

ĆWICZENIE

Przepływ trójwymiarowy z oderwaniem

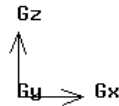
Opis problemu:

Zadanie polega na wyznaczeniu opływu wokół skrzydła typu delta ustawionego pod dużym kątem natarcia (wielkość kąta podaje prowadzący). Ponadto skrzydło jest wyposażone w śmigło, umieszczone w szczelinie. Z racji symetrii badana będzie tylko połówka skrzydła. Przepływ odbywa się w zamkniętej przestrzeni tunelu aerodynamicznego o wymiarach wysokość x długość x głębokość = 200 x 600 x 150 mm. Przepływającym czynnikiem jest powietrze o prędkości V (wielkość tę podaje prowadzący) i ciśnieniu $p=101325$ Pa.

A. Wykonanie modelu geometrycznego (GAMBIT)

Ustawić układ współrzędnych jako -Y view

Global Control > -Y view



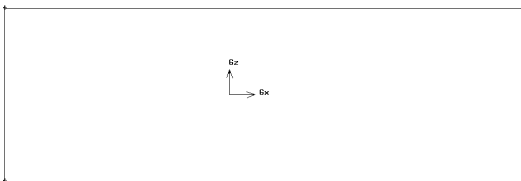
a) tunel

W płaszczyźnie ZX Centered utworzyć prostokąt o wymiarach $W=200$ i $H=600$.

Coemtry > Face > Create Rectangular Face

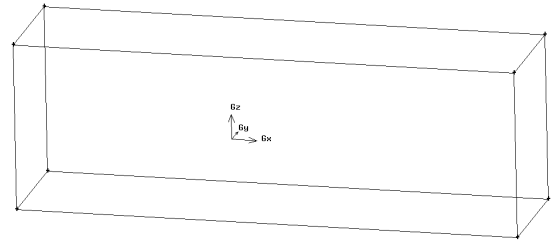
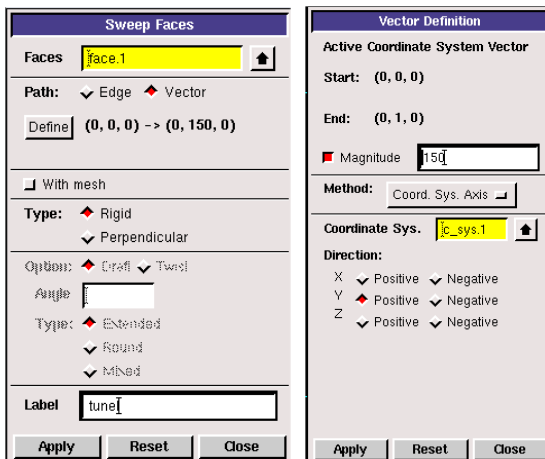
a następnie przesunąć go o 50 jednostek w kierunku +X

Coemtry > Volume > Move/Copy Faces



Utworzyć objętość tunelu poprzez przesunięcie krawędzi tworzących prostokąt w kierunku osi Y o wartość 150 jednostek

Coemtry > Face > Sweep Edges



b) skrzydło

Utworzyć 3 punkty (A, B, C) o współrzędnych:

	X	Y	Z
A	-40	0	0
B	10	0	0
C	10	30	0

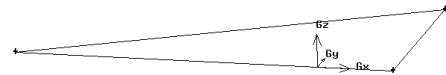
Coemtry > Vertex > Create Real Vertex

Połączyć punkty liniami prostymi

Coemtry > Edge > Create Straight Edge

a następnie stworzyć z nich powierzchnię o nazwie „skrzydło”

Coemtry > Face > Create Face from Wireframe



c) śmigło

Utworzyć 3 następane punkty (D, E, F) o współrzędnych:

