



Ursprunglig artikel ur PentronicNytt 2015-1:

Mätfel vid temperaturökning i ett gasflöde 1

av professor Dan Loyd, Linköpings Universitet

FRÅGA: I en av våra processutrustningar med en mycket svår mätmiljö kontrollerar vi gastemperaturen under drift med ett manteltermoelement i ett yttre skyddsror. Gasens hastighet är låg och medelhastigheten är ungefär 2.8 m/s där vi mäter gastemperaturen. Yttre skyddsroret har ytterdiametern 12 mm och längden 250 mm. Under startförloppet ökar temperaturen under 20 minuter till driftstemperaturen som är drygt 600 °C. Gasen är i huvudsak luft under uppstarten. Är det skyddsrorets ytterdiameter som har störst inverkan på mätfelet?

Joakim J

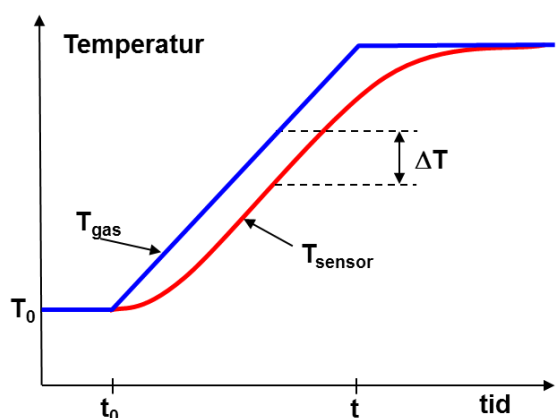
SVAR: I figur 1 visas hur uppmätt temperatur och mätfel i princip varierar under ett startförlopp, där gastemperaturen ändras i form av en ramp. Mätfelet och svarstiden påverkas i huvudsak av temperaturgivarens konstruktion och strömningen runt givaren. Om vi antar att temperaturredifferenserna inom skyddsroret och manteltermoelementet försummas kan mätfelet ΔT approximativt erhållas ur sambandet

$$\Delta T = (cmB) / (A\alpha) \quad (1)$$

där, c är specifika värmekapaciteten i $(Ws)/(kgK)$, m massan i kg , B gasens temperaturändring i $^{\circ}C/s$, A skyddsrorets värmeöverförande area i m^2 och α värmeövergångskoefficienten mellan gas och skyddsror i $W/(m^2K)$. Värmekapaciteten är ett medelvärde för skyddsroret och manteltermoelementet. Både massan och arean beror av diametern. Värmeövergångskoefficienten beror av strömningshastigheten men även av diametern. Sambandet (1) kan efter förenkling skrivas

$$\Delta T = (cpDB) / (4\alpha) \quad (2)$$

där, D är diametern i m . Densiteten ρ kg/m^3 är ett medelvärde för skyddsror och manteltermoelement.



Om endast skyddsrorets ytterdiameter D minskas från 12 till 10 mm, minskar mätfelet ΔT enligt sambandet (2) till $10/12$ (83 %) av det ursprungliga mätfelet. I verkligheten blir mätfelet ännu mindre, 75 %, eftersom värmeövergångskoefficienten ökar när diametern minskar.

Figur 1. Gastemperatur och sensortemperatur när gastemperaturen ändras i form av en ramp.

2015-02-27



Utökad artikel:

Mätfel vid temperaturökning i ett gasflöde 2

av professor Dan Loyd, Linköpings Universitet

Beräkning av värmeövergångskoefficienten mellan gas och skyddsror

Skyddsroret kan betraktas som en mycket lång vinkelrätt anströmmad cylinder med en viss diameter. Värmeövergångskoefficienten, α W/(m²K), beror bland annat av diametern D i m, anströmnings-hastigheten w i m/s, och fluidens fysikaliska egenskaper. Värmeövergångskoefficienten α beräknas med hjälp av det dimensionslösa Nusselts tal, Nu

