



Flödesmätningar med pitotrör

Provningsjämförelse 2002

Gunnar Nyquist

Institutet för tillämpad miljöforskning

Institute of Applied Environmental Research

Flödesmätningar med pitotrör

Provningsjämförelse 2002

Gunnar Nyquist

Förord

Enligt Naturvårdsverkets föreskrifter skall en kontroll av rökgasflödet ske genom att ett ackrediterat laboratorium gör en samtidig mätning av rökgasflödet och jämför med anläggningens mätta rökgasflöde. Jämförande mätning bör enligt AR 98:1 även utföras då förbränningsanläggningen beräknar flödet. Som komplement kan det ackrediterade laboratoriet också göra en beräkning av rökgasflödet.

Jämförelser mellan beräknade rökgasflöden har gjorts två gånger tidigare. I februari 2000 initierade Naturvårdsverket en jämförelse mellan ackrediterade laboratorier, instrumentleverantörer och konsulter som utför kontroller eller levererar beräkningsprogram. 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.

Jämförande mätningar med pitotrör har skett en gång tidigare. Naturvårdsverket gick 1999 in med ekonomiskt stöd till en pilotstudie för provningsjämförelser av manuella flödesmätningar.

I denna provningsjämförelse mätte de deltagande laboratorierna rökgasflödet i fält vid en oljeeldad panna, och mätresultaten jämfördes med det beräknade flödet.

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 18 stycken.

Stockholm i augusti 2003.

Innehåll

	Sid.
1. Bakgrund	4
2. Beräkningsmall	7
3. Deltagande laboratorier	11
4. Resultat och diskussion	12
5. Referenser	20

1. Bakgrund

1992 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, NO₂, O₂, CO₂ 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 nio provningsjämförelser genomförts för gasanalyser, en provningsjämförelse för bestämning av rökgashastighet genom pitotrörmätning och två provningsjämförelser för beräkning av rökgasflöden. Alla rapporter finns som pdf-filer på <http://enviropro.itm.su.se>.

Enligt Naturvårdsverkets föreskrifter skall en kontroll av rökgasflödet ske genom att ett ackrediterat laboratorium gör en samtidig mätning av rökgasflödet och jämför med anläggningens mätta rökgasflöde. Jämförande mätning bör enligt AR 98:1 även utföras då förbränningsanläggningen beräknar flödet. Som komplement kan det ackrediterade laboratoriet också göra en beräkning av rökgasflödet.

Provningsjämförelsens förutsättningar

Till deltagarna i provningsjämförelsen "Mätning av flöde i rökgaskanal 2002" sände Naturvårdsverket ut ett program som beskrev förutsättningar, krav och villkor för provningsjämförelsen. De ackrediterade laboratorierna skall utföra mätningarna i enlighet med standarden SS-ISO 10780. De viktigaste punkterna i programmet var:

Anläggning där mätningarna skall göras

Mätningarna sker på Carlsberg Sverige AB:s anläggning i Stockholm. Gatuadressen är Bryggerivägen 10-12 i Bromma.

På Carlsberg finns två oljeeldade (Eo4) pannor, P1 och P2. Mätningarna av rökgasflöde skall ske på P2. Den pannan kommer att köras på ganska konstant last under hela mätperioden, troligen mellan halv och full last.

Det beräknade rökgasflödet från pannan utifrån uppmätt bränsletillförsel och CO₂-halt i rökgasen kommer att vara referensflöde (normvärde) vid resultatsammanställningen. Från anläggningens NO_x-dator (Pannlog Win) kommer minutmedelvärden för bl a CO₂-halt och oljeflöde att registreras och sparas på diskett som förvaras hos Naturvårdsverket.

Mätplatsen

Mätningarna görs i en cirkulär rökgas kanal efter P2. Diametern på kanalen är omkring en meter. Erforderliga hål för sonder m m finns i kanalen.

Två hål med ½" halvmuff för traverserande pitotrör.

Ett hål med 1 ¼" muff för fast pitotrör.

Ett hål med ½" halvmuff för temperatursond.

Ett hål med 3" muff för gassond.

Dessutom finns en 2 ½" muff ca 1 meter nedströms muffen för gassonden.

Mätplatsen är inomhus bredvid pannan så det är ganska varmt i lokalen.

Det är ca 3 meter till eluttag.

Mätuppdraget

Laboratorierna mäter rökgasflödet i kanalen. Varje laboratorium får en dag (klockan 8-15) till sitt förfogande för att genomföra mätningen på. Endast ett laboratorium åt gången kommer att mäta.

