

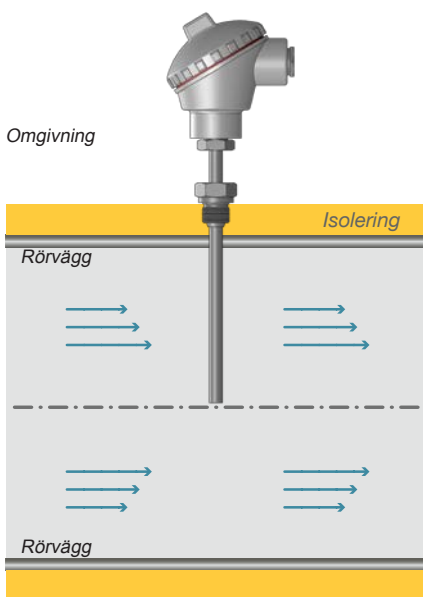


Värmeflöde i skyddsrör ger mätfel

Skyddsrörets inverkan på mätfelet

För att mäta temperaturen i vätskan vid rörströmning använder man för det mesta ett manteltermoelement eller en Pt100-givare i kombination med ett skyddsrör. Både termoelement och Pt100-givare är av typen anliggningsgivare och sådana givare mäter sin egen temperatur och absolut ingenting annat. Den i mät-punkten uppmätta temperaturen är därför mycket sällan den temperatur som du vill mäta – vätsketemperaturen – och differensen kan uppfattas som ett mätfel.

Ett exempel på en mätinstallation med insticksgivare visas i Figur 1 nedan.



Figur 1. Exempel på en mätinstallation med insticksgivare. Den strömmande vätskans temperatur förutsätts i detta fall vara högre än omgivningens temperatur.

Enligt förutsättningen för mätinstallationen i Figur 1 är vätskans temperatur högre än omgivningstemperaturen. Förloppet förutsätts också vara stationärt (tidsberoende). I normalfallet är röret isolerat, vilket begränsar värmeflödet från vätskan till omgivningen.

Med den aktuella förutsättningen finns alltid ett värmeflöde från vätskan till omgivningen via rörväggen och isoleringen. Röret får därmed en något lägre temperatur än vätskan. Det finns också ett värmeflöde från vätskan till rörväggen via skyddsröret med givaren. Detta innebär att givarens mät punkt kommer att mäta en temperatur som är något lägre än vätsketemperaturen men högre än rörväggens temperatur. I många fall är detta mätfel helt försumbart, men i en del fall är det tyvärr inte möjligt att bortse från mätfelet.

Mätsystemets uppdelning i fyra delsystem

Temperaturfältet i skyddsröret och givaren bestämmer temperaturen i givarens mät punkt. Den uppmätta temperaturen styrs av ett termiskt system bestående av fyra sammankopplade delsystem: det radiella värmeflödet i det isolerade röret, värmeflödet från vätskan till skyddsröret, värmetransporten i skyddsröret med givaren till rörväggen och värmeflödet från det isolerade röret till omgivningen.

Den uppmätta temperaturen påverkas av vad som händer i vart och ett av de fyra sammankopplade delsystemen. Differensen mellan vätskans temperatur och den uppmätta temperaturen är i detta fall mätfelet.

Det radiella värmeflödet i det isolerade röret från vätskan till omgivningen. Delsystem 1

Rörväggens temperatur är en viktig parameter vid beräkning av mätfelet, eftersom

skyddsröret och givaren är fästa i röret. Temperaturen hos rörväggen bestäms av det radiella värmeflödet från vätskan till omgivningen utanför det isolerade röret. Från vätskan till rörets insida sker värmetransporten genom påtvingad konvektion. I röret och isoleringen sker värmetransporten genom värmeledning. Från utsidan av det isolerade röret sker värmetransporten till omgivningen genom konvektion och strålning; Delsystem 4. Från den strömmande vätskan till rörväggen sker värmetransporten Q_1 genom påtvingad konvektion

$$Q_1 = \alpha_1 A (T_{\text{vätska}} - T_{\text{rörvägg}})$$

där, Q_1 är värmeflödet i W, α_1 värmeövergångskoefficienten i $W/(m^2K)$, A i m^2 arean på rörets insida, $T_{\text{vätska}}$ i $^{\circ}C$ vätskans temperatur och $T_{\text{rörvägg}}$ i $^{\circ}C$ rörväggens innetemperatur. Vätskans temperatur varierar såväl i radialled som i axialled, men vid överslagsberäkningar kan man använda vätskans medeltemperatur.

