

USTALONY PRZEPŁYW 2D PRZEZ DYSZĘ ZBIEŻNO-ROZBIEŻNĄ

Cel ćwiczenia

Symulacja przepływu turbulentnego ściśliwego (liczba Macha > 0.3) w dyszy zbieżno-rozbieżnej o przekroju kołowym, jak również zapoznanie z opcją dynamicznej adaptacji siatki.

Streszczenie

W ramach ćwiczenia należy przeprowadzić symulację ustalonego przepływu turbulentnego (model $k-\omega$ SST) z wykorzystaniem solvera density based. Obliczenia należy wykonać dla powietrza traktowanego jako gaz idealny, na stworzonej podczas zajęć siatce, z wykorzystaniem solvera density based, a następnie porównanie wyników przy użyciu solvera pressure based. Wyniki ćwiczenia należy przedstawić prowadzącemu w formie sprawozdania.

Przebieg ćwiczenia

Geometria

Stwórz powierzchnię przedstawioną na rysunku 1.

Siatka obliczeniowa

1. Nazwij warunki brzegowe zgodnie z rysunkiem 2.
2. Nadaj podziały zgodnie z rysunkiem 2.

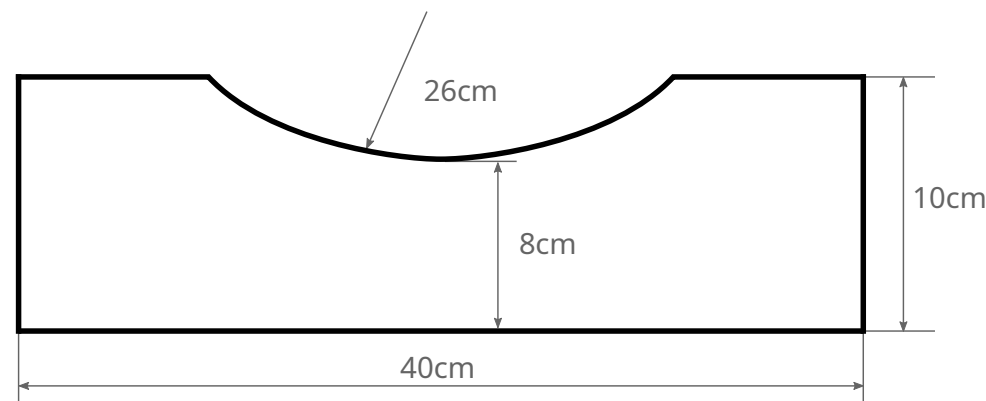


Figure 1: **Rys.1.** Szkic na płaszczyźnie X-Y

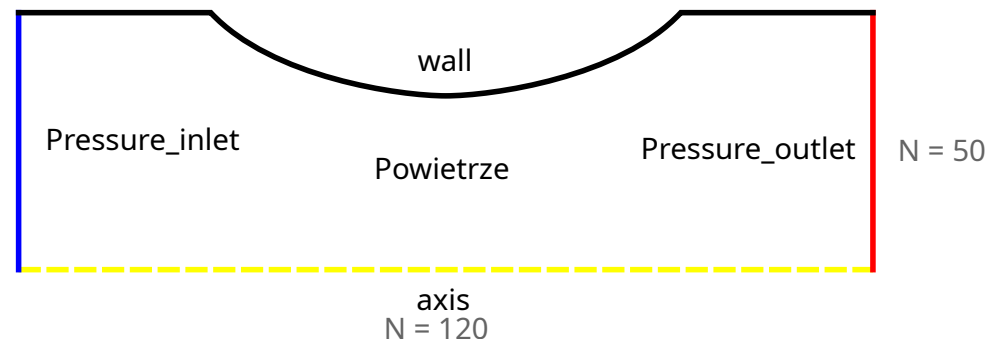


Figure 2: **Rys.2.** Nazwy warunków brzegowych wraz z podziałami

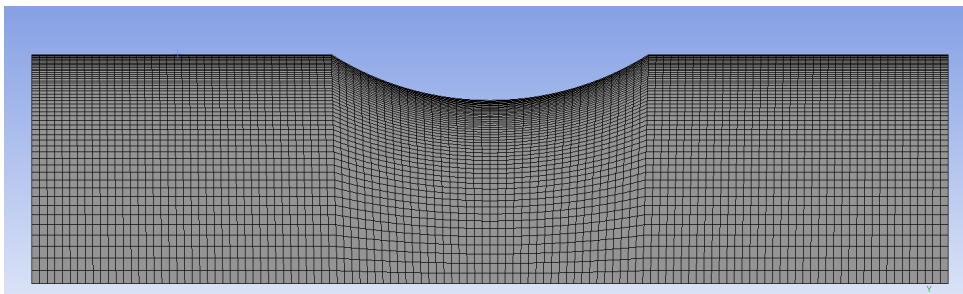


Figure 3: **Rys.3.** Gotowa siatka obliczeniowa

3. Zadając pionowe podziały, zastosuj opcję bias tak, aby siatka zagęszczała się w kierunku warunku brzegowego **wall**.
4. Do powierzchni *Powietrze* dodaj narzędzie **Mapped Meshing** (korzystałeś z niej w [Instrukcji I](#))
5. Manipuluj opcjami programu aby siatka wyglądała jak na rysunku 3.

Podgląd gotowej siatki

Obliczenia w programie Fluent

Przepływ poddźwiękowy

1. Ponieważ będziemy modelować, ze względu na osiową symetrię, tylko górną połowę dyszy, ustaw w opcjach wyświetlania odpowiednią płaszczyznę symetrii aby zobaczyć dolną część domeny.
2. Zmień (dla wygody) jednostkę miary dla ciśnienia na atmosfery (**Setup / General / Units...** lub w górnej belce programu **Physics / General... / Units...**).
