



Tanker om Usikkerhetsbudsjett

NFOGM Fagdag 2024
Dag Flølo

- § 15. Usikkerhetsbudsjett
- (1) **Rettighetshaver skal etablere og vedlikeholde et usikkerhetsbudsjett for å demonstrere oppfyllelse av krav til usikkerhetsgrenser i § 10.**
- (2) Budsjettet skal etableres i samsvar med internasjonalt anerkjente retningslinjer for å evaluere og uttrykke usikkerhet i måling.
- (3) Usikkerhetsbudsjettet skal spesifisere målemodell, anslag og måleusikkerhet knyttet til størrelser i målemodellen, kovarianser, type anvendte sannsynlighetsfordelinger, type evaluering av måleusikkerhet og dekningsfaktorer. Usikkerhet i anslag for manglende eller mangelfulle måledata skal hensyntas i usikkerhetsbudsjettet.

§ 10. Målestørrelser og usikkerhetsgrenser

(1) Måling av produsert mengde petroleum skal oppfylle krav til målestørrelse og usikkerhetsgrense i tabell 1. For allokeringmåling kan rettighetshaver definere andre usikkerhetsgrenser for målestørrelser enn de som er angitt i tabell 1, dersom det kan dokumenteres at oppfyllelse av angitte usikkerhetsgrenser ikke er teknisk mulig eller vil føre til urimelig høye kostnader.

Tabell 1 (Krav til måling av produsert mengde petroleum)

Type måling:	Målestørrelse	Usikkerhetsgrense
Leveringsmåling	Netto mengde (standard volum eller masse) olje i en leveranse eller i en måleperiode på en måned	0,30 %
Leveringsmåling	Mengde (standard volum, masse eller energi) gass i en måleperiode på en måned	1,0 %
Leveringsmåling	Mengde (masse eller energi) LNG i en leveranse	0,5 %
Allokeringsmåling	Netto mengde (standard volum eller masse) olje i en måleperiode på inntil en måned	0,5 %
Allokeringsmåling	Mengde (standard volum eller masse) gass i en måleperiode på inntil en måned	1,5 %

(2) Måling av mengde petroleum som brennes og naturgass som slippes til luft, samt CO₂ som utskilles fra petroleum og slippes til luft skal oppfylle krav til målestørrelse og usikkerhetsgrense i tabell 2. Når særlige grunner tilsier det, kan Sökkeldirektoratet etter søknad dispensere fra kravet til usikkerhetsgrense i tabell 2 for faklet petroleum og naturgass sluppet til luft.

Tabell 2 (Krav til måling av mengde petroleum som brennes og naturgass som slippes til luft, samt CO₂ som utskilles fra petroleum og slippes til luft)

Type måling:	Målestørrelse	Usikkerhetsgrense
CO ₂ -avgiftsmåling	Mengde (standard volum) naturgass anvendt som brensel til kraft- og varmeproduksjon i en måleperiode på en måned	1,5 %
CO ₂ -avgiftsmåling	Mengde (volum) diesel anvendt som brensel til kraft- og varmeproduksjon i en måleperiode på en måned	Angis av rettighetshaver
CO ₂ -avgiftsmåling	Mengde (standard volum) faklet petroleum i en måleperiode på en måned	7,5 %
CO ₂ -avgiftsmåling	Mengde (standard volum) naturgass sluppet til luft i en måleperiode på en måned	7,5 %
CO ₂ -avgiftsmåling	Mengde (standard volum) CO ₂ utskilt fra petroleum og sluppet til luft i en måleperiode på en måned	7,5 %

§ 10. Målestørrelser og usikkerhetsgrenser

(1) Måling av produsert mengde petroleum skal oppfylle krav til målestørrelse og usikkerhetsgrense i tabell 1. For allokeringmåling kan rettighetshaver definere andre usikkerhetsgrenser for målestørrelser enn de som er angitt i tabell 1, dersom det kan dokumenteres at oppfyllelse av angitte usikkerhetsgrenser ikke er teknisk mulig eller vil føre til urimelig høye kostnader.

