

Symulacja przepływu laminarnego za stopniem (2D)

Cel ćwiczenia

Symulacja przepływu laminarnego w kanale z uskokiem, analiza wpływu gęstości siatki obliczeniowej i rzędu aproksymacji członów konwekcyjnych w równaniach pędu na jakość uzyskanych wyników obliczeń.

Streszczenie

W ramach ćwiczenia należy przeprowadzić symulacje przepływu **laminarnego** w kanale z uskokiem dla liczby Reynoldsa **Reh=230**. Liczba Reynoldsa bazuje na średniej prędkości na włocie do obszaru obliczeniowego i wysokości stopnia h = 1 cm. Obliczenia testowe należy wykonać na dwóch siatkach obliczeniowych (rzadkiej i gęstej), z wykorzystaniem schematów pierwszego i drugiego rzędu do dyskretyzacji członów konwekcyjnych w równaniach pędu (first and second-order upwind). Uzyskane wyniki obliczeń porównać z danymi eksperymentalnymi. Osza-cować straty ciśnienia wzdłuż kanału. Włotowy profil prędkości (parabola) należy zdefiniować przy pomocy funkcji Interpreted UDF.

Po zakończeniu symulacji nalezy zastanowić się:

- 1. Jaka jest przyczyna lokalnego spadku ciśnienia tuż za stopniem?
- 2. Jaki jest wpływ schematu dyskretyzacji członów konwekcyjnych na wynik obliczeń?
- 3. Jaki wpływ na jakość uzyskanych wyników obliczeń ma gęstość siatki obliczeniowej?
- 4. Co może być przyczyną niezgodności wyników obliczeń numerycznych, o ile występują, z danymi eksperymentalnymi?

Warunkiem zakończenia ćwiczenia jest przedstawienie prowadzącemu zajęcia otrzymanych wyników obliczeń oraz dokonanie analizy uzyskanych wyników. Całość w formie sprawozdania zawierającego obrazy jak również analizę wyników.

Program Fluent

1. Symulacje dla metody 1 rzędu.

- 1. Otworzyć program Fluent. Włączając pierwszy raz program fluent w naszym bloku projektu zostanie wyświetlone okno powitalne w którym możemy wprowadzić wstępne ustawienia naszych obliczeń.
- 2. Na nasze potrzeby, ustawiamy analizę dwuwymiarową (program prawdopodobnie się domyśli tego ustawienia). Dodatkowymi opcjami, które mogą nas interesować w przyszłości są opcje:
- **Double precision** Zwiększamy dokładność obliczeń kosztem ich prędkości oraz stabilności
- Solver Processes ile rdzeni procesora chcemy użyć do obliczeń. Oczywiście zwięszkając zasoby zwiększamy prędkość obliczeń.

w tym momencie nie zmieniamy dodatkowych opcji, zostawiamy **ustawienia** domyślne

- 3. Interface użytkownika niewiele różni się od tego w poprzednich programach. Po lewej stronie ekranu znajduje się drzewo opcji *Outline View*. Aby **poprawnie ustawić przypadek** jakichkolwiek obliczeń powinno się uzupełniać wszystkie potrzebne ustawienia przechodząc drzewo opcji od góry do dołu.
- 4. Po wczytaniu się programu, jeżeli zaznaczyliśmy opcje *Display mesh after reading* a zaznaczyliśmy, w oknie graficznym powinna się pojawić nasza geometria.

Jeżeli się nie pojawiła, w oknie *Task Page* pomiędzy oknem graficznym a drzewem opcji, wybieramy przycisk *Display....* W nowopowstałym oknie *Mesh display* klikamy przycisk *Display.*

5. Aby sprawdzić czy przestrzeń obliczeniowa ma odpowiednie wymiary wciskamy Scale... (Wymiary naszej domeny: 0.7 m x 0.3 m).

Jeżeli siatka została wykonana w innych jednostkach niż wcześniej sugerowano, to należy ją przeskalować (wybrać jednostkę w której był tworzony model *Mesh* was created in i potwierdzić przyciskiem Scale).

