



**Beräkning av rökgasflöde**  
Provningsjämförelse 2000

Gunnar Nyquist

Institutet för tillämpad miljöforskning

Institute of Applied Environmental Research

# *ITM rapport 85*

## **Beräkning av rökgasflöde**

Provningsjämförelse 2000

Gunnar Nyquist

## Förord

Enligt Naturvårdsverkets allmänna råd 98:1 (Kväveoxider från förbränning) 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. Någon jämförelse mellan beräknade rökgasflöden har inte gjorts. Därför valde Naturvårdsverket att i februari 2000 initiera en jämförelse mellan de ackrediterade laboratorier, instrumentleverantörer och konsulter som utför kontroller eller levererar beräkningsprogram.

Till deltagarna i provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöde" sände Naturvårdsverket fyra stycken beräkningsfall och uppgiften för deltagarna var att beräkna rökgasflöden, utsläpp av  $\text{NO}_x$  och S samt bränsleeffekt. Vid beräkningen skulle de formler användas som normalt användes i den egna verksamheten. Provningsjämförelsen skedde i samarbete med Swedac.

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

Antalet deltagare i provningsjämförelsen var totalt 22 stycken, därav samtliga laboratorier som är ackrediterade för beräkning av rökgasflöde.

Stockholm i oktober 2000.

## Innehåll

	Sid.
1. Bakgrund	4
2. Beräkningsuppgifter	5
Fall 1	5
Fall 2	10
Fall 3	15
Fall 4	20
3. Deltagande laboratorier	27
4. Resultat	27
5. Referenser	28
Bilaga 1: Förteckning över deltagande laboratorier	29
Bilaga 2: Redovisade resultat, tabell 1 - 4	30
Bilaga 3: Figurer, Fall 1	34
Bilaga 4: Figurer, Fall 2	37
Bilaga 5: Figurer, Fall 3	41
Bilaga 6: Figurer, Fall 4	44

## 1. BAKGRUND

1991 trädde Naturvårdsverkets föreskrifter SNFS 1991:5 och 1991:4 (NO<sub>x</sub>-avgifter; miljökontroll av NO<sub>x</sub> och SO<sub>x</sub>) i kraft och därmed infördes krav på obligatorisk årlig kontroll av alla berörda förbränningsanläggningars mätsystem av "sakkunnig och oberoende besiktningsman". I de efterföljande utgåvorna (senaste SNFS 1996:9 och SNFS 1996:10) har termen "sakkunnig och oberoende besiktningsman" bytts ut mot "ackrediterat laboratorium". Krav på ackreditering började gälla 1 januari 1993 och omfattar mätutrustning för NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> samt rökgasflöde.

SWEDAC (Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll) ackrediterade de första luftlaboratorierna under hösten 1992. I en ackreditering ingår att regelbundet delta i erforderliga provningsjämförelser. Hittills har genomförts provningsjämförelser för gasanalyser (se ref. 1 - 7) samt en provningsjämförelse för bestämning av rökgashastighet genom pitotrörmätning (ref 8).

Enligt Naturvårdsverkets allmänna råd 98:1 (Kväveoxider från förbränning) 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. Någon jämförelse mellan resultat från rökgasflödesberäkningar har tidigare inte gjorts. Därför valde Naturvårdsverket att i februari 2000 initiera en jämförelse mellan de ackrediterade laboratorier, instrumentleverantörer och konsulter som utför kontroller eller levererar beräkningsprogram.

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

- rökgasflödet i m<sup>3</sup>(n)/h (vått och torrt),
- NO<sub>x</sub>-utsläpp i kg/h (som NO<sub>2</sub>),
- svavelutsläpp i kg/h (som S),
- specifika utsläppen i mg/MJ tillförd bränsleeffekt (gäller både NO<sub>x</sub> och svavel),
- tillförd bränsleeffekt.

Vid beräkningen skulle de formler användas som normalt används i den egna verksamheten. Provningsjämförelsen skedde i samarbete med Swedac.

Luftlaboratoriet vid ITM (Institutet för Tillämpad Miljöforskning, 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 enligt AR 98:1 kan utföras. 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 formlerna i de allmänna råden AR 98:1. 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 skall vara.

### 2.1 Fall 1

Förutsättningar:

Fastbränsleeldad rostpanna med en nominell effekt om 20 MW. Bränslet består av grot, spån och bark. Pannan producerar hetvatten för fjärrvärmenätet.

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

#### *Driftsdata fall 1.*

Storhet	Enhet	Värde
Panneffekt	MW	15,0
Strålningsförlust	MW	0,1
Rökgastemperatur	°C	130
Förbränningsluftens temperatur	°C	25
Förbränningsluftens relativa fuktighet	%	80
Andel NO <sub>2</sub> av NO <sub>x</sub>	%	2,2
C <sub>p</sub> för rökgasen	kJ/(m <sup>3</sup> (n) · °C)	1,3
O <sub>2</sub> -halt	vol-% (torr gas)	6,9
NO-halt	ppm (torr gas)	44
SO <sub>2</sub> -halt	ppm (torr gas)	0

**Bränsledata fall 1.**

Storhet	Enhet	Värde
Värmevärde	MJ/kg	8,5
Fukt	vikts-%	47,7
Kol	vikts-% TS	49,5
Väte	vikts-% TS	5,9
Syre	vikts-% TS	43,5
Kväve	vikts-% TS	0,1
Svavel	vikts-% TS	0
Aska	vikts-% TS	1,0

**Exempel på beräkning enligt NV AR 98:1**

Bränsle			mol per kg bränsle				
Elementaranalys		Molvikt	Syre- behov	Rökgaser			
Ämne	Vikts-%		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
	Torr	Våt					
C	49,5	25,9	12,01	21,56	21,56		
H	5,9	3,09	2 · 1,008	7,65		15,31	
O	43,5	22,8	2 · 16,00	-7,11			
N	0,1	0,05	2 · 14,005				0,02
S	0,0	0,00	32,06				
Fukt		47,7	18,016			26,48	
Aska	1,0	0,52					
Summa moler/kg bränsle =			22,10	21,56	41,78	0,00	0,02
N <sub>2</sub> i förbränningsluften = 3,77 · ΣO <sub>2</sub>							83,31

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning:

$$l_{ot} = (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (22,10 + 83,31) \cdot 0,02241 = 2,362 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Luftbehov, fuktig luft vid stökiometrisk förbränning:

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

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

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

$$l_o = l_{ot} \cdot 1,026 = 2,424 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$g_{ot} = (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 = (21,56 + 0 + 83,33) \cdot 0,02241 = 2,351 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bränsle:

$$g_o = g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(\text{fukt}) \cdot 22,41/1000 = 2,351 + 2,424 - 2,362 + 41,78 \cdot 0,02241 = 3,348 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg bränsle:

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

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

$$m = 1,0 + 2,351/2,362 \cdot (6,9 / (20,95 - 6,9)) = 1,49$$

$$g_t = 2,351 + 2,362 \cdot (1,49 - 1,0) = 3,505 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$



Verklig mängd våt rökgas per kg bränsle:

$$\begin{aligned} g &= g_o + l_o (m - 1,0) = 3,348 + 2,424 \cdot (1,49 - 1,0) = \\ &= 4,533 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

Tillförd effekt,  $P_b$  (MW), beräknas enligt

$$\begin{aligned} P_b &= (P_{\text{nytt}} + P_{\text{strål}} + P_{\text{aska}})/(1 - g \cdot C_p (T_{\text{rök}} - 25)/H_{\text{eff}}) = \\ &= (15 + 0,1 + 0)/(1 - 4,533 \cdot 1,3 (130 - 25)/8,5 \cdot 0,001) = 16,29 \end{aligned}$$

MW

Bränsleflödet,  $q_b$  (kg/s), beräknas enligt

$$q_b = P_b / H_{\text{eff}} \cdot 3\,600 = 16,29 / 8,5 \cdot 3\,600 = 6\,897 \text{ kg/h}$$

Torrt rökgasflöde =  $q_b \cdot g_t = 6\,897 \cdot 3,505 = 24\,175 \text{ m}^3 (\text{n tg}) / \text{h}$

Vått rökgasflöde =  $q_b \cdot g = 6\,897 \cdot 4,533 = 31\,263 \text{ m}^3 (\text{n tg}) / \text{h}$

$\text{NO}_x$ -utsläpp (kg/h; som  $\text{NO}_2$ ): ( $g_t = 24\,175 \text{ m}^3/\text{h}$ )

$$\text{NO}_x = \text{NO} / (1 - \text{NO}_2/100) \cdot 2,05 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = 2,23 \text{ kg/h (som NO}_2\text{)}$$

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

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}_x (\text{kg/h}) \cdot 10^6 / (P_b \cdot 3\,600) = 2,23 \cdot 10^6 / (16,29 \cdot 3\,600) = \\ &= 38,0 \text{ mg/MJ (som NO}_2\text{)} \end{aligned}$$

Några laboratorier påpekade att det givna värdet på  $C_p$  är för lågt. Enligt DIN 1942 (1979) kan den specifika värmekapaciteten  $C_{pm}$  (kJ/(kg · °C)) beräknas för temperaturer (t) mellan 0 och 400 °C enligt

$$C_{pm} = 1,00366 + 1,81538 \cdot 10^{-5} \cdot t + 1,11509 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 + \\ + (0,86883 + 1,43897 \cdot 10^{-5} \cdot t + 2,87479 \cdot 10^{-7} \cdot t^2) \cdot x_{(H_2O)} - \\ - (0,09909 - 4,31904 \cdot 10^{-4} \cdot t + 3,64433 \cdot 10^{-7} \cdot t^2) \cdot x_{(CO_2)}$$

$$x_{(H_2O)} = ((g - g_i) / g) = 0,227$$

$$x_{(CO_2)} = \Sigma(CO_2) \cdot 22,4 \cdot 0,001 / g = 0,107$$

$$t = 130 \text{ °C}$$

Då blir  $C_{pm} = 1,201$  kJ/(kg · °C). För att räkna om till  $C_p$  (kJ/(m<sup>3</sup> (n) · °C)) skall man dividera med rökgasens densitet,  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>).

$$\rho = (p_k \cdot M) / (R \cdot T_k) = 0,838 \text{ kg/m}^3$$

$$p_k = \text{trycket i kanalen} = 101,3 \text{ kPa vid normaltillståndet}$$

$$R = \text{gaskonstant} = 8,3143 \text{ J/(grad} \cdot \text{mol)}$$

$$T_k = \text{temperaturen i kanalen} = 273 + 130 = 303 \text{ K}$$

$$M = \text{molvikten för gasblandningen} = \Sigma(x_i \cdot M_i) = 27,71 \text{ kg/kmol}$$

$$C_p = 1,201 / 0,838 = 1,43 \text{ kJ/(m}^3 \text{ n} \cdot \text{°C)}$$

## 2.2 Fall 2

Förutsättningar:

Oljeeldad panna med en nominell effekt om 50 MW. Bränslet består av Eo 5. Pannan producerar ånga till process.

Bränsleflödet mäts. Rökgaserna analyseras i ett *in situ* mätsystem.