3. Ustaw solver density based (**Setup / General**), który można używać dla przepływów ściśliwych, transonicznych, w których nie ma regionów o niskiej prędkości przepływu. W przypadkach kiedy w dużym obszarze przepływu prędkość jest niska należy użyć solvera pressure-based (np. opływ profilu/samolotu)
4. Włącz odpowiedni **model turbulencji**.

5. Ponieważ w przepływie ściśliwym występuje znaczna zmiana temperatury ośrodka należy włączyć do rozwiązania **równanie energii** (włącza się automatycznie przy wyborze odpowiednich właściwości płynu).
6. Płynem, który będziemy symulować jest powietrze. Zmień gęstość płynu na **ideal-gas**.
7. Warunki brzegowe (dwukrotnie klikamy na **Boundary conditions** w **Setup** lub **Physics/Zones/Boundaries** w górnej belce programu.

- a. W **Operating Conditions...** ustaw **Operating pressure (jednostka)** na 0 atm (ponieważ ustaliliśmy ciśnienie operacyjne na zero, ciśnienie w warunkach brzegowych będzie ciśnieniem absolutnym)

Sprawdź w **Fluent Users Guide** rozdział 8.14 lub w przewodniku po Flu

- b. Wlot (pressure inlet - używamy kiedy znane jest ciśnienie wlotowe a nieznanne są prędkości i wydatki masowe na wlocie)
 1. Gauge Total Pressure 0.9 [atm] (ciśnienie stagnacji)
 2. Supersonic/Initial Gauge Pressure 0.7369 [atm] (wartość ciśnienia statycznego na wlocie w przypadku gdy przepływ stanie się lokalnie naddźwiękowy, również używane do policzenia początkowych wartości ciśnienia, temperatury i prędkości jeśli wlot zostanie wybrany do inicjalizowania przepływu)
 3. Turb intensity 1.5%, viscosity ratio 10
- c. Wylot (pressure outlet - w przypadku przepływu poddźwiękowego pozwala zdefiniować ciśnienie statyczne na wylocie z obszaru obliczeniowego)
 1. gauge pressure 0.7369 [atm]
 2. backflow turbulent intensity 1.5, viscosity ratio 10

8. **Solution / Methods** - we wszystkich polach pod dyskretyzacją ustawić równania 1go rzędu.

