

## Måletekniske Dage d. 31-05-2012

### On site teknikker—Kalibrering af korte følere

Ved Laboratoriechef Tom M. Hansen, AMETEK Denmark A/S

Abstract og problematik:

I forbindelse med procesanlæg inden for specielt den farmaceutiske og fødevarerindustri, er det en kendsgerning at der er konstrueret en lang række korte følere tilpasset disse procesanlæg, der imidlertid ofte er så korte og med en sådan geometrisk udformning, at det kan være problematisk at gennemføre en egentlig kalibrering og samtidigt kalibrere med usikkerheder der står i forhold til den måleproces hvori de indgår. Normalt kan man antage at det skal være muligt at ca. 15 gange følerdiametere skal kunne nedsænkes i kalibreringsbadet/tørblokalkalibratoren, for at sikre, at føleren måler så tæt på den sande temperatur som muligt. Det vil sige at følerens aktive del skal befinde sig i en temperaturhomogen zone. Men hvis dette ikke er muligt, må man finde andre veje for at gennemføre den krævede kalibrering. Man kan vælge at kalibrere i væskebade, men for det første kræver dette en badtype hvor væsken pumpes aksialt rundt for at sikre temperaturhomogenitet helt til overfladen, og for det andet er der meget ofte et krav om "ren" kalibrering, og her betyder "ren" kalibrering, at føleren ikke må forurenes med den gængse siliconeolie eller andet der måtte befinde sig i badet.

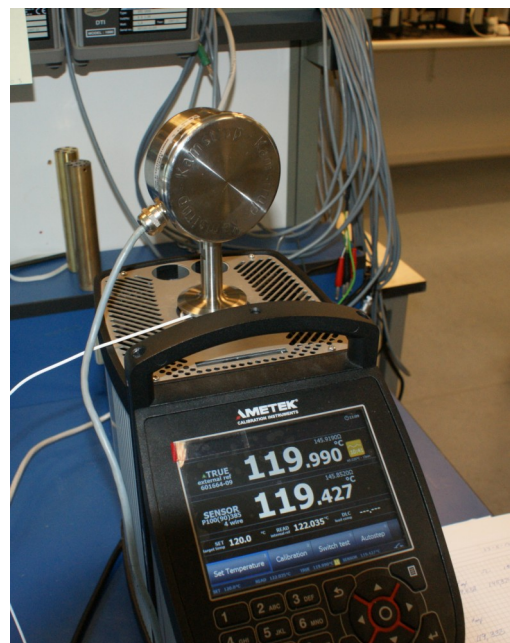
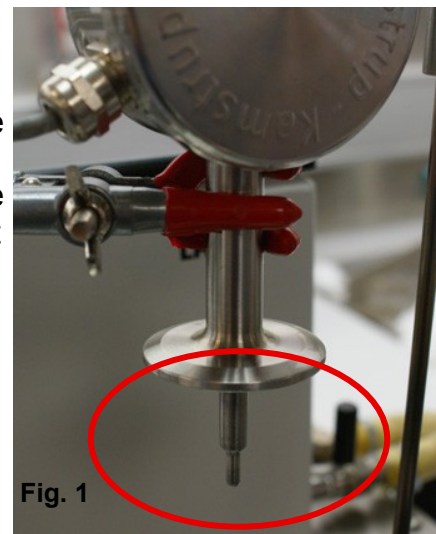
Dette indlæg vil omhandle kalibrering af en typisk sanitær føler fremstillet af KAMSTRUP i dag Baumer (Se fig 1) i en tørblok RTC-156 B fremstillet af AMETEK Denmark A/S.

denne kalibrering vil som udgangspunkt sikre en ren kalibrering, idet der ikke medgår nogen former for kontaktvæsker. I det videre forløb vil denne sanitære føler blive benævnt UUT (Unit Under Test).

UUT er valgt som direkte 4-wire for at undgå usikkerhedskomponenter fra eventuel transmitter eller liggende.

#### Følgende vil blive belyst:

- Praktiske kalibreringsresultater
- Opnåelig måleusikkerhed
- Fejlkilder
- Konklusion



# On site teknikker—Kalibrering af korte følere

Som udgangspunkt vil den sanitære føler blive kalibreret i et væskebad ved 2 temperaturer repræsenterende nogle yderområder for anvendelsen af denne. Her er der valgt  $-10$  og  $120$  °C. Da denne kalibreringsform må anses for at være næsten ideel, vil denne kalibrering danne "facitliste" i forhold til den kalibrering der sidenhen gentages i RTC tørblokken. Det vil sige: I brede vendinger vil der blive foretaget en direkte sammenlignelse som værende  $UUT_{(tørblok)}$  minus  $UUT_{(væskebad)}$ .

