

Streszczenie

Niniejsza praca doktorska została zrealizowana w ramach projektu POIR.03.02.01-18-0019/15-00 sfinansowanego przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości we współpracy z partnerem przemysłowym - firmą Retech Sp. z o.o. Projekt, o tytule *Wdrożenie do produkcji nowej generacji pochłaniaczy pary do pieców konwekcyjno-parowych*, zakładał opracowanie nowej konstrukcji pochłaniacza pary z wykorzystaniem metod numerycznych, co jest głównym przedmiotem tej rozprawy.

Pochłaniacz pary to urządzenie ciepłno-przepływowe szeroko stosowane w gastronomii. Zaprojektowane jest do współpracy z piecami konwekcyjno-parowymi produkującymi znaczne ilości pary wodnej. Pochłaniacz pary wyposażony jest w odpowiedni wymiennik ciepła, który umożliwia wychwycenie pary wodnej pochodzącej z pieca, skroplenie jej i skierowanie z powrotem do pieca. Umożliwia to swobodne przestawianie pieca oraz pozwala na jego normalną pracę bez odpowiedniej infrastruktury. Para produkowana przez piec ma bezpośredni kontakt z potrawami w komorze roboczej pieca, co sprawia, że towarzyszyć jej mogą cząsteczki stałe i krople tłuszczu, które mogą być również nośnikami zapachów. Dodatkową funkcją pochłaniacza pary jest wychwytywanie tych cząstek, kropel i zapachów tak, by nie doszło do zanieczyszczenia pomieszczenia - jest to jednak funkcja dodatkowa i nie jest przedmiotem ani projektu ani tej rozprawy.

Wspomniany wymiennik ciepła, w jaki wyposażony jest pochłaniacz pary, ma niestandardową konstrukcję: składa się z dwóch pęczków po 24 wewnętrznie żebrowane rurki z powodu powietrza chłodzącego, które płynie rurkami. Para wodna natomiast opływa rurki z zewnątrz kontaktując się z ich gładką powierzchnią zewnętrzną. Z punktu widzenia wymiany ciepła jest to rozwiązanie niekorzystne z kilku powodów: po pierwsze, średnica rurki (jak również kwestie technologiczne) ogranicza wymiary i liczbę żeber, co ogranicza możliwość rozwinięcia powierzchni ciepła w takim rozwiązaniu; po drugie, wewnętrzne żebra zwiększają opory przepływu przez rurkę; i po trzecie, para wodna opływając rurki w przestrzeni między rurkowej ma niską prędkość (≈ 1 m/s),

co negatywnie wpływa na jej kontakt ze ścianką rurki.

Na potrzeby projektu - a w ramach tej pracy - opracowano trzy modele numeryczne pochłaniacza pary. Wszystkie trzy oparto o funkcje użytkownika UDF realizujące proces kondensacji pary wodnej oraz jej wymiany ciepła z powietrzem będącym czynnikiem chłodniczym. Symulacje wykonano w stanie ustalonym wykorzystując model species transport, co było możliwe dzięki zastosowaniu wspomnianych UDF-ów. Główną ideą modelu UDF było usuwanie z domeny obliczeniowej skroplonej pary wodnej, co pozwoliło liczyć tylko fazę gazową. To z kolei pozwoliło zmniejszyć rozmiar siatki o ok. rząd wielkości. Symulowano przepływ turbulentny modelem standard $k-\varepsilon$ przy użyciu standard wall function. Zaimplementowanie modelu kondensacji i transportu ciepła przy pomocy UDF nie tylko pozwoliło uniknąć modelowania przepływu wielofazowego ze zmianą fazy i, co za tym idzie, zastosować mniejszą siatkę numeryczną, ale w ogóle policzyć opracowane modele dysponując ograniczonymi zasobami obliczeniowymi i ograniczonym czasem.

Pierwszy opracowany model numeryczny dotyczył oryginalnego pochłaniacza pary już produkowanego przez firmę Retech. W pracy oznaczony został jako OC - original construction. Model ten posłużył do zwalidowania modelu UDF oraz do zdiagnozowania rzeczywistego urządzenia pod kątem potencjalnych zmian konstrukcji wymiennika ciepła. Jako, że pochłaniacz pary okazał się być przewymiarowany, ale o bardzo wysokiej sprawności wykrapłania wynoszącej ok. 90%, postanowiono nie poprawiać już wysokiej sprawności, a zamiast tego skupić się na utrzymaniu jej na stałym poziomie przy jednoczesnym odchudzeniu konstrukcji. W tym kierunku opracowano zmiany konstrukcyjne, które zostały potem przeniesione do drugiego modelu.

Drugi model numeryczny (oznaczony jako MC - modified construction) stanowi implementację wyselekcjonowanych i najbardziej obiecujących zmian konstrukcyjnych wymiennika ciepła. Zmiany te obejmują: usunięcie 12 z 48 rurek, co stanowi 25% ogółu powierzchni wymiany ciepła i odpowiada zredukowaniu łącznej długości rur z 13.5 m do 10.1 m, w celu poprawy rozplywu pary wodnej po pęczkach rurek i obniżenia kosztów produkcji; zmiana wymiarów i lokalizacji przegród po stronie parowej tak, aby wydłużyć czas kontaktu pary wodnej z rurkami. Gdy otrzymane wyniki okazały się być zadowalające, tzn. sprawność wykrapłania była na poziomie 90%, zdecydowano o budowie egzemplarza prototypowego na podstawie wytycznych z modelu numerycznego, który następnie został z sukcesem zwalidowany.

Ostatni, trzeci, model numeryczny oznaczono jako RC - redesigned (new) construc-

tion. W koncepcji tej przeorganizowano wymiennik ciepła tak, aby to powietrze opływało rurki, a para wodna płynęła wewnątrz nich. Pozwoliło to na zastosowanie rurek zewnętrznie żebrowanych oraz na ograniczenie ich liczby z pierwotnych 48 (o łącznej długości 13.5 m) do zaledwie 5 (o długości 4.7 m). W rezultacie, dotychczasowe dwa pęczki rurek połączono w jeden duży wyposażony w kierownicę po stronie powietrza. Wyniki symulacji numerycznej okazały się być bardzo optymistyczne, więc zbudowano odpowiedni prorotyp i wykonano pomiary, którymi zwalidowano model. Okazało się, że nowa konstrukcja wykrapla o ponad 15% więcej pary wodnej, niż oryginalny pochłaniacz pary będąc przy tym znacznie prostszą.

Na podstawie rozwiązań z trzeciej konstrukcji (RC) Firma zaprojektowała dwie nowe wersje pochłaniacza pary znajdujące się obecnie w Jej ofercie.