

# Aerodynamika pojazdów lab. 2: Wpływ bliskości ziemi na właściwości profilu aerodynamicznego

## Opis ćwiczenia

Zbadać wpływ bliskości ziemi na opływ profilu.

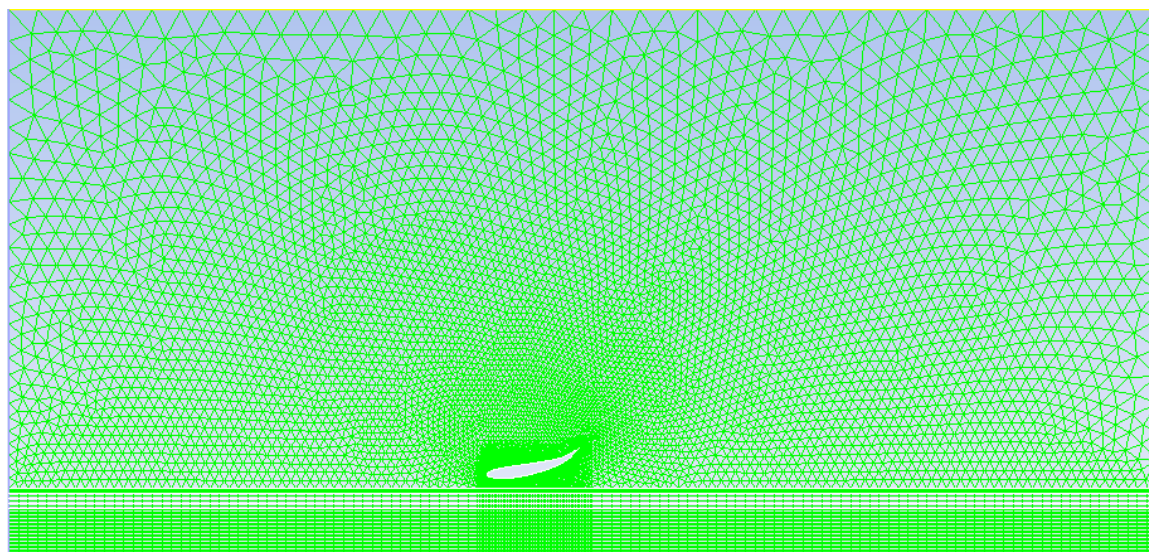
Siatka umożliwia obliczenia dla następujących odległości między ziemią a profilem: 0.05 m, 0.1 m, 0.15 m, 0.2 m, 0.25 m, 0.75 m. Dla każdego przypadku należy zanotować wartości współczynników siły nośnej i oporu, po czym sporządzić wykresy wpływu bliskości ziemi. Dwa skrajne przypadki (blisko i daleko od ziemi) należy porównać dokonując wizualizacji.

W tunelach aerodynamicznych ok. 10 % przekroju zajmowane jest przez badany profil, są też tunele do badania dużych pojazdów, których górna powierzchnia ma kształt wklęsły (imitujący kształt linii prądu) np. tunel Pininfarina. Są tunele w których samochody stawia się na ruchomych taśmach (rysunek czołgu w notatkach), ale muszą to być specjalne konstrukcje ponieważ taśmy są zasysane (np. przez dyfuzor samochodu). U nas ruch taśmy zostanie odwzorowany nadaniem prędkości na ścianie sąsiadującej z profilem.

## Fluent

### Zapoznanie się z geometrią modelu:

Uruchomić Fluent w trybie single precision (przy double precision zawiesza się po zmianie warunku brzegowego z „wall” na „interior”) i wczytać siatkę „layers.msh”



Obejrzeć siatkę, wg domyślnych ustawień kolor niebieski oznacza warunek wlotowy, czerwony wylotowy, żółty symetrię (warunek nadany górnej poziomej krawędzi) a białe ściany.

Najpierw należy wyświetlić wszystkie krawędzie modelu: Graphics and Animations\Mesh Pod Surfaces zaznaczyć wszystko (ikona w górnym prawym rogu okna – jedna wszystkie odznacza, druga zaznacza) i odznaczyć default-interior (krawędzie siatki).

Zbliżyć widok tak aby powiększyć na cały ekran profil, jednocześnie obejmując fragmenty znajdujących się pod nim krawędzi.

