

Suomen Soodakattilayhdistys ry

**Mustalipeän polttomenetelmät Suomen
soodakattiloissa 2018**

**Esa Vakkilainen, LUT-yliopisto
1.11.2019**

Raportti 5/2019

16A0913-E0198

LUT University

Esa Vakkilainen, Kari Luostarinen

Mustalipeän polttomenetelmät Suomen soodakattiloissa 2018

Lappeenranta 2019

Abstract

Esa Vakkilainen, Kari Luostarinen

Black liquor firing in Finnish recovery boilers 2018

Lappeenranta 2019

45 pages

This work updates liquor firing practices in Finnish recovery boilers from the previous 2004 data with new 2018 data. It was prepared under FRBC Liquor firing subcommittee.

The average liquor firing increased 330 tds/d and the average boiler burned 2800 tds/d. Because several small boilers have been shut and the installed new boilers are big the average size increased significantly. The liquor to be burned changed slightly. The black liquor dry solids increased 1 % and the heating value decreased 0.3 MJ/kgds. Liquor firing per unit area of boiler bottom has clearly increased. Average value increased 17.4 → 19.4 tds/d m² and the HHRR 2820 → 3100 kW/m². Increase in firing capacity can be explained by new big boilers and progress in black liquor combustion, enabling more liquor to be burnt per unit area. All boilers except two use primary-air of less than 30 %. Most recovery boilers are using high over 30 % tertiary and quaternary air.

Liquor firing temperature corresponds to BPR. Also pressures have been kept at the same level. This is significant because the liquor firing per gun has increased a lot.

NO_x emissions show a wide spread; 100–230 mg/Nm³. Highest values have not decreased. No boiler reported TRS that is higher than detection limit. Only few boilers gave dust emission close to 100 mg/Nm³. The dust emissions have gone down significantly.

Keywords: black liquor, recovery boiler, forest industry, best available technology

Tiivistelmä

Esa Vakkilainen, Kari Luostarinen

Mustalipeän polttomenetelmät Suomen soodakattiloissa 2018

Lappeenranta 2019

45 sivua

Työssä vertaillaan ja päivitetään Soodakattilayhdistyksen valitseman, tehtaiden edustajista ja muista toimijoista koostuvan Lipeätyöryhmän valvonnassa nykyisin 2018 käytössä olevat polttotapoja suomalaisilla soodakattiloilla aiemmin vuonna 2004 kerättyihin tietoihin.

Keskimääräinen lipeänpolton lisäys on 330 tka/d ja keskimääräinen kattila poltti 2800 tka/d. Kun useita vanhoja pienitehoisia on lopetettu ja uudet ovat olleet kooltaan isoja, niin keskimääräinen teho on noussut reippaasti. Poltettavat lipeät olivat muuttuneet hieman. Mustalipeän kuiva-aine on noussut vuodesta 2004 vuoteen 2018 noin 1 % eli tasolle 79 %. Mustalipeän kuiva-aineen lämpöarvo on laskenut noin 0.3 MJ/kgka. Kuiva-aineen määrä pohjaa kohti on noussut selkeästi. Keskimääräinen lipeäteho nousi 17.4 → 19.4 tka/d m² ja polttokapasiteetti 2820 → 3100 kW/m². Polttokapasiteetin nousuun on vaikuttanut uudet isot kattilat sekä yleinen polttotekniikan kehitys, jolloin samalla pohja-alalla kyetään polttamaan enemmän. Primääri-ilmaa käyttää enää kaksi kattilaa yli 30 %. Tertiääri- ja kvartääri-ilmaa käyttää yhä useampi kattila. Enää vain kahdessa kattilassa ylilmojen osuus on alle 20 %, joka lipeässä tarkoittaa vain 8 % kaikesta poltettavasta lipeästä.

Lipeän ruiskutuslämpötila on edelleen verrannollinen lipeän kiehumispisteen nousuun. Lipeän polton paineissa vaihtelu on melko maltillista. Tämä on mielenkiintoista koska lipeämäärä per ruisku on noussut. NO_x-päästöissä on iso hajonta; 100–230 mg/Nm³. Ylimmät arvot eivät ole laskeneet. Vain muutama kattila ilmoitti pölypäästön noin 100 mg/Nm³. Yksikään kattila ei ilmoittanut TRS-päästöä joka olisi yli teknisen mittausrajan. Pölypäästöt olivat laskeneet selvästi.

Hakusanat: mustalipeä, soodakattila, metsäteollisuus

Contents

Abstract

Contents

Lyhenteet	7
1 Johdanto	9
2 Kohdekattilat	11
2.1 Kohdekattilat vuonna 2004	11
2.2 Kohdekattilat vuonna 2018	12
3 Mustalipeä	16
3.1 Mustalipeät vuonna 2004	16
3.2 Mustalipeät vuonna 2018	17
4 Pohjarasitus	21
4.1 Pohjarasitukset vuonna 2004	21
4.2 Pohjarasitukset vuonna 2018	22
5 Ilmajärjestelmät	25
5.1 Ilmajärjestelmät vuonna 2004	25
5.2 Ilmajärjestelmät vuonna 2018	27
6 Lipeän polton muutokset	30
6.1 Lipeän poltto vuonna 2004	30
6.2 Lipeän poltto vuonna 2018	32
7 Päästöt	34
7.1 Päästöt vuonna 2004	34
7.2 Päästöt vuonna 2018	36
7.3 Päästöjen vertailu	38
8 Yhteenveto	41
Viitteet	44
Liite A: Kyselykaavake	46

Lyhenteet

adt	ilmakuiva tonni
d	päivä
ds	kuiva-ainetta
HHRR	pohjarasitus kW/m ² pohjaa
HHV	ylempi lämpöarvo
HSL	lipeäteho tka/m ² pohjaa
ka	kuiva-ainetta
MCR	Suurin jatkuva kapasiteetti
tds	tonnia kuiva-ainetta
tka	tonnia kuiva-ainetta

1 Johdanto

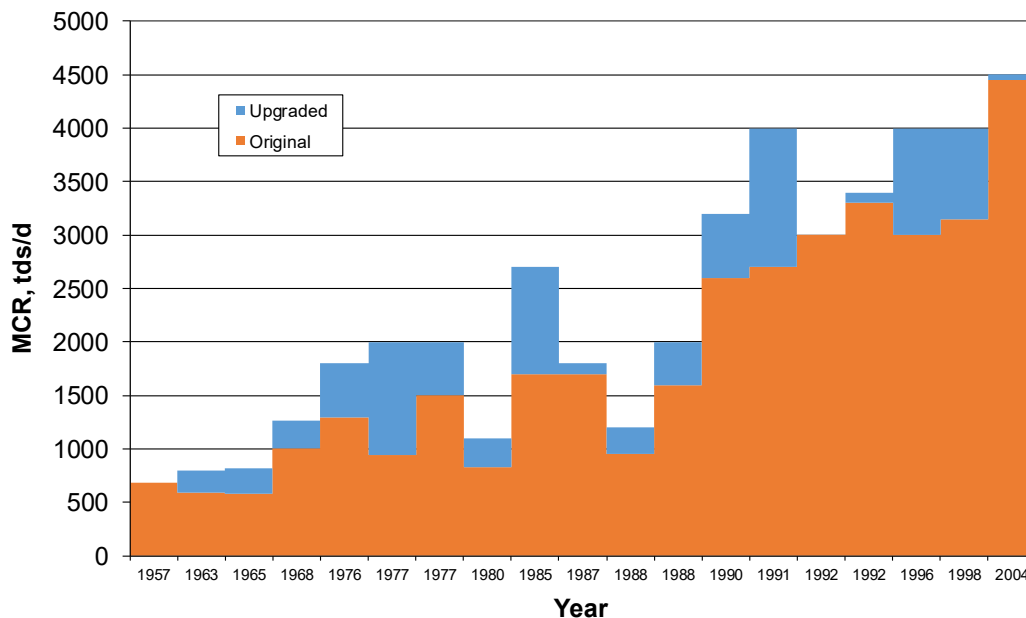
Suomen Soodakattilayhdistys on aiemmin (2004) teettänyt diplomityön jonka perusteella on valmistunut ”Mustalipeän polttomenetelmät Suomen soodakattiloissa” (Report 3/2004, 3.5.2004, 80 p). Raportissa tarkoitus on ollut edistää mustalipeän turvallista polttoa ja käsittelyä soodakattiloilla. Raportissa käytiin läpi vuonna 2004 Suomessa toimineet soodakattilat, niiden polttokapasiteetit, lipeän ruiskutus ja ilmanjaot. Kun puhutaan 2004 arvoista viitataan tähän raporttiin. Tässä työssä pyrittiin saamaan selville, miten soodakattiloiden käyttö on muuttunut vuosien 2004 ja 2018 välillä. On selvää, että nykyiset polttotavat ovat muuttuneet mm. kuiva-aineen nousun takia.

Työssä on koottu yhteen Soodakattilayhdistyksen valitseman, tehtaista ja toimijoista koostuvan Lipeätyöryhmän valvonnassa nykyisin käytössä olevat polttotavat suomalaisilla soodakattiloilla. Samalla on selvitetty, miten polttotavat ovat muuttuneet edellisestä raportista. Lisäksi on mietitty, onko uusilla, erilaisilla polttotavoilla selkeitä syitä.

Tietoja on kerätty lähettämällä tehtaille kyselylomakkeet 2018, joista on koostettu vuoden lopulla yhteenveto. Koostettuja tietoja on käsitelty yhdistyksen konemestaripäivillä tammikuussa 2019. Vuoden 2004 raportin tiedot on päivitetty loppuvuoden 2018 tiedoilla. Päivitettävät asiat koskevat pääosin päästöjä, lipeän ruiskutusparametrejä ja kuormaa sekä soodakattilan ilmajakoja

2 Kohdekattilat

2.1 Kohdekattilat vuonna 2004



Kuva 2.1: Kohdekattilat 2004, ikä ja suurin lipeän polttokapasiteetti.

Vuonna 2004 kerättiin tietoa seuraavasti: ”Tietoa mustalipeän polttomenetelmistä ja soodakattiloiden toiminnasta on kerätty 16 suomalaiselta sellutehtaalta. Näillä tehtailla on käytössään yhteensä 19 soodakattilaa. Kohdetehtaita ei ole valittu minkään tietyn kriteerin perusteella. Ne edustavat useita eri metsäteollisuusyhtiöitä ja niiden tuotteet, tuotantokapasiteetit, prosessit ja laitteistot ovat hyvinkin erilaisia. Tiedot on pääosin kerätty vierailemalla tehtailla ja haastatteleamalla talteenotto-prosessien parissa työskenteleviä henkilöitä. Näin on pyritty saamaan mahdollisimman todenmukainen kuva soodakattiloista ja lipeän polton menetelmistä.” Juvonen 2004

Kattiloiden lipeän polttoteho vaihteli 600 tka/d aina 3150 tka/d keskitehon ollessa 2000 tka/d. Ikäero vanhimman ja nuorimman välillä oli 47 vuotta keski-ikä ollessa 21 vuotta.

