

Suomen Soodakattilayhdistys ry

NO_x soodakattiloissa

Esa Vakkilainen, Jaakko Pöyry Oy

4.12.2002

Raportti 11/2002

Esa Vakkilainen

4.12.2002

1 (29)

Soodakattilayhdistys ry.

NO_x SOODAKATTILOISSA

SISÄLLYS

1	Johdanto	2
2	NO _x – taso soodakattiloissa	5
3	NO _x - vähennyskeinot	13
4	NO-lisäysvirrat	22
5	Päästörajat	24
6	Yhteenveto	25
	Viitteet	

1 JOHDANTO

Tehty kehitystyö on parantanut soodakattilan ajettavuutta ja sen ympäristöystävällisyyttä. On pystytty vastaamaan esitettyihin haasteisiin ja toimittu viranomaista tyydyttävällä tavalla. Tämä kaikki siitä huolimatta, että poltettavan mustalipeän laatu on vain yhä huonontunut, Taulukko 1-1.

TAULUKKO 1-1

Mustalipeän ominaisuudet, Vakkilainen, 2000c.

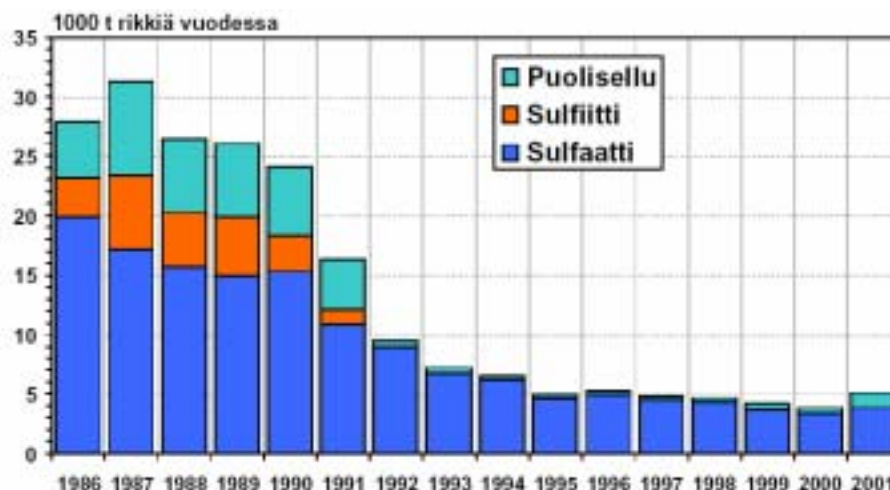
Ominaisuus	1982	1992	2002
Lipeän kuiva-aine, kgka/ts	1700	1680	1780
Sulfiditeetti, $\text{Na}_2\text{S}/(\text{Na}_2\text{S}+\text{NaOH})$	42	45	41
Mustalipeä HHV, MJ/kgka	15,0	13,9	13,0
Lipeän kuiva-aine, %	64	72	80
Elementaarianalyysi, m % C	36,4	34	31,6
H	3,75	3,5	3,4
N	0,1	0,1	0,1
Na	18	18,4	19,8
S	5,4	5,9	6
Cl	0,2	0,4	0,8
K	0,75	1,0	1,8
Cl/(Na+K), mol-%	0,70	1,37	2,49
K/(Na+K), mol-%	2,39	3,10	5,07
Nettolämpö tulipesässä, kW/kgka	13600	12250	11200
Polttoilma ¹⁾ , $\text{m}^3\text{n/kgka}$	4,1	3,7	3,4
Savukaasu ¹⁾ , $\text{m}^3\text{n/kgka}$	4,9	4,3	3,9

1)ilmakerroin 1,2

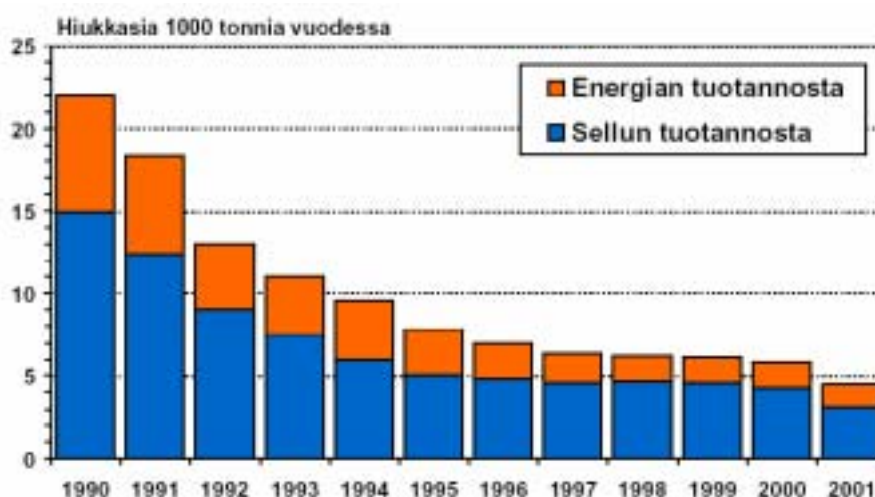
Merkittävimpiä muutoksia ovat aiheuttaneet tehtaitten kiertojen sulkeutuminen ja ympäristöystävällisyyden paraneminen. Ne ovat erityisesti lisänneet kaliumin ja kloorin pitoisuuksia tehtaiden lipeäkierrrossa.

Nykyisin soodakattiloille rajoitetaan pääasiassa vain rikki ja pölypäästöjä. Uusia normeja asetetaan voimalaitos- ja jätteenpolttokattiloiden tapaan NO_x ja klooripäästöille. Pölypäästöjä tullaan vähentämään niiden terveysvaikutuksen vuoksi. Ankarin paine tulee olemaan NO_x päästöjen rajoittamiseksi. Mikäli CO_2 rajoituksia yritetään toteuttaa lainsäädännöllisin keinoin, tulee soodakattilalla tuotetun energian hinta yhä kilpailukykyisemmäksi.

Erityisesti rikkipäästöjen osalta, Kuva 1/1 on menty erittäin hyvään suuntaan. Suomen tehtaiden rikkikuormitus on viimeisen kymmenen vuoden aikana pudonnut noin viidesosaan. Pääasiallisin syy on kohonnut kuiva-aine. Kokemus on osoittanut, että kun mustalipeän kuiva-aine on yli 70 %, niin tulipesän lämpötila voidaan pitää tasolla, jolla vapautuva natrium reagoi rikkidioksidin kanssa muodostaen natriumsulfaattia. Tällöin rikkidioksidipäästö samoin kuin rikkivety kattilasta on lähes nolla. Tyypillisesti rikkivetypäästöjen lähde onkin hajapäästöt erilaisista höngistä ja lipeän käsittelystä.

KUVA 1/1**Suomen selluteollisuuden rikkipäästöjen kehitys, Metsäteollisuus ry.**

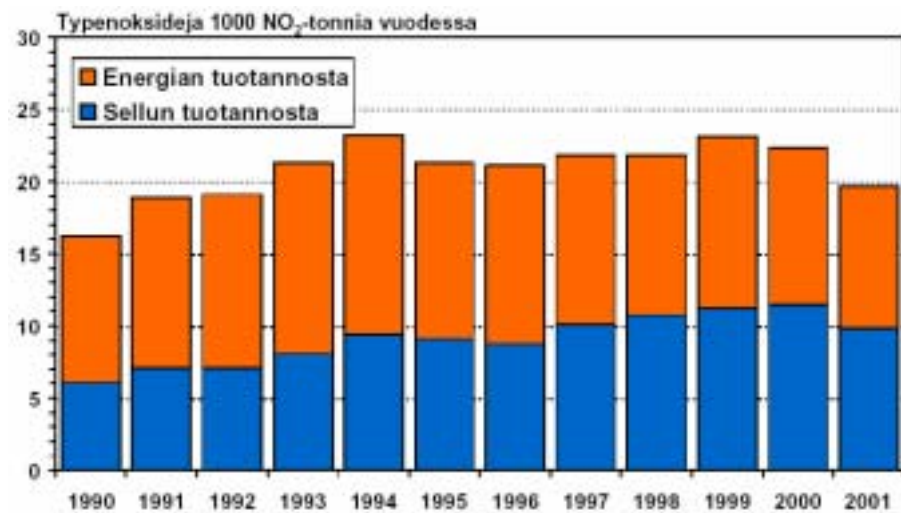
Myös hiukkaspäästöjen rajoittamisessa on päästy hyviin tuloksiin. Sellun valmistuksen hiukkaspäästöjen määrä on laskenut merkittävästi joka vuosi. Paine pölypäästöjen ja erityisesti pienpölypäästöjen rajoittamiseksi tulee jatkumaan. Terveydellistä haittaa on osoitettu aiheutuvan mikronien kokoluokkaa olevasta pölystä, mikä voi keuhkoissa aiheuttaa monenlaista ongelmaa. Soodakattiloiden omistajien tulisi kuitenkin pyrkiä erottamaan haitallisempi metallipöly ja haitattomampi natriumsulfaattipöly selkeämmin toisistaan.

KUVA 1/2**Suomen selluteollisuuden hiukkaspäästöjen kehitys, Metsäteollisuus ry.**

Sellun valmistuksen NO_x päästöt eivät ole vähentyneet. Vaikka kokonaispäästö on vähentynyt, niin soodakattiloiden päästö on lisääntynyt. Tämä johtuu pääasiassa siitä että tuotantomäärät ovat lisääntyneet, eikä vastaavaan vähenemään ominaispäästössä ole päästy.

