

Suomen Soodakattilayhdistys ry

YMPÄRISTÖTYÖRYHMÄN KOKOUS I/2009

AIKA 10.3.2009 klo 13.00 – 16.00

PAIKKA Pöyry-talo, Vantaa

LÄSNÄ

Olli Dahl	Teknillinen korkeakoulu, Espoo
Harri Jussila	UPM-Kymmene Oyj, pj
Markus Nieminen	Pöyry Industry Oy, Vantaa, siht.
Hanna Niemitalo	Andritz Oy
Merja Strengell	Pöyry Industry Oy, Vantaa
Terhi Tallqvist	Metso Power ES Oy
Timo-Pekka Veijonen	Stora Enso, Pulp Competence Center, Imatra

LIITE I VAHTI-raportti

LIITE II Ohje soodakattilan päästöjen laskentaan

LIITE III Lentotuhka-projektin tilanneraportti

JAKELU Julkaisu: Soodakattilayhdistyksen kotisivulla
Tiedote: Hallitus Ympäristötyöryhmä OMP MNN EPT

1 POISSAOILOILMOITUKSET

Sanna Hämäläinen
Helena Wessman

Oy Metsä-Botnia Ab, Joutseno
KCL

2 EDELLISEN KOKOUKSEN PÖYTÄKIRJA

Edellisen kokouksen pöytäkirja hyväksyttiin muutoksitta.

3 MUIDEN TYÖRYHMIEN KUULUMISET

ATR

Hajukaasujen polttosuosituksen päivitys

- ATR:n ja YTR:n yhteisprojekti
- yhteinen kokous 10.3.2009
- Pöyry tekee tarjouksen selvityksestä
- viimeisimmät hajukaasuräjähdykset vs. suositus
- selvitetään käytettävissä olevat mittaustekniikat
- kokemukset turvallisista järjestelmistä

Turva-automaatiosuosituksen päivitys

- työ on päivityksen ja KLTK-ohjeen osalta valmis ja kommentoitavana kotisivuilla
- suositus on lähetetty käännettäväksi englanniksi FM Globalille

Kattilarakennuksen sähkötekniset turvajärjestelmät (evakuointi-paloturvavaroitusjärjestelmät)

- projektilla oma työryhmä
- selvitys standardi- ja säädöstilanteesta sekä vakuutuslaitosten ohjeistus/vaatimukset, opinnäytetyö Kuopion pelastusopisto
- kirjallisuustyön valmistuttua pohditaan projektin jatkoa:
 - tehtaiden nykytilanteen selvittäminen?
 - korjausehdotuksia nykytilanteeseen?
 - suosituksen tekeminen?

Käytönaikaiset määräaikaistestaukset tehtailla

- tilattiin Mauri Heikkiseltä (Pöyry)
- toteutetaan syksyn 2008 ja 2009 aikana
- pidettyneet keskeytymättömät ajoajat-projektin jatko
- projektin rajaus koskemaan seisokin vaatimia määräaikaistestauksia
- Heikkinen lähettänyt kyselykaavakkeen 13 tehtaalle, 1 vastannut määräaikaan mennessä, Heikkinen lähestyy tehtaita puhelimitse
- Tehdasvierailu 5-7 tehtaalla, talteenottoalueen käytönvalvojen ja automaatio-/sähkövastaavan haastattelu

KTR

Keon jäähtyminen

- Esa Vakkilaisen tekemä kirjallisuusselvitys julkaistaan
- Vakkilainen on lähettänyt ehdotuksen jatkotutkimuksesta
 - sulan jäähtymisen lämmönsiirtolaskenta
 - ilman vaikutus keon jäähtymiseen kun pinta on sammunut
 - keon jäähtymisnopeus hallitussa alasajossa
 - CO ja CO₂-pitoisuuksien mittaus
 - Lopputuloksena suositus, kuinka kauan keon on annettava jäähtyä, ennen kuin kattilan pesu voidaan aloittaa

Kattilalaitosten turvallisuusohjeiden (KLTK) päivitys

- esitys Konemestaripäivillä 22.1.2009
- kommentit Reijo Hukkaselle
- lopputuloksena yhdistyksen suositus

LTR

Viherlipeäsakka

- esitys vuosikokouksessa 10.4.2008
- raporttia odotetaan Åbo Akademilta

Minuuttisondi

- menetelmä jolla voidaan mitata kerrostumanopeutta eri ajotilanteissa nopealla ja suhteellisen yksinkertaisella tavalla.
- mittaukset kolmella soodakattilalla, Kymi, Enocell, Rauma
- aikataulu: syksy 2008-kevät 2009

Emäveden jatkokäsittely

- löytää keino emäveden käsittelemiseksi, jolla voidaan parantaa mäntyöljyn saantoa, ja vähentää haitallisen kalsiumin kulkeutumista takaisin haihduttamolle.
- projekti alkaa syksyllä 2008 ja päättyy keväällä 2009

OTR

Vuosikokous 2.4.2009 klo 10 Pöyryllä Vantaalla.

- SKYREC yleisesitys
- Orgaaniset yhdisteet lisäveden ja kattilaveden käsittelyssä, Jouko Hilden, VTT
- Ympäristötutkimustoimikunta – Tiina Vuoristo, Metsäteollisuus ry
- Future Biorefinery – Niklas von Weymarn, Metsäklusteri Oy
- Päivällinen klo 18, Kaksi Kanaa -teatteriravintola

Yhdistyksen 45 v. juhla 3. – 5.6.2009 Lahdessa

- Kirjan materiaali painossa
- Posteripaikkoja tarjolla

Soodakattilapäivä 29.10.2009 Sokos Hotel Flamingo, Vantaa

4 NOX-SELVITYS

Tavoite

Projektin tarkoituksena oli selvittää sellutehtaiden typpioksidipäästöt ja niihin vaikuttavat tekijät. Tutkimus toteutetaan kartoituksena, joka koostuu kolmesta osasta:

- Oulun ja Wisaforestin soodakattiloiden ja meesauunien typpiyhdisteiden virrat selvitettiin typpianalyysien ja taseiden Åbo Akademin toimesta. Mukana myös aikaisemmin mitatut MB:n viisi tehdasta.
- TKK:n harjoitustyönä tehtiin yhteenveto vuoden tehtaiden 2007 ympäristöhallinnolle raportoimien päästötietojen (VAHTI-tietokanta) pohjalta täydennettynä erällä kattiloiden specifikisillä tiedoilla.
- Åbo Akademin yhteenvetoraportti typpitaseiden ja harjoitustyön tiedoista, joka täydentää aikaisemman ÅA NOx-raportin tietoja.

Aikataulu

Osallistumiskysely lähetettiin 1.6.2006 kaikille suomalaisille sellutehtaille. Tehtaille lähetettiin muistutuskirjeet soodakattilan typpivirtausten selvittämisestä 13.9.2006. Stora Enso Oulussa mittaukset on tehty loppuvuonna 2007 ja UPM Pietarsaassa mittauskampanja toteutettiin helmikuussa 2008. VAHTI-tietokannan tietoja kerätty vuoden 2008 aikana ja ajokapasiteettitiedot tarkistettu maaliskuuhun 2009 mennessä.

Rahoitus

Tehtaat ovat maksaneet analyysikustannukset itse. NOx-raportin (lausunto sellutehtaiden typpioksidipäästöistä, 2005) täydentämistä varten projektille hyväksyttiin hallituksen kokouksessa 6.000 € vuodelle 2008.

Projektin tilanne

VAHTI-raportti on liitteessä I. Raportin ajokuormatiedot vuodelta 2007 on tarkistettu tehtailla, vain Wisaforest puuttuu. Olli yrittää saada matemaattikkoa tekemään regressioanalyysin kyselyn tiedoista. Muuttujana olisivat: puulajisuhde, pohjakuorma, kuiva-aine ja ilmatasojen lukumäärä.

Mikko Hupa esitteli kokouksessa IV/2008 Åbo Akademin tekemiä typpitaseita. Oulun tehtaan taseet ovat vielä tarkastuksessa. Wisaforestin typpitaseesta saatu NOx-päästö 1.19 kgNO₂/ADt on huomattavasti suurempi kuin VAHTI-raportista saatu 0.8 kgNO_x/ADt.

Wisan NOx-luku oli todellisuutta pienempi johtuen kuivien ja kosteiden savukaasujen virheellisestä käytöstä laskennassa. Wisan tiedot päivitettävä ennen raportin julkaisua.

Työryhmässä pohdittiin mahdollisuutta auttaa tehtaita varmistamaan että NOx-laskenta on oikein. Todellisuutta pienempien päästöjen julkaisemisesta on haittaa koko toimialalle. Soodakattilayhdistys on tehnyt ohjeen soodakattilan päästöjen laskentaan, liite II, mutta ohjeen käytöstä ei ole tietoa. Ajatus asiantuntijaryhmä kokoamisesta auditoimaan päästömittauksia tehtailla päätettiin ottaa esille yhteiskokouksessa Metsäteollisuus ry:n kanssa.

Julkaisu ja painatus

Mikko Hupa täydentää NOx-raporttia (lausunto sellutehtaiden typpioksidipäästöistä, 2005) tästä projektissa saaduilla tiedoilla.

VAHTI-harjoitustyö julkaistaan omana raporttinaan. VAHTI-tietokannan lähtötietoja ei julkaista raportin yhteydessä.

5 LENTOTUHKAN PUHDISTUS JA JATKOKÄSITTELY IV

Tavoite

Aikaisemmissa osissa (I ja II) kehitettiin kiteytykseen perustuva suodintuhkan puhdistusprosessi ja todettiin, että sillä voidaan saavuttaa riittävä natriumsulfaatin puhtaustaso kaikkiin ajateltuihin käyttökohteisiin. Selvitettiin myös mahdollisuuksia tuhkan kuljettamisen helpottamiseksi (osa III). IV-vaiheessa tutkittaisiin suodintuhkan puhdistusprosessin saantoa ja sen suhdetta puhdistustehokkuuteen.

Projektia varten tuhkaa on hankittu:

- Joutseno (ympäristölupa)
- Imatra (korkea kaliumpitoisuus)
- Kemi (matala kaliumpitoisuus, puuhankinta Tshernobyl-laskeuman ulkopuolella)

Joutsenon ympäristölupapäätöksistä löytyy määräys selvittää soodakattilatuhkan hyötykäytön lisäämismahdollisuuksia sekä vaihtoehtoisia käsittelymenetelmiä. Asia on ollut esillä myös muiden tehtaiden lupakäsittelyssä mutta ei ole päätynyt lupamääräyksiin.

Tärkeä projektissa selvitettävä asia on saanto ja sen suhde puhdistustehokkuuteen. Haihdutuksen edetessä ensimmäiseksi epäpuhtaudeksi saostuu glaseriitti eli kaliumnatriumsulfaatti, $K_3Na(SO_4)_2$ ja joka aiheuttaa kaliumin jäämistä tuotteeseen. Saostumisen alkamiskohta riippuu tuhkan kaliumpitoisuudesta. Liukoiset epäpuhtaudet (kloridi, arseeni, Cesium-137) rikastuvat loppuvaiheessa vahvasti emäliokseen.

Åbo Akademin diplomityössä (raportit 8a/2007 ja 8b/2007) selvitettiin soodakattilan raskasmetallitaseet kuudelta eri tehtaalta: Joutseno,

Äänekoski, Kymi, Pietarsaari, Veitsiluoto ja Varkaus. Tehtailta kerättiin näytteet myös sähkösuodintuhkasta, joten raporttia voidaan hyödyntää tässä projektissa.

Aikataulu

Työn on määrä valmistua vuoden 2008 joulukuun loppuun mennessä. Laitteiston valmistaminen on vienyt enemmän aikaa kuin arvioitiin, joten tuloksia saadaan vasta vuoden 2009 puolella. Työ on myöhässä johtuen teknisistä ongelmista laitteiston kanssa ja sairastumisesta.

Rahoitus

Työ tilattiin KCL:ltä, joka alihankki sen Kurt Sireniltä (Sirra T:mi). Projektin budjetti on 15.000 €.

Projektin tilanne

Kurt Siren lähetti raportin projektin etenemisestä, liite III

Kemin tuhkat on kiteytetty ja muiden tehtaiden ajot jatkuvat lähipäivinä. Kun näytteet on koossa ne toimitetaan KCL:lle ja Säteilyturvakeskukselle.

Julkaisu ja painatus

6 TEKES-PROJEKTI: SOODAKATTILAN RAKENNUSASTEEN NOSTAMINEN (SKYREC)

Tuloksia ei ole vielä saatavilla.

VTT:n kirjallisuustyö: Orgaaniset yhdisteet lisäveden ja kattilaveden käsittelyssä on valmistunut ja siitä on esitys Vuosikokouksessa 2.4.2009.

7 HAJUKAASUSUOSITUKSEN PÄIVITYS

Projektista järjestettiin yhteinen kokous ATR:n kanssa 10.3.2009 klo 10 Pöyryllä, Vantaalla. Kokouksessa sovitut asiat on kirjattu ATR:n kokouspöytäkirjaan 1/2009 kohtaan 2.

8 AMMONIAKKI / NATRIUMSYANAATTIPROJEKTI

Mikko Hupa (ÅA) on lähettänyt tarjouksen projektista, jota on käsitelty hallituksen kokouksessa I/2009. Hallitus ehdotti esiselvityksen tekemistä ennen varsinaista projektia.

Sihteeri pyytää Hupalta tarjouksen esiselvityksestä: kirjallisuuskatsaus ja alustava mittausta (ammoniakkipitoisuudet lipeissä) yhdellä tehtaalla esim. Kymi.

9 YHTEISTYÖ METSÄTEOLLISUUS RY:N KANSSA

Yhteiskokous järjestetään 23.3. klo 13 Snellmaninkatu 13 Helsinki.

Kokouksessa otetaan esille seuraavat projektit:

- Pienhiukkaset
- Ammoniakki / NO_x-asiat
- NO_x-mittausten auditointi tehtailla

10 PROJEKTIEHDOTUKSET 2008 →

Päästö- ja siirtorekisterien (PRTR) jatkoselvitys

- Metsäteollisuusry:n E-PRTR-selvitys ”Metsäteollisuuden päästöjen raportointi Euroopan päästö- ja siirtorekisteriin” löytyy Ympäristöministeriön kotisivuilta: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=70209&lan=fi>
- Reino Lammin (Suomen Ympäristökeskus) opas löytyy seuraavasta osoitteesta: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=19942&lan=fi>
- Vuosi 2007 oli ensimmäinen raportointivuosi ja suurempia ongelmia ei ole raportoitu tehtaiden suunnalta. Ongelmia ollut enemmän vesipuolella, ilmapuolella ongelmat ovat liittyneet mittauksiin.
- Odotetaanko että tiedot yleisesti saatavilla EU:n sivuilta
- Harjoitustyö: yhteenveto tehtaiden mittauksista
- Metsäteollisuus ry käynnistänyt yhdessä ympäristöministeriön kanssa jatkohankkeen koskien PRTR raportointia.