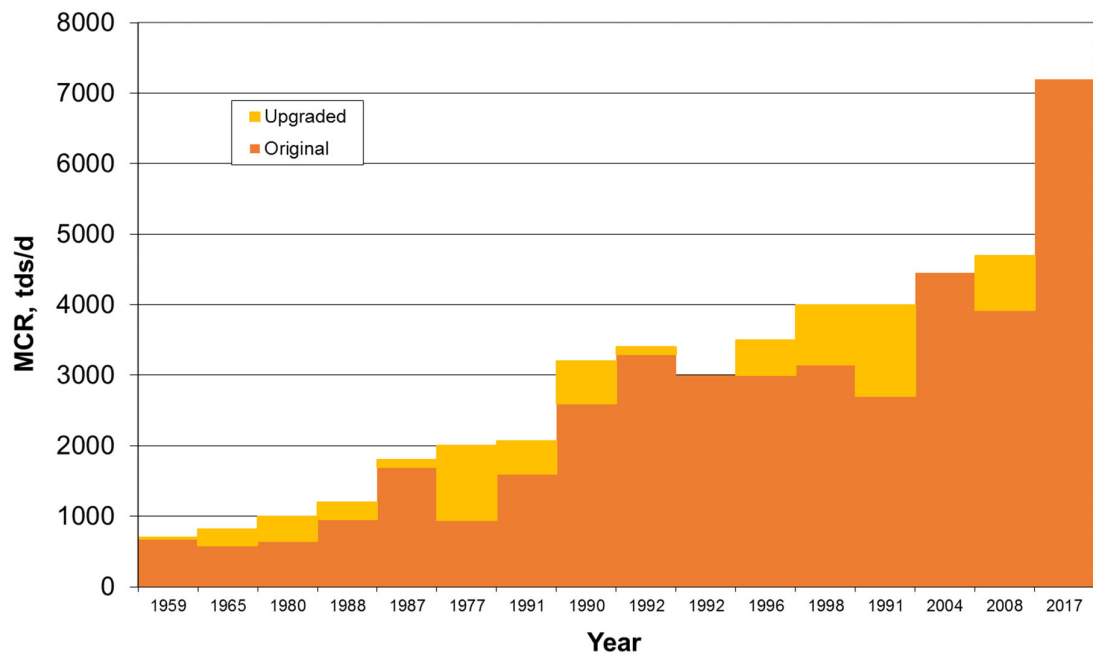
Taulukko 2.1: Tietoja kattiloista 2004 (ikä vuonna 2004)

Koodi	Käynnistysvuosi	Ikä	Tulipesän leveys [m]	Tulipesän syvyys [m]	Tulipesän korkeus nokalle[m]	Pohjan ala [m ²]	Lipeän poltto normaali [tka/d]
N	1957	47	6.5	6.9	17.0	44.9	600
G	1963	41	6.8	6.4	19.0	48.0	800
A	1965	39	7.6	7.6	15.5	57.8	820
S	1968	36	9.9	7.6	19.3	75.5	1100
H	1976	28	10.3	10.8	29.0	111.2	1400
M	1977	27	9.9	9.9	23.0	98.0	1850
Q	1977	27	10.0	10.4	27.0	104.2	1800
P	1980	24	7.438	6.43	22.2	47.8	950
I	1985	19	10.9	10.8	31.6	117.5	2450
D	1987	17	10.1	10.4	27.6	105.1	1500
B	1988	16	8.0	8.0	18.0	64.0	1150
L	1988	16	10.1	10.4	27.8	105.1	1800
K	1990	14	12.6	11.8	31.5	148.6	2800
C	1991	13	12.4	12.8	35.6	159.0	3750
R	1992	12	12.6	11.8	37.4	148.6	2800
E	1992	12	13.7	13.3	40.7	182.9	2800
J	1996	8	12.6	12.6	38.5	158.0	3000
F	1998	6	12.5	13.3	36.5	166.8	3150
O	2004	0	14.4	15.6	41.0	224.6	3150

2.2 Kohdekattilat vuonna 2018

Tietoja kattiloista kerättiin sähköpostikyselyillä (liite 1), joissa täytettiin sama taulukko kuin 2004. Mukana oli 14 suomalaista sellutehdasta. Suomessa on käytössä yhteensä 16 soodakattilaa. Kattiloiden lipeän polttoteho vaihteli 650 tka/d aina 6750 tka/d keskitehon ollessa 2700 tka/d. Ikäero vanhimman ja nuorimman välillä oli 58 vuotta ja keski-ikä oli 29 vuotta.

On huomattava, että raportoitu käynnistysvuosi kattilalle N on 1957 vuoden 2004 datassa ja 1959 vuoden 2018 datassa. Käynnistysvuosi perustuu tehtaan omaan ilmoitukseen.



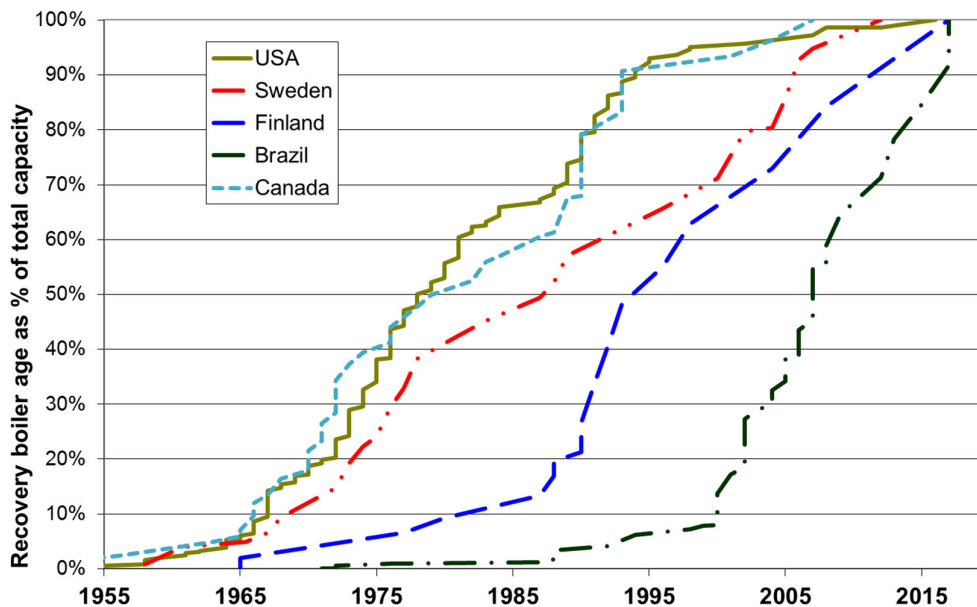
Kuva 2.2: Kohdekattilat 2018, ikä ja suurin lipeän polttokapasiteetti.

Taulukko 2.2: Tietoja kattiloista 2018 (ikä vuonna 2019)

Koodi	Käynnistysvuosi	Ikä	Tulipesän leveys [m]	Tulipesän syvyys [m]	Tulipesän korkeus nokalle[m]	Pohjan ala [m ²]	Lipeän poltto normaali [tka/d]
N	1959	60	6.9	6.9	17.3	47.1	650
A	1965	54	7.6	7.6	15.5	57.8	820
P	1980	39	7.4	6.4	22.2	47.8	1000
B	1988	31	8.0	8.0	18	64.0	1150
D	1987	32	10.1	10.4	27.6	105.0	1500
M	1977	42	9.9	9.9	23	98.0	1850
L	1991	28	10.1	10,4	27.8	105.0	2070
K	1990	29	12.6	11.8	31.5	148.7	3000
E	1992	27	13.7	13.3	40.7	182.2	3000
R	1992	27	12.6	11.8	37.4	148.6	3000
J	1996	23	12.6	12.6	38.5	158.8	3000
F	1998	21	12.5	13.3	36.5	166.3	3900
C	1991	28	12.4	12.8	35.6	158.7	4000
O	2004	15	14.4	15.6	41	224.6	4000
T	2008	11	14.0	14.0	36.5	196.0	4700
U	2017	2	18.3	17.7	38.6	323.3	6750

Tietojen keräyksen välillä on suljettu kaksi sellutehdasta, Kemijärvi ja Kaskinen. Uusia soodakattiloita on käynnistynyt Kymin tehtailla vuonna 2008 ja Äänekosken tehtailla vuonna 2017. Samalla näillä tehtailla olleet vanhat soodakattilat, kolme kappaletta on poistettu käytöstä ja purettu. Yhteensä viisi soodakattilaa on siis poistunut vuonna 2004 tilastoiduista. Vuoden 2004 aineistossa mukana olleista kattiloista kahdella on tehty merkittävä tulipesän koon suurennus.

Vuonna 2004 poltettiin Suomessa tyypillisesti 37670 tka/d eli mediaanikattila poltti 1800 tka/d ja keskimääräinen kattila poltti 2000 tka/d. 2018 poltettiin Suomessa tyypillisesti 44390 tka/d, joka tarkoittaa 18 % lisäystä. Mediaanikattila poltti 3000 tka/d ja keskimääräinen kattila poltti 2800 tka/d, joka tarkoittaa 40 % lisäystä. Yhdeksän kattilaa toimii vuonna 2018 korkeammalla kapasiteetilla kuin vuonna 2004. Niiden keskimääräinen lipeänpolton lisäys on 330 tka/d. Kun useita vanhoja pienitehoisia soodakattiloita on lopetettu, muiden teho on noussut ja molemmat uudet soodakattilat ovat olleet kooltaan isoja, niin keskimääräinen teho on noussut reippaasti.



Kuva 2.3: Suomen soodakattiloiden ikä vuonna 2018 verrattuna soodakattiloiden ikäjakaumaan Brasiliassa, Kanadassa, Ruotsissa ja Yhdysvalloissa.

Vaikka vertailtaessa keräysvuosia huomataan, että soodakattilat Suomessa ovat nyt keskimäärin kahdeksan vuotta vanhempia kuin vuonna 2004, niin kansainvälisesti ikäprofiili on hyvä, kuva 2.3. Suomen soodakattiloiden ikä on moniin isoihin vertailumaihin nähden silti kohtuullisen alhainen. Sellutehtaiden määrä Suomessa on vähentynyt, kun Kaskinen ja Kemijärvi on suljettu. Soodakattiloita on myös lukumääräisesti vähemmän. Toisaalta nykyiset soodakattilat ovat isompia ja kykenevät polttamaan enemmän lipeää.

3 Mustalipeä

Poltettavan mustalipeän ominaisuudet (lämpöarvo ja kuiva-aine) vaihtelevat eri tehtaiden välillä. Lämpöarvo muodostuu keitetävän puulajin ja keittomenetelmän mukaan. Kuiva-aine riippuu haihduttamon rakenteesta ja sen ajovauhdista. Lipeän ominaisuudet voivat vaihdella huomattavasti, lyhyessäkin ajassa kun keiton puulaji tai keiton massatyyppe muuttuu.

3.1 Mustalipeät vuonna 2004

Tehtaiden ilmoittamat mustalipeäarvot vuonna 2004 on ilmoitettu taulukossa 3.1. On huomattava, että yksi tehdas raportoi käyttävänsä 100 % koivua ja kuusi kattilaa käyttää pelkästään havua. Kaksitoista kattilaa käyttää pääsääntöisesti sekalipeää. Koska käytännössä koivua ja mäntyä ei jatkuvasti keitetä samaa määrää, tämä tarkoittaa soodakattilan ajossa vaihtelevaa lipeälaatua.

Taulukko 3.1: Tietoja poltettavista lipeistä 2004

Koodi	puulaji havu [%]	puulaji koivu [%]	kuiva-aine [%]	Polttolipeän HHV [MJ/kg ka]
A	100		80	13.5
B	100		80	13.5
C	59	41	80	12.5
D	40	60	74	13.7
E	40	60	74	13.7
F	100		80	13.3
G	42	58	77	13.0
H	42	58	77	13.0
I	52	48	77	13.2
J	100		78	13.0
K	70	30	82	13.7
L	57	43	70	13.7
M	38	62	80	13.7
N	100		75	14.1
O	58	42	83.5	13.2
P	36	64	74.8	13.6
Q		100	76	13.7
R	31	69	74	13.6
S	100		73	14.2

3.2 Mustalipeät vuonna 2018

Tehtaiden ilmoittamat mustalipeäarvot vuonna 2018 on ilmoitettu taulukossa 3.2. Kuusi kattilaa käyttää pelkästään havua. Kymmenen kattilaa käyttää pääsääntöisesti sekalipeää. Käytännössä keitettävissä puulajeissa ei ole tapahtunut suurta muutosta, vaan n. 36 % on lehtipuulipeää.

