



Politechnika Wrocławska

Wydział Mechaniczno-Energetyczny
Studia stacjonarne

Wybrane zagadnienia procesów ciepłno-przepływowych

Ćwiczenie nr 7

Modelowanie opływu profilu NACA2418

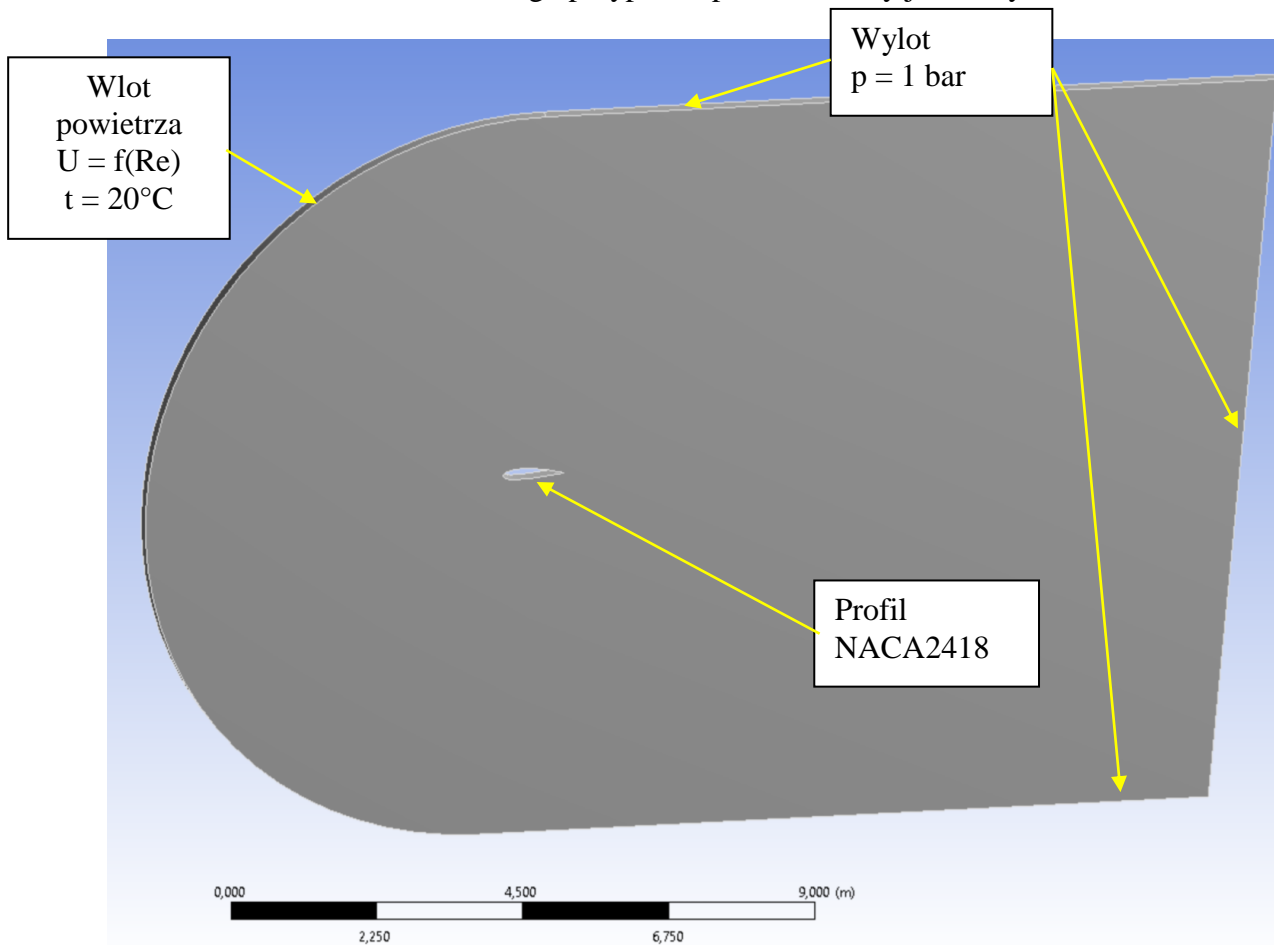
Wrocław 2020

SPIS TREŚCI

1.	Wprowadzenie	2
2.	Opływ profilu naca2418	3
2.1.	Przygotowanie geometrii	3
2.2.	Przygotowania siatki numerycznej	23
2.3.	Przygotowanie modelu numerycznego	32
2.4.	Obliczenia	41
2.5.	Opracowanie wyników	44
3.	Wyniki jakie należy umieścić w raporcie	46
4.	Zadania nieobowiązkowe	46
5.	Literatura	46

1. WPROWADZENIE

W ćwiczeniu zostanie zaprezentowany sposób modelowania przepływu płynu ściśliwego pod i nad dźwiękowego. Zagadnienie zostanie zaprezentowane na przykładzie opływu płata NACA2418. Płat o długości cięciwy 1 m jest opływany powietrzem o temperaturze 20°C. Opływ odbywa się dla trzech liczb Reynoldsa: 50 000, 500 000 oraz 5 000 000. Schemat analizowanego przypadku przedstawiony jest na rys. 1.



Rys. 1. Schemat zagadnienia opływu płata NACA2418 powietrzem

2. OPLYW PROFILU NACA2418

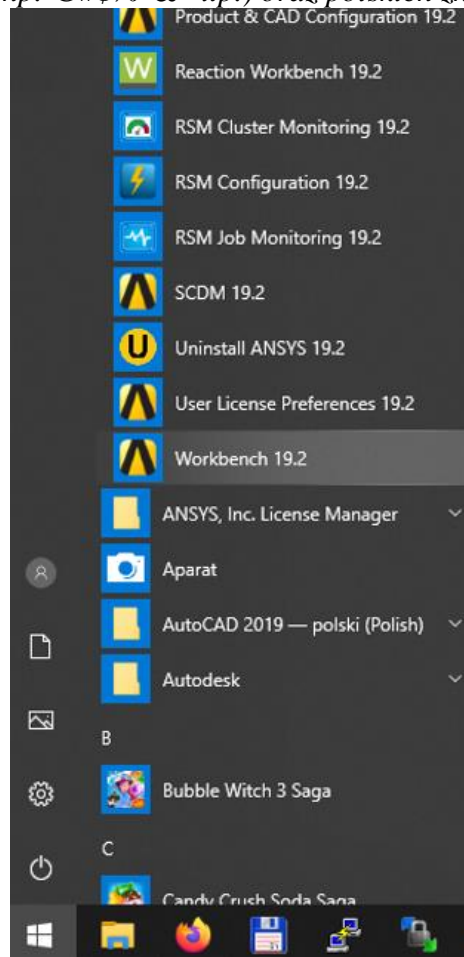
2.1. PRZYGOTOWANIE GEOMETRII

Wykonaj następujące zadania:

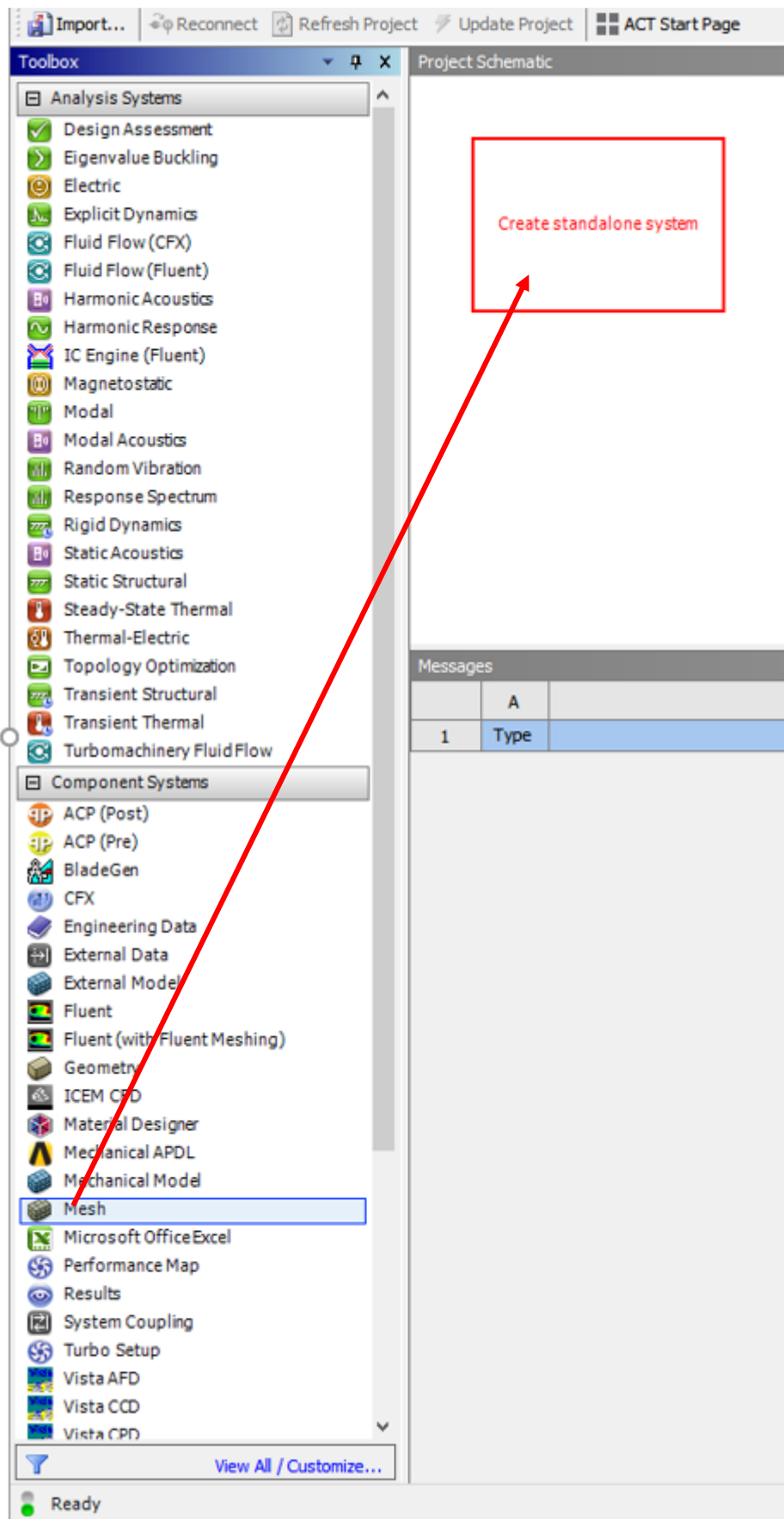
- 1) Otwórz program Ansys Workbench i zapisz projekt o nazwie Cw7 w katalogu o nazwie Cw7 (*File->Save As*).

ZASADA PRAKTYCZNA NR 1: Dla każdego projektu tworzymy osobny katalog

ZASADA PRAKTYCZNA NR 2: W nazwach katalogów nie stosujemy: spacji, znaków specjalnych (np. @#\$%^&* itp.) oraz polskich znaków



- 2) Wybierz moduł *Mesh* i otwórz program *Spaceclaim*. W tym celu chwyć lewym przyciskiem myszy (LPM) moduł *Mesh* i przeciągnij go do pola *Project Schematic*. Następnie kliknij dwukrotnie LPM na *Geometry* w celu uruchomienia programu *Spaceclaim*, w którym zostanie utworzona geometria. Zwróć uwagę, że w lewym dolnym rogu ekranu pojawia się napis informujący jaki program jest uruchamiany.



Import...ReconnectRefresh ProjectUpdate ProjectACT Start P

Toolbox

Analysis Systems

Design Assessment

Eigenvalue Buckling

Electric

Explicit Dynamics

Fluid Flow (CFX)

Fluid Flow (Fluent)

Harmonic Acoustics

Harmonic Response

IC Engine (Fluent)

Magnetostatic

Modal

Modal Acoustics

Random Vibration

Response Spectrum

Rigid Dynamics

Static Acoustics

Static Structural

Steady-State Thermal

Thermal-Electric

Topology Optimization

Transient Structural

Transient Thermal

Turbomachinery Fluid Flow

Component Systems

ACP (Post)

ACP (Pre)

BladeGen

CFX

Engineering Data

External Data

External Model

Fluent

Fluent (with Fluent Meshing)

Geometry

ICEM CFD

Material Designer

Mechanical APDL

Mechanical Model

Mesh

Microsoft Office Excel

Performance Map

Results

System Coupling

Turbo Setup

Vista AFD

Vista CCD

Vista CPD

View All / Customize...

Starting SpaceClaim...

