



PÄÄSTÖMITTAUKSET

IMEX-WOOD OY

LÄMPÖKESKUS

12.2.2010

Kotka 17.2.2010

Raportin laatija tekn. Marko Piispa

Raportin tarkastaja ins. Mikko Nykänen

1. MITTAUSKOHDDE	3
2. MITTAUSTEN TARKOITUS.....	3
3. MITTAUSAIKA JA OHJELMA.....	3
4. MITTAUSTULOKSET	4
5. MITTAUSTEN SUORITTAJAT.....	4
6. TIEDONKERÄYS	5
7. MITTAUSTULOSTEN LASKENTA.....	5
8. TULOSTEN TARKASTELU	5
8.1 MITTAUSEPÄVARMUUS.....	5
9. PALAMISOLOSUHTEET	6
10. MITTAUSMENETELMÄT.....	6
LIITELUETTELO	6

1. MITTAUSKOHDE

Päästömittauksien kohteena oli IMEX-WOOD Oy:n omistaman bio-lämpökeskuksen kpa-kattila. Kattilan valmistaja on Laka. Mittausyhde sijaitse ennen savukaasupuhallinta noin 1,5 metriä kattilan jälkeen vaakasuorassa savukaasukanavassa.

Polttoaine	Kattilan maksimiteho	Kattilan teho mittausten aikana
Puru	750 kW	350 kW

2. MITTAUSTEN TARKOITUS

Mittausten tarkoituksena oli selvittää IMEX-WOOD Oy:n omistaman bio-lämpökeskuksen savukaasupäästöt

Seuraavien päästökaasujen pitoisuudet mitattiin:

- Hiilimonoksidipitoisuus (CO)
- Typpioksidipitoisuus (NO_x)
- Hiilidioksidipitoisuus (CO₂)
- Happipitoisuus (O₂)
- Hiukkaset

3. MITTAUSAIKA JA OHJELMA

Mittaukset suoritettiin 12.2.2010 seuraavan aikataulun mukaisesti:

08:00 – 09:30	Asennukset ja kalibroinnit
09:30 – 12:00	Mittaukset
12:00 – 12:15	Kalibrointien tarkastus

4. MITTAUSTULOKSET

Seuraavissa taulukoissa 1 - 4 on esitetty IMEX-WOOD Oy:n biolämpökeskuksen mittaustulokset 12.2.2010.

Taulukko 1. O₂ ja CO₂ keskimääräiset mittaustulokset

teho	O ₂ %		CO ₂ %	
		Epävarmuus- sineen		Epävarmuus- sineen
350 kW	11,1	11,0 – 11,2	9,6	9,4 – 9,8

Taulukko 2. CO keskimääräinen mittaustulos

teho	CO mg/ m ³ (n)		CO mg/ m ³ (n) redusointi 6%		CO kuiva ppm
		Epävarmuus		Epävarmuus	
350 kW	543	± 15 %	825	± 15 %	434

Taulukko 3. NO_x keskimääräinen mittaustulos

teho	NO _x mg/m ³ (n)		NO _x mg/m ³ (n) redusointi 6%		NO _x kuiva ppm
		Epävarmuus		Epävarmuus	
350 kW	71	± 15 %	108	± 15 %	35

Taulukko 4. Hiukkasten keskimääräinen mittaustulos

Mittaus	Hiukkaset mg/m ³ (n)		Hiukkaset mg/m ³ (n) redusointi 6%	
		Epävarmuus		Epävarmuus
1	60	± 15 %	92	± 15 %
2	45	± 15 %	68	± 15 %
3	45	± 15 %	69	± 15 %
keskiarvo	50	± 15 %	76	± 15 %

Hiukkasissa normaali BAT arvona 1 - 5 MW kpa laitoksissa pidetään 250 mg/m³(n), redusoituna 6 % happeen.

5. MITTAUSTEN SUORITTAJAT

Kymenlaakson ammattikorkeakoulusta mittauksiin osallistui ins. Mikko Nykänen ja tekn. Marko Piispa.

6. TIEDONKERÄYS

Mittauksen aikana analysaattoreiden lukemat kirjattiin ylös mittauspöytäkirjaan ja dataloggerille 15 sekunnin välein.

