

Smuts, korrosion och glapp

– NÅGRA AV MÄTTEKNIKERNS FIENDER

Mätning av temperaturen hos strömmande vätskor i ett rörsystem brukar inte betraktas som något speciellt komplicerat problem, utan snarare tvärtom. I de fall som vätskan är mycket smutsig kan det emellertid bli besvärligt för mätteknikern. Om man dessutom befärar att det kan förekomma korrosion och/eller glapp i mätinstallationen, så kan det bli riktigt besvärligt. Vid mätning av temperaturen hos smutsiga vätskor gäller det att dels välja en lämplig givare dels placera givaren på en lämplig plats i rörsystemet.

I de flesta fall finns det tyvärr ingen "bästa mätinstallation", som gäller under alla förutsättningar. Däremot finns det nästan alltid en optimal installation som uppfyller vissa önskemål.

FÖR ATT DISKUTERA TEMPERATURMÄTNING av smutsiga vätskor betraktar vi ett specifikt mätproblem. Temperaturmätningen skall ske i närheten av en s-krök i ett rörsystem enligt *Figur 1* nedan.

Röret som är av rostfritt stål har ytterdiametern 70 mm och väggjockleken 3 mm. I röret strömmar vatten, som kan vara rent eller kraftigt nedsmutsat. Vattentemperaturen är omkring 60 °C, men den kan snabbt ändras till ungefär 75 °C för att sedan lika snabbt återgå till 60 °C. Trycket i ledningen är 0.8 MPa och flödet cirka 50 m³/timme, vilket ger en medelhastighet på 4.3 m/s. Rörsystemet befinner sig i en industrilokal med lufttemperaturen 15 °C och det kan vara mycket fuktigt i lokalen.

Smutsen i vätskan kommer att påverka både strömningen och värmeöverföringen i röret. Oavsett om givaren för mätning av vätskans temperatur finns inuti röret eller ligger utanpå röret så kommer smutsen inuti röret att påverka mätresultatet. Vi måste också kalkylera med att korrosion skulle kunna påverka mätinstallationen och att glapp kan förekomma vid vissa givarinstallationer.

Strömningen i röret är nästan alltid turbulent när det gäller industriella applikationer, vilket man kan bedöma med hjälp av det dimensionslösa Reynolds tal, Re

$$Re = (w D)/\nu$$

där, w är fluidens medelhastighet i m/s, D rörets innerdiameter i m och ν den kinematiska viskositeten hos fluiden i m²/s. Den kinematiska viskositeten för en viss fluid beror bland annat av

dess temperatur, T, i °C. För rent vatten gäller $\nu = \nu(T) = \nu(60^\circ\text{C}) = 0.477 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Reynolds tal blir $Re = 580\,000$.

För strömning i rör med cirkulärt tvärsnitt brukar man anse att

strömningen är turbulent om $Re > 2\,300$.

Strömningen i detta fall är utan tvekan turbulent. Strömningen i röret förutsätts vara fullt utbildad. Vid fullt utbildad turbulent strömning är hastighetsprofilen förhållandevis

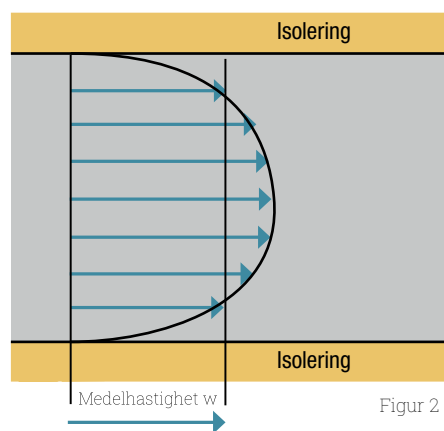
platt, vilket framgår av *Figur 2*. Medelhastigheten är då 82 % av den maximala hastigheten.