Project Schematic

A

1 Mesh

2 Geometry ?

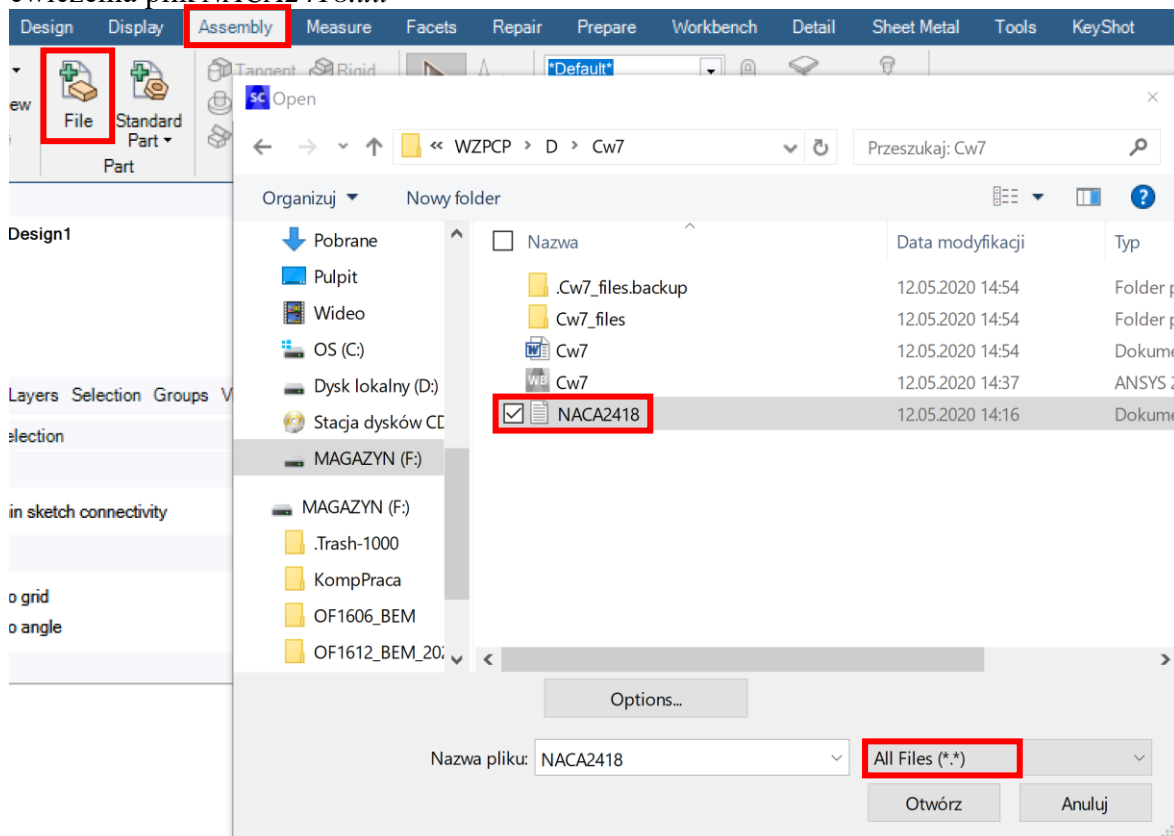
3 Mesh ?

Mesh

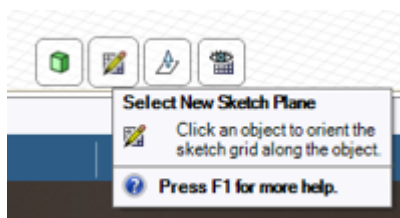
Messages

	A	
1	Type	

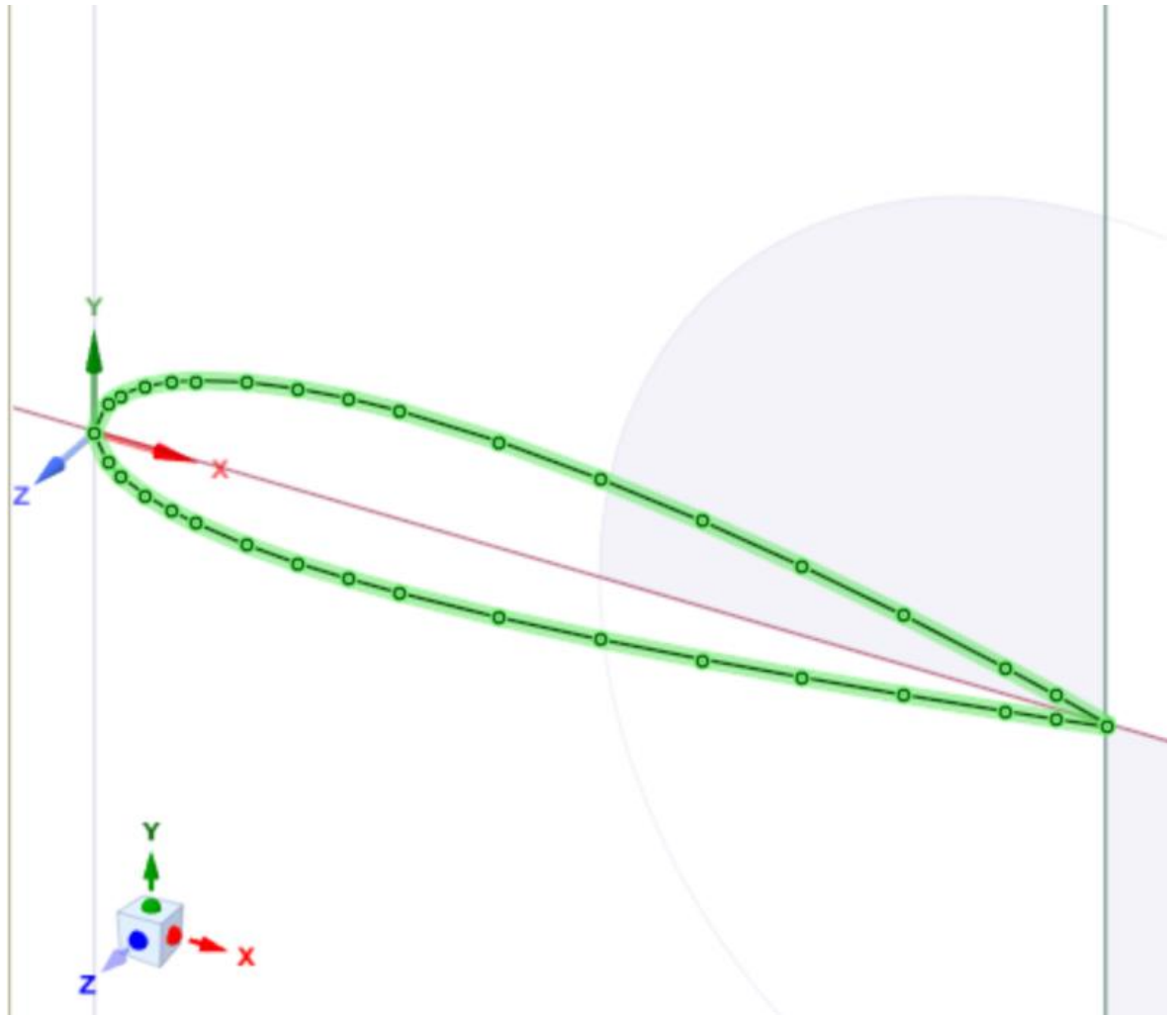
- 3) W zakładce *Assembly* wybierz ikonę *File*, a następnie wskaż dołączony do ćwiczenia plik *NACA2418.txt*




- 4) Kliknij LPM ikonę *Select New Sketch*  w celu wybrania płaszczyzny rysowania.