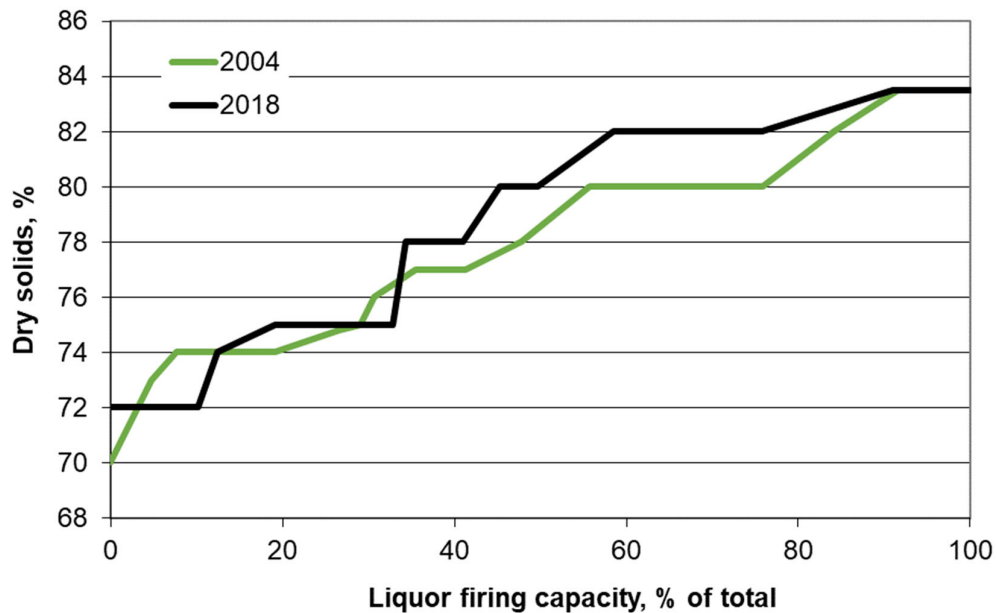
Taulukko 3.2: Tietoja poltettavista lipeistä 2018

Koodi	puulaji havu [%]	puulaji koivu [%]	kuiva-aine [%]	Polttolipeän HHV [MJ/kg ka]
A	50	50	80	13.5
B	35	65	80	13.5
C	65	35	75	12.5
E	40	60	72	13.7
F	100		80	12.5
J	65	35	78	13
K	100		82	13.29
L	30	70	75	13.7
M	100		78	13.7
N	52	48	75	13
O	100		83.5	13.2
P	38	62	72	13.5
R	100		74	12.9
T	32	68	82	13.5
U	50	50	82	13.3

Mustalipeän kuiva-aine on noussut vuodesta 2004 vuoteen 2018 noin 1 %-yksikön eli tasolta 78 % tasolle 79 %. Korkeampi kuiva-aine lisää kattilan kapasiteettia, pienentää rikki- ja pölypäästöjä sekä lisää höyryn ja sähkön tuotantoa. Suomessa siirryttiin 1990-luvun lopulla useissa tehtaissa noin 80 % lipeän kuiva-aineeseen. Kun 2004 vielä seitsemän kattilaa ilmoitti lipeän kuiva-aineeksi 75 % tai sen alle niin 2018 enää kuusi kattilaa toimi samoin. Kun 2004 seitsemän kattilaa ilmoitti lipeän kuiva-aineeksi 80 % tai sen yli, niin 2018 kahdeksan toimi samoin. Kahdeksan kattilaa ilmoitti kuiva-aineen laskeneen ja viidellä se oli noussut. Kuiva-aineen laskua selittää esimerkiksi suurempi kattilan polttokapasiteetti ilman että haihduttamon kapasiteettia on lisätty. Yleensä

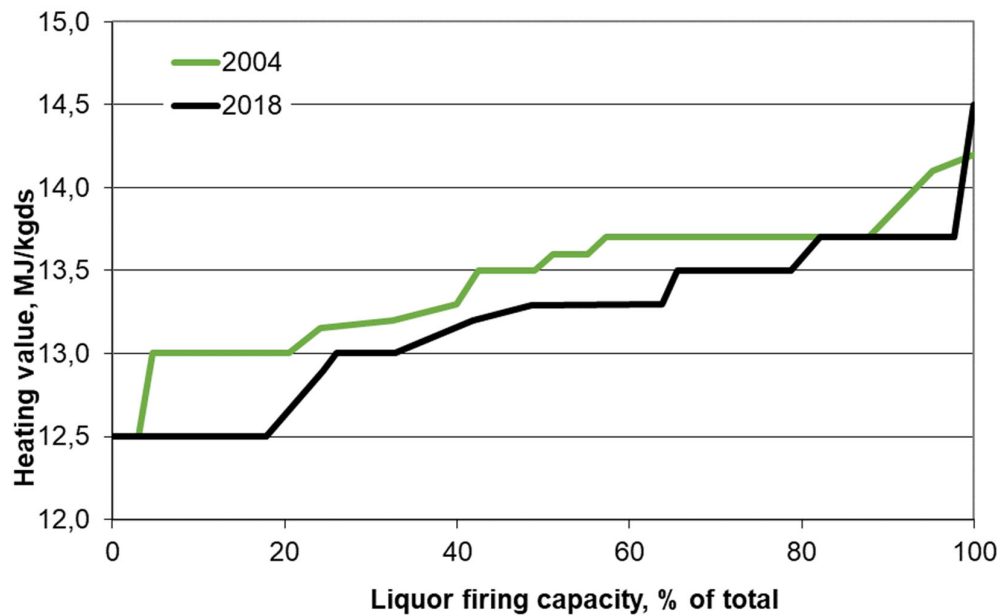
tehtailla ei ole tehty suuria korvausinvestointeja kuiva-aineen nostoon, jos rikki päästöt eivät ole lähteneet nousuun.

Haittapuolena kuiva-aineen nostolle on mainittu esimerkiksi typpioksidipäästöjen lisääntyminen, kun tulipesä toimii paljon kuumempana.



Kuva 3.1: Mustalipeän kuiva-aineet vuosina 2004 ja 2018 suhteellisen polttokapasiteetin mukaan.

Mustalipeän kuiva-aineen lämpöarvo on laskenut vuodesta 2004 vuoteen 2018 noin 0.3 MJ/kg:ksi eli 2 %. Suomessa on jatkuvasti pyritty parantamaan keiton saantoa eli suurempi osa puun orgaanisesta aineksesta päättyy selluksi. Matalampi kuiva-aineen lämpöarvo lisää kattilan kapasiteettia, kun se ilmaistaan tka/m². Vain kahdella kattilalla raportoitiin hieman korkeampi mustalipeän kuiva-aineen lämpöarvo. Muut kattilat raportoivat laskevia lämpöarvoja.



Kuva 3.2: Mustalipeän kuiva-aineen lämpöarvot vuosina 2004 ja 2018 suhteellisen polttokapasiteetin mukaan.

Lämpöarvolla ja kuiva-ainella ei ole kovin systemaattista korrelaatiota, kuva 3.3. Kuiva-ainetta on nostettu monella tehtaalla, vaikka keittoon ei ole tehty muutoksia ja vastaavasti toisinpäinkin. Voisi helposti olettaa, että uusi tehdas takaa hyvän saannon ja korkean lipeän kuiva-aineen. Näin varmaan onkin, mutta ne saadaan aikaan myös tehtaalla, joka on käynnistysvuodeltaan vanhempi.



Kuva 3.3: Mustalipeän lämpöarvot 2004 ja 2018 kuiva-aineen mukaan.

4 Pohjarasitus

Suurimmalle osalle kattiloista tyypillinen tunnusluku on kapasiteetti pohjan alaa kohti. Mikäli tulipesä on saman muotoinen, niin pohja-alan kasvattaminen nostaa vastaavasti kattilan kapasiteettia. Tärkeimmät soodakattilan tunnusluvut ovat lipeäteho (tka/m² pohjaa) ja pohjarasitus (kW/m² pohjaa).

4.1 Pohjarasitukset vuonna 2004

Taulukko 4.1: Tietoja poltettavista lipeämääristä kussakin kattilassa vuonna 2004

Koodi	Pohjan ala [m ²]	Lipeän poltto normaali [tka/d]	HSL [tka/d m ²]	HHRR [kW/m ²]
A	57.8	820	14.2	2135
B	64.0	1150	18.0	2828
C	159.0	3750	23.6	3740
D	105.1	1500	14.3	2247
E	182.9	2800	15.3	2427
F	166.8	3150	18.9	3082
G	48.0	800	16.7	2508
H	111.2	1400	12.6	1916
I	117.5	2450	20.9	3258
J	158.0	3000	19.0	3011
K	148.6	2800	18.8	2988
L	105.1	1800	17.1	2716
M	98.0	1850	18.9	2884
N	44.9	600	13.4	1933
O	224.6	3150	14.0	2305
P	47.8	950	19.9	3104
Q	104.2	1800	17.3	2659
R	148.6	2800	18.8	2988
S	75.5	1100	14.6	2192

Eräs tärkeimmistä parametreista soodakattilan suorituskykyä arvioitaessa on lipeän polttokapasiteetti pohjaa kohti, joka on yksinkertaisesti lipeäkuorma jaettuna pohja-alalla. Englanniksi tämä tunnetaan termillä Heart Solids Loading (HSL). Kattilan kapasiteetti on verrannollinen savukaasuvirtaan ja savukaasuvirta riippuu palavasta, orgaanisesta aineesta mustalipeässä. Edelleen mustalipeän kuiva-aineen lämpöarvo on verrannollinen sen sisältämään orgaanisen aineen määrään. Siksi usein käytetään soodakattilan

kapasiteettiarvona mustalipeävirtausta sekunnissa kerrottuna lipeän lämpöarvolla ja jaettuna pohjan alalla. Englanniksi tämä tunnetaan termillä Heart Heat Release Rate (HHRR).

Vuonna 2004 keskimääräinen lipeäteho oli 17.4 tka/d m² ja mediaani 17.3 tka/d m². Vastaavasti keskimääräinen polttokapasiteetti oli 2820 kW/m² ja mediaani 2720 kW/m².

4.2 Pohjarasitukset vuonna 2018

Vastaavalla tavalla kuin 2004 kattiloille on lipeäteho ja polttokapasiteetti koottu 2018 aineistosta.

Taulukko 4.2: Tietoja poltettavista lipeämääristä kussakin kattilassa vuonna 2018

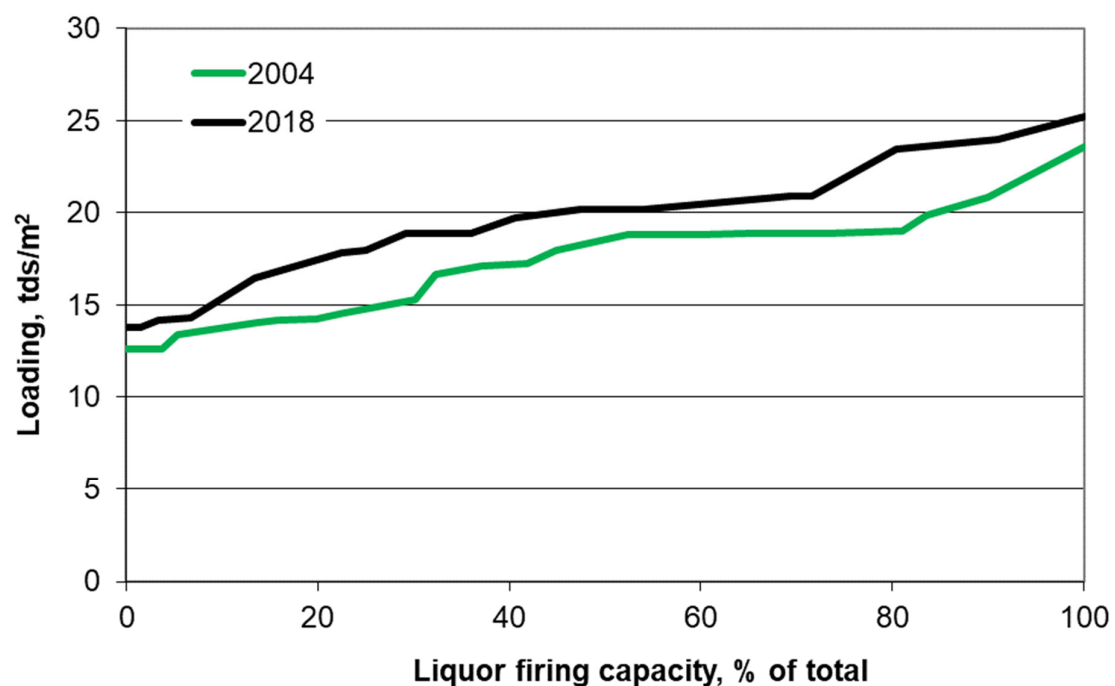
Koodi	Pohjan ala [m ²]	Lipeän poltto normaali [tka/d]	HSL [tka/d m ²]	HHRR [kW/m ²]
A	57,8	820	14,2	2218
B	64,0	1150	18,0	2808
C	158,7	4000	25,2	3646
D	105,0	1500	14,3	2264
E	182,2	3000	16,5	2611
F	166,3	3900	23,5	3394
J	158,8	3000	18,9	2843
K	148,7	3000	20,2	3104
L	105,0	2070	19,7	3125
M	98,0	1850	18,9	2993
N	47,1	650	13,8	2078
O	224,6	4000	17,8	2721
P	47,8	1000	20,9	3509
R	148,6	3000	20,2	3014
T	196,0	4700	24,0	3747
U	323,3	6750	20,9	3214

2018 keskimääräinen lipeäteho oli 19.4 tka/d m² ja mediaani 18.4 tka/d m². Vastaavasti keskimääräinen polttokapasiteetti oli 3100 kW/m² ja mediaani 2830 kW/m².

Soodakattiloille MCR arvoksi tulipesille voidaan käyttää 2700–3300 kW/m² (La Fond *et al.*, 1993). Jos kattila on hyvin viritetty ja polttaa korkean kuiva-aineen lipeää modernilla

ilmajärjestelmällä sen mustalipeän polttokapasiteetti on 3100 ja 3700 kW/m² välillä (Burton, 2000). Tulipesärasitus on tasaisesti noussut, kun tietotaito on lisääntynyt. Barynin and Dickinson (1985) suosittelivat 2680–2840 kW/m² ja tulipesän loppulämpötilaa enintään 925 °C. Walsh and Strandell (1992) esittivät 2500–3200 kW/m² ja tulipesän loppulämpötilaa 925–950 °C.

