminen eli regenerointi. Soodakattila auttaa pienentämään ympäristön kuormitusta, vähentämällä jätevirtoja ja muodostamalla suljetun kierron, jossa syntynyt sula-aines hyödynnetään uudelleen kemikaalien muodostamisessa. (Tuononen, 2012)

Soodakattilaprosessin materiaalivirrat on esitetty alla olevassa kuvassa 3. Kattilasta poistuva kemikaalisula hyödynnetään keittokemikaalien regeneraatioissa. Soodakattilalla tuotettu tuorehöyry kulkee höyryturbiinin läpi tuottaen sähköä tehtaalle ja paisuen matalampaan paineeseen. Tämän jälkeen se johdetaan edelleen höyryn kulutuskohteille. (Tuononen, 2012)



Kuva 3. Soodakattilan materiaalivirrat.

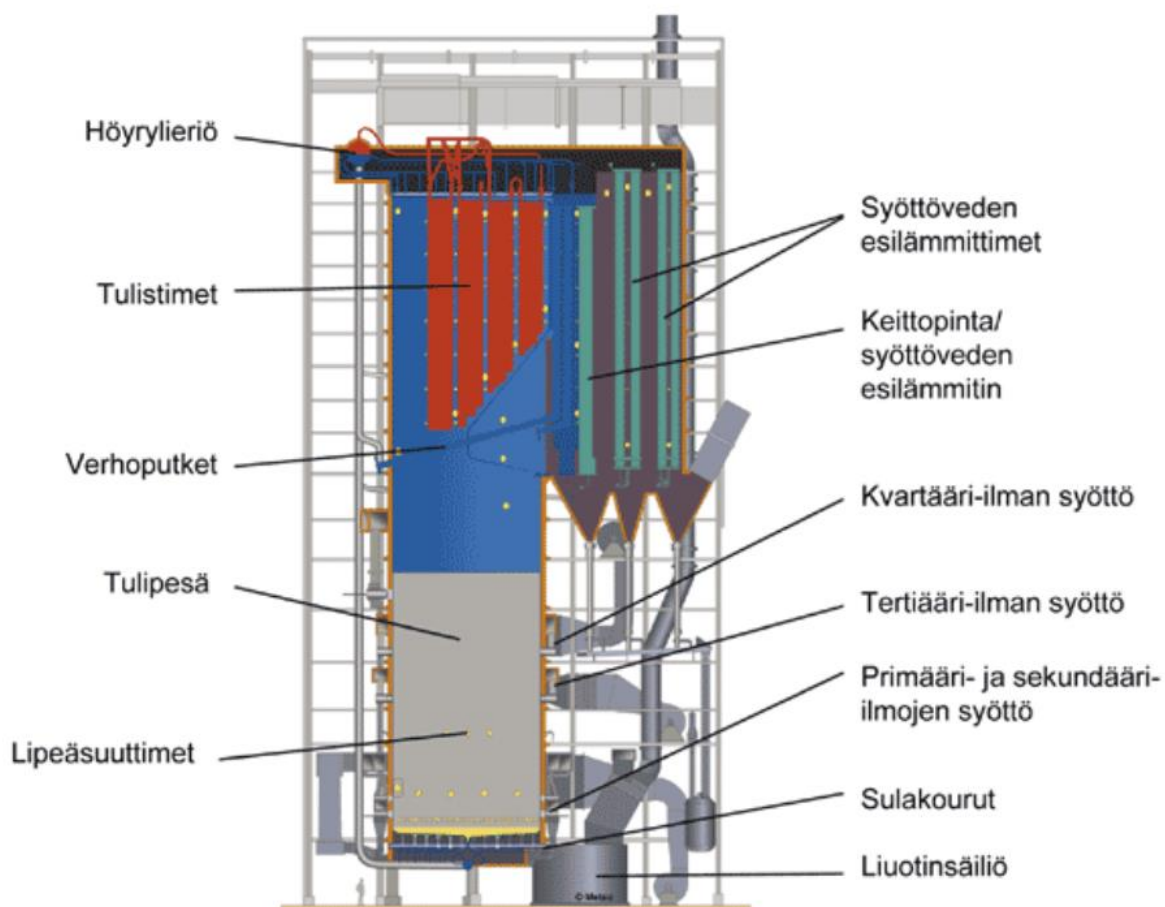
3.1 Soodakattilan toimintaperiaate

Sellutehtaalta tuleva laiha mustalipeä (pesulipeä) täytyy saattaa käyttökelpoiseen muotoon ennen mahdollista polttoa. Pesulipeästä täytyy haihduttaa ensin kaikki mahdollinen vesi ennenkuin se voidaan polttaa soodakattilassa. Keittämöltä saapuvan pesulipeän kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 15 – 18 % luokkaa riippuen keittämön pesuainelaitteistosta. Haihduttamossa mustalipeä kulkee tyypillisesti monivaiheisen haihdutuslinjan läpi, jossa kuiva-ainepitoisuutta nostetaan asteittain. Haihduttamolta poistuvan mustalipeän (polttolipeä) kuiva-ainepitoisuus on nostettu 60 – 80 %, joka on valmis poltettavaksi soodakattilassa. (Tuononen, 2012)

Soodakattilassa poltettava mustalipeä sisältää keiton aikana puusta liunneen orgaanisen aineksen, joka vastaa noin puolta tehtaalte tuodusta puumäärästä. Polttolipeän kuiva-aineesta noin 40 % on suoloja muodostavia epäorgaanisia aineita ja 60 % on orgaanista. Orgaaniset aineet palavat kattilassa, kun taas kemikaalit sisältävä epäorgaaninen aines jää tuhkaan. Riittävän korkean lämpötilan takia tuhka poistuu kattilasta kemikaalisulana pohjassa olevien sularännien kautta. (Tuononen, 2012)

Polton aikana savukaasut johdetaan kattilan lämmöntalteenotto-osaan, jossa kaasujen lämpö hyödynnetään korkeapaineisen tulistetun höyryn tuotannossa. Savukaasut sisältävät myös huomattavan määrän (5 - 15 g/m³n) lentotuhkaa, joka koostuu pääasiassa natriumsulfaatista (> 90 %) ja natriumkarbonaatista (< 10 %). Kemikaaleja sisältävä lentotuhka irrotetaan lämmönsiirtopinnoilta nuohouksella ja otetaan talteen savukaasukanavien tuhkasuppiloiden kautta. Loput savukaasujen mukana kulkevasta lentotuhkasta erotetaan savukaasukanavan lopussa olevissa sähkösuodattimissa. Talteen otettu lentotuhka johdetaan sekoitussäiliöön ja siitä polttolipeän kanssa takaisin kattilan tulipesään uudelleenpolttoa varten. (Tuononen, 2012)

3.2 Soodakattilan rakenne



KUVA 4. Soodakattilan rakenne.

Koska sellunkeitossa tarvittavat natriumyhdisteet ovat hyvin kalliita, piti alusta lähtien kiinnittää huomiota kemikaalien talteenottoon, jotta kilpailu muiden sellunvalmistajien kanssa olisi mahdollista.

Alkuaikoina valmistuksesta syntyvä jäteliemi kuivatettiin ja poltettiin apupolttoaineiden avulla, josta jäljelle jäänyt kemikaalituhka kerättiin talteen. Tätä jatkui niin pitkälle, kunnes 1920-luvulla polttoaineiden hinnat nousivat rajusti ja kilpailu oli kovaa, joten mustalipeän poltosta syntyvä lämpö alettiin kerätä talteen ja käytettiin hyväksi muissa prosesseissa. (Kittilä, Mikko, 2001)

Kaikki soodakattilat ovat luonnonkiertokattiloita, jonka tuotetun tuorehöyryn arvot ovat tyypillisesti 85 baria ja 480 °C. Soodakattila mitoitetaan kuivan mustalipeän käsittelykyvyn mukaan, jotta se pystyy käsittelemään sellutehtaalta tulevan mustalipeän mahdollisimman hyvin, eikä muodostu sellunvalmistusprosessin pullonkaulaksi. (esim. 3000 tka/vrk)

Tulipesäprosessissa syntyvän lentotuhkan vuoksi tulipesä mitoitetaan riittävän suureksi, että tulipesän lämpötila tulistinalueella laskee tarpeeksi alas. Tämä edesauttaa höyrynuohoimia puhdistamaan lämmönsiirtopintoja. (Tuononen, 2012)

Soodakattila voi helposti muistuttaa perusrakenteeltaan muita kattilatyyppejä, mutta se sisältää myös paljon muista kattilatyypeistä puuttuvia, soodakattiloille tunnusomaisia laitteistoja ja rakenteita. Merkittävimmät rakenteelliset erot johtuvat käytettävästä polttoaineesta (mustalipeästä), joka sisältää regeneroitavia epäorgaanisia yhdisteitä. Kaksoistehtäviensä takia, täytyy soodakattilan poistaa palamatonta sulaa kemikaalialueesta tulipesästä jatkuvasti. Tätä varten soodakattiloiden pohjalla on sulaukot, joista kemikaalisulaa poistetaan jatkuvasti jäädytettyjä sularännejä pitkin liuottajaan. Liuotinsäiliö sijaitsee tulipesän ulkopuolella, soodakattilan pohjalla ja sen tehtävänä on kemikaalisulan sekoittaminen veteen tai kaustistamolta saatavaan heikkovalkolipeään. Liuotinsäiliössä muodostuvaa soodalipeää kutsutaan viherliperiksi. (Tuononen, 2012)

Lipeä syötetään tulipesään lipeäsuuttimien avulla. Lipeä suunnataan pisaroina palotilaan ja saadaan näin aikaan halutunlainen keko kattilan pohjalle. Lipeäruiskujen lisäksi soodakattiloissa käytetään apupolttoaineena öljy- tai kaasukäyttöisiä käynnistys- ja kuormapolttimia. (Tuononen, 2012)

Soodakattiloille myös tunnusomainen piirre on niin sanottu verhoputkisto, jonka tarkoituksena on suojata tulistinta tulipesän säteilyltä. Verhoputkisto toimii myös osana kattilan höyrystinputkistoa. Tunnuksomaista on myös erillisten höyrytysputkien sijoittaminen savukaasukanavaan tulistimien jälkeen. Tulistimien ja veden esilämmittimien välissä sijaitsevaa höyrystinputkistoa kutsutaan keittoputkistoksi, koska merkittävä osa vedestä höyrystetään tässä kattilassa. Kaksoislieriökattiloissa keittoputkisto yhdistää ylä- ja alalieriön toisiinsa. (Tuononen, 2012)

Soodakattiloissa on yleensä kaksi pystyputkista veden esilämmittintä, jotka koostuvat kokoojaputkien väliin sijoitetuista putkinipuista. Vesi tuodaan kylmimmässä savukaasuvyöhykkeessä sijaitsevan esilämmittimen alaosaan, josta se virtaa savukaasuihin nähden vastavirtaan lämmönsiirtimen yläosaan ja siitä edelleen seuraavan esilämmittimen alaosaan. Vierekkäisten lämmönsiirtimien väliin jää tyhjä

veto, jossa savukaasut kulkevat ylöspäin. Tällä tavalla lämpöpinnat pysyvät paremmin puhtaina. (Tuononen, 2012)

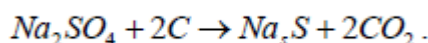
Sen sijaan, että soodakattilassa käytettäisiin savukaasulämmitteisiä ilman esilämmittimiä, käytetäänkin höyrylämmitteisiä, joilla ilma lämmitetään haluttuun noin 150 °C:n lämpötilaan. Suuntaamalla vastakkaisten seinien syöttöilmat toistensa lomaan, voidaan merkittävästi vähentää carryoveria eli tulipesästä karkaavan mustalipeän määrää. (Tuononen, 2012)

3.3 Tulipesäprosessi

Tulipesäprosessissa poltettava mustalipeä lämmitetään ennen tulipesään syöttöä noin 120 °C:n lämpötilaan. Mustalipeä syötetään kattilaan käyttäen lusikka- tai purkkisuutinta, joka hajottaa lipeän pieniksi pisaroiksi ja suuntaa lipeän leveänä suihkuna kattilan tulipesään. Tavoitteena on saada pisaran koko riittävän suureksi, jotta kiintoainepartikkeli laskeutuu kattilan pohjalla sijaitsevaan keeroon eikä lähde savukaasun mukaan. Pisara ei myöskään saa olla liian suuri, että lipeä pisaran sisältämä neste ehtii höyrystyä ja kiintoainetta osin kasaantua ennen keeroon saapumista. Suuttimissa muodostuvaa pisarakokoa säädetään lipeän viskositeettiä muuttamalla, ruiskupaineen ollessa 1 – 2 baria. Polttoainesuuttimet sijaitsevat kattilan eri sivuilla useita metrejä kattilan pohjan yläpuolella. (Tuononen, 2012)