6. W oknie **Task Page**, w polu solver sprawdzamy nasze podstawowe ustawienia solvera dla naszego przypadku:



- a. Pressure-based zalecane dla obliczeń nieściśliwych (Density-based ściśliwe)
- b. Steady stan ustalony (Unstedy nieustalony)
- c. Przepływ jest dwuwymiarowy 2D Space/Planar
- W oknie Outline View przechodzimy do Models po rozwinięciu klikamy dwukrotnie Viscous. Pojawi nam się okno opcji modeli obliczeniowych. Wybieramy odpowiedni model. Zamykamy okno i zwijamy menu Models.
- 8. Teraz materiał zdefiniowany w menu **Materials**. Po rozwinięciu dwukrotnie klikamy na **air** (lub po zaznaczeniu **air** wciskamy przycisk **Create/Edit**).

Wprowadźmy dane jak dla wody tzn.:

- gęstość 1000 kg/m3
- lepkość dynamiczną 0.001 kg/(m·s)

w oknie *Name* można zmienić nazwę z *air* na *woda* (we Fluencie jest też możliwość dodania dowolnego płynu z bazy danych *Fluent Database*, ale trzeba pamiętać potem o aktywacji wybranego płynu w *Cell Zone Conditions/Edit*). potwierdzamy **Change/Create** i zamykamy okno.

9. Rozwijamy **Cell Zone Conditions** i otwieramy opcję naszej domeny. Pod zakładką Fluid powinna znajdywać się nazwa którą przyporządkowaliśmy naszym powierzchniom, w tym przypadku **Woda**.

Upewniamy się, czy w menu rozwijanym **Material Name** jest wybrany materiał który przed chwilą stworzylismy (**woda**).

- 10. Przygotowujemy plik UDF.
- 11. Wczytujemy zadany profil prędkości do Fluenta za pomocą okna (Górna belka) User-Defined/Functions/Interpreted potwierdzić przyciskiem Interpret.
- 12. Oknie **Outline View** przechodzimy dalej. Kolejną opcją w drzewie jest **Boundary Conditions**. Tutaj definiujemy nasze warunki brzegowe. Jeżeli w odpowiedni sposób sformatowaliśmy nazwy naszych elementów geometrii, program fluent sam domyśli się jakie warunki brzegowe przyporządkować do tych nazw. Rozwiń poszczególne warunki brzegowe i upewnij się, że wszystko jest na swoim miejscu.
 - velocity_inlet Inlet warunek brzegowy velocity-inlet
 - wall Wall warunek brzegowy wall



Figure 1: Rys. 1. Sposób wczytywania interpretowanej funkcji UDF

 $\bullet\ {\rm pressure_outlet}$ - ${\rm Outlet}$ - warunek brzegowy ${\rm pressure-outlet}$

Warto też zauważyć, że warunki brzegowe mają swoja reprezentacje w postaci kolorów. W oknie graficznym, wlot zawsze będzie niebieski, wylot czerwony a ściany (wall) białe.

Wchodząc do warunku brzegowego inlet **aktywujemy** wczytany profil składowej X prędkości na wlocie do obszaru obliczeniowego. Należy pamiętać, że jest to składowa x prędkości nie moduł prędkości. **Wybieramy** odpowiednią metodę prowadzania warunku brzegowego w **Velocity Specification Method** i przy składowej X rozwijamy menu i wybieramy naszą zmienną z pliku UDF. Akceptujemy wybór i wychodzimy.

- 13. To już wszystko w zakładce **Setup** w oknie **Outline View**.
- 14. W zakładce Solution w Methods:
 - Zmieniamy schemat sprzęgnięcia ciśnienie-prędkość na ${\bf SIMPLE}$
 - Zmieniamy również schemat dyskretyzacji I rzędu dla członów konwekcyjnych w równaniach pędu (Momentum: First Order Upwind).
- 15. Po rozwinięciu **Monitors** w **Residual** ustawiamy poziom zbieżności rozwiązania (**Absolute Criteria**) dla wszystkich składników z 0.001 na 1e-5.
- 16. W **Initialization** wybieramy Standardową metodę inicjalizacji. Pod Compute from wybrać warunek wlotowy, w oknie Initial Values pojawiły się teraz wartości z wlotu. Sprawdzić czy prędkość odpowiada średniej wprowadzonej

do UDFa. Kliknięcie na Initialize spowoduje przypisanie tych wartości całemu obszarowi obliczeniowemu.