KUVA 1/3

**Suomen selluteollisuuden typenoksidipäästöjen kehitys,
Metsäteollisuus ry.**



2 NOX – TASO SOODAKATTILOISSA

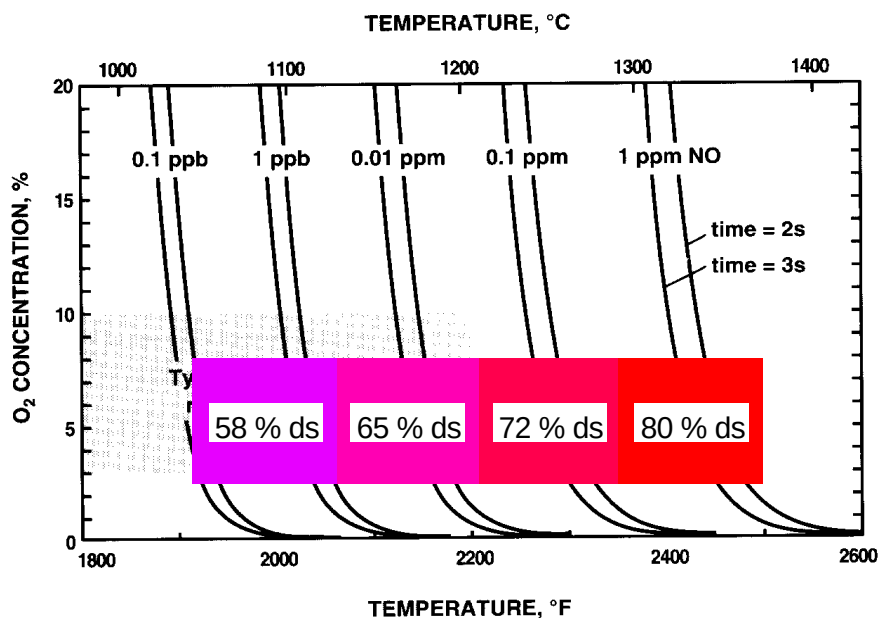
Typpioksidipäästöt kattiloista ovat pääasiassa NO:ta. NO₂:n määrä on tyypillisesti luokkaa 1 – 2 % ja muiden typpiyhdisteiden tätäkin pienempi. Syntyvä NO voidaan syntymekanismin mukaan jakaa

- polttoainetypistä syntyvään NO
- termiseen NO
- muuhun päästöön (prompt-NO, N₂O, NO₂, ...)

Soodakattiloilla 'muu päästö' luokkaan kuuluva NO on erittäin pientä. Termisen NO:n muodostumista ovat selvittäneet mm. Nichols, Thompson and Empie, 1993. Termisen NO:n muodostumismekanismi ja nopeus tiedetään muissa kattiloissa ja muille polttoaineille tehdyn työn perusteella varsin hyvin. Jos käytetään tavanomaista happipitoisuutta tulipesässä 3 – 8 % ja lämpötilaa 1050 – 1350 °C, niin termisen NO:n määrä on vain muutamia ppmiä, Kuva 2/1. Voidaan siis päätellä että NO soodakattilassa on pääasiassa polttoaine NO:ta.

KUVA 2/1

Laskennallinen termisen NO:n muodostuminen tulipesän viipymän ja lämpötilan funktiona, Nichols et al., 1993, tavallinen toimintaympäristö lisätty.



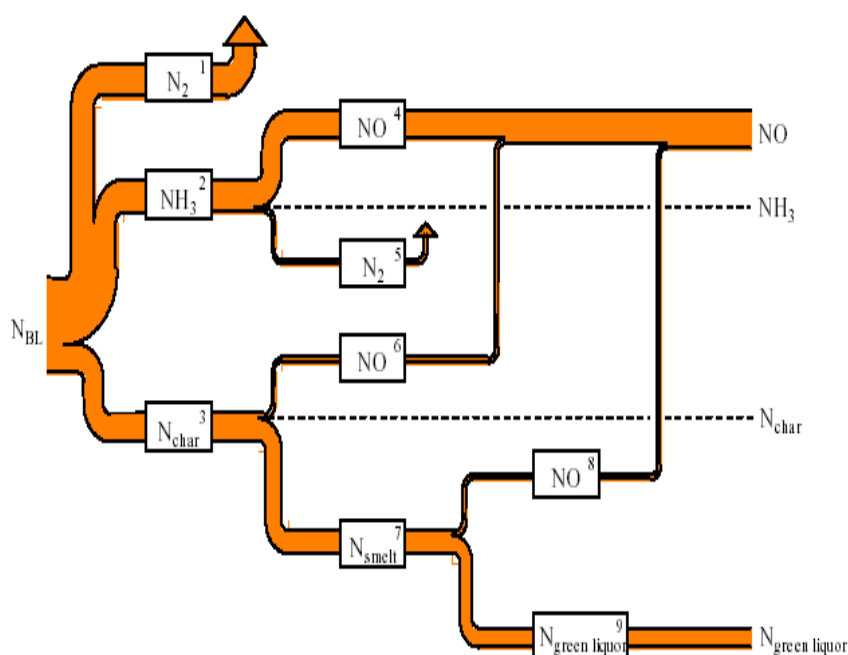
Tutkittaessa samaa asiaa virtausmalleilla, Adams et al., 1993, jäi termisen typen muodostuksen osuus selvästi alle 10 ppm.

2.1 Mustalipeän typen reaktiot

Mustalipeän sisältämien typpiyhdisteiden reaktioita ovat selvittelleet mm. Aho, Kymäläinen ja Forssén. Suurin osa typpiyhdisteistä mustalipeässä vapautuu kuumennettaessa, Kuva 2/2, Forssén et al., 2000. Syntynyt ammoniakki reagoi NO:ksi. Koksen typpi poistuu sulan kautta kattilasta palatakseen hajukaasuissa hävitettäväksi, Kymäläinen et al., 2002.

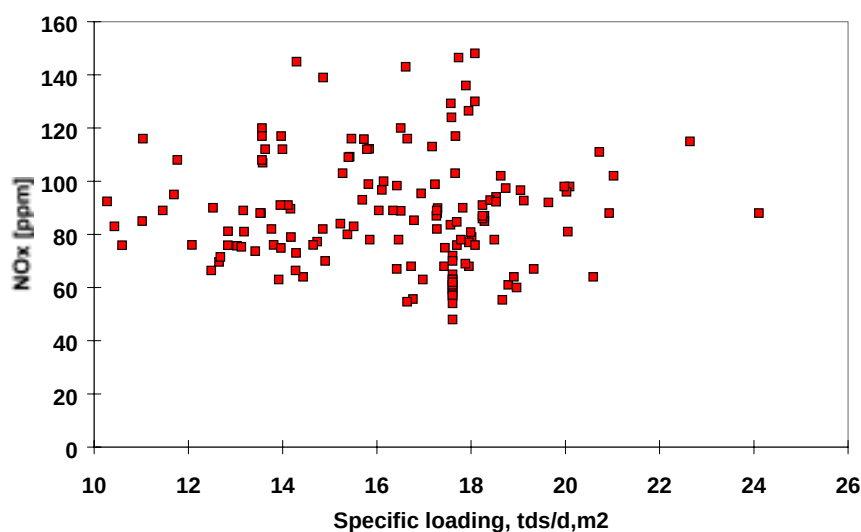
KUVA 2/2

Tyypillinen typpiyhdisteiden muodostumisreitistö soodakattilassa, Forssén et al., 2000.

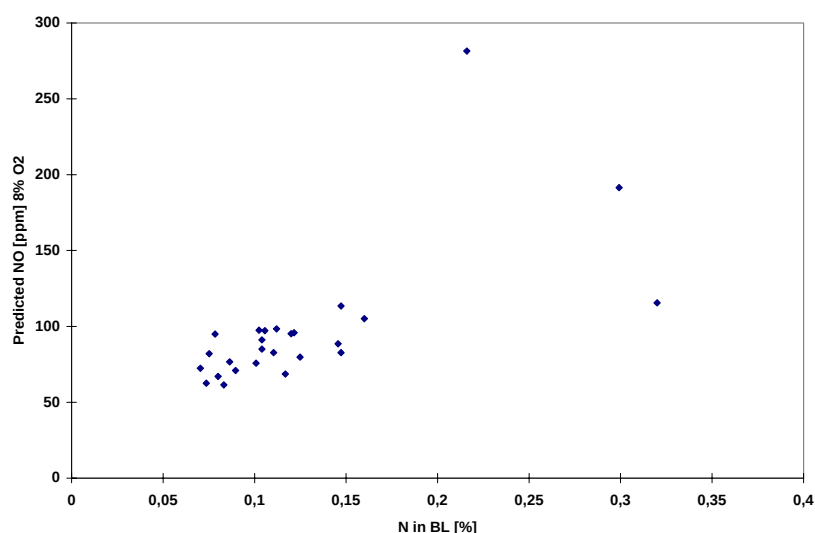


2.2 NO soodakattilasta

NO_x taso Suomalaisissa soodakattiloissa vaihtelee 70 - 120 ppm 3 % O₂:ssa. Korkeimmat mitatut päästöt ovat luokkaa 140 ppm ja alhaisimmat luokkaa 50 ppm. On huomattava että esim. alhaiset arvot ovat usein yhteydessä samanaikaiseen korkeaan jonkin muun kaasumaisen yhdisteen päästöön.

KUVA 2/3**Päästömittauksia Suomalaisista soodakattiloista.**

Eri lajisia puita keitetessä saadaan mustalipeään eri määrä puusta peräisin olevaa tyyppiä, jolloin soodakattilan NOx päästö muuttuu, Aho et al., 1994a. Jos poltetaan lipeäpisara uunissa ja korreloidaan siitä muodostuva NOx lipeäpisaran tyyppien kanssa huomataan, että soodakattiloilla saadut tulokset ja yksittäispolttokokeiden tulokset korreloivat hyvin toistensa kanssa. Kuva 2/4.