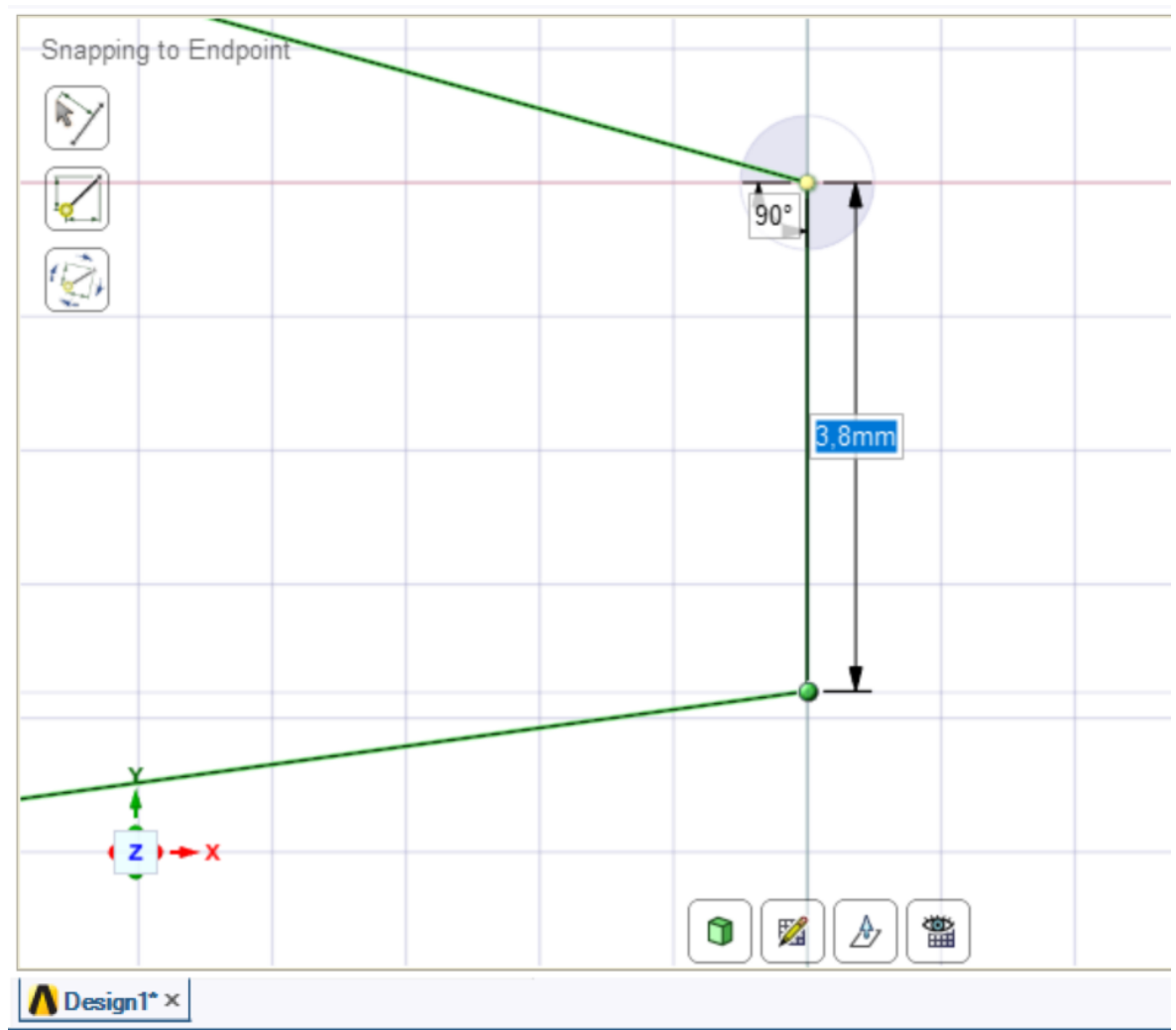
Wybierz płaszczyznę X-Y jak na rysunku poniżej.




- 5) Kliknij ikonę *Plan View*  w celu obrócenia płaszczyzny rysowania
- 6) równoległe do ekranu (możesz też to zrobić wciskając *Shift + v*).

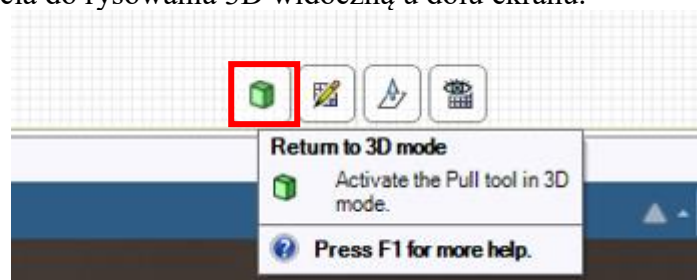


- 7) W panelu u góry ekranu wybierz ikonę rysowania linii  i narysuj linię w pobliżu krawędzi spływowej profilu w celu domknięcia.