### *Driftsdata fall 2.*

Storhet	Enhet	Värde
Oljeflöde	kg/s	0,96
Förbränningsluftens temperatur	°C	25
Förbränningsluftens relativa fuktighet	%	80
Andel NO <sub>2</sub> av NO <sub>x</sub>	%	3,5
O <sub>2</sub> -halt	vol-% (våt gas)	2,6
NO-halt	ppm (våt gas)	185
SO <sub>2</sub> -halt	ppm (våt gas)	145

**Bränsledata fall 2.**

Storhet	Enhet	Värde
Värmevärde	MJ/kg	41,6
Fukt	vikts-%	0
Kol	vikts-% TS	86,7
Väte	vikts-% TS	12,1
Syre	vikts-% TS	0,5
Kväve	vikts-% TS	0,2
Svavel	vikts-% TS	0,5
Aska	vikts-% TS	0

**Exempel på beräkning enligt NV AR 98:1**

Bränsle			mol per kg bränsle				
Elementaranalys		Molvikt	Syre- behov	Rökgaser			
Ämne	Vikts-%		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
	Torr	Våt					
C	86,7		12,01	72,19	72,19		
H	12,1		2 · 1,008	30,01		60,02	
O	0,5		2 · 16,00	-0,16			
N	0,2		2 · 14,005				0,07
S	0,5		32,06	0,16		0,16	
Fukt	0,0		18,016				
Aska	0,0						
Summa moler/kg bränsle =			102,20	72,19	60,02	0,16	0,07
N <sub>2</sub> i förbränningsluften = 3,77 · ΣO <sub>2</sub>							385,29

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning:

$$l_{ot} = (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (102,20 + 385,29) \cdot 0,02241 = 10,925 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Luftbehov, fuktig luft vid stökiometrisk förbränning:

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

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

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

$$l_o = l_{ot} \cdot 1,026 = 11,208 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$g_{ot} = (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 = (72,19 + 0,16 + 385,36) \cdot 0,02241 = 10,257 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bränsle:

$$g_o = g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(\text{fukt}) \cdot 22,41/1000 = 10,257 + 11,208 - 10,925 + 60,02 \cdot 0,02241 = 11,886 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Beräkning av fukthalten i rökgaserna:

Sätt luftöverskottet per  $\text{m}^3 = x$ . Teoretisk  $O_2$ -halt, torr luft = 20,95 %; uppmätt  $O_2$ -halt i den våta rökgasen är 2,6 %. Då fås

$$x \cdot 0,2095 = (1 + x) \cdot 0,026$$

$$x = 0,1417$$

Totalt överskott =  $g_o \cdot x = 1,684 \text{ m}^3$  (fukthalt i förbränningsluften = 2,6 %, se beräkning av  $l_o$ )

$$\text{Total volym} = g_o + 1,684 = 13,570 \text{ m}^3$$

$$\text{Fukthalt (vol-\% H}_2\text{O)} = (((g_o - g_{ot}) + 1,684 \cdot 0,026) / 13,570) \cdot 100 = 12,3 \%$$

O<sub>2</sub>-halt i torr rökgas = 2,97 %

Verklig mängd torr rökgas per kg bränsle:

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

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

$$m = 1,0 + 10,257/10,925 \cdot (2,97 / (20,95 - 2,97)) = 1,15$$

$$g_t = 10,257 + 10,925 \cdot (1,15 - 1,0) = 11,949 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg bränsle:

$$\begin{aligned} g &= g_o + l_o (m - 1,0) = 11,886 + 11,208 \cdot (1,15 - 1,0) = \\ &= 13,621 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

Tillförd effekt, P<sub>b</sub> (MW), beräknas enligt

$$P_b = \text{oljaflöde} \cdot H_{\text{eff}} = 0,96 \cdot 41,6 = 39,94 \text{ MW}$$

Bränsleflödet, q<sub>b</sub> (kg/s), beräknas enligt

$$q_b = P_b / H_{\text{eff}} \cdot 3600 = 39,94 / 41,6 \cdot 3600 = 3456 \text{ kg/h}$$

$$\text{Torrt rökgasflöde} = q_b \cdot g_t = 3456 \cdot 11,949 = 41294 \text{ m}^3(\text{n tg}) / \text{h}$$

$$\text{Vått rökgasflöde} = q_b \cdot g = 3456 \cdot 13,621 = 47075 \text{ m}^3(\text{n tg}) / \text{h}$$

NO<sub>x</sub>-utsläpp (kg/h; som NO<sub>2</sub>): (NO-halt i torr gas = 211 ppm; g<sub>t</sub> = 41294 m<sup>3</sup>/h)

$$\text{NO}_x = \text{NO} / (1 - \text{NO}_2/100) \cdot 2,05 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = 18,51 \text{ kg/h (som NO}_2\text{)}$$

NO<sub>x</sub>-utsläpp (mg/MJ; som NO<sub>2</sub>):

$$\begin{aligned}\text{NO}_x &= \text{NO}_x \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (\text{P}_b \cdot 3\,600) = 18,51 \cdot 10^6 / (39,94 \cdot 3\,600) = \\ &= 128,7 \text{ mg/MJ (som NO}_2\text{)}\end{aligned}$$

SO<sub>2</sub>-utsläpp (kg/h; som S): (SO<sub>2</sub>-halt i torr gas = 165 ppm; g<sub>t</sub> = 41 294 m<sup>3</sup>/h)

$$\text{SO}_2 = \text{SO}_2 \cdot 2,94 \cdot 64/32 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = 10,04 \text{ kg/h (som S)}$$

SO<sub>2</sub>-utsläpp (mg/MJ; som S):

$$\begin{aligned}\text{SO}_2 &= \text{SO}_2 \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (\text{P}_b \cdot 3\,600) = 10,04 \cdot 10^6 / (39,94 \cdot 3\,600) = \\ &= 69,8 \text{ mg/MJ (som S)}\end{aligned}$$

## 2.3 Fall 3

Förutsättningar:

Gaseldad panna med en nominell effekt om 75 MW. Bränslet består av fossilgas. Pannan producerar ånga till process.

Bränsleflödet mäts. Rökgaserna analyseras i ett extraktivt och torrt mätsystem.

### *Driftsdata fall 3.*

Storhet	Enhet	Värde
Gasflöde	m <sup>3</sup> (n)/s	1,65
Förbränningsluftens temperatur	°C	25
Förbränningsluftens relativa fuktighet	%	80
Andel NO <sub>2</sub> av NO <sub>x</sub>	%	1,2
O <sub>2</sub> -halt	vol-% (torr gas)	1,6
NO-halt	ppm (torr gas)	52
SO <sub>2</sub> -halt	ppm (torr gas)	0



**Bränsledata fall 3.**

Storhet	Enhet	Värde
Värmevärde ( $H_{\text{eff}}$ )	MJ/m <sup>3</sup> (n)	39,4
Metan	vol- %	91,2
Etan	vol- %	5,0
Propan	vol- %	1,7
Butan	vol- %	1,0
Kväve	vol- %	0,6
Koldioxid	vol- %	0,5

**Naturgasens sammansättning (per m<sup>3</sup>):**

Ämne	vol -%	molvikt	gram tot	gram C	gram H
Metan	91,2	16,0426	652,9	488,8	164,1
Etan	5,0	30,0694	67,1	53,6	13,5
Propan	1,7	44,0962	33,4	27,3	6,1
Butan	1,0	58,1230	25,9	21,4	4,5
Kväve	0,6	28,0134	7,5		
Koldioxid	0,5	44,0098	9,8		
<b>Totalt</b>			796,6	591,2	188,2
<b>vikts-%</b>			100	74,2	23,6

**Exempel på beräkning enligt NV AR 98:1**

Bränsle			mol per kg bränsle					
Elementaranalys		Molvikt	Syrebehov	Rökgaser				
Ämne	Vikts-%			O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
	Torr	Våt						
C	74,2		12,01	61,78	61,78			
H	23,6		2 · 1,008	58,59		117,18		
O	0,0		2 · 16,00					
N	0,0		2 · 14,005					
S	0,0		32,06					
N <sub>2</sub> i naturgasen								0,34
CO <sub>2</sub> i naturgasen				0,28				
Summa moler/kg bränsle =				120,37	62,06	117,18	0,0	0,34
N <sub>2</sub> i förbränningsluften = 3,77 · ΣO <sub>2</sub>								453,8

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning:

$$\begin{aligned}
 l_{ot} &= (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (120,37 + 453,79) \cdot 0,02241 = \\
 &= 12,867 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}
 \end{aligned}$$

Luftbehov, fuktig luft vid stökiometrisk förbränning:

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

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

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

$$l_o = l_{ot} \cdot 1,026 = 13,197 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$\begin{aligned} g_{ot} &= (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 = \\ &= (62,06 + 0 + 454,13) \cdot 0,02241 = 11,568 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bränsle:

$$\begin{aligned} g_o &= g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(\text{fukt}) \cdot 22,41/1000 = 11,568 + 13,197 - \\ &- 12,867 + 117,18 \cdot 0,02241 = 14,524 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$\begin{aligned} g_t &= g_{ot} + l_{ot} (m - 1,0) \\ m &= 1,0 + K \cdot \frac{(O_2)_t}{20,95 (O_2)_t}; \quad \text{där } K = g_{ot}/l_{ot} \\ m &= 1,0 + 11,568/12,867 \cdot (1,6 / (20,95 - 1,6)) = 1,07 \\ g_t &= 11,568 + 12,867 \cdot (1,07 - 1,0) = 12,524 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg bränsle:

$$\begin{aligned} g &= g_o + l_o (m - 1,0) = 14,524 + 13,197 \cdot (1,07 - 1,0) = \\ &= 15,505 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

Tillförd effekt,  $P_b$  (MW), beräknas enligt

$$P_b = \text{gasflöde} \cdot H_{\text{eff}} = 1,65 \cdot 39,4 = 65,01 \text{ MW}$$

$$H_{\text{eff}} = 39,4 \text{ MJ/m}^3(\text{n}) = 39,4 / 0,7966 \text{ MJ/kg} = 49,46 \text{ MJ/kg}$$

Bränsleflödet,  $q_b$  (kg/s), beräknas enligt

$$q_b = P_b / H_{\text{eff}} \cdot 3600 = 65,01 / 49,46 \cdot 3600 = 4732 \text{ kg/h}$$

$$\text{Torrt rökgasflöde} = q_b \cdot g_t = 4\,732 \cdot 12,524 = 59\,268 \text{ m}^3 (\text{n tg}) / \text{h}$$

$$\text{Vått rökgasflöde} = q_b \cdot g = 4\,732 \cdot 15,505 = 73\,372 \text{ m}^3 (\text{n tg}) / \text{h}$$

NO<sub>x</sub>-utsläpp (kg/h; som NO<sub>2</sub>): (NO-halt i torr gas = 52 ppm; g<sub>t</sub> = 59 268 m<sup>3</sup>/h)

$$\text{NO}_x = \text{NO} / (1 - \text{NO}_2/100) \cdot 2,05 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = 6,39 \text{ kg/h (som NO}_2)$$

NO<sub>x</sub>-utsläpp (mg/MJ; som NO<sub>2</sub>):

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}_x (\text{kg/h}) \cdot 10^6 / (P_b \cdot 3\,600) = 6,39 \cdot 10^6 / (65,01 \cdot 3\,600) = \\ &= 27,3 \text{ mg/MJ (som NO}_2) \end{aligned}$$

## 2.4 Fall 4

Förutsättningar:

Bark- och oljeeldad panna med en nominell effekt om 25 MW. Pannan producerar ånga för processändamål. Oljeflödet mäts. Barkflödet beräknas. Rökgaserna analyseras i ett extraktivt och torrt mätsystem.