Pölypäästöjen vähentäminen alle 10 mg/Nm³ – Pienhiukkasdirektiivi

- Soodakattilan pienhiukkasten haitallisuuden selvittäminen
- 10 mg/Nm³ pääseminen ei tuota ongelmia sähkösuodattimelle
- Soodakattilan hiukkaset pääasiassa vesiliukoista glaubersuolaa Na₂SO₄, verrattuna diesel-moottorissa syntyviin hiukkasiin
- Ero pitäisi osoittaa tieteellisesti, aerosolitutkimus?
- Yhteisprojekti VTT:n kanssa (Soodakattiloiden pienhiukkasten terveysvaikutukset solumuutostasolla)?
- Jorma Jokiniemi (VTT, KY) valmistelee parhaillaan projektia Prof. Maija-Riitta Hirvosen (Kansanterveyslaitos, KY) kanssa. Loppuraportti ladattavissa osoitteesta: <http://www.biomasspm.fi/>

Kaatopaikalle menevän soodasakan vähentäminen.

- Joensuun yliopistossa on osittain samasta aiheesta meneillään VISA 2-projekti, joka kestää tammikuuhun 2009. Mervi Matilainen piti esityksen vuosikokouksessa 10.4.2008. Päätettiin seurata projektin etenemistä.

Dioksiini- ja furaanipitoisuudet talteenotossa

- Esimerkiksi kaksi vertailevaa mittausta á 600 €

Soodakattilahuoneen ilmanlaadun parantamiskeinoja

- (liuottajan ympäristö, hajukaasut, ilmanotto kattilan alaosassa, tehdasilmakartoitus [Tamminen, Enwin Oy]) tai hajapäästöt soodakattilassa
- Tavoite: soodakattilalaitoksen pitoisuuksien mittaaminen sisällä normaaleilla työtasolla
- Miksi: jotta voidaan vastata kysymyksiin kuten "Mikä on altistus, kun rassataan primääri-ilma-aukkoja"
- Toteutus: mittaautetaan lipeäruiskutasolla, liuottajatasolla, hajukaasuaukkojen rassausyhteen luona, sulakourujen luona ja kattilan imuilmasta: TRS, kokonaisrikki, pöly (kuplittamalla liuoksen läpi ja mittaamalla Na ja liukenematon)
- Rahoitus: varmaankin hanketta tukenee esim. työsuojelu, ympäristö ja tehtaat, kokonaispotti on nopeasti ~15.000€

Sulfiditeetin hallinta:

- Odotetaan KCL:n ja TKK:n yhteisen projektin kehitys ja tulokset, projekti loppunut vuonna 2007.

Soodakattilan raskasmetallipäästöt ilmaan

- LTR:n tutkimusprojekti vuodelle 2005: soodakattilan raskasmetallitaseet
- ÅA diplomityö raskasmetallitaseista rajautui sähkösuodattimeen, mutta ainakin elohopea läpäisee sähkösuodattimen

NO_x hallintatekniikat

- Yhteistyöprojekti LTR:n kanssa
- Kattilan ajotapa vaikuttaa myös
- NO_x:n mittaaminen oikein

Päästöjen laskenta

- yhteistyössä ATR:n kanssa
- päästömittausten käsikirja: www.isy.fi

Savukaasupäästöjen mittaaminen tehtailla

- NO_x-päästömittausten auditointi asiantuntijaryhmällä

Ammoniakkipäästöt

- Ammoniakkikierron selvitys tehtailla
- Osa tehtaista kerää ammoniakkipitoisia hönkiä hävitettäväksi soodakattilassa, hönkien mukana kattilaan tulee typpeä, joka nostaa mahdollisesti soodakattilan typenoksidipäästöjä verrattuna tehtaaseen joka ei keräile näitä hönkiä. Ammoniakkipäästöt ilmaan?
- Asiaa käsitelty hallituksen kokouksessa 18.12.2008

Lista siirretään aina seuraavaan pöytäkirjaan!

11 MUUT ASIAT**Soodasakan (viherlipeäsakan) REACH-rekisteröinti**

REACH-asetuksen mukainen esirekisteröinti aika on päättynyt 1.12.2008.

Tekemällä maksuttoman esirekisteröinnin on päässyt REACH-asetuksessa mainittujen rekisteröinnin siirtymäaikaan piiriin, jolloin varsinaiselle rekisteröinnille ja siihen sisältyvälle turvallisuusarvioinnille on saatu lisäaikaa. Jos sakkaa ei ole esirekisteröinyt, sakka pitää rekisteröidä välittömästi, mikäli sitä käytetään kohteissa, joissa REACH-rekisteröintiä vaaditaan. Rekisteröinti on tämän hetken käsityksen mukaan ehtona sakan jatkokäytölle tuotteena niissä sovelluksissa, missä hyödyntämistä ei tehdä ympäristöluvan perusteella jätteen hyötykäyttönä.

VGB Powertech (eurooppalainen energia-alan yhdistys, johon kuuluu energiantuottajia, laitevalmistajia ja tutkimuslaitoksia) on tiedustellut kirjeitse halukkuutta liittyä konsortioon mm. kivihiilivoimalaitosten sivutuotteiden (kuten tuhka ja kipsi) REACH-rekisteröintiä varten.

Ympäristöklusterilla on käynnissä UUMA-kehitysohjelma, jonka tavoitteena on lisätä uusiomateriaalien käyttöä sekä vähentää luonnonvarojen käyttöä ja jätteen syntymistä maarakennuksessa. UUMA-materiaaleja ovat mm. teollisuuden sivutuotteet, joita on mahdollista käyttää maarakentamisessa joko sellaisenaan tai komponentteina korvaamaan neitseellisten kiviainesten käyttöä maarakentamisessa.

Lisätietoa ympäristöministeriön sivuilta:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=15865&lan=FI>



12 SEURAAVA KOKOUS

Seuraava Ympäristötyöryhmän kokous pidetään kun Lentotuhkaprojekti on valmistunut. Tarvittaessa voidaan pitää puhelinkokous.

Vakuudeksi

Markus Nieminen

LIITE I

VAHTI-raportti

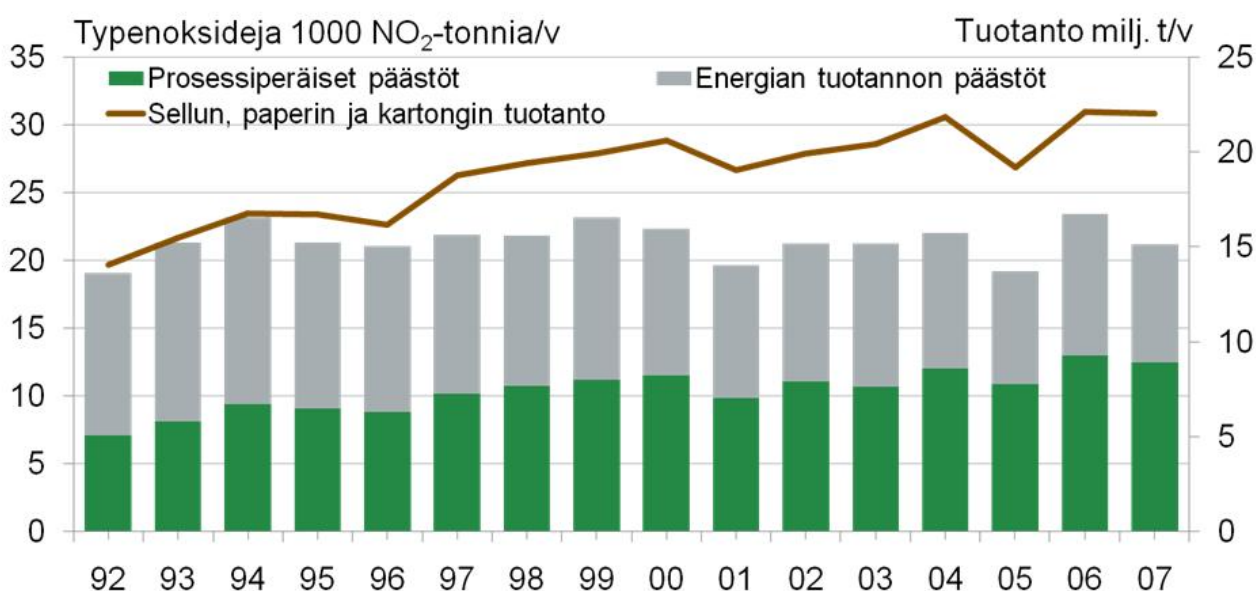
Andreas Lindberg, TKK

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	3
2. Soodakattilan ilmapäästöt.....	4
3. NO _x päästöjen karakterisointi	6
3.1 Terminen NO _x	6
3.2 Polttoaineesta peräisin oleva NO _x	6
3.3 Nopea (prompt) NO _x	6
4. Soodakattilan NO _x päästöt	8
4.1 Polttoaineen typpipitoisuuden vaikutus NO _x päästöihin.....	8
4.2 NO _x päästöjen muodostuminen soodakattilassa	8
5. NO _x päästöjen vähentäminen	10
5.1 Selective catalytic conversion (SCR)	10
5.2 Selective noncatalytic reduction (SNCR).....	11
6. Soodakattiloiden NO _x tietojen analysointi.....	12
6.1 Tehtaiden antamat tiedot soodakattiloista	13
6.1.1 Kattilan ikä sekä tehtaan vuosittainen tuotanto.....	13
6.1.2 Soodakattilan kapasiteetti, keskimääräinen ajokuorma ja pohjakuorma	14
6.1.3 Mustalipeän kuiva-aine, typpipitoisuus sekä ilmajärjestelmän tasot.....	15
6.2 Soodakattiloiden ilmapäästöt	16
6.2.1 NO _x , SO _x ja TRS	16
6.2.2 CO ₂ ja hiukkaset	17
6.3 Soodakattiloiden NO _x - päästöjen arviointi.....	18
7. Yhteenveto.....	24
Lähteet.....	25

1. Johdanto

Sellu- ja paperiteollisuudelle ympäristöasiat tulevat vuosi vuodelta yhä tärkeämmiksi. Sellu- ja paperiteollisuuden päästöt ovat vähentyneet huomattavasti vuosien saatossa. Pääasiallisena syynä kehitykseen on ollut uusien tekniikoiden käyttöönotto ja prosessien parempi hallinta. Sellutehtaan kannalta suurin ilmanpäästöjen lähde on soodakattila, jossa sellunkeitossa syntynyt mustalipeän orgaaninen aines poltetaan ja epäorgaaninen aines johdetaan sulana keittokemikaalien valmistukseen. Ilmanpäästöjen täydellinen hallinta soodakattilan toiminnan yhteydessä on mahdotonta, mutta huolellisella prosessisuunnittelulla sekä laitteistoinvestoinneilla ilmanpäästöjä voidaan vähentää huomattavasti. Tässä raportissa selvitetään NO_x -päästöjen syntymistä soodakattilassa sekä raportoidaan Suomen sellutehtaiden soodakattiloiden ilmanpäästöistä vuonna 2007. NO_x -päästöjen vähentäminen on hyvin tärkeä asia, koska typpipitoiset ilmanpäästöt ovat osasy syy happosateisiin sekä laskeutuessaan maan pinnalle mm. vesistöjen rehevöitymiseen. Kuvassa 1 on esitetty Suomen sellu- ja paperiteollisuuden typenoksidipäästöjen määrän kehittyminen vuodesta 1992 vuoteen 2007 asti. Kuvasta nähdään, että typenoksidien määrä on pysynyt lähes samana, vaikka tuotanto on kasvanut. Prosessiperäisten typenoksidien suhteellinen osuus kokonaispäästöistä on kuitenkin lähes kaksinkertaistunut viimeisten 15 vuoden aikana.



16.6.2008

LÄHDE: Metsäteollisuus ry



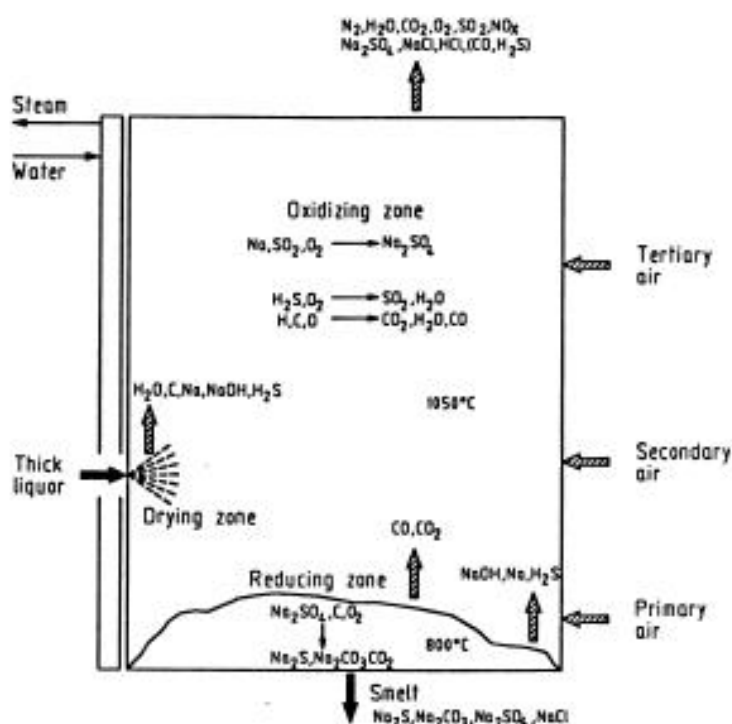
Metsäteollisuus

Kuva 1. Suomen massa- ja paperiteollisuuden typenoksidipäästöt ilmaan /1./

2. Soodakattilan ilmapäästöt

Soodakattilan ilmapäästöihin vaikuttavat kolme päätekijää: kattilan ikä, mustalipeän kuiva-ainepitoisuus sekä soodakattilan polttama kuorma. NO_x -päästöjen kannalta tärkein prosessisuure on mustalipeän kuiva-aineen sisältämän typen määrä.

