

Numeryczna symulacja rozptywu płynu w węźle

JERZY CYGAN

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków

Streszczenie

W artykule przedstawiono wybrane wyniki numerycznego modelowania rozptywu strumienia płynu w rozgałęzieniu, w węźle sieci. Zagadnienie to jest przedmiotem eksperymentów laboratoryjnych wykonywanych od pewnego czasu w Instytucie Mechaniki Górotworu [1]. Celem obydwu kierunków badań (symulacja numeryczna, eksperymenty laboratoryjne) jest opracowanie matematycznego modelu opisu przepływu płynu przez rozgałęzienie, w którym następuje rozdział strumienia lub łączenie się strumieni płynu. Wyniki uzyskane na drodze badań eksperymentalnych umożliwiają prawidłowy dobór modelu numerycznego oraz jego weryfikację.

Słowa kluczowe: symulacja, przepływy

1. Wstęp

Dokładny opis matematyczny rozptywu w rozgałęzieniu ma duże znaczenie w różnych gałęziach nauki i techniki. Zagadnienie to dotyczy wielu dziedzin życia i działalności człowieka. Wśród nich można wymienić: konstrukcję budowli (sieć wentylacyjna, sieć wodociągowa), medycynę (układ krwionośny człowieka) natomiast w obszarze badań mechaniki górotworu – porowate struktury skał oraz kopalniane sieci wentylacyjne.

Opis rozptywu płynu w węźle stanowi pierwszy krok na drodze modelowania przepływu płynu w bardziej złożonej strukturze sieci z hierarchicznym systemem powiązań.

Przedstawione dalej wyniki obliczeń numerycznych zostały uzyskane za pomocą aplikacji [3], na którą składają się: program obliczeniowy – FLUENT i program generowania geometrii i siatki modelu – GAMBIT. System ten działający z zastosowaniem metody elementów skończonych jest ukierunkowany szczególnie na modelowanie zagadnień poprzez rozwiązywanie równań opisujących przepływ płynu oraz przewodnictwo cieplne.

Prowadzone równocześnie eksperymenty laboratoryjne pozwalają na modyfikację oraz weryfikację przyjętych modeli numerycznych analizowanego zagadnienia.

2. Geometria modelu rozptywu w rozgałęzieniu

Modelowanie przepływu w węźle należy rozpocząć od przyjęcia i wygenerowania odpowiedniej geometrii modelu. W konstruowaniu modelu numerycznego i opisie struktury pojedynczego węzła sieci rozważane były następujące układy połączeń elementów:

- rozgałęzienie typu T
- rozgałęzienie typu Y.

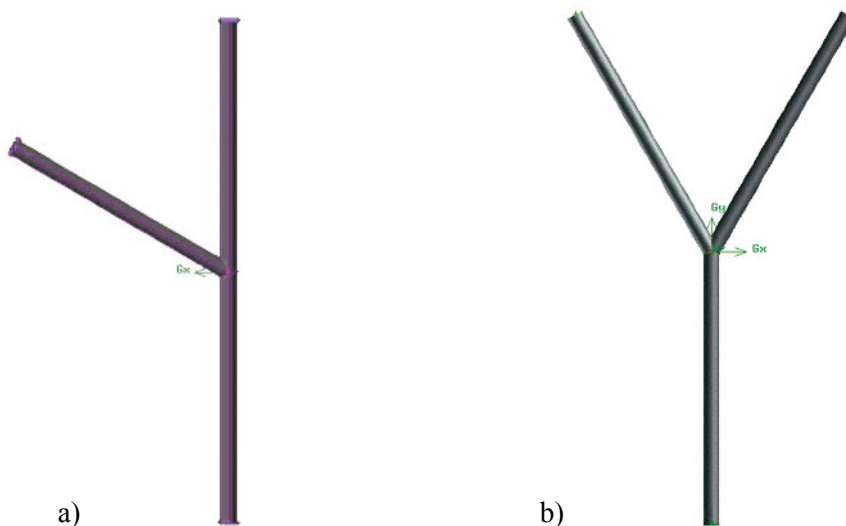
Dla rozgałęzienia typu T przyjęto, że dwa cylindryczne przewody o takiej samej średnicy łączą się pod kątem prostym (rys. 1) .