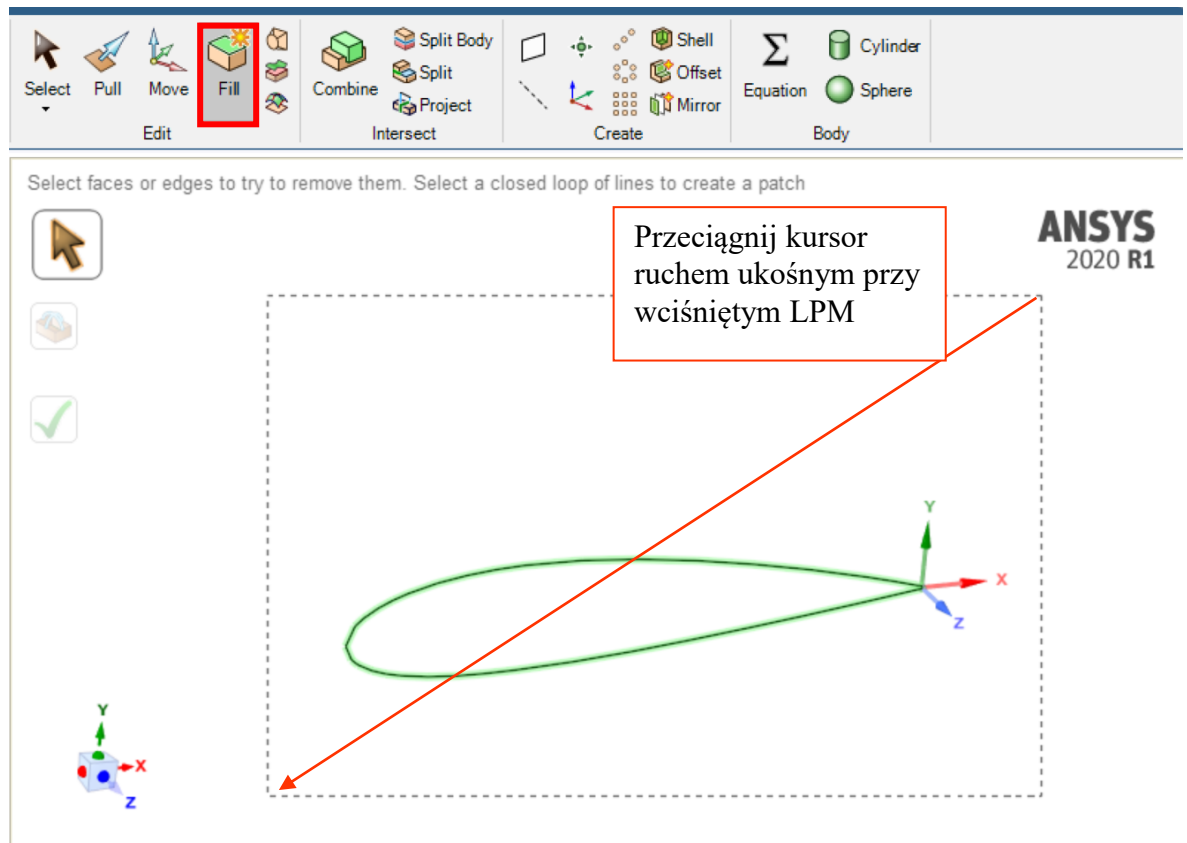


Pamiętaj, że w razie niepowodzenia w każdym momencie możesz kliknąć ikonę cofnięcia  (znajduje się w lewym górnym rogu ekranu) lub *Ctrl* + *z*.

- 8) W celu wyjścia z polecenia rysowania linii naciśnij klawisz *Esc* i LPM kliknij ikonę przejścia do rysowania 3D widoczną u dołu ekranu.



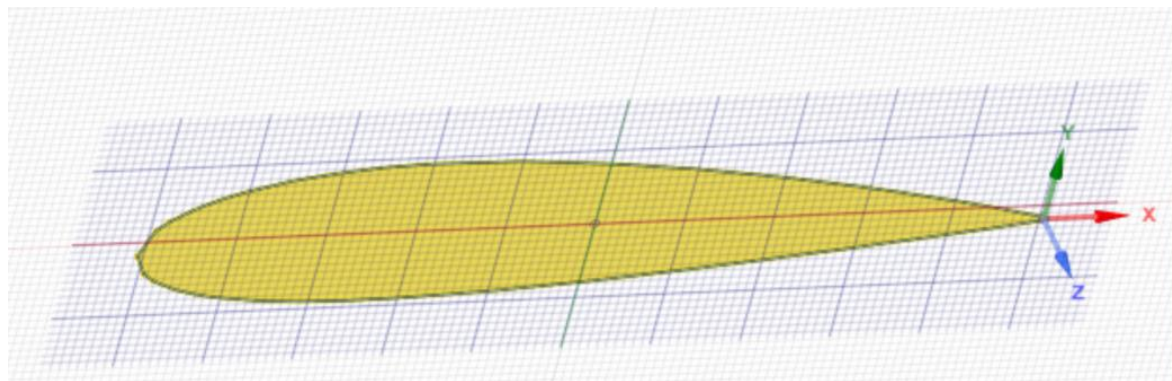
- 9) W zakładce *Design* wybierz *Fill*, a następnie zaznacz cały profil przez przeciągnięcie LPM