Soodakattilan toimintaperiaate, erilaiset kemialliset reaktiot sekä ilman- ja lipeänsyöttökanavat ovat esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Soodakattilan toimintaperiaate /2, s. 75/

Soodakattilassa poltetaan mustalipeää, jonka kuiva-aine pitoisuus nykyään on yleensä noin 68 – 80 %. Nykyaikaisissa laitoksissa voidaan mustalipeän kuiva-aine nostaa ennen polttamista yli 80 %:n erillisten väkevöittimien avulla. Mustalipeän kuiva-aineesta noin 1/3 koostuu erilaisista epäorgaanisista kemikaaleista ja loput 2/3 koostuvat erilaisista liuenneista orgaanisista aineista, pääasiassa ligniinistä. Mustalipeän kuiva-aineella on olennainen vaikutus syntyviin soodakattilan ilmapäästöihin, sillä mitä korkeampi mustalipeän kuiva-ainepitoisuus on, sitä korkeampaa palamislämpötilaa voidaan käyttää, ja sitä vähäisempää on esim. rikkidioksidin vapautuminen

ilmakehään. Soodakattilan palamislämpötilan optimoiminen on hyvin tärkeää, sillä korkeissa lämpötiloissa, joissa SO_x -päästöt ovat vähäisempiä, typpipitoiset NO_x -päästöt taas kasvavat. Tästä syystä on tärkeää löytää optimaaliset prosessiolosuhteet, jotta kokonaisilmanpäästöt saataisiin mahdollisimman alhaisiksi. Tässä raportissa keskitytään soodakattiloissa tapahtuviin NO_x -päästöihin sekä niiden kontrolloimiseen. Soodakattilassa syntyneet NO_x -päästöt ovat huomattavasti pienemmät kuin esim. energian tuotannossa. Soodakattilan ohella meesauuni, jossa meesa (CaCO₃) poltetaan kalkiksi (CaO), tuottaa yleisesti ottaen noin 20–35 % sellutehtaan NO_x -päästöistä. /3./

Soodakattiloiden tyypillisimmät ilmapäästötasot ovat esitetty Taulukossa 1.

Taulukko 1. Soodakattiloiden tyypilliset ilmapäästötasot /2, s. 74/

Sulphur dioxide - without scrubber and 63-65 % DS of black liquor	100-800 60-250 1-4	mg/m ³ n mg/MJ kg/ADt
- with scrubber and 63-65% DS of black liquor	20-80 10-25 0.1-0.4	mg/m ³ n mg/MJ kg/ADt
- without scrubber and 72-80 % DS of black liquor	10-100 12-30 0.2-0.5	mg/m ³ n mg/MJ kg/ADt
Hydrogen sulphide ¹⁾ - over 90% of the time (90 percentile)	< 10 < 0.05	mg/m ³ n kg/ADt
- temporarily	higher	
Nitrogen oxides (as NO ₂)	100-260 50-80 0.6-1.8	mg/m ³ n mg/MJ kg/ADt
Particulates - after electrostatic precipitator	10-200 0.1-1.8	mg/m ³ n kg/ADt
Notes: 1) Level corresponding to Swedish emission limitation		

3. NO_x päästöjen karakterisointi

NO_x -päästöjen syntyminen voidaan yleisesti karakterisoida tapahtuvan kolmella eri mekanismilla:

3.1 Terminen NO_x

Terminen NO_x syntyy erittäin korkeissa lämpötiloissa > 1600 °C, kun palamisilman typpi N₂ sekä happi O₂ molekyylit hajoavat pitkän viipymisajan avulla kaavojen 1 ja 2 mukaisesti.



sekä



Termisen NO_x:n muodostuminen palamisilmasta soodakattilassa ei ole merkittävää tulipesän verrattain matalan palamislämpötilan johdosta. /4./

3.2 Polttoaineesta peräisin oleva NO_x

Typpeä sisältävillä orgaanisilla polttoaineilla, kuten soodakattiloiden tapauksessa mustalipeän typpipitoisuudella, on erittäin suuri merkitys soodakattilassa syntyvään NO_x -kuormitukseen.

Soodakattiloissa käytännöllisesti ottaen kaikki NO_x – päästöt ovat peräisin puuraaka-aineen sisältämästä timestä. Soodakattilan NO_x -päästöt ovat myös riippuvaisia sellun tekoon käytetystä puulajista. Yleensä lehtipuulla on huomattavasti korkeampi typpipitoisuus, kuin havupuulla./4./

3.3 Nopea (prompt) NO_x

Nopea tai prompt NO_x muodostuu hyvin korkeissa lämpötiloissa > 1500 °C hiilivetyradikaalien mahdollistaessa reaktion. Hiilivetyradikaalien muodostumisen loppuessa nopean NO_x:n muodostuminen keskeytyy. Nopean NO_x:n muodostumisen oletetaan tapahtuvan seuraavien reaktioiden 3, 4, 5 sekä 6 kautta. /4./





4. Soodakattilan NO_x päästöt

Soodakattilan NO_x -päästöt ovat pääosin peräisin mustalipeään orgaanisesti sitoutuneesta tyypestä. Määrästä lähes kaikki on puusta peräisin. Sellunkeiton aikana tyypillisesti yli 95 % puun sisältämästä tyypestä jää keittonesteseen. Keiton jälkeen mustalipeää haihdutetaan, jossa mustalipeästä vapautuu 10 - 15 % alkuperäisestä puuraaka-aineen tyypestä. Loput tyypestä menee mustalipeän mukana soodakattilaan. Soodakattilan NO_x -päästöt ovat yleisimmin NO muodossa. Ilmakehässä NO muuttuu kemiallisten reaktioiden seurauksena typpidioksidiksi (NO₂). NO on väritön sekä hajuton kaasu, kun taas NO₂ on punertavan ruskea pahanhajuinen kaasu. NO vaikuttaa pääosin happosateiden syntyyn, kun taas NO₂ vaikuttaa eliöiden hengityselimistöihin aiheuttaen mm. astmaa sekä muita hengityselinten sairauksia. Tyypillisimmät NO_x -päästötasot moderneissa soodakattiloissa ovat 60 - 80 mg/MJ, joka on huomattavasti vähemmän kuin muissa hiili sekä öljy lämmitteisissä kattiloissa./3./

4.1 Polttoaineen typpipitoisuuden vaikutus NO_x päästöihin

Tärkein tekijä soodakattilassa syntyviin NO_x -päästöihin on mustalipeän typpipitoisuus. Mustalipeän kuiva-aineen typpipitoisuus on yleensä 0,05 - 0,2 p- % tyypeä. Suurin raportoitu typpipitoisuus eri puulajeista on bagassilla, noin 0,5 p- % mustalipeän kuiva-aineesta. Sellutehtailla, joiden sellun pääraaka-aine on havupuu, soodakattilassa syntyvät NO_x -päästöt ovat pienempiä, kuin tehtailla, jossa sellun pääraaka-aine on lehtipuu. Yleisesti voidaan todeta, että koivulipeä aiheuttaa noin 20 - 50 % korkeammat NO_x -päästöt kuin havulipeä. /4,5/

4.2 NO_x päästöjen muodostuminen soodakattilassa

Pyrolyysivaiheessa 60 - 70 % mustalipeän kuiva-aineen typpipitoisuudesta vapautuu savukaasuihin N₂:na sekä ammoniakkinä (NH₃). Loppuosa tästä tyypestä jää soodasulaan ja reagoi hiilen palaessa osittain syanaatiksi (OCN-). Tämä osa tyypestä, joka ei vapaudu savukaasuihin tulee sulan mukana syanaattina liuotussäiliöön ja reagoi veden kanssa jälleen ammoniakiksi (NH₃). Noin puolet pyrolyysivaiheessa vapautuneesta tyypestä muodostaa ammoniakkaa. Tulipesän hapettavan vyöhykkeen lämpötilalla on suuri vaikutus ammoniakin käyttäytymiseen. Korkeassa lämpötilassa

ammoniakki muodostaa NO:ta, joka myöhemmin hapettuu NO₂:ksi. Matalammassa lämpötilassa ammoniakki reagoi jo muodostuneen NO:n kanssa pelkistäen sen N₂:ksi ja vesihöyryksi. Alhaiset NO_x-päästöt siis edellyttävät sopivaa lämpötilaa kattilan loppuunpalamisvyöhykkeessä ja siellä alhaista happitasoa. Polttoteknisesti tähän pyritään ilmansyötön vaiheistuksella, jolloin sekundääri- ja/tai tertiääri-ilman syöttö on jaettu useisiin eri tasoihin. Moderneissa kattiloissa, joissa kuiva-ainepitoisuus on korkea, kuormitus normaali ja ilmansyöttöjärjestelmä perinteinen kolmitasoinen, noin 30 % mustalipeän tyyppistä muuttuu NO_x päästöiksi. Vaiheistetulla ilmansyötöllä varustetuissa ja alhaisia NO_x päästöjä ajatellen mitoitetuissa kattiloissa päästään alle 15 % muuttumisasteeseen.

/3./

5. NO_x päästöjen vähentäminen

Seuraavia keinoja on käytetty teollisessa mittakaavassa soodakattiloissa NO_x päästöjen vähentämisessä:

- § syöttöilman sekä syötettävän polttoaineen optimointi
- § ilmatasojen lisääminen
- § ammoniakkin syöttö tulipesän yläpuolelle (SCR / SNCR)
- § hapetus/pelkistys prosessit /5./

Jotta NO_x päästöissä voitaisiin saavuttaa suurempi väheneminen, vaaditaan usein ns. sekundäärisiä menetelmiä, joissa muodostuneita typen oksideja redusoidaan eli pelkistetään molekylaariseksi typeksi N₂. Redusointi voi tapahtua ei-katalyyttisesti (SNCR) tai katalyyttisesti (SCR). Mm.

Japanissa SNCR teknologiaa käytetään joissain soodakattiloissa NO_x päästöjen vähentämiseksi./3,5/

5.1 Selective catalytic conversion (SCR)

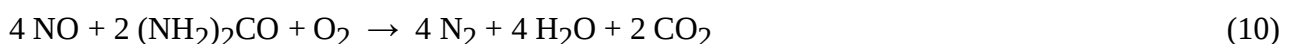
SCR (typen oksidien katalyyttinen redusointi eli pelkistäminen) tekniikassa eli katalyyttisessä reduktiossa käytetään reduktio aineena vedetöntä tai vedellistä ammoniakkia sekä ureaa.

Operointilämpötila on n.350 – 450°C. Reaktion johdosta typenoksidit NO sekä NO₂ muuttuvat osittain alkuainetypeksi, vedeksi, sekä ureaa käytettäessä hiilidioksidiksi CO₂.

Reaktioyhtälö ammoniakille on seuraavanlainen /6/:



Ureaa käytettäessä reaktioyhtälö on seuraavanlainen /6/:



5.2 Selective noncatalytic reduction (SNCR)

Ei-katalyyttinen redusointi tai pelkistyminen soodakattiloissa on vaikeaa, koska se vaatii toimiakseen tehokkaasti melko kapean sekä katalyyttistä pelkistymistä huomattavasti korkeamman operointi lämpötilan noin 950°C lähistöllä. NO_x määrää vähennetään lisäämällä savukaasuun redusoivaa ainetta. Tyypillisimmät reduktioon käytettävät aineet ovat ammoniakki, urea sekä niiden johdannaiset aineet.

Pääreaktioyhtälö on seuraavanlainen:



Ahlstrom Machinery sekä Gotaverken ovat yrittäneet ammoniakin lisäämistä tulipesän päälle. Kokeissa kaasun lämpötila oli 1000°C. Tällä tekniikalla saavutettiin 15 - 35 % reduktio NO_x päästöissä. Ainoa ongelma ammoniakin käyttämiselle savukaasujen reduktiossa on reagoimattoman ammoniakin syövyttävä vaikutus prosessilaitteistolle, josta saattaa aiheutua lisäkustannuksia laitteistohuoltojen yhteydessä./5/

Typenoksidien muodostumista voidaan siis vähentää seuraavasti:

- § alentamalla palamisen lämpötilaa vähentämällä happimäärää
- § järjestämällä hyvä sekoittuminen jolloin lämpötila tasoittuu palotilan eri osissa
- § lyhentämällä viipymäaika palotilassa
- § käyttämällä öljyä polttoaineena meesauunissa maakaasun sijaan, jolloin saavutetaan alhaisemmalla palamislämpötilalla pienemmät termisen NO_x:n päästöt /7, s.11/
- § optimoimalla hajukaasujen polttoa soodakattilassa; hajukaasusyötön ajoituksen optimointi sekä poltto oikeassa osassa kattilaa /7, s.11/

NO_x päästöjen vähentämismenetelmiä käytettäessä on hyvin tärkeää huomata, ettei samalla aiheuteta epätäydellistä palamista, joka aiheutuu mm.

- § alhaisesta happipitoisuudesta tulipesässä
- § alhaisesta tulipesän lämpötilasta
- § liian lyhyestä viipymäajasta palotilassa

6. Soodakattiloiden NO_x tietojen analysointi

Tätä tutkimusta varten kerättiin tietoa Suomen sellutehtailta, joissa eriteltiin mm. tehtaiden vuosittaista tuotantoa, soodakattiloiden ikää, pohjakuormaa sekä vuosittaista NO_x päästöjen määrää. Täydelliset tiedot jokaisesta raportin soodakattilasta löytyvät raportin mukana toimitettavasta tiedostosta ”NO_x raportti DATA”.

Raporttia varten tietonsa toimittivat seuraavat tehtaات:

Oy Metsä-Botnia Ab

- Joutseno
- Kemi
- Rauma
- Äänekoski

Stora Enso Oyj

- Enocell Oy
- Imatra
- Kemijärvi
- Oulu
- Varkaus

Sunila Oy

- Sunilan tehdas

UPM- Kymmene Oyj

- Kaukas
- Kymi
- Wisaforest Pietarsaari
- Tervasaari

6.1 Tehtaiden antamat tiedot soodakattiloista

Seuraavassa on esitetty lyhyesti taulukkomuodossa tutkimukseen osallistuneiden tehtaiden antamat tiedot soodakattiloistaan Soodakattilayhdistykselle. Taulukoissa on esitetty mm. soodakattiloiden iät, kyseisen tehtaan tuotanto, soodakattilan kapasiteetti, keskimääräinen ajokuorma vuonna 2007 sekä tarkempaa tietoa soodakattiloiden ilmapäästöistä. Kaikki saadut tulokset ovat esitetty erillisessä Excel- tiedostossa, Liite 1.

