

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.

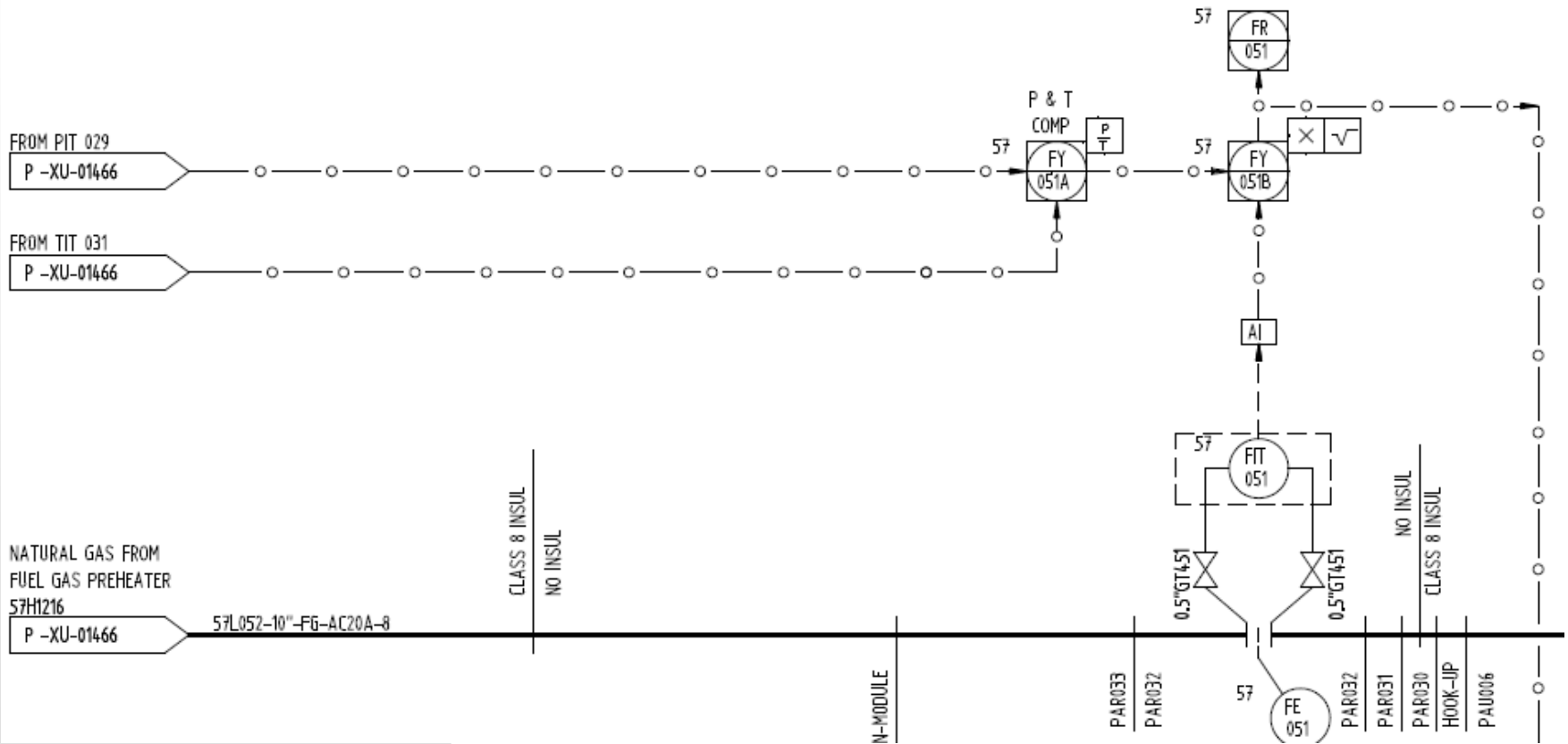
Ved hjelp av forholdsvis enkle justeringer og prosedyrer ansees målesystemet nå å ha tilfredsstillende usikkerhet.

