

Cel ćwiczenia

Streszczenie

Przebieg ćwiczenia

Obliczenia z zastosowaniem funkcji ściany

Analiza wpływu warunków na wlocie do obszaru obliczeniowego

Siatka gęsta, podejście Enhanced Wall Treatment.

Opis danych eksperymentalnych oraz ich interpretacja graficzna

Symulacja przepływu turbulentnego przez rurę o skokowo zmiennej średnicy

Cel ćwiczenia

Symulacja przepływu turbulentnego przez rurę o zmiennej średnicy przy zastosowaniu modelu turbulencji $k-\epsilon$, analiza wpływu warunków na wlocie do obszaru obliczeniowego i sposobu modelowania zjawisk przyściennych na wynik obliczeń.

Streszczenie

Obliczenia przepływu turbulentnego dla liczby $Re_D = 200\,000$ z zastosowaniem tzw. standardowego modelu turbulencji $k-\epsilon$ przeprowadzone będą na dwóch siatkach obliczeniowych: bazowej - rzadkiej(coarse) i gęstej(fine). Liczba Reynoldsa bazuje na większej średnicy rury, $D = 0.1524\text{m}$ i prędkości średniej na wylocie z obszaru obliczeniowego.

Symulacje na siatce bazowej wymagać będą stosowania funkcji ściany (Standard Wall Function) w celu poprawnego obliczenia prędkości średniej, energii kinetycznej turbulencji, k , oraz dyssypacji energii kinetycznej turbulencji, ϵ , w pobliżu ściany. Obliczenia na siatce gęstej będą realizowane z wykorzystaniem modelu turbulencji $k-\epsilon$ w połączeniu z modelem jednorównaniowym Wolfsteina w pobliżu ściany. Podejście to nazywa się Enhanced Wall Treatment.

Czynnikiem roboczym jest woda.

Na wlocie do obszaru obliczeniowego przyjęty zostanie warunek brzegowy typu velocity inlet. Profil prędkości średniej zdefiniowano w oparciu o symulację w pełni rozwiniętego przepływu turbulentnego w rurze. Rozpatrywane będą trzy sposoby definiowania profili energii kinetycznej turbulencji i dyssypacji na wlocie:

1. w oparciu o profile uzyskane dla w pełni rozwiniętego przepływu w rurze (plik `inlet_profile_keps.prof`)
2. standardowe ustawienia Fluentu (nie mające znaczenia fizycznego)

3. wielkości zdefiniowane przez użytkownika (w oparciu o pewne oszacowania intensywności turbulencji, Tu [%] i skali długości turbulentnej, l_t [m]).

Student ma do dyspozycji przygotowane wcześniej pliki *.cas zawierające siatkę obliczeniową (bazowa i gęsta). Nie ma więc konieczności przygotowania siatki.

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.

Przebieg ćwiczenia

Obliczenia z zastosowaniem funkcji ściany

1. Do okna projektu wyciągnij **Fluent** z zakładki **Component systems**. Otwieramy program Fluent przez otwarcie komórki **Setup (2D, Double precision, serial** (jeden proces))
2. Wczytać plik *.mesh z bazową siatką obliczeniową - **File/Import/Mesh....**