6.1.1 Kattilan ikä sekä tehtaan vuosittainen tuotanto

Taulukko 2. Soodakattilan ikä ja tehtaan tuotanto

Tehdas	Kattilan ikä (v)	Mänty / Koivu tuotanto (Adt/a)
Enocell	15	Mänty 266 kt / Koivu 204 kt
Imatra SK5	11	Imatran tehdas yhteensä: Havu 382 kt (Kuusen osuus havusta n. 10%) / Koivu 585 kt
Imatra SK6	16	
Joutseno	10	Havu 582,798 kt
Heinola*	-	-
Kaskinen*	-	-
Kaukas	17	Havu 430 kt / Koivu 290 kt
Kemi	18	Mänty 390 kt / Koivu 160 kt
Kemijärvi	43	194 kt
Kotka*	-	-
Kymi SK1	44	Mänty 54 kt / Koivu 114 kt
Kymi SK2	32	Mänty 107 kt / Koivu 228 kt
Oulu	20	Mänty 343,310 kt
Rauma	12	Mänty-Kuusi kapasiteetti 630 kt / Tuotanto 518,772 kt
Sunila SK10	43	Tehtaan kokonaistuotanto Havu 370 kt
Sunila SK11	20	
Tervasaari	43	Mänty 208 kt
Varkaus	28	Havu 30 % / Koivu 70 % yhteensä 192 kt
Veitsiluoto*	-	-
Wisaforest	4	Mänty 414 kt / Koivu 348 kt
Äänekoski	23	Havu 216,8 kt / Koivu 244,8 kt
KESKIARVO	23,5	

*-merkityt tehtaat eivät luovuttaneet tietojaan

6.1.2 Soodakattilan kapasiteetti, keskimääräinen ajokuorma ja pohjakuorma

Taulukko 3. Soodakattilan kapasiteetti, keskimääräinen ajokuorma vuonna 2007 ja pohjakuorma

Tehdas	Kapasiteetti (tka/d)	Keskimääräinen ajokuorma (tka/d)	Keskimääräinen pohjakuorma (tka/d/m ²)
Enocell	3000	2575	17,4
Imatra SK5	1700	1545	15
Imatra SK6	3300	2848	16
Joutseno	4000	-	24
Heinola*	-	-	-
Kaskinen*	-	-	-
Kaukas	3780	3500	22
Kemi	3400	3300	18,9
Kemijärvi	1300	1140	15
Kotka*	-	-	-
Kymi SK1	800	800	16
Kymi SK2	1800	1800	18
Oulu	2000	2027	19,8
Rauma	3000	2916	18,4
Sunila SK10	950	814	13,7
Sunila SK11	1300	1064	15,5
Tervasaari	1150	1050	16,4
Varkaus	1150	998	20,8
Veitsiluoto*	-	-	-
Wisaforest	4450	-	17,1
Äänekoski	2700	2156	18,7

*-merkityt tehtaat eivät luovuttaneet tietojään

6.1.3 Mustalipeän kuiva-aine, typpipitoisuus sekä ilmajärjestelmän tasot

Taulukko 4. Mustalipeän kuiva-aine pitoisuus, typpipitoisuus sekä ilmajärjestelmän tasot

Tehdas	Polttolipeän kuiva-aine (%)	Mustalipeän typpipitoisuus kuiva-aineessa (%)	Ilmajärjestelmän tasojen lkm
Enocell	72	0,07	5, joista 2 porrastettu
Imatra SK5	72-74	0,089	3
Imatra SK6	72-74	0,089	4
Joutseno	80	0,07	5
Heinola*	-	-	-
Kaskinen*	-	-	-
Kaukas	76	-	6
Kemi	82	-	4
Kemijärvi	78	< 0,1	3
Kotka*	-	-	-
Kymi SK1	77	-	3
Kymi SK2	77	-	3
Oulu	70	< 0,1	4
Rauma	78	0,05	3
Sunila SK10	80	0,06	4
Sunila SK11	80	0,06	3
Tervasaari	68	< 0,1	3
Varkaus	75	0,1	3
Veitsiluoto*	-	-	-
Wisaforest	82	0,07	7
Äänekoski	75	0,1	4

*-merkityt tehtaat eivät luovuttaneet tietojaan

6.2 Soodakattiloiden ilmapäästöt

Alla ovat tiedot tehtaiden ympäristöhallinnon VAHTI- tietojärjestelmään raportoiduista soodakattiloiden ilmapäästöistä.

6.2.1 NO_x, SO_x ja TRS

Taulukko 5. Typen oksidit, rikin oksidit sekä TRS

Tehdas	Typen oksidit NO _x /NO ₂ (t/a)	Rikin oksidit SO _x /SO ₂ (t/a)	TRS (rikinä) (t/a)
Enocell	545	21	3
Heinola*	-	-	-
Imatra SK5	416	10,06	2,8
Imatra SK6	749	10,2	5,8
Joutseno	884,2	-	-
Kaskinen*	-	-	-
Kaukas	936	12	23
Kemi	965,1	33,2	21,9
Kemijärvi	352,6	14,2	0,82
Kotka*	-	-	-
Kymi SK1	198,4	37,2	4,7
Kymi SK2	526,3	16,4	11
Oulu	290	17,1	5,1
Rauma	677	150	0,31
Sunila SK10	228,6	12,9	1,58
Sunila SK11	364	1,9	0,79
Tervasaari	165	11,7	55,7
Varkaus	300	25,6	4,3
Veitsiluoto*	-	-	-
Wisaforest	572,92	22,49	2,64
Äänekoski	641,1	88,1	6,5

*-merkityt tehtaat eivät luovuttaneet tietojaan

6.2.2 CO₂ ja hiukkaset

Taulukko 6. Hiilidioksidit ja hiukkaset

Tehdas	CO ₂ (foss) (t/a)	CO ₂ (bio) (t/a)	Hiukkaset (t/a)
Enocell	36095	1080982	166
Heinola*	-	-	-
Imatra SK5	5275	699028	46
Imatra SK6	2168	1462826	82
Joutseno	-	-	-
Kaskinen*	-	-	-
Kaukas	9200	1457700	271
Kemi	9575	1279815	35,2
Kemijärvi	9756	452631	5,5
Kotka*	-	-	-
Kymi SK1	6014	284399	37
Kymi SK2	7866	690938	63
Oulu	6604	985568	52,7
Rauma	13822	1271607	155
Sunila SK10	2516	326661	222,7
Sunila SK11	3221	408736	201,5
Tervasaari	28077	385120	226
Varkaus	2093	369600	96
Veitsiluoto*	-	-	-
Wisaforest	7450	1850132	74,05
Äänekoski	19179	821932	325,7

*-merkityt tehtaat eivät luovuttaneet tietojaan

6.3 Soodakattiloiden NO_x - päästöjen arviointi

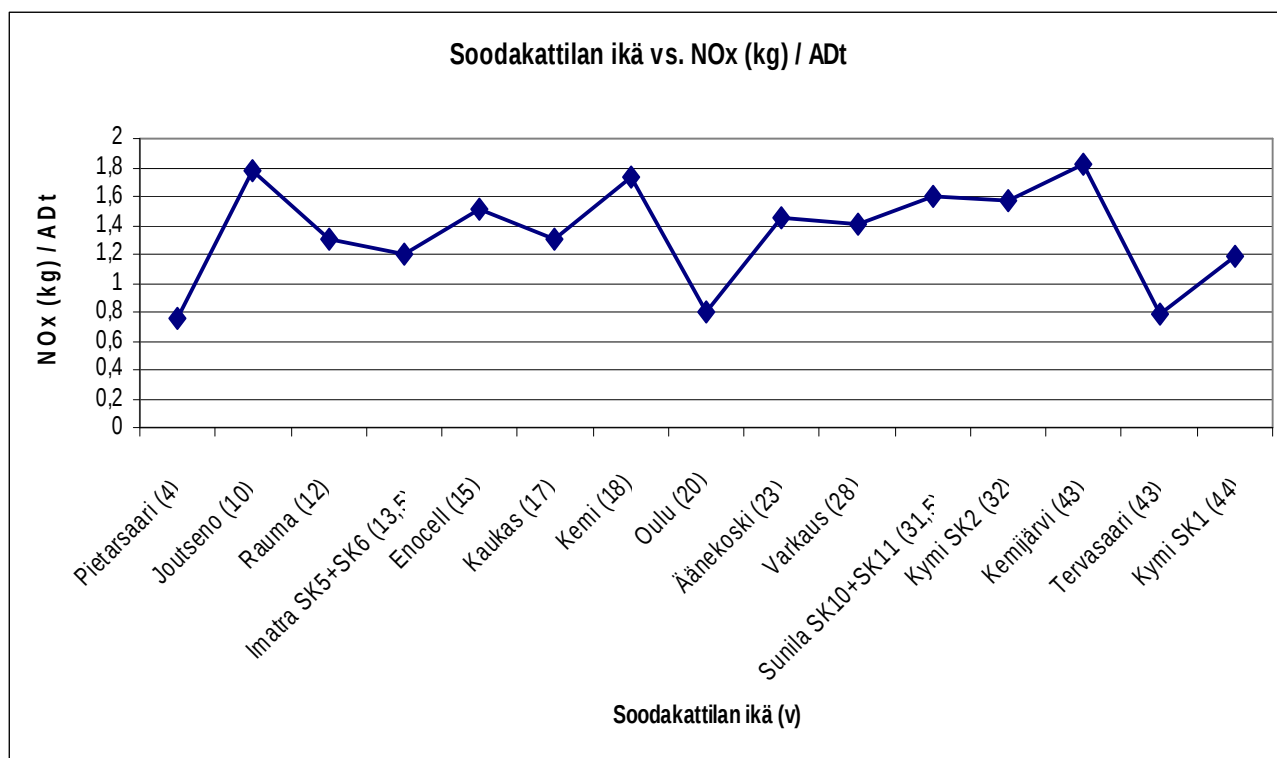
Taulukossa 7 on esitetty kaikkien kyselyyn vastanneiden tehtaiden soodakattiloiden sellutonnia kohti aiheutuvat NO_x päästöt ilmaan.

Taulukko 7. Soodakattiloiden NO_x- päästöt ja vuosittainen tuotanto

Tehdas		Tuotanto (1000t)	NO _x (t)	NO _x (kg) / Adt
Enocell		470	545	1,2
Imatra SK5+SK6		967	1165	1,2
Joutseno		582,798	1042,82	1,8
Heinola*		-	-	-
Kaskinen*		-	-	-
Kaukas		720	936	1,3
Kemi		550	956,1	1,7
Kemijärvi		194	352,6	1,8
Kotka*		-	-	-
Kymi SK1		168	198,4	1,2
Kymi SK2		335	526,3	1,6
Oulu		343	290	0,8
Rauma		518,772	677	1,3
Sunila SK10+SK11		370	592,6	1,6
Tervasaari		208	165	0,8
Varkaus		192	300	1,6
Veitsiluoto*		-	-	-
Wisaforest Pietarsaari		762	572,92	0,8
Äänekoski		441,6	641,1	1,5
KESKIARVO				1,35

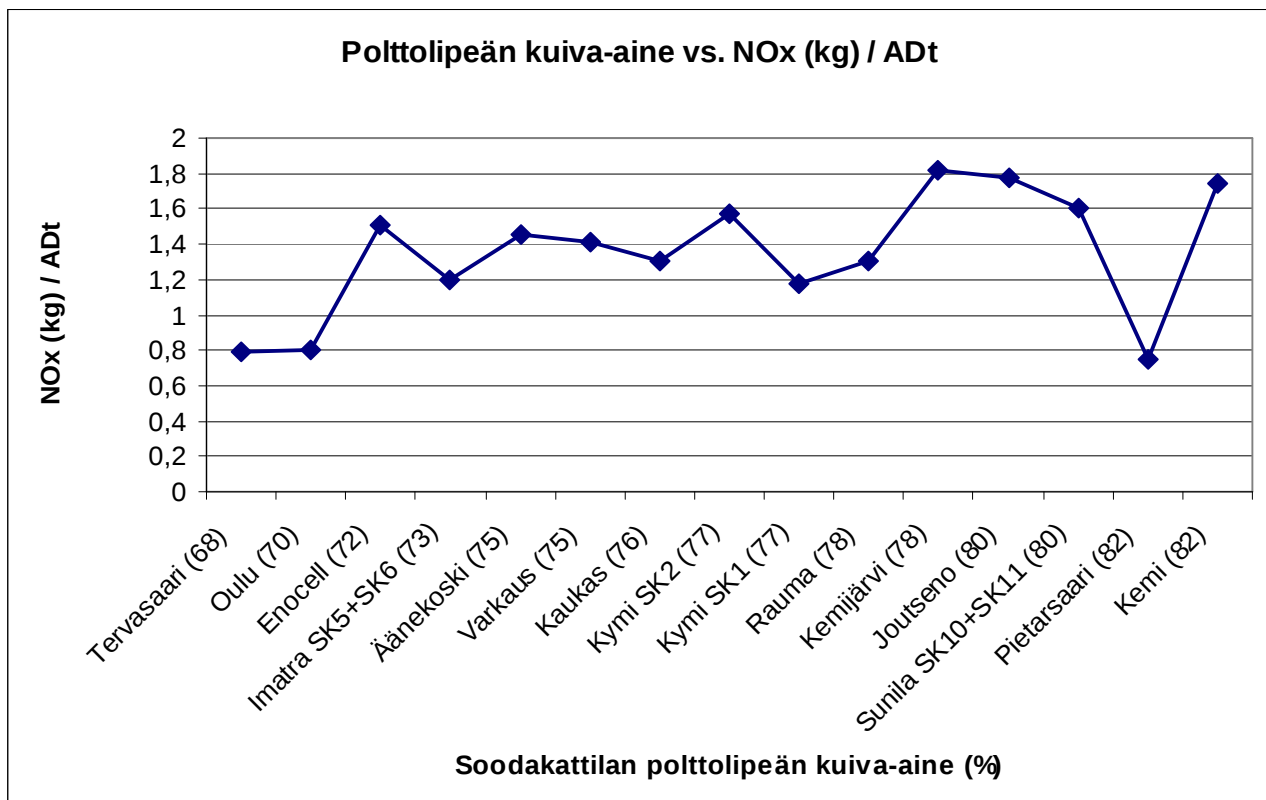
*-merkityt tehtaat eivät luovuttaneet tietojaan

Kuvassa 3 on esitetty soodakattiloiden sellutonnin kohti tuottamat NO_x-päästöt verrattuna soodakattilan ikään alkaen uusimmasta soodakattilasta Wisaforest Pietarsaari (4 vuotta vanha). Kuvaajasta voidaan todeta, että soodakattilan iän lisääntyessä sellutonnin kohti aiheutuvat NO_x-päästöt kasvavat melko tasaisesti. Poikkeuksena Tervasaaren soodakattila, joka raportin toiseksi vanhimpänä soodakattilana (43 vuotta) aiheuttaa raportin soodakattiloista toiseksi alhaisimmat NO_x-päästöt sellutonnin kohti (0,8 kg / ADt). Vertailun helpottamiseksi Imatran ja Sunilan soodakattiloiden kohdalla käytettiin kahden soodakattilan keskiarvoa, koska näiden tehtaiden kohdalla ei ollut saatavilla tietoa kummankin soodakattilan tuotannosta, vaan koko sellutehtaan tuotanto. Tämä toistuu kaikissa kuvissa 3, 4, 5, 6 ja 7.



