



## Referat af møde for erfa-gruppe Temperatur, den 1. oktober 2014

---

### Dagsorden

- Ringkalibreringer
- Srt30i
- Nyt fra EURAMET
- Sporbarhed - indlæg
- Usikkerhedsophobning
- Korte følere - regneeksempel
- Overfladefølere – Eric's stof, Emeses inklinations

### Deltagere

Renny Stæhr Carlsen, Force Technology  
Jesper Andreasen, Novo Nordisk A/S  
Carsten Nielsen, Kamstrup A/S  
Anders Dannemand, Exova Metech  
Jan Lauersen, Novo Nordisk A/S  
Joy Oelkers, Dong Energy  
Hans Peter Hansen, Lundbeck  
Tommy Mikkelsen, Christian Hansen A/S  
Mikkel Bo Nielsen, Teknologisk Institut  
John Domino, Teknologisk Institut (referent)

Mikkel Bo Nielsen (MBN), Teknologisk Institut bød velkommen og introducerede dagens program.

### Ringkalibreringer:

#### Igangværende:

TP2013 inden for temperatur (også tryk), hvor der er 3 loops i gang. For temperaturdelen cirkuleres der 3 sæt bestående af 1 stk. Fluke 1586A samt 1 stk. SPRT af typen Accumac AM1860. De 3 sæt har været inde til mellemliggende kontroller, og performance for udstyret ser godt ud.

#### Planlagte:



Ringkalibrering i TKAK-regi for IR-termometri. Området for denne er  $-40 - 300$  °C. Opstartstidspunktet er endnu ikke kendt.

Teknologisk institut planlægger, med forventet opstart i januar 2015, ringkalibrering inden for lufthastighed i området  $0,05 - 30$  m/s samt differenstryk i området  $0 - 1$  kPa.

Fremtidige:

Teknologisk Institut vil i 1. semester af 2015 udbyde ringkalibrering inden for Relativ fugt (%RH) igennem EA

Teknologisk Institut vil inden for temperaturområdet udbyde ringkalibrering (sandsynligvis et termometer i en Tørblokkalibrator) i 1. semester af 2015.

Teknologisk Institut vil inden for temperaturområdet udbyde  $-195 - 0$  °C i 1. semester 2015 + gentagelse af TP2013 (1 loop) (1. semester 2015).

**EMPIR aktiviteter:**

The European Metrology Program for Innovation and Research (EMPIR) er afløseren for EMRP.

I EMPIR er der oprettet 33 'Suggested Research Topics' (SRT), hvor Teknologisk Institut er med i to

SRT-i30: 'Enhancing process efficiency through improved temperature measurement'

- Omfatter højtemperaturdrift, overfladetemperaturer og forbrændingstemperaturer.
- Teknologisk Institut er med i arbejds pakken for overfladetemperatur.
- Teknologisk Institut vil i nær fremtid kontakte virksomheder for at få 'letters of interest' fra industrien. Dette er for at sikre at der er interesse hos slutbrugerne.

SRT-i31: 'Metrology for humidity at high temperatures and transient conditions'

- Tørring og vandaktivitet i in-line malinger
- Teknologisk Institut er med i arbejds pakken for vandindhold i materialer.

**Euramet og BIPM:**

BIPM:



- Man har fejret 125 års fødselsdag for Kilogramloddet.
- Ikke er blevet medlem, og Sudan og Luxemborg er blevet associerede medlemmer.

EURAMET:

EURAMET sætter ringkalibrering på overfladefølere, med 3 forskellige termometertyper og på forskellige overflader i gang. Der tænkes i forskellige overflader (Al, SS, stål, messing, kobber). Område -20...500 °C.

Euramet.T-K9: Fikspunktsringkalibrering fra Argon til Zink (sidst gennemført i 2001-2004, EUROMET.T-K3).

Ny Euramet guide på vej 'Guide on lifetime and drift/stability assesment of industrial thermocouples'.

En ny revideret udgave af cg-13 'Calibration of Temperature Block Calibrators'

- Teknologisk Institut sidder med i arbejdsgruppen.
- Der kommer mere fokus på metodeusikkerheder fra termisk kontakt og varmeledning...

**Indlæg/præsentationer fra gruppen:**

**Sporbarhed:**

Indlæg v/Teknologisk Institut (Mikkel). Se bilag for præsentation.

**Overfladeføler case:**

Indlæg v/Novo Nordisk A/S (Jesper). Overfladeføler til påspænding på rør. Se bilag for præsentation.

**Overfladeføler:**

Indlæg v/Christian Hansen A/S (Tommy). Overfladeføler til påspænding på rør. Se bilag for præsentation.

**Overflade/IR temperatur:**

Indlæg v/Lundbæk (Hans). Måling/kalibrering af overfladeføler i forbindelse med lukning/svejsning af blisterpakninger til tabletter.

**Regneeksempel for korte termometre:**

Præsentation v/Teknologisk Institut (Mikkel). Se bilag for præsentation.

**Præsentation af Eric Georgin's (CETIAT) arbejde vedr. overfladefølere og varmeledning:**



Referat af møde for erfa-gruppe Temperatur.

Mikkel viste og kommenterede Eric's arbejde/præsentation vedr. overfladefølere og varmeledningens betydning.

**Næste møde:**

Kamstrup A/S i Stilling ved Skanderborg har tilbudt at være vært ved næste møde, som afholdes 'i foråret'. Der rundsendes som sædvanligt en 'Doodle' rundt, så vi kan finde den optimale dato.

Forslag til emner, der kan tages op på næste møde:

- Tørblokkalibrator i praksis (Jesper, Novo)
- Overfladefølere – mere om denne instrumenttype
- Brug af kølepasta (eller ej), (Joy, Dong)
- Måling af temperatur ifm. Relativ luftfugt (Hans, Lundbeck)

Således oplevet af John Domino.

## Kalibrering af overfladefølere: ”Spændebåndstypen”



- ▼ Monteres på røret med spændebånd
- ▼ Fordele:
- ▼ Universal, passer på næsten alle diametre af rør.
- ▼ Ulemper:
- ▼ Pasta forsvinder ved rengøring, spændebånd kan over tid løsne sig, ”kompliceret” at kalibrere i f.eks. tørblokkalibrator, svært efterfølgende at genmontere i samme position.

## Kalibrering af overfladefølere: ”Spændebloktypen”



▼ Monteres på røret med spændeblok

▼ Fordele:

- ▼ Radius på følerspids passer til diameteren på røret, ved rengøring beskyttes pastaen af blokken, stor fjederpåvirkning mod røret, let at kalibrere i f.eks. i tørblokkalibrator, let at genmontere i samme position.

▼ Ulemper:

- ▼ Passer kun på en diameter rør, hvis der f.eks. er parallakse fejl giver det dårlig kontaktflade og kalibrering kan give en fejlvisning i forhold til faktisk værdi når føleren igen monteres på røret.

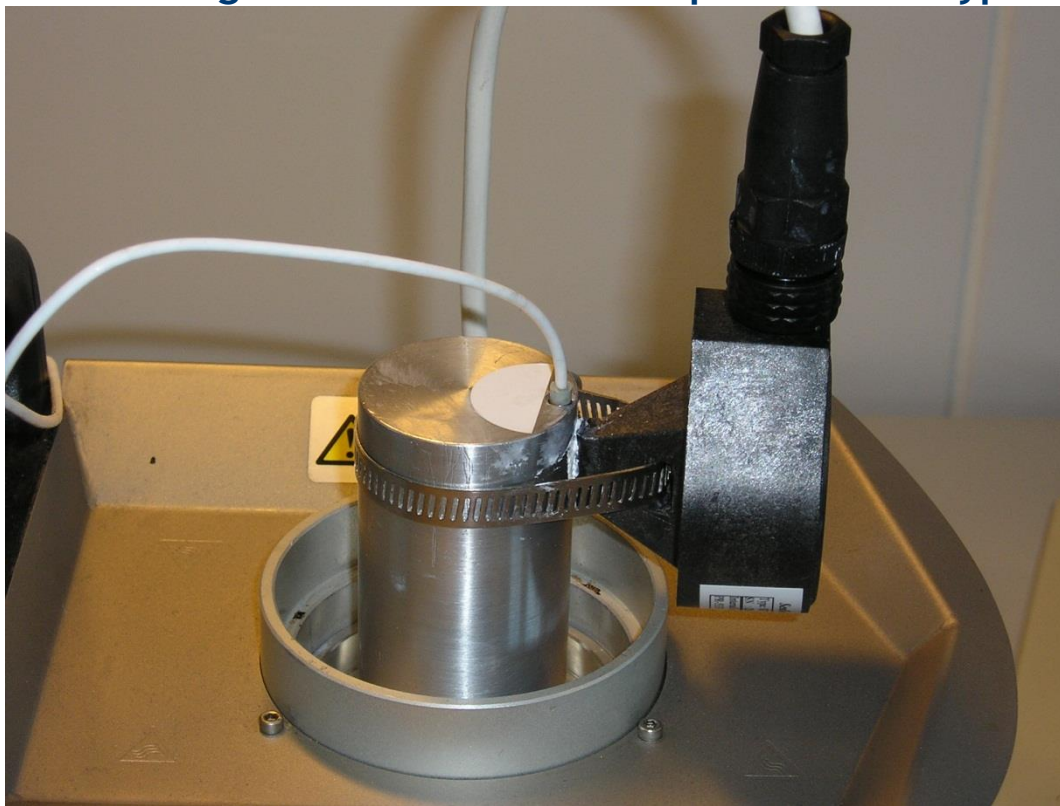
## Kalibrering af overfladefølere: "Kalibreringsdorne"



- ▼ 2 typer, begge med indsat referenceføler:
- ▼ 1. Fabriksfremstillet dorn:
- ▼ Til nedstikning, men kun af "Spændebloktypen", denne type vil ikke afsløre evt. parallakse fejl.
- ▼ 2. Hjemmefremstillet dorn:
- ▼ Til montering med spændebånd eller spændeblok, tilnærmelsesvis som monteret i processen, dækker begge typer, denne type vil afsløre evt. parallakse fejl.



