

ROZSZERZONY MODEL PRZEPIŁYWÓW Z POWIERZCHNIĄ SWOBODNĄ OPARTY O METODĘ SIATKOWĄ BOLTZMANN

M. Szucki^{1a}, J.S. Suchy¹, P. Żak¹, J. Lelito¹, B. Gracz¹

¹ Wydział Odlewnictwa, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie,
Reymonta 23, 30-059 Kraków, Polska

mszucki@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: modelowanie, metoda siatkowa Boltzmana, LBM, przepływu dwufazowe

Streszczenie

Celem pracy było rozbudowanie numerycznego modelu procesu zalewania formy odlewniczej przedstawionego w publikacji [1], o możliwość określenia pola prędkości i lokalnego ciśnienia w podobszarze formy wypełnionym przez fazę gazową. Oryginalny algorytm obliczeniowy [2], działający w oparciu o tzw. metodę siatkową Boltzmana (LBM), pozwalał jedynie na wyznaczenie położenia granicy międzyfazowej przy uwzględnieniu średniego ciśnienia jakie wywierane jest przez gaz na powierzchnie swobodną cieczy.

Kompleksowe modelowanie przepływów dwufazowych, w którym ruch obydwu płynów opisany jest tymi samymi równaniami, a lokalizacja granicy międzyfazowej wyznaczana jest poprzez tzw. metody śledzenia powierzchni swobodnej (*interface tracking*), wiąże się zazwyczaj z koniecznością wykonywania skomplikowanych i czasochłonnych obliczeń.

W celu opracowania możliwie prostej i efektywnej metody pozwalającej na wyznaczenie rozkładu ciśnienia i prędkości w podobszarze zajmowanym przez gaz, zaproponowano w niniejszej pracy rozwiązanie nazwane „modelem tłoka”.

Pomijając zjawiska takie jak utlenianie powierzchni swobodnej, czy dyfuzję gazów w głąb cieczy, oddziaływanie pomiędzy ciekłym metalem, a gazami wypełniającymi formę można sprowadzić do prostej sytuacji, w której stop odlewniczy w formie, tak jak tłok w cylindrze, przepycha i spręża gaz, które z kolei przeciwstawiają się temu ruchowi poprzez swoje wzrastające ciśnienie. Warunek brzegowy umożliwiający przekazanie pędu poruszającego się ciała (tłoka) do płynu, dla metody siatkowej Boltzmana można przedstawić w następującej formie [3]:

$$f_i(x, t + \Delta t) = w_p (f_{inv}(x, t) + 2\omega_i \rho_g 3e_i \cdot u_0) + (1 - w_p) (f_r(x, t) + w_r(x, t) 2\omega_i \rho_g 3e_i \cdot [(n_0 \cdot u_0) n_0]), \quad (1)$$

gdzie: f – funkcja rozkładu cząsteczek płynu, f_r – funkcja rozkładu wynikająca z zastosowania warunku brzegowego *Free-slip*, ρ_g – gęstość płynu, u_0 – lokalna prędkość powierzchni swobodnej, w_r – wskaźnik przyjmujący wartość 1 gdy w kroku *streaming* funkcja f_r została zredukowana do wartości odpowiadającej warunkowi brzegowemu *No-slip* i 0 w innych przypadkach, inv – kierunek odwrotny do i , w_p – wskaźnik przyjmujący wartość 0 lub 1 odpowiednio dla warunku *Free-slip* i *No-slip* na powierzchni swobodnej. Pozostałe parametry z zależności (1) dla omawianego tu modelu typu D2Q9 (2 wymiary, 9 prędkości) zestawiono w tabeli 1 [4].

Zastosowanie powyższego równania, z punktu widzenia kinetyki przemieszania się fazy gazowej, oznacza również, że przy pomocy parametru w_p można zdefiniować dowolny warunek brzegowy (*Free-slip*, *Part-slip*, *No-slip*), na powierzchni swobodnej metalu.

