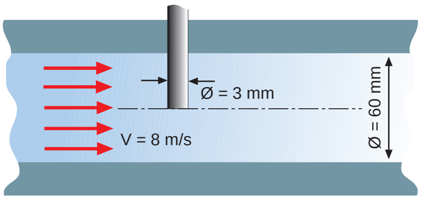
Lättare att mäta i vatten än luft (4)

Det är 300 gånger lättare att mäta i vatten än i luft. Det är dessutom oerhört mycket lättare att värma upp en tunn pinne än en tjock. Elementärt, kan det tyckas, men hur räknar man ut det, och hur påverkar det mätningen? Professor Dan Loyd fortsätter att upplysa oss om olika värmeledningsfenomen och inleder med följande exempel.

Det kapslade termoelementet i figur 1 används för att mäta lufttemperaturen i ett rör med innerdiameter 60 mm. Luften har medelhastigheten 8 m/s och temperaturen 50 ˚C. Termoelementet har ytterdiametern 3 mm och spetsen befinner sig i rörets centrum. För att kunna beräkna termoelementets svarstid behöver man bland annat bestämma värmeflödet till termoelementet.

Det konvektiva värmeutbytet, Q [W], mellan termoelementet och luften kan enligt förra avsnittet bestämmas ur ekvationen:

$$Q = A\,\alpha\,(T_{vägg} - T_{fluid}) \qquad (1)$$

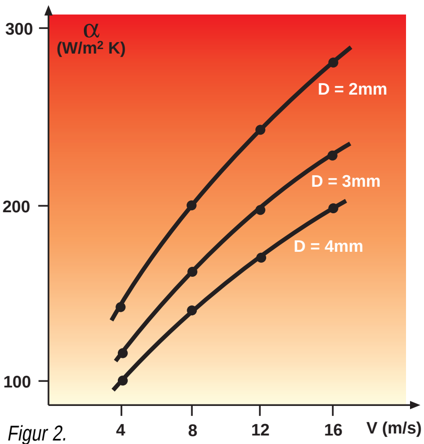


Figur 1. Vinkelrätt monterad givare i rörbundet flöde.

där α är värmeövergångskoefficienten [W/m²K], som inte är någon konstant. Värdet beror bland annat av den aktuella geometrin, väggtemperaturen, fluidtemperaturen, fluidens egenskaper och fluidens hastighet. Både medelvärdet och värdet i en viss punkt är av intresse. Värdet på α kan uppskattas ur matematiska samband, vilka grundar sig på både experimentella och teoretiska metoder.

Vi betraktar nu termoelementet som ett långt rör med diametern 3 mm. Vi antar vidare att såväl temperaturen som lufthastigheten i röret är konstanta. Normalt varierar dock båda över rörtvärsnittet och dessutom kan värmeutbyte förekomma mellan termoelementet och väggen vilket försummas.

Om vi använder sambanden nedan finner vi α = 160 W/m²K för hastigheten 8 m/s och givare Ø 3 mm. Byter vi ut luften mot vatten får man α = 47 000 W/m²K. Värmeövergångskoefficientens värde för lufthastigheten 4-16 m/s och givardiametrarna 2, 3 och 4 mm framgår av figur 2. Ju högre värde vi har på α desto lättare är det att föra över värme mellan fluiden och termoelementet.



Figur 2. Värmeövergångskoefficienten α som funktion av flödeshastigheten V för olika givarspetsdiametrar D.

Värmeövergångskoefficienter

Sambanden ur vilka man beräknar α innehåller en dimensionslös värmeövergångskoefficient - Nusselts tal, Nu.

$$Nu = \alpha L/\lambda \text{ som ger } \alpha = \lambda Nu/L \qquad (2)$$

L är en för det aktuella värmeproblemet karakteristisk längd [m]. Det matematiska uttrycket för Nusselts tal och den karakteristiska längden är kopplade till en viss geometri. Vid exempelvis ett rör med cylindriskt tvärsnitt, som anströmmas vinkelrätt axeln, använder man ytterdiametern som karakteristisk längd. Se figur 1. λ är fluidens värmekonduktivitet [W/m K].

För påtvingad konvektion kan man visa att Nu beror av två andra dimensionslösa tal, Reynolds tal, Re, och Prandtls tal, Pr

$$Re = \rho UL/\mu \quad (3), \qquad Pr = \mu c_p/\lambda \quad (4)$$

där, U är en karakteristisk hastighet [m/s], som bestäms utgående från den geometri som studeras, ρ är fluidens densitet [kg/m³], μ är (dynamiska) viskositeten [kg/m s] och c_p är specifika värmekapaciteten [Ws/kgK]. Medelvärdet av Nusselts tal har därför det principiella utseendet

$$Nu = f(Re, Pr) \qquad (5)$$

där f är en funktion, som är kopplad till en viss geometri. För att beräkna värmeövergångskoefficienten kan man här använda följande uttryck för Nusselts tal, som gäller för både gaser och vätskor. Andra uttryck finns i litteraturen.

$$Nu = 0.43 + C\,Pr^{0.33}\,Re^{m} \qquad (6)$$

Den karakteristiska hastigheten U [m/s], som ingår i Reynolds tal är i detta fall anströmningshastigheten och den karakteristiska längden L [m], som ingår i både Nusselts tal och Reynolds tal är givardiametern; se vidare figur 1. Konstanterna C och m väljs enligt nedan

Reynolds tal	C	m
1 - 4 000	0,53	0,50
4 000 - 40 000	0,193	0,618
40 000 - 400 000	0,0265	0,805

Beräkningsgång

Värmeövergångskoefficienten mellan luften och termoelementet i figur 1 beräknas på följande sätt. Ur en värmeteknisk tabell finner man att viskositeten hos luft av 50 ˚C är 19,5 10^{-6} kg/m s, värmekonduktiviteten 0,0273 W/m K, densiteten 1,08 kg/m³, specifika värmekapaciteten 1010 Ws/kg K och Prandtls tal, Pr = 0,72.

Pr kan också beräknas ur sambandet (4). Reynolds tal, Re, blir enligt (3) 1330 för hastigheten 8 m/s och givardiametern 3 mm.

Man kan nu bestämma koefficienterna C och m i sambandet (6), C = 0,53 och m = 0,50. (6) ger Nu = 17.8. Värmeövergångskoefficienten bestäms ur (2), α = 160 W/m²K.

POSITION-PEN 313, Västervik · Tryck: LENANDERS, KALMAR