

SAMBAND FÖR ATT BERÄKNA VÄRMEÖVERFÖRING VID NATURLIG KONVEKTION

FRÅGA: För att uppskatta mätfelet vid en anligningsgivare behöver vi beräkna värmeflödet från ett horisontellt rör för hetvatten. Röret är isolerat med mineralull och det finns i vår verkstad. I en Teknikartikel hittar jag sambandet $Nu = 0.43(Gr Pr)^{0.25}$ som kan användas för att beräkna värmeflödet vid naturlig konvektion. I en handbok hittar jag samma uttryck, men med koefficienten 0.53 istället för 0.43. Vilken koefficient är rätt?

Jan S

SVAR: Frågan är mycket relevant och den handlar bland annat om noggrannhet. Diskussionen nedan gäller också för andra samband av liknande typ, som används för att beräkna värmeflöden. Det aktuella uttrycket kan användas för beräkning av naturlig konvektion vid ett mycket långt horisontellt rör med konstant yttemperatur och där röret befinner sig i ett stort utrymme med stillastående gas med konstant temperatur. Naturlig konvektion benämns även fri konvektion och egenkonvektion.

Uttrycket bygger på en kombination av teori och experiment. Utgående från grundekvationerna för värmeöverföring och strömning kan man på teoretisk väg visa att det dimensionslösa Nusselts tal, Nu , vid naturlig konvektion beror av två andra dimensionslösa tal: Grashofs tal, Gr , och Prandtls tal, Pr . Med hjälp av Nusselts tal kan man sedan beräkna värmeövergångskoefficienten. De dimensionslösa talen förklaras närmare i slutet av artikeln. För många industriellt intressanta geometrier såsom rör och plattor har man dessutom funnit att man för överslagsberäkningar vid naturlig konvektion kan använda samband av typen

$$Nu = C(Gr Pr)^n$$

där, C och n är koefficienter, vilka beror av bland annat den aktuella geometrin och av produkten av två dimensionslösa tal, $(Gr Pr)$.

För ett långt horisontellt rör med cirkulärt tvärsnitt som befinner sig i en stillastående gas kan man i de flesta referenser finna samma värde på koefficienten n ; $n = 0.25$. För koefficienten C finner man däremot att värdet beror av vilken referens som man använder: 0.41, 0.43, 0.47, 0.53 och 0.57 är några av de värden som man kan hitta. De angivna värdena gäller under förutsättning att $(Gr Pr) < 10^9$. Om man letar vidare i litteraturen hittar man säkert ytterligare värden på koefficienten C . Här kan man verkligen ställa sig frågan vilket värde på koefficienten C som är det rätta.

Alla ovannämnda värden på C är förmodligen rätt utgående från de förutsättningar som gällde, när man bestämde koefficienten genom experiment. Förutom förutsättningarna ett långt horisontellt rör med cirkulärt tvärsnitt, konstant yttemperatur och som befinner sig i en stillastående gas med konstant temperatur måste det vid experimenten ha funnits andra förutsättningar. Exempel på sådana andra förutsättningar kan vara rörets infästning och vilken metod man har använt för att eliminera strålningens inverkan, när man bestämmer konstanten C . Vilka dessa andra förutsättningar är framgår nästan aldrig av referenserna. Möjligen kan man få mer information om man går till originalrapporterna, där experimenten har dokumenterats.

Den stora variationen av värden på koefficienten C (i detta fall 0.41 – 0.57) säger en del om den noggrannhet som man kan förvänta sig när man beräknar

FRÅGA ? SVAR

De frågor vi tar upp här ska ha allmänt mättekniskt och/eller värmetekniskt intresse.

värmeövergångskoefficienten via det aktuella sambandet. Man måste också tänka på att de förutsättningar som gäller för det egna problemet sällan överensstämmer med de förutsättningar som gäller för det aktuella sambandet för naturlig konvektion. En sådan förutsättning kan vara att det egna röret befinner sig nära en vägg och en annan förutsättning kan vara att den omgivande luftens temperatur inte är konstant eller stillastående.

Sammanfattningsvis måste man därför alltid vara medveten om den stora osäkerhet som finns när man använder olika samband för att bestämma det konvektiva värmefflödet.

När man beräknar värmetransporten från det aktuella röret måste man förutom den konvektiva värmetransporten även ta med värmetransporten genom strålning. I rumstemperaturområdet är ofta värmeöverföring genom strålningen av samma storleksordning som den genom naturlig konvektion.

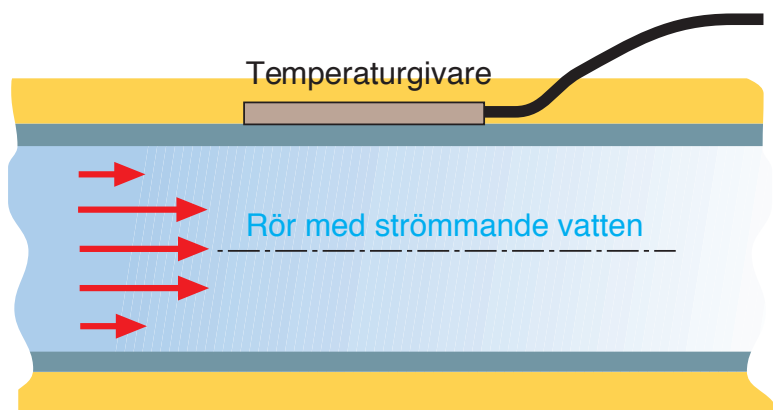
Dimensionslösa tal vid ett horisontellt rör som befinner sig i en stillastående gas med temperaturen T_{omg}

Nusselts tal, $Nu = \alpha D/\lambda$ där α är värmeövergångskoefficienten i $W/(m^2K)$, D rörets ytterdiameter i m och λ gasens värmekonduktivitet i $W/(m K)$.

Grashofs tal, $Gr = (g \beta \Delta T D^3)/\nu^2$, där $\beta = 1/T_{omg}$ är gasens volymsutvidgningskoefficienten i $1/K$, ΔT temperaturdifferensen mellan rörets yttemperatur och gastemperaturen i K , D rörets ytterdiameter i m och ν gasens kinematiska viskositeten i m^2/s .

Prandtls tal, $Pr = (\nu \rho c_p)/\lambda$ där ν är gasens kinematiska viskositeten i m^2/s , ρ gasens densitet i kg/m^3 , c_p gasens specifika värmekapacitet i $(Ws)/(kg K)$ och λ gasens värmekonduktivitet i $W/(m K)$.

Storheterna λ , ν och ρ beror av temperaturen och de bör bestämmas vid en temperatur som är medelvärdet av rörets yttemperatur och gasens temperatur.



Har du synpunkter eller frågor kontakta professor emeritus Dan Loyd på LiU, dan.loyd@liu.se