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



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

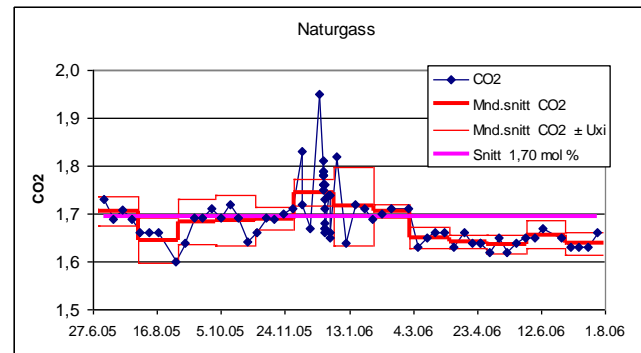
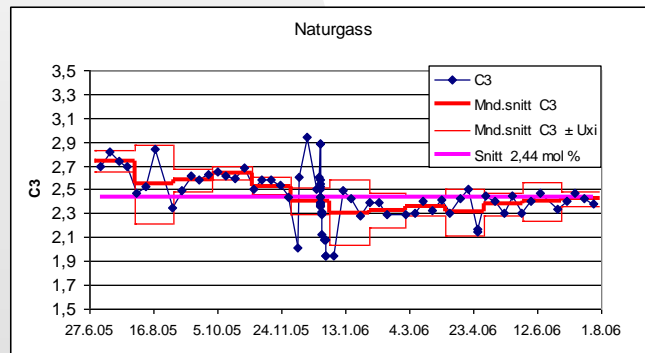
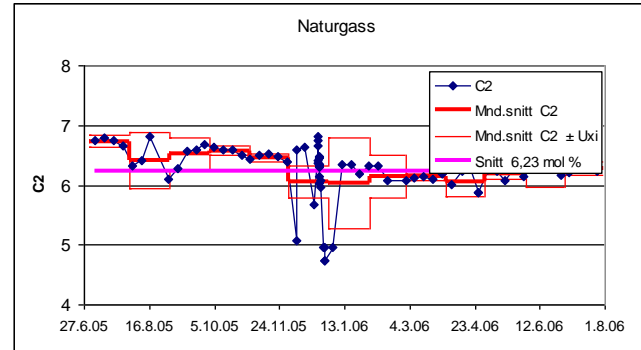
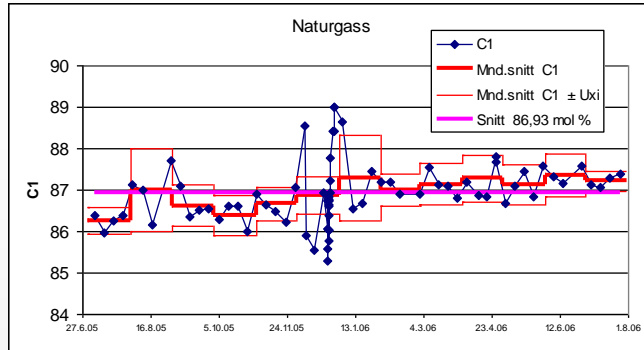
Utstyr	Modell	Usikkerhet
Differansetrykk transmitter	Rosemount 3051 CD_2	0,31 mbar
Trykktransmitter	Rosemount 3051 CG_4	0,011 bar
Temperaturtransmitter	Rosemount 3144	0,23°C
Temperaturelement	Pt-100 Class A	0,23°C

Analysen er bestemt med spotprøver ca. 1 gang per uke

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

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

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	86,93	0,26	0,17	0,32
C2	6,23	0,12	0,06	0,14
C3	2,44	0,07	0,02	0,07
iC4	0,49	0,02	0,02	0,02
nC4	0,76	0,03	0,03	0,04
iC5	0,23	0,01	0,01	0,02
nC5	0,20	0,02	0,01	0,02
C6	0,50	0,08	0,02	0,08
N2	0,53	0,04	0,02	0,32
CO2	1,70	0,02	0,02	0,14

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 halvparten 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

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

$$C = 0,5961 + 0,0261 \cdot \beta^2 - 0,0261 \cdot \beta^8 + 0,000521 \cdot \left(\frac{10^6 \cdot \beta}{\text{Re}}\right)^{0,7} + (0,0188 + 0,0063 A) \cdot \beta^{3,5} \cdot \left(\frac{10^6}{\text{Re}}\right)^{0,3}$$

$$+ (0,043 + 0,080 \cdot e^{-10 \cdot L_1} - 0,123 \cdot e^{-7 \cdot L}) \cdot (1 - 0,11 \cdot A) \cdot \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} - 0,031 \cdot (M_2' - 0,8 \cdot M_2'^{1,1}) \cdot \beta^{1,8}$$