Klikając prawy przycisk myszy na geometrii, w oknie tekstowym drukowana jest jej nazwa. W ten sposób należy sprawdzić jak nazwane są krawędzie profilu oraz kolejne poziome imitujące ziemię. Innym sposobem jest zaznaczenie pod Surfaces krawędzi i odszukanie jej w oknie graficznym.

Ważne aby znać nazwy poziomych linii gdyż będziemy kolejno zmieniać ich własności ze „ścian” na „przezroczystość” symulując zwiększanie odległości profilu od ziemi (początkowo wszystkie mają warunek ścian).

### **Ustawienia solvera:**

1. Sprawdzić czy siatka ma właściwą skalę (rzędu kilku metrów):

- General\Scale: Mesh

W tym przypadku nie trzeba skalować, siatka ma już właściwe wymiary. Badany profil ma długość 1 m, dlatego długość obszaru równa 12m jest odpowiednia.

2. Sprawdzić poprawność siatki:

- General/Check

3. Nie zmieniać pozostałych domyślnych ustawień w zakładce General

4. Ustawić model turbulencji:

- Models\Viscous\Spalart-Allmaras

5. Zostawić domyślne ustawienia płynu jako powietrze nieściśliwe w Materials

6. Warunki brzegowe Boundary Conditions są już zdefiniowane jako:

- velocity inlet (wlot)
- pressure outlet (wylot)
- symmetry (górna krawędź)
- wall (opływane ciało i kolejne „krawędzie ziemi”)

7. Ustawić warunki na wlocie:

- Zakładka Momentum:
  - Velocity Magnitude: 40 m/s
- Turbulence/Specification Method/Intensity and Length Scale:
  - Turbulent Intensity: 2 %
  - Turbulent Length Scale: 0.005 m

8. Wybrać którąś ze ścian (posiadającą typ warunku brzegowego „wall”) np. „dno1”.

W zakładce Momentum, pod Wall Motion zaznaczyć Moving Wall, a przy Speed prędkość, taką jak na wlocie, czyli 40 m/s.

Teraz należy skopiować te ustawienia dla wszystkich krawędzi zdefiniowanych jako ściany. W Boundary Conditions wybrać Copy. Z lewej strony zaznaczyć „dno1”, a z prawej wszystkie pozostałe ściany, kliknięcie przycisku Copy przypisze na nich ustawione przed chwilą parametry. Wejść w edycję którejś ze ścian i sprawdzić, czy kopiowanie ustawień udało się.

**Uwaga:** Każda z krawędzi zdefiniowanych jako ściana (wall) znajdująca się wewnątrz obszaru obliczeniowego, ma swój odpowiednik z końcówką „shadow” w nazwie, jest to orientacja w przeciwną stronę tej samej ściany.

9. Ustawić parametry odniesienia Reference Values:

- Area: 1 m<sup>2</sup> – bo długość profilu to 1 m a zakładamy że rozpiętość skrzydła to też 1m
- Density: 1.225 kg/m<sup>3</sup> – gęstość powietrza
- Velocity: 40 m/s – prędkość na wlocie

Dzięki temu współczynniki sił będą miały poprawne wartości.

10. Upewnić się że obliczenia prowadzone dla równań pędu pierwszego rzędu:

- Solution Methods\Momentum\First Order Upwind

11. Zmniejszyć wielkość błędu rozwiązania:

- Solution\Monitors\Residuals w kolumnie Absolute Criteria z domyślnego 1e-3 wprowadzić 1e-4

12. Dodać Monitor współczynnika siły nośnej i oporu:

- Solution\Monitors\Drag a potem Lift

W oknie Drag Monitor zaznaczyć Plot (kreślenie wykresu na ekranie) a pod Wall Zones „bottom” i „top” (dolna i górna krawędź profilu). To samo powtórzyć w Lift Monitor.

