



Temperaturmåling under ikke ideelle forhold





Outline

10:05 Temperaturmåling under ikke ideale forhold

v/ Mikkel Bo Nielsen, Teknologisk Institut

Skal vi kalibrere vores følere som de bliver brugt, eller så vi kan reproducere vores resultater?

- Kalibreringsproblematik med korte følere
- Hvad kan gøres for at estimere en korrekt måleusikkerhed, og hvordan valideres den?

10:20 Kalibrering af / måling med overfladefølere på rør

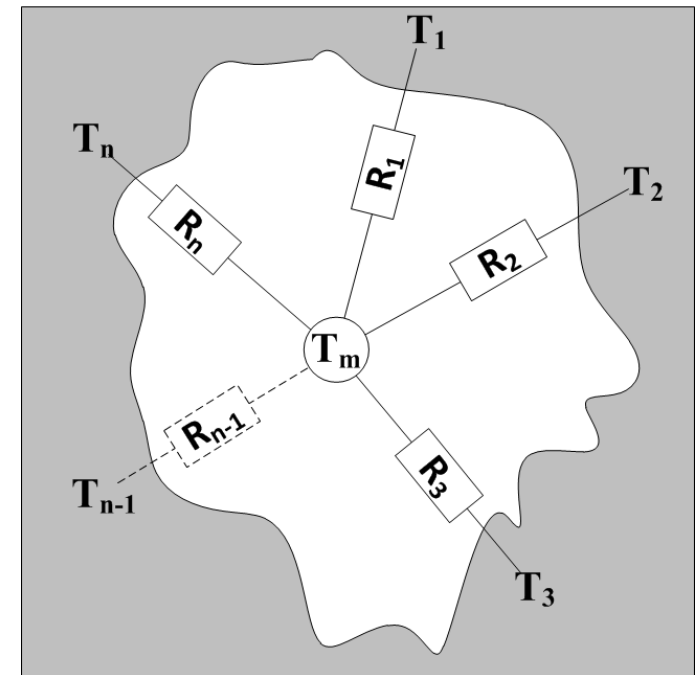
- Definition af ideelle kalibrerings- og måleforhold
- Aktuelle forhold
- Størrelsesestimat af fejlmålingerne
- Kalibreringsmetoder – fordele og ulemper

Ideelle forhold

- Termometeret er i fuldstændig termisk kontakt med mediet
- Termometeret har ingen anden termisk kontakt end med mediet
- Termometre har neglignel diameter og/eller
- Termometre har neglignel varmeledningskoefficient og/eller
- Termometre er indstukket uendeligt langt
- Termometeret har en uendelig lille tidskonstant
- Enhver afvigelse fra ovenstående mudrer en temperaturmåling til

$$T_M = \left[\sum \frac{T_i}{R_i} \right] \left[\sum \frac{1}{R_i} \right]^{-1}$$

- Herved bevæger vi os fra Mikkel's idealverden til virkeligheden!



