



Ursprunglig artikel ur PentronicNytt 2012-1:

Mätfel vid rampning

av professor Dan Loyd

FRÅGA: Vi mäter temperaturen i ett grovt rör med hjälp av en Pt100-givare, som sitter i en dykficka. Rørets innerdiameter är 200 mm, dykfickans ytterdiameter 10 mm och längd 100 mm. I røret strömmar förorenad luft och lufttemperaturen ändras med jämna mellanrum långsamt mellan två nivåer, 30 °C och 180 °C. Varje ändring tar ungefär 20 minuter. När vi mäter utan dykficka med enbart mätinsatsen (ytterdiameter 6 mm) får vi samma temperatur som med dykfickan vid de två nivåerna, men en avvikelse när lufttemperaturen ändras. Är det ett mätfel eller finns det någon annan förklaring?

Andreas B

SVAR: Ett mätfel är mindre troligt i det här fallet. Det beskrivna fenomenet är nämligen ett exempel på den temperaturdifferens som man kan få när man mäter en temperatur som ändras i form av en ramp – se figur 1. När lufttemperaturen ändras mäter givaren i fickan lufttemperaturen med en viss eftersläpning. Temperaturavvikelsen blir sedan konstant under en viss tid. Om värmeflödet från dykfickan till rørets omgivning är försumbart ansluter den uppmätta temperaturen till den konstanta övre temperaturnivån. Avvikelsen, ΔT , beror bland annat av dykfickans och Pt100-givarens geometri, deras fysikaliska egenskaper samt värmeövergångskoefficienten mellan luften och dykfickan. Avvikelsen ökar med dykfickans ytterdiameter och minskar när värmeövergångs-koefficienten ökar.

Vid mätningen med enbart den jämförelsevis tunna givaren ($D = 6$ mm) blir ΔT mindre än med givaren i dykfickan ($D = 10$ mm). Värmeövergångskoefficienten vid den tunna mätinsatsen är dessutom större än vid dykfickan, vilket ytterligare minskar ΔT . I båda mätningarna får man under en viss tid en konstant avvikelse ΔT , men den är olika. Denna jämförelse bygger bland annat på att mätinsatsen och dykfickan omströmmas på samma sätt.

Om den aktuella dykfickan är av standardtyp ("DIN, form B") kan den konstanta avvikelsen uppskattas till 13 °C, om lufthastigheten är 10 m/s. Betydelsen av avvikelsen måste bedömas från fall till fall.



Utökad artikel:

Mätfel vid rampning

av Professor Dan Loyd

Beräkningar av temperaturavvikelsen

En beräkning av temperaturavvikelsen kan göras genom att studera temperaturen i dykfickan och Pt100-givaren, vilket är ett tredimensionellt instationärt värmeledningsproblem. För temperaturen, T , i °C gäller $T = T(t, x, y, z)$, där t är tiden i sekunder, x , y och z cartesiska koordinater i meter. För beräkningen används värmeledningsekvationen med tillhörande randvillkor och begynnelsevillkor. Tyvärr existerar det ingen generell analytisk lösning till detta tredimensionella problem utan man måste använda någon lämplig numerisk metod. I detta fall kan man med fördel använda finita elementmetoden, FEM.

Mätningarna med två olika givarinstallationer ger samma värde för de konstanta temperaturnivåerna. Detta indikerar att värmeflödet i axialled (z -led) i dykfickan och givaren samt vidare till/från röret och dess omgivning är försumbart. Om det axiella värmeflödet i dykfickan och givaren kan försummas räcker det med att studera ett tvärsnitt, vilket gör att problemet blir tvådimensionellt, $T = T(t, x, y)$, och därmed enklare än det tredimensionella problemet. Även i detta fall krävs tyvärr en numerisk lösning av problemet.

Om temperaturdifferensen inom tvärsnittet av dykfickan och givaren är avsevärt mindre än temperaturdifferensen mellan dykfickans yta och den strömmande luften i röret kan problemet förenklas ytterligare. Försummas temperaturdifferenserna inom dykfickan och givaren gäller för temperaturen $T = T(t)$. För att lösa problemet kan man nu utnyttja den så kallade klumpmetoden (lumped-heat-capacity method) och man får då en första ordningens differentialekvation. I många tekniskt viktiga fall finns dessutom en analytisk lösning på problemet.

"Klumpmetoden"

För att avgöra om klumpmetoden är tillämpbar kan man använda det så kallade Biot-talet, $Bi = \alpha L/\lambda$ där α [$W/(m^2 K)$] är värmeövergångskoefficienten mellan dykfickan och den strömmande luften i röret, L är en karakteristisk längd i meter och λ [$W/(m K)$] är värmekonduktiviteten i dykfickan och givaren. För en lång cylinder är $L = D/4$, där D är cylinderdiametern i meter. Biot-talet är ett mått på förhållandet mellan temperaturdifferensen inom tvärsnittet och temperaturdifferensen mellan dykfickans yta och den strömmande luften i röret. Klumpmetoden kan användas om Biot-talet är litet. För $Bi < 0.1$ ger metoden i regel acceptabla resultat.

Dyckfickans ytterdiameter är 10 mm, vilket ger $L = 0.0025$ m. Med lufthastigheten 10 m/s blir värmeövergångskoefficienten $95 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ om dyckfickan betraktas som en lång cylinder. För bestämning av luftens fysikaliska data bör man använda medeltemperaturen $(30 + 180)/2 = 105 \text{ °C}$. Om man antar att dyckficka och givare i huvudsak består av rostfritt stål gäller $\lambda = 15 \text{ W}/(\text{m K})$. Biot-talet blir då 0.015 och klumpmetoden kan användas. Man måste dock alltid vara medveten om att klumpmetoden är approximativ och att den bygger på ett antal förutsättningar.