Podzielić ekran graficzny na trzy części (w czasie obliczeń będą kreślone wykresy błędu, współczynnika siły nośnej i oporu):

- View\Graphics Window Layout i wybrać ikonkę z podziałem na 3 okna

13. Zainicjalizowanie rozwiązania (przypisanie na siatce początkowych wartości, których użyjemy do rozpoczęcia obliczeń) Solution Initialization:

- Initialization Method\Standard Initialization
  - Compute from\wlot

W tym momencie wczytane zostaną parametry na wlocie, aby przypisać je na całej siatce należy kliknąć Initialize

14. Rozpocząć obliczenia:

- Run Calculation\Calculate

Najpierw trzeba jednak ustawić liczbę iteracji pod Number of Iterations na ok. 600

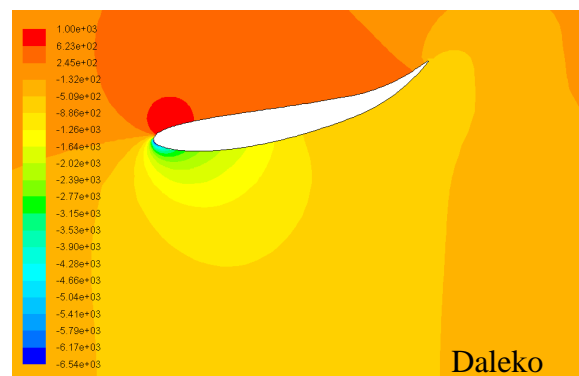
Obliczenia powinny trwać do momentu osiągnięcia poziomu zbieżności (błąd poniżej  $1e-4$ ). Jednocześnie możemy zobaczyć jak w trakcie obliczeń zmieniają się współczynniki sił. Po wykonaniu kilkunastu iteracji następuje gwałtowna zmiana wartości współczynników sił, wykresy stają się nieczytelne i należy je wyczyścić, w tym celu trzeba wrócić do okien monitorów Solution\Monitors\Drag oraz Lift i kliknąć przycisk Clear.

Jeżeli po osiągnięciu kryterium zbieżności, współczynniki ustaliły się na stałym poziomie, oznacza to iż nie musimy kontynuować obliczeń.

## Analiza wyników:

1. Kontury ciśnienia statycznego w obszarze obliczeniowym:

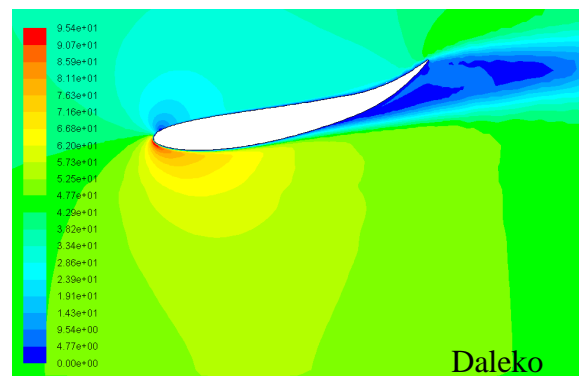
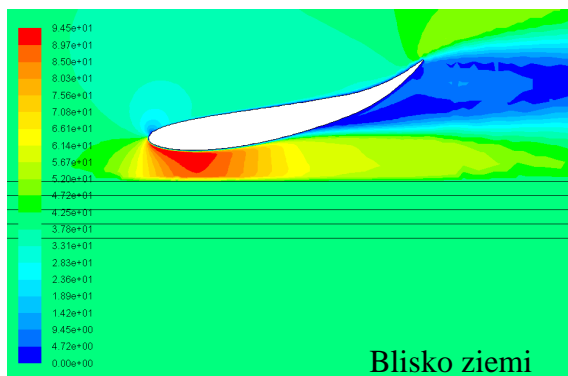
- Graphics and Animations\Contours: Pressure\Static Pressure
  - Surfaces: wszystko odznaczone



Zaznaczyć Draw Mesh pod Options, w wyświetlaniu siatki pod Surfaces wybrać wszystkie ściany