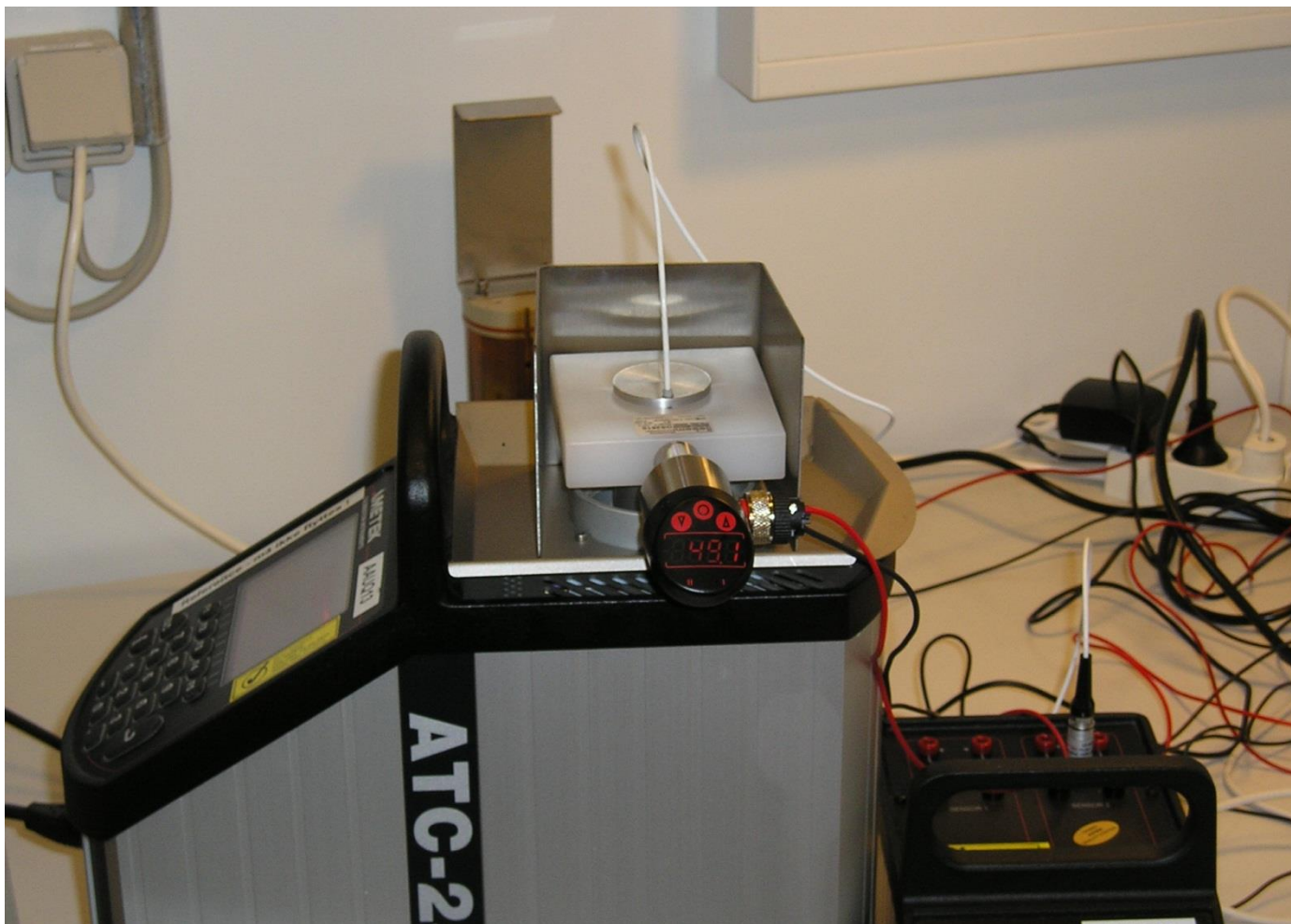
## Kalibrering af overfladefølere: ”Spændebåndstypen”



- ▼ Eksempel på kalibrering i tørblokkalibrator i hjemmefremstillet dorn med indskudt referenceføler.
- ▼ Normalt kalibreres overfladefølere på sit monteringssted med et infrarødt termometer hvor der ”skydes” mod en påsat mærkat, med en defineret emissionsfaktor på  $e=0,95$ .



## Kalibrering af overfladefølere: "Spændebloktypen"



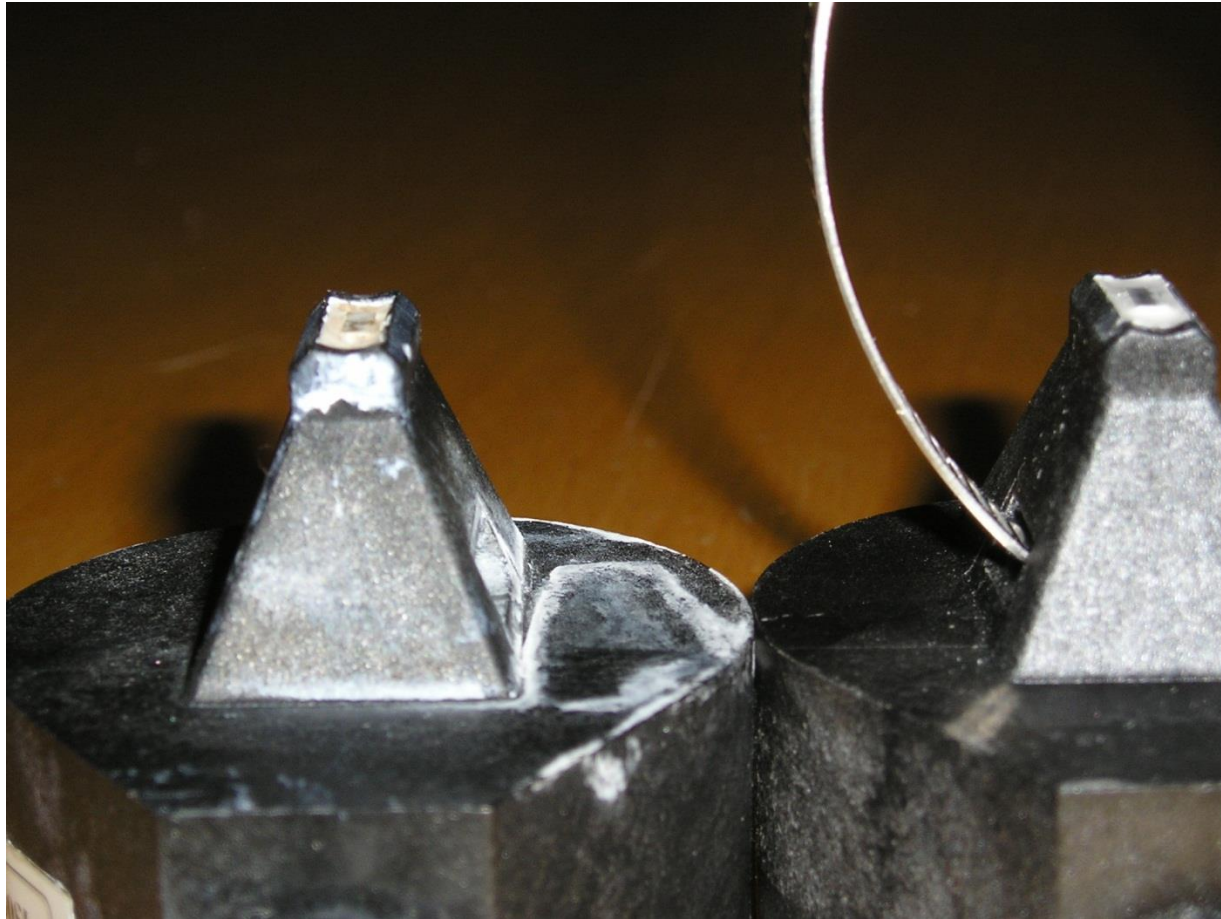
- ▼ Eksempel på kalibrering i tørblokkalibrator i hjemmefremstillet dorn med indskudt referenceføler.

## Kalibrering af overfladefølere: "Spændebloktypen"



- ▼ Eksempel på kalibrering i tørblokkalibrator i fabriksfremstillet dorn med indskudt referenceføler.

## Kalibrering af overfladefølere: ”Spændebåndstypen”



- ▼ Forskel på føler som har været anvendt i processen og en fabriksny.
- ▼ Føleren som har været anvendt havde ikke længere kontakt med røret.



## Kalibrering af overfladefølere: "Spændeblokstypen"



- ▼ Eksempel på følerspids med radius som passer til diameteren af det respektive rør.



