

ITM-rapport 184



Beräkning av rökgasflöde

Provningsjämförelse 2009

Gunnar Nyquist

Institutionen för tillämpad miljövetenskap

Department of Applied Environmental Science

Beräkning av rökgasflöde

Provningsjämförelse 2009

Gunnar Nyquist

ISSN 1103-341X
Tryckeri: ITM, Stockholm 2009
ISRN SU-ITM-R-184-SE

Förord

Enligt Naturvårdsverkets föreskrift NFS 2004:6 kan en kontroll (jämförande mätning) av rökgasflödet ske genom att ett ackrediterat laboratorium gör en egen beräkning av rökgasflödet och jämför med anläggningens beräknade eller mätta rökgasflöde.

Provningsjämförelser för beräkning av rökgasflöden har gjorts två gånger tidigare. I februari 2000 initierade Naturvårdsverket en jämförelse mellan ackrediterade laboratorier, instrumentleverantörer och konsulter som utför kontroller eller levererar beräkningsprogram. Resultaten finns sammanställda i ITM Rapport 85. Då det i vissa fall var relativt stora skillnader i rapporterade värden ansåg Naturvårdsverket att det var önskvärt att upprepa provningsjämförelsen våren 2002 med samma typ av beräkningar som förra gången men med andra ingångsdata. Resultaten finns sammanställda i ITM Rapport 102.

Då det gått några år sedan senaste provningsjämförelsen för beräkning av rökgasflöden inbjöd Naturvårdsverket våren 2009 (i samarbete med Swedac) till en ny beräkningsjämförelse. Till potentiella deltagarna sände Naturvårdsverket ut fyra stycken beräkningsfall. Uppgiften för deltagarna var att beräkna rökgasflöden (torrt och vått), utsläpp av NO_x (kg/h och mg/MJ) samt bränsleeffekt. Vid beräkningen skulle de formler användas som normalt används i den egna verksamheten.

Luftlaboratoriet vid ITM (Institutionen för Tillämpad Miljövetenskap, Stockholms Universitet) fick i uppdrag av Naturvårdsverket att sammanställa resultaten och att skriva en rapport.

Antalet deltagare i provningsjämförelsen var totalt 14 stycken.

Stockholm i juni 2009.

Innehåll

	Sid.
1. Bakgrund	4
2. Beräkningsuppgifter	6
Fall 1	6
Fall 2	11
Fall 3	15
Fall 4	20
3. Deltagande laboratorier	25
4. Resultat	25
5. Referenser	27
Bilaga 1: Förteckning över deltagande laboratorier	28
Bilaga 2: Redovisade resultat, tabell 1 - 4	29
Bilaga 3: Figurer, Fall 1	37
Bilaga 4: Figurer, Fall 2	40
Bilaga 5: Figurer, Fall 3	43
Bilaga 6: Figurer, Fall 4	46

1. BAKGRUND

1991 trädde Naturvårdsverkets föreskrifter SNFS 1991:5 och 1991:4 (NO_x-avgifter; miljökontroll av NO_x och SO_x) i kraft och därmed infördes krav på obligatorisk årlig kontroll av alla berörda förbränningsanläggningars mätsystem av "sakkunnig och oberoende besiktningsman". I den från 1 januari 2005 gällande mätföreskriften (NFS 2004:6; ref. 1) står att "den avgiftsskyldige skall ombesörja att en jämförande mätning utförs av ett laboratorium som är ackrediterat för uppgiften av SWEDAC i enlighet med lagen (1992:1119) om teknisk kontroll. Resultaten från den jämförande mätningen skall redovisas i en skriftlig rapport i enlighet med kraven i SS-EN ISO/IEC 17025". Vidare gäller att "hela de mätsystem för mätning av halt av NO_x, NO, NO₂, O₂ och CO₂ eller mätning eller beräkning av rökgasflöde som används för bestämning av kväveoxidutsläpp minst en gång per år skall kontrolleras av ett ackrediterat laboratorium genom en jämförande mätning."

SWEDAC (Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll) ackrediterade de första luftlaboratorierna under hösten 1992. I en ackreditering ingår att regelbundet delta i provningsjämförelser. Hittills har provningsjämförelser genomförts för gasanalyser samt för bestämning av rökgashastighet genom pitotrörmätning.

Enligt Naturvårdsverkets föreskrift NFS 2004:6 (ref. 1) kan en kontroll (jämförande mätning) av rökgasflödet ske genom att ett ackrediterat laboratorium gör en egen beräkning av rökgasflödet och jämför med anläggningens beräknade eller mätta rökgasflöde.

Provningsjämförelser för beräkning av rökgasflöden har gjorts två gånger tidigare. I februari 2000 initierade Naturvårdsverket en jämförelse mellan ackrediterade laboratorier, instrumentleverantörer och konsulter som utför kontroller eller levererar beräkningsprogram. Resultaten finns sammanställda i ITM Rapport 85 (ref. 2). Då det i vissa fall var relativt stora skillnader i rapporterade värden ansåg Naturvårdsverket att det var önskvärt att upprepa provningsjämförelsen våren 2002 med samma typ av beräkningar som förra gången men med andra ingångsdata. Resultaten finns sammanställda i ITM Rapport 102 (ref. 3).

Då det gått några år sedan senaste provningsjämförelsen för beräkning av rökgasflöden inbjöd Naturvårdsverket våren 2009 (i samarbete med Swedac) till en ny beräkningsjämförelse.

Till deltagarna i provningsjämförelsen "Provningsjämförelse 2009. Beräkning av rökgasflöden" sände Naturvårdsverket fyra stycken beräkningsfall och uppgiften för deltagarna var att utifrån de givna ingångsvärdena beräkna

- rökgasflödet i m³(n)/h (vått och torrt),
- NO_x-utsläpp i kg/h (som NO₂) och specifika utsläppen i mg/MJ tillförd bränsleeffekt,
- tillförd bränsleeffekt.

Vid beräkningarna skall de formler användas som laboratorierna normalt använder i den egna verksamheten.

Luftlaboratoriet vid ITM (Institutionen för Tillämpad Miljövetenskap, Stockholms Universitet) fick i uppdrag av Naturvårdsverket att sammanställa resultaten och att skriva en rapport.

2. BERÄKNINGSUPPGIFTER

I detta kapitel redovisas de fyra fallen som deltagarna i provningsjämförelsen skulle beräkna. Dessutom ges exempel på hur beräkning av rökgasflöde för kväveoxidavgiften kan utföras (enligt Naturvårdsverkets informationsblad från 2006, vilket bygger på det tillbakadragna allmänna rådet AR 98:1 från Naturvårdsverket, ref. 4). Det är möjligt att hänsyn inte har tagits till alla tänkbara faktorer, men syftet med de presenterade beräkningarna är att visa hur de fyra uppgifterna kan lösas utgående från givna indata och formler i informationsbladet. De beräknade värdena har använts som "referens" vid jämförelsen mellan inrapporterade resultat. På så sätt kan var och en av deltagarna jämföra sina beräkningsformler med de här använda, vilket underlättar kommande diskussioner om hur den "ideala" beräkningsgången kan vara.

2.1 Fall 1

Förutsättningar:

Fastbränsleeldad rostpanna med en nominell effekt om 14 MW. Bränslet består av träflis. Pannan producerar ånga till process.

Bränsleflödet bestäms genom mätning av panneffekt och förluster. Rökgaserna analyseras i ett extraktivt och torrt mätsystem.

Driftsdata fall 1.

Storhet	Enhet	Värde
Panneffekt	MW	12,8
Strålningsförlust	MW	0,2
Rökgastemperatur	°C	208
Förbränningsluftens temperatur	°C	25
Förbränningsluftens relativa fuktighet	%	80
Andel NO ₂ av NO _x	%	4,1
O ₂ -halt	vol-% (torr gas)	4,5
NO-halt	ppm (torr gas)	140

Bränsledata fall 1.

Storhet	Enhet	Värde
Effektivt värmevärde	MJ/kg TS	19,29
Fukt	vikts-%	49,74
Kol	vikts-%TS	51,00
Väte	vikts-%TS	5,60
Syre	vikts-%TS	41,00
Kväve	vikts-%TS	0,29
Svavel	vikts-%TS	0,03
Aska	vikts-%TS	2,10

Exempel på beräkning enligt NV:s informationsblad

Bränsle			mol per kg bränsle					
Elementaranalys		Molvikt	Syre- behov	Rökgaser				
Ämne	Vikts-%			O ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂
	Torr	Våt						
C	51,00	25,63	12,01	21,34	21,34			
H	5,60	2,82	2 · 1,008	6,98		13,96		
O	41,00	20,61	2 · 16,00	- 6,44				
N	0,29	0,15	2 · 14,005					0,05
S	0,03	0,02	32,06	0,00			0,005	
Fukt		49,74	18,016			27,61		
Aska	2,10	1,06						
Summa mol/kg bränsle =				21,89	21,34	41,57	0,005	0,05
N ₂ i förbränningsluften = 3,7733 · ΣO ₂								82,54

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning:

$$l_{ot} = (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (21,89 + 82,54) \cdot 0,02241 = 2,340 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Luftbehov, fuktig luft vid stökiometrisk förbränning:

$$l_o = 101,3 \cdot l_{ot} / (101,3 - p_{wl})$$

Relativa fuktigheten = 80 %, temperaturen = 25 °C;

Ur tabell: $p_{wl} = 3,16 \text{ kPa} \cdot 0,80 = 2,53 \text{ kPa}$

$$l_o = l_{ot} \cdot 101,3 / (101,3 - 2,53) = 2,340 \cdot 1,026 = 2,401 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$g_{ot} = (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 = (21,34 + 0,01 + 82,59) \cdot 0,02241 = 2,329 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bränsle:

$$g_o = g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(H_2O) \cdot 22,41/1000 = 2,329 + 2,401 - 2,340 + 41,57 \cdot 0,02241 = 3,322 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$g_t = g_{ot} + l_{ot} \cdot (m - 1,0)$$

$$m = 1,0 + K \cdot \frac{(O_2)_t}{20,95 - (O_2)_t}; \quad \text{där } K = g_{ot} / l_{ot}$$

$$m = 1,0 + 2,329/2,340 \cdot (4,5/(20,95 - 4,5)) = 1,272$$

$$g_t = 2,329 + 2,340 \cdot (1,272 - 1,0) = 2,966 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg bränsle:

$$g = g_o + l_o \cdot (m - 1,0) = 3,322 + 2,401 \cdot (1,272 - 1,0) = 3,975 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

För att beräkna tillförda effekten, P_b (MW), måste först effektiva värmeverdets i fuktigt bränsle, H_{eff} (MJ/kg), och rökgasens specifika värme, C_p (kJ/(m³(n) · °C)) beräknas.

$$H_{eff} = H_{eff}(TS) \cdot (1 - F) - 2,443 \cdot F \quad (\text{MJ/kg})$$

där $H_{eff}(TS)$ = effektiva värmeverdets (MJ/kg TS)
 F = bränslets fukthalt (vikts-%/100)

$$H_{eff} = 19,29 \cdot (1 - 0,4979) - 2,443 \cdot 0,4979 = 8,478 \quad \text{MJ/kg}$$

C_p i rökgasen beräknas genom en viktning av de olika komponenterna mot de molära andelarna (x_i , vilket ungefär motsvarar volymkoncentrationerna). Medelvärden på C_p (från 25 - 208 °C) har hämtats från ref. 5 och 6.

$$\text{H}_2\text{O}: \quad x_{\text{H}_2\text{O}} = (g - g_i)/g = 0,254; \quad C_{p, \text{H}_2\text{O}} = 1,525 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{O}_2: \quad x_{\text{O}_2} = 4,9 \cdot (1 - x_{\text{H}_2\text{O}})/100 = 0,0346; \quad C_{p, \text{O}_2} = 1,341 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{CO}_2: \quad x_{\text{CO}_2} = \Sigma \text{CO}_2 \cdot 22,4 \cdot 0,001/g = 0,121; \quad C_{p, \text{CO}_2} = 1,819 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{N}_2: \quad x_{\text{N}_2} = 1 - x_{\text{H}_2\text{O}} - x_{\text{O}_2} - x_{\text{CO}_2} = 0,592; \quad C_{p, \text{N}_2} = 1,304 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$C_p = \Sigma (x_i \cdot C_{p, i}) = 1,424 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

Tillförd effekt, P_b (MW), beräknas sedan enligt

$$\begin{aligned} P_b &= (P_{\text{nytt}} + P_{\text{strål}} + P_{\text{aska}})/(1 - g \cdot C_p \cdot (T_{\text{rök}} - 25)/H_{eff}) = \\ &= (12,8 + 0,2 + 0)/(1 - 3,975 \cdot 1,424 \cdot (208 - 25)/8,478 \cdot 0,001) = \\ &= 14,809 \text{ MW} \end{aligned}$$

Bränsleflödet, q_b (kg/h), beräknas enligt

$$q_b = P_b / H_{eff} \cdot 3\,600 = 14,809/8,478 \cdot 3\,600 = 6\,288 \text{ kg/h}$$

$$\text{Torrt rökgasflöde} = q_b \cdot g_t = 6\,288 \cdot 2,966 = 18\,650 \text{ m}^3(\text{n tg})/\text{h}$$

$$\text{Vått rökgasflöde} = q_b \cdot g = 6\,288 \cdot 3,975 = 24\,995 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$$

$$\text{NO}_x\text{-utsläpp (kg/h; som NO}_2\text{): } (g_t = 18\,650 \text{ m}^3/\text{h})$$

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}/(1 - \text{NO}_2/100) \cdot 2,05 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = \\ &= 140/(1 - 4,1/100) \cdot 2,05 \cdot 18\,650 \cdot 10^{-6} = 5,581 \text{ kg/h (som NO}_2\text{)} \end{aligned}$$

$$\text{NO}_x\text{-utsläpp (mg/MJ; som NO}_2\text{):}$$

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}_x \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (P_b \cdot 3\,600) = 5,581 \cdot 10^6 / (14,809 \cdot 3\,600) = \\ &= 104,7 \text{ mg/MJ (som NO}_2\text{)} \end{aligned}$$

2.2 Fall 2

Förutsättningar:

Oljeeldad panna med en nominell effekt om 85 MW. Bränslet består av Eo5.