### *Driftsdata fall 4.*

Storhet	Enhet	Värde
Temperatur mava	°C	110
Tryck mava	bar	74
Temperatur ånga	°C	420
Tryck ånga	bar	70
Ångflöde ( $q_{\text{ång}}$ )	kg/s	6,4
Pannverkningsgrad	%	88
Oljeflöde	kg/s	0,062
Strålningsförlust	MW	0,2
Rökgastemperatur	°C	230
Förbränningsluftens temperatur	°C	25
Förbränningsluftens relativa fuktighet	%	80
Andel NO <sub>2</sub> av NO <sub>x</sub>	%	4,2
C <sub>p</sub> för rökgasen	kJ/(m <sup>3</sup> (n) · °C)	1,3
O <sub>2</sub> -halt	vol-% (torr gas)	5,7
NO-halt	ppm (torr gas)	88
SO <sub>2</sub> -halt	ppm (torr gas)	4

**Bränsledata fall 4.**

Storhet	Enhet	Olja	Bark
Värmevärde	MJ/kg	42,2	8,1
Fukt	vikts-%	0	55,0
Kol	vikts-% TS	87,0	54,4
Väte	vikts-% TS	12,8	5,9
Syre	vikts-% TS	0	37,0
Kväve	vikts-% TS	0,1	1,0
Svavel	vikts-% TS	0,1	0
Aska	vikts-% TS	0	1,7

**Exempel på beräkning enligt NV AR 98:1**

Bränsle = olja			mol per kg bränsle				
Elementaranalys		Molvikt	Syre- behov	Rökgaser			
Ämne	Vikts-%		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
	Torr	Våt					
C	87,0		12,01	72,44	72,44		
H	12,8		2 · 1,008	31,75		63,49	
O	0		2 · 16,00				
N	0,1		2 · 14,005				0,04
S	0,1		32,06	0,03			0,03
Fukt	0		18,016				
Aska	0						
Summa moler/kg bränsle =			104,22	72,44	63,49	0,03	0,04
N <sub>2</sub> i förbränningsluften = 3,77 · ΣO <sub>2</sub>							392,9

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning av olja:

$$l_{ot} = (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (104,22 + 392,90) \cdot 0,02241 = 11,140 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Luftbehov, fuktig luft vid stökiometrisk förbränning av olja:

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

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

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

$$l_o = l_{ot} \cdot 1,026 = 11,431 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg olja:

$$g_{ot} = (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 = 72,44 + 0,03 + 392,94 \cdot 0,02241 = 10,429 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg olja:

$$g_o = g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(\text{fukt}) \cdot 22,41/1000 = 10,429 + 11,431 - 11,140 + 63,49 \cdot 0,02241 = 12,142 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg olja:

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

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

$$m = 1,0 + 10,429/11,140 \cdot (5,7 / (20,95 - 5,7)) = 1,350$$

$$g_t = 10,429 + 11,140 \cdot (1,35 - 1,0) = 14,327 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg olja:

$$g = g_o + l_o (m - 1,0) = 12,142 + 11,431 \cdot (1,35 - 1,0) = 16,142 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Bränsle = bark			mol per kg bränsle					
Elementaranalys		Molvikt	Syre- behov	Rökgaser				
Ämne	Vikts-%			O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
	Torr	Våt						
C	54,4	24,5	12,01	20,38	20,38			
H	5,9	2,7	2 · 1,008	6,58		13,17		
O	37,0	16,7	2 · 16,00	-5,20				
N	1,0	0,5	2 · 14,005					0,16
S	0,0	0,0	32,06					
Fukt		55,0	18,016			30,53		
Aska	1,7	0,8						
Summa moler/kg bränsle =				21,76	20,38	43,70		0,16
N <sub>2</sub> i förbränningsluften = 3,77 · ΣO <sub>2</sub>								82,05

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning av bark:

$$l_{ot} = (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (21,76 + 82,05) \cdot 0,02241 = 2,327 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$



Luftbehov, fuktig luft vid stökiometrisk förbränning av bark:

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

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

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

$$l_o = l_{ot} \cdot 1,026 = 2,387 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bark:

$$\begin{aligned} g_{ot} &= (\Sigma \text{CO}_2 + \Sigma \text{SO}_2 + \Sigma \text{N}_2) \cdot 22,41/1000 = \\ &= 20,38 + 0 + 82,21) \cdot 0,02241 = 2,299 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bark:

$$\begin{aligned} g_o &= g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(\text{fukt}) \cdot 22,41/1000 = 2,299 + 2,387 - 2,327 + \\ &+ 43,70 \cdot 0,02241 = 3,339 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg bark:

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

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

$$m = 1,0 + 2,299/2,327 \cdot (5,7 / (20,95 - 5,7)) = 1,369$$

$$g_t = 2,299 + 2,327 \cdot (1,369 - 1,0) = 3,159 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg bark:

$$\begin{aligned} g &= g_o + l_o (m - 1,0) = 3,339 + 2,387 \cdot (1,369 - 1,0) = \\ &= 4,221 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

## Beräkning av bränsleflöden

Det nyttiggjorda energiflödet,  $P_{\text{nytt}}$ , beräknas från summan av det upptagna värmeflödet för ångproduktionen ( $P_{\text{ång}}$ ), sotningsångan ( $P_{\text{sot}}$ ), och bottenblåsningen ( $P_{\text{bott}}$ ), enligt

$$P_{\text{nytt}} = P_{\text{ång}} + P_{\text{sot}} + P_{\text{bott}}$$

Om  $P_{\text{sot}}$  och  $P_{\text{bott}}$  kan anses vara försumbar i sammanhanget fås

$$P_{\text{nytt}} = P_{\text{ång}} = q_{\text{ång}} (i_{\text{ång}} - i_{\text{mava}})$$

$$q_{\text{ång}} = 6,4 \text{ kg/s} \quad (\text{givet})$$

$$i_{\text{ång}} = 3,2096 \text{ MJ/kg} \quad (\text{ur tabell})$$

$$i_{\text{mava}} = 0,4667 \text{ MJ/kg} \quad (\text{ur tabell})$$

$$P_{\text{nytt}} = P_{\text{ång}} = 6,4 (3,2096 - 0,4667) = 17,55 \text{ MW}$$

$$\text{Tillförd oljeeffekt} = P_{\text{olja}} = \text{oljaflödet} \cdot H_{\text{eff, olja}} = 0,062 \cdot 42,2 = 2,62 \text{ MW}$$

$$\text{Verkningsgrad för pannan} = 0,88$$

$$\text{Andel av nyttiga effekten från olja} = P_{\text{nytt, olja}} = 2,62 \cdot 0,88 / 17,55 = 0,1312$$

$$\text{Andel av nyttiga effekten från bark} = P_{\text{nytt, bark}} = 1 - 0,1312 = 0,8688$$

$$\begin{aligned} \text{Värmevärde för bränsleblandningen} &= H_{\text{eff}} = 42,2 \cdot 0,1312 + 8,1 \cdot 0,8688 = \\ &= 12,6 \text{ MJ/kg} \end{aligned}$$

Tillförd effekt,  $P_b$  (MW), beräknas enligt

$$\begin{aligned} P_b &= (P_{\text{nytt}} + P_{\text{strål}} + P_{\text{aska}}) / (1 - g \cdot C_p (T_{\text{rök}} - 25) / H_{\text{eff}}) = \\ &= (17,55 + 0,2 + 0) / (1 - (16,142 \cdot 0,1312 + \\ &\quad + 4,221 \cdot 0,8688) \cdot 1,3 (230 - 25) / (12,6 \cdot 0,001)) = 20,23 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\text{Tillförd effekt från bark} = P_{\text{bark}} = P_b - P_{\text{olja}} = 20,23 - 2,62 = 17,61 \text{ MW}$$

Barkflödet,  $q_{\text{bark}}$  (kg/s), beräknas enligt

$$q_{\text{bark}} = P_{\text{bark}} / H_{\text{eff, bark}} \cdot 3\,600 = 17,61 / 8,1 \cdot 3\,600 = 7\,828 \text{ kg/h}$$

$$\text{Torrt rökgasflöde} = 7\,828 \cdot 3,159 + 0,062 \cdot 3\,600 \cdot 14,327 = 27\,924 \text{ m}^3 \text{ (n tg) /h}$$

$$\text{Vått rökgasflöde} = 7\,828 \cdot 4,221 + 0,062 \cdot 3\,600 \cdot 16,142 = 36\,646 \text{ m}^3 \text{ (n tg) /h}$$

$\text{NO}_x$ -utsläpp (kg/h; som  $\text{NO}_2$ ): ( $g_t = 27\,924 \text{ m}^3/\text{h}$ )

$$\text{NO}_x = \text{NO} / (1 - \text{NO}_2/100) \cdot 2,05 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = 5,2 \text{ kg/h (som NO}_2)$$

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

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}_x \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (\text{Pb} \cdot 3\,600) = 5,27 \cdot 10^6 / (20,29 \cdot 3\,600) = \\ &= 72,21 \text{ mg/MJ (som NO}_2) \end{aligned}$$

$\text{SO}_2$ -utsläpp (kg/h; som S): ( $\text{SO}_2$ -halt i torr gas = 4 ppm;  $g_t = 27\,924 \text{ m}^3/\text{h}$ )

$$\text{SO}_2 = \text{SO}_2 \cdot 2,94 \cdot 64/32 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = 0,16 \text{ kg/h (som S)}$$

$\text{SO}_2$ -utsläpp (mg/MJ; som S):

$$\begin{aligned} \text{SO}_2 &= \text{SO}_2 \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (\text{Pb} \cdot 3\,600) = 0,16 \cdot 10^6 / (20,23 \cdot 3\,600) = \\ &= 2,25 \text{ mg/MJ (som S)} \end{aligned}$$

### 3. DELTAGANDE LABORATORIER

En förteckning över de deltagande laboratorierna finns i bilaga 1. Totalt deltog 22 laboratorier.

### 4. RESULTAT

Resultaten redovisas i bilaga 2, tabell 1 - 4. Laboratorierna anges endast med ett nummer. Observera att laboratoriernas nummerordning är helt slumpmässig. Det står mycket tydligt i de internationella reglerna för provningsjämförelser (ref. 9) att **alla resultat skall behandlas strängt konfidentiellt**. 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.

Vid den första granskningen av de inkomna resultaten visade det sig att flera laboratorier hade rapporterat uppenbart avvikande resultat. I något fall var tillräckligt underlag medskickat så det gick att se att det berodde på slarvfel. Totalt 7 av deltagarna fick möjlighet att kontrollera sina resultat. Primära avvikelser fanns för alla parametrar (flöde, 3 fall; NO<sub>x</sub>, 2 fall; SO<sub>2</sub>, 2 fall; effekt, 1 fall) vilket i vissa fall sekundärt också påverkade andra parametrar. Det som redovisas i tabell 1- 4 är de korrigerade resultaten. Fortfarande finns det en del resultat som "sticker ut", men det är upp till de aktuella deltagarna att reda ut orsaken. I de fall resultatrutan är tom (inget värde givet) beror det antingen på att laboratoriet inte är ackrediterat för den parametern eller att den inte ingår i den normala beräkningsrutinen.

