

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka / energia- ja ympäristötekniikka; käynnissäpito

Jyri Vanhala

SOODAKATTILAN PÖLYPÄÄSTÖJEN ALENTAMINEN PROSESSITEKNISIN
MENETELMIN

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka / energia- ja ympäristötekniikka; käynnissäpito

VANHALA, JYRI	Soodakattilan pölypäästöjen alentaminen prosessiteknisin menetelmin
Opinnäytetyö	60 sivua + 6 liitesivua
Työn ohjaaja	Jaakko Laine, lehtori Kari Nikunen, käyttöpäällikkö
Toimeksiantaja	Stora Enso Oy, Sunilan tehdas
Tammikuu 2012	
Avainsanat	pölypäästöt, hiukkasmittaukset, savukaasut, BAT, paras käytettävissä oleva tekniikka

Savukaasujen ja niistä muodostuneiden päästöjen seuranta ja mittaaminen on yksi olennaisimmista energiantuotannon voimalaitosanalyseistä. Päästöjen seurannan avulla pyritään hallitsemaan ympäristöön pääseviä haitallisia yhdisteitä.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Stora Enson Sunilan sellutehtaan soodakattila 10:n pölypäästöjä ja keinoja, joilla niitä saataisiin vähennettyä. Syynä tutkimiseen on vuonna 2015 tiukentuva ympäristölupa, jolloin pölypäästöjä saa esiintyä 50 mg/m^3 nykyisen 100 mg/m^3 sijasta. Työssä on tutkittu soodakattilan eri ajomoodien merkitystä syntyviin pölypäästöihin ja kuinka muodostuvia pölypäästöjä voitaisiin vähentää prosessiteknisin keinoin.

Työssä selvitetään myös sähkösuodattimissa syklisesti esiintyviä pölypiikkejä ja etsitään keinoja niiden torjumiseksi.

Työstä saatujen tietojen avulla voidaan tulevaisuudessa vähentää soodakattila 10:n ajon aikaisia pölypäästöjä, ja näin pystytään pääsemään vuoden 2015 ympäristöluvan edellyttämälle tasolle.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Mechanical and Production Engineering / Energy and Environment Engineering, Maintenance

VANHALA, JYRI

Reducing a Recovery Boiler's Dust Emissions with Process Technical Methods

Bachelor's Thesis

60 pages + 6 pages of appendices

Supervisor

Jaakko Laine, Senior Lecturer

Kari Nikunen, Operation Manager

Commissioned by

Stora Enso Oy, Sunila Pulp Mill

January 2012

Keywords

dust emission, dust measurement, flue gases,
BAT technology

Monitoring and measuring flue gas emissions are one of the most important aspects of a power plant analysis in energy production. With emission monitoring the aim is to control harmful compounds when they are released into the environment.

This thesis studies dust emissions of the recovery boiler 10 in the Sunila pulp mill of Stora Enso Oy and means how to reduce them. The reason for studying this topic is the environmental permit which will tighten in 2015 and decrease the level of dust emissions to 50 mg/m^3 when now the level is 100 mg/m^3 . This thesis studies different run/control modes for composed dust emissions of the recovery boiler and how to reduce the emission amounts with process technical methods.

The paper also analyses cyclical dust spikes that occur in electrostatic precipitators and means how to prevent them.

The study results of this work can be used to reduce the amount of dust emissions during the burning of black liquor in the recover boiler and that way it can gain the dust emission levels required by the 2015 environment permit.

ALKUSANAT

Tein opinnäytetyöni Stora Enson Sunilan sellutehtaassa. Haluan kiittää koko Sunilan tehtaan henkilökuntaa työni tukemisesta. Erityisesti kiitän käyttöpäällikkö Kari Nikusta työni ohjauksesta ja näkemyksistä, joiden avulla työstäni saatiin halutunlainen. Kiitokset myös sähkö- ja automaatiopuolen käyttöinsinöörille Toni Henrikssonille, Empower Oy:n automaatiotyönjohtajalle Matti-Pekka Vallemalle ja mittarimies Eero Hakalalle, joiden asiantuntemus aiheesta auttoi minua työn edistymisessä.

Haluan kiittää ohjaajaani lehtori Jaakko Lainetta ammattikorkeakoulun puolelta ja opinnäytetyöhön liittyvissä laskuissa avustamisesta lehtori, DI Risto Korhosta ja laboratorioteknikko Marko Piispaa.

Viimeisenä haluan kiittää vanhempiani tuesta, jota sain koko opintojeni ajan.

19.12.2011

Jyri Vanhala

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	8
2	STORA ENSO OYJ	9
	2.1 Sunilan sellutehdas	9
	2.2 Sunilan sellutehtaan tuotteet	9
3	SOODAKATTILAN TOIMINTAPERIAATE	10
	3.1 Sellutehtaan lipeälinjan toiminta ja kemikaalikierto	10
	3.2 Sellutehtaan höyryn ja polttoaineiden tuotto	11
	3.3 Soodakattilan rakenne ja toimintaperiaate	12
	3.4 Soodakattila 10	15
	3.5 Soodakattilan savukaasujen käsittely ja päästöt	16
	3.5.1 Sähkösuodatin	17
	3.5.2 Savukaasupesuri	18
4	SOODAKATTILOIDEN YMPÄRISTÖLUVAT	20
	4.1 Päästöraja-arvot Suomessa	20
	4.2 Sunilan sellutehtaan toteutuneet päästöarvot (sk 10 :llä)	22
5	BAT- TEKNIKOIDEN MUKAISET PÄÄSTÖT SOODAKATTILOISTA	23
	5.1 Rikkidioksidit	24
	5.2 Typenoksidit	24
	5.3 Hiukkaset	25
	5.4 TRS- eli haisevat rikkiyhdisteet	27
6	PÖLYPÄÄSTÖT, NIIDEN MITTAAMINEN JA ANALYSOINTI	27
	6.1 Pölypäästöjen muodot	28
	6.2 Pölypäästöjen mittauslaitteisto	31

6.3 Savcor Wedge- prosessianalyysijärjestelmä	35
7 SOODAKATTILAN AJOMALLIEN MERKITYS PÖLYPÄÄSTÖIHIN	36
7.1 Normaaliajossa muodostuvat pölypäästöt	36
7.2 Häiriötilanteissa ja muissa poikkeuksellisissa tilanteissa muodostuvat pölypäästöt	40
7.3 Käynnistyksen tai alasajon yhteydessä muodostuvat pölypäästöt	44
7.4 Savukaasujen virtausnopeudet sähkösuodattimilla	47
8 SÄHKÖSUODATTIMILLA ESIINTYVÄT PÖLYPIIKIT	50
9 TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT	52
9.1 Palamisilmojen merkitys syntyviin pölymääriin	52
9.2 Pölypiikkejä aiheuttavat ravistimien ja täristimien kombinaatiot	53
9.3 Mäntyöljyn vaikutus syntyviin pölypäästöihin	54
10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET	56
LÄHTEET	58
LIITTEET	
Liite 1. Soodakattila 10, läpileikkauskuva	
Liite 2. Sähkösuodattimen läpileikkauskuva	
Liite 3. 3- vaiheisen savukaasupesurin läpileikkauskuva	
Liite 4. Pölypitoisuuslähetin Sick Dusthunter SP100 PI- kaavio	
Liite 5. Sähkösuodatin 8:n ja 7:n täristimien ja ravistimien relekaaviokuva	
Liite 6. Alkuaineanalyysi mustalipeästä	

LYHENNELUETTELO

ADt/d	Kuiva-aine tonnia vuorokaudessa
bar	Paineen mittayksikkö, 1 bar = 100 kPa
BAT- tekniikka	Parhaimman käytettävissä olevan tekniikan tai tekniikoiden käyttämisen päästöjen vähentämiseksi
carry-over-hiukkaset	Karkeajakoisia pölyhiukkasia, jotka muodostuvat savukaasuihin karanneista lipeäpisaroista
emissioelektrodi	Sähkösuodattimessa olevilla emissioelektrodeilla erotetaan sähkövirran avulla savukaasusta pölyhiukkasia eli natriumsulfaatti-suolaa
mustalipeä	Sellunkeitossa käytettävän sulfaattimenetelmän sivutuote, jota käytetään soodakattiloissa polttoaineena
prosessianalyysiohjelma	Ohjelma, joka kerää tiedot tehdasjärjestelmistä ja jonka avulla voi yhdistellä eri tietoja. Se tarjoaa prosessihäiriöiden ratkaisemiseksi työkalut järjestelmästä saatujen tietojen avulla
TRS	Haisevat rikkiyhdisteet

1 JOHDANTO

Voimalaitoksissa tehtävät päästömittaukset ovat yhä tärkeämpiä voimalaitosten savukaasupäästöjen seurannassa. Suomessa savukaasupäästömittausten historia juontaa juurensa 1960-luvulle, jolloin alettiin mitata palamisen tehokkuutta päästömittausten avulla. Savukaasupäästöjen vähentämiseen ja mittaamiseen on kehitetty paljon erilaisia ratkaisuja sekä laitteistoja, mutta myös päästövaatimukset ovat samalla tiukentuneet.

Savukaasumittaukset ovat tärkeitä, kun määritellään voimalaitokselle ympäristölupaa. Ympäristölupaehdot määräytyvät voimalaitoksen koon, sijainnin ja käytetyn polttoaineen mukaan. Suomen lainsäädännössä on määritelty yhtenäiset päästörajoitukset rikkioksidille, typenoksideille ja hiukkaspäästöille.

Tämän opinnäytetyön aiheena on tutkia Stora Enso Oy:n Sunilan tehtaan soodakattila 10:n pölypäästöjä ja tapoja, joilla saataisiin muodostuneiden pölypäästöjen pitoisuus nykyistä pienemmäksi. Opinnäytetyön tarkoituksena on siis löytää ratkaisuja, joiden avulla soodakattilan normaaliajon aikaiset pölypäästöt pysyisivät alle 50 mg:ssa/m³. Tämä vaatimus johtuu vuonna 2015 tiukentuvasta ympäristöluvasta, joka velvoittaa edellä mainittuun pölypäästöpitoisuustasoon.

Opinnäytetyössä tutkitaan myös ajon aikana tapahtuvia pölypäästöpiikkejä ja pyritään selvittämään syyt niiden muodostumiseen.

2 STORA ENSO OYJ

Stora Enso on pakkaus-, paperi- ja puutuoteteollisuuden kansainvälinen yritys. Konsernin palveluksessa on noin 30 000 työntekijää ja sillä on 85 tuotantoyksikköä ympäri maailmaa, kuten Suomessa, Ruotsissa, Saksassa ja Kiinassa. Asiakkaina Stora Ensoilla ovat esimerkiksi eri maiden kustantamot, painotalot ja paperitukkurit sekä myös pakkaus-, puusepän- ja rakennusteollisuus. (1)

Stora Enson vuosittainen tuotantokapasiteetti on noin 12 miljoonaa tonnia paperia ja kartonkia, 6,4 miljoonaa kuutiometriä puutuotteita, joista 3,2 miljoonaa kuutiometriä on jatkojalosteita ja 1,3 miljardia neliometriä aaltopahvia. Konsernin liikevaihto vuonna 2010 oli 10,3 miljardia euroa ja liike-tulos oli 754,1 miljoonaa euroa. (1)

2.1 Sunilan sellutehdas

Sunilan sulfaattisellutehdas sijaitsee Kotkassa, Sunilan kaupunginosassa, ja se aloitti toimintansa vuonna 1938. Tehtaan on alun perin suunnitellut Alvar Aalto. Sunilan sellutehtaan vuosittainen tuotantokapasiteetti on noin 370 000 tonnia sellua, josta suurin osa, 96 % tuotannosta, menee vientiin. Henkilöstöä tehtaalla on 230 henkeä. Sunilan tehtaalla on oma satama, joka tekee tehdasalueesta logistiikan kannalta tehokkaan. Sunilan tehtaalle johtaa myös Karhulan - Sunilan rautatie, joka on Suomen ainut yksityisrautatie. (2)

2.2 Sunilan sellutehtaan tuotteet

Sunila tuottaa valkaistua havupuusellua, jota käytetään puupitoisiin painopapereihin, kuten esimerkiksi päällystettyyn painopaperiin, sanomalehtipaperiin ja SC-paperiin. Sunilan tehdas tuottaa nykyään ainoastaan kuivasellua. Sellun lisäksi Sunilan sellutehtaassa tuotetaan mäntyöljyä noin 14 tonnia vuodessa ja tärpättiä noin 1000 tonnia vuodessa. (2)

3 SOODAKATTILAN TOIMINTAPERIAATE

3.1 Sellutehtaan lipeälinjan toiminta ja kemikaalikierto

Paperinvalmistuksen raaka-aineena käytettävä sellu valmistetaan Suomessa lähes yksinomaan sulfaattimenetelmällä. (3, s. 65) Sellun raaka-aineena käytetään puolestaan puuta. Kuorimolta tullessaan puu haketetaan ja kuljetetaan keittämölle keitettäväksi. Keittämällä on tarkoitus erottaa puun kuituja toisistaan liuottamalla puun sidosainetta eli ligniiniä. Liuottaminen toteutetaan keittokemikaalien avulla korkeassa lämpötilassa. Puusta liennut ligniini sekoittuu keittonesteeseen ja näin muodostuu mustalipeää. Mustalipeä pestään vielä vedellä, jotta se saadaan erotettua liuottamattomasta puumasasta. Koska keittokemikaalit ovat kalliita, on niiden kierrättämiseen kehitetty erilaisia menetelmiä, joiden avulla ne voidaan ottaa talteen ja käyttää keittoprosessissa uudelleen. Näin saadaan aikaiseksi suljettu kemikaalikierto. (3, s. 67)

Ennen kuin on mahdollista polttaa mustalipeää soodakattilassa, on siitä haihdutettava mahdollisimman paljon vettä pois. Tämä onnistuu haihduttimien avulla. Kun vesi poistuu lipeästä kiehumalla, se nostattaa lipeän kuiva-ainepitoisuutta. (3, s. 67)

Seuraavaksi mustalipeä syötetään soodakattilaan poltettavaksi, jolloin puusta peräisin olevat orgaaniset aineet saadaan poltetuksi. Siitä vapautuvalla energialla tuotetaan höyryä, jota käytetään turbiineissa sähköntuotantoon ja sen jälkeen tehdään eri prosessien lämmitykseen. Soodakattilassa natrium ja rikkiyhdisteet muutetaan natriumsulfidiksi seuraavasti; $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{C} \rightarrow \text{Na}_2\text{S} + 2\text{CO}_2$. (3, s. 69)

Sulaksi muodostuneet keittokemikaalit otetaan talteen soodakattilan pohjalta. Sula liuotetaan veteen, jolloin saadaan aikaiseksi ns. viherlipeää. Viherlipeässä oleva natriumkarbonaatti, Na_2CO_3 , muutetaan natriumhydroksidiksi, NaOH :ksi, lisäämällä viherlipeään kalkkia, CaO :a, joka muuttuu veden avulla sammutetuksi kalkiksi, $(\text{Ca}[\text{OH}]_2)$. Sammutettu kalkki reagoi natriumkarbonaatin kanssa muodostaen sekä natriumhydroksidia että kalsiumkarbonaattia seuraavasti; $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{CaCO}_3$. Tätä prosessia kutsutaan kaustisoinniksi. (3, s. 69)

Prosessissa syntyvää kalsiumkarbonaattia puolestaan kutsutaan meesaksi. Meesa pelkistetään meesauunissa, jolloin meesa kuivuu ja reagoi lämmön kanssa seuraavasti; $\text{CaCO}_3 + \text{lämpö} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$. Tällöin saadaan jälleen valkolipeän valmistukseen

tarvittava kalkki. Kemikaalien regeneroinnin tuottama valkolipeä pitää sisällään keiton vaatimat kemikaalit, ja se voidaankin syöttää suoraan keittimeen. (3, s. 69)

Kemikaalikierron tavoitteina voidaankin siis pitää seuraavia:

- A. Muuttaa uudelleen käyttökelpoiseen muotoon käytetyt keittokemikaalit
- B. Hyödyntää energiasisältö liuenneesta puuaineksesta
- C. Vähentää ympäristön saasteisuuden muodostumista. (3, s. 69)

3.2 Sellutehtaan höyryn ja polttoaineiden tuotto

Sulfaattisellutehtaan prosessien lämmöntarve on suuri. Suurimpia kuluttajia ovat keittämö ja haihduttamo. Tehtaan eri prosesseja lämmitetään voimalaitoksella tuotetulla höyryllä. *Lämmityshöyrynä käytetään voimalaitoksella turbiinien läpi virrannutta vastapainehöyryä, jonka paine on noin 2 – 3 baaria.* (3, s. 75) Samaan käyttötarkoitukseen käytetään myös turbiinin väliotosta saatavaa korkeapaineisempaa höyryä, jonka paine on 10 - 11 baaria. (3, s. 75)

Kun höyry on virrannut turbiinien läpi, tehtaalte saadaan tuotettua lähes kaikki sähkö, jonka se prosesseissaan tarvitsee. Näin tehdas onkin sähkön suhteen lähes kokonaan omavarainen.

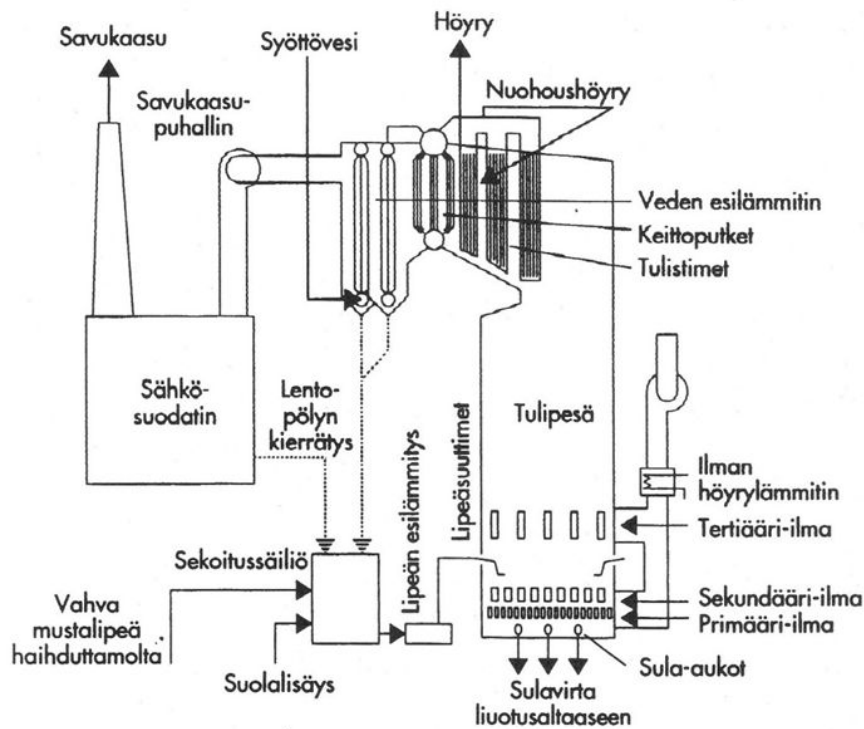
Myös polttoaineen suhteen on sellutehdas lähes kokonaan omavarainen. Suurin osa höyrystä saadaan tuotettua, kun soodakattilassa poltetaan keitossa syntynyttä mustaliipeä. Tämän lisäksi poltettavaa jätettä syntyy kuorimolla, ja jäte poltetaan voimalaitoksen leijukerroskattilassa. Kuoren sekaan lisätään myös jäteveden puhdistamolla syntyvä liete, jonka lämpöarvo on kuitenkin melko alhainen. Lietteen poltossa onkin kyse energian tuotannon sijaan oikeastaan jätteen hävittämisestä. (3, s. 75)

Tehtaalla tarvittavista polttoaineista siis lähes 90 % saadaan prosessista jätteinä. Yksi merkittävimmistä kohteista, joissa käytetään fossiilisia polttoaineita eli kaasua tai öljyä, on meesauuni. (3, s. 75)

3.3 Soodakattilan rakenne ja toimintaperiaate

Soodakattilaksi kutsutaan kattilaa, joka on suunniteltu sulfaattisellun keitossa syntyvän mustalipeän polttoon, keittokemikaalien talteenottoon ja regenerointiin. Siihen syötetään lipeää, joka tulee haihduttamolta, ja tätä lipeää kutsutaan vahvalipeäksi. Nimitys johtuu siitä, että lipeän kuiva-ainepitoisuus on noussut haihduttimissa 70 – 80 %:iin riippuen tehtaalla käytetyistä ratkaisuista. Vahvalipeässä on keiton aikana puusta liuennut orgaaninen aines, jonka määrä vastaa noin puolta tehtaalle tuodusta puumäärästä. Tämän lisäksi mustalipeä pitää sisällään keitossa käytetyt kemikaalit, jotka otetaan talteen ja regeneroidaan aktiiviseen muotoon, jotta niitä voidaan käyttää uudelleen keittoprosessissa. (3, s. 69)

Soodakattilan päätehtäviin siis kuuluu mustalipeän sisältämän energian ja keittokemikaalien talteenotto. *Mustalipeän sisältämän orgaaninen aines (palava) aines ja epäorgaaninen aines (keittokemikaalit sisältävä) aines on erotettava toisistaan.*(3, s. 70) Soodakattilassa poltetaan orgaaninen aines, jolloin epäorgaaninen aines jää poltosta muodostuvaan tuhkaan. Kun kattilassa on riittävän korkea lämpötila, saadaan tuhka pois sieltä sulana. (3, s. 70)



Kuva 1. Soodakattilan rakenne ja sen tärkeimmät osat (4, s. 448)

Mustalipeä on nestemäinen polttoaine, joka syötetään esilämmitettynä noin 100 - 140 °C:n lämpötilassa tulipesään. Mustalipeä hajotetaan pisaroiksi ns. lusikkasuutinta käyttäen, jossa nopeasti virtaava lipeä törmää suuttimen päässä olevaan levyyn. Tällöin lipeä hajoaa pisaroiksi ja ruiskuaa leveänä suihkuna kattilaan. Suuttimessa muodostuvan pisaran kokoa säädetään muuttamalla lipeän viskositeettia eli sen juoksevuutta. Normaalisti ruiskutusaine on noin 1 – 2 baaria. Polttoainesuuttimet on sijoitettu kattilan eri sivuille useiden metrien päähän kattilan pohjan yläpuolelle. Lipeäsuuttimien lisäksi soodakattilassa käytetään joko kaasui- tai öljykäyttöisiä käynnistyspolttimia. Näitä käytetään normaalisti kattilan ylös- ja alasajojen aikana. (3, s. 70 - 72)

Soodakattilan tulipesä voidaan jakaa siellä tapahtuvien prosessien mukaan pelkistys- ja hapetusvyöhykkeisiin. Polttoaine, eli vahvalipeä, syötetään pelkistysvyöhykkeeseen. Syötetty polttoaine kuivuu tulipesässä matkalla kattilan pohjalla olevaan keoon. Mustalipeässä olevien kemikaalien regeneroituminen ja orgaaninen puuainne vaativat erilaiset olosuhteet palamiseen. Kemikaalien regeneroituminen tapahtuukin kattilan pohjalla olevassa keossa. Jotta regeneroituminen olisi mahdollista, se vaatii pelkistäviä olosuhteita. Niiden aikaan saamiseksi kattilan pohjaan syötetään primääri-ilmaa vain sen verran, että keon lämpötila pysyy halutussa 1000 – 1100 °C:ssa. Primääri-ilmaa on yleensä noin 30 - 40 % koko palamiseen käytetystä ilmamäärästä. Tällöin hiili palaa epätäydellisesti ja kaasuuntuu lähinnä hiilimonoksidiksi. *Jos primääriilmamäärä on liian pieni, keon lämpötila on liian alhainen. Jos taas primääriilmamäärä on liian suuri, se johtaa natriumsulfaatin huonoon reduktioon. Pelkistysvyöhykkeessä natriumsulfaatti pyritään mahdollisimman hyvin pelkistämään natriumsulfidiksi.* (3, s. 72) Sulan pelkistymisen täydellisyyttä kuvataan reduktioasteella, jonka kaava on; **reduktioaste = $\text{Na}_2\text{S} / (\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{S}) * 100 \%$** . (3, s. 72)

Hyvällä soodakattilalla reduktioaste on 98 – 99 %.