	X	Y	Z
D	0	0	5
E	0	5	0
F	0	0	-5

Punkty D i F połączyć linią prostą

Coemtry > Edge > Create Straight Edge

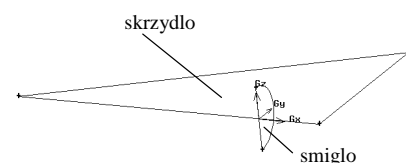
a przez punkty D, E i F poprowadzić fragment okręgu

Coemtry > Edge > Create Circular Arc



Z prostej i fragmentu okręgu stworzyć powierzchnię o nazwie „śmigło”

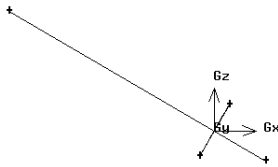
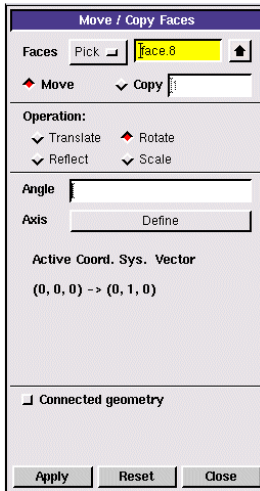
Coemtry > Face > Create Face from Wireframe



3) obrócić powierzchnie „skrzydło” oraz „śmigło” wokół osi Y o kąt podany przez prowadzącego.

Geometry > Face > Move/Copy Faces

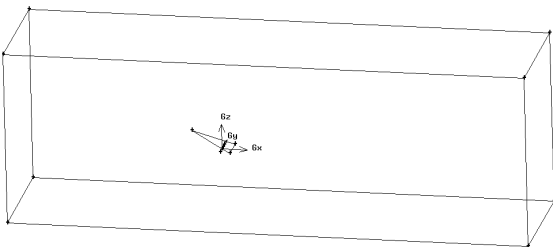
Należy sprawdzić, czy opcja Move oraz Rotate są aktywne oraz czy obrót nastąpi względem osi Y (Axis > Define > Direction: **Y Positive** > Apply).



Obraz powierzchni „skrzydło” oraz „śmigło” po obrocie

4) przedzielić objętość „tunel” za pomocą powierzchni bez zachowania tych powierzchni (opcje **Retain**, **Bidirectional** oraz **Connected** wyłączone)

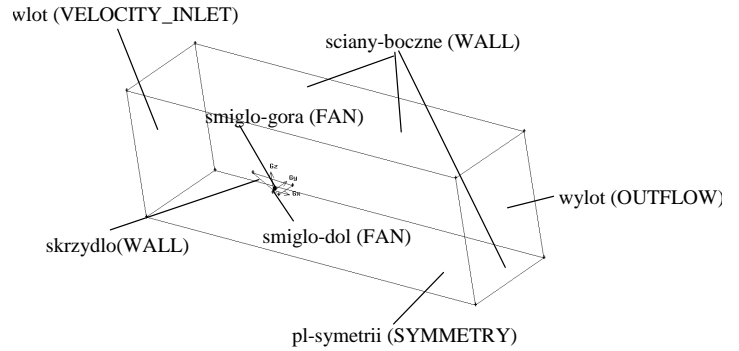
Volume > Split Volume > Split with Faces



Po tej operacji otrzymujemy jedną objętość o nazwie „tunel” (wszystkie krawędzie mają kolor zielony).

Zadanie warunków brzegowych:

Dla ułatwienia warunki brzegowe zostaną zadane przed siatkowaniem modelu. Wszystkie warunki brzegowe w modelu trójwymiarowym odnoszą się do powierzchni (**Face**), zaś strefa wypełniona płynem (**Fluid**) jest deklarowana na objętościach (**Volume**). Stanowi to istotną różnicę pomiędzy modelami dwuwymiarowymi oraz osiowo-symetrycznymi, w których warunki brzegowe zadawano na krawędziach (**Edge**), a strefy ośrodka zadawano na powierzchniach (**Face**).



