Beräkna svarstid för andra förutsättningar?

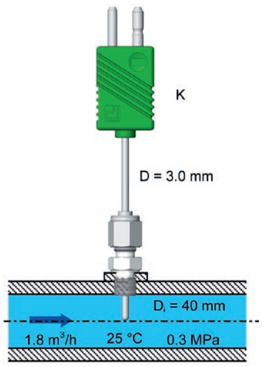
I datablad anges ofta svarstid eller tidskon¬stant med mer eller mindre tydliga förutsätt¬ningar. Är det möjligt att enkelt beräkna nya svarstider när förutsättningarna ändras? Här förklarar professor Dan Loyd teorin. Vi återkommer med praktiska exempel.

För att bestämma den nya svarstiden måste man i många fall göra en ny mätning. Med ett antal förenklingar kan vi ibland approximativt uppskatta den nya svarstiden utgående från den tidigare mätningen. Sensortemperaturen påverkas bl a av strömningen runt givaren, givarens konstruktiva utformning och dess infästning i rörväggen. Temperaturen inom givaren varierar med såväl läget som tiden. Det man vill mäta är fluidtemperaturen, T_{fluid}, men systemet visar temperaturen i mätpunkten med en viss tidsfördröjning.

Om vi (a) försummar värmeutbytet med termoelementets infästning i rörväggen och (b) antar att temperaturen inom givaren, T °C, endast beror av tiden t i sekunder, kan vi betrakta installationen som ett första ordningens mätsystem. Givarens temperatur, T(t), styrs då av differentialekvationen

$$dT/dt + (\alpha A/\rho V c_p) T = (\alpha A/\rho V c_p) T_{fluid}$$

där, α är värmeövergångskoefficienten i W/m^{2}K, A givarens värmeöverförande yta i m^2,



Figur 1. Temperaturmätning i rör med termoelement typ K med isolerad mätpunkt. Svarstiden har uppmätts till t_{50} = 0,51 s. Efter ombyggnad ändras förutsättningarna: Flöde 0,9 m^3/h, vattentemperatur 40 °C och tryck 0,2 MPa. Kan den nya svarstiden enkelt beräknas?

V volymen i m^3, ρ densiteten i kg/m^3 och c_p den specifika värmekapaciteten i J/kg K. Fluidens temperatur, T_{fluid}, varierar normalt med tiden. Våra antaganden gör att vi måste använda medelvärden för värmeövergångskoefficienten samt densiteten och specifika värmekapaciteten hos givaren. Antagandet (b) om givartemperaturen, T(t), kräver att temperaturdifferensen inom givaren måste vara liten i förhållande till temperaturdifferensen mellan fluiden och givarens yta, när det sker en temperaturändring i fluiden.

Tidskonstant och svarstid

Med våra antaganden kan vi nu beräkna mätsystemets tidskonstant, $\tau = (\rho V c_p)/(\alpha A)$ Vid en stegvis temperaturändring är tidskonstanten den tid som det tar för ett (första ordningens) system att uppnå 63% av temperaturändringen, vilket motsvarar (1 – 1/e) av ändringen. För en given installation beror tidskonstanten av värdet på värmeövergångskoefficienten. Ju mindre värdet är på koefficienten desto längre blir tidskonstanten. En givare ”på lagerhyllan” saknar tidskonstant, men en installerad givare med en viss värmeövergångskoefficient kan däremot ha en tidskonstant.

Den principiella skillnaden mellan teoretiskt och verkligt mätsystem framgår av figur 2. Skillnaden orsakas bl a av antagandena (a) och (b) till ekvation (1).

Ändrade förutsättningar

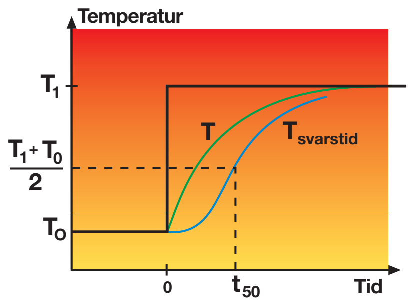
I uttrycket för tidskonstanten påverkas endast värmeövergångskoefficienten, när flödet i röret ändras. Se figur 1. Värmeövergångskoefficienten beror i sin tur av både strömningshastigheten och fluidtemperaturen. Tryckets inverkan på värmeövergångskoefficienten är i de flesta fall försumbar, när det gäller vätskor. Temperaturens inverkan på givarens densitet, specifika värmekapacitet och geometri är också helt försumbar. Termoelementet kan approximeras med en mycket lång cylinder, som omströmmas med konstant hastighet. Flera olika uttryck för värmeövergångskoefficienten för detta strömningsfall finns i litteraturen; [Ref 1]. Beroende på vilket samband man utnyttjar får man olika värden på koefficienten.

Tidskonstanten för det ursprungliga strömningsfallet antas vara τ sekunder. Efter ändringarna minskar värmeövergångskoefficienten från 7300 W/m^{2}K till 5600 W/m^{2}K och tidskonstanten ökar i motsvarande grad (τ 7300/5600). Om vi antar att svarstiden ökar på samma sätt som tidskonstanten blir den nya svarstiden ungefär 0,7 sekunder. Denna uppskattning bygger emellertid på ett stort antal antaganden, vilket gör att resultatet måste användas med mycket stor försiktighet. Antagandet (b) är i det här fallet en grov approximation. För att vara på den säkra sidan bör man mäta upp svarstiden efter ändringarna.

Ändring av fluiden

Om man i det aktuella fallet skulle byta ut vattnet mot någon annan fluid, exempelvis luft, kan man använda samma teknik som ovan för att uppskatta den nya svarstiden. Förutsättningen är liksom tidigare att både den ursprungliga och nya mätutrustningen skall kunna betraktas som första ordningens mätsystem. Vid byte från vätska till gas brukar detta gälla i de flesta fall. Den omvända situationen – från gas till vätska – är mer komplicerad och det krävs en noggrann kontroll av om det nya systemet med vätska kan betraktas som ett första ordningens mätsystem.

[Ref 1]: Se t ex Repetitionskurs i värmeöverföring, StoPextra 1998-6 sidan 4.



Figur 2. Temperaturen T för ett första ordningens mätsystem och $T_{svarstid}$ för ett verkligt system vid en stegvis ändring av fluidtemperaturen.

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