Pannan producerar ånga till process. Bränsleflödet mäts. Rökgaserna analyseras i ett extraktivt och torrt mätsystem.

Driftsdata fall 2.

Storhet	Enhet	Värde
Oljeflöde	kg/s	2,2
Densitet Eo 5	kg/m ³	950
Strålningsförlust	MW	0,5
Förbränningsluftens temperatur	°C	25
Förbränningsluftens relativa fuktighet	%	80
Rökgastemperatur	°C	178
Andel NO ₂ av NO _x	%	1,7
O ₂ -halt	vol-% torr gas	15,6
NO-halt	ppm torr gas	125

Bränsledata fall 2.

Storhet	Enhet	Värde
Effektivt värmevärde	MJ/kg TS	41,81
Fukt	vikts-%	0,0
Kol	vikts-%TS	85,90
Väte	vikts-%TS	12,90
Syre	vikts-%TS	0,30
Kväve	vikts-%TS	0,29
Svavel	vikts-%TS	0,60
Aska	vikts-%TS	0,01

Exempel på beräkning enligt NV:s informationsblad

Bränsle			mol per kg bränsle					
Elementaranalys		Molvikt	Syre- behov	Rökgaser				
Ämne	Vikts-%			O ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂
	Torr	Våt						
C	85,90	85,90	12,01	71,52	71,52			
H	12,90	12,90	2 · 1,008	31,99		63,99		
O	0,30	0,30	2 · 16,00	-0,09				
N	0,29	0,29	2 · 14,005					0,10
S	0,60	0,60	32,06	0,19			0,19	
Fukt		0,00	18,016					
Aska	0,01	0,01						
Summa mol/kg bränsle =				103,61	71,52	63,99	0,19	0,10
N ₂ i förbränningsluften = 3,7733 · ΣO ₂								390,61

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning:

$$l_{ot} = (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (103,61 + 390,61) \cdot 0,02241 = 11,076 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Luftbehov, fuktig luft vid stökiometrisk förbränning:

$$l_o = 101,3 \cdot l_{ot} / (101,3 - p_{wl})$$

Relativa fuktigheten = 80 %, temperaturen = 25 °C;

Ur tabell: $p_{wl} = 3,16 \text{ kPa} \cdot 0,80 = 2,53 \text{ kPa}$

$$l_o = l_{ot} \cdot 1,026 = 11,360 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$g_{ot} = (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 = (71,52 + 0,19 + 390,71) \cdot 0,02241 = 10,363 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bränsle:

$$g_o = g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(H_2O) \cdot 22,41/1000 = 10,363 + 11,360 - 11,076 + 63,99 \cdot 0,02241 = 12,081 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$g_t = g_{ot} + l_{ot} \cdot (m - 1,0)$$

$$m = 1,0 + K \cdot \frac{(O_2)_t}{20,95 - (O_2)_t}; \quad \text{där } K = g_{ot} / l_{ot}$$

$$m = 1,0 + 10,363/11,076 \cdot (15,6/(20,95 - 15,6)) = 3,73$$

$$g_t = 10,363 + 11,076 \cdot (3,73 - 1,0) = 40,580 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg bränsle:

$$g = g_o + l_o \cdot (m - 1,0) = 12,081 + 11,360 \cdot (3,73 - 1,0) = 43,073 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Tillförd effekt, P_b (MW), beräknas enligt

$$P_b = \text{oljaflöde} \cdot H_{\text{eff}} = 2,2 \cdot 41,81 = 91,98 \text{ MW}$$

Bränsleflödet, q_b (kg/h), beräknas enligt

$$q_b = \text{oljaflödet} \cdot 3\,600 = 2,2 \cdot 3\,600 = 7\,920 \text{ kg/h}$$

$$\text{Torrt rökgasflöde} = q_b \cdot g_t = 7\,920 \cdot 40,580 = 321\,394 \text{ m}^3(\text{n tg})/\text{h}$$

$$\text{Vått rökgasflöde} = q_b \cdot g = 7\,920 \cdot 43\,073 = 341\,138 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$$

NO_x -utsläpp (kg/h; som NO_2): (NO-halt i torr gas = 125 ppm; $g_t = 321\,394 \text{ m}^3/\text{h}$)

$$\text{NO}_x = \text{NO}/(1 - \text{NO}_2/100) \cdot 2,05 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = 83,78 \text{ kg/h (som NO}_2)$$

NO_x -utsläpp (mg/MJ; som NO_2):

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}_x \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (P_b \cdot 3\,600) = 83,78 \cdot 10^6 / (91,98 \cdot 3\,600) = \\ &= 253,0 \text{ mg/MJ (som NO}_2) \end{aligned}$$

2.3 Fall 3

Förutsättningar:

Gaseldad panna med en nominell effekt om 11,5 MW. Bränslet består av fossilgas.

Pannan producerar hetvatten. Bränsleflödet mäts. Rökgaserna analyseras i ett extraktivt och torrt mätsystem.

Driftsdata fall 3.

Storhet	Enhet	Värde
Gasflöde	m ³ (n)/h	668
Förbränningsluftens temperatur	°C	25
Förbränningsluftens relativa fuktighet	%	80
Rökgastemperatur	°C	197
Strålningsförlust	MW	0,4
Andel NO ₂ av NO _x	%	0,5
O ₂ -halt	vol-% (torr gas)	1,7
NO-halt	ppm (torr gas)	56

Bränsledata fall 3.

Storhet	Enhet	Värde
Värmevärde (H_{eff})	MJ/m ³ (n)	39,83
Metan	vol-%	88,16
Etan	vol-%	6,54
Propan	vol-%	2,70
Butan	vol-%	1,0
Pentan	vol-%	0,2
Kväve	vol-%	0,3
Koldioxid	vol-%	1,10

Naturgasens sammansättning (per m³):

Ämne	vol -%	molvikt	gram tot	gram C	gram H
Metan	88,16	16,04	631,0	472,5	158,5
Etan	6,54	30,07	87,8	70,1	17,7
Propan	2,70	44,11	53,1	43,4	9,7
Butan	1,0	58,13	25,9	21,4	4,5
Pentan	0,2	72,15	6,4	5,4	1,1
Kväve	0,3	28,01	3,7		
Koldioxid	1,10	44,01	21,6		
Totalt			829,6	612,8	191,5
vikts-%			100	73,90	23,1

Exempel på beräkning

Bränsle			mol per kg bränsle				
Elementaranalys		Molvikt	Syre- behov	Rökgaser			
Ämne	Vikts-%		O ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂
	Torr	Våt					
C	73,9		12,01	61,50	61,505		
H	23,1		2 · 1,008	57,25		114,5	
O	0,0		2 · 16,00				
N	0,0		2 · 14,005				
S	0,0		32,06				
N ₂ i naturgasen							0,16
CO ₂ i naturgasen				0,59			
Summa moler/kg bränsle =			118,75	62,09	114,5	0,0	0,16
N ₂ i förbränningsluften = 3,7733 · ΣO ₂							447,69

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning:

$$\begin{aligned}
 l_{ot} &= (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (118,75 + 447,69) \cdot 0,02241 = \\
 &= 12,694 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}
 \end{aligned}$$

Luftbehov, fuktig luft vid stökiometrisk förbränning:

$$l_o = 101,3 \cdot l_{ot} / (101,3 - p_{wl})$$

Relativa fuktigheten = 80 %, temperaturen = 25 °C;

Ur tabell: $p_{wl} = 3,16 \text{ kPa} \cdot 0,80 = 2,53 \text{ kPa}$

$$l_o = l_{ot} \cdot 1,026 = 13,025 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$g_{ot} = (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 =$$

$$= (62,09 + 0 + 447,85) \cdot 0,02241 = 11,428 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bränsle:

$$g_o = g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(H_2O) \cdot 22,41/1000 = 11,428 + (13,025 - 12,694) +$$

$$+ 114,5 \cdot 0,02241 = 14,325 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$g_t = g_{ot} + l_{ot} \cdot (m - 1,0)$$

$$m = 1,0 + K \cdot \frac{(O_2)_t}{20,95 - (O_2)_t}; \quad \text{där } K = g_{ot}/l_{ot}$$

$$m = 1,0 + 11,428/12,694 \cdot (1,7/(20,95 - 1,7)) = 1,08$$

$$g_t = 11,428 + 12,698 \cdot (1,08 - 1,0) = 12,437 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg bränsle:

$$g = g_o + l_o \cdot (m - 1,0) = 14,353 + 13,051 \cdot (1,11 - 1,0) =$$

$$= 15,724 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Tillförd effekt, P_b (MW), beräknas enligt

$$P_b = \text{gasflöde (m}^3/\text{s)} \cdot H_{\text{eff}} = 668/3\,600 \cdot 39,83 = 7,39 \text{ MW}$$

$$\text{Bränsleflödet } q_b = 668 \cdot 0,8296 = 554 \text{ kg/h}$$

$$\text{Torrt rökgasflöde} = q_b \cdot g_t = 554 \cdot 12,437 = 6\,890 \text{ m}^3(\text{n tg})/\text{h}$$

$$\text{Vått rökgasflöde} = q_b \cdot g = 554 \cdot 15,360 = 8\,509 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$$

NO_x-utsläpp (kg/h; som NO₂): (NO-halt i torr gas = 56 ppm; g_t = 6 890 m³/h)

$$\text{NO}_x = \text{NO} / (1 - \text{NO}_2/100) \cdot 2,05 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = 0,795 \text{ kg/h (som NO}_2)$$

NO_x-utsläpp (mg/MJ; som NO₂):

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}_x \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (P_b \cdot 3\,600) = 0,795 \cdot 10^6 / (7,39 \cdot 3\,600) = \\ &= 29,88 \text{ mg/MJ (som NO}_2) \end{aligned}$$

2.4 Fall 4

Förutsättningar:

Avfallspanna med en nominell effekt om 18 MW. Bränslet består av ca 50 % hushålls-avfall och ca 50 % industriavfall. Pannan producerar hetvatten.

Bränsleflödet bestäms genom mätning av panneffekt och förluster. Rökgaserna analyseras i ett *in situ* mätsystem. NO och NO₂ mäts separat.

Driftsdata fall 4.

Storhet	Enhet	Värde
Panneffekt	MW	16
Strålningsförlust	MW	0,2
Rökgastemperatur	°C	235
Förbränningsluftens temperatur	°C	25
Förbränningsluftens relativa fuktighet	%	80
O ₂ -halt	vol-% (våt gas)	4,84
NO-halt	mg/m ³ (n) (våt gas)	207,7
NO-halt	mg/m ³ (n) (våt gas)	0,36

Bränsledata fall 4.

Storhet	Enhet	Värde
Effektivt värmevärde	MJ/kg TS	22
Fukt	vikts-%	30
Kol	vikts-%TS	54,45
Väte	vikts-%TS	7,29
Syre	vikts-%TS	27
Kväve	vikts-%TS	0,45
Svavel	vikts-%TS	0,81
Aska	vikts-%TS	10

Exempel på beräkning enligt NV:s informationsblad

Bränsle				mol per kg bränsle					
Elementaranalys			Molvikt	Syre- behov	Rökgaser				
Ämne	Vikts-%				O ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂
	Torr	Våt							
C	54,45	38,12	12,01	31,74	31,74				
H	7,29	5,10	2 · 1,008	12,66		25,31			
O	27	18,9	2 · 16,00	- 5,91					
N	0,45	0,32	2 · 14,005					0,11	
S	0,81	0,57	32,06	0,18			0,177		
Fukt		30	18,016			16,65			
Aska	10	7							
Summa mol/kg bränsle =				38,66	31,74	41,96	0,177	0,11	
N ₂ i förbränningsluften = 3,7733 · ΣO ₂								145,9	

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning:

$$l_{ot} = (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (31,74 + 145,89) \cdot 0,02241 = 4,136 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Luftbehov, fuktig luft vid stökiometrisk förbränning:

$$l_o = 101,3 \cdot l_{ot} / (101,3 - p_{wl})$$

Relativa fuktigheten = 80 %, temperaturen = 25 °C;

Ur tabell: $p_{wl} = 3,16 \text{ kPa} \cdot 0,80 = 2,53 \text{ kPa}$

$$l_o = l_{ot} \cdot 101,3 / (101,3 - 2,53) = 4,136 \cdot 1,026 = 4,241 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$g_{ot} = (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 = (31,74 + 0,18 + 146,00) \cdot 0,02241 = 3,987 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bränsle:

$$g_o = g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(H_2O) \cdot 22,41/1000 = 3,987 + (4,241 - 4,136) + 46,68 \cdot 0,02241 = 5,033 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

För att beräkna de verkliga rökgasmängderna (våt och torr) behöver man känna till fukthalten eller luftöverskottet. Om dessa parametrar inte är kända kan man utnyttja nedanstående samband för att få ett hyfsat närmevärde för m.