Warunki brzegowe dla obszaru obliczeniowego

W modelu użyte zostaną następujące warunki:

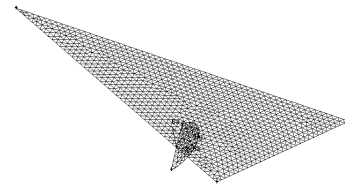
- 1) płaszczyzna symetrii układu „pł-symetrii”- Symmetry
- 2) ściany boczne tunelu aerodynamicznego (górną, dolną, tylną) - Wall
- 3) wlot do tunelu „wlot”- Velocity_Inlet
- 4) wylot z tunelu „wylot”- Outflow
- 5) powierzchnia skrzydła „skrzydło”- Wall
- 6) powierzchnia śmigła – Fan (uwaga: śmigło po operacji Split Volume składa się teraz z 2 powierzchni, które trzeba osobno zdefiniować „śmigło-góra” i „śmigło-dół”)

Objętość tunelu należy zadeklarować jako „srodek”-FLUID

Zones > Specify Continuum Types

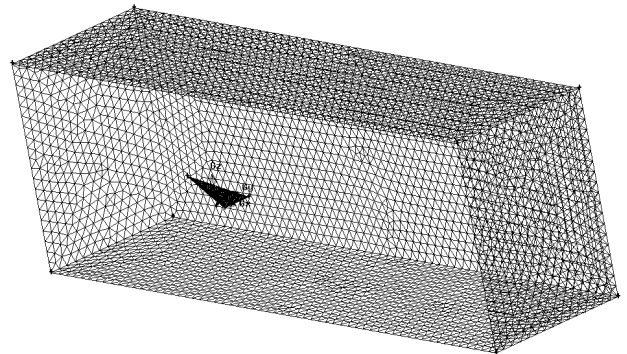
Siatkowanie modelu:

- 1) na powierzchni skrzydła oraz śmigła (są to 3 powierzchnie) utworzyć siatkę typu **Tri/Pave**, **Interval size = 2**,



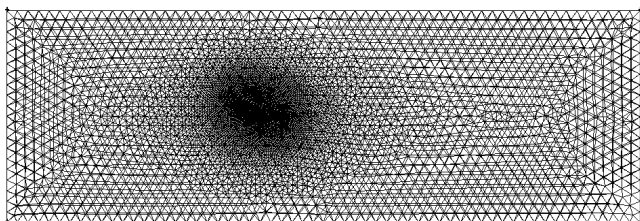
Wygląd siatki na powierzchniach „skrzydło” oraz „śmigło-cz1” i „śmigło-cz2”

- 2) na zewnętrznych ścianach tunelu oraz na powierzchni wlotu i wylotu utworzyć siatkę typu **Tri/Pave**, **Interval size = 10**,



Wygląd siatki na powierzchniach „wlot”, „wylot” oraz „ściany-boczne”

- 3) na powierzchni symetrii tunelu utworzyć siatkę typu **Tri/Pave**, **Interval size = 1**,



Wygląd siatki na powierzchni „pl-symetrii”

4) w objętości „tunel” utworzyć siatkę typu **Tet/Hybrid Tgrid**, **Interval size = 1**. Powinien wyświetlić się komunikat: „Mesh generated for volume tunel”, a kolor siatki powinien się zmienić na ciemno żółty.

Zakończenie pracy z Gambitem:

Wyeksportować siatkę (3d) i zakończyć pracę z programem Gambit.

B. Obliczenia w programie FLUENT

Uruchomić Fluent w wersji trójwymiarowej o zwyczajnej precyzji obliczeń (3d), wczytać utworzony w Gambicie plik z siatką obliczeniową, sprawdzić poprawność siatki,

1. Skalowanie siatki - siatka była utworzona w centymetrach.

2. Ustawienia solwera przepływowego:

[General > Solver](#)

- Solver rozsprężony (Type: **Pressure Based**),
- Przepływ ustalony (Time: **Steady**)
- Prędkość (Velocity Formulation: **Absolute**)
- Model trójwymiarowy (**3D Space**)

3. Definiowanie modelu:

Obliczenia przeprowadzimy dla modelu płynu lepkiego, przyjmując 1-no równaniowy model turbulencji

[Models > Viscous > Edit](#)

Zmienić model lepkości z laminarnego (**Laminar**) na lepki turbulentny (**Spalart-Allmaras**).