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

it's all about innovation





TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# Erfa møde Temperatur 29.09.2014 – Teknologisk Institut, Taastrup

Tema: Metodeusikkerheder i temperaturmålinger



Program:

Ringkalibreringer

Srt30i

Nyt fra EURAMET

Sporbarhed - indlæg

Usikkerhedsophobning

Hans

Jesper

Tommy

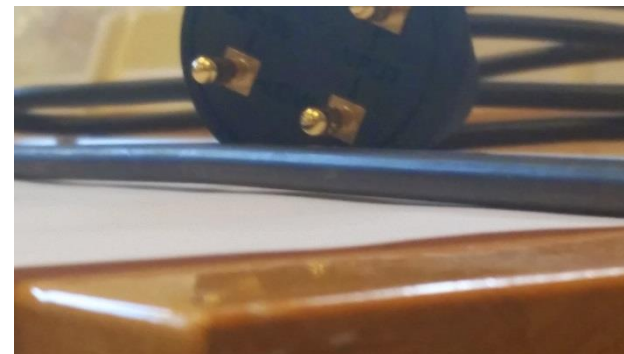
Korte følere - regneeksempel

Overfladefølere – Eric's stof, Emeses inklinations



# Ringkalibreringer

- TI: TP2013;
  - 3 loops med i alt 33 laboratorier, heraf 16 danske deltagere.
  - Transfer standard er Fluke 1586 med Accumac 1960 SPRT (inconelkappet).
  - Halvvejs gennemført – fortræffelig stabilitet på udstyr i to loops ( $\leq 2$  mK).
  - Sidste loop ca. 16 mK (overlast).
  - Afsluttes januar 2015.
  - Trykudstyr medsendt



- TI: 3-4 bilaterale ringkalibreringer gennemført for virksomheder der havde brug for hurtigt omløb

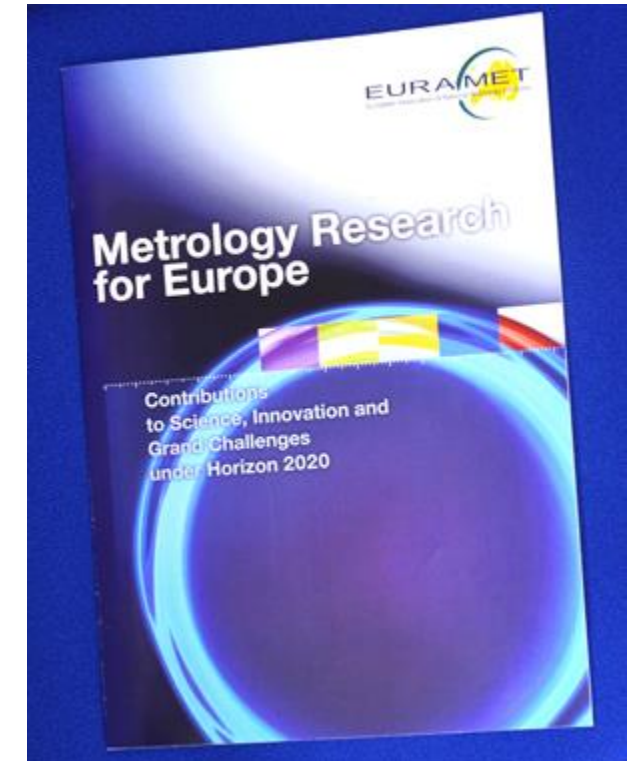
# Ringkalibreringer

- Planlagte
  - TKAK: IR fra -40 °C – 300 °C. Starttidspunkt ukendt.
  - TI: Anemometri (0,05 m/s – 30 m/s) og differenstryk (0-1 kPa) – januar 2015
- Fremtidige
  - Onsdag/Torsdag denne uge – møde med European Accreditation (EA) – man vil nok komme til at se mere aktivitet
  - TI: Fugt (%RH) gennem EA – 1. semester 2015
  - TI: Temperatur (sandsynligvis termometre i TBK) – 1. semester 2015
  - TI: Temperatur (-195 °C – 0 °C) – 1. semester 2015 + gentagelse af TP2013 (enkelt loop) – 1. semester 2015
- Andre?



# EMPIR aktiviteter

- The European Metrology Program for Innovation and Research (EMPIR) – Afløser for EMRP
- Industrielt kald 2014
- 33 Suggested Research Topics (srt)
  - SRT – i30: “Enhancing process efficiency through improved temperature measurement”
    - Højtemperaturdrift, **overfladetemperaturer**, forbrændingstemperaturer
    - TI i arbejdsplanke på overfladetemperaturer
    - Letters of Interest behøves fra dansk industri
      - Skal sikre at der er interesse hos slut-brugere
  - SRT – i31: “Metrology for humidity at high temperatures and transient conditions”
    - Tørring og vandaktivitet i in-line målinger
    - TI i arbejdsplanke på vandindhold i materialer (>3500 standarder)



# EURAMET og BIPM

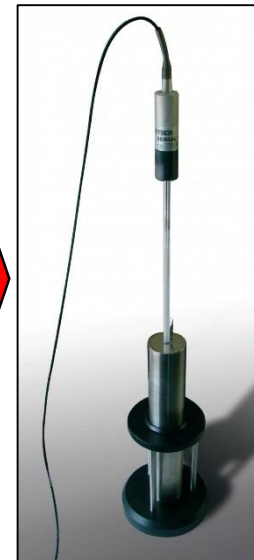
- BIPM
  - Den Internationale Prototype for Kilogrammet 125 år!
  - Irak medlem, Sudan og Luxemborg associerede medlemmer
- EURAMET:
  - Ringkalibreringer
    - Overfladefølere
      - Tre termometertyper
      - Overflader af Al, SS, Stål, messing, kobber
      - -20 °C – 500 °C
    - EURAMET.T-K9: Fikspunkter fra Ar til Zn (sidst gennemført i 2001-2004, EUROMET.T-K3)
  - Ny EURAMET guide: Guide on lifetime and drift/stability assessment of industrial thermocouples (in progress)
  - Revision undervejs af cg13: "Calibration of Temperature Block Calibrators"
    - TI input
      - Mere fokus på metodeusikkerheder opstående fra termisk kontakt, varmeledning
      - TBK er blevet ca 5-10 gange bedre end da guidelinen blev skrevet



# Metodeusikkerheder – et indlæg

# Grundlæggende - sporbarhedsbegrebet

- Sporbarhed jf. VIM (frit oversat): **2.41 (6.10) metrological traceability**  
property of a **measurement result** whereby the result can be related to a reference through a documented **unbroken chain** of **calibrations**, each contributing to the **measurement uncertainty**
- Typisk sporbarhedskæde:

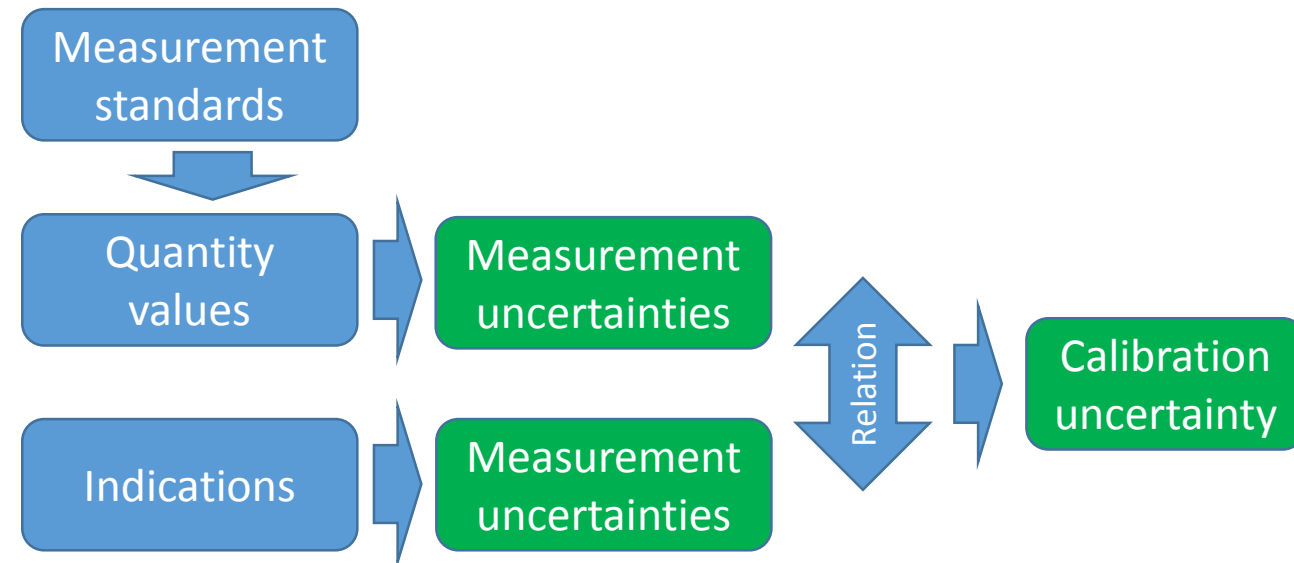


# Grundlæggende - sporbarhedsbegrebet

- Sporbarhed jf. VIM (frit oversat): **2.41 (6.10)**  
**metrological traceability**  
property of a **measurement result** whereby the result can be related to a reference through a documented unbroken chain of **calibrations**, each contributing to the **measurement uncertainty**
- International Vocabulary of Metrology (VIM – BIPM)

**2.39 (6.11)**  
**calibration**

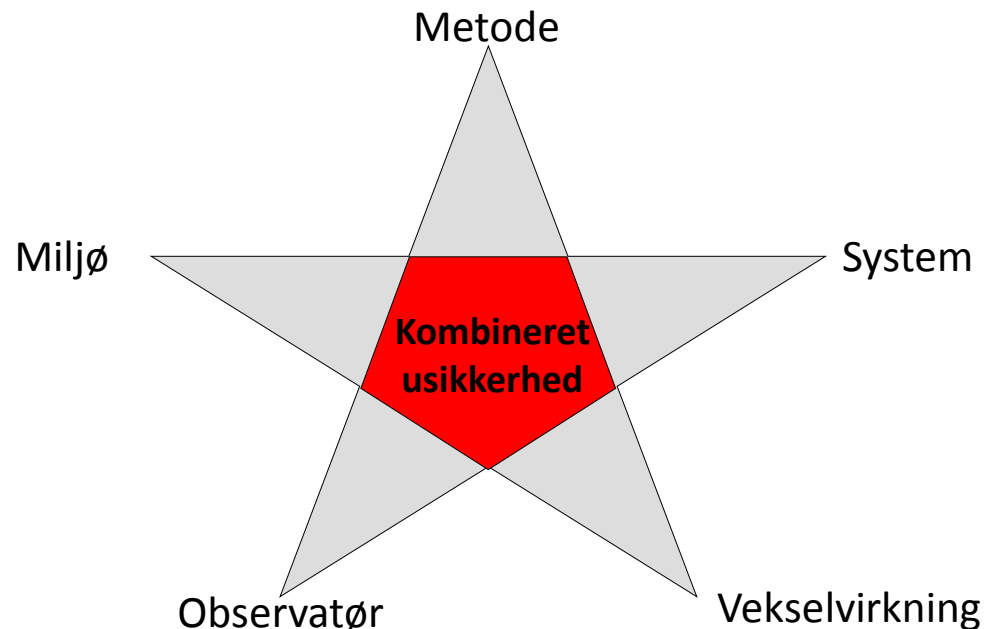
operation that, under specified conditions, in a first step, establishes a relation between the **quantity values** with **measurement uncertainties** provided by **measurement standards** and corresponding **indications** with associated measurement uncertainties and, in a second step, uses this information to establish a relation for obtaining a **measurement result** from an indication





