

# **Usikkerhet til aktivitetsdata og karbonfaktor for brenngass- og fakkeltgassmålesystemer Del I**

**NFOGM Temadag 27.03.2008**

**Forfatter: Reidar Sakariassen, MetroPartner AS**

Dette er historien om et forenklet prosessmålesystem som brukes for å måle mengde aktivitetsdata.

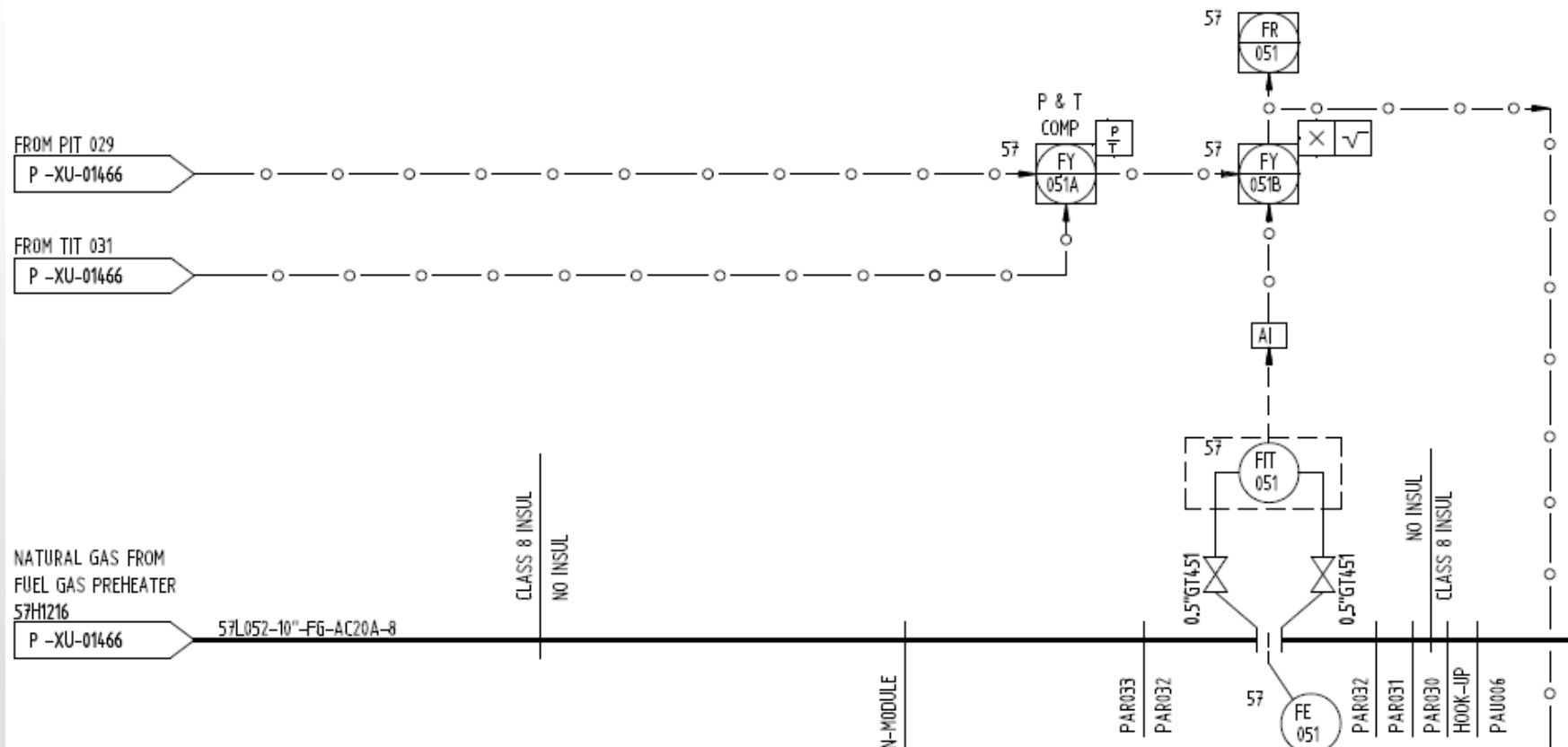
Ved hjelp av forholdsvis enkle justeringer og prosedyrer ansees målesystemet nå å ha tilfredsstillende usikkerhet.

Det gis også eksempel på hvor mange analyser som må til for å bestemme karbonfaktor for naturgass brukt til brenselgass med tilstrekkelig nøyaktighet.

