



Beräkning av rökgasflöde
Provningsjämförelse 2002

Gunnar Nyquist

Institutet för tillämpad miljöforskning

Institute of Applied Environmental Research

Beräkning av rökgasflöde

Provningsjämförelse 2002

Gunnar Nyquist

Förord

Enligt Naturvårdsverkets allmänna råd 98:1 (Kväveoxider från förbränning, 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. En jämförelse mellan beräknade rökgasflöden har gjorts en gång tidigare. I februari 2000 initiera Naturvårdsverket en jämförelse mellan ackrediterade laboratorier, instrumentleverantörer och konsulter som utför kontroller eller levererar beräkningsprogram. Resultatet finns beskrivet 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.

Till deltagarna i provningsjämförelsen sände Naturvårdsverket under våren 2002 fyra stycken beräkningsfall. Uppgiften för deltagarna var att beräkna rökgasflöden (torrt och vått), utsläpp av NO_x och S samt bränseleffekt. 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.

Antalet deltagare i provningsjämförelsen var totalt 21 stycken, därav samtliga laboratorier som är ackrediterade för beräkning av rökgasflöde.

Stockholm i september 2002.

Innehåll

	Sid.
1. Bakgrund	4
2. Beräkningsuppgifter	5
Fall 1	5
Fall 2	10
Fall 3	14
Fall 4	19
3. Deltagande laboratorier	26
4. Resultat	26
5. Referenser	26
Bilaga 1: Förteckning över deltagande laboratorier	28
Bilaga 2: Redovisade resultat, tabell 1 - 4	29
Bilaga 3: Figurer, Fall 1	33
Bilaga 4: Figurer, Fall 2	36
Bilaga 5: Figurer, Fall 3	40
Bilaga 6: Figurer, Fall 4	43

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 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_x , NO , NO_2 , O_2 , CO_2 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. 2 - 8, 10, 12) samt en provningsjämförelse för bestämning av rökghastighet genom pitotrörmätning (ref 9).

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. För att få en uppfattning om spridningen i beräkningsresultaten valde Naturvårdsverket att i februari 2000 initiera en jämförelse mellan ackrediterade laboratorier, instrumentleverantörer och konsulter som utför kontroller eller levererar beräkningsprogram. Resultatet finns presenterat i ref. 11. 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.

Till deltagarna i provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöde 2002" sände Naturvårdsverket fyra stycken beräkningsfall och uppgiften för deltagarna var att utifrån de givna ingångsvärdena beräkna

- rökgasflödet i $\text{m}^3(\text{n})/\text{h}$ (vått och torrt),
- NO_x -utsläpp i kg/h (som NO_2),
- svavelutsläpp i kg/h (som S),
- specifika utsläppen i mg/MJ tillförd bränsleeffekt (gäller både NO_x 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 (ref. 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 6,5 MW. Bränslet består av bark och spån. Pannan producerar hetvatten.

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

Driftsdata fall 1.

Storhet	Enhet	Värde
Panneffekt	MW	5,95
Strålningsförlust	MW	0,09
Rökgastemperatur	°C	206
Förbränningsluftens temperatur	°C	25
Förbränningsluftens relativa fuktighet	%	80
Andel NO ₂ av NO _x	%	0
O ₂ -halt	vol-% (torr gas)	4,9
NO-halt	ppm (torr gas)	129
SO ₂ -halt	ppm (torr gas)	0

Bränsledata fall 1.

Storhet	Enhet	Värde
Kalorimetriskt värmevärde	MJ/kg TS	21,3
Fukt	vikts-%	59,0
Kol	vikts-%TS	54,4
Väte	vikts-%TS	5,9
Syre	vikts-%TS	37,0
Kväve	vikts-%TS	1,0
Svavel	vikts-%TS	0
Aska	vikts-%TS	1,7

Exempel på beräkning enligt NV AR 98:1

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	54,4	22,3	12,01	18,57	18,57			
H	5,9	2,4	2 · 1,008	6,00		12,00		
O	37,0	15,2	2 · 16,00	- 4,74				
N	1,0	0,4	2 · 14,005					0,15
S	0,0	0,0	32,06					
Fukt		59,0	18,016			32,75		
Aska	1,7	0,7						
Summa mol/kg bränsle =				19,83	18,57	44,75	0,00	0,15
N ₂ i förbränningsluften = 3,77 · ΣO ₂								74,76

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning:

$$l_{ot} = (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (19,83 + 74,76) \cdot 0,02241 = 2,120 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

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

$$l_o = l_{ot} \cdot 101,3 / (101,3 - 2,53) = 2,120 \cdot 1,026 = 2,175 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$g_{ot} = (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 = (18,57 + 0 + 74,91) \cdot 0,02241 = 2,095 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bränsle:

$$g_o = g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(H_2O) \cdot 22,41/1000 = 2,095 + 2,175 - 2,120 + 44,75 \cdot 0,02241 = 3,153 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg bränsle:

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

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

$$m = 1,0 + 2,175 / 2,120 \cdot (4,9 / (20,95 - 4,9)) = 1,30$$

$$g_t = 2,095 + 2,120 \cdot (1,30 - 1,0) = 2,734 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg bränsle:

$$g = g_o + l_o \cdot (m - 1,0) = 3,153 + 2,175 \cdot (1,30 - 1,0) = 3,809 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

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. Beräkning av H_{eff} från H_s (kalorimetriska värmevärdet) sker enligt SS-ISO 1928, bilaga E2 (ref 13). Omskrivning av formlerna i "användarvänlig" form ger:

$$H_{\text{eff}}(\text{TS}) = H_s - 21,22 \cdot H - 0,08 \cdot (O + N) \quad (\text{MJ/kg(TS)})$$

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

där	$H_{\text{eff}}(\text{TS})$	= effektiva värmevärdet	(MJ/kg TS)
	H_s	= kalorimetriska värmevärdet	(MJ/kg TS)
	H	= halten väte i bränslet	(vikts-%/100)
	O	= halten syre i bränslet	(vikts-%/100)
	N	= halten kväve i bränslet	(vikts-%/100)
	F	= bränslets fukthalt	(vikts-%/100)

$$H_{\text{eff}}(\text{TS}) = 21,3 - 21,22 \cdot 0,059 - 0,08 \cdot (0,37 + 0,01) = 20,02 \quad \text{MJ/kg (TS)}$$

$$H_{\text{eff}} = 20,02 \cdot (1 - 0,59) - 2,443 \cdot 0,59 = 6,77 \quad \text{MJ/kg}$$

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 - 200 °C) har hämtats från ref. 14.

$$\text{H}_2\text{O}: \quad x_{\text{H}_2\text{O}} = (g - g_t)/g = 0,282; \quad C_{p, \text{H}_2\text{O}} = 1,505 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{O}_2: \quad x_{\text{O}_2} = 4,9 \cdot (1 - x_{\text{H}_2\text{O}})/100 = 0,0352; \quad C_{p, \text{O}_2} = 1,325 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{CO}_2: \quad x_{\text{CO}_2} = \Sigma \text{CO}_2 \cdot 22,4 \cdot 0,001/g = 0,109; \quad C_{p, \text{CO}_2} = 1,780 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{N}_2: \quad x_{\text{N}_2} = 1 - x_{\text{H}_2\text{O}} - x_{\text{O}_2} - x_{\text{CO}_2} = 0,574; \quad C_{p, \text{N}_2} = 1,295 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$C_p = \Sigma (x_i \cdot C_{p,i}) = 1,41 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

Tillförd effekt, P_b (MW), beräknas sedan enligt

$$\begin{aligned} P_b &= (P_{\text{nytt}} + P_{\text{strål}} + P_{\text{aska}})/(1 - g \cdot C_p \cdot (T_{\text{rök}} - 25)/H_{\text{eff}}) = \\ &= (5,95 + 0,09 + 0)/(1 - 3,809 \cdot 1,41 \cdot (203 - 25)/6,77 \cdot 0,001) = \\ &= 7,03 \text{ MW} \end{aligned}$$

Bränsleflödet, q_b (kg/h), beräknas enligt

$$q_b = P_b / H_{\text{eff}} \cdot 3\,600 = 7,03 / 6,77 \cdot 3\,600 = 3\,742 \text{ kg/h}$$

$$\text{Torrt rökgasflöde} = q_b \cdot g_t = 3\,742 \cdot 2,734 = 10\,231 \text{ m}^3(\text{n tg})/\text{h}$$

$$\text{Vått rökgasflöde} = q_b \cdot g = 3\,742 \cdot 3,809 = 14\,252 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$$

NO_x -utsläpp (kg/h; som NO_2): ($g_t = 10\,231 \text{ m}^3/\text{h}$)

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO} / (1 - \text{NO}_2 / 100) \cdot 2,05 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = \\ &= 129 / (1 - 0 / 100) \cdot 2,05 \cdot 10\,231 \cdot 10^{-6} = 2,71 \text{ kg/h (som NO}_2) \end{aligned}$$

NO_x -utsläpp (mg/MJ; som NO_2):

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}_x \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (P_b \cdot 3\,600) = 2,71 \cdot 10^6 / (7,03 \cdot 3\,600) = \\ &= 106,9 \text{ mg/MJ (som NO}_2) \end{aligned}$$

2.2 Fall 2

Förutsättningar:

Oljeeldad panna med en nominell effekt om 150 MW. Bränslet består av Eo 5. Pannan producerar ånga till process.

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

Driftsdata fall 2.

Storhet	Enhet	Värde
Oljeflöde	kg/s	1,6
Förbränningsluftens temperatur	°C	25
Förbränningsluftens relativa fuktighet	%	80
Andel NO ₂ av NO _x	%	1,1
O ₂ -halt	vol-% torr gas	2,6
NO-halt	ppm torr gas	123
SO ₂ -halt	ppm torr gas	Allt svavlet i bränslet släpps ut

Bränsledata fall 2.