Verklig mängd våt rökgas per kg bränsle:

$$g = g_o \cdot \frac{20,95}{20,95 - (O_2)_{våt}} = 5,033 \cdot (20,95 / (20,95 - 4,84)) = 6,545 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Men följande gäller också (jfr fall 1 och 2): $g = g_o + l_o \cdot (m - 1,0)$

$$\begin{aligned} \text{Detta ger: } m &= ((g_o \cdot \frac{20,95}{20,95 - (O_2)_{våt}} - g_o) / l_o) + 1 = \\ &= (5,033 \cdot (20,95 / (20,95 - 4,84)) - 5,033) / 4,241 + 1 = 1,36 \end{aligned}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$g_t = g_{ot} + l_{ot} \cdot (m - 1,0) =$$

$$= 3,987 + 4,136 \cdot (1,36 - 1,0) = 5,476 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

För att beräkna tillförda effekten, P_b (MW), måste först effektiva värmevärdet i fuktigt bränsle, H_{eff} (MJ/kg), och rökgasens specifika värme, C_p (kJ/(m³(n) · °C)) beräknas.

$$H_{eff} = H_{eff}(\text{TS}) \cdot (1 - F) - 2,443 \cdot F \quad (\text{MJ/kg})$$

där $H_{eff}(\text{TS})$ = effektiva värmevärdet (MJ/kg TS)
 F = bränslets fukthalt (vikts-%/100)

$$H_{eff} = 22 \cdot (1 - 0,300) - 2,443 \cdot 0,300 = 14,67 \quad \text{MJ/kg}$$

C_p i rökgasen beräknas genom en viktning av de olika komponenterna mot de molära andelarna (x_i , vilket ungefär motsvarar volymkoncentrationerna). Medelvärden på C_p (från 25 - 235 °C) har hämtats från ref. 5 och 6.

$$\text{H}_2\text{O}: x_{\text{H}_2\text{O}} = (g - g_t)/g = 0,163; \quad C_{p, \text{H}_2\text{O}} = 1,531 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{O}_2: x_{\text{O}_2} = 0,0484; \quad C_{p, \text{O}_2} = 1,347 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{CO}_2: x_{\text{CO}_2} = \Sigma \text{CO}_2 \cdot 22,4 \cdot 0,001/g = 0,108; \quad C_{p, \text{CO}_2} = 1,841 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{N}_2: x_{\text{N}_2} = 1 - x_{\text{H}_2\text{O}} - x_{\text{O}_2} - x_{\text{CO}_2} = 0,681; \quad C_{p, \text{N}_2} = 1,306 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$C_p = \Sigma (x_i \cdot C_{p, i}) = 1,402 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

Tillförd effekt, P_b (MW), beräknas sedan enligt

$$P_b = (P_{nytt} + P_{strål} + P_{aska}) / (1 - g \cdot C_p \cdot (T_{rök} - 25) / H_{eff}) =$$

$$= (16 + 0,2 + 0) / (1 - 6,545 \cdot 1,402 \cdot (235 - 25) / 14,67 \cdot 0,001) =$$

$$= 18,65 \text{ MW}$$

Bränsleflödet, q_b (kg/h), beräknas enligt

$$q_b = P_b / H_{eff} \cdot 3\,600 = 18,65 / 14,67 \cdot 3\,600 = 4\,577 \text{ kg/h}$$

$$\text{Torrt rökgasflöde} = q_b \cdot g_t = 4\,577 \cdot 5,476 = 25\,064 \text{ m}^3(\text{n tg})/\text{h}$$

$$\text{Vått rökgasflöde} = q_b \cdot g = 4\,577 \cdot 6,545 = 29\,957 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$$

$$\text{NO}_x\text{-utsläpp (kg/h; som NO}_2\text{): } (g_t = 25\,064 \text{ m}^3/\text{h})$$

$$\text{Fukthalt: } 16,3 \% ((g - g_i)/g)$$

$$\begin{aligned} \text{NO-halt (torr gas)} &= 100/(100 - 16,3) \cdot 207,7 = 248,1 \text{ mg/m}^3 (\text{n, torr}) \cdot 1/1,34 = \\ &= 185,2 \text{ ppm}_{\text{tg}} \end{aligned}$$

$$\text{NO}_2\text{-halt} = 100/(100 - 16,3) \cdot 0,36 = 0,43 \text{ mg/m}^3 (\text{n, torr}) \cdot 1/2,05 = 0,21 \text{ ppm}_{\text{tg}}$$

$$\text{NO}_2\text{-andel: } 0,21/(185,2 + 0,21) = 0,1 \%$$

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}/(1 - \text{NO}_2/100) \cdot 2,05 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = \\ &= 185,2/(1 - 0,1/100) \cdot 2,05 \cdot 25\,064 \cdot 10^{-6} = 9,52 \text{ kg/h (som NO}_2\text{)} \end{aligned}$$

$$\text{NO}_x\text{-utsläpp (mg/MJ; som NO}_2\text{):}$$

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}_x (\text{kg/h}) \cdot 10^6/(P_b \cdot 3\,600) = 9,52 \cdot 10^6/(18,65 \cdot 3\,600) = \\ &= 141,8 \text{ mg/MJ (som NO}_2\text{)} \end{aligned}$$

3. DELTAGANDE LABORATORIER

En förteckning över de deltagande laboratorierna finns i bilaga 1. Totalt deltog 14 laboratorier.

4. RESULTAT

Provningsjämförelsen följer de uppsatta reglerna i ref. 7 och ref. 8. Resultaten redovisas i bilaga 2, tabell 1 - 4. Laboratorierna anges endast med ett nummer. **Ref. är resultaten från beräkningsexemplen för fall 1 – 4.** Observera att laboratoriernas nummerordning är helt slumpmässig. Det viktiga vid denna typ av jämförelser är att få fram ett mått på spridningen mellan laboratorierna och inte att peka ut laboratorier som av olika skäl får avvikande resultat. För ackrediterade laboratorierna gäller att de är skyldiga att för den ackrediterande myndigheten redovisa resultatet av provningsjämförelsen och ange vilka eventuella korrigerande åtgärder som provningsjämförelsen föranledde.

Först granskades de rapporterade värdena för att se om det fanns uppenbart avvikande värden, s.k outliers ("utelligare") bland resultaten. Om orsaken till att ett mätvärde avviker mycket från övriga värden kan förklaras utifrån mättekniska skäl (fel på utrustning, defekt filter, felaktiga flöden m m) skall värdet förkastas, men detta kan inte tillämpas vid denna provningsjämförelse.

För att ett avvikande värde skall strykas på statistiska grunder måste höga krav ställas på osannolikheten att värdet är riktigt, dvs att värdet med minst 99,5 % sannolikhet (ca 3 ggr standardavvikelsen för samtliga mätvärden) faller utanför ramen. I en provningsjämförelse som denna, då det är fråga om att utföra en beräkning med kända ingångsdata, är det misar vid själva beräkningen eller fel i de använda formlerna som kan ge stora felen. Så därför har i denna provningsjämförelse en avvikelse > 3 ggr standardavvikelsen klassats som outlier.

Det finns också olika statistiska test (t ex Grubbs test) för att se om ett mätvärde kan betraktas som avvikande, men man skall komma ihåg att för ett måttligt antal mätvärden ($< 50 - 100$) kan under inga förhållanden mer än **ett** värde strykas på en **statistisk** osannolikhet. Om flera värden ligger långt från huvudparten av värdena, måste man fundera på någon annan förklaring till avvikelserna.

Utgångspunkten vid bedömningen av om ett mätvärde (det som avvek mest från medelvärdet) kunde betraktas som outlier var att för varje mätserie (t ex fall 1, torrt flöde) göra följande beräkningar:

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

där x är laboratoriets rapporterade värde,
 \bar{x} är medelvärdet för mätserien,
 s är standardavvikelsen för mätserien.

Om det testade värdet gav att $z > 3$ betraktades värdet som outlier och togs inte med i de fortsatta statistiska beräkningarna. Om man i stället hade använt Grubbs test, där samma beräkningsformel används, anses det vara en outlier om $z > 2,37$ (vid 14 mätvärden).

Samtliga rapporterade resultat finns i tabellerna 1A – 4A i bilaga 2 tillsammans med de beräknade medelvärdena och standardavvikelseerna. De resultat som är skrivna med kursiv fetstil är inte medtagna vid de statistiska beräkningarna på grund av att de bedömdes som outlier. Fortfarande finns det dock en del resultat som "sticker ut", men också här är det upp till de aktuella deltagarna att reda ut orsaken.

Ofta bedöms prestationen för deltagarna i en provningsjämförelse med hjälp av standardiserade mätdata, ofta kallat z-score, z-poäng eller z-värde. Detta värde är ett mått på ett mätresultats relativa avvikelse från det nominella ("sanna") värdet och gör det möjligt att jämföra resultat för olika koncentrationer och matriser. Den formel som används för att beräkna z-score är den ovan angivna i de fall då skattningen av det nominella värdet och standardavvikelsen baseras på deltagarnas resultat. I tabell 1B – 4B finns de beräknade z-värdena då outlier tagits bort. Detta värde är till hjälp för deltagarna då de skall utvärdera sina resultat.

I figur 1 - 20 redovisas resultaten grafiskt som stapeldiagram. Observera att skalorna inte är lika i figureerna!

Någon diskussion av resultaten kan inte göras eftersom det endast är slutresultaten som redovisats från deltagarna och inget beräkningsunderlag. Därför får mätvärdena och figurerna tala för sig själva. Det är deltagarnas uppgift att utvärdera sina resultat och analysera eventuella avvikelser mot medelvärdet. En god hjälp är z-värdena i tabell 1B – 4B.

5. REFERENSER

1. *NFS 2004:6*. Naturvårdsverkets föreskrifter om mätutrustning för bestämmande av miljöavgift på utsläpp av kväveoxider vid energiproduktion.
2. *Nyquist, G., 2000*. Beräkning av rökgasflöde. Provningsjämförelse 2000. - ITM rapport 85.
3. *Nyquist, G., 2002*. Flödesmätningar med pitotrör. Provningsjämförelse 2002. Beräkning av rökgasflöde. Provningsjämförelse 2000. - ITM rapport 102.
4. Beräkning av rökgasflöde. Kväveoxidavgiften. Informationsblad – Uppdaterad i december 2006.
http://www.naturvardsverket.se/upload/03_lagar_och_andra_styrmedel/ekonomiska_styrmedel/kvaveoxidavgiften/webbvagledning/berakning_av_rokgasflode.pdf
5. *Wester, L., 1998*. Tabeller och diagram för energitekniska beräkningar.
6. *Mörtstedt, S.-E. och Hellsten, G., 1987*. Data och diagram. Esselte studium.
7. *EA-3/04, 2001*. Use of proficiency testing as a tool for accreditation in testing. EA — European co-operation for Accreditation.
8. ISO Guide 47-1, 1997. Proficiency testing by interlaboratory comparisons -- Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes.

Observera: Samtliga ITM-rapporter finns på <http://enviropro.itm.su.se/>

Bilaga 1**Deltagare i provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöde" 2009**

AGA Ferronova, Växjö

AMPAB, Enköping

Cementa, Slite

DGE, Göteborg

EMK, Malmö

ENA Miljökonsult Enköping

Force Technology, Nyköping

Ilema Miljöteknik, Linköping

KMP, Västervik

METLAB, Skellefteå

Miljöassistans, Tyringe

Miljölaboratoriet i Trelleborg

Miljömätarna i Linköping

ÅF Kontroll, Enköping

Bilaga 2
Tabell 1 A: *Provningsjämförelse 2009, "Beräkning av rökgasflöden".*
Resultat för "Fall 1".
*Resultaten skrivna med **kursiv fetstil** är inte medtagna vid de statistiska beräkningarna.*

Lab.	Flöde, torrt m ³ (n)/h	Flöde, vått m ³ (n)/h	NO _x kg/h NO ₂	NO _x mg/MJ	Effekt MW
Ref.	18 650	24 995	5,58	104,7	14,81
1	18 626	24 961	5,57	104,6	14,81
2	7 575	10 147	6,00	46,0	13,70
3	18 760	25 156	5,61	105,0	14,85
4	18 650	24 950	5,58	104,6	14,81
5	18 591	24 912	5,56	104,6	14,77
6	18 750	25 130	5,60	105,0	14,90
7	19 695	26 378	5,90	105,0	15,64
8	18 470	24 730	5,52	105,0	14,60
9	18 477	24 531	5,50	104,8	14,70
10	20 229	26 996	5,90	106,0	18,50
11	18 688	25 029	5,59	104,7	14,83
12	19 417	26 000	5,80	106,2	15,20
13	18 578	24 888	5,56	104,5	14,80
14	18 616	24 940	5,34	100,4	14,78
Medel	18 888	25 277	5,65	104,6	14,80
n	13	13	14	13	13
s	543	722	0,184	1,38	0,422
max	20 229	26 996	6,00	106,2	15,64
min	18 470	24 531	5,34	100,4	13,70

Tabell 1 B: *Provningsjämförelse 2009, "Beräkning av rökgasflöden".*

Beräkning av z-score för "Fall 1".

*Resultaten skrivna med **kursiv fetstil** är beräknade från medelvärdet av samtliga resultat från laboratorierna, övriga på medelvärdet utan de markerade värdena i tabell 1 A.*

Lab.	Flöde, torrt m ³ (n)/h <i> z </i>	Flöde, vått m ³ (n)/h <i> z </i>	NO _x kg/h NO ₂ <i> z </i>	NO _x mg/MJ <i> z </i>	Effekt MW <i> z </i>
Ref.	0,439	0,391	0,350	0,039	0,024
1	0,483	0,437	0,387	0,064	0,024
2	3,424	3,424	1,928	3,462	2,602
3	0,236	0,168	0,169	0,288	0,121
4	0,439	0,453	0,383	0,041	0,018
5	0,548	0,506	0,465	0,034	0,068
6	0,255	0,204	0,247	0,256	0,240
7	1,487	1,526	1,384	0,256	1,992
8	0,771	0,758	0,682	0,256	0,471
9	0,758	1,034	0,791	0,111	0,234
10	2,471	2,382	1,384	0,980	3,214
11	0,369	0,344	0,285	0,050	0,072
12	0,975	1,001	0,840	1,125	0,950
13	0,572	0,539	0,465	0,106	0,003
14	0,502	0,467	1,661	3,076	0,045

Beräkning av z-score görs enligt formeln

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

där x är laboratoriets rapporterade värde, \bar{x} är medelvärdet för samtliga laboratorier och s är standardavvikelsen. Det är viktigt att uppenbart felaktiga värden och outliers utesluts innan medelvärde och standardavvikelse beräknas.