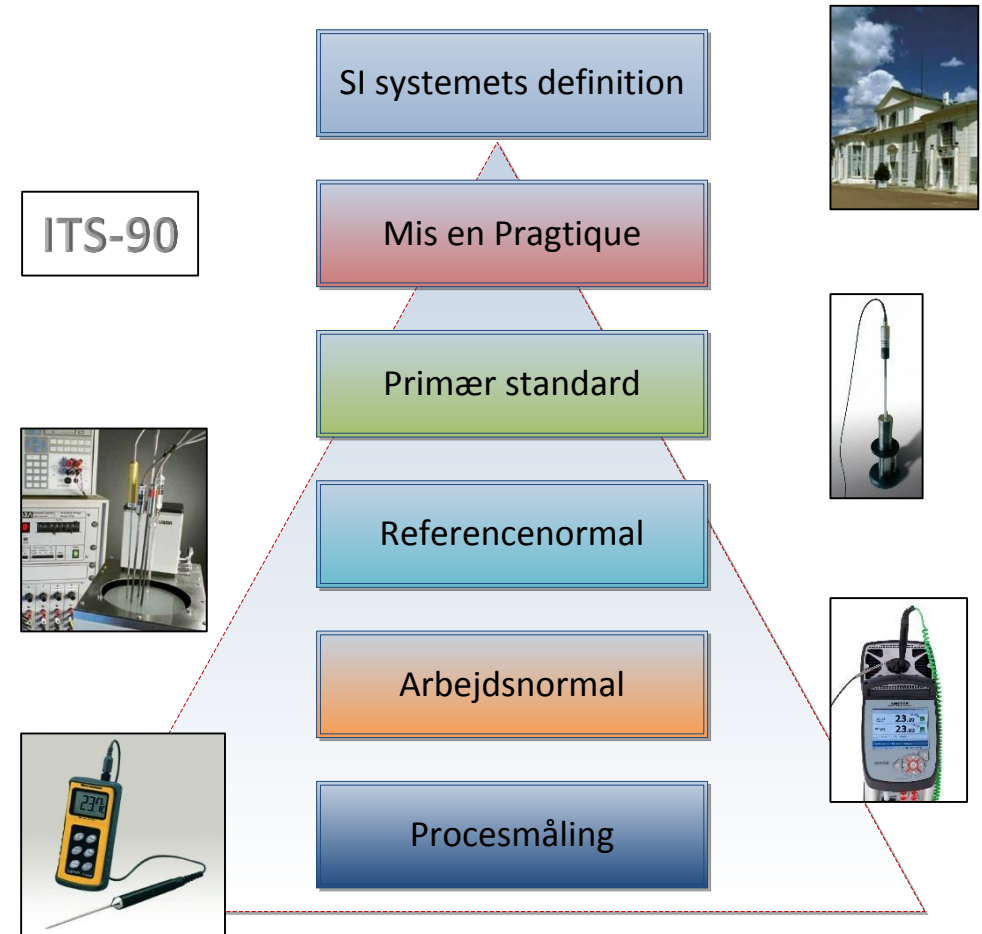
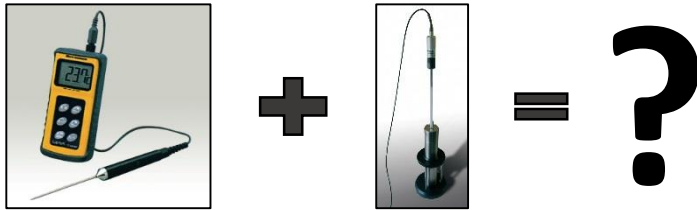
# Grundlæggende - sporbarhedsbegrebet

- Sporbarhed jf. VIM (frit oversat): **2.41 (6.10)**  
**metrological traceability**  
property of a **measurement result** whereby the result can be related to a reference through a documented unbroken chain of **calibrations**, each contributing to the **measurement uncertainty**



# Grundlæggende - Kalibreringshierakiet

- Million dollar question:
  - Hvad viser procesmålingens termometer i en Zn celle (ITS-90 primær standard, 419,527 °C)?



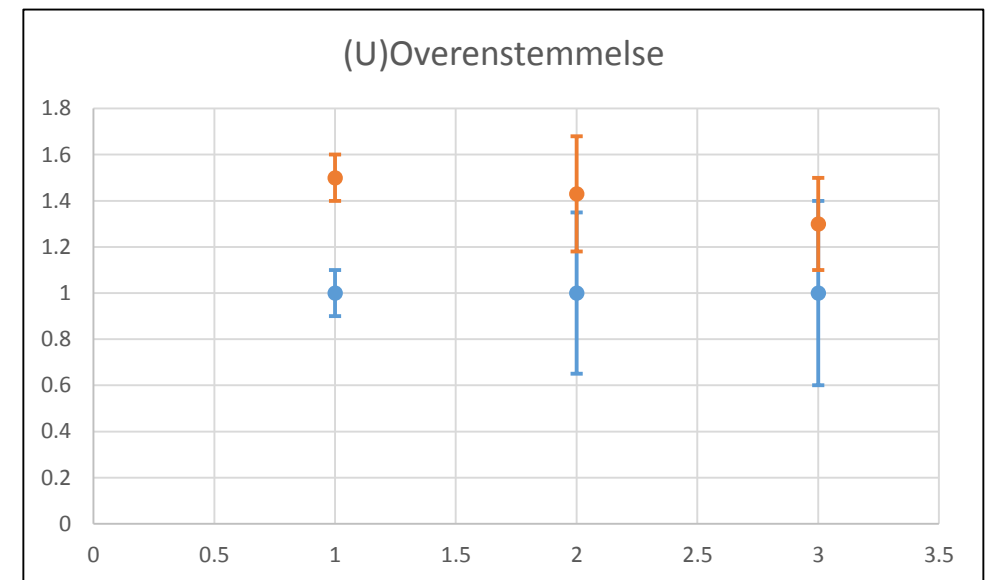
# Grundlæggende - overenstemmelse

- Ofte benyttede quick'n'dirty evalueringstøj – normaliserede fejl:

$$E_N = \frac{(x_A - x_B)}{\sqrt{(U(x_A))^2 + U(x_B))^2}}$$

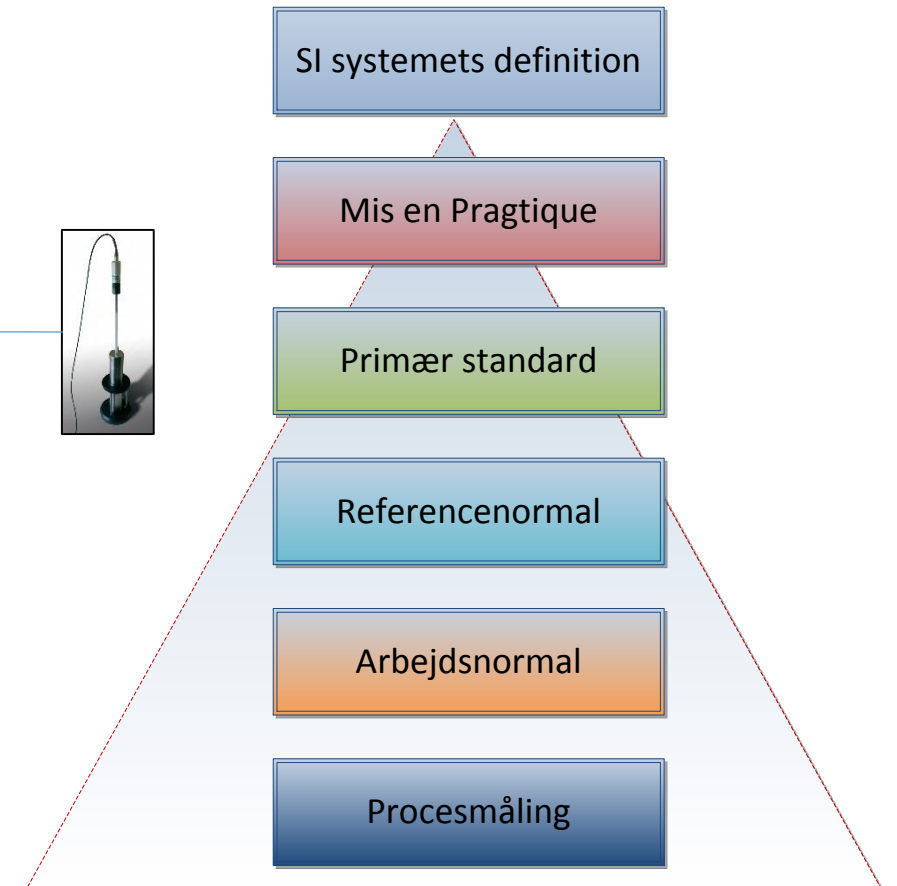
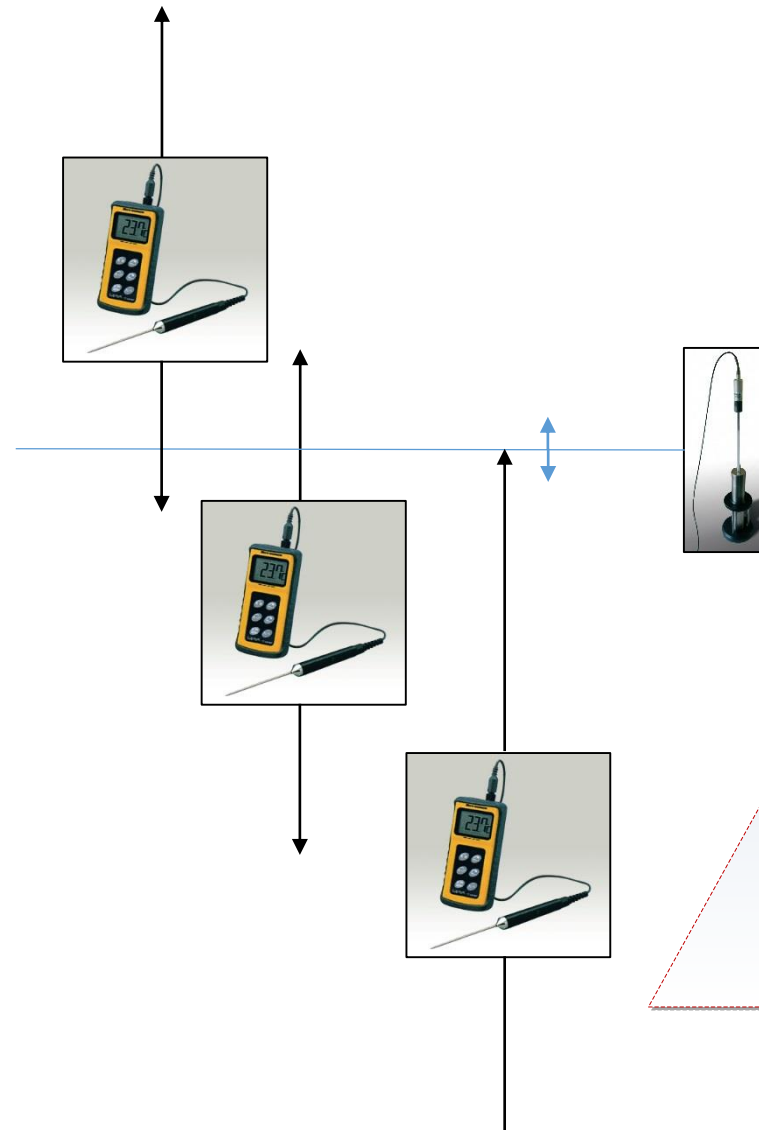
Målepar nr.	x <sub>a</sub>	U <sub>x<sub>a</sub></sub>	x <sub>b</sub>	U <sub>x<sub>b</sub></sub>	E <sub>n</sub>
1	1	0,1	1,5	0,1	-3,5
2	1	0,3495	1,43	0,25	-1,0
3	1	0,4	1,3	0,2	-0,7