Soodakattilaan tuodaan palamisilma kolmessa eri tasossa. *Sekundääri-ilmasuuttimista tuodaan kattilaan ilma, jolla poltetaan keossa kaasuuntuneet komponentit. Sekundääri-ilma on tyypillisesti 50 – 60 % koko ilmamäärästä.* (3, s. 72) Sekundääri-ilmalla rajoitetaan kattilassa keon kokoa ja samalla se myös kuumentaa kekoa.

Hapetusvyöhykkeessä pyritään saamaan loppuun palaminen, joka on aloitettu pelkistysvyöhykkeessä. Hapetusvyöhykkeeseen tuodaan tertiäärisuuttimien kautta täydelli-

sen palamisen takaava ilma. *Palamisilman ja palavien kaasujen on sekoitettava mahdollisimman täydellisesti keskenään, jotta polttoaine palaa kokonaan.* (3, s. 72) Tämä on mahdollista silloin, kun kattilaan puhallettava palamisilma etenee tarpeeksi nopeasti, eli noin 65 – 80 m/s, ja sen paineen ollessa tarpeeksi suuri, eli noin 2 – 3 kPa. Samalla on myös polttoilma-aukkojen oltava suunnattu oikein. *Tertiääri-ilma on yleensä 10 % koko ilmamäärästä.* (3, s. 72)

Soodakattilan pohjalta sula ohjataan sularänniä pitkin liuotinsäiliöön. Sula koostuu suurimmaksi osaksi natriumsulfidista ja natriumkarbonaatista. Niiden osuudet ovat Na_2S , 23 % ja Na_2CO_3 , 74 %. Loppuosa sulasta on erilaisia natriumyhdisteitä, kuten natriumsulfaattia, Na_2SO_4 ja natriumhydroksidia, NaOH . *Liuotinsäiliössä sula sekoitetaan heikkoon valkolipeään, jolloin muodostuu viherlipeää.* (3, s. 72) Viherlipeä johdetaan kaustistamoon, jossa sitä käytetään keittokemikaalit sisältävän valkolipeän valmistukseen. (3, s. 72)

Tulipesästä poistuu savukaasuvirtauksen mukana huomattavia määriä lentotuhkaa, eli noin 5- 15 g/m³n, joka on pääasiassa natriumsulfaattia sekä muita natriumyhdisteitä. Tuhka eli suolahiukkaset muodostavat sulassa olomuodossa lämpöpinnoille vaikeasti poistettavia tuhkakerrostumia. Tästä syystä on kattilan tulipesä mitoitettava niin suureksi, että lämpötila tulistinalueella on laskenut riittävän alhaiseksi. Myös savukaasujen happipitoisuus on yksi tekijä muodostuvan tuhkan ominaisuuksissa. Vähäinen happipitoisuus, eli 2 – 3 % tuottaa vielä helposti nuohottavia tuhkakerrostumia, kun puolestaan suuremmat happipitoisuudet saavat aikaan vaikeasti nuohottavia tuhkakerrostumia. On myös todettu, että mustalipeän kuiva-ainepitoisuuden lisäämisen avulla saadaan vähennettyä kattilan likaantumista ja nuohouksen tarvetta. Lentotuhka poistetaan savukaasuista sähkösuodattimien avulla, joista se johdetaan kuljettimia pitkin sekoitussäiliöön ja siitä polttolipeän kanssa takaisin soodakattilaan. (3, s. 72 - 74)

Soodakattilat ovat luonnonkiertokattiloita, sillä tuorehöyryn arvot ovat tyypillisesti 85 baaria ja 480 °C. (3, s. 74) Korkeampia arvoja niin paineen kuin lämpötilan osalta ei yleensä käytetä, sillä muuten vaarana olisi korroosion aiheutuminen putkistoihin. Kattilan tuottamaa höyrymäärää tärkeämpi mitoituslähtökohta on se kuivan mustalipeän määrä vuorokaudessa, jonka kattila pystyy käsittelemään. (3, s. 74)

Soodakattiloissa on tavallisesti pystyputkiset vedenesilämmittimet, joita on usein kaksi. (3, s. 74) Esilämmittimet koostuvat kokoojaputkien väliin asetetuista putkinipuista,

joissa vesi tuodaan kylmimmässä savukaasuvyöhykkeessä olevan esilämmittimen alaosaan. Sieltä vesi virtaa vastavirtaan savukaasuihin nähden lämmönsiirtimien yläosaan. Lämmitetty syöttövesi johdetaan seuraavaksi seuraavan esilämmittimen alaosaan ja niin edelleen. Lämmönsiirtimet sijoitetaan normaalisti siten, että niissä savukaasut virtaavat ylhäältä alaspäin. Kahden vierekkäisen lämmönsiirtimen väliin jätetään ns. tyhjä veto, jossa savukaasut pääsevät kulkemaan ylöspäin. Tällä järjestelyllä lämpöpinnat saadaan pysymään paremmin puhtaina. (3, s. 74)

Soodakattiloissa on höyrylämmitteiset esilämmittimet, joilla saadaan lämmitettyä ilma haluttuun 150 °C:seen. Ilman syötön jakoa kattilaan on pyritty kehittämään siten, että saataisiin tulipesästä karkaavan mustalipeän määrä laskemaan. Yksi yleisimmistä tavoista on suunnata puhallettavat ilmasuihkut toistensa lomaan, jotta saataisiin merkittävästi vähennettyä carry-overia eli tulipesästä karkaavan mustalipeän määrää. Perinteisesti tapana on ollut suunnata ilmasuihkut toisiaan vasten, jolloin ilmavirrat kohtaavat tulipesän keskellä ja saavat aikaan voimakkaan ylöspäin suuntautuvan lipeäpisaroita ylöspäin kuljettavan ilmavirtauksen. (3, s. 74)

Soodakattiloille on tyypillinen ns. verhoputkisto, jonka avulla pyritään suojaamaan tulistinta tulipesän säteilyltä ja samalla myös alentamaan savukaasujen lämpötilaa ennen kun ne saapuvat tulistimeen. Verhoputkisto toimii myös yhtenä osana kattilan höyrystinputkistoa. Soodakattiloille on tyypillistä se, että osa höyrystinputkista sijoitetaan vasta tulistimen jälkeen. Aiemmin konventiohöyrystin sijoitettiin kahden lieriön väliin, jolloin vesi kiersi konventioputkistossa luonnonkierrolla, kuten soodakattila 10:ssä. Kylmemmässä osassa sijaitsevat putket toimivat laskuputkina, kun taas etumaiset putket, jotka kohtaavat kuuman savukaasun, toimivat puolestaan nousuputkina. Nykyään uudemmissa soodakattiloissa on ainoastaan yksi lieriö. (3, s. 74)

3.4 Soodakattila 10

Soodakattila 10 on peruskuormakattila, joka on otettu käyttöön vuonna 1965. Polttoaineteholtaan se on 155 MW. Kattilalla tuotetaan normaaliajossa prosessihöyryä noin 32 kg/s korkeapaineverkkoon. Polttoaineena käytetään mustalipeää vuosittain noin 320000 t, sekä apupolttoaineena kevyttä polttoöljyä noin 1000 t/a. Kattilalla myös poltetaan kaikki tehtaalla syntyvät laimeat hajukaasut. (5)

Kattilassa syntyvät savukaasut puhdistetaan kahdella sähkösuodattimella ja savukaasupesurilla. Puhdistetut savukaasut johdetaan ilmaan kattilasta 81 metriä korkealla savupiipulla. Kattilaa nuohotaan normaaliajossa jatkuvasti ja nuohoussykli toistetaan noin 8 kertaa vuorokauden aikana. (5)

3.5 Soodakattilan savukaasujen käsittely ja päästöt

Kuten muissakin polttoprosesseissa, myös soodakattiloissa syntyy päästöjä ilmaan. Soodakattiloiden päästöt ovat pienentyneet viime vuosikymmeninä paljon kiristyneen ympäristölainsäädännön ja kehittyneen teknologian ansiosta. Soodakattiloiden päästöihin vaikuttavat soodakattilan iän lisäksi tulipesässä vallitsevat poltto-olosuhteet, kuten palamisilman määrä, lämpötila sekä poltettavan mustalipeän kuiva-ainepitoisuus. (6, s. 8)

Merkittävimmät päästöt, joita soodakattilasta aiheutuu, ovat typenoksidit, NO_x ; hiilimonoksidi, CO; rikkidioksidi SO_4 ; haisevat rikkiyhdisteet, TRS sekä pienhiukkaset. Lähitulevaisuudessa suurimman huomion kohteena on pienhiukkasten ja typenoksidipäästöjen vähentäminen. Soodakattilasta aiheutuu myös hiilidioksidipäästöjä, mutta kun mustalipeää pidetään biopolttoaineena, siitä aiheutuneen hiilidioksidin katsotaan sitoutuvan myöhemmin kasvavaan biomassaan. Tästä syystä katsotaankin, että merkittävimmät hiilidioksidipäästöt, joita soodakattila aiheuttaa muodostuvat fossiilisten apupolttoaineiden käytöstä, kuten kevytöljyn poltosta käynnistys- ja kuormapolttimilla. (6, s. 8)

Soodakattiloista aiheutuvia päästöjä pyritään rajoittamaan savukaasujen käsittelylaitteistoilla. Savukaasujen käsittely tapahtuu soodakattilaprosessissa normaalista kahdessa vaiheessa. Ensiksi kattilalta tulevat savukaasut johdetaan sähkösuodattimiin, joissa pyritään ottamaan talteen savukaasujen mukana kulkeutuvat hiukkaset, kuten pöly ja lentotuhka, ja kuljettamaan ne takaisin kattilaan polttolipeän mukana. Kemikaaleja sisältävä lentotuhka pyritään ottamaan talteen, jotta saataisiin pienennettyä kemikaalihäviöitä. (6, s. 8)

Sähkösuodattimien jälkeen savukaasut ohjataan savukaasupesurille, jossa savukaasuista poistetaan sähkösuodattimien läpi kulkeutuneet pölyhiukkaset sekä ns. happamat komponentit, jotka muodostuvat suurimmaksi osaksi erilaisista rikkiyhdisteistä. Erilaiset häiriötilanteet, kuten ylös- ja alasajotilanteet sekä savukaasujen käsittelylait-

teistolle tapahtuneet häiriöt, aiheuttavat huomattavasti suurempia päästöjä verrattuna kattilan normaaliajoon. (6, s. 8 - 9)

Soodakattilan päästöistä erityisesti haiseville rikkiyhdisteille, rikkidioksidille, typenoksidoille ja pienhiukkasille on asetettu ympäristöluvissa tarkat päästörajat. Joissain ympäristöluvissa rikkidioksidi- ja typenoksidipäästöjä tarkastellaan koko sellutehtaasta kokonaisuutena, jolloin on myös otettu meesauunin ja hajukaasujärjestelmän vaikutus huomioon yhteisessä tarkastelussa soodakattilan päästöjen kanssa. Tällöin päästöluvut on yleensä ilmoitettu sellutehtaalle tuotettua kuivaa sellutonnina kohden. (6, s. 8)

3.5.1 Sähkösuodatin

Sähkösuodatin on eniten käytetty kiintoaineen erotuslaite suurissa voimalaitoksissa. Sen käyttö on myös yleistynyt viime aikoina pienemmissäkin voimalaitoksissa. Syitä sähkösuodattimen suosioon ovat sen korkea erotusaste, eli noin 99 % kiinteillä polttoaineilla, huomattavasti alempi öljyllä, pienet kunnossapito- ja käyttökustannukset, luotettavuus, lämpötilankesto, vähäinen huoltovaatimus, ei varsinaista tukkeutumisen vaaraa ja pitkä käyttöikä. (7, s. 59)

Sähkösuodattimen haittapuolina voidaan pitää korkeaa investointikustannusta. Investointikustannukset ovat luokkaa 15000 – 20000 €/MW_{pa} riippuen kattilan koosta. Sähkösuodattimen hinta nousee jyrkästi, kun sen erotuskykyä nostetaan 99,5 %:sta korkeammaksi. Jo esimerkiksi erotuskyvyn nostaminen 99,5 %:sta 99,9 %:iin kiinteällä polttoaineella nostaa sähkösuodattimen hintaa noin 30 %:lla. Tämä johtuu siitä, että sähkösuodattimeen joudutaan lisäämään yksi kenttä lisää. Samalla myös käyttökustannukset luonnollisesti nousevat. (7, s. 60)

Sähkösuodattimessa pölyhiukkaset varataan sähkökentässä, minkä jälkeen ne erottuvat keräyselektrodeille, joilta pöly ravistetaan tai vaihtoehtoisesti huuhdotaan vedellä pois. Pölypitoinen savukaasu johdetaan jänniteyksikköön yhdistettyjen emissioelektrodien ja maadutettujen kokoojalevyjen väliin. Emissioelektrodit varataan negatiivisella tasavirtajännitteellä, joka on prosessista, levyjen ja elektrodien välisestä etäisyydestä riippuen noin 50 - 80 kV. Emissioelektrodeilla syntyy negatiivisten elektrodien irtoamisen aiheuttamana sähkövirtaa, eli syntyy niin sanottu koronapurkaus, jolloin elektronit törmäävät kaasumolekyyleihin, jotka ionisoituvat ja varaavat puolestaan

hiukkaset negatiivisella varauksella. Tällöin hiukkaset sähköisten voimien seurauksena ajautuvat kokoojalevyille, joilta ne aika ajoin levyä ravistamalla pudotetaan suodattimen pohjalla olevaan pölysäiliöön, josta pöly ohjataan kuljettimille ja siitä eteenpäin pudotusputkea pitkin sekoitussäiliöön. (7, s. 60)

Sähkösuodattimen erotusaste on paljolti riippuvainen emissioelektrodeilta irtoavasta sähkövirrasta, koska hiukkasten erottuminen saadaan aikaan kaasuvirrasta sähköisillä voimilla. Tämä ilmaistaan ominaisvirrankulutuksena yksikössä mA/m² eli sähkövirtana kokoojalevypinta-alaa kohti. Nykyaikaisissa sähkösuodattimissa se on yleensä noin 0,3 -0,7 mA/m². (7, s. 60)

Virran suurentamista rajoittaa niin kutsuttu sähköinen ylilyöntiraja. Ylilyönti voi tapahtua joko kokoojalevyjen tai emissioelektrodien välillä tai levyille kasaantuneen hiukkaskerroksen läpi. Kummassakin tapauksessa ylilyöntialttius riippuu käsiteltävän kaasun dielektrisyyslujuudesta, eli kuinka hyvin sähköä savukaasu eristää. Kaasun dielektrisyys on riippuvainen kaasun lämpötilasta koostumuksesta ja hiukkasten ominaisvastuksesta. Sähkösuodattimen toimintaan vaikuttavat myös hiukkasten kokojakauma, agglomeroitumisherkkyys eli hiukkasten yhteen liimautumisherkkyys, kaasun nopeusjakauma ja palamattomien hiukkasten osuus. (7, s. 60)

Sekä käytäntö että teoria ovat osoittaneet, että sähkösuodattimen toiminta paranee, mitä useampi toisistaan sähköisesti eristettyyn järjestelmään se on jaettu. Kullakin järjestelmällä tällöin on oma ohjausyksikkönsä. Tällöin pienemmällä järjestelmällä on pienempi ylilyöntiherkkyys. Myös hiukkaskerrostumien ja ravistusten aiheuttama ylilyöntien määrä sekä niiden vaikutus kokonaiserotusasteeseen tulee olemaan pienempi. Useammassa voimalaitoksissa, kuten sellutehtaan voimalaitoksessa, sähkösuodatin muodostuu kahdesta tai useammasta rinnakkaisesta kammioista. Tällöin kaikkien kammioiden sisääntulo- ja ulosmenokanavat varustetaan sulkupelleillä, jotka ovat kaasutiiviitä. Tämä mahdollistaa yhden kammion huollon sillä aikaa, kun muita kammiota voidaan käyttää. Voimalaitoksen kuitenkin tulee tällöin käydä osateholla, jotta vaadittu erotusaste voidaan säilyttää. (7, s. 61)

3.5.2 Savukaasupesuri

Savukaasupesurissa pestään savukaasu runsasta nestemäärää käyttäen siten, että aineensiirto tapahtuu kaasufaasista nestefaasiin. Samalla savukaasu jäähtyy vesikaste-

pisteen lämpötilaan. Savukaasupesurilla voidaan hiukkasten lisäksi absorboida myös rikkiyhdisteitä ja muita happamia kaasukomponentteja syöttämällä veden lisäksi alkalista kemikaalia. Tällä tavoin saadaan parannettua pesurin käyttötaloutta varsinkin pienissä polttolaitoksissa. (7, s. 63)

Ennen pesuria tuleva savukaasu kostutetaan vedellä, jolloin kaasun tilavuusvirta pienenee ja lämpötila laskee 150 - 200 °C:sta 60 - 70 °C:seen. Savukaasu pestään pesurin alavaiheessa suuttimilla ja pesurin ylävaiheessa on mahdollinen oleva savukaasun vesihöyryn lämmön talteenotto lämpimän veden muodossa. Lämmön talteenotto parantaa savukaasupesurin käyttötaloutta ja mahdollisesti nostaa laitoksen kokonaishyötysuhteen yli 100 %:iin. Tästä syystä pesuri varusteltuna lämmön talteenotolla on varsin houkutteleva ja yleistynyt vaihtoehto erityisesti erittäin märillä puupolttoaineilla, joiden savukaasun vesihöyrynpitoisuus on korkea. (7, s. 63)

Ennen kun savukaasut johdetaan savupiippuun, niistä erotetaan pisarat tehokkailla pisaran erottimilla. Savukaasu voidaan johtaa savupiippuun joko ilman lämmitystä, jolloin puhutaan märkäsavupiipusta tai savukaasut voidaan jälkilämmittää ennen niiden johtamista tavanomaiseen savupiippuun. Savukaasupesurin materiaalina käytetään normaalisti joko haponkestävää terästä tai lujitemuovia. (7, s. 63)

Osa savukaasupesurissa käytetystä pesuliuksesta palautetaan takaisin pesukiertoon. Hiukkasia sisältävän ylimääräisen pesuliuosta tulee käsitellä asianmukaisesti eikä sitä yleensä pystytä hyödyntämään jatkotoimenpiteillä. Tyypillinen pesuveden pisarakoko vesipainehajoitteisissa suuttimissa on noin 0,1 mm ja suutinpaine, jota käytetään, on 2 - 4 baaria. Pesuvesimäärä, jota pesurissa käytetään, riippuu savukaasun lämpötilasta, jolloin pesuvesimääräksi tulee noin 300 – 400 l/min. Tämä vastaa 3 – 4 litraa savukaasukuutiometriä kohti. Savukaasupesurin painehäviö on tyypillisesti noin 15 mbar. (7, s. 63)

Savukaasupesuri ei ole yhtä tehokas hiukkasten erotin kuin sähkösuodatin. Sen erotustehokkuus on tyypillisesti 90 - 95 % kiinteällä polttoaineella. Pesuri irrottaa tehokkaasti savukaasuista isoja ja takertuvia hiukkasia, mutta on melko tehoton pienten alle 1 µm:n hiukkasten erotuksessa sekä suuren hiukkaskuormituksen vallitessa. Tästä syystä savukaasupesuri ei sovellu ilman esierotinta, esim. *syklonia*, paljon tuhkaa sisältäville polttoaineille. (7, s. 63)

Savukaasupesuria käytetään paljon polttolaitoksissa, meesauuneissa, rikkiyhdisteiden ja hajukaasun polttolaitoksissa hiukkasten pesemiseen. Savukaasupesurimalleja on monenlaisia, kuten venturi, spray ja cyclone, ja ne soveltuvat hyvin eri käyttökohteisiin. (7, s. 64)

Kattilalaitoksessa käytetyn savukaasupesurin investointikustannukset lämmön talteenotolla ovat lähes kaksinkertainen verrattuna sähkösuodattimeen eli 30 000 – 40 000 €/MW_{pa} pesurin koosta riippuen. Savukaasupesurin kunnossapito- ja käyttökustannusten arvioidaan olevan noin 0,3 – 0,5 €/MWh_{pa} riippuen kemikaalien kulutuksesta ilman tuhkan loppusijoituksesta aiheutuvia kustannuksia. (7, s. 64)

4 SOODAKATTILOIDEN YMPÄRISTÖLUVAT

Sulfaattisellutehtaat Suomessa tarvitsevat toimintaansa ympäristölupaviranomaisen myöntämän ympäristöluvan. Viime aikoina ympäristölainsäädäntö on tiukentunut niin Suomessa kuin muuallakin maailmalla, jotta saataisiin pienennettyä teollisuudesta ympäristöön pääseviä vaikutuksia. Tästä syystä soodakattiloiden ilmapäästöjen rajoittamiseen kiinnitetään jatkuvasti enemmän huomiota. Päästöjen rajoittaminen asettaa yhä enemmän vaatimuksia vähäpäästöisempien polttotekniikoiden, paremmin käytettyjen ja suunniteltujen prosessien sekä parempien savukaasujen käsittelyjärjestelmien käyttämiselle. Ympäristölupapäätökset on tehty huomioimalla kaikki ympäristövaikutukset, jotka aiheutuvat sellutehtaan toiminnasta, ja päästöjen rajoittaminen perustuu niin kutsuttuun BAT-tekniikoiden mukaiseen periaatteeseen eli parhaaseen käytettävissä olevaan tekniikkaan. (6, s. 10)

4.1 Päästöraja-arvot Suomessa

Suomessa sellutehtaille myönnettyissä ympäristöluvuissa on määritelty päästöraja-arvot niiden toiminasta aiheutuville päästöille. Kaikkein merkittävimmät päästöt, joita soodakattilasta aiheutuu, ovat rikkidioksidi, typenoksidit, pienhiukkaset ja TRS- eli hai-sevat rikkiyhdisteet. Ympäristöluvuissa päästöraja-arvot on ilmoitettu rikkidioksidille ja typenoksideille, joko erikseen laitoksen eri osille tai koko sellutehtaan toiminnasta aiheutuvana, jolloin ne mitataan tuotettua sellutonna kohden. Sellutehtaiden päästöistä suuri osa muodostuu soodakattilan lipeän polton yhteydessä sekä apupolttoaineiden polton yhteydessä. (6, s. 10)

