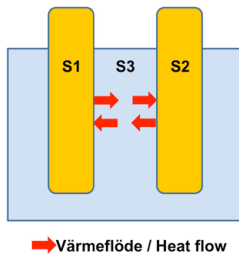


# Noggrann kalibrering förutsätter lika temperaturgivare

Ideal kalibrering förutsätter att Termodynamikens nollte huvudsats uppfylls. Varje avsteg från denna ökar osäkerheten i det korrigeringsvärde man söker. Här kommenteras några orsaker som ökar osäkerheten och därmed hur man i praktiken kan förbättra sin kalibrering.

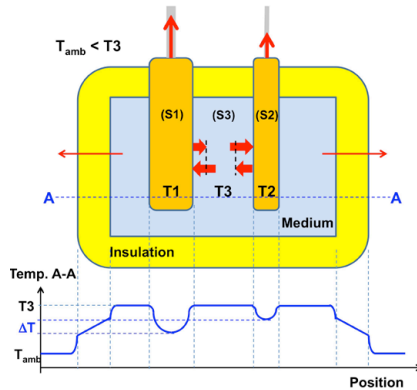
Enligt teorin kräver en perfekt kalibrering att Termodynamikens nollte huvudsats följs. Se figur 1. Den säger att om två system (S1 och S2 med temperaturerna T1 och T2) var för sig är i termisk jämvikt med ett tredje system (S3 med temperaturen T3) så är de båda första systemen (S1 och S2) i termisk jämvikt med varandra. Inget värmeutbyte sker med omgivningen. Med termisk jämvikt menas att lika mycket värmeenergi flödar till som från varje kropp, d v s nettoflödet till kroppen är noll. Innebörden av detta är att alla systemen har samma temperatur ( $T_1 = T_2 = T_3$ ).



Figur 1. Termodynamikens huvudsats nummer noll. Vid termisk jämvikt mellan alla tre kropparna S1, S2 och S3 gäller att de har lika temperatur,  $T_1 = T_2 = T_3$ . Tyvärr är detta ett oppnåeligt idealtillstånd eftersom värmeutbyte med omgivningen inte kan undvikas. Se vidare figur 2.

Om vi tänker oss att S1 och S2 är temperaturgivare och S3 en blockugn eller ett vattenbad kompliceras den ideala bilden av ytterligare värmeöverflöden som verkar störande. Värmeöverflödena drivs av temperaturskillnaden mellan den isolerade volymen och omgivningen. Se figur 2. Perfekt isolering finns inte i verkligheten och temperaturgivare måste ha förbindelse med omvärlden via anslutningskabel och skyddsror. Följden blir att det värme som leds ut ur kalibreringsvolymen (S3) måste tas från denna och motsvarande gäller för givarna S1 och S2. Det innebär i sin tur att givarna S1 och S2 förlorar sin termiska jämvikt med kalibreringsvolymen S3.

I kalibreringsutrustningar hålls temperaturen konstant med regleringssystem som anpassar uppvärmningen eller kylningen till rådande värmeförluster respektive värmetilskott. Med



Figur 2. Principiell men realistisk bild över kalibrering i verkligheten. Värmeutbytet med omgivningen gör att perfekt termisk jämvikt är omöjlig att uppnå. Olika konstruktioner i givarnas fysiska konstruktion som t ex tvärsnittsarea orsakar olika värmeöverflöden till omgivningen och därmed olika temperatur i respektive sensordel.

det hindrar inte värmeöverflödena att via isolering, givarskyddsror och kablage ta sig ut till omgivningen.

## Lika förlust bäst

Så länge temperaturgivarna – referens och mätobjekt – är lika uppbyggda till material och mått och dessutom lika placerade i kalibreringsbadet eller metallblocket blir avvikelserna i termisk jämvikt likartade och därmed blir temperaturskillnaden ( $\Delta T$ ) mellan mätspetsarna minimal om än vid en något avvikande temperaturnivå. Ju fler fysiska olikheter mellan givarna desto större  $\Delta T$ . Se temperaturfördelningen i figur 2.

Olika insticksdjup kan på liknande sätt förorsaka olika temperaturer vid givarnas spetsar. Se figur 3.

På grund av värmeöverflödet ut ur kalibreringsugnen minskar temperaturen axiellt ju närmare givaringången man kommer. Fenomenet är inte särskilt uttalat i omrörda vätskebad medan blockugnar drabbas i större utsträckning.

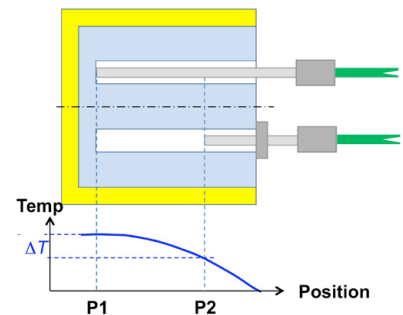
## Korrigerar för mätfel

Med kända avvikelser kan man korrigerar för kalibreringens mätfel och genom detta minska återstående mätosäkerhet. Kända avvikelser betyder att "någon", d v s tillverkare eller man själv har mätt upp blockkalibratorns temperaturfördelning axiellt och i sidled (radiellt) i blocket under specificerade belastningar. Se vidare [Ref 1]. Allmänt gäller att kalibrering med blockkalibratorer ger mätosäkerheter som bäst i nivå några tiondels grader vid låg temperatur. Hybrider med vatten eller olja i hälsens botten

förbättrar situationen. I högre temperaturer, upp mot 600 °C, kan mycket väl osäkerheten öka till helgradsnivå. Läs mer om blockkalibratorer i [Ref 2].

Kalibrering i vätskebad med vatten, spritblandat vatten eller olja ger betydligt bättre noggrannhet speciellt för vatten i området  $0 < T < 100$  °C. Under gynnsamma förhållanden i labbmiljö kan man komma ned i mK-nivå. Hundradels grader är något vanligare medan vanliga varmhållningsbad med cirkulation ofta kan uppnå tiondelar av en grad. De senare kan behöva förses med lock och/eller plastkylor på vattenytan för att minska avdunstning och värmeförluster. Läs mer om vätskebad i [Ref 3].

Ideala kalibreringar finns tyvärr inte. Däremot kan man reducera felkällorna genom att använda referensgivare som fysiskt är så lika mätobjekten som möjligt. Det gäller främst värmeöverflödet i axialled, som bland annat påverkas av skyddsrorets tvärsnittsarea, och värmetransporten radiellt in till sensordelen i mätspetsen.



Figur 3. Speciellt i blockugnar varierar temperaturen med insticksdjupet. Om referensgivaren känner botten temperaturen (P1) och mätobjektet är kort (P2) på grund av en fästdetalj, mäter de olika temperaturer, även om de båda givarna i övrigt är lika uppbyggda. Här kan man låta referensen också mäta vid insticksdjupet P2 och på så sätt minimera  $\Delta T$ .

- Referenser se [www.pentronic.se](http://www.pentronic.se) > Nyheter > Kundtidningen > Arkiv  
 [Ref 1] StoPextra 2009-1 Mätfel och mätosäkerhet  
 [Ref 2] StoPextra 2009-2 Blockkalibratorer  
 [Ref 3] StoPextra 2009-3 Vätskebad

Har du synpunkter eller frågor kontakta  
 Hans Wenegård: [hans.wenegard@pentronic.se](mailto:hans.wenegard@pentronic.se)