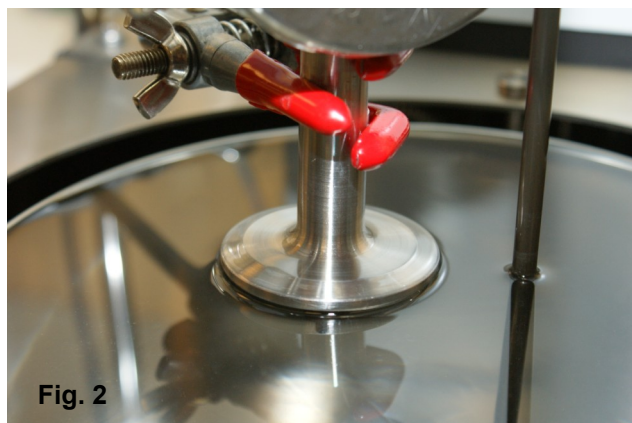
## 1. Kalibrering af UUT i væskebad:

UUT blev neddyppet indtil underside af flange netop berørte væskeoverfladen (Fig. 2).

Væskerne der er indgået er henholdsvis siliconeolie for den høje temperatur og ethanol for den lave temperatur.

Alle målinger er gentaget 3 gange af hensyn til vurdering af gentagelsesevnen som indgår i den totale usikkerhed.

Der skal regnes med relativt lange stabilitetstider inden målinger foretages, idet det tager relativt lang tid inden den store termiske masse har fundet sin ligevægt. De nedenstående målinger er foretaget efter ca. 45 min.



## Resultater ved nominal 120 °C

Kamstrup Model 8142 Klasse B

Føler neddyppet indtil væskeoverflade

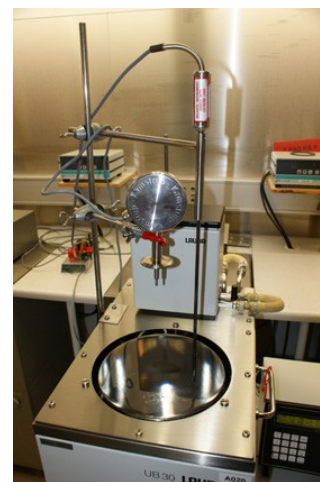
t(ref) °C [°C]	UUT read [Ohm]	UUT IEC751 [°C]	Deviation [°C]	Specifikation [°C]
119,838	145,8243	119,356	-0,482	0,899

## Resultater ved nominal $-10$ °C

Kamstrup Model 8142 Klasse B

Føler neddyppet indtil væskeoverflade

t(ref) °C [°C]	UUT read [Ohm]	UUT IEC751 [°C]	Deviation [°C]	Specifikation [°C]
-9,966	96,0885	-9,993	-0,027	0,350



Som en førstehåndsvurdering ligger UUT inden for det specificerede ved begge temperaturer, uden at tage hensyn til usikkerheder.

# On site teknikker—Kalibrering af korte følere

## 2. Kalibrering af UUT i tørblok model RTC-156 B

Som kalibreringsbøsning er der valgt en standard leveret fra "Application kit for sanitary sensors" (Fig. 3) som tilbydes til denne kalibrator. Dog er denne tilpasset bedst muligt til UUT's fysiske dimensioner, og her specielt den nederste tapperede del.

Ligeledes er referenceføleren en kabeltype model STS-030 med kort følerelement, således at referencen kan placeret i samme niveau som UUT. (Fig. 4, 5 og 6)

UUT var tilslutte som 4-wire direkte på kalibratorens UUT måleindgang, ligesom referenceføleren var tilslutte referen-ceindgang på fronten.

Alle målinger er ligesom under 1. gentaget 3 gange.