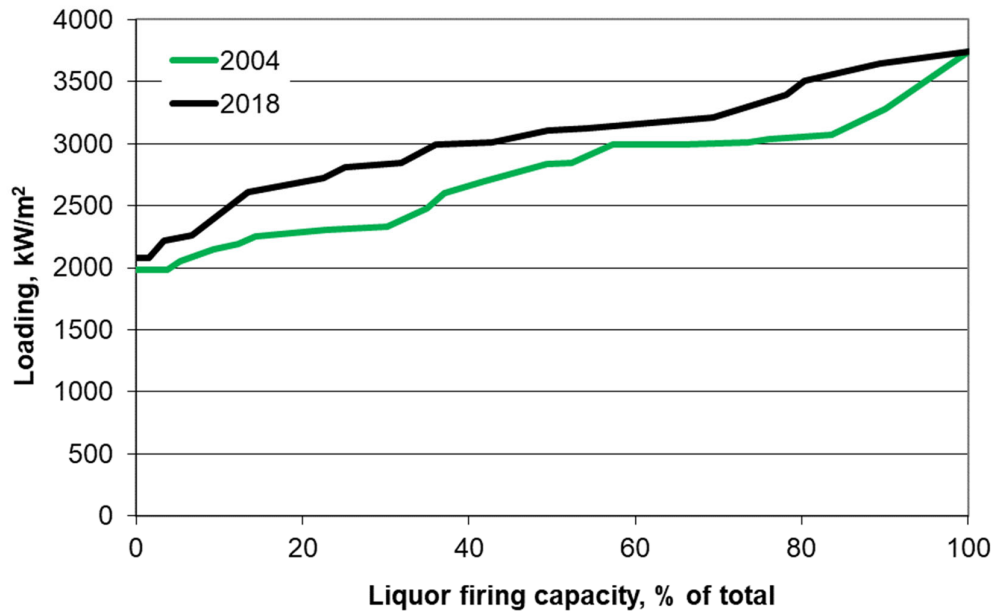
Maakala & Miikkulainen (2015) antavat 21.6 tka/d m² ja 3500 kW/m² tyypillisiksi arvoiksi uusille soodakattiloille. Haaga *et al.* (2017) kertovat uusimpien toimitusten tulipesärasituksiksi 3000–3700 kW/m². Haaga (2014) kertoo lipeätehoksi uusille kattiloille 20–24 tka/d m².



Kuva 4.1: Mustalipeän kuiva-aineen poltto pohjaneliötä kohti 2004 ja 2018 suhteellisen polttokapasiteetin mukaan.

Vuonna 2004 vain kaksi kattilaa poltti lipeää yli 20 tka/d m². Vuonna 2018 jo yli puolet lipeän poltosta tapahtuu korkealla kuormituksella kun kuusi kattilaa poltti lipeää yli 20

tka/d m², Kuva 4.1. Kuiva-aineen määrä pohjaa kohti on noussut selkeästi. Keskimäärinen lipeäteho nousi 17.4 tka/d m² → 19.4 tka/d m². Nousu oli 11 % vastaten 0.8 % vuodessa tai lukuarvona 2 tka/d m².



Kuva 4.2: Mustalipeän polttokapasiteetti pohjaneliötä kohti vuosina 2004 ja 2018 suhteellisen polttokapasiteetin mukaan.

Keskimäärinen polttokapasiteetti 2004 oli 2820 kW/m² ja mediaani 2720 kW/m². Vastaavasti keskimäärinen polttokapasiteetti 2018 oli 3100 kW/m² ja mediaani 2830 kW/m². Polttokapasiteetti oli siten noussut selvästi noin 10 %. Kun 2004 vain yksi kattila poltti lipeää polttokapasiteetillä yli 3500 kW/m², niin 2018 poltti kolme kattilaa lipeää yli 3500 kW/m². Samoin kun 2004 kahdeksan kattilaa poltti lipeää polttokapasiteetillä alle 2500 kW/m², niin 2018 enää viisi kattilaa poltti lipeää alle 2500 kW/m².

Polttokapasiteetin nousuun ovat vaikuttaneet uudet isot kattilat sekä yleinen polttotekniikan kehitys, jollain samalla pohja-alalla kyetään polttamaan enemmän. Selittäviä tekijöitä on todennäköisesti myös uudet automaatio- ja ilmajärjestelmät.

5 Ilmajärjestelmät

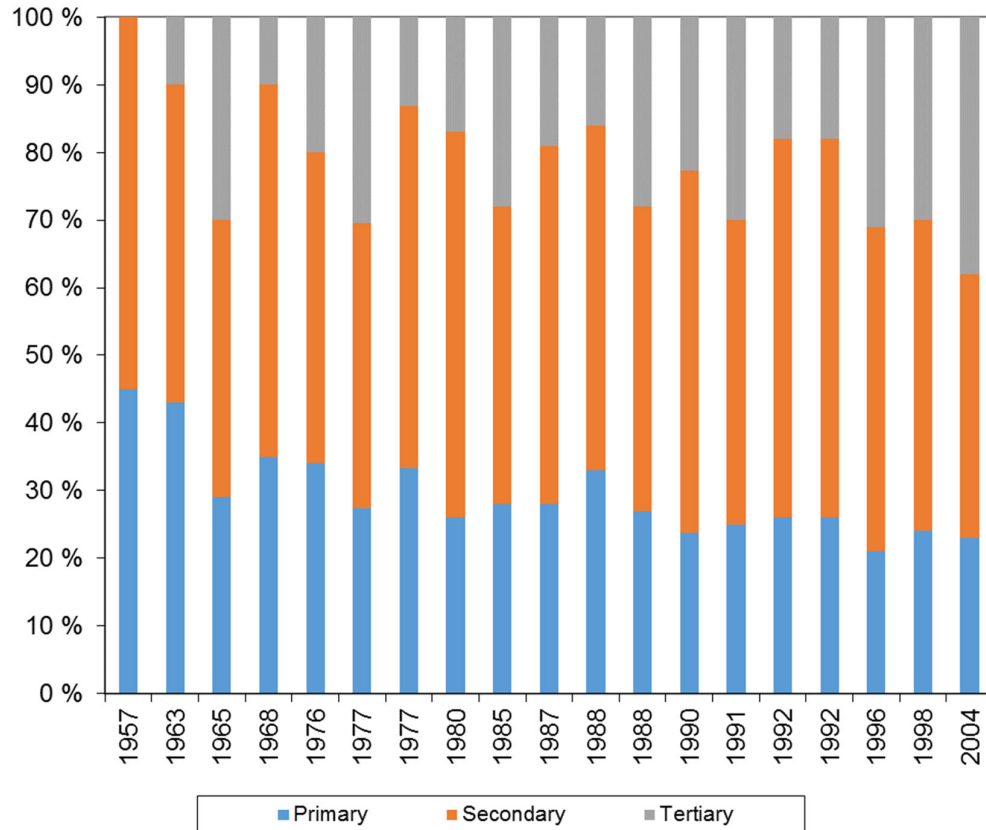
Yksi eniten keskustelua herättänyt kysymys on ollut ilmajärjestelmien kehitys. Ilmajärjestelmiähän on kehitetty paitsi reduktion parantamiseksi, niin päästöjen pienentämiseksi kuin likaantumisen vähentämiseksi.

5.1 Ilmajärjestelmät vuonna 2004

Taulukko 5.1: Tietoja kattiloiden ilmajaoista vuonna 2004

Koodi	Käynnistysvuosi	Primääri [%]	Sekundääri [%]	Tertiääri [%]
A	1965	29	41	30
B	1988	27	45	28
C	1991	25	45	30
D	1987	28	53	19
E	1992	26	56	18
F	1998	24	46	30
G	1963	43	47	10
H	1976	34	46	20
I	1985	28	44	28
J	1996	21	48	31
K	1990	24	54	23
L	1988	33	51	16
M	1977	28	43	31
N	1957	45	55	0
O	2004	23	39	38
P	1980	26	57	17
Q	1977	33	53	13
R	1992	26	56	18
S	1968	35	55	10

Eräs tärkeimmistä parametreista soodakattilan ilmajärjestelmien kehittymiselle on ollut primääri-ilman väheneminen ja tertiääri-ilman lisääntyminen. On selkeästi huomattavissa, että kun primääri-ilman osuus vanhimmissa kattiloissa on yli 35 %, niin primääri ilman osuus uusimmissa kattiloissa on lähellä 25 %. Primääri-ilman osuutta arvioitaessa on huomattava, että starttipolttimien jäähdytysilma voidaan ottaa projektista riippuen joko sekundääri-ilmasta tai primääri-ilmasta. Tämä vaikuttaa raportoitavaan ilmanjakoon muutaman prosentin.



Kuva 5.1: Soodakattilan ilmanjaot 2004 käynnistysvuoden mukaan järjestettynä.

Kun tertiääri-ilmaa ei alun pitäen kattilassa käytetty ollenkaan, ja osuus kaikkein vanhimmissa kattiloissa oli 10–15 %, niin uusissa kattiloissa se on noussut lähelle 30 % tai ylikin. Soodakattilan ilmajärjestelmissä siirryttiin 2000-luvulla käyttämään useita vaakatasoisia syöttöjä täydellisen palamisen aikaansaamiseksi. 2000-luvun alussa ilmajärjestelmissä keskityttiin sopivan tulipesän alaosan lämpötilan ylläpitoon ja päästöjen alentamiseen (Wallén *et al.* 2002).

Vuoden 2004 datasta huomattiin että kuiva-aineen noustessa primääri-ilman osuus pieneni ja reduktio parani kun primääri ilman osuus laski (Vakkilainen 2007).

5.2 Ilmajärjestelmät vuonna 2018

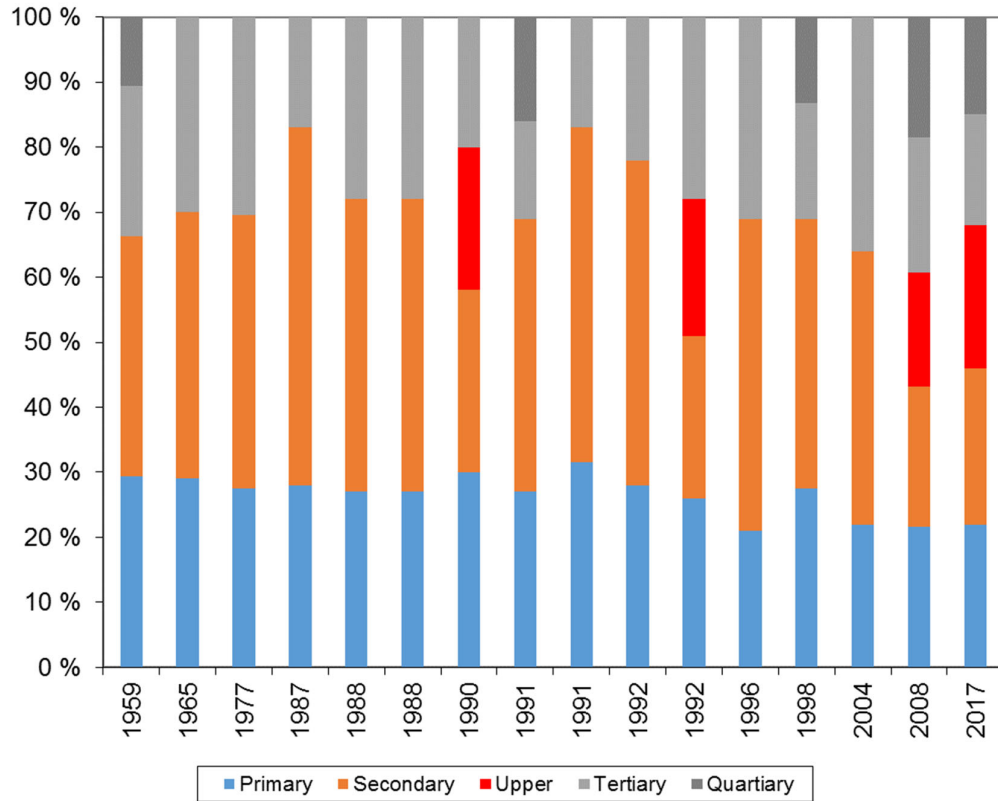
Vastaavalla tavalla kuin 2004 kattiloille on ilmanjako kattiloille 2018 kerätty aineistosta. Ilmanjako on nyt raportoitu tarkemmin; sekundääriin lisäksi yläsekundääri ja tertiääri-ilman yläpuolelle on ilmaantunut kvartääri.