Usikkerhet i C avhenger av β . Her 0,5 % + tillegg pga røropplegg

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

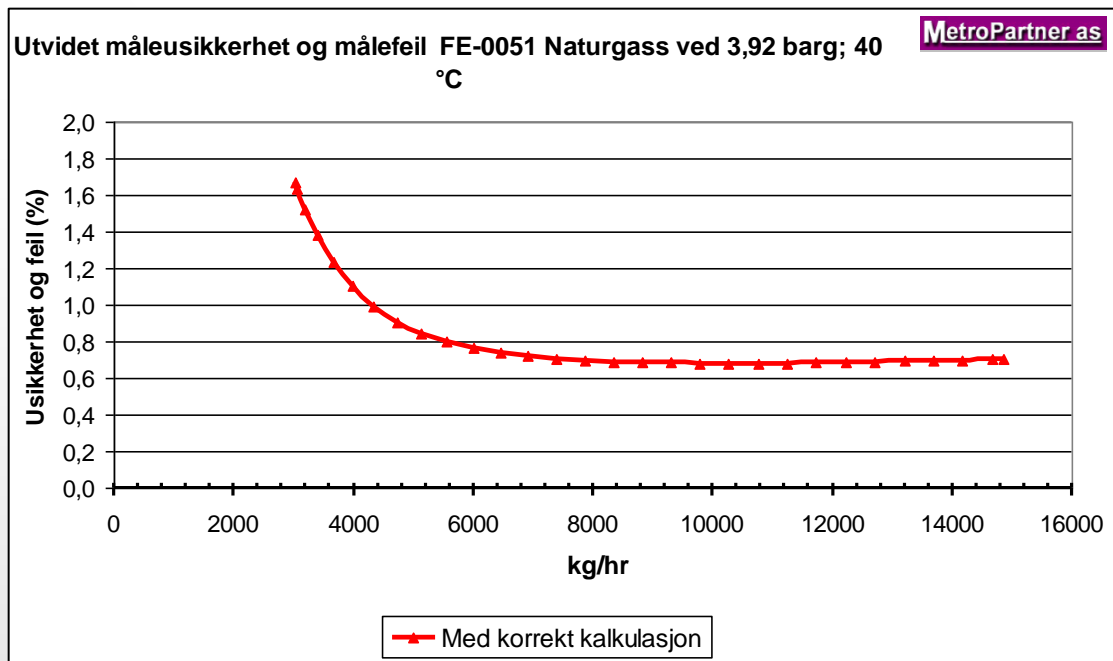
Usikkerhet i ε :