Storhet	Enhet	Värde
Värmevärde	MJ/kg	42,1
Fukt	vikts-%	0,2
Kol	vikts-%TS	87,6
Väte	vikts-%TS	11,8
Syre	vikts-%TS	0,1
Kväve	vikts-%TS	0,18
Svavel	vikts-%TS	0,43
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 ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂
	Torr	Våt					
C	87,6	87,42	12,01	72,79	72,79		
H	11,8	11,78	2 · 1,008	29,21		58,41	
O	0,1	0,10	2 · 16,00	- 0,03			
N	0,18	0,18	2 · 14,005				0,06
S	0,43	0,43	32,06	0,13		0,13	
Fukt		0,2	18,016			0,11	
Aska	0,0	0					
Summa mol/kg bränsle =			102,10	72,79	58,53	0,13	0,06
N ₂ i förbränningsluften = 3,77 · ΣO ₂							384,93

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning:

$$l_{ot} = (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (102,10 + 384,93) \cdot 0,02241 = 10,914 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

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

$$l_o = l_{ot} \cdot 1,026 = 11,194 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$g_{ot} = (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 = (72,79 + 0,13 + 384,99) \cdot 0,02241 = 10,262 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bränsle:

$$g_o = g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(H_2O) \cdot 22,41/1000 = 10,262 + 11,194 - 10,914 + 58,53 \cdot 0,02241 = 11,853 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg bränsle:

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

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

$$m = 1,0 + 10,262/10,914 \cdot (2,6/(20,95 - 2,6)) = 1,13$$

$$g_t = 10,262 + 10,914 \cdot (1,13 - 1,0) = 11,716 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg bränsle:

$$g = g_o + l_o \cdot (m - 1,0) = 11,853 + 11,194 \cdot (1,13 - 1,0) = 13,345 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Tillförd effekt, P_b (MW), beräknas enligt

$$P_b = \text{oljaflöde} \cdot H_{\text{eff}} = 1,6 \cdot 42,1 \cdot (1 - 0,2/100) = 67,23 \text{ MW}$$

Bränsleflödet, q_b (kg/h), beräknas enligt

$$q_b = \text{oljaflödet} \cdot 3\,600 = 1,6 \cdot 3\,600 = 5\,760 \text{ kg/h}$$

Torr rökgasflöde = $q_b \cdot g_t = 5\,760 \cdot 11,716 = 67\,484 \text{ m}^3(\text{n tg})/\text{h}$

Vått rökgasflöde = $q_b \cdot g = 5\,760 \cdot 13,345 = 76\,866 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$

NO_x -utsläpp (kg/h; som NO_2): (NO-halt i torr gas = 123 ppm; $g_t = 67\,484 \text{ m}^3/\text{h}$)

$$\text{NO}_x = \text{NO}/(1 - \text{NO}_2/100) \cdot 2,05 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = 17,21 \text{ kg/h (som NO}_2)$$

NO_x -utsläpp (mg/MJ; som NO_2):

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}_x \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (P_b \cdot 3\,600) = 17,21 \cdot 10^6 / (67,23 \cdot 3\,600) = \\ &= 71,1 \text{ mg/MJ (som NO}_2) \end{aligned}$$

SO_2 -utsläpp (kg/h; som S): (allt svavlet i bränslet släpps ut, dvs 0,43 vikts-%/kg TS)

$$\text{SO}_2 = 0,43 \cdot (1 - 0,2/100) \cdot 5\,760/100 = 24,72 \text{ kg/h (som S)}$$

SO_2 -utsläpp (mg/MJ; som S):

$$\begin{aligned} \text{SO}_2 &= \text{SO}_2 \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (P_b \cdot 3\,600) = 24,72 \cdot 10^6 / (67,23 \cdot 3\,600) = \\ &= 102,1 \text{ mg/MJ (som S)} \end{aligned}$$

2.3 Fall 3

Förutsättningar:

Gaseldad panna med en nominell effekt om 27 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	2116
Förbränningsluftens temperatur	°C	25
Förbränningsluftens relativa fuktighet	%	80
Andel NO ₂ av NO _x	%	0
O ₂ -halt	vol-% (torr gas)	2,19
NO-halt	ppm (torr gas)	80,7
SO ₂ -halt	ppm (torr gas)	0

Bränsledata fall 3.

Storhet	Enhet	Värde
Värmevärde (H_{eff})	MJ/m ³ (n)	39,9
Metan	vol-%	88,13
Etan	vol-%	6,58
Propan	vol-%	2,77
Butan	vol-%	1,0
Pentan	vol-%	0,2
Kväve	vol-%	0,33
Koldioxid	vol-%	0,99

Naturgasens sammansättning (per m³):

Ämne	vol -%	molvikt	gram tot	gram C	gram H
Metan	88,13	16,04	630,8	472,3	158,5
Etan	6,58	30,07	88,3	70,5	17,8
Propan	2,77	44,11	54,5	44,5	10,0
Butan	1,0	58,13	25,9	21,4	4,5
Pentan	0,2	72,15	6,4	5,4	1,1
Kväve	0,33	28,01	4,1		
Koldioxid	0,99	44,01	19,4		
Totalt			829,6	614,2	191,8
vikts-%			100	74,0	23,1

Exempel på beräkning enligt NV AR 98:1

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	74,0		12,01	61,65	61,65			
H	23,0		2 · 1,008	57,35		114,7		
O	0,0		2 · 16,00					
N	0,0		2 · 14,005					
S	0,0		32,06					
N ₂ i naturgasen							0,18	
CO ₂ i naturgasen				0,53				
Summa moler/kg bränsle =				119,00	62,18	114,7	0,0	0,18
N ₂ i förbränningsluften = 3,77 · ΣO ₂							448,63	

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning:

$$\begin{aligned}
 l_{ot} &= (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (119,0 + 448,63) \cdot 0,02241 = \\
 &= 12,720 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}
 \end{aligned}$$

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

$$l_o = l_{ot} \cdot 1,026 = 13,051 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$\begin{aligned} g_{ot} &= (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 = \\ &= (62,18 + 0 + 448,81) \cdot 0,02241 = 11,451 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bränsle:

$$\begin{aligned} g_o &= g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(H_2O) \cdot 22,41/1000 = 11,451 + 13,051 - 12,720 + \\ &+ 114,7 \cdot 0,02241 = 14,353 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$\begin{aligned} g_t &= g_{ot} + l_{ot} \cdot (m - 1,0) \\ m &= 1,0 + K \cdot \frac{(O_2)_t}{20,95 - (O_2)_t}; \quad \text{där } K = g_{ot} / l_{ot} \\ m &= 1,0 + 11,451/12,720 \cdot (2,19/(20,95 - 2,19)) = 1,11 \\ g_t &= 11,451 + 12,720 \cdot (1,11 - 1,0) = 12,787 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg bränsle:

$$\begin{aligned} g &= g_o + l_o \cdot (m - 1,0) = 14,353 + 13,051 \cdot (1,11 - 1,0) = \\ &= 15,724 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle} \end{aligned}$$

Tillförd effekt, P_b (MW), beräknas enligt

$$P_b = \text{gasflöde (m}^3/\text{s)} \cdot H_{\text{eff}} = 2\,116/3\,600 \cdot 39,9 = 23,45 \text{ MW}$$

$$\text{Bränsleflödet } q_b = 2\,116 \cdot 0,8296 = 1\,755 \text{ kg/h}$$

$$\text{Torrt rökgasflöde} = q_b \cdot g_t = 1\,755 \cdot 12,787 = 22\,446 \text{ m}^3(\text{n tg})/\text{h}$$

$$\text{Vått rökgasflöde} = q_b \cdot g = 1\,755 \cdot 15,724 = 27\,601 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$$

NO_x-utsläpp (kg/h; som NO₂): (NO-halt i torr gas = 80,7 ppm; g_t = 22 446 m³/h)

$$\text{NO}_x = \text{NO} / (1 - \text{NO}_2/100) \cdot 2,05 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = 3,71 \text{ kg/h (som NO}_2)$$

NO_x-utsläpp (mg/MJ; som NO₂):

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}_x \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (P_b \cdot 3\,600) = 3,71 \cdot 10^6 / (23,45 \cdot 3\,600) = \\ &= 44,0 \text{ mg/MJ (som NO}_2) \end{aligned}$$

2.4 Fall 4

Förutsättningar:

Bark- och oljeeldad panna med en nominell effekt om 21 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	130
Tryck mava	bar	3
Temperatur ånga	°C	442
Tryck ånga	bar	60
Ångflöde ($q_{\text{ång}}$)	ton/h	16,7
Oljeflöde	kg/s	0,08
Strålningsförlust	MW	0,2
Rökgastemperatur	°C	182
Förbränningsluftens temperatur	°C	25
Förbränningsluftens relativa fuktighet	%	80
Andel NO ₂ av NO _x	%	3,6
O ₂ -halt	vol-% (torr gas)	11,4
NO-halt	ppm (torr gas)	63,5
SO ₂ -halt	ppm (torr gas)	42

Bränsledata fall 4.

Storhet	Enhet	Olja	Bark
Värmevärde	MJ/kg	41,6	7,27
Fukt	vikts-%	0	55,0
Kol	vikts-%TS	86,0	51,0
Väte	vikts-%TS	12,0	5,9
Syre	vikts-%TS	0	40,0
Kväve	vikts-%TS	0,37	0,3
Svavel	vikts-%TS	0,47	0,05
Aska	vikts-%TS	1,16	2,75

Exempel på beräkning enligt NV AR 98:1

Bränsle = olja				mol per kg bränsle				
Elementaranalys			Molvikt	Syre- behov	Rökgaser			
Ämne	Vikts-%				O ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂
	Torr	Våt						
C	86,0		12,01	71,61	71,61			
H	12,0		2 · 1,008	29,76		59,52		
O	0		2 · 16,00					
N	0,37		2 · 14,005					0,13
S	0,47		32,06	0,15			0,15	
Fukt	0		18,016					
Aska	1,16							
Summa moler/kg bränsle =				101,52	71,61	59,52	0,15	0,13
N ₂ i förbränningsluften = 3,77 · ΣO ₂								382,71

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning av olja:

$$l_{ot} = (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (101,52 + 382,71) \cdot 0,02241 = 10,852 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Luftbehov, fuktig luft vid stökiometrisk förbränning av olja:

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

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

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

$$l_o = l_{ot} \cdot 1,026 = 11,134 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg olja:

$$g_{ot} = (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 = (71,61 + 0,15 + 382,84) \cdot 0,02241 = 10,184 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg olja:

$$g_o = g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(H_2O) \cdot 22,41/1000 = 10,184 + 11,134 - 10,852 + 59,52 \cdot 0,02241 = 11,801 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg olja:

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

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

$$m = 1,0 + 10,184/10,852 \cdot (11,4 / (20,95 - 11,4)) = 2,12$$

$$g_t = 10,184 + 10,852 \cdot (2,12 - 1,0) = 22,341 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg olja:

$$g = g_o + l_o \cdot (m - 1,0) = 11,801 + 11,134 \cdot (2,12 - 1,0) = 24,275 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Bränsle = bark			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	51,0	22,95	12,01	19,11	19,11			
H	5,9	2,66	2 · 1,008	6,58		13,17		
O	40,0	18,0	2 · 16,00	-5,63				
N	0,3	0,14	2 · 14,005					0,05
S	0,05	0,023	32,06	0,007			0,007	
Fukt		55,0	18,016			30,53		
Aska	2,75	1,24						
Summa moler/kg bränsle =				20,08	19,11	43,70		0,05
N ₂ i förbränningsluften = 3,77 · ΣO ₂								75,72

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning av bark:

$$l_{ot} = (\Sigma O_2 + 3,77 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (20,08 + 75,72) \cdot 0,02241 = 2,147 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Luftbehov, fuktig luft vid stökiometrisk förbränning av bark:

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

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

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

$$l_o = l_{ot} \cdot 1,026 = 2,203 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bark:

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

$$= (19,11 + 0,02 + 75,77) \cdot 0,02241 = 2,126 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bark:

$$g_o = g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(H_2O) \cdot 22,41/1000 = 2,126 + 2,203 - 2,147 +$$

$$+ 43,70 \cdot 0,02241 = 3,161 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg bark:

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

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

$$m = 1,0 + 2,126/2,147 \cdot (11,4 / (20,95 - 11,4)) = 2,18$$

$$g_t = 2,126 + 2,147 \cdot (2,18 - 1,0) = 4,664 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg bark:

$$g = g_o + l_o \cdot (m - 1,0) = 3,161 + 2,203 \cdot (2,18 - 1,0) =$$

$$= 5,766 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

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 - 200 °C) har hämtats från ref. 14. Vid barkeldning fås då:

$H_2O:$	$x_{H_2O} = (g - g_t)/g = 0,191;$	$C_{p, H_2O} = 1,505 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$
$O_2:$	$x_{O_2} = 11,4 \cdot (1 - x_{H_2O})/100 = 0,0922;$	$C_{p, O_2} = 1,325 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$
$CO_2:$	$x_{CO_2} = \Sigma CO_2 \cdot 22,4 \cdot 0,001/g = 0,0742;$	$C_{p, CO_2} = 1,780 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$
$N_2:$	$x_{N_2} = 1 - x_{H_2O} - x_{O_2} - x_{CO_2} = 0,643;$	$C_{p, N_2} = 1,295 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$

$$C_p(\text{bark}) = \Sigma (x_i \cdot C_{p, i}) = 1,37 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

På motsvarande sätt fås vid oljeeldning:

$$\text{H}_2\text{O}: \quad x_{\text{H}_2\text{O}} = (g - g_t)/g = 0,0796; \quad C_{p, \text{H}_2\text{O}} = 1,505 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{O}_2: \quad x_{\text{O}_2} = 11,4 \cdot (1 - x_{\text{H}_2\text{O}})/100 = 0,105; \quad C_{p, \text{O}_2} = 1,325 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{CO}_2: \quad x_{\text{CO}_2} = \Sigma \text{CO}_2 \cdot 22,4 \cdot 0,001/g = 0,0661; \quad C_{p, \text{CO}_2} = 1,780 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{N}_2: \quad x_{\text{N}_2} = 1 - x_{\text{H}_2\text{O}} - x_{\text{O}_2} - x_{\text{CO}_2} = 0,749; \quad C_{p, \text{N}_2} = 1,295 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

$$C_p(\text{olja}) = 1,35 \text{ kJ}/(\text{m}^3(\text{n}) \cdot ^\circ\text{C})$$

Beräkning av bränsleflöden

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

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

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

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

$$q_{\text{ång}} = 16\,700/3\,600 = 4,634 \text{ kg/s} \quad (\text{givet})$$

$$i_{\text{ång}} = 3,2827 \text{ MJ/kg} \quad (\text{ur tabell, ref. 15})$$

$$i_{\text{mava}} = 0,5464 \text{ MJ/kg} \quad (\text{ur tabell, ref. 15})$$

$$P_{\text{nytt}} = P_{\text{ång}} = 4,634 \cdot (3,2827 - 0,5464) = 12,693 \text{ MW}$$

$$\text{Tillförd oljeeffekt} = P_{\text{olja}} = \text{oljeflödet} \cdot H_{\text{eff, olja}} = 0,08 \cdot 41,6 = 3,328 \text{ MW}$$

Rökgasförlust, olja:

$$\begin{aligned} P_{\text{rök,olja}} &= P_{\text{olja}} \cdot g \cdot C_p \cdot (T_{\text{rök}} - 25)/H_{\text{eff, olja}} \cdot 0,001 = \\ &= 3,328 \cdot 24,275 \cdot 1,35 \cdot (182 - 25)/41,6 \cdot 0,001 = 0,411 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\text{Nyttig effekt från olja} = 3,328 - 0,411 = 2,917 \text{ MW}$$

$$\text{Nyttig effekt från bark:} = 12,693 - 2,917 = 9,776 \text{ MW}$$

Tillförd effekt från bark, P_b (bark), beräknas enligt

$$\begin{aligned} P_b(\text{bark}) &= (P_{\text{nytt}} + P_{\text{strål}} + P_{\text{aska}}) / (1 - g \cdot C_p \cdot (T_{\text{rök}} - 25) / H_{\text{eff}}) = \\ &= (9,776 + 0,2 + 0) / (1 - 5,766 \cdot 1,37 \cdot (182 - 25) / 7,27 \cdot 0,001) = \\ &= 12,034 \text{ MW} \end{aligned}$$

Totalt tillförd effekt = 3,328 + 12,034 = 15,36 MW

Barkflödet, q_{bark} (kg/h), beräknas enligt

$$q_{\text{bark}} = P_{\text{bark}} / H_{\text{eff,bark}} \cdot 3\,600 = 12,034 / 7,27 \cdot 3\,600 = 5\,959 \text{ kg/h}$$

Torr rökgasflöde = $5\,959 \cdot 4,664 + 0,08 \cdot 3\,600 \cdot 22,341 = 34\,219 \text{ m}^3(\text{n tg})/\text{h}$

Vått rökgasflöde = $5\,759 \cdot 5,766 + 0,08 \cdot 3\,600 \cdot 24,275 = 41\,339 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$

NO_x -utsläpp (kg/h; som NO_2): ($g_t = 34\,219 \text{ m}^3/\text{h}$)

$$\text{NO}_x = \text{NO} / (1 - \text{NO}_2/100) \cdot 2,05 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = 4,62 \text{ kg/h (som NO}_2)$$

NO_x -utsläpp (mg/MJ; som NO_2):

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= \text{NO}_x \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (P_b \cdot 3\,600) = 4,62 \cdot 10^6 / (15,36 \cdot 3\,600) = \\ &= 83,6 \text{ mg/MJ (som NO}_2) \end{aligned}$$

SO_2 -utsläpp (kg/h; som S): (SO_2 -halt i torr gas = 42 ppm; $g_t = 34\,219 \text{ m}^3/\text{h}$)

$$\text{SO}_2 = \text{SO}_2 \cdot 2,94 \cdot 64/32 \cdot g_t \cdot 10^{-6} = 2,11 \text{ kg/h (som S)}$$

SO_2 -utsläpp (mg/MJ; som S):

$$\begin{aligned} \text{SO}_2 &= \text{SO}_2 \text{ (kg/h)} \cdot 10^6 / (P_b \cdot 3\,600) = 2,07 \cdot 10^6 / (15,36 \cdot 3\,600) = \\ &= 38,2 \text{ mg/MJ (som S)} \end{aligned}$$

3. DELTAGANDE LABORATORIER

En förteckning över de deltagande laboratorierna finns i bilaga 1. Totalt deltog 21 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. 16) 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.

Samtliga rapporterade resultat finns i tabellerna 1 - 4 tillsammans med beräknade medelvärden och standardavvikelser. De resultat som är skrivna med kursiv fetstil är inte medtagna vid de statistiska beräkningarna på grund av att de avviker så mycket från referensvärdet (mer än 45 %) att genomslaget på medelvärde och spridning ger en missvisande bild. Något måste ha blivit fel då de markerade värdena beräknades. För övriga resultat är avvikelserna från referensvärdet mindre än ca 20 %. Fortfarande finns det alltså en del resultat som "sticker ut", men också här är det upp till de aktuella deltagarna att reda ut orsaken.

I figur 1 - 24 redovisas resultaten grafiskt som avvikelse (%) mot referensen. **Observera att skalorna inte är lika i figurerna och att de markerade resultaten i tabell 1 - 4 inte är medtagna!**

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.

5. REFERENSER

1. *Naturvårdsverket, 1997. AR 98:1 (Allmänna Råd): Kväveoxider från förbränning. Miljöavgifts- och anläggningskontroll.*
2. *Nyquist, G., 1993. Provningsjämförelse mellan mätlaboratorier som utför automatiska rökgasmätningar. - ITM rapport 12.*

3. *Nyquist, G., 1994.* Automatiska rökasmätningar. Provningsjämförelse 1994. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 21.
4. *Nyquist, G., 1995.* Automatiska rökasmätningar. Provningsjämförelse 1995. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 37.
5. *Nyquist, G., 1996.* Automatiska rökasmätningar. Provningsjämförelse 1996. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 47.
6. *Nyquist, G., 1997.* Automatiska rökasmätningar. Provningsjämförelse 1997. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 62.
7. *Nyquist, G., 1998.* Automatiska rökasmätningar. Provningsjämförelse 1998. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 73.
8. *Nyquist, G., 1999.* Automatiska rökasmätningar. Provningsjämförelse 1999. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 76.
9. *Nyquist, G., 2000.* Flödesmätningar med pitotrör. Provningsjämförelse 1999. -ITM rapport 80.
10. *Nyquist, G., 2000.* Automatiska rökasmätningar. Provningsjämförelse 2000. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 84.
11. *Nyquist, G., 2000.* Beräkning av rökgasflöde. Provningsjämförelse 2000. Bestämning av halter i referensgasblandningar. - ITM rapport 85.
12. *Nyquist, G., 2001.* Flödesmätningar med pitotrör. Provningsjämförelse 2001. -ITM rapport 95.
13. *Svensk standard SS-ISO 1928, 1996:* Fasta bränslen – Bestämning av kalorimetriskt värmevärde med bombkalorimeter och beräkning av effektivt värmevärde.
14. *Mörtstedt, S.-E. och Hellsten, G, 1987.* Data och diagram. Esselte studium.
15. *Wester, L., 1998.* Tabeller och diagram för energitekniska beräkningar.
16. *EA-3/04, 1993.* WELAC criteria for proficiency testing in accreditation. European Laboratory Accreditation Publication.

