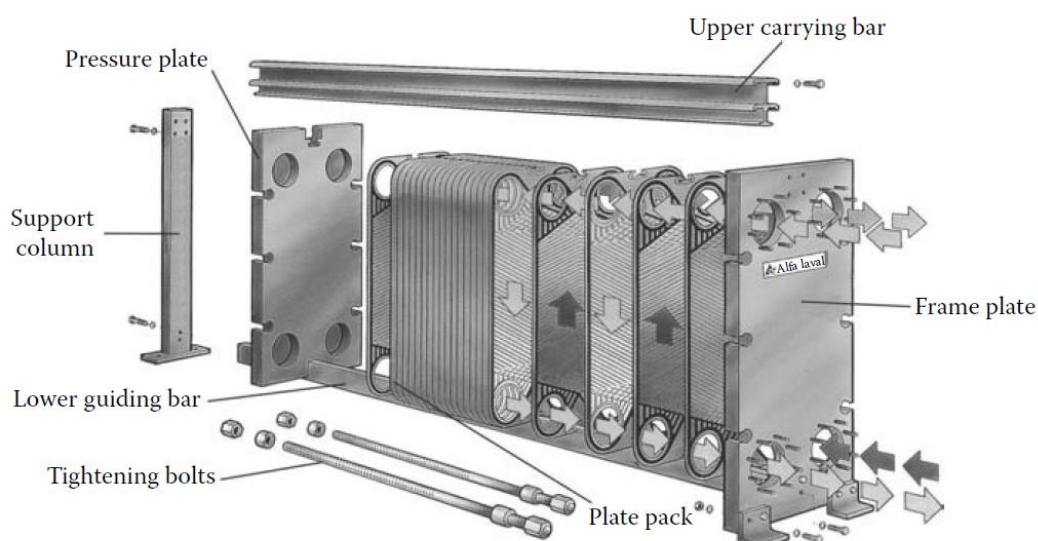


Płytkowe wymienniki ciepła

1. Wstęp

Wymienniki płytowe zbudowane są z prostokątnych płyt o specjalnie wytłaczanej powierzchni, oddzielonych od siebie uszczelkami. Płyty są umieszczane w specjalnej ramie, gdzie są zaciskane śrubami, w celu uzyskania szczelności. W określonej ramie możemy umieszczać różne liczby płyt, łatwo dopasowując do potrzeb wymiar powierzchni wymiany ciepła. Wytłoczenia płyt zwiększają ich powierzchnię i sztywność oraz powodują wzrost burzliwości przepływu.



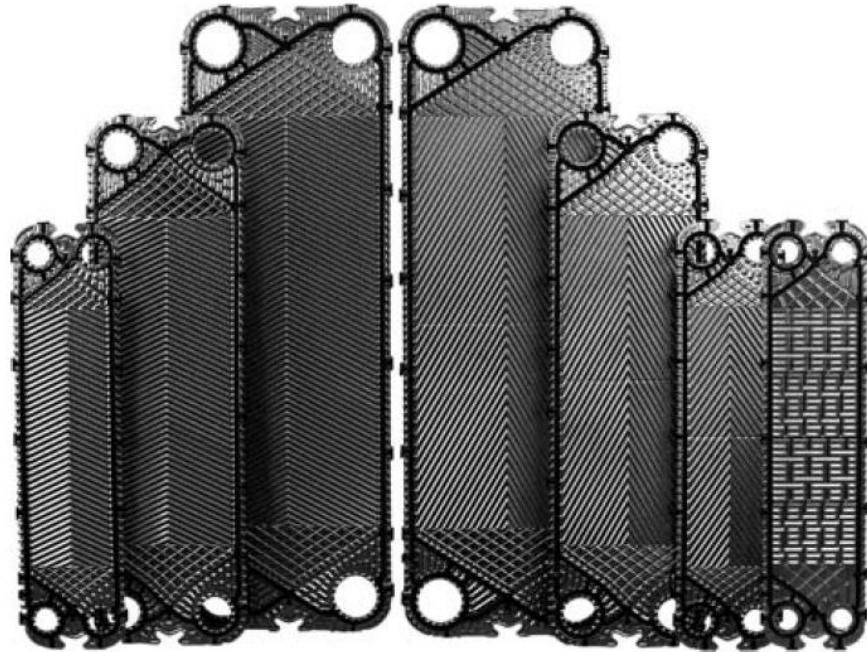
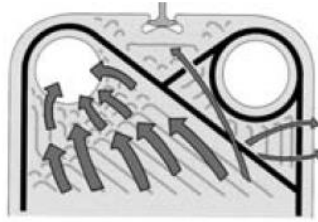
Rys. 1-1. Konstrukcja płytowego wymiennika ciepła.

