

DARIUSZ SKOCZYŁAS
JOANNA GUZIAŁOWSKA

Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Parametry geometryczne a rozptyw płynu w pęku rur

Wprowadzenie

Podczas przepływu płynu w przestrzeni międzyrurowej płaszczowo–rurowego wymiennika ciepła występuje silny wpływ parametrów geometrycznych na rozptyw płynu, a tym samym na strumień wymienianego ciepła. Każdy wymiar geometryczny wymiennika ciepła jest jego parametrem geometrycznym, który w mniejszym lub większym stopniu wpływa na drogę i sposób przepływu strugi. W pracy do badań wytypowano następujące parametry geometryczne charakteryzujące przestrzeń międzyrurową wymiennika ciepła: podziałka względna, rodzaj uporządkowania rur, odległość między przegrodami, strzałka wycięcia przegrody oraz tzw. nieszczelności technologiczne. Nieszczelności technologiczne to przestrzenie pomiędzy płaszczem a przegrodami oraz pomiędzy otworami w przegrodach a rurkami, które powstają podczas montażu przegrod. Praca ta jest próbą usystematyzowania wpływu tych wielkości na przepływ płynu w przestrzeni międzyrurowej wymiennika ciepła. Wraz ze zmianą parametrów geometrycznych przestrzeni międzyrurowej wymiennika ciepła zmienia się charakter przepływu. Ważnym jest, żeby tak dobrać parametry geometryczne, aby przepływ był możliwie równomierny i dzięki temu osiągnąć jak najlepszą wymianę ciepła. Strefy martwe oraz cyrkulacje wpływają na nią negatywnie.

Zagadnienie wpływu parametrów geometrycznych na rozptyw płynu w przestrzeni międzyrurowej płaszczowo–rurowego wymiennika ciepła w niniejszej pracy podzielone zostało na dwie części. W pierwszej części zajęto się przepływem jednofazowym (powietrze) w idealnym – modelowym pęku rur [1] oraz skomplikowanym przepływem w przestrzeni międzyrurowej płaszczowo–rurowego wymiennika ciepła z segmentowymi przegrodami poprzecznymi z nieszczelnościami technologicznymi (przepływ rzeczywisty). Przez idealny pęk rur rozumiemy taki, gdzie w każdym rzędzie występuje ta sama liczba rur o tej samej podziałce i w którym nie ma bocznikujących przepływów. Przepływ przez taki pęk rur nazywamy przepływem idealnym. W drugiej części zajęto się przepływem dwufazowym (powietrze–woda) przez idealny pęk rur z zamontowanymi przegrodami poprzecznymi bez nieszczelności technologicznych. W tym przypadku, w celu zaobserwowania zjawisk zachodzących w przestrzeni międzyrurowej wymiennika ciepła i doboru jak najlepszych parametrów geometrycznych, zastosowano cyfrową anemometrię obrazową. Cyfrowa anemometria obrazowa [2] z wykorzystaniem cząstek wskaźnikowych DPIV (*Digital Particle Image Velocimetry*) jest techniką, która pozwala na znalezienie wektorów prędkości płynu przepływającego ściśle poprzecznie do pęku rur, metodą korelacji kolejnych obrazów. Otrzymane w wyniku obliczeń pola prędkości wraz z uzupełniającymi je obrazami torów cząstek, są cenną informacją o wielu istotnych parametrach związanych z przepływem płynu.

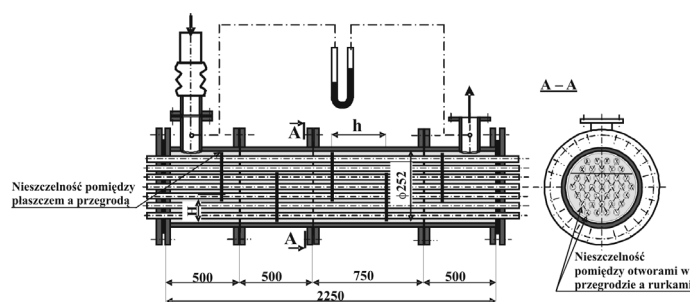
Celem pracy było również opracowanie wskazówek do projektowania płaszczowo–rurowych wymienników ciepła poprzez określenie wpływu parametrów geometrycznych charakteryzujących przestrzeń międzyrurową wymiennika ciepła na rozptyw płynu. Wskazówki te stanowią dobre uzupełnienie norm mechanicznych TEMA [3] (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*), służącym pomocą użytkownikom, którzy dobierają, projektują i instalują rurowe wymienniki ciepła.