Erhållet z-score bedöms enligt följande riktlinjer:

- $|z| \leq 2$ Analysresultatet är tillfredställande
- $2 < |z| \leq 3$ Resultatet är tveksamt – orsaken behöver utredas
- $|z| > 3$ Resultatet är otillfredsställande

Tabell 2 A: *Provningjämförelse 2009, "Beräkning av rökgasflöden".*

Resultat för "Fall 2".

*Resultatet skrivet med **kursiv fetstil** är inte medtaget vid den statistiska beräkningen.*

Lab.	Flöde, torrt m ³ (n)/h	Flöde, vått m ³ (n)/h	NO _x kg/h NO ₂	NO _x mg/MJ	Effekt MW
Ref.	321 394	341 198	83,78	253,0	91,98
1	320 657	340 428	83,59	252,4	91,98
2	407 186	432 206	106,10	253,0	116,50
3	319 151	338 972	83,20	251,3	92,00
4	322 000	341 500	83,93	253,4	91,98
5	321 325	341 067	83,76	253,0	91,98
6	377 900	401 720	98,50	252,0	109,00
7	321 694	341 451	83,90	253,0	91,98
8	332 300	352 300	86,60	262,0	92,00
9	321 720	340 601	84,00	254,0	92,00
10	329 494	354 290	85,10	272,0	98,00
11	327 881	347 701	85,47	258,1	91,94
12	321 323	340 861	82,48	248,9	91,98
13	318 841	338 377	83,12	251,0	92,00
14	321 400	341 000	82,40	212,0	108,00
Medel	333 062	353 748	86,58	254,9	96,52
n	14	14	14	13	14
s	26 145	27 861	6,92	6,1	8,30
max	407 186	432 206	106,10	272,0	116,50
min	318 841	338 377	82,40	248,9	91,94

Tabell 2 B: *Provningjämförelse 2009, "Beräkning av rökgasflöden".*

Beräkning av z-score för "Fall 2".

*Resultatet skrivet med **kursiv fetstil** är beräknat från medelvärdet av samtliga resultat från laboratorierna, övriga på medelvärdet utan det markerade värdet i tabell 2 A.*

Lab.	Flöde, torrt m ³ (n)/h <i> z </i>	Flöde, vått m ³ (n)/h <i> z </i>	NO _x kg/h NO ₂ <i> z </i>	NO _x mg/MJ <i> z </i>	Effekt MW <i> z </i>
Ref.	0,446	0,450	0,405	0,318	0,548
1	0,474	0,478	0,433	0,411	0,548
2	2,835	2,816	2,822	0,318	2,408
3	0,532	0,530	0,489	0,598	0,545
4	0,423	0,440	0,384	0,244	0,548
5	0,449	0,455	0,408	0,318	0,548
6	1,715	1,722	1,723	0,482	1,504
7	0,435	0,441	0,388	0,318	0,548
8	0,029	0,052	0,003	1,159	0,545
9	0,434	0,472	0,373	0,154	0,545
10	0,136	0,019	0,214	2,800	0,178
11	0,198	0,217	0,161	0,522	0,553
12	0,449	0,463	0,593	0,991	0,548
13	0,544	0,552	0,500	0,646	0,545
14	0,446	0,458	0,605	3,095	1,383

Beräkning av z-score görs enligt formeln

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

där x är laboratoriets rapporterade värde, \bar{x} är medelvärdet för samtliga laboratorier och s är standardavvikelsen. Det är viktigt att uppenbart felaktiga värden och outliers utesluts innan medelvärde och standardavvikelse beräknas.

Erhållet z-score bedöms enligt följande riktlinjer:

- $|z| \leq 2$ Analysresultatet är tillfredställande
- $2 < |z| \leq 3$ Resultatet är tveksamt – orsaken behöver utredas
- $|z| > 3$ Resultatet är otillfredsställande

Tabell 3A: *Provningsjämförelse 2009, "Beräkning av rökgasflöden".
Resultat för "Fall 3".
Resultaten skrivna med **kursiv fetstil** är inte medtagna vid de statistiska beräkningarna*

Lab.	Flöde, torrt m ³ (n)/h	Flöde, vått m ³ (n)/h	NO _x kg/h NO ₂	NO _x mg/MJ	Effekt MW
Ref.	6 890	8 509	0,795	29,88	7,39
1	6 893	8 511	0,795	29,89	7,39
2	9 569	11 812	1,100	36,00	8,50
3	6 966	8 605	0,804	30,00	7,40
4	6 890	8 510	0,795	29,90	7,39
5	6 897	8 516	0,800	29,90	7,39
6	12 040	14 860	1,400	30,00	12,90
7	6 878	8 440	0,790	30,00	7,40
8	6 870	8 480	0,790	30,40	7,20
9	6 895	8 450	0,800	30,00	7,40
10	17 181	21 477	2,000	43,10	14,90
11	6 891	8 507	0,795	29,89	7,39
12	6 930	8 431	0,800	29,90	7,39
13	6 871	8 470	0,793	29,80	7,40
14	6 898	8 524	0,790	29,80	7,39
Medel	7 499	9 240	0,87	30,4	8,39
n	13	13	13	13	14
s	1 551	1 922	0,181	1,68	2,387
max	12 040	14 860	1,40	36,0	14,90
min	6 870	8 431	0,79	29,8	7,20

Tabell 3 B: *Provningsjämförelse 2009, "Beräkning av rökgasflöden".*

Beräkning av z-score för "Fall 3".

*Resultaten skrivna med **kursiv fetstil** är beräknat från medelvärdet av samtliga resultat från laboratorierna, övriga på medelvärdet utan de markerade värdena i tabell 3 A.*

Lab.	Flöde, torrt m ³ (n)/h <i> z </i>	Flöde, vått m ³ (n)/h <i> z </i>	NO _x kg/h NO ₂ <i> z </i>	NO _x mg/MJ <i> z </i>	Effekt MW <i> z </i>
Ref.	0,393	0,380	0,389	0,322	0,418
1	0,391	0,379	0,387	0,315	0,418
2	1,334	1,338	1,293	3,315	0,047
3	0,344	0,330	0,341	0,252	0,414
4	0,393	0,380	0,387	0,313	0,418
5	0,388	0,377	0,361	0,310	0,418
6	2,927	2,924	2,947	0,251	1,890
7	0,400	0,416	0,417	0,251	0,414
8	0,405	0,395	0,417	0,013	0,498
9	0,389	0,411	0,361	0,251	0,414
10	3,011	3,025	3,012	3,136	2,728
11	0,392	0,381	0,389	0,315	0,419
12	0,367	0,421	0,364	0,308	0,418
13	0,405	0,400	0,400	0,369	0,414
14	0,387	0,372	0,417	0,369	0,418

Beräkning av z-score görs enligt formeln

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

där x är laboratoriets rapporterade värde, \bar{x} är medelvärdet för samtliga laboratorier och s är standardavvikelsen. Det är viktigt att uppenbart felaktiga värden och outliers utesluts innan medelvärde och standardavvikelse beräknas.

Erhållet z-score bedöms enligt följande riktlinjer:

- $|z| \leq 2$ Analysresultatet är tillfredställande
- $2 < |z| \leq 3$ Resultatet är tveksamt – orsaken behöver utredas
- $|z| > 3$ Resultatet är otillfredsställande

Tabell 4 A: *Provningsjämförelse 2009, "Beräkning av rökgasflöden".
Resultat för "Fall 4".*

Lab.	Flöde, torrt m ³ (n)/h	Flöde, vått m ³ (n)/h	NO _x kg/h NO ₂	NO _x mg/MJ	Effekt MW
Ref.	25 064	29 957	9,52	141,8	18,65
1	25 098	30 069	9,57	142,4	18,66
2	15 912	19 049	6,10	96,0	17,70
3	24 473	28 800	9,16	136,6	18,63
4	25 250	30 200	9,61	143,0	18,67
5	25 162	30 123	9,58	143,0	18,62
6	25 380	30 400	9,70	143,0	18,80
7	27 016	32 259	10,30	145,0	19,65
8	23 450	28 300	6,25	94,0	18,40
9	25 020	29 769	9,53	143,0	18,50
10	28 034	33 803	10,80	154,0	22,20
11	25 310	30 283	9,65	143,3	18,70
12	23 362	27 948	8,90	132,4	18,67
13	25 094	30 033	9,58	142,8	18,60
14	18 450	22 350	9,52	178,0	14,81
Medel	24 072	28 813	9,16	138,3	18,62
n	14	14	14	14	14
s	3 192	3 795	1,342	21,13	1,503
max	28 034	33 803	10,80	178,0	22,20
min	15 912	19 049	6,10	94,0	14,81

Tabell 4 B: *Provningsjämförelse 2009, "Beräkning av rökgasflöden".
Beräkning av z-score för "Fall 4".*

Lab.	Flöde, torrt m ³ (n)/h z	Flöde, vått m ³ (n)/h z	NO _x kg/h NO ₂ z	NO _x mg/MJ z	Effekt MW z
Ref.	0,311	0,301	0,268	0,165	0,023
1	0,321	0,331	0,302	0,192	0,032
2	2,557	2,573	2,281	2,002	0,609
3	0,126	0,003	0,001	0,080	0,010
4	0,369	0,365	0,335	0,220	0,037
5	0,341	0,345	0,313	0,222	0,003
6	0,410	0,418	0,402	0,222	0,123
7	0,922	0,908	0,849	0,316	0,689
8	0,195	0,135	2,169	2,097	0,143
9	0,297	0,252	0,276	0,222	0,077
10	1,241	1,315	1,222	0,742	2,386
11	0,388	0,387	0,363	0,234	0,055
12	0,223	0,228	0,194	0,280	0,037
13	0,320	0,321	0,313	0,212	0,010
14	1,762	1,703	0,268	1,878	2,533

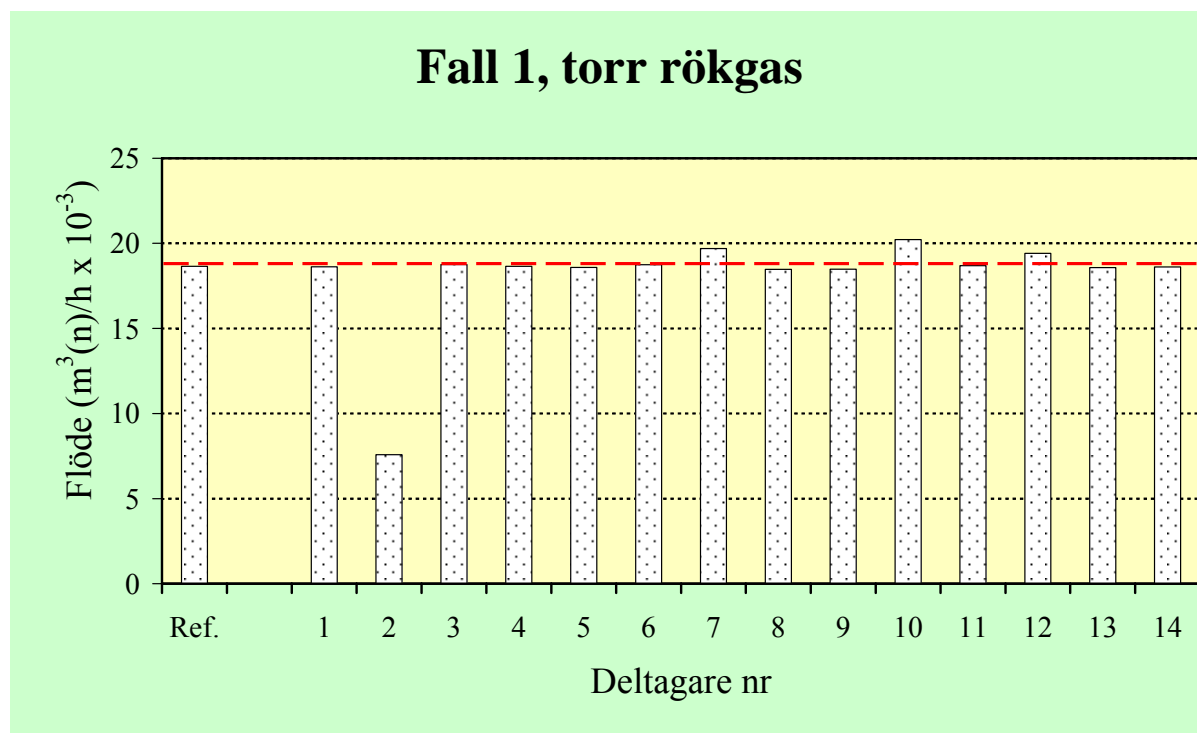
Beräkning av z-score görs enligt formeln

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

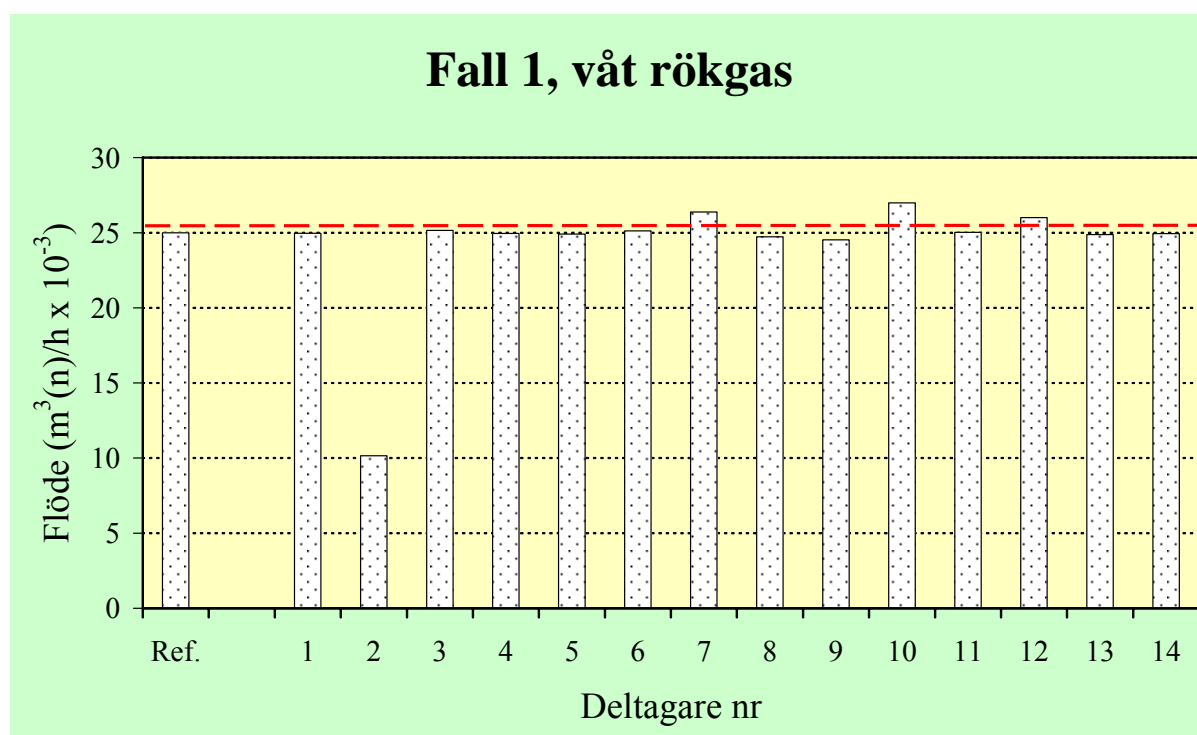
där x är laboratoriets rapporterade värde, \bar{x} är medelvärdet för samtliga laboratorier och s är standardavvikelsen. Det är viktigt att uppenbart felaktiga värden och outliers utesluts innan medelvärde och standardavvikelse beräknas.