Fig. 3

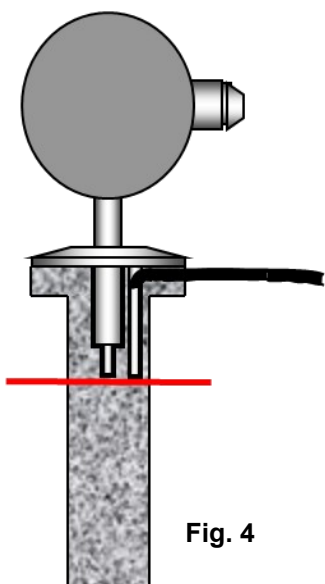


Fig. 4

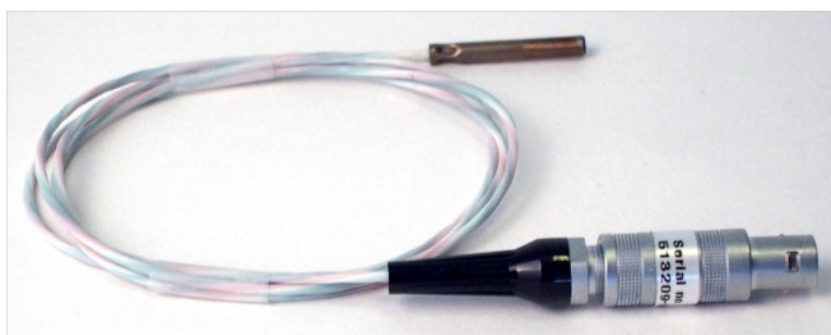


Fig. 5

### Resultater nominel 120 °C:

Kamstrup Model 8142 Klasse B

Føler uden isolering

t(ref) °C [°C]	UUT read [Ohm]	UUT IEC751 [°C]	Deviation [°C]	Specifikation [°C]
119,996	145,421	119,421	-0,575	0,900

### Resultater nominel -10 °C:

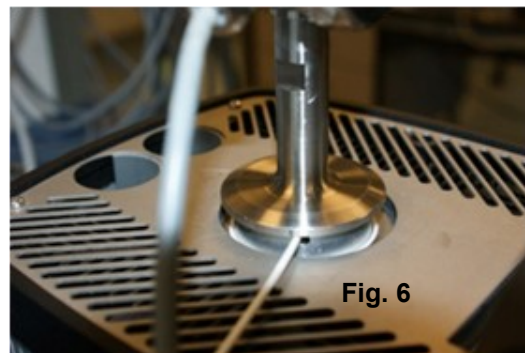
Kamstrup Model 8142 Klasse B

Føler uden isolering

t(ref) °C [°C]	UUT read [Ohm]	UUT IEC751 [°C]	Deviation [°C]	Specifikation [°C]
-10,003	96,0993	-9,966	0,037	0,350

# On site teknikker—Kalibrering af korte følere

Som resultaterne ved væskekalibrering ser det umiddelbart ud til at resultaterne ligger på samme niveau og inden for klasse B specifikationer. Men herom senere.



## 3. Resultater Badkalibrering kontra kalibrering i tørblok

Nedenstående resultater er beregnet som forskellen mellem tørblokkalibrering og kalibrering i væskebad, men under de forudsætninger som er beskrevet i det tidligere. Desuden er referencetemperaturen simpelt korrigeret til 120 henholdsvis -10 °C rent af hensyn til korrekt sammenligning.

Temperaturer korrigeret til referencetemperatur = 120 °C

t(ref) bad [°C]	UUT bad [°C]	t(ref) tørblok [°C]	UUT tørblok [°C]	Forskel tørblok - [°C]
120,000	119,518	120,000	119,433	-0,085

Temperaturer korrigeret til referencetemperatur = -10 °C

t(ref) bad [°C]	UUT bad [°C]	t(ref) tørblok [°C]	UUT tørblok [°C]	Forskel tørblok - bad [°C]
-10,000	-10,027	-10,000	-9,993	0,034

## Måleusikkerheder:

De følgende måleusikkerheder er beregnet for 120 °C på et simpelt grundlag og medtager kun de væsentlige bidrag. Således er standardafvigelser ikke medregnet, idet spredningen for begge typer kalibreringer var så lille at den i dette tilfælde ikke influerer på det endelige resultat.

# On site teknikker—Kalibrering af korte følere

<b>Usikkerhed badkalibrering ved 120 °C (-10 °C)</b>				
Influence parameter	k=2 specifikation [°C]	Fordeling	k=1	u*u
SPRT Referenceføler incl.	0,014	Normal	0,00700	0,000049
Stabilitet 0,5 h	0,006	Firkant	0,00346	0,000012
Aksiale gradienter	-0,025	Firkant	-0,01443	0,000208
UUT 4-wire måling	0,010	Normal	0,00500	0,000025
Geometrisk sum				0,017156
k=2				0,034