Taulukko 1. Ympäristöluvissa määrättyt päästörajat eräille soodakattilalaitoksille (6, s. 11)

Tehdas	SO₂	NO₂	TRS	Hiukkaset	
	mg/m ³ (n)	mg/m ³ (n)	mg/m ³ (n)	mg/m ³ (n)	
Äänekoski	100	350	10	150*	*(50 puhdistuslaitte uudistettaessa)
Sunila					
soodakattila 10			10	100*	*(50 1.1.2009) ¹
soodakattila 11			10	90*	*(50 1.1.2009) ¹
Joutseno		300	10	50	
Kemi				50	
Varkaus			10	125	
Pietarsaari	100	200	10	50	
Kuusankoski					
soodakattila 1			10	100*	*(50 1.1.2009)
soodakattila 2			10	100*	*(50 1.1.2009)
Uimaharju		400	10	50	
Lappeenranta		400	10	50	
Rauma	100	250	10	50	
Imatra					
soodakattila 5			10	50	
soodakattila 6			10	50	
Oulu				100*	*(70 1.1.2008, 50 1.1.2010)

¹ Sunilan soodakattiloiden 50 mg/m³ hiukkaspäästöraja-arvot tulevat voimaan 2015

Taulukossa 1 esitetyt prosessin TRS eli haisevien rikkiyhdisteiden päästöraja-arvot on ilmoitettu kuivissa savukaasuissa 6 %:n happipitoisuudessa ja hiukkaspäästöraja-arvot kuukausikeskiarvoina. (6, s. 11)

Soodakattilalaitoksille on asetettu päästöraja-arvojen lisäksi myös muita päästöjä koskevia lupaehtoja. Näihin kuuluu esimerkiksi haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) päästöjen vähentämistoimien tehostus, jonka avulla tehtaasta johtuvia hajuhaittoja esiintyisi mahdollisimman harvoin ja ne olisivat lyhytaikaisia. Myös soodakattilan ja sulanliuottajan poistokaasun pelkistyneiden TRS- rikkiyhdisteiden pitoisuus rikiksi laskettuna saa olla enintään 10 mg S/m³(n) vuorokaudessa kuivassa kaasussa, 6 %:n happipitoisuudessa. (6, s. 12)

Sellutehtaiden lupamääräysten tarkistamishakemuksen yhteydessä tulee esittää selvitys, jolla kuvataan typenoksidipäästötason tavoitearvon toteutumista. Jos tavoitearvioon ei päästä, luvan haltijan on esitettävä teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoinen suunnitelma, joka sisältää aikataulun sekä kustannusarviot tavoitearvioon pääsemiseksi. Ympäristöluvista annetut päästöraja-arvot eivät koske sellutehtaalla tapahtuneita häiriötilanteita, kuten alas- ja ylösajoja, paitsi savukaasujen käsittelylaitteistoissa tapahtuneissa häiriötilanteissa ja muissa ilmanpäästöihin vaikuttavissa häiriöissä. Häiriöiden sattuessa on erikseen määritelty ympäristöluvista niille suurin sallittu kesto aika. (6, s. 12)

Ympäristöluvista on määritelty eri ilmapäästöjen suuruuden määrittämiseksi tarvittavat toimenpiteet, eli vaatiiko ilmapäästöjen tason määrittäminen jatkuvatoimisia mittauksia vai riittävätkö kertaluonteiset savukaasumittaukset. Mittausten pohjalta todetaan lupaehdot täytetyksi, jos saadut tulokset kaasukomponenttien pitoisuuksista eivät ylitä lupa-arvoja. (6, s. 12 - 13)

4.2 Sunilan sellutehtaan toteutuneet päästöarvot (sk10:llä)

Soodakattila 10:ltä mitattiin savukaasujen päästöt 20.6.2011. Päästömittauksen suorittivat Kymenlaakson ammattikorkeakoulun päästömittaajat. Mittausten tarkoituksena oli selvittää tarkemmin päästöjen arvot ja niiden koostumus. Soodakattila 10:n tuotanto päästömittausten aikana oli keskimäärin 843 t/h. (8)

Taulukko 2. SK10:n O₂- ja CO₂ mittaustulokset (8, s. 4)

O ₂	O ₂	CO ₂	CO ₂
%	Epävarmuus (tulokset vakio-osa)	%	Epävarmuus (tulokset vakio-osa)
7,6	± 0,2 %	11,5	± 0,2 %

Pitoisuudet kuivissa kaasuissa

Taulukko 3. SK10:n mittauksista lasketut tulokset (8, s. 4)

Komponentti	mg/m ³ (n)		mg/m ³ (n) reduoitu O ₂ = 6 %	
		Epävarmuus		Epävarmuus
CO	1143	± 10 %	1281	± 10 %
NO_x	98	± 10 %	110	± 10 %
SO₂	5,3	± 20 %	5,9	± 20 %
TRS	1,2	± 20 %	1,3	± 20 %
Hiukkaset	78	± 20 %	87	± 20 %

Kaikki pitoisuudet kuivissa kaasuissa

5 BAT- TEKNIKOIDEN MUKAISET PÄÄSTÖT SOODAKATTILOISTA

Ilmapäästöjen minimoimiseksi soodakattilalaitoksilla pyritään käyttämään BAT-tekniikoiden mukaisia savukaasujen käsittelylaitteita sekä muita tapoja, joiden avulla pyritään ehkäisemään ilmapäästöjen aiheutumista. BAT-tekniikalla eli **Best available techniques** tarkoitetaan parhaimman käytettävissä olevan tekniikan tai tekniikoiden käyttämistä päästöjen vähentämiseen. Ympäristölupien päästöraja-arvot perustuvat BAT-tekniikoiden mukaisiin päästöihin, mikä tarkoittaa päästöraja-arvojen pysymistä tasolla, johon kullakin laitoksella on mahdollista päästä teknillisin ja taloudellisin keinoin. (6, s. 14)

Koska eri sellutehtaat ja soodakattilat eroavat toisistaan iän ja suunnittelun osalta, on BAT-tekniikoiden mukaiset yleiset päästöraja-arvot ja menetelmät, joiden avulla ne saavutetaan vaikea määrittää. BAT-tekniikoiden mukaisten päästöjen vähentäminen voidaan tehdä toteuttaa monilla eri tavoilla, jolloin käytettävät menetelmät valitaan tehdaskohtaisesti. (6, s. 14 - 15)

Euroopan komissio on määritellyt soodakattiloiden rikkidioksidi-, typenoksidi- ja TRS- päästöille ja hiukkasille BAT-tekniikoiden avulla saavutettavissa olevat päästö-määrät. Seuraavaksi on esitetty erilaisille päästöille päästöarvoja ja BAT-tekniikoiksi luokiteltavia menetelmiä, joilla voidaan saavuttaa halutut päästöjen vähennykset. (6, s. 15)

5.1 Rikkidioksidit

Haihduuttamolta tulevan mustalipeän polttoon soodakattilassa, pyritään kuiva-ainepitoisuutta nostamalla saavuttamaan suurempi höyryntuotanto. Mustalipeän kuiva-ainepitoisuudella on myös suurta vaikutusta kattilasta aiheutuviin rikkipäästöihin. Nostamalla mustalipeän kuiva-ainepitoisuutta esimerkiksi 65 - 67 %:sta 74 - 76 %:iin on rikkipäästöjä mahdollista pienentää jopa 80 %. Rikkidioksidipäästöjä voidaan pienentää myös savukaasupesurilla, jonka pH on 6 - 7. Savukaasupesurin pH:ta säädel-lään natriumhydroksidilla eli NaOH:lla tai vastaavasti heikkovalkolipeällä, jotta savu-kaasupesuri saataisiin poistamaan tehokkaasti rikkidioksidia. Korkeammilla pH-arvoilla savukaasujen hiilidioksidi absorboituisi ja neutraloisi emäksisen kemikaalin. Rikkidioksidista pystytään poistamaan yli 90 % savukaasujen sisältämästä rikkidiok-sidista. (6, s. 15 - 16)

5.2 Typenoksidit

Soodakattiloista aiheutuvien typpioksidipäästöjen suuruus riippuu pitkälti kattilassa poltettavan mustalipeän typpipitoisuudesta sekä ylijäämähapesta kattilan tulipesässä. Soodakattiloiden typenoksidipäästöt ovat varsin pieniä johtuen happipitoisuudesta kat-tilan tulipesässä, koska kemikaalien pelkistyminen ei vaadi suuria happimääriä tuli-pesään. Esimerkiksi ylijäämähapen pitoisuuden nousu soodakattilassa 1,5 %:sta 2,5:iin voi nostaa typenoksidien määrää jopa 20 %:lla. Myös mustalipeän kuiva-ainepitoisuuden nostaminen 65 %:sta 75 %:iin voi nostaa typenoksidipäästöjä 20 %. Typpipitoisuus vaihtelee paljon sellutehtaalla käytettävän puulaadun mukaan. Kuvia

puulaatuja käytävillä sellutehtailla, mustalipeästä saattaa muodostua 10 % suuremmat tyypipitoisuudet kuin pehmeitä puulaatuja käytävillä sellutehtailla. (6, s. 17)

Typenoksidipäästöjen vähentäminen onnistuu muokkaamalla soodakattilan palamisilmajärjestelmää optimaalisten poltto-olosuhteiden saamiseksi. Typenoksidipäästöjä voidaan myös vähentää soodakattilan kuorma- ja käynnistyspolttimien suunnittelulla sekä käyttämällä ns. low-NO_x-tekniikkaa. (6, s. 17)

5.3 Hiukkaset

Soodakattilassa muodostuvista hiukkas- ja pölypäästöistä suurin osa on natriumsulfaattia. Soodakattiloiden hiukkaspäästöjä pyritään rajoittamaan sähkösuotimilla, jotka poistavat suuremman osan savukaasujen hiukkasista. Osa muodostuneista hiukkasista poistetaan sähkösuotimien jälkeen tulevassa savukaasupesurissa, jolloin osa savukaasuihin jääneistä hiukkasista saadaan pois. Soodakattiloiden hiukkaspäästöille on mahdollista saavuttaa BAT-tekniikalla luokkaa 0,2 - 0,5 kg/ADt tai 30 - 50 mg/Nm³ hiukkaspäästöt. (6, s. 18)

Savukaasujen pöly muodostuu toisistaan selvästi eroavista jakeista eli carry-over-hiukkasista ja tulipesästä höyrystyneistä ja myöhemmin tiivistyneistä partikkeleista. Carry-over-hiukkaset muodostuvat tulipesästä karanneiden lipeäpisaroitten jäännöksistä. (9, s. 549 - 550)

Carry-over-hiukkaset ovat selvästi karkeampia verrattuna tulipesästä tiivistyneeseen pölyyn. Eroa koossa on usein kymmeniä tai satoja mikrometrejä. Kuten on edellä mainittu, carry-over-hiukkaset ovat peräisin karanneista lipeäpisaroista, joten niiden koostumus on pitkälti samanlainen kuin sulan koostumus. Pääkomponenttina on natriumkarbonaatti, mutta usein pölystä löytyy myös sulfidia. Pääosa pölyssä olevasta rikistä on sulfaattimuodossa. (9, s. 550)

Tiivistynyt pöly on puolestaan varsin hienojakoista, eli tyypillisesti 0,5 – 1 mikrometrin kokoisina hiukkasina. Sen koostumus on selvästi erilainen verrattuna carry-over-hiukkaseen, eli se koostuu pääasiassa natriumsulfaatista. (9, s. 550 - 551)

Kerrostumat, jotka kerääntyvät soodakattilan tulipinnoille, ovat näiden kahden pölykomponenttien seoksia. Carry-over-hiukkaset muodostavat pääosin tulistimiin jäävän

pölykerrostuman, kun taas tiivistynyttä pölyä on pääosin savukaasukanavan loppupäästä löytyvä pöly. Voidaankin tulkita, että carry-over-pöly erottuu varsin tehokkaasti savukaasuista ennen sähkösuodatinta. (9, s. 551 - 552)

Pölyn tarttuminen eri pinnoille on suoraan verrannollista pölyn sulamiskäyttäytymiseen. Pölyn ollessa osittain sulassa tilassa se tarttuu helposti kattilan lämmönvaihtopinnoille muodostaen kovan ja tiukasti pysyvän kerrostuman. Kokonaan kiinteytynyt pöly puolestaan ei aiheuta kovia kerrostumia pinnoille. Pölyn sulamiskäyttäytymiseen vaikuttaa myös selvästi niin sanotuiden vieraiden aineiden läsnäolo. Eniten pölyssä olevia vieraita aineita ovat kloori ja kalium. Kloori on peräisin usein merivesiuutetuista raaka-aineista tai valkaistamon jätevesivirroista. Kaliumia puolestaan sekoittuu pölyyn lipeän valmistukseen käytetystä puusta, jossa kalium on luonnollinen mineraaliaine. Koska kemikaalikierrossa pyritään säästämään yhä tehokkaammin keittokemikaaleja, aiheutuu siitä helposti vieraiden aineiden pitoisuuden kohoaminen lipeässä. Näin ollen kaliumin ja kloorin pitoisuudet saattavat vaihdella suuresti lipeässä eri prosessien välillä. (9, s. 552)

Kalium ja kloori esiintyvät kattilan tulipesän alaosassa lähes ainoastaan klorideina, eli **NaCl**- ja **KCl**-muodoissa. Molempien yhdisteiden höyrynpaine on huomattavasti korkeampi kuin muiden natriumyhdisteiden, minkä vuoksi sekä kalium että kloori rikastuvat tulipesässä kaasumaiseen olomuotoon. Kalium ja kloori laskevat merkittävästi hiukkaspölyn sulamisaluetta, jolloin pöly tarttuu kattilan pinnoille helposti. Kun pölyn tarttumislämpötila on yli 700 °C, on pölyssä kalium- ja natriumpitoisuudet vain yhden tai kahden prosentin luokkaa. Tällainen pöly ei aiheuta juurikaan ongelmia tulistinvyöhykkeen jälkeen, ja kattilan jälkipinnat voidaankin pitää varsin tehokkaasti puhtaina. Puolestaan jos kloori- ja kaliumtasot ovat nousseet niin voimakkaasti, että pölyn tarttumislämpötila on laskenut alle 600 °C:seen, se aiheuttaa selkeitä ongelmia niin kattilan keittopinnoille kuin myös primääritulistimessa. (9, s. 552 - 553)

Puolestaan hyvin alhaiseksi muuttunut pölyn sulamisalue saattaa aiheuttaa voimakasta korroosiota tulistinalueen kuumissa putkissa. Soodakattiloissa tulistetun höyryn maksimilämpötila on usein 480 °C, jolloin materiaalilämpötilat voivat olla kuumimmillaan 510 – 530 °C. Korroosio tulistinputkissa muuttuu erityisen nopeaksi silloin, kun putkiston pintalämpötila ylittää pölykerrostuman tarttumislämpötilan tai pölyn ensimmäisen sulamispisteen. Tällöin tulistinputki on suorassa kosketuksessa pölykerrostuman

sulan faasin kanssa, jolloin putken metallipintaa suojaava oksidikerros liukenee, ja siitä seuraa nopeasti etenevä syöpymisreaktio. Tällainen reaktio voi pakottaa alentamaan tulistetun höyryn lämpötiloja prosesseissa, joissa on poikkeuksellisen alhainen pölyn tarttumislämpötila. (9, s. 553)

5.4 TRS- eli haisevat rikkiyhdisteet

Haisevia rikkiyhdisteitä muodostuu sellutehtaan kaikissa osaprosesseissa, joissa lipeää käsitellään. Sellutehtaalla muodostuvat haisevat rikkikaasut jaetaan joko vahvoin tai hiekkoihin hajukaasuihin. Laimeita hajukaasuja voidaan polttaa soodakattiloissa (6, s. 18), kuten on tehty SK 10:llä.

Haisevia rikkikaasuja tulee kerätä tehokkaasti talteen ja hajukaasut tulee käsitellä savukaasupesureilla. Yleisin tapa on polttaa haisevat rikkikaasut erillisillä hajukaasukattiloilla tai polttimilla. (6, s. 18) Sunilan sellutehtaalla väkevät hajukaasut poltetaan hajukaasukattilalla.

6 PÖLYPÄÄSTÖT, NIIDEN MITTAAMINEN JA ANALYSOINTI

Savukaasumittaukset ovat keskeisimpiä voimalaitosmittauksista. Niiden avulla pystytään säätämään kattilan palamisprosessia, seuraamaan savukaasun puhdistuslaitteiden kuntoa ja lisäämään tarvittaessa kattilan hyötysuhdetta. Muodostuneisiin savukaasumääriin pystytään parhaiten vaikuttamaan palamisilman ylimäärällä eli jäännöshapelilla. Mittaustuloksia pyritään käyttämään myös ilmanlaadun tarkkailuun ja päästöjen levinneisyyteen ympäristössä. (10)

Muodostuviin pölypäästöihin vaikuttaa ensisijaisesti kattilan tulipesän lämpötila. Mitä korkeampi on poltettavan lipeän kuiva-ainepitoisuus ja sitä myötä tulipesän lämpötila, pölypäästöjä muodostuu enemmän. Pölypäästöihin vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kahteen kategoriaan eli primäärisiin ja sekundäärisiin keinoihin. Primäärisinä keinoina voidaan pitää kaikkia polttoteknisiä keinoja, kuten lipeän ruiskutuslämpötilaa, suuttimien asentoa ja palamisilmojen määrän eri säätöjä. Sekundäärisinä keinoina pidetään pölynpuhdistuslaitteiden, kuten sähkösuodattimien toimintaan liittyvien tekijöiden hienosäätöjä. Ensisijaisesti pyritään aina vähentämään päästöjä polttoteknisin keinoin, sillä sekundääristen keinojen tehostaminen on usein hyvin kallista. (11, 12)

Sunilan sellutehtaan soodakattila 10:llä otettiin käyttöön jatkuvat pölymittaukset vuoden 2010 seisokin yhteydessä. Syyt jatkuvaan pölymittaukseen johtuivat vuonna 2015 tiukentuvista ympäristöluvista, jolloin soodakattila 10:ltä vaaditaan normaaliajossa alle $50 \text{ mg/m}^3(\text{n})$ pölypäästö keskiarvona. Aikaisemmin soodakattila 10:ltä mitattiin keran vuodessa pölypäästöt, jolloin tulokset jäivät vain suuntaa antaviksi. (11)

Haaste SK 10:n savukaasunpuhdistuslaitteilla on erityisesti kattilan suuri virtausnopeus muodostuneilla savukaasuilla. Myös SK 10:n savukaasukanavat sähkösuodattimien jälkeen ovat eripituisia ja savukaasupuhaltimet erilaisia, jolloin savukaasupuhaltimien tasapainotila on määritettävä jokaiselle kuormapisteelle erikseen. (11)

6.1 Pölypäästöjen muodostus

Pisarakoko

Pölypäästöihin vaikuttaa selvästi ruiskutettavan polttoliipeän pisarakoko. Normaalisti pisarakoko on muutaman millimetrin, eli pisarat pyritään jättämään varsin suurikokoiseksi. Tällä tavoin pyritään siihen, että muodostuneet pisarat putoavat kattilan pohjalle ja samalla kuivuvat matkalla. Itse palamisreaktio tapahtuisi näin ollen vasta tulipesän pohjan läheisyydessä ja pohjalle muodostuneen keon pinnalla. Toisaalta tarpeeksi suurella pisaran koolla pyritään minimoimaan tulipesän yläosiin karkaavien carry-over-pisaroiden määrää. Samalla on myös tärkeä saada tulipesän pohjalle riittävästi palamantonta lipeäkoksia, jota tarvitaan keossa tapahtuvaan pelkistymisreaktioon. Tämä saavutetaan myös riittävän suurella pisarakoolla. (9, s. 530)

Jos pisarakoko puolestaan on liian suuri, keon pinnalla oleva koksi ei ehdi reagoida samassa tahdissa, kuin uutta koksia tulee keon pinnalle. Tällöin keko alkaa kasvaa korkeutta. Liian isot pisarat eivät myös ehdi kuivua riittävästi saavuttaessaan keon, jolloin keko alkaa jäähtyä ja hidastaa palamisreaktiota sekä samalla kasvamaan. (9, s. 530)

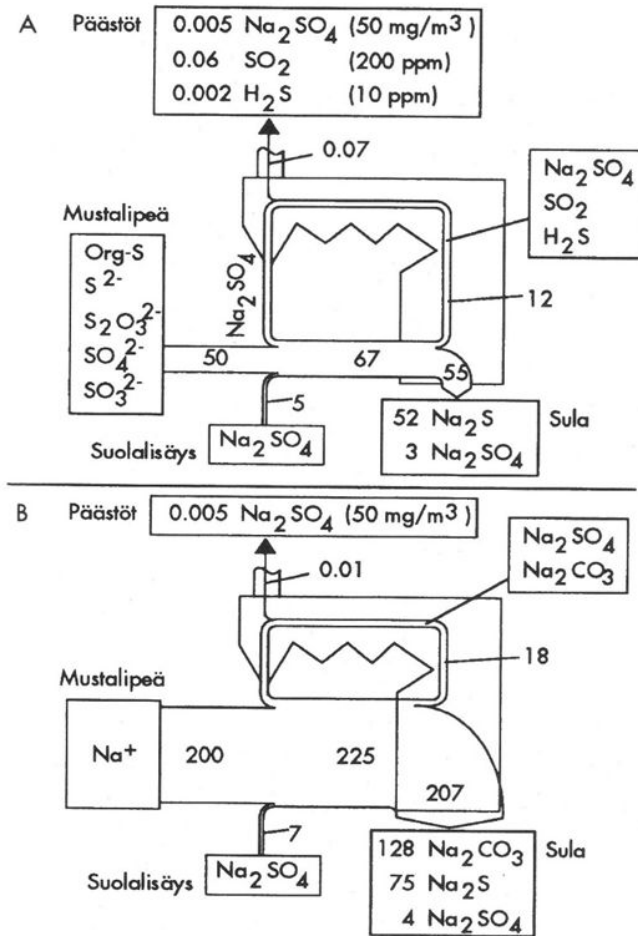
Polttavan liipeän pisarakokoa säädetään soodakattilassa lipeäsuuttimien lukumäärällä ja niiden halkaisijalla. Pisarakoon hienosäätö puolestaan tapahtuu liipeän ruiskutuslämpötilan säätämällä ja sitä kautta viskositeettia muuttamalla. (9, s. 530 - 531)

Lisäpiirteen mustalipeän ruiskutukseen tuo se, että usein lipeä esilämmitetään ennen suuttimia yli lipeän kiehumispisteen, jolloin lipeävirtaan muodostuu höyrykuplia jo ennen kuin lipeä ruiskuaa suuttimesta. Tällöin höyrykuplien ansioista lipeän ruiskutuspaine hetkellisesti nousee ja virtaus kiihtyy juuri ennen suuttimen päätä, jolloin suuttimen lusikkaosaan osuessaan levittyä suuremmalle alueelle ja muodostaa pienempiä pisaroita verrattuna ei esilämmitettyyn lipeään. Tätä tapahtumaa kutsutaan flash-reaktioksi. (9, s. 532; 13)

Tulipesä

Soodakattilan tulipesän alaosa ja pohjan keko ovat koko prosessin kannalta ratkaisevia. Olosuhteet tulipesän alaosassa ratkaisevat kuinka prosessin talteenotto onnistuu, eli miten rikin ja natriumin ainevirrat jakaantuvat. Olosuhteisiin vaikuttavat etenkin, missä suhteissa palamisilmaa syötetään ja miten lipeää ruiskutetaan kattilaan. Selvää on myös se, että myös lipeän ominaisuudet ja varsinkin lipeän kuiva-ainepitoisuus vaikuttavat tulipesässä vallitseviin olosuhteisiin. (9, s. 542)

Soodakattilan kemian kannalta erittäin hyödyllinen parametri on lipeässä olevan kokonaisrikin ja natriumin moolisuhde eli S/Na_2 . Täydellisessä soodakattilaprosessissa kaikki moninaiset rikki- ja natriumyhdisteet siirtyisivät kattilasta pohjasulan mukana natriumsulfidiksi (Na_2S) ja natriumkarbonaatiksi (Na_2CO_3) muuttuneina. (9, s. 540) Todellisessa prosessissa tilanne on selvästi mutkikkaampi, kuten kuvasta 2 voidaan päätellä. Kuvasta selviää erot verrattuna edellä mainittuun täydelliseen prosessiin. Kuvassa olevat luvut näyttävät rikin ja natriumin virtoja kilogrammoina jokaista kattilaan syötettyä lipeän kuiva-ainetonna kohti.