Taulukko 5.2: Tietoja kattiloiden ilmajaosta vuonna 2018

Koodi	Käynnistys- vuosi	Primääri [%]	Sekundääri [%]	Yläsek. [%]	Tertiääri [%]	Kvartääri [%]
A	1965	34	46	0	20	0
B	1988	28	43	0	31	0
C	1991	27	42	0	15	16
D	1987	28	55	0	17	0
E	1992	28	50	0	22	0
F	1998	27.5	41.5	0	17.7	13.3
J	1996	21	25	23	31	0
K	1990	30	28	22	20	0
L	1991	31.5	51.5	0	17	0
M	1977	28	43	0	31	0
N	1959	29.4	36.9	0	23.0	10.6
O	2004	22	42	0	36	0
P	1988	27	45	45	28	0
R	1992	26	25	21	28	0
T	2008	21.6	21.6	17.6	20.7	18.6
U	2017	22	24	22	17	15

Vuonna 2018 kuudessa kattilassa raportoitiin yläsekundääriin käytöstä. Tämä tarkoittaa, että sekundääri-ilmaa tuodaan vertikaalisesti useammalta kuin yhdeltä tasolta. Viisi kattilaa raportoi kvartiääri-ilman käytöstä. Raportissa ei erikseen kysytty vertikaali-ilman käytöstä. Vertikaali-ilmalle on tyypillistä, että ilmoja tuodaan monelta tasolta, joissa ilma-aukot on järjestetty samalle kohdalle pystysuunnassa.

Primääri-ilmaa käyttää enää kaksi kattilaa 30 % tai sen yli, joka lipeässä tarkoittaa vain 7 % kaikesta poltettavasta lipeästä. Samoin neljä kattilaa käyttää primääri-ilmaa 22 % tai sen alle, joka lipeässä tarkoittaa 42 %. Primääri-ilman käytössä on huomattava, että se vaatii toimiakseen riittävän nopeuden aukossa, joten pelkkä määrän vähentäminen ei aina välttämättä onnistu ilman ilma-aukkomuutoksia.



Kuva 5.2: Soodakattilan ilmanjaot 2018 käynnistysvuoden mukaan järjestettynä.

Tertiääri- ja kvartääri-ilmaa käyttää yhä useampi kattila, kuva 5.2. Enää vain kahdessa kattilassa yläilmojen osuus on alle 20 %, joka lipeässä tarkoittaa vain 8 % kaikesta poltettavasta lipeästä. Samoin yhdeksän kattilaa käyttää tertiääri- ja kvartääri-ilmaa 30 % tai sen yli, joka lipeässä tarkoittaa 64 %. Lipeäruiskujen yläpuolisen ilman käytössä on huomattava, että yksi sen päätavoite on ollut NO_x-päästöjen alentaminen ja se vaatii toimiakseen myös primääri-ilman alentamista.

Haagan *et al.* (2017) esittämissä kuvissa uusimmissa soodakattilan ilmajärjestelmissä on primääri-, ala- ja yläsekundääri- sekä tertiääri- ja kvartääri-ilmatasot. Vain primääri-ilmaa tulee neljältä seinältä, tosin sivuseinillä on käynnistyspolttimia. Lisäksi uusissa kattiloissa poltetaan tyypillisesti liuotin- ja sekoitinhöngät, laimeat hajukaasut, väkevät hajukaasut

ja mustalipeään sekoitettuna usein bioliete. Tämän lisäksi voidaan polttaa suopaa, tärpättiä ja metanolia. Apupolttoaineena on öljyn ja maakaasun lisäksi pikiöljy.

6 Lipeän polton muutokset

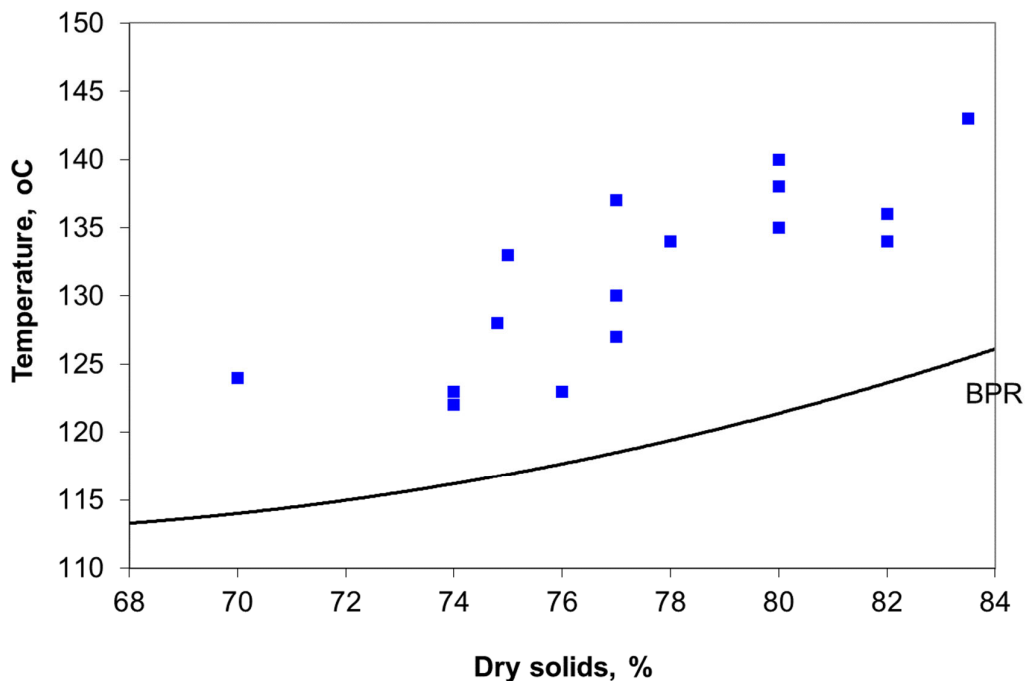
2004 vain yksi kattila käytti muuta kuin lusikkasuutinta. Vuonna 2018 moni kattila oli siirtynyt esim. tölkkisuuttimen käyttöön. Lipeäsuutintyyppi ei tullut vuosina 2004 eikä 2018 raportoitua riittävällä tarkkuudella ja siitä pitäisikin tehdä lisätiedon keräystä. Lipeän poltolle tärkeät suureet kuten ruiskujen lukumäärä, paine ja lämpötila on kerätty melkein kaikilta kattiloilta.

6.1 Lipeän poltto vuonna 2004

Taulukko 6.1: Tietoja kattiloiden lipeän poltosta vuonna 2004

Koodi	Poltto [tka/d]	Paine [bar]	Lämpötila [°C]	Ruiskuja [-]	kuiva-aine [%]	Poltto [kg/s/ruisku]
A	820	2	138	4	80	3.0
B	1150	1.6	124	9	70	2.1
C	3750	1.4	138	9	80	6.0
D	1500	1.2	123	12	74	2.0
E	2800	1.2	123	12	74	3.6
F	3150	1.5	138	8	80	5.7
G	800	1.3	127	4	77	3.0
H	1400	1.2	127	8	77	2.6
I	2450	1.6	137	6	77	6.1
J	3000	1.2	134	12	78	3.7
K	2800	1.7	136	12	82	3.3
L	1800	1.8	138	4	80	6.5
M	1850	1.8	140	8	80	3.3
N	600	1.4	133	2	75	4.6
O	3150	1.77	143	9	84	4.9
P	950	1.63	128	4	75	3.7
Q	1800	1.53	123	10	76	2.7
R	2800	1.1	122	12	74	3.6
S	1100					

Vuonna 2004 lipeätä poltettiin 233 tka/d tai 4.2 kg/s per ruisku parametreillä 1.4 bar ja 134 °C. Lipeämäärä per ruisku vaihteli noin yhden suhde neljään eli 2.0–6.5 kg/s. Eli eri kattiloilla oli selkeästi eri kokoisia ruiskuja. Lipeän paine (ylipainetta) vaihteli noin yhden suhde kahteen eli 1.1–2 bar(g). Lipeän lämpötila vaihteli välillä 122 °C ja 140 °C.



Kuva 6.1: Soodakattilan lipeän ruiskutuslämpötila vuonna 2004 lipeän kuiva-aineen mukaan järjestettynä, kuvassa on myös noin arvona keskimääräinen kiehumispisteen nousu.

Kun lipeän ruiskutuslämpötilat järjestetään kuiva-aineen funktiona ja kuvaan piirretään myös keskimääräinen lipeän kiehumispisteen nousu, huomataan että kaikki kattilat polttivat lipeää kiehumispisteen ylittävällä lämpötilalla, kuva 6.1. Erot kiehumispisteeseen vaihtelivat muutamasta asteesta yli kymmeneen asteeseen.

Lipeän poltossa käytettävän paineen vaihtelut olivat pieniä, keskimäärin oltiin samalla tasolla, vain muutama arvo poikkesi. On huomattava, että lipeäruiskun ja mittauskohdan välissä on usein erilaisia letkuja ja armatuureja, joten erilaisia ilmoitettuja lukuarvoja on odotettavissa, vaikka itse ruiskulla olisikin lähes sama paine.

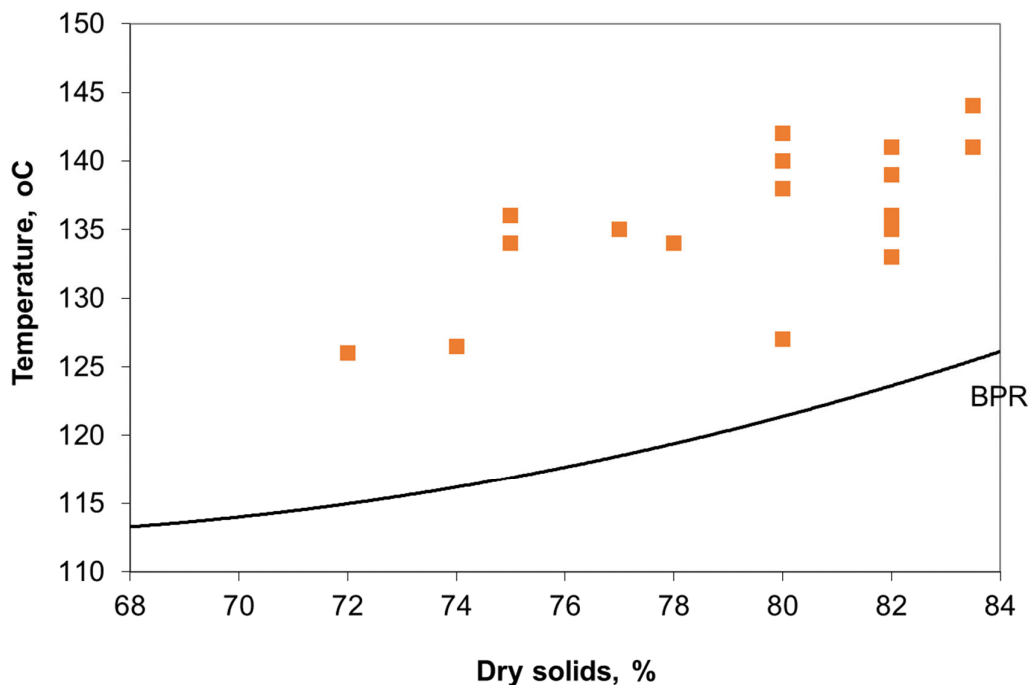
6.2 Lipeän poltto vuonna 2018

Vastaavalla tavalla kuin vuoden 2004 kattiloille on lipeän polttoparametrejä kattiloille vuonna 2018 kerätty aineistosta.

Taulukko 6.2: Tietoja kattiloiden lipeän poltosta vuonna 2018

Koodi	Poltto [tka/d]	Paine [bar]	Lämpötila [°C]	Ruiskuja [-]	kuiva-aine [%]	Poltto [kg/s/ruisku]
A	820	1.2	127	8	80	1.5
B	1150	1.8	140	8	80	2.1
C	4000	1.8	134	6	75	10.3
D	1500	1.2	126	12	72	2.0
E	3000	1.2	126	12	72	4.0
F	3900	1.65	142	9	80	6.3
J	3000	1.2	134	12	78	3.7
K	3000	2.8	135	12	82	3.5
L	2070	1.3	136	9	75	3.5
M	1850				78	
N	650	1.08	135	4	77	2.4
O	4000	1.7	144	9	83.5	6.2
P	1150	1.8	138	4	80	4.2
R	3000	1.35	126.5	6	74	7.8
T	4700	1.6	139	12	82	5.5
U	6750	1.7	141	12	82	7.9

2018 lipeätä poltettiin 400 tka/d tai 5.8 kg/s ruisku parametreillä 1.6 bar ja 138 °C. Keskimääräinen lipeävirtaus korreloi hyvin esimerkiksi Järvinen et al. 2016, käytetyn 5 kg/s virtauksen kanssa. Lipeämäärä kg/s per ruisku (sisältäen veden) vaihteli noin yhden suhde seitsemään eli 1.5–10.3 kg/s ja oli selvästi noussut vuoden 2004 arvoista. Lipeän paine (ylipainetta) vaihteli noin yhden suhde kolmeen eli 1.1–2.8 bar(g). Lipeän lämpötila vaihteli välillä 126 °C ja 144 °C. Lipeän lämpötilan nousua selittää kuiva-aineen nousu. Lipeämäärää per ruisku selittää paitsi lipeätehon, tka/d m² nousu myös pienien kattiloiden poistuminen ja isot uudet kattilat.