Ekvation för beräkning av sensortemperaturen

Dyckfickan betraktas som en lång cylinder. Om vi antar att klumpmetoden gäller kan man med de aktuella antagandena bestämma sensortemperaturen ur differentialekvationen

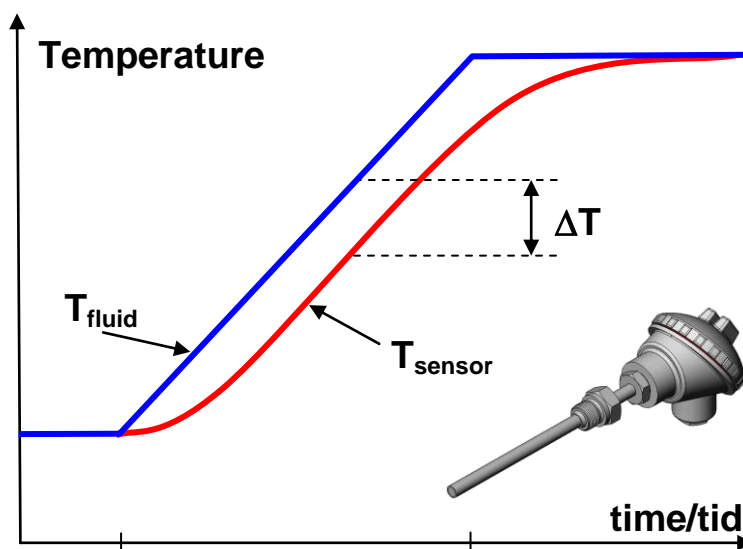
$$dT/dt + (4\alpha/pcD)T = (4\alpha/pcD)T_{\text{fluid}}$$

där, ρ är densiteten i kg/m^3 och c specifika värmekapaciteten i $\text{J}/(\text{kg K})$. Såväl densiteten som den specifika värmekapaciteten varierar inom cylindern, som består av dyckficka och givare. Detta gör att man måste använda medelvärden. Lufttemperaturen i röret ändras i form av en ramp

$$T_{\text{fluid}} = T_0 + Bt$$

där, T_0 är lufttemperaturen vid tiden $t = 0$ och B en koefficient som karakteriserar rampens utseende och anges i $^\circ\text{C}/\text{sekund}$. Begynnelsevillkoret som krävs för ekvationslösningen är $T = T_0$, dvs cylindertemperaturen är lika med lufttemperaturen vid tiden $t = 0$.

Figur 1.
Avvikelsen, ΔT , ökar huvudsakligen med dyckfickans ytterdiameter och minskar när värmeövergångskoefficienten ökar. Ju snabbare lufttemperaturen ändras desto större blir avvikelsen ΔT .



Med de införda förutsättningarna får differentialekvationen den analytiska lösningen

$$T = T_0 + Bt - (\rho c D B)/(4\alpha) + (\rho c D B)/(4\alpha) e^{-(4\alpha t)/(\rho c D)}$$

Lösningen gäller så länge lufttemperaturen i röret ändras i form av en ramp. I detta fall gäller $0 < t < 1200$ sekunder.

Den sista termen i ekvationslösningen representerar det insvängningsförlopp som startar vid tiden $t = 0$. Den näst sista termen är den konstanta avvikelsen ΔT , som man får efter insvängningsförloppet. Se vidare figur 1.

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

Man kan notera att avvikelsen ΔT ökar med dykfickans ytterdiameter D och minskar med värmeövergångskoefficienten α . Ju snabbare lufttemperaturen ändras (större B) desto större blir avvikelsen ΔT .

Bestämning av sensortemperaturen

För det aktuella fallet gäller $B = (180 - 30)/1200 = 0.125$ °C/s. För cylindern använder vi värden för rostfritt stål; $\rho = 7900$ kg/m³ och $c = 480$ J/(kg K). Med dessa värden får man $\Delta T = 13$ °C. Insvängningsförloppet tar drygt 7 minuter.

Det bör än en gång påpekas att beräkningsmetoden är approximativ och att den bygger på ett antal förutsättningar. Resultatet ger ändå god information om mätmetoden och de parametrar som påverkar avvikelsen ΔT . Om man önskar en noggrannare beräkning måste man studera det två- eller tredimensionella problemet och använda en lämplig numerisk metod.

Acceptabel temperaturavvikelse

Den maximala avvikelsen mellan lufttemperatur och sensortemperatur är i detta fall ungefär 13 °C. Detta värde är nästan 9 % av differensen mellan de båda temperaturnivåerna 30 °C och 180 °C. Om det primära intresset för temperaturmätningen avser de två temperaturnivåerna kan man kanske acceptera avvikelsen som endast berör den del av förloppet då temperaturen ändras mellan de två nivåerna.

Om man däremot vill ha kontroll över hela temperaturförloppet är en avvikelse på 13 °C knappast acceptabel. För att minska den avvikelse som alltid uppstår vid mätning med denna typ av utrustning kan man till exempel använda en dykficka med mindre ytterdiameter. Man kan också installera en givare som är speciellt utformad för att ge så liten avvikelse som möjligt mellan fluidtemperatur och sensortemperatur vid dynamiska förlopp.

*Har du synpunkter eller frågor, kontakta professor
Dan Loyd, LiTH, på E-post: dan.loyd@liu.se*