I figur 1 - 24 redovisas resultaten grafiskt som avvikelse (%) mot referensen. **Observera att skalorna inte är lika i figurerna!** Någon diskussion av resultaten skall inte göras här utan mätvärdena och figurerna får tala för sig själva. Det är deltagarnas uppgift att utvärdera sina resultat och analysera eventuella avvikelser mot "referensen" och övriga värden och att definiera hur stora avvikelser som är acceptabla.

Flera laboratorier påpekade att vissa ingångsdata inte var rimliga. Så t ex är Cp i fall 1 och 4 för lågt (verifierat i beräkningsexemplet för fall 1). Frågetecken sattes också för pannverkningsgraden i fall 4, vilket borde vara lägre (84,5 och 85,3 % föreslaget). Vid beräkning av "referensvärdena" har Cp = 1,3 och verkningsgraden = 88 % dock använts.

## 5. REFERENSER

1. *Nyquist, G., 1993.* Provningsjämförelse mellan mätlaboratorier som utför automatiska rökgasmätningar. - ITM rapport 12.
2. *Nyquist, G., 1994.* Automatiska rökgasmätningar. Provningsjämförelse 1994. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 21.
3. *Nyquist, G., 1995.* Automatiska rökgasmätningar. Provningsjämförelse 1995. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 37.
4. *Nyquist, G., 1996.* Automatiska rökgasmätningar. Provningsjämförelse 1996. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 47.
5. *Nyquist, G., 1997.* Automatiska rökgasmätningar. Provningsjämförelse 1997. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 62.
6. *Nyquist, G., 1998.* Automatiska rökgasmätningar. Provningsjämförelse 1998. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 73.
7. *Nyquist, G., 1999.* Automatiska rökgasmätningar. Provningsjämförelse 1999. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 76.
8. *Nyquist, G., 2000.* Flödesmätningar med pitotrör. Provningsjämförelse 1999. - ITM rapport 76.
9. *EA-3/04, 1993.* WELAC criteria for proficiency testing in accreditation. European Laboratory Accreditation Publication.

**Deltagare i provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöde"**

Boo Instrument AB  
EMK Energi Miljö Konsult AB  
ENA Miljökonsult AB  
Fjärrvärmebyrån AB  
ILEMA Miljöanalys AB  
IMKAB Industriell Miljökontroll AB  
IVL Svenska Miljöinstitutet AB  
KMP Kontroll Miljö Process AB  
METLAB miljö AB  
Miljöassistans i Perstorp AB  
Miljölaboratoriet i Trelleborg AB  
Miljömätarna i Linköping AB  
Opsis AB  
Petrokraft AB  
Scancem Research AB  
Stora Enso Environment  
SwedPower AB  
Sycon Energikonsult AB  
VBB VIAK AB  
ÅF-Processdesign, Malmö  
ÅF-Processdesign, Växjö  
ÅF-IPK AB

**Bilaga 2**
**Tabell 1: Provningsjämförelse 2000. Beräkning av rökgasflöden. Resultat för "Fall 1".**

Lab.	Flöde, torrt m <sup>3</sup> (n)/h	Flöde, vått m <sup>3</sup> (n)/h	NOx kg/h NO <sub>2</sub>	NOx mg/MJ	Effekt MW
Ref.	24 175	31 263	2,23	38,0	16,29
1	24 196	31 264	2,20	38,1	16,30
2	24 552	31 464	2,20	38,0	16,50
3	24 320	31 460	2,30	39,0	16,50
4	24 196	31 265	2,24	38,1	16,29
5	24 400	31 600	2,25	38,1	16,40
6	24 273	31 149			
7	24 264	31 357	2,24	38,1	16,40
8	24 132	30 942	2,23	38,1	16,27
9	24 365	31 456	2,25	38,0	16,30
10	24 175	31 255	2,20	38,0	16,30
11	24 224	30 708	2,19	37,3	16,26
12	24 300	31 400	2,24	38,0	16,40
13	24 236	31 342	2,24	38,1	16,29
14	23 820	30 591	2,20	38,0	16,05
15	24 132	30 942	2,23	38,1	16,27
16	23 892	30 845	2,21	38,3	16,00
17	24 234		2,24	38,2	16,30
18	24 195	31 256	2,20	38,1	16,30
19	24 470	31 650	2,26	39,4	16,30
20	24 200	31 300	2,28	38,4	16,10
21	24 130	29 200	2,23	38,1	16,20
22	24 500	31 800	2,26	38,0	16,40
<b>Medel</b>	24 237	31 155	2,23	38,2	16,29
<b>n</b>	22	21	21	21	21
<b>s</b>	171,2	541,6	0,029	0,40	0,127
<b>max</b>	24 552	31 800	2,30	39,4	16,50
<b>min</b>	23 820	29 200	2,19	37,3	16,00
<b>s·t/√n</b>	76,6	248,2	0,013	0,18	0,058

**Tabell 2:** *Provningsjämförelse 2000. Beräkning av rökgasflöden. Resultat för "Fall 2".*

Lab.	Flöde, torrt m <sup>3</sup> (n)/h	Flöde, vått m <sup>3</sup> (n)/h	NO <sub>x</sub> kg/h NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> mg/MJ	SO <sub>2</sub> kg/h S	S mg/MJ	Effekt MW
Ref.	41 294	47 075	18,51	128,7	10,04	69,8	39,94
1	41 299	47 066	18,50	128,8	9,80	67,9	39,90
2	41 256	46 800	18,40	128,0	10,00	70,0	39,94
3	41 230	47 000	18,90	132,0	10,00	70,0	39,90
4	41 286	47 054	18,52	128,8	9,75	67,8	39,94
5	41 290	47 100	18,50	129,0	9,60	67,0	39,90
6	41 227	46 793					
7	41 273	47 016	18,54	128,9	10,00	69,7	39,90
8	41 290	46 834	16,35	113,6	8,81	61,2	39,95
9	41 177	46 931	18,44	128,0	9,73	68,0	39,90
10	40 607	46 356	18,20	126,7	9,60	66,9	39,90
11							
12	41 220	46 977	18,50	129,0	9,98	69,0	39,90
13	41 305	47 054	18,50	128,6	10,00	69,8	39,90
14	41 447	47 067	18,47	128,6	10,03	69,8	39,90
15	41 290	46 834	16,35	113,6	8,81	61,2	39,95
16	40 530	46 388	18,26	127,0	11,27	78,4	39,90
17		47 003	18,50	128,5			39,90
18	39 817	45 533	17,90	124,7	9,40	65,7	39,90
19	41 660	46 720	18,40	127,7	9,96	69,3	39,94
20	41 400	47 000	18,50	129,0	10,00	70,0	39,90
21	41 600	47 400	19,20	133,2	10,10	70,2	39,90
22	41 500	47 200	17,30	122,0	9,60	66,8	40,00
<b>Medel</b>	41 185	46 863	18,21	126,8	9,81	68,4	39,92
<b>n</b>	20	21	20	20	19	19	20
<b>s</b>	419,0	387,0	0,733	5,05	0,517	3,62	0,028
<b>max</b>	41 660	47 400	19,20	133,2	11,27	78,4	40,00
<b>min</b>	39 817	45 533	16,35	113,6	8,81	61,2	39,90
<b>st/√n</b>	196,7	177,3	0,344	2,37	0,249	1,75	0,013

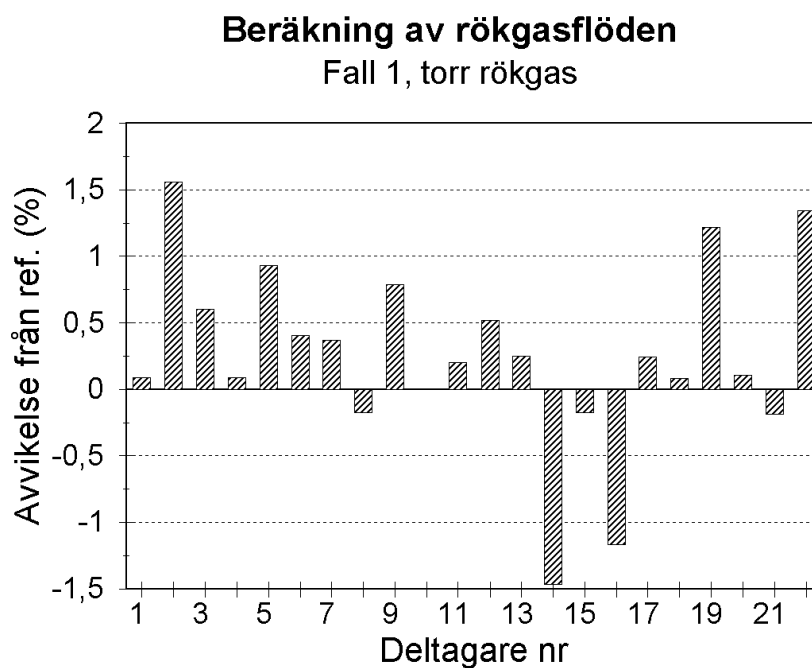


**Tabell 3:** *Provningsjämförelse 2000. Beräkning av rökgasflöden. Resultat för "Fall 3".*

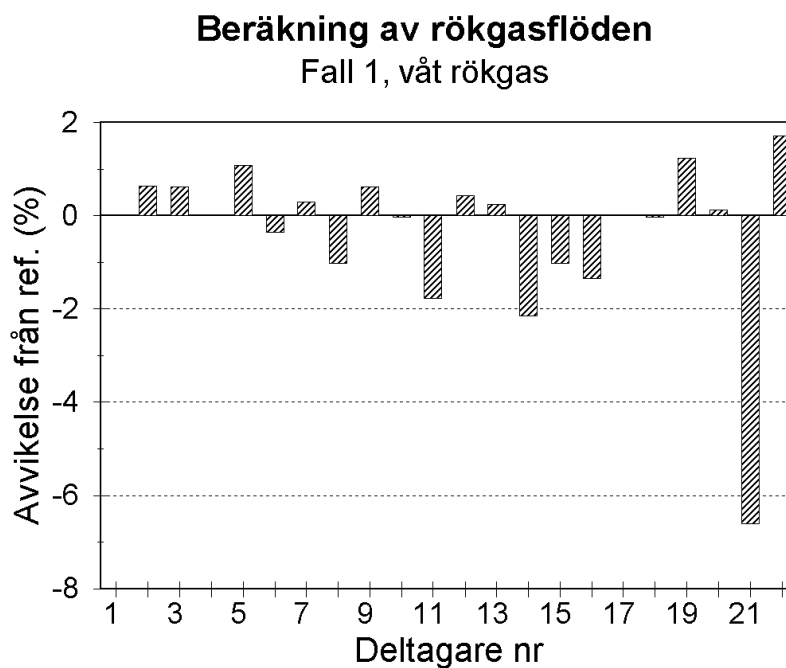
Lab.	Flöde, torrt m <sup>3</sup> (n)/h	Flöde, vått m <sup>3</sup> (n)/h	NOx kg/h NO <sub>2</sub>	NOx mg/MJ	Effekt MW
Ref.	59 268	73 372	6,39	27,3	65,01
1	59 443	73 144	6,40	27,4	65,00
2	59 400	73 080	6,30	27,0	65,00
3	59 530	73 220	6,60	28,0	65,00
4	59 546	73 712	6,44	27,5	65,01
5	59 531	73 737	6,40	27,0	65,00
6	59 486	73 159			
7	59 438	73 484	6,42	27,5	65,00
8	59 540	73 173	6,44	27,5	65,01
9	59 432	72 022	6,41	27,0	65,00
10	57 995	71 965	6,30	26,7	65,00
11	59 040	72 216	6,29	27,7	63,04
12	59 500	73 700	6,46	28,0	65,00
13	59 499	73 560	6,42	27,4	65,00
14	60 529	74 676	6,53	27,9	65,00
15	59 540	73 173	6,44	27,5	65,01
16	59 019	72 684	6,38	27,3	65,00
17	59 280		6,40	27,3	65,00
18	59 261	73 034	6,40	27,4	65,00
19	59 900	72 980	6,46	27,6	65,00
20	59 800	72 200	8,00	28,0	65,00
21	59 110	73 040	6,39	27,3	65,00
22	57 700	72 200	6,30	30,0	59,40
<b>Medel</b>	59 796	73 055	6,48	27,6	64,64
<b>n</b>	22	21	21	21	21
<b>s</b>	576,8	671,5	0,355	0,66	1,275
<b>max</b>	60 529	74 676	8,00	30,0	65,01
<b>min</b>	57 700	71 965	6,29	26,7	59,40
<b>st/√n</b>	258,4	307,7	0,163	0,30	0,584