KUVA 2/4**Päästöarvo typpioksidina verrattuna lipeän typpipitoisuuteen.**

Clement ja Barna, 1993, kokeilivat urean lisäämistä mustalipeän joukkoon. Ureasta konvertoitui n. 10 % lineaarisesti NOx:ksi.

Lehtipuusellun tuotannossa typpimäärä lipeässä on 0,10 .. 0,14 p-% ja havusellun tuotannossa typpimäärä lipeässä on 0,06 ..0,10 p-%.

2.3 Päästöt tehtaista

Päästölukuja eri pohjoismaisista tehtaista on esitetty Taulukossa 2-1 Suomesta ja Taulukossa 2-2 Ruotsista.

TAULUKKO 2-1

Päästötietoa Suomesta v. 2001 (Pääasiassa Ilmansuojelun vuosikirja)

	Tuotanto [ADt/a]	NOx [t/a]	SO ₂ [t/a]
ÄÄNEKOSKI (707670)	397000	963	465
SUNILA (706200)	300000	594	106
KASKINEN (707650)	368000	705	587
JOUTSENO (705100)	334000	618	377
KARIHAARA, KEMI (324770)	443000	801	22
VARKAUS (323730)	178000	323	322
VALKEAKOSKI (327500)	142000	243	107
PIETARSAARI (326100)	527000	852	155
KUUSANKOSKI (324950)	420000	666	69
UIMAHARJU (705000)	560000	844	155
LAPPEENRANTA (324730)	678000	1011	392
RAUMA (324780)	470000	681	433
KEMIJÄRVI (706400)	178000	248	69
VEITSILUOTO, KEMI (327100)	312000	421	10
IMATRA (323800)	727000	981	410
NUOTTASAARI, OULU (705700)	299800	353	24
KOTKA (323950)	121000	83	280
Yhteensä	6454800	10387	3983
Keskiarvo	379694	611	234

TAULUKKO 2-2

Päästötietoa Ruotsista v. 2001 (Pääasiassa tehdaskohtaisia tietoja)

	Tuotanto [ADt/a]	NOx [t/a]	SO ₂ [t/a]
HUSUM (718050)	591000	1199	768
VÄRÖBACKA (720000)	327000	660	400
PITEÅ (316600)	395000	743	126
BILLINGSFORS (317000)	50621	93	49
IGGESUND (318600)	308000	558	508
MUNKSUND (321700)	215000	360	76
SKÄRBLACKA (317900)	395000	654	356
KARLSBORG (316500)	275000	449	377
ASPABRUK (718200)	159555	243	87
VALVIK (71880)	169400	256	142
NORRSUNDET (717200)	245000	351	384
OBOLA (321050)	241000	336	271
GRUVÖ, GRUMS (316900)	630000	871	109
ÖSTRAND (721300)	395000	541	537
MÖRRUM (719900)	390000	520	360
SKUTSKÄR (720200)	467000	613	602

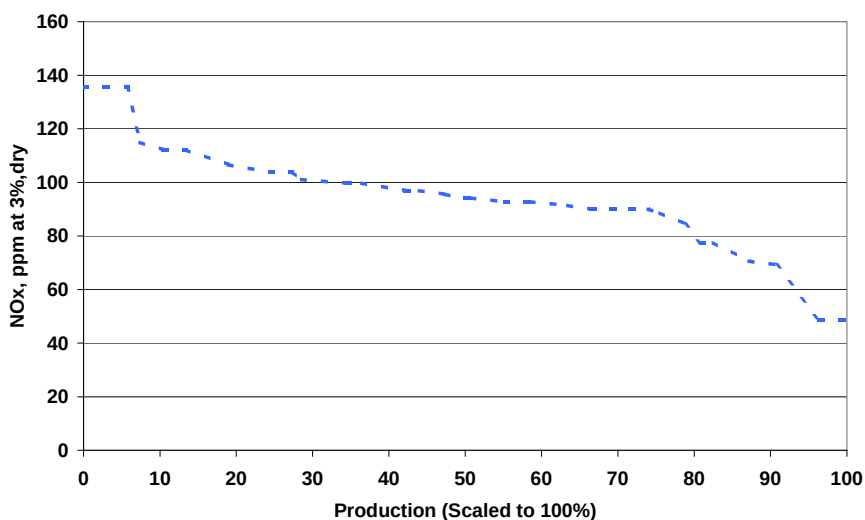
	Tuotanto [ADt/a]	NO _x [t/a]	SO ₂ [t/a]
MÖNSTERÅS (719800)	658000	770	350
FRÖVI (323300)	222400	213	61
GÄVLE, KORSNÄS (319700)	654500	622	196
SKOGHALL (323050)	528000	489	321
Yhteensä	7316476	10541	6081
Keskiarvo	340776	524	309

Ensimmäiseksi huomataan että Ruotsalaiset tehtaat raportoivat n. 15 prosenttia pienemmästä NO_x päästöstä keskimäärin kuin Suomalainen tehdas. Vaikka osa johtuu pienemmästä keskimääräisestä tuotannosta on ominaispäästö kuitenkin yli 10 % alempi. Tämä siitä huolimatta että Ruotsin keskimääräinen ominaispäästö nousi vuoden 2000 luvuista yli 10 % vuonna 2001, kun Suomen keskimääräinen ominaispäästö pysyi lähes samana.

Kun vertaillaan kattilakohtaisia lukuja Ruotsista, Kuva 2/5, huomataan että päästötaso on varsin normaali ja vastaa esitettyjä Suomalaisia arvoja. Keskimääräinen NO päästö on hieman alle 100 ppm.

KUVA 2/5

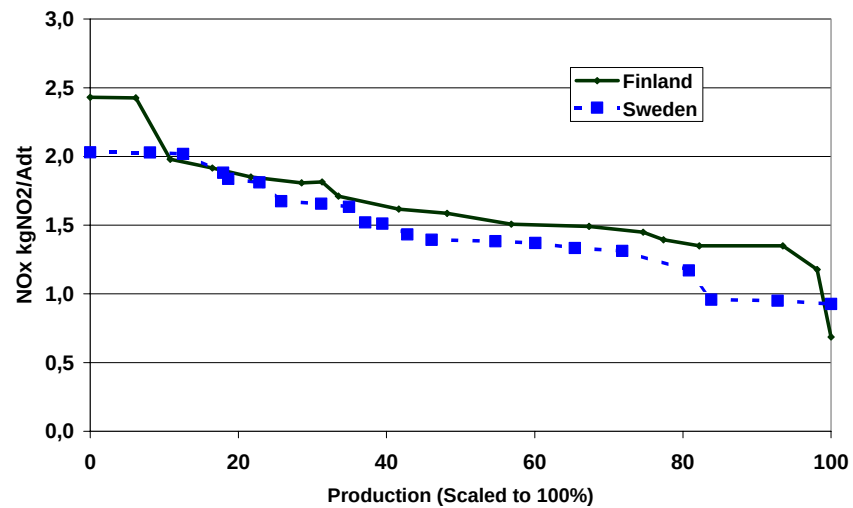
NO_x päästö Ruotsalaisista soodakattiloista tuotannolla skaalattuna.



Kun vertaillaan tehtaiden ominaispäästöä Suomessa ja Ruotsissa, tuotantoon suhteutettuna, Kuva 2/6, huomataan ensinnäkin laskutapojen kirjavuus. Ruotsissa NO_x soodakattilasta on lähes sama kohdassa 20 % ja kohdassa 80 %. Sen sijaan tuotantoon suhteutettu ominaispäästö on kohdassa 20 % noin puolitoistakertainen verrattuna kohtaan 80 %. Tämän aiheuttaa ensinnäkin se miten muuta kuin kemiallista selluntuotantoa käsitellään ja toiseksi se miten kuorikattilaa käsitellään. Ilmeisesti alhaisimman tehtaan ominaispäästön saa aikaan tehdas, joka ei raportoi kuorikattilaa selluntuotannon ominaispäästöihin.

KUVA 2/6

Ominaispäästötaso NO_x:lle selluntuotantoa kohti suomalaisista ja ruotsalaisista tehtaista tuotannolla skaalattuna.



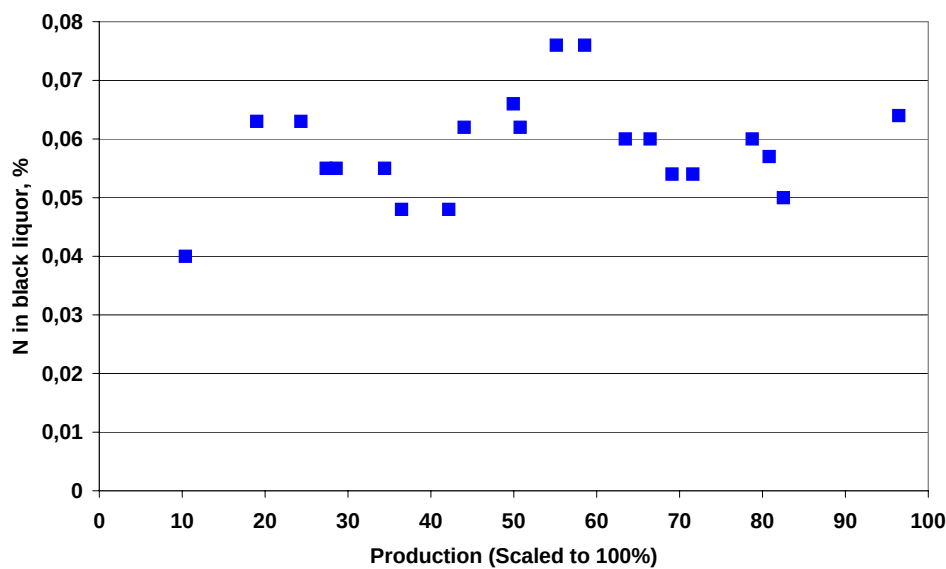
Kuitenkin huomataan myös, että Suomessa on ehkä enemmän isomman ominaispäästön tehtaita kuin Ruotsissa. Suomen soodakattiloiden NO_x on todennäköisesti keskimäärin korkeampi kuin ruotsissa, koska

- poltetaan korkeamman kuiva-aineen livettä
 - pohjarasitus on korkeampi
 - näyttää siltä, että Ruotsissa poltetaan enemmän pelkkää havua,
- Kuva 2/7.