- ”Overlap af usikkerhedsfaner med visninger”



# Overensstemmelse

- Og hvad med:



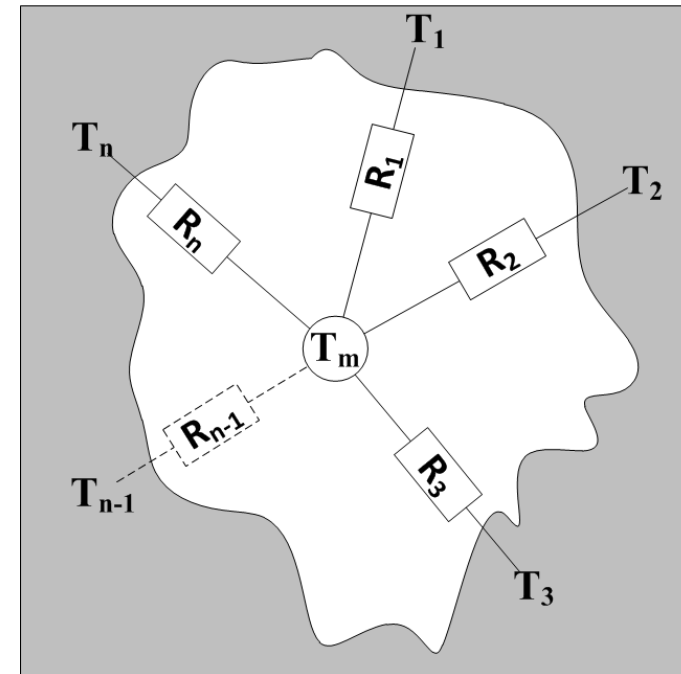
# Korte følere – Et lille regneeksempel

# 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 influerer på en temperaturmåling

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

- I idealverdenen findes korte følere ikke



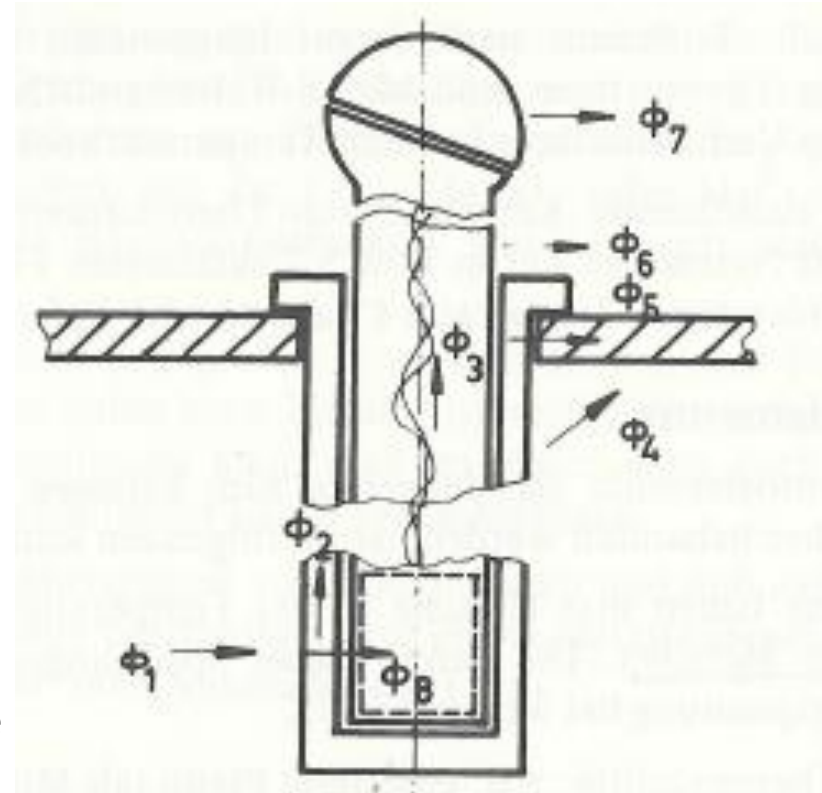
# Hvad er virkelighedens forhold?

- $\Phi_1$ : Konvektion
- $\Phi_2, \Phi_3, \Phi_5, \Phi_8$ : Varmeledning
- $\Phi_4$ : Stråling
- $\Phi_6$  og  $\Phi_7$ : 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!





# Energibalance - simpel

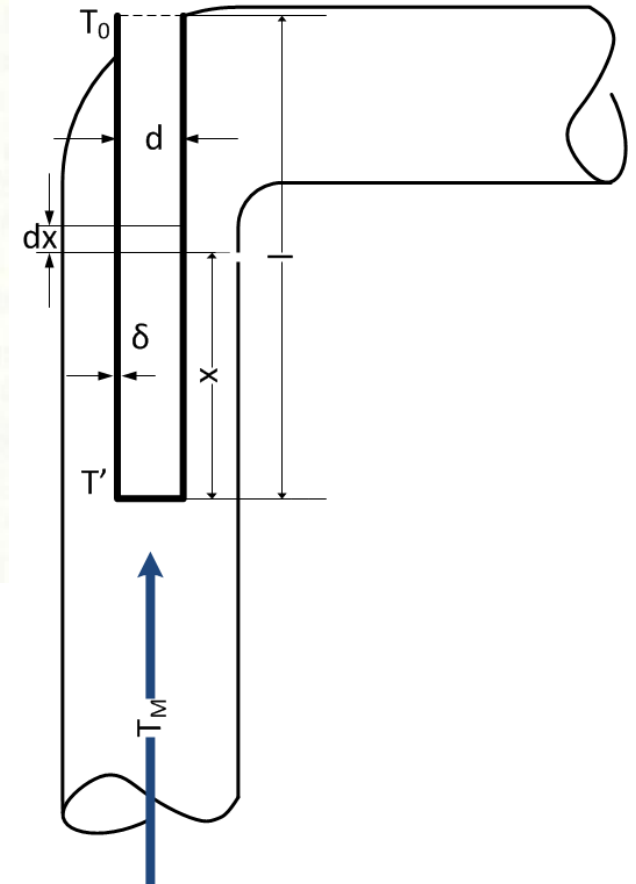
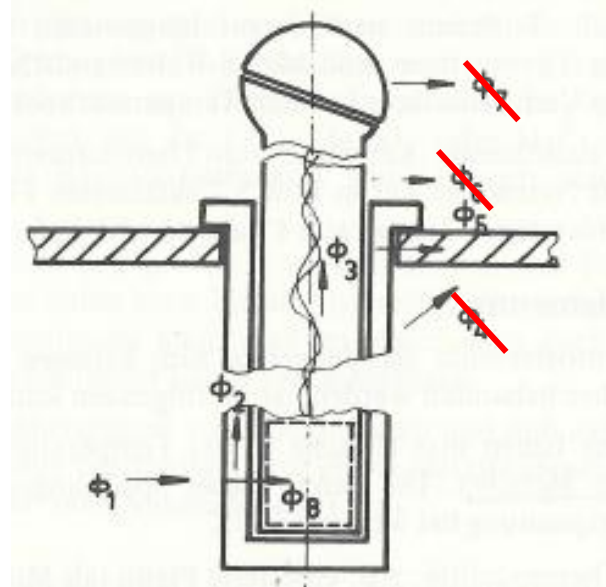
- Negligerer  $\Phi_4$  (stråling),  $\Phi_6$  og  $\Phi_7$  (udragende del)
- For et overfladeelement på kappen gælder:
  - Tilført energi ved konvektion = Energi ledt væk ved varmeledning

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

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

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

- $\alpha$  er varmeovergangstallet
- $\lambda$  er varmeledningsevnen



# Størrelser

- $\varnothing 10 \text{ mm}$  rørdiameter
- $1.5 \text{ mm}$  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

$l \text{ [m]}$	<b>0.04</b>	<b>0.10</b>	<b>0.15</b>	<b>0.20</b>
$T_M - T' \text{ [K]}$	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?

