SOKKELDIREKTORATET

Evaluering av måledata ved måling av fluidstrøm

Vedlegg 3 til veileder til måleforskriften

Innholdsfortegnelse

Innledning

Dette vedlegget omhandler prinsipper for å evaluere måledata ved måling av fluidstrøm. Hensikten med vedlegget er å gi en nærmere forklaring av krav som stilles ved kalibrering og verifisering av strømningsmålere. Vedlegget er i hovedsak basert på ISO 5168 (jf. vedlegg 2).

Målefeil og usikkerhet

Middelverdi av målefeil

Middelverdien av målefeil bestemmes ved hver strømningsrate som et aritmetisk gjennomsnitt, gitt ved ligningen:

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i}{n} \tag{1}$$

hvor

E_i er *i*-te relative målefeil,
$\bar{E}$ er midlere relativ målefeil og
n er antall målinger av samme størrelse ved én strømningsrate.

Den *i*-te relative målefeilen beregnes ved ligningen:

$$E_i = \frac{Q_{ind} - Q_{ref}}{Q_{ref}} \tag{2}$$

der Q_{ind} er strømningsrate målt med måler under test og Q_{ref} er strømningsrate målt med målestandard, korrigert for eventuelle termodynamiske forskjeller i fluidet ved måler under test og ved målestandard.

Tilfeldig usikkerhet i middelverdi av målefeil

Den tilfeldige usikkerheten i middelverdien av målefeil bestemmes ved hver strømningsrate som en statistisk usikkerhet beregnet fra en serie av n målinger, gitt ved ligningen:

$$U_{AM-E} = \frac{U_{AS-E}}{\sqrt{n}} \tag{3}$$

hvor U_{AS-} er den tilfeldige usikkerheten i enkeltmålinger (repeterbarhet til en måler), som bestemmes ved hver strømningsrate og beregnes ved ligningen:

$$U_{AS-E} = t_{95,n-1} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(E_i - \bar{E})^2}{n-1}} = t_{95,n-1} \cdot s \tag{4}$$

og hvor s er eksperimentelt standardavvik (for en serie av n målinger av samme størrelse), $t_{95,\,n-1}$ er student t-fordelingsfaktor for et konfidensnivå på 95 % og $n-1$ frihetsgrader.

Det følger av for eksempel API MPMS 13.3 at eksperimentelt standardavvik til en serie av n målinger kan approksimeres ved ligningen:

$$s \cong \frac{w_{(n)}}{d_{(n)}} \tag{5}$$

hvor $w_{(n)}$ er verdiområdet, forskjellen mellom maksimums- og minimumsverdiene for et sett med måledata, og $d_{(n)}$ er en omregningsfaktor for estimering av standardavvik for n målinger. Verdier for

$d_{(n)}$ kan for eksempel finnes i tabell E.1 i API MPMS 13.3. De kan også beregnes ut fra forventningsverdiene til forholdet $w_{(n)}/s$ for normalfordelte tilfeldige individuelle målinger. Ved å kombinere ligningene over kan en approksimasjon av usikkerheten til middelverdien av en serie av n målinger uttrykkes ved ligningen:

$$U_{AM-E} \cong \frac{t_{95,n-1} \cdot w_{(n)}}{\sqrt{n} \cdot d_{(n)}} \tag{6}$$

Eksempel: $w_{(5)} = 0{,}05\ \% \rightarrow U_{AM-E} = 0{,}027\%$.

Kombinert usikkerhet i middelverdi av målefeil

Den kombinerte usikkerheten i middelverdien av målefeil bestemmes ved hver strømningsrate ved ligningen:

$$U_{CM-E} = \sqrt{{U_{AM-E}}^2 + {U_{CMC}}^2} \tag{7}$$

hvor U_{CMC} er den kombinerte usikkerheten i kalibreringsoppsettet (CMC er forkortelse for «Calibration and Measurement Capability»), inkludert usikkerheten i målestandarden. Siden U_{AM-E} kan reduseres ved å øke antall målinger i serien, vil ofte U_{CM-E} kunne bli bare marginalt større enn U_{CMC}.

Evaluering av målefeil

I henhold til OIML R137:2012 og ISO 17089:2019 kan en målefeil anses som innenfor en angitt feilgrense (MPE) dersom middelverdien av målefeil er innenfor akseptgrensene i tabell 1.

Tabell 1. Akseptgrenser for målefeil

Middelverdi av målefeil (avvik i avlesning)	Kombinert usikkerhet i middelverdi	Akseptgrense
$\overline{\boldsymbol{E}}$	$U_{CM-E} < \frac{1}{3} \cdot MPE$	MPE
	$U_{CM-E} \in [1/3 \cdot MPE, MPE]$	$\frac{4}{3} \cdot MPE - U_{CM-E}$
	$U_{CM-E} > MPE$	Ikke definert

Dersom $U_{CM-E} > MPE$, er den kombinerte usikkerheten i middelverdien for høy til å verifisere MPE-kravene.

Metoden og prinsippet beskrevet over er utdypet i JCGM 106:2012 og OIML G-19:2017. Disse dokumentene kan være nyttige ved utvikling av metoder for evaluering av målefeil og etablering av akseptgrenser ved kalibrering og verifisering (se f.eks. figur 7 i JCGM 106:2012).