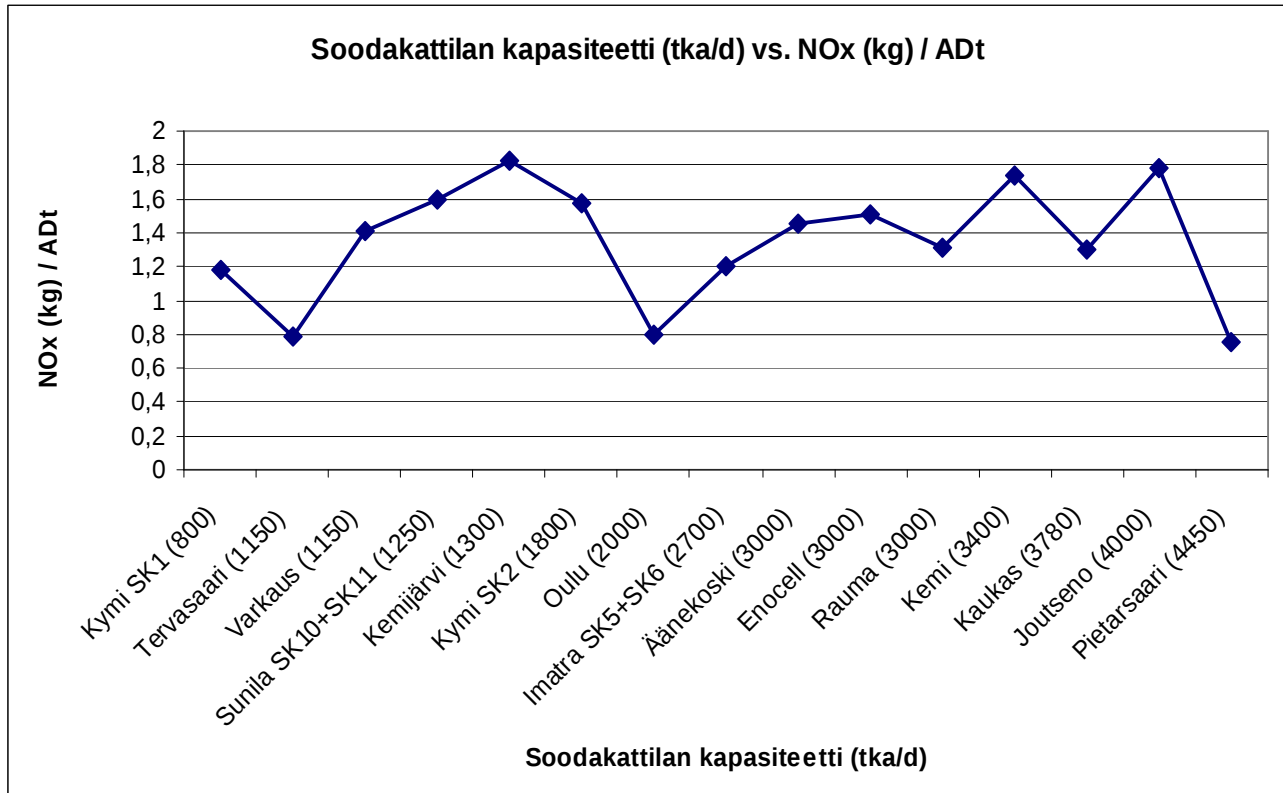
Kuva 3. Soodakattilan ikä ja NO_x-päästöt

Kuvassa 4 on esitetty soodakattiloiden sellutonnin kohti tuottamat NO_x-päästöt verrattuna soodakattilan käyttämän polttoliipeän kuiva-aineeseen (%). Soodakattilat ovat x-akselilla polttoliipeän kuiva-aineen suhteen kasvavassa järjestyksessä. Kuvaajasta voidaan todeta, että polttoliipeän kuiva-ainepitoisuuden kohotessa NO_x-päästöt kasvavat tuotettua sellutonnin kohti. Suurimpana poikkeuksena on Pietarsaaren soodakattila, jonka käyttämällä polttoliipeällä on raportin suurin kuiva-aine pitoisuus (82 %). Suuresta kuiva-ainepitoisuudesta huolimatta Pietarsaaren soodakattila tuottaa vähiten NO_x-päästöjä sellutonnin kohti.



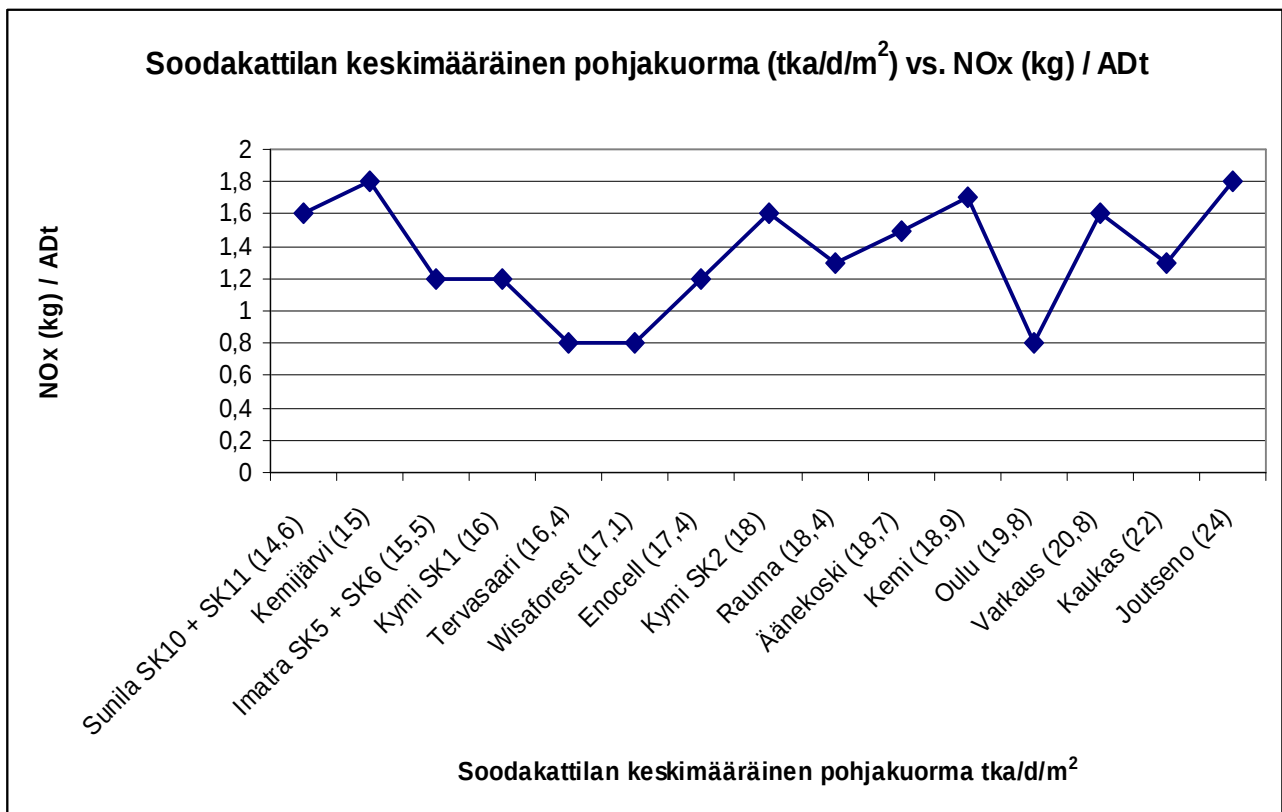
Kuva 4. Soodakattilan käyttämän polttoliipeän kuiva-aine ja NO_x-päästöt

Kuvassa 5 on esitetty soodakattiloiden sellutonnin kohti tuottamat NO_x-päästöt verrattuna soodakattilan lipeän polttokapasiteettiin (tka/d). Soodakattilat ovat kapasiteetin suhteen kasvavassa järjestyksessä x-akselilla. Kuvaajasta voidaan todeta, että kapasiteetin noustessa soodakattilassa NO_x-päästöissä tapahtuu lievää kohoamista. Jälleen Wisaforestin Pietarsaaren tehdas on kuvaajan suurin poikkeus suurimmalla kapasiteetilla (4450 tka/d) ja pienimmillä NO_x-päästöillä. Tätä selittää se, että Pietarsaaren soodakattila on koko raportin soodakattiloista uusin.



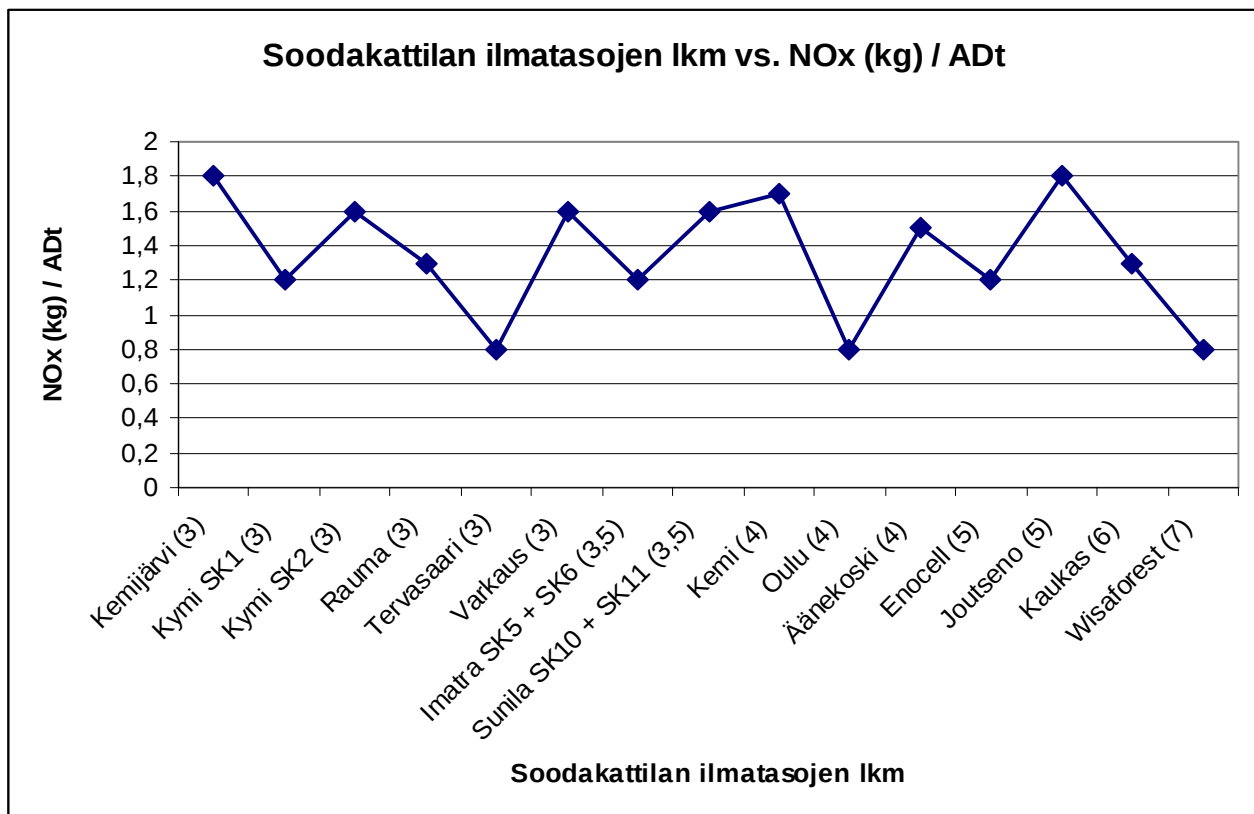
Kuva 5. Soodakattiloiden kapasiteetit ja NO_x-päästöt

Kuvassa 6 on esitetty soodakattiloiden sellutonnia kohti tuottamat NO_x-päästöt verrattuna soodakattiloiden keskimääräiseen pohjakuormaan (tka/d/m²). Soodakattilat ovat kuvan x-akselilla pohjakuorman suhteen kasvavassa järjestyksessä. Imatran ja Sunilan soodakattiloiden kohdalla kummallekin tehtaalle laskettiin kahden soodakattilan keskiarvo, jota verrataan kummankin soodakattilan tuottamaan NO_x-päästö määrään. Kuvasta on vaikea tehdä tarkkoja johtopäätöksiä, sillä korkeimmat sellutonnia kohti tuotetut NO_x-päästöt saadaan Kemijärvellä, jossa on vertailun toiseksi pienin keskimääräinen pohjakuorma sekä Joutsenossa, jossa taas on vertailun suurin keskimääräinen pohjakuorma.