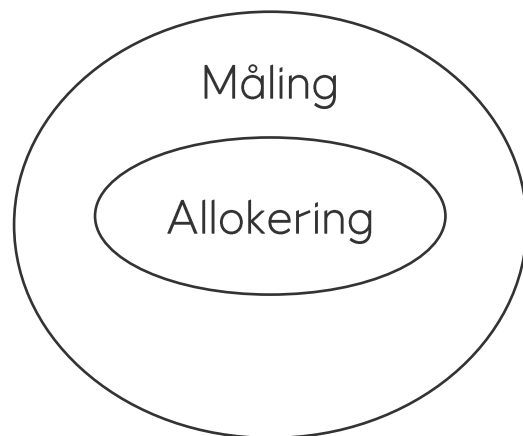
Tabell 1 (Krav til måling av produsert mengde petroleum)

Type måling:	Målestørrelse	Usikkerhetsgrense
Leveringsmåling	Netto mengde (standard volum eller masse) olje i en leveranse eller i en måleperiode på en måned	0,30 %
Leveringsmåling	Mengde (standard volum, masse eller energi) gass i en måleperiode på en måned	1,0 %
Leveringsmåling	Mengde (masse eller energi) LNG i en leveranse	0,5 %
Allokeringsmåling	Netto mengde (standard volum eller masse) olje i en måleperiode på inntil en måned	0,5 %
Allokeringsmåling	Mengde (standard volum eller masse) gass i en måleperiode på inntil en måned	1,5 %

- Operatøren gjør typisk et grovt anslag over usikkerhet ved valg av konsept
- Slike anslag finner man kanskje i PUD, målefilosofier, eller presentasjoner til SODIR
- Eller kanskje ikke i det hele tatt

Er det krav om usikkerhetsbudsjett for allokerte mengder petroleum ?

- §10 «(1) måling av produsert mengde petroleum skal oppfylle krav til ... usikkerhetsgrense i tabell 1.»
- §15 «Rettighetshaver skal etablere og vedlikeholde et usikkerhetsbudsjett for å demonstrere oppfyllelse av krav til usikkerhetsgrenser i § 10.»
- «'Produsert (mengde) petroleum':
... petroleum som er produsert for salg fra felt i produksjon...» = Allokert mengde
- «allokering, en matematisk prosess for å bestemme hvilken mengde produsert petroleum av en total produksjon fra hele produksjonssystemet som skal tilordnes et individuelt felt/utvinningstillatelse,»
- «'måling', prosess hvor man eksperimentelt oppnår en eller flere tallverdier som med rimelighet kan tilskrives en størrelse. Prosessen kan i tillegg til direkte fysisk sammenligning omfatte bruk av modeller og beregninger basert på teoretiske betraktninger.»



Begrepet 'måling' omfatter begrepet 'allokering'

'produsert mengde petroleum' = allokert mengde = en målt mengde

?

Usikkerhetsbudsjett for allokerte mengder petroleum

- Begrepet som er brukt i § 10 tabell 1 er 'allokeringsmåling' def.: «måling der måleresultatet **inngår** i en allokering.»

Dersom man tenker at 'inngår' betyr: '**går inn til**'; og at

Resultatet [allokert mengde] '**kommer ut av**' en matematisk prosess

så kan man tenke seg at [allokert mengde] faller utenfor definisjonen av allokering; ?

På den annen side:

'inngår' er definert som: '**er en del av**' i språkrådets ordbøker. Da får man:

'allokeringsmåling': måling der måleresultatet **er en del** av en matematisk prosess for å bestemme.....

Resultatet av en matematisk prosess kan vel sies å være en del av en matematisk prosess

Allokert mengde 'er en del av' en matematisk prosess – nemlig: 'Resultatet'

Derfor kan man tenke at man definisjonen av allokering omfatter allokert mengde ?

Gjelder krav til usikkerhetsbudsjett allokerte mengder?