Rys. 1. Rozgałęzienie typu T

Dla rozgałęzienia typu Y rozważane były dwa warianty połączenia przewodów transportujących płyn:

1. Dwa proste cylindryczne odcinki przewodu o identycznej średnicy połączone ze sobą pod kątem 60° , łączą się w jednej płaszczyźnie z trzecim odcinkiem przewodu (obydwa pod takim samym kątem 120°) (rys. 2a).
2. Prosty, cylindryczny odcinek przewodu łączy się z drugim prostym cylindrycznym odcinkiem przewodu (identycznej średnicy) pod kątem 60° (rys. 2b).

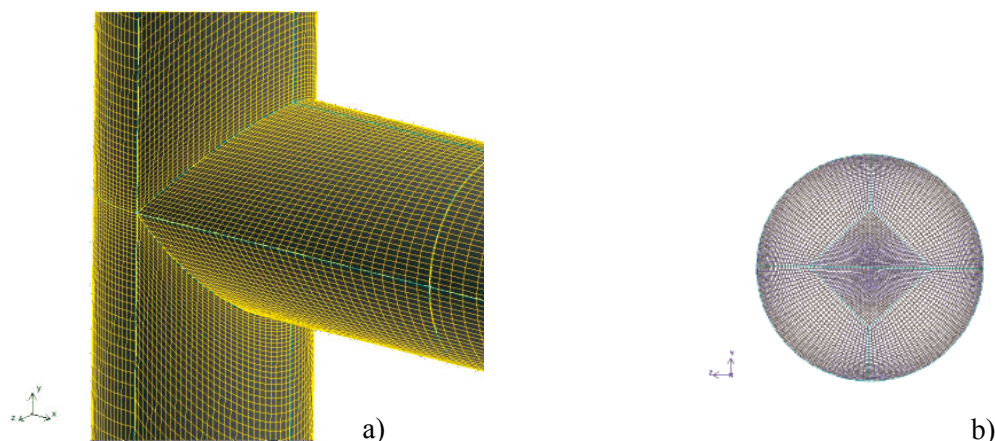


Rys. 2. Warianty rozgałęzienia typu Y (przyjęte w procesie modelowania)

Przy modelowaniu przepływu w węźle, który odpowiada krążeniu krwi w układzie krwionośnym, przyjmowana była jednolita średnica przewodów wynosząca 3 mm. Ma to związek z prowadzonymi już w Instytucie badaniami eksperymentalnymi przepływów w tętnicach mózgowych [2].

Odległość od węzła rozgałęzienia do końców przewodów (wlotu i wylotu) wynosiła 50 mm.

Niezwykle ważne w procesie modelowania jest skonstruowanie i wygenerowanie odpowiedniej siatki obliczeniowej. Prawidłowo skonstruowana siatka odzwierciedla we właściwy sposób geometrię modelu i jest warunkiem koniecznym poprawności i zbieżności przeprowadzanych obliczeń numerycznych.



Rys. 3. Schemat podziału geometrii modelu i tworzenia siatki obliczeniowej

3. Wyniki numerycznego modelowania przepływu w węźle

Obliczenia wykonywane były z zastosowaniem metod, jakimi dysponuje program FLUENT [3] przeznaczony do numerycznego modelowania przepływu. Przestrzeń modelu była tworzona za pomocą programu GAMBIT, znajdującego się w pakiecie Fluent, stosowanego do generowania geometrii modelu obliczeniowego oraz wyznaczania podziału przestrzeni modelu na odpowiednie elementy.

Obliczenia wykonywane z użyciem programu Fluent prowadzone są przy uwzględnieniu prawa zachowania masy oraz zastosowaniu prawa zachowania pędu [3].

Przyjmowany w obliczeniach płyn uczestniczący w przepływie cieczy był traktowany jako ciecz niu-tonowska, natomiast w przepływie gazu przyjmowane było powietrze w warunkach normalnych. Przepływ był zakładany jako laminarny (bez turbulencji).

Krew przy średnicy naczynia 3 mm może być traktowana w przybliżeniu jak ciecz niu-tonowska. Dla naczyń kapilarnych (włosowatych), których średnica jest mniejsza od 10^{-5} m i jest w przybliżeniu równa średnicy krwinek, takiego założenia nie można przyjmować.