$$\text{Nu} = (\alpha D)/\lambda \quad (3)$$

där, λ är fluidens värmekonduktivitet i W/(m K). Fluiden kan vara en gas eller vätska. I det fall som studeras här förutsätts gasen vara luft. Vid påtvingad konvektion är Nusselts tal en funktion av de två dimensionslösa talen Reynolds tal, Re, och Prandtls tal, Pr

$$\text{Nu} = f(\text{Re}, \text{Pr}) \quad (4)$$

$$\text{Re} = (wD)/\nu \quad (5)$$

där, ν är fluidens kinematiska viskositet i m²/s. Prandtls tal är en ämneskoefficient som enbart beror av fluidens fysikaliska egenskaper. Allmänt gäller att de fysikaliska egenskaperna är beroende av temperaturen, T °C. För den omströmmade cylindern kan man för Nu använda sambandet

$$\text{Nu} = 0.43 + C \text{Pr}^{1/3} \text{Re}^n \quad (6)$$

C och n är koefficienter, som beror av värdet på Reynolds tal.

Med diametern D = 0.012 m, anströmningshastigheten w = 2.8 m/s och kinematiska viskositeten för luft $\nu = \nu(300 \text{ °C}) = 48.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ blir Re = 693 enligt (5). För $1 < \text{Re} < 4000$ gäller koefficienterna C = 0.53 och n = 0.5. Med Pr = Pr(300 °C) = 0.69 kan man nu beräkna Nusselts tal enligt (6). Man finner Nu = 12.8.

Med värmekonduktiviteten för luft $\lambda = \lambda(300 \text{ °C}) = 0.0454 \text{ W}/(\text{m K})$ blir värmeövergångs-koefficienten $\alpha = 48.2 \approx 48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ enligt (1). Motsvarande beräkningar för diametern D = 0.010 m ger $\alpha = 53 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Luftens fysikaliska egenskaper beror av temperaturen, vilket gör att även värmeövergångs-koefficienten beror av temperaturen. För en cylinder med diametern 0.012 m och fluid-temperaturen 20 °C blir värmeövergångskoefficienten $\alpha = 48.3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. För fluidtemperaturen 600 °C blir $\alpha = 47.7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Vid 300 °C gäller enligt tidigare $\alpha = 48.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. I detta fall är värmeövergångskoefficientens beroende av temperaturen litet. I andra fall kan

2015-02-27

värmeövergångskoefficienten vara kraftigt temperaturberoende, vilket gör att man alltid bör kontrollera inverkan av temperaturen.

Sambandet (6) är ett av de samband för en omströmmad cylinder som finns i litteraturen. De olika sambanden brukar dock ge ungefär samma värden för värmeövergångskoefficienten. Skillnaden beror bland annat på att man har använt något olika förutsättningar vid de experiment som ligger till grund för sambanden. Ett betydligt större problem är den skillnad som finns mellan de förutsättningar som gäller för sambandet (6) och de förutsättningar som gäller för en verklig installation av temperaturgivaren. Framräknade värden måste därför alltid användas med försiktighet och omdöme.

Inverkan av variabel strömningshastighet

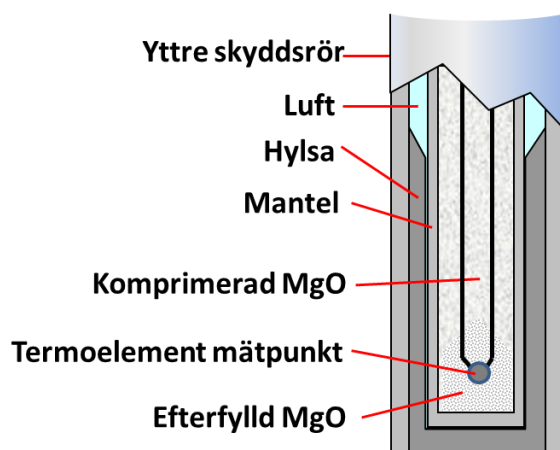
Tyvärr vet man sällan vilken strömning som egentligen råder runt givarens yttre skyddsrör, eftersom det ofta förekommer områden (stråk), där hastigheten kan vara lägre eller högre än medelhastigheten. Beroende på i vilket hastighetsområde som givarens spets befinner sig kan mätfelet bli större eller mindre än det fel som gäller för medelhastigheten.