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

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

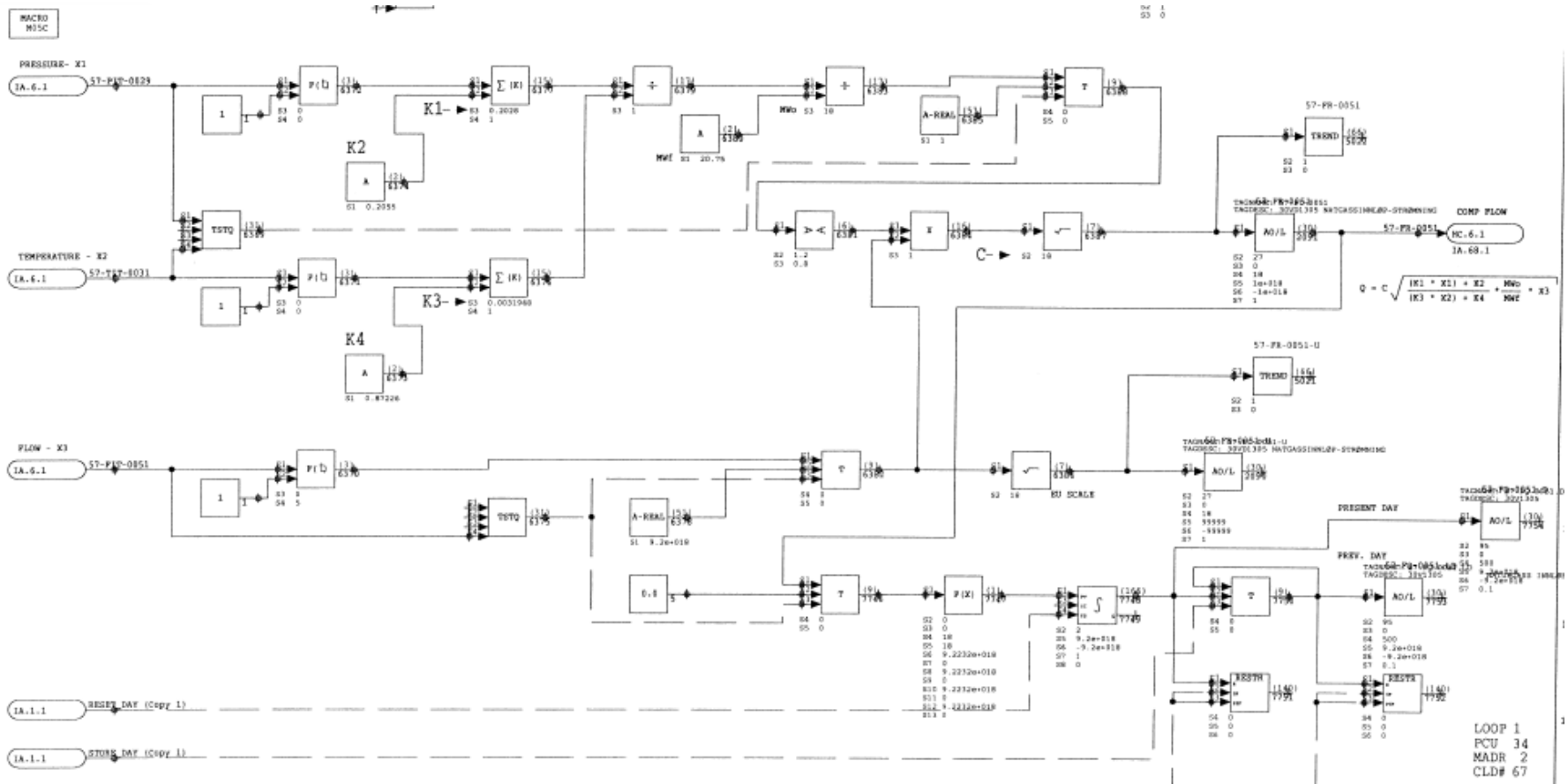
Usikkerhet i MW fra analyse, usikkerhet i Z er 0,1 % (ISO 12213)

Ideell kalkulasjon



Typisk massestrøm er ca. 7 000 kg/h

Reell kalkulasjon: Kalkulasjon foregår i Macroer i PCDA systemet:



Blokkskjemasympboler må "oversettes" til matematiske uttrykk!

Aktivitetsdata og karbonfaktor

Reell kalkulasjon: Kalkulasjon foregår i Macroer i PCDA systemet:

Blokkskjemasympoler må "oversettes" til matematiske uttrykk for "reference volum flow", q_r :

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

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

p_0 = Design pressure for blendeplaten (bara)

t_0 = Design temperature for blendeplaten (°C)

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

X1 = Trykktransmitter avlesning (barg)

X2 = Temperaturtransmitter avlesning (°C)

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

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

C_o = Konstant for blendeplaten (Sm³/hr)