## Innhold

- Beskrivelse av et målesystem for aktivitetsdata
  - Med ”ideell” beregningselektronikk
  - Med virkelig beregningselektronikk
  - Korreksjoner
- Eksempel på variabel sammensetning i brenngass

**Måleutstyret er konvensjonelt: Måleblende ihht. ISO 5167 med trykk- og temperaturkompensering**



# Aktivitetsdata og karbonfaktor

Måleutstyret er konvensjonelt: Måleblende ihht. ISO 5167 med trykk- og temperaturkompensering

Type gass	Naturgass
D (mm)	260,4 ± 1
d (mm)	140,28 ± 0,1
Beta (-)	0,539
Temperatur (°C)	40
Trykk (bar)	4,9
Mulig å legge inn molvekt	Nei

Utstyr	Modell	Usikkerhet
Differansetrykk transmitter	Rosemount 3051 CD_2	0,31 mbar
Trykktransmitter	Rosemount 3051 CG_4	0,011 bar
Temperaturtransmitter	Rosemount 3144	0,23 °C
Temperaturelement	Pt-100 Class A	0,23 °C

# Aktivitetsdata og karbonfaktor

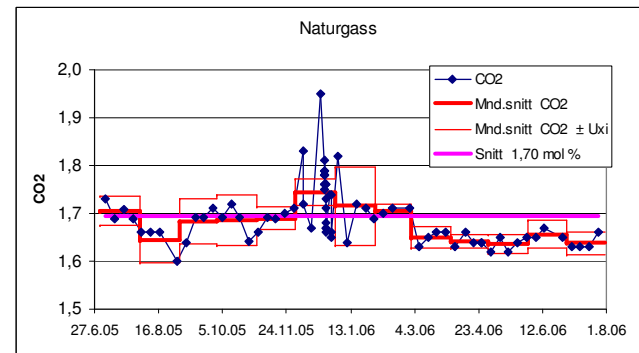
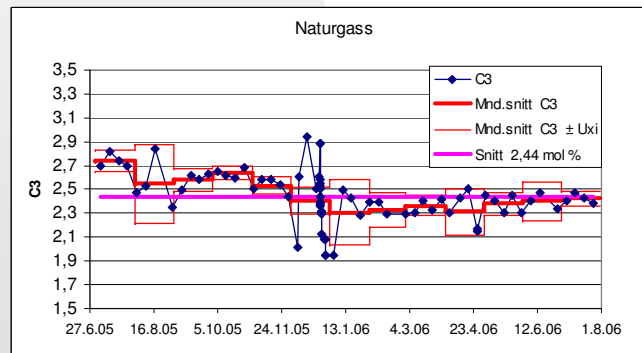
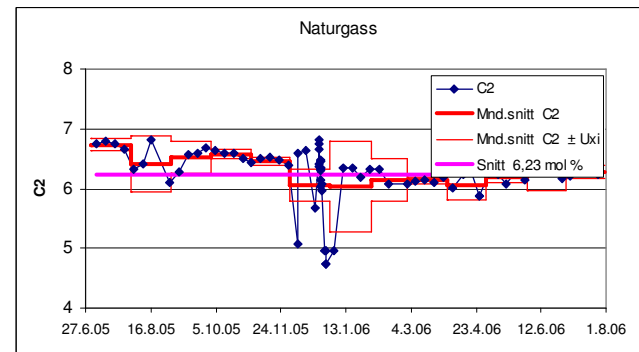
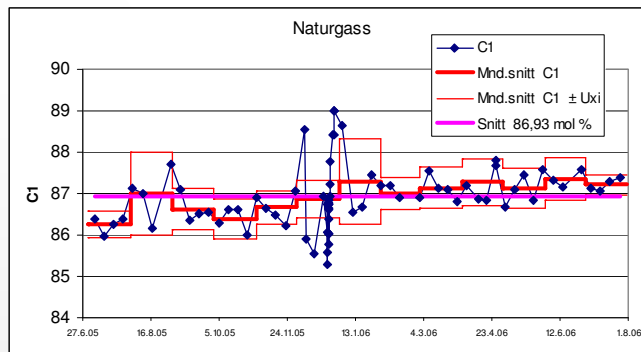
Analysen er bestemt med spotprøver ca. 1 gang per uke

Komponent	Typisk sammensetning
	<b>mol %</b>
C1	<b>86,93</b>
C2	<b>6,23</b>
C3	<b>2,44</b>
iC4	<b>0,49</b>
nC4	<b>0,76</b>
iC5	<b>0,23</b>
nC5	<b>0,20</b>
C6	<b>0,50</b>
N2	<b>0,53</b>
CO2	<b>1,70</b>

Beregnete parametere	
Molvekt (kg/kmol)	<b>19,26</b>
KF (kg/kg)	<b>2,7152</b>
Standard densitet (kg/Sm <sup>3</sup> )	<b>0,8168</b>
Drifts densitet (kg/m <sup>3</sup> )	<b>3,687</b>

# Aktivitetsdata og karbonfaktor

Analysen er bestemt med spotprøver ca. 1 gang per uke



# Aktivitetsdata og karbonfaktor

Analysen er bestemt med spotprøver ca. 1 gang per uke

	Gjennomsnittlig sammensetning	Standard usikkerhet i månedssnitt	Standard usikkerhet fra analysen	Total standard usikkerhet
	mol%	mol%	mol%	mol%
C1	<b>86,93</b>	0,26	0,17	<b>0,32</b>
C2	<b>6,23</b>	0,12	0,06	<b>0,14</b>
C3	<b>2,44</b>	0,07	0,02	<b>0,07</b>
iC4	<b>0,49</b>	0,02	0,02	<b>0,02</b>
nC4	<b>0,76</b>	0,03	0,03	<b>0,04</b>
iC5	<b>0,23</b>	0,01	0,01	<b>0,02</b>
nC5	<b>0,20</b>	0,02	0,01	<b>0,02</b>
C6	<b>0,50</b>	0,08	0,02	<b>0,08</b>
N2	<b>0,53</b>	0,04	0,02	<b>0,32</b>
CO2	<b>1,70</b>	0,02	0,02	<b>0,14</b>

For selve analysen regnes følgende usikkerheter (95 % konfidensnivå):

For komponenter mellom 25 og 100 mol %: 0,4 relative %.