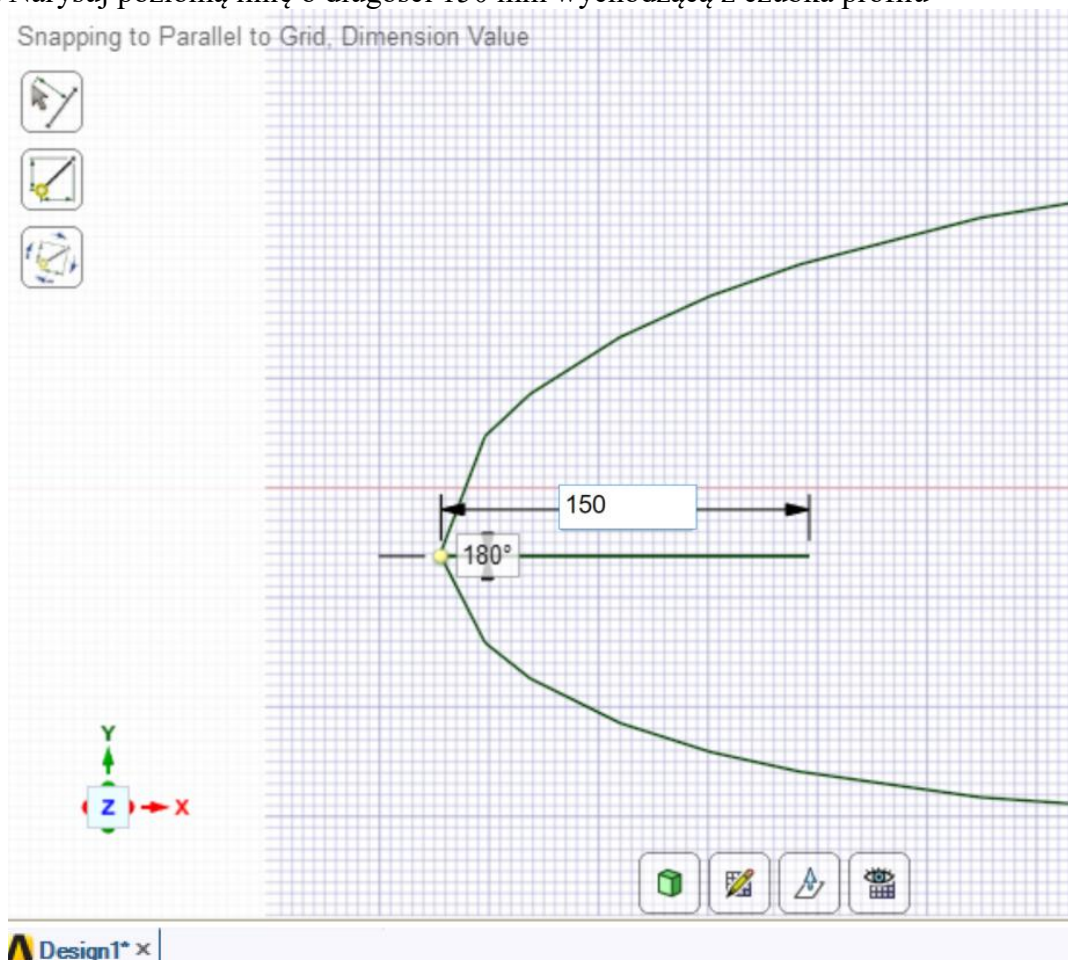
10) Wybierz *Complete*



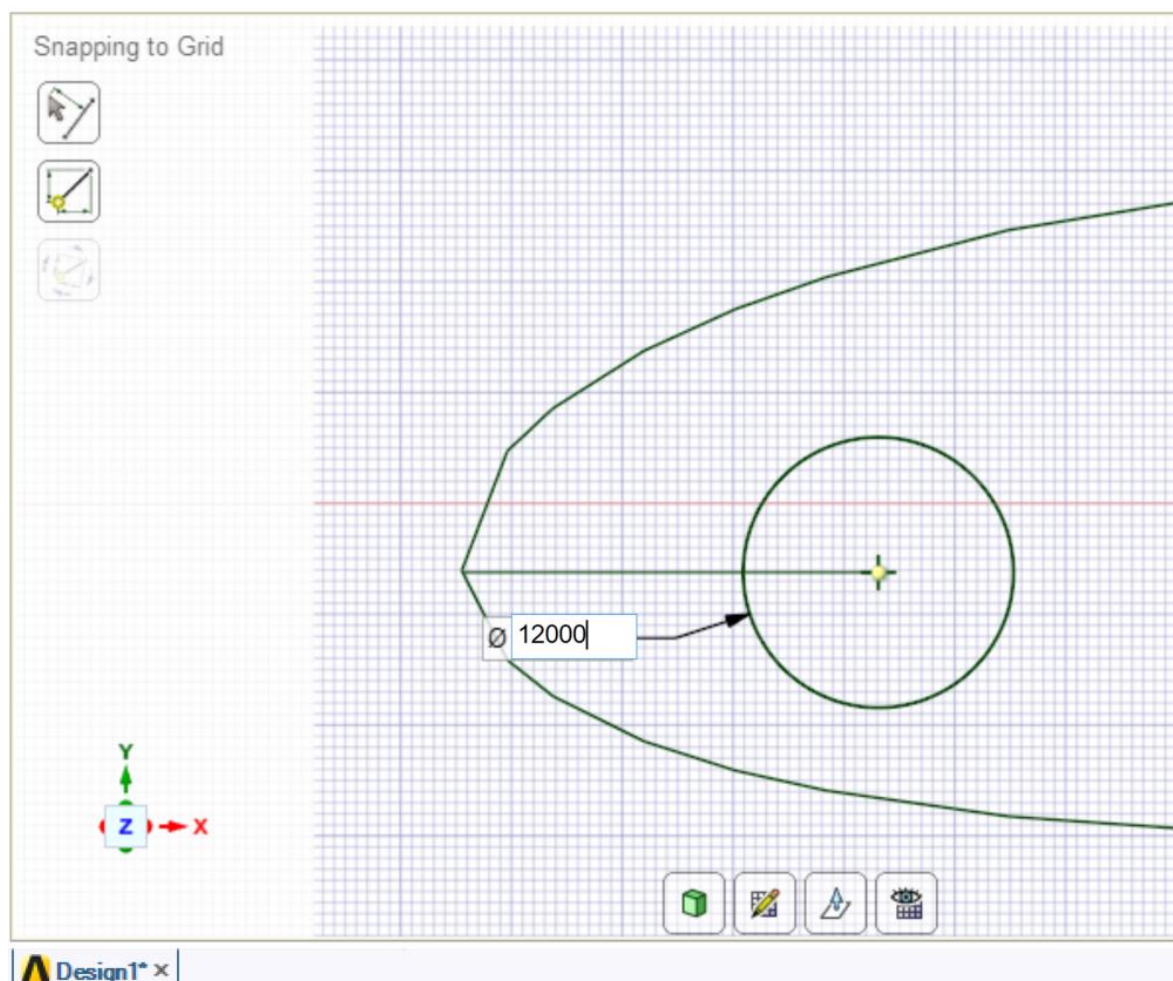
11) Wybierz płaszczyznę rysowania szkicu na jednej z powierzchni bocznych profilu