Den raka inloppssträcka som krävs innan strömningen blir fullt utbildad är förhållandevis lång. Vid turbulent strömning kan inloppssträckan i vissa fall uppgå till närmare 50 rördiametrar. I många industriella tillämpningar har man sällan så långa raksträckor.

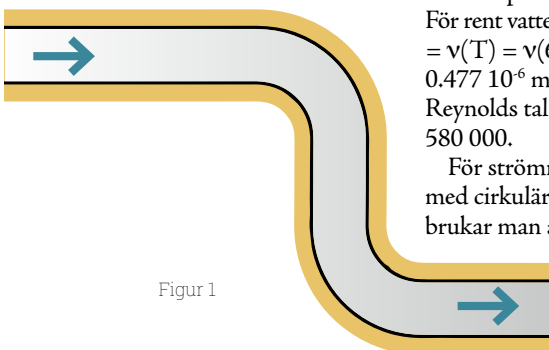
De raksträckor som enligt litteraturen krävs för att man skall nå fullt utbildad turbulent strömning grundas på experiment. I de flesta experimenten förutsätter man att det raka röret är anslutet till en stor behållare med stillastående fluid. I många industriella sammanhang kan man uppskatta inloppssträckan till 25 – 40 rördiametrar. Den stora variationen beror på att det är ett stort antal parametrar som påverkar inloppssträckans längd. Om vi antar att inloppssträckan är 40 rördiametrar blir inloppssträckan i detta fall 2,6 m.

I de flesta industriella tillämpningar kan man därför inte utgå från att strömningen är fullt utbildad. Man får acceptera denna osäkerhet beträffande hastighetsprofilens utseende. Vid beräkning av värmeöverföring och strömningssmotstånd vid givare måste man vara medveten om denna osäkerhet beträffande hastighetsprofilen i röret.

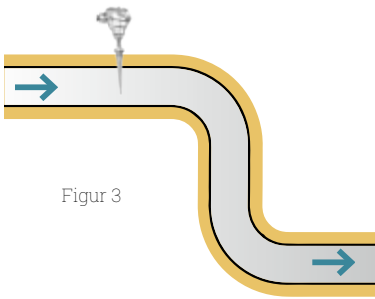
Jag kommer nu att diskutera användning av insticksgivare och anliggningsgivare uppströms respektive nedströms rörkröken. Jag kommer också att diskutera en insticksgivare som installeras i själva rörkröken.



Figur 2



Figur 1



Figur 3

Installation av en insticksgivare uppströms rörkröken

Vi börjar med att betrakta ett manteltermoelement som

finns i ett skyddsror uppströms rörkröken enligt Figur 3. Inledningsvis antar vi att vätskan är rent vatten.

I röret finns ett radiellt värmefflöde från vätskan med temperaturen 60 °C via rörväggen och isoleringen till rörets omgivning med temperaturen 15 °C. Det innebär att det finns en skillnad mellan vätsketemperaturen och rörväggens temperatur. Detta betyder i sin tur att man får ett värmefflöde längs skyddsroret och manteltermoelementet till rörväggen. Mätpunkten i termoelementet mäter därmed en temperatur, som är något lägre än vätsketemperaturen.

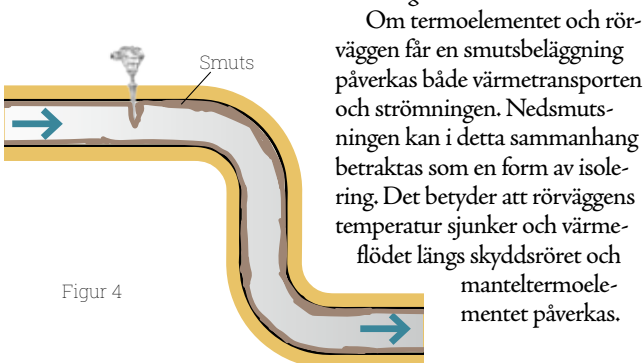
Om röret är välisolerat kommer värmefflödet från vätskan till omgivningen att vara mycket litet och temperaturdifferensen mellan vätskan och rörväggen blir också mycket liten. Det betyder att värmefflödet längs termoelementet till infästningen i rörväggen är mycket litet. Den temperatur som givaren mäter ligger därför obetydligt under vätsketemperaturen.