**Tabell 4:** *Provningsjämförelse 2000. Beräkning av rökgasflöden. Resultat för "Fall 4".*

Lab.	Flöde, torrt m <sup>3</sup> (n)/h	Flöde, vått m <sup>3</sup> (n)/h	NOx kg/h NO <sub>2</sub>	NOx mg/MJ	SO2 kg/h S	S mg/MJ	Effekt MW
Ref.	27 924	36 646	5,26	72,2	0,16	2,25	20,23
1	27 616	36 201	5,20	72,3	0,20	2,20	20,00
2	28 836	37 548	5,40	72,0	0,20	2,30	20,90
3	25 280	31 950	4,90	68,0	0,15	2,00	20,00
4							
5	32 527	42 816	6,13	85,1	0,18	2,50	20,20
6	28 720	37 400					
7	28 425	37 286	5,36	72,3	0,17	2,30	20,60
8	28 146	36 611	5,34	72,6	0,17	2,25	20,41
9	27 502	36 046	5,18	72,0	0,16	2,00	19,90
10	30 809	40 487	5,80	86,1	0,20	3,30	17,30
11	27 612	35 532	4,98	67,5	0,16	2,14	20,51
12	28 700	37 700	5,41	72,0	0,17	2,00	20,80
13	28 364	37 230	5,34	72,2	0,17	2,30	20,60
14	20 489	26 043	6,29	72,4	0,20	2,26	24,12
15	28 146	36 611	5,34	72,6	0,17	2,25	20,41
16	27 985	36 136	5,28	72,7	0,16	2,30	20,20
17	28 378		5,30	72,0	0,17	2,25	20,50
18	27 585	36 150	5,20	72,3	0,20	2,20	20,00
19	27 900	36 100	5,25	72,9	0,16	2,30	20,00
20	27 900	36 400	5,30	73,0	0,16	2,30	20,00
21	24 830	30 210	4,70	64,0	0,14	2,00	20,20
22	28 200	37 500	5,30	71,0	0,18	2,50	20,80
<b>Medel</b>	27 807	36 098	5,35	72,7	0,17	2,3	20,37
<b>n</b>	21	20	20	20	20	20	20
<b>s</b>	2285,3	3474,3	0,367	4,94	0,018	0,28	1,153
<b>max</b>	32 527	42 816	6,29	86,1	0,20	3,3	24,12
<b>min</b>	20 489	26 043	4,70	64,0	0,14	2,0	17,30
<b>st/√n</b>	1 047	1 632	0,172	2,32	0,008	0,13	0,542



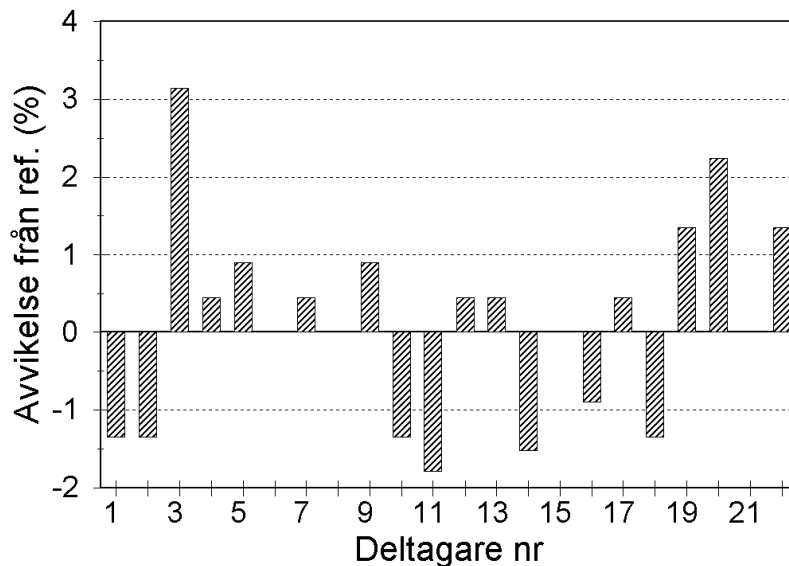
**Figur 1.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 1: Torrt rökgasflöde ( $\text{m}^3$  (n)/h).



**Figur 2.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 1: Vått rökgasflöde ( $\text{m}^3$  (n)/h).

### Beräkning av rökgasflöden

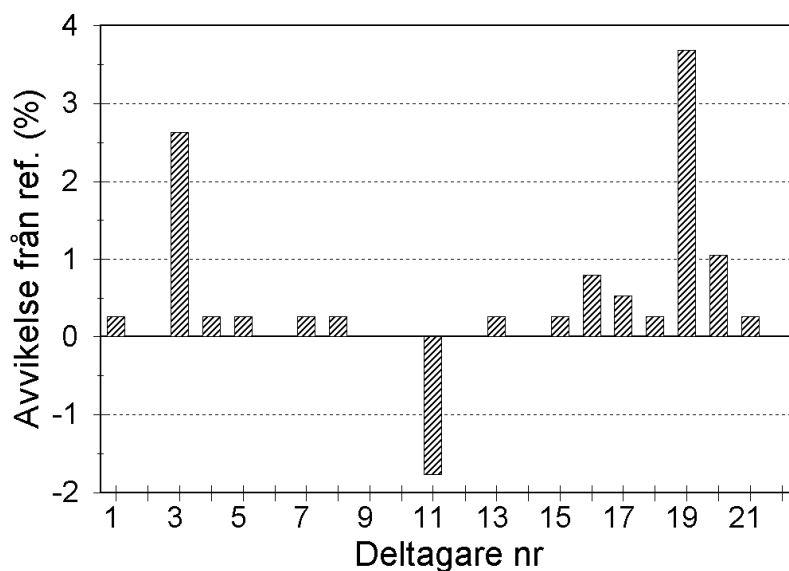
Fall 1, NO<sub>x</sub> (kg/h NO<sub>2</sub>)



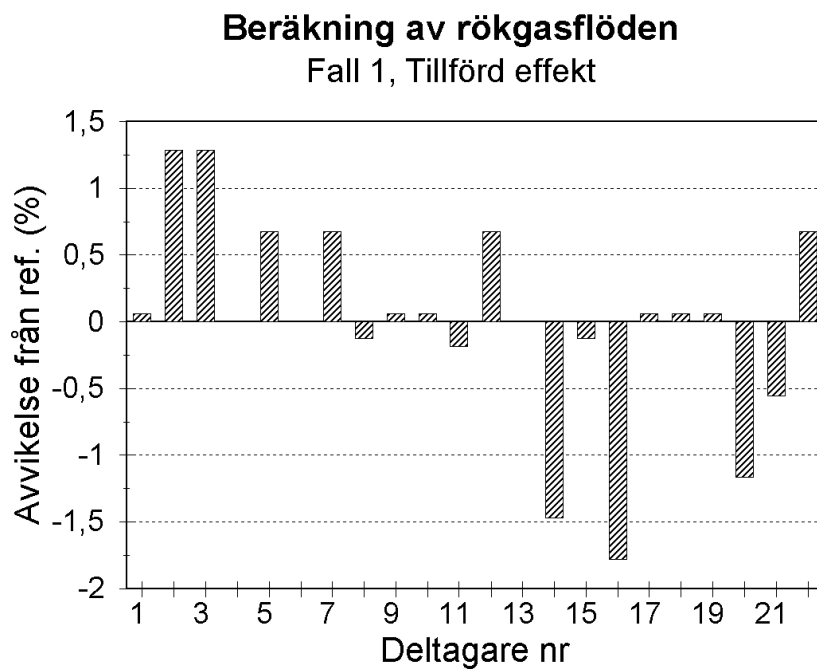
**Figur 3.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 1: NO<sub>x</sub>-flöde (kg/h; som NO<sub>2</sub>).

### Beräkning av rökgasflöden

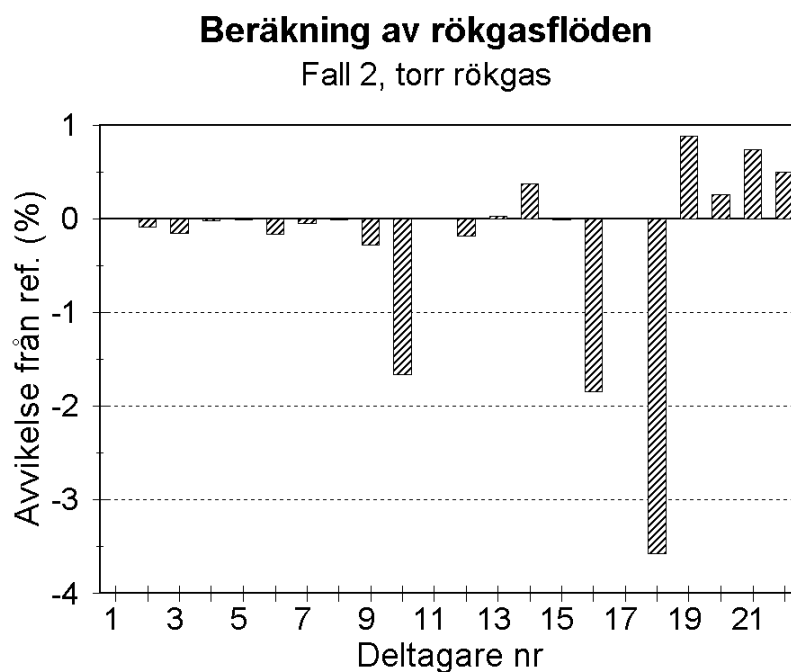
Fall 1, NO<sub>x</sub> (mg/MJ NO<sub>2</sub>)