7. MITTAUSTULOSTEN LASKENTA

Kaikki mittaustulosten pohjalta tehty laskut on suoritettu excel-ohjelmalla. Laskentaohjelman tulostukset on esitetty liitteessä 2. Tulostuksessa ilmenevät kaikki mittaustulokset, jotka on syötetty ohjelmaan lähtötietoina ja niiden pohjalta lasketut tulokset. Jäljempänä on esitetty eriteltyinä tärkeimmät mittaustulokset ja niistä lasketut tulokset.

Mittaustulokset pätevät ainoastaan mitatuille näytteille.

Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Muussa tapauksessa kopioinnista on saatava kirjallinen lupa testauslaboratoriolta.

8. TULOSTEN TARKASTELU

Mittaustuloksia voidaan pitää hyvin onnistuneina hyvien mittausolosuhteiden ansiosta. Mittausten aikana kattila toimi normaalin kpa-kattilan tavoin.

8.1 MITTAUSEPÄVARMUUS

Mittauksen kokonaisepävarmuus lasketaan tarkoitukseen laadituilla ja validoiduilla Excel-työkirjoilla. Virhetarkastelu suoritetaan todennäköisyyslaskentaan perustuen. Päästöjen laskennassa käytettävät kaa-
vat on linearisoitu, jotta virheet, jotka oletetaan riippumattomiksi satunnaismuuttujiksi, voidaan yhdistää. Kaikki käytettävät virheet edustavat 95 %:n luottamusväliä.

Mittausepävarmuuden laskennassa on huomioitu

- näytteenoton virhe (näytteen edustavuus)
- kalibrointikaasujen epätarkkuus
- analysaattorien epätarkkuus
- savukaasun kosteuden määrittelyn epävarmuus
- kuivan polttoaineen tehollisen lämpöarvon määrittelyn epävarmuus
- polttoaineen kosteudesta johtuvan kertoimen k määrittelyn epävarmuus

Näiden tekijöiden virheet määritetään laskentaa varten jokaiselle mittaukselle ja syötetään laskenta-arkille. Epävarmuudet perustuvat yli kymmenen vuoden aikana mittauksissa kertyneeseen kokemukseen (sisältää laboratorioiden väliset vertailumittaukset). Epävarmuutta ei määritetä yhdessä mittauksessa olevien arvojen vaihtelun perusteella.

9. PALAMISOLOSUHTEET

Lämpötila 22,1 C°

Kosteus 9,0 %

Paine 101,7 kPa

10. MITTAUSMENETELMÄT

Mittauksissa käytettiin seuraavia menetelmiä ja standardeja:

Komponentti	Menetelmä		Standardi
Kiintoaine	Gravimetrinen	laimentamaton	SFS-EN 13284
NO _x	Kemiluminesenssi	laimentamaton	SFS 5624
CO	IR-absorptio	laimentamaton	SFS 5624
CO ₂	IR-absorptio	laimentamaton	SFS 5624
O ₂	Paramagneettinen	laimentamaton	SFS 5624

LIITELUETTELO

Liite 1	Mittauksien tulosten käsittely
Liite 2	SFS 5624 ja SFS 3866 laskentakaaviot päästöistä

MITTAUSTULOSTENKÄSITTELY

TILAVUUSVIRRRAN LASKENTA

Mittaustuloksista savukaasun tilavuusvirta on laskettu seuraavassa kuvatulla menetelmällä. Laskenta on suoritettu excel-ohjelmalla.

Polttoaineen koostumuksen mukaan voidaan laskea tunnettujen reaktioyhtälöiden mukaan polttoaineen palaessa teoreettisella ilmamäärällä syntyvien savukaasujen määrä polttoainekiloa kohti (V_{teor}) sekä palamiseen tarvittava ilmamäärä polttoainekiloa kohti (I_{teor}).