Erhållet z-score bedöms enligt följande riktlinjer:

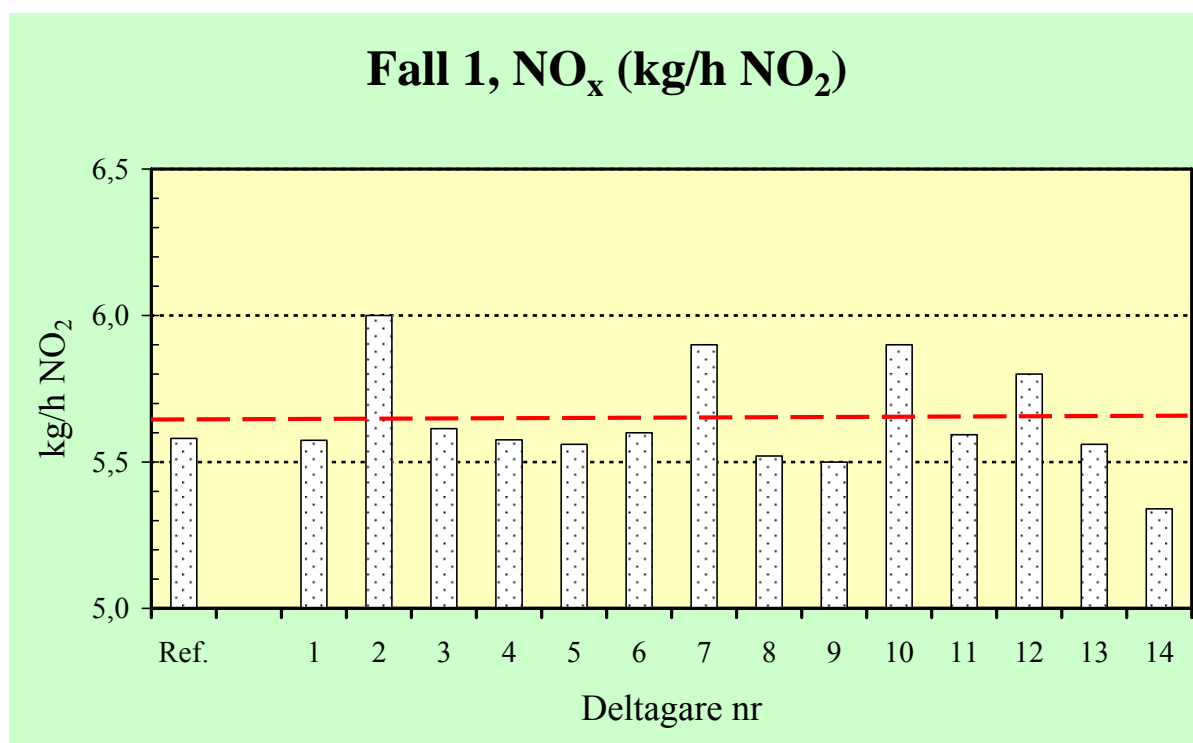
- |z| ≤ 2 Analysresultatet är tillfredställande
- 2 < |z| ≤ 3 Resultatet är tveksamt – orsaken behöver utredas
- |z| > 3 Resultatet är otillfredsställande



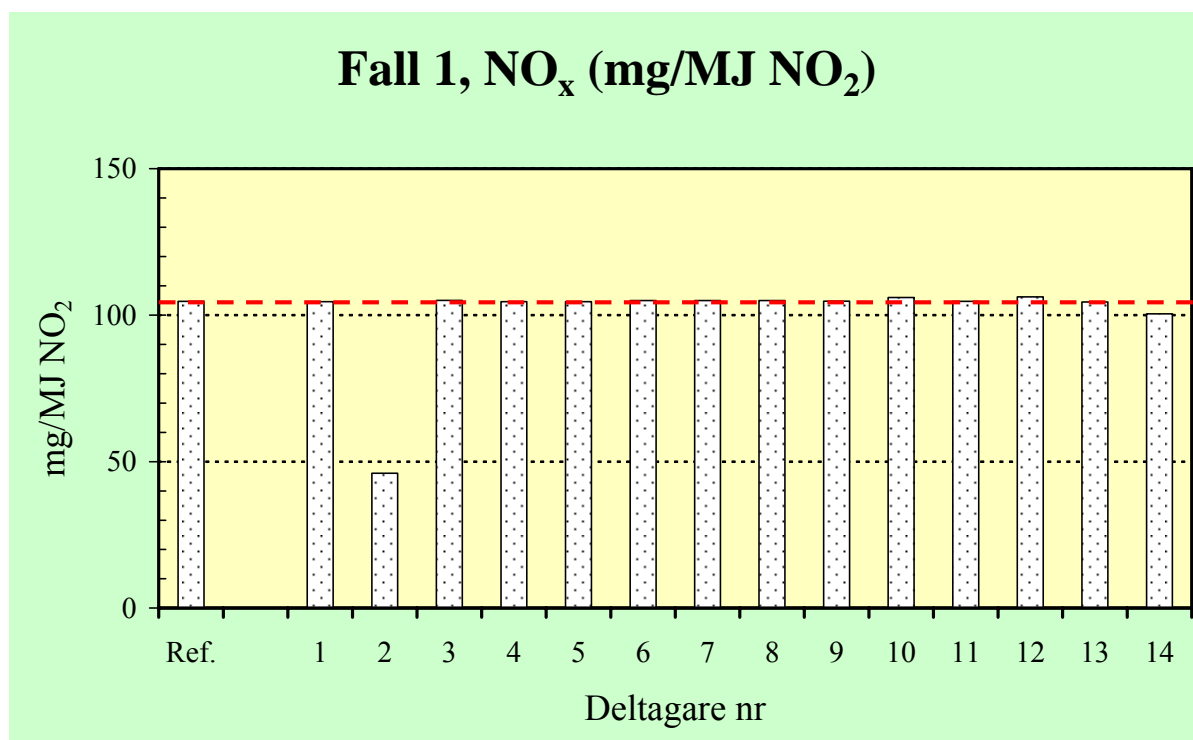
Figur 1. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 1, torrt rökgasflöde. Medelvärde för alla deltagare utom 2 markeras med prickad linje.



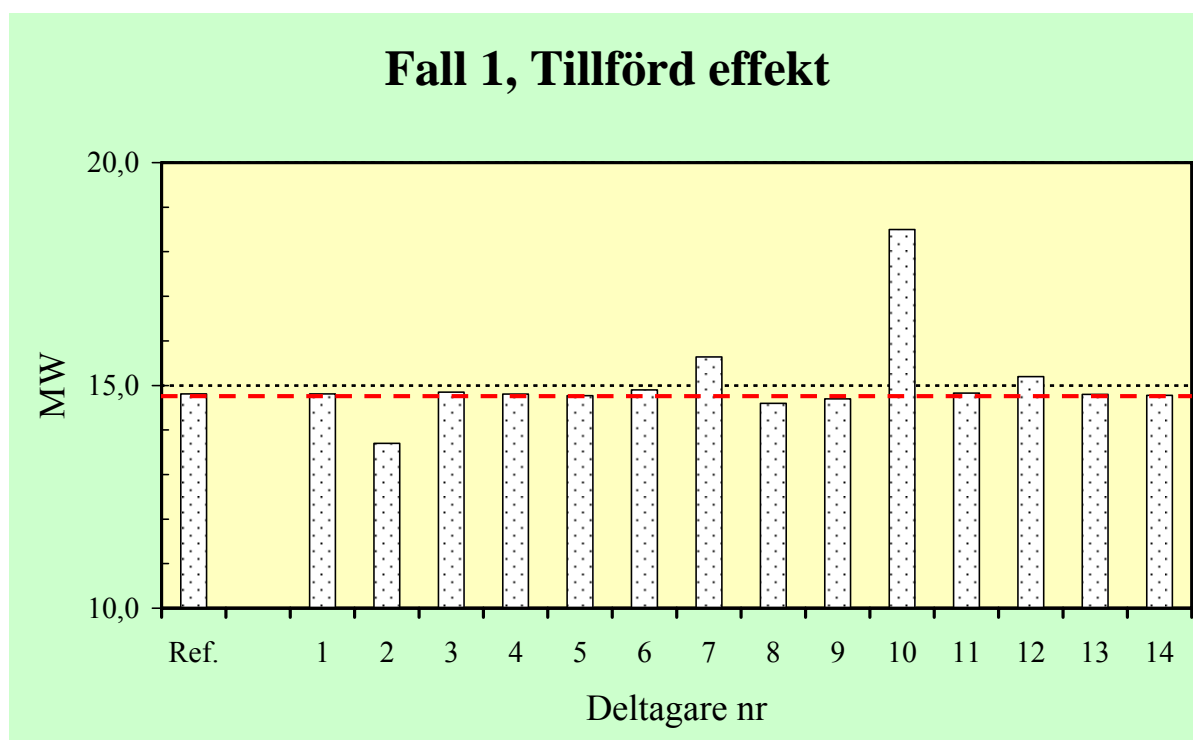
Figur 2. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 1, vått rökgasflöde. Medelvärde för alla deltagare utom 2 markeras med prickad linje.



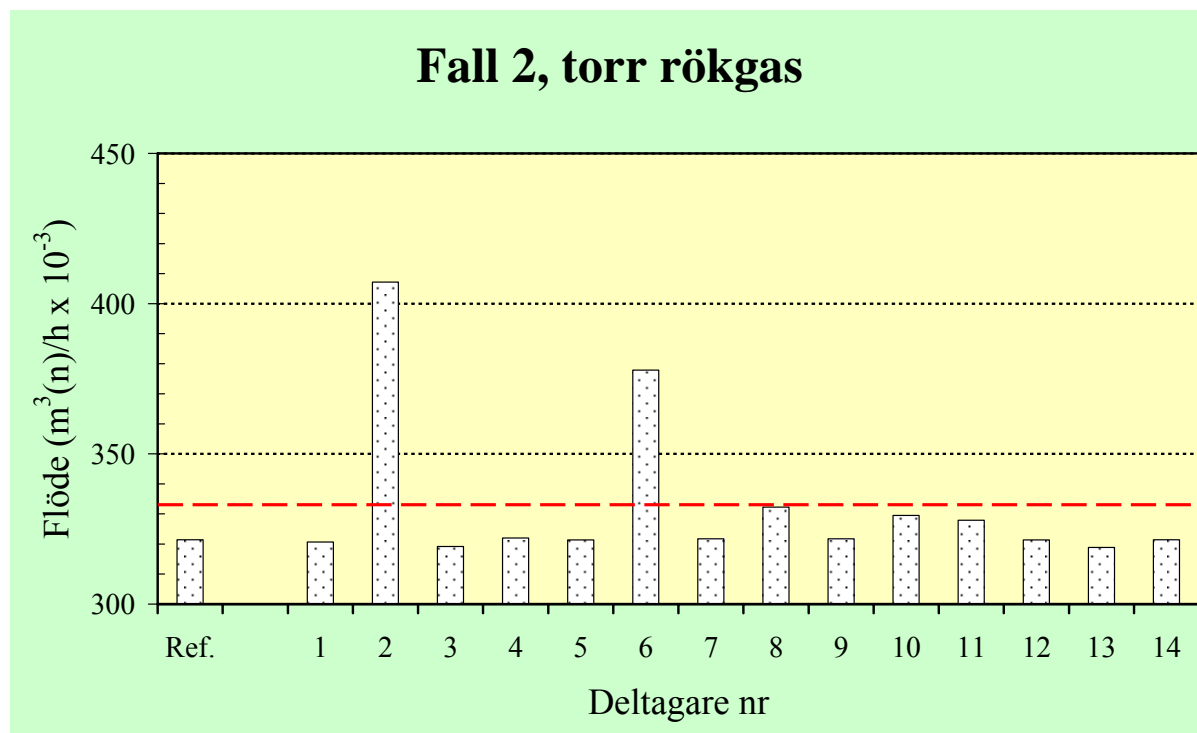
Figur 3. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 1, NO_x (kg/h; som NO₂). Medelvärdet för samtliga deltagare markeras med prickad linje.