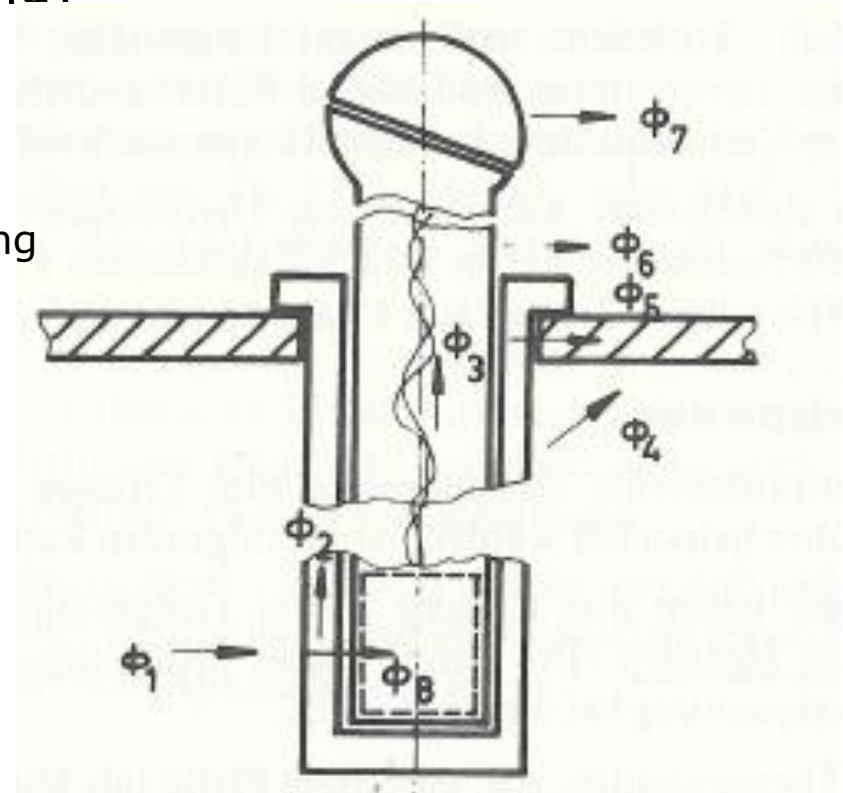
Hvad er virkelighedens forhold?

- Φ_1 : Konvektion
- $\Phi_2, \Phi_3, \Phi_5, \Phi_8$: Varmeledning
- Φ_4 : Stråling
- Φ_6 og Φ_7 : Konvektion og stråling

- Stråling konvektion og varmeledning influensparametre:

Medie, miljø, overflader,
temperatur, flowhastighed og
dynamik, kemi, materialer,
termisk forankring og mange
flere

- Virkeligheden er noget virkelig rod!



Energibalace - simpel

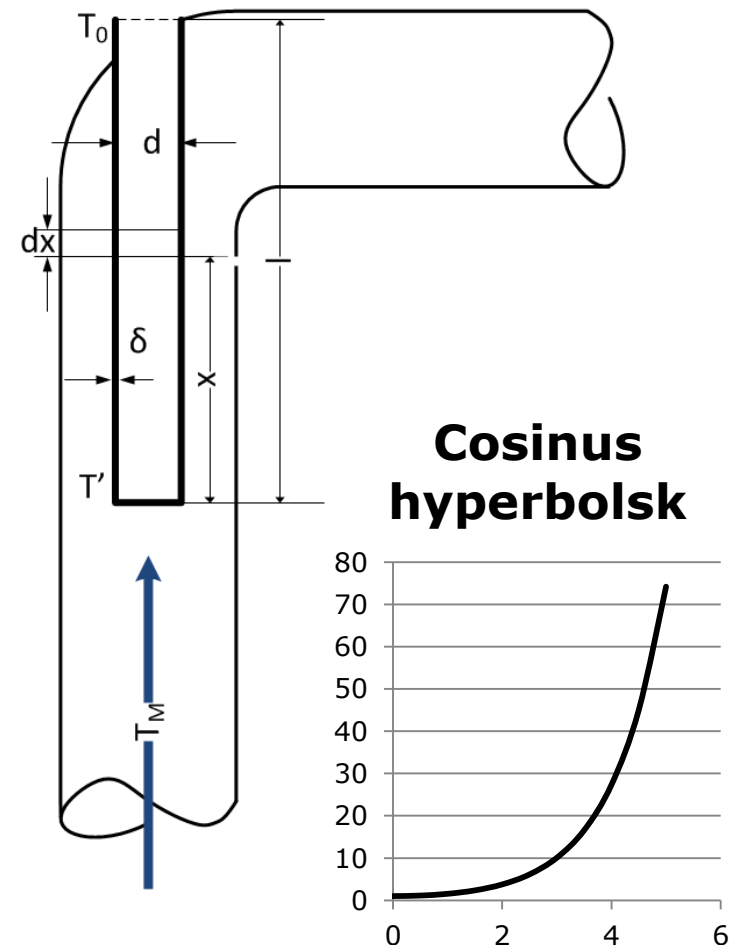
- Negligerer Φ_4 (stråling), Φ_6 og Φ_7 (udragende del)
- For et overfladeelement på kappen gælder:
- Tilført energi ved konvektion = Energi ledt væk ved varmeledning