Plik do ściągnięcia (<http://ccfd.github.io/courses/data/momp/3/coarse.msh>) Średnice rury to $D = 0.1524\text{m}$ i $D_{\text{inlet}} = 0.517D = 0.0788\text{ m}$.
3. Przepływ jest osiowosymetryczny. Zapewne program fluent to zauważy i wypisze odpowiednie ostrzeżenie w konsoli (dzięki odpowiedniemu nazewnictwu warunku brzegowego). Sprawdź ustawienia w **Setup/General** w polu **Solver**.
4. Wybieramy odpowiedni model turbulencji w **Define/Models** i odpowiednią opcję w **Near-Wall Treatment**.
5. Sprawdzamy poprawność zdefiniowania własności płynu. **Setup/Materials/Fluid**.
6. Pobieramy plik z zdefiniowanymi parametrami warunku brzegowego (http://ccfd.github.io/courses/data/momp/3/inlet_profile_keps.prof).
7. Wczytujemy pobrane profile. Można to zrobić na dwa sposoby:
 - W górnej belce: **Physics/Zones/Profiles..**
 - W drzewie po lewej stronie klikając dwukrotnie na **Setup/Boundary Conditions** i wciskając guzik **Profiles...**Zostanie wczytanych 5 pól, z czego 3 są naszymi zmiennymi - **profil prędkości, energii kinetycznej turbulencji i dyssypacji energii kinetycznej turbulencji**.
8. Ustawiamy schemat dyskretyzacji I rzędu dla członów konwekcyjnych w równaniach pędu (upwind) oraz SIMPLE jako schemat sprzężenia prędkość-ciśnienie w **Solution/Methods**.
9. Ustawiamy poziom zbieżności rozwiązania, **Solution/Monitors/Residual**, $1e-5$.
10. **Inicjalizuj** obliczenia z wlotu i przeliczyć. Zbieżność rozwiązania monitorować.

Sprawdź jak wyglądają wlotowe profile prędkości średniej, energii kinetycznej turbulencji i dyssypacji w **Results/Plots/Profile Data**. Otworzyć w notatniku plik, z którego zostały wczytane i zobaczyć w jaki sposób zostały zdefiniowane.

W sprawozdaniu podaj przykłady przypadków dla których można zastosować te go typu profile w określaniu warunków brzegowych, oraz takich dla których wskazane jest użycie funkcji UDF(jak w poprzedniej instrukcji).

11. Po uzyskaniu zbieżnego rozwiązania dla I rzędu, przełączyć na II rząd i kontynuować obliczenia (bez inicjalizacji). *W niektórych przypadkach nie da się uzyskać zbieżności startując od razu od równań II rzędu.*

Wykres zbieżności przedstaw w raporcie.

12. Wykonaj wizualizacje: konturów ciśnienia, prędkości, energii kinetycznej turbulencji i dyssypacji, wektorów prędkości i linii prądu korzystając z opcji pod zakładką **Results/Graphics/Contours**.

Przedstaw w raporcie.

13. Sprawdzić liczbę Reynoldsa w oparciu o prędkość średnią na wlocie z rury o średnicy $D=0.1524\text{m}$, **Results/Report/Surface Integrals**, Report Type: **Area-Weighted Average**.

Sprawdzić ile wynosi prędkość średnia i maksymalna w osi rury na wlocie. Prędkość średnią i prędkość maksymalną można policzyć w **Results/Report/Surface Integrals**

- Report Type: **Area-Weighted Average** (dla prędkości średniej)
- Report Type: **Vertex Maximum** (dla prędkości maksymalnej).

Zanotować prędkość średnią, U_{sr} , i maksymalną prędkość, U_{xmax} . Informacje te będą potrzebne do normalizacji składowej osiowej prędkości średniej i energii kinetycznej turbulencji, celem porównania z danymi eksperymentalnymi.

14. Zdefiniować znormalizowane funkcje w górnej belce programu - **User-defined/Field Functions/Custom**:

- składowa osiowa prędkości znormalizowana maksymalną prędkością w osi rury na wlocie do obszaru obliczeniowego, U_x / U_{xmax}

(z menu rozwijanego **Field Functions** wybrać Velocity oraz Axial Velocity, potwierdzić wybór klikając na Select, następnie wybrać znak dzielenia i wpisać zanotowaną wcześniej wartość maksymalnej prędkości na wlocie, po wpisaniu nazwy zatwierdzić Define)

- energia kinetyczna turbulencji znormalizowana kwadratem średniej prędkości na wlocie do obszaru obliczeniowego, $k/(U_{sr})^2$

(z menu rozwijanego **Field Functions** wybrać Turbulence oraz Turbulent Kinetic Energy (k) i podzielić przez kwadrat odpowiedniej stałej)

15. Sprawdzić y^+ na ścianach wall, wall_d i wall_inlet. **Results/Plots/XY Plot**:

- Y axis function: Turbulence
 - Wall YPlus

Efektywne wykorzystanie funkcji ściany wymaga aby bezwymiarowa odległość y^+ centroid komórek obliczeniowych znajdujących się przy ścianie była w zakresie $y^+=30-300$.