Tabela 1. Parametry dla modelu D2Q9

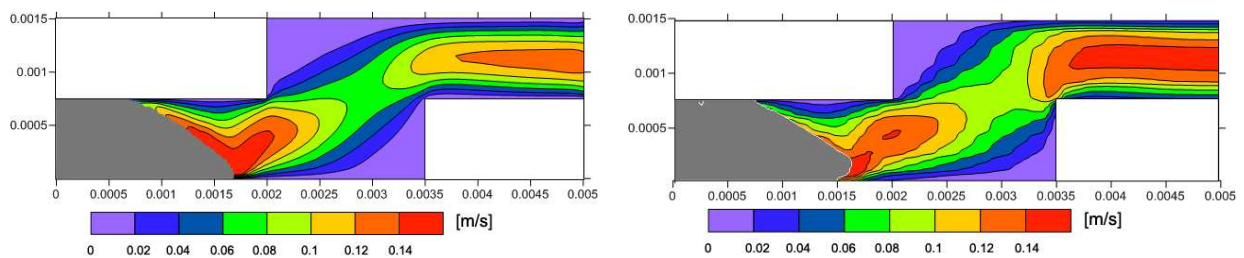
	ω	$0.5e_i^2$
$i=0$	4/9	0
$i=1,2,3,4$	1/9	1/2
$i=5,6,7,8$	1/36	1

Zaletą tego podejścia jest również fakt, iż w przypadku wykorzystanego w pracy modelu przepływów można bezpośrednio wyznaczyć lokalny kierunek normalny n_0 do powierzchni swobodnej na podstawie udziału fazy ciekłej ε w komórkach sąsiednich [3]:

$$n_0 = 0.5 \begin{pmatrix} \varepsilon_{j-1,k} - \varepsilon_{j+1,k} \\ \varepsilon_{j,k-1} - \varepsilon_{j,k+1} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

gdzie: j, k – współrzędne kartezjańskie (odpowiednio x i y).

Do walidacji zaproponowanego rozwiązania wykorzystano układ testowy zbliżony do tego jaki zastosowano w pracy [5]. W modelu numerycznym posłużono się parametrami fizycznymi wody (faza ciekła) i powietrza (faza gazowa) oraz przyjęto, że prędkość na wpływie wynosi 0.1 [m/s]. Wyniki z przedstawionego w pracy modelu zestawiono z danymi pochodzącymi z komercyjnego oprogramowania symulacyjnego FLOW-3D.



Rys. 1. Pole prędkości w podobszarze gazu, po czasie około 0.01 [s] dla zaproponowanego model (lewy rysunek) oraz uzyskane w wyniku symulacji w programie FLOW-3D (prawy rysunek)

Uzyskane i przedstawione na rysunku 1 wyniki cechuje wysoka zgodność, co może prowadzić do wniosku, iż zaproponowany model, przy wszystkich przyjętych uproszczeniach, pozwala na właściwe odwzorowanie charakteru i kinetyki ruchu gazów we wnęce formy.

Podziękowania: Praca zrealizowana w ramach projektu badawczego N N508 480638 (Nr AGH: 18.18.170.383)

Bibliografia

- [1] – Szucki M., Suchy J., Gurgul D.: *Free surface reconstruction during modeling of mould filling process with Lattice Boltzmann Method*. XXXIII International Conference Polish Foundry Day. Cracow 2009 (Conference proceedings).
- [2] – Koerner C., Thies M., Hofmann T., Thurey N., Rude U.: *Lattice Boltzmann Model for Free Surface Flow for Modeling Foaming*. Journal of Stat. Phys., Vol. 121, 2005, 179-196.
- [3] – Thurey N.: *Physically based Animation of Free Surface Flows with the Lattice Boltzmann Method*, PhD Thesis, 2007.
- [4] – Koerner C.: *Integral Foam Molding of Light Metals*. Technology, Springer, 2008.
- [5] – Cruchaga M., Celentano D., Tezduyar T.: *Computation of mould filling processes with a moving Lagrangian interface technique*. Commun. Numer. Meth. Engng, Vol. 18, 2002, 483–493.