Kuva 2. Rikin ja natriumin virrat soodakattilaprosessissa (14, s. 464)

Suuri osa palamisreaktiossa muodostuneesta rikistä ja natriumista kulkeutuu savukaasun mukana kattilasta savukaasukanavaan rikkipitoisina kaasuina ja suolamaisena natriumsulfaattipölynä. Nämä savukaasuihin sekoittuvat yhdisteet ovat osallisena moniin soodakattilan savukaasupuolen ongelmiin, erityisesti putkistojen korroosioon ja eri pintojen likaantumiseen. Suuri osa natriumsulfaattipölystä saadaan erotettua savukaasujen käsittelylaitteistoilla, kuten sähkösuotimella. Erotetuksi saatu pöly johdetaan takaisin kattilaan sekoittamalla se kattilassa poltettavaan lipeään. Vain pieni osa natrium- ja rikkiyhdisteistä pääsee savukaasujen mukana poistumaan prosessista päästöinä. (9, s. 540 - 541)

Rikki- ja natriumyhdisteiden pääsyä tulipesän alaosaan savukaasuvirtaan säätelee erityisesti tulipesän lämpötila. Lämpötilan merkitys rikki-natriumkemiassa on selvä. Mitä lämpimämpi on tulipesä, sitä enemmän sieltä vapautuu natriumia ja näin ollen

muodostuu enemmän pölyä. Tällöin natrium sitoo vapautunutta rikkiä, jolloin rikkiyhdisteitä pääsee vähemmän savukaasuihin. Puolestaan jos lipeän lämpöarvo on heikko sitä poltettaessa kattilassa, tulipesän lämpötila laskee ja tulipesästä muodostuu enemmän rikkiyhdisteitä savukaasuihin. Puolestaan tällöin natriumia muodostuu vähemmän. Yksi vaikuttava tekijä S/Na_2 - suhteessa on myös poltettavan lipeän sulfiditeetti. (9, s. 544)

Tulipesän alaosassa esiintyy paljon ali-ilmaisesta poltosta tyypillisiä kaasuja, kuten hiilimonoksidia (CO), hiilidioksidia (CO_2), typpeä (N_2), vetyä (H_2) ja vettä (H_2O). Kaasutilassa rikki esiintyy sekä rikkivetynä että karbonyylisulfidina (COS) ja suuremmilla ilmakertoimilla myös rikkidioksidina. Kaasumaisista natriumyhdisteistä tärkeämpiä ovat metallinen natriumhöyry (Na) ja natriumhydroksidi ($NaOH$). (9, s. 543)

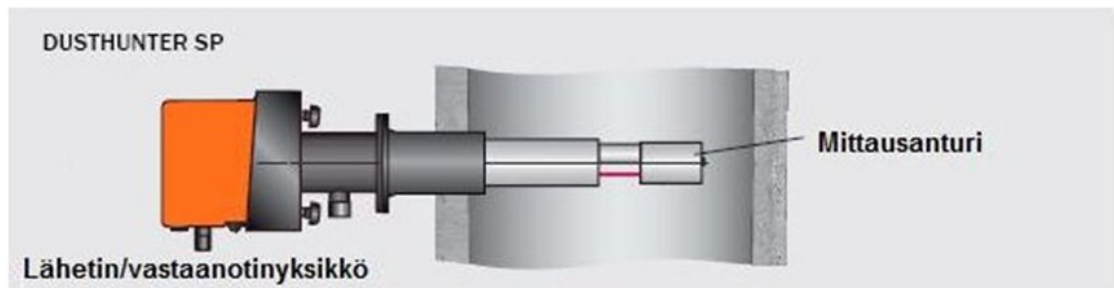
6.2 Pölypäästöjen mittauslaitteisto

Sunilan sellutehtaan soodakattila 10:llä käytetään pölyn mittaamiseen Sick Mahiakin mittalaitteita. Sekä pölyn määrän mittaukset että virtausmittaukset on sijoitettu kummankin sähkösuodatinlohkon jälkeiseen savukaasukanavaan. Myös savukaasupesurin jälkeen eli savupiippuun on asennettu pölymittaus. Varsinkin savukaasupesurin jälkeinen pölynmäärän mittauslaite on osoittautunut olevan erittäin tarkka.



Kuva 3. Pölyn määrän mittari SP100 sähkösuodatin 7:n jälkeen

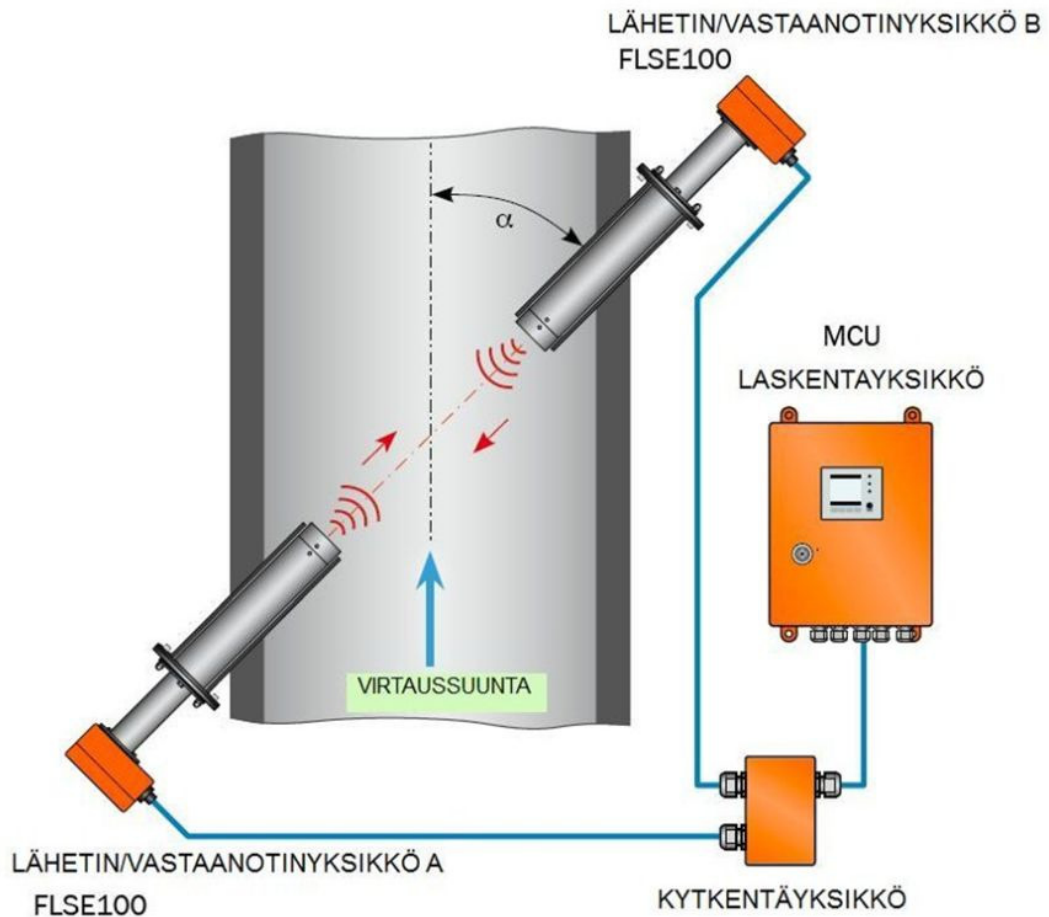
Sähkösuodattimien jälkeisissä savukaasukanavissa käytetään Sick Dusthunter SP100 -tyyppistä (Kuva 4) pölynmäärän mittauslaitetta. Mittalaitteen toiminta perustuu valon sirontaan, eli sen laservalo suunnataan sähkösuodattimelta tulevan kaasuvirtauksen läpi, jolloin sironnut valo mitataan ilmaisimen avulla. Lähetetyn laservalon säteen ja vastaanottimen välinen leikkauspiste kertoo savukaasussa olevien partikkelien koon. Mitatun valon intensiteetti on suoraan verrannollinen pölypitoisuuteen. (15)



Kuva 4. Sick Dusthunter SP100 (16)

SP100 on suunniteltu pienille ja keskisuurille pölypitoisuuksille. Se pystyy lukemaan 0 – 220 mg/m³ olevia pölypitoisuuksia ja laitteen mittatarkkuus on $\pm 2\%$. Tarvittaessa se myös pystyy lukemaan hieman mittausalueen yli meneviä pölypitoisuuksia. Mittalaitteen varren pituus on 735 mm ja sen mittausalueen pituus on n. 50 mm. SP 100:t on kiinnitetty kohtisuoraan laippaliitoksella savukaasukanaviin, sähkösuodatin 7:lla savukaasupuhaltimelle menevään savukaasukanavaan ja sähkösuodatin 8:lla suodattimen peräosaan. (15)

Soodakattila 10:n savukaasukanaviin on myös asennettu savukaasujen määrän mittauslaitteisto, jotta voitaisiin määrittellä tarkasti, kuinka paljon savukaasua liikkuu savukaasukanavissa. Nämä laitteet ovat myös Sick Mahiakin mittauslaitteita ja tyyppiltään Flowsic 100 (Kuva 5).

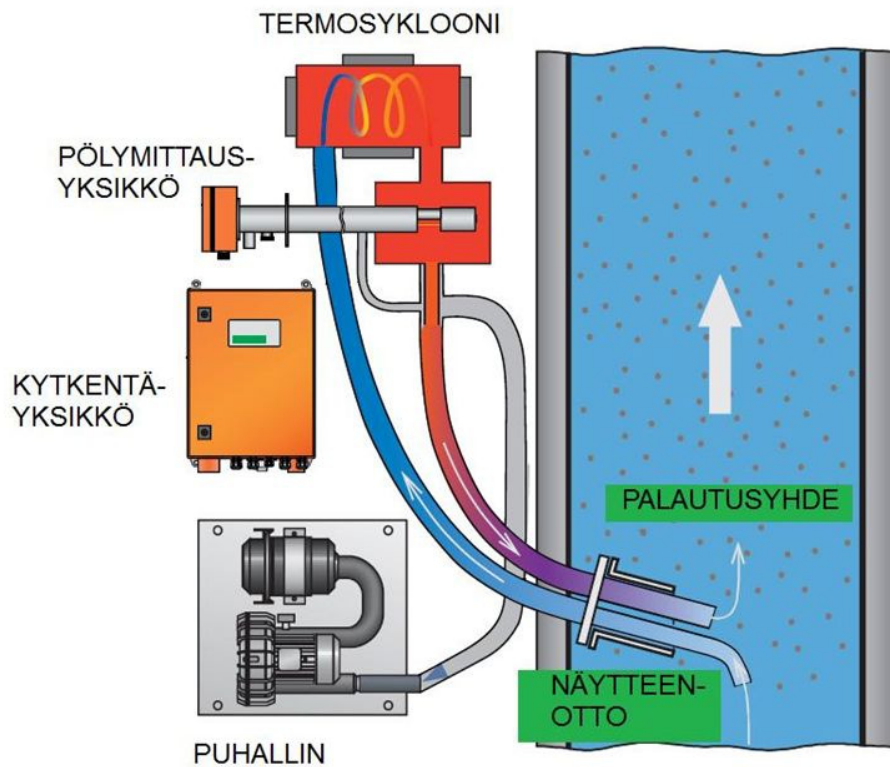


Kuva 5. Flowsic 100:n toimintaperiaate (17, s. 3)

Savukaasujen määrän mittauslaitteisto Flowsic 100 koostuu kahdesta virtausanturista eli lähetin-vastaanotinyksiköstä sekä MCU:sta (multi control unit) ohjausyksiköstä. Virtausanturit asennetaan laippaliitoksella savukaasukanavaan n. 45° kulmaan savukaasun virtaukseen nähden ja kohtisuorasti toisiaan nähden. Asennuspaikat määrääntureille ovat pölymäärän mittauslaitteiden vieressä kummankin sähkösuodattimen jälkeen. Itse mittalaitteen toiminta perustuu ultraäänen kulku-aikaan anturista toiseen savukaasukanavan sisällä, ja mittaustulokset siirtyvät MCU:hun laskettavaksi. Flowsic 100:ssa ei ole liikkuvia eikä tunkeutuvia osia. Näin ollen mittauslaite on varsin helposti huolettavissa ja luotettava toiminnaltaan. Mitta-alueeltaan Flowsic 100:lla pystytään mittaamaan 0 ± 40 m/s savukaasun virtausnopeuksia ja mittatarkkuus on $\pm 0,1$ m/s. Mittauslaite pystyy myös mittaamaan aina $+ 450$ °C:n savukaasuja. Laite soveltuu sekä märkien että kuivien savukaasujen mittaamiseen. (18, 19)

Savukaasupesurin jälkeen savupiippuun on asennettu pölyn määrän mittauslaitteisto, joka on tarkoitettu erityisesti kosteille savukaasuille. Pölyn määrän mittauslaitteisto on Sick Mahiakin FWE200 (Kuva 6), jonka toiminta perustuu valon sirontaan samalla

lailla kuin SP 100:kin. Erona on se, että toisin kuin SP100, joka mittaa näytteen suoraan savukaasukanavasta, FWE200 ottaa näytteen savupiipusta. Savukaasu lämmitetään piipussa kahdessa eri lämmityskammiossa, ensimmäisessä 130 °C:seen ja toisessa 200 - 220 °C:seen, ennen kuin FWE200 ottaa näytteen siitä. Lämmityskammiota käytetään siksi, että saataisiin savukaasu kastepisteen yläpuolelle. Näin pölymäärien mittaaminen helpottuu. FWE200:ssa savukaasu lämmitetään uudelleen ja mittauksen jälkeen savukaasunäyte palautuu takaisin savupiippuun. (20)



Kuva 6. FWE200:n toimintaperiaate (20, s. 3)

Toisena erona SP100:aan voidaan pitää FWE200:n mittausaluetta, joka on 0 - 200 mg/m³ ja mittatarkkuus on ± 2 %. Näin ollen sillä saadaan tarkasti mitattua, kuinka paljon pölypäästöjä soodakattilasta muodostuu ympäristöön savukaasujen käsittelylaitteiden jälkeen. (20)

Hiukkaspäästöjä mittaavien mittalaitteiden antamien tietojen luotettavuus on ollut hieman kyseenalaista, sillä tulokset ovat olleet aika ajoin liian alhaisia. Kun on tehty vertausmittauksia Kymenlaakson ammattikorkeakoulun tekemien hiukkas- ja savukaasun virtausmittauksen kanssa, on todettu että sekä hiukkasmittaus, virtausmittaus

että savukaasupesurin jälkeinen pölyn määrän mittaus näyttävät vertailumittauksiin nähden alhaisempia tuloksia. Tämän vuoksi kyseisille mittauksille on annettu korjauskertoimia, joiden avulla ne saataisiin näyttämään tarkempia arvoja. Osasyyn alhaisempien lukemien saamiseen kiinteiltä mittalaitteilta on myös jatkuva antureiden likaantuminen.

Jokaisessa pölyn mittauslaitteessa on niin sanottu maintenance-valo, jonka syttyminen ilmaisee mittarimiehelle, että anturi on puhdistuksen tarpeessa. Tämän lisäksi mittarimies tarkistaa joka arkipäivä yleisen kierroksen ohessa mittalaitteiden antureiden ja niihin liittyvien linjojen puhtauden.

On todettu, että varsinkin virtausmittalaitteen anturit keräävät suolaa päällensä, ja näin ollen mittauspää niin sanotusti paakkuuntuu. Tämä on erityisesti ongelmana sähkösuodatin 8:n jälkeisessä virtausmittauksessa. Asiaa on pyritty korjaamaan asentamalla antureiden eteen peltejä, jotka aikaansaavat pyörteitä ja näin ollen edistävät antureiden pysymistä puhtaina. Myös on ollut puhetta niin sanotuista lisäilmasuuttimista, joiden avulla ilmaa puhallettaisiin mittalaitteiden antureihin, mikä estäisi niitä likaantumasta.

6.3 Savcor Wedge -prosessianalyysijärjestelmä

Työssä tehdyt mittaukset ja analysoinnit tapahtuivat Savcorin Wedge- prosessianalyysijärjestelmällä. Kaikki kuvaajat, joita työhön on liitetty, ovat myös Wedgestä kopioituja.

Wedge on prosessidatan ja prosessissa tapahtuvien vaihteluiden seurantaan ja analysointiin tarkoitettu ohjelmistotyökalu. Ohjelman käytöllä pyritään parantamaan tuotannon tehokkuutta ja vähentämään lopputuotteen laatuvaihtelua. Wedgeä käytetään yleisesti Euroopan paperiteollisuudessa. (21)

Wedgen avulla tuotantoinsinöörit ja operaattorit voivat seurata ja analysoida matemaattisin työkaluin prosessissa tapahtuvia muutoksia. Wedgessä käytettyjen menetelmien kehittämisessä on yhdistetty matemaatikkojen ja prosessiasiantuntijoiden osaaminen. Näin on saatu matemaattiset analyysit sisällytettyä ohjelmaan prosessiongelmien ratkaisemisen kannalta käytännöllisiin työkaluihin. Työkaluja, joita on ohjelmas-

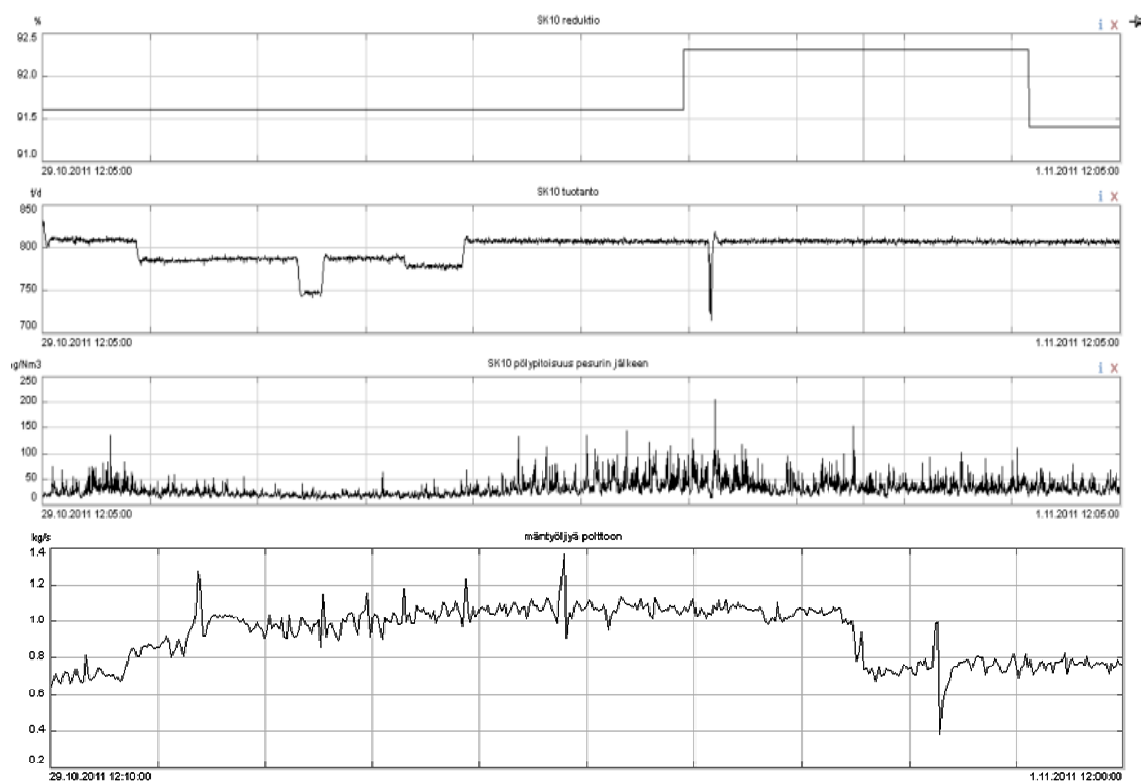
sa mahdollista käyttää, ovat esimerkiksi aaltomuodon tunnistus, raportointi ja MAR-analyysi, jolla tarkoitetaan monikanavaista autoregressiivistä mallinnusta, ja sitä voidaan käyttää apuna, kun selvitetään prosessivaihteluiden syitä. (21)

Wedgen avulla voidaan siis tiivistää prosessidatamäärät informaatioksi, jotka helpottavat päätöksentekoa, ja siten voidaan tarkastella ja yhdistellä asioita eri näkökulmista kuvaajien avulla ja etsiä prosessissa olevia häiriöitä ja selvittää niiden syitä nopeasti. (21)

7 SOODAKATTILOIDEN AJOMALLIEN MERKITYS PÖLYPÄÄSTÖIHIN

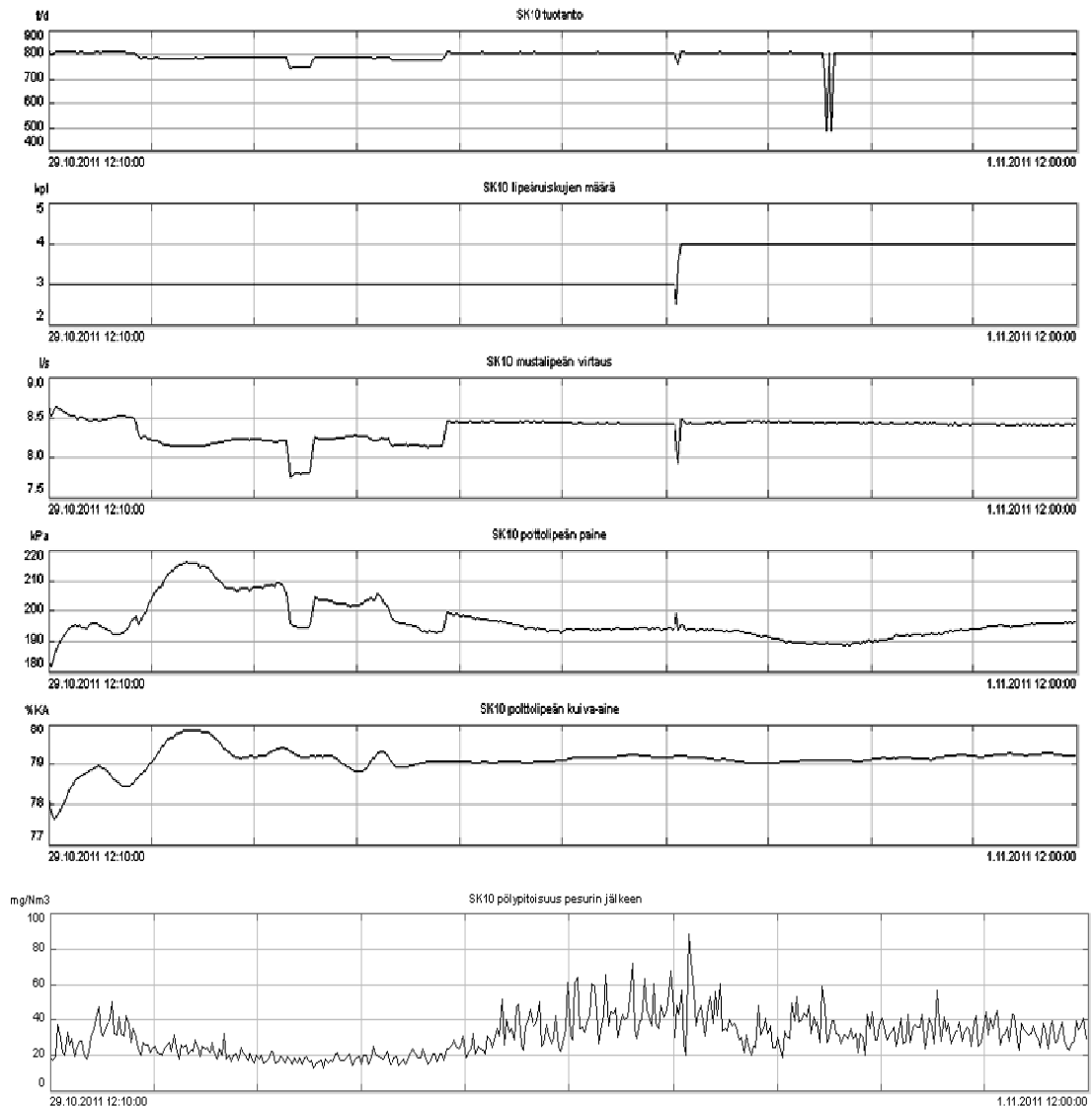
7.1 Normaaliajossa muodostuvat pölypäästöt

Soodakattila 10:n ollessa normaaliajossa, eli mittaushetkellä kattilan kuorma oli keskimäärin 800 ADt/d. Tällöin pölypäästöt savukaasupesurin jälkeen ovat keskimäärin $25 \text{ mg/m}^3(\text{n})$ luokkaa. Samalla poltettavan mustalipeään sekaan päätyi mittaushetkellä noin 1 kg/s mäntyöljyä. Sulan reduktioaste on normaaliajon aikana noin 91 – 92 %.