Kuva 6.2: Soodakattilan lipeän ruiskutuslämpötila vuonna 2018 lipeän kuiva-aineen mukaan järjestettynä, kuvassa on myös noin arvona keskimääräinen kiehumispisteen nousu.

Lipeän ruiskutuslämpötila on edelleen verrannollinen lipeän kiehumispisteen nousuun. Vaikka vaihtelua on, ei suurta eroa vuosien 2004 ja 2018 välillä näy, paitsi kuiva-aineen noston aiheuttama keskimääräisen arvon nousu.

Lipeän polton paineissa, jos yksi yksittäinen arvo 2.8 otetaan pois, niin vaihtelu on melko maltillista ja arvot samaa tasoa kuin vuonna 2004. Tämä on mielenkiintoista koska lipeämäärä per ruisku on noussut. Tämä olisi selitettävissä esimerkiksi lipeäruiskujen koon kasvulla. Valitettavasti kerätty data ei kerro riittävästi ruiskukoon kehityksestä.

7 Päästöt

Soodakattiloiden päästöjä voidaan arvioida kerättyjen tyypillisten arvojen ja tilastoitujen vuosipäästöjen avulla. On huomattava, että erilaisista syistä johtuen voi jollain kattilalla olla pitkänkin aikaa poikkeuksellinen päästö, joten yksittäisten kattiloiden kohdalla on vältettävä tekemästä jyrkkiä johtopäätöksiä.

7.1 Päästöt vuonna 2004

Vuoden 2004 kattiloille kerättiin päästöjä ja toimintaolosuhteita.

Taulukko 7.1: Tietoja kattiloiden ilmoitetuista päästöistä [mg/Nm³] vuonna 2004

Koodi	Kuiva-aine [%]	SO ₂ [mg/Nm ³]	NO _x [mg/Nm ³]	Pöly [mg/Nm ³]	TRS [mg/Nm ³]	Happi [%]	Reduktio [%]
A	80	7		150		3.8	93.5
B	70	7	210	100	1.5	3	93
C	80	1.5	230	30	2.5	2.5	95.5
D	74	2	160		0	2.5	93.5
E	74	2.3	170		0	2.5	97
F	80	0		130	2	2.1	93.5
G	77	5	210			5.1	91.5
H	77	5	200		2.7	4.6	93.5
I	77	0	200	100	0	2.4	93
J	78	5	170	30	1.4	2.5	97
K	82	0	220	20		3.3	96
L	80	2	180	10	10	2.9	90.5
M	80	2	180	20	1.6	2	96
N	75	0	160	10	0	5	
O	84	2.3	167	5	4.75	2.3	98
P	75	8	220			3.2	
Q	76	88	180	100	2	3.1	93
R	74	1	200	20	1	2.7	
S	73						

Ilmoitetut SO₂-päästöt olivat pieniä paitsi yhden kattilan. Käytännössä kaikkien kattiloiden keskimääräiset päästöt olivat teknisen mittausrajan n. 10 ppm luokkaa. On huomattava, että suuresta SO₂-päästöstä vastaava kattila Q poistui käytöstä ennen 2018.

NOx-päästöt olivat melko samanlaisia 160–230 mg/Nm³ eikä suuria vaihteluja ollut. Viisi kattilaa ilmoitti pölypäästökseksi yli 100 mg/Nm³. Vain yksi kattila ilmoitti TRS-päästön, joka oli yli teknisen mittausrajan. Koska sama kattila ilmoitti alhaisen reduktion, niin juurisyy voi olla sama.

Taulukko 7.2: Tietoja tehtaiden ilmoitetuista päästöistä [kg/ADt] vuonna 2004 (Metsäteollisuus) lisättynä ilmoitetulla reduktiolla

Koodi	Kuiva-aine [%]	SO ₂ [kg/ADt]	NOx [kg/ADt]	Pöly [kg/ADt]	TRS [kg/ADt]	CO ₂ fossil [kg/ADt]	Reduktio [%]
A	80	0.14	1.89	1.68	0.05	127	93.5
B	70	0.14	1.89	1.68	0.05	127	93
C	80	1.41	2.07	0.21	0.07	147	95.5
D	74	0.22	1.55	0.13	0.04	93	93.5
E	74	0.22	1.55	0.13	0.04	93	97
F	80	0.15	1.40	0.22	0.07	132	93.5
G	77	0.08	1.46	0.52	0.09	194	91.5
H	77	0.08	1.46	0.52	0.09	194	93.5
I	77	0.89	1.79	1.12	0.04	117	93
J	78	0.38	1.36	0.68	0.07	113	97
K	82	0.02	1.39	0.26	0.14	91	96
L	80	0.08	1.09	0.75	0.16	182	90.5
M	80	0.09	1.81	0.05	0.19	136	96
N	75	0.10	0.85	0.08	0.04	225	
O	84	0.58	1.43	0.47	0.14	94	98
P	75	0.58	2.12	0.64	0.07	136	
Q	76	1.64	1.83	0.57	0.11	113	93
R	74	0.26	1.50	0.25	0.14	174	
S	73	0.04	1.17	1.82	0.52	158	

Tehtaiden ilmansuojelutarkoituksiin ilmoittamat luvut ja niistä lasketut ominaispäästöt koskevat sekä soodakattilaa, meesauunia että mahdollista hajukaasujen erillispolttoa, mutta ei energiatuotannon päästöjä. Soodakattiloiden päästöjä erikseen per tuotettu sellutonni ei tilastoida. Hiilidioksidipäästöistä on ilmoitettu vain fossiiliosa. Ilmoitetut päästöt esim. NOx suhteen vaihtelevat paljon. Saannon takia sellutuoatannnon suhteessa laskettu alhaisin arvo on 0.85 kg/ADt ja korkein hieman yli 2 kg/ADt. Vain neljä tehdasta ilmoitti merkittävästä SO₂-päästöstä. Fossiilisen polttoaineen käyttö oli hieman alle 100 kg/ADt aina yli 200 kg/ADt. Ero selittyisi esimerkiksi ylös ja alasajomäärien eroista.

7.2 Päästöt vuonna 2018

Vastaavalla tavalla kuin vuoden 2004 kattiloille on päästöjä ja toimintaolosuhteita kattiloille vuonna 2018 kerätty tehtailta ja ilmansuojeluaineistosta.

Taulukko 7.3: Tietoja kattiloiden ilmoitetuista päästöistä [mg/Nm³] vuonna 2018

Koodi	Kuiva-aine [%]	SO ₂ [mg/Nm ³]	NO _x [mg/Nm ³]	Pöly [mg/Nm ³]	TRS [mg/Nm ³]	Happi [%]	Reduktio [%]
A	80	0	150	100	0.4	3.5	93.5
B	80	0	150	100	0.23	4.0	95.5
C	75	2	230	45	5	2.5	91.5
D	72	0	182		0	2.4	95
E	72		194				97
F	80	0	140	20	0	1.9	96
J	78	5	170	30	1.4	2.5	97
K	82					2.7	
L	75	5	180	<50	1.5	3	90
M	78	5	200	30	2.5	2.5	95.5
N	77	0	100	10	0	5	96
O	83.5	0	160	9	1.2	2.5	94.5
P	72	2	110	10	0	2.5	95
R	74		180				95
T	82	0	190		0	3.7	95
U	82	6	193	8	0	4	91

Ilmoitetut SO₂-päästöt olivat pieniä kaikilla kattiloilla. Käytännössä kaikkien päästöt olivat teknisen mittausrajan luokkaa. Koska on tärkeää raportoida rikkipäästöistä laajalla mittausalueella niin mittauksen 0-tason lähettyvillä pyörivät arvot eivät eroa paljoa toisistaan.

NO_x-päästöissä on iso hajonta; 50–230 mg/Nm³. Ylimmät arvot eivät ole laskeneet vuonna 2004 ilmoitetuista, mutta kahdella kattilalla on pienempi arvo kuin vuonna 2004 raportoitiin. Vain kaksi kattilaa ilmoitti pölypäästön noin 100 mg/Nm³. Vuonna 2004 viisi kattilaa ilmoitti pölypäästön 100 mg/Nm³ tai sitä suurempaa arvoa. Pölypäästöt ovat siis selkeästi laskeneet. Yksikään kattila ei ilmoittanut TRS-päästöä joka olisi yli teknisen mittausrajan.

Kattiloiden ilmoitetun päästön lisäksi on hyödyllistä katsoa tehtaiden ilmoittamia päästöjä jotka siis sisältävät muutakin päästöä kuin kattilan päästöt. Koska vuoden 2018 dataa ei ole vielä saatavissa on käytetty vuoden 2017 päästöjä vuoden 2017 tuotannoilla.

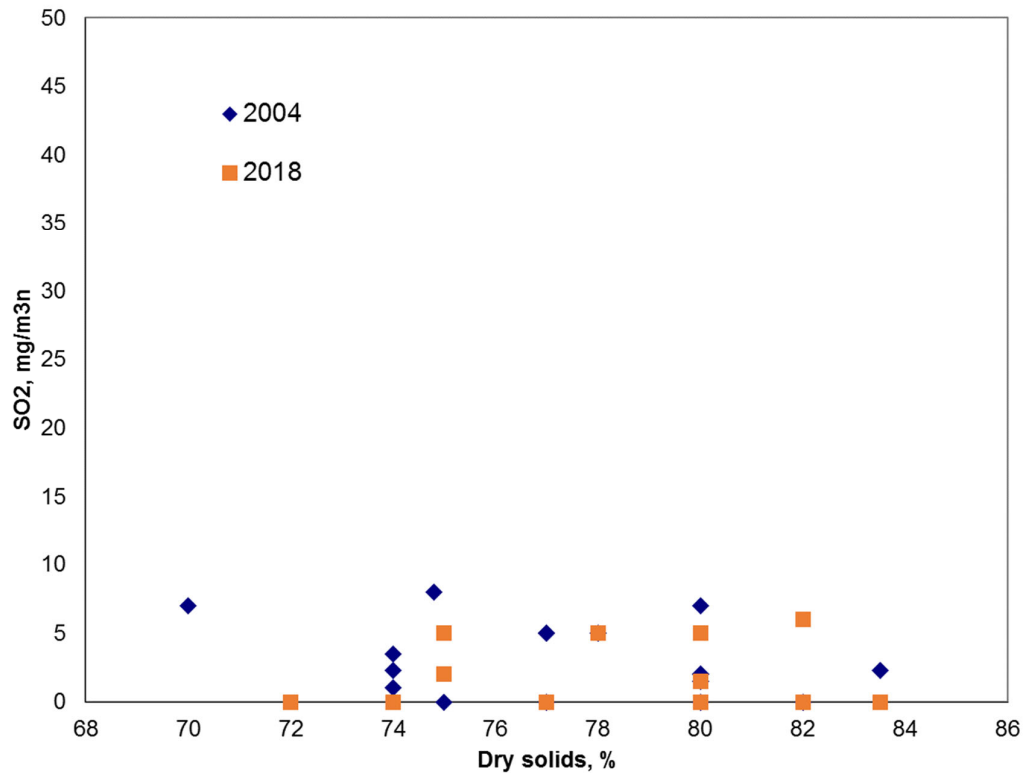
Taulukko 7.4: Tietoja tehtaiden ilmoitetuista päästöistä vuonna 2017 (Metsäteollisuus ry) lisättynä ilmoitetulla reduktiolla

Koodi	Kuiva-aine [%]	SO ₂ [kg/ADt]	NO _x [kg/ADt]	Pöly [kg/ADt]	TRS [kg/ADt]	CO ₂ fossil [kg/ADt]	Reduktio [%]
A	80	0.069	1.500	0.998	0.016	75	93.5
B	80	0.069	1.493	0.993	0.016	75	95.5
C	75	0.156	1.241	0.195	0.038	108	91.5
D	72	0.087	1.572	0.118	0.014	164	95
E	72	0.087	1.572	0.118	0.014	164	97
F	80	0.349	1.622	0.409	0.007	28	96
J	78	0.186	1.369	0.153	0.011	131	97
K	82	0.150	1.720	0.149	0.045	104	
L	75	0.033	1.828	0.244	0.027	687	90
M	78	0.024	0.982	0.638	0.066	490	95.5
N	77	0.067	0.873	0.058	0.006	119	96
O	83.5	0.042	1.418	0.155	0.029	8	94.5
P	80	0.151	1.046	0.580	0.016	224	93.5
R	74	0.039	1.772	0.626	0.095	106	95
T	82	0.006	1.533	0.081	0.027	149	95
U	82	0.050	1.204	0.157	0.011	19	91

Tehtaiden ilmoittamat ominaispäästöt koskevat sekä soodakattilaa, meesauunia että mahdollista hajukaasujen erillispolttoa, mutta ei energiatuotannon päästöjä. Soodakattiloiden päästöjä erikseen per tuotettu sellutonni ei tilastoida. Tehtaiden ilmoittamat ominaispäästöt esim. NO_x suhteen eroavat vähemmän kuin vuonna 2004. Saannon takia alhaisin arvo on edelleen noin 0.85 kg/ADt mutta korkein jo alle 2 kg/ADt. Vain yksi tehdas ilmoitti merkittävästä SO₂-päästöstä. Fossiilisen polttoaineen käyttö oli keskimäärin supistunut. Tosin kaksi tehdasta ilmoitti yli 400 kg/ADt. Suuri luku selittyisi esimerkiksi energiatuotannon ottamisesta mukaan ilmoitettuun arvoon tai jostain syystä runsaasta apupolttoaineen käytöstä.