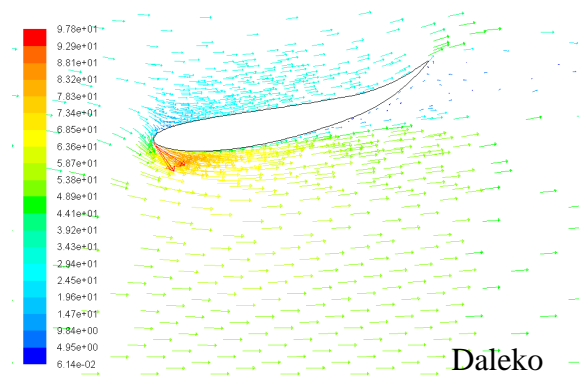
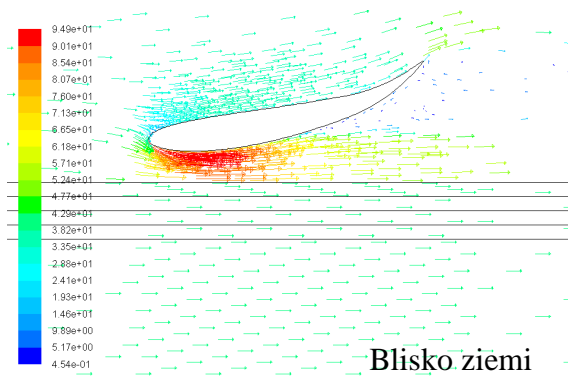
2. Kontury prędkości w obszarze obliczeniowym:

- Graphics and Animations\Contours: Velocity\Velocity Magnitude
  - Surfaces: wszystko odznaczone



3. Wektory prędkości w obszarze obliczeniowym:

- Graphics and Animations\Vectors
  - Surfaces: wszystko odznaczone



Dostosować parametry Skip i Scale aby rysunek był możliwie najczytelniejszy

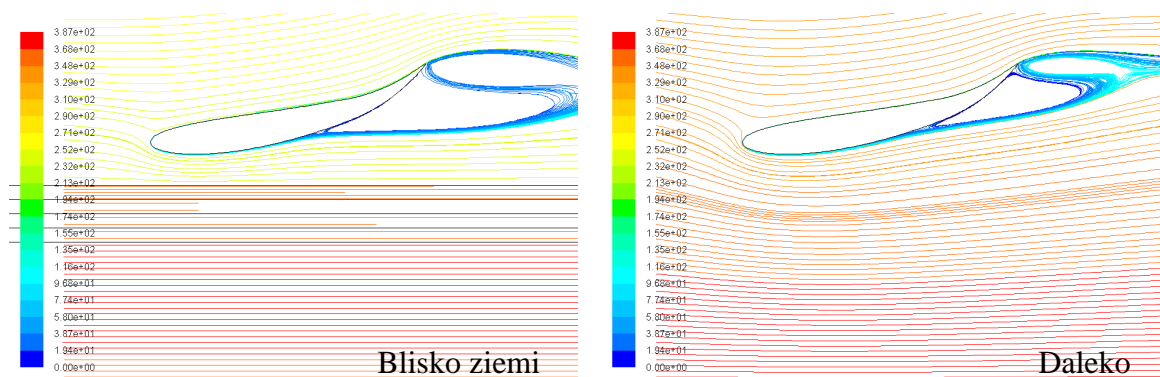
4. Linie prądu wychodzące z profilu i pomocniczej powierzchni tuż przed profilem:

- Surface\Iso-Surface
  - Surface of Constant: Mesh
    - X-Coordinate: Iso-Value = -0.5

Nadać nazwę i potwierdzić Create.

## 5. Graphics and Animations\Path Lines

- Release from Surfaces: krawędzie profilu(top i bottom) oraz dodana powierzchnia



Sprawdzić jak będą wyglądały linie prądu puszczone tylko z wlotu.

## 6. Sprawdzenie współczynników siły nośnej i oporu na profilu:

- Results\Reports\Forces
  - Options: Forces
  - Direction Vector: X = 1 (siła oporu) Y = 1 (siła nośna)
  - Wall Zones: krawędzie profilu

Po kliknięciu Print, w oknie tekstowym zostaną wydrukowane wartości sił i współczynników sił, odnaleźć tabelę z wydrukiem po zadanym wektorze i pozycję Coefficients Total z sumą wartości na profilu. Zanotować wartości współczynników siły nośnej i oporu.