Lille reproducerbarhed og repeterbarhed betyder færre justeringer og færre afvigelser = mindre og bedre arbejde.

Viden om procestemperaturen og en hvis kvalitet for målingerne

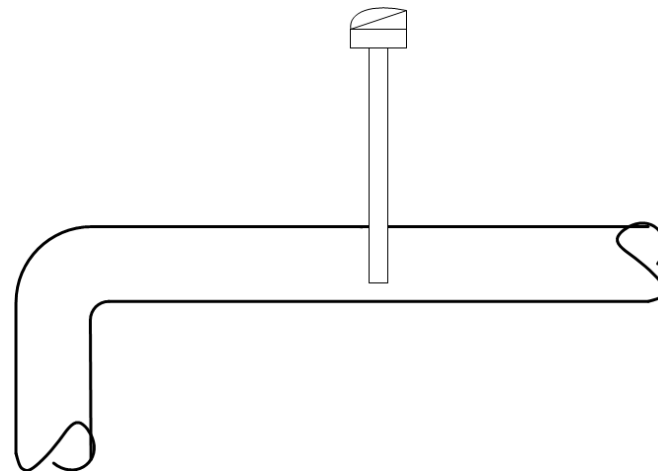
- Følerne er så lange at de under kalibrering kan stikkes tilstrækkeligt ned i kalibreringsbad eller tørblokkalibrator til at undgå immersionsfejl



- Reproducer og repeterbare resultater



- Giver kun ringe viden ift procestemperaturen



# Optimal procedure II

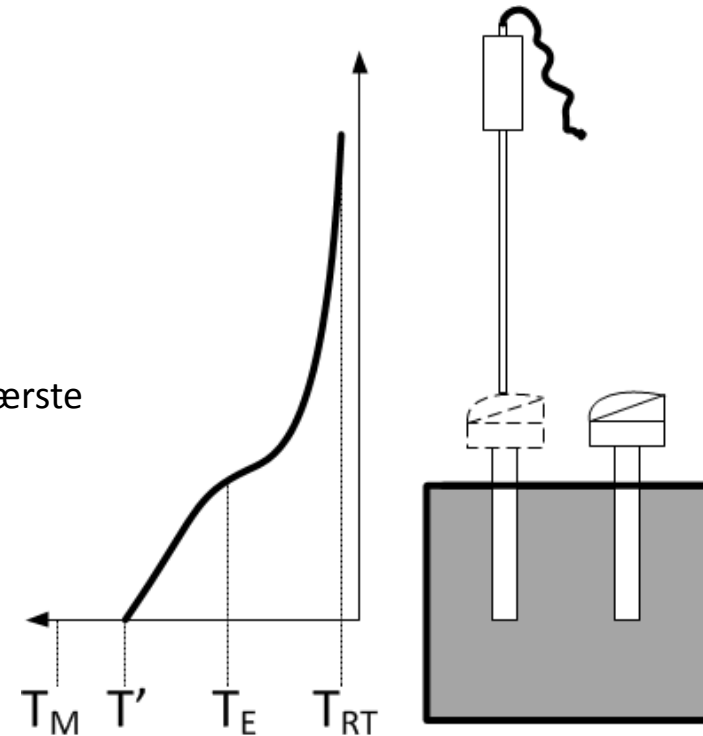
- Simulerende kalibrering
- En reference med samme termiske karakteristika som kalibreringsemnet, men som kan kalibreres med tilstrækkelig neddybningslængde, benyttes. Herved sikres det at man begår samme fejl på begge termometre



- God reproducerbarhed og repeterbarhed
- God viden om procestemperaturen



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



# Optimal procedure III

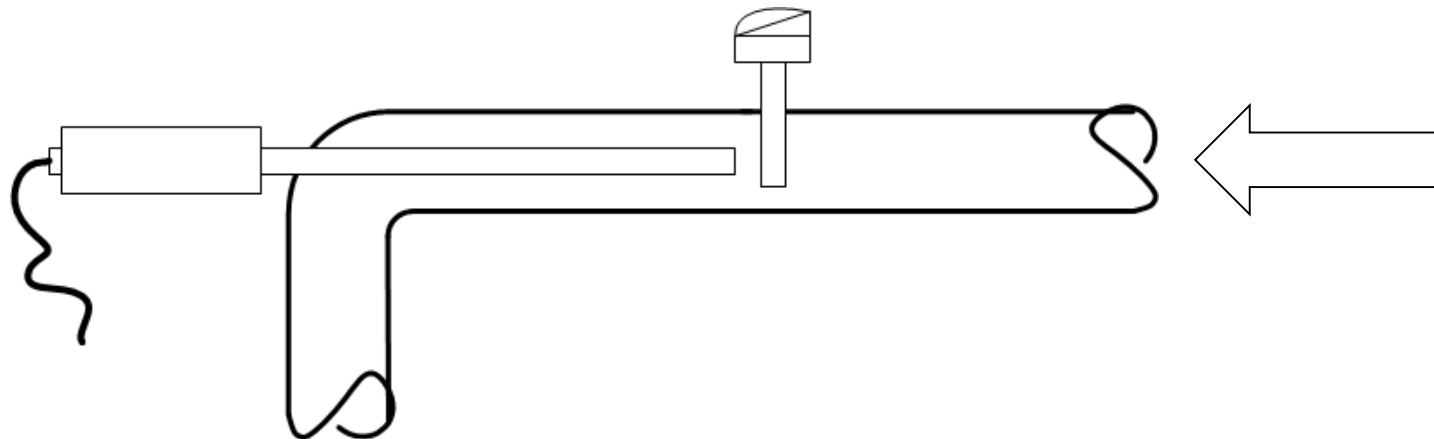
- In-situ kalibrering med en referenceføler, der har tilstrækkelig immersionslængde



- God reproducerbarhed og repeterbarhed
- God viden om procestemperaturen




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



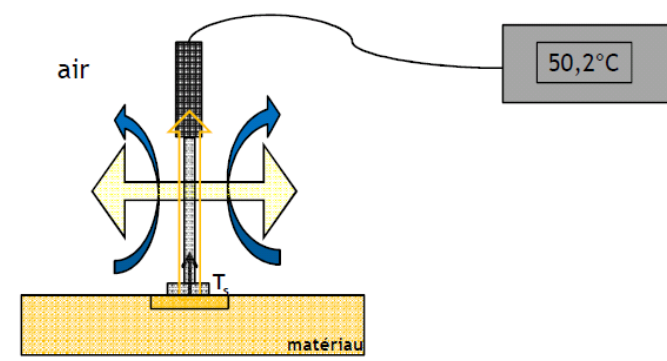
# Overflademålingen

- Hvad måler vi?
- Kraftig indflydelse fra
  - Konvektion
  - Varmeledning
  - Overfladeegenskaber
  - Termisk kontakt
- Og kan vi kan kalibrere følerne?

ensemble, innover et valider

### 4. Description d'une mesure de température de surface en thermométrie de contact

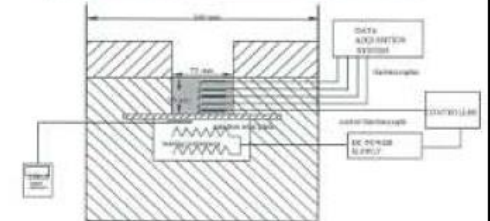
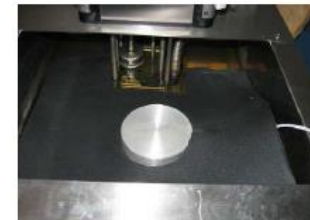
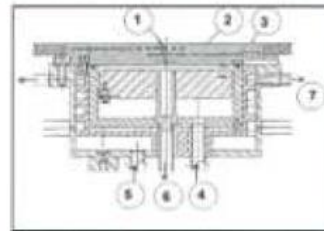
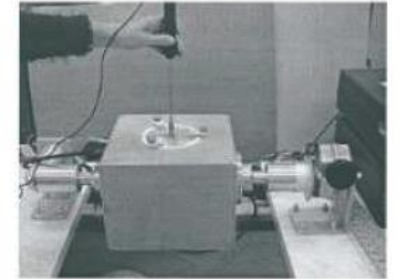
□ *Que se passe-t-il lors d'une mesure de température de surface en thermométrie de contact ?*



The diagram illustrates a contact temperature measurement setup. A probe is inserted into a hole in a material labeled 'matériau'. The probe's tip is in contact with the material's surface, where the temperature is denoted as  $T_s$ . The probe is connected to a digital display showing a reading of 50,2°C. Blue curved arrows around the probe indicate air convection, while yellow arrows pointing towards the probe tip indicate heat conduction from the material.

