



## Ursprungsartikel

# Kan man använda ett termoelement som flödesmätare?

av professor emeritus Dan Loyd

**FRÅGA:** Vi har ett luftintag som består av ett långt rör med innerdiametern 200 mm och vid inloppet sitter ett galler. Ungefär 300 mm från gallret mäter vi temperaturen i centrum av röret med ett manteltermoelement med diametern 4 mm. När anläggningen är i drift värms röret upp och efter någon timme får det en temperatur på ungefär 50 °C. Luftflödet i röret är cirka 600 m<sup>3</sup> per timme, men det kan också under någon halvtimme vara 500 eller 700 m<sup>3</sup> per timme. Det verkar som om termoelementets temperatur ändras lite, när luftflödet ändras. Utomhustemperaturen är hela tiden densamma. Finns det någon mätteknisk förklaring till den lilla temperaturändringen eller är det en tillfällighet?

Kevin O

**SVAR:** Luftflödet är konstant under längre perioder och vi kan därför nöja oss med att betrakta ett stationärt förlopp, där lufthastigheten i röret är konstant. Utomhustemperaturen är konstant och vi förutsätter att termoelementet är kalibrerat och rätt installerat. Om röret har samma temperatur som den insugna luften kommer termoelementet att mäta lufttemperaturen. Lufthastigheten har i detta fall ingen inverkan på den temperatur som man mäter.

Vi förutsätter nu att röret har en högre tempertur än luften i luftintaget. Den temperatur som termoelementet mäter kommer nu att påverkas dels av strålning från den varma röväggen till termoelementet dels av värmeledning i själva termoelementet orsakad av dess infästning i det varma röret. Termoelementets temperatur till följd av strålning och värmeledning från röret blir då högre än lufttemperaturen och värme kommer att avges till luften genom konvektion. När värmeflödet till termoelementet blir lika med värmeflödet från termoelementet uppstår ett jämviktssläge och därmed en jämviktstemperatur.

Vi antar nu att röret och gallret har en konstant temperatur,  $T_{\text{rör}}$ , luftens temperatur är  $T_{\text{luft}}$  och termoelementets temperaturen  $T_{\text{mät}}$ . Samtliga temperaturer måste anges i Kelvin. Vi försummar nu värmeledningen genom ledning till termoelementet och antar att det har en konstant temperatur.

Värmeledningen  $Q$  W från termoelementet till luften kan skrivas

$$Q = A \alpha (T_{\text{mät}} - T_{\text{luft}}) = \varepsilon \sigma A (T_{\text{rör}}^4 - T_{\text{mät}}^4)$$



**PENTRONIC**

Bergsliden 1, SE-593 96 Västervik, Sweden  
Tel. +46 490-25 85 00, Fax. +46 490-237 66  
info@pentronic.se, www.pentronic.se

där,  $A$  är termoelementets värmeöverförande area i  $m^2$ ,  $\alpha$  värmeövergångskoefficienten i  $W/(m^2K)$ ,  $\varepsilon$  resulterande emissionskoefficienten och  $\sigma$  Stefan-Boltzmanns konstant,  $5.67 \cdot 10^{-8} W/(m^2K^4)$ .

Termoelementets temperatur (jämviktstemperaturen) är något högre än gastemperaturen, men den är lägre än röväggens temperatur. Om luftflödet och därmed lufthastigheten ökar kommer värmeövergångskoefficienten  $\alpha$  mellan termoelementet och luften att öka. Detta innebär att termoelementets temperatur sjunker något. Om luftflödet minskar kommer värmeövergångskoefficienten att minska, vilket betyder att termoelementets temperatur ökar något.

När röret och luften har olika temperatur påverkas den uppmätta temperaturen av luftflödet. Termoelementet blir en typ av flödesmätare. Med de låga temperaturer som gäller i detta fall kommer tyvärr temperaturändringen att bli mycket liten,  $0.1 - 0.2$  °C. Vidare finns det många felkällor som gör att mätresultatet kan bli mycket svårtolkat. Se vidare Teknikartiklar/Read-More, där problemet diskuteras ytterligare.

*Utökad artikel:*

## Uppskattning av temperaturer och temperaturdifferenser

Vi förutsätter att termoelementet är kalibrerat och rätt installerat. När röret och luften har samma temperatur kommer termoelementet att mäta denna temperatur. Luftflöde har ingen inverkan på den uppmätta temperaturen. Om rörets temperatur är högre än lufttemperaturen beror däremot termoelementets temperatur av luftflödet. Om luftflödet ökar kommer den uppmätta temperaturen att minska och tvärtom. Hur sambandet mellan temperatur och luftflöde ser ut kräver att man räknar igenom det aktuella fallet.

Vi förutsätter att termoelementet med diametern 4 mm är monterat vinkelrätt röväggen och att rörets och gallrets temperatur är konstant 50 °C. Röret har innerdiametern  $D = 0.2$  m, lufttemperaturen i röret 15 °C och luftflödet 600  $m^3$  per timme. Under vissa längre perioder är luftflödet 500 eller 700  $m^3$  per timme. Vi försummar värmeledningen genom ledning från röväggen till termoelementet och antar att hela termoelementets temperatur,  $T_{mät}$ , är konstant.