Pannan kommer att köras med ganska jämn last under den inledande traverseringen och den efterföljande mätningen. Mätningen av rökgasflödet skall ske under minst två timmar. Rökgasflödet beräknas från 10 stycken mätvärden (perioder). Laboratorierna får själva avgöra hur lång tid de behöver för mätningarna och vilka hjälpstörheter som behöver bestämmas.

Varje laboratorium kan få minutvärden på CO₂ från det fasta mätsystemet om så önskas.

Vad skall rapporteras

Resultaten redovisas i en ackrediterad rapport. De mätvärden som skall rapporteras är det torra och våta rökgasflödet, m³(n)/h samt rökgashastigheten (m/s) dels för varje mätperiod och dels som medelvärde för hela mätningen. Därutöver skall värden på densitet, fukthalt, temperatur, kanaldiameter, O₂/CO₂-halter redovisas. Resultatet från traverseringen skall också redovisas, både grafiskt och i tabell.

Övrigt

Resultatet av provningsjämförelsen kommer att presenteras i en ITM-rapport. Provningsresultaten redovisas anonymt, d.v.s. laboratoriernas namn står inte i sammanställningen utan endast "oidentifierbara" nummer. Endast Naturvårdsverket och SWEDAC har tillgång till kodnyckel. Efter avslutad provningsjämförelse får varje deltagande laboratorium sig tillsänt en färdig rapport och ett foljebrev där laboratoriets nummerkod anges.

2. Beräkningmall

I detta kapitel redovisas de formler som använts för att beräkna rökgasflödet utifrån elementarsammansättningen av oljan och anläggningens mätvärden av oljeflöde och CO₂-halt. De beräknade värdena har använts som referensvärde vid jämförelsen med de inrapporterade resultaten.

Förutsättningar:

Oljeeldad panna med en märkeffekt på ca 18 MW. Bränslet består av Eo 4. Pannan producerar hetvatten till process.

Bränsleflödet mäts och rökgaserna analyseras i ett extraktivt och torrt mätsystem av anläggningen.

Oljetemperaturen var 80 °C och vid den temperaturen var densiteten av oljan 875 kg/m³. De gaskomponenter som analyserades med anläggningens mätsystem var CO₂, NO och CO. Anläggningens temperaturmätning skedde på en annan plats i systemet varför resultaten av laboratoriernas temperaturmätningar användes vid beräkningen av rökgasflödet.

En viss vatteninsprutning skedde i samband med tillförseln av olja. Vatteninsprutningen var i storleksordningen 70 - 80 g vatten per kg olja, vilket ger en ökning av rökgasens fukthalt med ca 0,5 %.

Förbränningsluften togs in från övre delen av pannhuset. Under tiden som provningsjämförelsen pågick varierade utomhustemperaturen mellan ca 0 – 5 °C. En viss uppfuktning samtidigt med uppvärmning bör ha skett i pannhuset. För beräkning av förbränningsluftens fukthalt har temperaturen 25 °C och 40 % RH (relativ fuktighet) använts. En mätning som ett av laboratorierna gjorde på ett par meters lägre nivå än provtagningsplanet gav 22 °C och 25 % RH. De använda värdena kan därför anses rimliga och resultatet blir att förbränningsluftens fukthalt är ca 1 volyms-%.

Mätplanets placering var inte idealiskt för att uppfylla alla krav i mätstandarden (SS-ISO 10780). Mätplanet var placerat i en horisontell del av rökgaskanalen (diameter ca 1 meter). Raksträckan före mätplanet var 2,8 meter och efter 1,8 meter. Flödeshastigheten i det vertikala tvärsnittet var betydligt högre i övre delen jämfört med den nedre. I det horisontella tvärsnittet (mitt på kanalen) var flödesprofilen relativt jämn. Att mätplatsen såg ut som den gjorde ställer betydligt högre krav på laboratorierna att använda fler mätpunkter vid traverseringarna och att genomföra tillräckligt antal traverseringar

för att få en säker bestämning av omräkningsfaktorn mellan fast pitotrör och medelflödet för kanalen.

I förutsättningarna för provningsjämförelsen var det sagt att pannan skulle köras med ganska jämn last under mätperioden. På grund av tekniska problem och produktions-tekniska skäl varierade emellertid lasten ofta på ett helt otillfredsställande sätt och ibland stannade pannan till och med helt. De laboratorier som drabbades av detta fick förstås stora svårigheter att åstadkomma acceptabla mätningar.

Mätningar skedde under perioden 21/10 2002 - 21/1 2003.

