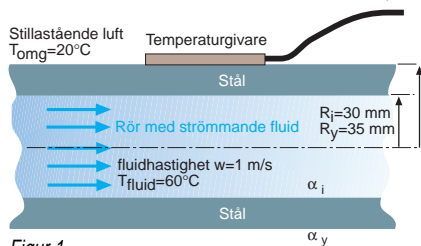


Uppskatta mätfelet

Konvektiv värmeöverföring (4)

Temperaturen hos det strömmande innehållet i ett rör måste ibland bestämmas med en temperaturgivare på rörets utsida. Metoden är enkel, men den kan tyvärr i vissa fall ge mycket stora mätfel. Värmeövergången på rörets in- och utsida är av stor betydelse för mätfelets storlek och vi kommer därför att se lite närmare på inverkan av fluidtyp och fluidhastighet.

Vi studerar samma rör (figur 1) som i den förra artikeln (StoPextra 3/99). Fluiden inuti röret kommer i vårt fall att vara vatten eller luft. Temperaturen på rörets utsida kan bestämmas ur det samband som man erhåller genom att kombinera ekvationerna (1) och (2) i den förra artikeln. I sambandet ingår bland annat värmeövergångskoefficienterna på rörets in- och utsida, α_i respektive α_y .



Figur 1

Mätfelets storlek

I figur 2 visas mätfelets storlek för olika vattenhastigheter i röret. I samma figur visas även hur α_i varierar med hastigheten. På rörets utsida råder egenkonvektion med $\alpha_y = 6.4 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Inverkan av strålningen på rörets utsida har försumrats. I Figur 3 visas motsvarande samband för luft. I detta fall blir mätfelet orimligt stort.

Påtvingad konvektion inuti

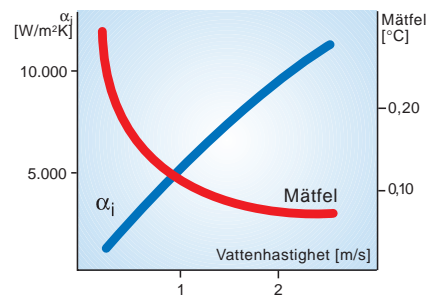
För att beräkna värmeövergångskoefficienten α_i mellan fluiden i röret och rörväggen kan man för påtvingad konvektion och turbulent strömning använda följande samband

$$Nu = \alpha_i 2R_i / \lambda = 0.027 Re^{0.8} Pr^{0.33} ; Re > Re_{kr} \quad (1)$$

$$Re = w 2R_i \rho / \mu \quad Pr = \mu c_p / \lambda \quad (2)$$

Re_{kr} är det kritiska Reynolds tal, som kan användas för att avgöra om strömningen är laminär ($Re < Re_{kr}$) eller turbulent ($Re > Re_{kr}$). Vid strömning inuti rör med cirkulärt tvärsnitt ligger Re_{kr} inom intervallet $2000 < Re_{kr} < 30\,000$. I brist på bättre kan man använda $Re_{kr} \approx 2300$ som en "tumregel". För de sällsynta mättekniska tillämpningar, där strömningen inuti röret är laminär, kan uttryck för Nu hämtas i litteraturen.

För röret i figur 1 och vattnets medelhastighet 1 m/s finner man $Re = 1,26 \cdot 10^5 > 2300$, $Nu = 466$ därmed är $\alpha_i = 5120 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Inverkan av vattenhastigheten framgår av figur 2. Vad som händer om vattnet inuti röret byts mot luft visas i figur 3. Vid 1 m/s blir $\alpha_i = 7.1 \text{ W/m}^2\text{°C}$.



Figur 2: Den höga värmeövergångskoefficienten (α_i) mellan vatten och rör gör det möjligt att mäta vattentemperaturen utanpå röret med ett rimligt mätfel...

Naturlig konvektion utanpå

För att beräkna värmeövergångskoefficienten mellan röret och den stillastående omgivande fluiden kan man för naturlig konvektion använda följande samband

$$Nu = \alpha 2R_y / \lambda = 0.43 (Gr Pr)^{0.25} ; Gr Pr \leq 10^9 \quad (3)$$

$$Gr = g \beta (T_{rör,y} - T_{omg}) (2R_y)^3 \rho^2 / \mu^2 \quad (4)$$

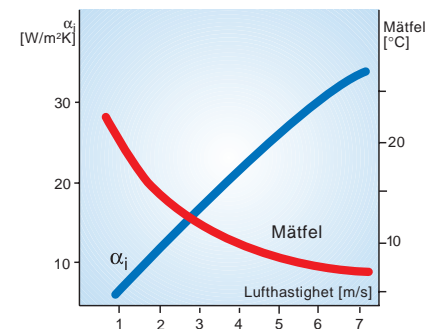
För gaser kan man utnyttja $\beta = 1/T_{omg}$ där T_{omg} är omgivningstemperaturen [K].

För exemplet i figur 1 och $\beta = 1/293$ finner man $Gr = 1,55 \cdot 10^6$, $Nu = 14,0$ och därmed $\alpha_y = 6,4 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

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

danlo@ikp.liu.se

I nästa artikel kommer vi att diskutera strålningens inverkan på temperaturmätning.



Figur 3: ...medan motsvarande mätning av luft strömmande i samma rör ger ett hundrafalt större mätfel på grund av den mycket lägre värmeövergångskoefficienten (α_i).

Parametersammanställning

Benämning	Sort	Beteckning	Vatten (60°C)	Luft (40°C)
Värmeledningsförmåga	W/m°C	λ (lambda)	0,659	0,0267
Densitet	kg/m ³	ρ (ro)	983	1,11
Dynamisk viskositet	kg/m s	μ (my)	$469 \cdot 10^{-6}$	$19,1 \cdot 10^{-6}$
Spec. värmekapacitet	Ws/kg °C	c_p	4180	1010
Prandtl's tal	—	Pr	2,99	0,72