Katsottaessa Ruotsalaisten soodakattiloiden mustalipeän typpipitoisuuksia, (kuva 2/7) huomataan, että ne ovat suomalaisiin verrattuna hieman alhaisemmat. Tämä johtunee tuotannon laadusta ja mahdollisesti myös eroista mittaustavoissa.

KUVA 2/7

Ruotsalaisten soodakattiloiden mustalipeän typpipitoisuuksia, ÅF-IPK.



TAULUKKO 2-3

Tehtaiden NO_x ominaispäästötasoja, kg/ADt.

	Vaihtelu	ka	med
Suomi	1,2 – 2,0	1,61	1,59
Ruotsi	1,0 – 2,0	1,44	1,40
USA (Pinkerton, 1998)		1,38	
BAT	1,0 – 1,5		
Uusi talteenotto, koivu/seka		1,4	
Uusi talteenotto, mänty		1,2	

2.4 Päästötasot uusilla suurilla kattiloilla

Eniten on suhtauduttu varauksella korkean kuiva-aineen ja suuren kattilakoon aiheuttamiin mahdollisiin päästötasomuutoksiin. Taulukossa 2-4 on raportoitu eräitä suurten kattiloiden tuloksia.

TAULUKKO 2-4

Soodakattiloiden NO_x päästötasoja, mg/m³n (kuiva, 3 % O₂).

Lähde	koko, tka/d	Kuiva-aine, %	mg/m ³ n
Jones ja Stewart, 1992	1100	74	210
	1100	80	300
Mannola ja Burelle, 1995	2600	74	170
	3300	75	210
	3000	75	265
Haaga, 1997	2700	74	150
Vakkilainen et al., 2001	3150	80	190
Mäntyniemi and Haaga, 2001	2600	82	130
	2800	71	185
	3000	72	125
	2500	72	105
	3300	70	125
	3800	74	250
Wallen et al., 2002	2500	72	145

3 NO_x - VÄHENNYSKEINOT

Soodakattilatoimittajat ovat teollisessa mittakaavassa kokeilleet seuraavia NO_x vähennyskeinoja:

- Ilmajärjestelmän ja polttoaineen syötön optimointi
- Ilman vaiheistus
- Ammoniakin syöttö tulipesän yläosaan

Soodakattiloiden NO_x vähentämiskeinoina on harkittu, mutta ei demonstroinut suuressa mittakaavassa yleisestä kattilateollisuudesta tunnettuja mm. seuraavia NO_x vähentämistapoja:

- elektronisuihkumenetelmä
- hapetus-/pelkistysprosessit
- katalyyttiprosessit

Paineita NO_x vähentämiseen on luonut

- nouseva kuiva-aine
- hajukaasujen poltto
- liuottimen hönkien poltto

3.1 Ilmajärjestelmän ja polttoaineen syötön optimointi

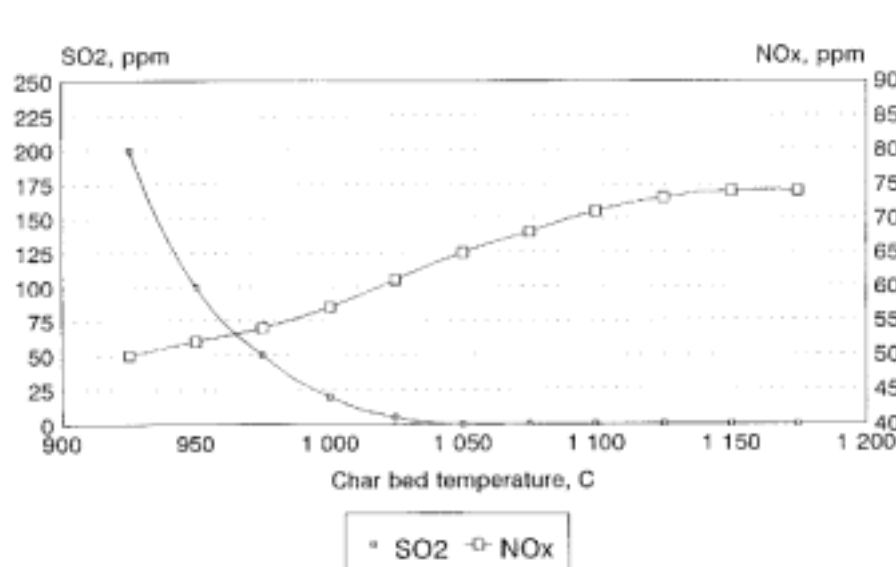
Laitetoimittajien takaamat päästöarvot perustuvat uusimpaan tietoon optimaalisesta ilman jaosta, ilmojen lämpötilasta, käytettävästä lipeäpisan koosta ja lipeäsuuttimesta. Soodakattilassa poltto on tapahtunut jo pitkään osittain redusoidusti ja voimakkaalla vaiheistuksella.

Käytetty tekniikka on lähes täydellisesti eliminoinut ns. termisen NO_x:n. Voimakkain vaikutus soodakattilan NO_x tasoon onkin polttoaineen sisältämän typen vapautumisessa syntyvällä päästöllä. Optimaalisella pisarakoolla on saatu jonkin verran lisäreduktiota rikin ja typen yhdisteiden keskinäistä pelkistysvaikutusta hyväksikäyttämällä.

Jos ajetaan kattilaa tilassa, jossa SO_2 on selvästi 0, menetetään rikin, todennäköisesti H_2S :n pelkistysvaikutus, Kuva 3/1.

KUVA 3/1

Rikkiyhdisteiden ja typpiyhdisteiden ristikkäinen vaikutus.

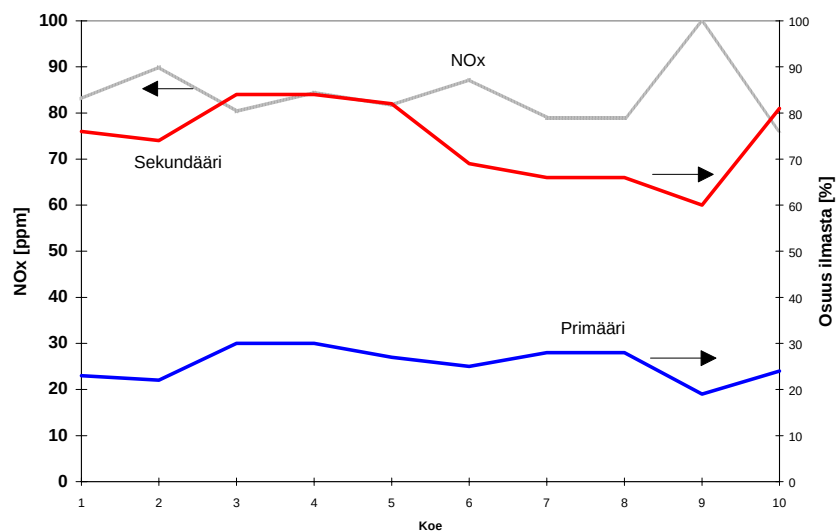


3.2 Ilman vaiheistus

Prouty, et al., 1993, raportoi merkittävistä NO_x tason muutoksista primääri-ilman osuuden ja kattilakuorman muuttuessa. Suomessa eri toimittajat ovat tutkineet kolmitasoilmalla primääri- ja sekundääri-ilman vaikutusta soodakattilan NO_x tasoon. Merkittäviä reduktioita tai edes eroja ei täällä ole saatu aikaan.

KUVA 3/2

Koedataa eri ilmajakojen vaikutuksesta NO päästöön.



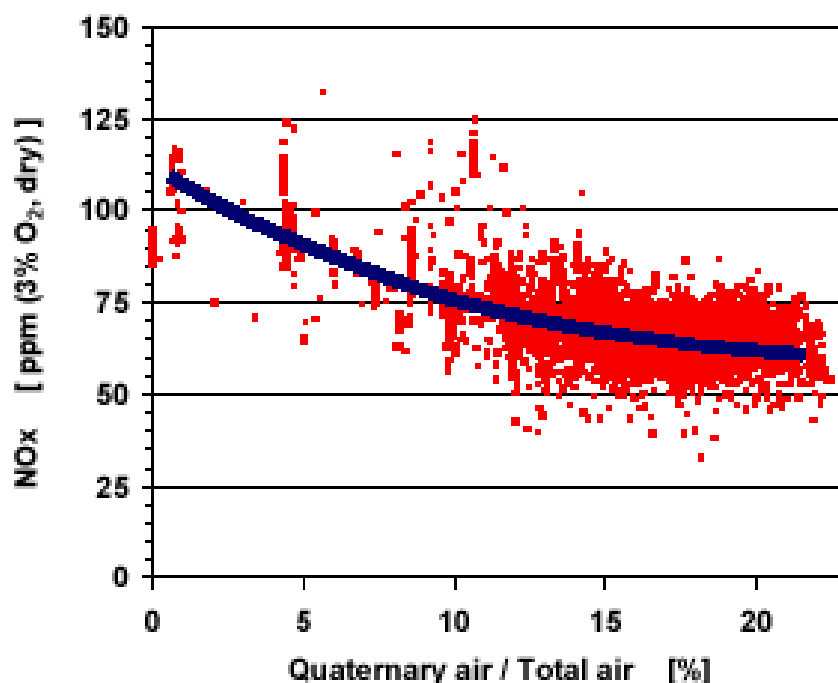
3.3 Uudet polttotekniikat

Andritz on kehittänyt ns. vertikaali-ilmajärjestelmän, jolla voidaan jonkin verran alentaa NO päästöjä. Kvaerner on erityisesti Ruotsissa kehittänyt NO alennuksia perustuen neljännen ilmatason käyttöön.