**Resultat: 120 °C +/- 0,04 °C (\*)**

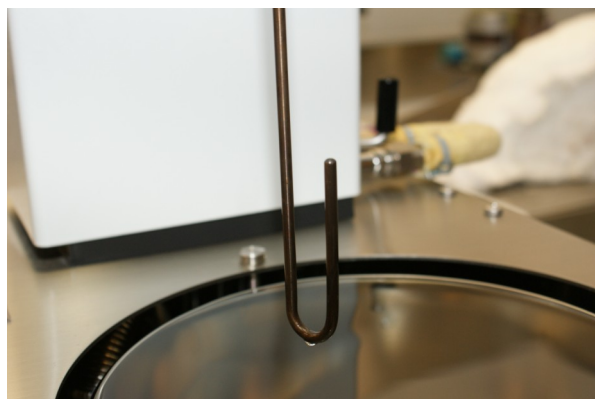
<b>Usikkerhed tørblokkalibrering ved 120 °C (-10 °C)</b>				
Influence parameter	k=2 specifikation [°C]	Fordeling	k=1	u*u
Reference indgang in-	0,04	Normal	0,020000	0,000400
Stabilitet 0,5 h	0,02	Firkant	0,011547	0,000133
Forskel mellem borer	0,01	Firkant	0,005774	0,000033
UUT 4-wire måling	0,01	Normal	0,005000	0,000025
Geometrisk sum				0,024324
k=2				0,049

**Resultat 120 +/- 0,05 °C (\*\*)**

\*) Aksiale gradienter for det anvendte LAUDA bad er udmålt med en speciel temperatur føler som er bukket i et U således at føleren kan måle helt op til overfladen af badet (Se fig ).

Ved målingen der er relativt anvendes der 2 følere. Den ene er placeret til stadighed fuld neddyppet og det vil i dette tilfælde sige 100 mm, mens den viste U føler neddyppes indtil målespidsen netop røre ved væskeoverfladen. Herefter foretages der sammenholdte målinger mellem de to følere i step af 20 mm

Tabellen på omstående side viser resultatet af denne gradientmåling.





# On site teknikker—Kalibrering af korte følere

Lauda Bad				
Reg A020				
4 mm føler: STS-100-500 A				
4 mm føler: Special U-kappeføler				
SetTemp 120 °C				
Position	T-1 [°C]	T-2. [°C]	dT [°C]	dTkor.[°C]
0	117,601	117,545	117,601	0
20	117,599	117,624	117,599	0,025
40	117,595	117,619	117,595	0,024
60	117,590	117,614	117,590	0,024
80	117,596	117,619	117,596	0,023
100	117,590	117,614	117,590	0,024

## Fejlkilder:

### Indflydelse fra aksiale temperaturgradienter:

Den opmærksomme vil opdage at der ikke er dokumenteret aksiale gradienter i RTC tørblokken. Dette er ikke en forglemmelse, men der er ikke umiddelbart muligt at måle disse gradienter i den øverste del af kalibreringsbøsningen.

I usikkerhedsbudgettet for LAUDA badet er der konservativt benyttet den maksimale målte gradient, selv om kurven er flad lige under overfladen og udviser næsten ingen temperaturvariationer ned til de målte 100 mm.

Den målte forskel mellem bad og tørblok er blandt andet udtryk for de relativt store gradienter der nødvendigvis må være i toppen af kalibreringsbøsningen. Det er derfor vigtigt at den anvendte referenceføler er placeret i samme niveau som UUT for at eliminere noget af gradientindflydelsen.

Principielt ville gradienter ikke have nogen indflydelse på måleresultater, såfremt både UUT og referenceføler var i besiddelse af nøjagtig samme termiske egenskaber.

### Indflydelse fra kalibrator stabilitet:

Generelt overholder den anvendte RTC kalibrator med god margin den specificerede stabilitet angivet til +/- 0,005 °C. Imidlertid kan den sanitære føler med flange og den store udragende masse påvirke stabiliteten negativt. Derfor var stabilitetskravet indstillet til +/-0,02 °C hvilket den let kunne overholde over tid.

### Indflydelse fra omgivelsestemperaturen

Det er af stor betydning for den anvendte UUT at man enten kopiere procesmontagen under kalibreringen bedst muligt, eller i det mindste tydeligt dokumenter betingelserne. Dette gælder for både tørblokkalibrering og badkalibrering.

Denne indflydelse er forsøgt målt både ved -10 °C og ved 120 °C som er længst væk fra omgivelsestemperaturen, hvor det må antages at denne indflydelse er størst.

# On site teknikker—Kalibrering af korte følere

Ved tørblokmålingen er der sammenlignet resultater med og uden isolering med med keramiskuld, og ved badmålingen er der på samme måde foretaget sammenligninger, men denne gang mellem UUT neddyppet til underside af flange og neddyppet så dybt det praktisk var muligt.