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

Deltagare i provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöde" 2002

Alstom Power

Boo Instrument AB

Cementa Research AB

EMK Energi Miljö Konsult AB

ENA Miljökonsult AB

ILEMA Miljöanalys AB

IMKAB Industriell Miljökontroll AB

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

KMP Kontroll Miljö Process AB

METLAB Miljö AB

Miljölaboratoriet i Trelleborg AB

Miljömätarna i Linköping AB

Opsis AB

Petrokraft AB

SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Stora Enso Research

SwedPower AB

Sycon Energikonsult AB

SWECO VBB VIAK

ÅF-ProcessdesignAB

ÅF-IPK AB

Bilaga 2

Tabell 1: *Provningsjämförelse 2002. Beräkning av rökgasflöden. Resultat för "Fall 1". Resultat skrivna med **kursiv fetstil** är inte medtagna vid de statistiska beräkningarna*

Lab.	Flöde, torrt m ³ (n)/h	Flöde, vått m ³ (n)/h	NOx kg/h NO ₂	NOx mg/MJ	Effekt MW
Ref.	10 231	14 252	2,71	106,9	7,03
1	10 319	14 366	2,73	107,0	7,10
2	9 745	13 558	2,60	101,0	7,10
3	8 204	11 196	2,17	88,5	6,81
4	10 233	14 113	2,71	106,9	7,04
5	10 800	15 000	2,90	107,0	7,40
6	3 385	4 716	0,90	39,0	6,37
7	12 259	16 754	3,20	126,0	7,20
8	9 941	13 849	2,63	106,0	6,86
9	10 806	15 037	2,86	107,2	7,42
10	9 407	13 306	2,57	101,0	7,02
11	9 444	13 166	2,50	100,0	6,95
12	11 768	16 374	3,12	120,2	7,20
13	10 215	14 221	2,70	107,2	7,00
14	10 305	14 340	2,73	107,9	7,03
15	10 269	14 303	2,72	106,8	7,07
16	10 450	14 420	2,76	108,0	7,09
17	8 035	12 399	2,14	88,9	6,68
18	10 260	14 100	2,71	107,0	7,04
19	10 300	14 300	2,72	107,0	7,07
20	9 003	12 537	2,38	95,3	6,94
21	10 410	14 510	2,75	108,0	7,10
Medel	10 109	14 092	2,68	105,3	7,02
n	20	20	20	20	21
s	1 000	1 257	0,258	8,62	0,226
s-t/√n	469	590	0,121	4,05	0,103
max	12 259	16 754	3,20	126,0	7,42
min	8 035	11 196	2,14	88,5	6,37

Tabell 2: *Provningsjämförelse 2002. Beräkning av rökgasflöden. Resultat för "Fall 2". Resultat skrivna med kursiv fetstil är inte medtagna vid de statistiska beräkningarna*

Lab.	Flöde, torrt m ³ (n)/h	Flöde, vått m ³ (n)/h	NOx kg/h NO ₂	NOx mg/MJ	SO2 kg/h S	S mg/MJ	Effekt MW
Ref.	67 484	76 866	17,21	71,1	24,72	102,1	67,20
1	67 521	76 888	17,21	71,1	24,74	102,2	67,20
2	67 471	76 765	17,20	71,2	24,70	102,0	67,20
3	67 644	75 276	17,06	70,5	24,72	102,1	67,23
4	67 406	76 460	17,22	71,1	24,69	101,9	67,23
5	67 500	76 800	17,20	71,0	24,70	102,0	67,20
6	67 475	76 856	17,20	70,9	24,77	102,1	67,36
7	68 083	75 629	17,40	72,0	43,90	204,0	67,30
8	67 389	76 787	17,20	71,0	27,90	115,0	67,36
9	68 813	78 231	15,57	72,6	24,72	102,1	67,23
10	67 309	76 352	17,46	72,0	24,70	102,0	67,33
11	67 397	76 800	17,18	70,9	24,77	102,1	67,36
12	67 261	76 602	17,17	71,0	24,69	102,0	67,22
13	67 785	77 150	17,30	71,3	24,80	102,1	67,40
14	67 470	76 860	17,20	71,2	24,70	102,2	67,20
15	67 425	76 814	17,19	71,0	24,72	102,1	67,22
16	67 310	76 350	17,10	70,3	24,70	102,0	67,40
17	67 912	77 224	17,32	71,5	24,77	102,0	67,20
18	68 100	76 600	17,40	72,0	24,05	99,0	66,04
19	67 300	76 700	17,20	71,0	24,70	102,0	67,40
20	67 488	76 869	17,21	71,1	24,72	102,1	67,23
21	67 455	75 644	17,20	71,1	24,80	102,0	67,20
Medel	67 596	76 650	17,15	71,2	24,85	102,6	67,21
n	21	21	21	21	20	20	21
s	368	614	0,375	0,53	0,734	3,01	0,280
s·t/√n	169	281	0,172	0,24	0,345	1,41	0,128
max	68 813	78 231	17,46	72,6	27,90	115,0	67,40
min	67 261	75 276	15,57	70,3	24,05	99,0	66,04

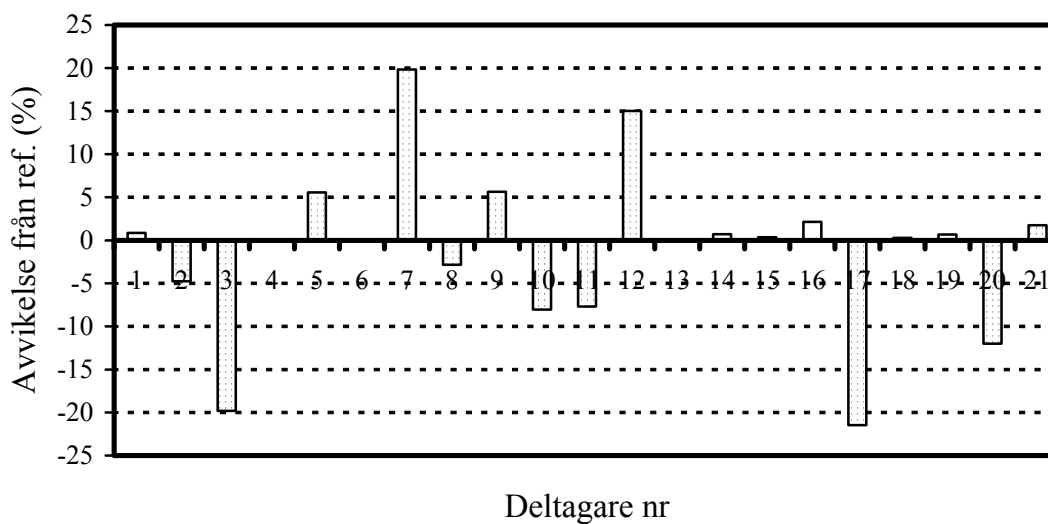
Tabell 3: *Provningsjämförelse 2002. Beräkning av rökgasflöden. Resultat för "Fall 3". Resultat skrivna med **kursiv fetstil** är inte medtagna vid de statistiska beräkningarna*

Lab.	Flöde, torrt m ³ (n)/h	Flöde, vått m ³ (n)/h	NOx kg/h NO ₂	NOx mg/MJ	Effekt MW
Ref.	22 446	27 601	3,71	44,0	23,45
1	23 177	28 330	3,83	45,4	23,50
2	22 493	27 598	3,70	44,2	23,50
3	22 536	27 108	3,73	44,2	23,45
4	21 640	26 391	3,59	42,5	23,45
5	22 400	27 600	3,70	44,0	23,50
6	22 390	27 524	3,70	43,9	23,46
7	22 768	27 931	3,80	45,0	23,50
8	22 400	27 370	3,70	44,0	23,50
9	22 507	27 645	3,73	44,2	23,45
10	22 424	27 396	2,13	45,0	23,44
11	32 606	40 081	5,39	63,9	23,45
12	22 430	27 476	3,72	44,0	23,45
13	22 424	27 512	3,70	43,9	23,50
14	22 540	27 545	3,73	44,2	23,50
15	22 447	27 597	3,71	44,0	23,45
16	22 420	27 400	3,71	43,9	23,40
17	23 099	28 370	3,82	45,3	23,45
18	22 800	27 700	3,78	44,8	23,45
19	22 500	27 700	3,72	44,0	23,50
20	22 460	27 635	3,72	44,0	23,45
21	21 790	27 000	3,60	42,7	23,50
Medel	22 522	27 541	3,72	44,2	23,47
n	20	20	19	20	21
s	346	424	0,061	0,72	0,030
s·t/√n	163	199	0,029	0,34	0,014
max	23 177	28 370	3,83	45,4	23,50
min	21 640	26 391	3,59	42,5	23,40

Tabell 4: *Provningsjämförelse 2002. Beräkning av rökgasflöden. Resultat för "Fall 4". Resultat skrivna med **kursiv fetstil** är inte medtagna vid de statistiska beräkningarna*

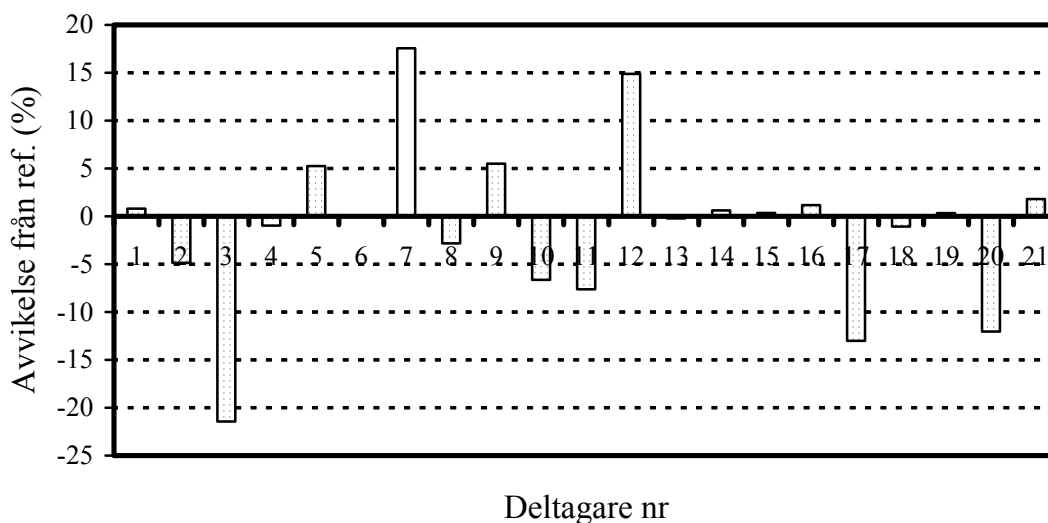
Lab.	Flöde, torrt m ³ (n)/h	Flöde, vått m ³ (n)/h	NOx kg/h NO ₂	NOx mg/MJ	SO2 kg/h S	S mg/MJ	Effekt MW
Ref.	34 219	41 339	4,62	83,6	2,11	38,20	15,36
1	34 440	41 457	4,65	83,9	2,13	38,40	15,40
2	34 658	41 813	4,70	83,9	2,10	38,30	15,50
3	33 732	42 408	4,39	80,9	2,08	38,38	15,08
4	33 306	39 954	4,51	82,0	2,06	37,40	15,28
5	34 800	42 100	4,70	86,0	2,20	39,00	15,30
6	33 933	40 974	4,58	83,5	2,10	38,20	15,24
7	34 832	39 853	4,50	82,0	2,10	38,00	12,90
8	32 136	38 777	4,34	82,9	1,98	37,80	14,54
9	127 178	156 127	17,20	87,0	7,84	39,70	54,93
10	35 611	43 942	4,82	75,0	2,20	33,00	15,54
11	41 916	50 861	5,66	84,0	2,59	38,40	18,72
12	34 267	41 360	4,63	83,7	2,06	37,20	15,37
13	34 306	41 403	4,60	84,0	2,10	38,30	15,30
14	34 748	41 960	4,70	83,8	2,09	37,25	15,60
15	12 798	14 856	1,73	78,8	0,79	36,10	6,09
16	34 470	41 400	4,66	84,0	2,07	37,10	15,50
17	29 025	36 575	3,92	73,7	1,79	33,70	14,76
18	33 600	39 924	4,54	65,9	2,07	37,97	15,18
19	34 200	41 300	4,62	83,0	2,05	37,00	15,40
20	28 911	34 683	3,90	84,1	1,78	38,50	12,89
21	37 560	46 030	5,10	77,3	2,30	34,90	18,20
Medel	34 234	41 409	4,61	81,4	2,10	37,4	15,35
n	19	19	19	21	19	21	19
s	2 735	3 346	0,376	4,89	0,170	1,68	1,350
s-t/√n	1 318	1 612	0,181	2,24	0,082	0,77	0,650
max	41 916	50 861	5,66	87,0	2,59	39,7	18,72
min	28 911	34 683	3,90	65,9	1,78	33,0	12,89

