

 **READ MORE**

Ursprungsartikel PentronicNytt 2021-3 (utökad artikel - markerad text)

Svarstid

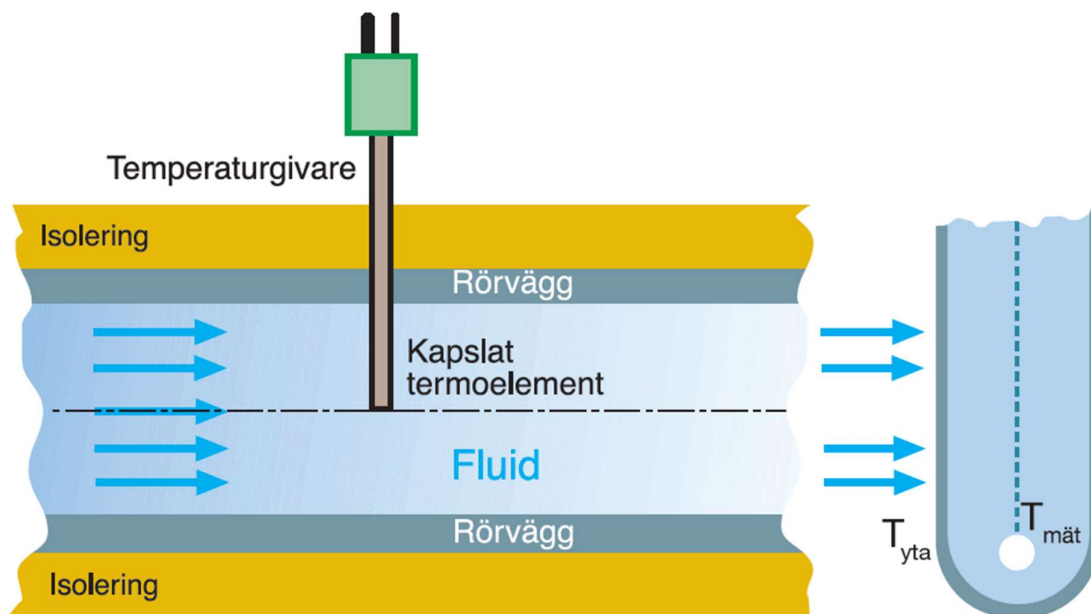
av professor emeritus Dan Loyd

FRÅGA: Vi använder manteltermoelement för att mäta i både vatten och luft. Vilka faktorer påverkar svarstiden och hur kan vi minska den?

Per G

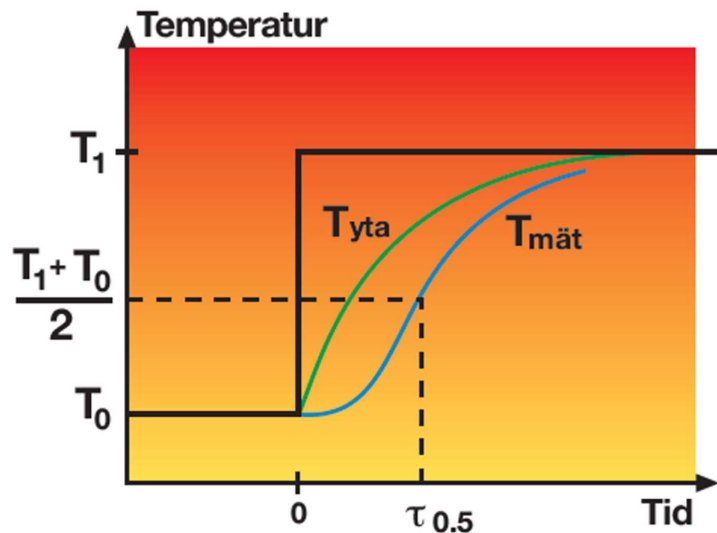
SVAR: Begreppet svarstid är ett mått som kan användas för att bedöma ett mätsystems tröghet. För att reda ut vilka faktorer som påverkar svarstiden betraktar vi som exempel ett manteltermoelement av typ K i Figur 1. Fluiden kan vara en gas eller en vätska eller en blandning av gas och vätska.

Figur 1.



För en stegvis ändring av fluidtemperaturen är svarstiden, τ sekunder, den tid det tar för mät-punkten att uppnå en viss del av temperatursteget, ΔT °C. Med exempelvis svarstiden $\tau_{0.5}$ menas den tid det tar att uppnå 50 % av ΔT . I Figur 2 visas hur manteltermoelementets yttemperatur, T_{yta} °C, och mätpunktens temperatur, $T_{mät}$ °C, ändras med tiden t i sekunder vid en stegvis ändring av fluidtemperaturen från T_0 °C till T_1 °C; $\Delta T = T_1 - T_0$. Differensen mellan yttemperaturen och temperaturen i mätpunkten minskar med tiden. I figuren visas också svarstiden $\tau_{0.5}$.

Figur 2.



