



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 tehtaiden 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 ylemppää, 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.

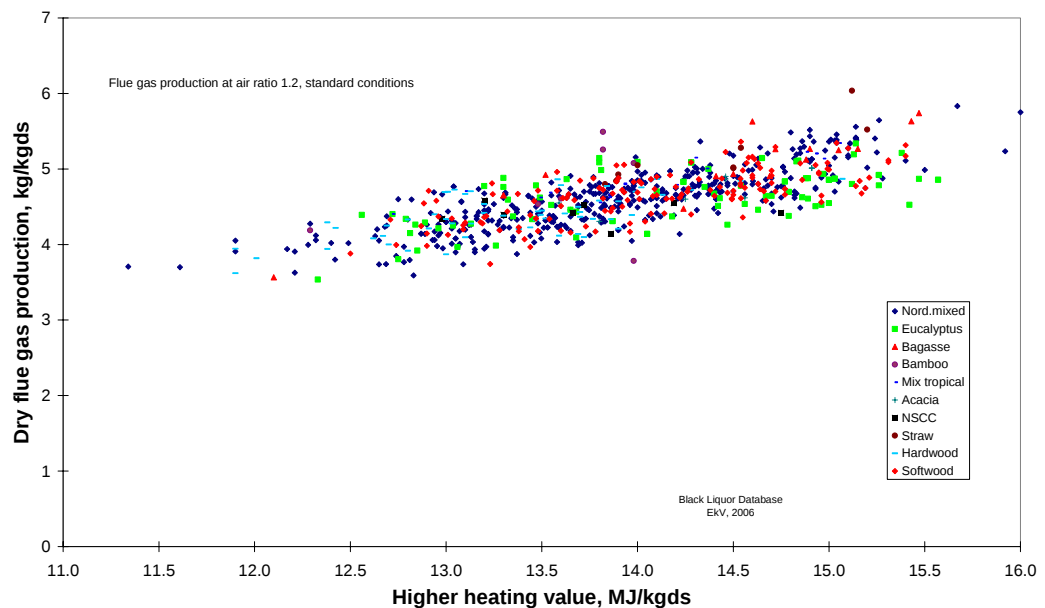
2.3 Kuiva savukaasumäärä

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.

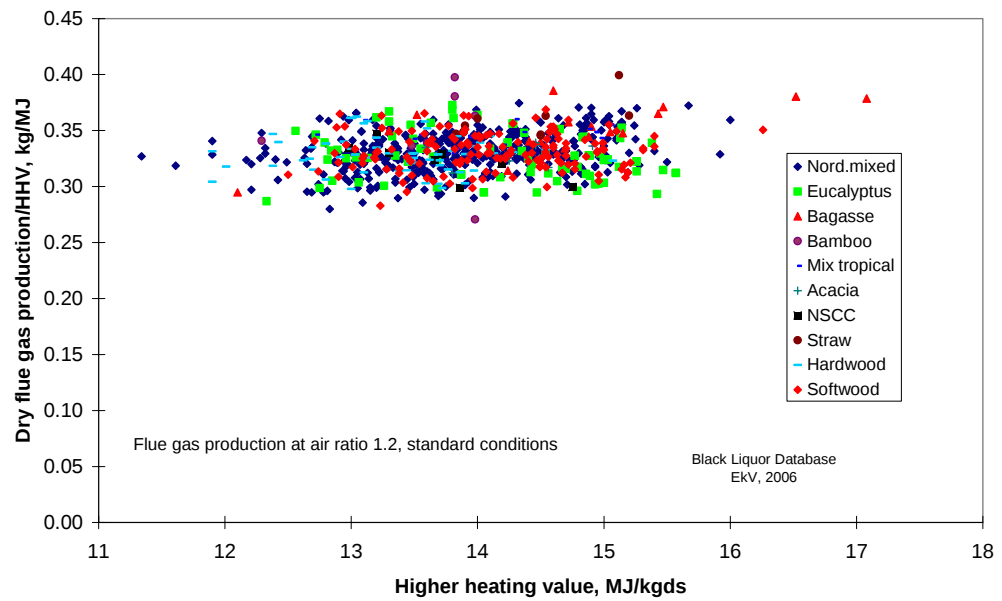
Kun mustalipeään lisätään inerttiä sähkösuodintuhkaa, kuiva savukaasumäärä laskee suoraan tuhkanvähennyksen verran. Karkeasti mustalipeän savukaasumäärä ja höyryn kehitys korreloivat keskenään, koska molemmat ovat verrannollisia palavan aineen määrään.



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 $\text{m}^3\text{n/MJ}$ (mustalipeällä $0,23 \text{ m}^3\text{n/MJ}$, 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 ($M_{H_2O} = 18 \text{ kg/kmol}$) höyrystyslämpöä (MJ/kg). Luku 2.433 on veden höyrystyslämpö lämpötilassa 25 °C (MJ/kg).

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

Taulukossa 3-1 on esitetty muunnoskertoimia tilavuuspitoisuudesta yksikköön $\text{mg/m}^3\text{n}$. 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.

