



Høgskulen
på Vestlandet



Hvordan gi spesifikasjoner til
en strømningsmåler som er
både presise og forståelige?

NFOGM Temadag 24. september 2020

Kjell-Eivind Frøysa,
Høgskulen på Vestlandet og NORCE

Innhold

- › Hvorfor er dette viktig?
- › Hvordan gjøres det i dag?
- › Hva sier standardene?
- › Hva er problemet?
- › Finnes der en løsning?

Hvorfor er dette viktig?

Hvorfor trenger vi nøyaktige målere?

Section 8 Allowable measurement uncertainty

Measurement system	Uncertainty limit at 95 percent (%) confidence level <i>(expanded uncertainty with coverage factor $k=2$)</i>
Oil metering for sale and allocation purposes	0,30 % of standard volume
Gas metering for sale and allocation purposes	1,0 % of mass
Fuel gas metering	1,5 % of standard volume
Flare gas metering	5,0 % of standard volume
Sales measurement of LNG	0,50 % of measured energy contents per ship load

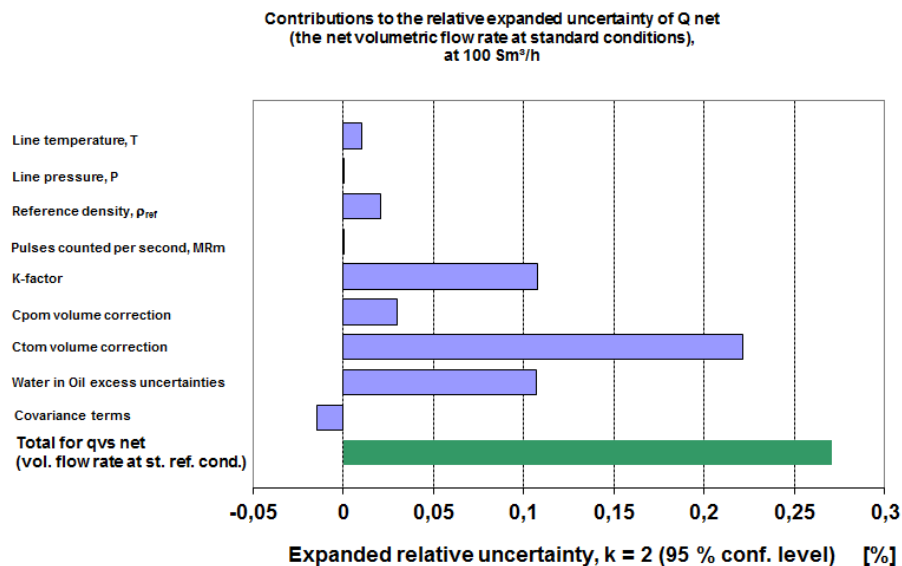
Måleusikkerhet – for målere i bruk i felten

Måleusikkerheten er basert på

- > målerens ytelse
- > eksterne forhold

Typiske bidrag til usikkerheten
– og dermed viktige aspekt for å sikre god måling

- > Kalibreringsreferansen
- > Repeterbarhet
- > Linearitet
- > Installasjonseffekter
- > Tid siden sist kalibrering
(aldring, slitasjon, instrumentell drifting)



Hvordan spesifiseres strømningsmålere i dag?

Sammenligning av spesifikasjonene til 4 leverandører av ultralyd gassmålere

- > Nominal accuracy
- > Measuring accuracy
- > Accuracy (Error limits)
- > Accuracy



For beste modell:
 $\pm 0,1$ % av målt verdi, etter flow-kalibrering, linearisering, ...