Fall 1, torr rökgas



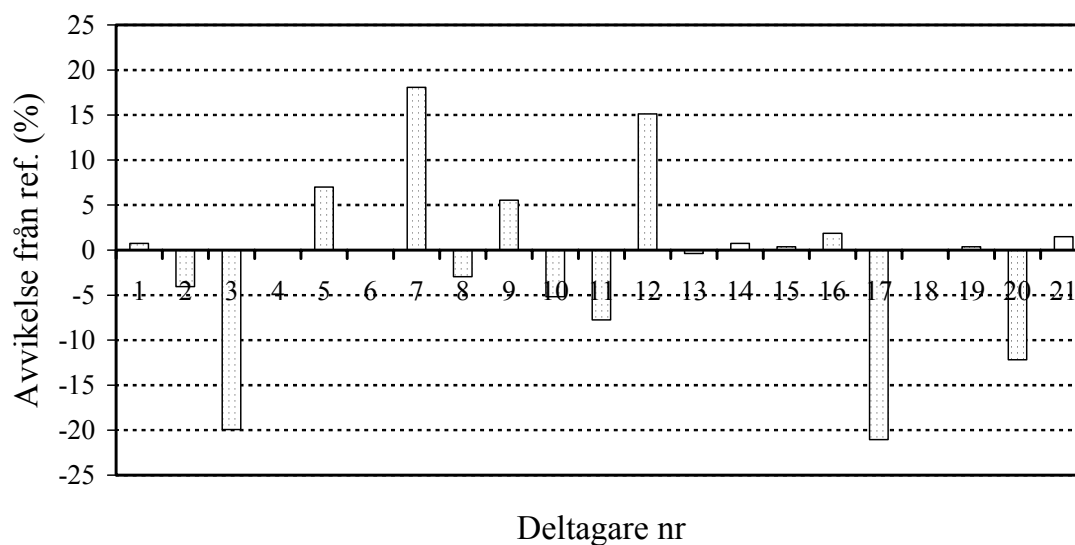
Figur 1. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 1: Torrt rökgasflöde ($m^3(n)tg/h$).

Fall 1, våt rökgas



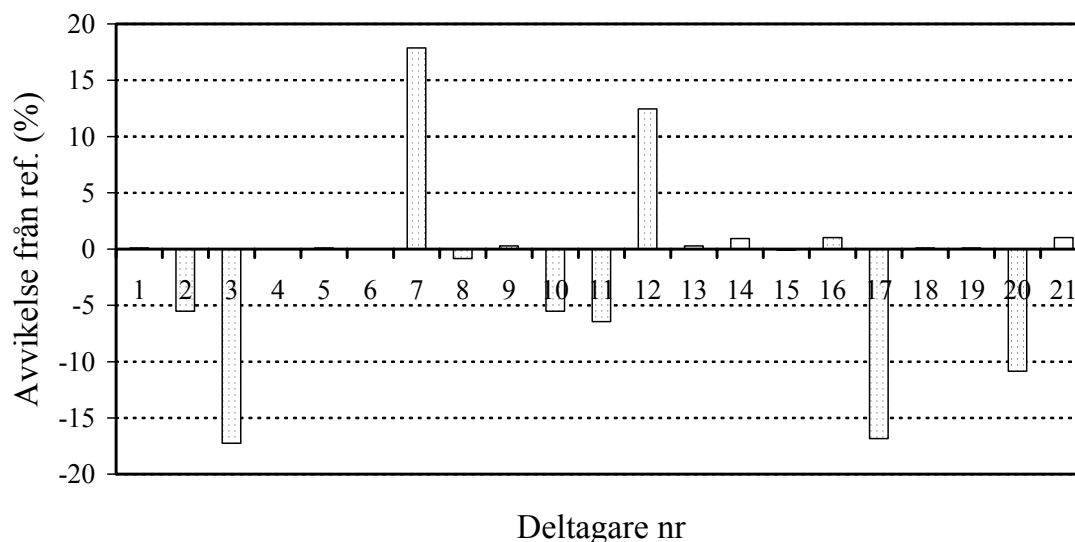
Figur 2. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 1: Vått rökgasflöde ($m^3(n)h$).

Fall 1, NO_x (kg/h NO₂)



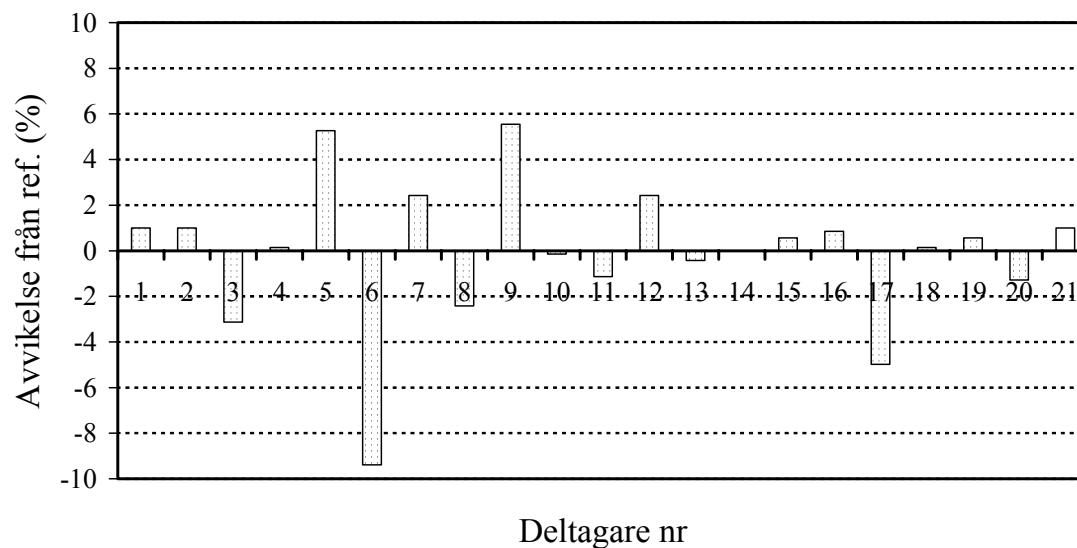
Figur 3. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 1: NO_x-flöde (kg/h; som NO₂).

Fall 1, NO_x (mg/MJ NO₂)



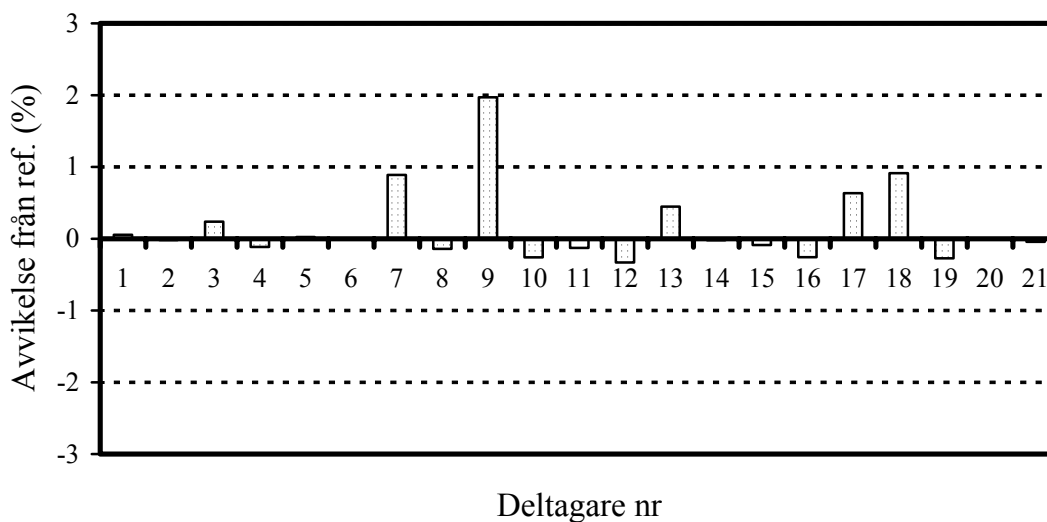
Figur 4. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 1: specifika NO_x-utsläppet (mg/MJ; som NO₂).

Fall 1, Tillförd effekt



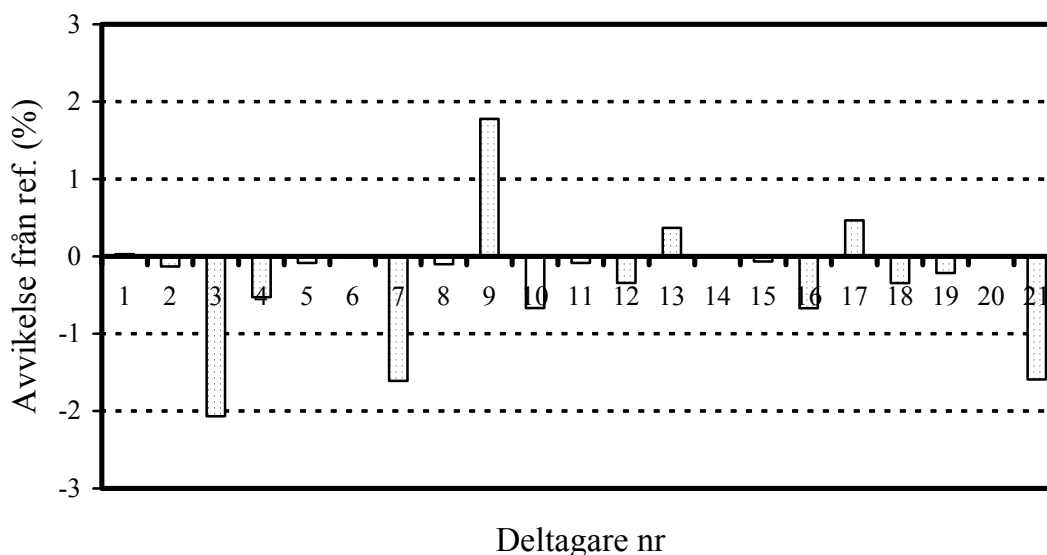
Figur 5. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002.
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 1: Tillförd effekt (MW).