Soodakattilan tulipesä voidaan jakaa siellä tapahtuvien reaktioiden perusteella kahteen osaan: pelkistys- ja hapetusvyöhykkeeseen. Mustalipeä syötetään pelkistysvyöhykkeeseen, jossa se kuivuu matkallaan tulipesän pohjan keeroon. Mustalipeän orgaanisen puuaineksen palaminen ja epäorgaanisten kemikaalien regeneroituminen vaativat erilaiset olosuhteet. Kemikaalit regeneroidaan kattilan pohjalla olevassa keossa, pelkistävissä olosuhteissa, jotka saadaan aikaan syöttämällä kattilan pohjalle primääri-ilmaa vain sen verran, että keon lämpötila saadaan pidettyä halutussa 1000 – 1100 °C: lämpötilassa. Primääri-ilmamäärä on noin 30 – 40 % kokonaisilmamäärästä. Liian pieni primääri-ilmamäärä johtaa alhaiseen keon lämpötilaan ja liian suuri määrä johtaa natriumsulfaatin huonoon reduktioon. (Tuononen, 2012)

Mustalipeän sisältämä natriumsulfaatti pelkistyy natriumsulfidiksi ja talteen otettavat palamattomat kemikaalit sulavat nestemäiseksi kemikaalituhkaksi. Natriumsulfaatti pelkistyy natriumsulfidiksi yhtälön mukaan:

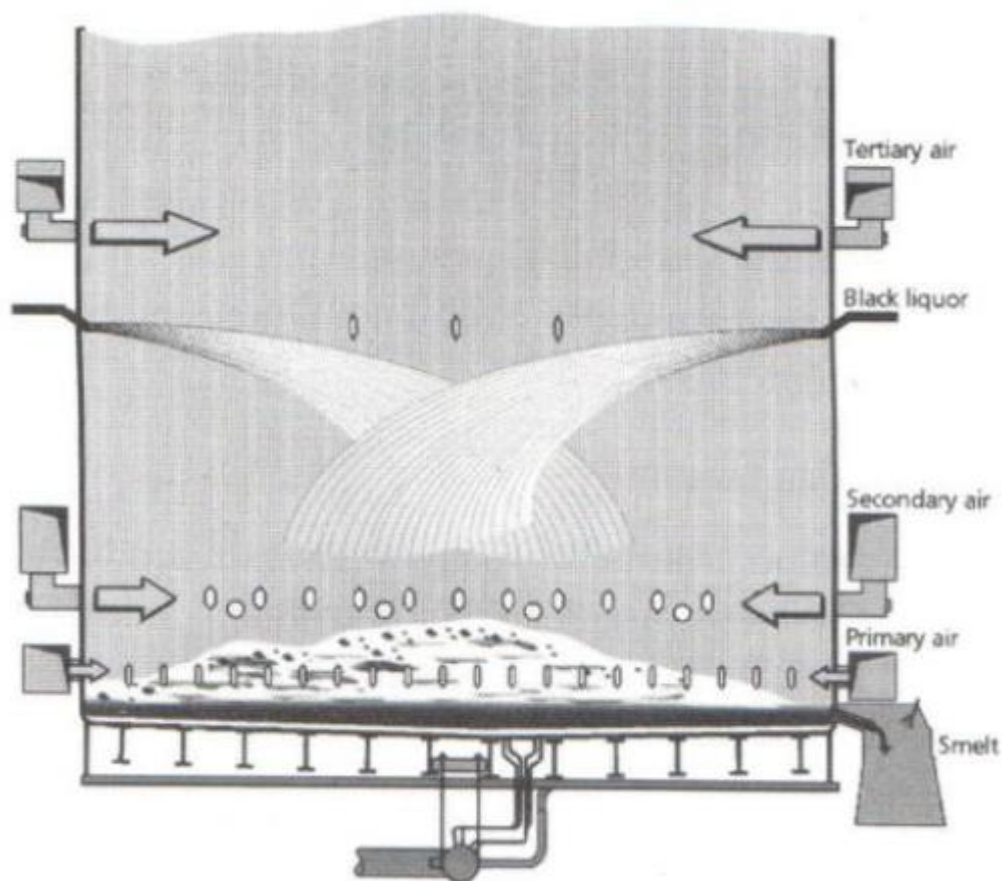


Pelkistymisen täydellisyyttä kuvataan seuraavan kaavan mukaan laskettavalla reduktioasteella, joka määritetään joko viherlipeästä tai suoraan sulasta:

$$\text{reduktioaste (\%)} = \frac{Na_2S}{Na_2S + Na_2SO_4} \cdot 100 \%$$

Soodakattilalla voidaan parhaissa olosuhteissa saavuttaa lähes sadan prosentin (98 – 99 %) reduktioaste.

Palamisilma tuodaan kattilaan kolmessa tasossa. Primääri-ilmalla ylläpidetään keon lämpötila sopivana, kun taas sekundääri-ilmalla poltetaan keossa olevat komponentit. Sekundääri-ilmamäärä on tyypillisesti 50-60% kokonaisilmamäärästä. Tertiääri-ilmasuuttimien kautta tuodaan palamisilma hapetusvyöhykkeeseen, jossa pelkistysvaiheessa alkanut palamisvaihe saatetaan loppuun. Tertiääri-ilmamäärä on noin 10% koko ilmamäärästä. (Tuononen, 2012)



Kuva 5. Soodakattilan ilmatasojen paikat ja kattilan alaosan rakenne.

Soodakattilan pohjalla sulaa kemikaalituuhka, joka pääasiassa koostuu natriumsulfidista ja natriumkarbonaatista, valuu huokoisen keon läpi tulipesän pohjalle, josta se taas johdetaan ylijuuksuna vesijähdytettyjen sulakourujen kautta liuotinsäiliöön. Säiliössä sulaa liuotetaan kaustisointilaitokselta saatavaan laihavalkolipeään ja muodostuvaa liuosta aletaan kutsua viherliperiksi. Viherliperiä pumpataan valkoliperiin eli varsinaisen keittokemikaalit sisältävän liperin valmistukseen kaustisointilaitokseen. (Tuononen, 2012)

3.4 Soodakattilaprosessin hallinta

Soodakattilan kaksoisroolinsa takia on erittäin tärkeää saavuttaa ja ylläpitää korkea taso sekä höyryntuotannossa, että kemikaalien regeneroinnissa. Kattilan oikealla toiminnalla on myös merkittävä vaikutus ympäristöpäästöihin. Jatkuva ympäristöpäästöjen tiukentaminen vaikuttaa myös soodakattilan hallintaan. (Tuononen, 2012)

Soodakattila on kallis ja kriittinen prosessi sellunvalmistuksessa. Useassa tapauksessa se on tuotantoa rajoittava prosessinosa. Huono reduktioaste soodakattilassa tuo lisäkuormitusta muille prosessin osille. Palamisprosessi on herkkä niin sisäisille kuin ulkoisillekin häiriöille. Tuotantomäärän muutokset ja epävakaa keon tila voivat aiheuttaa häiriöitä koko soodakattilan toimintaan. Vakaa ja jatkuva kattilan valvonta on siksi erityisen tärkeää. (Tuononen, 2012)

Prosessin hallinnassa höyryntuotannon ohjaukset ovat yhtä tärkeitä, kuin tulipesän ohjaukset, johtuen soodakattilan kaksoisroolista. (Tuononen, 2012)

3.4.1 Polttolipeäsyötön ohjaus

Polttolipeän syöttöä soodakattilalla ohjaa höyrytehon säädin. Pääsäädin voi olla höyrynpaine- tai höyryvirtaussäädin. Lisääntynyt sähkötehon tai prosessihöyryn tarve teollisuuden vastapainevoimailaitoksissa johtaa kattilan höyrynpaineen laskuun. Jotta höyryverkoston paine saadaan pidettyä asetusarvossaan, on kattilan höyrytehoa kasvatettava syöttämällä lisää polttoainetta kattilaan. Soodakattilan rinnalle vaaditaan usein myös apukattila, jotta tehtaalla voidaan varautua äkillisiin höyryntarpeisiin. Apukattilalla pidetään huoli siitä, että höyryverkoston paine pysyy asetusarvossaan, koska soodakattilan ei siihen yksin pysty. Tällaisessa ratkaisussa soodakattilaan syötetään mustalipeää tasaisella virtauksella ja polton muutokset suoritetaan vain lipeätilanteen sitä vaatiessa tai pitkäaikaisen höyryntarpeen lisääntyessä merkittävästi. Tasaisella polttolipeän syötöllä saadaan kattilaan muodostettua optimaaliset olosuhteet keittokemikaalien regenerointia varten. (Tuononen, 2012)

Polttolipeän syöttöä ohjataan säätämällä mustalipeän pisarakoko oikeanlaiseksi tulipesäprosessia varten. Keskimääräinen pisarakoko tulisi olla n. 2mm, mutta kuitenkin riittävän pieni, ettei se jäähtyä kattilan pohjalla olevaa kekoa. Suurella pisarakoolla pyritään minimoimaan tulipesän yläosaan karkkaavien pisaroiden määrä (carryover). Oikean kokoinen pisara kuivuu matkallaan kekoon, eikä lähde savukaasuvirtojen mukaan. Varsinainen palaminen tapahtuu pohjan läheisyydessä ja itse pohjalla olevan keon pinnalla. Polttolipeän pisarakokoa säädetään muuttamalla sen lämpötilaa (ja sitä kautta viskositeettia) tai syöttöpainetta. (Tuononen, 2012)

Lipeän ruiskutusaineella voidaan vaikuttaa lähtönopeuden kautta lipeäpisaran kokoon ja lentomatkkaan. Kattilan kuorman perusteella valitaan ruiskusuuttimien koko ja lukumäärä, niin että paineella ja lämpötilalla pystytään hienosäätämään lipeän ruiskutusta. Lukumäärä tulee valita kattilan kuorman mukaan, niin että ruiskutusaine on sopivan suuri. Jos kattilan paine nousee liian suureksi kuorman kasvamisen takia, niin pesään ruiskutetaan lisää lipeää. Kun paine laskee niin liialliset ruiskut otetaan pois käytöstä. (Tuononen, 2012)

Polttolipeäsyötön säätely vaikuttaa myös palamisilman syöttöön, jonka vuoksi soodakattilaan ei voida tehdä nopeita kuorman muutoksia, koska se häiritsisi koko tulipesän prosessia. (Tuononen, 2012)

3.4.2 Palamisilman säätö

Polttolipeänsyöttö ohjaa suoraan myös kattilaan syötettävän ilman määrää. Palamisprosessin tarvittava teoreettinen kokonaisilmamäärä voidaan laskea jatkuvatoimisten mittauksen perusteella. Tarvittavaan ilmamäärään vaikuttaa mustalipeän kuiva-ainepitoisuus, polttolipeän virtausnopeus ja mahdollisten apupolttoaineiden käyttö (käynnistys- ja kuormapolttimet). Palamisilman säätimelle tuodaan takaisinkytkentänä mittaustieto savukaasuanalysointilaitteelta, jonka avulla kattilaan syötettävä ilma säädetään palotapahtumalle sopivaksi. (Tuononen, 2012)

Ilman jako eri tasoille, määräosuudet ja suihkujen sijainti sekä virtausnopeudet vaikuttavat ratkaisevasti tulipesään syntyvään kaasuvirtauskenttään. Primääri-ilman määrällä säädetään tulipesän keon lämpötila oikeaksi pelkistymisreaktiota varten ja yläpuolisilla ilmatasoilla jatketaan ja saatetaan loppuun keosta karkaavien hiukkasten palaminen. Pienetkin ilmamäärän syötössä tapahtuvat muutokset voivat olennaisesti muuttaa virtauskuviota, joka parantaa tai heikentää tulipesäprosessia. Ilman syötön optimoinnin apuna käytetään usein kolmiulotteista virtauslaskentaa. (Tuononen, 2012)

3.4.3 Tulipesäkeon profiilin ja lämmön säätely

Kekomateriaalin määrää, lämpötilaa ja savukaasupäästöjä tarkkailemalla voidaan säädellä keon muutosta ja kattilan lämpötilaa. Symmetrinen palaminen saavutetaan symmetrisellä ilmojen ja polttolipeän syötöllä. Keon lämpötilan ja ulkomuodon korjaussäädöt suoritetaan ilmavirtauksen ja polttolipeän syöttöä muuttamalla. Profiilin tarkkailu ja säätö saadaan myös suoritettua tulipesän kameroiden avulla. (Tuononen, 2012)