I vissa typer av installationer låter man röret vara oisolerat. Orsaken kan till exempel vara ett myndighetskrav. I sådana fall ökar värmefflödet från fluiden till omgivningen och därmed värmefflödet längs skyddsroret och termoelementet till väggen. Mätfelet ökar. Hur stort mätfelet blir beror bland annat av skyddsrorets respektive manteltermoelementets diameter och instickslängd, värmekonduktiviteten i skyddsroret och termoelementet, värmeövergångskoefficienten mellan vätskan och skyddsroret samt temperaturdifferensen mellan vätskan och rörväggen. Den senare temperaturdifferensen bestäms bland annat av värmeövergångskoefficienten mellan vätskan och rörväggen samt rörets och isoleringens dimensioner och termiska egenskaper.

Man kan uppskatta mätfelet till följd av det axiella värmefflödet i skyddsroret och manteltermoelementet till rörväggen. Se:

www.pentronic.se > Meny > Arkiv för teknikartiklar > Egenskaper och felkällor hos termoelement > Mätfel på grund av värmeledning i manteltermoelement

Vi betraktar nu fallet när fluiden är mycket smutsig och där både givaren och rörets insida har fått en tjock beläggning, vars värmekonduktivitet är lägre än rörväggens, skyddsrorets och termoelementets värmekonduktivitet. Se Figur 4.



Figur 4

Om termoelementet och rörväggen får en smutsbeläggning påverkas både värmetransporten och strömningen. Nedsmutsningen kan i detta sammanhang betraktas som en form av isolering. Det betyder att rörväggens temperatur sjunker och värmefflödet längs skyddsroret och manteltermoelementet påverkas.

Temperaturdifferensen mellan vätskan och mätpunkten i termoelementet ökar och därmed ökar mätfelet. Ju tjockare beläggningen blir desto större blir mätfelet. Smutsbeläggningen gör också att strömningsmotståndet i rörsystemet ökar.

Vid nedsmutsning påverkas värmefflödet i skyddsroret och manteltermoelementet till rörväggen. För beräkning av mätfelet: www.pentronic.se > Meny > Arkiv för teknikartiklar > Egenskaper och felkällor hos termoelement > Mätfel på grund av nedsmutsning

Värmeövergångskoefficienten mellan vätskan och skyddsroret minskar något när skyddsroret blir nedsmutsat.

Smutsbeläggningen kan här betraktas som en isolering, vilket gör att värmefflödet från fluiden till mätpunkten minskar jämfört med situationen utan smutsbeläggning. Vid en ändring av fluidtemperaturen kommer därför svarstiden att öka, när skyddsroret blir nedsmutsat. Ju tjockare beläggning desto längre blir svarstiden.

Installation av en anliggningsgivare uppströms rörkröken

Vi betraktar nu en anliggningsgivare som monteras uppströms rörkröken. Se Figur 5.

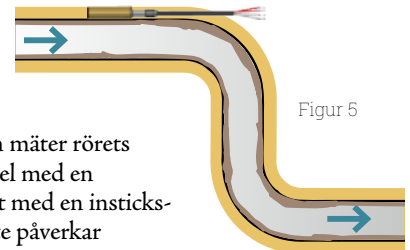
Det förutsätts att röret är isolerat och att givaren mäter rörets yttemperatur. En fördel med en anliggningsgivare jämfört med en insticksgivare är att den förre inte påverkar strömningen i rörsystemet. Vi förutsätter nu att vätskan är nedsmutsad.