Wymienniki, w których płyty oddzielone są uszczelkami, nazywamy wymiennikami płytowymi uszczelkowymi. W użyciu są także wymienniki płytowe lutowane, gdzie płyty połączone są ze sobą na stałe techniką lutowania.

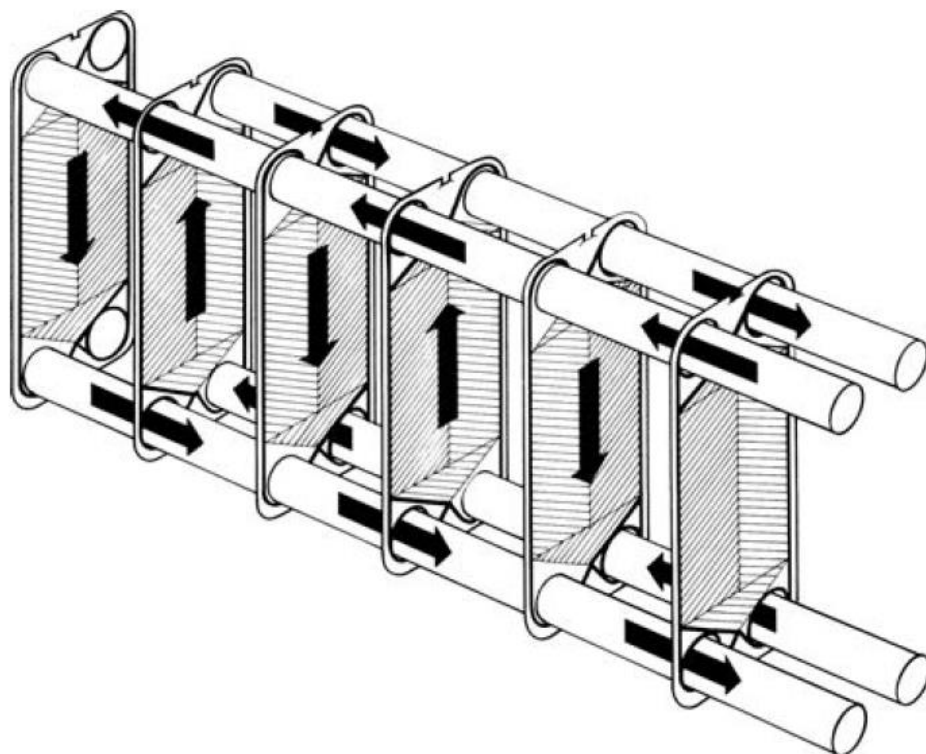
Wymienniki płytowe uszczelkowe zostały po raz pierwszy wprowadzone w przemyśle spożywczym, ze względu na łatwość rozłożenia wymiennika na części i wyczyszczenia elementów wymiennika, w tym płyt. Obecnie są one alternatywą dla wymienników płaszczowo-rurowych we wszelkich

zastosowaniach, gdzie czynniki wymieniające ciepło są cieczami o umiarkowanych ciśnieniach.