For komponenter mellom 10 og 25 mol %: 1 relative %.

For komponenter mellom 1 og 10 mol %: 2 relative %.

For komponenter mellom 0,25 og 1 mol %: 8 relative %.

For komponenter under 0,25 mol %: 20 relative %.

”Standard usikkerhet”,  $u_{XiV}$ , (dvs. konfidensnivå 68 %) i månedssnitt regnes som halvdelen av usikkerhet med 95 % konfidensnivå.

Usikkerhet med 95 % konfidensnivå beregnes som:

$$U_{XiV} = t_{95,n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

s er standard avvik for den samling av komponent i som utgjør grunnlag for det månedlige gjennomsnitt av komponent i

n er antall analyser som utgjør grunnlag for det månedlige gjennomsnitt

$t_{95,n-1}$  er Student’s t for 95 % konfidensnivå for n-1 frihetsgrader



Røropplegg kan påvirke usikkerheten.

I dette tilfelle er følgende vurderinger gjort:

Rett strekk foran måler, L:

FE 0051: L er 12 206 mm, (46 D), D 260,4 mm beta 0,539, ett 90° bend, ISO 5167-krav: 42 D.  
Ingen tilleggusikkerhet.

Ruhet, Ra:

FE 0051: Max Re 1 600 000, D 260,4 mm beta 0,539,  $Ra/D: < 0,38 \cdot 10^{-4}$ ,  
ISO 5167-krav:  $0,7 \cdot 10^{-4}$ . Ingen tilleggusikkerhet.

Vær oppmerksom på at det i eksisterende målerør kan være for kort ihht. ny ISO 5167. F.eks:

FE 0104: L 5 756 mm, (27 D), D 206,4 mm beta 0,687, ett 90° bend, ISO 5167-krav: 44 D.  
Medfører 0,5 % tilleggusikkerhet pga. for kort lengde til ikke å gi tilleggusikkerhet.  
For 0,5 % tillegg er ISO 5167-krav 20 D

Vær oppmerksom på at det i eksisterende målerør kan ha for stor ruhet ihht. ny ISO 5167. F.eks:

FE 0027: Max Re 7 500 000, D 193,7 mm beta 0,73,  $Ra/D: < 0,5 \cdot 10^{-4}$ ,  
ISO 5167-krav:  $0,4 \cdot 10^{-4}$ . Maksimal tilleggusikkerhet er 0,1 % ihht. ISO/TR 12767 kap. 10.2.

Bruk ISO/TR 12767 for å estimere usikkerhet pga avvik fra ISO 5167.

## Ideell kalkulasjon

**Massestrøm**

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p} \cdot \sqrt{\rho}$$

$$C = 0,5961 + 0,0261 \cdot \beta^2 - 0,0261 \cdot \beta^8 + 0,000521 \cdot \left( \frac{10^6 \cdot \beta}{\text{Re}} \right)^{0,7} + (0,0188 + 0,0063A) \cdot \beta^{3,5} \cdot \left( \frac{10^6}{\text{Re}} \right)^{0,3} \\ + (0,043 + 0,080 \cdot e^{-10 \cdot L_1} - 0,123 \cdot e^{-7 \cdot L}) \cdot (1 - 0,11 \cdot A) \cdot \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} - 0,031 \cdot (M_2' - 0,8 \cdot M_2'^{1,1}) \cdot \beta^{1,8}$$

Usikkerhet i C avhenger av  $\beta$ . Her 0,5 % + tillegg pga røropplegg

$$\varepsilon = \left[ 1 - (0,351 + 0,256 \cdot \beta^4 + 0,93 \cdot \beta^8) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p - \Delta p}{p} \right)^{1/\kappa} \right] \right]$$

Usikkerhet i  $\varepsilon$ :