I detta fall undviker man visserligen nedsmutsning av själva givaren, men smutsen kommer ändå att påverka den temperatur som man mäter. Ju tjockare smutsskiktet blir på insidan av röret desto lägre blir värmefflödet till omgivningen. Smutsskiktet kan uppfattas som en form av isolering inuti röret.

Temperaturdifferensen mellan vätskan och rörväggen ökar. Anliggningsgivaren mäter rörets yttemperatur, vilket innebär att mätfelet ökar. Temperaturdifferensen mellan rörets insida och utsida är även i detta fall mycket liten.

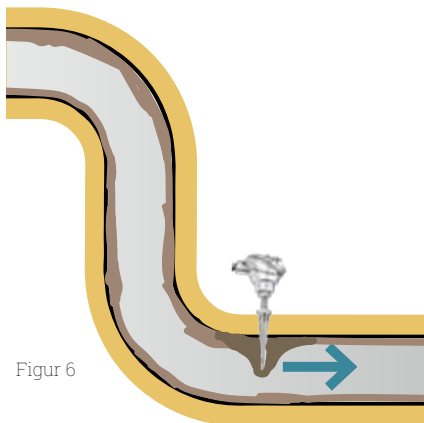
Om röret skulle vara oisolerat får det en lägre temperatur än ett isolerat rör och därmed blir mätfelet större. När man använder en anliggningsgivare är det mycket viktigt att givaren har god kontakt med röret och man bör använda kontaktpasta för att försäkra sig om god kontakt.

Tyvärr kan det ibland uppstå korrosion mellan givaren och röret, vilket ger en temperaturdifferens mellan röret och givaren – mätfelet ökar. Korrosion byggs ofta upp långsamt och kan därför vara svår att upptäcka. Man bör därför regelbundet kontrollera mätinstallationen och försäkra sig om att anliggningsgivaren har god kontakt med röret. Om röret är isolerat blir inspektionen mer komplicerad, men den måste ändå genomföras. Efter inspektionen skall isoleringen återställas, men det är tyvärr lätt att man i en stressad situation missar det. Detta leder till att man får en onödig ökning av mätfelet.



Figur 5

Normalt skall det inte förekomma något glapp mellan givaren och röret. Om det skulle uppstå ett glapp ökar mätfelet dramatiskt. Om mätfelet blir mycket stort brukar det å andra sidan vara lätt att upptäcka att det är något fel på mätinstallationen. Svarstiden påverkas av värmeflödet till röret och rörets termiska egenskaper. Smutsbeläggningen fungerar som en form av isolering, vilken minskar värmeflödet till röret och svarstiden blir längre. Ju tjockare smutsskikt desto längre blir svarstiden.



Figur 6

dessutom en ansamling av smuts i avlösningsområdet. Om man installerar en givare i avlösningsområdet kan det bli problem. Se Figur 6.

Den låga hastigheten begränsar värmeflödet till väggen i avlösningsområdet och temperatur-differensen mellan fluiden och väggen ökar. I detta fall måste man förutom det radiella värmeflödet i röret ta hänsyn till det axiella värmeflödet längs röret, när man bestämmer rörets temperatur för att kunna beräkna storleken på mätfelet. En låg hastighet runt skyddsroret minskar också det konvektiva värmeflödet till skyddsroret och manteltermoelementet. Nedsmutsningen kommer därför att öka mätfelet.

Den låga hastigheten i avlösningsområdet gör att vätske-temperaturen i detta område anpassar sig förhållandevis långsamt till temperaturen i huvudströmningen, om temperaturen där ändras. Värmeövergångskoefficienten mellan vätskan i avlösningsområdet och skyddsroret minskar också till följd av den låga strömningshastigheten – värmeflödet till mätpunkten minskar. Sammantaget innebär detta att svarstiden ökar.

En installation av en insticksgivare i avlösningsområdet ökar både mätfelet och förlänger svarstiden jämfört en installation utanför området. Nedsmutsningen har dessutom en negativ inverkan på både på mätvärdet och på svarstiden jämfört med situationen vid en ren vätska. Om det är möjligt bör man undvika en mätinstallation i avlösningsområdet.