Badania

Badania przepływu powietrza przez idealny pęk rur przeprowadzono w kanale pomiarowym o przekroju poprzecznym 150×200 mm. Wkład rurowy złożony był z rurek o średnicy zewnętrznej 20 mm i długości 200 mm ustawionymi w różnych układach (szeregowym, trójkątnym i ich modyfikacjami). Rury zamocowane były w wymiennych płytach sitowych. Zmiennymi parametrami geometrycznymi były: rodzaj uporządkowania rur, ilość oraz podziałka, niezmiennym zaś ich średnica. Badano wpływ tych parametrów na opory przepływu (spadek ciśnienia).

Badania rzeczywistego przepływu powietrza w przestrzeni międzyrurowej przeprowadzono w wymienniku płaszczowo–rurowym (Rys. 1) z segmentowymi przegrodami poprzecznymi z nieszczelnościami technologicznymi. Wkład rurowy złożony był z rurek o średnicy $d = 20$ o podziałce $t = 26$ i długości $L = 2250$ mm. Średnicę przegrody zmieniano co 2 mm w pełnym zakresie tzn. od średnicy wewnętrznej płaszcza D (252 mm) do średnicy koła ograniczającego otwory wkładu rurowego D_1 (240 mm). Średnicę otworu w przegrodzie zwiększano co 1 mm od średnicy zewnętrznej rurki d do połowy wartości odległości między podziałką t a średnicą d . Strzałkę wycięcia przegrody zmieniano kolejno do wartości $(H/D) \times 100\%$: 14; 18,5; 22,9; 27,3; 31,7; 36,1; 40,5%. Badano wpływ nieszczelności i strzałki wycięcia na opory przepływu. Dla danej serii pomiarowej pozostałe parametry geometryczne pozostawały niezmiennie.

Badania w przestrzeni międzyrurowej wymiennika dla przepływu dwufazowego (powietrze–woda) przeprowadzono



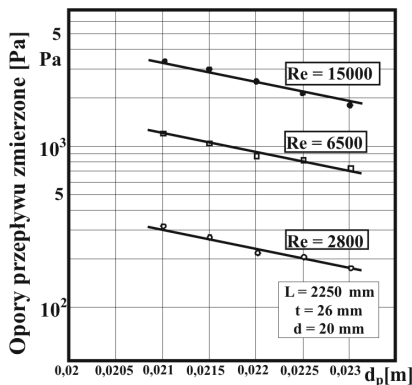
Rys. 1. Schemat wymiennika jednodrogowego z przegrodami poprzecznymi

na stanowisku pomiarowym w kształcie kanału prostokątnego o rozmiarach 1220×240×30 mm (długość/szerokość/wysokość) ze zmiennym wkładem rurowym z jednym rzędem rur. Wpływ parametrów geometrycznych na przepływ płynu badano dokonując rejestracji sekwencji przy użyciu szybkiej kamery HCC-1000 firmy VDS *Vosskuhler* o częstotliwości do 1800 Hz sprzężonej z komputerem pełniącym rolę sterownika i rejestratora.

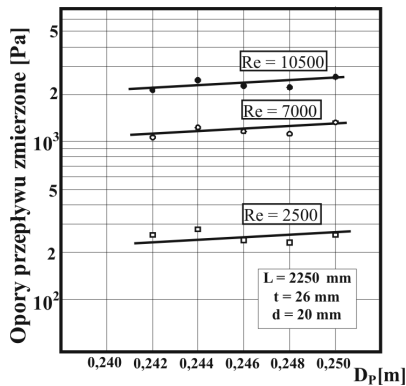
Wyniki badań

Przepływ jednofazowy

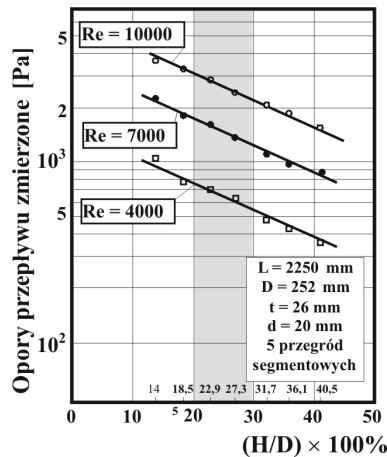
Na rys. 2, 3 przedstawiono wpływ nie szczelności technologicznych, natomiast na rys. 4 wpływ strzałki wycięcia przegrody na opory przepływu.



