

NORBERT SZMOLKE

Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

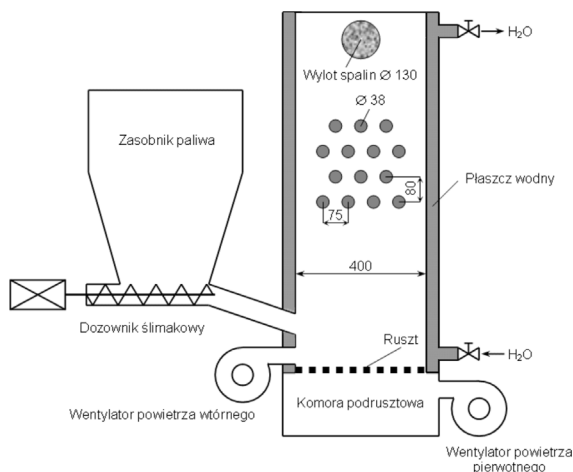
Badania numeryczne przepływu w kotle fluidalnym małej mocy z wykorzystaniem pakietu *Fluent*

Wprowadzenie

Procesy przepływowe w kotłach fluidalnych, stosowanych z dużym powodzeniem w energetyce zawodowej, są stosunkowo dobrze poznane. Jednostki te charakteryzują się dużą mocą i wydajnością cieplną. W kotłach tego typu można spalać różne paliwa, tak kopalne jak i odpadowe. Ta cecha powoduje, że wzrasta zainteresowanie badaczy spalaniem paliw odnawialnych w aparatach ze złożem fluidalnym. Osobnym kierunkiem badań jest poznanie możliwości spalania paliw odnawialnych typu ziarna energetyczne (owies, kukurydza), czy organiczne odpady poprodukcyjne z procesów przetwórczych (pestki śliwek czy wiśni, łupiny orzechów) w jednostkach fluidalnych małej mocy.

W pracy przedstawiono wyniki badań numerycznych, których obiektem była komora spalania modelowego kotła fluidalnego małej mocy (Rys. 1). Zastosowano metodę pozwalającą na ocenę aerodynamiki w przestrzeniach międzyrurowych kotła fluidalnego małej mocy jako funkcji jego budowy oraz warunków eksploatacji. Idea metody polega na opisie ruchu fazy gazowej metodą *Eulera* przy użyciu programu *Fluent* [1], który umożliwi rozwiązywanie układu równań transportu masy i pędu rozszerzonego o równania modelu turbulencji. Obliczenia numeryczne wykonano dla różnych frakcji cząstek, które w przyjętej metodzie uwzględnione zostały w postaci zastępczego ośrodka ciągłego, przenikającego fazę gazową.

Zastąpienie fazy rozrzedzonej ośrodkiem ciągłym stwarza konieczność określenia własności tego ośrodka; podobnie ma to miejsce w przypadku rzeczywistych ośrodków ciągłych. Dla takiego ośrodka oblicza się temperaturę, ciśnienie i tzw. *lepkość granularną*.



Rys. 1. Konstrukcja kotła małej mocy ze złożem fluidalnym

Ogólne prawa zachowania masy oraz pędu, identyczne z równaniami dla przepływów jednofazowych, obowiązują również w odniesieniu do przepływów wielofazowych. W celu uwzględnienia występujących obok siebie dwóch lub więcej faz w obszarach kontrolnych stosuje się miarę stężenia pojedynczych faz w mieszaninie. Miarą tą jest udział objętościowy α_k , który w bilansowanej objętości zdefiniowany jest jako

$$\alpha_k = \frac{1}{V} \int V X_k(r) dV \quad (1)$$

gdzie α_k oznacza udział objętościowy fazy k , a $X_k(r)$ przyjmuje wartość 1 lub 0 w zależności od tego czy elementarna objętość dV (o współrzędnej r) zawiera fazę k lub jej nie zawiera.