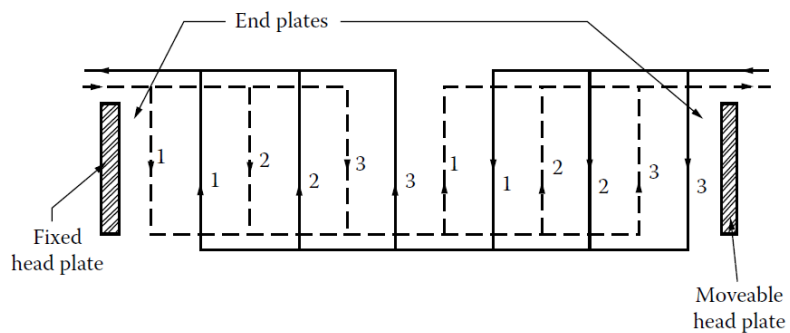
Liczba płyt w wymienniku może osiągać kilkaset, a największe pojedyncze płyty mają wymiary rzędu 4,3 m (wysokość) \times 1,1 m (szerokość). Powierzchnia wymiany ciepła dla pojedynczej płyty zmienia się od 0,01 m² do 3,60 m². Minimalny stosunek długości do szerokości płyt wynosi 1,8. Grubość płyty zawiera się w granicach 0,5-1,2 mm, odległość pomiędzy sąsiednimi płytami jest rzędu 2,5-5,0 mm, a średnica hydrauliczna jednego kanału jest rzędu 4-10 mm. Płyty mogą być wykonywane z wszelkiego rodzaju materiałów ciągłych. Najczęściej stosowane materiały na płyty to: stal nierdzewna, tytan, stop tytan-pallad, stopy incoloy 825 (stop głównie niklu, żelaza i chromu), aluminium, stop aluminium z miedzią. Stosowane są różne kształty wytłoczeń, obecnie najczęściej stosowane są wytłoczenia typu chevron (w kształcie litery V). Przewodność cieplna płyt jest rzędu od 10 W/(m·K) do 70 W/(m·K). Przejście do przepływu burzliwego następuje w wymiennikach płytowych przy liczbie Reynoldsa 10-400.



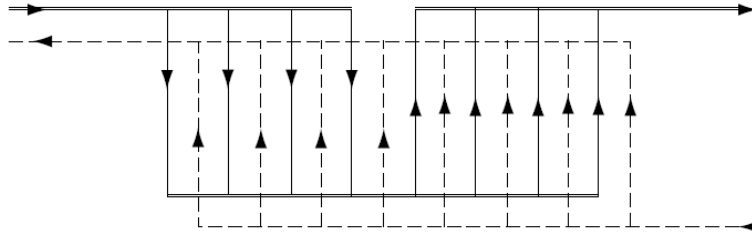
Rys. 1-2. Płyty typu chevron (wytlóczenia w kształcie litery V).



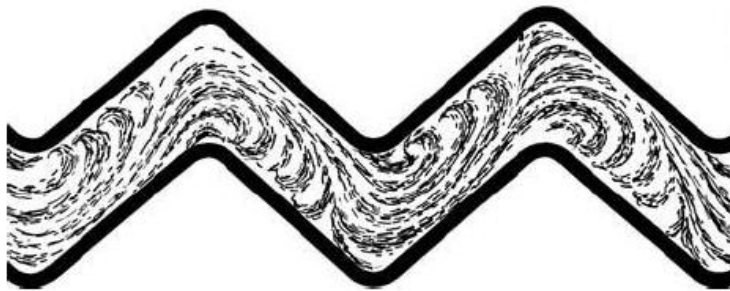
Rys. 1-3. Przepływ czynników w wymienniku przeciwprądowym, jednoprzepływowym.



Rys. 1-4. Organizacja przepływu czynników $2 \times 3 / 2 \times 3$.



Rys. 1-5. Organizacja przepływu czynników 2×4 / 1×8.



Rys. 1-6. Wizualizacja przepływu pomiędzy płytami.

Wymienniki płytowe lutowane przeznaczone są do pracy w ekstremalnych warunkach: wysokich temperatur i wysokich ciśnieniach. Płyty są łączone twardym lutem nie tylko na obrzeżach płyt, ale także w punktach kontaktu płyt na całej ich powierzchni. Wymienniki lutowane nie wymagają stosowania uszczelnień, płyty czołowej i dociskowej.



Rys. 1-7. Przekrój wymiennika płytowego lutowanego.

Firma Alfa Laval wykonuje płyty wymienników lutowanych ze stali kwasoodpornej AISI316. Płyty są łączone techniką lutowania próżniowego twardego przy użyciu miedzi jako spoiwa.



Rys. 1-8. Płyty lutowanych wymienników ciepła.



Rys. 1-9. Wymienniki płytowe lutowane.