Bränsledata

Storhet	Enhet	Värde
Kalorimetriskt värmevärde	MJ/kg	43,87
Kol	vikts-%	84,9
Väte	vikts-%	12,25
Syre	vikts-%	0,05
Kväve	vikts-%	0,18
Svavel	vikts-%	0,30
Fukt	vikts-%	2,3
Aska	vikts-%	0,01

Anmärkning: Anmärkningsvärd hög vattenhalt i oljan, men prover tagna vid två vitt skilda tillfällen gav samma resultat.

Exempel på beräkning enligt NV AR 98:1

Bränsle			mol per kg bränsle				
Elementaranalys		Molvikt	Syrebehov	Rökgaser			
Ämne	Vikts-%		O ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂
	Torr	Våt					
C	86,9	84,9	12,01	70,69	70,69		
H	12,54	12,25	2 · 1,008	30,39		60,77	
O	0,05	0,05	2 · 16,00	- 0,02			
N	0,18	0,18	2 · 14,005				0,06
S	0,31	0,30	32,06			0,09	
Fukt		2,3	18,016			1,28	
Aska	0,01	0,01					
Summa mol/kg bränsle =			101,16	70,69	62,05	0,09	0,6
N ₂ i förbränningsluften = 3,7733 · ΣO ₂							381,70

Luftbehov, torr luft vid stökiometrisk förbränning:

$$\begin{aligned}
 l_{ot} &= (\Sigma O_2 + 3,7733 \cdot \Sigma O_2) \cdot 22,41/1000 = (101,16 + 381,70) \cdot 0,02241 = \\
 &= 10,821 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}
 \end{aligned}$$

Luftbehov, fuktig luft vid stökiometrisk förbränning:

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

Relativa fuktigheten = 40 %, temperaturen = 25 °C;

Ur tabell: $p_{wl} = 3,16 \text{ kPa} \cdot 0,40 = 1,26 \text{ kPa}$

$$l_o = l_{ot} \cdot 101,3 / (101,3 - 1,26) = 10,821 \cdot 1,0125 = 10,958 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Teoretisk mängd torr rökgas per kg bränsle:

$$\begin{aligned}
 g_{ot} &= (\Sigma CO_2 + \Sigma SO_2 + \Sigma N_2) \cdot 22,41/1000 = \\
 &= (70,69 + 0,09 + 381,76) \cdot 0,02241 = 10,142 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}
 \end{aligned}$$

Teoretisk mängd fuktig rökgas per kg bränsle:

$$g_o = g_{ot} + (l_o - l_{ot}) + \Sigma(H_2O) \cdot 22,41/1000 = 10,142 + 10,958 - 10,821 + 62,05 \cdot 0,02241 = 11,669 \text{ m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$$

Verklig mängd torr rökgas per kg bränsle ($\text{m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$):

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

$$m = 1,0 + K \cdot \frac{(\text{CO}_2)_{\text{max}} - (\text{CO}_2)_t}{(\text{CO}_2)_t}; \quad \text{där } K = g_{ot} / l_{ot}$$

Verklig mängd våt rökgas per kg bränsle ($\text{m}^3(\text{n})/\text{kg bränsle}$):

$$g = g_o + l_o \cdot (m - 1,0)$$

För att beräkna tillförda effekten, P_b (MW), måste först effektiva värmevärdet i fuktigt bränsle, H_{eff} (MJ/kg), beräknas. Beräkning av H_{eff} från H_s (kalorimetriska värmevärdet) sker enligt SS-ISO 1928, bilaga E2. Omskrivning av formlerna i "användarvänlig" form ger:

	$H_{\text{eff}}(\text{TS}) = H_s - 21,22 \cdot H - 0,08 \cdot (O + N)$	(MJ/kg(TS))
	$H_{\text{eff}} = H_{\text{eff}}(\text{TS}) \cdot (1 - F) - 2,443 \cdot F$	(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-%TS/100)
	$O =$ halten syre i bränslet	(vikts-%TS/100)
	$N =$ halten kväve i bränslet	(vikts-%TS/100)
	$F =$ bränslets fukthalt	(vikts-%/100)

$$H_{\text{eff}}(\text{TS}) = 43,87 - 21,22 \cdot 0,1254 - 0,08 \cdot (0,05 + 0,18) = 42,24 \text{ (MJ/kg (TS))}$$

$$H_{\text{eff}} = 42,24 \cdot (1 - 0,023) - 2,443 \cdot 0,023 = 41,21 \text{ (MJ/kg)}$$

Tillförd effekt, P_b (MW), beräknas enligt

$$P_b = \text{oljaflöde} \cdot H_{\text{eff}} \text{ (MW)}$$

Bränsleflödet, q_b (kg/h), beräknas enligt

$$q_b = \text{oljaflödet} \cdot 3 \text{ 600} \text{ (kg/h)}$$

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

$$\text{Vått rökgasflöde} = q_b \cdot g \text{ (m}^3(\text{n})/\text{h)}$$

3. Deltagande laboratorier

Följande 18 laboratorier deltog i provningsjämförelsen:

Carl Bro Energikonsult 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, Enköping
METLAB Miljö AB, Skelleftehamn
Miljöassistans i Norden AB
Miljölaboratoriet i Trelleborg AB
Miljömätarna i Linköping AB
Petrokraft AB
SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
SwedPower AB
SWECO VIAK
ÅF-Processdesign AB

4. Resultat och diskussion

Provningsjämförelsens huvudsyfte var att fastställa hur väl en flödesmätning med pitotrör stämmer överens med det teoretiskt beräknade rökgasflödet. Genom att utföra försöken på en oljeeldad panna kan man få ett bra referensvärde på flödet genom beräkning eftersom bränslet är väl definierat och oljeflödet kan bestämmas med god noggrannhet.

En svårighet med de genomförda mätningarna av rökgasflödet var att mätplatsen inte uppfyllde kraven i standarden (SS-ISO 10780). På grund av en krök på rökgaskanalen strax före mätplanet var flödesprofilen sned, vilket ställde krav på laboratorierna att mäta i tillräckligt många punkter vid traverseringarna och att mäta fler gånger för att få ett bra värde på sambandet mellan omräkningsfaktorn för det fasta pitotröret och medelvärdet av rökgeschastigheten i kanalen. Dessutom blev provningsjämförelsen extra komplicerad vid de tillfällen då pannlasten fluktuerade kraftigt.

Eftersom de deltagande laboratorierna utförde sina mätningar vid olika tillfällen under varierande förhållanden valdes att presentera resultaten som den procentuella avvikelser mot det beräknade flödet (referensvärdet) under motsvarande tid. I Tabell 1 redovisas värdena för torrt respektive vått rökgasflöde. I Figur 1 och 2 visas resultaten grafiskt. De värden som har jämförts här är medelvärdena (≥ 10 mätvärden) för hela mätperioden för de olika laboratorierna. Totala mättiden var minst 2 h. I absoluta tal varierade medelvärdena för det torra rökgasflödet mellan 11 350 och 23 570 $\text{m}^3(\text{ntg})/\text{h}$, det våta rökgasflödet mellan 12 530 och 25 780 $\text{m}^3(\text{n})/\text{h}$. Dessa rökgasflöden motsvarar en gashastighet i kanalen vid driftstillstånd med mellan 7 och 15 m/s.

Avvikelsen i fukthalt mellan laboratoriernas rapporterade värden och de beräknade referensvärdena visas i Tabell 1 och grafiskt i Figur 3. I referensvärdet för fukthalten är bidraget från vatteninsprutningen medtagen, vilket ger en ökning av rökgasens fukthalt med ca 0,5 %. Medelvärdet av fukthalten (beräknad) för samtliga mättillfällen var ca 9,5 % ($\pm 0,5$ %).

I Tabell 1 visas också de uppmätta rök Gastemperaturen under mätkampanjerna samt de värden på kanaldiametern som laboratorierna mätt upp. Rök Gastemperaturen varierade mellan 160 - 170 °C utom i ett fall då temperaturen var 240 °C. Medelvärdet av laboratoriernas bestämningar av kanaldiametern blev 0,993 meter.

I Tabell 2 redovisas de rapporterade torra rök Gasflödena från de deltagande laboratorierna i absoluta tal ($\text{m}^3(\text{ntg})/\text{h}$) i form av medelvärden för hela mätperioden. Dessutom visas också högsta respektive minsta mätvärdet för rök Gasflödena under mätperioderna. De redovisade värdena ger en uppfattning om storleken av rök Gasflödet under de olika mätningarna, men framför allt hur stabilt flödet var under mätningarna. Något

tydligt samband mellan avvikelserna mellan det torra rökgasflödet och referensvärdet (beräknade flödet) kunde inte iakttagas, varken när det gäller den totala flödesvolymen eller flödesvariationerna under mätperioderna (jfr Figur 4 och 5). Men man kan klart se att förhållandena inte var konstanta och stabila under provningsjämförelsen.

I Värmeforsks Mättehandbok ges följande information rörande flödesmätningar med pitotrör:

För kalibrering av ett fast pitotrör kan det erforderliga antalet traverseringsmätningar variera mellan 3 – 10 st beroende på omständigheterna. För beräkning av mätosäkerheten krävs 10 traverseringar. Ifall gasflödet varierar under traverseringen bör varje mätning bestå av 2 – 3 st traverseringar utförda i en följd. Man bör eftersträva att fördela avläsningarna jämnt över mättiden. Det är viktigt att få alla förekommande driftfall och gasflödesnivåer representerade under kalibreringen.