Selkeästi NO tasoa alentavia tuloksia on saatu toteuttamalla soodakattilassa neljännen ilmatason tai ylätertiääri-ilmatason lisäyksen. Investoinnilla saavutetaan 15 - 25 % reduktio riippuen ajo-olosuhteista. Suurin investointi on soodakattilan compound seinien jatkaminen 6-16 metriä sekä vaaditun lisätason rakentaminen.

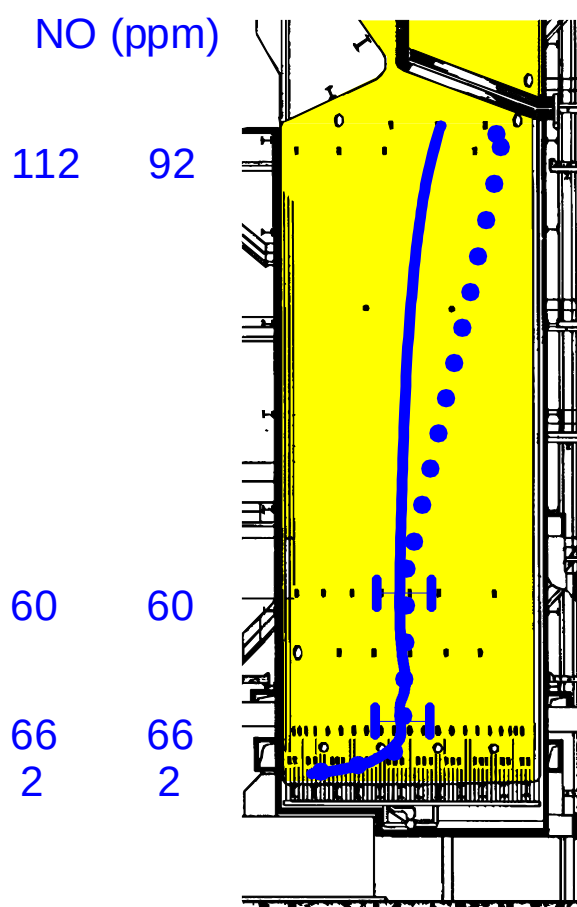
KUVA 3/3

Koedataa neljännen ilmatason vaikutuksesta typpioksidipäästöön, Kvaerner.



KUVA 3/4

Koedataa ylätertiäärin typpioksidipäästöön, vasemmalla NO arvot kun ylätertiääri ei ollut käytössä ja oikealla kun se oli käytössä, Andritz.



Ylätertiäärin käyttö ei ilman erityistoimenpiteitä ole mahdollista kun kattilan kuorma menee alle 13 ...14 tka/m, 24h. Tällöin tertiääri-ilman osuus on liian pieni järkevän reduktion saavuttamiseksi.

Taattava taso on luokkaa

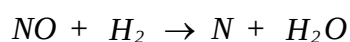
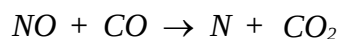
Mustalipeän typpi, p-%	0,08	0,10	0,14
Normaali			
Päästö, ppm (mg/m ³ n)	97(200)	117(240)	156(320)
mg/MJ	65	78	104
Yläilma			
Päästö, ppm (mg/m ³ n)	80(165)	97(200)	129(265)
mg/MJ	54	65	86

3.4 NO:n vähennys tulipesäolosuhteita muuttamalla

NO:ta voi vähentää mm. seuraavien reaktioiden avulla

- Redusointi hiilivetyjen avulla
- Redusointi CO avulla
- Redusointi H₂ avulla
- Redusointi H₂S avulla
- Redusointi koksen avulla
- käänteinen Zeldovich mekanismi

Ernola ym. 89, ovat tutkineet NO_x:n vähennystä hiilen poltossa käyttämällä CHEMKIN mallia. Heidän mukaansa H₂ ja CO ovat tehokkaita redusoivia yhdisteitä. he päättelivät pääreduktioreaktioiden olevan



Chen ym. On tutkinut H₂ vaikutusta NO_x redusoijana pilottimitassa putkiuunissa. Heidän mukaansa vety ei ollut niin tehokas kuin metaani.

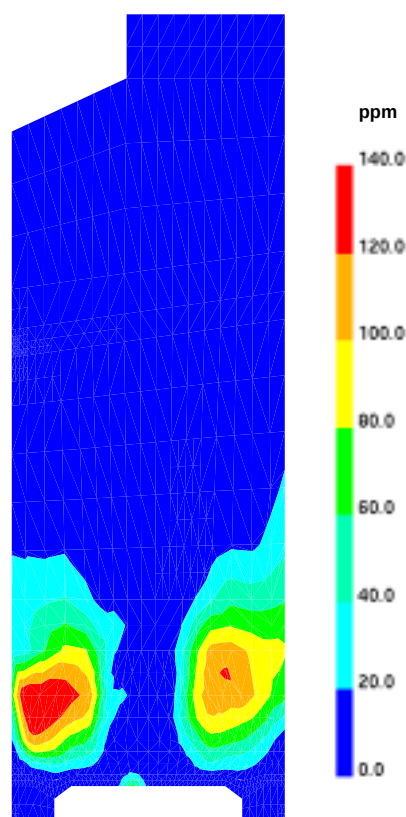
Jos savukaasuissa on CO:ta ja lämpötila on yli 1000 °C, muodostunut NO reagoi typeksi melko nopeasti (alle 100 ms), Aho et al, 1990.

Jones ja Stewart, 1992, raportoivat Arkansas Kraft tehtaalla suoritetuista korkean kuiva-aineen polttokokeista. Heidän mukaansa NO_x päästö kattilasta kasvoi kun SO₂ päästö kattilasta väheni.

Palamiseen, kaasujen koostumukseen ja mustalipeästä vapautuvan typen paikkaan tulipesässä voidaan vaikuttaa ruiskutusta muuttamalla. Tavallisessa ruiskutuksessa typpiyhdisteet vapautuvat lähellä lipeäruiskua, Kuva 3/5, Vakkilainen et al., 1998. Samanlaisen profiilin ovat havainneet myös Nichols ja Lien, 1993 laboratorioputkiuunissa. Myös heidän tulostensa mukaan typpiyhdisteet vapautuvat nopeasti palamisen alussa.

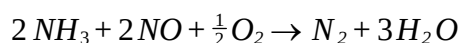
KUVA 3/5

Mustalipeän sisältämän typen vapautuminen ammoniakkiprofiilina, Vakkilainen et al.



3.5 Ammoniakin syöttö tulipesän yläosaan

Ahlstrom Machinery ja Götaverken ovat kokeilleet eräissä soodakattiloissa ammoniakin syöttöä tulipesän yläosaan 90-luvun alussa. Tekniikalla saavutettiin 15 - 35 % reduktio riippuen syötettävän ammoniakin ja NO_x:n moolisuhteesta. Jos halutaan rajoittaa ammoniakki päästö 5 ppm tasolle on saavutettava reduktio 25 %. Pääreaktiomekanismi on



Mahdollinen taattava taso olisi

Mustalipeän typpi, p-%	0,08	0,10	0,14
Päästö, ppm (mg/m ³ n)	78(160)	87(180)	117(240)
mg/MJ	52	58	78

Ammoniakin ruiskutuksella saadaan Ahlstrom Machineryn kokemuksen mukaan aikaan ruiskutuksen/NO_x pitoisuuksien epätasaisuudesta johtuvia ammoniakkihiippuja. Näillä on todettu olevan voimakkaita korroosiota lisääviä vaikutuksia ekon ja sähkösuotimen alueella.

Esimerkki

Soodakattila tuottaa NO_x tason 100 ppm kuivissa savukaasuissa ja kuivia savukaasuja 3,86 m³n/kgka. Ruiskutettavan ammoniakkin määrä on 100 ppm/m³n. Ruiskutustaso ammoniakille on 1 ppm NH₃:a 1 ppm NO₂:ta kohti. 1 ppm NH₃ = 0,771 mg(asNH₃)/m³n. Ammoniakin tarve vuorokaudessa on ajovauhdilla 3000 tka/24h

$$\text{NH}_3 \text{ kg/24h} = 3000 \cdot 3,86 \cdot 0,771 \cdot 100 / 1000 = 893 \text{ kg/24 h}$$

Poistettu NO_x määrä on

$$\text{NO}_2 \text{ kg/24h} = 3000 \cdot 3,86 \cdot 2,053 \cdot 25 / 1000 = 594 \text{ kg/24 h}$$

Tarvittava ammoniakkimäärä on noin 1,5 tonnia NH₃a per poistettava tonni NO₂:ta.

Laskennallinen käyttökustannus typen reduktiosta on 2 000 – 2 500 euroa/t NO₂. Vesiliukoisen ammoniakkin kustannus on oletettu olevan luokkaa 2,5 euroa/kg.

3.6 Elektronisuihkumenetelmä

Elektronisuihkumenetelmää on kehitellyt mm. Lappeenrannan Teknillinen Korkeakoulu. Menetelmässä saadaan aikaan vapaita ioneja, jolloin NO_x voidaan saada reagoimaan ammoniumnitraatiksi. Vastaavaan prosessiin perustuvia laitoksia on toteutettu ja niitä on käytössä, ei kuitenkaan soodakattilaympäristössä. Laitoksen investointikustannus ja käyttökustannus osoittautuivat kuitenkin muulla tavoin toteutettuja poistotapoja kalliimmiksi. Muina haittoina voi mainita vaadittu säteilysuojaus.