Kuva 6. Soodakattiloiden keskimääräiset pohjakuormat ja NO_x-päästöt

Kuvassa 7 on esitetty soodakattiloiden sellutonnia kohti tuottamat NO_x-päästöt verrattuna soodakattiloissa käytettyjen ilmatasojen lukumäärään. Imatran ja Sunilan soodakattiloiden kohdalla laskettiin kummallekin ilmatasojen lukumäärän keskiarvo, jota verrataan kahden soodakattilan tuottamaan NO_x-päästöön. Teoriassa ilmatasojen lukumäärän kohotessa NO_x-päästöjen syntymistä voidaan pienentää. Kuten kuvasta nähdään, Pietarsaaren Wisaforestin seitsemällä ilmatasolla saavutetaan pienimmät sellutonnia kohti tuotetut NO_x-päästöt. Toisaalta Oulun soodakattilassa on vain neljä ilmatasoa ja Tervasaassa kolme, ja silti näillä soodakattiloilla saavutetaan lähes yhtä pienet päästöt sellutonnia kohden kuin Wisaforestin tapauksessa.



Kuva 7. Soodakattiloiden ilmatasojen lukumäärät ja NO_x-päästöt

7. Yhteenveto

Yleisesti voidaan todeta, että Suomen soodakattilakanta on melko vanhaa. Raportin 16 soodakattilasta ainoastaan yksi on alle 10 vuotta vanha, kun taas yli 40 vuotta vanhoja soodakattiloita on jopa neljä. Raporttiin tietonsa lähettäneiden soodakattiloisen keski-ikäsi muodostui 23,5 vuotta. Euroopan Unionin sekä EU maiden teollisuuden yhdessä muodostaman BREF- asiakirjan paperi- ja selluteollisuudelle mukaan BAT- asetus (Best Available Techniques) NO_x -päästöissä moderneille soodakattiloille on $1,0 - 1,5 \text{ NO}_x (\text{kg}) / \text{ADt.}/2$, s.141/. Tämä luku pitää sisällään myös meesauunin sekä mahdollisesti muiden prosessiin liittyvien uunien ilmanpäästöt. Raportissa esiintyvien soodakattiloiden ilmaan vapautuvan NO_x -määrän keskiarvo tuotettua sellutonnia kohti on $1,35 \text{ kg NO}_x / \text{Adt.}$ Tätä voidaan pitää melko korkeana lukema verrattuna BAT referenssi arvoon $1,0 - 1,5 \text{ kg NO}_x / \text{ADt.}$ sillä raportissa tehtaiden NO_x -päästöarvot sisältävät pelkästään soodakattilan aiheuttamat NO_x -päästöt.

Lähteet

1. Metsäteollisuus ry. <http://www.metsateollisuus.fi/>
2. BAT Reference document BREF for the Pulp and Paper Industry. Saatavilla EIPPCB:n internet sivuilta osoitteesta: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
3. Juvonen, Tuukka. (2004) Mustalipeän polttomenetelmät Suomen soodakattiloissa, Suomen Soodakattilayhdistys r.y.
4. Yuan, Dr. Jerry J.W. (1999) Prediction of NO_x Emissions in Recovery Boilers – An Introduction to NO_x Module
5. Vakkilainen, Esa K. (2005) Kraft Recovery Boilers – Principles and Practice. Suomen Soodakattilayhdistys r.y.
6. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Selective_catalytic_reduction
7. Hupa, Mikko. (2005) Nitrogen oxide emissions from pulp mills and the factors affecting them – a summary of the current knowledge, Åbo Akademi University

LIITE II

Ohje soodakattilan päästöjen laskentaan

Soodakattilayhdistys raportti 5/2007



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Ohje soodakattilan päästöjen laskentaan

19.4.2007

Raportti 5/2007

Esipuhe

Suomen Soodakattilayhdistyksen Ympäristötyöryhmä on 13.1.1997 tehnyt raportin 3/97 ”Ohje soodakattilan päästöjen laskentaan”.

Tämä soodakattilan päästöjen laskentaohjeen päivitys on tehty Suomen Soodakattilayhdistyksen Ympäristötyöryhmässä. Työryhmän puheenjohtajana on toiminut Pekka Posti Oy Metsä-Botnia Ab:stä ja sihteerinä Jens Kohlmann Pöyry Forest Industry Oy:stä. Jäseninä työryhmässä ovat olleet Hanna Anttila Andritz Oy, Jouni Hiltunen Stora Enso Fine Paper Oy, Mikko Anttila Metso Power Oy, Kari Parviainen Teknillinen korkeakoulu, Harri Jussila UPM-Kymmene Oyj, Kymi, Jorma Torniainen Oy Keskuslaboratorio-Centrallaboratorium Ab, Merja Strengell Pöyry Forest Industry Oy ja Juha Tolvanen Alstom Power Finland Oyj. Asiantuntijana laskennan osalta toimi Esa Vakkilainen Pöyry Forest Industry Oy.

Sisältö

Esipuhe

Yhteenveto

1	YLEISTÄ	3
2	LASKENTAPERUSTEET	4
2.1	SAVUKAASUN KOSTEUS	4
2.2	SAVUKAASUN HAPPIPITOISUUS	4
2.3	KUIVA SAVUKAASUMÄÄRÄ	5
3	PÄÄSTÖJEN KONVERSIO LAADUSTA TOISEEN	7
3.1	PITOISUUDEN MUUTOS TOISEEN HAPPIPITOISUUTEEN ($O_2 \rightarrow O_2$)	7
3.2	PITOISUUDESTA OMINAISPÄÄSTÖÖN (PPM $\rightarrow$ MG/MJ)	7
3.3	MUUNNOSKERTOIMET TILAVUUSOSUUDESTA MASSAAN (PPM $\rightarrow$ MG/M ³ N)	8
3.4	MUUNNOS KESKIARVOPITOISUUDESTA YLITYSAIKAAN	9

Liitteet

I	Esimerkkilaskuja
II	Savukaasujen ominaisuuksia



1

YLEISTÄ

Raportissa 3/97 ”Ohje soodakattilan päästöjen laskentaan” todettiin:

”Suomen Soodakattilayhdistyksen jäsenistön piirissä on todettu tarvetta yhtenäisen päästöjen laskentaohjeen laatimiseksi. Tällä ohjeella on tarkoitus yhdenmukaistaa tehtaisten ja mittaajien laskentatavat, jotta kaikkien Suomen soodakattiloiden päästöt laskettaisiin samalla tavalla, ja tulokset olisivat vertailukelpoisia.”

Toivomme, että tämä päivitetty ohje antaa siihen hyvät valmiudet.

2 LASKENTAPERUSTEET

Soodakattilan päästöjen laskennassa käytetään seuraavia perusteita:

- lämpöarvona käytetään mustalipeän kuiva-aineen ylempää, kalorimetristä lämpöarvoa (kohta 3.1)
- yksikkönä käytetään $\text{mg/m}^3\text{n}$ (kuivaa savukaasua)
- ilmoitettaessa päästöt pitoisuuksina suositellaan, jollei muuta ole ilmoitettu, että pitoisuudet raportoidaan kuivissa kaasuissa ja redusoituna 3 % (til) happipitoisuuteen kuivissa kaasuissa
- monissa ympäristölupapäätöksissä vaaditaan raportointia jossain muussa happipitoisuudessa, esimerkiksi 6 % happipitoisuudessa, tällöin raportissa pitää ilmetä happipitoisuus ja kertoa, onko pitoisuus kuivissa vai kosteissa kaasuissa
- NO_x -päästöt ilmoitetaan NO_2 :na
- pelkistyneet rikkiyhdisteet (TRS) suositellaan ilmoitettavan rikiksi (S) laskettuna
- rikkidioksidipäästöt ilmoitetaan SO_2 :na
- ppm:llä tarkoitetaan tilavuuden miljoonasosaa (ml/m^3)

On huomattava, että päästöarvot eivät ole sellaisenaan vertailukelpoisia eri tehtaiden välillä ilman, että ne esitetään muunnettuna samaan savukaasujen kosteuteen ja happipitoisuuteen.

2.1 Savukaasun kosteus

Koska savukaasun kosteus vaikuttaa mitattavan päästön arvoon, niin käytännössä mittaukset pyritään aina ilmoittamaan kuivissa savukaasuissa. Tyypillisenä poikkeuksena ovat esimerkiksi happimittaukset, joissa zirkonium-anturi mittaa happipitoisuutta kosteassa kaasussa.

Jos päästölaskenta suoritetaan jatkuvatoimisista mittauksista, tarvitaan myös kosteusmittaus.

2.2 Savukaasun happipitoisuus

Lisäämällä savukaasuun ilmaa, voidaan epäpuhtauksien pitoisuutta laimentaa. Tämän vuoksi pyritään pitoisuudet ilmoittamaan muunnettuna sovittuun yhteiseen happipitoisuuteen. Eri maissa on eri laitteilla toisistaan poikkeavia sovittuja pitoisuuksia. Usein näkee käytettävän happipitoisuuksia 3 %, 6 %, 8 % ja 12 %. Viimeisimmät soodakattiloiden ympäristölupapäätökset on vaadittu ilmoitettavaksi redusoituna 6 % (til) happipitoisuuteen kuivissa kaasuissa, ja hajukaasukattiloilla redusoituna 3 % (til) pitoisuuteen.

Olisi suositeltavaa, että happimittaus esitetään aina kuivaa savukaasua kohti.

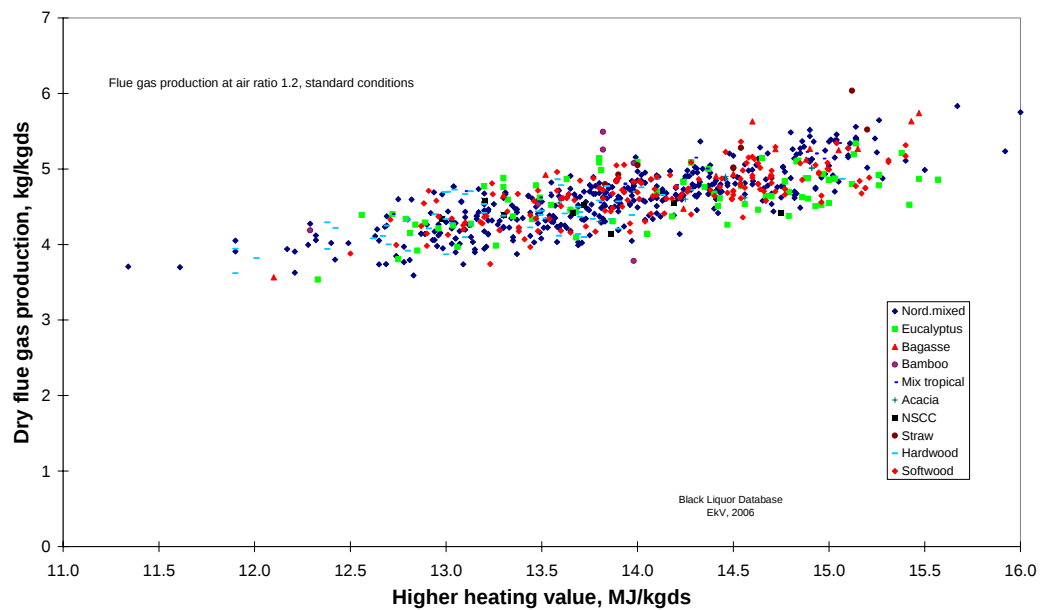
2.3 Kuiva savukaasumäärä

Mikäli kattilaa ei ole varustettu jatkuvatoimisella savukaasun mittauksella, kuivan savukaasun määrä voidaan laskea poltetun lipeän kuiva-ainevirran mukaan.

Mustalipeän polton kuiva savukaasumäärä ei riipu lipeän kuiva-aineesta, laimeiden hajukaasujen poltosta, liuotinhöngän poltosta eikä sekoitussäiliön hönkien poltosta. Käytännössä mustalipeän polton kuiva savukaasumäärä ei muutu biolietteestä eikä väkevien hajukaasujen poltosta.

Mustalipeän kuivaan savukaasumäärään vaikuttaa voimakkaasti ilmakerroin ja tuhkanlisäys. Jos polttoa suoritetaan isommalla yli-ilmalla, niin vastaavasti on kuiva savukaasumääräkin isompi. Ilmakertoimen vaikutus voidaan poistaa muuntamalla päästöt samaan esimerkiksi 3 % happipitoisuuteen.

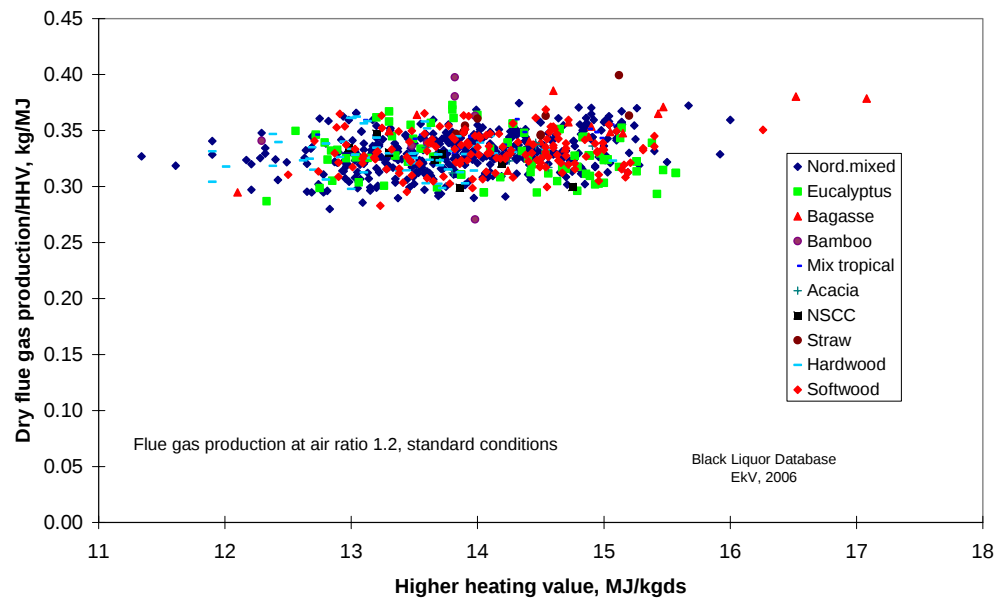
Kun mustalipeään lisätään inerttiä sähkösuodintuhkaa, kuiva savukaasumäärä laskee suoraan tuhkanvähennyksen verran. Karkeasti mustalipeän savukaasumäärä ja höyryn kehitys korreloivat keskenään, koska molemmat ovat verrannollisia palavan aineen määrään.



Kuva 2-1, Mustalipeän kuiva savukaasumäärä ylemmän lämpöarvon funktiona.