För det fasta pitotröret gäller att en kalibreringsfaktor f introduceras i beräkningarna för att mätningen skall representera hela mätplanet. Kalibreringsfaktorn f är kvoten mellan medelvärdet av det dynamiska trycket vid traverseringsmätningen och medelvärdet av det samtidigt loggade dynamiska trycket med det fasta pitotröret. Då gäller att

$$f = p_{d,medel} / p''_d$$

där $p_{d,medel}$ = det genomsnittliga dynamiska trycket under traverseringen
 p''_d = medelvärdet av samtidigt loggat dynamiskt tryck med fast pitotrör

Det genomsnittliga dynamiska trycket ($p_{d,medel}$) beräknas enligt

$$p_{d,medel} = \left(\frac{\sum \sqrt{p'_{d,i}}}{n} \right)^2$$

där $p'_{d,i}$ = avlästa värden på dynamiska trycket (mm)
 n = antalet mätpunkter i mätplanet

Det är viktigt att beräkningen av medelvärdet av det dynamiska trycket (p_d) sker på rätt sätt. De dynamiska trycken får inte adderas direkt. I flera fall kunde ur provningsrapporterna utläsas att ett direkt medelvärde av dynamiska trycket hade använts för att fastställa kalibreringsfaktorn. Avvikelsen blir inte så väldigt stort, men ger ändå ett par procent extra fel.

Både i standarden och Värmeforsks mättehandbok anges att om kanaldiametern är 0,70 - 1,00 meter skall antalet mätpunkter minst vara 4 per mätlinje, för en diameter 1,00 - 2,00 skall det vara minst 6 mätpunkter per mätlinje. Att vid denna provningsjämförelse använda 4 punkter/linje kan definitivt anses vara för få med tanke på den sneda flödesprofilen.

För att korrekt kunna beräkna det torra rökgasflödet från det våta (vilket är det som mäts), gäller att fukthalten är rätt bestämd. Fukthaltsvärden för de deltagande laboratorierna beräknades enligt följande samband:

$$C_{\text{fukt}} = (q_2 - q_1)/q_2 \cdot 100 \%$$

där q_1 är det rapporterade torra rökgasflödet och q_2 motsvarande våta rökgasflöde. I de flesta fall överensstämmer de på detta sätt beräknade värdena med den fukthalt som laboratorierna rapporterade. Avvikande var två laboratorier som mätte fukthalten med våt-torr termometer och beräknade fukthalten ur Mollierdiagram. I ena fallet hade en betydligt högre fukthalt rapporterats än vad ekvationen ovan gav, i det andra en lägre fukthalt. Fyra laboratorier mätte fukthalten gravimetriskt och de rapporterade värdena stämmer med beräkning enligt ovan, men fukthaltsbestämningen utförd av Laboratorium 1 gav orimligt lågt resultat vilket påverkar resultatet för det torra rökgasflödet. De flesta laboratorierna beräknade fukthalten utifrån bränsledata och hade i regel inte tagit med effekten av vatteninsprutningen. Detta påverkar emellertid inte resultaten på något avgörande sätt.

Resultatet från provningsjämförelsen visar att flödesbestämningarna i de allra flesta fall avviker mindre än 10 % från det teoretiskt beräknade värdet. Det får anses vara ett bra resultat med tanke på de besvärliga mätförhållanden som rådde vid flera av mätkampanjerna. Dessutom måste man hålla i minnet att de beräknade flödena inte är några absolut sanna värden utan har en viss osäkerhet.