4. Ustawienie modelu płynu nieściśliwego:

[Materials > Fluid > Create/Edit](#)

Pozostawić ustawienia ośrodka o stałej gęstości (**Density = Constant**)

5. Określenie warunków analizy:

[Cell Zone Conditions > \(powietrze\) > Operating Conditions](#)

W oknie **Operating Conditions** pozostawić domyślną wartość ciśnienia odniesienia (**Operating Pressure**) = **101325 Pa** i potwierdzić wybór (**OK**).

6. Określenie warunków brzegowych:

[Boundary Conditions > Edit](#)

W tej części ćwiczenia definiujemy następujące warunki brzegowe:

1) wlot prędkościowy (**Velocity Inlet**) - prędkość na wlocie (**Velocity Magnitude**) = V m/s (wielkość tę podaje prowadzący).

2) smigło (**Fan**) – ustalamy skok ciśnienia na 0 (**Pressure Jump = Constant = 0 Pa**). W tej części ćwiczenia smigło nie będzie się obracać, zostanie ono włączone dopiero w drugiej części ćwiczenia. Uwaga: te ustawienia należy wykonać dla obu powierzchni „smigło-góra” i „smigło-dół”.

3) wylot tunelu (**Outflow**) – ustawienia pozostawiamy bez zmiany (Flow Rate Weighting = 1).

7. Ustawienie wielkości reszt:

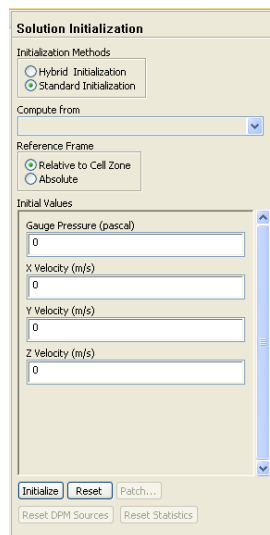
[Monitors > Residuals > Edit](#)

Wyłączyć opcję wyświetlania histogramów dla rezyduów (**Print to Console**), zaznaczyć opcję **Plot**.

Zadać wartości wszystkich rezyduów na poziomie 10^{-3} . Potwierdzić wybór (**OK**).

8. Inicjalizacja rozwiązania

[Solution Initialization > Standard Initialization](#)



zadać wartości z wlotu (**Compute from: wlot**):

- ciśnienie (Gauge Pressure) = 0 Pa
- składowa X prędkości (X-Velocity) = V m/s (wielkość tę podaje prowadzący)
- składowa Y prędkości (Y-Velocity) = 0 m/s
- składowa Z prędkości (Z-Velocity) = 0 m/s

9. Wykonanie obliczeń

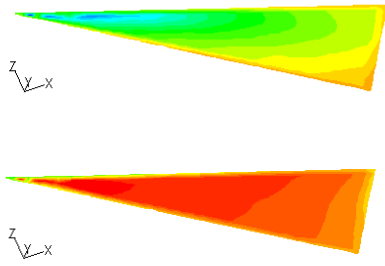
[Run Calculation >](#)

Wykonać ok. 200 iteracji (powinno to wystarczyć do osiągnięcia zbieżności) a następnie przejść do analizy wyników.