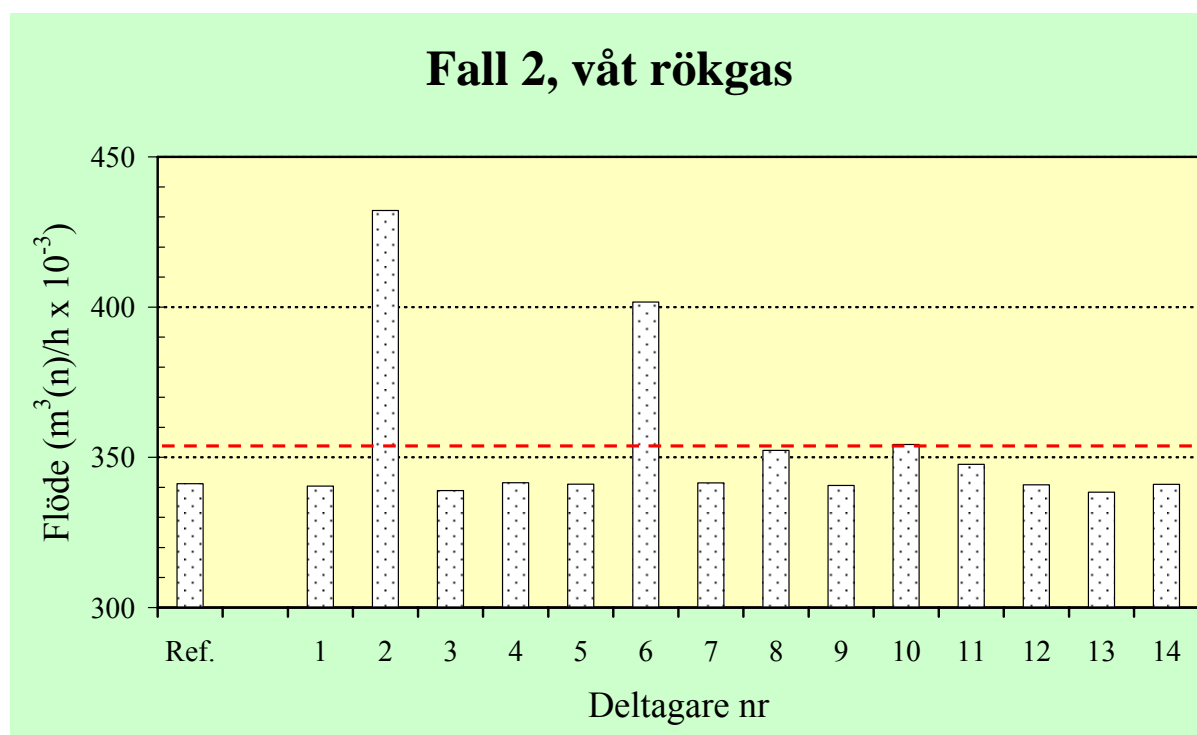
Figur 4. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 1, specifika NO_x-utsläppet. Medelvärdet för alla deltagare utom 2 markeras med prickad linje.



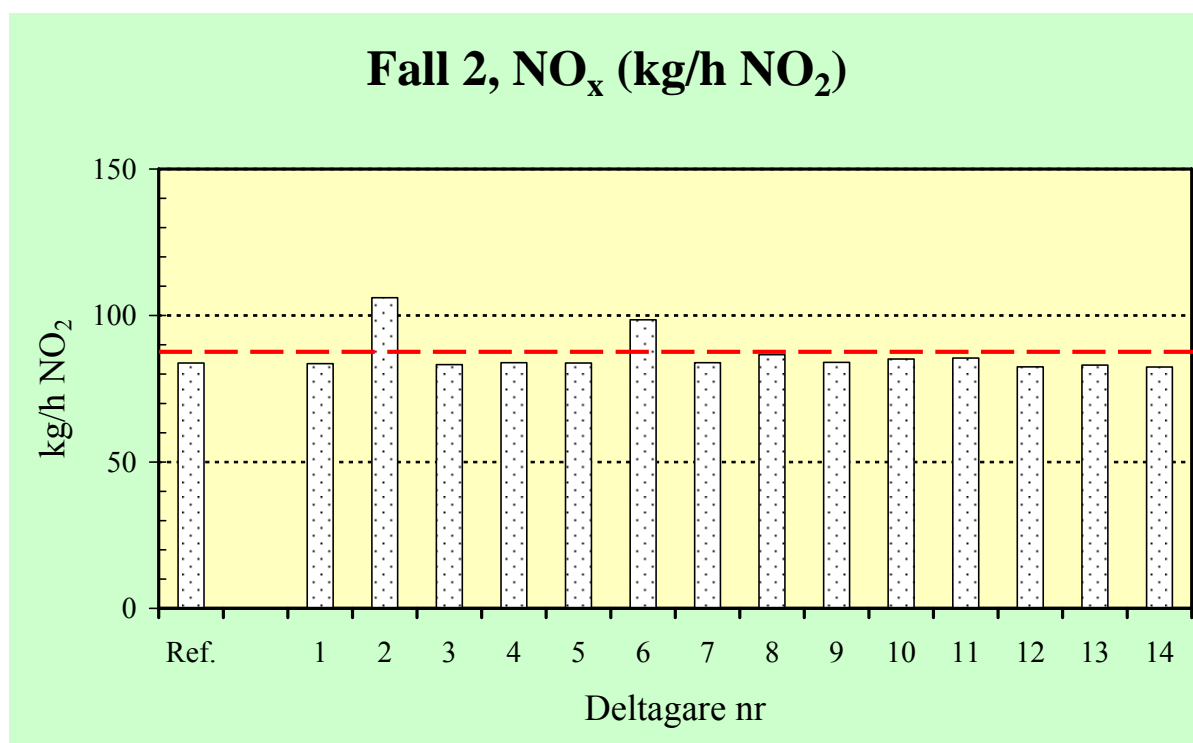
Figur 5. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 1, tillförd effekt (MW). Medelvärde för alla deltagare utom 10 markeras med prickad linje.



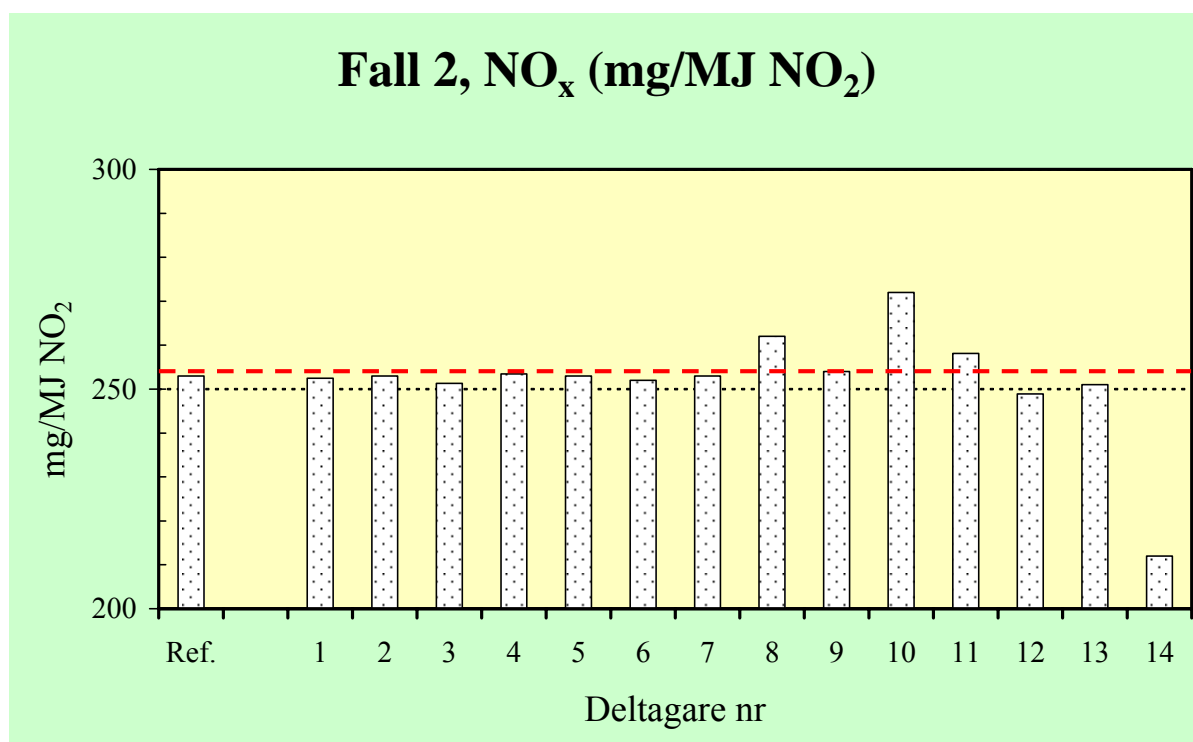
Figur 6. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 2, torr rökgasflöde. Medelvärdet för samtliga deltagare markeras med prickad linje.



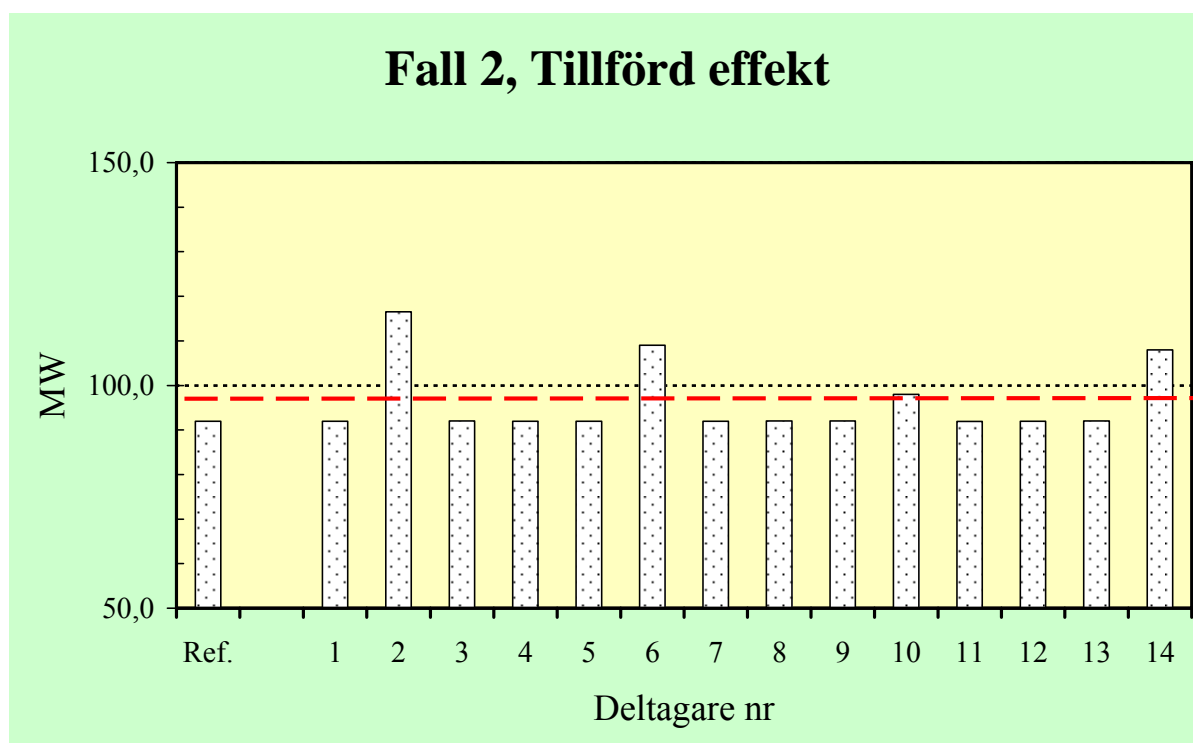
Figur 7. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 2, vått rökgasflöde. Medelvärdet för samtliga deltagare markeras med prickad linje.



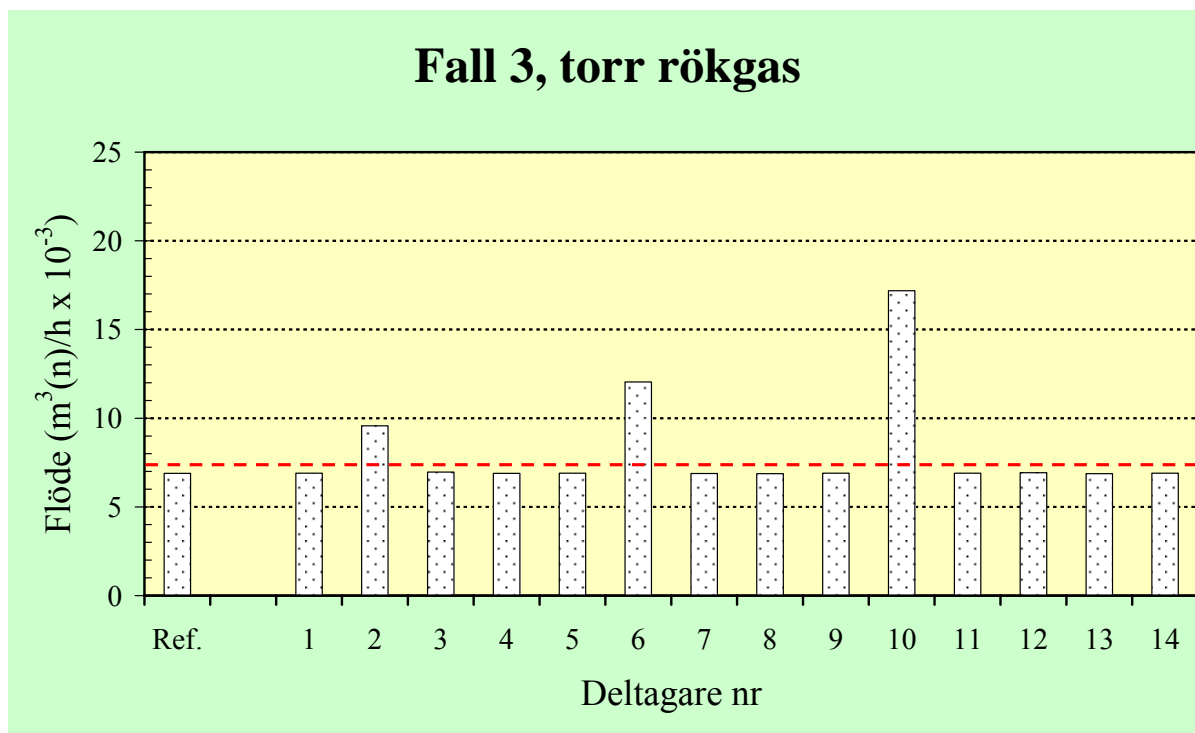
Figur 8. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 2, NO_x (kg/h; som NO₂). Medelvärde för samtliga deltagare markeras med prickad linje