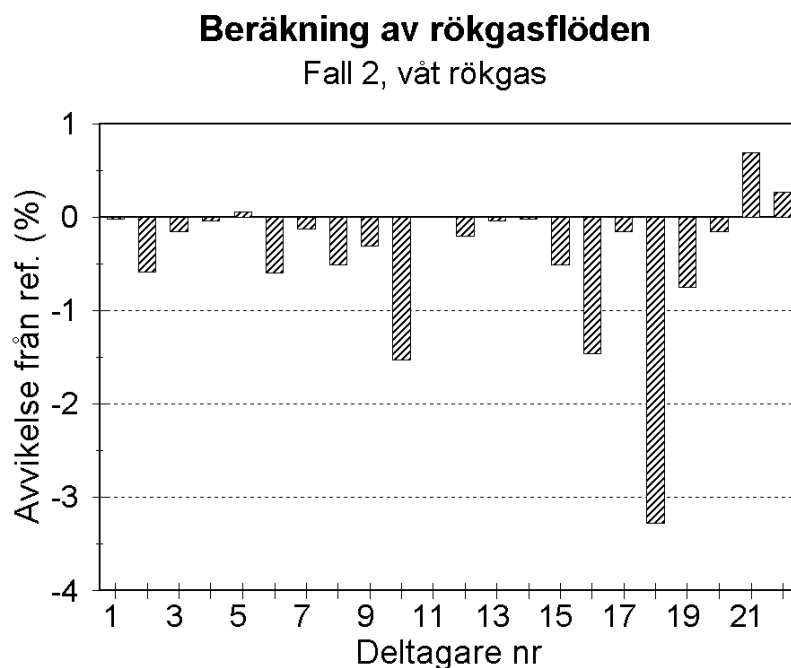
**Figur 4.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 1: specifika NO<sub>x</sub>-utsläppet (mg/MJ; som NO<sub>2</sub>).



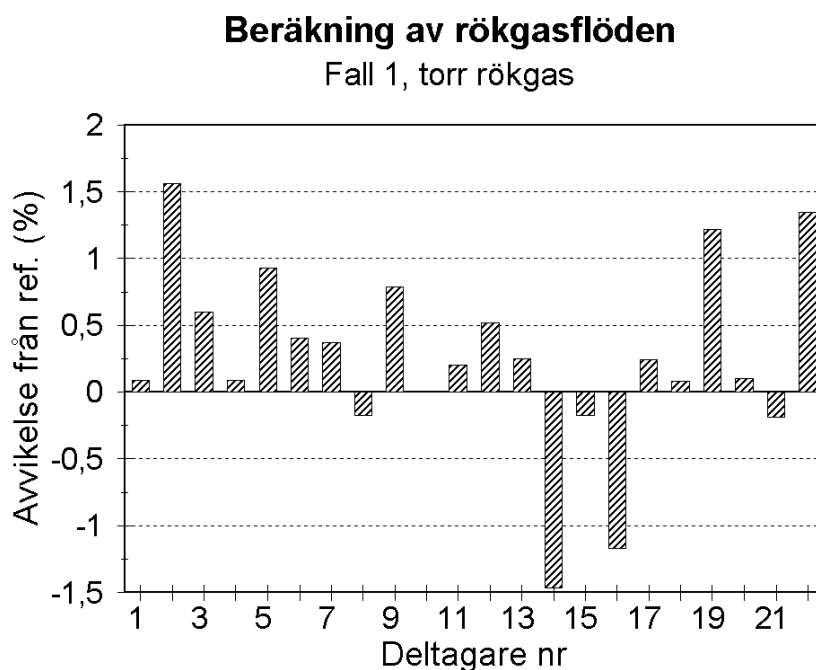
**Figur 5.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 1: Tillförd effekt (MW).



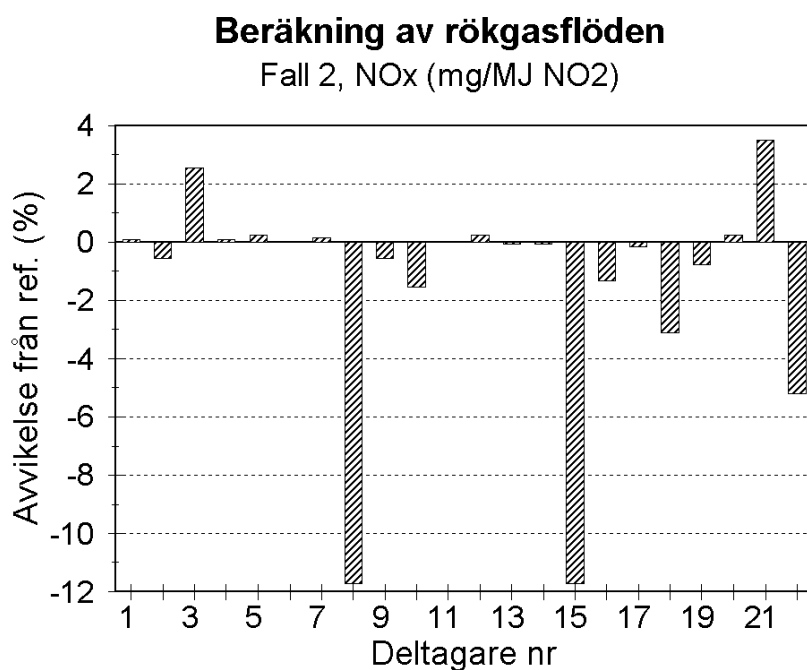
**Figur 6.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: Torrt rökgasflöde ( $\text{m}^3(\text{n})/\text{h}$ ).



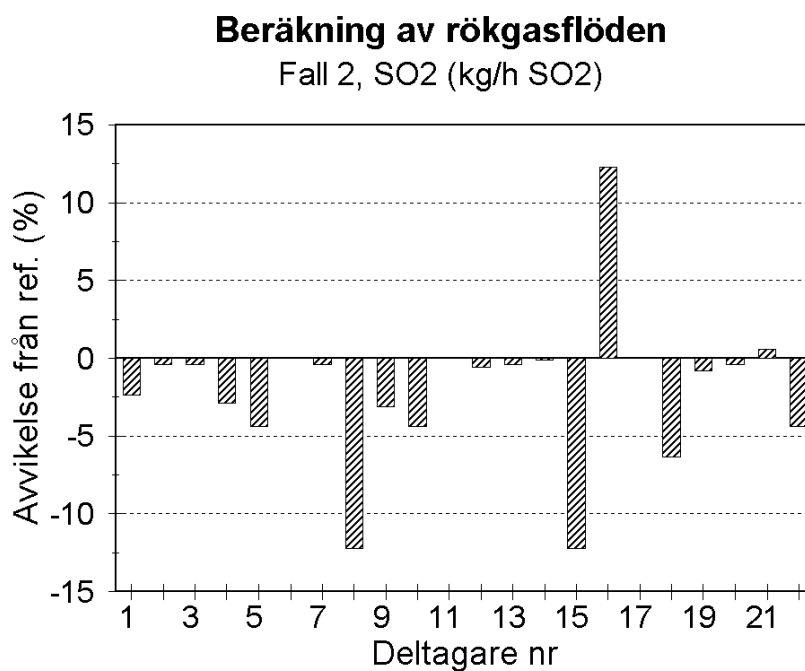
**Figur 7.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: Vått rökgasflöde ( $\text{m}^3(\text{n})/\text{h}$ ).



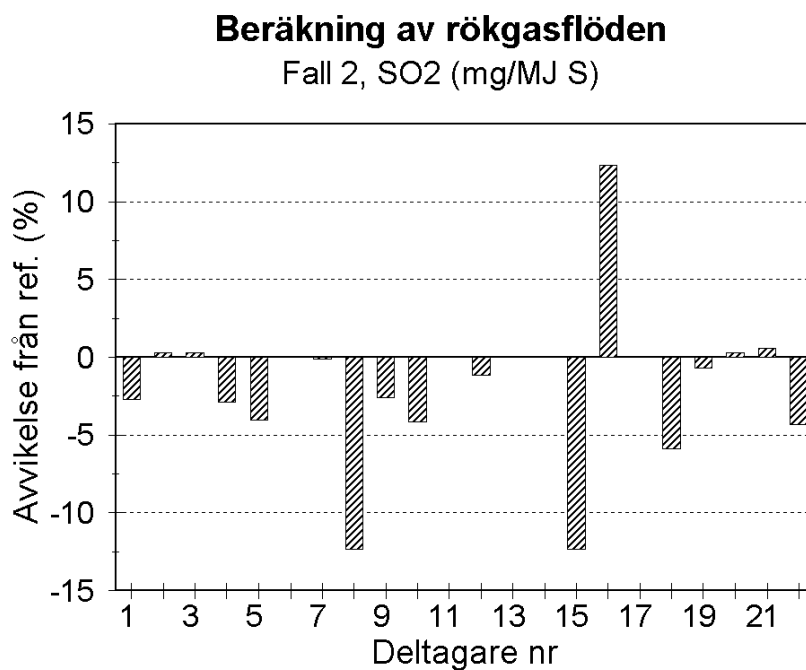
**Figur 8.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: NO<sub>x</sub>-flöde (kg/h; som NO<sub>2</sub>).



**Figur 9.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: specifika NO<sub>x</sub>-utsläppet (mg/MJ; som NO<sub>2</sub>).