Mustalipeän kuiva savukaasumäärä riippuu mustalipeän lämpöarvosta, Kuva 2-1. Yksinkertaisimmillaan voidaan savukaasumäärän arviointiin käyttää tällaista ennalta määritettyä savukaasun ja mustalipeän suhdetta. Tarkempi savukaasumäärä voidaan laskea massataseella, kun ilma-, mustalipeä- ja sulavirta tunnetaan.

Kuitenkin savukaasumäärä riippuu pääasiassa palavasta ainesosasta, jonka koostumus ei vaihtelee mustalipeän lämpöarvon funktiona. Siten mustalipeän kuivan savukaasumäärän ja lämpöarvon suhde on melko vakio, noin $0.33 \text{ kg/MJ} \pm 5 \%$, Kuva 2-2.



Kuva 2-2, Mustalipeän kuiva savukaasumäärä jaettuna ylemmällä lämpöarvolla ylemmän lämpöarvon funktiona.

3 PÄÄSTÖJEN KONVERSIO LAADUSTA TOISEEN

Tyypillisesti savukaasun epäpuhtauksia mitattaessa tulos saadaan mittalaitteesta jonain laitteesta riippuvana yksikkönä. Raportointia varten tämä mitattu pitoisuus pitää usein muuntaa johonkin toiseen yksikköön. Liitteessä 1 on esitetty esimerkkilaskuja tässä ohjeessa esitetyillä kaavoilla.

3.1 Pitoisuuden muutos toiseen happipitoisuuteen ($O_2 \rightarrow O_2$)

Seuraavalla kaavalla voidaan mitattu pitoisuus muuttaa (ppm tai mg/m^3n) haluttuun O_2 -pitoisuuteen. Kaava pätee sekä kuivilla että märillä kaasuilla.

$$C_{red} [ppm] = C_{mitt} [ppm] \frac{20.9 - O_{2,red}}{20.9 - O_{2,mitt}} \quad 1$$

jossa

- C_{red} = haluttu pitoisuus, ppm tai mg/m^3n
- C_{mitt} = mitattu pitoisuus, ppm tai mg/m^3n
- $O_{2,red}$ = haluttu happipitoisuus, %
- $O_{2,mitt}$ = mitattu happipitoisuus, %

Seuraavalla kaavalla voidaan muuttaa pitoisuus (ppm tai mg/m^3n) kuivista kaasuista kosteisiin kaasuihin:

$$C_{kost} [ppm] = \frac{C_{kuiva} [ppm] * (100 - f)}{100} \quad 2$$

jossa

- C_{kost} = pitoisuus kosteissa savukaasuissa (mg/m^3n tai ppm)
- C_{kuiva} = pitoisuus kuivissa savukaasuissa (mg/m^3n tai ppm)
- f = savukaasun kosteus tilavuusprosentteina

3.2 Pitoisuudesta ominaispäästöön (ppm $\rightarrow$ mg/MJ)

Ominaispäästö voidaan laskea seuraavasta kaavasta:

$$q_o [mg/MJ] = C_{mitt} [mg/m^3n] * n * k * Q_s \quad 3$$

jossa

- q_o = ominaispäästö mg/MJ
- C_{mitt} = mitattu pitoisuus kuivassa kaasussa mg/m^3n

8(11)

- n = happikorjaus
- k = polttoaineen kosteudesta aiheutuva kerroin
- Q_s = polttoaineen palamisessa syntyvä kuiva savukaasumäärä polttoaineen ylemmää lämpöarvoa kohden $\text{m}^3\text{n}/\text{MJ}$ (mustalipeällä $0,23 \text{ m}^3\text{n}/\text{MJ}$, perustuu kuvaan 2-2)

Happikorjaus n voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$n = \frac{20.9}{20.9 - O_{2,\text{mitt}}} \quad 4$$

jossa

- $O_{2,\text{mitt}}$ = mitattu happipitoisuus kuivissa savukaasuissa, til-%

Kosteudesta johtuva kerroin k lasketaan yhtälöllä:

$$k = \frac{q_{HHV}}{q_{HHV} - 21.987 \frac{H}{100} - 2.443 \frac{100 - x}{x}} \quad 5$$

jossa

- q_{HHV} = kuiva-aineen ylempi (HHV = High Heating Value) eli kalorimetrinen lämpöarvo, MJ/kg
- H = mustalipeän kuiva-aineen vetypitoisuus, paino-%
- x = mustalipeän kuiva-aine (kuiva-aineen paino-osuus kosteasta lipeästä), paino-%

Kaavassa (5) luku $21.987 = 2.443 * 18/2$ tarkoittaa vedystä ($M_{H_2} = 2 \text{ kg/kmol}$) syntyvän veden ($M_{H_2O} = 18 \text{ kg/kmol}$) höyrystymislämpöä (MJ/kg). Luku 2.443 on veden höyrystymislämpö lämpötilassa 25°C (MJ/kg).

3.3 Muunnoskertoimet tilavuusosuudesta massa- (ppm -> $\text{mg}/\text{m}^3\text{n}$)

Taulukossa 3-1 on esitetty muunnoskertoimia tilavuuspitoisuudesta yksikköön $\text{mg}/\text{m}^3\text{n}$. On huomattava, että usein esimerkiksi rikki esitetään vaihtelevassa laadussa. Useissa julkaisuissa on hieman numeroarvoltaan näistä poikkeavia arvoja (ts. standardoituja muunnoskertoimia ei ole). Käytetyn muunnoskertoimen aiheuttama ero tulokseen on kuitenkin merkittävästi pienempi kuin päästön mittauksen virhe.

Taulukko 3-1. Muunnoskertoimia tilavuuspitoisuudesta yksikköön mg/m³n.

1 ppm H ₂ S	1.441 mg(S)/m ³ n
1 ppm H ₂ S	1.535 mg(H ₂ S)/m ³ n
1 ppm H ₂ S	2.886 mg(SO ₂)/m ³ n
1 ppm CO	1.253 mg(CO)/m ³ n
1 ppm NO ₂	2.053 mg(NO ₂)/m ³ n
1 ppm NO	2.053 mg(NO ₂)/m ³ n
1 ppm NO	1.229 mg(NO)/m ³ n
1 ppm NO _x	2.053 mg(NO ₂)/m ³ n
1 ppm NO _x	1.375 mg(95% NO ja 5 % NO ₂)/m ³ n
1 ppm SO ₂	2.926 mg(SO ₂)/m ³ n
1 ppm SO ₂	1.461 mg(S)/m ³ n
1 ppm HCl	1.628 mg(HCl)/m ³ n
1 ppm HCl	1.583 mg(Cl)/m ³ n
1 ppm NH ₃	0.771 mg(NH ₃)/m ³ n
1 ppm NH ₃	2.053 mg(NO ₂)/m ³ n
1 ppm CH ₄	0.719 mg(CH ₄)/m ³ n
1 ppm H ₂ SO ₄	4.375 mg(H ₂ SO ₄)/m ³ n
1 ppm CH ₄ S	2.148 mg(CH ₄ S)/m ³ n
1 ppm CH ₄ S	2.860 mg(SO ₂)/m ³ n
1 ppm CH ₄ S	1.428 mg(S)/m ³ n
1 ppm C ₂ H ₆ S	2.774 mg(C ₂ H ₆ S)/m ³ n
1 ppm C ₂ H ₆ S	2.860 mg(SO ₂)/m ³ n
1 ppm C ₂ H ₆ S	1.428 mg(S)/m ³ n

3.4 Muunnos keskiarvopitoisuudesta ylitysaikaan

Soodakattilan päästöt ilmoitetaan tyypillisesti aikakeskiarvona (tuntikeskiarvo, vuorokausikeskiarvo). Lyhytaikaiset arvot ylittävät nämä keskiarvoluvut. Varsinkin haisevat rikkiyhdisteet (TRS ja H₂S) vaaditaan usein raportoimaan tai vertailemaan arvossa, jossa puhutaan esimerkiksi ylitysajasta (ylittää arvon xxx alle 5 % ajasta). Ylitysajalla siis tarkoitetaan, että päästön arvo on tämän ajan ylittänyt raja-arvon, esimerkiksi H₂S-päästön pitoisuus on ollut yli 15 minuuttia yli 10 mg/m³n.

Jollei raportointijärjestelmä talleta hetkellisarvoja, voidaan ylitysaikaa arvioida tilastollisesti Taulukon 3-1 avulla. Taulukko perustuu kuvien 3-1 ja 3-2 aineistoon.

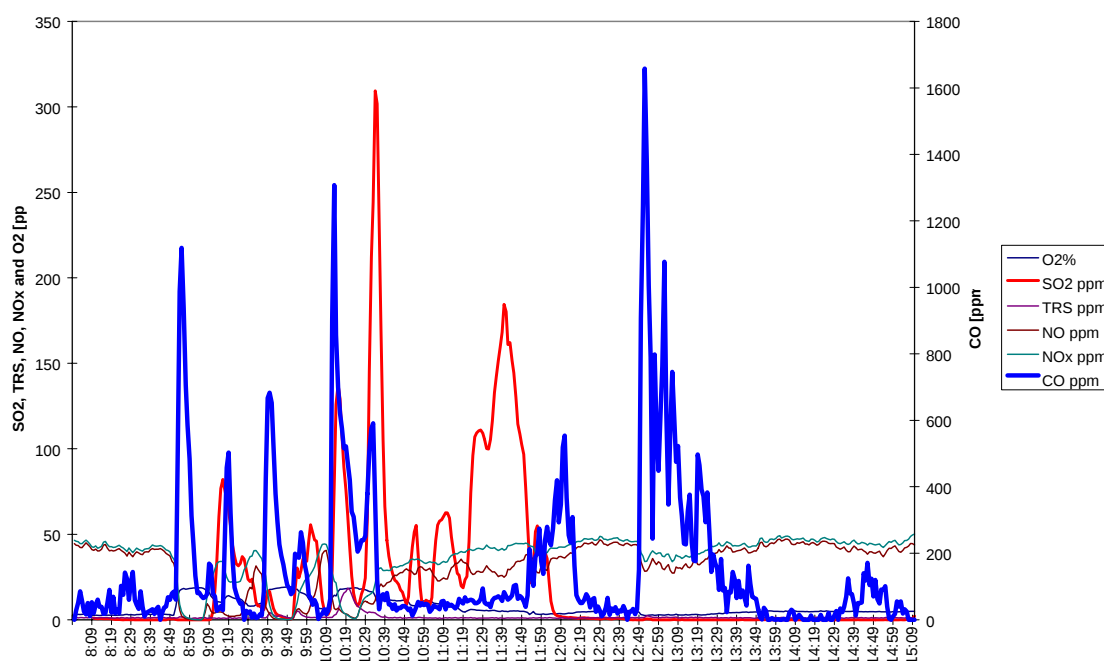
Taulukko 3-1. Kerroin keskiarvopäästön muuttamiseksi ylitysajaksi.

Aika		CO	CxHy	H ₂ S	SO ₂	NO _x	Pöly
24 h	100 %	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000
8 h/24 h	67 %	1,05	1,03	1,02	1,02	1,01	1,000
1 h/24 h	95 %	2,00	1,70	1,30	1,40	1,05	1,300
30 min/24 h	98 %	2,50	2,20	1,40	1,60	1,07	1,500
15 min/24h	99 %	3,00	2,50	1,60	2,00	1,10	3,000

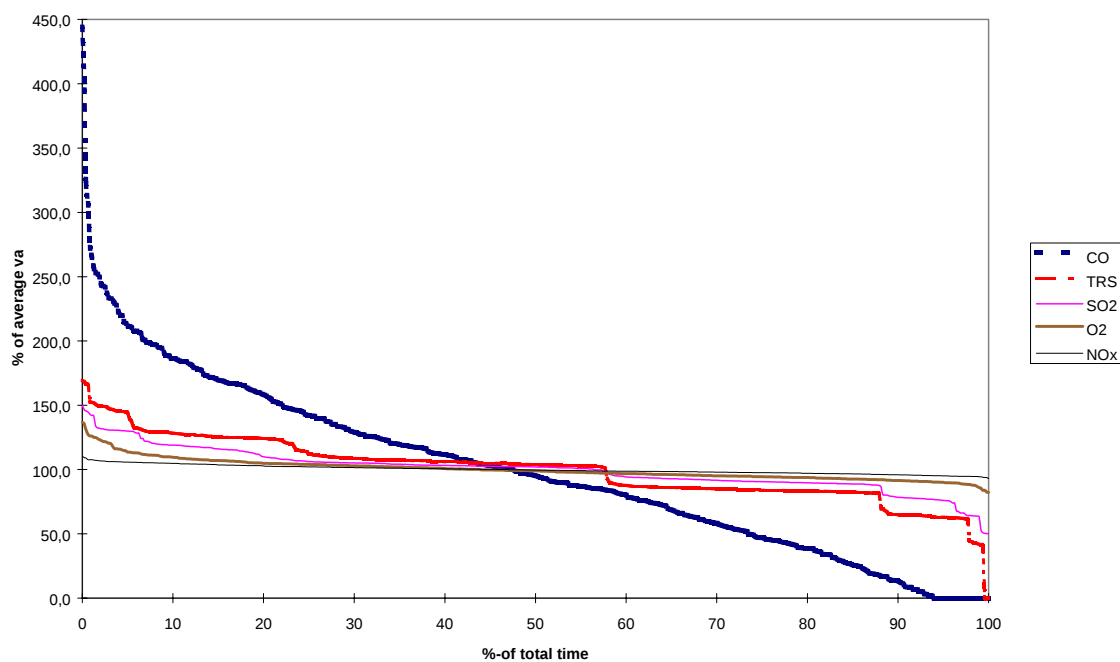
Esimerkki: Keskiarvo SO₂-päästölle on 150 mg/MJ. Kyseisessä tapauksessa SO₂ ylittää 15 minuutin ajan joka vuorokausi päästön $2,00 \cdot 150 \text{ mg/MJ} = 300 \text{ mg/MJ}$.

Esimerkki: Jos H₂S-päästö saa ylittää $10 \text{ mg/m}^3 \text{ n}$ 30 minuuttia päivässä, niin sen keskiarvopäästö pitää olla $10 \text{ mg/m}^3 \text{ n} / 1.4 = 7 \text{ mg/m}^3 \text{ n}$.

Kuvassa 3-1 on esitetty tyypillisiä soodakattilapäästöjä ja kuvassa 3-2 samat päästöt on järjestetty isommasta pienempään ja skaalattu niin, että keskiarvo on 100.



Kuva 3-1. Tyypillisiä soodakattilapäästöjä.