Kuva 7. Normaaliajon aikaisien tuotannon muutosten ja mäntyöljyn määrän merkitys syntyviin pölypäästöihin ja sulan reduktioon

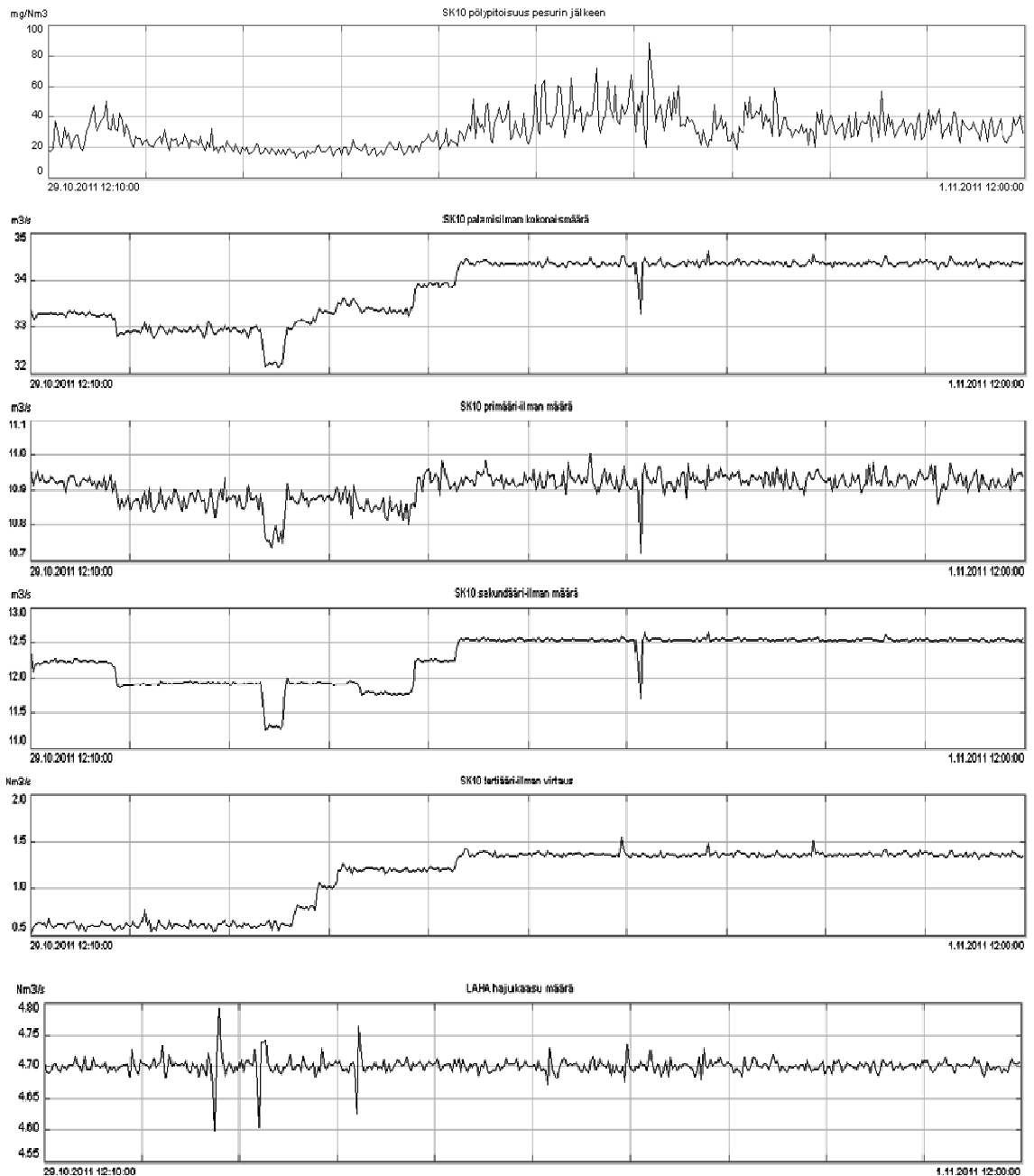
Normaalijossa eli noin 800 ADt/d kuormalla SK10:llä on neljä lipeäsuutinta ruiskutamassa mustalipeää kattilaan. Lipeän ruiskutuspainne on tällöin normaalisti noin kahden baarin luokkaa ja mustalipeän virtaus noin 8,4 l/s. Poltettavan lipeän kuiva-aine pysyttelee 79 - 80 kuiva-aine % alueella. Tämä tarkoittaa siis sitä, että poltettavassa lipeässä on noin 20 % vettä mukana.



Kuva 8. Kuvasta on nähtävissä, kuinka lipeäruiskun lisääminen, mustalipeän virtauksen ja paineen nostaminen ja mustalipeän kuiva-aineen muutoksien vaikutukset tuotannossa ja pölypitoisuuksissa normaalijon aikana

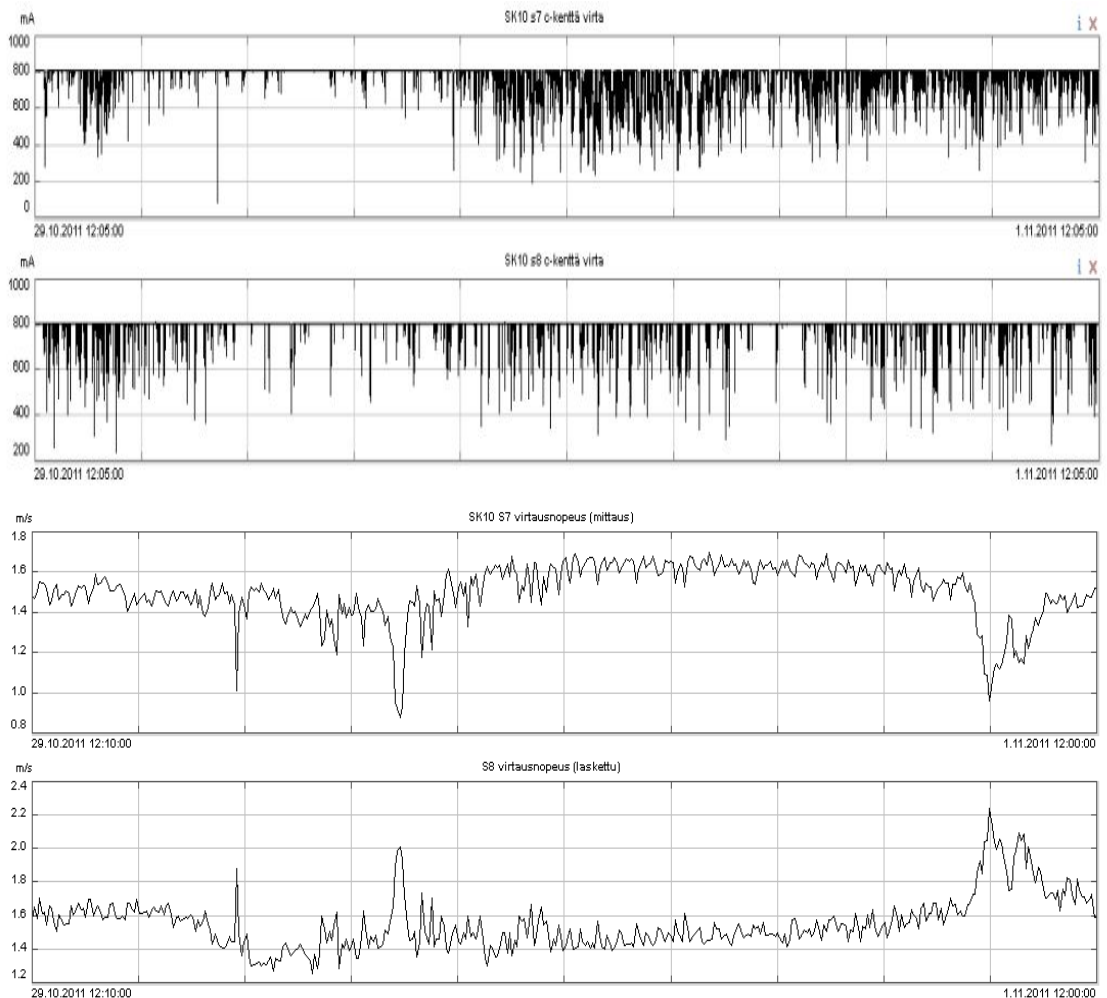
Normaalijossa soodakattilaan syötettävän palamisilman kokonaismäärä on noin 34 m³/s, josta primääri-ilmaa on noin 11 m³/s, sekundääri-ilmaa hieman yli 12 m³/s ja tertiääri-ilmaa noin 1,3 m³/s. Samalla kattilaan syötetään myös noin 4,7 kg/s laimeita hajuksia.

Palamisilmalla on suuri merkitys syntyviin pölypäästöihin, sillä jokaista kattilaan syötettyä kuutiometriä palamisilmaa kohden syntyy noin kolme kuutiometriä savukaasuja. Tämän vuoksi onkin tärkeää, että palamisilman määrä pidetään soodakattilan kuormaan nähden kohtuullisena.



Kuva 9. Pölypitoisuuksien nousu palamisilman kokonaismäärän lisäämisen vaikutuksesta. Kuvassa näkyy myös erikseen primääri-ilman määrä, sekundääri-ilman määrä ja tertiääri-ilman virtaus sekä niiden lisäämisen vaikutukset palamisilman kokonaismäärään. Kuvaan on lisätty myös kattilaan syötetyn laimeiden hajukaasujen määrä, joka pysyy lähes mittaushetkellä lähes vakiona

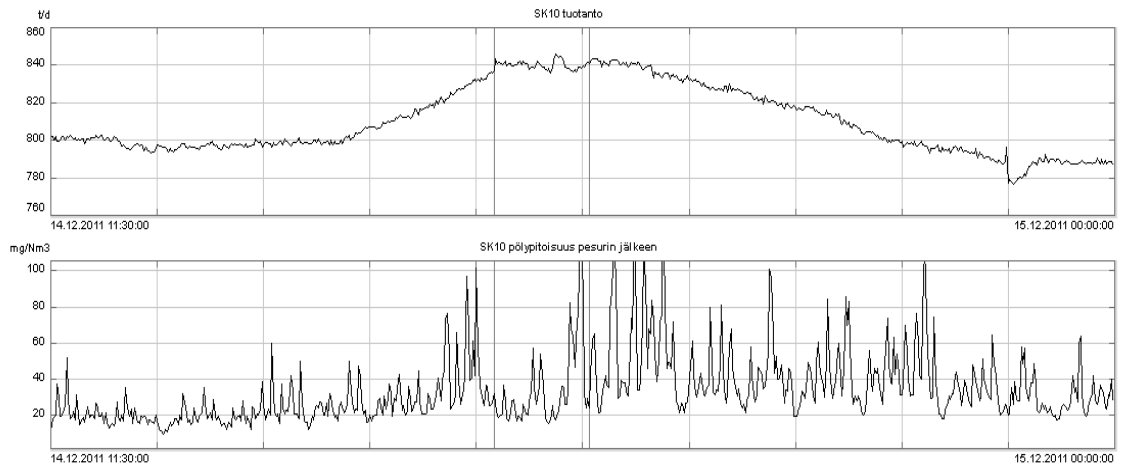
Kuten molempien sähkösuodattimien C-kenttien virroista on havaittavissa, kattilan kuormannoston aikana 780 – 805 ADt/d, sähkösuodin 7:n puolelle alkoi virrata enemmän savukaasuja kuin 8:n puolelle. Tämä johtuu siitä, että savukaasupuhaltimien kuormapisteet muuttuivat. Koska SK 10:llä savukaasukanavat sähkösuodattimien jälkeen kummallekin savukaasupuhaltimelle ovat erilaiset, kuten myös itse savukaasupuhaltimetkin, on niiden säätäminen kuormatasapainoon varsin hankalaa. Tilannetta vaikeuttaa entisestään SK 10:llä savukaasun suuri virtausnopeus, joka on noin 1,5 m/s sähkösuodattimessa.



Kuva 8. Normaaliajossa sähkösuodattimien C-kenttien virtojen ja sähkösuodattimien virtausnopeuksien suhde muodostuneisiin läpilyönteihin

Kuorman noston vaikutukset pölypäästöihin

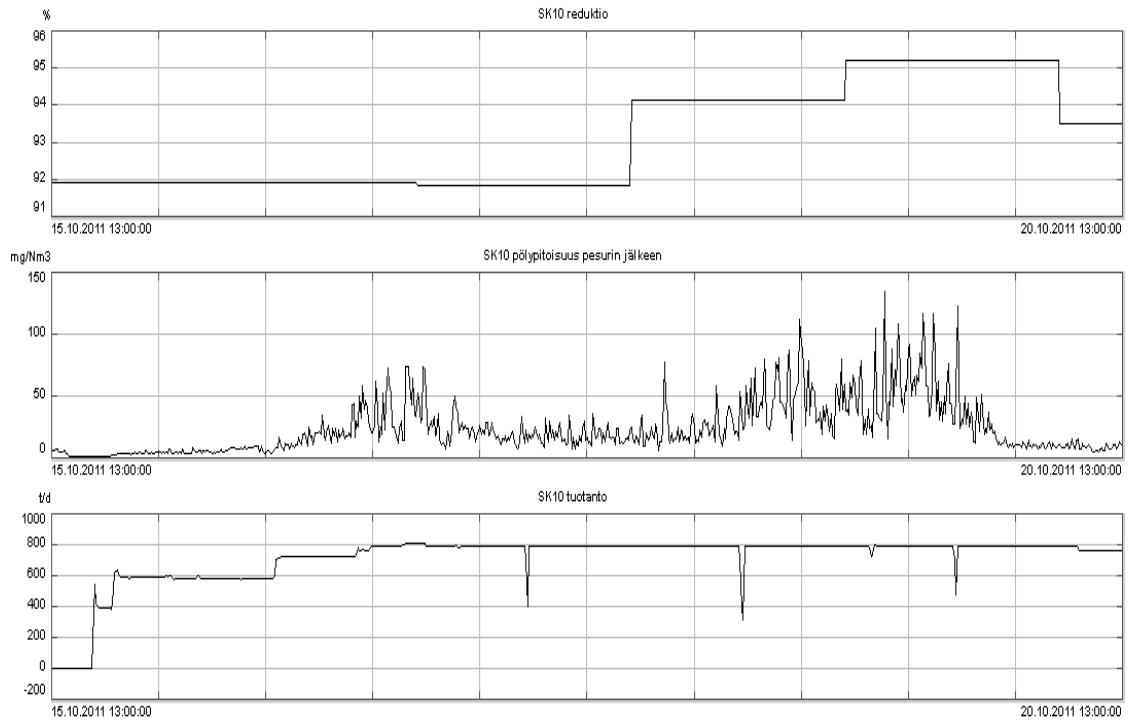
On huomioitavaa, miten kuormannosto kattilalla nostaa myös muodostuvia pölypäästöjä. Kun SK 10:n kuorma on noin 800 ADt/d, muodostuneet pölypäästöt savukaasupesurin jälkeen ovat keskimäärin 25 mg/m³(n). Puolestaan kuormaa nostettaessa noin 840 ADt/d tasolle, pölypäästöjen määrä nousee jo keskimäärin 40 mg/m³(n).



Kuva 9. Normaaliajon aikana tehty kuorman nosto ja sen suhde muodostuviin pölypitoisuuksiin

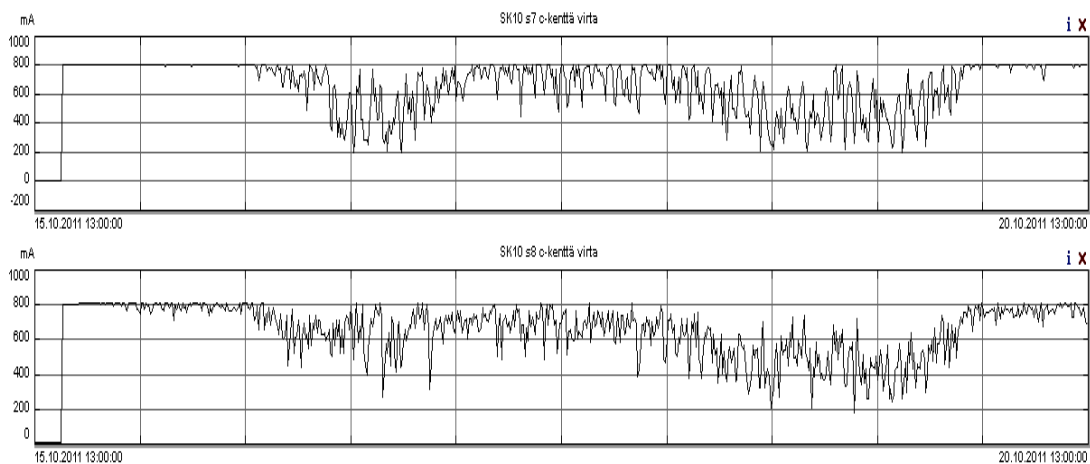
7.2 Häiriötilanteissa ja muissa poikkeuksellisissa tilanteissa muodostuvat pölypäästöt

Seuraavassa on katsaus soodakattila 10:n ylösajon jälkeen tapahtuneesta poikkeuksellisesta tilanteesta, jossa muodostui voimakkaasti pölypäästöjä. Pölyä eli tulipesästä vapautuneita natriumyhdisteitä pääsi savukaasuun niin paljon, että SK 10:n savukaasun puhdistuslaitteistojen pölynerotuskyky ei riittänyt savukaasun puhdistamiseen. Tilanteen tekee mielenkiintoiseksi se, että pölypäästöt normalisoituivat omineen.



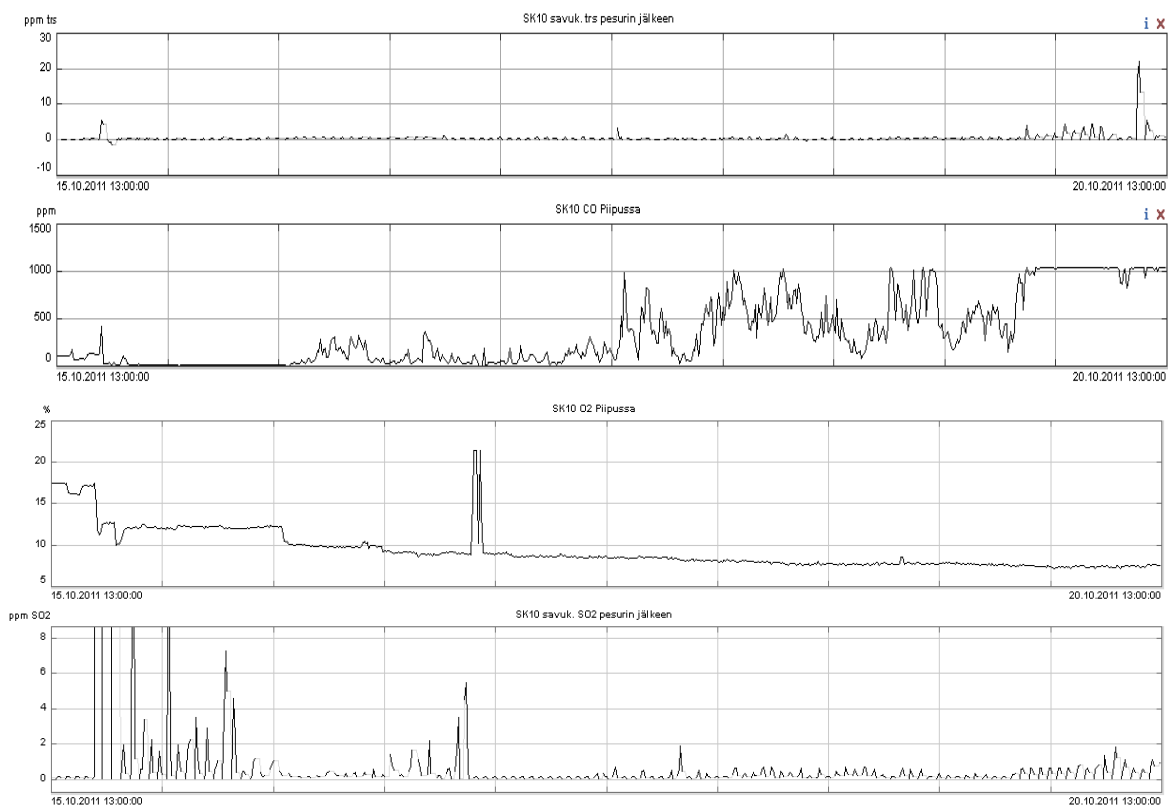
Kuva 10. Poikkeuksellisessa ajotilanteen sulan reduktion nousu, savukaasun pölypitoisuuksien raju nousu sekä tasaantuminen ja soodakattilan tuotanto

Soodakattilan kuormannoston aikana tulipesän lämpötila nousi niin voimakkaasti, että natriumyhdisteitä pääsi savukaasuun erittäin paljon. Syntynyt hiukaspölymäärä tukehduitti yksinkertaisesti SK10:n sähkösuodattimet, jolloin niiden läpi pääsi virtaamaan savukaasujen mukana suuri määrä pölyhiukkasia. Myöskään SK 10:n savukaasupesurin erotuskapasiteetti ei yksinkertaisesti riittänyt muodostuneiden pölypäästöjen täysmääräiseen puhdistamiseen. Muodostuneiden pölyhiukkasten määrä oli pahimmillaan vielä savukaasupesurin jälkeen yli 130 mg/m³.