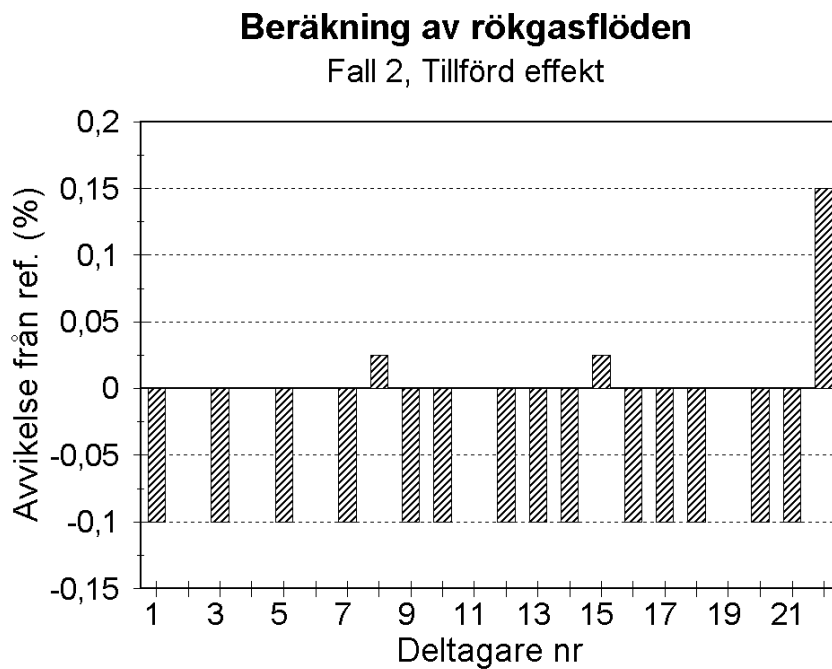


**Figur 10.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: SO<sub>2</sub>-flöde (kg/h; som S).

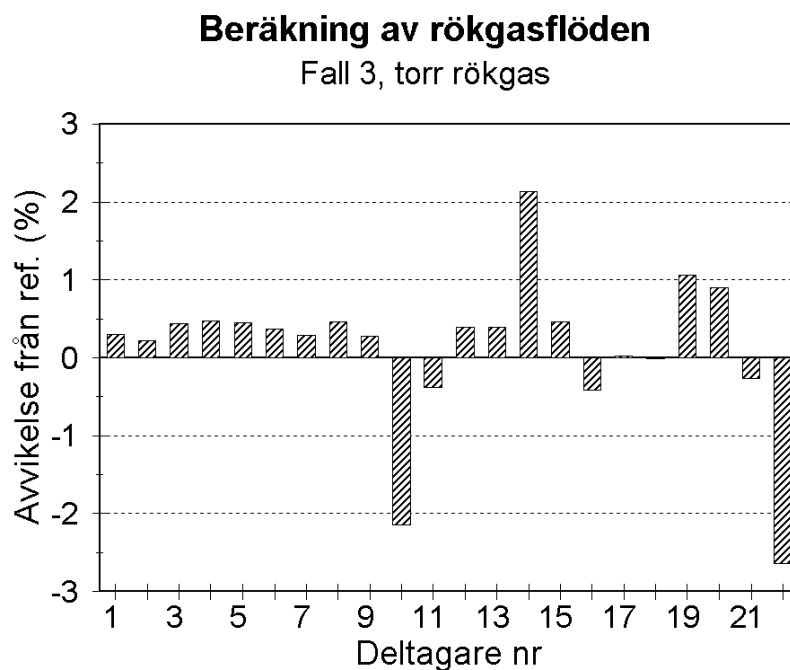


**Figur 11.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: Specifika SO<sub>2</sub>-utsläppet (mg/MJ; som S).

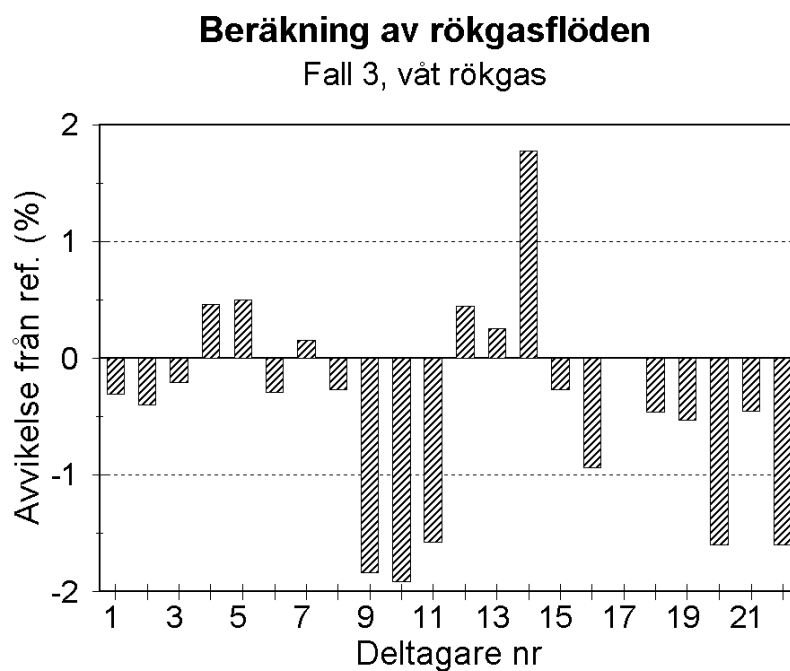




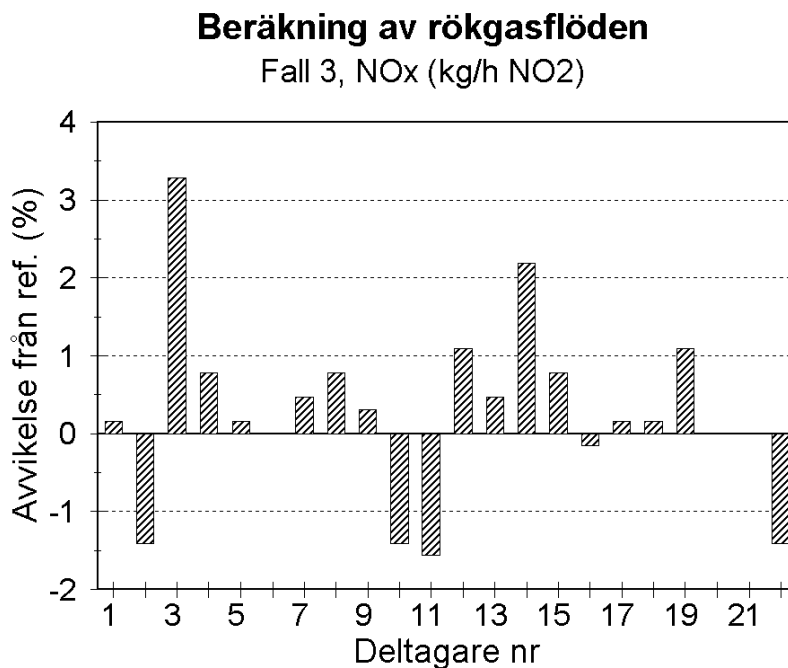
**Figur 12.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: Tillförd effekt (MW).



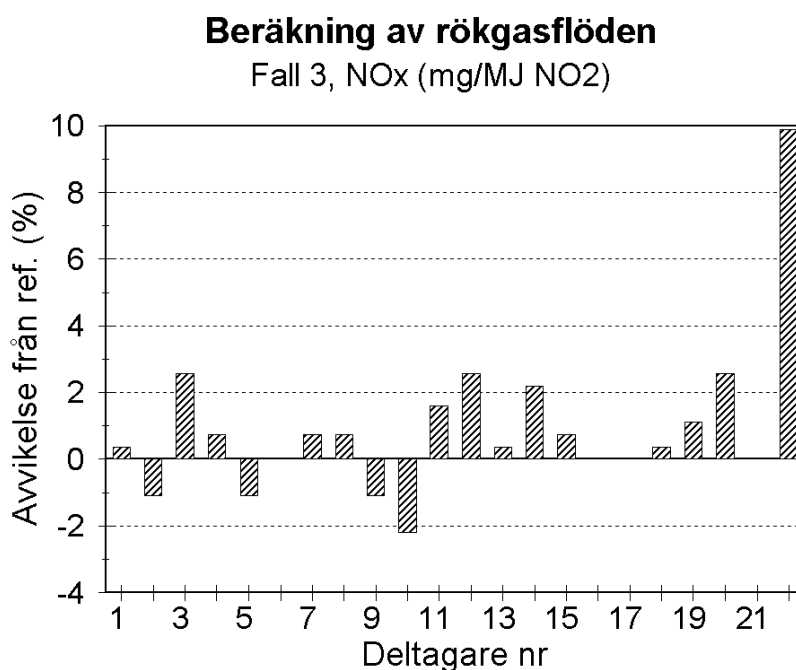
**Figur 13.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 3: Torrt rökgasflöde ( $\text{m}^3(\text{n})/\text{h}$ ).



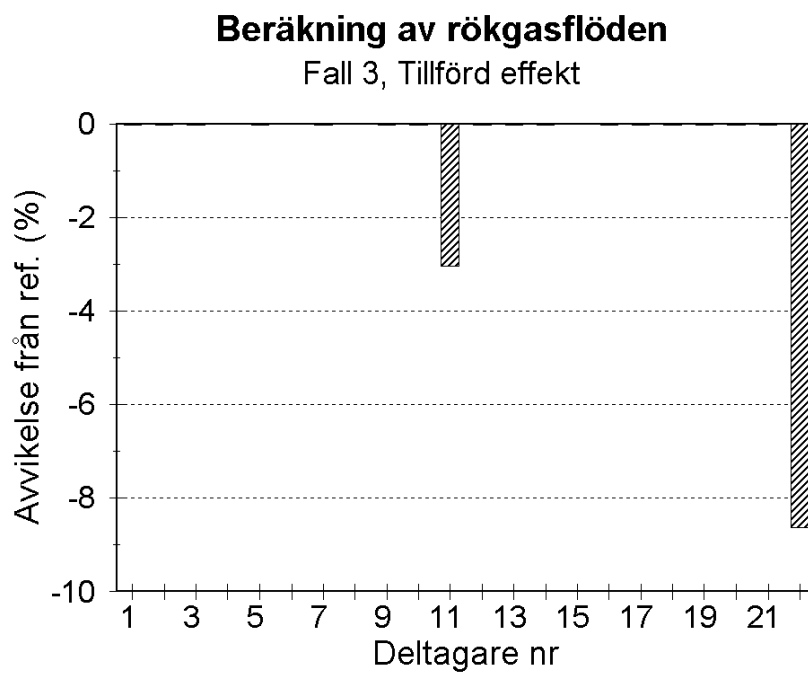
**Figur 14.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 3: Vått rökgasflöde ( $\text{m}^3(\text{n})/\text{h}$ ).



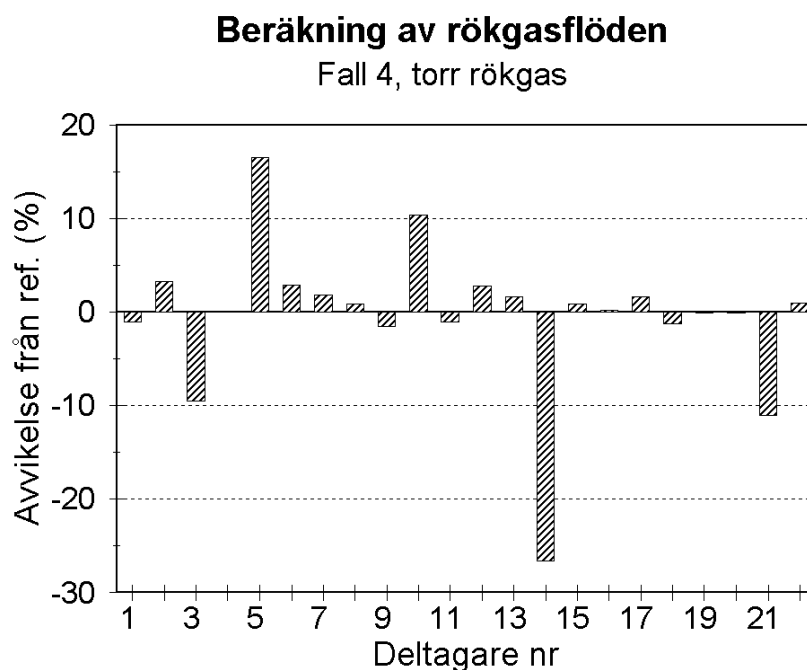
**Figur 15.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 3: NO<sub>x</sub>-flöde (kg/h; som NO<sub>2</sub>).