För att minska värmeförlusten från vätskan till omgivningen strävar man efter en effektiv isolering av röret. Det innebär att värmeflödet Q_1 från vätskan till omgivningen normalt är förhållandevis litet. I den strömmande vätskan är värmeövergångskoefficienten hög, vilket gör att i normalfallet är temperaturdifferensen mellan vätskan och rörväggen, $(T_{\text{vätska}} - T_{\text{rörvägg}})$, mycket liten.

Om strömningshastigheten ökar i röret ökar även värmeövergångskoefficienten och tvärtom. Vätskans hastighet varierar normalt såväl radiellt som axiellt, men vid överslagsberäkningar kan man använda vätskans medelhastighet.

Vid beräkning av värmetransporten Q_1 i det isolerade röret använder man en värmegenomgångskoefficient U i $W/(m^2K)$.

Värmeegenomgångskoefficienten bestäms av ingående materials egenskaper och dimensioner samt värmeöverföringen på rörets insida och isoleringens utsida. Se till exempel sambanden i referens Ref 1.

I de flesta fall är röret mycket väl isolerat och därmed värmeflödet litet. I normalfallet är också röret av stål, vars värmekonduktivitet är relativt hög. Detta gör att temperaturdifferensen mellan rörväggens in- och utsida ofta är försumbar.

Om rörväggen inuti röret av någon anledning skulle bli nedsmutsad fungerar smutslagret som en extra isolering och värmeflödet till omgivningen minskar. Det innebär också att rörväggens temperatur sjunker. Skyddsrörets och givarens infästning får därmed en lägre temperatur än den hade innan nedsmutsningen.

Värmetransporten från vätskan till skyddsröret med givaren. Delsystem 2

Från den strömmande vätskan till skyddsrörets utsida sker värmetransporten Q_2 genom påtvingad konvektion

$$Q_2 = \alpha_2 A (T_{\text{vätska}} - T_{\text{skyddsrör}})$$

där, Q_2 är värmeflödet i W, α_2 värmeövergångskoefficienten i $W/(m^2K)$, A i m^2 en area på skyddsrörets utsida, $T_{\text{vätska}}$ i $^{\circ}C$ vätskans temperatur och $T_{\text{skyddsrör}}$ i $^{\circ}C$ skyddsrörets yttemperatur. Både vätskans hastighet och temperatur varierar i normalfallet såväl radiellt som axiellt inuti röret, men vid överslagsberäkningar kan man använda medelhastigheten och medeltemperaturen.

Värmeövergångskoefficientens värde varierar både längs och runt om skyddsröret. För överslagsberäkningar kan man ofta använda en medelvärmeövergångskoefficient avseende hela skyddsröret. I det aktuella fallet gäller att medelvärmeövergångskoefficienten är mycket hög. Ju högre flödes hastigheten är i röret desto högre blir värmeövergångskoefficienten. Om man minskar skyddsrörets ytterdiameter ökar också värmeövergångskoefficienten och tvärt om.

Skyddsröret och givaren är fästa i rörväggen. I normalfallet är temperaturdifferensen mellan vätskan och rörväggen, $(T_{\text{vätska}} - T_{\text{rörvägg}})$, mycket liten. Värmeflödet från vätskan till rörväggen via skyddsröret med givaren är förhållandevis litet i normalfallet. Eftersom värmeövergångskoefficienten på skyddsrörets utsida

är mycket hög blir temperaturdifferensen mellan vätskan och skyddsröret liten.