## Resultater tørblok #120 °C:

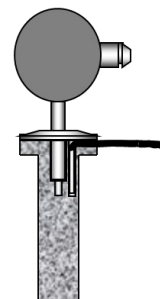
### Føler uden isolering

t(ref) °C [°C]	UUT read [Ohm]	UUT IEC751 [°C]	Deviation [°C]	Specifikation [°C]
119,996	145,421	119,421	-0,575	0,900

### Føler isoleret med keramiskuld

t(ref) °C [°C]	UUT read [Ohm]	UUT IEC751 [°C]	Deviation [°C]	Specifikation [°C]
120,005	145,9548	119,597	-0,408	0,900

Forskel:  
0,17 °C



## Resultater tørblok #-10 °C:

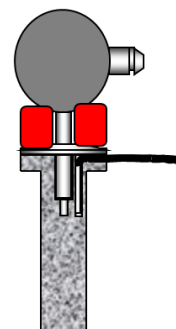
### Føler uden isolering

t(ref) °C [°C]	UUT read [Ohm]	UUT IEC751 [°C]	Deviation [°C]	Specifikation [°C]
-10,003	96,0993	-9,966	0,037	0,350

### Føler isoleret med keramiskuld

t(ref) °C [°C]	UUT read [Ohm]	UUT IEC751 [°C]	Deviation [°C]	Specifikation [°C]
-9,999	96,134	-9,878	0,121	0,350

Forskel:  
0,08 °C



## Resultater bad #120 °C

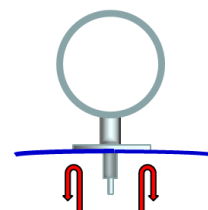
### Føler neddyppet indtil væskeoverflade

t(ref) °C [°C]	UUT read [Ohm]	UUT IEC751 [°C]	Deviation [°C]	Specifikation [°C]
119,838	145,8243	119,356	-0,482	0,899

### Følerflange totalt neddyppet

t(ref) °C [°C]	UUT read [Ohm]	UUT IEC751 [°C]	Deviation [°C]	Specifikation [°C]
119,833	145,9164	119,597	-0,236	0,899

Forskel:  
0,25 °C



## Resultater bad # -10 °C

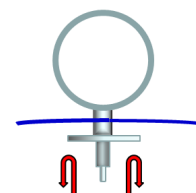
### Føler neddyppet indtil væskeoverflade

t(ref) °C [°C]	UUT read [Ohm]	UUT IEC751 [°C]	Deviation [°C]	Specifikation [°C]
-9,966	96,0885	-9,993	-0,027	0,350

### Følerflange totalt neddyppet

t(ref) °C [°C]	UUT read [Ohm]	UUT IEC751 [°C]	Deviation [°C]	Specifikation [°C]
-9,966	96,0744	-10,03	-0,064	0,350

Forskel:  
0,04 °C



# On site teknikker—Kalibrering af korte følere

---

## **Indflydelse fra den anvendte bøsning:**

Det er nødvendigt at bøsning passer perfekt til UUT og det vil sige boret dels på passende tolerancer (Diameter + 0,2 mm), og i helhed tilpasset længde og diametervariationer.

## **Indflydelse fra instruktioners egnethed:**

Som det gælder alle former for kalibreringsarbejde, skal måske her i særdeleshed være ekstra detaljerede instruktioner, idet disse er bedste mulighed for at kunne reproducere kalibreringen.

## **Konklusion og diskussion:**

Ved kalibrering af specielt følere med dårligt termisk design, må det anbefales at der for hver type foretages en initialkalibrering i egnet væskebad, for derigennem at skabe basis for endelig vurdering om hvorvidt en tørblokkalibrator er egnet. I dette tilfælde ser det rimeligt ud, idet største direkte afvigelse mellem facitlisten og kalibrering i RTC tørblokken er målt til mindre end 0,1 °C. Denne forskel kunne tænkes at tillægges den i forvejen beregnede måleusikkerhed og dermed ville det nok være rimeligt at antage en endelig måleusikkerhed omkring +/-0,2 °C. Men hvis denne usikkerhed er acceptabel i forhold til proceskravet er der skabt mulighed for en "ren" kalibrering og i de fleste tilfælde også en automatisk kalibrering og derigennem en tidsbesparelse.

I dette tilfælde hvor det handler om kalibrering af en sanitær flangeføler må det anses for at være nødvendigt at anvende den omtalte specialbøsning der giver mulighed for at transmittere varme/kulde til flangen for derigennem at minimere energitransport ud eller ind af føleren.

Det antages for nødvendigt at anvende en 2-zone tørblok, hvor zonerne styres separat.