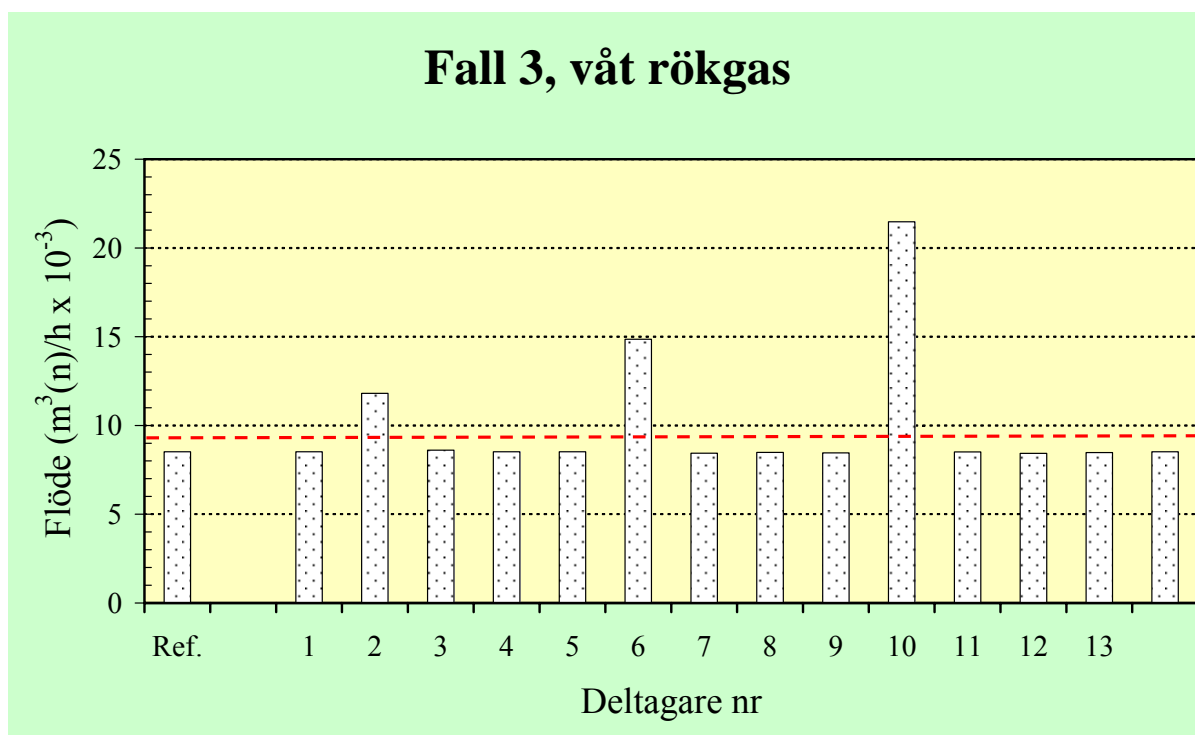
Figur 9. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 2, specifika NO_x-utsläppet. Medelvärde för alla deltagare utom 14 markeras med prickad linje.



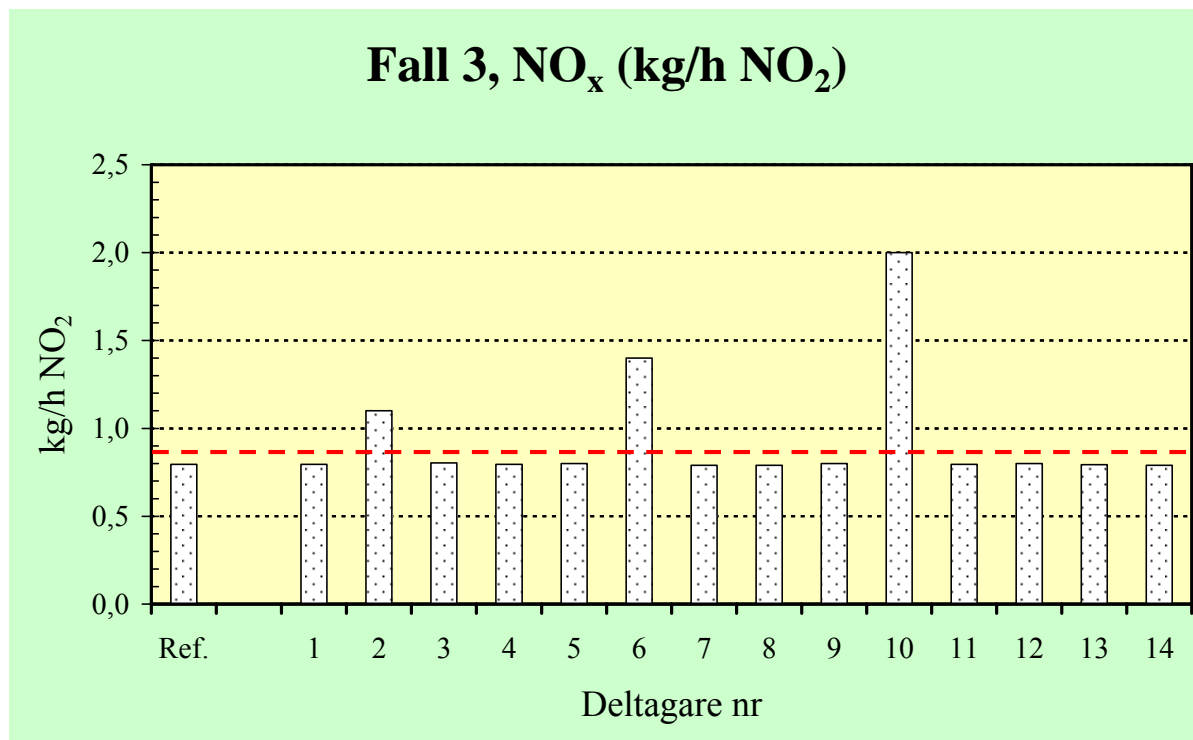
Figur 10. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009.
Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 2, tillförd effekt (MW).
Medelvärde för samtliga deltagare markeras med prickad linje.



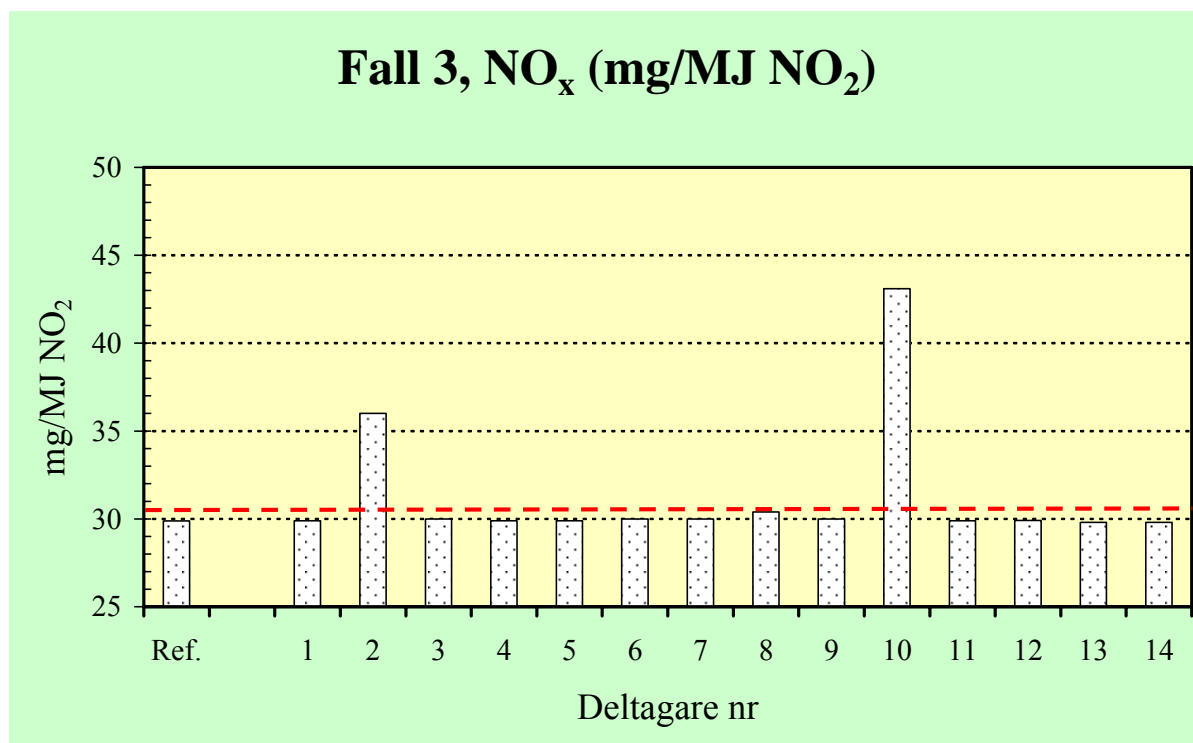
Figur 11. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 3, torrt rökgasflöde. Medelvärde för alla deltagare utom 10 markeras med prickad linje.



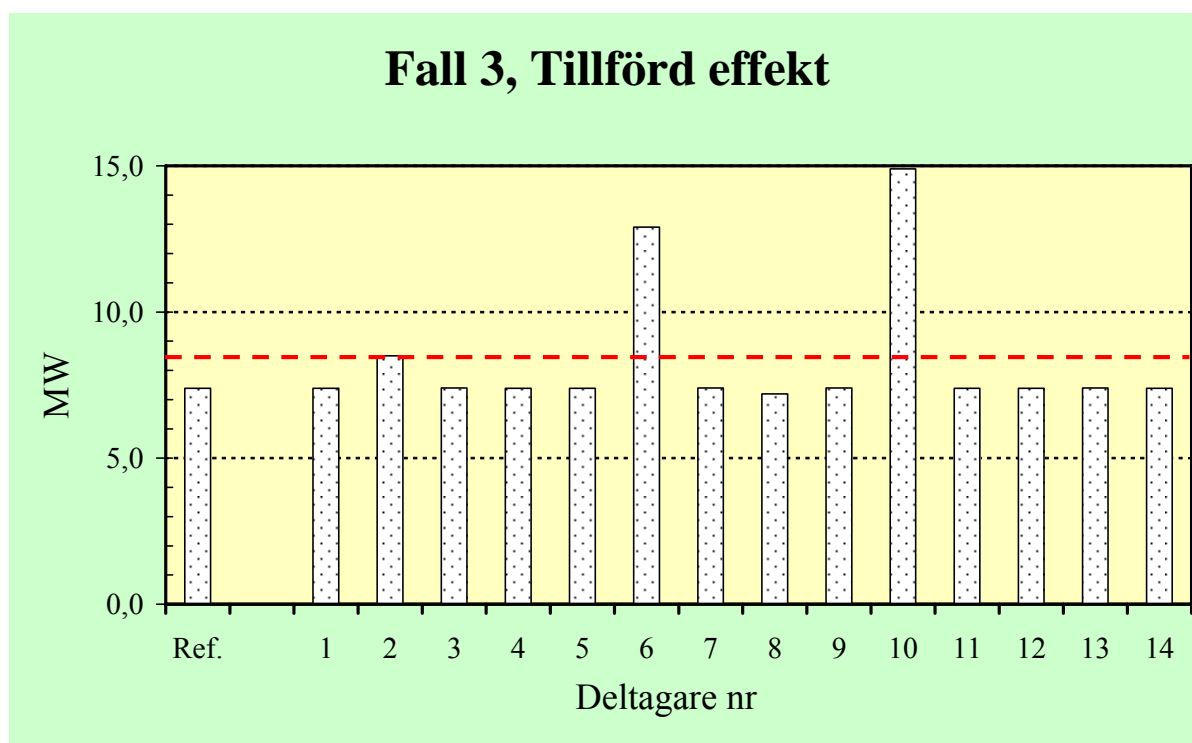
Figur 12. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 3, vått rökgasflöde. Medelvärde för alla deltagare utom 10 markeras med prickad linje.