Laskennallinen käyttökustannus typen reduktiosta on 1 700 – 3 000 euroa/t NO₂. Saatavalle ammoniumnitraatille ei ole laskettu nettohintaa..

3.7 Hapetus-/pelkistysprosessit

Kattilateollisuudesta on tunnettua useat NO_x:n hapettamiseen NO₂:ksi ja sitten pelkistämiseen perustuvat menetelmät. Tunnettuja hapettimia ovat peroksidi, otsoni ja klooridioksidi. Kaikille prosesseille on ominaista saavutetun reduktion riippuvuus ajotilanteesta. Lisäksi sellutehdasta ajatellen ne lisäävät tehtaan vedenkulutusta ja samoin vesipäästöjä.

Laskennalliset käyttökustannukset ko. prosesseille vaihtelevat välillä 2 200 – 3 100 euroa/t NO₂.

Jos pelkistimenä käytetään klooridioksidia, aiheutuu tästä sellutehtaan lipeäkiertoon merkittävä lisäkloorivirta, joka nostaa klooripitoisuutta mustalipeässä. Aiheutuvat klooripitoisuuden nostot rajoittavat helposti soodakattilan kapasiteettia 10 .. 20 % ja aiheuttavat merkittävää lisäkorroosiota mm. pesureissa.

Klooridioksidin lisäystarve on parhaimmillaan noin 4 ppm yhtä ppmää NO_xia kohti.

$$\text{ClO}_2 \text{ kg/24h} = 3000 * 3,86 * 3,149 * 400 / 1000 = 14586 \text{ kg/24 h}$$

Poistettu NO_x määrä on

$$\text{NO}_2 \text{ kg/24h} = 3000 * 3,86 * 2,053 * 75 / 1000 = 1786 \text{ kg/24 h}$$

Tarvittava klooridioksidimäärä on 8 tonnia poistettua tonnia NO₂ kohti.

Kloorin lisäys kiertoon on

$$\text{Cl kg/t sellua} = 14586 \text{ kg/24 h} / 1670 \text{ t} / 24\text{h} = 9 \text{ kg/ t sellua}$$

Normaali kloori inputti sellutehtaaseen on välillä 1 - 2 kg/ t sellua, jolloin ko. lisäys nostaa klooritasoa tehtaassa 4 - 5 kertaiseksi.

3.8 Katalyyttiprosessit

On tunnettua, että useita ei katalyyttisiä NO_x vähennysmenetelmiä saada parannettua käyttämällä sopivaa katalyyttiä. toimittajat ovat tutkineet mahdollisuuksia katalyytin löytämiseksi usean kemianteollisuuden alan yrityksen kanssa. Esimerkiksi Alstom Power toimittanee ko. laitoksia hiilikattiloille. Koska soodakattilan savukaasut sisältävät 10 - 30 g/ m³n alkalipitoista pölyä ei sopivaa katalyyttiä ole löytynyt.

3.9 Tavallinen pesuri

NO_x vähenee pesurissa kun NO₂ peseytyy. NO₂ osuus NO_x.stä on 1 .. 5 %. Näin alhainen taso ei vaikuttane mitattavasti.

3.10 Lipeän lämpökäsittely tai muu polttoaineen käsittely

Polttoaineen käsittelyllä voitaisiin alentaa soodakattilaan tulevaa typpimäärää. Esimerkiksi lipeän lämpökäsittely vaikuttaa typpipäästöön, Aho. Aihetta on tutkittu vähän sen potentiaalista huolimatta.

KUVA 3/6

Mustalipeän sisältämän typen väheneminen koivulle ja männylle LHT käsittelyn aikana, Aho et al.

	N-content % DS.	N released % % of N	% NO * ppm % 8% O
Birch	0.17	15.1	95
Birch LHT	0.17	14.9	73
Pine	0.12	12.6	48
Pine LHT	0.11	10.1	31

* Calculated NO if released NH₃ and HCN converted to NO

Niemelä et al., 2002 ja Niemelä ja Ulmgren, 2002 raportoivat EU projektista, jossa pyrittiin päästöjen vähentämiseen. Heidän mukaansa ei keitto-olosuhteilla juurikaan pystytä muuttamaan typen määrää mustalipeässä.

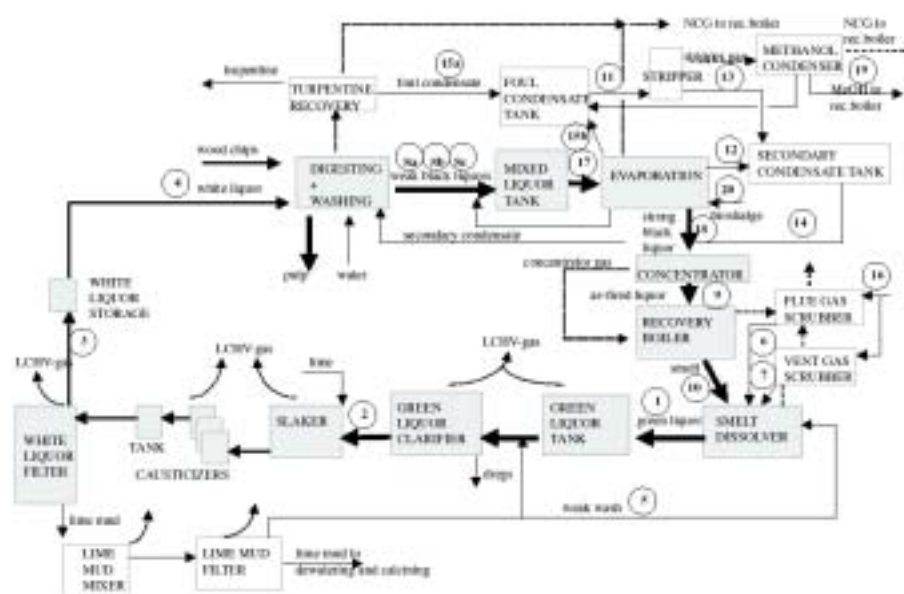
4 NO-LISÄYSVIRRAT

Hajukaasujen poltto ja liuottimen hönkien poltto lisäävät typpiyhdisteitten määrää polttoon. Samalla tehtaas lisäävät lehtipuusellun tuotantoa, jolloin typpimäärä lipeässä nousee.

Typen esiintymistä tehtaas lipeäkierrossa on tutkinut Kymäläinen. Huomattavia typpivirtoja erityisesti ammoniakkina voi esiintyä tehtaassa.

KUVA 4/1

Esimerkkitehtaas typpivirrat, Kymäläinen.



4.1 Liuotinhöngät

Liuotinhöngien määrä on noin 0,25 m³n(kuivaa)/kgka. Liuotinhöngissä on typpeä lähinnä ammoniakkina 100 ppm/m³n(kuivaa). Voidaan olettaa, että poltossa enintään 50 % ammoniakista muuttuu NO_x:ksi. Tällöin lisäys typpitasoon on enintään

$$\text{NO}_x + \% = (3,67 \cdot 100 + 0,25 \cdot 100 \cdot 0,5) / (3,67 \cdot 100) \cdot 100 - 100 = 3 \%$$

4.2 Laimeat hajukaasut

Laimeitten hajukaasujen määrä polttoon on 5 .. 20 % ilmamäärästä. Laimeiden hajukaasujen typpipitoisuudesta ei ole tietoa, mutta typpi on lähinnä ammoniakkina. Oletettu taso on 10 ppm/m³n(kuivaa). Voidaan olettaa että poltossa enintään 50 % ammoniakista muuttuu NO_x:ksi. Tällöin lisäys typpitasoon on enintään

$$\text{NO}_x + \% = (3,67 \cdot 100 + 0,2 \cdot 3,67 \cdot 10 \cdot 0,5) / (3,67 \cdot 100) \cdot 100 - 100 = 1 \%$$

Laimeiden hajukaasujen ei ole raportoitu lisäävän NO_x päästöä.

4.3 Väkevät hajukaasut

Väkevien hajukaasujen määrä polttoon on 5 .. 10 % ilmamäärästä. Väkevien hajukaasujen typpipitoisuudesta ei ole tietoa, mutta typpi on lähinnä ammoniakkinä. Oletettavasti voi typpipitoisuus olla useampi sata ppm/m³n(kuivaa). Voitaneen olettaa että poltossa enintään 50 % ammoniakista muuttuu NO_x:ksi. Tällöin lisäys typpitasoon on enintään

$$\text{NO}_x + \% = (3,67 \cdot 100 + 0,10 \cdot 3,67 \cdot 200 \cdot 0,5) / (3,67 \cdot 100) \cdot 100 - 100 = 10 \%$$

Janka et al., 2001, raportoi ettei mitatussa NO tasossa tapahtunut muutosta kun väkevien hajukaasujen poltin otettiin pois käytöstä 5 tunniksi ja taas takaisin päälle. Selityksenä on hajukaasujen sisältämien hiilivetyjen reburning-efekti eli hiilivetyjen palaessa syntyvien radikaalien aikaansaama NO_x vähennys.

4.4 Muut lisävirrat

Biolietteen mukana tulee paljon typpiyhdisteitä. Kymäläinen et al., 2000b on tehnyt mittauksia ja taseita. Näiden mukaan biolietettä poltettaessa mustalipeän sisältämä typpimäärä lisääntyy 20 – 25 %. Selkeätä käsitystä vaikutuksista ei ole. Ainoa raportoitu kohde on MB Kemi, jossa selvää muutosta ei havaittu, Harila 1993. Kattilatoimittajat ovat viimeaikaisissa projekteissaan nostaneet NO_x takuutaan jos biolietettä poltetaan soodakattilassa.