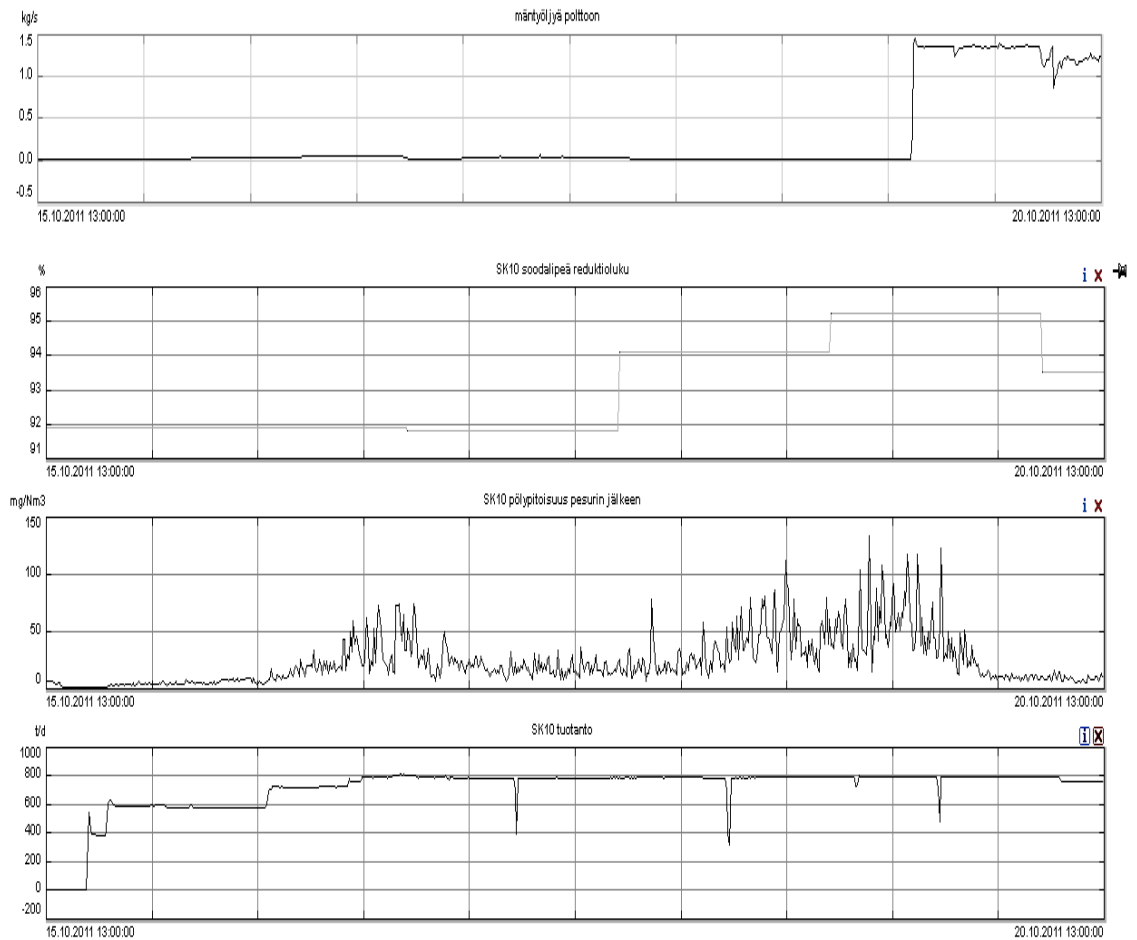
Kuva 11. Poikkeuksellisen ajotilanteen sähkösuodattimien C-kenttien virroissa näkyvät läpilyönnit

Tulipesän voimakkaaseen lämpötilan nousuun viittaavat myös alhaiset CO- pitoisuudet sekä rikkiyhdisteiden TRS- ja SO_4 - pitoisuudet. Huomioitavaa on myös pölypäästöjen aikainen korkea reduktioaste, hieman yli 95 %.



Kuva 12. Soodakattilan savupiipusta mitatut alhaiset TRS-, CO-, CO_2 - ja SO_2 - arvot, jotka viittaisivat tulipesän voimakkaaseen lämpötilan nousuun

Kun lipeän sekaan pääsi mäntyöljyä palstoituslaitokselta 1,4 l/s, pölypäästöt romahtivat tasolle 10 mg/m³. Puolestaan CO-pitoisuudet ja rikin TRS- ja SO₂- pitoisuudet nousivat selvästi. Tämä viestii siitä, että tulipesän alapään lämpötila aleni. Erikoiseksi tilanteen tekee se, että lipeän sekaan pääsi mäntyöljyn myötä enemmän orgaanisia aineita, mutta silti kattilan tulipesän lämpötila laski mittauksen perusteilla.

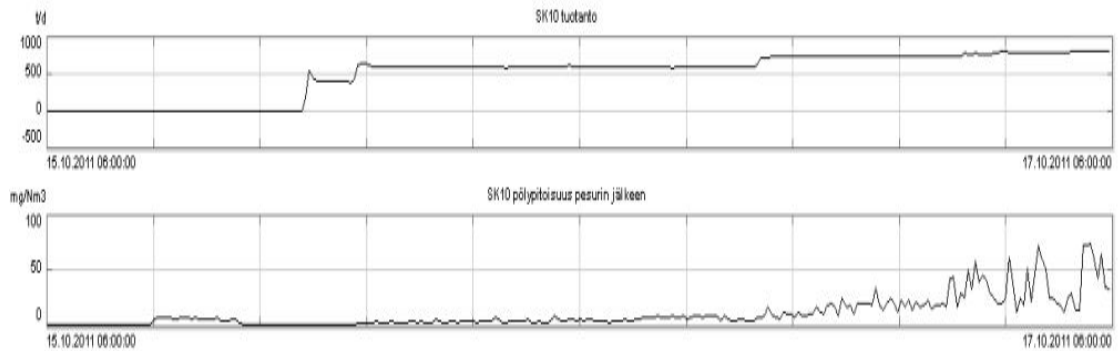


Kuva 13. Kun mäntyöljyä pääsi poltetavan lipeän joukkoon, se tasoitti pölypäästöjen muodostumista ja samalla sulan reduktioaste laski.

7.3 Käynnistyksen tai alasajon yhteydessä muodostuvat pölypäästöt

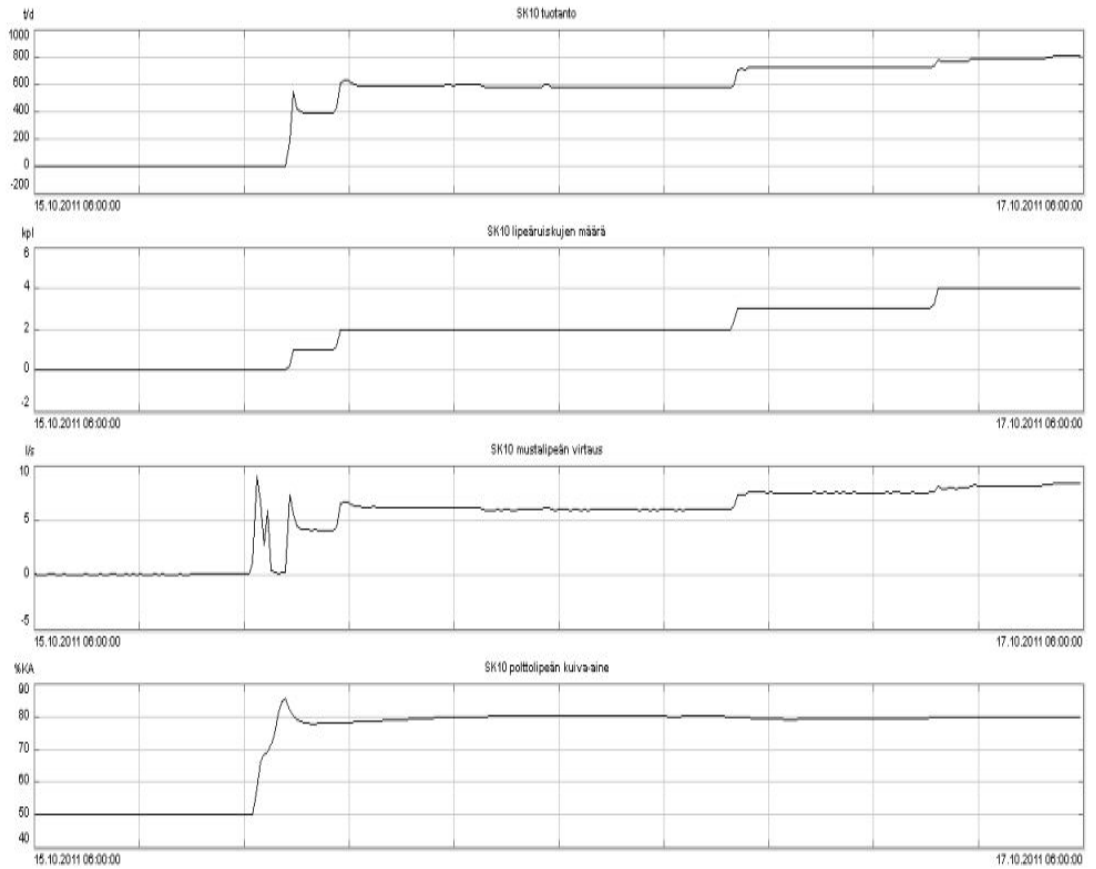
Soodakattila 10:n ylösajo

Kun soodakattilaa aletaan lämmittää käyttämällä apupolttoainetta, joka SK 10:n tapauksessa on kevyttä polttoöljyä, saa se aikaan tulipesässä pieniä savukaasujen muodostumisia sekä myös pölypäästöjä, jotka ovat noin 10 mg/m^3 .



Kuva 14. Kattilan ylösajon aikainen kuorman nosto ja siitä seuranneet savukaasujen pölypitoisuus määrien kasvaminen

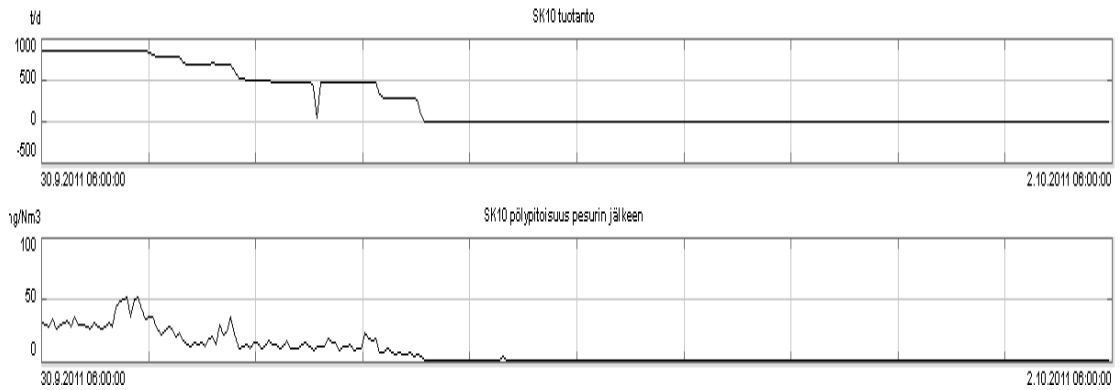
Tulipesän lämmityksen ollessa siinä vaiheessa, että siirrytään kattilalla lipeän polttoon, savukaasujen pölypitoisuus alkaa kasvaa tasaisesti tulipesän kuumetessa. Lipeän polton aloitus näkyy parametreissa myös rikkiyhdisteiden piikikkäänä muodostumisena. Keon muodostuessa tulipesän pohjalle pölypitoisuudet normalisoituvat savukaasupesurin jälkeen tasolle alle 50 mg/m^3 . Kun lipeäruiskuja on kaksi kappaletta, lipeää virtaa kattilaan 6 l/s ja kattilan tuotanto on 580 ADt/d . Kun kattilalla on lipeäruiskuja neljä kappaletta, lipeää virtaa kattilaan $8,1 \text{ l/s}$, ja kattilan tuotanto on 785 t/d . Tällöin pölypäästöt pesurin jälkeen ovat normaalisti myös alle 50 mg/m^3 .



Kuva 15. Kuvasta näkyy soodakattilan ylösajon aikana tapahtunut tuotannon kasvu, joka on saatu aikaiseksi lipeäruiskujen määrää lisäämällä ja samalla nostamalla mustalipeän virtausta. Kuvassa näkyy myös mustalipeän kuiva-aineen nousu lipeän polton aloittamisen yhteydessä ja sen tasaantuminen lipeän polton lisäämisen myötä

Soodakattila 10:n alasajo

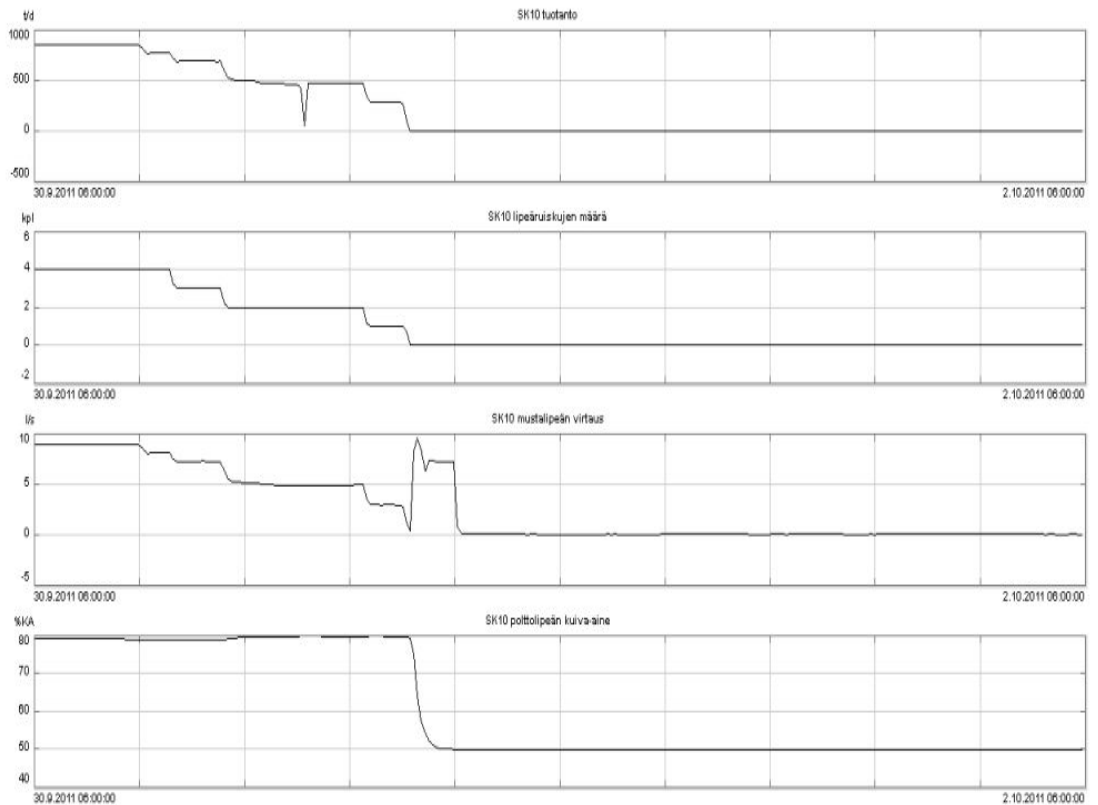
Kun tuotantoa aletaan laskea, myös syntyvän savukaasun määrä laskee ja muodostuvia pölypäästöjä syntyy vähemmän. Kuten parametreista käy ilmi, tuotannon laskun aikana pölypitoisuudetkin laskevat tasaisesti.



Kuva 16. Soodakattilan tuotannon laskeminen ja savukaasun pölypitoisuuden väheneminen kattilan alasajon yhteydessä

Kun normaaliajosta eli noin 850 ADt/d aletaan soodakattilaa ajaa alas, tapahtuu se lipeäsuuttimia vähentämällä. Samalla myös poltettavan lipeän virtausta vähennetään. Kun lipeäsuuttimia on kaksi jäljellä, aletaan lisätä öljypolttimia. Öljypolttimien lisäys näkyy pienenä pölypitoisuuden nousuna mittauksessa.

Lipeän polton loputtua, eli kun viimeinenkin lipeäsuutin on otettu pois kattilalta, on kattilalla höyryn tuotto lopetettu. Öljypolttimia jää kekoa polttamaan kolmesta neljään kappaletta, jotta saataisiin tulipesän keko poltettua loppuun.



Kuva 17. Kuvasta näkyy soodakattilan alasajon aikana tapahtunut tuotannon laskeminen, joka on saatu aikaiseksi lipeäruiskujen määrää vähentämällä ja samalla laskemalla mustalipeän virtausta. Kuvassa näkyy myös mustalipeän kuiva-aineen lasku lipeän polton lopettamisen yhteydessä

7.4 Savukaasujen virtausnopeudet sähkösuodattimilla

Sähkösuodattimien toimivuuden määrittää se, kuinka paljon ja millä nopeudella savukaasuja sinne syötetään. Varsinkin savukaasujen virtausnopeudella on suuri merkitys pölyn eli suolan erotuksessa. Mitä suurempi on sähkösuodattimessa oleva savukaasun virtausnopeus, sitä huonommin pölyn erotus savukaasusta sähkösuodattimessa onnistuu.

Asiaa tutkittiin laskemalla esimerkkilasku, jossa on laskettu lipeän poltosta syntyvä savukaasujen määrä, ja saadusta määrästä SK 10:n sähkösuodattimissa olevat virtausnopeudet. Esimerkkilasku tuotiin Wedgeen, jossa laskennassa käytetään jatkuvatoimisia mittauksia. Näin ollen laskusta saadut tulokset ovat varsin paikkansa pitävät.

Taulukko 4. Poltettavan mustalipeän koostumus polttoainekiloa kohden

Alkuaine	Alkuainetta/ polttoaine kg	Moolimassa kg/ kmol	Moolimassa kg/kmol	Hapentarve kmol
C	0,3273	12	0,027275	0,027275
H	0,0352	1	0,0325	0,0325
N	0,0007	14	0,00005	0,00005
S	0,0677	32	0,0021156	0,0021156
O ₂	0,362	32	0,0113	- 0,0113
Yhteensä				0,0533

Savukaasun yhteen laskettu hapentarve jaetaan ilman happipitoisuudella, jolloin saadaan savukaasujen ilmantarve

$$\frac{0,0533 \text{ kmol}}{0,21} = 0,254 \text{ kmol} \quad (1)$$

Jotta saataisiin O₂:n määrä savukaasuissa, on kerrottava laskettu savukaasun ilmantarve savukaasusta mitatulla happipitoisuudella, 4,7 %:lla:

$$\lambda = \frac{20,9}{20,9 - O_2} \Rightarrow \frac{20,9}{20,9 - 4,7} = 1,29 \quad (2)$$

jossa λ = ilmakerroin

Joten:

$$sk_{O_2} = sk_{it} * (\lambda - 1) \Rightarrow 0,254 \text{ kmol} * (1,29 - 1) = 0,07366 \text{ kmol} \quad (3)$$

jossa sk_{O_2} = savukaasun happipitoisuus, kmol

Seuraavaksi lasketaan savukaasun massavirta:

$$q_{sk} = q_{mpa} (v_{sk} + sk_{O_2} * sk_{mp}) \quad (4)$$

$$\Rightarrow 11,6 \text{ kg/s} (3,41 \text{ m}^3\text{n/kgpa} + 0,0736 \text{ kmol} * 28,7 \text{ kg/kmol}) = 64,08 \text{ kg/s}$$

jossa q_{sk} = savukaasun massavirta, kg/s

q_{mpa} = polttoaineen massavirta, kg/s

v_{sk} = kostea savukaasuvirta, $\text{m}^3\text{n/kgpa}$

sk_{mp} = kostean savukaasun molekyylipaino, kg/mol

Jotta saataisiin savukaasumäärä muutettua muotoon m^3/s , joudutaan se jakamaan savukaasun tiheydellä:

$$q_{vsk} = \frac{q_{sk}}{\rho_{sk}} \Rightarrow \frac{64,08 \text{ kg/s}}{1,28 \text{ kg/m}^3} = 50,06 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5)$$

Osamäärä kerrotaan vielä savukaasun lämpötilalla:

$$\frac{sk:n \text{ lt.} + 273 \text{ K}}{273 \text{ K}} * q_{vsk} \Rightarrow \frac{171 \text{ K} + 273 \text{ K}}{273 \text{ K}} * 50,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 81,4 \text{ m}^3/\text{s} \quad (6)$$

Jotta saadaan laskettua sähkösuodattimessa oleva savukaasun virtausnopeus, on saatu savukaasun tilavuusvirtaus jaettava sähkösuodattimen pinta-alalla:

$$\frac{q_{vsk}}{A} \Rightarrow \frac{81,4 \text{ m}^3/\text{s}}{55,29 \text{ m}^2} = 1,47 \text{ m/s} \quad (7)$$

Tulos, joka laskukaavoilla saadaan, kertoo lasketun savukaasun virtausnopeuden kummallekin sähkösuodattimelle, jos savukaasut menisivät tasan sähkösuodattimille.

Kun savukaasut virtaavatkin sähkösuodattimiin epätasaisesti, 60/40- suhteessa, eli esimerkiksi sähkösuodatin 7:aan virtaa 60 % syntyvästä savukaasumäärästä:

$$81,4 \text{ m}^3/\text{s} * 0,6 = 48,84 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ja sähkösuodatin 8:aan virtaa } 40 \%, \text{ eli } 81,4 \text{ m}^3/\text{s} - 48,84 \text{ m}^3/\text{s} = 32,56 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Tällöin sähkösuodatin 7:n virtausnopeus on:

$$\frac{q_{vsk1}}{A} \Rightarrow \frac{48,84 \text{ m}^3/\text{s}}{27,64 \text{ m}^2} = 1,767 \text{ m/s}$$

Puolestaan sähkösuodatin 8:n virtausnopeus on:

$$\frac{q_{vsk2}}{A} \Rightarrow \frac{32,56 \text{ m}^3/\text{s}}{27,64 \text{ m}^2} = 1,178 \text{ m/s}$$

Näin ollen sähkösuodatin 7 olisi selvästi kovemmallalla rasituksella kuin sähkösuodatin 8, ja näin ollen läpilyöntejä tapahtuisi paljon enemmän. Todellisuudessa näin suuria virtausnopeus eroja ei tapahdu kattilan normaalin ajon aikana, mutta selvää on, että savukaasujen virtausnopeuksien erot vaikuttavat sähkösuodattimien pölyn erotukseen.