- Dersom tankene er rett så kunne det med fordel ha fremkommet klarere i måleforskrift eller veiledning
- Det vil uansett være et stykke å gå før vi er i stand til å levere usikkerhetsbudsjett for alle allokerte mengder
 - Sikkerhet for at fortolkningen er rett
 - Utvikling av styring
 - Utvikling av kompetanse
 - Utvikling av verktøy
 - Det tar tid å gjennomføre og vedlikeholde analysene
- For noen allokeringssystemer har det tidligere vært utført usikkerhetsanalyser av eksterne firma
- Erfaringen er at det har vært omfattende *
- Siden det avtalte kravet kanskje har fremkommet ved et grovt estimat, er det da rimelig å bruke omfattende ressurser på en veldig detaljert beregning?
- Jeg tenker at:
 - det er rimelig at vi vedlikeholder usikkerhetsbudsjett for allokerte mengder
 - det vil være feil å bruke for mye tid på detaljer som ikke har vesentlig betydning

Tanker om kravet til usikkerhetsbudsjett

- Legg merke til at **hensikten** med usikkerhetsbudsjettet er å:
«demonstrere oppfyllelse av krav til usikkerhetsgrenser i § 10».
- Usikkerheten til en direkte måling av en enfase strøm vil normalt variere lite med driftsbetingelsene
- For direkte målinger kan kravet i praksis oppfylles ved å:
 - estimere høyeste usikkerhet for driftsbetingelsene
 - vise at estimert usikkerhet er innenfor grensen i § 10 eller avtalt grense
- 'Indirekte måling' ..målemetode hvor verdien av målestørrelsen beregnes ved en funksjonell sammenheng mellom andre målestørrelser, der disse er oppnådd ved direkte målemetoder.
- F.eks: Measurement by difference .. Differansen mellom to 'direkte målinger'
- Usikkerheten vil variere med mengdeforholdene og kan endre seg gradvis over tid
- For systemer basert på flerfasemåling kan man også forvente at usikkerheten endres noe med fluid og strømningsforholdene og hyppigheten av kalibreringer
- Derfor bør man beregne usikkerhet for å holde øye med:
 - om det skjer noe vesentlig over tid og om estimert usikkerhet er innenfor avtalt usikkerhet
 - om det bør gjøres noe for å redusere usikkerheten / risiko for tap

Måleforskriftens veiledning til § 15.Usikkerhetsbudsjett

- «Dokumenter i serien «GUM: **Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement**», publisert av Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM) og likeverdige publikasjoner fra andre medlemmer av JCGM, herunder ISO/IEC, er internasjonalt anerkjente retningslinjer for å evaluere og uttrykke usikkerhet i måling.»
- «Det vises i vedlegg 2 også til andre relevante **dokumenter og til usikkerhetsprogrammer publisert på nettsiden til Norsk Forening for Olje- og Gassmåling** som kan få anvendelse ved oppfyllelse av krav til usikkerhetsbudsjett.»

Type A og Type B evaluation (of uncertainty) GUM Part 3.

Type A evaluation (of uncertainty)

method of evaluation of uncertainty by the statistical analysis of series of observations

Type B evaluation (of uncertainty)

method of evaluation of uncertainty by means other than the statistical analysis of series of observations

4.3.1

For an estimate of an input quantity that has not been obtained from repeated observations, the associated the standard uncertainty is **evaluated by scientific judgement** based on all of the available information on the possible variability. **The pool of information may include:**

- **previous measurement data;**
- **experience with or general knowledge of the behaviour and properties of relevant materials and instruments;**
- **manufacturer's specifications;**
- data provided in calibration and other certificates;
- uncertainties assigned to reference data taken from handbooks.

For convenience, uncertainty, evaluated in this way are sometimes called a Type B variance and a Type B standard uncertainty, respectively.

7.1.4 Although in practice the amount of information necessary to document a measurement result depends on its intended use, the basic principle of what is required remains unchanged: when reporting the result of a measurement and its uncertainty, it is preferable to err on the side of providing too much information rather than too little. For example, one should

- a) describe clearly the methods used to calculate the measurement result and its uncertainty from the experimental observations and input data;**
- b) list all uncertainty components and document fully how they were evaluated;**
- c) present the data analysis in such a way that each of its important steps can be readily followed and the calculation of the reported result can be independently repeated if necessary;**
- d) give all corrections and constants used in the analysis and their sources.

A test of the foregoing list is to ask oneself “Have I provided enough information in a sufficiently clear manner that my result can be updated in the future if new information or data become available?”