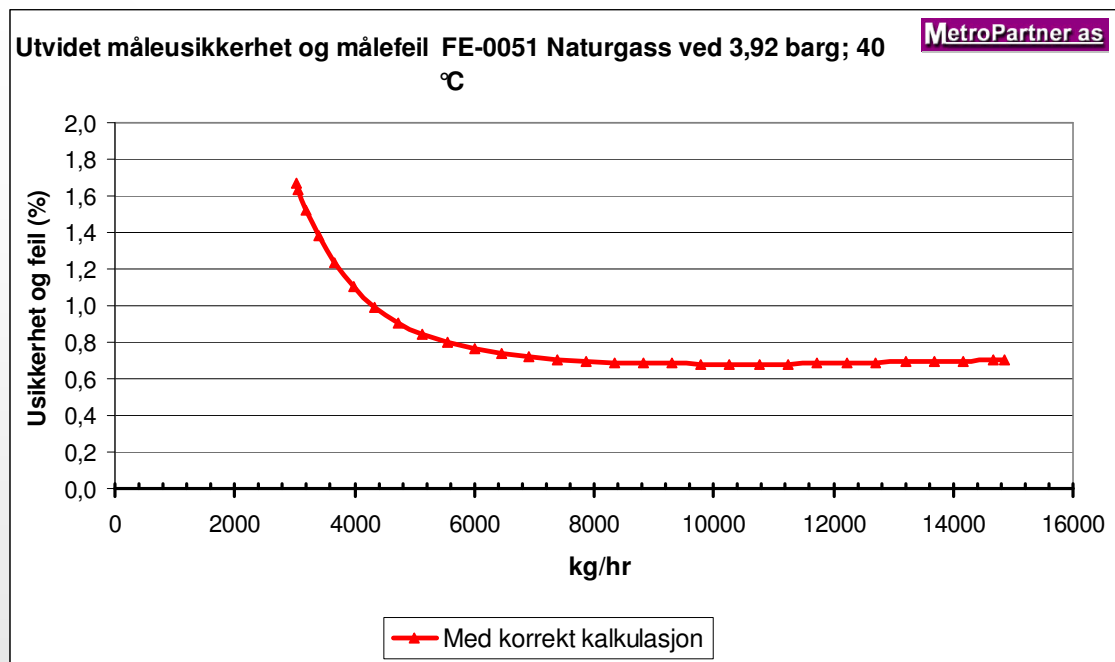
$$3,5 \cdot \frac{\Delta p}{\kappa \cdot p_1}$$

$$\rho = \frac{MW \cdot p}{ZRT}$$

Usikkerhet i MW fra analyse, usikkerhet i Z er 0,1 % (ISO 12213)