8 SÄHKÖSUODATTIMILLA ESIINTYVÄT PÖLYPIIKIT

Soodakattila 10:llä esiintyy savukaasun mukana sähkösuodattimissa niin sanottuja pölypiikkejä, jotka läpäisevät sähkösuodattimen ja aiheuttavat ylimääräisiä pölypäästöjä. Nämä hiukkaspiikit ovat havaittavissa SK10:n sähkösuodattimien c-kentissä, joiden sähkövirtojen parametreista tapahtuma on nähtävissä virtapiikkeinä. Nämä virtapiikit esiintyvät kuuden ja kolmen minuutin jaksoissa, ja tämä viittaisi siihen, että kyseessä olisi syklinen tapahtumajakso. Muodostuvien virtapiikkien syitä on jo entuudestaan tutkittu, ja niiden syklisyys viittaisi sähkösuodattimien eri ravistimiin ja niiden samanaikaiseen käyntiin.

Jotta asiaa voitaisiin tutkia tarkemmin, on sähkösuodattimien eri ravistimien käyntioloaikoja ja niiden yhdenaikaisuuksia tutkittava. Tutkimus tapahtui Alcontin Totalplant-ohjelman avulla, joka lähetti täristimien ja ravistimien käyntitiedot Excel-

taulukkaan. Käyntitiedot kerättiin viiden sekunnin välein ja yöaikaan kymmenen sekunnin välein, jolloin niiden eri käyntikombinaatiota oli mahdollista tutkia. Samalla taulukkaan tulivat tiedot myös sen hetkisistä pölypitoisuuksista sähkösuodatin 7:n jälkeen ja savukaasupesurin jälkeen. Käyntitietojen mittaus tapahtui 14.11. – 15.11.2011. Kun käyntitiedot oli mitattu, ne siirrettiin Wedge-prosessianalyysiohjelmaan tarkemmin tutkittaviksi.

Koska tulipesän veto ohjaa savukaasupuhaltimien toimintaa, on havaittu, että nopea muutos tulipesän savukaasujen muodostuksessa korjaantuu sähkösuodatin 7:n puoleisessa savukaasupuhaltimessa. Tällöin muuttunut paine ohjaa sähkösuodatin 7:n puolelle enemmän savukaasuja kuin sähkösuodatin 8:lle, ja näin ollen mahdollisesti muodostaa sähkösuodatin 7:n puolelle pölypiikin.

Yksi tekijä, joka voisi aiheuttaa syntyviä pölypiikkejä, on savukaasupuhaltimien epätasapainoinen ajo. Soodakattila 10:llä on kaksi savukaasupuhallinta rinnakkain samassa savukaasukanavassa, ja kumpikin savukaasupuhallin on mitoitusasteeltaan kykenevä ylläpitämään savukaasujen pumppausta yksinäänkin. Vaarana on se, että puhaltimissa esiintyvä paine-ero voi aikaan saada alemmassa paineessa olevan puhaltimen ajautumaan ominaiskäyrältään negatiiviselle puolelle, jolloin savukaasut alkavat virrata päinvastaisessa suunnassa puhaltimen lävitse. (22)

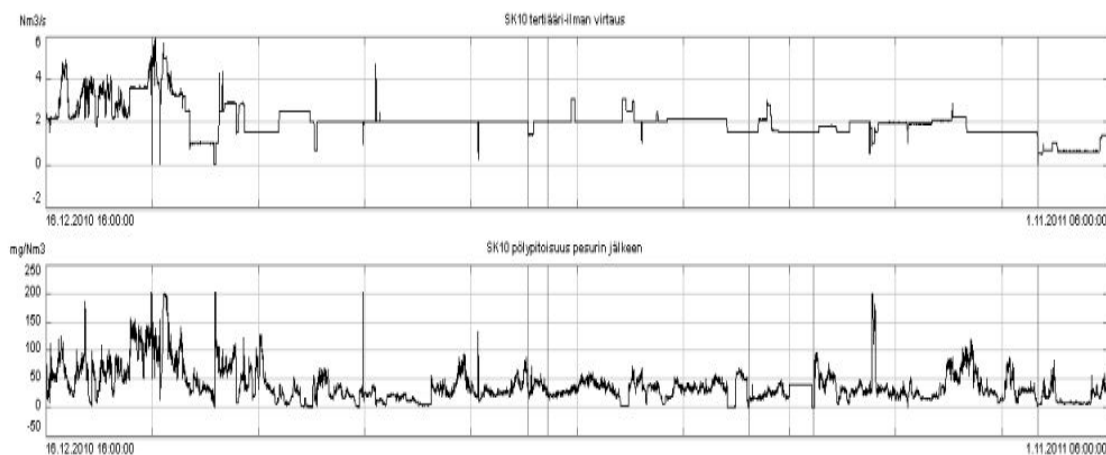
Jotta edellä mainittu ongelma- tai vaaratilanne saataisiin estettyä, on molemmille savukaasupuhaltimelle valittava toimintapisteet riittävällä marginaalilla puhaltimien ominaiskäyrältä maksimikohdan oikealta puolelta. (22)

Kun rinnakkain olevat savukaasupuhaltimet toimivat kumpainenkin riittävällä marginaalilla ominaiskäyrän maksimipisteen oikealla puolella, saavutetaan tasainen resurtoiva paine – tilavuusvirtakäyrä. (22)

9 TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT

9.1 Palamisilmojen merkitys syntyviin pölymääriin

Palamisilman määrä kattilassa on avainasemassa savukaasun muodostuksessa ja näin ollen myös syntyvien pölypäästöjen määrässä. SK 10:llä on onnistuttu vähentämään pölypäästöjä tertiääri-ilmaa vähentämällä. Kuten parametrit osoittavat, pölypäästöt saatiin vähennettyä lähes puolella, noin 100 mg:sta /m³ 50 mg:aan /m³, kun tertiääri-ilman määrää vähennettiin keskimäärin 3,5 m³:stä /s 2 m³:iin /s.



Kuva 18. Tertiääri-ilman virtauksen vähentämisen merkitys syntyviin pölypäästöihin

9.2 Pölypiikkejä aiheuttavat ravistimien ja tärstimien kombinaatiot

Pölypiikkien mahdollisiksi aiheuttajiksi löytyivät ravistimien ja tärstimien käyntitietojen tutkimisen jälkeen seuraavat ravistimien ja tärstimien käyntikombinaatiot:

Taulukko 5. Sähkösuodattimien ravistimien ja tärstimien käyntikombinaatiot

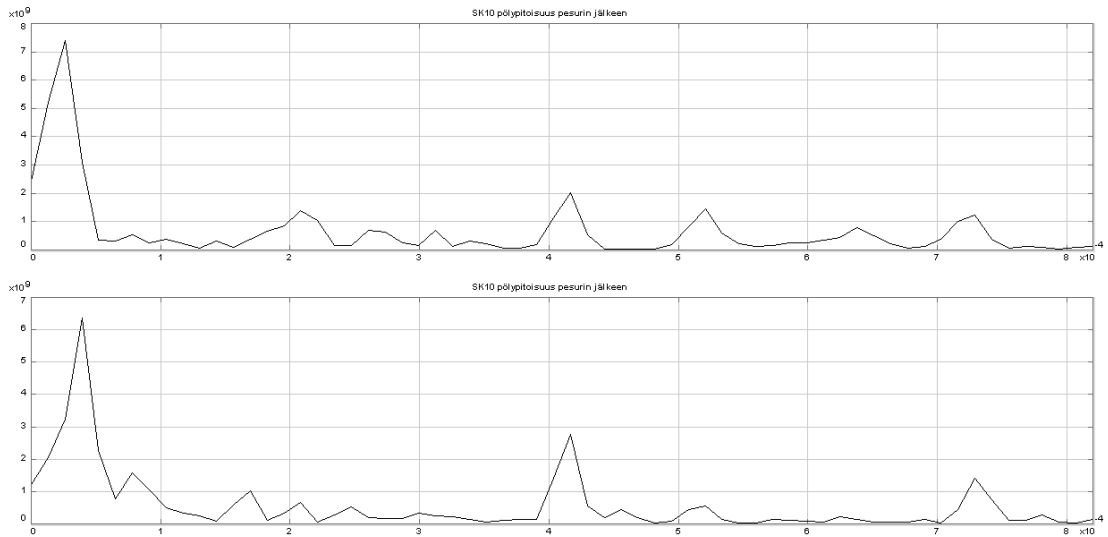
6 min. pölypiikki				3 min pölypiikki			
S8 Kaasunjakolevyn ravistin	*		*	S8A Levyravistin	*	*	*
S8 Tulosuppilon täristin		*	*	S8B Levyravistin		*	
S8C Lankaravistin	*		*	Suolaputken täristin 1			*
S7A Lankaravistin	*	*		Suolaputken täristin 2			*
S7B Levyravistin		*		S7A Levyravistin	*	*	*

Käyntitietomuutoksen testaaminen

Testattiin saadaanko 6 minuutin pölypiikin torjuttua, jos sähkösuodatin 8:n kaasunjakolevyn ravistimen ja tulosuppilon tärstimien käyntiaikoja muutettaisiin. Tämä muutos tehtiin myös sähkösuodatin 7:n puolelle.

Alun perin kun kaasunjakolevyn ravistin lähti käyntiin, se käynnisti tulosuppilon tärstimien 2 sekunnin viiveellä. Nyt muutettiin sekvenssiä siten, että tulosuppilon täristin lähti käymään vasta, kun kaasunjakolevyn ravistin oli sammunut.

Tuloksien tarkastelussa selvisi, että aikaisemmin pölymittauksissa spektritarkastelussa löytyneet kuuden ja kolmen minuutin piikit olivat käyntitietomuutoksien pienentyneet, mutta suurempia vaikutuksia käyntitietomuutoksella ei ollut.



Kuva 19. Savukaasun pölypitoisuuksien spektrivertailua ennen ja jälkeen ravistimien ja täristimien käyntitietojen muutosta

Yksi ratkaisu pölypitoisuuksien pienentämiseksi saattaisi olla sähkösuodattimien c-kenttien ravistimien käyntiaikojen harventaminen. Koska sähkösuodattimen eri kenttien kokoojalevyt keräävät eri tahtiin savukaasuista hiukkaspölyä, a- ja b-kentät itsessään selvästi enemmän kuin c-kenttä, voisi c-kenttien kokoojalevyjen ravistusta vähentää niin, että vasta läpilyöntien tiheydessä alkaisivat kokoojalevyjen ravistimet toimia.

Tällä hetkellä ravistimien käyntisykli on tehty niin, että ravistin käy 60 sekuntia ennen kuin seuraava ravistin alkaa käydä. Ongelmaksi käyntiaikojen muuttamisessa muodostuu se, että vaikka ravistimien käyntiaikoja muutettaisiin, niiden odotusaika olisi edelleen sama. Esimerkiksi jos ravistin kävisi 45 sekuntia, seuraava ravistin käynnistyisi vasta 15 sekuntia edellisen ravistimen pysähtymisen jälkeen. Joten jos haluttaisiin muuttaa c-kenttien ravistimien käyntiaikoja, jouduttaisiin myös suunnittelemaan uudestaan kummankin sähkösuodattimen ravistimien käyntisyklit.

9.3 Mäntyöljyn vaikutus syntyviin pölypäästöihin

Kun mäntyöljyä päätyy poltettavan lipeän sekaan, se muuttuu oleellisesti lipeän ominaisuuksia. Tällöin lipeän orgaanisten ja epäorgaanisten aineiden suhde muuttuu, ja näin ollen orgaanisia aineita pääsee enemmän lipeän sekaan. Mitä enemmän orgaanisia aineita poltettavassa lipeässä on, sitä huonommin natriumyhdisteitä irtaantuu poltossa muodostuviin savukaasuihin, jolloin pölypäästötkin ovat pienemmät.

Koska poltettavan lipeän lämpötila pysyy lähes vakiona, mäntyöljyn merkitys korostuu polttoon syötetyssä lipeässä vaikuttamalla lipeän kiehumapiste-eroon. Mitä enemmän mäntyöljyä pääsee palstoituslaitokselta poltettavan lipeän sekaan, sitä korkeampi on lipeän kiehumapiste-ero. Samalla vaikutukset näkyvät lipeän pisaran muodostuksessa, pisaran pyrolyysivaiheen eli pisaran palamiskaasujen haihtumisen pitenemisenä ja lentoradan muutoksena. Tällöin myös savukaasuihin karkaa vähemmän natriumyhdisteitä tulipesästä ja muodostuvat pölypäästöt ovat pienemmät. Myös mäntyöljyn vaikutukset lipeän kuiva-ainepitoisuuteen ovat merkittäviä, koska mäntyöljyn vaikutuksesta polttoon menevän lipeän kuiva-ainepitoisuus saadaan aikaiseksi alhaisemmassa lämpötilassa kuin ilman mäntyöljyä.

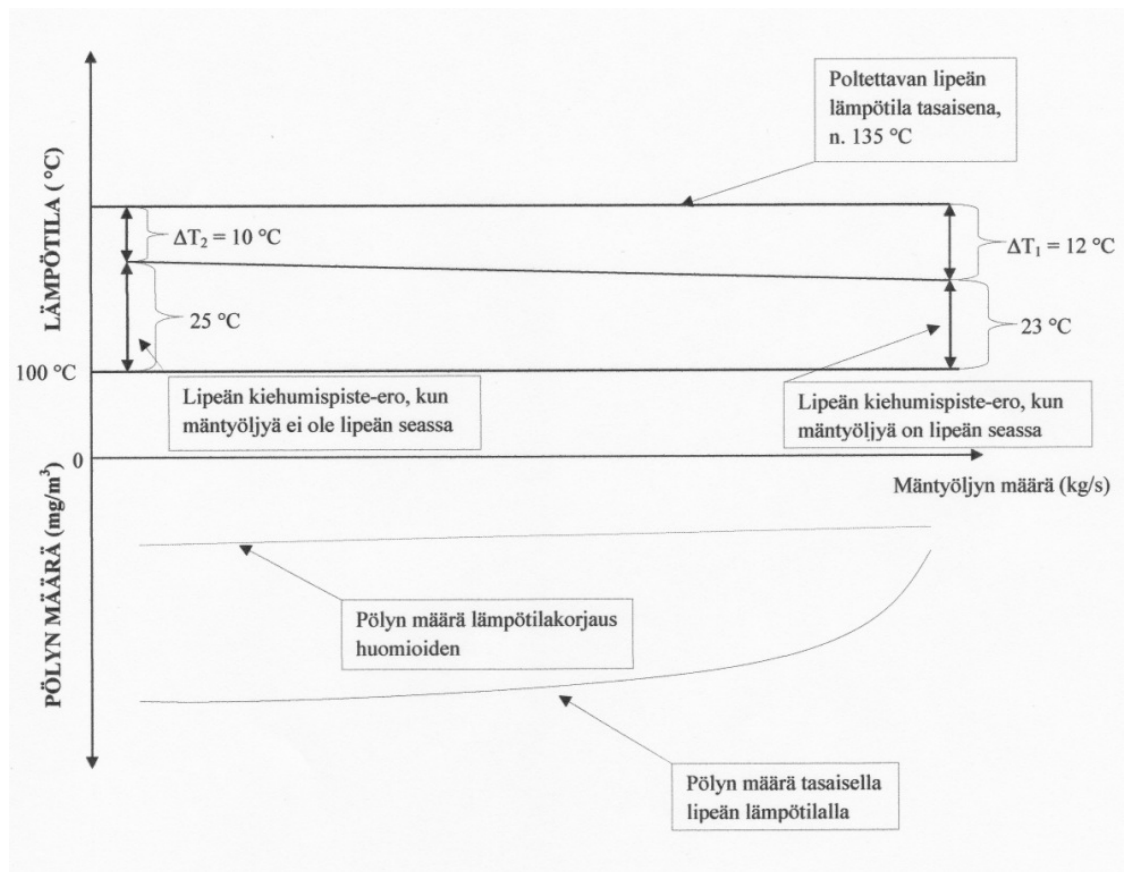
Jotta lipeän poltto olisi mahdollisimman tasaista, tulisi mäntyöljyä vähän poltettaessa nostaa poltettavan lipeän lämpötilaa. Tämä tapahtuisi suoraan höyrykuumentimien avulla. Polttoon menevän lipeän lämpötila on normaalisti noin $135\text{ °C} - 137\text{ °C}$, joten lämpötilan muutos eli ΔT , jonka mäntyöljyn eri lisäysmäärät kattilassa poltettavaan lipeään nähden tarvitaan, olisivat muutamasta asteen kymmenyksestä asteeseen celsiusta.

Jos esimerkiksi mäntyöljyä syötetään soodakattilassa poltettavan mustalipeän sekaan, on silloin mustalipeän kiehumapiste-ero 23 °C , jolloin poltettavan lipeän kiehumispisteen ero on siis:

$$\Delta T_1 = \text{poltettavan mustalipeän } l_t - (\text{mustalipeän normaali kiehumislämpötila} + \text{mustalipeän kiehumispiste-ero}) \Rightarrow 135\text{ °C} - (100\text{ °C} + 23\text{ °C}) = 12\text{ °C}$$

Kun mäntyöljyä menee vähän tai ei ollenkaan poltettavan mustalipeän sekaan, on polttoon mustalipeän kiehumapiste-ero 25 °C , ja poltettavan lipeän kiehumispiste puolestaan:

$$\Delta T_2 = \text{poltettavan mustalipeän } l_t - (\text{mustalipeän normaali kiehumislämpötila} + \text{lipeän kiehumispiste-ero}) \Rightarrow 135\text{ °C} - (100\text{ °C} + 25\text{ °C}) = 10\text{ °C}$$



Kuva 20. Poltettavassa lipeässä tarvittava lämpötilan muutoksen tarve riippuen mäntyöljyn määrästä lipeässä ja sen suhde muodostuvaan pölymäärään

10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Tapoja, joiden avulla soodakattila 10:n hiukkas- eli pölypäästöjä voitaisiin pienentää entisestään, ovat kattilaan syötettävän palamisilman määrän vähentäminen ja kattilan iän myötä muodostuvien vuotoilmojen tukkiminen, jolloin myös savukaasuja muodostuisi vähemmän kattilasta. Samalla on kuitenkin huolehdittava, että palamisilman määrä on riittävä hyvän reduktioasteen saavuttamiseksi. Samoin poltettavan lipeän lämpötilaa tulisi säätää sopivaksi, riippuen siihen päätyvän mäntyöljyn määrästä, jolloin sekä kattilan höyryntuotanto pysyisi tasaisena että muodostuneet pölypäästöt pysyisivät mahdollisemman alhaisina.

Pölypiikkien vähentämiseksi voisi sähkösuodattimien c-kenttien kokoojalevyjen ravistusta harventaa, jolloin kokoojalevyyn kertyisi enemmän pölyä ja näin ollen sähkösuodattimen pölynerotuskyky kasvaisi hieman. Tämä tosin vaatisi ravistimien käyntiaikojen kierron uudelleen suunnittelemista sähkösuodattimille.

Savukaasujen puhdistuslaitteiden tehostus on ollut myös varsin tehokas tapa pienentää muodostuvia pölypäästöjä. Jo aikaisemmin on lisätty pesuveden määrää savukaasupesuriin, ja sähkösuodattimet ovat saaneet suurtaajuustasasuuntaajat, joiden avulla elpyminen tapahtuu nopeammin, kun emissioelektrodien ja kokoojalevyn välillä tapahtuu läpilyönti.