Den uppmätta temperaturen kan enligt tidigare beräknas ur sambandet

$$Q = A \alpha (T_{mät} - T_{luft}) = \varepsilon \sigma A (T_{rör}^4 - T_{mät}^4)$$

För att bestämma värmeövergångskoefficienten  $\alpha$  betraktar vi termoelementet som en vinkelrätt anströmmad cylinder med diametern  $d$  och hastigheten  $w$ . I detta fall kan vi använda följande samband för beräkning av värmeövergångskoefficienten  $\alpha$ . (Se vidare till exempel [www.pentronic.se](http://www.pentronic.se) > Nyheter > Teknikartiklar > Repetitionskurs i värmeöverföring)



**PENTRONIC**

Bergsliden 1, SE-593 96 Västervik, Sweden  
Tel. +46 490-25 85 00, Fax. +46 490-237 66  
info@pentronic.se, www.pentronic.se

$$\text{Nu} = (\alpha d)/\lambda = C \text{Re}^m$$

$$\text{Re} = (wd)/\nu$$

där, Nu är det dimensionslösa Nusselts tal, Re det dimensionslösa Reynolds tal,  $\lambda$  luftens värmekonduktivitet i W/(m K) och  $\nu$  luftens kinematiska viskositet i m<sup>2</sup>/s. C och m är koefficienter som beror av Re.

För medelhastigheten w i röret vid luftflödet 600 m<sup>3</sup> per timme och rördiametern D = 0.2 m gäller enligt kontinuitetsekvationen  $w = (600/3600)/(\pi D^2/4) = 5.31$  m/s. Med kinematiska viskositeten  $\nu = \nu(15^\circ\text{C}) = 14.8 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s blir Reynolds tal, Re

$$\text{Re} = (wd)/\nu = 1435$$

För detta Reynoldstal gäller koefficienterna C = 0.583 och m = 0.471. Nusselts tal kan nu beräknas

$$\text{Nu} = 0.583 \text{Re}^{0.471} = 17.88$$

Med luftens värmekonduktivitet  $\lambda = \lambda(15^\circ\text{C}) = 0.0251$  W/(m K) kan vi nu beräkna värmeövergångskoefficienten,  $\alpha$

$$\alpha = (\text{Nu} \lambda)/d = 112 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$$

Sambandet som används för att beräkna Nusselts tal är ett av de samband som man finner i litteraturen. Andra samband ger ungefär samma värde på värmeövergångskoefficienten. Den temperatur,  $T_{\text{mät}}$ , som termoelementet mäter kan bestämmas ur sambandet

$$\alpha (T_{\text{mät}} - T_{\text{luft}}) = \varepsilon \sigma (T_{\text{rör}}^4 - T_{\text{mät}}^4)$$

Den resulterande emissionskoefficienten,  $\varepsilon$ , kan uppskattas till 0.7 för ett termoelement som har varit i drift under en tid. Med rörets temperatur  $T_{\text{rör}} = 50 + 273 = 323$  K, luftens temperatur  $T_{\text{luft}} = 15 + 273 = 288$  K och Stefan-Boltzmanns konstant  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$  W/(m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>) blir sambandet

$$112 (T_{\text{mät}} - 288) = 0.7 (5.67 \cdot 10^{-8}) (323^4 - T_{\text{mät}}^4)$$

Denna fjärdegradsekvation kan till exempel lösas genom passningsräkning eller med en lämplig ekvationslösare. Man finner

$$T_{\text{mät}} = 289.4 \text{ K} = 16.4^\circ\text{C}$$

Termoelementet mäter en temperatur som är 1.4 °C högre än lufttemperaturen. Om detta är ett acceptabelt mätfel eller inte måste avgöras från fall till fall. När man startar anläggningen mäter termoelementet lufttemperaturen 15 °C och röret börjar värmas upp. Efter uppvärmningen får röret temperaturen 50 °C och termoelementet mäter temperaturen 16.4 °C istället för 15 °C. Om den uppmätta temperaturen skall användas för att styra processen måste man bland annat ta hänsyn till denna tidsberoende temperaturökning – ett mätfel.



Om luftflödet är 500 m<sup>3</sup> per timme ( $w = 4.42$  m/s) ger motsvarande beräkning  $T_{\text{mät}} = 16.5$  °C och för 700 m<sup>3</sup> per timme ( $w = 6.19$  m/s) blir  $T_{\text{mät}} = 16.3$  °C. När luftflödet varierar mellan 500 och 700 m<sup>3</sup> per timme varierar den uppmätta temperaturen mellan 16.5 och 16.3 °C. Variationen är mycket liten och det finns tyvärr många felkällor. En variation av lufttemperaturen skulle till exempel kunna ge en likartad variation av den uppmätta temperaturen.

Den lilla temperaturändringen – 0.2 °C – beror huvudsakligen av att skillnaden mellan rörets och luftens temperatur är liten. Om rörets temperatur skulle vara 200 °C istället för 50 °C kommer den uppmätta temperaturen att variera mellan 31.0 °C och 28.7 °C, när luftflödet ändras från 500 till 700 m<sup>3</sup> per timme. Temperaturändringen är nu 2.3 °C istället för 0.2 °C.

I detta speciella fall är det möjligt att bestämma luftflödet genom att mäta temperaturen. Metoden är inte speciellt noggrann och det finns tyvärr gott om felkällor, som gör att mätresultatet kan bli mycket svårtolkat. En ändring av rörets temperatur och/eller lufttemperaturen skulle till exempel kunna ge samma temperaturändring som en ändring av luftflödet.