Lipeäpisaroiden oikea koko on tärkeää keon huokoisuuden kannalta. Jos lipeäpisara on suuri, se ei ehdi kuivua ennen kekoon saapumista ja jäädyttää kekoa aiheuttaen lisää SO_2 ja H_2O päästöjä. Suuret lipeäpisarat ovat märkiä saavuttaessaan keon, jolloin ne aiheuttavat keon kasvua ja liian pienet pisarat vain palavat kattilan yläosissa, jolloin ne likaavat ja laskevat soodakattilan lämpösuhdetta. (Tuononen, 2012)

Soodakattilan lämpötilaprofiili vaatii säätämistä, jotta kekolämpötila saadaan pidettyä oikealla tasolla ja saavutetaan hyvä reduktioaste. Tämä tarkoittaa, että lipeä palaa kattilan alaosassa. Reduktioasteen lisäksi tämä on hyväksi kekoreaktiolle, lämpöhyötysuhteelle, päästöille ja lämmönsiirtopinnoille. Lämmönsäätelyllä voidaan ehkäistä lentotuhkan lämmön nousu liian suureksi tulistinalueelle saavuttaessa, jolloin tulistimien likaantuminen on vähäisempää. (Tuononen, 2012)

4 LÄMMÖNSIIRTOPINTOJEN PUHDISTUS

Lämmönsiirtopintojen likaantumisongelmat koskevat kaikkia kattiloita, joissa poltetaan tuhkapitoisia polttoaineita. Soodakattilassa tulipesästä poistuu savukaasun mukana huomattavia määriä lentotuhkaa, joka on pääasiassa palamatonta natriumsulfaattia sekä muita natriumyhdisteitä. Lentotuhka muodostaa lämmönsiirtopinnoille vaikeasti poistettavia kerroksia, jotka häiritsevät lämmönsiirtymisen savukaasuista höyryyn. (Tuononen, 2012)

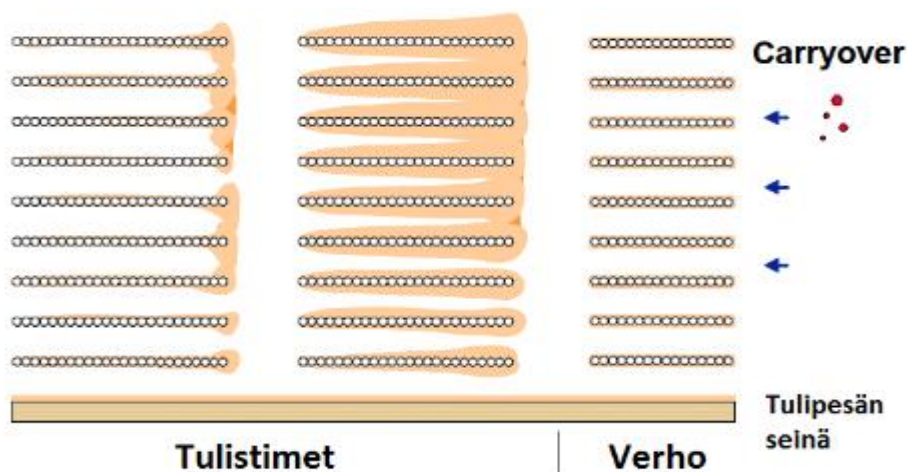
Savukaasujen happipitoisuus voi vaikuttaa soodakattilan likaantumiseen: vähäinen happiylimäärä (2 – 3%) tuottaa helposti poistettavia tuhkerrostumia, kun suuremmat happipitoisuudet saavat taas aikaan vaikeasti poistettavan kerroksen. Myös syötettävän mustalipeän kuiva-ainepitoisuuden lisäämisen on todettu vähentävän kattilan likaantumista ja nuohouksen tarvetta. (Tuononen, 2012)

Soodakattilan lämpöpintojen likaisuus heikentää huomattavasti lämmönsiirtokykyä ja kattilan hyötysuhdetta. Käytännössä lämpöpintojen likaisuus tarkoittaa sitä, että likainen lämmönsiirrin jäädyttää huonommin savukaasuja ja niiden lämpötilat kasvavat. Lämmönsiirtymisen heikentyminen aiheuttaa kattilassa tuorehöyryn lämpötilan laskuun ja tulistetun höyryn jäädytystarpeen puutteen. Tästä voimme jo päätellä lämmönsiirtimien olevan nuohouksen tarpeessa. Lämmönsiirtimien yli vaikuttavien paine-erojen tai savukaasun lämpötilan nousua voidaankin pitää merkinä lämmönsiirtimien likaisuudesta ja nuohoustarpeesta. (Tuononen, 2012)

Tässä opinnäytetyössä perehdytään nuohoustarpeeseen ja uuteen mittaustekniikkaan, jolla päästään seuraamaan lentotuhkan kerääntymistä tulistimien pinnoille reaaliajassa. HEWI-järjestelmä ei ole riippuvainen mistään soodakattilan toiminnoista vaan on täysin erillinen järjestelmä, ja sen vuoksi se on hyvin luotettava mittaussjärjestelmä, jolla tullaan ajoittamaan kattilan nuohousta. (Tuononen, 2012)

4.1 Lämpöpintojen tukkeutuminen

Tulistinalueiden tukkeutumat johtuvat pääasiassa siitä, että sula materiaali on päässyt tarttumaan lämpöpinnoille ja ovatkin siten riippuvaisia tuhkan sulamiskäyttäytymisestä. Käytännössä kerrostumat koostuvat carryover-hiukkasista, jotka ovat iskeytyneet tulistinpinnoille ja muodostavat kovan kerroksen tulistinputkien pinnalle kuvan 6 mukaisesti.



KUVA 6. Kerrostumien muodostuminen tulistinalueelle.

Likakerroksen kasvaessa tulistimen alaosissa, sitä ympäröivä lämpötila nousee entisestään ja kerrostuma sulaa, kuonaantuu ja lopulta lopettaa kasvamisen, kun kuonaantumislämpötila on saavutettu. Kerrostuma on saavuttanut tietyn paksuuden, eikä enää kasva, vaikka savukaasut sisältäisivätkin sulia, kovia ja helposti kiinnittyviä hiukkasia.

Tulistimien viileämmissä yläosissa, savukaasujen lämpötilan laskee lähelle tahmalämpötilaa, jonka seurauksena kerrostuma kasvaa rajattomasti, kunnes lämpötila saavuttaa kuonaantumislämpötilan. Kiinnittyneet hiukkaset eivät irtoa ilman tehokasta nuohousta ja siten kerrostuma saattaa kasvaessaan tukkia koko savukaasukanavan.

Kerrostuma muodostuu harvoin verhoputkistolle sen sijaitessa tulistinalueella ja tästä syystä tarttuva kerros muodostuu usein tyypillisesti tulistinalueen keskiosiin. Likaantuminen alkaakin yleensä tulistimen keskiosasta. Tulistimen tukkeutuessa myös keittoputkiston kapea sisääntulo likaantuu helposti, koska kerrostumien vuoksi savukaasut tulevat entistä kuumempina keittopinnalle ja tarrautuvat sisääntulon seiniin.

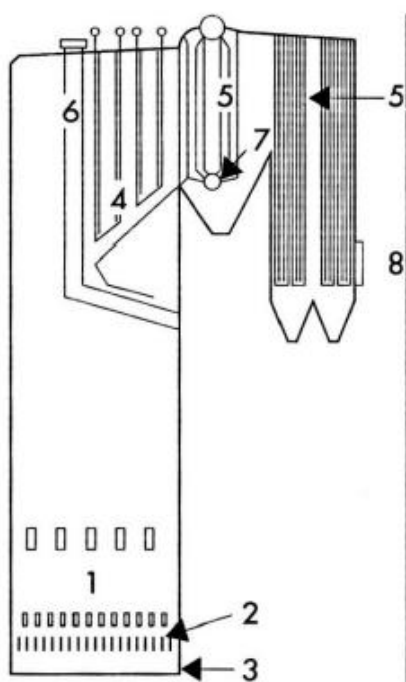
Tulistinalueen tukkeumat johtuvat pääsääntöisesti carryoverista ja ovat näin ollen hyvin samankaltaisia carryover-hiukkasten kanssa. Tulistinalueen kerrostuma sisältää huomattavan suuren määrän natriumkarbonaattia, mutta kaliumin ja kloorin määrä on paljon alhaisempi kuin peräpäin kerrostumissa. (Penttinen, 2018)

4.1.1 Lämpöpintojen korrosio

Lämmönsiirtopintojen likaantuminen aiheuttaa lämmönsiirron heikentymisen lisäksi myös kattilaputkien syöpymistä eli korroosiota. Soodakattilan suurimmat käytännön ongelmat liittyvätkin juuri savukaasukanavan lämmönsiirtopintojen likaantumiseen ja korroosioon. Nämä ilmiöt voidaan jakaa karkeasti kahteen eri korrosioalueeseen; tulipesäkorroosioon ja savukaasukanavakorroosioon. Seuraavissa kappaleissa perehdytään tarkemmin näihin kahteen korrosioilmiöön. (Tuononen, 2012)

4.1.2 Tulipesän korroosio

Lämpöpintojen tukkeutumisesta aiheuttavat vakavia ongelmia koko kattilaan ja yksi niistä on tulipesän korroosio, koska siihen liittyy aina mahdollisuus veden pääsystä tulipesään. Kattilan seinäputkeen voi korroosion seurauksena syntyä reikä, jolloin syöttövesi voi päästä kosketuksiin kekomateriaalin kanssa ennen höyrystymistä ja aiheuttaa sulavesiräjähdyksen törmätessään kuumaan kemikaalimassaan. Tämän sattuessa voi syntyä iso paineaalto, joka hajottaa kattilarakenteita. (Tuononen, 2012)



- 1: Tulipesän seinäputket / sulfidoituminen,
- 2: Ilma-aukot / sula hydroksidi,
- 3: Sula-aukko / lämpöväsyminen,
- 4: Tulistin / sulfidointi-hapetus & sula kerrostuma,
- 5: Keittoputket ja veden esilämmitin / hapan sulfaatti,
- 6: Verhoputket / useita syitä,
- 7: Lieriön pinta / eroosio-korroosio,
- 8: Sähkösuodin / rikkihappo

KUVA 7. Korroosiotyypit tulistinalueella. (Tuononen, 2012)

1960-luvun lopulla, kun kattiloiden painetasoja alettiin nostaa, tulipesän seinäputkien korroosioista tuli silloin yleinen ongelma. Painetasojen nosto kohotti myös tulipesän seinäputkien lämpötiloja, mikä aiheutti seinäputkien syöpymistä. Seinäputkien syöpymisen aiheutti hiiliteräksen korroosiolta suojaavan oksidikerroksen muuntuminen rautasulfidiksi (FeS). Sulfidireaktio etenee melko vapaasti metallin pinnalla eikä muodosta suojaavaa kerrosta. Tämän vuoksi seinäputkia alettiin valmistaa kromi-nikkeli-seoksesta tai muusta sopivasta teräsmateriaalista. Uudemmissa soodakattiloissa seinäputket ovat yhdistelmäputkea, jonka sisäosa on hiiliterästä ja ulko-osa austeniittista terästä. Tällaisilla yhdistelmäputkilla sulfidointikorroosio on saatu hyvin hallintaan. (Tuononen, 2012)

4.1.3 Savukaasukanavan korroosio

Savukaasujen sisältämä pöly koostuu kahdesta huomattavasti toisistaan eroavasta jakeesta. Toinen on tulipesästä karanteen lipeäpisan jäännöstä (carryover-hiukkasista) ja toinen on taas tulipesästä höyrystyneestä ja myöhemmin tiivistyneestä materiaalista koostunut. Carryover-pölyn olomuoto muis-

tuttaa kovasti sulan koostumusta ja se on paljon karkeampaa tiivistyneeseen pölyainekseen verrattuna. Tulistimen kerrostumat ovat pääosin carryover-hiukkasia ja savukaasukanavan loppupään pöly on tiivistynyttä pölyä. (Tuononen, 2012)