Przedstaw w raporcie.

16. Porównać wyniki symulacji z danymi eksperymentalnymi w przekrojach poprzecznym $x = -0.0381$ i wzdłużnym $r = 0.07271$.

Results/Plots/XY Plot, **Load File** aby wczytać dane eksperymentalne. Podobnie jak w **poprzedniej instrukcji**, najpierw wyświetlić wykres dla danych eksperymentalnych, a następnie zastanowić się jaka funkcja powinna znajdować się na osiach X i Y. Zdefiniuj przekroje $x=-0.0381$ i $r=0.07271$. Należy pamiętać, że nie porównujemy **bezpośrednio** prędkości i energii kinetycznej turbulencji, a **znormalizowane** przez nas funkcje, które można znaleźć pod zakładką Custom Field Functions. Zwrócić uwagę na położenie pierwszego punktu w pobliżu ściany w przekroju poprzecznym.

Czy wyniki symulacji numerycznej dobrze oddają charakter zmian prędkości średniej wzdłuż x dla przekroju wzdłużnego? Zauważ, że w eksperymencie obserwuje się dwa obszary recyrkulacji. Mniejszy na wysokości uskoku.

17. Zapisz wykres dla przekroju wzdłużnego w pliku tekstowym, **Results/Plots/XY Plot** opcja **Write to File**.

Przedstaw w raporcie.

18. Wyłącz program Fluent, w środowisku Workbench zapisz projekt.

Analiza wpływu warunków na wlocie do obszaru obliczeniowego

Standardowe ustawienia programu fluent

1. **Zduplikuj** blok z obliczeniami, odpowiednio nazwij, otwórz Fluent z nowopowstałego bloku klikając komórkę **Setup**
2. Zmień warunki brzegowe dla energii kinetycznej turbulencji i dyssypacji z profili UDF na standardowe warunki Fluentu $\text{const}=1$. **Setup/Boundary Conditions/Inlet/Velocity_inlet**
3. Zainicjalizuj rozwiązanie z wlotu. Przelicz przypadek.
4. Porównaj uzyskane profile prędkości dla przekroju wzdłużnego z danymi eksperymentalnymi i z poprzednio uzyskanymi wynikami symulacji.

*Czy wyniki symulacji znacząco odbiegają od danych eksperymentalnych? Zapisać uzyskany profil prędkości w pobliżu ściany **Display/Plot/Xyplot, Write to File***

Przedstaw w raporcie.

5. Wyłącz program Fluent, w środowisku Workbench zapisz projekt.

Warunki wynikające z teorii

1. **Zduplikuj** blok z obliczeniami, odpowiednio nazwij, otwórz Fluent z nowopowstałego bloku klikając komórkę **Setup**
2. Zmień warunki brzegowe dla turbulencji na wlocie, **Setup/Boundary Conditions/Inlet/Velocity_inlet** w polu **Turbulence** zmień metodę na **Intensity and Hydraulic diameter**.

Relacja pomiędzy energią kinetyczną turbulencji, k , intensywnością turbulencji, Tu , i prędkością średnią, U_{sr} :

$$k=1.5(Tu U_{sr})U^2.$$

Dla w pełni rozwiniętego przepływu w rurze można przyjąć $Tu=4\%$ w osi rury.