# Aktivitetsdata og karbonfaktor

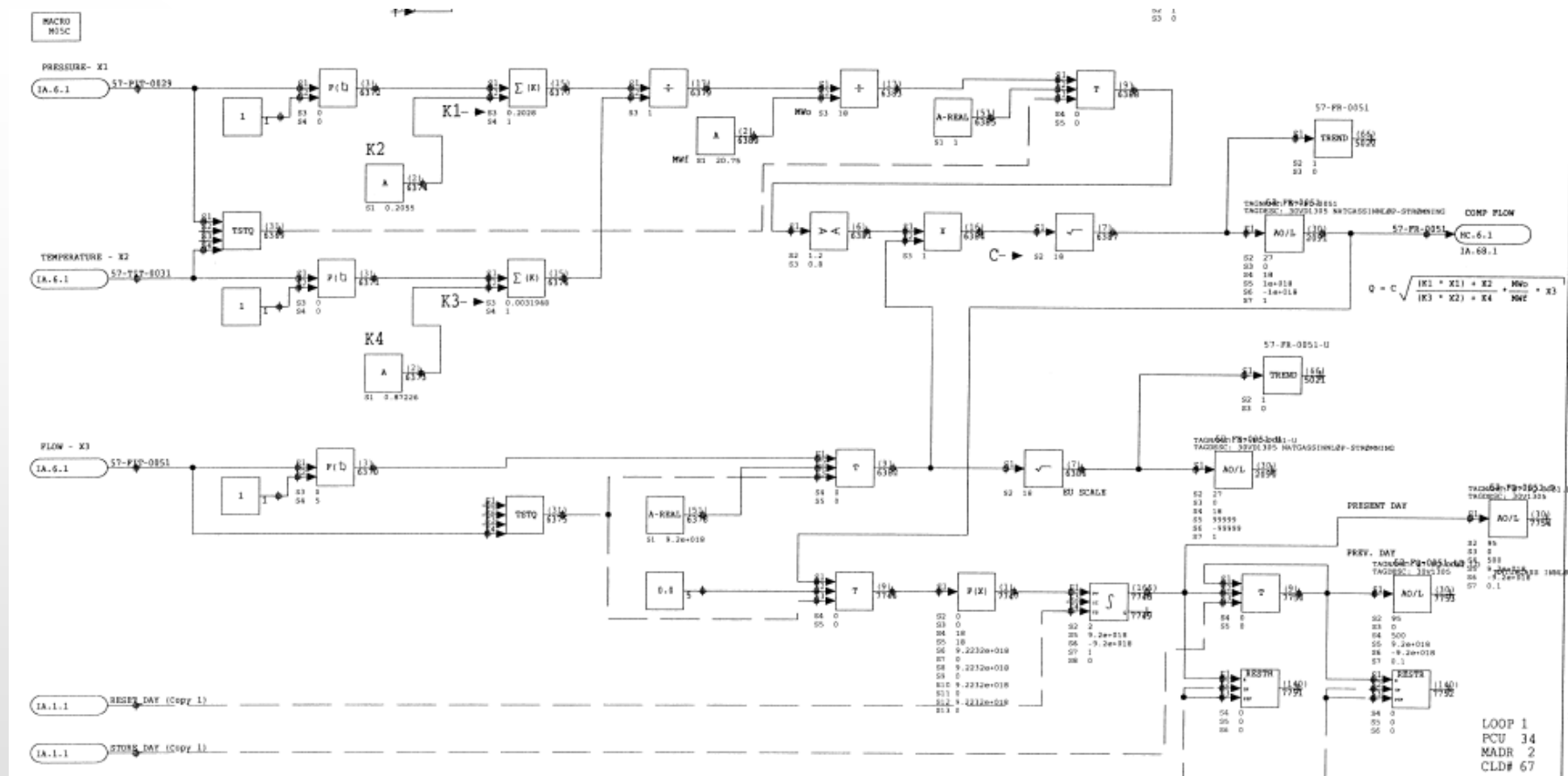
## Ideell kalkulasjon



Typisk massestrøm er ca. 7 000 kg/h

# Aktivitetsdata og karbonfaktor

Reell kalkulasjon: Kalkulasjon foregår i Macroer i PCDA systemet:



Blokkskjemasymboler må "oversettes" til matematiske uttrykk!

# Aktivitetsdata og karbonfaktor

**Reell kalkulasjon: Kalkulasjon foregår i Macroer i PCDA systemet:**

**Blokkskjemasympboler må "oversettes" til matematiske uttrykk for "reference volum flow",  $q_r$ :**

$$q_r = Co \cdot \sqrt{\frac{(K1 * X1) + K2}{(K3 * X2) + K4} * \frac{MW_0}{MW_f} * X3}$$

$$K1 = \frac{1}{p_0}$$

$p_0$  = Design pressure for blendeplaten (bara)

$$K2 = \frac{1.0132}{p_0}$$

$t_0$  = Design temperature for blendeplaten (°C)

$X1$  = Trykktransmitter avlesning (barg)

$X2$  = Temperaturtransmitter avlesning (°C)

$X3$  = Flow transmitter avlesning (diff.trykk) skalert 0-1 for 0 til full flow

$$K3 = \frac{1}{T_0}$$

$Co$  = Konstant for blendeplaten (Sm<sup>3</sup>/hr)

$MW_f$  = Molvekt av aktuell gass brukt i Bailey systemet, var 20,75 kg/kmol

$$K4 = \frac{273.15}{T_0}$$

$MW_0$  = Molvekt av gass opprinnelig brukt ved blendeplatekalkulasjoner, er 18 kg/kmol

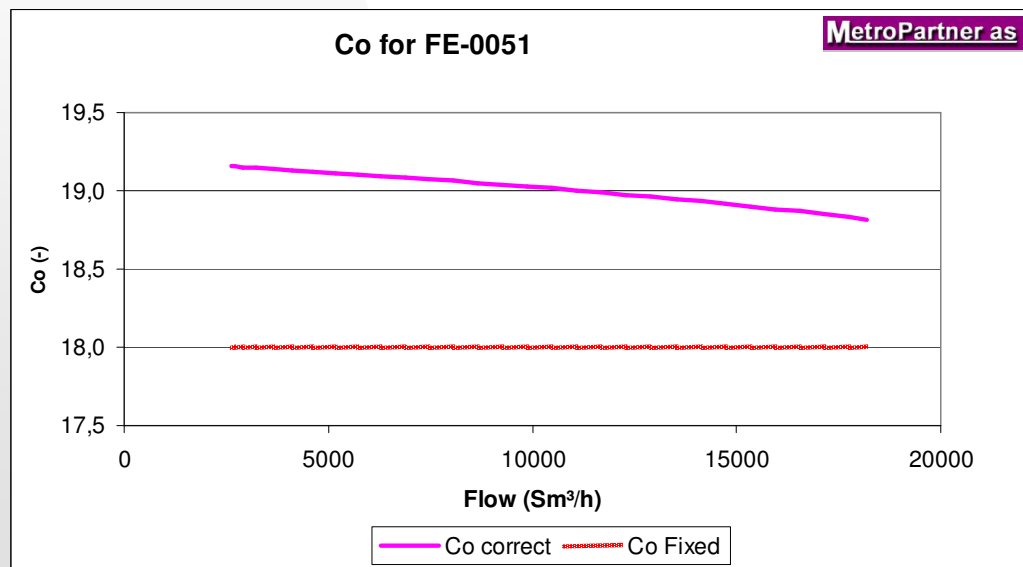
$$q_r = Co \cdot \sqrt{\frac{T_0 \cdot MW_0}{p_0}} \cdot \sqrt{\frac{p}{T \cdot MW_f} \cdot \Delta p}$$

# Aktivitetsdata og karbonfaktor

Reell kalkulasjon: Kalkulasjon foregår i Macroer i PCDA systemet:

”Konstanten” for blendeplater er egentlig ikke konstant, og skal egentlig være:

$$Co = C \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot DP_f} \cdot \frac{T_r}{p_r} \cdot \sqrt{R} \cdot \sqrt{\frac{Z_r^2}{Z}} \cdot \sqrt{\frac{p_0}{T_0 \cdot MW_0}}$$