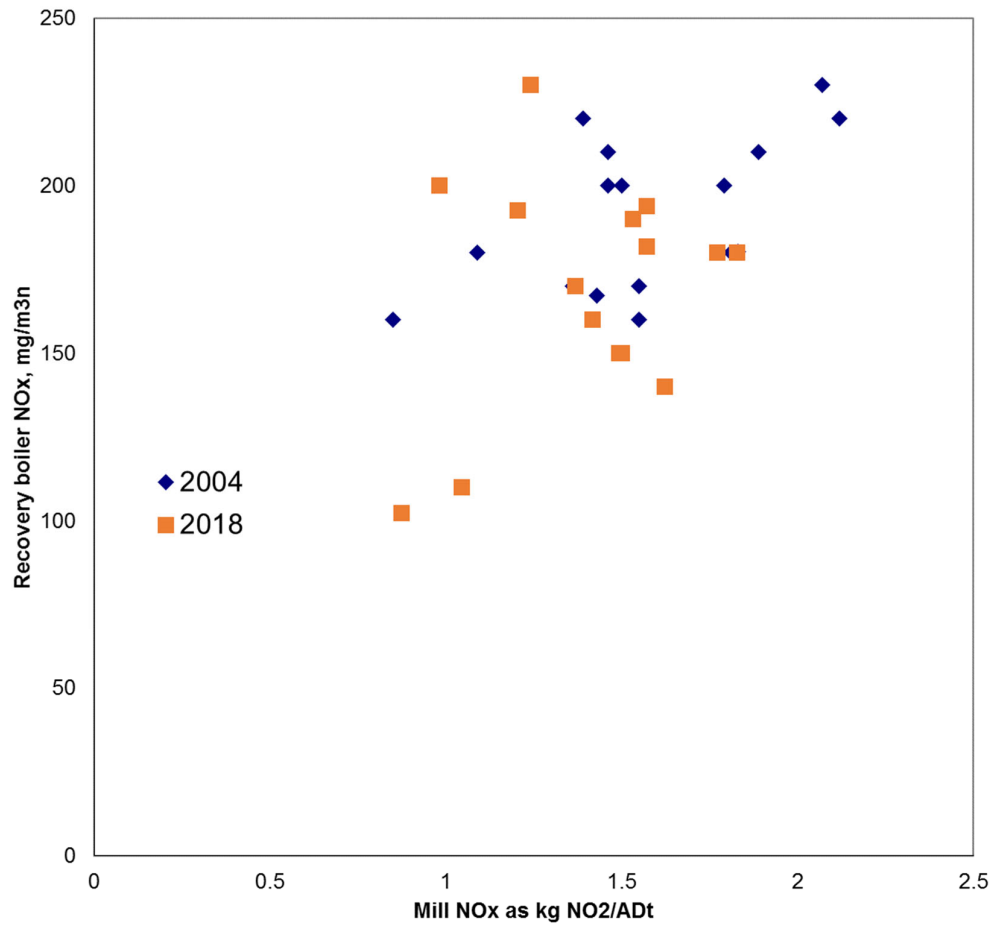
7.3 Päästöjen vertailu

Vertailemalla kattiloille vuonna 2004 ja kattiloille vuonna 2018 kerätyn aineiston päästöjä saadaan kuva päästöjen kehityksestä.



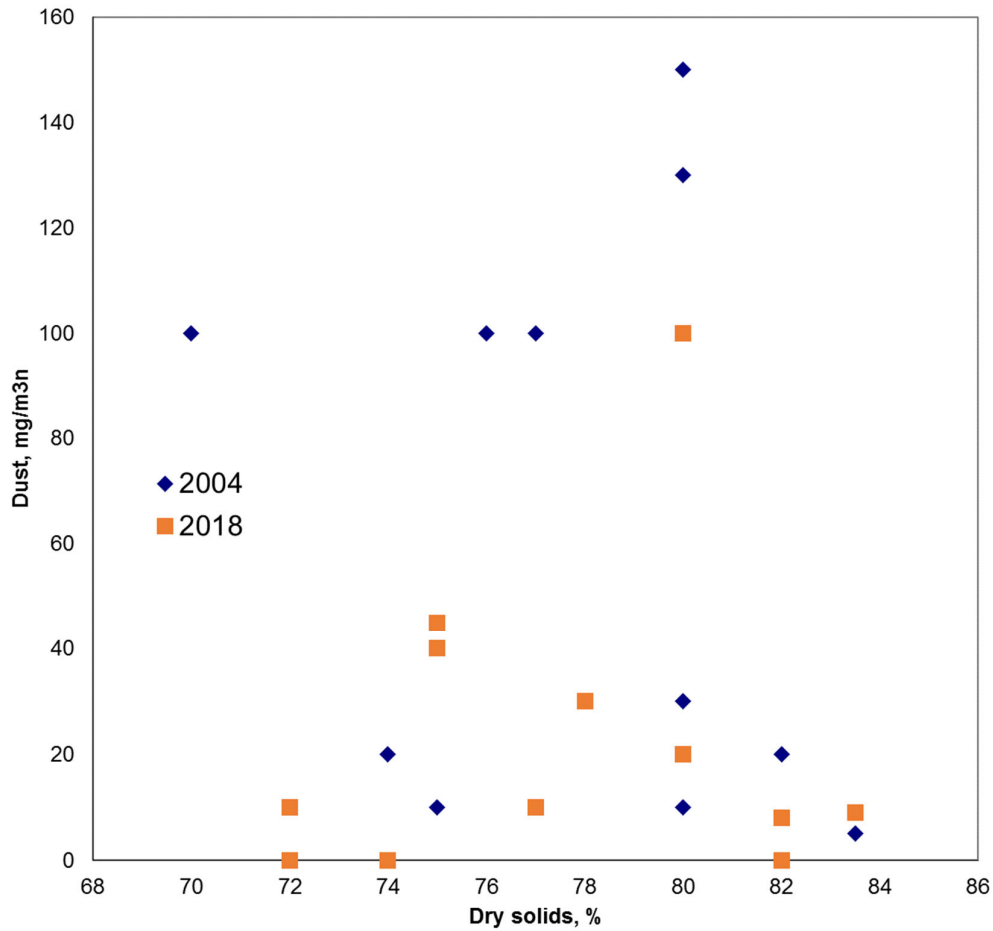
Kuva 7.1: Soodakattiloiden rikkipäästöt kuiva-aineen funktiona, vuodet 2004 ja 2018. (yksi datapiste ylittää maksimin 50 mg/m³n, eikä siten ole mukana).

Käytännössä isoa eroa rikkipäästöissä ei ole vuosien 2004 ja 2018 välillä. Kaikki kattilat toimivat erittäin alhaisella rikkipäästöillä. Tyypillisesti kun mustalipeän kuiva-aine nousee 70–72 %, niin rikkipäästöt saadaan alhaisiksi. Siksi korkeita rikkipäästöjä ei ole odotettavissakaan.



Kuva 7.2: Soodakattiloiden typenoksidipäästöt kuiva-aineen funktiona, vuodet 2004 ja 2018.

Koska kuiva-aine on noussut selvästi ja yhä useampi soodakattila polttaa typpipitoisia hajukaasuja, niin oletus olisi että myös NO_x-päästö on noussut (Luostarinen, Vakkilainen 2018). Käytännössä isoa eroa typenoksidipäästöissä mg/m³n ei ole vuosien 2004 ja 2018 välillä. Tosin 2018 kaksi kattilaa raportoi erityisen alhaisen typenoksidipäästön.



Kuva 7.3: Soodakattiloiden pölypäästöt kuiva-aineen funktiona, vuodet 2004 ja 2018.

Korkea kuiva-aine alentaa savukaasuvirtaa per poltettu lipeän kuiva-aine, mutta toisaalta se mahdollista korkeamman lipeänpolton per pohjaneliö ja korkeamman tulipesälämpötilan kautta nostaa pölymäärää. Siksi ilman toimenpiteitä kuiva-aineen noston seurauksena noussut lipeän polttoteho nostaa pölypäästöjä. Ilmeisesti savukaasujen pölypäästöihin on puututtu ja päästöt ovat selkeästi alhaisemmat.

8 Yhteenveto

Työssä on koottu yhteen Soodakattilayhdistyksen valitseman, tehtaiden edustajista ja muista toimijoista koostuvan Lipeätyöryhmän valvonnassa nykyisin käytössä olevat polttotavat suomalaisilla soodakattiloilla. Samalla on selvitetty, miten polttotavat ovat muuttuneet edellisestä raportista. Lisäksi on mietitty, onko erilaisilla polttotavoilla selkeitä syitä.

Havaittiin että vuonna 2004 poltettiin Suomessa tyypillisesti 37670 tka/d eli mediaanikattila poltti 1800 tka/d ja keskimääräinen kattila poltti 2000 tka/d. Vuonna 2018 poltettiin Suomessa tyypillisesti 44390 tka/d eli mediaanikattila poltti 3000 tka/d ja keskimääräinen kattila poltti 2800 tka/d. Yhdeksän kattilaa toimi vuonna 2018 korkeammalla kapasiteetilla kuin vuonna 2004. Keskimääräinen lipeänpolton lisäys on 330 tka/d. Kun useita vanhoja pienitehoisia on lopetettu ja uudet ovat olleet kooltaan isoja, niin keskimääräinen teho on noussut reippaasti.

Vertailtaessa keräysvuosia huomataan, että soodakattilat Suomessa ovat siis keskimäärin vanhempia ja niitä on vähemmän, mutta ne ovat myös isompia ja kykenevät polttamaan enemmän lipeää.

Poltettavat lipeät olivat muuttuneet hieman. Mustalipeän kuiva-aine on noussut vuodesta 2004 vuoteen 2018 noin 1 % eli tasolta 78 % tasolle 79 %. Mustalipeän kuiva-aineen lämpöarvo on laskenut vuodesta 2004 vuoteen 2018 noin 0.3 MJ/kgka eli 2 %. Suomessa on jatkuvasti pyritty parantamaan keiton saantoa eli suurempi osa puun orgaanisista päätyy selluksi.

Vuonna 2004 vain kaksi kattilaa poltti lipeää yli 20 tka/d m². Vuonna 2018 jo yli puolet lipeän poltosta tapahtuu korkealla kuormituksella kun kuusi kattilaa poltti lipeää yli 20 tka/d m². Kuiva-aineen määrä pohjaa kohti on noussut selkeästi. Keskimääräinen lipeäteho nousi 17.4 tka/d m² → 19.4 tka/d m². Nousu oli 11 % vastaten 0.8 % vuodessa tai lukuarvona 2 tka/d m².

Keskimääräinen polttokapasiteetti 2004 oli 2820 kW/m² ja mediaani 2720 kW/m². Vastaavasti keskimääräinen polttokapasiteetti vuonna 2018 oli 3100 kW/m² ja mediaani 2830 kW/m². Polttokapasiteetti oli siten noussut selvästi noin 10 %. Kun 2004 vain yksi kattila poltti lipeää polttokapasiteetilla yli 3500 kW/m², niin vuonna 2018 poltti kolme kattilaa lipeää yli 3500 kW/m². Samoin kun vuonna 2004 kahdeksan kattilaa poltti lipeää polttokapasiteetilla alle 2500 kW/m², niin vuonna 2018 enää viisi kattilaa lipeää alle 2500 kW/m².

Polttokapasiteetin nousuun ovat vaikuttaneet uudet isot kattilat sekä yleinen polttotekniikan kehitys, jollain samalla pohja-alalla kyetään polttamaan enemmän. Koska mustalipeän kuiva-aine ei juuri ole noussut, niin selittäviä tekijöitä on todennäköisesti uudet automaatio- ja ilmajärjestelmät sekä yleinen osaamisen tason nousu.