$$\blacksquare (T_M - T') = \frac{(T_M - T_0)}{\cosh(K \cdot l)}$$

$$\blacksquare K = \sqrt{\frac{\alpha \cdot d \cdot \pi}{\lambda \cdot A_0}}$$

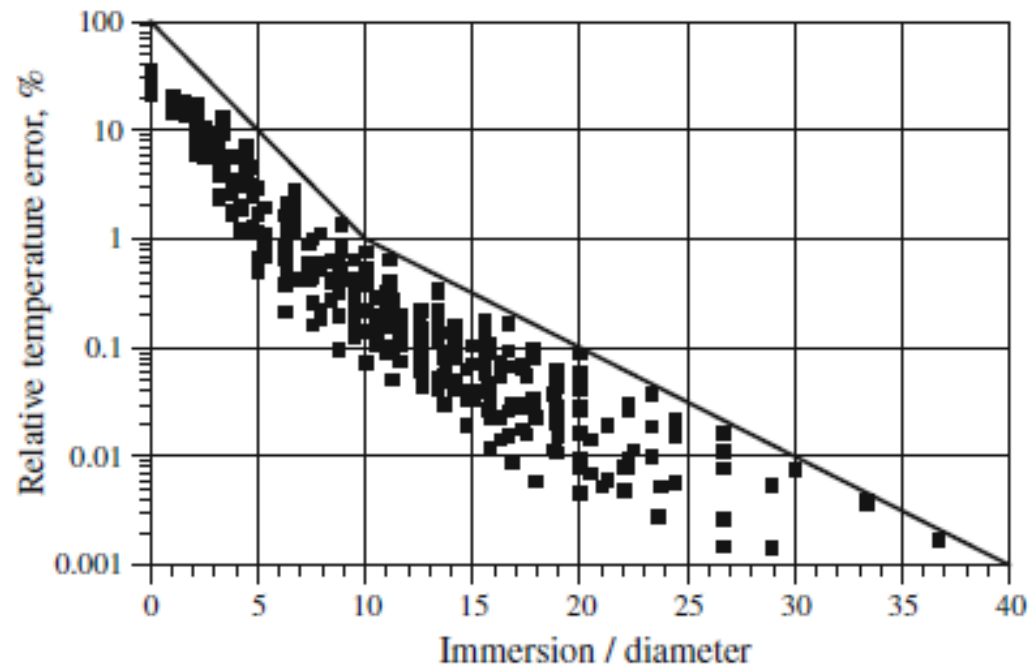
$$\blacksquare A_0 \cong \delta \cdot \pi \cdot d$$

- α er varmeovergangstallet
- λ er varmeledningsevnen



Varmeovergangstal

- Afhænger ikke kun af mediet
- Bemærk at de "gamle tommelfingerregler (15 diameter + sensorlængde) her er mindre valide
- Fejl fra 1-10 °C @ 100 °C ved 5 diameter



Fem IPRT's i siliconeolie ved 120 °C.
(fra Int J Thermophys (2010) 31: 1685-1695, D.R. White et al.)



Størrelser

- $\varnothing 10$ mm rørdiameter
- 1.5 mm kappetykkelse
- $\lambda_{Fe} = 37 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ varmeledningskoefficient
- $(T_M - T_0) = 5 \text{ K}$ temperaturforskel
- $\alpha = 1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ varmeovergangstal
- $l = \{0.04, 0.10, 0.15, 0.20\} \text{ m}$ længde

l [m]	0.04	0.10	0.15	0.20
$T_M - T'$ [K]	1.620	0.114	0.012	0.001

- Vi har endnu ikke kigget på den virkelige virkelighed!
- Der hvor der sidder et ordentligt transmitter hoved på den korte føler i en kold produktionshal
- Eller hvis der måles ved temperaturer hvor strålingsbidrag til varmetransporten i føleren er ikke-negligible
- Eller hvor mediet ikke omrøres tilstrækkeligt omkring føleren
- Eller.....