Om skyddsröret med diametern 12 mm befinner sig i ett område där hastigheten är dubbelt så stor (5.6 m/s) som medelhastigheten (2.8 m/s) ökar värmeövergångskoefficienten från värdet 48 W/(m²K) till 68 W/(m²K). Sambandet mellan hastigheten och värmeövergångskoefficienten är inte linjärt. När hastigheten ökar till det dubbla minskar mätfelet ΔT i det studerade fallet till 71 % av det mätfelet som gäller för medelhastigheten.

Om det inte går att mäta upp den aktuella strömningshastigheten kan man med försiktighet använda medelhastigheten, när man uppskattar mätfelet.

Termisk kontakt mellan manteltermoelement och skyddsrör

Beräkningen av mätfelet bygger på att det råder en mycket god kontakt mellan termoelementets mantel och skyddsröret. Detta kan erhållas med hjälp av en hylsa; se Figur 2. Hylsan gör att värmemotståndet blir lågt.



Figur 2. En metallhylsa förbättrar avsevärt värmeöverföringen till termoelementets trådar.

Om det istället för hylsa finns en luftspalt mellan skyddsrör och mantel ökar motståndet mot värmetransporten till mätpunkten, vilket gör att svarstiden ökar. Ju sämre kontakten är mellan skyddsröret och termoelementet desto längre blir svarstiden och desto större blir mätfelet.

Manteltermoelements utformning

Manteltermoelementets konstruktion påverkar också svarstiden. Om mätpunkten är isolerad från manteln kommer isoleringens värmemotstånd att påverka svarstiden; se Figur 2. Isoleringen är ofta magnesiumoxid som har låg elektrisk ledningsförmåga, men tyvärr har den också låg värmekonduktivitet och därmed stort värmemotstånd. Den låga värmekonduktiviteten försämrar värmeflödet mellan manteln och

mätpunkten och därmed ökar både svarstiden och mätfelet. Hårt packad magnesiumoxid minskar värmemotståndet.

Mätfel på grund av strålning till kalla väggar och värmeledning i skyddsror och mantel

Om det finns kalla delar av processutrustningen i närheten av skyddsroret kan värme stråla från skyddsroret till de kalla delarna. Detta gör att uppvärmningen av skyddsroret med manteltermoelementet går långsammare, vilket gör att både svarstiden och mätfelet ökar. Om infästningen är kallare än gasen kommer värme att transporteras genom värmeledning längs skyddsroret och manteltermoelementet till infästningen. Detta resulterar i att både svarstiden och mätfelet ökar. Hur stor inverkan blir måste avgöras från fall till fall.

Mätfelet efter startförloppet – några kommentarer

Efter startförloppet är gastemperaturen konstant och mätfelet minskar kraftigt – se Figur 1. Det kan dock fortfarande finnas ett mätfel orsakat av strålning till kalla partier av processutrustningen samt värmeledning i skyddsror och manteltermoelement till en kall infästning. Det senare värmeflödet är normalt försumbart. Om gastemperaturen varierar kring ett medelvärde påverkas mätsignalens amplitud och man får även en fasförskjutning.

Mer information om hur man kan beräkna mätfelet när fluidtemperaturen ändras i form av en ramp finns bland annat i [\[Ref 1\]](#).

Referenser

[\[Ref 1\]](#)

Se www.pentronic.se > Nyheter > Teknikartiklar > Exempel på värmeöverföring > Utgåva 2012-1 s3 (Mätfel vid temperatur-rampning av fluid)