

Wnikanie ciepła

1. Wnikanie ciepła podczas wrzenia pęcherzykowego na zewnętrznej powierzchni rur

Zależność Rohsenowa

$$q = \mu' r \left[\frac{g(\rho' - \rho'')}{\sigma} \right]^{1/2} \left(\frac{c_p' \Delta T}{C_{sf} r Pr'^m} \right)^3 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1.1)$$

$n = 1,0$ dla wody

$n = 1,7$ dla innych cieczy

Współczynnik C_{sf} zależy od rodzaju cieczy oraz rodzaju i stanu powierzchni.

Temperaturą odniesienia jest temperatura nasycenia, T_s .

μ - współczynnik lepkości dynamicznej, $kg/(m \cdot s)$

r - ciepło parowania, J/kg

σ - współczynnik napięcia powierzchniowego, N/m

ΔT - różnica temperatur ścianki, T_w , oraz nasycenia, T_s , K

"*prim*" (') oznacza, że dana wielkość dotyczy cieczy o temperaturze nasycenia.

„bis” (‘) oznacza, że dana wielkość dotyczy pary nasyconej suchej.

Przykładowe wartości współczynnika C_{sf} dla wody

mosiądz	0,0060
miedź	0,0068
miedź polerowana	0,0130
platyna	0,0130
stal nierdzewna	
- wytrawiona chemicznie	0,0133
- polerowana mechanicznie	0,0132
- punktowo pokryta teflonem	0,0058

Chapman A.J.: Fundamentals of Heat Transfer. Macmilan, New York, 1987

Kombinacja płyn/powierzchnia	Współczynnik C_{sf}
woda/miedź	0.013
woda/nikiel	0.006
woda/platyna	0.013

woda/mosiądz	0.006
woda/stal nierdzewna polerowana mechanicznie	0.0132
woda/stal nierdzewna chemicznie wytrawiona	0.0133
woda/stal nierdzewna szlifowana i polerowana	0.080
CCl ₄ /copper	0.013
Benzene/Chromium	0.0101
n-Pentane/Chromium	0.015
Ethyl alcohol/Chromium	0.0027
Isopropyl alcohol/copper	0.0025
n-Butyl alcohol/copper	0.003

2. Wnikanie ciepła dla kanału wymiennika płytowego z płytami typu *chevron*

Kakac S., Liu H.: Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design, CRC Press, 2002

Korelacja *Chisholm* i *Wanniarachchi*

$$Nu = 0,72 Re^{0,59} Pr^{0,4} \phi^{0,41} (\beta / 30)^{0,66} \quad (2.1)$$

wzór ważny dla $10^3 < Re < 4 \cdot 10^3$

Liczba *Reynoldsa*

$$Re = \frac{wD_h}{\nu} \quad (2.2)$$

Średnica hydrauliczna

$$D_h = \frac{2b}{\phi} \quad (2.3)$$

w – średnia prędkość czynnika w kanale utworzonym przez sąsiadujące płyty

$$\phi = \frac{A_1}{A_{1p}} \quad (2.4)$$

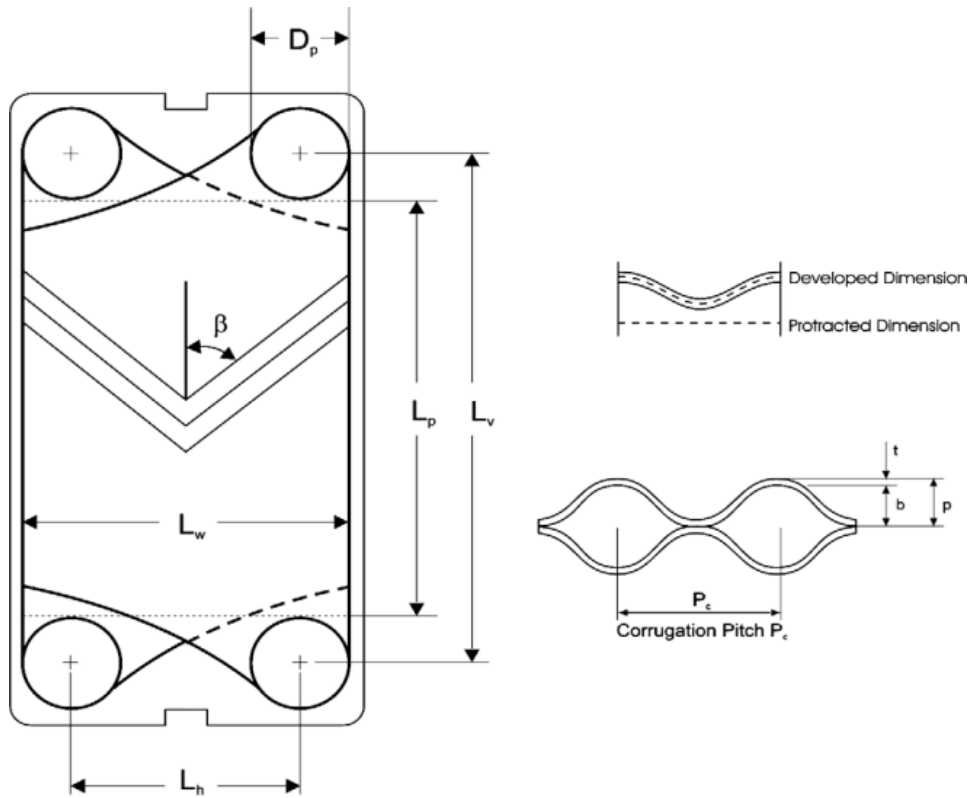
A_1 – rzeczywista powierzchnia wymiany ciepła dla płyty, podawana przez jej producenta