Hvad er en optimal kalibreringsmetode så?

Reproducerbarhed og repeterbarhed betyder færre justeringer og færre afvigelser = mindre og bedre arbejde.

Viden om procestemperaturen og en hvis kvalitet for målingerne

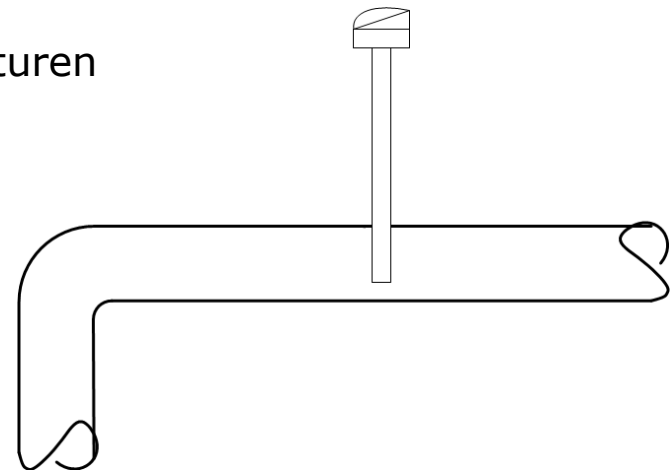
- Følerne er så lange at de under kalibrering kan stikkes tilstrækkeligt ned i kalibreringsbad eller tørblokkalibrator til at undgå immersionsfejl



- Reproducer og repeterbare resultater



- Giver kun ringe viden ift procestemperaturen



Optimal procedure II

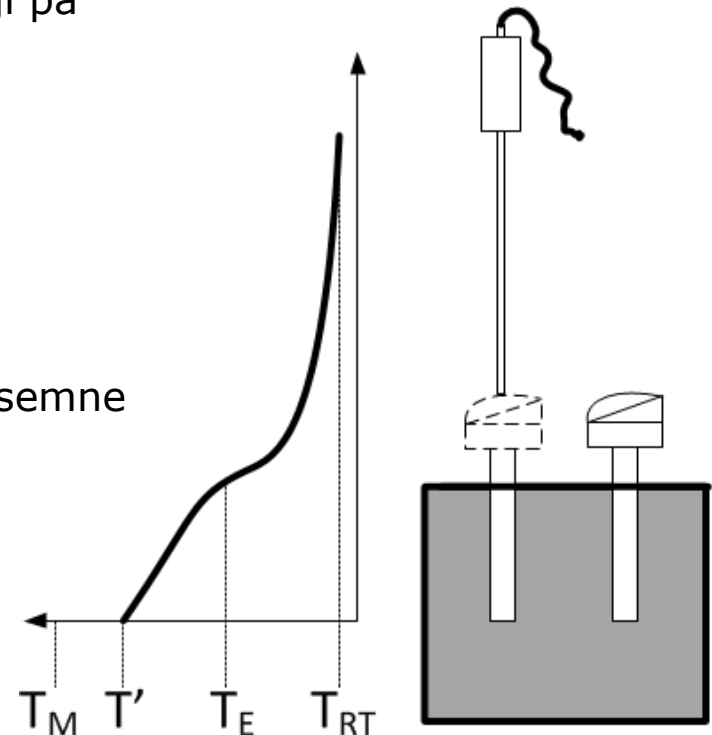
- Simulerende kalibrering
- En reference med samme termiske karakteristika som kalibreringsemnet, men som kan kalibreres med tilstrækkelig neddypningslængde, benyttes. Herved sikres det at man begår samme fejl på begge termometre