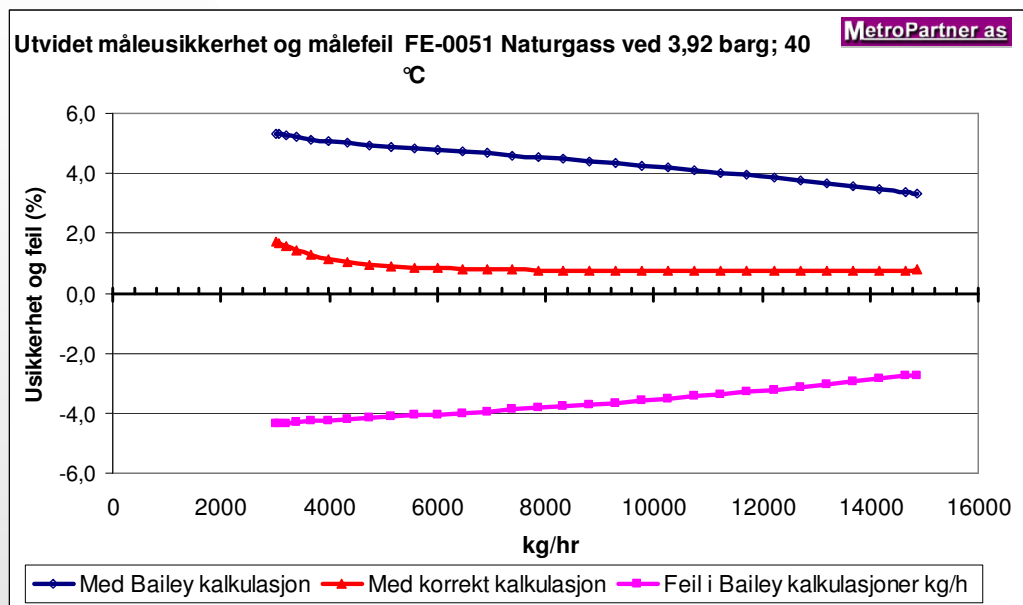


”Konstanten” for blendeplater var satt til en konstant, 18.  
Er egentlig flow rate avhengig.  
Endret til 19 for å minimalisere feilen

# Aktivitetsdata og karbonfaktor

**Reell kalkulasjon: Kalkulasjon foregår i Macroer i PCDA systemet:**

**”Konstanten” for blendeplater er egentlig ikke konstant. Ved endring fra 18 til 19 gir det følgende feil og usikkerheter:**

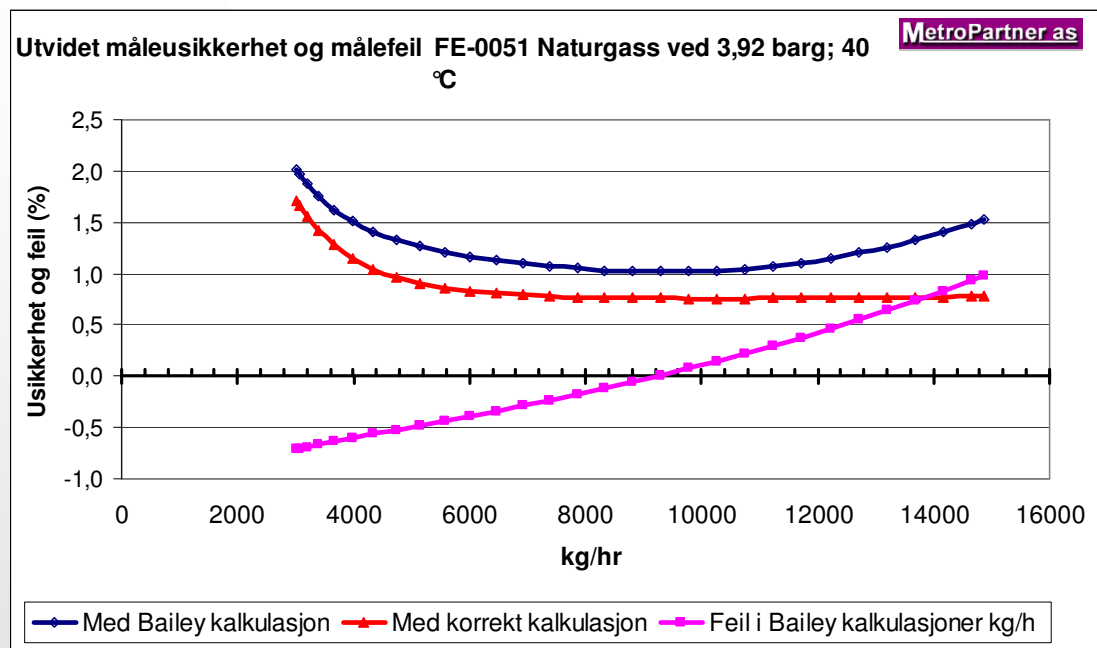


**Målefeilen ”konverteres til standard usikkerhet ved å dividere feil med kvadratroten av 3, ihht. GUM 4.3.7. Utvidet usikkerhet er standard usikkerhet multiplisert med 2.**

# Aktivitetsdata og karbonfaktor

**Reell kalkulasjon: Kalkulasjon foregår i Macroer i PCDA systemet:**

Neste trinn var å endre  $MW_f$  fra 20,75 kg/kmol, til en mer korrekt molvekt, 19,26 kg/kmol, basert på aktuelle analyser



Målefeilen ”konverteres til standard usikkerhet ved å dividere feil med kvadratroten av 3, ihht. GUM 4.3.7. Utvidet usikkerhet er standard usikkerhet multiplisert med 2.



