

Usikkerheter i gassparametre ut fra gasskomposisjon

Kjell-Eivind Frøysa, CMR Instrumentation

De senere årene har det blitt et forsterket fokus på usikkerhetsberegning i forbindelse med gassmålinger. Dette gjelder både i forbindelse med kjøp og salg, ved eierskapsallokering og ved rapportering av utslipp av spesielt CO₂. NFOGM har i denne forbindelse tatt initiativer for å utvikle håndbøker og beregningsprogram for å finne frem til standardisert metodikk for usikkerhetsanalyser, samt å forenkle rapporteringen av usikkerheten i målestasjoner. Slike analyser vil måtte dekke både mengdemåling (standard volum eller masse) og gasskvalitet (linjetetthet, standard tettet, brennverdi, CO₂ utslippsfaktor etc).

Gasskvalitetsparametre blir ofte funnet ved hjelp av en målt gasskomposisjon. Denne kommer i så tilfelle som regel enten fra en online gasskromatograf eller fra en manuell prøve som er analysert på et laboratorium. Fra denne gasskomposisjonen beregnes størrelser som tetthet etc. Usikkerheten i den målte gasskomposisjonen bidrar til usikkerheten også til disse avledete størrelsene. En viktig kontrollstørrelse i den forbindelse er den molare massen. Den inngår direkte når en skal beregne tetthet, og er også inne i bildet både ved brennverdier og utslippsfaktorer. Usikkerheten i den molare massen sier derfor ofte samtidig en hel del om forventet usikkerhet i disse andre størrelsene. Samtidig er det et viktig poeng at både måten data blir håndtert på og usikkerheten på gassanalysen vil være avgjørende for den totale usikkerheten. Videre er det viktig å merke seg at ikke alle gasskomponenter teller like mye i det totale usikkerhetsbudsjettet. Dette vil bli illustrert i det følgende.

Den molare massen blir funnet ut fra følgende enkle matematiske uttrykk:

$$m = (m_1\phi_1 + m_2\phi_2 + \dots + m_n\phi_n) / 100$$

Her er 1, 2, ... de forskjellige gasskomponentene i naturgassen, m_1 er molar masse til komponent nummer 1 og ϕ_1 er molarfraksjon i prosent til komponent nummer 1.

I praksis vil ikke summen av alle de målte parametrene bli 100 %. En normaliserer derfor gasskomposisjonen slik at summen likevel blir 100 %. Den kanskje mest vanlige måten å gjøre dette på er å dividere hver av de målte gasskomponentene med summen av alle målte komponenter. Det betyr at en egentlig beregner molar masse ut fra følgende ligning:

$$m = \frac{m_1\phi_1 + m_2\phi_2 + \dots + m_n\phi_n}{\phi_1 + \phi_2 + \dots + \phi_n}$$

Her er ϕ_1 er molarfraksjon i prosent til komponent nummer 1 slik den er målt (ikke den korrigerede etter normalisering). Usikkerhetsmodellen for disse to tilfellene kan finnes på vanlig måte ved å beregne:

$$u(m)^2 = \left(\frac{\partial m}{\partial \phi_1} u(m_1) \right)^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial \phi_2} u(m_2) \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial m}{\partial \phi_n} u(m_n) \right)^2$$

u representerer her standard usikkerhet. Usikkerheten vil avhenge av om en benytter normaliserte eller unormaliserte størrelser. For å se på dette mer konkret, bruker vi en fiktiv naturgass som likevel kan være realistisk:

- Metan 90 %
- Etan 5 %
- Propan 2 %
- n-Butan 0.5 %
- i-Butan 0.5 %
- n-Pentan 0.1 %
- i-Pentan 0.1 %
- Heksan 0.05 %
- Nitrogen 1 %
- Karbondioksyd 0.75 %

Molar masse til denne komposisjonen blir 18.2 g/mol.

Usikkerheten til en målt gasskomposisjon avhenger av hvordan målingen er fremkommet. For eksempel sier NORSOK I104 at ved online gasskromatografi så er der tre usikkerhetsbidrag som skal adresseres: (i) kalibreringsgassen usikkerhet, (ii) repeterbarhet og (iii) linearitet. I forbindelse med laboratorieanalyser er der tilsvarende usikkerhetsbidrag. Her skal vi benytte 5 forskjellige eksempler på realistiske usikkerheter på de målte komponentene, for å illustrere dynamikken i usikkerhetsanalysene:

Usikkerhetseksempel nummer 1: En benytter relativ ekspandert usikkerhet med 95 % konfidensintervall på 1 % for alle komponentene. Dette er basert på at på enkelte anlegg benyttes en kalibreringsgass med en slik usikkerhet.