W przepływach wewnętrznych skala długości turbulentnej l_t nie może być większa od fizycznego rozmiaru obiektu L . Dla analizowanego przepływu w rurze $L=D_{inlet}$. Przyjmuje się, że skala długości turbulentnej:

$$l_t. \text{ Przy czym } \epsilon = k^{3/2} / l_t.$$

Podaj warunki brzegowe: $Tu=4\%$ i $L=D_{inlet}$. **Zainicjalizuj obliczenia i przelicz.**

Porównaj wyniki obliczeń dla przekroju wzdłużnego z danymi eksperymentalnymi i z poprzednio uzyskanymi wynikami.

Które wyniki symulacji są najbliższe danym eksperymentalnym i dlaczego? Czy stosowanie standardowych warunków Fluentu ma sens?

Przedstaw w raporcie.

3. Wyłącz program Fluent, w środowisku Workbench zapisz projekt.

Siatka gęsta, podejście Enhanced Wall Treatment.

1. **Zduplikuj** blok z obliczeniami z akapitu 1, odpowiednio nazwij, otwórz Fluent z nowopowstałego bloku klikając komórkę **Setup**

2. Ściągnij plik z zagęszczoną siatką:

Plik do ściągnięcia (<http://ccfd.github.io/courses/data/momp/3/fine.msh>)

3. Podmień siatki:

W górnej belce programu, w zakładce **Domain** za pomocą opcji **Replace Mesh...** w polu **Zone**.

Zauważ, że program Fluent wykona szereg operacji, który dostosuje obecne ustawienia do nowej siatki. Bardzo ważne aby nowa siatka miała dokładnie te same nazwy warunków brzegowych.

4. Zainicjalizuj i oblicz przypadek.

5. Po wykonaniu kilkudziesięciu iteracji, sprawdź $y+$ na ścianach wall_inlet i wall_d, **Results/Plots/XY Plot**, (Turbulence i Wall YPlus)

W celu zastosowania podejścia Enhanced Wall Treatment, $y+$ musi być mniejsze od 3, aby poprawnie uwzględnić dynamikę przepływu w subwarstwie lepkiej. Jeżeli warunek nie jest spełniony zagęść siatkę obliczeniową. Powtarzać obliczenia i zagęszczanie siatki do uzyskania $y+$ bliskiego 5.

- W górnej belce programu wchodzimy w zakładkę **Domain**, później w polu **Adapt** klikamy **Refine/Coarsening**
- W nowo otwartym oknie wciskamy przycisk **Cell Registers/New/Boundary...**
- Arbitralnie wpisujemy nazwę adaptowanego pola.
- Zaznaczmy nasze **wall_inlet** oraz **wall_d**
- W pole **Number of cells** wpisujemy ilość komórek do adaptacji licząc od ściany - **2**.
- **Save/Display**
- Po powrocie do okna **Adaptation controls** z rozwijanym menu **Refinement Criterion** wybieramy utworzone pole adaptacji.
- **Adapt**

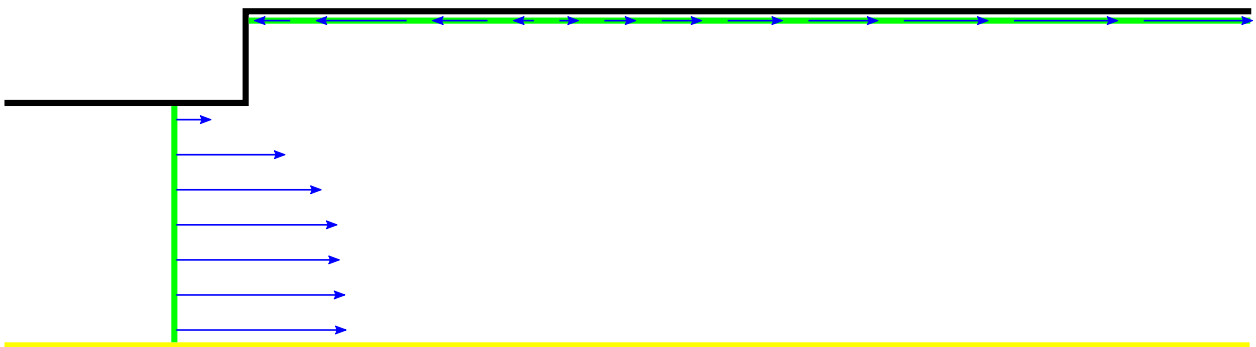
6. Porównaj wyniki symulacji z danymi eksperymentalnymi w przekroju poprzecznym **Results/Plots/XY Plot**. Porównaj wyniki symulacji na siatce gęstej dla przekroju wzdłużnego z danymi eksperymentalnymi i wynikami symulacji dla siatki bazowej.