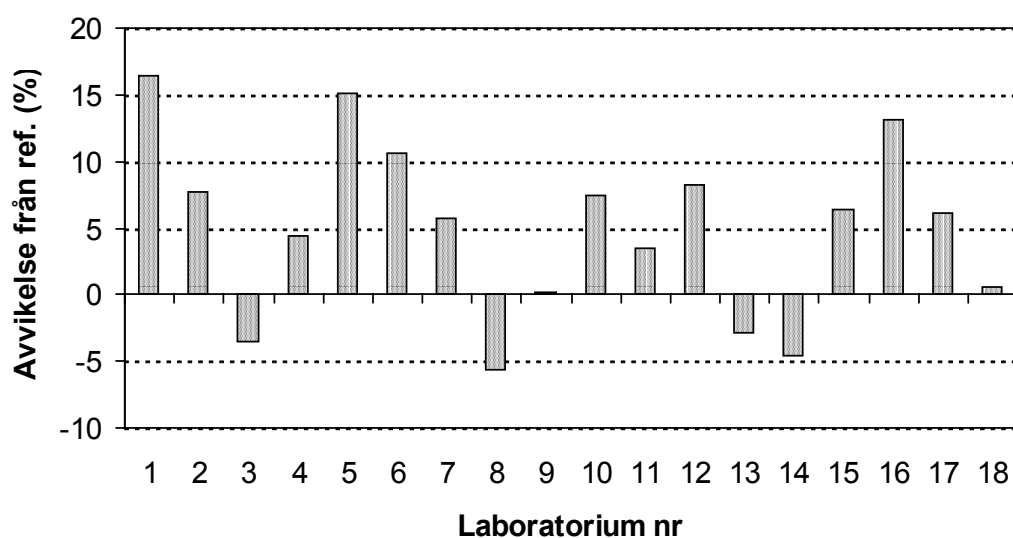
Tabell 1: *Provningsjämförelse 2002, "Mätning av rökgasflöden". Avvikelse från de beräknade referensvärdena för torrt och vått rökgasflöde och fukthalt samt rapporterade värden för rökgastemperatur och uppmätt kanaldiameter.*

Lab. nr	Flöde, torrt Avvikelse från ref., %	Flöde, vått Avvikelse från ref., %	Fukt Avvikelse från ref., %	Rökgastemp. °C	Kanaldiameter meter
1	16,47	8,94	6,9	167	1,000
2	7,68	6,64	0,8	175	1,000
3	-3,49	-5,16	1,6	160	0,985
4	4,37	4,52	-0,2	158	0,990
5	15,13	15,39	-0,2	156	0,997
6	10,56	9,81	0,6	161	1,000
7	5,69	4,28	1,2	159	0,985
8	-5,59	-5,00	-0,6	242	1,000
9	0,18	0,15	0,0	172	1,004
10	7,48	6,59	0,7	175	1,000
11	3,47	1,54	1,7	158	0,992
12	8,24	6,23	1,8	161	1,000
13	-2,84	-1,79	-0,9	162	0,970
14	-4,52	-4,81	0,3	159	0,996
15	6,34	14,41	-6,4	160	0,995
16	13,18	13,28	0,0	152	0,980
17	6,08	4,61	1,2	158	0,993
18	0,53	-0,27	0,8	168	0,995

Tabell 2: *Provningsjämförelse 2002, "Mätning av rökgasflöden". Rapporterade värden för det torra rökgasflödet ($m^3(ntg)/h$).*

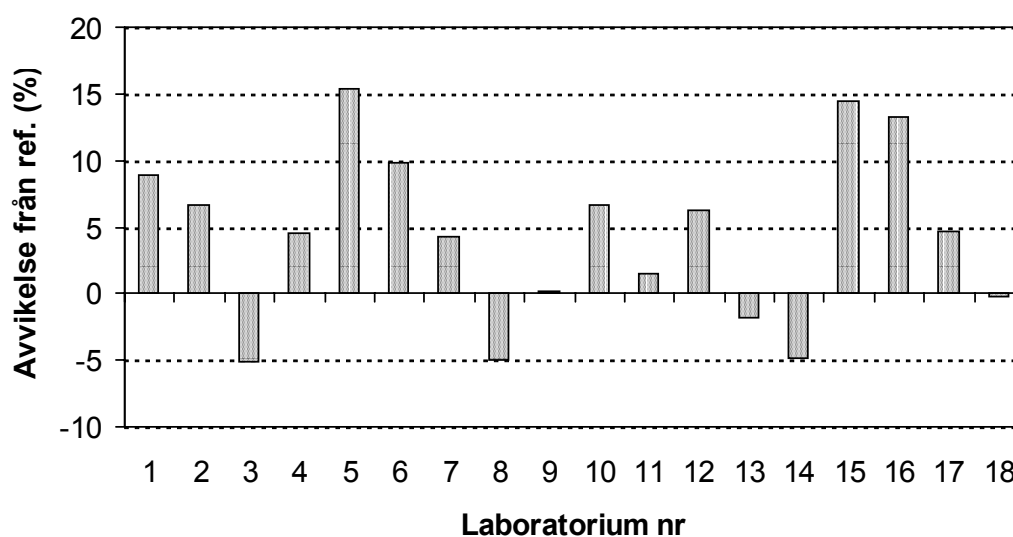
Laboratorium nr	Torrt rökgasflöde ($m^3(ntg)/h$)		
	Medelvärde	Max	Min
1	14 377	16 406	13 491
2	23 557	24 978	20 463
3	14 665	15 301	14 007
4	24 455	24 700	24 300
5	25 049	25 669	22 882
6	21 492	25 812	15 120
7	15 259	16 601	13 982
8	19 339	19 690	19 040
9	22 967	23 271	22 138
10	25 257	25 556	25 061
11	11 743	12 862	10 789
12	18 420	25 600	12 600
13	18 114	23 069	13 549
14	17 816	22 449	11 428
15	25 067	26 243	24 154
16	20 837	27 296	15 317
17	12 631	15 350	9 390
18	22 100	20 888	19 077