Storleken på differensen mellan termoelementets yttemperatur och temperaturen i mätpunkten beror dels av värmeflödet från fluiden till termoelementet dels av egenskaperna (densitet, specifik värmekapacitet och värmekonduktivitet) hos de material som ingår i termoelementet. Ju högre värmeflöde desto större blir temperaturdifferensen. Vid mätning i vätskor blir differensen större än vid mätning i gaser.

Svarstiden bestäms dels av själva termoelementet dels av värmeflödet till termoelementet. Det är alltså först när termoelementet är installerat i ett visst mätsystem som man kan tala om dess svarstid. I den fortsatta diskussionen bortser vi först från ett eventuellt värmeutbyte mellan termoelementet och rörväggen.

När fluidtemperaturen ändras stegvis från T_0 °C till T_1 °C blir **värmeflödet från fluiden till termoelementet Q W**

$$Q = \alpha A (T_1 - T_{yta})$$

där, α är värmeövergångskoefficienten i $W/(m^2K)$, A den värmeöverförande arean hos termoelementet i m^2 och T_{yta} termoelementets yttemperatur i °C. Från början är yttemperaturen lika med begynnelsestemperaturen T_0 , men yttemperaturen ökar när

termoelementet värms upp. Detta betyder också att värmeflödet Q från fluiden till termoelementet minskar med tiden.

Värmeövergångskoefficienten beror bland annat av den aktuella geometrin, typ av fluid, fluidens hastighet, fluidens temperatur och termoelementets yttemperatur. Värmeövergångskoefficienten är betydligt högre i vätskor än i gaser och koefficienten ökar med fluidens hastighet. I detta fall gäller också att ju mindre diameter manteltermoelementet har desto högre blir värmeövergångskoefficienten och därmed också värmeflödet Q .

Några exempel: För ett manteltermoelement med diametern 4 mm, som omströmmas av vatten med hastigheten 3 m/s och temperaturen 30 °C, är värmeövergångskoefficienten cirka 19 900 W/(m²K). Om termoelementet befinner sig i luft med samma temperatur och samma strömningshastighet blir värmeövergångskoefficienten cirka 90 W/(m²K).

Om fluidtemperaturen skulle vara 60 °C i stället för 30 °C blir värmeövergångskoefficienterna till 24100 W/(m²K) respektive 90 W/(m²K). Om fluidens hastighet ändras från 3 m/s till 6 m/s vid temperaturen 30 °C ändras värmeövergångskoefficienterna till 30 300 W/(m²K) respektive 120 W/(m²K). Beräkning av värmeövergångskoefficienter bygger alltid på ett antal förutsättningar. Andra förutsättningar ger något annorlunda värden, men storleksordningen är densamma.

Vid **uppvärmning av manteltermoelementet** från T_0 °C till T °C måste termoelementet tillföras energin E Ws (Joule)

$$E = \rho V c_p (T - T_0)$$

där, ρ är termoelementets densitet i kg/m³, V volymen i m³ och c_p specifika värmekapaciteten i (Ws)/(kg K). För volymen gäller $V = (\pi D^2/4) L$, där D är termoelementets diameter i m och L dess längd i m. Termoelementet består av flera material, vilket innebär att både ρ och c_p i uttrycket för E är medelvärden. Temperaturen varierar inom termoelementet och T är en medeltemperatur. Ju mindre diameter D desto mindre energi E krävs för uppvärmning och desto snabbare sker uppvärmningen. Värmeflödet från fluiden till termoelementet är Q W och under tiden Δt tillförs energin $E = Q \Delta t$.

För att få **så kort svarstid som möjligt** skall vi därför ha så ett stort värmeflöde Q som möjligt från fluiden till termoelementet och uppvärmningen av termoelementet skall också kräva så lite energi E som möjligt. Om vi ser på värmeflödet så är valmöjligheterna tyvärr begränsade. För en viss installation gäller normalt att såväl fluiden som dess hastighet är givna. Det vi kan påverka är termoelementets diameter D och här gäller att ju mindre diameter desto större värmeflöde. Om vi ser på den energi E som krävs för uppvärmning så skall den vara så liten som möjligt. Den parameter som vi kan påverka är diametern D . Ju mindre diameter desto mindre energi E måste tillföras. Mindre energi $E = Q \Delta t$ betyder att kortare tid Δt krävs för uppvärmning – svarstiden minskar när diametern minskar. För den aktuella installationen är svarstiden $\tau_{0,5}$ mindre än en sekund vid mätning i vatten och cirka en halv minut i luft.

Sammanfattningsvis gäller för en viss installation att ju mindre diameter termoelementet har desto kortare blir svarstiden. Övriga parametrar såsom typ av fluid, fluidens hastighet och termoelementets konstruktion kan vi normalt inte påverka. Hur liten diameter som man kan tillåta beror bland annat av installationstekniska krav och krav på hållfasthet. En möjlighet är att använda ett termoelement med reducerad mätpets. Installationen bör också utformas så att man får ett så litet värmeflöde som möjligt mellan termoelementet och rörväggen. Ett termoelement som mäter i en vätska har alltid en annan svarstid vid mätning i en gas även om fluidens hastighet är densamma.