Czy zwiększenie rozdzielczości siatki obliczeniowej pozwala uzyskać dużo lepsze wyniki w pobliżu ściany? Czy koszt obliczeń na siatce gęstej jest znacznie większy od kosztów obliczeń na siatce podstawowej?

7. Wykonać wizualizacje.

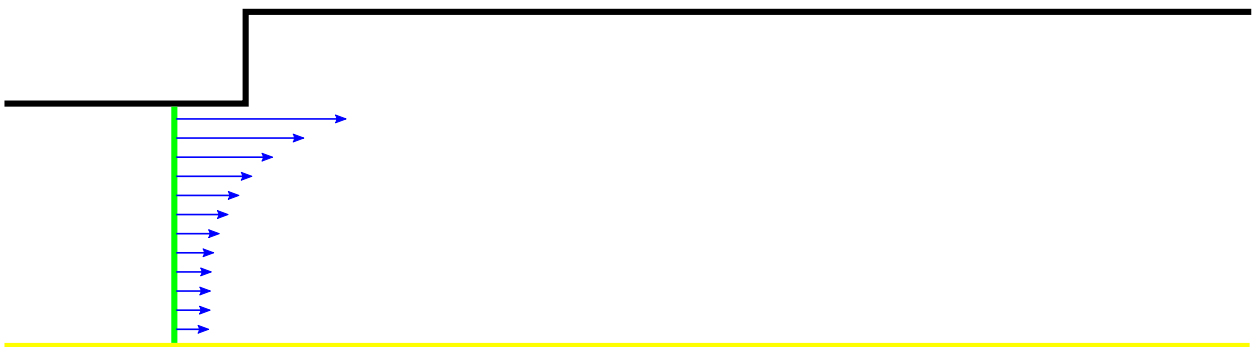
Opis danych eksperymentalnych oraz ich interpretacja graficzna

- **exper-axial-vel_x-0_0381.xy** (http://ccfd.github.io/courses/data/momp/3/exper-axial-vel_x-0_0381.xy) – profil składowej osiowej prędkości średniej znormalizowanej maksymalną prędkością w osi rury na wlocie do obszaru obliczeniowego w funkcji promienia rury w przekroju $x = -0.0381$ (tuż przed uskokiem)
- **exper-axial-vel_r0.07271.xy** (http://ccfd.github.io/courses/data/momp/3/exper-axial-vel_r0.07271.xy) – profil składowej osiowej prędkości średniej znormalizowanej maksymalną prędkością w osi rury na wlocie do obszaru obliczeniowego w funkcji współrzędnej x w odległości $r = 0.07271$ od osi rury (blisko ściany w rurze o większej średnicy).



Prędkości osiowe dla przekorów $x = -0.0381$ oraz $r = 0.07271$

- **exper-k-over-u2_x-0_0381.xy** (http://ccfd.github.io/courses/data/momp/3/exper-k-over-u2_x-0_0381.xy) – profil energii kinetycznej turbulencji znormalizowany kwadratem prędkości średniej na wlocie do obszaru obliczeniowego w funkcji promienia rury w przekroju $x = -0.0381$ (tuż przed uskokiem);



Profil energii kinetycznej dla przekroju $x = -0.0381$