10. Analiza wyników obliczeń:

a) **Rozkłady ciśnienia na górnej i dolnej powierzchni skrzydła**

[Graphics and Animations > Contours > Contours of Pressure \(Static pressure\)](#)



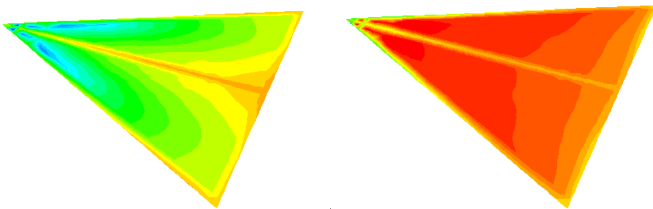
Kontury ciśnienia statycznego na wierzchniej (u góry) i spodniej (u dołu) powierzchni skrzydła

Ustalenie lustrzanego widoku:

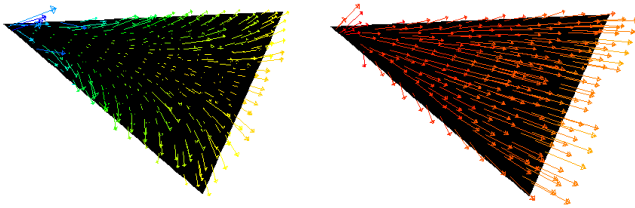
Dla poprawienia widoku wprowadzimy opcję lustrzanego widoku.

Display > Views >

W oknie **Mirror Planes** naciskamy **pl-symetrii** i potwierdzamy wybór (**Apply**).



Kontury ciśnienia statycznego na wierzchniej i spodniej powierzchni skrzydła w widoku lustrzanym

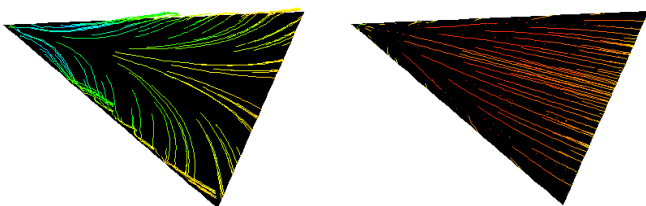


Wektory prędkości na górnej powierzchni skrzydła

Wizualizacja olejowa na powierzchni skrzydła

Display > Path Lines

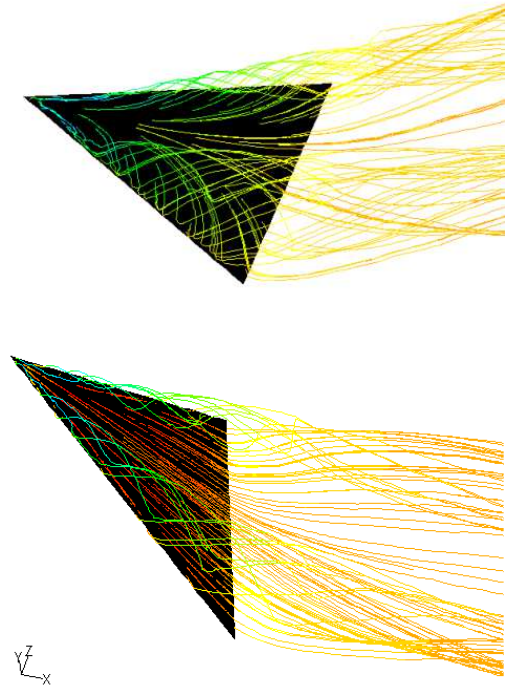
W polu **Options** zaznaczyć **Oil Flow**, w polach **On Zone** oraz **Release from Surfaces** zaznaczyć odpowiednio **skrzydło** lub **skrzydło-shadow**. Wyświetlić obraz naciskając **Display**. Dla łatwiejszej identyfikacji, czy mamy do czynienia z górną, czy dolną powierzchnią skrzydła należy użyć opcji **Color by Pressure (Static Pressure)**.



Wizualizacja olejowa na górnej i dolnej powierzchni skrzydła

Wizualizacja linii prądu

Display > Path Lines



Wizualizacja linii prądu wychodzących z górnej i dolnej powierzchni skrzydła

Definiowanie linii do wizualizacji linii prądu (Opcjonalnie):

Dla celów wizualizacji przydatne będzie wcześniejsze zdefiniowanie specjalnej linii, biegnącej wzdłuż krawędzi natarcia skrzydła. Na linii tej rozpoczynać się będą linie prądu podczas wizualizacji. Aby stworzyć taką linię (**Rake**) należy najpierw wyświetlić samo skrzydło korzystając z opcji:

Display > Mesh

(Uwaga: **wcześniej należy wyłączyć lustrzane odbicie, żeby nie pomylić połówki rzeczywistego skrzydła i połówki lustrzanej !**)

W oknie **Options** wybrać **Faces** a w oknie **Surfaces** podświetlić „skrzydło”.