y	Cx	Cz	Cz/Cx
0,05			
0,10			
0,15			
0,20			
0,25			
0,75			

## 7. Wykonanie wykresu ciśnienia statycznego na profilu:

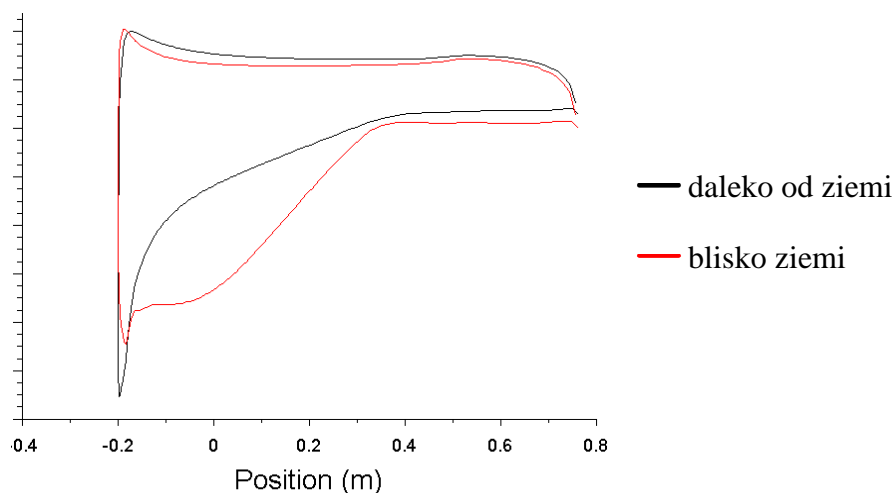
- Results\Plots\XY Plot

Pozostawić ustawienia pod Plot Direction (wykonujemy wykres wzdłuż osi X, dlatego  $x = 1$ ), oraz pod Y Axis Function Pressure\Static Pressure.

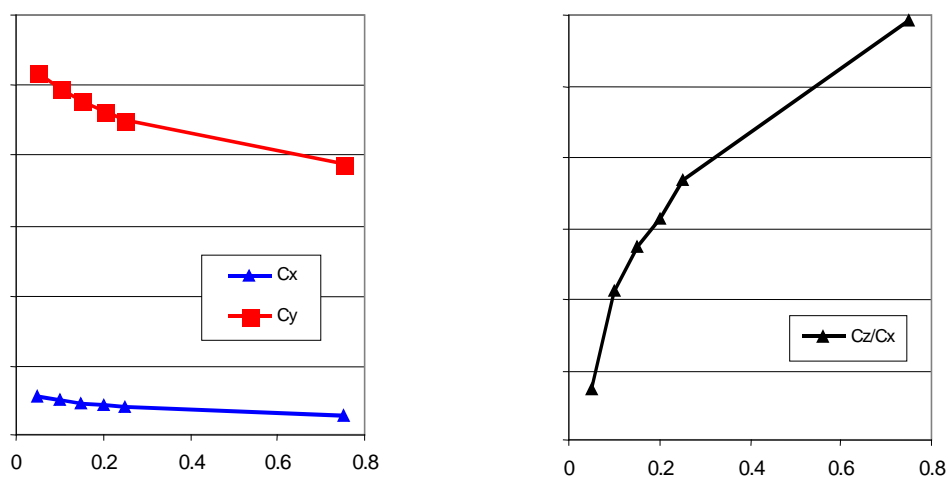
Pod Surfaces wybrać krawędzie profilu, aby wyświetlić wykres Plot, aby zapisać serię danych do pliku z lewej strony pod Options zaznaczyć Write to File, teraz przycisk Plot zmienił się na Write, plik najlepiej zapisać z rozszerzeniem \*.xy.

Aby zmieniać styl wyświetlania linii/punktów wejść w Curves, wybrać odpowiedni styl linii oraz marker punktów, aby zmodyfikować kolejną serię danych należy ustawić kolejny numer pod Curve #.

Aby wczytać dane z pliku wybrać w oknie wykresu Load File, po wykonaniu obliczeń dla przypadków blisko i daleko od ziemi, porównać wyniki na jednym wykresie.



Dla każdego badanego przypadku należy zanotować wartości współczynnika siły nośnej i oporu, a następnie wykonać wykres zależności współczynników od odległości od ziemi.



Wykresy współczynników siły oporu ( $C_x$ ), docisku ( $C_y$ ) i doskonałości ( $C_z/C_x$ )

## Obserwacje

Wyniki obliczeń pozwalają na pokazanie charakteru zmian sił działających na profil przy zmianie jego odległości od ziemi.

## Sprawozdanie

Zestawienie wizualizacji dla skrajnych przypadków. Wykresy wpływu ziemi na profil.