Pölyn olomuoto vaikuttaa suuresti pölyn tartuntakykyyn. Osittain sulanut pöly tarttuu tehokkaasti lämmönsiirtopinoille ja muodostaa usein kovan kerroksen, joka on vaikeasti irrotettavissa. Kokonaan kiinteytynyt pöly ei yleensä aiheuta vaikeasti poistettavia kerroksia. Pölyn sulamiskäyttäytymiseen vaikuttavat olennaisesti kloorin ja natriumin pitoisuudet, jotka laskevat pölyn sulamisaluetta. Kaliumia ja klooria tulee sellutehtaalle raaka-aineiden, prosessiveden ja ostokemikaalien mukana ja hyvän liukoisuuden vuoksi ne rikastuvat kemikaalikiertoon. ”Puhtaan” prosessin kalium- ja natriumpitoisuudet ovat 1 - 2 prosenttia, jolloin tarttumislämpötila on yli 700 °C. Tällainen pöly ei aiheuta ongelmia tulistinalueen jälkeen ja kattilan viimeisetkin lämmönsiirtopinnat voidaan pitää hyvin puhtaina. Usein prosessin kalium- ja natriumpitoisuudet ovat korkeammat ja tarttumislämpötila on tippunut alle 600 °C, joka aiheuttaa yleensä ongelmia keittopinnoilla ja primääritulistimessa. (Tuononen, 2012)

Mitä alhaisempi on pölyn sulamisalue sitä voimakkaammin korroosiota voi esiintyä erityisesti tulistinalueen kuumissa putkissa. Soodakattilan tulistetun höyryn lämpötila on yleensä 480 °C, jolloin kuumimmat materiaali lämmöt ovat noin 100 °C korkeammat. Tulistinputket korroosioituvat hyvin äkillisesti, jos putken pintalämpötila ylittää kerrostumaa aiheuttavan pölyn tarttumis- tai sulamislämpötilan. Tällaisessa tapauksessa tulistinputki joutuu suoraan kosketukseen kerrostuman sulan faasin kanssa, mikä aiheuttaa yleensä pinnan oksidikerroksen liukenemisen ja nopeasti etenevän syöpymisprosessin. Tämä ilmiön vuoksi joudutaan mahdollisesti käyttämään prosesseissa normaalia matalampia höyryn lämpötiloja, joissa pölyn tarttumislämpötila on poikkeuksellisen alhainen. (Tuononen, 2012)

Likaantumisen estämiseksi soodakattilat varustetaan useilla höyrynuohoimilla, jotka mekaanisesti irrottavat pölystä muodostuneita kerrostumia. Nuohoimia käytetään säännöllisesti, jotta saataisiin tehostettua lämmönsiirtoa savukaasuista höyryyn. Likaantumista voidaan myös ehkäistä optimoimalla kattilan ajoa. Erityisesti lipeän ruiskutuksella ja paloilman syötöllä voidaan vaikuttaa carryoverin määrään ja sitä kautta tulistimien likaantumiseen. (Tuononen, 2012)

4.2 Nouhousjärjestelmät

Soodakattilan lämmönsiirtopintojen puhdistukseen käytetään nuohoimia ja niitä on olemassa erilaisia. Nuohointyyppit ovat: höyrykäyttöinen puhallusnuohoin, vesipesulaitteet, kuulanuohoin, mekaaninen ravistin ja ääninuohoin. Ravistimet ja ääninuohoimet perustuvat puhdistettavalla pinnalla aikaansaatuun värähtelyyn, jonka takia pintaan kiinnittynyt lika saadaan irtoamaan. Yleisimmin käytetty nuohointyyppi on höyrynuohoin, jonka tarvitsema käyttöhöyry saadaan otettua kattilan omasta höyryntuotannosta. (Tuononen, 2012)

Stora Enson soodakattilalla käytetään höyrynuohoimia lämmönsiirtopintojen puhdistuksessa. Varkauden Stora Enson kattilassa on 58 kpl Diamond Powerin höyrynuohoimia, joita ajetaan vuorotellen

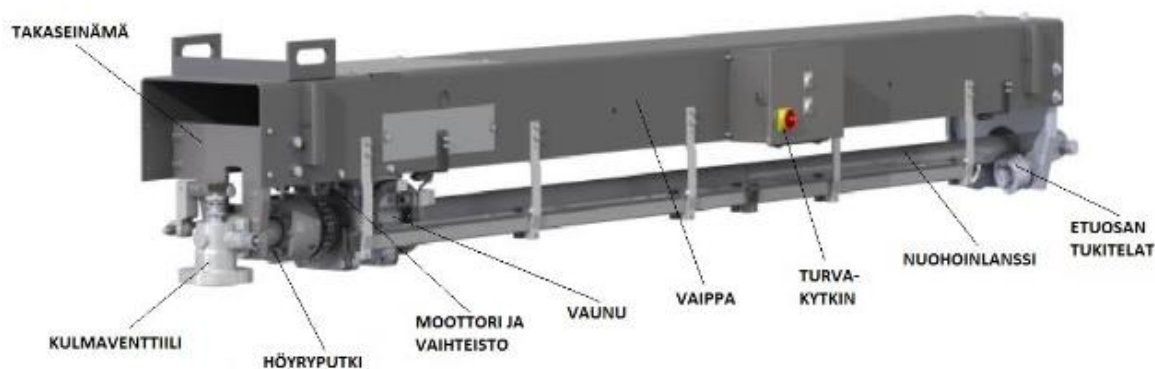
oikealta ja vasemmalta riippuen missä lentotuhkaa on eniten. Seuraavassa kappaleessa esitellään höyrynuohoin ja sen käyttö. (Olli, 2019)



KUVA 8. Stora Enson soodakattilan nuohointen yleiskuva.

4.2.1 Höyrynuohoin

Höyrynuohoin koostuu kulmaventtiilistä, höyryputkesta, moottorista, nuohoinvaunusta, rajakytkimistä ja nuohoinlanssista. Moottori ohjaa nuohoimen liikettä, mikä voi sijaita nuohoimen päässä tai vaunussa vaihdelaatikon yläpuolella. Nuohoinputken pyörivä ja vaunun edestakainen liike toteutetaan ensiohammasvaihteiston avulla. (Penttinen, 2018)



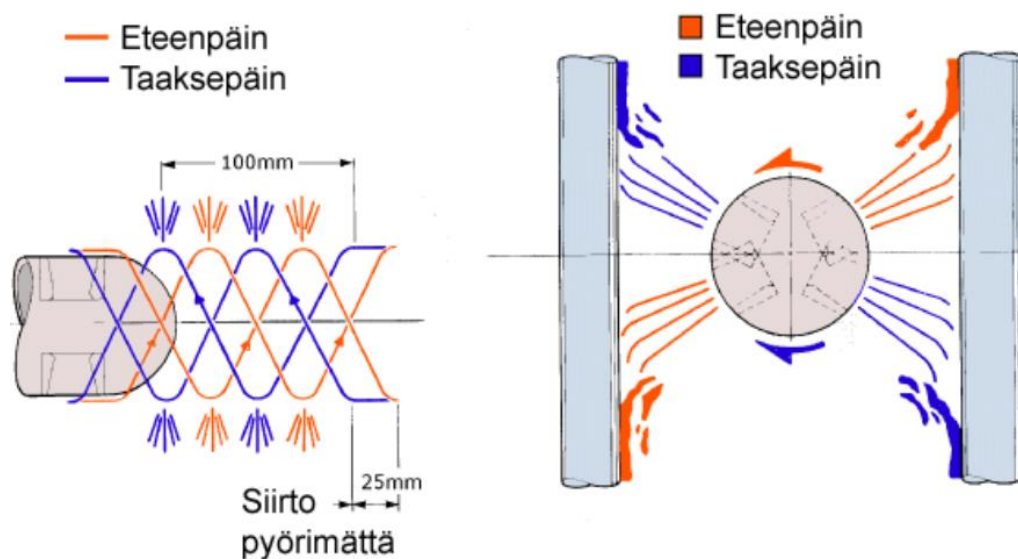
KUVA 9. Höyrynuohoimen rakennekuva.

4.2.2 Nuohoimen toimintaperiaate

Soodakattilan nuohoimet ovat kokonaan ulosvedettäviä. Nuohoimessa on liikkuva vaunu (vaihdelaatikko) sekä kaksi vetohammastankoa ja vetohammaspyörää. Nuohoimen sähkömoottori liikkuu vaunun mukana, jonka sähkönsyöttö hoidetaan kierrekaapelilla. Suuttimet ohjataan kattilan sisälle vaunun avulla ja suuttimien nuohoushöyryn virtausta ohjataan venttiilillä, joka toimii mekaanisesti.

Nuohoimet on suunniteltu vaikeisiin olosuhteisiin, missä korkea nuohouspaine ja tiheä nuohouksen tarve yhdessä kuluttavan ympäristön kanssa aiheuttavat nuohoimille suuret vaatimukset.

Soodakattilanuohoimen tehtävänä on puhdistaa kattilan lämpöpinnat höyrystuuhkulla. Nuohoimen suuttimille menevän höyryn paine on säädetty normaalisti 16-22 bar:iin. Suutinputken etuosassa on spiraalin muotoista liikettä tekevät suuttimet, joiden nousu on 100mm. Vastakkainen suutin tekee täysin samaa liikettä, mutta sen nousu on vain 50mm. Kun suutinputki lähtee tulemaan takaisin, se liikkuu ensimmäiset 25mm pyörimättä. Tämän vaihesiirron avulla nuohoimella on täysi kattavuus. Toimintaperiaate on esitetty alla olevassa kuvassa. (Kittilä, Mikko, 2001)



KUVA 10. Nuohoimen toimintaperiaate.

5 HEWI-JÄRJESTELMÄ

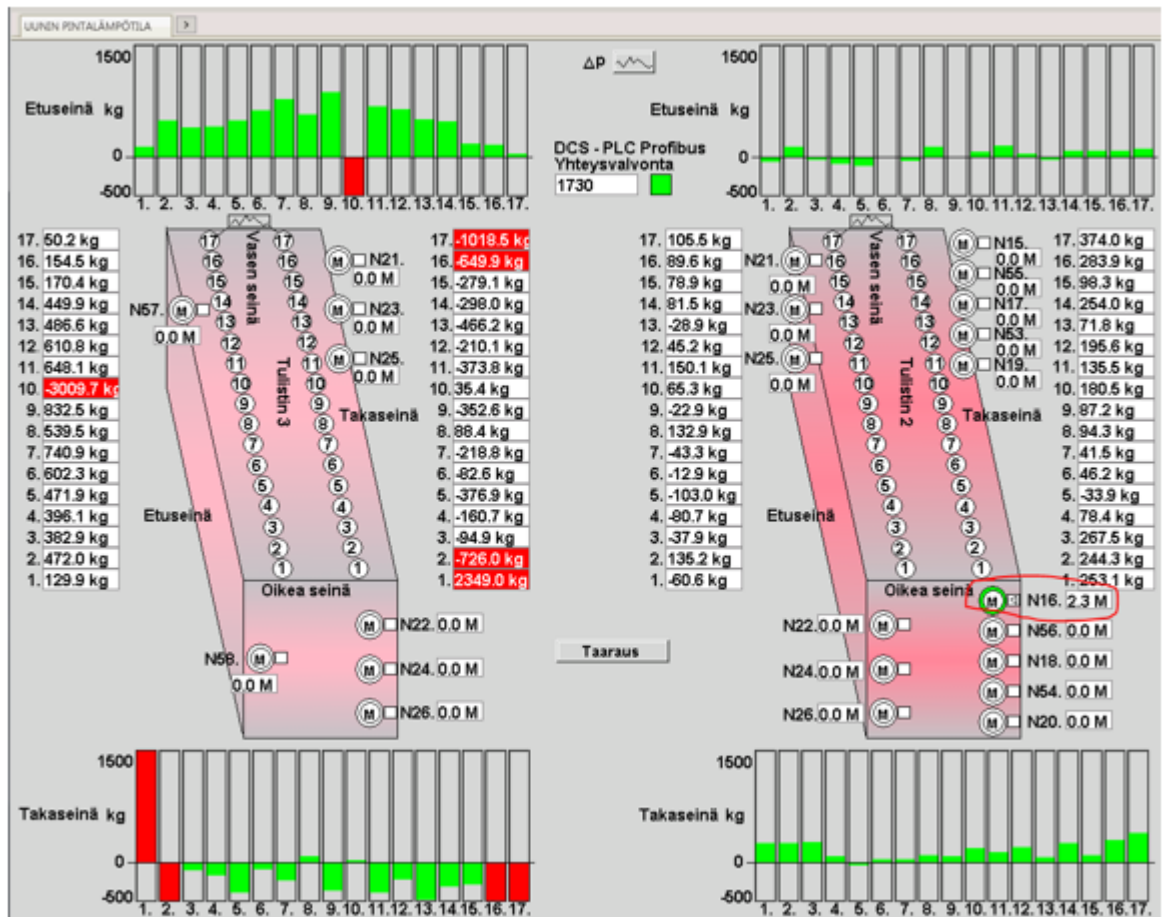
HEWI-järjestelmä on kehitetty mittaamaan soodakattilan lentotuhkan kerääntymistä ripustetuille (vertikaali) lämpöpinnoille. HEWI:llä voidaan seurata reaaliajassa tuhkan kerääntymistä ja nähdä minne tuhkaa kerääntyy eniten. HEWI-järjestelmän periaateena on antaa tarkempaa tietoa lentotuhkan määrästä ja sen sijainnista, jolloin nuohous voidaan kohdentaa ja ajoittaa tarkemmin. HEWI:n avulla voidaan tehostaa soodakattilan toimintaa. Saadaan enemmän hyörytehoa muun muassa energian tuotantoon, kun nuohoushöyryn tarve vähenee ja vältyttään paremmin mahdollisilta tukkeutumisilta höyrynouhouksessa.