Installation av anliggningsgivare nedströms rörkröken

Om man installerar en anliggningsgivare vid avlösningsområdet nedströms rörkröken får man i stort sett samma nackdelar, som när man placerar en insticksgivare i avlösningsområdet. Mätfelet ökar och svarstiden förlängs. Även i detta fall har nedsmutsningen en negativ inverkan på både på mätvärdet och på svarstiden. Om det är möjligt bör man undvika en sådan installation.

Installation av en insticksgivare i rörkröken

I Figur 7 har givaren placerats i själva rörkröken och den smala spetsen på givaren ligger parallellt med strömningen uppströms kröken. I detta fall blir själva mätspetsen något mindre belagd av smuts och mätfelet blir därmed mindre.

Mätfelet blir visserligen mindre, men monteringen i rörkröken kan emellertid vara mer komplicerad än vid de tidigare installationerna. Man kan också få kraftiga beläggningar vid infästningen av givaren, vilket också påverkar strömningen i röret och ökar strömningssmotståndet.

Ett långt instick och en smal givare minskar värmeflödet till rörväggen vilket gör att skyddsroresförlusten minskar. Givaren måste konstrueras så att den tål förväntade påkänningar från strömningen, vilket ställer krav på bland annat givarens diameter och längd. Mättekniskt är denna lösning ofta att föredra. I många fall blir dock en installation i kröken besvärlig att utföra och den orsakar liksom alla insticksgivare ett ökat tryckfall. Det ökade tryckfallet kräver i sin tur extra pumpeffekt

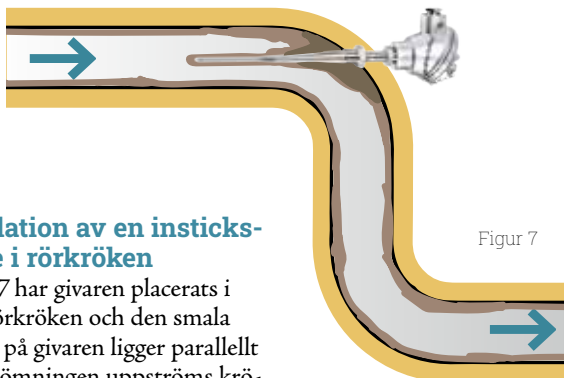
Givarplacering – en sammanfattning

Man bör om möjligt undvika att installera givarna vid avlösningsområdet nedströms rörkröken. Det gäller både insticksgivare och anliggningsgivare. I vissa fall kan man dock vara tvingad att installera en givare i detta område. Man måste då vara uppmärksam på de mätfel och ökade svarstider som är kopplade till en sådan installation.

Frågan om man skall välja en insticksgivare eller anliggningsgivare har tyvärr inget generellt svar. Båda givartyperna har sina fördelar och nackdelar. Man bör välja den givartyp som ger flest fördelar med hänsyn till aktuella förutsättningar.

En givarinstallation i rörkröken och där givaren är parallell med röret uppströms kröken har många fördelar, men också en del nackdelar. Ett långt instick och en smal givarspets minskar inverkan av nedsmutsning och ger ett litet mätfel och en kort svarstid. En nackdel är att installationen är förhållandevis komplicerad. Andra nackdelar är att strömningssmotståndet ökar och att smutsen kan ansamlas vid infästningen i väggen.

Alla mätinstallationer har som nämnts ovan både fördelar och nackdelar. Det finns tyvärr ingen "bästa mätinstallation", som gäller generellt för alla typer av förutsättningar. Däremot kan man nästan alltid finna en optimal installation med hänsyn till vissa förutsättningar. Exempel på sådana förutsättningar är minsta mätfel, kortaste svarstid och minsta strömningssmotstånd. ■



Figur 7

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