Antall gjeldende siffer

7.2.6 The numerical values of the estimate y and its standard uncertainty $u_c(y)$ or expanded uncertainty U should not be given with an excessive number of digits. It usually suffices to quote $u_c(y)$ and U [as well as the standard uncertainties $u(x_i)$ of the input estimates x_i] to **at most two significant digits**, although in some cases it may be necessary to retain additional digits to avoid round-off errors in subsequent calculations.

- Om første siffer er et lavt tall (1,2,3):
Rimelig å angi beregnet usikkerhet med 2 signifikante siffer ?
- Om første siffer er et høyt tall (4,5,6,7, 8 eller 9)
Rimelig å angi beregnet usikkerhet med 1 signifikant siffer ?
- Noen ganger kan det kanskje være mest korrekt å angi en range ?

- Det kan ha litt betydning om beregnet usikkerhet er 0,26 eller 0,34 %
- Det spiller ingen trille om estimert usikkerhet er 0,76 eller 0,84 – da er det greit med 0,8 %

- Ikke angi flere siffer eller antyde høyere presisjon enn vurderingen gir grunnlag for
- Noe som ikke påvirker gjeldende siffer i usikkerhetsestimatet er heller ikke vesentlig

Fiscal Oil Metering Station Uncertainty

v1.0.1 [About](#) [Feedback](#)



metering station

enter name 03/01/2024 enter description

Flow Meter		Stationary Prover / Master Meter		Densitometer	
Flow meter type:	Temperature <input type="text" value="Single"/>	Type of device:	Temperature <input type="text" value="Single"/>	Densitometer:	Temperature <input type="text" value="Single"/>
<input type="text" value="Ultrasonic"/>	Pressure <input type="text" value="Single"/>	<input type="text" value="Ultrasonic"/>	Pressure <input type="text" value="Single"/>	<input type="text" value="Single"/>	Pressure <input type="text" value="Single"/>

Fiscal Gas Metering Station Uncertainty

v1.0.5 [About](#) [Feedback](#)

metering station

enter name 03/01/2024 enter description

flow metering		line conditions				gas analysis
configuration	meter type	temperature	pressure	densitometer	dens. type	gas composition from
<input type="text" value="single mete"/>	<input type="text" value="orifice"/>	<input type="text" value="single"/>	<input type="text" value="single"/>	<input type="text" value="single"/>	<input type="text" value="has temperat"/>	<input type="text" value="fixed composition"/>

Bruk av 'Overall Input Level'

Fiscal Gas Metering Station Uncertainty

v1.0.5 [About](#) [Feedback](#)

metering station conditions gas analysis **flow meas** results charts report

Flow Meter Lab Calibration
Flow Meter Field Uncertainty
Line Conditions Temperature
Line Conditions Pressure
Line Conditions Densitometer
Densitometer Temperature

Line Conditions, Temperature

Overall Input Level

Input Variable	Uncertainty	Unit	Confidence	Std. Uncert. u_i	Sens. Coeff. s_i	Variance $(s_i \cdot u_i)^2$
Uncertainty	0.3	°C	95% (norm) ▼	0.15 °C	1	0.0225 (°C) ²
Combined Standard Uncertainty, U_c						0.15 °C
Expanded Uncertainty (95% Confidence level, $k=2$), $k \cdot U_c$						0.3 °C
Value						50 °C
Relative Expanded Uncertainty (95% Confidence level, $k=2$)						0.0928 %

Ref. Norwegian Petroleum Directorate Measurement Regulation; Measurement regulation §8; Circuit uncertainty limits.