Metanolin mukana tulee paljon typpiyhdisteitä. Selkeätä käsitystä vaikutuksista ei ole. Joutsenossa ei raportoitu tason noususta. Kattilatoimittajat ovat viimeaikaisissa projekteissaan nostaneet NO_x takuutaan jos metanolia poltetaan soodakattilassa.

Tärpätin polton ei ole havaittu lisäävän NO_xta.

Crawford ja Jain, 2002 tutkivat stripperin kaasujen polttoa. He havaitsivat n. 20 % virran sisältämästä ammoniakista muuntuvan NO_xksi. Suomessa näiden kaasujen polttoa soodakattilassa harrastetaan ainakin Valkeakoskella. Tietoja typpioksiditason muutoksista ei ole.

4.5 Typpioksidipäästöt apupolttoainetta poltettaessa

Soodakattilan lipeäpolton ollessa yli 50 % kuormasta ovat typpioksidipäästöt myös apupolttoainetta poltettaessa verrannollisia lipeäpolton typpipäästöihin. Apupolttoaineen käytön 20 – 30 % tehosta ei ole raportoitu aiheuttaneen lisäpäästöä. Eli kun öljykuorma on 30 % höyryntuotannosta ja kokonaispolttokeho on sama, ei eroa ole.

Käynnistyksen ja pysäytyksen aikana NO-tason määrää apupolttoaineen polttimien rakenne.

Esimerkiksi BAT-direktiivi määrää että kuormapolttimet pitäisi hankkia LowNO_x-mallia. Toisaalta BAT-direktiivi ei spesifioi mitä ko. mallilla tarkoitetaan.

5 PÄÄSTÖRAJAT

Uusia Euroopan-laajuisia päästönormeja on valmistunut tai valmistumassa kaksi. Ensimmäinen koskee suuria polttolaitoksia (LCP, Large Combustion Plants) ja siinä on erikseen päästörajoja erityyppisille polttoaineille. Toinen on jätteenpolttodirektiivi (Cproc, Coincineration of auhorized fuels). Suurten laitosten direktiivi ei koske soodakattiloita ja tehorajan perusteellakin koskee lähinnä yli 3000 tka/d kattiloita. Jätteenpolttodirektiivissä on erikseen mainittu että se ei koske soodakattiloita. Eräitä yhteydenottoja Suomen viranomaisten taholta on suoritettu, joiden tarkoituksena on laajentaa ko. dokumenttien sovellusalueet koskemaan myös soodakattiloita.

5.1 Tavalliset ilmapäästöt

TAULUKKO 5-1

Direktiiveissä vaadittavia päästötasoja verrattuna tyypilliseen tasoon soodakattiloilla,

LCP = LCP direktiivin päästörajat kiinteitä polttoaineita polttavilla laitoksille,

Cproc = Coincineration of auhorized fuels = jätteenpoltto,

SK = Tyypillinen soodakattila.

	LCP	Cproc	SK
SO ₂ , mg/m ³ n	200	360	~0
NO ₂ , mg/m ³ n	200	360	200
Pöly, mg/m ³ n	30	18	100
CO, mg/m ³ n		90	100

Verrattaessa direktiiveissä vaadittavia päästötasoja tyypilliseen päästötasoon soodakattiloilla huomataan, että suurissa päästöissä lähinnä pöly ja CO ovat sellaisia komponentteja, joiden tasoon uusissa laitoksissa pitää kiinnittää huomiota.

5.2 Metallipäästöt

Tavallisten ilmapäästöjen lisäksi jätteenpolttodirektiivi rajoittaa myös metallipäästöjä.

TAULUKKO 5-2

Direktiiveissä vaadittavia metallien päästötasoja verrattuna tyypilliseen tasoon soodakattiloilla,

Cproc = Coincineration of auhorized fuels = jätteenpoltto,

SK = Tyypillinen soodakattila.

	Cproc	SK.
TOC, mg/m ³ n	18	~20
HCl, mg/m ³ n	22	0
HF, mg/m ³ n	2	0
PCDD+PCDF, ng/m ³ n	0,18	<0,20
Hg, mg/m ³ n	0,09	<0,01
Cd+Tl, mg/m ³ n	0,09	<0,01
Pb+Cr+Mn+Cu+ Ni+Co+As+Sb+V, mg/m ³ n	0,90	<0,50

Tyypillisesti ei soodakattiloilla näytä olevan vaikeuksia saavuttaa jätteenpolttodirektiivin tasoa. Kokonaisogaanisten päästöissä (TOC) pitää päästötasoa ja polton laatua kuitenkin tarkkailla.

6 YHTEENVETO

Soodakattilan päästötaso typenoksidien osalta on 70 ... 80 mg/MJ. Ko. taso on paljon alhaisempi kuin mitä tänäpäivänä käytössä olevilta muilta kiinteitä ja nestemäisiä polttoaineita käyttäviltä laitoksilta vaaditaan.

NO_x päästö on tärkeä komponentti mm. Joutsenmerkissä. Selvää kilpailuetua pohjoismaissa saavutetaan alentamalla ko. päästöä.

Lisää työtä NO päästöjen rajoittamiseksi tarvitaan.

VIITTEITÄ

A study of kraft recovery furnace total gaseous non-methane organic emissions. NCASI, Atmospheric Quality Improvement Technical Bulletin, No. 105.

Adams, T. N., Stewart, R. I., and Jones, A. K., 1993, Using CFD calculations to estimate thermal-NO_x from recovery boilers at 67% and 80% dry solids. TAPPI 1993 Engineering Conference Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, pp. 625–634.

Aho, K., Nikkanen, S., and Hupa, M., 1994a, Fuel nitrogen release during black liquor pyrolysis. Part 2: Comparisons between different liquors. Tappi Journal, Vol. 77, No. 8, August 1994, pp. 182 - 188.

Aho, Kaisa, Vakkilainen, Esa and Hupa, Mikko, 1994b, Fuel Nitrogen release during black liquor pyrolysis, Part 1: Laboratory measurements at different conditions. Tappi Journal, Vol. 77, No. 5, May 1994. pp. 121 – 127.

Anderson, Peter H. and Jackson, James C., 1991, An analysis of best available control technology options for Kraft recovery furnace NO_x emissions. Tappi Journal, January 1991, Vol. 74., No. 1. pp. 115 - 118.

Arakawa, Yoshihisa, Ichinose, Toshimitsu, Okamoto, Akiyasu, Baba, Yoritaka and Sakai, Toshiyuki, 2001, Application of an in-furnace NO_x removal system for recovery boilers. TAPPI Proceedings International Chemical Recovery Conference. June 11 – 14, 2001, Whistler, British Columbia, Canada, pp. 257 – 260.

Clement, J. L. and Barna, J. L., 1993, The effect of black liquor fuel-bound nitrogen on NO_x emissions. Proceedings of 1993 Environmental Conference, Tappi Press, pp. 653 – 660.

Crawford, Robert J. and Jain, Ashok K., 2002, Effect of stripper off-gas burning on NO_x emissions. Tappi Journal, Vol. 85, No. 1, January 2002, 6 p.

Ernola, P., Hupa, Mikko, Kjældman, Lars, and Oksanen, P., 1989, Detailed modelling of NO_x emissions in fuel staging. Åbo Akademi, Department of Chemical Engineering, Combustion Chemistry Research Group, Report 89 - 9. 16 p.

Ferguson, Kelly H., 1991, L-P Samoa Mill Improves Air Quality with Recovery Island Modernization. Pulp & Paper, September. pp. 180 - 185.

Forssén M., Hupa M., Pettersson R., Martin D., 1997, Nitrogen Oxide Formation During Black Liquor Char Combustion and Gasification. *Journal of Pulp and Paper Science* 23 (1997) 3, pp. J439-J446

Forssén M., Kilpinen P., Hupa M., 2000, NO_x reduction in black liquor combustion - reaction mechanisms reveal novel operational strategy options, *Tappi Journal*, Vol. 83, No. 6, June 2000, 13 p.

Forssén M., Järvinen M.: Liquor-to-liquor differences in combustion and gasification processes. Simultaneous measurements of swelling and CO₂, CO, SO₂ and NO formation reveals new data for mathematical models, Proceedings: 2001 PAPTAC-TAPPI International Chemical Recovery Conference, June 11-14 2001, Whistler, BC, Canada, pp. 203-213

Harila, Pauli, 1993, Biolietteen käsittely, mustalipeän superväkevöinti ja hajukaasujen poltto soodakattilassa. 10 p.

Hyöty, P. and Mäntyniemi, J., 1992, Emission of a big recovery furnace; results of a 2000 tds/ 24h boiler. 1992 International Chemical Recovery Conference Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, pp. 405–412.

Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Draft Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, Draft dated March 2001, European commission, 400 p.

Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry, July 2000, European commission, 509 p.

Janka, Kauko, Ruohola, Tuomo, Siiskonen, Pekka and Tamminen, Ari, 1998, A Comparison of Recovery Boiler Field Experiments Using Various NO_x Reduction Methods. Tappi Journal, Vol. 81, No. 12, December 1998, pp. 137 - 141.

Janka K., Ylitalo M., Kilpinen P., Brink A., Coda Zabetta E., 2001, How to minimise NO_x emissions in the case of CNCG combustion in recovery boiler furnace, Proceedings of 2001 PAPTAC-TAPPI International Chemical Recovery Conference, June 11-14 2001, Whistler, BC, Canada. pp. 261 – 268.

Jones, A. K. and Stewart, R. I., 1992, The high solids breakpoint — A trade off between SO_x and NO_x. 1992 International Chemical Recovery Conference Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, pp. 365-370.

Kjörk, Anders, Herstad Swärd, Solvie, 2000, Atmospheric emission of nitrogen oxide from kraft recovery boilers in Sweden (Kartläggning av NO_x-utsläpp från sodapannor i Sverige). SVF-679, Technical Report, Värmeforsk, Stockholm (Sweden), Project Värmeforsk S9-807, ISSN 0282-3772, 58 p.