Kuva 3-2. Kuvan 3-1 päästöt järjestettynä isommasta pienempään ja skaalattuna niin, että keskiarvo on 100.

LIITE I

Esimerkkilaskuja

Esimerkki 1. Ominaispäästön laskeminen

- mitattu pitoisuus kuivassa savukaasussa on $120 \text{ mg/m}^3\text{n}$
- mitattu happipitoisuus kuivassa savukaasussa on 6 til-%
- kuiva-ainepitoisuus mustalipeässä on 70 %
- mustalipeän kuiva-aineen vetypitoisuus on 3.4 m-%
- mustalipeän kuiva-aineen ylempi, kalorimetrinen lämpöarvo on 12.75 MJ/kg (HHV = High Heating Value)

Happikorjaukseksi saadaan:

$$n = \frac{20.9[\%]}{20.9[\%] - 6[\%]} = 1.40$$

Polttoaineen kosteudesta johtuvaksi kertoimeksi k saadaan:

Lipeän kuiva-aine on $x = 70 \%$, jolloin polttoaineen kosteuden haihduttamiseen kuluva lämpömäärä H_w

$$H_w = 2.443 [\text{MJ/kg}] \cdot \frac{100 - x}{x} = 1.047 [\text{MJ / kg}]$$

ja polttoaineen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo H_u

$$H_u = 12.75 [\text{MJ/kg}] - \frac{2.443 \cdot 18 / 2 \cdot 3.4}{100} [\text{MJ/kg}] = 12.00 [\text{MJ / kg}]$$

$$k = \frac{HHV}{H_u - H_w} = \frac{12.75 [\text{MJ/kg}]}{12.00 [\text{MJ/kg}] - 1.05 [\text{MJ/kg}]} = 1.164$$

Näin voidaan laskea ominaispäästö

$$q_0 = 120 [\text{mg / m}^3\text{n}] * 1.40 * 1.164 * 0.23 [\text{m}^3\text{n/MJ}] = 45 \text{ mg/MJ}$$



Esimerkki 2. Mittaustulosten redusointi

- mitattu pitoisuus kuivassa savukaasussa on $120 \text{ mg/m}^3\text{n}$
- mitattu happipitoisuus kuivassa savukaasussa on 6 til-%
- halutun arvon happipitoisuus on 10 til-%
- savukaasun kosteus 10 til-%

Muutetaan pitoisuus ensin O_2 -pitoisuuden perusteella

$$C_{red} = 120[\text{mg/m}^3\text{n}] * \frac{20.9[\%] - 10[\%]}{20.9[\%] - 6[\%]} = 88 \text{ mg/m}^3\text{n}$$

Muutetaan pitoisuus kosteaan kaasuun

$$C_{kost} = \frac{88[\text{mg/m}^3\text{n}] * (100 - 10)[\%]}{100[\%]} = 79 \text{ mg/m}^3\text{n}$$

Esimerkki 3. Päästölaskenta

- mitattu pitoisuus 90 ppm NO₂
- mitattu O₂-pitoisuus 5 til-%
- haluttu O₂-pitoisuus 3 til-%
- mitatut arvot ovat kuivissa kaasuissa
- lipeän kuiva-ainepitoisuus on 70 %
- lipeän kuiva-aineen vetypitoisuus on 3.4 m-%
- lipeän ylempi, kalorimetrinen lämpöarvo on 12.75 MJ/kg

Muutetaan ppm arvo mg/m³n:ksi

$$90 \text{ ppm NO}_2 = 90[\text{ppm}] \cdot 2.053[\text{mg (NO}_2\text{)}/\text{m}^3\text{n, ppm}] = 185 \text{ mg (NO}_2\text{)}/\text{m}^3\text{n}$$

Lasketaan ominaispäästö mg/MJ

$$n = \frac{20.9[\%]}{20.9[\%] - 5[\%]} = 1.31$$

$$H_u = 12.75 [\text{MJ/kg}] - \frac{2.443 \cdot 18 / 2 \cdot 3.4}{100} [\text{MJ/kg}] = 12.00$$

$$H_w = 2.443 [\text{MJ/kg}] \cdot \frac{100 - x}{x} = 1.047 [\text{MJ / kg}]$$

$$k = \frac{12.75[\text{MJ/kg}]}{12.00[\text{MJ/kg}] - 1.05[\text{MJ/kg}]} = 1.164$$

$$q_0 = 185[\text{mg (NO}_2\text{)}/\text{m}^3\text{n}] \cdot 1.31 \cdot 1.164 \cdot 0.23[\text{m}^3\text{n/MJ}] = 68 \text{ mg/MJ}$$

Pitoisuus halutussa 3 til-%:n O₂-pitoisuudessa kuivassa kaasussa

$$C_{red} = 185[\text{mg (NO}_2\text{)}/\text{m}^3\text{n}] \frac{20.9[\%] - 3[\%]}{20.9[\%] - 5[\%]} = 208 \text{ mg (NO}_2\text{)}/\text{m}^3\text{n} \quad (3 \text{ til - \% O}_2)$$

LIITE II

Savukaasujen ominaisuuksia

Savukaasun ominaisuuksien laskenta

	CO2	H2O	SO2	N2	O2	CO	H2	Savukaasulle	
E1	-8,8254	-8,5753	-9,8676	-7,5196	-7,4078	-7,4605	-7,9609	-8,1038	Entalpiakeroin
E2	26,89	29,98	31,38	26,68	25,32	26,25	29,27	28,04	Entalpiakeroin
E3	21,166	5,063	18,648	3,136	6,989	4,009	-0,672	6,144	Entalpiakeroin
E4	-4,899	0,356	-4,664	-0,126	-1,475	-0,395	0,764	-0,697	Entalpiakeroin
E5	-8,3957	7,4312	-8,0402	5,2744	3,1092	2,1630	-24,4049	3,5043	Lämmönjohtavuuskerroin
E6	0,08415	0,00968	0,06845	0,07161	0,07479	0,09700	1,03473	0,06217	Lämmönjohtavuuskerroin
E7	3,327E-06	0,0001103	-3,239E-05	-1,3E-05	1,635E-05	-6E-05	-0,0015319	1,272E-05	Lämmönjohtavuuskerroin
E8	-8,453E-09	-3,025E-08	1,836E-08	2,08E-09	-1,459E-08	2,257E-08	1,402E-06	-5,762E-09	Lämmönjohtavuuskerroin
E9	-1,47366	-1,60121	-0,11323	2,44488	2,07235	2,89722	1,29196	1,09055	Viskositeettikerroin
E10	0,0618969	0,0333459	0,0438088	0,0583692	0,0712374	0,0579242	0,0323359	0,0548726	Viskositeettikerroin
E11	-2,454E-05	1,214E-05	8,726E-07	-2,574E-05	-3,417E-05	-3,018E-05	-2,813E-05	-1,914E-05	Viskositeettikerroin
E12	5,383E-09	-6,27E-09	-5,237E-09	6,55E-09	1,001E-08	9,73E-09	1,824E-08	4,194E-09	Viskositeettikerroin
E13	0,5059	1,2438	0,3417	0,7997	0,6998	0,7999	11,1273	0,7958	Konversio kg-> m3n
E14	22,263	22,408	21,887	22,403	22,394	22,404	22,432	22,913	Tilavuus
E15	188,9	461,5	129,8	296,8	259,8	296,8	4124,3	288,8	Rm
E16	44,010	18,016	64,060	28,016	31,999	28,010	2,016	28,793	Moolipaino

Savukaasun mooliosuudet, mol-%

CO2	H2O	SO2	N2	O2	CO	H2	Summa	
13,390	21,710	0,200	65,220	1,840	0,000	0,000	102,360	<- SYÖTTÖÄRVOT

Savukaasun tilavuusosuudet, vol-%

CO2	H2O	SO2	N2	O2	CO	H2	Summa
13,010	21,232	0,191	63,769	1,798	0,000	0,000	100,000

Isobaariset ominaisuudet savukaasulle

Paineelle P = 0.10130 Mpa

Lämpötila (K)	Paine (MPa)	Tiheys (mol/l)	Tiheys (kg/m3)	Tilavuus (l/mol)	Tilavuus (m3/kg)	Entalpia (kJ/mol)	Entalpia (kJ/kg)	Entalpia (kJ/m3n)	Viskosi-teetti (uPa*s)	Lämmön-johtuvuus (W/m*K)	Faasi
200	0,1013	0,06092	1,754	16,4153	0,5701	-2,255	-78,3	-98,4	11,3329	0,016401	kaasu
250	0,1013	0,04874	1,403	20,5191	0,7126	-0,720	-25,0	-31,4	13,6778	0,019752	kaasu
273,15	0,1013	0,04460	1,284	22,4191	0,7786	0,000	0,0	0,0	14,7363	0,021318	kaasu
300	0,1013	0,04061	1,169	24,6229	0,8552	0,843	29,3	36,8	15,9428	0,023145	kaasu
350	0,1013	0,03481	1,002	28,7267	0,9977	2,434	84,5	106,2	18,1309	0,026576	kaasu
400	0,1013	0,03046	0,877	32,8305	1,1402	4,051	140,7	176,8	20,2453	0,030040	kaasu
450	0,1013	0,02708	0,780	36,9343	1,2827	5,696	197,8	248,6	22,2891	0,033533	kaasu
500	0,1013	0,02437	0,702	41,0382	1,4253	7,366	255,8	321,5	24,2656	0,037050	kaasu
550	0,1013	0,02215	0,638	45,1420	1,5678	9,062	314,7	395,5	26,1778	0,040588	kaasu
600	0,1013	0,02031	0,585	49,2458	1,7103	10,782	374,5	470,6	28,0288	0,044142	kaasu
650	0,1013	0,01874	0,540	53,3496	1,8529	12,528	435,1	546,8	29,8220	0,047708	kaasu
700	0,1013	0,01741	0,501	57,4534	1,9954	14,297	496,5	624,0	31,5603	0,051281	kaasu
750	0,1013	0,01625	0,468	61,5572	2,1379	16,089	558,8	702,2	33,2469	0,054858	kaasu
800	0,1013	0,01523	0,439	65,6610	2,2804	17,905	621,8	781,4	34,8850	0,058433	kaasu
850	0,1013	0,01433	0,413	69,7649	2,4230	19,742	685,7	861,6	36,4777	0,062002	kaasu
900	0,1013	0,01354	0,390	73,8687	2,5655	21,602	750,2	942,8	38,0282	0,065562	kaasu
950	0,1013	0,01283	0,369	77,9725	2,7080	23,483	815,6	1024,9	39,5396	0,069108	kaasu
1000	0,1013	0,01218	0,351	82,0763	2,8505	25,385	881,6	1107,9	41,0150	0,072635	kaasu
1050	0,1013	0,01160	0,334	86,1801	2,9931	27,306	948,4	1191,8	42,4576	0,076139	kaasu
1100	0,1013	0,01108	0,319	90,2839	3,1356	29,248	1015,8	1276,5	43,8706	0,079616	kaasu
1150	0,1013	0,01059	0,305	94,3878	3,2781	31,209	1083,9	1362,1	45,2571	0,083061	kaasu
1200	0,1013	0,01015	0,292	98,4916	3,4207	33,189	1152,7	1448,5	46,6202	0,086471	kaasu
1250	0,1013	0,00975	0,281	102,5954	3,5632	35,186	1222,0	1535,7	47,9631	0,089841	kaasu
1300	0,1013	0,00937	0,270	106,6992	3,7057	37,202	1292,0	1623,6	49,2889	0,093166	kaasu
1350	0,1013	0,00903	0,260	110,8030	3,8482	39,234	1362,6	1712,3	50,6008	0,096442	kaasu
1400	0,1013	0,00870	0,251	114,9068	3,9908	41,283	1433,8	1801,8	51,9019	0,099666	kaasu
1450	0,1013	0,00840	0,242	119,0106	4,1333	43,348	1505,5	1891,9	53,1953	0,102832	kaasu
1500	0,1013	0,00812	0,234	123,1145	4,2758	45,429	1577,8	1982,7	54,4843	0,105936	kaasu

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2006 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 26.1.2006, esitelmät
Sokos Hotelli Seurahuone/Laminating Papers Oy, Kotka
(16A0913-E0072) 18.1.2006
- 2/2006 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2005
(16A0913-E0073) 30.3.2006
- 3/2006 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Vuosikokous 30.3.2006, If Vahinkovakuutusyhtiö Oy, Helsinki
Pöytäkirja (16A0913-E0074)
- 4/2006 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 1.-3.11.2006
Viking Line
(16A0913-E0075)
- 5/2006 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan vastaanottokokeet
Materiaali- ja energiatase
Esa Vakkilainen, Pöyry Forest Industry Oy
(16A0913-E0078) 4.12.2006

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 25.1.2007, esitelmät
Kulttuurikeskus, Kemi / Oy Metsä-Botnia Ab, Kemin tehdas / Hotelli Cumulus Kemi
(16A0913-E0079) 12.1.2007
- 2/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Mustalipeän sisältämien rikkiyhdisteiden haihtuvuudet eri tehtailla
Paterson McKeough ja Eero Leppämäki, VTT (tutkimusraportti VTT-R-00513-07)
(16A0913-E0080) 22.1.2007
- 3/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Sähkösuodintuhkan puhdistus ja käsittely
Osa III, Kuljetusmuoto ja radioaktiivisuus
Kurt Sirén, 12.12.2006 (KCL työ 0522546)
(16A0913-E0081) 26.2.2007
- 4/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2006
(16A0913-E0082) 29.3.2007
- 5/2007 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Ohje soodakattilan päästöjen laskentaan
(16A0913-E0084) 19.4.2007

LIITE III

Lentotuhkan puhdistus ja jatkokäsittely iv – tilanneraportti

Kurt Sirén, Sirra T:mi

Kiteytin, kuvia

SKY ympäristötyöryhmän kokous 10.3.2009





Kokonaiskuva kiteytyslaitteistosta. Keskellä haihdutin, vasemmalla lämmityskierto, oikealla tyhjiöasema.



Laitteisto seisoo vaa'an päällä, jolloin voidaan seurata tarkasti miten paljon vettä on haihdutettu.

Tyhjiöasema



Kerrostumia
(Na_2SO_4)



Toinen puoli

Ei Na_2SO_4 -kerrostumia
Ruoste helposti irtoavaa,
ei putkistosta peräisin

Kerrostuminen
riippuvaista
kierrätysnopeudesta

Sirra

