*Ursprungsartikel*

# Probens diameter påverkar mätvärdet

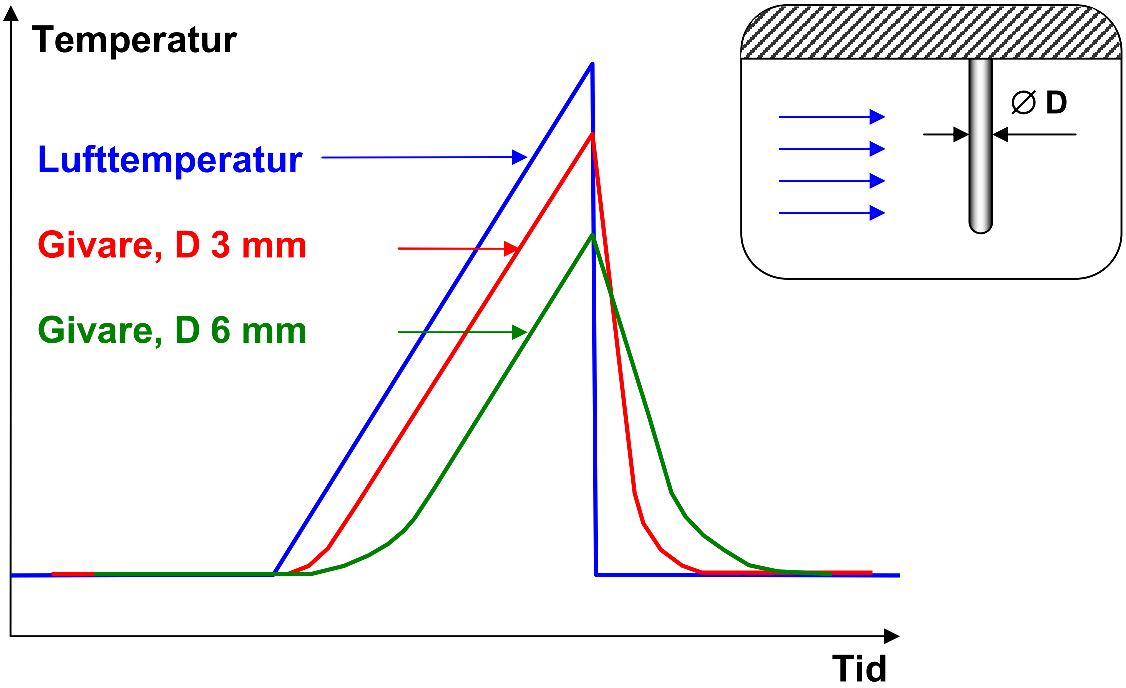
av professor Dan Loyd

**Fråga:** Vi mäter med relativt grova termoelement typ K i en luftkanal. Normalt använder vi manteltermoelement med ytterdiametern 6 mm. Med jämna mellanrum ökar luftströmmens temperatur från 50 $^oC$ till 150 $^oC$ under 3 minuter. Sedan återgår temperaturen momentant till 50 $^oC$. Om vi mäter med ett tunnare handhållet manteltermoelement får vi en snabbare respons, men även en högre maxtemperatur. Ett grövre termoelement borde vara slöare än ett tunnare, men varför påverkas maxvärdet? Kan skillnaden bero av att vi använder olika instrument för att registrera temperaturen?
*Per-Olov S*

**Svar**: När man mäter en temperatur som ändras i form av en ramp får man alltid en viss fördröjning, om man använder manteltermoelement som givare. Fördröjningen påverkas bland annat av givarens konstruktion, de ingående materialens termiska egenskaper och värmeövergångskoefficienten mellan den strömmande luften och givaren. Se figur. En mindre ytterdiameter hos givaren minskar fördröjningen och tvärtom. Se vidare [Ref 1].

Av figuren framgår också att den högsta uppmätta temperaturen blir lägre för den grövre givaren än för den tunnare. En förutsättning för denna slutsats är bland annat att de båda givarna omströmmas på samma sätt och att mätningen sker på samma plats i kanalen. Om man antar att lufthastigheten är 10 m/s kommer den grövre givaren att visa närmare 30 $^oC$ för låg temperatur efter 3 minuter. Motsvarande värde för en givare med diametern 3 mm är 10 $^oC$. Givarens diameter kommer på samma sätt att påverka beräkningen av medeltemperaturen. Om samma typ av mätningar skulle ske i vatten som strömmar med hastigheten 1 m/s blir mätfelet mindre än 1 $^oC$ för båda givarna.