$$A_{1p} = L_p \cdot L_w \quad (2.5)$$

$$L_p \approx L_v - D_p \quad (2.6)$$

$$L_w \approx L_h + D_p \quad (2.7)$$

$$b = p - t \quad (2.8)$$



Rys. 2.1. Płyta typu chevron

$$X = \frac{\pi b}{P_c} \quad (2.9)$$

$$\phi = \frac{1}{6} \left(1 + \sqrt{1 + X^2} + 4\sqrt{1 + X^2/2} \right) \quad (2.10)$$

3. Wnikanie ciepła podczas wzdłużnego opływu pęczka rur dla przypadków bez zastosowania przegród i z przegradami

3.1. Bez przegród

Korelacja *Donohue*

$$Nu_f = C Re_f^{0,6} Pr_f^{0,33} \left(\frac{\eta_f}{\eta_w} \right)^{0,14} \quad (3.1)$$

Indeks f oznacza, że dana wielkość jest wyznaczana dla średniej temperatury czynnika. Indeks w oznacza, że dana wielkość jest wyznaczana dla średniej temperatury ścianki.

Wzór (3.1) można stosować dla: $Re = 2 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^4$; $D_h = 0,012 \text{ m} \div 0,05 \text{ m}$; $Pr = 0,5 \div 500$.

$$C = 1,16D_h^{0,6} \quad (3.2)$$

Średnica hydrauliczna (równoważna)

$$D_h = \frac{4A}{\Omega} = \frac{D_w^2 - d_z^2}{D_w + nd_z} \quad (3.3)$$

D_w – średnica wewnętrzna płaszczka, [m]

d_z – średnica zewnętrzna rurki, [m]

Liczba Reynoldsa

$$Re_f = \frac{wd_z}{\nu_f} \quad (3.4)$$

w – prędkość płynu, [m/s]

ν_f – współczynnik lepkości kinematycznej, [m^2 / s]

Liczba Nusselta

$$Nu_f = \frac{\alpha d_z}{\lambda_f} \quad (3.5)$$

λ_f – współczynnik przewodności cieplnej płynu, [$W/(m \cdot K)$]

3.2. Przegrody segmentowe i współśrodkowe

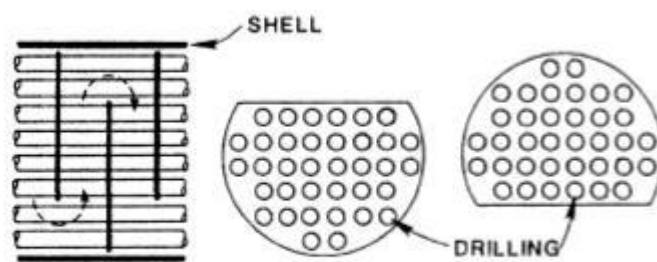
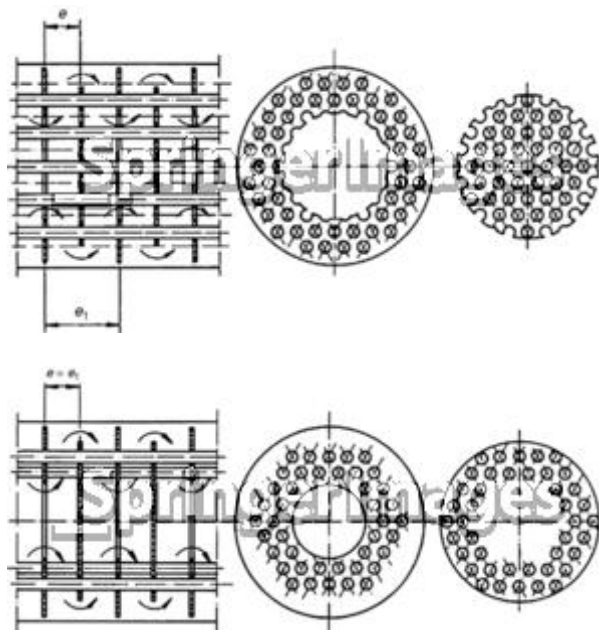