**Reell kalkulasjon: Kalkulasjon foregår i Macroer i PCDA systemet:**

**Siste trinn trinn er en etterkorreksjon i slutten av hver måned  $MW_f$  ved 19,26 kg/kmol, basert på aktuelle analyser**

$$q_{r,k} = q_r \cdot \sqrt{\frac{MW_f}{MW_m}} = Co \cdot \sqrt{\frac{T_0 \cdot MW_0}{p_0}} \cdot \sqrt{\frac{p}{T}} \cdot \sqrt{\Delta p} \sqrt{\frac{1}{MW_m}}$$

$q_{r,k}$  er korrigert referansevolum for perioden

$q_r$  er referansevolum avlest fra Baileysystemet for perioden

$MW_f$  er molvekten som har vært innlagt i Baileysystemet i perioden

$MW_m$  er molvekten fra analysen i perioden (månedens)

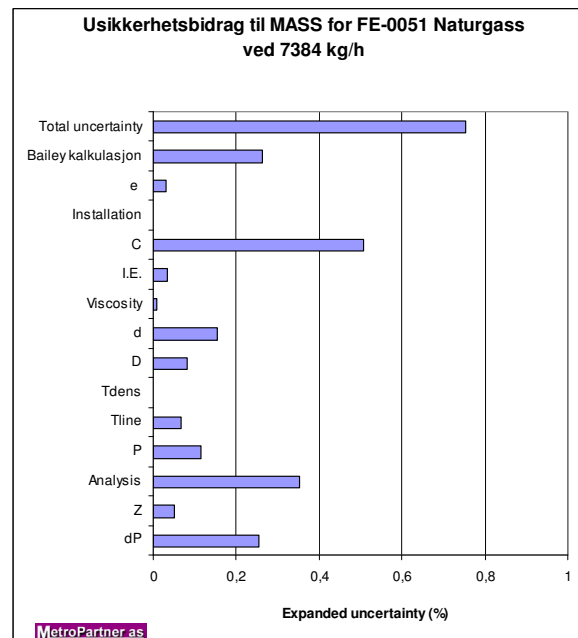
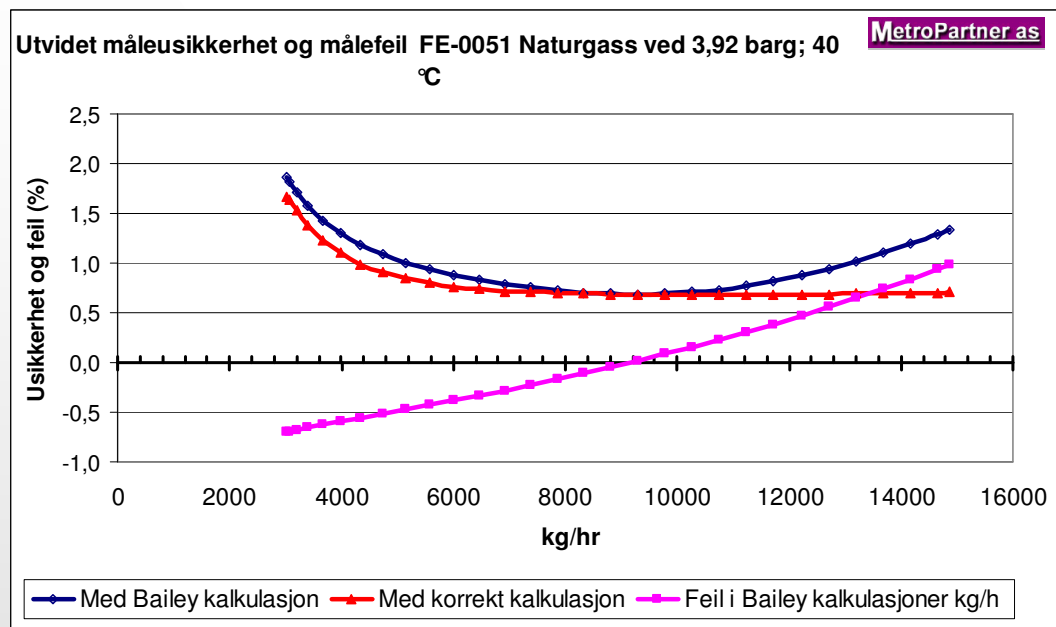
**På denne måten elimineres feilen/usikkerheten som skyldes avvikk mellom fast innlagt MW og månedens korrekte MW.**