Równania ruchu oraz ciągłości dla fazy k przyjmują postać

$$\frac{\partial(\alpha_k \rho_k u_k)}{\partial t} + \nabla(\alpha_k \rho_k u_k u_k) = \nabla(\alpha_k \tau_k) + \alpha_k \rho_k g + F_k + F_s \quad (2)$$

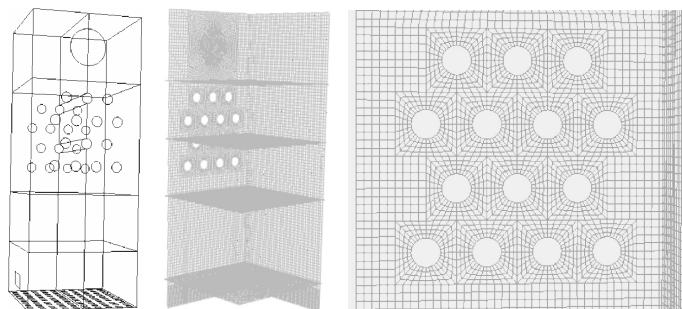
$$\frac{\partial(\alpha_k \rho_k)}{\partial t} + \nabla(\alpha_k \rho_k u_k) = \sum_{\substack{p=1 \\ p \neq k}}^n S_{pk} \quad (3)$$

gdzie S_{pk} jest prędkością przekazywania masy z fazy p do fazy k , F_s wyrażeniem uwzględniającym siły wywołane przez kontakty cząstek ciała stałego, natomiast F_k wyrażeniem ujmującym intensywność wymiany pędu między fazą k a innymi fazami. Występujące w równaniu (2) u_k oznacza prędkość fazy k . Na wymianę pędu między fazami wpływ mają: siła ciężkości i siła oporu aerodynamicznego. Zastosowana metoda uwzględnia turbulencje występujące podczas przepływu, które są obliczane najpowszechniej stosowanym modelem k - ϵ [2-4].

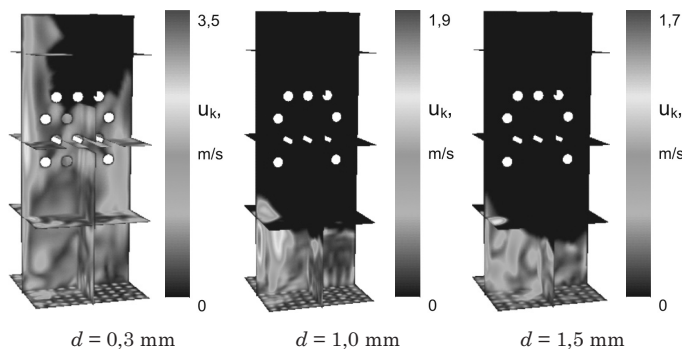
Wyniki obliczeń

Obliczenia prowadzono w prostokątnym kanale o wymiarach $400 \times 400 \times 1200$ mm w który wbudowano wkład rurowy, wg geometrii pokazanej na rys. 1. Ciągłe układy przepływowe zastąpiono obszarami obliczeniowymi, tworzącymi siatki o 379200 komórek obliczeniowych o objętościach $5,683802 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-6}$ m³ i 1170496 ścianek bocznych o powierzchniach $5,683644 \cdot 10^{-6} - 1,087377 \cdot 10^{-4}$ m² (Rys. 2).

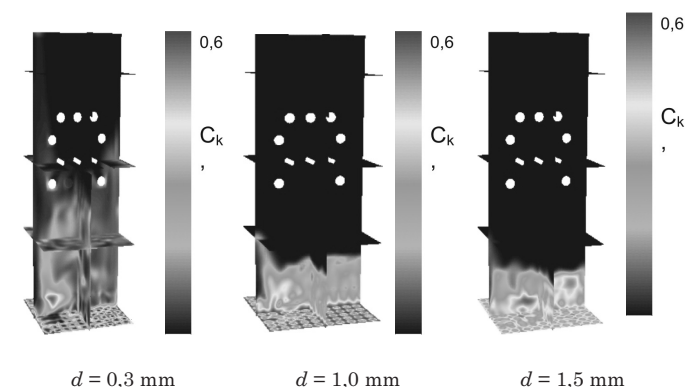
Wykorzystany program *Fluent* pozwala na rozwiązanie układu równań transportu masy oraz pędu, rozszerzonego o model turbulencji. Program badań przewidywał analizę przepływu złoża fluidalnego, składającego się z materiałów drobnociąstkowych o wielkości cząstek $d = 0,1 - 5$ mm o gęstości $\rho = 900$ kg/m³ co odpowiada gęstości mieszaniny miodu węglowego oraz ziaren owsa w stosunku 1:1,5. Ponadto wykona-