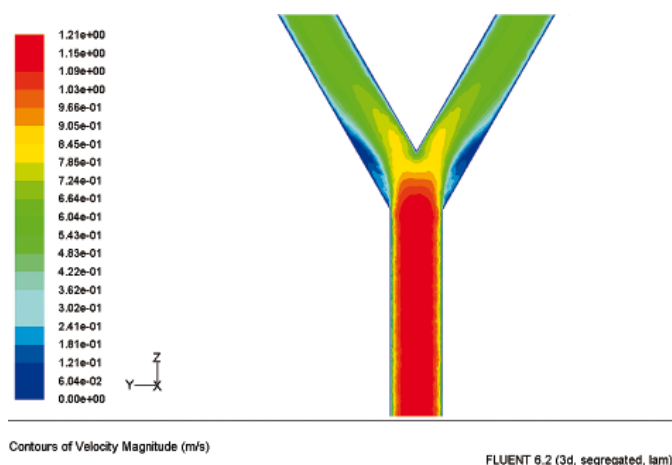
Na wlocie przyjmowane było stałe pole prędkości – 1 m/s.

Obliczenia wykonywane były przy założeniu nieściśliwości płynu, a parametry cieczy przyjmowano jak dla wody.

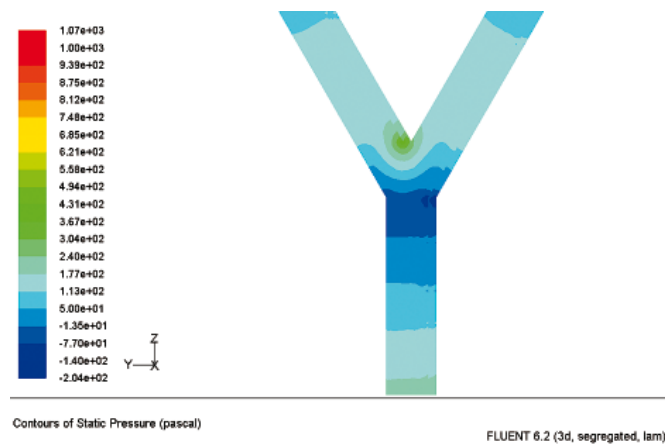
W celu porównania wykonane zostały obliczenia dla przepływu odpowiadającego sieci wentylacyjnej kopalni. Średnica przewodów w tym przypadku została przyjęta jako równa 3 m. Parametry płynu przyjęte zostały jak dla powietrza w warunkach normalnych. Na wlocie przyjęto również stałe pole prędkości 1 m/s.

Kolejne rysunki przedstawiają rozkłady prędkości oraz ciśnień na przekroju wzdłuż osi przewodów.

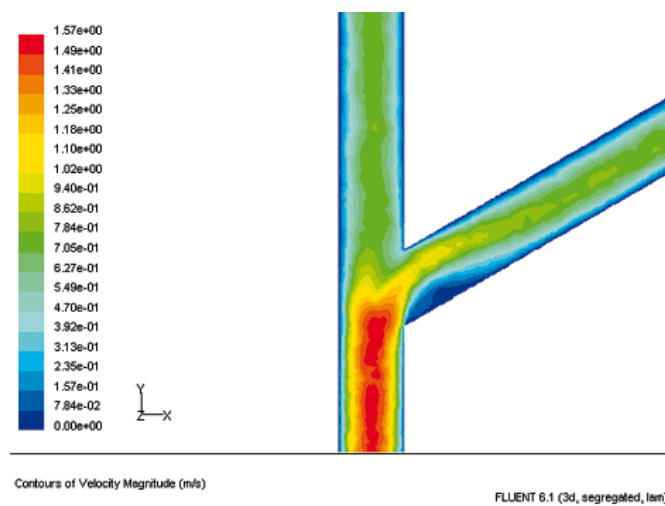
Rysunki 4 i 5 pokazują wyniki symulacji gdy płynem przyjętym była woda, natomiast pozostałe rysunki pokazują wyniki obliczeń gdy przyjętym płynem było powietrze.



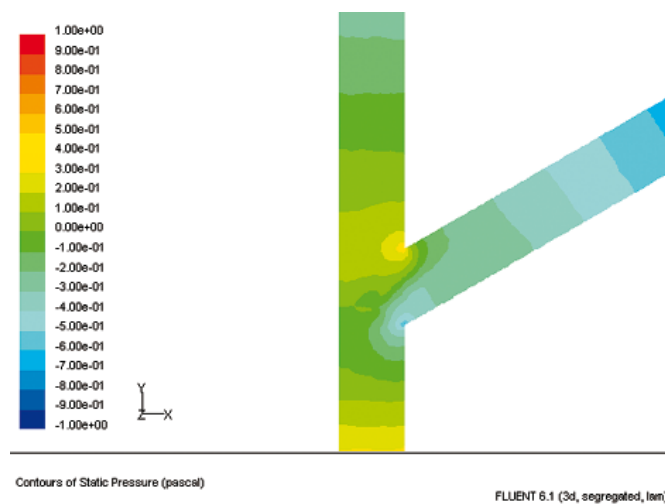
Rys. 4. Rozkład prędkości – podział strumienia w węźle Y