Vid mätningen var den grövre givaren fäst i väggen och den andra handhållen, vilket kan ha påverkat mätningen även om den gjordes på samma sätt och på samma plats. För registrering av temperaturen användes olika typer av instrument. Även detta kan ha påverkat mätningen. I båda fallen är troligen inverkan av mindre betydelse i förhållande till inverkan av givarens ytterdiameter. Betydelsen av fördröjningen och det för låga mätvärdet är en annan intressant fråga. Något generellt svar på denna fråga finns tyvärr inte, utan det måste bedömas från fall till fall.




*Svar på ändring i lufttemperatur enligt sågtandsform samt givarinstallationen i luftkanalen.*

*[Ref 1] PentronicNytt 2012-1, sid 3 (Ingår i [Ref 2])*

*[Ref 2] (Se nedan) PentronicNytt 2012-1, utvidgad version*

*Utökad artikel:*

# Probens diameter påverkar mätvärdet - beräkningsmöjligheter

av professor Dan Loyd

**Allmänt om beräkning av temperaturavvikelsen**

För att bestämma temperaturavvikelsen kan man beräkna temperaturen i manteltermoelementet. I detta fall får man ett tredimensionellt tidsberoende värmeledningsproblem. För temperaturen, T, i ºC gäller T = T(t, x, y, z), där t är tiden i sekunder samt x, y och z cartesiska koordinater i meter. Vid beräkningen utgår man från värmeledningsekvationen med tillhörande randvillkor och begynnelsevillkor. Tyvärr finns det ingen analytisk lösning till det aktuella tredimensionella problemet, utan man måste använda någon lämplig numerisk metod. Här kan man med fördel använda finita elementmetoden, FEM.

Om värmeutbytet mellan givaren och väggen är försumbart kan man förenkla problemet och studera ett tvärsnitt av manteltermoelementet. Med detta antagande blir problemet tvådimensionellt, T = T(t, x, y), och därmed betydligt enklare än det tredimensionella problemet. Även i detta fall krävs emellertid en numerisk lösning av problemet.

Om temperaturdifferensen inom tvärsnittet av givaren är mycket mindre än temperaturdifferensen mellan givarens yta och den strömmande luften i kanalen kan problemet förenklas ytterligare. Försummar man temperaturdifferenserna inom givaren gäller för temperaturen T = T(t). För att lösa detta problem kan man nu utnyttja den så kallade ”klumpmetoden” (lumped-heat-capacity method) och man får då en första ordningens ordinär differentialekvation. I många tekniskt viktiga fall finns dessutom analytiska lösningar till problemet.

## Kan man använda ”klumpmetoden” i detta fall?

För att avgöra om metoden är tillämpbar kan man använda det så kallade Biot-talet, $Bi = \alpha L/\lambda$, där $\alpha$, W/(m$^2$ K), är värmeövergångskoefficienten mellan givaren och den strömmande luften i kanalen, L är en karakteristisk längd i meter och $\lambda$, W/(m K), är värmekonduktiviteten i givaren. För en mycket lång cylinder är L = D/4, där D är cylinderdiametern i meter.

Biot-talet är ett mått på förhållandet mellan temperaturdifferensen inom givaren och temperaturdifferensen mellan givaren och den strömmande luften i kanalen. ”Klumpmetoden” kan användas om Biot-talet är litet. För Bi < 0.1 ger ”klumpmetoden” i regel acceptabla resultat för ingenjörsmässiga tillämpningar.

Om givarens ytterdiameter är 6 mm blir den karakteristiska längden L = D/4 = 0.0015 m. Med lufthastigheten 10 m/s kan värmeövergångskoefficienten uppskattas till 125 W/(m$^2$ K), om givaren betraktas som en lång cylinder. Motsvarande värde för givaren med diametern 3 mm är 180 W/(m$^2$ K). För beräkningarna behövs fysikaliska data för den strömmande luften. Värdena bestäms för medeltemperaturen, (50 + 150)/2 = 100 °C.

Mantelmaterialet antas vara av inconel och manteltjockleken 10 % av ytterdiametern. Trådarnas tjocklek antas vara 20 % av ytterdiametern och isolermaterialet är hårt packad magnesiumoxid. För givaren gäller att värmekonduktiviteten är 28 W/(m K), vilket är ett medelvärde för de material som ingår i givaren. Biot-talet blir då mindre än 0.01 för båda givarna och ”klumpmetoden” kan användas.