Andritz Oy:n HEWI-mittausjärjestelmiä on kaksi kappaletta Suomessa, jotka ovat ensimmäisiä laatuun. Ensimmäinen on asennettu Varkauden Stora Enson ja toinen Kemin Metsä Fibren tehtaalle.



KUVA 11. Varkauden tehtaan HEWI-järjestelmän anturit.

Varkauden tehtaalle on asennettu venymäliuska-antureita toiselle ja kolmannelle tulistimelle yhteensä 68 kpl. Antureiden kaapelit vedettiin erikseen omille keskuksille siten, että main keskukseen tuli puolet etu- ja takatulistimilta ja puolet remote keskukseen. Yläpuolella olevassa kuvassa on HEWI-järjestelmän anturit, jotka mittaavat jokainen omaa kohtaansa tulistimesta, mikä on esitetty kuvassa 12.

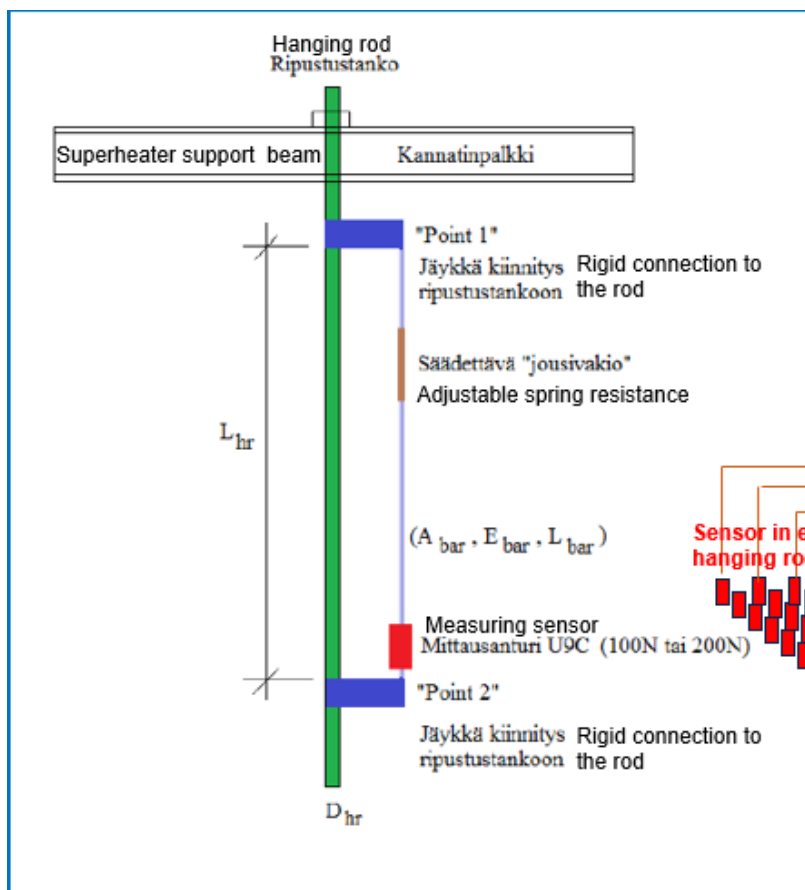


KUVA 12. DCS kuva, jossa näkyy tulistimien 2 ja 3 tulistintangot joihin anturit kiinnitettiin.

Yllä näyttökuvaa HEWI:n DCS automaatiojärjestelmästä, josta nähdä nuohimien sijainnit ja etäisyydet kotipaikasta. Kuvan ylä- ja alalaidassa on myös pylväsdiagrammit, joista näkee lentotuhkan kerääntymisen ympäri kattilaa.

5.1 HEWI toimintaperiaate

HEWI punnitsee kerääntyneen lentotuhkan tulistimen tai muulle ripustetulle (vertikaalille) pinnalle. Mittauslaitteina käytetään venymäliuska-antureita, jotka on asennettu tulistintankoihin. Ennen antureiden asennusta on tärkeää, että varmistetaan antureiden paikoista, joihin anturit on parasta kiinnittää. (Lappalainen, 2016)

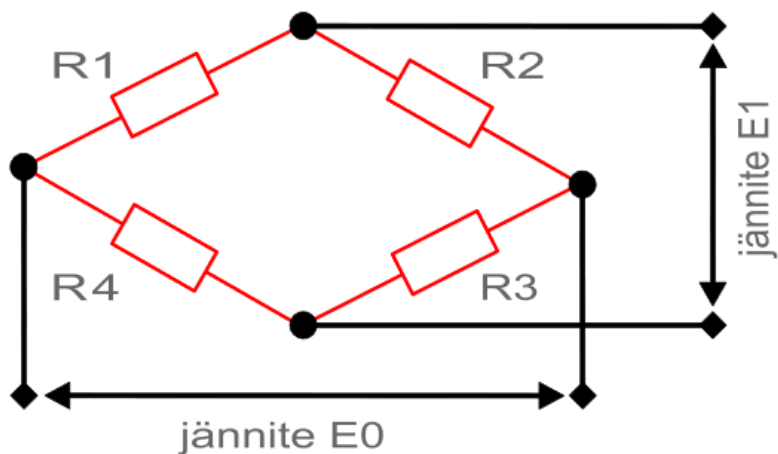


KUVA 13. Antureiden kiinnitys.

HEWI-mittauksessa käytetään Wheatstonen siltamittausperiaattetta. Se on tarkoitettu sovelluksiin, joissa pyritään havaitsemaan pienimmätkin muutokset.

Punnitusmittauksen toiminta perustuu venymäliuska-anturin materiaalin venymiseen aiheuttaman vastuksen muutoksen anturin sisällä olevassa kuparilangassa. Vastuslangan venyessä sen poikkipinta-ala pienenee ja vastusarvo kasvaa. Lankaa taivutetaan useita kierroksia liuskan ympärille, jolloin sen vastusarvo venymän suhteen voimistuu. Anturin mittaustarkkuutta saadaan myös parannettua laittamalla liuskan ympärille ohutta lankaa. (Teknologiakasvatus, 2007)

Venymäliuskapunnitusmittauksen tarkkuutta parannetaan Wheatstonen siltamittauksella, joka on yleisin siltakytkentä. Siinä ovat neljä vastusta (R1-R4) kytketään osin sarjaan ja osin rinnan – Riippuen siitä miten kytkentä halutaan nähdä. Kuvassa 14. on kytkentäesimerkki.



KUVA 14. Wheatstonen silta.

Siltakytkentään syötetään jännite E_0 . Kun yhden vastuksen arvo muuttuu, sillasta ulos tulevan jännitteen E_1 suuruus muuttuu. HEWI järjestelmässä jännitettä kasvatetaan, jotta saadaan mahdollisimman tarkka mittaustulos ja kaikki muut haitalliset taajuudet pyritään poistamaan. Mittaustulokset vietään automaatiojärjestelmään standardiviestinä tai Profibus kenttäväylän kautta. Siellä tulokset käännetään tulkittavaan digitaaliseen muotoon. Mittaustuloksilla päästään n. +/- 30 kg:n tarkkuuteen, jonka ansiosta nuohouksen ajoitus voidaan ajoittaa huomattavasti paremmin kuin ennen. (Teknologiakasvatus, 2007) (Lappalainen, 2016)

Wheatstonen siltaa käytetään myös soodakattilan lentotuhkan mittauksessa. Kuvan 15 venymäliuskoja käytetty jo pitkään teollisuudessa, rakenteiden ja materiaalien aiheuttaman kuormituksen mittaamiseen, mutta vasta viime vuosina anturin tekniikka on saatu riittävän pitkälle, että tällainen HEWI punnitusmittaus oli mahdollista toteuttaa. (Teknologiakasvatus, 2007)



KUVA 15. Venymäliuska.

5.2 HEWI:n vaikutus selluntuotantoon

Soodakattilan pääasiallinen tehtävä on sellunkeitton ns. mustalipeään jäävän ligniinin (orgaanisen kuiva-aineen) poltto ja palamislämmön talteenotto energian tuotantoon. Soodakattila on selluntuotanto prosessin välttämätön osa, joka liittyy olennaisesti kemikaalien kierrätykseen.

Sellunkeiton kemikaalit rikki ja natrium vapautetaan mustalipeän poltossa ja otetaan talteen jatkokäsittelyyn sopivina yhdisteinä. Soodakattilassa poltettavan mustalipeän orgaanisen palamisesta syntyy lämpöenergiaa, joka otetaan talteen höyryn tuottamista varten, jolloin soodakattila toimii höyrykattilana. (Lappalainen, 2016) (Kittilä, Mikko, 2001)

Soodakattilan mustalipeän polttolla on ongelmansa, mutta palamislämmön talteenoton ongelmana on savukaasujen kuljettamien kiinteiden aineiden kertyminen (kumuloituminen) kattilan lämmönsiirtoelementteihin, muun muassa tulistimiin. Lämmönsiirtoelementin pinnalle kertynyt aine heikentää lämmönsiirtoa.

HEWI punnitusjärjestelmä on suunniteltu parantamaan soodakattilan nuohouksen ajoitusta, jolloin tehostetaan lämmön siirtoa ja säästetään nuohoushöyryä, joka osaltaan parantaa soodakattilan hyötysuhdetta.

HEWI järjestelmä on uusi ja nykyaikainen punnitusjärjestelmä, jolla päästään seuraamaan reaaliajassa, kuinka paljon tuhkaa kerääntyy ja mihin se kerääntyy. Tällä voidaan ajoittaa ja keskittää nuohous oikeaan aikaan ja paikkaan, jotta kattilasta saataisiin paras mahdollinen hyöty irti, eikä sinne tulisi niitä tukkeumia. HEWI:llä voidaan tehostaa kattilan toimintaa ja nostaa kattilan käyttöikä.

HEWI vaikuttaa koko selluntuotantoon, vaikka se onkin suunniteltu vain soodakattilan toiminnan parantamista varten. Selluntuotanto ei voi toimia tänä päivänä ilman soodakattilaa ja siksi tällainen punnitusjärjestelmä on suunniteltu, että sellun valmistajilla olisi työkalut parantamaan tuotantoa ja säästämään rahaa.

6 KOKEELLINEN OSIO

HEWI-punnitusten mittaustiedon tallennuksen tarkoitus DCS-automaatiojärjestelmään pelkän valvomonäytössä graafisen esityksen lisäksi on se, että tallennetuista mittaustiedoista saadaan jatkossa selville jotakin, jonka avulla voidaan kehittää järjestelmää.

HEWI-järjestelmä on asennettu Stora Enson Varkauden tehtaalle Andritz:n toimesta kesäkuussa 2018. Helmikuussa 2019 Stora Enso Varkauden tehtaalla HEWI-automaatiojärjestelmä oli ollut toiminnassa noin vuoden ajan, jonka jälkeen järjestelmään keränneitä mittaustietoja on ryhdytty tarkastelemaan.

Opinnäytetyöhöni ovat kuuluneet HEWI-automaatiojärjestelmän toimintaan tutustuminen ja sen viritämisen tarpeellisuus. Opinnäytetyön viimeinen vaihe oli tutkia HEWI:n toimivuutta ja kuinka sitä voitaisiin parantaa.

6.1 Tutkimuksen suunnittelu

Tutkimuksen päätavoite on, että HEWI-punnituksista DCS-automaatiojärjestelmään tallennetun mittaustiedon arviointi auttaa järjestelmän kehittämisessä. Henkilökohtaisena tarkoitukseni oli oppia tiedon analysointia ja hyödyttää päätavoitetta. Työssä haetaan vastausta kysymykseen; Voidaanko HEWI-punnitusmittaustiedosta tunnistaa ennakoitusti soodakattilan toimintahäiriö.