Thermométrie de surface par contact 3

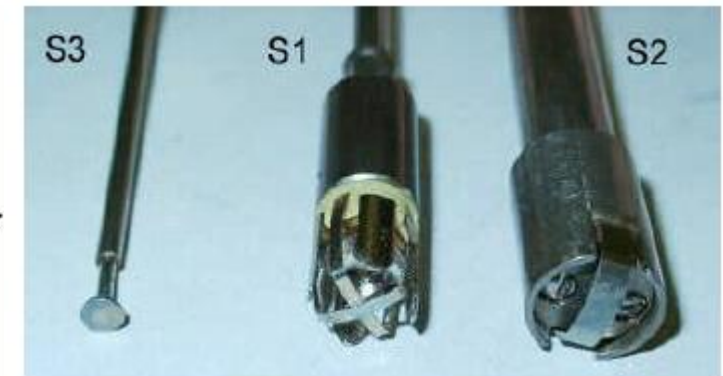
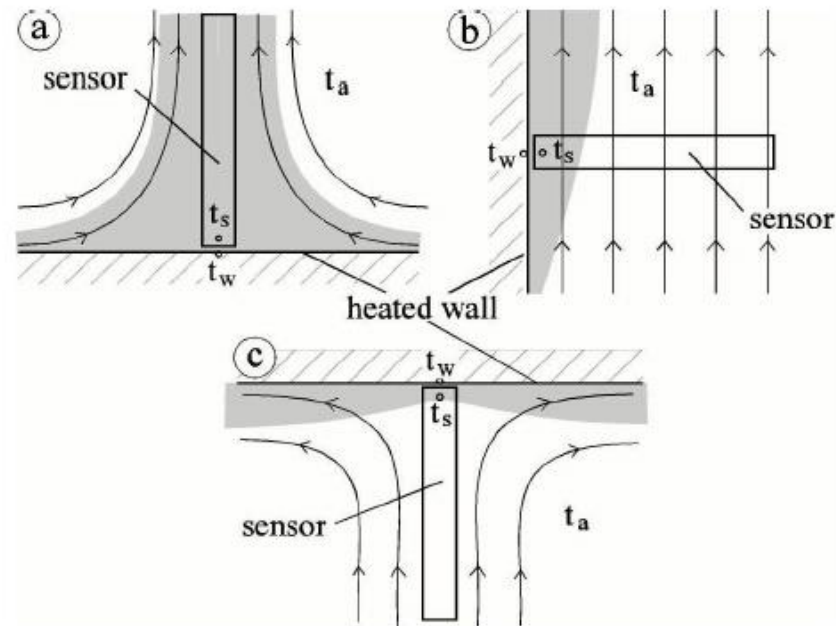
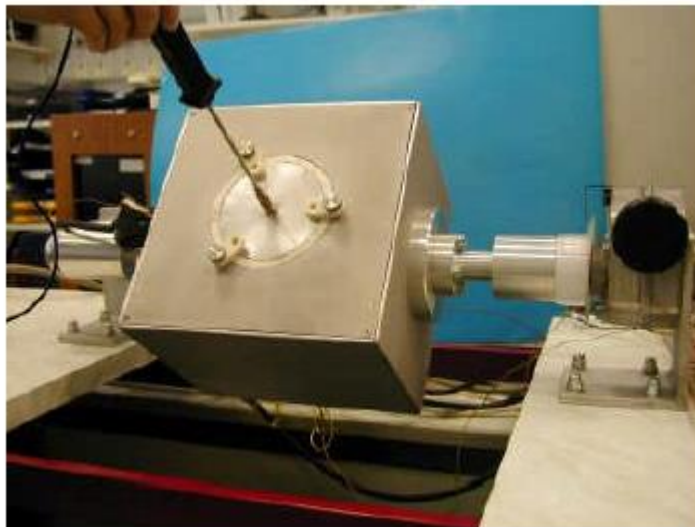
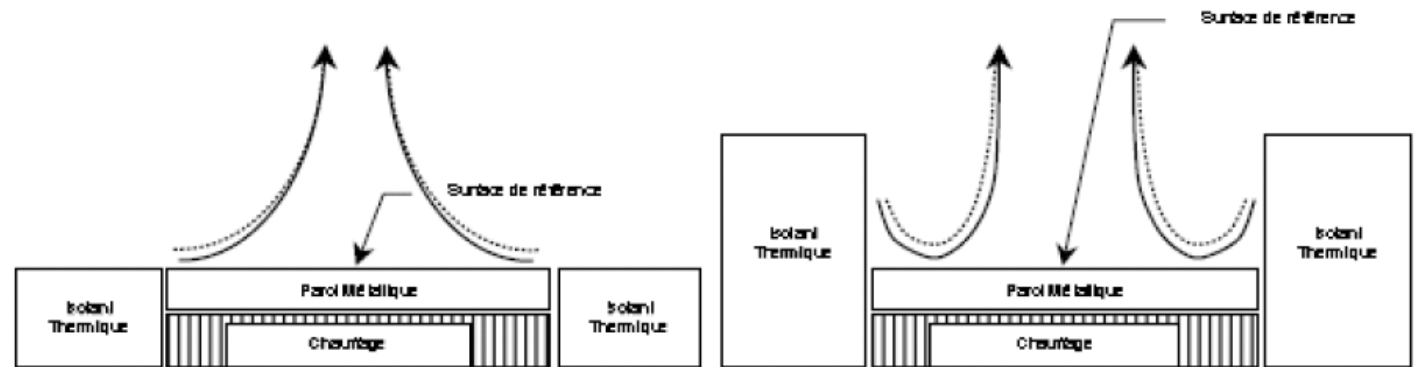
## 7. Générateurs de température de surface





# Overflade geometri og orientering

- Men giver det noget?



# Orientering

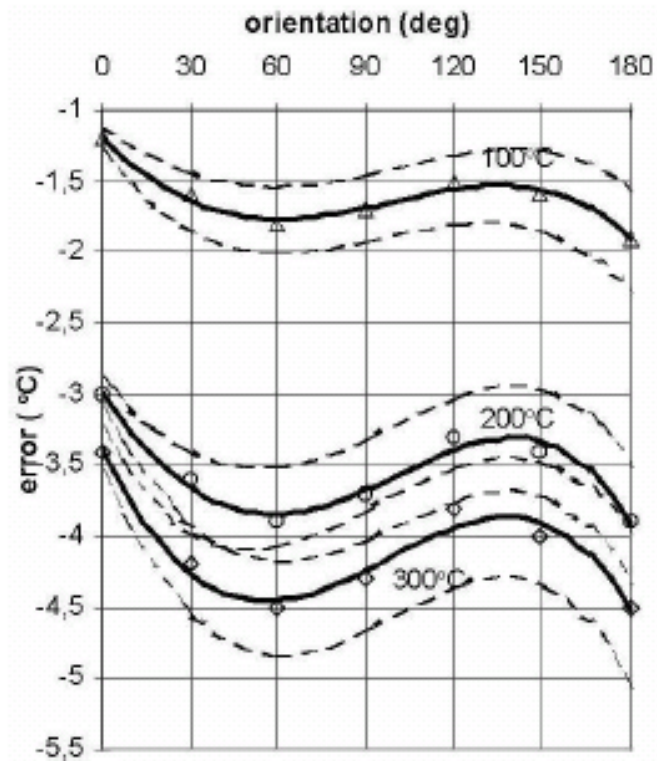


Fig. 4. Calibration curve of sensor s1

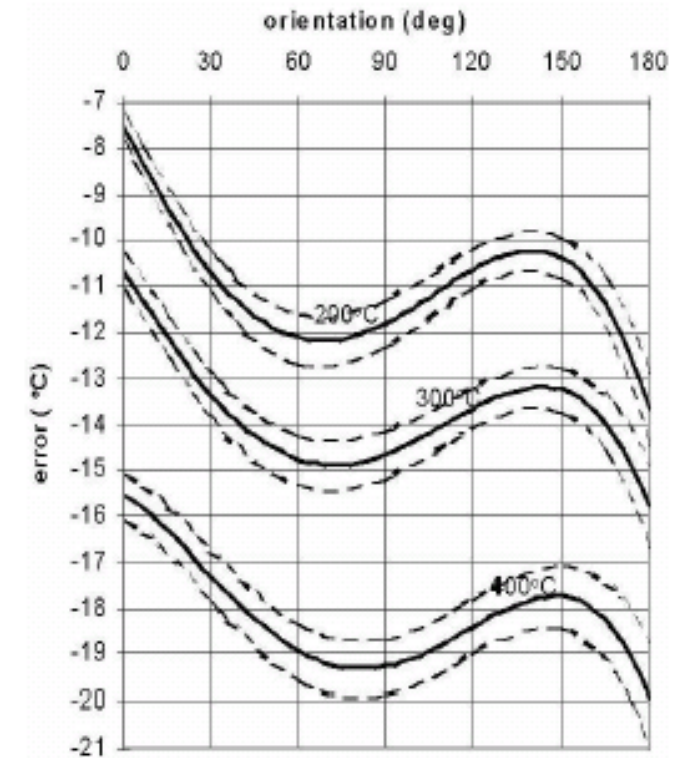
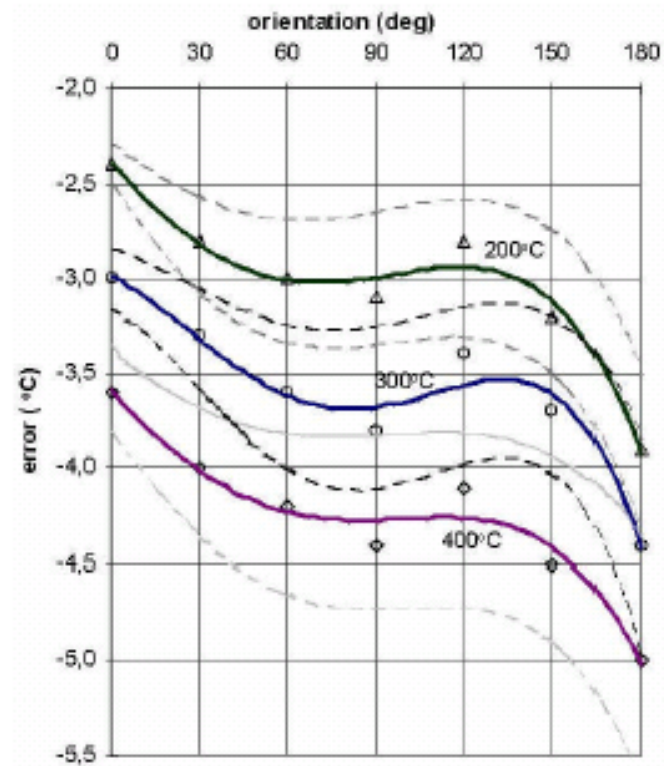