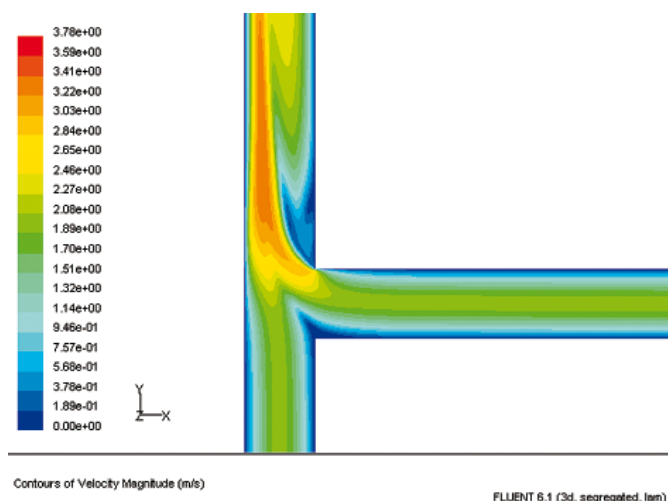
Rys.5. Rozkład ciśnienia – podział strumienia w węźle Y



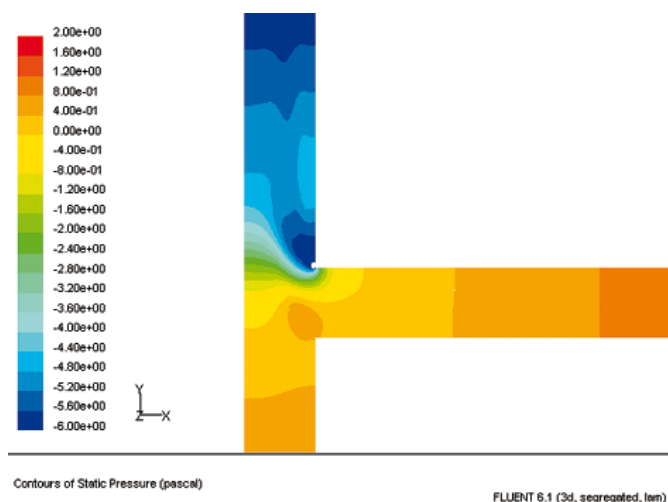
Rys. 6. Rozkład prędkości – podział strumienia w węźle Y – wariant drugi



Rys.7. Rozkład ciśnienia – podział strumienia w węźle Y – wariant drugi



Rys. 8. Rozkład prędkości – łączenie strumieni w rozgałęzieniu T



Rys. 9. Rozkład ciśnienia – łączenie strumieni w rozgałęzieniu T

Wnioski

Dobór odpowiedniej siatki jest bardzo ważnym zagadnieniem w procesie modelowania i warunkuje prawidłowe wykonanie obliczeń

Konstruowanie i optymalizacja podziału przestrzeni modelu na elementy jest zadaniem trudnym i pracochłonnym.

Dotychczasowe wyniki symulacji wykazują zbieżność w porównaniu z wynikami eksperymentów.

Literatura

- [1] Cierniak W., Mnich K., *Badanie przepływów cieczy w rozgałęzieniu*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków 2003.
- [2] Cieśliski K., *Hydrodynamiczne uwarunkowania krążenia mózgowego*. Problemy Współczesnej Nauki. Teoria i Zastosowania, Warszawa 2001.
- [3] Dokumentacja aplikacji FLUENT (firmy Fluent) przeznaczonej do modelowania przepływu płynów i przewodnictwa cieplnego.

Numerical simulation of a flow in a junction**Abstract**

Paper presents results of application of Computational Fluid Dynamics code to numerical simulation of flow in a junction, considered as a part of a network. This problem has been also analyzed experimentally at the Strata Mechanics Research Institute [1]. The aim of both approaches (numerical simulation and experiments) was to develop a mathematical description of the flow in junctions, where jets merge or split. Experimental data will help to develop and validate both numerical and mathematical models.

Keywords: simulation, flows

Recenzent: Prof. dr hab. inż. *Wacław Dziurzyński*, Instytut Mechaniki Górotworu PAN