Primääri-ilmaa käyttää enää kaksi kattilaa yli 30 %, joka lipeässä tarkoittaa vain 7 % kaikesta poltettavasta lipeästä. Samoin neljä kattilaa käyttää primääri-ilmaa 22 % tai sen alle, joka lipeässä tarkoittaa 42 %. Primääri-ilman käytössä on huomattava, että se vaatii toimiakseen riittävän nopeuden aukossa, joten pelkkä määrän vähentäminen ei aina välttämättä onnistu ilman ilma-aukkomuutoksia.

Tertiääri- ja kvartääri-ilmaa käyttää yhä useampi kattila. Enää kaksi kattilaa käyttää alle 20 %, joka lipeässä tarkoittaa vain 8 % kaikesta poltettavasta lipeästä. Samoin yhdeksän kattilaa käyttää tertiääri- ja kvartääri-ilmaa 30 % tai sen yli, joka lipeässä tarkoittaa 64 %. Lipeäruiskujen yläpuolisen ilman käytössä on huomattava, että yksi sen motivoija on ollut NOx-päästöjen alentaminen ja se vaatii toimiakseen myös primääri-ilman alentamista.

Lipeän ruiskutuslämpötila on edelleen verrannollinen lipeän kiehumispisteen nousuun. vaikka vaihtelua on ei suurta eroa vuosien 2004 ja 2018 välillä näy paitsi kuiva-aineen noston aiheuttama keskimääräisen arvon nousu.

Lipeän polton paineissa, jos yksi yksittäinen arvo 2.8 otetaan pois, niin vaihtelu on melko maltillista ja arvot samaa tasoa kuin vuonna 2004. Tämä on mielenkiintoista koska lipeämäärä per ruisku on noussut. Tämä olisi selitettävissä esimerkiksi lipeäruiskujen koon kasvulla. Valitettavasti kerätty data ei kerro riittävästi ruiskukoon kehityksestä.

NO_x-päästöissä on iso hajonta; 100–230 mg/Nm³. Ylimmät arvot eivät ole laskeneet. Vain yksi kattila ilmoitti pölypäästön n 50 mg/Nm³. Yksikään kattila ei ilmoittanut TRS-päästöä joka olisi yli teknisen mittausrajan. Pölypäästöt olivat laskeneet selvästi.

Tehtaiden ilmoittamat ominaispäästöt esim. NO_x suhteen eroavat vähemmän kuin 2004. Saannon takia alhaisin arvo on edelleen noin 0.85 kg/ADt mutta korkein jo alle 2 kg/ADt. Vain yksi tehdas ilmoitti merkittävästä SO₂-päästöstä. Fossiilisen polttoaineen käyttö oli supistunut keskimäärin. Tosin kaksi tehdasta ilmoitti yli 400 kg/ADt. Suuri luku selittyisi esimerkiksi energiatuotannon ottamisesta mukaan ilmoitettuun arvoon.

Viitteet

- Barynin, J. A. and Dickinson, J. A., 1985, Considerations for the uprating of recovery boilers. Proceedings of 1985 International Chemical Recovery Conference, New Orleans, Louisiana, Book 1, pp. 49–53.
- Burton, Dave, 2000, Practical experiences with ABB recovery boilers. UEF Conference on Behavior of Inorganic Materials in Recovery Boilers, Bar Harbor, Maine, 4 - 9 June 2000. United Engineering Foundation, 28 p.
- EUROPEAN COMMISSION. 2015. *Best Available Techniques (BAT), Reference document for the Pulp and Paper Industry*. JRC Science and Policy Report [e-document]. [retrieved June 13 2017]. From: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>
- FINNISH FOREST INDUSTRY. 2017. [online]. [retrieved December 19 2017]. From: <http://www2.forestindustries.fi/statistics/tilastokuviot/Energy/Forms/DispForm.aspx?ID=81&RootFolder=%2fstatistics%2ftilastokuviot%2fEnergy%2fJulkinen%2dEN&Source=http%3A%2F%2Fwww2%2Eforestindustries%2Efi%2Fstatistics%2Ftilastokuviot%2FEnergy%2FForms%2FAllItems%2Easpx>:
- La Fond, John F., Verloop, Arie and Jansen, Johan H., 1993, Recovery boiler fireside capacity: an update of theory and practice. *Tappi Journal*, Vol. 76, No. 9, September 1993, pp. 107–113.
- Haaga, Kari; Vettenranta, Aino and Mansikkasalo, Jarmo, 2017, XXL size recovery boilers, present status and future prospects. Proceedings International Chemical Recovery Conference 2017, May 24-26, 2017, Halifax (NS), Canada, 10 p. ISBN 9781772890037.
- Haaga, Kari, 2014, XXL recovery boilers, how we developed them. in Vakkilainen, Esa; Lampinen, Päivi and Nieminen, Markus, Eds. Continuous development of recovery boiler technology–50 years of cooperation in Finland. Vantaa, 135 p.
- Heinola, Marja and Salmenoja, Keijo, 2014, High energy recovery boilers. in Vakkilainen, Esa; Lampinen, Päivi and Nieminen, Markus, Eds. Continuous development of recovery boiler technology–50 years of cooperation in Finland. Vantaa, 135 p.
- Juvonen, Tuukka, 2004, *Mustalipeän polttomenetelmät Suomen soodakattiloissa*. Suomen Soodakattilayhdistys ry (Finnish Recovery Boiler Committee), Report 3/2004, 3.5.2004, 80 p.

- Järvinen, Mika; Kankkunen, Ari and Miikkulainen, Pasi, 2016, Controlling the Droplet Size and Initial Velocity of Flashing Black Liquor Sprays. Proceedings 2016 Pulping, Engineering, Environmental, Recycling, Sustainability (PEERS) Conference, 9 p.
- Lindberg, Andreas, 2010, *NOx-päästöt soodakattilasta 6.9.2010*. (16A0913-E0116) Suomen Soodakattilayhdistys r.y. (Finnish Recovery Boiler Committee), Report 8/2010, 22 p.
- Luostarinen, Kari; Vakkilainen, Esa K.; Cardoso, Marcelo; Matheus de Almeida, Gustavo and Hamaguchi, Marcelo, 2018, Variation of recovery boiler NOx-emissions based on wood species, boiler age and other operating parameters. *Journal of Science & Technology for Forest Products and Processes*, Vol. 7, No. 3, pp. 23–30
- Maakala, Viljami and Miikkulainen, Pasi, 2015, Dimensioning a recovery boiler furnace using mathematical optimization. *Tappi Journal*, Vol. 14, No. 2, February 2015, pp. 119–129.
- Maakala, Viljami; Järvinen, Mika, and Vuorinen, Ville, 2017, Mixing of high momentum flux jets with a confined crossflow: computational analysis and applications to recovery boiler air systems. Proceedings International Chemical Recovery Conference 2017, May 24-26, 2017, Halifax (NS), Canada, 10 p. ISBN 9781772890037.
- Vakkilainen, Esa. 2000. Chemical recovery. In: *Papermaking Science and Technology Book 6B; Chemical Pulping*, Jyväskylä: Fapet Oy, p.7.
- Vakkilainen, Esa, 2005, *Kraft recovery boilers–Principles and practice*. Suomen Soodakattilayhdistys r.y., (Finnish Recovery Boiler Committee), Valopaino Oy, Helsinki, Finland, 246 p. ISBN 952-91-8603-7.
- Vakkilainen, Esa, 2007, Recovery boiler liquor spraying practices. International Chemical Recovery Conference May 29-June 1, 2007, Quebec City, QC, Canada, 6p
- Wallén, Jonas, Viiala, Juhani and Björkström, Ingvar, 2002, Operational performance of Billerud Gruvon's new recovery boiler with environmental friendly solutions. Proceedings of 2002 TAPPI Fall Technical Conference, September 8 - 11, San Diego, Ca, 10 p.
- Walsh, Alan R. and Srandell, Olof, 1992, Use of design and operating data to determine recovery boiler upgrade potential. Proceedings of 1992 International Chemical Recovery Conference, Seattle, Washington, June 7-11, pp. 421–428.

Liite A: Kyselykaavake

Annettiin 2004 data ja pyydettiin täyttämään uusi data

	xxxx			
yhdyshenkilö	NNN			
	MMM			
			Uusidata	
Perusdata, kattila		Havu	Seka	Koivu
Käynnistysvuosi	1996			
Ikä	8			
Tulipesän leveys [m]	12.6			
Tulipesän syvyys [m]	12.6			
Tulipesän korkeus nokalle[m]	38.5			
Lipeän poltto normaali [t ka/d]	3000			
Alkuperäinen teho, tka/d	3000			
Teholisäys	1000			
Lipeän poltto maksimi [t ka/d]	4000			
Höyryn virtaus [kg/s]	124			
Höyryn paine [bar]	92			
Höyryn lämpötila [C]	490			
Polttolipeän HHV [MJ/kg k.a.]	13			
ML-kuiva-aine [%]	78			
Ajotulokset		Havu	Seka	Koivu
SO2 [mg/Nm3]	5			
NOx [mg/Nm3]	170			
Pöly [mg/Nm3]	30			
TRS [mg/Nm3]	1.4			
happi %	2.5			
Reduktio	97			
Reduktio	96-98			
Tukkeutumisongelmia	ei			
Ilmat		Havu	Seka	Koivu
Jako Primary	21			
Secondary	48			
Tertiary	31			
Paineet Primary[kPa]	1.1			

	Secondary [kPa]	3.5			
	Tertiary [kPa]	4			
Lämpötila	Primary [C]	130			
	Secondary [C]	120			
	Tertiary [oC]	30			
	Ruiskutus		Havu	Seka	Koivu
	Puunkäyttö Havu/Koivu %	100/0			
	BPR	20			
	kieh.piste [C]	120			
	Ruiskutuspaine [bar]	1.2			
	Ruiskutuslämpötila [C]	134			
	Ero kieh. pisteeseen havu,seka/koivu [C]	14			
	Korkeus pohjasta [m]	9			
	Koko d [mm]	32			
	aukon kork. h [mm]	32			
	Lusikan kulma	37			
	Ruiskujen paikat/käytössä	1-3/seinä, 12 yht.			

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY, RAPORTTISARJA

- 1/2018 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 25.1.2018, esitelmät
Park hotel Tornio, Stora Enso Oyj, Veitsiluodon tehdas
(16A0913-E0184) 25.1.2018
- 2/2018 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2017
(16A0913-E0185) 26.4.2018
- 3/2018 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Pöytäkirja. Vuosikokous 26.4.2018, Helsinki Congress Paasitorni
(16A0913-E0186) 26.4.2018
- 4/2018 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 25.10.2018
Sokos hotelli Tornio, Tampere, (16A0913-E0187) 25.10.2018
- 5/2018 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Black Liquor Evaporation Book
Jim Frederick and Niko DeMartini
(16A0913-E0188) 25.10.2018
- 6/2018 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Sularännisuositus
(16A0913-E0189) 10.12.2018
- 7/2018 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan päästömittausten menetelmät
Paula Juuti, Pöyry Finland Oy
(16A0913-E0190) 10.12.2018
- 8/2018 Suomen Soodakattilayhdistys ry
NCG-järjestelmien turvallisuusauditointi, syntyvät hajukaasumäärät ja koostumukset, tyypilliset onnettomuuteen johtavat syyt – prosessikonseptitarkastelut
Kirsi S. Hovikorpi, Esa Vakkilainen, Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto
(16A0913-E0191) 10.12.2018
- 9/2018 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Pulp mill deposit formation and aging – role of intra-deposit alkali chloride transport
Roland Balint, Markus Engblom, Åbo Akademi
(16A0913-E0192) 10.12.2018
- 10/2018 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Nitrogen in wood and its fate in kraft pulping – a review
Klaus Niemelä, VTT
(16A0913-E0193) 17.12.2018

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY, RAPORTTISARJA

- 1/2019 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 24.1.2019, esitelmät
Scandic Laajavuori, Jyväskylä, Metsä Fibre Oy, Äänekosken Biotuotetehdas
(16A0913-E0194) 24.1.2019
- 2/2019 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2018
(16A0913-E0195) 11.4.2019
- 3/2019 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Pöytäkirja. Vuosikokous 11.4.2019, Lapland Hotels Bulevardi, Helsinki
(16A0913-E0196) 11.4.2019
- 4/2019 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 31.10.2019
Sokos hotelli Presidentti, Helsinki (16A0913-E0197) 31.10.2019
- 5/2019 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Mustalipeän polttomenetelmät Suomen soodakattiloissa 2018
Esa Vakkilainen, LUT-yliopisto
(16A0913-E0198) 1.11.2019