Kun nämä luvut tiedetään saadaan todellisessa ilmaylimäärällä tapahtuvassa palamisessa syntyvien savukaasujen määrä laskettua kaavalla

$$V_{tod} = V_{teor} + (\lambda - 1)I_{teor}$$

missä tarvittava ilmakerroin λ saadaan happi- tai hiilidioksidipitoisuusmittauksen perusteella kaavoista

$$\lambda = 1 + \frac{V_{teor}}{I_{teor}} \cdot \frac{O_2}{20,9 - O_2}$$

$$\lambda = 1 + \frac{V_{teor}}{I_{teor}} \cdot \left(\frac{CO_{2maks}}{CO_{2mit}} - 1 \right)$$

Mikäli edellä mainituilla yhtälöillä on laskettu kuivia savukaasuvirta polttoainekiloa kohti saadaan kuiva savukaasuvirta normaaliolosuhteissa kertomalla edellä lasketulla kaavalla saatu luku mitatulla polttoainevirralla eli

$$q_{wn} = V_{tod} \cdot m_{pa}$$

Kostea savukaasuvirta saadaan aivan samalla kaavalla käyttämällä polttoainekiloa kohti lasketulle savukaasuvirralla polttoainekilosta syntyvien kosteiden savukaasujen määrää.

Muutos normaalitilasta savukanavassa vallinneisiin olosuhteisiin saadaan tehtyä ideaalikaasun tilanyhtälön mukaisella paine ja lämpötila korjauksella.

$$q_{wr} = q_{wn} \cdot \frac{T_s}{T_n} \cdot \frac{p_n}{p_s}$$

Missä	q_{wn}	= savukaasuvirta normaaliolosuhteissa [m ³ (n)/s]	
	q_{wr}	= savukaasuvirta kanavassa vallitsevissa olosuhteissa	[m ³ /s]
	T_s	= savukaasun lämpötila kanavassa	[K]
	T_n	= savukaasun lämpötila normaalitilassa	[K]
	p_s	= savukaasun paine kanavassa	[kPa]
	p_n	= paine normaalitilassa	[kPa]

Savukaasun nopeus savukanavassa saadaan laskettua lasketun tilavuusvirran ja savukanavan virtauspoikkipinnan mukaan

Isokineettisyyden tarkistus

Imetystä savukaasuvirrasta sondin suuaukkoon aiheutuvaa nopeutta on verrattu polttoaineen kulutuksen mukaan laskettuun savukaasun nopeuteen savukanavassa.

Imetty savukaasumäärä (norm.tilassa) on redusoitu savukanavassa vallinneisiin olosuhteisiin seuraavasti

Muutos kuivasta tilavuusvirrasta kosteaan

$$V_{wn} = V_{dn} \cdot \left(1 + \frac{X \cdot \rho_{dn}}{\rho_{vn}}\right)$$

Missä	V_{wn}	= imetty kostea kaasumäärä norm.tilassa [m ³ (n)]
	V_{dn}	= imetty kuiva kaasumäärä norm.tilassa [m ³ (n)]
	X	= savukaasun kosteus [kg/kg]
	ρ_{dn}	= kuivan kaasun tiheys normaalitilassa [kg/m ³ (n)]
	ρ_{vn}	= vesihöyryn tiheys normaalitilassa [kg/m ³ (n)]

Muutos savukanavan paineeseen ja lämpötilaan

$$V_{wr} = V_{wn} \cdot \frac{T_s}{T_n} \cdot \frac{p_n}{p_s}$$

Missä	V_{wn}	= imetty kostea savukaasumäärä norm.tilassa [m ³ (n)]	
	V_{wr}	= imetty kaasum. redusoituna savukanavan olosuhteisiin	[m ³]
	T_s	= lämpötila savukanavassa	[K]
	T_n	= lämpötila normaalitilassa	[K]
	p_n	= paine normaalitilassa	[kPa]
	p_s	= paine savukanavassa	[kPa]

Imetyn kaasumäärän mukainen nopeus sondin suuaukossa saadaan kaavalla

$$v_{wr} = \frac{V_{wr}}{A_s \cdot t}$$

Missä	v_{wr}	= imetyn kaasuvirran nopeus sondin suuaukossa	[m/s]
	V_{wr}	= imetty kaasum. redusoituna savukanavan olosuhteisiin	[m ³]
	A_s	= savukanavan poikkipinta-ala	[m ²]
	t	= kaasun imuaika	[s]

Isokineettisyysaste saadaan vertaamalla imetyn kaasuvirran mukaan laskettua nopeutta sondin suuaukossa (v_{wr}) polttoaineen kulutuksen mukaan laskettuun savukaasun nopeuteen (v_{ws})