2. Geometria kanałów w wymiennikach płytowych

Wytłoczenia płyty powodują, że ma ona większą powierzchnię wymiany ciepła niż płyta płaska. Miarą zwiększenia powierzchni wytłoczonej płyty jest współczynnik ϕ

$$\phi = \frac{A_{1w}}{A_{1p}} \quad (2-1)$$

gdzie:

A_{1w} – pole powierzchni płyty wytłoczonej,

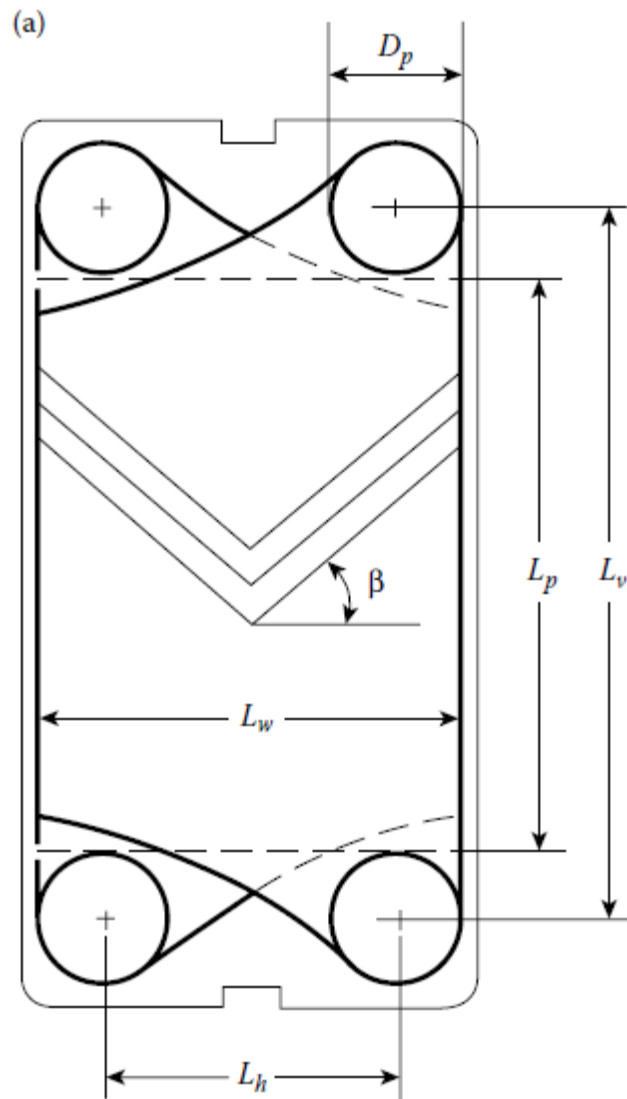
A_{1p} – pole powierzchni płyty płaskiej.

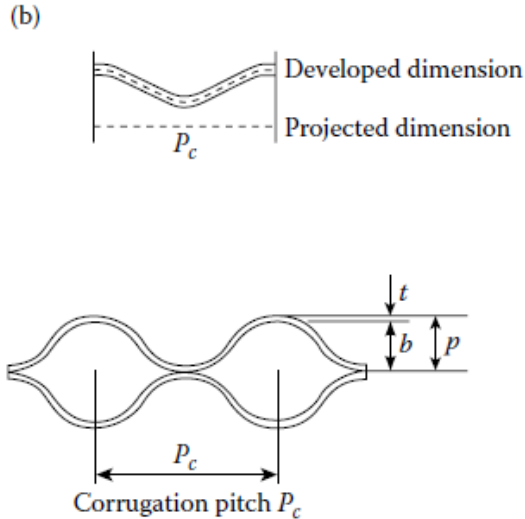
$$A_{1p} = L_p L_w \quad (2-2)$$

$$L_p \cong L_v - D_p \quad (2-3)$$

$$L_w \cong L_h + D_p \quad (2-4)$$

Dla typowych płyt wartość współczynnika ϕ jest zawarta w przedziale od 1,15 do 1,25.





Rys. 2.1. Płyta typu *chevron*. (a) podstawowe wymiary płyty; (b) przekrój przez sąsiednie płyty w kierunku prostopadłym do kierunku przepływu.