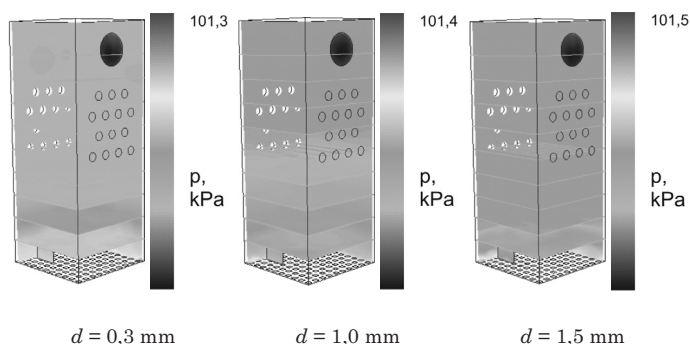
Rys. 2. Komora kotła oraz siatka obliczeniowa



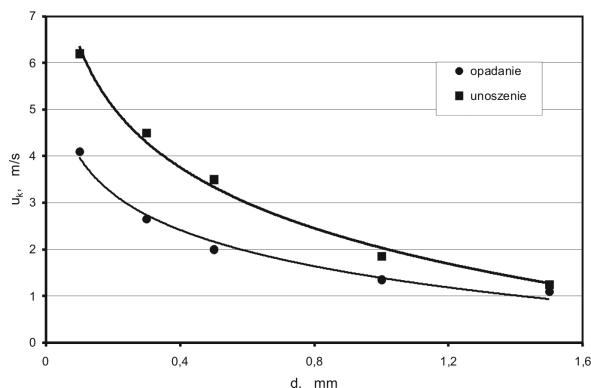
Rys. 3. Rozkład prędkości cząstek stałych w pierwszej minucie przepływu



Rys. 4. Rozkład koncentracji C_k cząstek stałych w pierwszej minucie przepływu



Rys. 5. Rozkład ciśnienia absolutnego w komorze, wg [6]



Rys. 6. Prędkości unoszenia i opadania cząstek w funkcji ich wielkości

no obliczenia dla materiału o właściwościach mialu węglowego. W dalszej części przedstawiono wyniki analiz przepływu cząstek monodispersyjnych o różnej średnicy w komorze spalania.

Na rys. 3 zobrazowano zmiany prędkości cząstek ciała stałego w odniesieniu do ich wielkości. Jak należało oczekiwać mniejsze cząstki szybciej osiągają wyższe prędkości.

Przedstawione na rys. 4 rozkłady koncentracji wskazują na rozrzedzenie mniejszych cząstek ciała stałego i na większe skupiska dużych frakcji w okolicach rusztu.

Pokazany na rys. 5 rozkład ciśnienia absolutnego w komorze został wyznaczony dla cząstek o własnościach mialu węglowego. Największe różnice ciśnienia stwierdzono dla większych cząstek, których część zalegała w dolnej części komory. Spowodowane było to niskimi prędkościami wlotowymi powietrza, które nie wprowadzały całej warstwy w stan fluidalny.

Różne prędkości unoszenia i opadania cząstek złoża fluidalnego (Rys. 6) są wynikiem niejednorodnego przepływu gazu przez złożo, co w konsekwencji prowadzi do powstawania obszarów o różnych polach powierzchni, w których faza stała przemieszcza się w górę lub w dół. Efekt ten ma mniejsze znaczenie dla większych cząstek.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań wskazują na konieczność prowadzenia obliczeń w kierunku jednoczesnego doboru prędkości wlotowych powietrza oraz wielkości cząstek w złożu. Kolejnym krokiem wydaje się być kontynuacja wielowariantowych obliczeń, zakończona doświadczalną weryfikacją wyników.

LITERATURA

1. FLUENT INC.: Fluid Dynamics Analysis Package.
2. M. Syamlal, W. Rogers, T.J. O'Brien: MFX Documentation Theory Guide Technical Note, DOE/METC, 94/1004, 1, 1993.
3. J. Wydrych, N. Szmolke: Archives of Thermodynamic, 27, nr 4, 245 (2006).
4. D. Gidaspow, L. Huilin: AIChE. J., 44, 279 (1998).
5. N. Szmolke: Systems J. of TSS, 13, nr 2/2, 177 (2008).
6. J. Wydrych: Systems J. of TSS, 13, nr 2/2, 262 (2008).