9. Solution / Controls

1. Ustaw liczbę Couranta na 50. Pisząc sprawozdanie, sprawdź czym jest liczba Couranta (jaka jest jej definicja).
2. W **Limits...**, ustawić minimalną temp. statyczną na 200 K, a maksymalną na 400 K (wprowadzając limity na rozwiązanie, zmniejszamy prawdopodobieństwo rozbiegnięcia się obliczeń w wyniku osiągnięcia nieprawdopodobnie dużych, bądź też małych wartości).

10. W celu monitorowania zbieżności rozwiązania, monitoruj różnicę strumienia masy na wlocie i wlocie z dyszy:

1. Otwórz **Solutions / Report Definitions**
2. Użyj opcji **New / Surface Report / Mass Flow Rate...**
3. W oknie tworzenia raportu **wpisz nazwę** oraz zaznacz **wlot i wylot Twojej domeny**
4. Zaakceptuj zmiany.

11. Wyłącz kryterium zbieżności reszt **Convergence Criterion = none (Solution / Monitors / Residual)**. Ta opcja pojawi się po zaznaczeniu **Show Advanced Options**.

12. W **Solution / Monitors** stwórz nowy raport za pomocą opcji **Report Plots**:

1. **New...**
2. Odpowiednio nazwij wykres
3. Zaznacz stworzony wcześniej raport i za pomocą opcji **Add»** dodaj raport do wykresu.
4. W opcjach wykresu wybierz:
 - nazwę która pojawi się na wykresie
 - nazwę osi Y (zmiennej którą będziesz monitorował)
 - okno w którym pojawi się wykres (tą opcję możesz pozostawić domyślną)
5. Zaznacz opcję **Print to Console** abyś mógł dokładnie monitorować zbieżność.

13. Rozpocznij obliczenia i monitoruj zbieżność strumienia masy. Twoje zdefiniowane okno z wykresem wydatku masowego znajduje się w drugiej zakładce w oknie graficznym.

Śledź zbieżność na podstawie wyświetlanego wykresu wydatku masowego

Sprawdź w której kolumnie konsoli znajduje się zdefiniowana przez C:

Obliczenia możemy zakończyć gdy wydatek masowy zbiegnie się w okolicy zera. (Zmienna zacznie oscylować w granicy $1e-6$)

14. Aby czytać wartość różnicy strumieni masy na wlocie i wlocie przejdź do **Results / Reports / Fluxes** i zaznacz odpowiednie powierzchnie.

15. Sprawdź czy wyniki obliczeń mają sens bazując na intuicji inżynierskiej. Stwórz wykresy ciśnienia w osi symetrii oraz w najwęższym miejscu kanału (zapisz je w formie obrazka oraz serii danych), kontury ciśnienia i liczby Macha, sprawdź czy w którymś miejscu zachodzi oderwanie (linie prądu / wektory), oraz czy zostaje przekroczona prędkość dźwięku – wykonać odpowiednie wizualizacje.

Przepływ naddźwiękowy

14. Przeprowadź symulację dla zwiększonego ciśnienia na wlocie do dyszy (gauge pressure = 1.1 atm). Teraz spodziewamy się wystąpienia przepływu lokalnie znacznie przekraczającego prędkość dźwięku.

Solver pressure based

15. Przeprowadź symulacje z wykorzystaniem solvera pressure based (jak wcześniej dla dwóch różnych ciśnień wlotowych) i porównaj wyniki. W przypadku wykresów, najłatwiej będzie wskazać różnice, zestawiając wyniki dla obu przypadków w jednym oknie wykresu.

Przepływ naddźwiękowy - adaptacja siatki

Obliczenia wykonać dla przepływu z ciśnieniem wlotowym 1.1 atm, solverem density based, porównać wyniki z przypadkami: bez zagęszczenia siatki oraz dla solvera density based.