Fall 2, torr rökgas



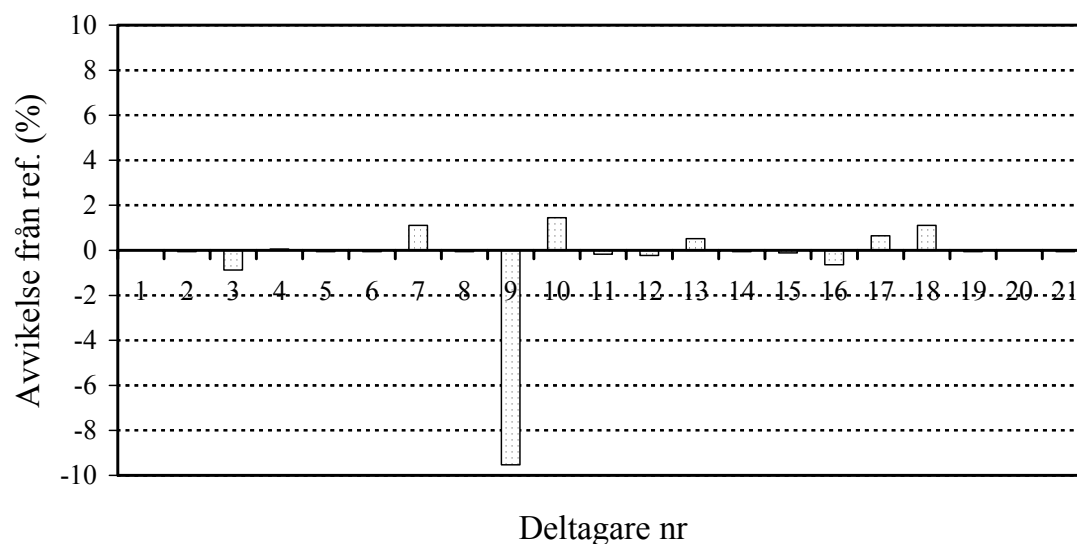
Figur 6. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002.
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: Torrt rökgasflöde ($m^3(n\ tg)/h$).

Fall 2, våt rökgas



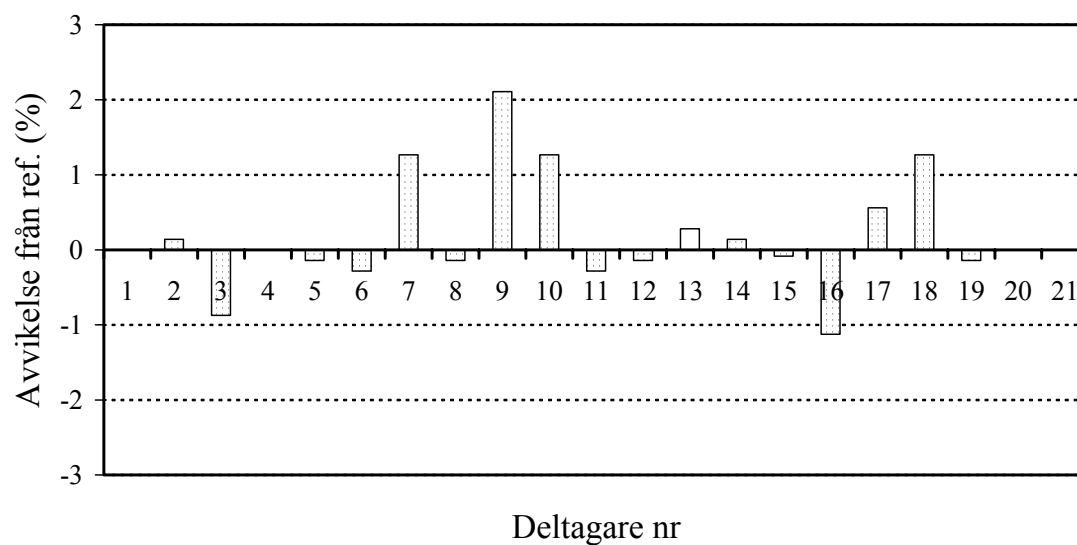
Figur 7. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002.
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: Vått rökgasflöde ($m^3(n)/h$).

Fall 2, NO_x (kg/h NO₂)



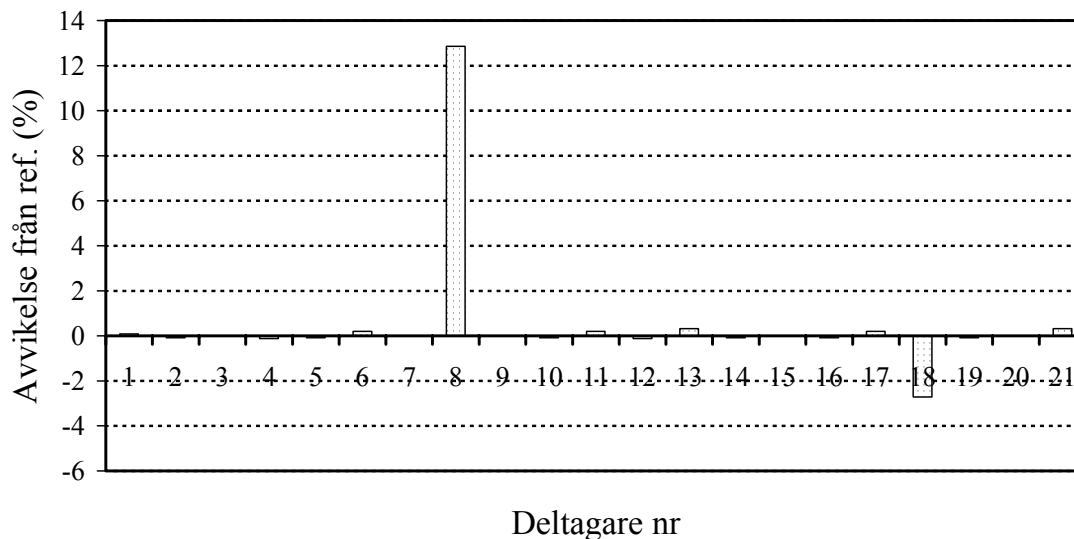
Figur 8. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: NO_x-flöde (kg/h; som NO₂).

Fall 2, NO_x (mg/MJ NO₂)



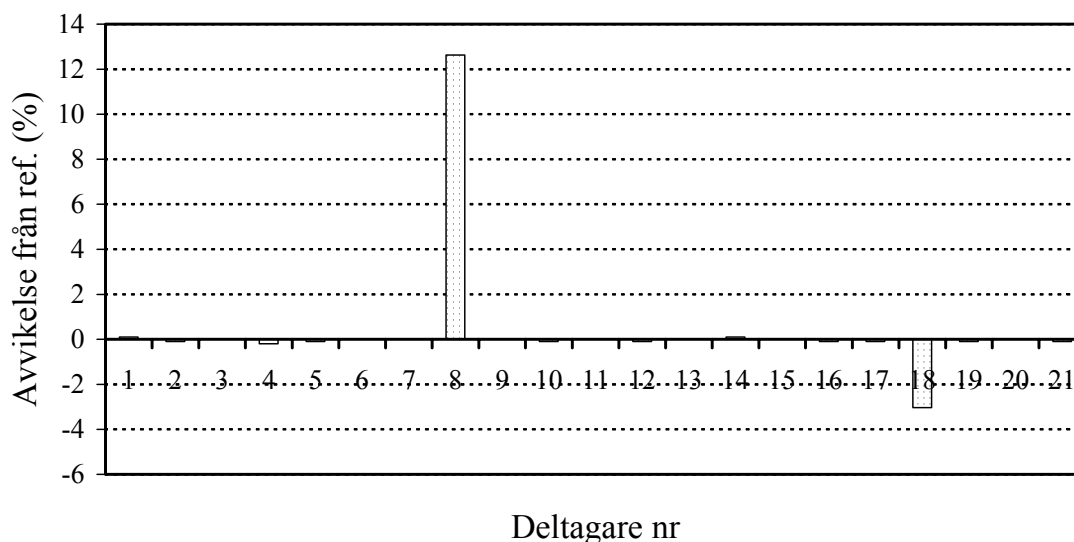
Figur 9. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: specifika NO_x-utsläppet (mg/MJ; som NO₂).

Fall 2, SO₂ (kg/h S)



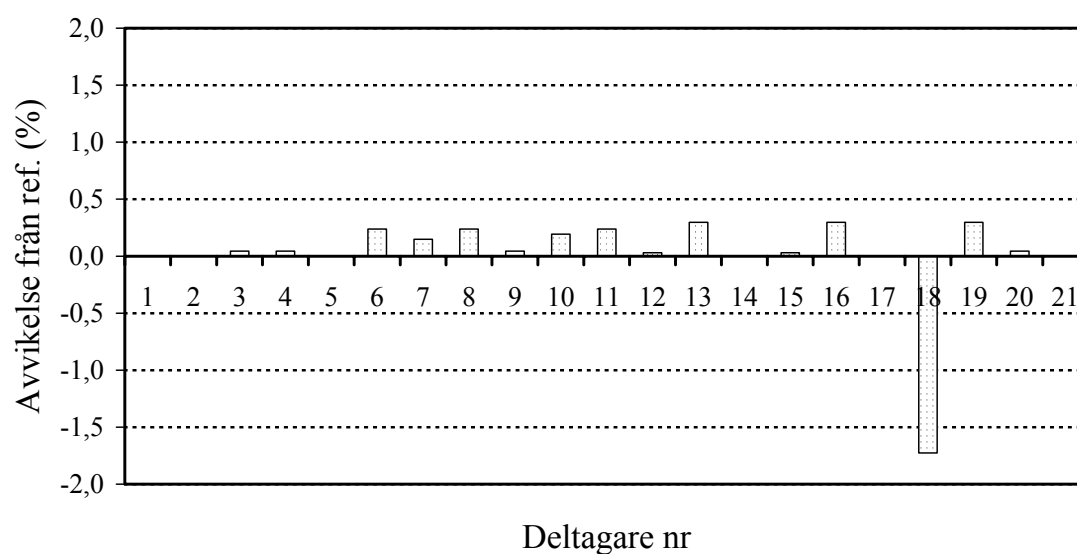
Figur 10. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: SO₂ -flöde (kg/h; som S).

Fall 2, SO₂ (mg/MJ S)



Figur 11. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: Specifika SO₂ -utsläppet (mg/MJ; som S).