Fig. 6. Calibration curve of sensor s3


# Forskellige overflader

- Primære forskel opstår fra forskellige varmeledningsevner

 *ensemble, innover et valider*

## 9. Importance de la conductivité de la canalisation


□ *Différents types de conduite :*



Conduite	température d'eau	mesure	écart
inox	78,63	77,5	1,1
tube annelé	78,63	75,2	3,4
Caoutchouc	78,63	67,8	10,8

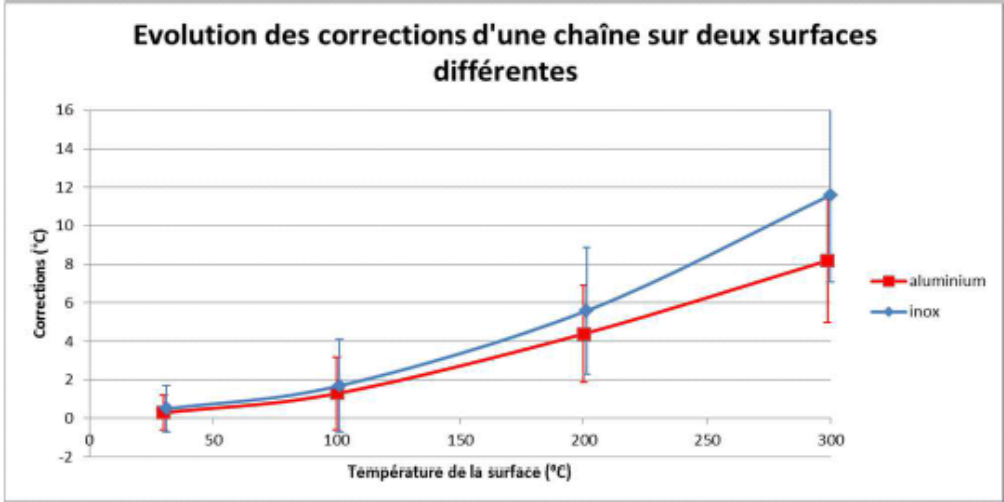
➤ Effet de la conductivité thermique de la paroi

*Thermométrie de surface par contact* 12

 *ensemble, innover et valider*

## 9. Performance des mesures

Evolution des corrections d'une chaîne sur deux surfaces différentes

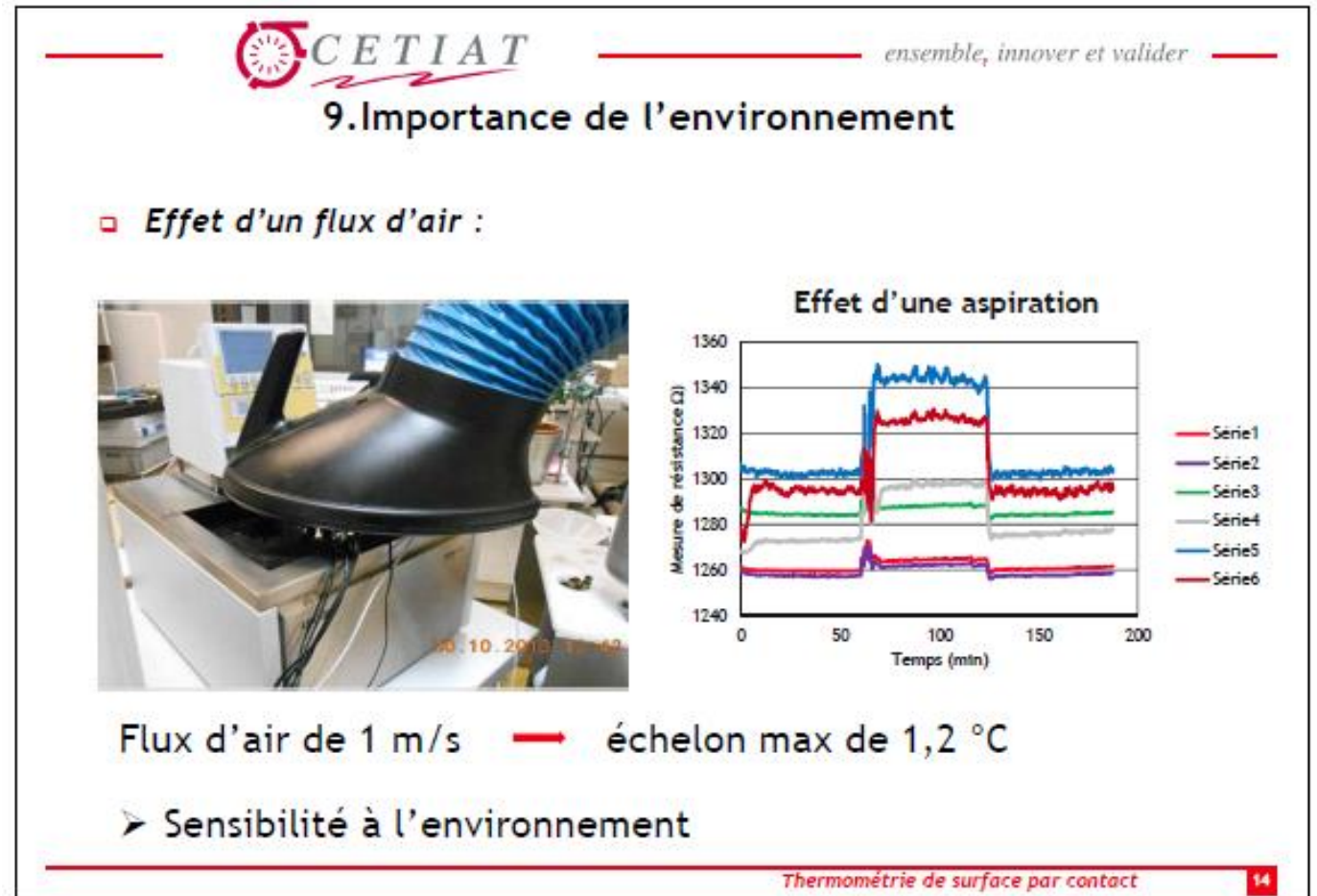


Les corrections de justesse baisse avec la conductivité

*Thermométrie de surface par contact* 11

# Miljøbetingelse

- Termisk forankring til overflade dårlig
- Miljøindflydelse bliver relativt væsentligt større



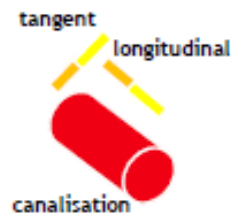
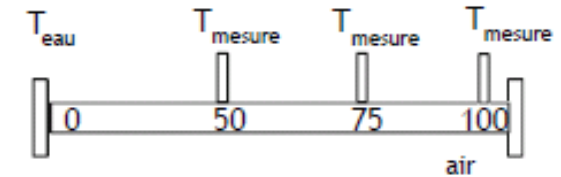


## 9. Importance du positionnement du capteur

capteur étalon tangent à la canalisation :



capteur étalon longitudinal à la canalisation



position de la sonde	température d'eau	mesure tangentielle		mesure longitudinale	
		Température TC	Ecart (°C)	température TC	Ecart (°C)
50	79,91	79,4	0,5	79,8	0,1
75		79,3	0,6	79,4	0,5
100		78,4	1,5	79	0,9

- Effet de la position de l'élément sensible du capteur
- Effet de la distance de la source chaude

# Usikkerhedsbudget hotplate Aluminium overflade

$$U(C) = 2 \times \sqrt{u^2(\bar{T}_x) + u^2(\delta T_x) + u^2(c_{stab}) + u^2(c_{hom}) + u^2(c_d) + u^2(\bar{T}_{lue}) + u^2(c_{rés}) + u^2(c_{mat}) + u^2(c_{cond.amb}) + u^2(c_{op})}$$

STDAFV  
 Extrapolation  
 Stabilitet  
 Homogenitet  
 Repeterbarhed dut  
 STDAFV  
 Opløsning DUT  
 Overfladeegneskaber  
 Miljøindflydelse  
 Operatør

Tableau 3 : Budget des incertitudes relatif à l'étalonnage du capteur de température de surface A.

Grandeur ( $X_i$ )	Résultat ( $x_i$ )	Loi de probabilité	Etendue	Incertitude-type $u(x_i)$	Coeff. De sensibilité ( $c_i$ )	Composante d'incertitude $ c_i \cdot u(x_i) $
$\bar{T}_x$	198,84	normale (s)	/	0,22	1	0,22
$\delta T_x$	-0,73	U/k	/	0,40	-1	0,40
$c_{stab}$	0,0	normale (s)	/	0,73	1	0,73
$c_{hom}$	0,0	uniforme	1,4	0,40	1	0,40
$c_d$	0,0	uniforme	0,2	0,06	1	0,06
$\bar{T}_{lue}$	195,2	normale (s)	/	0,41	-1	0,41
$c_{rés}$	0,0	uniforme	0,1	0,03	-1	0,03
$c_{mat}$	0,0	uniforme	cf guide 1	0,36	1	0,36
$c_{cond.amb}$	0,0	uniforme	0,18	0,05	1	0,05
$c_{op}$	0,0	normale (s)	/	0,24	1	0,24
Grandeur ( $Y$ )	Résultat ( $y$ )				Incertitude élargie $(U = 2 \times \sqrt{\sum [c_i \cdot u(x_i)]^2})$	
<b>C</b>	<b>4,4 °C</b>				<b>2,5 °C</b>	



# Som funktion af temperaturen



Nature de la surface	Température de surface de référence	Température lue sur la chaîne de mesure de température à étalonner	Correction à ajouter aux lectures de la température	Incertitude sur la détermination de la correction $\pm U$ (k=2)
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
aluminium	30,6	30,3	0,3	0,9
aluminium	99,9	98,6	1,3	1,9
aluminium	199,6	195,2	4,4	2,5
aluminium	299,1	290,9	8,2	3,2
acier inoxydable	30,4	30,0	0,4	1,2
acier inoxydable	99,7	98,1	1,6	2,4
acier inoxydable	199,5	193,8	5,7	3,3
acier inoxydable	298,8	287,9	10,9	4,5