**Det vil fremdeles være en usikkerhet i månedens MW som skyldes både analyseusikkerhet og usikkerhet som skyldes variasjoner mellom enkeltanalysene i måneden**

# Aktivitetsdata og karbonfaktor

**Reell kalkulasjon: Kalkulasjon foregår i Macroer i PCDA systemet:**

**Usikkerhet etter at siste korreksjonstrinn, en etterkorreksjon i slutten av hver måned av MW basert på aktuelle analyser, gir usikkerheter og feil og usikkerhetsfordeling som vist under:**



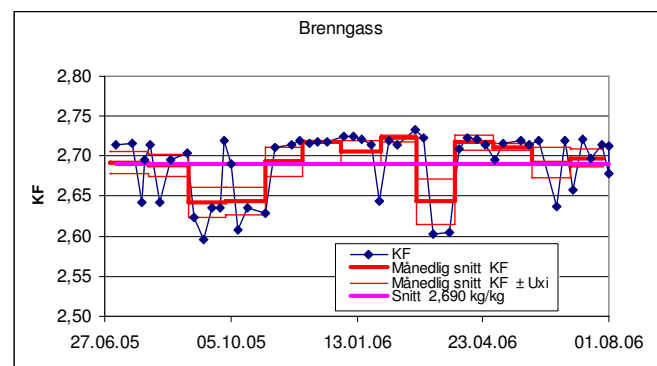
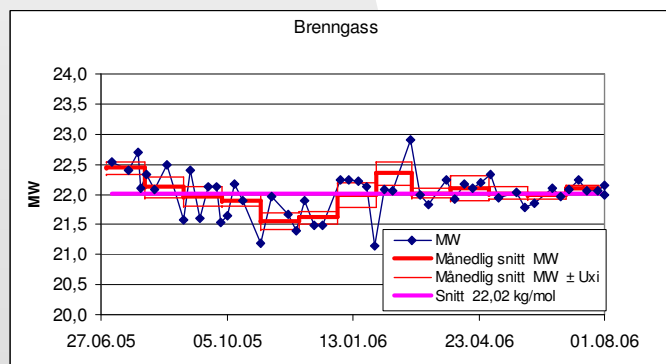
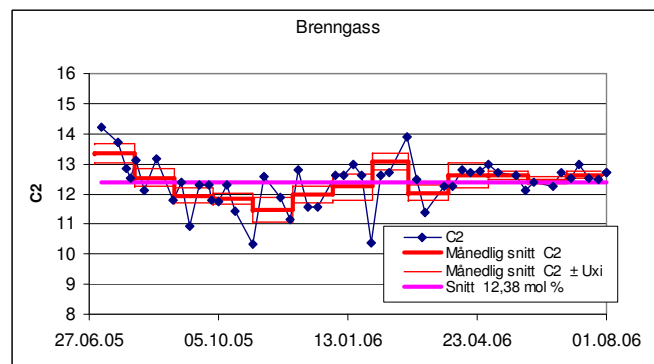
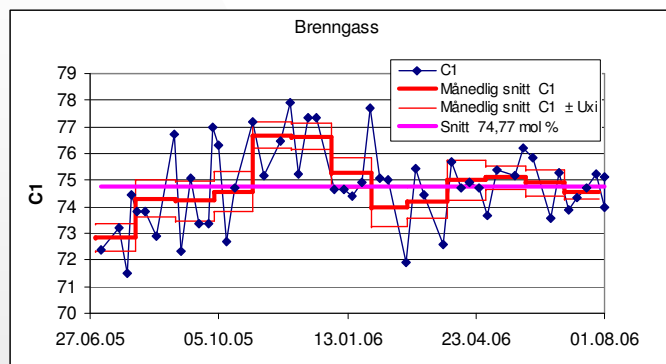
**Målefeilen ”konverteres til standard usikkerhet ved å dividere feil med kvadratroten av 3, ihht. GUM 4.3.7. Utvidet usikkerhet er standard usikkerhet multiplisert med 2.**

## Konklusjon:

Denne analysen viser at selv om det i utgangspunktet er forenklet kalkulasjonsalgoritmer som brukes (fordi målingen i utgangspunktet var en prosessmåler og ikke tiltenkt formålet med å måle aktivitetsdata ihht. myndigheters forskrift) kan en detaljert analyse, korreksjon av konstanter og implementering av korreksjonsprosedyrer vise at det er mulig å tilfredsstille kravene til usikkerhet uten omfattende utskifting av utstyr.

## Karbonfaktor.

For eksemplet på variasjoner i analyser som vist her er ikke en analyse per uke tilstrekkelig for å oppnå tilfredsstillende usikkerhet i KF.



Karbonfaktor.

Eksempler på analyser

Usikkerheten i periodesnittet avtar når det gjøres mange analyser (n øker):

$$U_{\text{XiV}} = t_{95, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Med eksemplet på analyser som varierer som vist på forrige side, må det gjøres ca. 22 analyser pr. måned.

Dvs. at ikke én analyse per uke er tilstrekkelig for å oppnå en usikkerhet på 0,5 %.