- > Repeatability
- > Repeatability
- > Repeatability
- > Repeatability



For beste modell:
< $\pm 0,05$ % eller < $\pm 0,1$ %

Sammenligning av spesifikasjonene til 3 leverandører av ultralyd væskemålere

> **Linearity**

- > En leverandør: ikke angitt
- > En leverandør hadde ved anbefalt installasjon
- > En leverandør hadde ved angitt hastighetsområde

> **Uncertainty**

- > Alle hadde denne
- > En kalte det «uncertainty of meter factor»
- > Alle hadde $\pm 0,027$ %

> **Repeatability**

- > En leverandør: tallfestet $\pm 0,02$ %
- > En leverandør: tallfestet $\pm 0,02$ % (n=2)
- > En leverandør: ikke angitt

> **Accuracy**

- > To leverandører: ikke angitt
- > En leverandør: angitt 0,15 % og 0,20 % avhengig av hastighetsområde

2 leverandører av Coriolismålere

Spesifikasjon av

- › Accuracy (1 leverandør)
- › Measurement error (1 leverandør)

Repeatability

- › En leverandør spesifiserte dette

En turbinleverandør

Spesifikasjon av

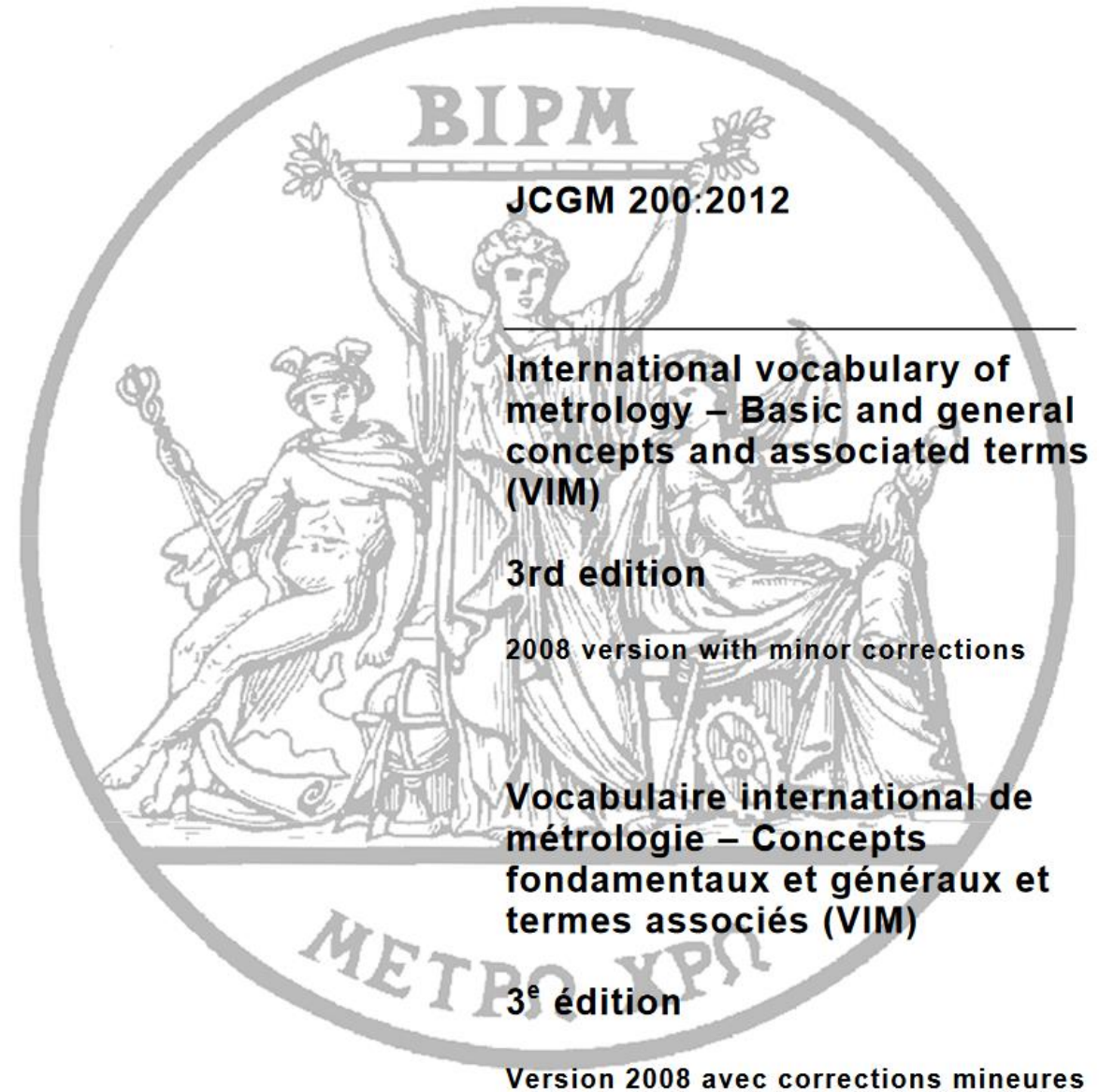
- > Repeterbarhet
- > Linearitet

Hva sier standardene?

---og hva er problemet?

Hva forstår vi med accuracy og repeatability?

Sjekker de grunnleggende definisjonene...



Definisjon av «Measurement accuracy»

closeness of agreement between a measured quantity value and a true quantity value of a measurand

- › NOTE 1 The concept 'measurement accuracy' is not a quantity and is not given a numerical quantity value. A measurement is said to be more accurate when it offers a smaller measurement error.
- › NOTE 3 'Measurement accuracy' is sometimes understood as closeness of agreement between measured quantity values that are being attributed to the measurand.

**Accuracy er et kvalitativt begrep: (low/high accuracy)
Accuracy kan ikke tallfestes!**

Accuracy????