Usikkerhetseksempel nummer 2: Usikkerhetsgrensene for kalibreringsgass som er nevnt i NORSOK I-104, seksjon 9.1.4.1. Dette gir

- Molar fraksjon 10 – 100 %: 0.2 % relativt
- Molar fraksjon 1-10 %: 0.5 % relativt
- Molar fraksjon 0.25 – 1 %: 1 % relativt
- Molar fraksjon under 0.25 %: 5 % relativt

Alle disse tallene håndteres som relativt ekspandert usikkerhet med 95 % konfidensintervall.

Usikkerhetseksempel nummer 3: Typisk eksempel på usikkerheter spesifisert av laboratorium i forbindelse med analyse av manuelle gassprøver:

- Metan: 1.4 % relativt
- Etan: 1 % relativt
- Propan: 0.5 % relativt

- n-Butan: 1.5 % relativt
- n-Pentan: 5 % relativt
- Nitrogen: 10 % relativt
- Karbondioksyd: 3 % relativt

Alle disse tallene håndteres som relativ ekspandert usikkerhet med 95 % konfidensintervall.

Usikkerhetseksempel nummer 4: Reproduserbarhetsgrenser fra ASTM D-1945:

- Molar fraksjon 10 - 100 %: 0.15 % absolutt
- Molar fraksjon 5 - 10 %: 0.12 % absolutt
- Molar fraksjon 1 - 5 %: 0.10 % absolutt
- Molar fraksjon 0.1 - 1 %: 0.07 % absolutt
- Molar fraksjon under 0.1 %: 0.02 % absolutt

Alle disse tallene håndteres som absolutt ekspandert usikkerhet med 95 % konfidensintervall.

Usikkerhetseksempel nummer 5: NORSOK I-104 gir overordnede usikkerhetsgrenser for fiskal gasskomposisjon som ikke bør overstiges uten at det er prosjektspesifikke krav (se NORSOK I-104 s 31). Disse er:

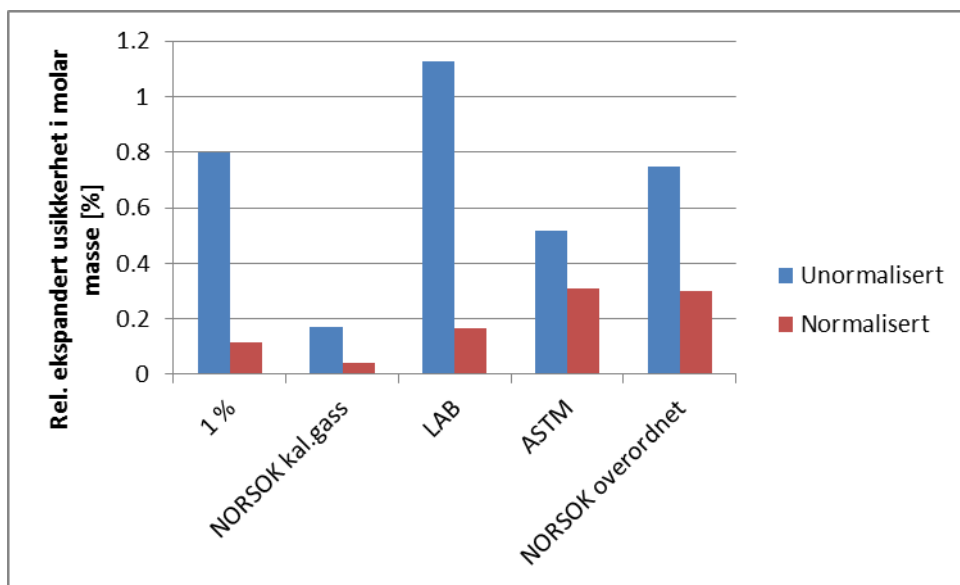
- Molar fraksjon 20 - 100 %: 0.60 m/m_i % relativt
- Molar fraksjon 20 - 50 %: 0.30 m/m_i % relativt
- Molar fraksjon 0.5 - 20 %: 0.15 m/m_i % relativt

Alle disse tallene håndteres som relativ ekspandert usikkerhet med 95 % konfidensintervall. Disse grensene er ifølge 2 av medlemmene i NORSOK I-104-kommiteen valgt for at usikkerhetsbidraget fra hver komponent skal bli tilnærmet like stort, samtidig som molar masse skal ha relativt ekspandert usikkerhet med 95 % konfidensintervall på ca 0.3 %.