Eksempel: Evaluering av avvik i avlesning fra to målere i serie

I dette eksempelet antas det at metodikken beskrevet over kan benyttes ved bruk av to målere, der verifisering av krav til instrumentell måleusikkerhet foregår ved måling av avvik i avlesning fra to målere. Her vil typisk måleren som fungerer som hovedmåler (måler A) være den som skal verifiseres, og den andre måleren (måler B) vil være referanse. Ved en gitt strømningsrate er den *i*-te relative målefeilen gitt ved ligningen:

$$E_i = \frac{Q_A - Q_B}{Q_B} \tag{8}$$

der Q_A er strømningsrate målt med måler A og Q_B er strømningsrate målt med måler B, korrigert for termodynamiske forskjeller i fluidet ved måler A og B. Det følger da at middelverdien av målefeil er bestemt ved ligningen:

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i}{n} \tag{9}$$

Den kombinerte usikkerheten i middelverdien av målefeil (relativ) kan bestemmes ved ligningen:

$$U_{CM-E} = \sqrt{{U_{AM-E}}^2 + {U_B}^2} \tag{10}$$

hvor U_B er instrumentell måleusikkerhet til måler B (verdi gitt i usikkerhetsbudsjett eller på sertifikat), fratrukket usikkerhetsbidrag som er fullt korrelert mellom de to målerne. Det kan da antas at måler A oppfyller kravene til usikkerhetsgrense for instrumentelle måleusikkerhet, U_g, dersom middelverdien av målefeilen er innenfor akseptgrensene i tabell 2.

Tabell 2. Akseptgrenser for avvik i avlesning fra to målere

Middelverdi av målefeil (avvik i avlesning)	Kombinert usikkerhet i middelverdi	Akseptgrense
$\bar{E}$	$U_{CM-E} < \frac{1}{3} \cdot U_g$	U_g
	$U_{CM-E} \in [1/3 \cdot U_g, U_g]$	$\frac{4}{3} \cdot U_g - U_{CM-E}$
	$U_{CM-E} > U_g$	Ikke definert

For eksempel vil en usikkerhetsgrense for instrumentell måleusikkerhet på $U_g = 0{,}20$ % for en oljemåler i et leveringsmålesystem (jf. veileder til § 28) og en kombinert usikkerhet i middelverdi til målefeil på $U_{CM-E} = 0{,}15$ % gi en akseptgrense på 0,12 % for middelverdien til målefeilen.

Kalibreringsfaktor (*K*-faktor) og usikkerhet

Middelverdi av *K*-faktorer

Middelverdien av *K*-faktorer bestemmes ved hver strømningsrate som et aritmetisk gjennomsnitt, gitt ved ligningen:

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_i}{n} \tag{11}$$

hvor

K_i er *i*-te absolutte *K*-faktor,
$\bar{K}$ er midlere absolutte *K*-faktor og

n er antall målinger av samme størrelse ved én strømningsrate.

Tilfeldig usikkerhet i middelverdi av *K*-faktorer

Den tilfeldige usikkerheten i middelverdien av *K*-faktorer bestemmes ved hver strømningsrate som en statistisk usikkerhet beregnet fra en serie av n målinger, gitt ved ligningen:

$$U_{AM-K} = \frac{U_{AS-K}}{\sqrt{n}} \tag{12}$$

hvor U_{AS-K} er den tilfeldige usikkerheten i enkeltmålinger (enkeltprovinger) bestemt ved ligningen:

$$U_{AS-K} = \frac{t_{95,n-1}}{\overline{K}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(K_i - \overline{K})^2}{n-1}} = t_{95,n-1} \cdot \frac{s}{\overline{K}} \tag{13}$$

En approksimasjon for U_{AS-K} kan finnes ved substitusjonen $s \cong w_{(n)}/d_{(n)}$ (jf. Ligning (5)).

Eksempel: $w_{(5)} = 0{,}05\ \% \rightarrow U_{AM-K} = 0{,}027\%$.

Kombinert usikkerhet i middelverdi av *K*-faktorer

Den kombinerte usikkerheten i middelverdien av *K*-faktorer bestemmes ved hver strømningsrate ved ligningen:

$$U_{CM-K} = \sqrt{{U_{AM-K}}^2 + {U_{CMC}}^2} \tag{14}$$

Linearitet over strømningsrateområde

Linearitet, uttrykt ved målefeil (relativ), er bestemt som:

$$\overline{E}_{MAKS} - \overline{E}_{MIN}$$

hvor $\overline{E}_{MAKS}$ og $\overline{E}_{MIN}$ er middelverdien av henholdsvis største og minste målefeil over strømningsrateområde.

Linearitet, uttrykt ved *K*-faktor (absolutt), er bestemt som:

$$\frac{\overline{K}_{MAKS} - \overline{K}_{MIN}}{\overline{\overline{K}}}$$

hvor

$$\overline{\overline{K}} = \frac{\sum_{j=1}^{m} \overline{K}_J}{m} \tag{15}$$

og m er antall målinger av samme størrelse over strømningsrateområdet. Kalibreringsfaktorene $\overline{K}_{MAKS}$ og $\overline{K}_{MIN}$ er middelverdien av henholdsvis største og minste *K*-faktor over strømningsrateområdet.