- › Hva betyr det at accuracy er $\pm 0,1$ % av målt verdi, etter flow-kalibrering, linearisering, ...
- › Er det avvik mot referanseverdi?
- › Er det total målefeil?
- › Når gjelder dette?
 - › Rett etter at en flowkalibrert måler er justert?
 - › Etter at den er flyttet?
 - › I felt?
 - › I hvor lang tid?

Definisjon av «Repeatability»

Closeness of agreement between indications or measured quantity values obtained by replicate measurements on the same or similar objects under specified conditions

under a set of

condition of measurement, out of a set of conditions that includes the same measurement procedure, same operators, same measuring system, same operating conditions and same location, and replicate measurements on the same or similar objects over a short period of time

- › NOTE 1 is usually expressed numerically by measures of imprecision, **such as standard deviation, variance, or coefficient of variation** under the specified conditions of measurement.

VIM gir ikke en entydig definisjon på hvordan repeterbarhet skal beregnes!

Ultralyd strømningsmålere for olje

Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 5.8

Measurement of Liquid Hydrocarbons by Ultrasonic Flow Meters

ANSI/API MPMS 5.8-2011
SECOND EDITION, NOVEMBER 2011

Table B.1—Proving an Ultrasonic Flow Meter

Repeatability = ((High Counts – Low Counts) / Low Counts) ×100		
Runs	Repeatability ^a	Uncertainty
3	0.02 %	± 0.027 %
4	0.03 %	± 0.027 %
5	0.05 %	± 0.027 %
6	0.06 %	± 0.027 %
7	0.08 %	± 0.027 %
8	0.09 %	± 0.027 %
9	0.10 %	± 0.027 %
10	0.12 %	± 0.027 %
11	0.13 %	± 0.027 %
12	0.14 %	± 0.027 %
13	0.15 %	± 0.027 %
14	0.16 %	± 0.027 %
15	0.17 %	± 0.027 %
16	0.18 %	± 0.027 %
17	0.19 %	± 0.027 %
18	0.20 %	± 0.027 %
19	0.21 %	± 0.027 %
20	0.22 %	± 0.027 %

^a per API MPMS, Ch. 4.8, Table A-1 to achieve ± 0.027% uncertainty of meter factor.