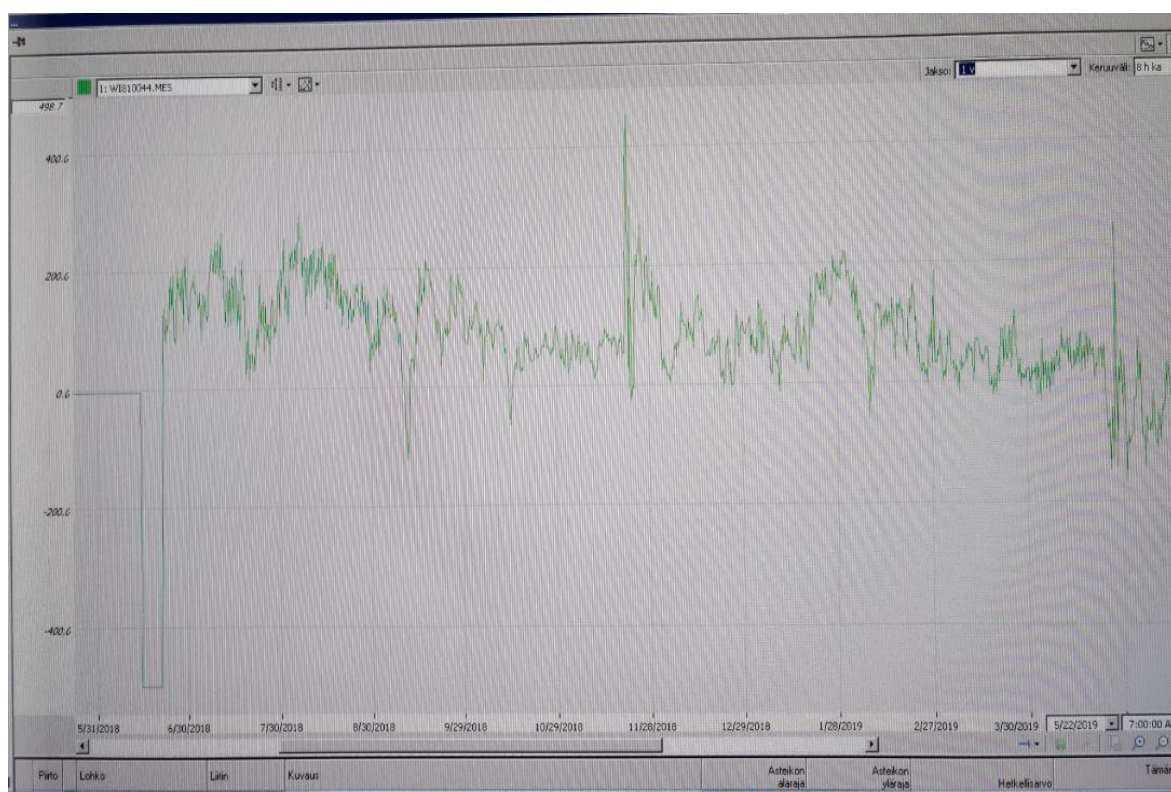
Arviointiin käytettävät HEWI-automaatiojärjestelmän mittaustiedot päätettiin valita aikaväliltä, jossa soodakattilan prosessissa on tapahtunut merkittävä muutos, jonka on oletettu olevan yhteydessä saman hetkisiin HEWI-automaatiojärjestelmästä havaittaviin mittaustiedon vaihteluihin.

Tehtävän ratkaisussa päädyttiin soveltamaan tilastollisia menetelmiä DCS-automaatiojärjestelmään tallennetun HEWI-punnitusten mittaustietoon. Alustavassa tutustumisessa havaittiin otetuista HEWI:n trendikäyriin, että ennen tilastollisia menetelmien soveltamista, täytyy valmistella HEWI:n trendikäyrissä esitettävä tieto numeeriseen muotoon jollakin menettelyllä, jonka voi olla tarvittaessa toistaa.

6.2 Mittaustulosten valmistelu

Mittaustiedon muunnoskäsittely ja arviointi on tehty sen jälkeen, kunnes HEWI-automaatiojärjestelmä oli kerännyt punnitusmittaustietoa n. vuoden ajan, esimerkki kuvassa 16. eräästä HEWI:n punnituksesta.

Arviointia varten on valittu vuorokausien 25.2-3.3.2019 aikaväli, jossa soodakattila on ”trippannut” eli mustalipeän poltto on ollut sammuneena yhden vuorokauden ajan.



KUVA 16. HEWI:n WI810044 punnituksen 8h keskiarvon [kg] trendikäyrä n. vuoden ajalta.

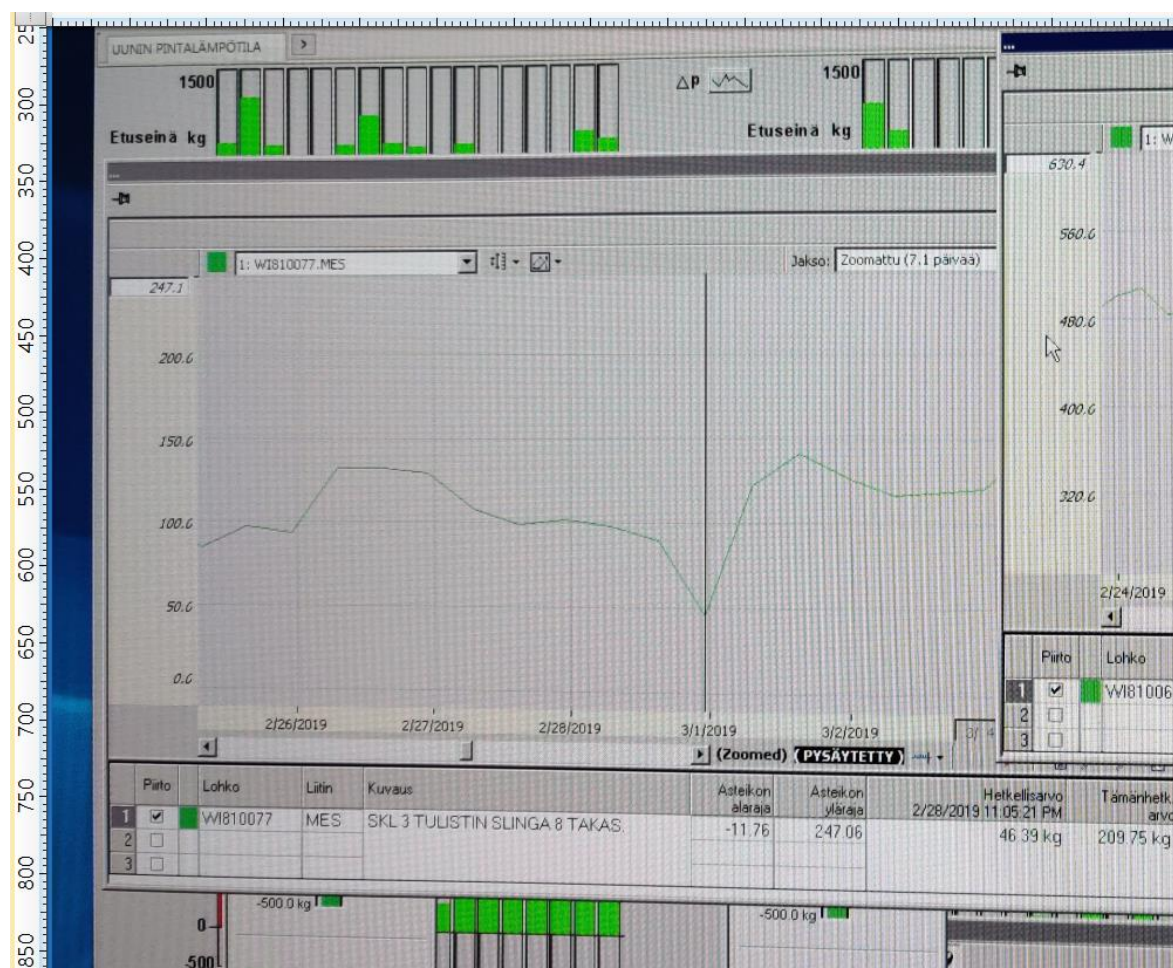
Mittaustiedon muunnoskäsittely täytyi tehdä ennen arviointia, koska HEWI:n punnitusten trendien tulostekuvien tulkinnan sijaan numeerinen tiedon käsittely oli arvioinnin käytännön edellytys - Numeeriseen muotoon saattaminen on mahdollistanut tutkimuksen tilastollisella menettelyllä.

Arviointiin valitut HEWI-automaatiojärjestelmän punnitusmittaukset ovat satunnaisista pisteistä kahden tulistimen sivu- ja keskialueilta. Punnitusmittauksen tulosteet ovat kuudesta eri punnitusmittauksesta; 2-tulistimen mittaukset WI810060, 810087 ja 810077 ja 3-tulistimen mittaukset WI810026, 810043 ja 810054 sekä lisäksi soodakattilan polttolipeän virtausmittaus FI813225 tulosteesta. Kaikki punnitusten mittaustiedot on poimittu samalta valitulta aikaväliltä. Polttolipeän virtausmittausta on käytetty vertailuun HEWI:n punnitusmittausten analysoinnissa.

Arvioinnin HEWI-automaatiojärjestelmän mittaustiedot on valittu satunnaiselta aikaväliltä, jossa soodakattilan prosessissa oli tapahtunut merkittävä muutos, jonka arvioitiin myös olevan yhteydessä saman hetkisiin HEWI-automaatiojärjestelmästä havaittaviin mittaustiedon vaihteluihin.

Esimerkkinä kuvassa 17 nähdään valitulta ajanjaksolta HEWIn WI810077 punnitusmittauksen trendi, joka on esitetty viivakaavion muodossa. Muun muassa esimerkki punnitusmittauksesta on valittu kuuden vuorokauden aikajaksot mittaustietojen tarkasteluajaväliksi. Kuvasta voi havaita vuorokauden aikajaksolla, että trendi on muodostettu kolmesta erillisestä viivasta, joilla kaikilla on alku- ja loppupiste.

2. taulukossa esitetyt numeeriset [kg] arvot ovat laskettu HEWIn WI810077 punnitusmittauksen viivakaavion havaitujen viivojen loppupisteistä.



KUVA 17. HEWI:n mittauksen (WI810077) trendikäyrä 25.2-3.3.2019.

Kuvan 17 trendistä nähtävät kuuden vuorokauden mittaustulokset jaettiin osiin, että jokainen vuorokausi pilkottiin kolmeen osaan. Nämä tulokset kerättiin ylös PDF Xchange editor kuvankäsittelyohjelman pystyviivaimen avulla. Ennen loppupisteiden luenta pystyviivaimelta, kukin punnitusmittauksen trendi (viivakaavio) on sovitettu näyttölaitteen leveyteen PDF Xchange editor kuvankäsittelyohjelmassa. Viivaimen lukematarkeyden on katsottu olevan tarkoitukseen riittävä.

Kerätyistä pystyviivainlukemista (loppupisteistä) on muunnoskäsittelyllä saatu numeerinen arvojoukko (18 kpl) kullekin valitulle HEWIn punnitukseen- ja soodakattilan polttolipeän virtauksen mittaukselle. Muunnoskäsittelyllä on tehty Excel- taulukkolaskennalle määritellyn sovelluksen kaavalla 1. Muunnoskäsittelyllä saatujen HEWI:n punnitusmittausarvojen lukematarkkuus on katsottu olevan tarkoitukseen riittävä – Jälkeenpäin on todettu, että lukemat olivat myös HEWI-automaatiojärjestelmästä saatavissa numeerisina.

Kaava 1.

$$X = \frac{\text{ylämitta} - \text{alamitta} * \text{loppupää} - \text{jakson lukuarvo}}{\text{loppupää} - \text{alkupää}} + \text{alamitta}$$

Excel-taulukkolaskenta sovelluksen muuttujat ovat;

Ylämitta on HEWIn punnituksen mittaustrendin mitta-alueen asteikon ylärajan lukema.

Alamitta on HEWIn punnituksen mittaustrendin mitta-alueen asteikon alarajan lukema. Huom! Asteikon ylä- ja alaraja lukemat näkyvät kulloisen trendin alaosassa.

alkup on pystyviivaimen osoittama arvo mitta-alueen asteikon ylärajan kohdalta.

loppup on pystyviivaimen osoittama arvo mitta-alueen asteikon alarajan kohdalta.

päivän jakso on pystyviivaimen osoittama arvo jonkin vuorokauden 1. tai 2. tai 3. viivan loppupisteen kohdalta (Edeltävän viivan loppupiste on seuraavan alkupiste).

Tulos on pyöritetty lähimpään kokonaislukuun ennen seuraavaa laskentaa.