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

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

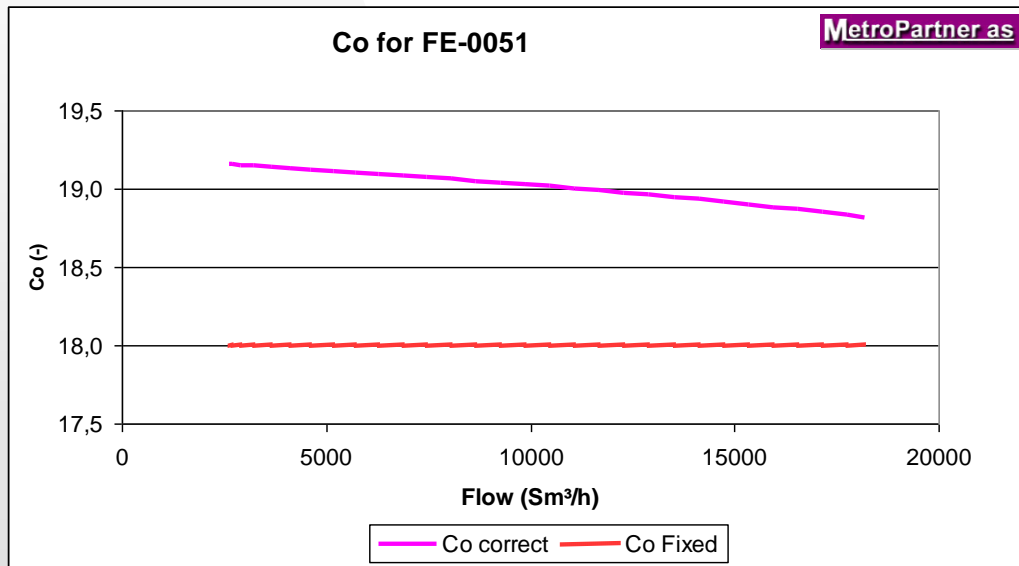
$$K4 = \frac{273.15}{T_0}$$

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

Reell kalkulasjon: Kalkulasjon foregår i Macroer i PCDA systemet:

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

$$C_o = C \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot DP_f} \cdot \frac{T_r}{P_r} \cdot \sqrt{R} \cdot \sqrt{\frac{Z_r^2}{Z}} \cdot \sqrt{\frac{P_0}{T_0 \cdot MW_0}}$$



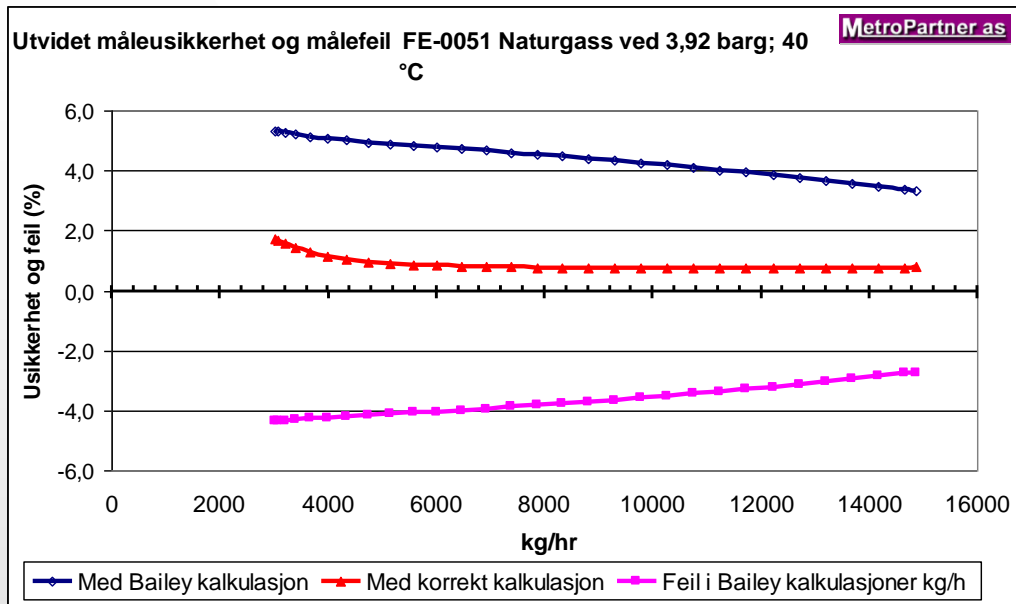
”Konstanten” for blendeplater var satt til en konstant, 18.

Er egentlig flow rate avhengig.

Endret til 19 for å minimalisere feilen

Reell kalkulasjon: Kalkulasjon foregår i Macroer i PCDA systemet:

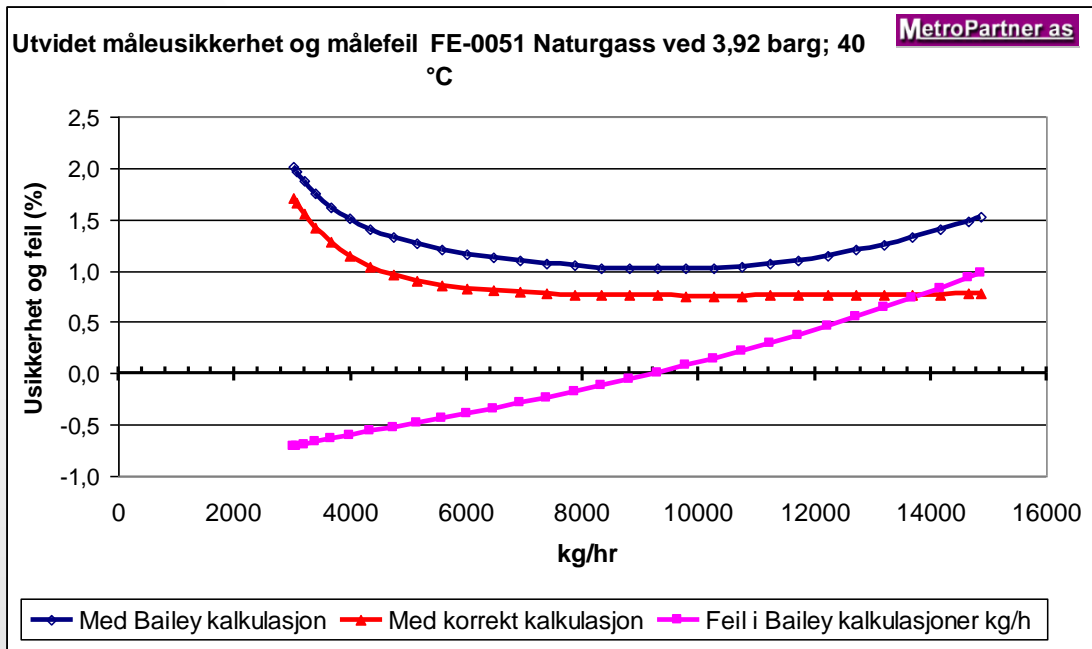
”Konstanten” for blendeplater er egentlig ikke konstant. Ved endring fra fra 18 til 19 gir det følgende feil og usikkerheter:



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.

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

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

$q_{r,k}$ 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

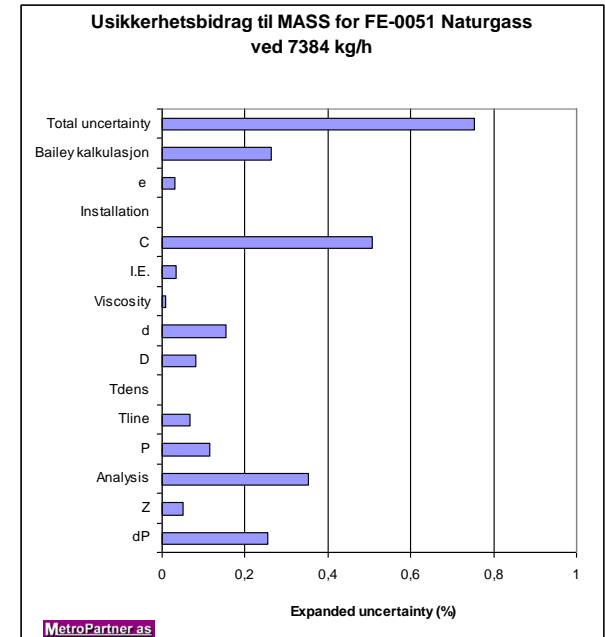
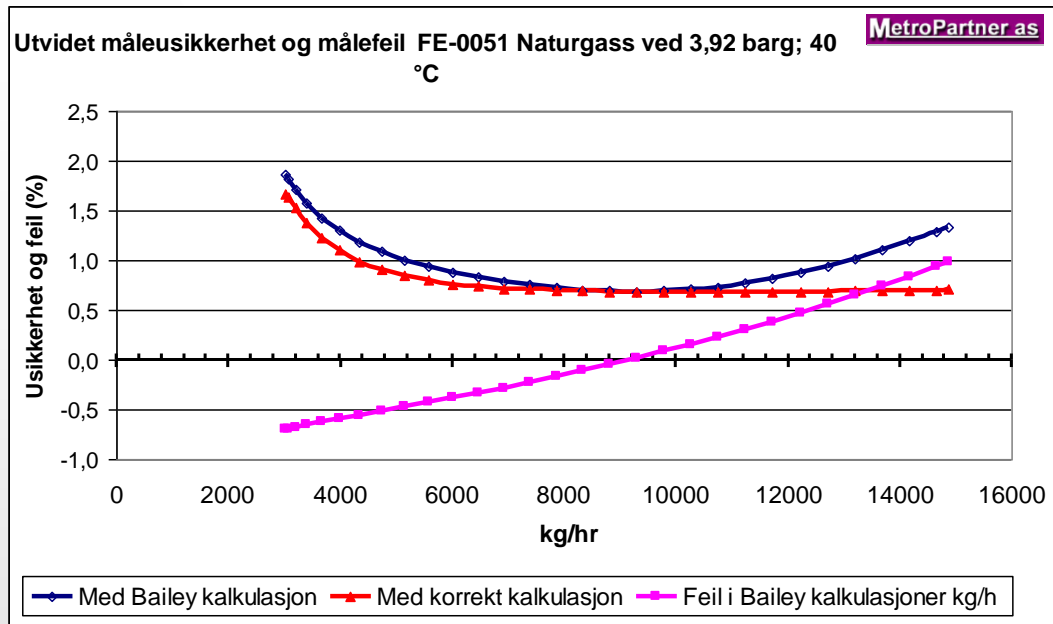
MW_m er molvekten fra analysen i perioden (månedens)