Torrt rökgasflöde

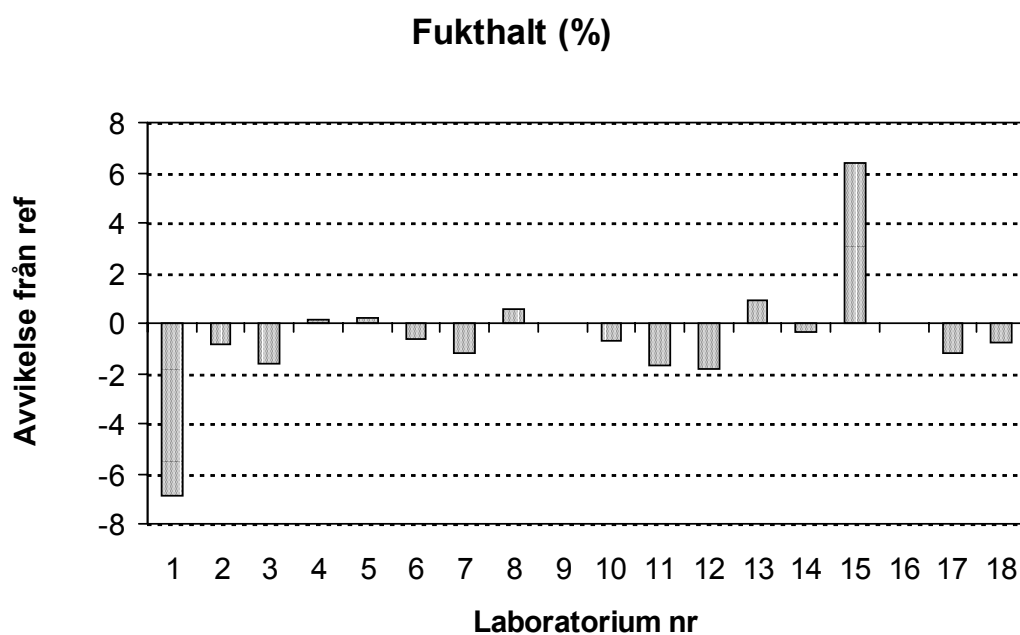


Figur 1. Provningsjämförelse 2002, "Mätning av rökgasflöden". Avvikelse (i %) från referensvärdet (beräknade värden) för det torra rökgasflödet.