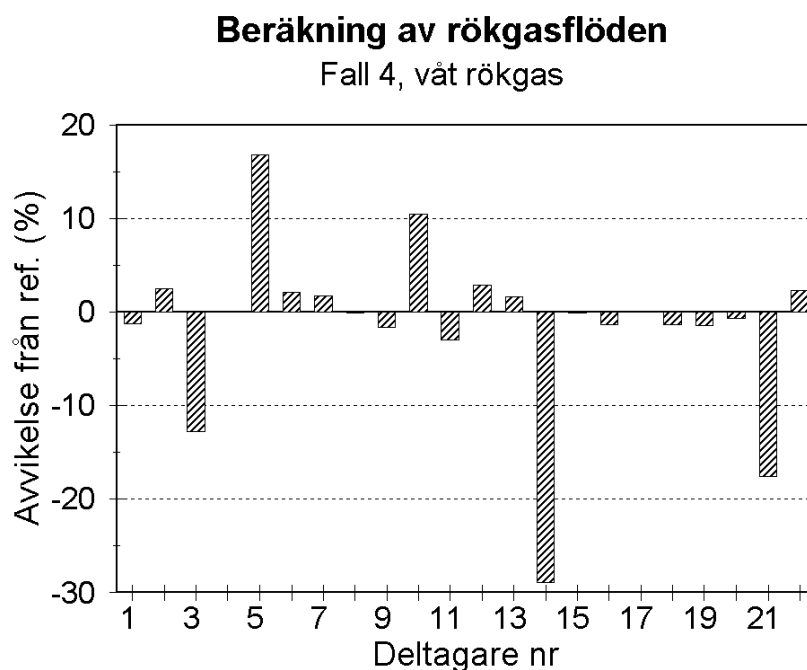
**Figur 16.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 3: specifika NO<sub>x</sub>-utsläppet (mg/MJ; som NO<sub>2</sub>).



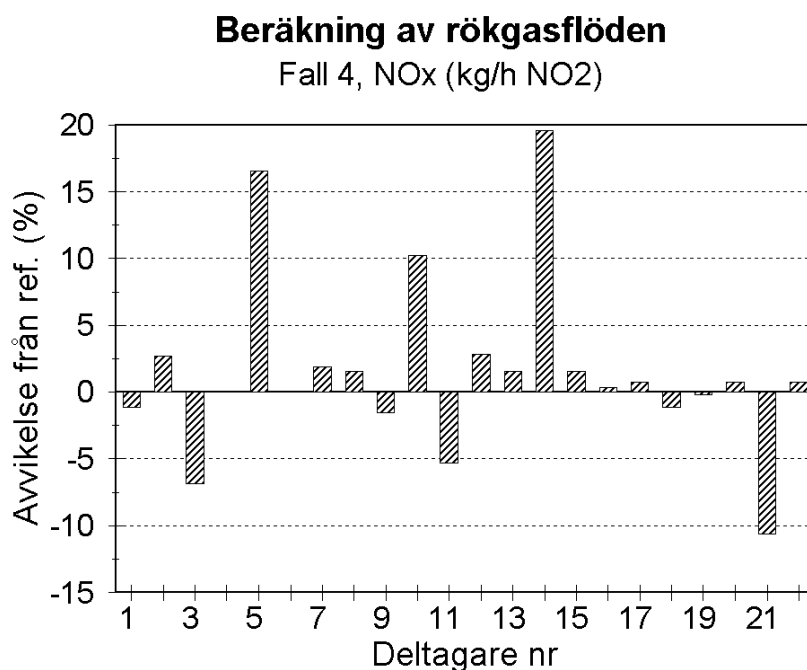
**Figur 17.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 3: Tillförd effekt (MW).



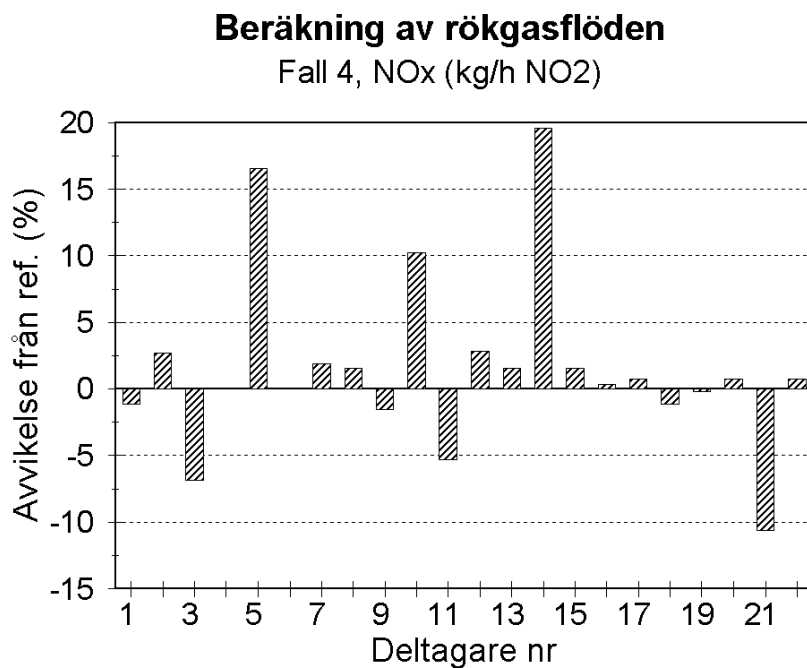
**Figur 18.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: Torrt rökgasflöde ( $m^3(n)/h$ ).



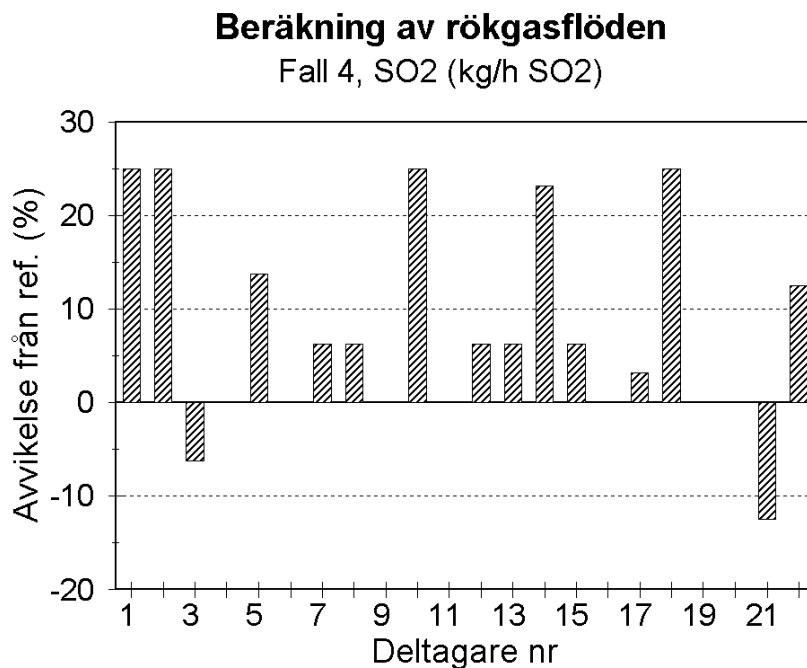
**Figur 19.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: Vått rökgasflöde ( $m^3(n)/h$ ).



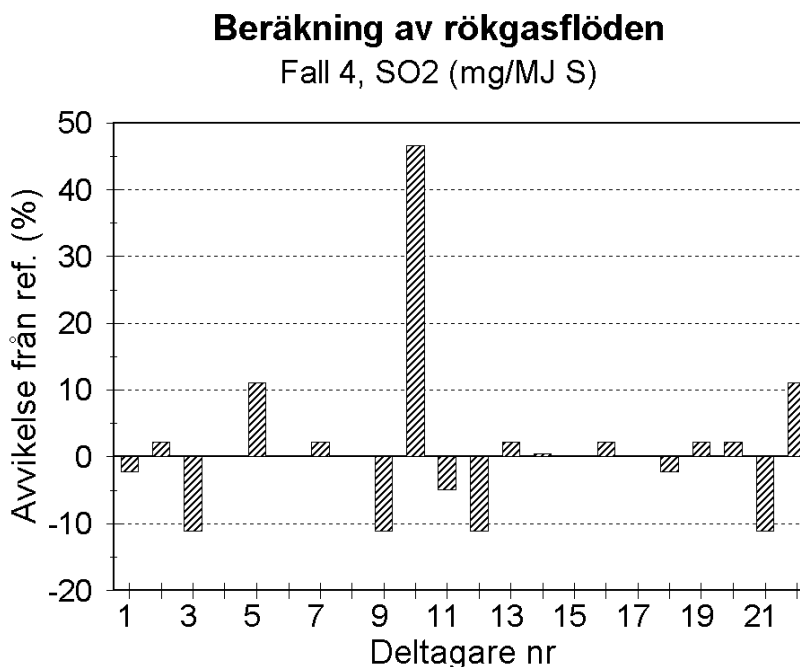
**Figur 20.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: NO<sub>x</sub>-flöde (kg/h; som NO<sub>2</sub>).



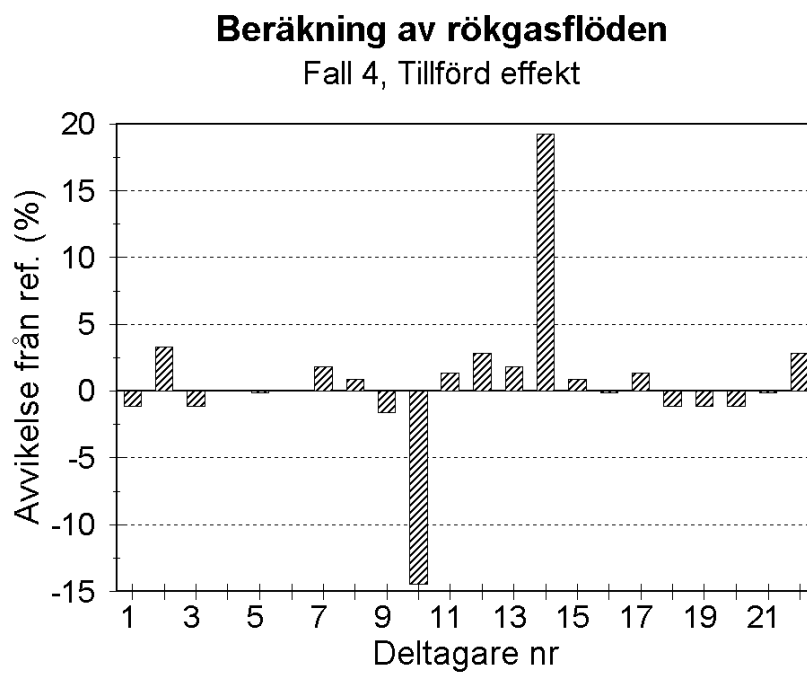
**Figur 21.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: specifika NO<sub>x</sub>-utsläppet (mg/MJ; som NO<sub>2</sub>).



**Figur 22.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: SO<sub>2</sub>-flöde (kg/h; som S).



**Figur 23.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: Specifika SO<sub>2</sub>-utsläppet (mg/MJ; som S).



**Figur 24.** Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2000.  
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: Tillförd effekt (MW).





# INSTITUTET FÖR TILLÄMPAD MILJÖFORSKNING VID STOCKHOLMS UNIVERSITET

106 91 STOCKHOLM

Telefon 08 - 674 70 00 vx      -      Fax 08 - 674 76 39



LUFTLABORATORIET

LABORATORIET FÖR AKVATISK MILJÖKEMI

LABORATORIET FÖR ANALYTISK MILJÖKEMI

LABORATORIET FÖR AKVATISK EKOTOXIKOLOGI