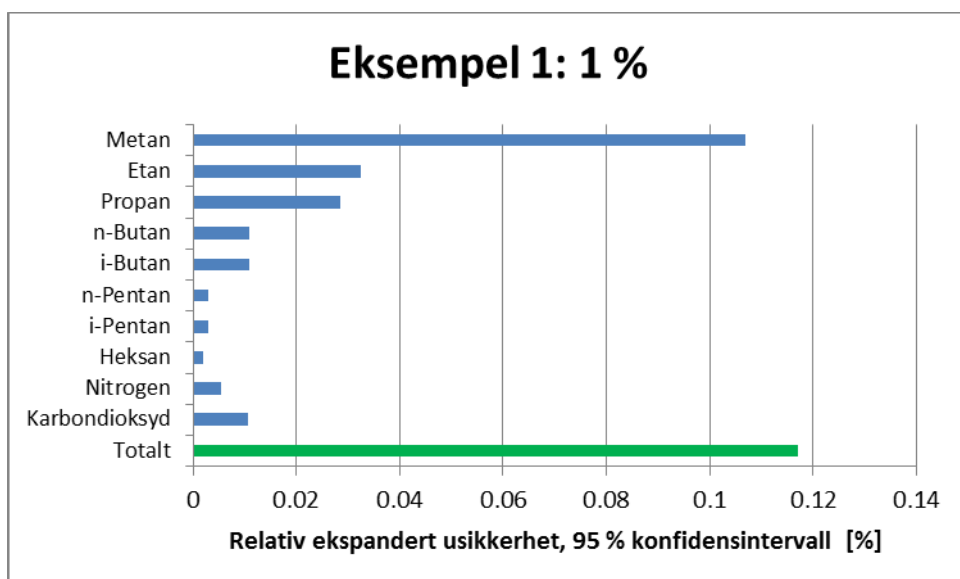
Vi beregner nå usikkerheten i molar masse for hvert av de 5 usikkerhetseksempelene, og både for unormalisert og for normalisert molar masse. Man vil selvsagt få noe forskjellige resultater enn her hvis man benytter en annen gasskomposisjon enn her. Resultatene er oppsummert i figur 1 (relativt ekspandert usikkerhet med 95 % konfidensintervall). En ser at som ventet er usikkerheten i molar masse vesentlig lavere når normalisering av gasskomposisjon er gjennomført sammenlignet med når dette ikke er gjennomført. Det er videre interessant å se at usikkerheten blir ca 0.3 % når man benytter usikkerhetseksempel 5 (NORSOK overordnet), som var hensikten da denne spesifikasjonen ble utarbeidet og lagt inn i NORSOK I-104.

Det kan også være interessant å se på bidraget til usikkerheten for hver av gasskomponentene. Vi ser her bare på tilfellet med normaliserte gasskomposisjoner. Dette er vist i figurene 2-6. En ser der at det varierer i hvilken grad alle gasskomponentene bidrar vesentlig til den totale usikkerheten eller ikke. Spesielt ser en et skille mellom eksemplene 1 og 3 (1 % usikkerhet for alle, eller laboratorieusikkerhet) hvor metan bidrar høyt i usikkerhetsbudsjetten, og de tre andre hvor det er mer balanse i bidragene fra de forskjellige komponentene. Dette kan være viktig å være klar over når en setter krav til de forskjellige komponentenes usikkerhet i et konkret prosjekt. Bruken av resultatene vil kunne gi at høyere usikkerhet kan tolereres på noen komponenter og at en likevel kan møte gitte usikkerhetsgrenser.