Fiscal Gas Metering Station Uncertainty

v1.0.5 [About](#) [Feedback](#)

metering station conditions gas analysis **flow meas** results charts report

Flow Meter Lab Calibration
Flow Meter Field Uncertainty
Line Conditions Temperature
Line Conditions Pressure
Line Conditions Densitometer
Densitometer Temperature

Line Conditions, Temperature

Overall Input Level

Properties and Constants

Time Between Calibrations Months

Ambient Temp. At Calibration °C

Input Variable	Uncertainty	Unit	Confidence	Std. Uncert. u_i	Sens. Coeff. s_i	Variance $(s_i \cdot u_i)^2$
Temp. elem. and transm.	0.1	°C	99% (norm) ▼	0.0333 °C	1	0.00111 (°C) ²
Stability	0.1	%MV/24mo	99% (norm) ▼	0.0539 °C	1	0.0029 (°C) ²
RFI Effects	0.1	°C	99% (norm) ▼	0.0333 °C	1	0.00111 (°C) ²
Ambient temp. effect	0.0015	°C/°C	99% (norm) ▼	0.01 °C	1	0.0001 (°C) ²
Stability - temp. element	0.05	°C	95% (norm) ▼	0.025 °C	1	0.000625 (°C) ²
Misc.	0	°C	95% (norm) ▼	0 °C	1	0 (°C) ²
Sum of variances, $\Sigma(s_i \cdot u_i)^2$						0.00585 (°C) ²
Combined Standard Uncertainty, U_c						0.0765 °C
Expanded Uncertainty (95% Confidence level, $k=2$), $k \cdot U_c$						0.153 °C
Value						50 °C
Relative Expanded Uncertainty (95% Confidence level, $k=2$)						0.0473 %

comments/documentation

Bruk av 'Overall Input Level' i stedet for 'Detaljert' beregning i NFOGM verktøyene

- Kalibrering- og monitoreringsprogram er etablert for å holde målingen innenfor måleforskriftens krav til usikkerhet
- Usikkerheten er i større grad avhengig av rutinene enn instrumentets egne karakteristikk
- Derfor:
- For Equinor er måleforskriftens krav til maksimalt tillat måleusikkerhet normalt et rimelig estimat

Begrensninger i verktøyene publisert av NFOGM

Usikkerhet i strømningsrate vs. Usikkerhet i akkumulerte mengder

- Verktøyene til NFOGM gir måleusikkerhet i strømningsrater og ikke i akkumulerte mengder for en måleperiode.
- Veiledningen til måleforskriften opplyser:
 - «Dersom målesystemet har fungert og blitt brukt som tiltenkt, kan det normalt antas at relativ usikkerhet er tilnærmet lik i strømningsrate og akkumulert brutto volum.»
- Denne antagelsen hviler på følgende premisser:
 - 1. Ubetydelig påvirkning fra repeterbarheten som legges inn i verktøyet for målerene
 - 2. Operasjon innenfor driftsområdet / nominelle driftsbetingelser for målesystemet

- Repeterbarhetens påvirkning på usikkerheten til akkumulert mengde vil falle proporsjonalt med 1 over kvadratroten av det antall enkeltmålinger som til sammen gir akkumulert mengde.
- Repeterbarheten kan/bør settes til null når hensikten er å beregne usikkerhet i akkumulert mengde.
- Merk at repeterbarheten fra kalibrering ikke kan settes til null
- Den vil ikke bli redusert i drift - selv ved akkumulering over tid

Operasjon innenfor driftsområdet / nominelle driftsbetingelser

- Målesystemet må møte usikkerhetskravene under nominelle driftsbetingelser
- *nominelle driftsbetingelser*, driftsforhold som må være oppfylt under en måling for at et måleinstrument eller målesystem skal yte som planlagt,
- Driftsforstyrrelser, nedstenginger og oppstart har gjerne kort varighet og liten mengde
- Og dermed ubetydelig innvirkning på beregnet usikkerhet for en måleperiode på en måned.
- Ved tvil kan man gjøre noen enkle overslag for å se om det er noe å se nærmere på
- Langvarig eller normal operasjon utenfor nominelle driftsbetingelser bør håndteres som et avvik og beregnes usikkerhet for

Beregning av usikkerhet i 'Netto mengde olje'

- NFOGM verktøyet kan anvendes for å estimere usikkerhet i målt bruttovolum.
- Verktøyet inkluderer ikke usikkerheten ved måling av vann i olje
- Måleforskriften stiller krav til maksimal usikkerhet i 'Netto mengde olje'
- Måleforskriftens veiledning, 'Til § 15. Usikkerhetsbudsjett', gir veiledning om hvordan man kommer frem til usikkerhet i totalvolum fratrukket vann i olje.
- Beregningen kan man gjøre rede for i et usikkerhetsdokument for anlegget
- Man bør nok etablere et usikkerhetsdokument for hvert anlegg som gjør rede for det som bør gjøres rede for