Figure 3-3. Transverse baffle detail.

Rys. 3.1. Przegrody segmentowe



Rys. 3.2. Przegrody współśrodkowe

Zależność (3.1) można stosować w przypadku zainstalowania przegród segmentowych lub współśrodkowych, pod warunkiem użycia odpowiednich wartości współczynnika C i prędkości płynu w .

W przypadku zastosowania przegród do wyznaczenia liczby Reynoldsa używa się średniej geometrycznej prędkości płynu

$$w_m = \sqrt{w_L w_P} \quad (3.6)$$

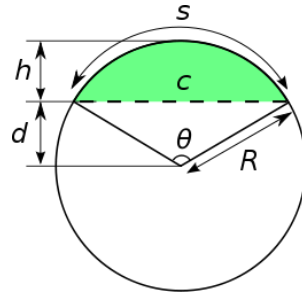
gdzie:

w_L – obliczeniowa prędkość przepływu wzdłuż rurek

w_P – obliczeniowa prędkość przepływu prostopadle do rurek

Dla przegród segmentowych

w_L jest prędkością w otworze przegrody (odcinku kołowym) z uwzględnieniem zmniejszenia przekroju przepływu spowodowanego obecnością rurek



Rys. 3.3. Odcinek kołowy. Odcinek kołowy ma kolor zielony. Odcinek kołowy jest otworem dla przegrody segmentowej.

$$w_L = \frac{m}{A_L \rho_f}$$

m – strumień czynnika, [kg/s]

$$A_L = A_{ok} - n_L \frac{\pi d_z^2}{4}$$

$$A_{ok} = 0,25[sD_w - c(D_w - 2h)]$$

A_L – pole powierzchni przekroju poprzecznego strumienia płynu omywającego rurki

A_{ok} – pole powierzchni otworu przegrody (pole odcinka kołowego)

n_L – liczba rurek w otworze przegrody

$$w_p = \frac{m}{A_p \rho_f}$$

$$A_p = (c_w - n_p d_z) h$$

c_w – cięciwa, równoległa do prostoliniowej krawędzi przegrody i położona najbliżej osi symetrii pęczka, wzdłuż której umieszczony jest rząd rurek, [m]

n_p – liczba rurek leżących wzdłuż cięciwy c_w

d_z – średnica zewnętrzna rurki, [m]

h – odległość między kolejnymi przegrodami, [m]

W szczególności

$$c_w = D_w$$

Dla przegród współśrodkowych

Obliczeniową prędkość przepływu prostopadle do rurek, w_p , wyznacza się dla średnicy $D_m = (D_1 + D_2)/2$, gdzie D_1 jest średnicą wewnętrzną tarczy pierścieniowej, D_2 jest średnicą tarczy kołowej.

$$w_p = \frac{m}{A_p \rho_f}$$

gdzie

m – strumień czynnika, [kg/s]

A_p – obliczeniowe pole przekroju poprzecznego strumienia płynu w kierunku promieniowym dla średnicy D_m

h – odległość między kolejnymi przegrodami, [m]

Obliczeniową prędkość przepływu wzdłuż rurek, w_L , oblicza się dla średniego arytmetycznego przekroju poprzecznego strumienia płynu w kierunku osiowym.

$$A_L = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} - n_1 \frac{\pi d_z^2}{4}$$

$$A_2 = \frac{\pi(D_w^2 - D_2^2)}{4} - n_2 \frac{\pi d_z^2}{4}$$

n_1 – liczba rurek w przekroju koła o średnicy D_1

n_2 – liczba rurek w przekroju pierścienia o średnicach D_w, D_2

Wartość współczynnika C przyjmuje się następująco:

- dla przegród segmentowych

$C = 0,22$ - płaszcz wewnątrz nieobrobiony - chropowaty

$C = 0,25$ - płaszcz wewnątrz obrobiony - gładki

- dla przegród współśrodkowych

$$C = 2,08 D_h^{0,6}$$