- God reproducerbarhed og repeterbarhed
- God viden om procestemperaturen



- Mange karakteristika at kortlægge
- Fiksturer og referencer for hver kalibreringsemne (i værste fald)





Optimal procedure III

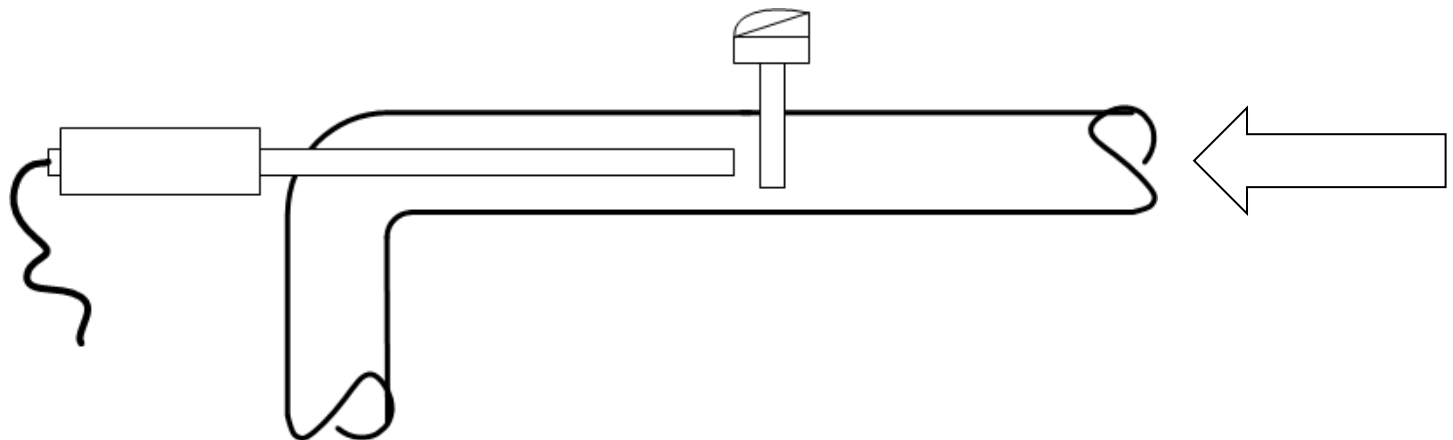
- In-situ kalibrering med en referenceføler, der har tilstrækkelig immersionslængde



- God reproducerbarhed og repeterbarhed
- God viden om procestemperaturen



- Responstid
- Processtabilitet
- Lagdeling og sensorlængder
- Sekundær adgang for hvert kalibreringsemne





Alternativt og bedre (IMHO)