Dla płyty typu *chevron* wielkość b charakteryzująca wymiar kanału jest równa (patrz rys. 2.1)

$$b = p - t \quad (2.5)$$

gdzie przybliżoną wartość podziałki p można określić ze wzoru

$$p = \frac{L_c}{N_t - 1} \quad (2.6)$$

L_c jest całkowitą grubością ściśniętych płyt tworzących powierzchnię wymiany ciepła, N_t jest liczbą płyt.

Średnicę hydrauliczną dla kanału pomiędzy sąsiednimi płytami oblicza się ze wzoru

$$D_h = \frac{4A}{\Omega} \cong \frac{4bL_w}{2(b + L_w\phi)} \quad (2.7)$$

Dla $L_w \gg b$

$$D_h \cong \frac{2b}{\phi} \quad (2.8)$$

W wielu korelacjach średnica hydrauliczna jest obliczana jako

$$D_h = 2b \quad (2.9)$$

3. Przykładowe korelacje na liczbę Nusselta oraz na współczynnik tarcia Fanninga

Korelacje Chisholma i Wanniarachchi 'ego

Korelacje ważne dla dla $30^\circ < \beta < 80^\circ$ oraz $10^3 < \text{Re} < 4 \times 10^3$

Liczba *Nusselta*

$$\text{Nu} = 0,72 \text{Re}^{0,59} \text{Pr}^{0,4} \phi^{0,41} ((90 - \beta)/30)^{3,6} \quad (3.1)$$

$$\phi = \frac{A_{1w}}{A_{1p}}$$

Współczynnik tarcia *Fanninga*

$$f = 0,08 \text{Re}^{-0,25} \phi^{1,25} ((90 - \beta)/30)^{0,66} \quad (3.2)$$

Liczbę Reynoldsa oblicza się ze wzoru

$$\text{Re} = \frac{w D_h}{\nu} \quad (3.3)$$

Średnią prędkość w kanale dla płyt typu *chevron* oblicza się z zależności

$$w = \frac{m}{A_p \rho} \quad (3.4)$$

gdzie pole przekroju poprzecznego kanału jest równe

$$A_p = b L_w \quad (3.5)$$

Średnicę hydrauliczną oblicza się ze wzoru (2.9), a właściwości termofizyczne płynów wyznacza się dla ich średnich temperatur, T_f .

4. Obliczanie współczynnika przenikania ciepła oraz powierzchni wymiany ciepła

Współczynnik wnikania ciepła

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{D_h} \quad (4.1)$$

Współczynnik przenikania ciepła

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (4.2)$$

Pole powierzchni wymiany ciepła

$$A = \frac{Q}{k\Delta T_{sr}} \quad (4.3)$$

Sprawność wymiennika

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (4.4)$$

gdzie

$$Q = W_1(T_1' - T_1'') = W_2(T_2'' - T_2') \quad (4.5)$$

$$Q_{\max} = W_{\min}(T_1' - T_2') \quad (4.6)$$

Ilość jednostek przenikania ciepła

$$N = f(W_{\min}/W_{\max}, \varepsilon) \quad (4.7)$$

Pole powierzchni wymiany ciepła

$$A = \frac{NW_{\min}}{k} \quad (4.8)$$

5. Obliczanie strat ciśnienia w wymienniku

Straty ciśnienia w kanałach

$$\Delta p_k = 4f \frac{L_v N_p}{D_h} \times \frac{G^2}{2\rho} \left(\frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{-0,17} \quad (5.1)$$

Prędkość masowa czynnika

$$G = \frac{m}{A_p} = \rho w \quad \left[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \right] \quad (5.2)$$

N_p – liczba kanałów, przez którą przepływa cały czynnik

L_v – długość kanału (patrz rys. 2.1(a))

Straty ciśnienia we wlotach do kanałów

$$\Delta p_w = 1,4 N_p \frac{G_w^2}{\rho} \quad (5.3)$$

Prędkość masowa we wlotach

$$G_w = \frac{m}{\frac{\pi D_w^2}{4}} \quad (5.4)$$

Całkowita strata ciśnienia

$$\Delta p = \Delta p_k + \Delta p_w \quad (5.5)$$