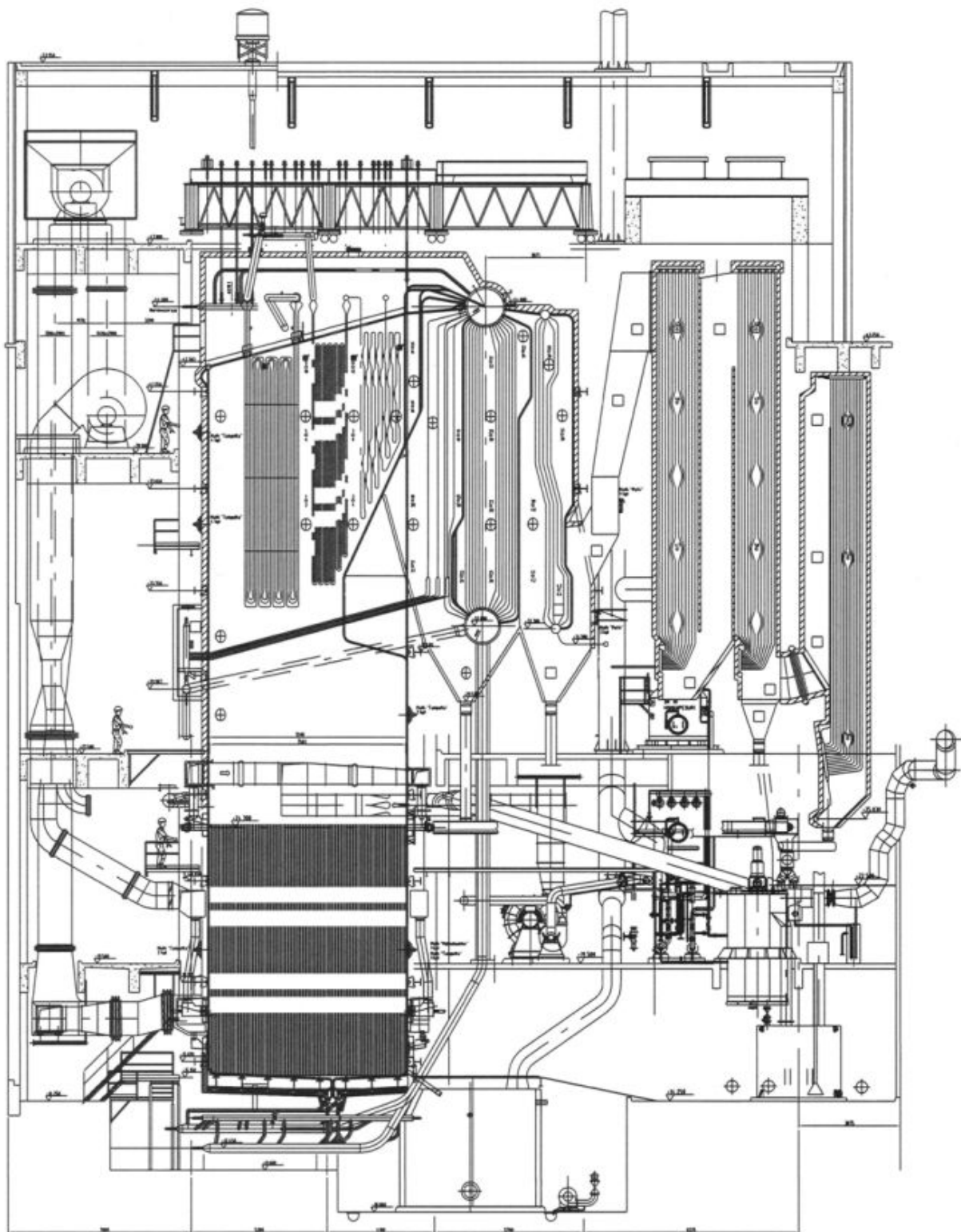
LÄHTEET

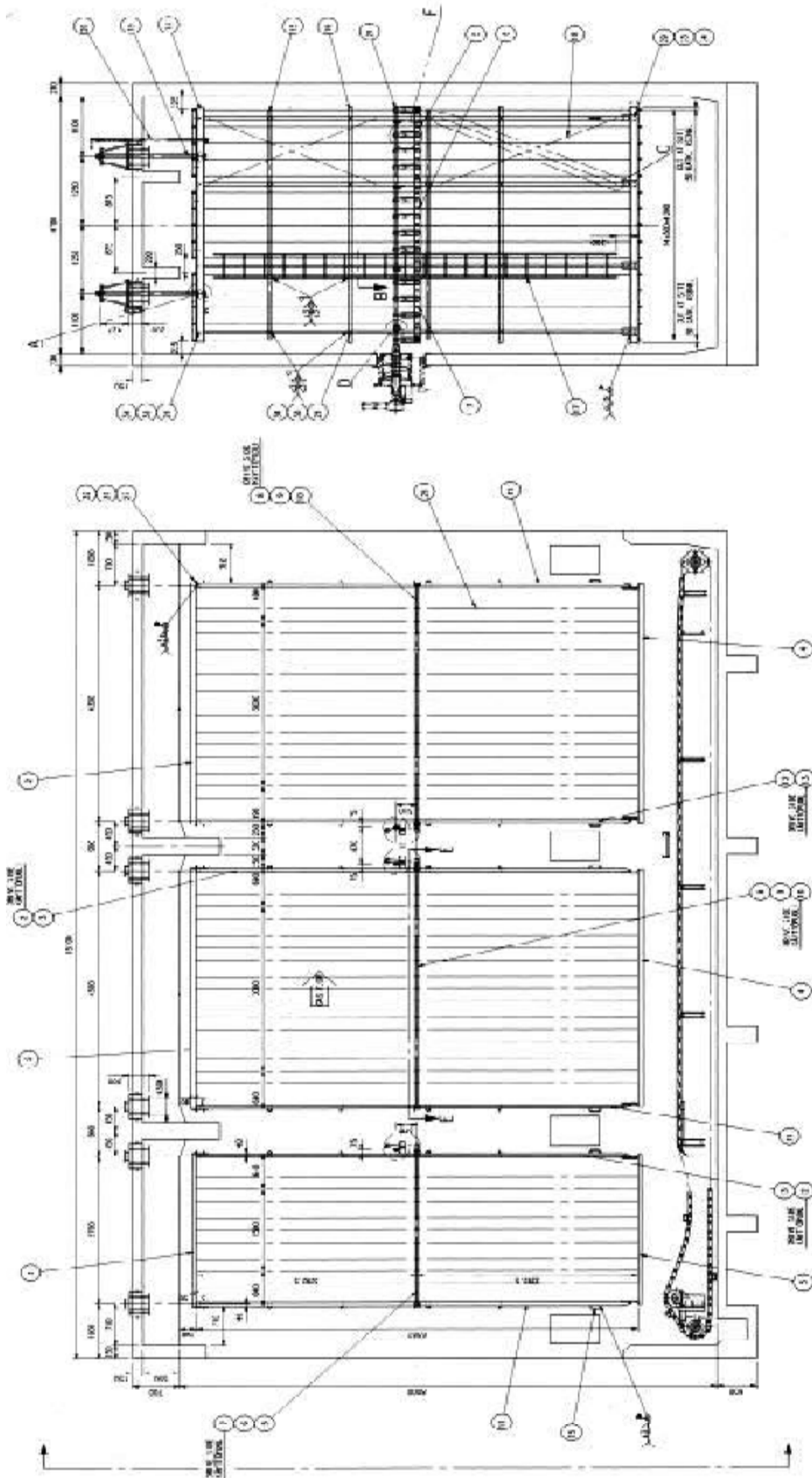
1. Stora Enso Oyj. Stora Enso lyhyesti. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/about-us/stora-enso-in-brief/Pages/Stora-Enso-lyhyesti.aspx> [Viitattu 26.9.2011]
2. Stora Enso Oyj. Sunilan tehdas. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/about-us/mills/finland/sunilamill/Pages/Sunilantehdas.aspx> [Viitattu 26.9.2011]
3. Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T., Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus.
4. Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M. 1995. Poltto ja palaminen. International Flame Reseach Foundation Suomen kansallinen osasto, Jyväskylä, s. 448.
5. Sunila Oy. 2006. Ympäristölupa Dnro ISY-2004-236.
6. Uusitalo, A. 2009. Soodakattiloiden päästöt ilmaan. Energiatekniikan kandidaattityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
7. Jalovaara, J., Aho, J., Hietämäki, E., Hyytiä, H. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. Helsinki: Suomenympäristökeskus. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=3708> [Viitattu 20.9.2011]
8. Piispa, M. Päästömittaukset Sunilan tehdas. Päästömittausraportti. 13. – 20.6.2011. Toimeksiantajan dokumentti.
9. Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M. 1995. Poltto ja palaminen. International Flame Reseach Foundation Suomen kansallinen osasto, Jyväskylä.
10. Ahola, S. 2011. Kattila K7:n savukaasun pölypäästömittauksen kehityssuunnitelma. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu.
11. Nikunen, K., Henriksson, T. Stora Enso Oyj. Perehdytyskokous, 5.9.2011.

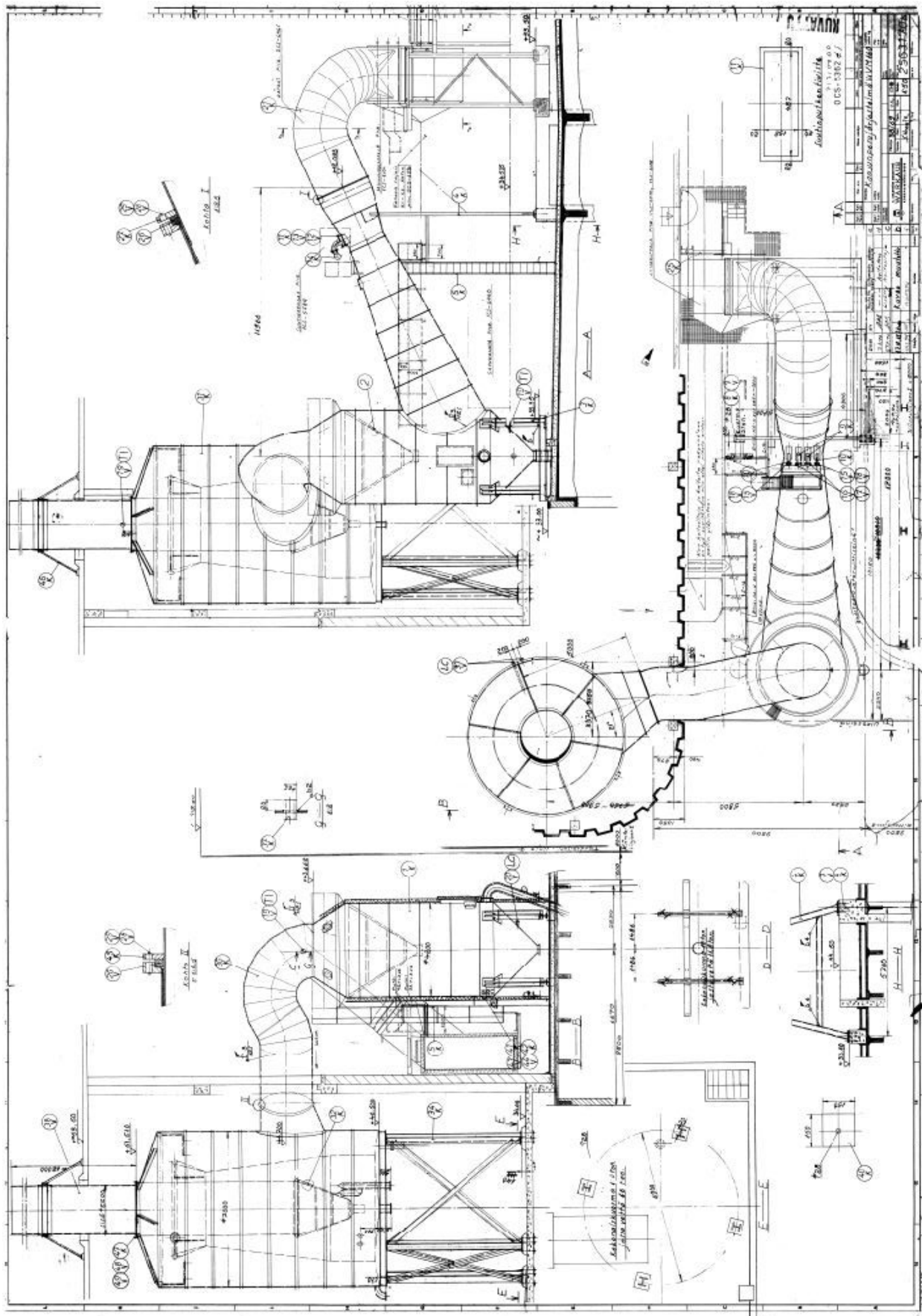
12. Nikunen, K. Soodakattila 2 kurssi. Stora Enso Oy, 2011. Toimeksiantajan dokumentti.
13. Nikunen, K. Stora Enso Oyj. Keskustelu, 29.10.2011.
14. Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M., 1995. Poltto ja palaminen. International Flame Research Foundation Suomen kansallinen osasto, Jyväskylä. s. 464.
15. SICK MAIHAK GmbH Germany. DUSTHUNTER SP100 Operating Instructions 8012426 V2.0. Toimeksiantajan dokumentti.
16. SICK MAIHAK GmbH Germany. DUSTHUNTER S Continuous measurement of dust for low and medium concentrations, pdf. Saatavissa:
<https://www.mysick.com/saqqara/pdf.aspx?id=im0030209> [Viitattu 28.9.2011]
17. Kangas, H. SICK FLOWSIC 100, Hajukaasujen virtausmittausta nenää nyrpistä-mättä!. Sick Insight -asiakaslehti 1/2010. Saatavissa:
<http://www.sick.fi/fi/news/asiakaslehti/fi.toolboxpar.0028.file.tmp/SICK%20Insight%20Prosessiautomaation%20Asiakaslehti%202010.pdf> [Viitattu 28.9.2011]
18. Kangas, H. SICK FLOWSIC 100, Virtausmittari vaativimpiinkin prosessiolosuhteisiin. Sick Insight -asiakaslehti 1/2010. Saatavissa:
<http://www.sick.fi/fi/news/asiakaslehti/fi.toolboxpar.0028.file.tmp/SICK%20Insight%20Prosessiautomaation%20Asiakaslehti%202010.pdf> [Viitattu 28.9.2011]
19. Välikangas, T. SICK FLOWSIC 100, Palamisilmojen ja kiertokaasun säätö helpommaksi. Sick Insight -asiakaslehti 1/2010. Saatavissa:
<http://www.sick.fi/fi/news/asiakaslehti/fi.toolboxpar.0028.file.tmp/SICK%20Insight%20Prosessiautomaation%20Asiakaslehti%202010.pdf> [Viitattu 28.9.2011]
20. SICK MAIHAK GmbH Germany. FWE200 Measurement of Dust Concentration in Wet Gases, pdf. Saatavissa:
<https://www.mysick.com/saqqara/pdf.aspx?id=im0011281> [Viitattu 29.9.2011]

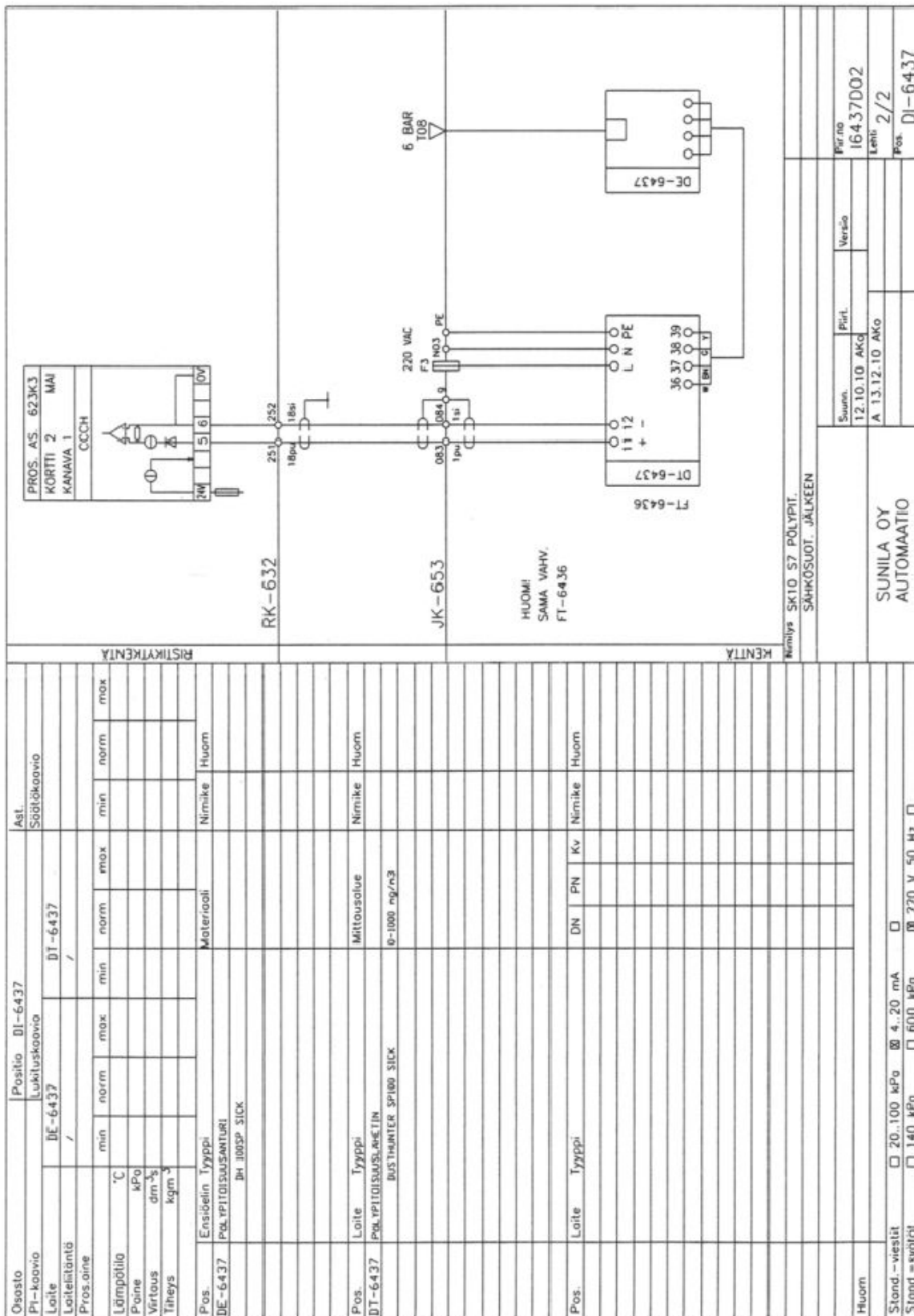
21. Savcor Forest Oy. 2007. Wedge™ Process Diagnostics System V6.1 User Manual, Mikkeli.

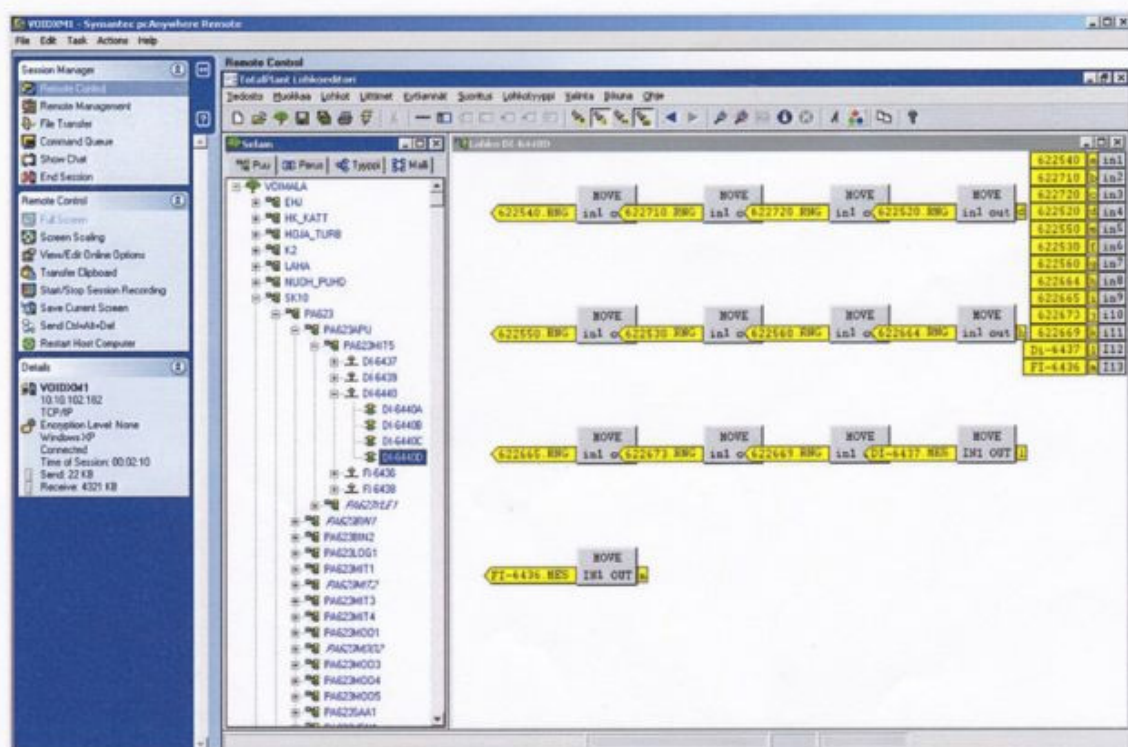
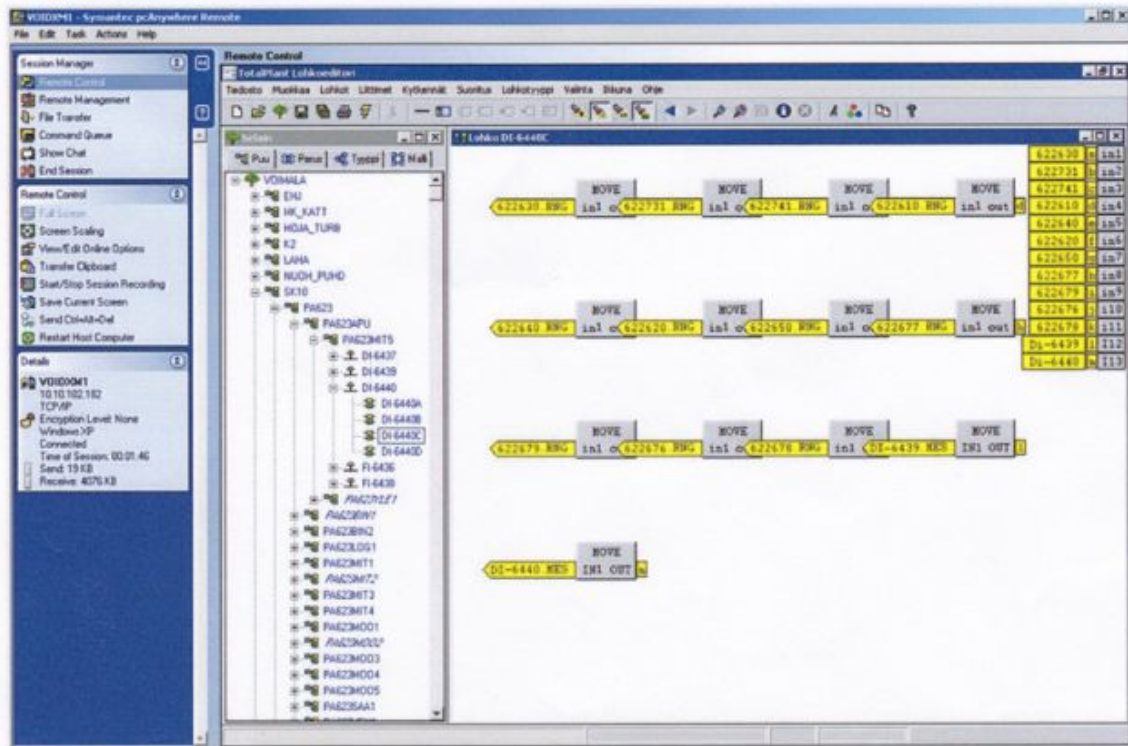
22. Bard, H., Puhaltimia rinnakkaiskäytössä













Kimmu Velling/Kati Sorsa
R&D Services
Research Centre Imatra
FI-55800 Imatra

Mustalipeänäytteet 21. - 22.9.2011
Projekti 11640
Työ 38987
25.10.2011

STORFENSO

Kuiva-aine	SK 11		SK 11		Superipeä		Lipeäkuu		Kideipeä		Lipeäkuu	
	2.10.2006	3.10.2006	13.5.2008	14.5.2008	3.2.2010	23.12.2010	21. - 22.9.2011	21. - 22.9.2011	21. - 22.9.2011	21. - 22.9.2011	21. - 22.9.2011	
Kuiva-aine	80,52	80,08	82,25	81,57	80,59	79,72	59,6	83,11				
tuhka	53,74	53,97	54,19	54,68	54,34	56,73	53,13	52,46				
hiili	34,15	34,28	31,51	31,33	32,84	32,06	35,00	32,73				
vely	3,32	3,09	3,61	3,35	3,24	3,14	3,40	3,52				
typpi	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06	0,08	0,07				
rikki	5,68	5,65	6,43	6,38	6,80	7,07	5,99	6,77				
natrium	182	176	227	229	201	206	189	185				
kalsium	15,3	16,4	18,7	19,30	16,9	20,0	20,9	19,8				
kloori	2,39	2,31	2,49	2,62	2,01	2,50	2,13	2,32				
mähkyöljy	0,65	0,98	0,84	0,72	0,21	0,35	0,53	1,60				
karbonaatti	5,21	5,06	6,25	6,17	4,65	4,66	4,17	4,60				
epäorg./org.-suhde	0,61	0,61	0,65	0,65	0,63	0,66	0,54	0,59				
Kuiva-aineen lämpöarvo												
kalorimetrinen (ylempi)	MJ/kg	11,55	13,01	12,27	12,36	13,02	12,47	14,92	12,72			
tehollinen	MJ/kg	9,03	10,55	9,45	9,61	10,16	9,55	12,29	9,81			
Näytteen tehollinen lämpöarvo	MJ/kg	6,80	7,96	7,34	7,39	7,72	7,12	6,34	7,74			

Kalorimetrinen kuiva-aineen lämpöarvo (ylempi) on laskennallinen arvo tassapainokostealle näytteelle. Se on määritetty siten, että kalorimetrinen (laitteen ilmoittama, syötetty määrän näytteen paino) lämpöarvo on jaettu kuiva-ainepitoisuudella