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

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:



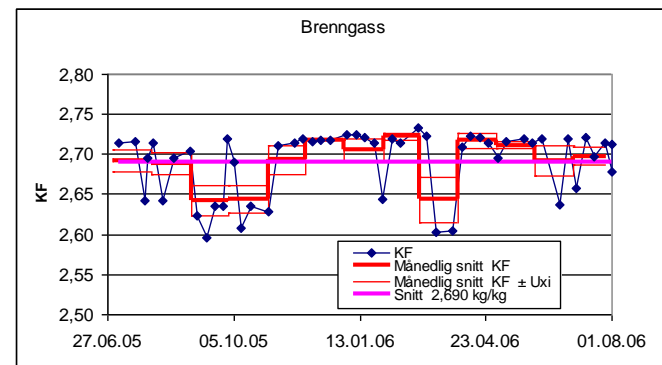
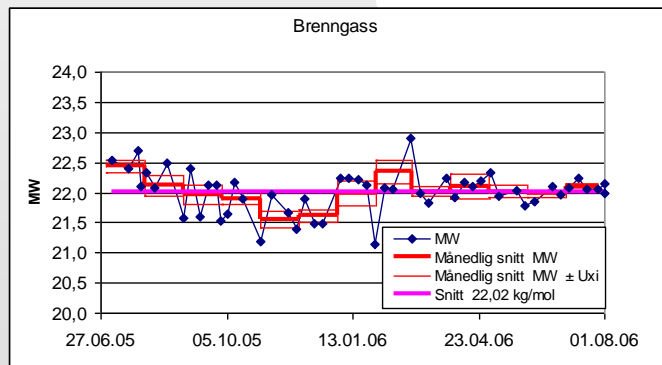
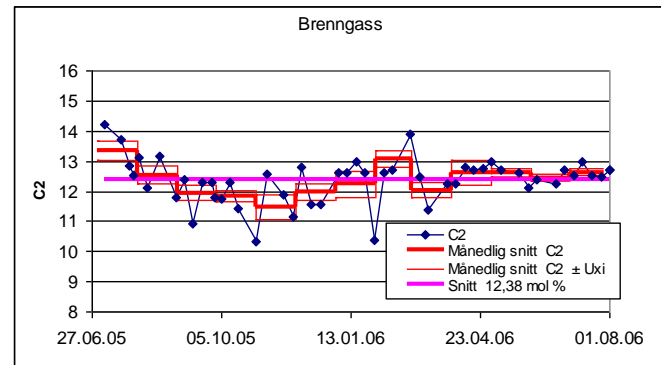
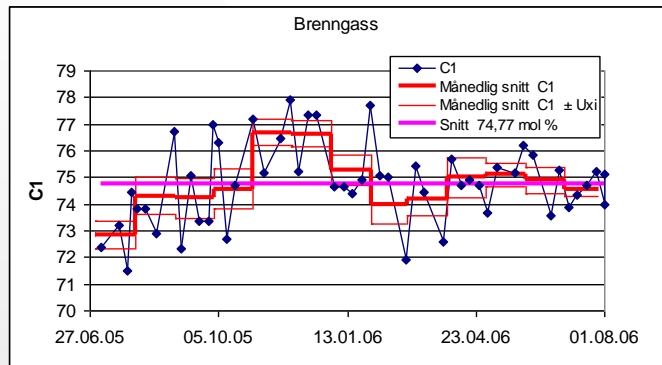
Målefeilen ”konverteres til standard usikkerhet ved å dividere feil med kvadratroten av 3, ihht. GUM 4.3.7. Utvidet usikkerhet er standard usikkerhet multiplisert med 2.

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):

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

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 %.