Man måste dock alltid vara medveten om att beräkningsmetoden är approximativ och att den bygger på ett antal antaganden. På samma sätt bygger bestämningen av värmekonduktiviteten och värmeövergångskoefficienten på ett antal antaganden.

### Beräkning av sensortemperaturen

Med hjälp av ”klumpmetoden” kan man nu bestämma givartemperaturen som funktion av tiden, när kanaltemperaturen ändras i form av en ramp. Den analytiska lösningen presenterades och diskuterades i [Ref 2], avsnitt "Beräkning av mätfelet".

### Beräkning av mätfelet

Efter insvängningsförloppet kommer givaren att visa en temperatur som är konstant $\Delta T$ ºC lägre än lufttemperaturen i kanalen.

$$\Delta T = (\rho c D B)/(4a)$$

där, $\rho$ är givarens densitet i kg/m3 och c dess specifika värmekapacitet i Ws/(kg K). I båda fallen måste man använda medelvärden för de material som ingår i givaren. Här används $\rho$ = 5750 kg/m$^3$ och c = 790 Ws/(kg K). B en koefficient som karakteriserar rampens utseende och anges i ºC/s. Här gäller B = (150 – 50)/180 = 0.56 ºC/s.

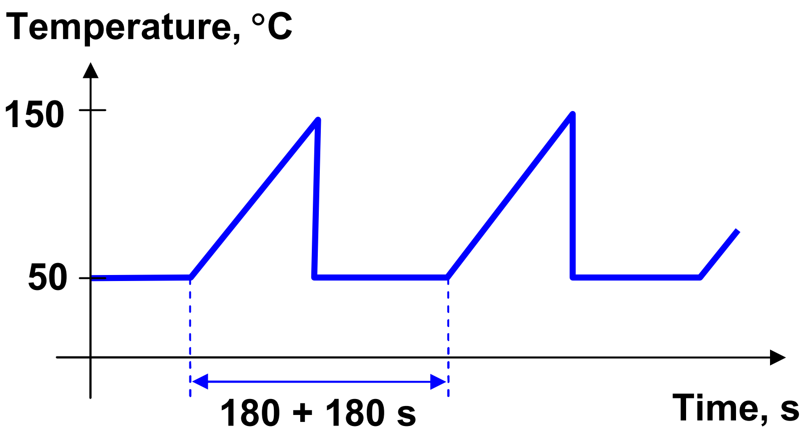
För givaren med ytterdiametern 6 mm blir ΔT ungefär 30 ºC och för givaren med ytterdiametern 3 mm blir ΔT 10 ºC. Av uttrycket för ΔT framgår att avvikelsen är direkt proportionell mot givarens diameter D. En mindre givardiameter ökar dessutom värmeövergångskoefficienten a, vilket ytterligare reducerar avvikelsen ΔT. Beräkningen är som tidigare påpekats approximativ och den bygger på ett antal antaganden, vilket gör att resultatet måste användas med försiktighet.

**Kanalväggens inverkan på mätresultatet**

Vid beräkningen har värmeutbytet mellan väggen och givaren försummats. Vid exempelvis korta instick och givare med stor ytterdiameter bör man inte göra detta antagande, utan värmeflödet bör inkluderas i beräkningen. Förutom värmeledning i givaren påverkas givartemperaturen av strålningen mellan väggen och givaren. Om värmnings- och avkylningsförloppet upprepas ett antal gånger kommer kanalväggens temperatur att öka kontinuerligt, vilket ytterligare komplicerar beräkningen.

**Beräkning av medelvärde för temperaturen i kanalen**

Om man beräknar ett medelvärde för temperaturen i kanalen kom-mer även detta värde att vara beroende av givarens diameter. En givare med stor diameter ger ett lägre medelvärde än en givare med mindre diameter. Olika typer av medelvärden kan användas. Om man beräknar RMS-värdet för uppvärmning + avsvalning, 3 minuter + 3 minuter, blir medeltemperaturen 83 ºC för givaren med ytterdiametern 6 mm och 88 ºC för givaren med diametern 3 mm. Om det vore möjligt att bortse från mätfel skulle RMS-värdet bli 91 ºC.




*Lufttemperatur som funktion av tid.*

Skillnaden mellan de båda termoelementen blir mindre för medelvärdet än för den maximala temperaturen. Detta gäller även avvikelsen från de ideala värdena. Om mätfelen kan betraktas som acceptabla är som tidigare påpekats en fråga som får bedömas från fall till fall. Det är därför omöjligt att ge ett generellt svar på denna mycket relevanta fråga. Det som i hög grad påverkar svaret är vad man skall använda den uppmätta temperaturen till.