12) Narysuj poziomą linię o długości 150 mm wychodzącą z czubka profilu

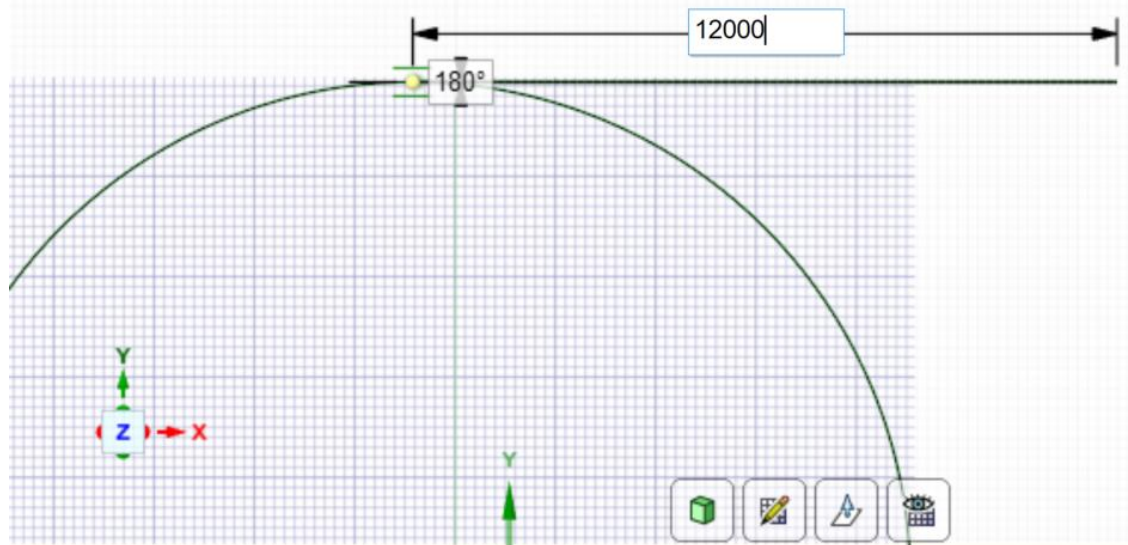


13) Narysuj okrąg o średnicy 12000 mm zaczepiony w prawym końcu linii



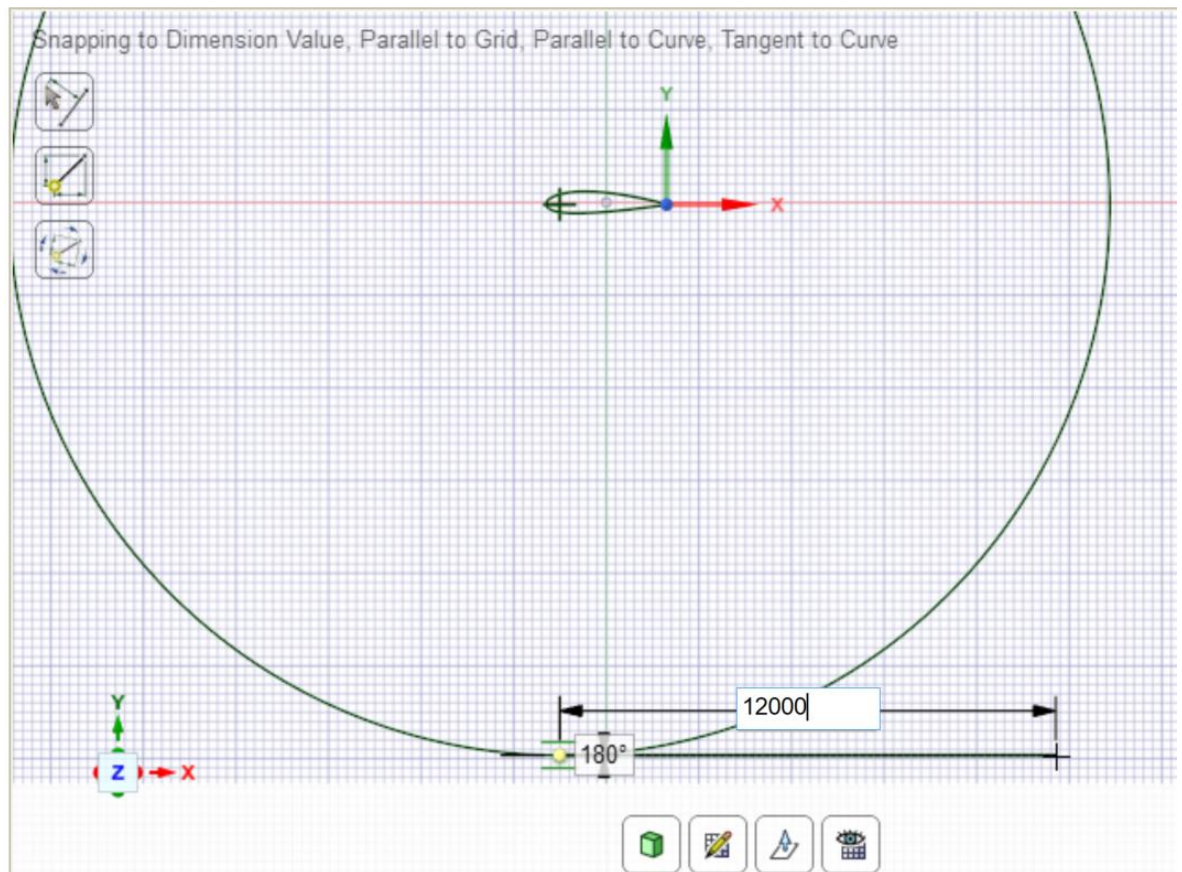
- 14) Narysuj linię o długości 12000 mm umiejscowioną nad profilem i styczną do okręgu