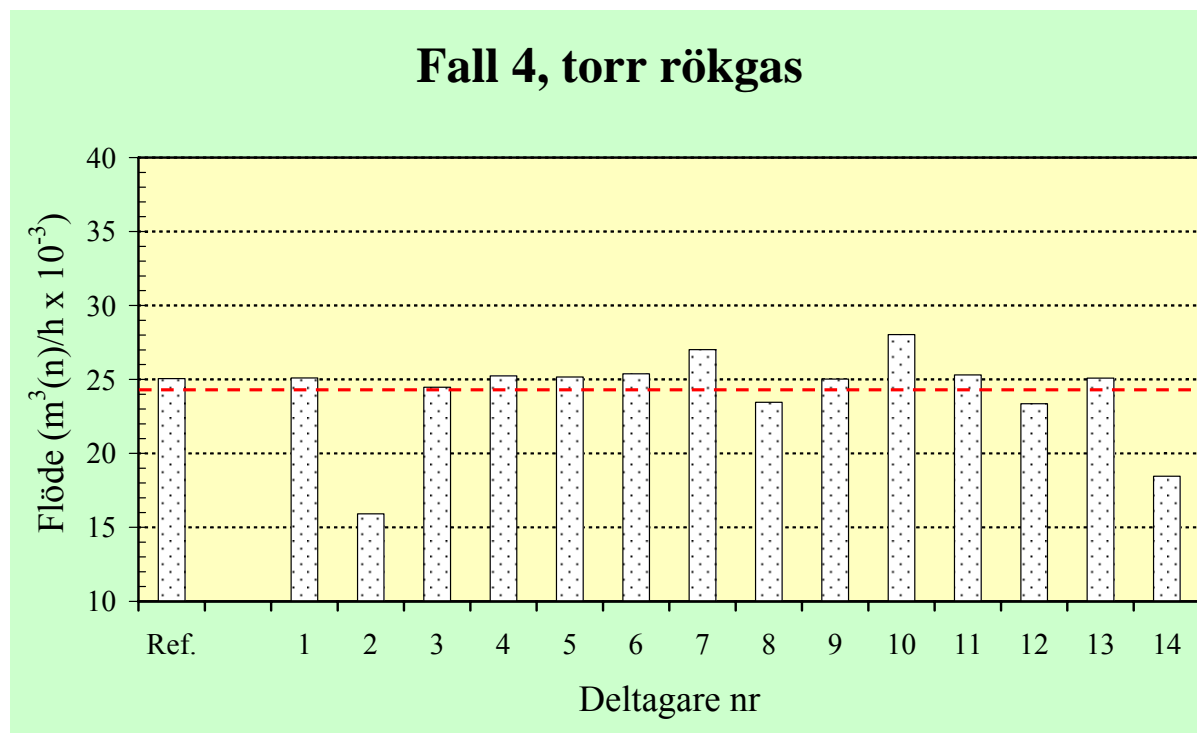
Figur 13. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 3, NO_x (kg/h; som NO₂). Medelvärde för alla deltagare utom 10 markeras med prickad linje.



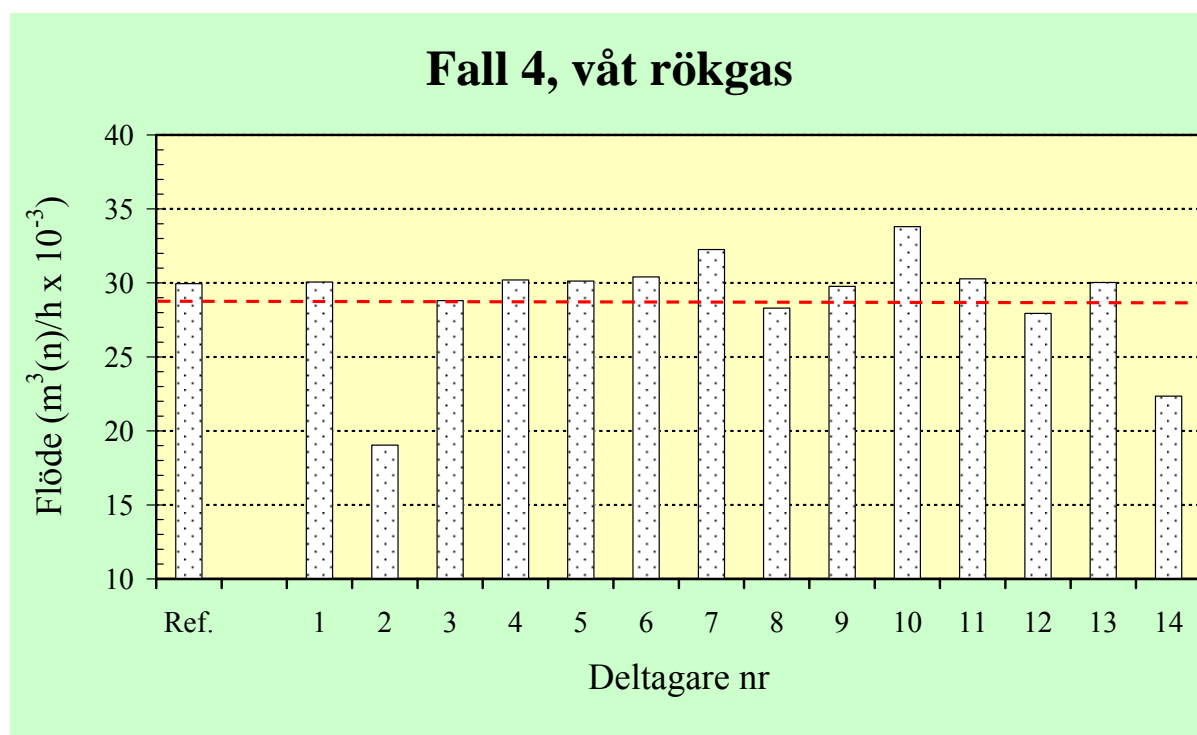
Figur 14. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 3, specifika NO_x-utsläppet. Medelvärde för alla deltagare utom 10 markeras med prickad linje.



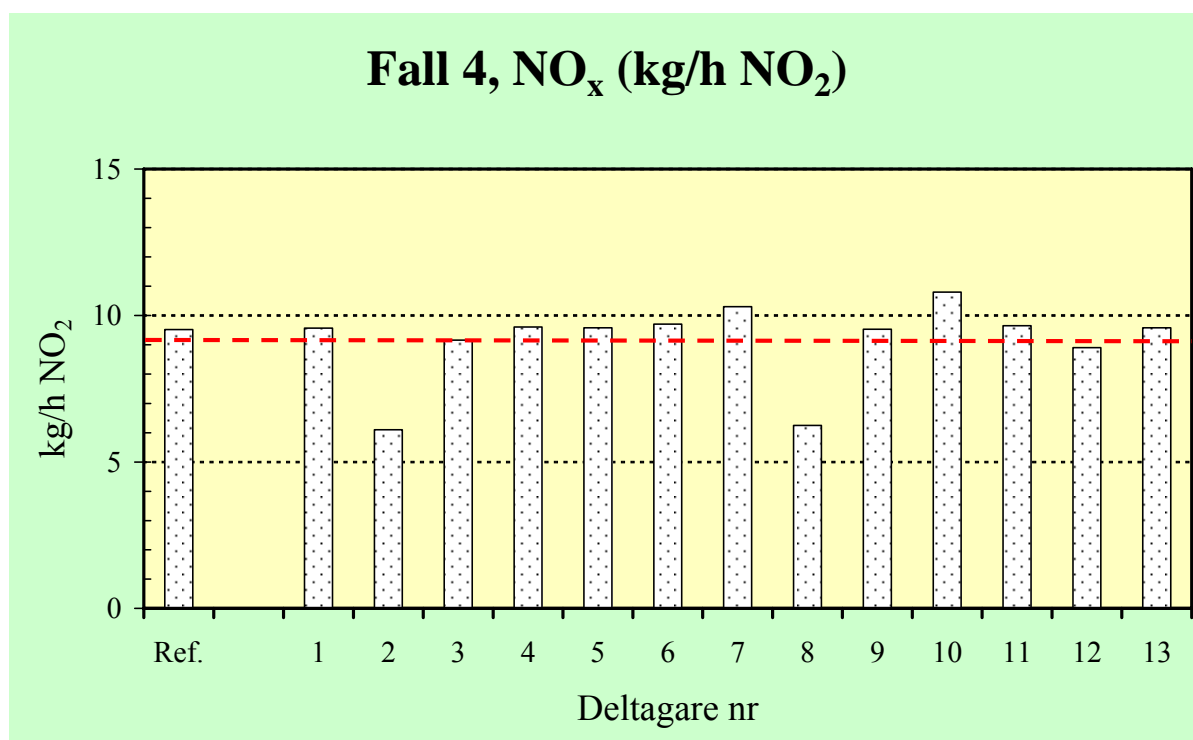
Figur 15. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009.
Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 3, tillförd effekt (MW).
Medelvärdet för samtliga deltagare markeras med prickad linje.



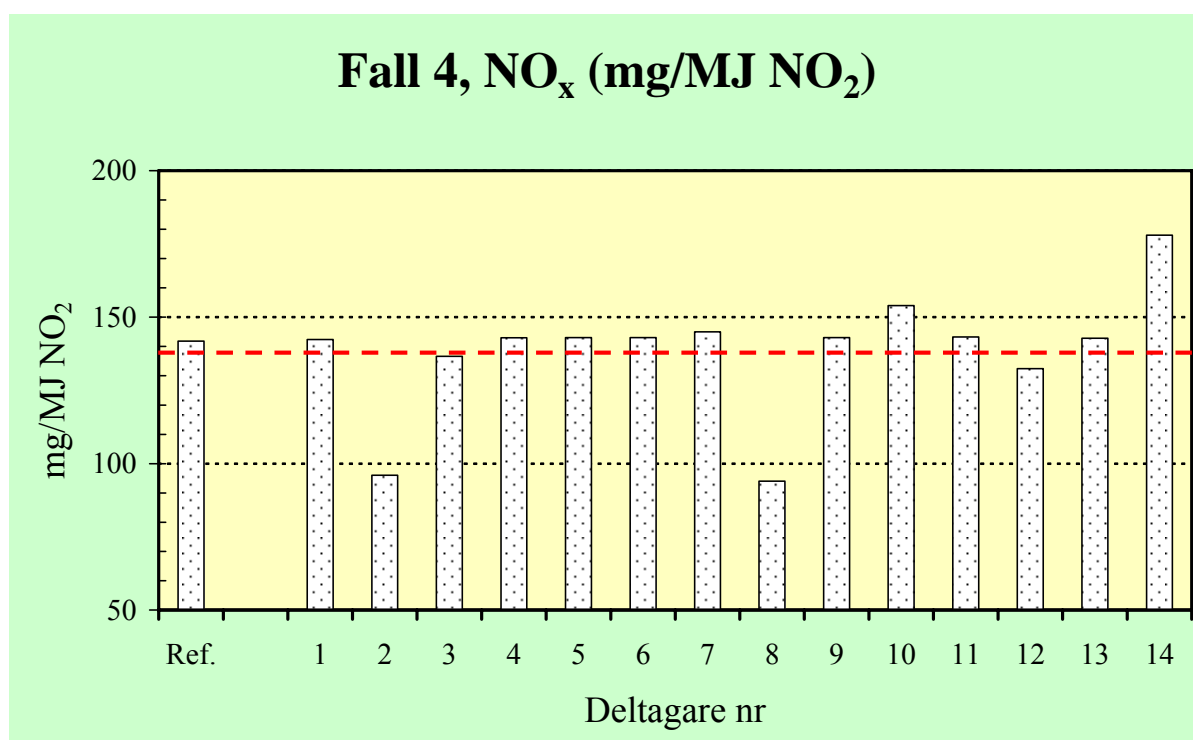
Figur 16. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 4, torr rökgasflöde. Medelvärde för samtliga deltagare markeras med prickad linje.



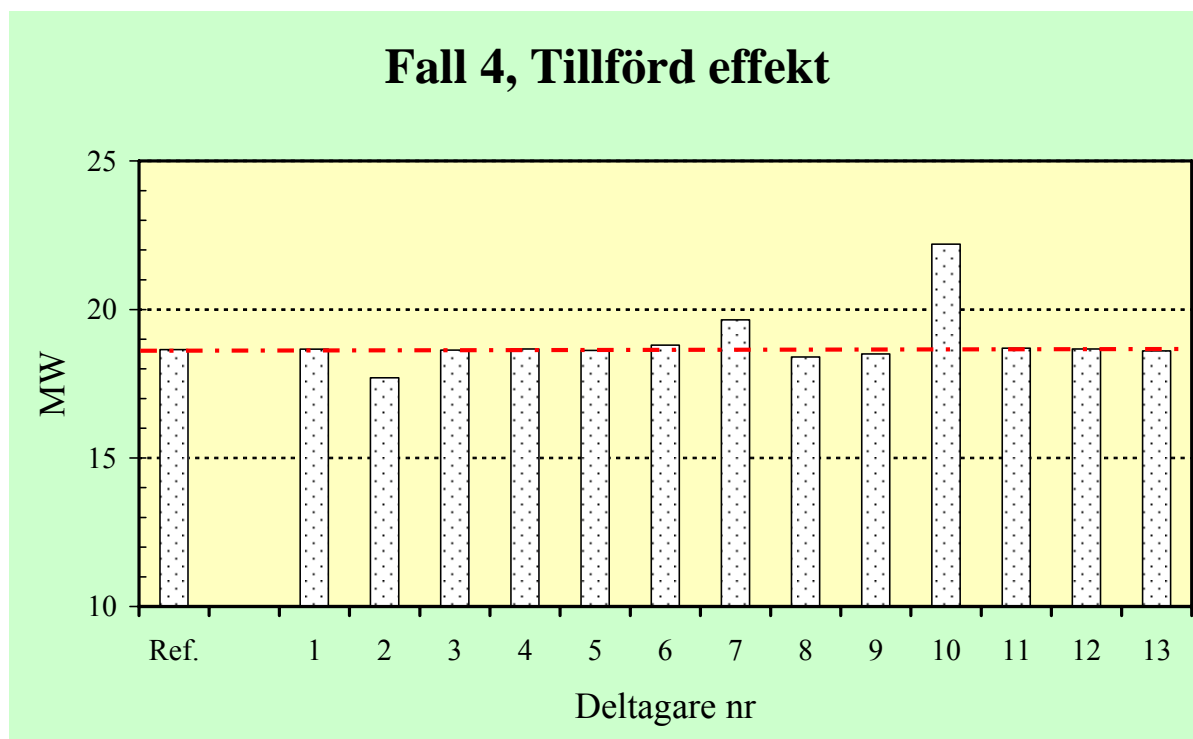
Figur 17. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 4, vått rökgasflöde. Medelvärde för samtliga deltagare markeras med prickad linje.



Figur 18. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 4, NO_x (kg/h; som NO₂). Medelvärde för samtliga deltagare markeras med prickad linje.



Figur 19. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 4, specifika NO_x-utsläppet. Medelvärde för samtliga deltagare markeras med prickad linje.



Figur 20. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2009. Resultat från de deltagande laboratorierna för fall 4, tillförd effekt (MW). Medelvärde för samtliga deltagare markeras med prickad linje.