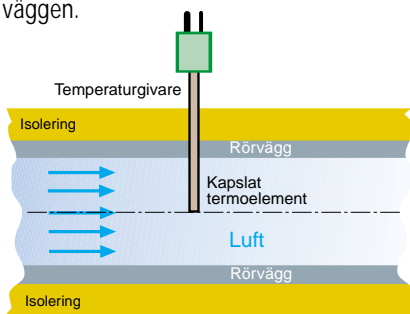


# Dynamiska mätfel (2)

I den förra artikeln om dynamiska mätfel (StoPextra 6/99) diskuterade vi de mätfel som kan uppstå, när kapslade termoelement används för att mäta temperaturer som varierar med tiden. Vi skall nu uppskatta trögheten hos kapslade termoelement, införa begreppet tidskonstant och visa hur man kan beräkna mättelets variation med tiden.

## Förutsättningar

Inledningsvis studerar vi samma mätsituation som i den förra artikeln; se figur 1. Den strömmande luftens temperatur är från början  $T_0$  (°C). Vi antar att lufttemperaturen är konstant tvärs röret och vi bortser från värmeutbytet mellan termoelementet och rörväggen.



Figur 1. Kapslat termoelement för mätning av temperaturen i ett rör med strömmande luft, vars temperatur ökar momentant från  $T_0$  till  $T_F$ .

## Uppskattning av termoelementets tröghet

Temperaturvariationen inom olika delar av ett kapslat termoelement är vanligen liten och i många fall kan man bortse ifrån den. Se vidare föregående artikel i StoPextra 6/99,

där denna typ av fel diskuteras. Även om felet är litet bör man ändå om möjligt ansluta lödstället (sensorn) till kapseln för att minimera det fel som uppstår inom själva termoelementet. I många fall vill man dock undvika en elektriskt ledande förbindelse mellan lödställe och kapsel. En sådan konstruktion innebär emellertid att man måste acceptera denna typ av "interna" fel.

Vi antar nu att temperaturvariationen inom kapseln är liten. Denna förutsättning tillsammans med tidigare antaganden innebär att termoelementets temperatur kan beräknas med hjälp av differentialekvationen (3) nedan.

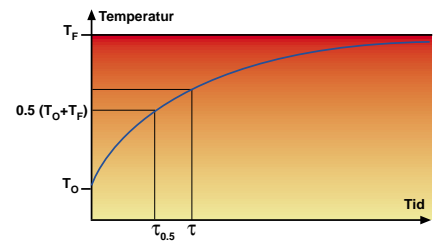
Den tid det tar för termoelementet att uppnå 63% av temperaturdifferensen ( $T_F - T_0$ ) är ett mått - en tidskonstant - som kan användas för att bedöma termoelementets tröghet. För tidskonstanten,  $\tau$  (s), gäller i detta fall

$$\tau = c_p \rho V / \alpha A \quad (1)$$

där,  $V$  (m<sup>3</sup>) är termoelementets volym och  $A$  (m<sup>2</sup>) termoelementets area. Termoelementet har ytterdiametern  $D$  (m), densiteten  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) och specifika värmekapaciteten  $c_p$  (Ws/kg K). Värmeövergångskoefficienten mellan luft och termoelement är  $\alpha$  (W/m<sup>2</sup> K). Om man vid areaberäkningen försummar termoelementets ändyta innebär detta att termoelementets längd saknar betydelse. Med denna förutsättning blir uttrycket för tidskonstanten

$$\tau = c_p \rho D / 4 \alpha \quad (2)$$

Den tid det tar för termoelementet att uppnå halva temperaturdifferensen, 0,5 ( $T_F - T_0$ ), benämns  $\tau_{0.5}$ . Förenmomen-



Figur 2. Principiellt temperaturförlopp vid momentan temperaturändring från  $T_0$  till  $T_F$ .

tan temperaturändring i fluiden från  $T_0$  till  $T_F$  gäller  $\tau_{0.5} = \tau \ln 2$ . Se vidare figur 2.

I tabellen visas tidskonstantens värde för några olika kapseldiametrar, strömningshastigheter och kapselmateriell. Termoelementet är dels homogent, dels rörformat med väggjockleken 0,3 mm. I det senare fallet måste uttrycket (1) användas för att beräkna volymen och vi beaktar endast kapselväggen vid beräkning av tidskonstanten. För beräkning av värmeövergångskoefficienten,  $\alpha$ , har sambanden i StoPextra 6/98 använts och de fysikaliska storheterna har bestämts vid temperaturen 50 °C.

Tidskonstanten är en väsentlig parameter, när man skall bedöma hur snabba förlopp man kan mäta med ett visst kapslat termoelement. Av tabellen framgår att tidskonstanten bland annat beror av materialet, termoelementets ytterdiameter och strömningshastigheten i röret. Vidare inverkar termoelementets konstruktion.

## Mättelets variation i tiden

Med de aktuella förutsättningarna kan det tidsberoende förloppet beräknas med hjälp av differentialekvationen (3) nedan.  $T(t)$  är termoelementets tidsberoende temperatur (°C) och  $t$  tiden (s).

$$c_p \rho V \frac{dT}{dt} + \alpha A (T - T_F) = 0 \quad (3)$$

Fluidtemperaturen  $T_F$  kan variera med tiden,  $T_F(t)$ .

Har du synpunkter eller frågor om Dan Loyds artikelserie kan du nå honom på e-post:

[danlo@ikp.liu.se](mailto:danlo@ikp.liu.se)



Geometri	D(m)	Hastighet (m/s)	$\alpha$ (W/m <sup>2</sup> K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (Ws/kgK)	$\tau$ (s)
Aluminiumstav	0.003	4	110	2800	930	18
Stålstav	0.002	4	140	7800	460	13
	0.003	4	110	7800	460	24
	0.004	4	95	7800	460	38
Stålrör väggjocklek 0,3 mm	0.003	4	110	7800	460	9
	0.003	8	155	7800	460	6