PÄÄSTÖKERTOIMIEN JA PÄÄSTÖJEN LASKENTA

Imetyn kuivatun näytekaasun määrä saadaan muutettua normaalitilaan kaavalla

$$V_{dn} = \frac{V_{wa} \frac{T_n P_a}{T_a P_n}}{1 + \frac{X_a \rho_{dn}}{\rho_{vn}}}$$

Missä	V_{dn}	= kuivatun näytekaasun tilavuus normaalitilassa	
		$[m^3(n)]$	
	V_{wa}	= imetyn kaasun tilavuus mittarin tilassa	$[m^3]$
	T_n	= kaasun lämpötila normaalitilassa	$[K]$
	T_a	= kaasun lämpötila mittarin tilassa	$[K]$
	P_a	= kaasun paine mittarissa	$[kPa]$
	P_n	= kaasun paine normaalitilassa	$[kPa]$
	X_a	= kaasun kosteus kuivauksen jälkeen	
		$[kg/kg]$	
	ρ_{dn}	= kuivan kaasun tiheys normaalitilassa	
		$[kg/m^3(n)]$	
	ρ_{vn}	= vesihöyryn tiheys normaalitilassa	
		$[kg/m^3(n)]$	

Kuivan kaasun kiintoainepitoisuus normaalitilassa käytetyllä ilmakertoimella

$$c_{dn} = \frac{m}{V_{dn}}$$

Missä	c_{dn}	= kuivan kaasun kiintoainepitoisuus normaalitilassa	
		$[mg/m^3(n)]$	
	m	= suodattimelle jäänyt kiintoaine	$[mg]$
	V_{dn}	= imetyn kuivan näytekaasun tilavuus normaalitilassa	
		$[m^3(n)]$	

Haluttaessa redusoida kiintoainepitoisuus mittaustilanteesta poikenneeseen happi- tai hiilidioksidipitoisuuteen voidaan käyttää kaavoja

$$c_{red} = c_{dn} \frac{CO_{2red}}{CO_{2mit}}$$

$$c_{red} = c_{dn} \frac{20,9 - O_{2red}}{20,9 - O_{2mit}}$$

Missä	c_{red}	= redusoitu päästö	
		$[mg/m^3(n)]$	
	c_{dn}	= mittaustilanteen mukainen päästö	
		$[mg/m^3(n)]$	
	O_{2red}	= happipitoisuus johon päästö halutaan redusoida	$[\%]$
	O_{mit}	= mitattu happipitoisuus	$[\%]$
	CO_{2red}	= hiilidioksidipitoisuus, johon päästö halutaan redusoida	$[\%]$
	CO_{2mit}	= mitattu tai mittaustuloksista laskettu hiilidioksidipitoisuus	$[\%]$

OMINAISPÄÄSTÖJEN LASKENTA

Muutos mitatuista kostean kaasun pitoisuuksista kuivien kaasujen pitoisuuksiksi on laskettu seuraavalla kaavalla

$$c_{dn} = c_{wn} \left(1 + \frac{f}{\rho_{vn}}\right)$$

missä	f	= kosteus [kg/m ³ (n)]	
	ρ_{vn}	= vesihöyryn tiheys [kg/m ³ (n)]	
	c_{wn}	= pitoisuus kosteissa kaasuissa	[ppm]
	c_{dn}	= pitoisuus kuivissa kaasuissa	[ppm]

Kaasumaiset mittaustulokset tilavuusyksiköistä (ppm) on muutettu ominaispäästöiksi eli yksikköön päästö polttoaineen energiasisältöä kohti (mg/MJ) standardin SFS 5624 mukaisesti kaavalla

$$q_e = c_m \cdot k \cdot \lambda \cdot Q_s$$

missä	q_e	= ominaispäästö (mg/MJ)	
	c_m	= mitattu päästö kuivassa kaasussa (mg/m ³ (n)) saadaan kertomalla mittaustulos (ppm) kaasun tiheydellä	
	k	= kosteuskerroin	
	λ	= ilmakerroin happipitoisuusmittauksen perusteella	
	Q_s	= kuivan polttoaineen palaessa syntyvä kuiva savukaasumäärä energiayksikköä kohti normaalitilassa. Tämä on laskettu jakamalla kuivasta polttoaineesta muodostuva kuiva savukaasumäärä polttoaineen kuiva-aineen tehollisella lämpöarvolla (m ³ (n)/MJ)	