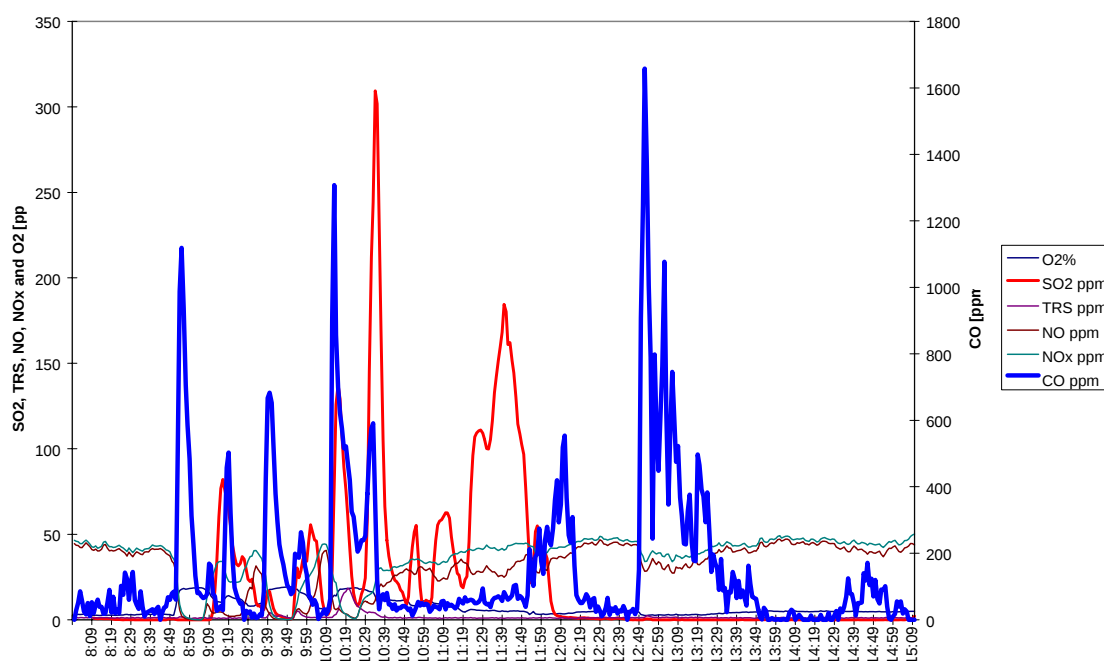
Taulukko 3-1. Kerroin keskiarvopäästön muuttamiseksi ylitysajaksi.

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

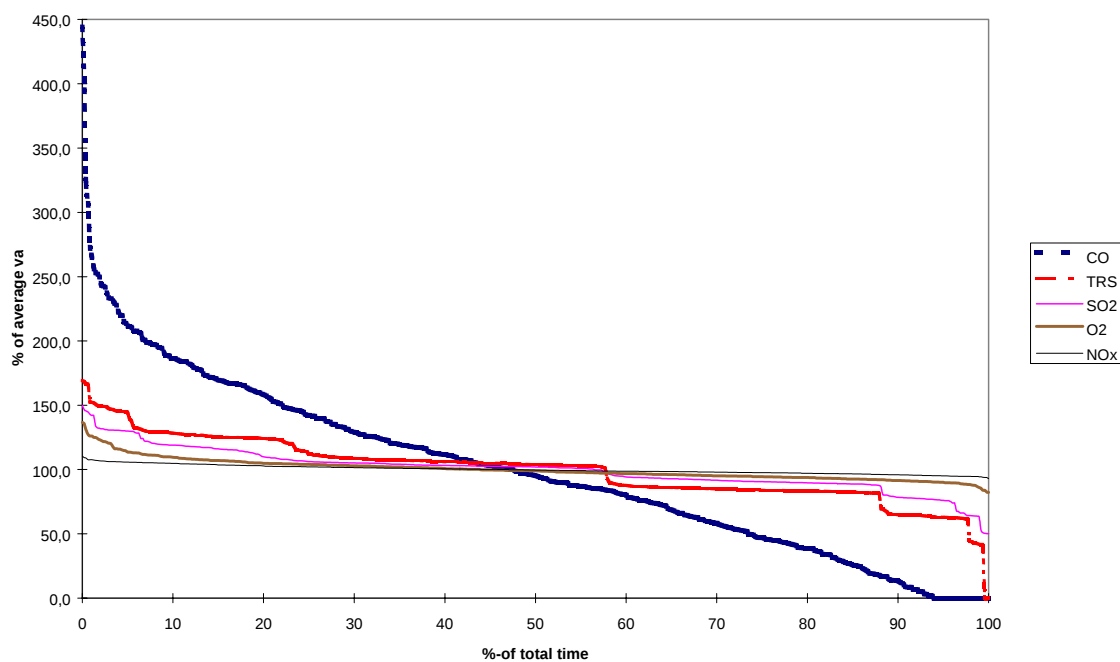
Esimerkki: Keskiarvo SO₂-päästölle on 150 mg/MJ. Kyseisessä tapauksessa SO₂ ylittää 15 minuutin ajan joka vuorokausi päästön 2,00*150 mg/MJ = 300 mg/MJ.

Esimerkki: Jos H₂S-päästö saa ylittää 10 mg/m³n 30 minuuttia päivässä, niin sen keskiarvopäästö pitää olla 10 mg/m³n /1.4 = 7 mg/m³n.

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, kalorimetrisen lämpöarvo on 12.75 MJ/kg

Muutetaan ppm arvo mg/m³n:ksi

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

Lasketaan ominaispäästö mg/MJ

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

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

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

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

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

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

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

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