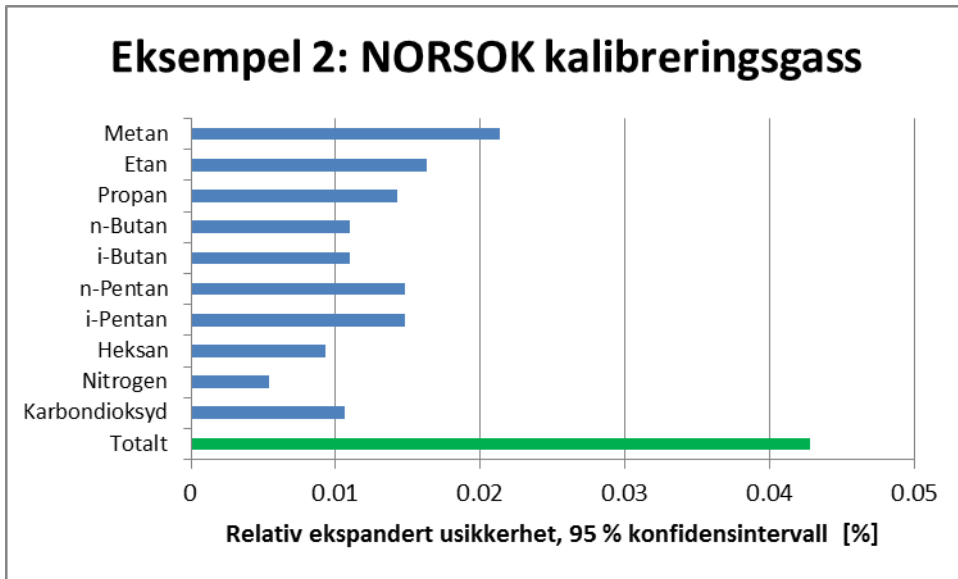
Som også nevnt innledningsvis skal det til slutt kommenteres at molar masse bare er en av en rekke gassparametre som er av interesse basert på en målt gasskomposisjon. En ser imidlertid i praksis at relativ usikkerhet i standard tetthet, CO₂ utslippsfaktor og brennverdi (pr volumenet) ofte er ganske lik relativ usikkerhet i molar masse. Usikkerheten i massebasert CO₂ utslippsfaktor eller brennverdi er ofte lavere enn usikkerheten i molar masse. Dessuten inngår den molare massen i beregningen av linjetetthet (fra gasskomposisjon), slik at en også for å møte kravene til linjetetthet må ha kontroll på usikkerheten til molar masse. Usikkerheten i molar masse er derfor en nyttig parameter med tanke på å få kontroll med måleusikkerheten i en rekke gassparametre, på en enkel måte. Dette selv om det som regel vil være krav til egne usikkerhetsanalyser for hver av de andre aktuelle gassparametrene.



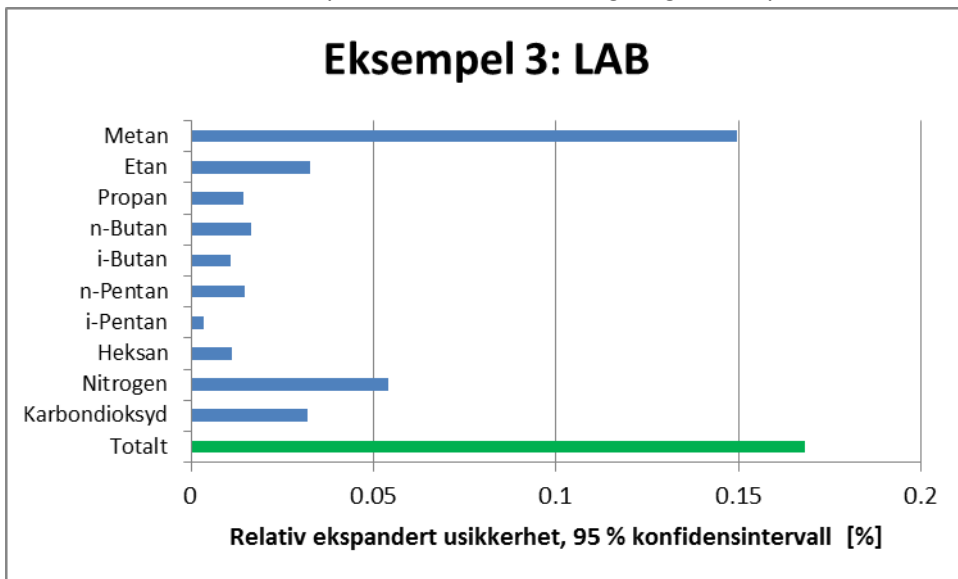
Figur 1. Relativ ekspandert usikkerhet i molar masse for eksempel gassen og de 5 usikkerhetseksemlene. Resultat er vist både når gasskomposisjonen er normaliser og ikke.