Kiintoainepitoisuuksien mittaustulokset yksiköistä (mg/m³(n)) saadaan muutettua ominaispäästöiksi eli yksikköön päästö polttoaineen energiasisältöä kohti (mg/MJ) standardin SFS 5624 mukaisesti kaavalla

$$q_e = c_{dn} \cdot k \cdot \lambda \cdot Q_s$$

Missä	q_e	= ominaispäästö (mg/MJ)	
	c_{dn}	= kuivan kaasun kiintoainepitoisuus (mg/m ³ (n))	
	k	= kosteuskerroin	
	λ	= ilmakerroin happipitoisuusmittauksen perusteella	
	Q_s	= kuivan polttoaineen palaessa syntyvä kuiva savukaasumäärä energiayksikköä kohti normaalitilassa. Tämä on laskettu jakamalla kuivasta polttoaineesta muodostuva kuiva savukaasumäärä polttoaineen kuiva-aineen tehollisella lämpöarvolla (m ³ (n)/MJ)	

		Päästömittaus laboratorio							
Mittaus	imex	Laskennan tarkastus							
Tilaaja									
									
SAVUKAASUN KOOSTUMUS JA PÄÄSTÖT SFS 5624									
	Mittautunnus	1	2	3	ka				
Palamisilma:	lämpötila: °C	22.1	22.1	22.1	22.1				
	paine: kPa	101.7	101.7	101.7	101.7				
	suhteellinen kosteus:	9.0	9.0	9.0	9.0				
Polttoaine:	puu								
POLTTOAINEEN KOOSTUMUS									
	Kuiva-aine massa-%	Kostea polttoaine massa-%		Tietojen lähde					
hiili C	53.29	37.30		Imex Wood					
vety H ₂	6.00	4.20							
happi O ₂	39.80	27.86							
typpi N ₂	0.20	0.14							
rikki S	0.02	0.01							
tuhka	0.70	0.49							
vesi H ₂ O		30.00							
	100.01	100.01							
	kuiva pa	kostea pa							
lämpöarvo	18.72 MJ/kg	12.354							
k	1.06071								
vesihöyryn osapaine palamisilmassa ph		0.24 kPa							
Savukaasu									
n	2.12	2.12	2.12	2.12					
PÄÄSTÖT									
Kaasut:	Kuiva:					Kostea:			
	1	2	3	ka		1	2	3	ka
O ₂ :	11.1	11.1	11.1	11.1	%				
CO ₂ :	9.6	9.6	9.6	9.6	%				
NO _x	35	35	35	35	ppm				
NO					ppm				
NO ₂					ppm				
SO ₂					ppm				
CO	434	434	434	434	ppm				
HC	0	0	0	0	ppm				
KA	60	45	45	#####	mg/m ³				
Isokineettisyysaste	#####	#####	#####	#####					

PÄÄSTÖT					(mg/MJ)					qe= c n k QsM/Vm				
NO ₂ :na														
	1	2	3	ka										
NO _x	42	42	42	42										
NO	0	0	0	0										
NO ₂	0	0	0	0										
(mg/MJ)														
SO ₂	0	0	0	0										
SO ₂ laskett	15	15	15	15										
CO	323	323	323	323										
HC	0	0	0	0										
KA	36	26	27	30										
PÄÄSTÖT MITTAUSEPÄVARMUUKSINEEI (mg/MJ)														
	1	2	3	ka										
NO _x	42	42	42	42	42	42	42	42	42					
NO	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####					
NO ₂	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####					
SO ₂	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####					
CO	323	323	323	323	323	323	323	323	323					
HC	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####					
KA	36	36	26	26	27	27	#####	#####	#####					

PÄÄSTÖT					REDUSOITU				
(mg/m ³ (n))					O ₂ =	6.0	%	(mg/m ³ (n))	
	1	2	3	ka	1	2	3	ka	
NO _x	71	71	71	71	108	108	108	108	
NO	0	0	0	0	0	0	0	0	
NO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	
SO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	
SO ₂ laskett	24	24	24	24	36	36	36	36	
CO	543	543	543	543	825	825	825	825	
HC	0	0	0	0	0	0	0	0	
KA	60	45	45	50	92	68	69	76	