Rys. 2. Zależność oporów w funkcji wielkości szczeliny pomiędzy otworem w przegrodzie (d_p) a rurkami (d)



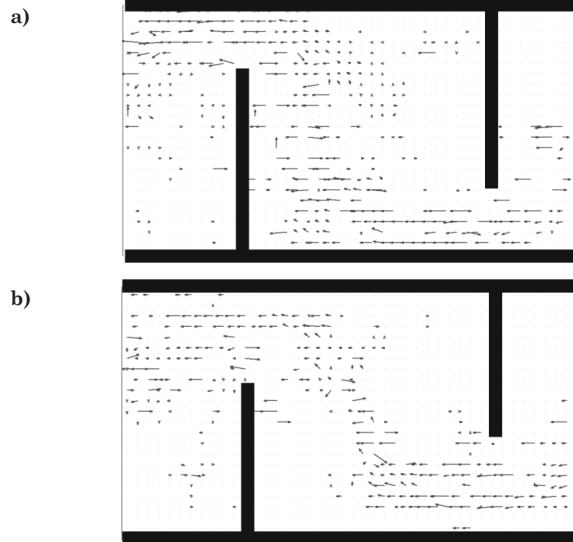
Rys. 3. Zależność oporów przepływu w funkcji wielkości szczeliny pomiędzy płaszczem (D) a przegrodą (D_p)



Rys. 4. Zależność oporów przepływu od wielkości strzałki wycięcia $(H/D) \times 100\%$

Przepływ dwufazowy

Na rys. 5 pokazano wpływ strzałki wycięcia na rozkład wektorów prędkości w filmowanym i rejestrowanym obszarze. Trajektorie ruchu mieszaniny gaz-ciecz pozwalają ocenić nierównomierność przepływu i występowanie stref martwych (wartość wektorów prędkości wynosi wówczas zero).



Rys. 5. Rozkład wektorów prędkości dla $t/d = 1,45$, $h/H = 1$ oraz strzałki wycięcia wynoszącej: a) $H/H_1 = 25,8\%$; b) $H/H_1 = 38\%$; $V_L = 4 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz $V_G = 0,1 \text{ m}^3/\text{h}$, H_1 - wysokość wymiennika

Podsumowanie

Wielkość strzałki wycięcia jest istotnym parametrem wpływającym na opory przepływu w przestrzeni międzyrurowej wymiennika ciepła zaopatrzonego w przegrody segmentowe. Zaleca się więc maksymalny zakres zmian strzałki wycięcia od 20 do 30%. Na rys. 4 pokazano, że w pełnym przebadanym zakresie zmiany strzałki wycięcia od 14 do 40,5% wartość oporów przepływu maleje o 63%, natomiast w zalecanym zakresie zmiany strzałki wycięcia od 20 do 30% opory przepływu maleją o 26%, dla liczby $Re = 10000$ i wkładu $t \times d = 26 \times 20$ mm.

- Wzrost szczeliny pomiędzy średnicą wewnętrzną płaszczka a średnicą zewnętrzną przegrody segmentowej powoduje spadek oporów przepływu,
- Wzrost szczeliny pomiędzy otworem w przegrodzie a średnicą zewnętrzną rurki powoduje spadek oporów przepływu,
- Uporządkowanie, podziałka rur – opory przepływu w zależności od rodzaju uporządkowania oraz wielkości podziałki (t_x, t_y) mogą wzrastać nawet 8-krotnie.
- Cyfrowa anemometria obrazowa jest pomocnym narzędziem służącym do określenia nierównomierność przepływu. Wyznaczenie pól prędkości i obszarów stagnacji pozwala poznać charakter przepływu. Z charakteru przepływu dwufazowego stwierdzono, że zalecany zakres zmian strzałki wycięcia w wymienniku ciepła wynosi od 14 do 30%, a więc podobnie jak dla przepływu jednofazowego

LITERATURA

1. R. Ulbrich: Spadek ciśnienia przy przepływie gaz - ciecz w przestrzeni międzyrurowej, Studia i Monografie z. 89, Politechnika Opolska, Opole (1996).
2. M. Raffel, C. Willert, J. Kompenhans: Particie Image Velocimetry, A practical Guide, Springer, Berlin, 1998.
3. Normy stowarzyszenia producentów rurowych wymienników ciepła „TEMA” (Tubular Exchanger Manufacturers Association).