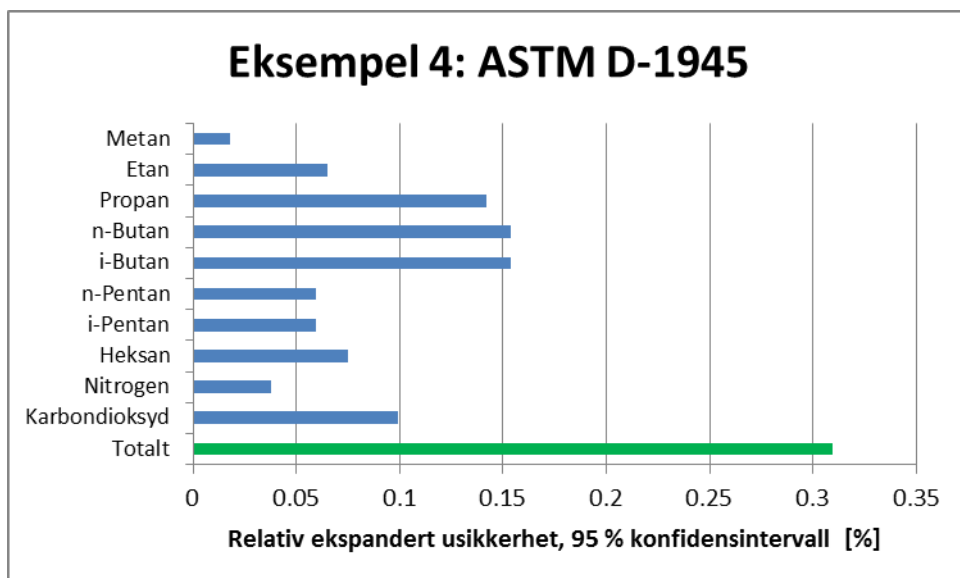
Figur 2. Usikkerhetsbidrag til molar masse fra de forskjellige gasskomponentene for usikkerhetseksempel 1, med normalisering av gasskomponentene.



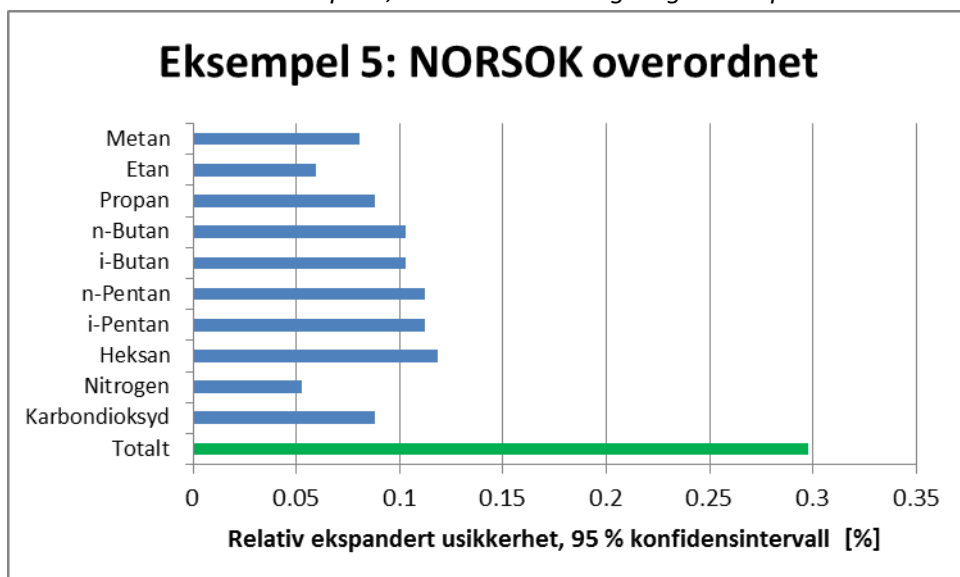
Figur 3. Usikkerhetsbidrag til molar masse fra de forskjellige gasskomponentene for usikkerhetseksempel 2, med normalisering av gasskomponentene.



Figur 4. Usikkerhetsbidrag til molar masse fra de forskjellige gasskomponentene for usikkerhetseksempel 3, med normalisering av gasskomponentene.



Figur 5. Usikkerhetsbidrag til molar masse fra de forskjellige gasskomponentene for usikkerhetseksempel 4, med normalisering av gasskomponentene.



Figur 6. Usikkerhetsbidrag til molar masse fra de forskjellige gasskomponentene for usikkerhetseksempel 5, med normalisering av gasskomponentene.