Fall 2, Tillförd effekt



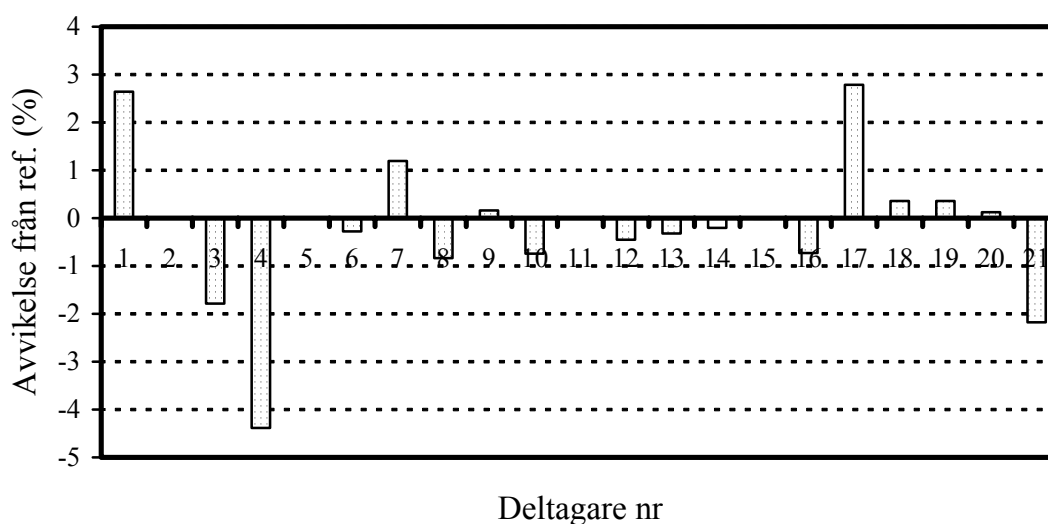
Figur 12. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002.
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 2: Tillförd effekt (MW).

Fall 3, torr rökgas



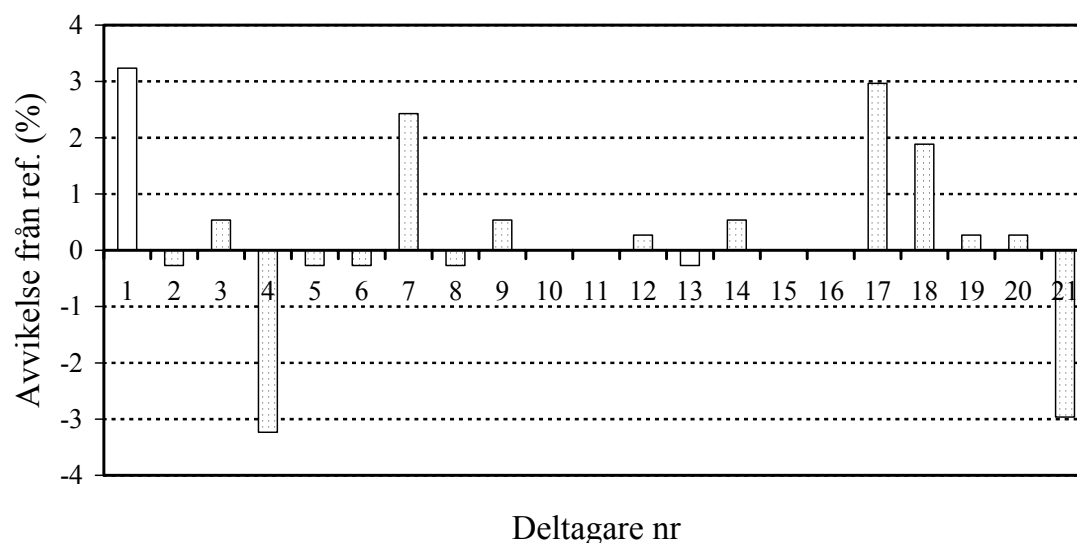
Figur 13. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 3: Torrt rökgasflöde ($m^3(n\ tg)/h$).

Fall 3, våt rökgas



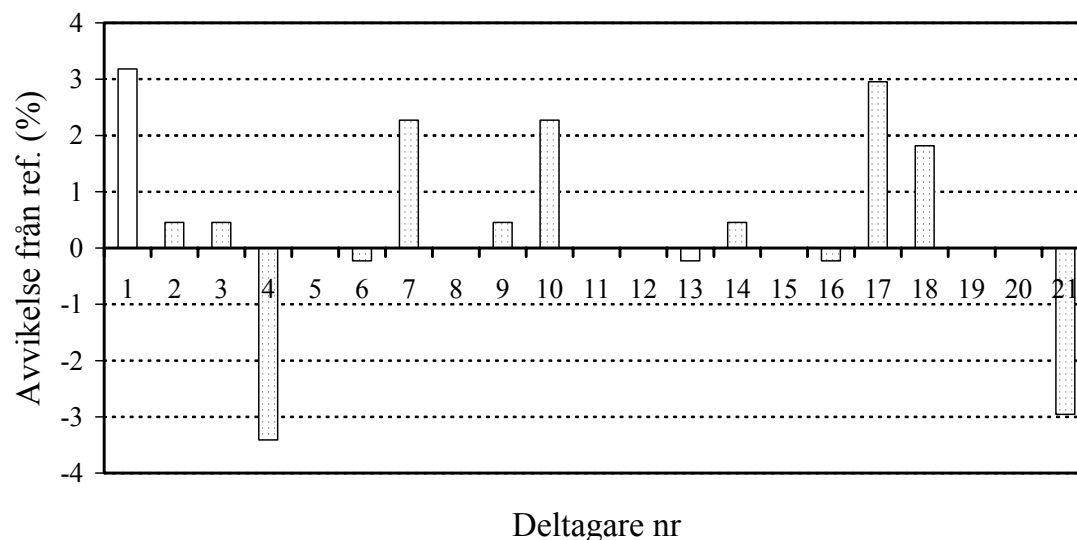
Figur 14. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 3: Vått rökgasflöde ($m^3(n)/h$).

Fall 3, NO_x (kg/h NO₂)



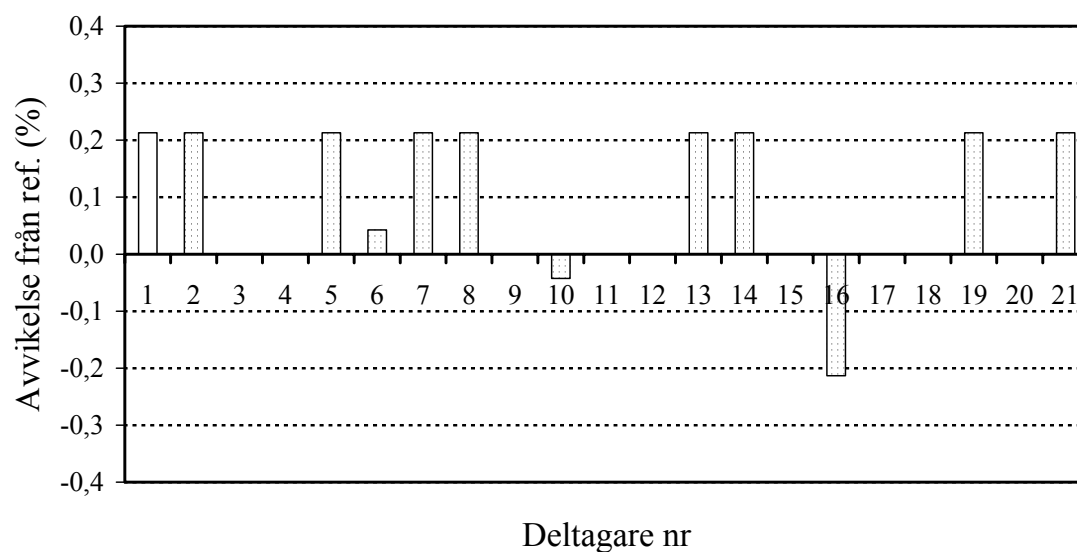
Figur 15. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 3: NO_x-flöde (kg/h; som NO₂).

Fall 3, NO_x (mg/MJ NO₂)



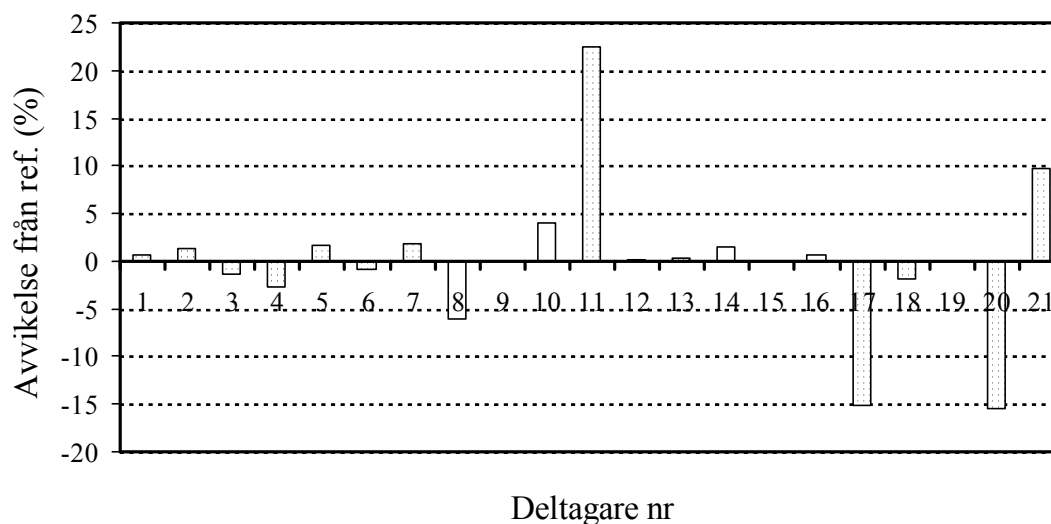
Figur 16. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 3: specifika NO_x-utsläppet (mg/MJ; som NO₂).

Fall 3, Tillförd effekt



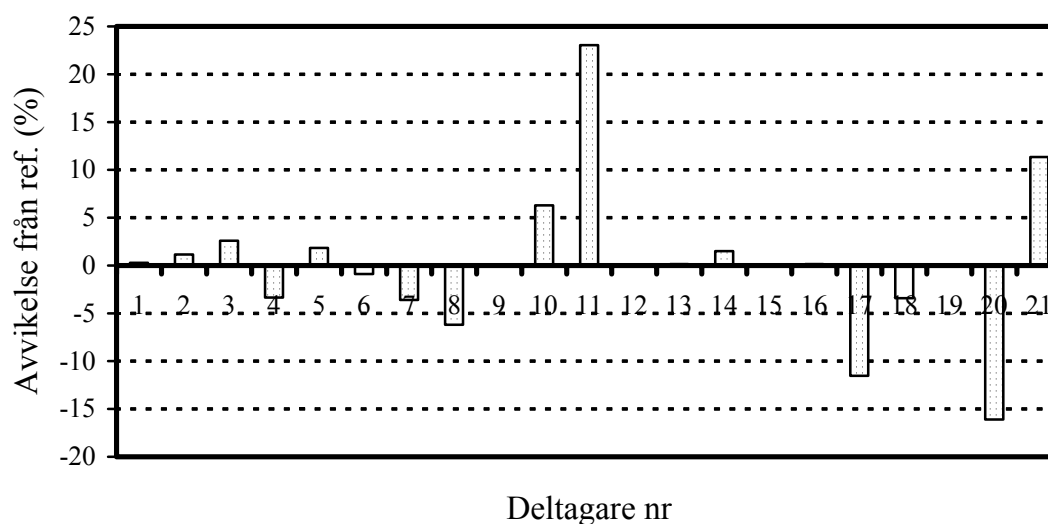
Figur 17. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002.
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 3: Tillförd effekt (MW).