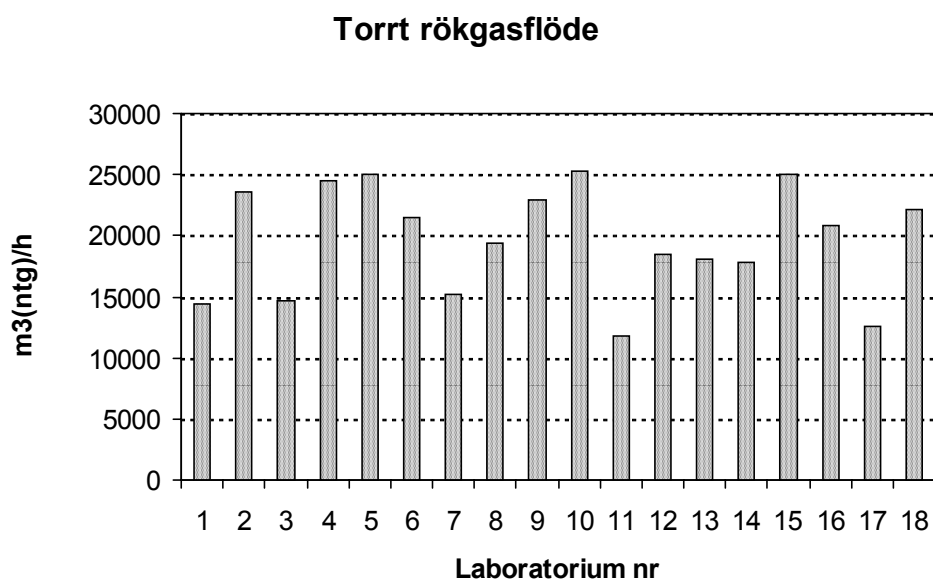
Vått rökgasflöde



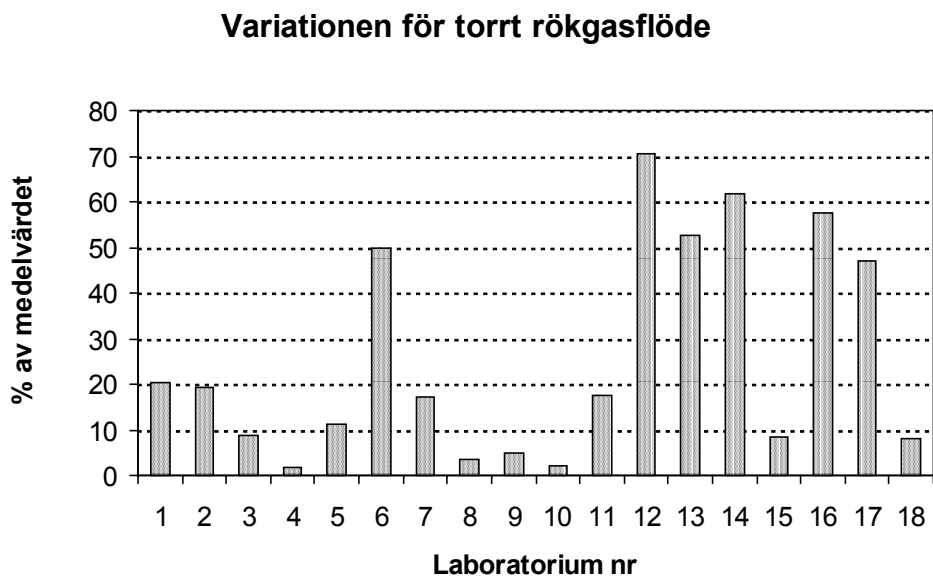
Figur 2. Provningsjämförelse 2002, "Mätning av rökgasflöden". Avvikelse (i %) från referensvärdet (beräknade värden) för det våta rökgasflödet.



Figur 3. Provningsjämförelse 2002, "Mätning av rökgasflöden". Avvikelse (i %) från referensvärdet (beräknade värden) för fukthalten i rökgasen.



Figur 4. Provningsjämförelse 2002, "Mätning av rökgasflöden". Uppmätta flödesvolymer (torrt rökgasflöde, m³(n)/h).



Figur 5. Provningsjämförelse 2002, "Mätning av rökgasflöden". Variationen för det torra rökgasflödet som % av medelvärdet.

5. Referenser

SS-ISO 10780: Utsläpp och utomhusluft – Mätningar av gasströmmars hastighet och volymflöde i rörledningar. (Utgåva 1; 1995-01-05)

Värmeforsks Mäthandbok, kapitel 4.8 (utgåva 2, 2000): Mätning av rökgasflöde.

Alla tidigare rapporter från provningsjämförelser organiserade av Luftlaboratoriet, ITM finns i PDF-format på

<http://enviopro.itm.su.se>



INSTITUTET FÖR TILLÄMPAD MILJÖFORSKNING
VID STOCKHOLMS UNIVERSITET

106 91 STOCKHOLM

Telefon 08 - 674 70 00 vx — Fax 08 - 674 73 25

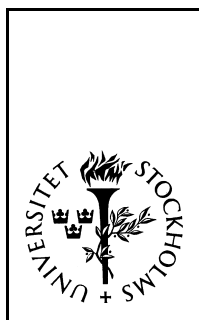


LUFTLABORATORIET

LABORATORIET FÖR AKVATISK MILJÖKEMI

LABORATORIET FÖR ANALYTISK MILJÖKEMI

LABORATORIET FÖR AKVATISK EKOTOXIKOLOGI



INSTITUTET FÖR TILLÄMPAD MILJÖFORSKNING
VID STOCKHOLMS UNIVERSITET

106 91 STOCKHOLM

Telefon 08 - 674 70 00 vx — Fax 08 - 674 73 25



LUFTLABORATORIET

LABORATORIET FÖR AKVATISK MILJÖKEMI

LABORATORIET FÖR ANALYTISK MILJÖKEMI

LABORATORIET FÖR AKVATISK EKOTOXIKOLOGI



INSTITUTET FÖR TILLÄMPAD MILJÖFORSKNING
VID STOCKHOLMS UNIVERSITET

106 91 STOCKHOLM

Telefon 08 - 674 70 00 vx — Fax 08 - 674 73 25



LUFTLABORATORIET

LABORATORIET FÖR AKVATISK MILJÖKEMI

LABORATORIET FÖR ANALYTISK MILJÖKEMI

LABORATORIET FÖR AKVATISK EKOTOXIKOLOGI