Usikkerhet for målinger som ikke er standardberegninger

- For 'allokert mengde' finner man gjerne ikke et standardverktøy:
- Der bør alltid finnes et beregningsverktøy som inneholder målemodellen for allokert mengde
- Man kan gjøre usikkerhetsestimater i en kopi av slike verktøy

- Anstrengelsene for å estimere usikkerhet bør stå i rimelig forhold til den betydning et usikkerhetsbidrag har
- Ikke kast vekk for mye tid på usikkerheter som ikke har vesentlig betydning

5.1.3 The partial derivatives $\partial f/\partial x_i$ are equal to $\partial f/\partial X_i$ evaluated at $X_i = x_i$ (see Note 1 below). These derivatives, often called sensitivity coefficients, describe how the output estimate y varies with changes in the values of the input estimates x_1, x_2, \dots, x_N . In particular, the change in y produced by a small change Δx_i in input estimate x_i is given by $(\Delta y)_i = (\partial f/\partial x_i)(\Delta x_i)$. If this change is generated by the standard uncertainty of the estimate x_i , the corresponding variation in y is $(\partial f/\partial x_i)u(x_i)$. The combined variance $u_c^2(y)$ can therefore be viewed as a sum of terms, each of which represents the estimated variance associated with the output estimate y generated by the estimated variance associated with each input estimate x_i . This suggests writing Equation (10) as

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2 \equiv \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad (11a)$$

where

$$c_i \equiv \partial f/\partial x_i, \quad u_i(y) \equiv |c_i| u(x_i) \quad (11b)$$

NOTE 1 Strictly speaking, the partial derivatives are $\partial f/\partial x_i = \partial f/\partial X_i$ evaluated at the expectations of the X_i . However, in practice, the partial derivatives are estimated by

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} = \left. \frac{\partial f}{\partial X_i} \right|_{x_1, x_2, \dots, x_N}$$

NOTE 2 The combined standard uncertainty $u_c(y)$ **may be calculated numerically** by replacing $c_i u(x_i)$ in Equation (11a) with

$$Z_i = \frac{1}{2} \left\{ f[x_1, \dots, x_i + u(x_i), \dots, x_N] - f[x_1, \dots, x_i - u(x_i), \dots, x_N] \right\}$$

That is, $u_i(y)$ is evaluated numerically by calculating the change in y due to a change in x_i of $+u(x_i)$ and of $-u(x_i)$. The value of $u_i(y)$ may then be taken as $|Z_i|$ and the value of the corresponding sensitivity coefficient c_i as $Z_i/u(x_i)$.

Numerisk usikkerhetsanalyse

- I et regneark eller verktøy som inneholder målemodellen:
- Legg inn representative inngangsverdier
- Gi en og en inngangsstørrelse en dytt (f.eks en dytt lik størrelsens usikkerhet)
- *Følsomhetsfaktor* = $\frac{\text{endring i utgangsverdien}}{\text{endring i inngangsverdien}}$
- Kan f.eks også brukes til å se om usikkerheten i en bestemt inngangsstørrelse er vesentlig eller ikke
- Metoden brukes også i usikkerhetsverktøyene til NFOGM

Tanker om usikkerhetsbudsjett for fiskale målesystemer

Dag Hendrik Flølo; Leading engineer

© Equinor ASA

This presentation, including the contents and arrangement of the contents of each individual page or the collection of the pages, is owned by Equinor. Copyright to all material including, but not limited to, written material, photographs, drawings, images, tables and data remains the property of Equinor. All rights reserved. Any other use, reproduction, translation, adaption, arrangement, alteration, distribution or storage of this presentation, in whole or in part, without the prior written permission of Equinor is prohibited. The information contained in this presentation may not be accurate, up to date or applicable to the circumstances of any particular case, despite our efforts. Equinor cannot accept any liability for any inaccuracies or omissions.