Następnie tworzymy linię, biegnącą wzdłuż krawędzi natarcia:

Surface > Line/Rake

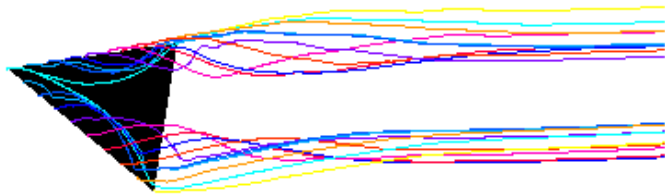
Przy wyłączonej opcji **Line Tool** w ramce **Options** wybieramy w ramce **Type** opcję **Rake**. W polu **Number of Points** pozostawiamy wartość = 10. Następnie wciskamy przycisk **Select Points With Mouse**. W oknie graficznym, gdzie jest wyświetlono skrzydło wskazujemy prawym przyciskiem myszy dwa punkty (początek i koniec), definiujące prostą, w polu **New Surface Name** wpisujemy jej nazwę (np. **kraw_natarcia**) a następnie potwierdzamy wybór przyciskiem **Create**. Podobnie można zdefiniować linię pokrywającą się z krawędzią splywu.

(Uwaga: Ustawienie przycisków myszy możemy sprawdzić za pomocą polecenia **Display > Mouse Buttons**)

Wizualizacja linii prądu wychodzących ze zdefiniowanej krawędzi natarcia:

Display > Path Lines

W celu wizualizacji linii prądu w oknie **Release from Surfaces** wskazujemy wcześniej utworzoną krawędź natarcia jako linię, z której należy rozpocząć się kreślenie linii prądu.



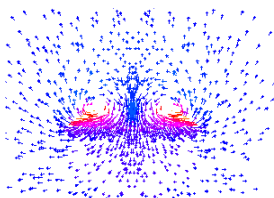
Przykład wizualizacji linii prądu rozpoczynających się od krawędzi natarcia

Wizualizowania wirów krawędziowych (opcjonalnie):

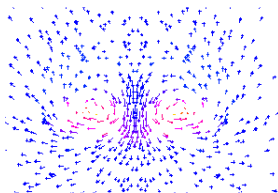
W tym celu należy utworzyć 2 płaszczyzny o stałych wartościach współrzędnej X:

Surface > Iso-Surface

w oknie Iso-Surface w polu stałych wartości (**Surface Of Constant**) wybrać siatkę (**Mesh**), w polu poniżej wybrać współrzędną X (**X Coordinate**). W polu stałej wartości (**Iso Value**) podać wartości współrzędnej x płaszczyzny (np. 0.05), a w polu nazw (**New Surface Name**) podać jej nazwę (np. **x=0.05**). Potwierdzić wybór (**Create**). Tak samo utworzyć płaszczyznę dla **x=0.2**.



Wektory prędkości w płaszczyźnie $x = 0.05$



Wektory prędkości w płaszczyźnie $x = 0.2$

B. Obliczenia dla przypadku z włączonym śmigłem.

W dalszej części ćwiczenia należy dokonać obliczeń i wizualizacji wyników dla przypadku z włączonym śmigłem:

Define > Boundary Conditions > smiglo > Edit

smiglo (Fan) - skok ciśnienia (Pressure Jump) = 200 Pa (Constant - stały).

Uwaga: te ustawienia należy wykonać dla obu powierzchni „smiglo-gora” i „smiglo-dol”.

Pozostałe warunki brzegowe bez zmian.

Inicjalizujemy rozwiązanie i wykonujemy ok. 200 iteracji lub do osiągnięcia zbieżności.