Kaava 2.

$$\text{normalisoitu arvo} = \frac{\text{kerkiarvo (kg)} - \text{mitta-arvo (kg)}}{\text{keskihajonta (kg)}}$$

Esimerkiksi taulukossa 1. WI800077 punnitusmittauksen tarkasteluajavälin (6 vrk) ensimmäisen vuorokauden (25.2.2019) ensimmäisen jakson I. 1. viivan loppupisteen arvolla on saatu muunnoslaskun tulos, joka on myös taulukossa 2. esitetty 1. Mitta-arvo [kg], pvm. 25.2.2019 kohdalla.

Taulukko 1. Excelin kehitetty taulukkolaskenta sovelluksesta punnitumittaustuloksen muuntamiseksi numeeriseksi.

alkup	412	Ylämitta	247,06
loppup	691	Alamitta	-11,76
jakson lukuarvo	588		
Tulos	83,8		

Mittapiste:		WI810077		Normalisoidut	
Käyrän pisteen nro	Pvm	Mittajako	Mitta-arvot	(Keskiarvo [kg]-Mitta-arvot [kg])/Keskihajonta [kg]	Välille 0-1 normeeratut arvot
			[kg]	[kg]	arvot
1	2/25/2019	1	83	1,08	0,59
2		2	97	0,45	0,44
3		3	92	0,68	0,49
4	2/26/2019	1	131	-1,09	0,08
5		2	127	-0,91	0,13
6		3	125	-0,82	0,15
7	2/27/2019	1	112	-0,23	0,28
8		2	96	0,50	0,45
9		3	100	0,31	0,41
10	2/28/2019	1	96	0,50	0,45
11		2	87	0,90	0,55
12		3	44	2,85	1,00
13	3/1/2019	1	125	-0,82	0,15
14		2	139	-1,45	0,00
15		3	125	-0,82	0,15
16	3/2/2019	1	114	-0,32	0,26
17		2	115	-0,36	0,25
18		3	117	-0,46	0,23
	Minimi		44	-1,452166389	
	Maksimi		139	2,851480968	
	Vaihteluväli		95	4,303647356	
	Keskiarvo [kg]	:	106,94		
	Varianssi (var)	:	487,27		
	Keskihajonta [kg]	:	22,07		
	Keskipoikkeama [kg]	:	17,84		
	Keskipoikkeama [%]		18,78		
	Korrelaatio [Painomittaus(WI); Lipeävirtaus(FI)]		0,64727187		

Taulukko 2. Esimerkki muun muassa WI810077 lasketuista mitta-arvoista [kg].

6.3 Mittausten tilastollinen käsittely

Tilastotieteessä mitataan monenlaisia ominaisuuksia l. muuttujia (satunnaismuuttujia), voidaan mitata esimerkiksi miesten pituutta maakunnittain. Jotta kaikkia miehiä ei tarvitse mitata, valitaan otos eli miesten osajoukko. (tilastokoulu, n.d.)

Tilastollisen mittauksen tarkkuus vaihtelee otoksen suuruuden suhteesta koko populaatioon. Käsite muuttuja kuvaa ominaisuutta ja sen mittaria, jonka mitta-asteikko kuvaa esimerkiksi, onko mittaus aina luku tai onko negatiivinen arvo mahdollinen.

Tilastotieteessä minimiarvo on muuttujan havaintojen pienin arvo ja vastaavasti maksimiarvo on muuttujan havaintojen suurin arvo. Ja havaitun muuttujan suurimman ja pienimmän arvon välimatka on vaihteluväli. Tilastotieteessä keskiarvo on satunnainen pisteen otoksen lasketusta havaituista muuttujasta ja muuttujasta laskettu jakauma kuvaa, miten yleisiä sen eri arvot ovat. Jotta keskiarvon merkityksen voisi ymmärtää, on tunnettava jakauman hajonnan mitta (hajontaluku).

Varianssi on tilastotieteessä ja todennäköisyyslaskennassa yksi hajonnan mitta. Sen sijaan varianssin neliöjuurta sanotaan keskihajonnaksi tai standardipoikkeamaksi, jotka ovat myös hajonnan mittoja, joilla on yksikkö sama kuin muuttujalla. Kun taas keskipoikkeama on yksittäisten havaintojen keskiarvosta laskettujen erotusten itseisarvojen aritmeettinen keskiarvo.

Tilastotieteessä ja todennäköisyyslaskennassa käytettävä käsite korrelaatio kuvastaa kahden muuttujan välistä riippuvuutta. Korrelaatiokerroin on tunnusluku suoraviivaisen riippuvuuden voimakkuudelle. Sen arvo voi olla mitä tahansa +1 ja -1 väliltä. Nollan lähellä olevat kertoimet liittyvät tilanteisiin, joissa ei ole suoraviivaista riippuvuutta. Arvot +1 lähellä viittaavat positiiviseen riippuvuuteen (samansuuntainen) ja lähellä -1 taas negatiiviseen riippuvuuteen (vastakkaisuuntainen).

HEWIn punnitusmittausten muunnetuista numeerisista arvojoukoista on laskettu taulukon 2 alaosassa esitetyt tilastollisen laskennan tulokset. Laskennat on tehty kaikille valituille HEWIn punnitusmittauksille. Suoritut tilastolliset laskennat ovat tehty EXCEL-taulukkolaskennan valmiita funktioita soveltaen.

Lisäksi HEWIn punnitusmittausten analysointia varten on aineistosta pyritty poimimaan tutkimuskohteeseen kysymyksenasettelussa määriteltäviä asioita mahdollisimman selkeästi. Asioiden mahdollisimman selvästi näkyviin saamiseksi on mittaustuloksia muokattu siten, että niistä on vähennetty muuta, häiritsevää tietoutta.

Mittauksille on tehty ns. normeeraus, jossa muuttuja normitetaan kaavalla 2, jolloin saatu normitettu arvo vaihtelee välillä -1... +1 ja jonka keskiarvo on 0 ja keskihajonta 1. Normitettu arvo = Muuttujan poikkeama keskiarvosta jaettuna keskihajonnalla (Yle.fi Tilastot ja todennäköisyys).

Esimerkiksi taulukon 2 WI800077 punnitusmittauksen 1. viivan loppuarvosta saatu muunnoslaskun tuloksesta saadaan sen normitettu arvo taulukon 2. muuttujan ja siitä lasketuista seuraavasti;

$$1,08 = (106,94 - 83) / 22,07.$$

Lisäksi taulukossa 2 on laskettu kullekin punnitusmittaukselle välille 0 – 1 normeeratut arvot, muunnoslaskun tuloksena taulukon 2. muuttujan ja siitä lasketuista seuraavasti;

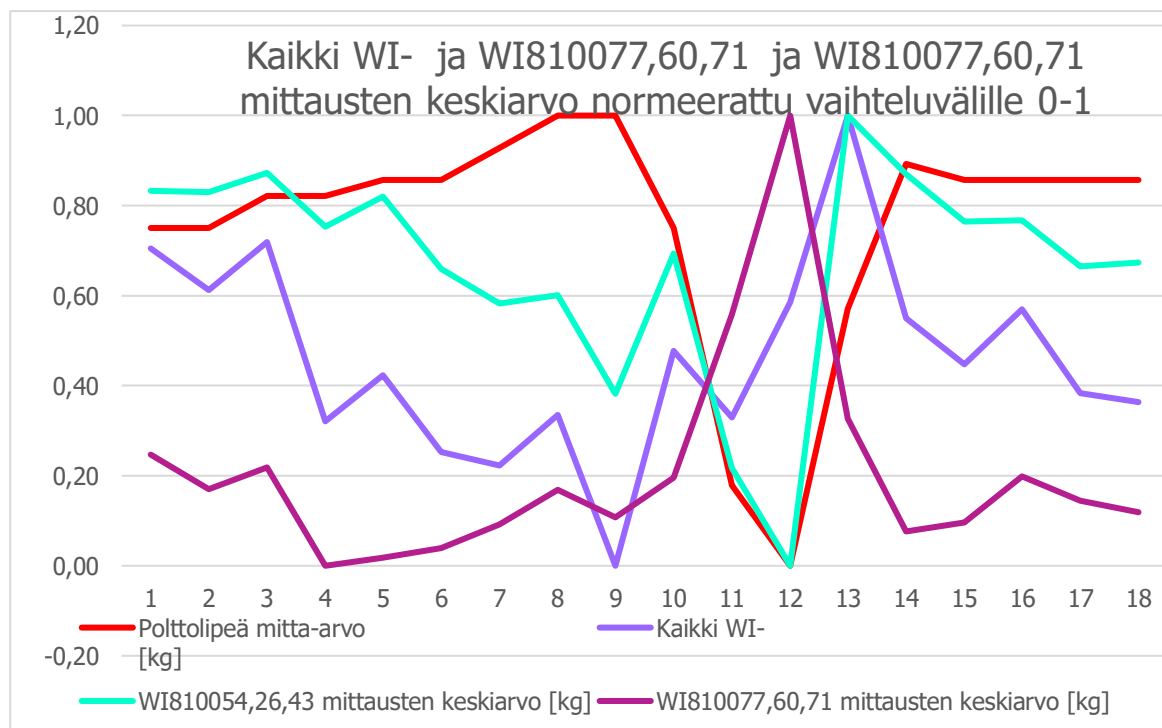
$$0,59 = (1,08 + 4,3 - 2,85) / 4,3.$$

6.4 Tulosten arviointi

Mittauksen WI810054 arvo on 626 Kg samalla hetkellä, kun WI810043 mittauksen on 27 Kg. Mittauspisteet sijaitsevat täysin eri puolilla soodakattilaa ja tämä WI810054 on lähimpänä savunpoistokanavaa.

Minimi ja maksimiarvojen suuresta erosta voimme jo päätellä, että jokin ei nyt täsmää. Kun näitä tuloksia lähdetään vertaamaan lipeän virtaukseen, ne ovat täysin päinvastoin. Kun kattila trippaa, lipeän syöttö tipahtaa lähes nollaan, mutta jotkut mittaukset hyppäävät maksimiarvoonsa. WI810043 elää lähes samaa elämää soodakattilan kanssa mittaustuloksien perusteella, mutta WI810054 ei. Mielestäni antureiden sijainnilla savukaasukanavaan nähden on jotain merkitystä tämän asian kanssa. Mittaustuloksia tarkasteltaessa korrelaation pohjalta, pystytään toteamaan saman suuntaisesti kuin yläpuolella. Anturilla WI810043 on pieni korrelaatio (-0,20302), kun sitä verrataan lipeän virtaukseen, niin se on vähiten ei riippuvainen. Tämä mittaus siis on eniten perillä soodakattilan elämästä ja näyttää suunnilleen oikeita arvoja, eikä päinvastaisia lukemia kuten muut tutkielmassa mukana olevat anturit.

Normeerattujen (välille 0 -1) kaikkien mittausten keskiarvojen, normeerattujen (välille 0 -1) 2-tulistimen mittausten WI810060, 810087 ja 810077 keskiarvojen, normeerattujen (välille 0 -1) 3-tulistimen mittausten WI810026, 810043 ja 810054 keskiarvojen ja lisäksi normeerattun (välille 0 -1) soodakattilan polttolipeän FI813225 virtausmittaus viivakaaviot on esitetty kuvassa 18.