Fall 4, torr rökgas



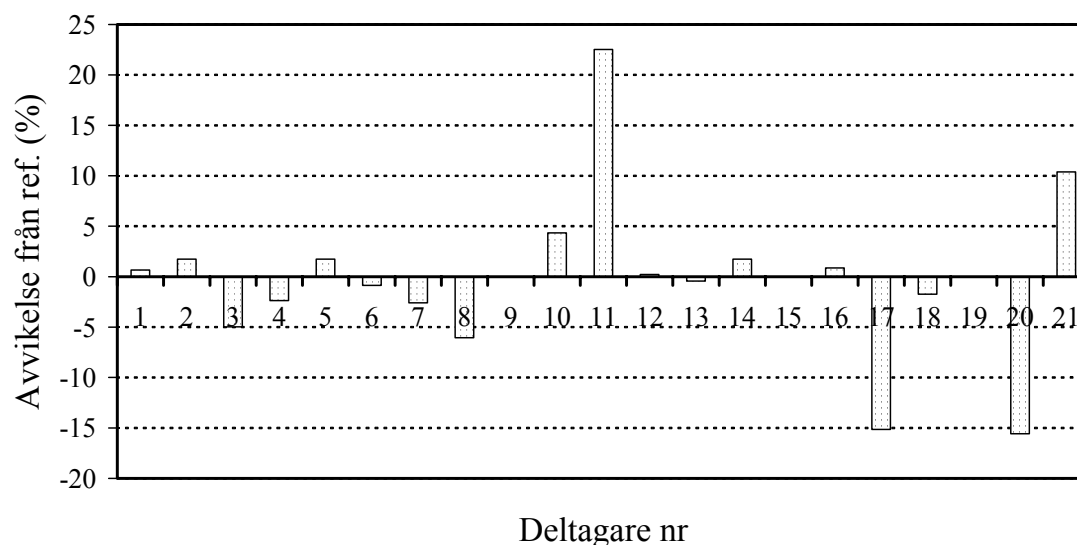
Figur 18. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002.
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: Torrt rökgasflöde ($m^3(n\text{ tg})/h$).

Fall 4, våt rökgas



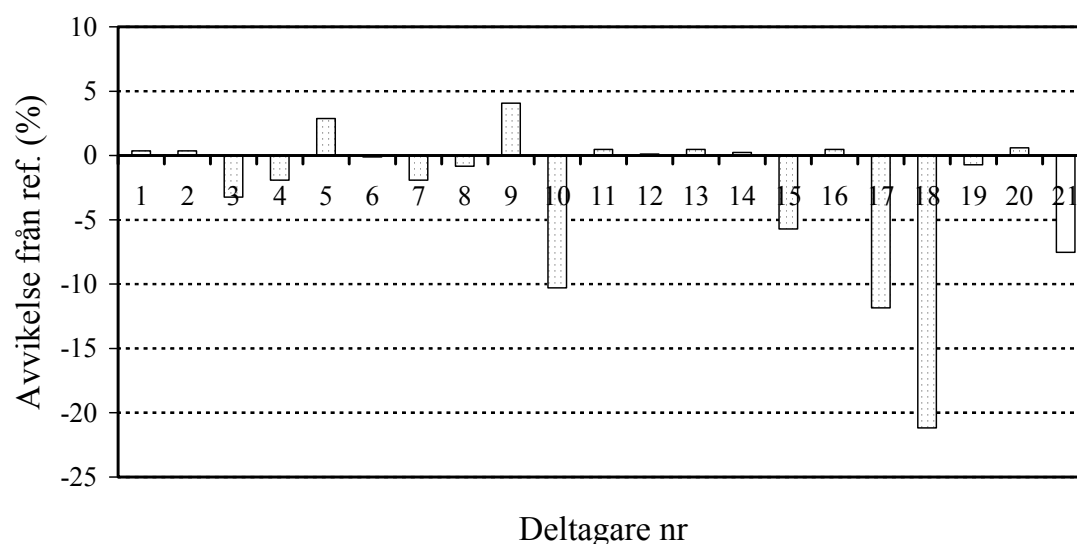
Figur 19. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002.
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: Vått rökgasflöde ($m^3(n)/h$).

Fall 4, NO_x (kg/h NO₂)



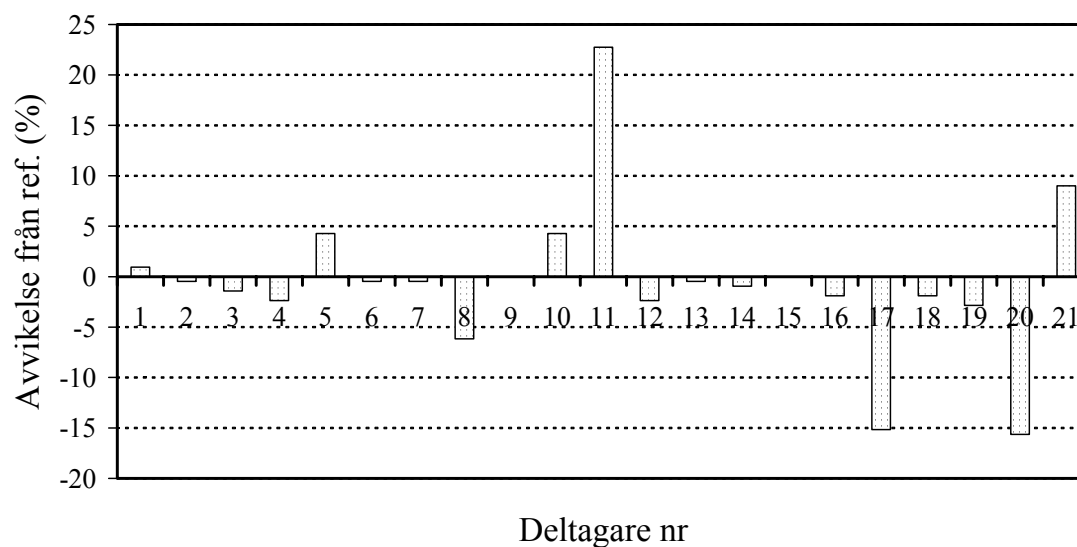
Figur 20. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: NO_x -flöde (kg/h; som NO₂).

Fall 4, NO_x (mg/MJ NO₂)



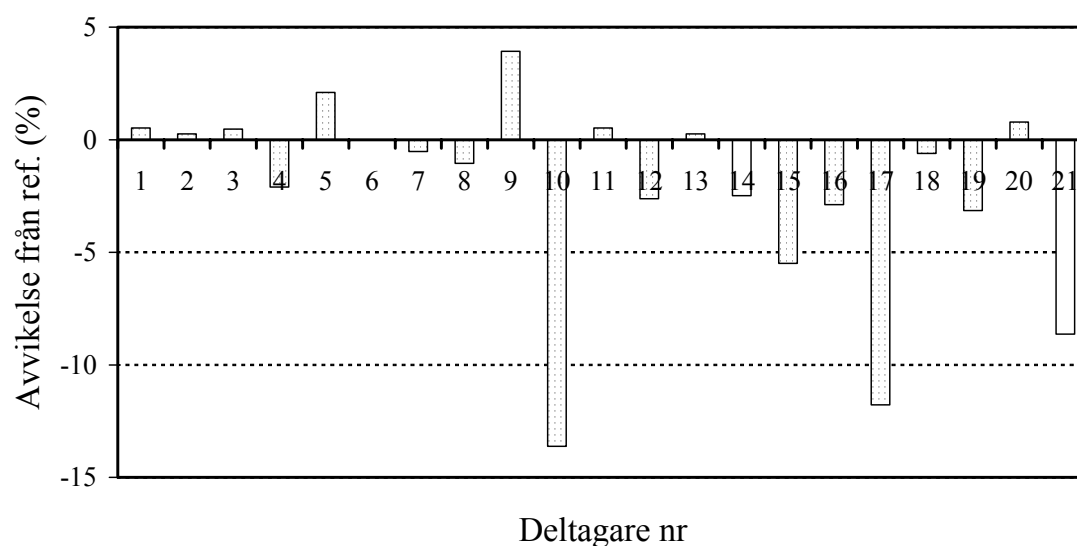
Figur 21. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002. Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: specifika NO_x -utsläppet (mg/MJ; som NO₂).

Fall 4, SO₂ (kg/h S)



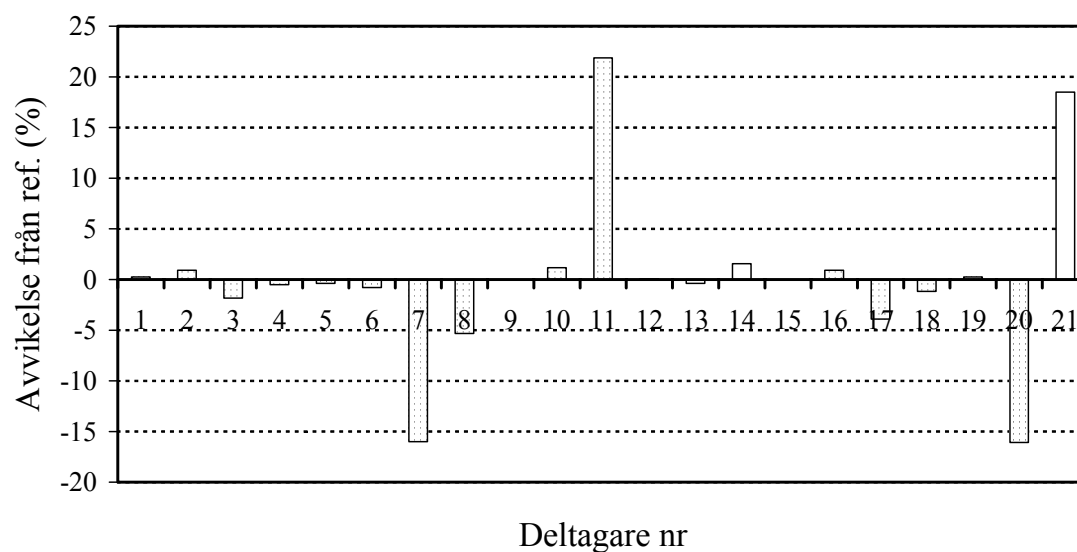
Figur 22. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: SO₂ -flöde (kg/h; som S).

Fall 4, SO₂ (mg/MJ S)



Figur 23. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002.
Avvikelse (i %) från "referensvärdet" för fall 4: Specifika SO₂ -utsläppet (mg/MJ; som S).

Fall 4, Tillförd effekt



Figur 24. Provningsjämförelsen "Beräkning av rökgasflöden" år 2002.
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 73 25



LUFTLABORATORIET

LABORORIET FÖR AKVATISK MILJÖKEMI

LABORORIET FÖR ANALYTISK MILJÖKEMI

LABORORIET FÖR AKVATISK EKOTOXIKOLOGI