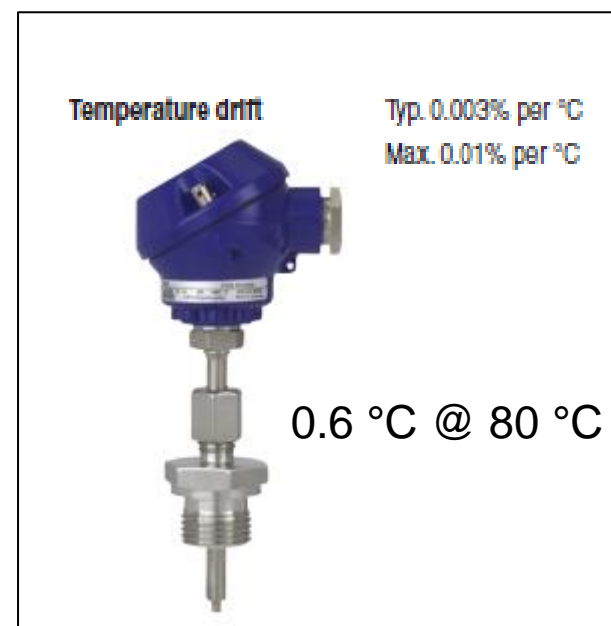
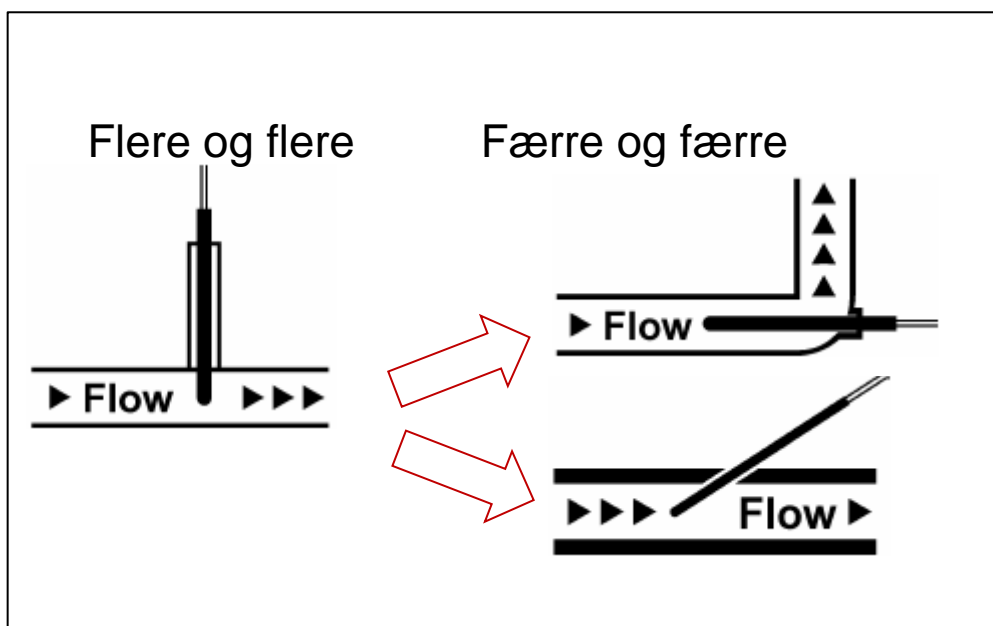
- Den mest optimale metode er en afvejning af de individuelle forhold
- Et bedre samspil mellem metrologilaboratorierne, procesfolket og leverandørerne
- I højere grad forsøge at estimere ikke kun kalibreringsusikkerhed, men også installationsforholdene – og skil det ad!
 - Revurdering af hvilke usikkerheder man i virkeligheden har brug for!
 - Forståelse af at usikkerhederne ikke forsvinder
- Tænke måle- og kalibreringsteknik ind i design af proceslinjer





Alternativt og bedre II (IMHO)

- Opretholdelse af viden





Vidensudvikling RK

- Teknologisk Institut Resultatkontrakt 2013-2015:
- [www.bedreinnovation.dk/aktivitet/metrologi-og-måleteknisk-support](http://www.bedreinnovation.dk/aktivitet/metrologi-og-maaleteknisk-support):

Nærværende aktivitet udbygger eksisterende ydelser inden for følgende områder:

1. Temperatur: Sikring af sporbarhed i industrielle processer via kendskab til måling under ikke-ideale forhold samt optimering af måleusikkerhed, fx videnformidling om dynamisk temperaturmåling og måling af overfladetemperatur på rør. Desuden udbygges de eksisterende test- og kalibreringsfaciliteter samt den måletekniske sparring på europæisk højt niveau.

- Kommentarer fortsat velkomne



Vidensudvikling EMRP

- Proposed Research Project (PRT)
Teknologisk Institut (DK), Spanien, Tjekkiet, Italien, Holland, Tyskland, Slovenien, Finland, England og Frankrig
- En længere proces og short immersion thermometers kun en brøkdel af projektets samlede formål (Måletekniske problemstillinger i industrien)





Tak for opmærksomheden

- Præsentationen sendes ved henvendelse
- Mikkel Bo Nielsen
- Tlf: 7220 1256
- Mail: mbn@teknologisk.dk
- Henvend dig hellere 10 gange for meget end 1 gang for lidt