API MPMS

Repeterbarhet (basert på største avvik mellom enkeltverdier):

$$w = 100 \% \cdot \frac{K_{max} - K_{min}}{K_{min}}$$

Relativ ekspandert usikkerhet (k=2) i
meterfaktor på grunn av repeterbarheten
(n er antall repetisjoner):

$$U^* = \frac{T_{n-1}}{D_n \sqrt{n}} w$$

Holder denne fast (0,027 %)

Gir større verdi her når n øker

Ultralyd strømningsmåler for gass

INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
17089-1

Second edition
2019-08

Measurement of fluid flow in closed
conduits — Ultrasonic meters for gas —

Part 1:

Meters for custody transfer and
allocation measurement

Mesurage du débit des fluides dans les conduites fermées —
Compteurs à ultrasons pour gaz —

Partie 1: Compteurs pour transactions commerciales et allocations

3.1.4.5

repeatability

closeness of the agreement between the results of successive measurements of the same measurand carried out under the same conditions of measurement

Note 1 to entry: The repeatability shall be calculated in absolute terms for the meter error as the type A uncertainty in a single measurement (U_{AS}) according to ISO 5168. The coverage factor k_{95} shall be derived from the Student's distribution for a 95,45 % confidence level depending on the number of measurements taken. See ISO 5168:2005, Table C.1.

$$r_p = U_{AS} = k_{95} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{(n-1)}}$$

Typical values of the coverage factor k_{95} are:

Measurements taken	3	5	7	10	100	∞
Coverage factor k_{95}	4,53	2,87	2,52	2,32	2,02	2,00

Det vil si at repeterbarhet er lik standardavviket multiplisert med en dekningsfaktor (Student-T, for å få 95 % konfidensnivå)

Table 5 — Accuracy requirements

Subject	Accuracy class		
	0.5	1.0	1.5
Maximum permissible error (MPE)			
for $q_V \geq q_{V,t}$	±0,5 %	±1,0 %	±1,5 %
for $q_{V,\min} < q_V < q_{V,t}$	±1,0 %	±2,0 %	±3,0 %
Maximum peak-to-peak error			
for $q_V \geq q_{V,t}$	<0,5 %	<1,0 %	<1,0 %
for $q_{V,\min} < q_V < q_{V,t}$	<1,0 %	<2,0 %	<2,0 %
Maximum permissible flow weighted mean error prior any adjustment (see 6.3.3)			
FWME	0,5 %	1,0 %	1,5 %
Repeatability under flowing conditions during calibration r_{cal}			
for $q_V \geq q_{V,t}$	0,17 %	0,33 %	0,5 %
for $q_{V,\min} < q_V < q_{V,t}$	0,33 %	0,66 %	1,0 %
Reproducibility			
for $q_V \geq q_{V,t}$	0,17 %	0,33 %	0,5 %
Transition flow rate			
$q_{V,t}$	$q_{V,t} \leq 0,1 q_{V,\max,cal}$		
Speed of Sound deviation			
MSOS deviation from TSOS	≤±0,2 %		
MSOS spread between acoustic paths	≤0,5 m/s		



ISO 17089-1

Repeterbarhet:

$$r_p = T_{n-1} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}; r_{p,rel} = 100 \% \frac{r_p}{\bar{V}}$$

Relativ ekspandert usikkerhet (k=2) i
meterfaktor på grunn av repeterbarheten:

$$U^* = \frac{r_{p,rel}}{\sqrt{n}}$$

Gir mindre verdi her når n øker

Holder denne fast

Relasjon mellom de to repeterbarhetsdefinisjonene

Når $r_{p,rel}$ og w skal gi samme usikkerhet, er de knyttet sammen på følgende måte:

$$r_{p,rel} = \frac{T_{n-1}}{D_n} w$$

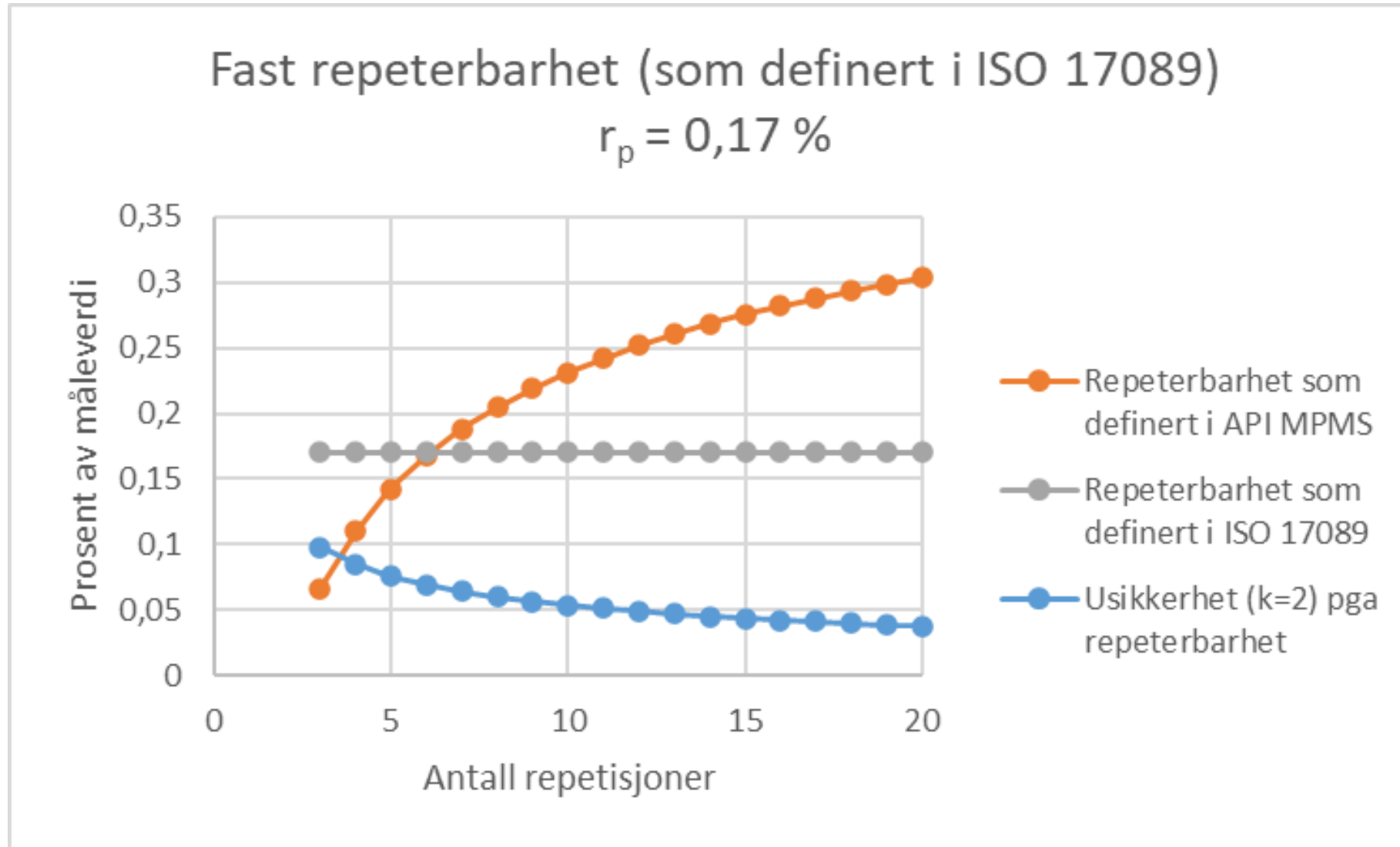
Repeterbarhet i henhold til ISO 17089

Dvs gassmåling