17. Przechodzmy do Run Calculation. W polu Parameters sterujemy, w przypadku obliczeń stacjonarnych, ilością iteracji. Ustaw wstępnie 30 iteracji i uruchom obliczenia. Pojawi się okno z informacją Calculation complete ale to nie znaczy, że obliczenia będą poprawne. Aby dokładnośc obliczeń doprowadzić do zadowalającego poziomu nalezy obserwować wykres zbieżności. Zmień liczbę iteracji i kontynuuj obliczenia aż wszystkie zmienne na wykresie osiągną zbieżność. Jeżeli wykresy wszystkich zmiennych się zbiegnią, a więc zmienne ustalą się w pobliżu poziomu zbieżności którą ustawiliśmy w punkcie 11, lub go przekroczą tą wartość możemy zakończyć obliczenia. Jeżeli osiągniemy zbieżność którą ustawilismy, program wyświetli informację ! solution converged w Konsoli u dołu okna.

 $\mathbf{Proszę}$ zachować wykres zbieżności do raportu

- 18. Na tym etapie możemy już **zwizualizować** nasze wyniki.
- 19. Proszę wykonać wizualizacje konturów ciśnienia, prędkości, wektorów prędkości i linii prądu korzystając z opcji **Graphics** pod zakładką **Results**:
 - a. **Contours** mapy konturów, wystarczy ustawić odpowiedni parametr pod Contours of. Aby przestrzenie między izoliniami były wypełnione musi być zaznaczona opcja **Filled**, nie trzeba nic zaznaczać w oknie Surfaces.
 - b. Vectors mapy wektorów, aby były czytelniejsze można zmienić wartości pod Scale i Skip
 - c. **Pathlines** linie prądu, pod Release from Surfaces, zaznaczyć z których powierzchni mają być puszczane, uwaga: przy gęstszych siatkach należy pamiętać o wprowadzeniu jakieś wartości pod Path Skip

Wszystkie grafiki mają się znaleźć w raporcie

20. Zdefiniować dodatkowe przekroje korzystając z Surface/Iso-Surface/Surface of Constant/Mesh. Wybrać współrzędną X(a później Y). Utworzyć odcinki $\mathbf{x} = \mathbf{0}, \mathbf{x} = \mathbf{0.06}$ i $\mathbf{y} = \mathbf{0}$, podając odpowiednie wartości pod Iso-Values.

Uwaga: wartości współrzędnych zależą od położenia geometrii na płaszczyźnie XY:

• x = 0 - przekrój poprzeczny na uskoku

- $\bullet~{\rm x}=0.06$ przekrój poprzeczny w odległości 60 mm od uskoku
- y = 0 przekrój wzdłuż dolnej krawędzi poziomej kanału

Wartości liczbowe zostały podane dla przypadku gdy dolny punkt uskoku znajduje się w środku układu współrzędnych. Na koniec wyświetlić siatkę razem z przekrojami, aby upewnić się że zostały dodane poprawnie.

21. Porównać profile składowej x prędkości średniej w przekrojach x = 0 i x = 0.06 z danymi eksperymentalnymi Results/Plots/XY Plot. Porównania dokonujemy przy pomocy Fluenta. Dane eksperymentalne znajdują się w katalogu "dane_eksperyment", wczytać je poprzez Load File. Kliknięcie na Plot powoduje wyświetlenie serii danych z pliku, zaznaczonych w oknie File Data.

Zastanowić się jakie wartości powinny znajdować się na osiach X i Y. Żeby stworzyć wykres, którego pozioma oś nie jest osią położenia należy odznaczyć opcję Position on x axis. Zaznaczenie Position on y axis powoduje przypisanie położenia na osi pionowej. Pod X Axis Function wybrać składową x pręd-kości, a pod Surfaces odpowiedni przekrój. Jeżeli wyświetlamy dane dla linii poziomej, pod Plot Direction należy ustawić X = 1, natomiast dla pionowej Y = 1.

Opcja "Write to File" umożliwia zapisanie serii danych do pliku.

22. Określić położenie punktu przylgnięcia, poprzez wykonanie wykresu naprężeń po X Display/Plot/XYPlot/Wall Fluxes/X Wall Shear Stress. Punkt przylgnięcia znajduje się w miejscu, w którym wartości naprężeń zmieniają znak z ujemnego na dodatni.