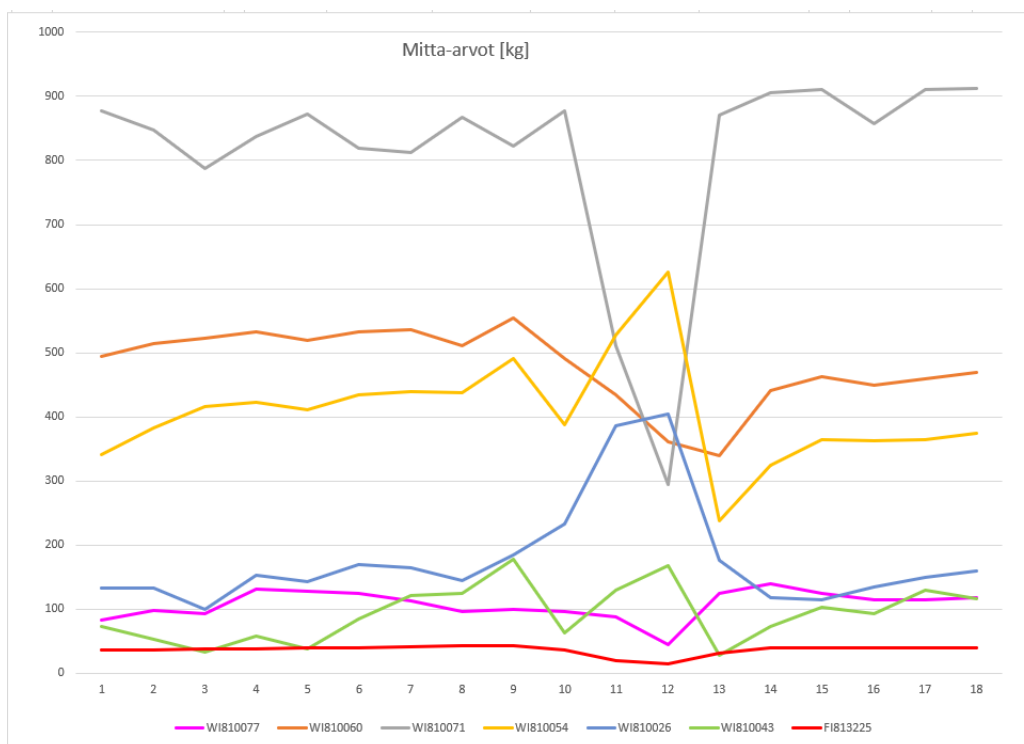


KUVA 18. Normeerattujen mittausten mittaustuloksia

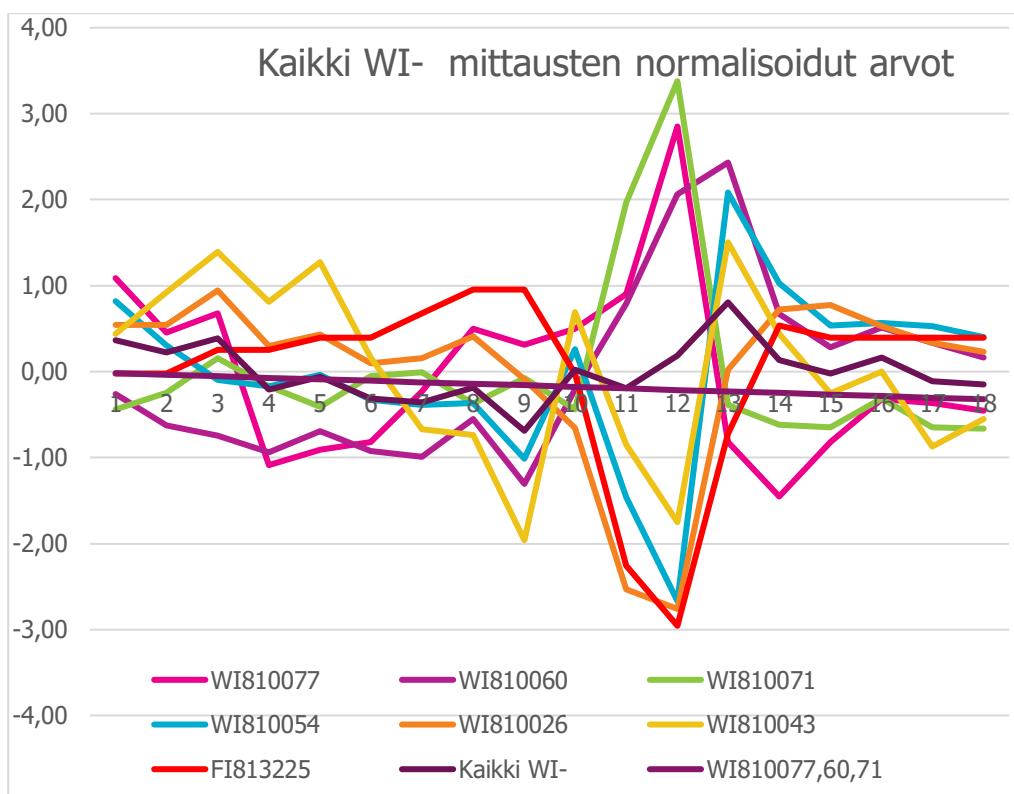
Normeerattujen 2-tulistimen mittausten WI810060, 810087 ja 810077 keskiarvojen neljännen laskeutuspisteen kohdalla viivakaavio on saavuttanut 0 ja samassa käännekohtaan ylöspäin.

Muut punnitusten viivakaavioit, kaikkien mittausten keskiarvojen ja normeerattujen 3-tulistimen mit-
tausten WI810026, 810043 ja 810054 keskiarvojen viivakaavioihin jatkavat edellen alaspäin, mutta
kääntyvät samassa ylöspäin, kun normeeratun soodakattilan polttoliipeän FI813225 virtausmittaus
viivakaavion lähtee syöksymään alaspäin.

Vastaava tilanne ei ole nähtävissä mittauksista ilman normitusta tai normitetuista, kun tarkastelee
tilannetta kuvasta 19 tai 20.



KUVA 19. Punnitus mittaukset ilman normeerausta



KUVA 20. Normitetut punnitusmittaukset

Normeeratujen (välillä 0 -1) viivakaavioiden käyttäytymistä voi ehkä pitää ennakkotietona tulevasta "trippauksesta". Tätä on liian aikaista sanoa, asia vaatii lisätutkimuksia.

Tutkimuksen yhteenvedona voisin sanoa, että parannettavaa löytyy. Järjestelmä vaatii pieniä korjauksia, koska nyt mittaustulokset ovat virheellisiä, joka johtuu tulistimien tangoista. Tulistintangot pääsevät taipumaan, kun kattila trippaa ja tämä aiheuttaa vääristymän mittaustuloksiin. Ainut paikka, jossa järjestelmä näyttää lähes todellista on tulistimen kolme etuseinä, koska se kauimpana savukaasukanavasta.

Kokeellisen työn tavoitteena oli syventyä asentamaani HEWI automaatiojärjestelmään ja tuoda esille omat näkemykseni sen toiminnasta. HEWI on mielestäni suuri askel eteenpäin automaatiojärjestelmissä, joilla päästään tarkastelemaan soodakattilan sielunelämää. HEWI:n avulla voidaan säätää kattilaan syötettävän ilman ja lipeän määrää, kunhan se saadaan viritettyä kunnolla. Kokeellinen osio on oma näkemykseni HEWI:n puutteellisesta toiminnasta ja siitä kuinka tärkeää automaatiojärjestelmän viritys on.

7 YHTEENVETO

7.1 Tehtävänanto ja tavoitteet

Tehtävänä oli ensimmäiseksi asentaa paikoilleen Andritz Oy: n toimittamat kenttäkotelot. Muina tavoitteina oli asentaa paikoilleen kaikki mittausanturit, virittää ne ja saada koko järjestelmä toimintaan. Aikaa tälle projektille oli karkeasti arvioitu yksi kuukausi ja tavoitteeseen päästiin.

7.2 Työn suorittaminen

Kun aloitin opinnäytetyöni kesällä 2018 en tiennyt juuri mitään selluteollisuudesta. Olin kyllä aikaisemmin ollut sellutehtaalla asennustöissä, mutta minulla ei ollut mitään kokemusta tai tietoa, mikä sellutehdas oikeastaan on. Opinnäytetyön alussa on paneuduttu soodakattilaan ja sen toimintaan, koska se on hyvin olennainen osa-alue työn kokonaisuutta.

HEWI projekti alkoi asentamalla kenttäkotelot soodakattilan yläpuolelle kävelytasolle. Silloin näin ensimmäistä kertaa, mikä on soodakattila ja missä se sijaitsee. Soodakattila on sellutehtaan keskeisellä paikalla ja se on usein se korkein rakennus. Projektin edetessä opin, että soodakattilassa poltetaan sellunkeitossa syntyvät kemikaalit ja poltosta syntyy paljon suolaa eli natriumsulfaattia. Tässä oli oma-kohtaiset kokemukseni soodakattilasta ja sen toiminnasta opinnäytetyöni alussa. HEWI mittausjärjestelmä kohdistuu pelkästään soodakattilan toimintaan ja siksi on ollut syytä tutustua ensin siihen, mikä soodakattila on.

Projekti aloitettiin pakkaamalla mukaan mahdollisimman laaja valikoima työkaluja, joita tarvittaisiin työnaikana. Hallilta matka jatkui Andritzin pajalle, josta kävimme noutamassa kenttäkotelot projektia varten. Kun saatiin kyytiin, matka jatkui Stora Ensolle, jossa työt alkoivat. Kenttäkoteloiden asennuksessa kului aikaa muutama viikko, jonka jälkeen vuorossa oli antureiden kokoaminen ja paikoilleen asennus.

Ennen antureiden asennusta ne tuli koota, koska anturi ja siihen kiinnitettävät tarvikkeet toimitettiin erillään. Samaan aikaan, kun kokosin Juhon kanssa antureita Heikki ja muut puhdistivat tulistin tankoja, joihin anturit kiinnitettäisiin. Asennuksen jälkeen vedimme kaikkien 68 anturin kaapelit niille tarkoitettuihin kenttäkoteloihin. Johdotus sujui mutkitta, koska antureissa oli valmiiksi tehdyt päät ja riiviliittimet olivat jousitoimiset. Lopuksi järjestelmä piti virittää, että mittatulos olisi riittävän tarkka ja sitä voitaisiin käyttää siinä mihin se oli suunniteltukin.

Opinnäytetyön kokeellisesta osuudesta syvennyttiin siihen, mitä oli Andritz Oy:n kanssa asennettu. Kokeellinen osio aloitettiin vierailamalla Stora Enson Varkauden tehtaalla ja katsottiin kuinka HEWI oli toiminut kuluneen vuoden aikana. Keräsin paljon tietoja kokeellista osiota varten valvomon näytöltä Rikun kanssa.

Kokeellinen osio aloitettiin muuttamalla kaikki kerätty data helpompaan muotoon käyttämällä PDF Xchange editor kuvankäsittelyohjelmaa. Kun tulokset saatiin kerättyä helpommin käsiteltävään

muotoon EXCEL:iin, alkoi tuloksien tulkinta. Tuloksien käsittely oli minulle todella hankalaa, koska en ole ennen tehnyt mitään tällaista.

7.3 Lopputulokset

Tutkittaessamme HEWI:n trendikäyriä, saimme paljon hyödyllistä tietoa muun muassa järjestelmän virityksen puutteista. Tutkimuksessa on alustava arvioi kerätyn tiedon soveltuvuudesta aiottuun tarkoitukseen.

Opinnäytetyön lopputuloksena on kattava esitelmä HEWI:stä ja omakohtainen tutkimus sen toiminnasta. Tämän työn avulla Andritz tai Savonia voi opettaa, millaisia mittausjärjestelmiä tullaan lähitulevaisuudessa käyttämään kattilan likaantumisen seuraamisessa. Asennuksen aikana ilmeni jo muutamia seikkoja, joita voidaan tulevaisuudessa parantaa työnteon nopeuttamiseksi. Sain työhön myös huomattavasti kattavamman näkemyksen, kun olin mukana projektin jokaisessa vaiheessa.

Tutkimus tuotti minulle paljon vaikeuksia, koska en ole ennen sellaista tehnyt. Sain kuitenkin apuja ja siitä tuli paljon kattavampi, kun otin mukaan Excelin ja aloin sitä kautta vertailla mittaustuloksia. Oma näkemyksen järjestelmän toimivuudesta on hyvä, mutta parannettavaakin löytyy. Halusin tehdä tästä aiheesta opinnäytetyön, koska tällaista järjestelmää ei ole koskaan ennen ollut ja olen todella otettu, että olin siinä mukana.

8 LÄHDELUETTELO

Hämäläinen, A. (2018). *Opinnäytetyö*. Jyväskylä: Jamk.

Kittilä, Mikko. (2001). *KnowPulp*. Noudettu osoitteesta KnowPulp.com:

<http://www.knowpulp.com/www/suomi/kps/ui/knowpulp.htm>

Lappalainen, H. (2016). *HEWI*. Varkaus: Andritz Oy.

Olli, H. (2019). *SKL nuohousnäytöt*. Varkaus: Efora.

Penttinen, K. (2018). *Soodakattilan tukkeutuminen*. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Stora Enso. (ei pvm). *storaenso.com*.

Teknologiakasvatus. (2007). *Oulu*. Noudettu osoitteesta oulu.fi/teknokas:

<https://www oulu.fi/teknokas/tehtavakortit/venymaliuska.pdf>

tilastokoulu. (ei pvm).

https://tilastokoulu.stat.fi/verkkokoulu_v2.xql?course_id=tkoulu_tilaj&lesson_id=2&page_type=sisalto.

Noudettu osoitteesta

https://tilastokoulu.stat.fi/verkkokoulu_v2.xql?course_id=tkoulu_tilaj&lesson_id=2&page_type=sisalto

Tuononen, J. (2012). *Soodakattilan nuohouksen tehostaminen*. Kymenlaakso: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.