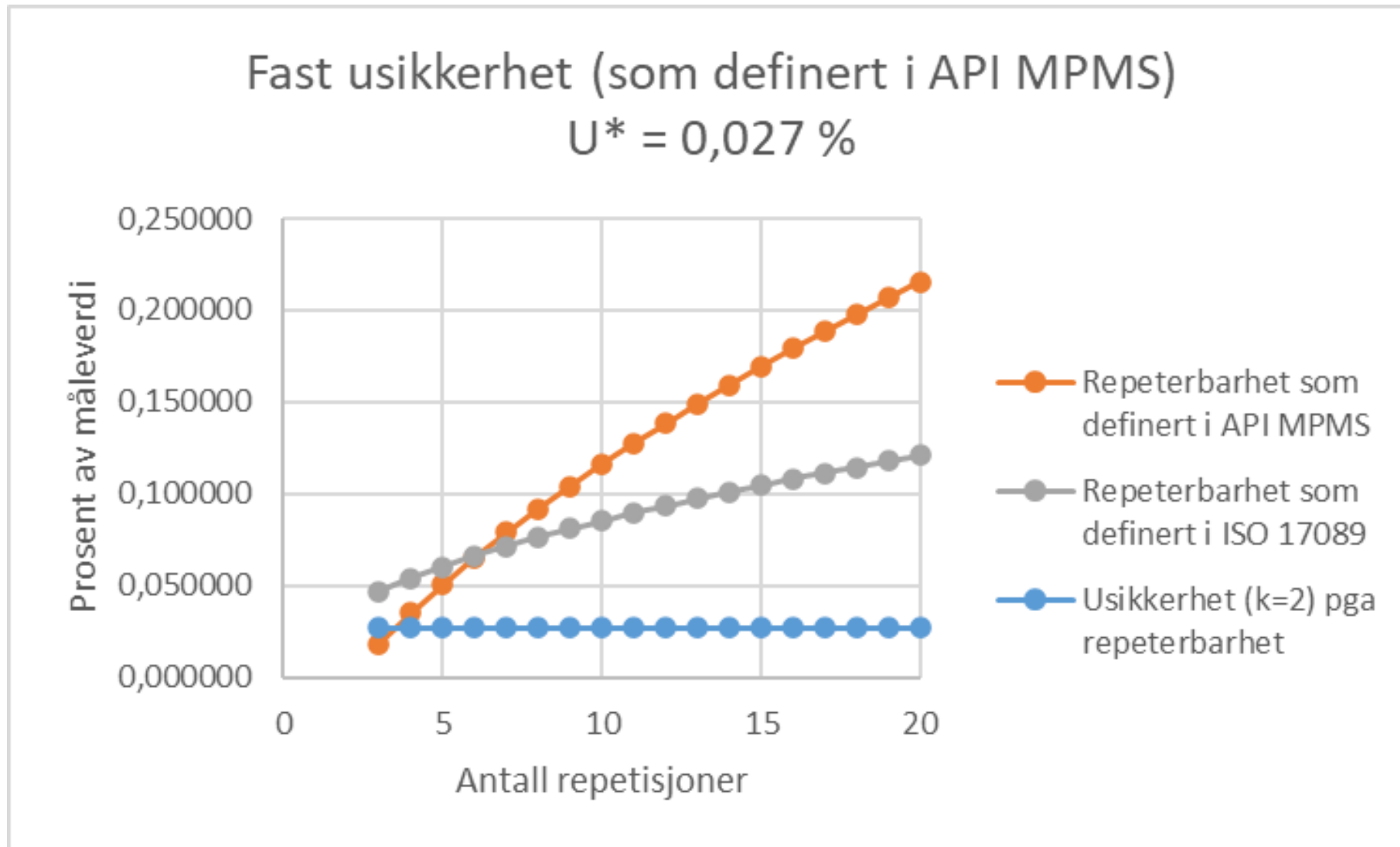
Repeterbarhet i henhold til API MPMS

Dvs oljemåling

Hvordan ser kravet i ISO 17089 ut i definisjonen til API MPMS?