Eksperymentalne wartości znajdują się w pliku re-vs-reattachmentpoint_woda_cm.txt (otworzyć go Notatnikiem i odnaleźć wartość dla liczby Reynoldsa najbliższej 230), następnie porównać z obliczeniami.

- 23. Ten etap został zakończony, zanim jednak przejdziemy do kolejnego zamykamy program fluent.
- W środowisku Workbench zapisujemy przypadek.
- Przy nagłówku bloku (Na 99% będzie to litera A) z którym pracowaliśmy przyciskamy czarny trójkąt i z rozwiniętego menu wciskamy przyciskDuplicate.

2. Symulacje dla metody 2 rzędu

1. Zduplikowany blok nazywamy Instrukcja II.2.

- 2. W nowo powstałym bloku wchodzimy znów do komórki Setup.
- 3. Otworzy się fluent, w oknie powitalnym znów zostawiamy ustawienia domyślne.
- 4. Zmieniamy **schemat dyskretyzacji** na schemat upwind 2 rzędu (Second order upwind). (Punkt 14 w poprzednim akapicie)
- 5. Wykonujemy obliczenia i porównujemy wyniki obliczeń (Powtarzamy kroki 17 22) (**Bez inicjalizacji)

3. Symulacje dla metody 1 rzędu na siatce gęstej.

- 1. Duplikuemy Blok A. i nazywamy konsekwentnie Instrukcja II.3
- 2. Aby zageścić naszą siatkę, w górnej belce programu wchodzimy w zakładkę Domain, później w polu Adapt klikamy Refine/Coarsening
- 3. W nowo otwartym oknie wciskamy przycisk **Cell Registers/New/Region...** w odpowiednie okienka wpisujemy wartości granicznych współrzędnych naszej domeny (te możemy sprawdzić w zakładce **Setup/General/Scale...** lub w górnej belce zakładka **Domain** i przycisk **Scale...** w pilu **Mesh**).
- 4. Następnie powtarzamy obliczenia tak jak dla 1 rzędu. (punkty 16-21 w akapicie 1)

4. Symulacje dla metody 2 rzędu na siatce gęstej.

1. Duplikujemy Blok Instrukcja II.3, nazywamy ... wiadomo.

Dla siatki gęstej ustawmy schemat dyskretyzacji upwind 2 rzędu i wykonać obliczenia (punkty 17 - 22) (**Bez inicjalizacji)

Przygotowanie funkcji UDF

Za pomocą funkcji UDF (*User defined function*) program fluent pozwala nieco bardziej rozszerzyć swoją funkcjonalność. Dzięki temu można definiować własne profile prędkości, wprawiać elementy w ruch poddany prawom fizyki lub definiować własne modele obliczeniowe.



Figure 2: Dane potrzebne do pliki UDF

Pod tym linikiem znajduje się fragment programu umożliwiający zadanie profilu prędkości na wlocie do obszaru obliczeniowego. Należy go pobrać do folderu z projektem programu ANSYS.

W funkcji DEFINE_PROFILE należy podać:

- 1. Współrzędne y1 [m] i y2 [m] odpowiadające dolnej i górnej ścianie kanału dolotowego
- 2. vel_aver [m/s] średnią wartość składowej x wektora prędkości, którą wyznacza się w oparciu o zadaną liczbę Reynoldsa.

Po otwarciu Fluenta wczytać go przy pomocy funkcji Define/User-defined/Functions/Interprete

Opis danych eksperymentalnych

W ramach laboratorium będziemy wykorzystywać **dane eksperymentalne**. W kanale z takimi samymi parametrami został wykonany eksperyment i zostały zmierzone wartości prędkości.

Pliki powinny być ściągnięte do folderu w którym się znajduje projekt.

• W pliku PLIK 1 znajduję się składowa x wektora prędkości w przekroju poprzecznym dla uskoku.





Figure 3: Dane potrzebne do pliki UDF



Figure 4: Dane potrzebne do pliki UDF

- W pliku PLIK 2 znajdują się składowa x wektora prędkości w przekroju poprzecznym w odległości 60 mm od uskoku.
- W pliku PLIK 3 znajdują się dane pozwalające na określenie punktu przylgnięcia warstwy ścinającej na dolnej ścianie kanału dla różnych liczb Reynoldsa. Z załączonych danych powinno się wybrać punkt przylgnięcia odpowiadający odpowiedniej liczbie Reynoldsa.