Kymäläinen M., Forssén M., DeMartini N., Hupa M., 2000a, The Fate of Nitrogen in the Chemical Recovery Process in a Kraft Pulp Mill. Part II: Ammonia Formation in Green Liquor, Journal of Pulp and Paper Science, 27 (2001) 3, pp. 75-81

Kymäläinen M., Holmström M., Forssén M., Hupa M., 2000b, The fate of nitrogen in the chemical recovery process in a Kraft pulp mill, Part III: The effect of some process variables, Journal of Pulp and Paper Science, 27 (2001) 9, pp. 317-324

Kymäläinen M., Forssén M., Jansson, M., and Hupa M., 2002, The fate of nitrogen in the chemical recovery process in a Kraft pulp mill, Part IV: Smelt Nitrogen and its formation in black liquor combustion. *Journal of Pulp and Paper Science*, 28 (2002) 5, pp. 151-158.

Källberg, Y., 1982, Simulation of formation and depletion of NO_x in high temperatures. (In Swedish) M.Sc. Thesis, Åbo Akademi.

Lyon, Rickhard K., Cole, Jerald A., Kramlich, John C. and Chen Shi L., 1989, The selective reduction of SO₃ to SO₂ and the oxidation of NO to NO₂ by methanol. *Combustion and flame*, Vol. 81, No. 1. pp. 30 - 39.

Mannola, Lasse ja Burelle, Robert, 1995, Operating experience of a 7,270,000 lb d.s./day recovery boiler. *Pulp & Paper Canada*, Vol. 96, No. 3., pp. T 100 – T102.

Maso, Vesa, 1988, Formation and reduction of emissions. Seminar on Black Liquor Combustion. February 24 - 25, Lappeenranta, Lappeenranta University of Technology. 12 p.

Mäntyniemi, Jussi ja Haaga, Kari, 2001, Operation experience on XL-sized recovery boilers. Tappi Engineering / Finishing & Converting Conference, September 16-20, 2001, San Antonio, TX, Tappi Press. 7 p.

Nichols, Kenneth, M., 1987, Nitrogen pollutant formation in a high pressure entrained- coal gasifier. Ph. D. Thesis, Department of Chemical Engineering, Brigham Young University. 242 p.

Nichols, Kenneth M., Thompson, Laura M. and Empie, Jeff H., 1993, A review of NO_x formation mechanisms in recovery furnaces. *Tappi Journal*, Vol. 76, No. 1, January 1993, pp. 119 - 125.

Nichols, Kenneth M. and Lien, Steven J, 1993, Formation of fuel NO_x during – black liquor combustion. *Tappi Journal*, Vol. 76, No. 3, March 1993, pp. 185 - 191.

Niemelä, Klaus, Järvinen, Risto, Ulmgren, Per, Samuelsson, Åsa, Forssén, Mikael, DeMartini, Nikolai, Kilpinen, Pia, Hupa, Mikko, Saviharju, Kari, Ferreira, Pinho and Rebola, João, 2002, Reduction of air emissions at Kraft pulp mills – overview of multidisciplinary EU project. 7th International Conference on New Available Technologies (Stockholm, June 4–6, 2002), p. 78–81

Niemelä, Klaus and Ulmgren, Per, 2002, Behavior of Nitrogen during Kraft pulping of wood. 7th European workshop on Lignocellulosics and Pulp, Turku, Finland, August 26 – 29, pp. 71 – 74.

Pinkerton, John E., 1998, Trends in U.S. Pulp and Paper Mill SO₂ and NO_x Emissions, 1980–1995. *Tappi Journal*, Vol. 81, No. 4, April 1998, pp. 114 - 122.

Prouty, Alan L., Stuart, Richard C. and Caron, Andre L., 1993, Nitrogen oxide emissions from a kraft recovery furnace. Tappi Journal, Vol. 76, No. 1, January 1993, pp. 115 - 118.

Shuey, B., Strandell, O., Kaila, J., and Spangler, R., 1995, Comparison of very high dry solids firing with conventional operation. 1995 International Chemical Recovery Conference Proceedings, CPPA – Technical Section, Montreal, pp. B5–B8.

Tao, Lixin, 2000, Three dimensional computer simulation for NO_x emission in Östrand recovery boiler. Swedish National Energy Administration, Eskilstuna. Report STEM-AVGA—00/1, 39 p.

Vakkilainen, Esa K., Taivassalo, V., Kjälldman, L., Kilpinen, P, Norström, T., High Solids Firing in an Operating Recovery Boiler - Comparison of CFD Predictions to Practical Observations in the Furnace, 1998 International Chemical Recovery Conference June 1 - 4, Hyatt Westshore, Tampa, Fl, pp. 245 - 256.

Vakkilainen, Esa K., 2000b, Troubleshooting Recovery Boiler Fouling. Conference on Behavior of Inorganic Material In Recovery Boilers, June 4-9, 2000, Bar Harbor, Maine.

Vakkilainen, Esa, 2000c, Recovery Boiler. Chapter 13 in Book Chemical Pulping, Series editors Johan Gullichsen and Carl-Johan Fogelholm, Finnish Paper Engineers' Association. ISBN Number: 952-5216-06-3.

Vakkilainen, Esa, Holm, Ralf and Simonen, Liisa, 2001, Emission performance of large recovery boilers. Tappi Engineering / Finishing & Converting Conference, September 16-20, 2001, San Antonio, TX, Tappi Press. pp. 118 – 127.

Wallén, Jonas, Viiala, Juhani and Bjorkstrom, Ingvar, 2002, Operational performance of Billerud Gruvön's new recovery boiler with environmental friendly solutions. Proceedings 2002 TAPPI Fall Technical Conference, September 8 - 11, San Diego, Ca, 10 p.

Zeldovich, J., 1946, The oxidation of nitrogen in combustions and explosions. Acta physiochimica U.R.S.S., Vol. 21, No. 3. pp. 577 - 628

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 2001, 25.1.2001
Oy Metsä-Botnia Ab Äänekosken tehtaas/
hotelli Alexandra, Jyväskylä; esitelmät
16A0913-110, 00-A221-16A/E21
- 2/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Kattilavuotojen valvonta ja ohjeistus, Karjunen, Timo
21.2.2001 (16A0913-E0022)
- 3/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan uudet materiaalit –projekti; 1. ja 2. väliraportti
TKK/ Saarinen Pekka, VTT/ Hänninen Hannu, TKK/ Pohjanne Pekka
22.2.2001 (16A0913-E0023)
- 4/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattiloiden päästölaskelmien tehdaskartoitus
Jaakko Pöyry Oy/Lehtinen Markku
26.2.2001 (16A0913-E0024)
- 5/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2000 16
8.3.2001(16A0913-E0025)
- 6/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Kartoitus hajukaasujen keräily- ja polttosuosituksen laatimista
Jaakko Pöyry Oy/Sebastian Kankkonen
5.3.2001 (16A0913-E0026)
- 7/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Vuosikokous 2001, 29.3.2001, UPM-Kymmene Oyj, Tervasaari, Valkeakoski,
Pöytäkirja (16A0913-E0027)
- 8/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Lehtinen M.; BLRBAC kevätkokous 2.-4.4.2001, Atlanta
Matkaraportti (16A0913-E0028)
- 9/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Kemikaalikierron likaantumisongelmat. Seminaari 22.5.2001 KCL.
Kesseli H, Metso Paper; Nurminen K, Kvaerner Pulping Oy, Svensson C, Savcor Process Oy, Hupa
M, Åbo Akademi, Salmenoja K, Kvaerner Pulping Oy, Engdahl H, Andritz-Ahlstrom Oy, Järvinen R,
KCL. Toim. Niemelä K, KCL. (16A0913-E0029)
- 10/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 2001, 11.10.2001
Best Western Hotel Haaga, Helsinki, esitelmät
16A0913-E0030
- 11/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilalaitoksen vaaranarviointi
Soodakattilayhdistyksen Kestoisuustyöryhmä/Vaaranarviointityöryhmä
18.10.2001 (16A0913-E0032)

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2002 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilalaitosten käyttämät kemikaalit, jatkuvatoimiset analysaattorit, veden laatutiedot ja sovelletut laatuarvot
Kurkela Sinikka
15.1.2002 (16A0913-0033)
- 2/2002 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 2002, 24.1.2002
UPM-Kymmene Oyj, Kaukas/Scandic Hotel Patria, Lappeenranta, esitelmät
(16A0913-0034)
- 3/2002 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2001
11.3.2002 (16A0913-E0035)
- 4/2002 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Vuosikokous 2001, 21.3.2002, Vapriikki, Tampere
(16A0913-E0037)
- 5/2002 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Raportti vetyhauraudesta kuudessa kattilassa
Sinikka Kurkela
2.5.2002 (16A0913-E0038)
- 6/2002 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Vetyhyökkäys ja kattilavesinormit
Timo Karjunen
21.5.2002 (16A0913-E0039)
- 7/2002 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Kartoitus liuotinsäiliön instrumentoinnista
Jaakko Pöyry Oy / Pekka Jussila
18.8.2002 (16A0913-E0040)
- 8/2002 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 2002, 10.10.2002
Marina Congress Center, Helsinki, esitelmät
(16A0913-E0041)
- 9/2002 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Rikkiyhdisteiden vapautuminen mustalipeähaihduttamalla
31.8.2002 (16A0913-E0042)
- 10/2002 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila tulevaisuudessa - esiselvitysraportit
Joulukuu 2002 (16A0913-E0043)
- 11/2002 Suomen Soodakattilayhdistys ry
NOx Soodakattiloissa
4.12.2002 (16A0913-E0045)