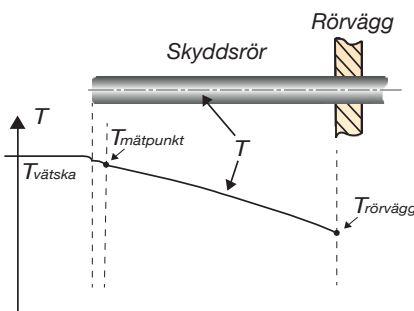
Beräkning av värmetransporten Q_2 till skyddsröret kan göras med hjälp av till exempel de samband som finns i referens Ref 2.

Temperaturfältet i givare och skyddsrör. Delsystem 3

Skyddsröret med givaren tillförs värme från vätskan genom påtvingad konvektion. Både hastigheten och temperaturen i vätskan varierar både längs och runt skyddsröret, vilket gör att även värmeövergångskoefficienten varierar. För överslagsberäkningar kan man ofta använda en medelvärmeövergångskoefficient.

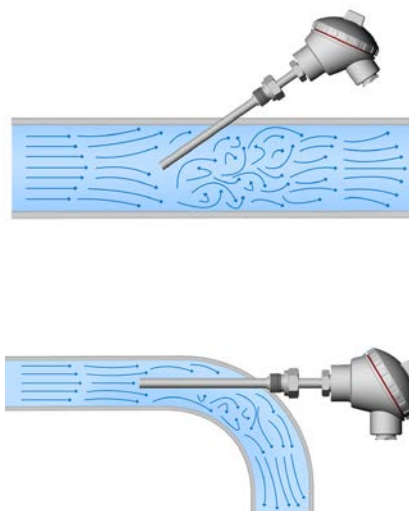
Värmeflödet och därmed temperaturfältet i skyddsröret med givaren påverkas av bland annat material och dimensioner hos skyddsröret och givaren. Andra parametrar som inverkar är randvillkoren: värmeflödet från vätskan till skyddsröret respektive temperaturen hos rörväggen vid infästningen av skyddsröret och givaren.

I skyddsröret med givaren finns ett värmeflöde till rörväggen. Enligt tidigare diskussion mäter givaren en temperatur som är något lägre än vätsketemperaturen men högre än rörväggens temperatur. Om vi bortser från temperaturvariationen tvärs skyddsröret med givaren ändras temperaturen i axialt enligt Figur 2.



Figur 2. Temperaturens ändring i centrum av skyddsröret med givaren.

Ju längre skyddsröret med givaren kan göras desto mindre blir differensen mellan vätsketemperaturen och temperaturen i mät punkten. Om man vill använda ett längre skyddsrör än rörets halva innerdiameter kan man montera skyddsröret snett eller också montera det i en krök på röret.



Om det är möjligt att minska skyddsrörets ytterdiameter så minskar även differensen mellan vätsketemperaturen och temperaturen i mät punkten. Av praktiska skäl kan man dock inte välja en för liten diameter på skyddsröret. Om man minskar skyddsrörets diameter ökar också värmeövergångskoefficienten på skyddsrörets utsida, vilket också bidrar till att minska differensen mellan vätsketemperaturen och temperaturen i mät punkten. I referens Ref 3 finns en utförligare diskussion om värmeflöde och temperaturfält i en mät installation med skyddsrör och givare.

Temperatur- och strömningsfältet i omgivningen. Delsystem 4

Värmeflödet till omgivningen från isoleringen styrs av ett konvektivt värmeflöde och strålning. För det konvektiva värmeflödet Q_{konv} i W gäller

$$Q_{\text{konv}} = \alpha_4 A (T_{\text{isolering}} - T_{\text{luft}})$$

där, α_4 är värmeövergångskoefficienten i $W/(m^2K)$, A i m^2 den värmeöverförande arean, $T_{\text{isolering}}$ isoleringens yttemperatur i $^{\circ}C$ och T_{luft} lufttemperaturen i $^{\circ}C$ i omgivningen. Om röret befinner sig inomhus gäller i de flesta fall naturlig konvektion. För överslagsräkningar kan man då använda ett värde på värmeövergångskoefficienten inom intervallet $4-8 W/(m^2K)$.