Hvordan ser kravet i API MPMS ut i definisjonen til ISO 17089?



Oversikt over repeterbarhet slik utvalgte standarder bruker det

- › API MPMS (oljemålere): Tallfestet, basert på max-min
 - › OIML R117 (oljemålere): Tallfestet, basert på max-min
 - › ISO 17089 (ultralyd gassmålere): Tallfestet, basert på standardavvik
 - › ISO 10790 (Coriolis-målere): Ikke tallfestet, ikke klart hvilken metode
 - › OIML R137 (gassmålere): Tallfestet, ikke klart hvilken metode
 - › AGA7 (turbin gassmålere): Tallfestet, trolig basert på max-min
 - › AGA9 (ultralyd gassmålere): Tallfestet, trolig basert på max-min
-
- › I mange av standardene: ikke klart hvor mange repetisjoner som gjelder

Finnes der en løsning?



Typiske bidrag til usikkerheten
 – og dermed viktige aspekt for å sikre god måling

> Kalibreringsreferansen

> Linearitet

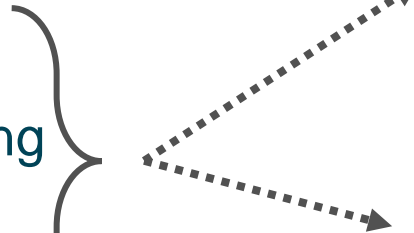
> Repeterbarhet

> Installasjonseffekter

> Tid siden sist kalibrering
 (aldring, slitasjon,
 instrumentell drifting)

Table 5 — Accuracy requirements

Subject	Accuracy class		
	0.5	1.0	1.5
Maximum permissible error (MPE)			
for $q_V \geq q_{V,t}$	±0,5 %	±1,0 %	±1,5 %
for $q_{V,min} < q_V < q_{V,t}$	±1,0 %	±2,0 %	±3,0 %
Maximum peak-to-peak error			
for $q_V \geq q_{V,t}$	<0,5 %	<1,0 %	<1,0 %
for $q_{V,min} < q_V < q_{V,t}$	<1,0 %	<2,0 %	<2,0 %
Maximum permissible flow weighted mean error prior any adjustment (see 6.3.3)			
FWME	0,5 %	1,0 %	1,5 %
Repeatability under flowing conditions during calibration r_{cal}			
for $q_V \geq q_{V,t}$	0,17 %	0,33 %	0,5 %
for $q_{V,min} < q_V < q_{V,t}$	0,33 %	0,66 %	1,0 %
Reproducibility			
for $q_V \geq q_{V,t}$	0,17 %	0,33 %	0,5 %
Transition flow rate			
$q_{V,t}$	$q_{V,t} \leq 0,1 q_{V,max,cal}$		
Speed of Sound deviation			
MSOS deviation from TSOS	≤±0,2 %		
MSOS spread between acoustic paths	≤0,5 m/s		



Oppfordring til leverandørene

- › Spesifiser hvordan repeterbarhet skal beregnes.
- › Forklar hva dere mener med accuracy, slik det er i dag er det nesten umulig å bruke det tallet til noe.
- › Reproduserbarhet: hvis det blir spesifisert hva dere forstår med dette, så vil det være nyttig informasjon.
- › Kan dere gi litt informasjon om hva en kan forvente av tilleggsusikkerheter når måleren flyttes? (Installasjonseffekter)?

Oppfordring til utviklere av standarder

- › Det hadde vært fint å få en entydig definisjon av hvordan repeterbarhet skal beregnes
 - › Dette må også inkludere antall repetisjoner

- › Det hadde også vært fint om ulike standarder definerer repeterbarhet på samme måte
 - › Så får en heller leve med at de ulike standardene har litt forskjellige krav til hva som er godt nok tallmessig.