1. W celu dokładnego rozwiązania równań w miejscach dużych skoków wartości zmiennych włącz automatyczne zagęszczanie siatki (Górna belka programu **Domain / Adapt / Automatic...**) z opcjami:

Zanim to zrobisz musisz zainicjalizować rozwiązanie

1. Stwórz warunek dla rozrzedzenia **Cell registers / New / Field Variable...**
 - Nazwij warunek jako **Coarsen**
 - Typ wybierz jaki **Cell less than**
 - **Derivative Option** ustaw na **Gradient**

- Wpisz w polu **Cells having value less than** wartość **0.3**
- Wybierz ciśnienie statyczne w polu **Gradient of**
- w **Scaling Option** wybierz **Scale by Zone Average** (gradient będzie porównywany z lokalną średnią prędkością.)
- **Save**
Ten warunek będzie oznaczał komórki w których gradient ciśnienia statycznego znajdzie się poniżej 0.3.

2. Stwórz warunek dla zagęszczenia **Cell registers / New / Field Variable...**

- Nazwij warunek jako **Refine**
- Typ wybierz jaki **Cell more than**
- **Derivative Option** ustaw na **Gradient**
- Wpisz w polu **Cells having value more than** wartość **0.7**
- Wybierz ciśnienie statyczne w polu **Gradient of**
- w **Scaling Option** wybierz **Scale by Zone Average** (gradient będzie porównywany z lokalną średnią prędkością.)
- **Save**

Ten warunek będzie oznaczał komórki w których gradient ciśnienia statycznego znajdzie się powyżej 0.7.

3. W polu **Frequency(Iteration)**, wpisz **Interwał** 100 iteracji (adaptacja siatki nastąpi raz co 100 kroków);
4. W polu **Refinement Criterion** wybierz Twój warunek **Refine**
5. W polu **Coarsening Criterion** wybierz Twój warunek **Coarsen**
6. Wejdź w opcję **General Adaption Controls** i w polu **Maximum Refinement Level** wpisujemy **2**.
7. Warto w tym miejscu zapisać przypadek obliczeniowy. Jeżeli fluent modyfikuje siatkę, skutki są nieodwracalne. Jeżeli po modyfikacji będzie niezadowolająca, trzeba będzie zaczynać od zera.

2. Rozpocznij obliczenia i monitoruj zbieżność strumienia masy.
3. Po dokładnie 100 iteracjach (tak wynika z ustawień z pkt. 1b) powinna nastąpić adaptacja siatki, w celu sprawdzenia czy wszystko działa poprawnie przerwij obliczenia po ~ 110 iteracjach. Sprawdź jak wygląda siatka. Jeśli można zauważyć miejsca zagęszczenia / rozrzedzenia oczek to znaczy, że ustawienia dotyczące dynamicznej adaptacji siatki są poprawne. W przeciwnym przypadku powtórz ustawienia adaptacji, pkt. 1.

Podgląd gotowej siatki

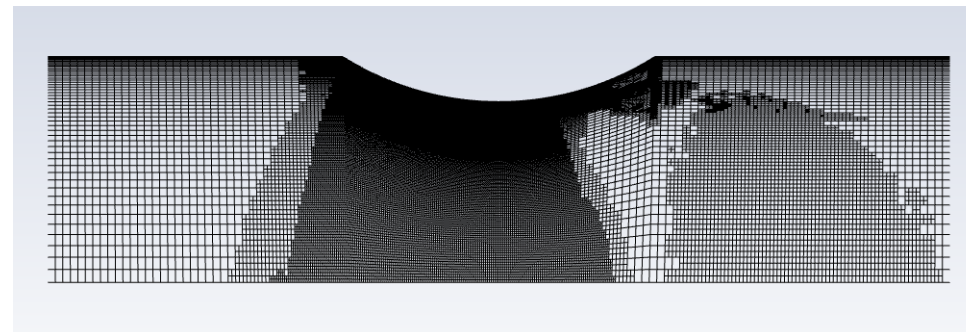


Figure 4: **Rys.4.** Zagęszczona siatka obliczeniowa

4. Kontynuuj obliczenia. W przypadku adaptowanej siatki zbieżność wydatku masowego może już nie być taki gładki. Przerwij obliczenia w zadowalającym momencie.
5. Dokonaj analizy wyników.