Värmeflödet genom strålning är betydligt mer komplicerat att bestämma än värmeflödet genom konvektion.



Här inverkar bland annat temperaturen på isoleringens utsida, temperaturen på väggar och föremål i omgivningen, ytornas strålningsegenskaper samt den aktuella geometrin.

I brist på bättre kan man ofta anta att väggar och föremål i omgivningen har samma temperatur som luften. Om man antar att det isolerade rörets area är liten i förhållande till rummets area kan man överslagsmässigt använda följande uttryck för att beräkna värmeflödet genom strålning från det isolerade röret till omgivningen

$$Q_{\text{strål}} = A \varepsilon C_s ((T_{\text{isolering}})^4 - (T_{\text{luft}})^4)$$

där, A i m^2 är det isolerade rörets värmeöverförande area, ε emissionsförhållandet, C_s strålningskoefficienten för en absolut svart kropp $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$, $T_{\text{isolering}}$ isoleringens ytemperatur i K och T_{luft} väggtemperatur i K i omgivningen. Isoleringens utsida förses ofta med en tunn aluminiumplåt, vilket gör att emissionskoefficienten ofta är låg från början; 0.1 – 0.2. Tyvärr blir ofta röret snabbt nedsmutsat, vilket gör att emissionskoefficienten ökar; 0.5 – 0.8. Uttrycket för strålningen bygger på ett stort antal approximationer.

Summan av värmeflödet genom konvektion och strålning på rörets utsida är lika med det värmeflöde som tillförs från vätskan på rörets insida.

Inverkan på mätfelet av värmeflödet i skyddsroret – en summering

Enligt förutsättningarna i det aktuella fallet är förloppet stationärt och vätske-temperaturen högre än omgivnings-temperaturen. Värmeflödet från vätskan till skyddsroret och vidare i skyddsroret med givaren till rörväggen innebär att temperaturen i givarens mätpunkt kommer att vara något lägre än vätske-temperaturen men högre än rörväggens temperatur.

Det finns ett stort antal parametrar i de fyra sammankopplade delsystemen som kan påverka värmeflödet och temperaturfältet i skyddsroret med givaren och därmed temperaturen i givarens mätpunkt. Om en parameter ändras i något av de fyra delsystemen innebär det också att värmetransporten i skyddsroret med givaren ändras, vilket i sin tur påverkar den uppmätta temperaturen och därmed mätfelet.

Ett exempel på en sådan förändring är om värmeflödet från vätskan till omgivningen skulle öka till följd av att isoleringen blir blöt. Värmeflödet till omgivningen ökar, rörväggens temperatur sjunker, värmeflödet i skyddsroret med givaren ökar, temperaturen i mätpunkten sjunker och mätfelet ökar. ■

”Den i mätpunkten uppmätta temperaturen är därför mycket sällan den temperatur som du vill mäta – vätske-temperaturen – och differensen kan uppfattas som ett mätfel.”

Dan Loyd



Dan Loyd,
Professor emeritus,
Linköpings Universitet
dan.loyd@liu.se

Ref 1. www.pentronic.se > Meny > Om temperatur > Arkiv för tekniktartiklar > Repetitionskurs i värmeöverföring > Uppskatta mätfelet. Konvektiv värmeöverföring (5)

Ref 2. www.pentronic.se > Meny > Om temperatur > Arkiv för tekniktartiklar > Repetitionskurs i värmeöverföring > Lättare att mäta i vatten än i luft (4)

Ref 3. www.pentronic.se > Meny > Om temperatur > Arkiv för tekniktartiklar > Egenskaper och felkällor hos manteltermoelement > Mätfel på grund av värmeledning i manteltermoelement