Snapping to Tangent to Curve, Parallel to Grid, Dimension Value

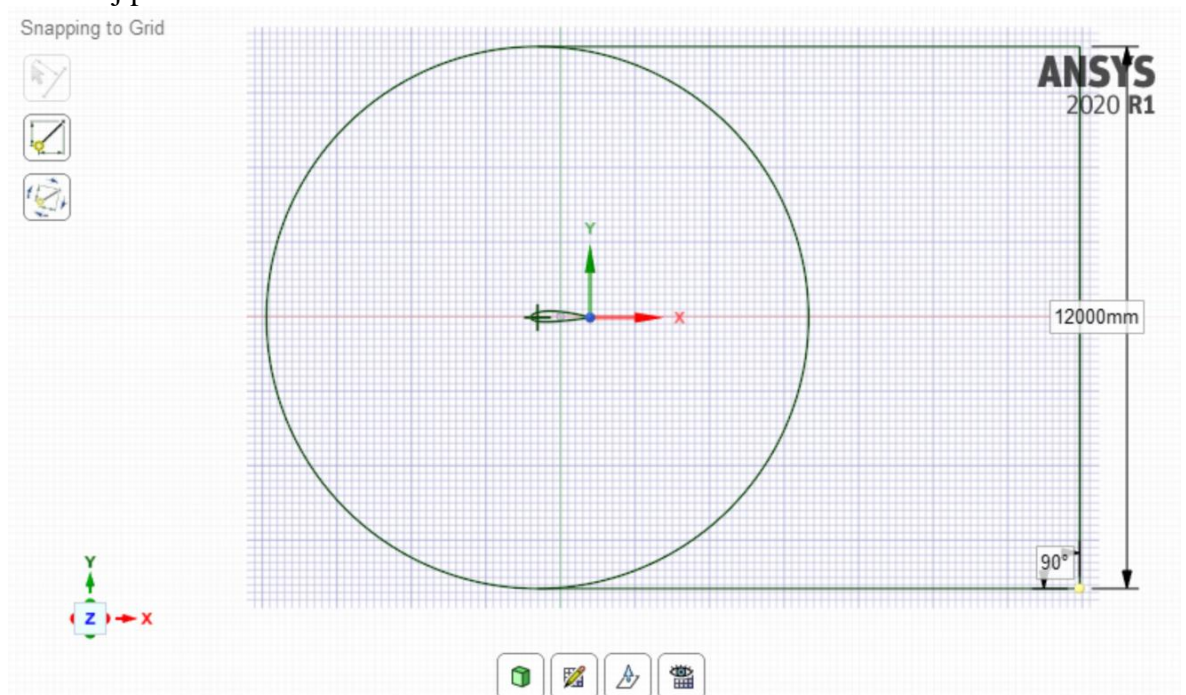


Design1* x

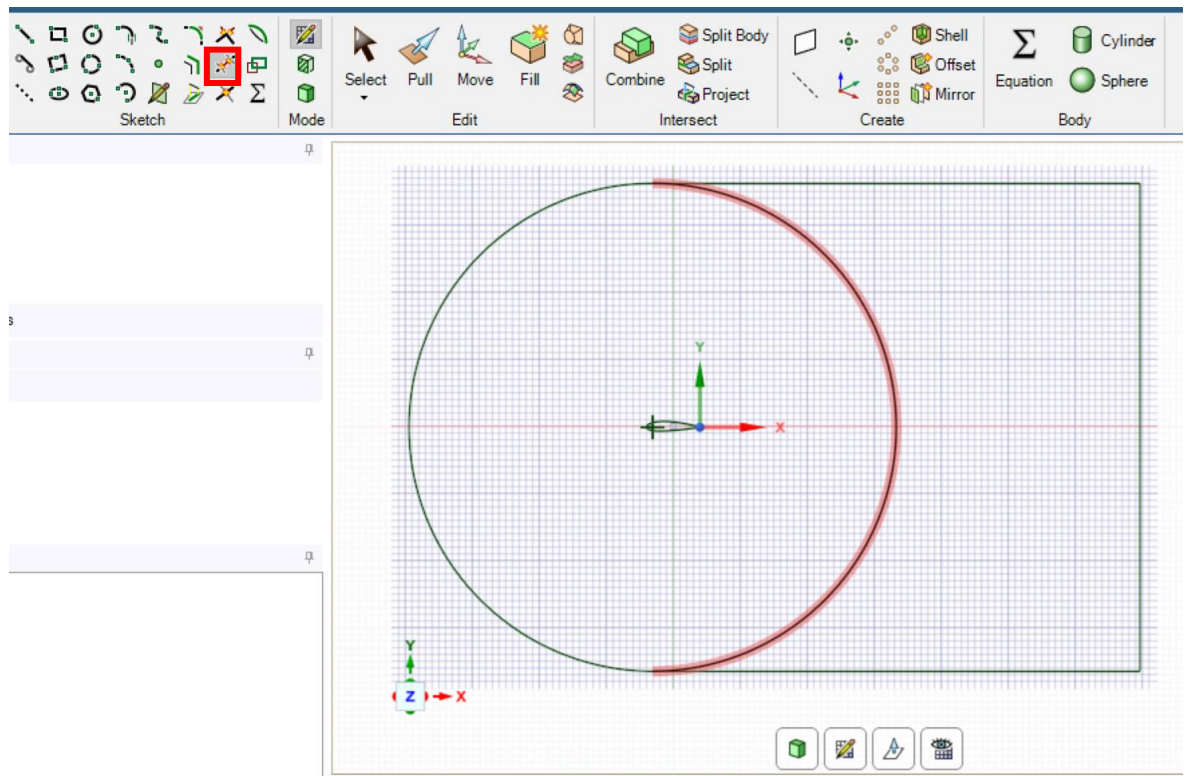
15) Podobną linię utwórz pod profilem



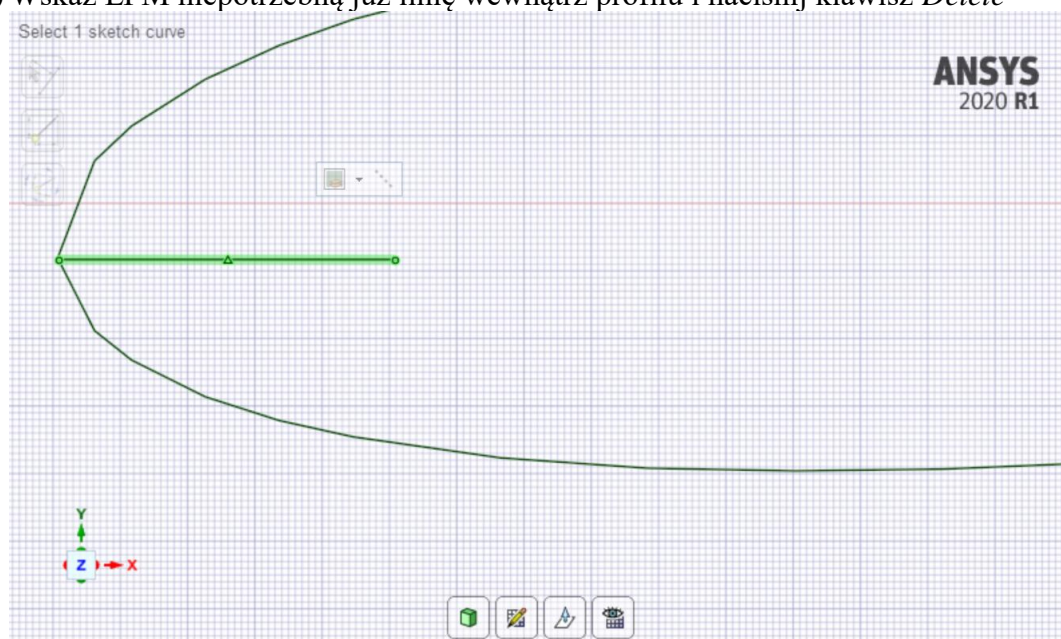
16) Domknij profil



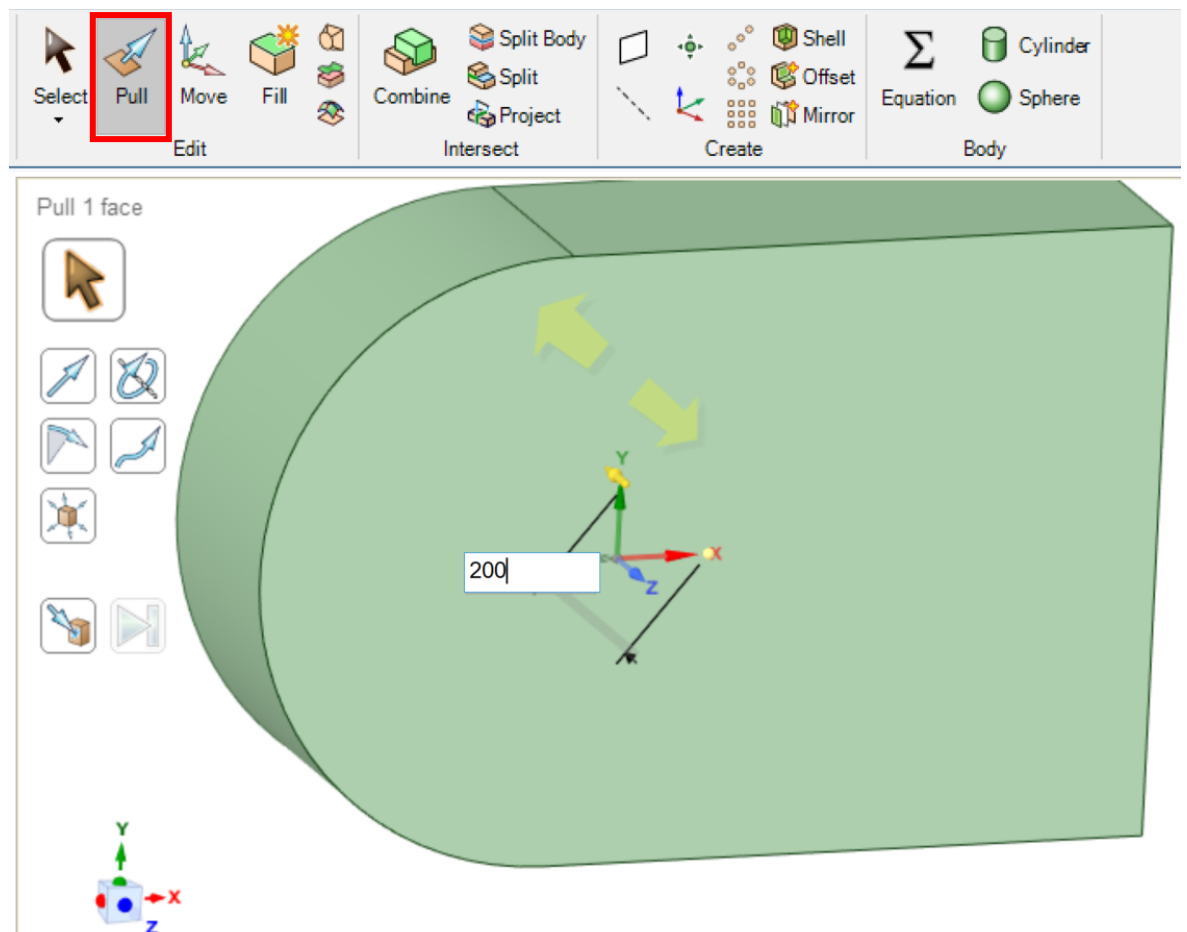
17) Wybierz ikonę *Trim away* i usuń zaznaczony na czerwono kawałek okręgu przez wskazanie go LPM



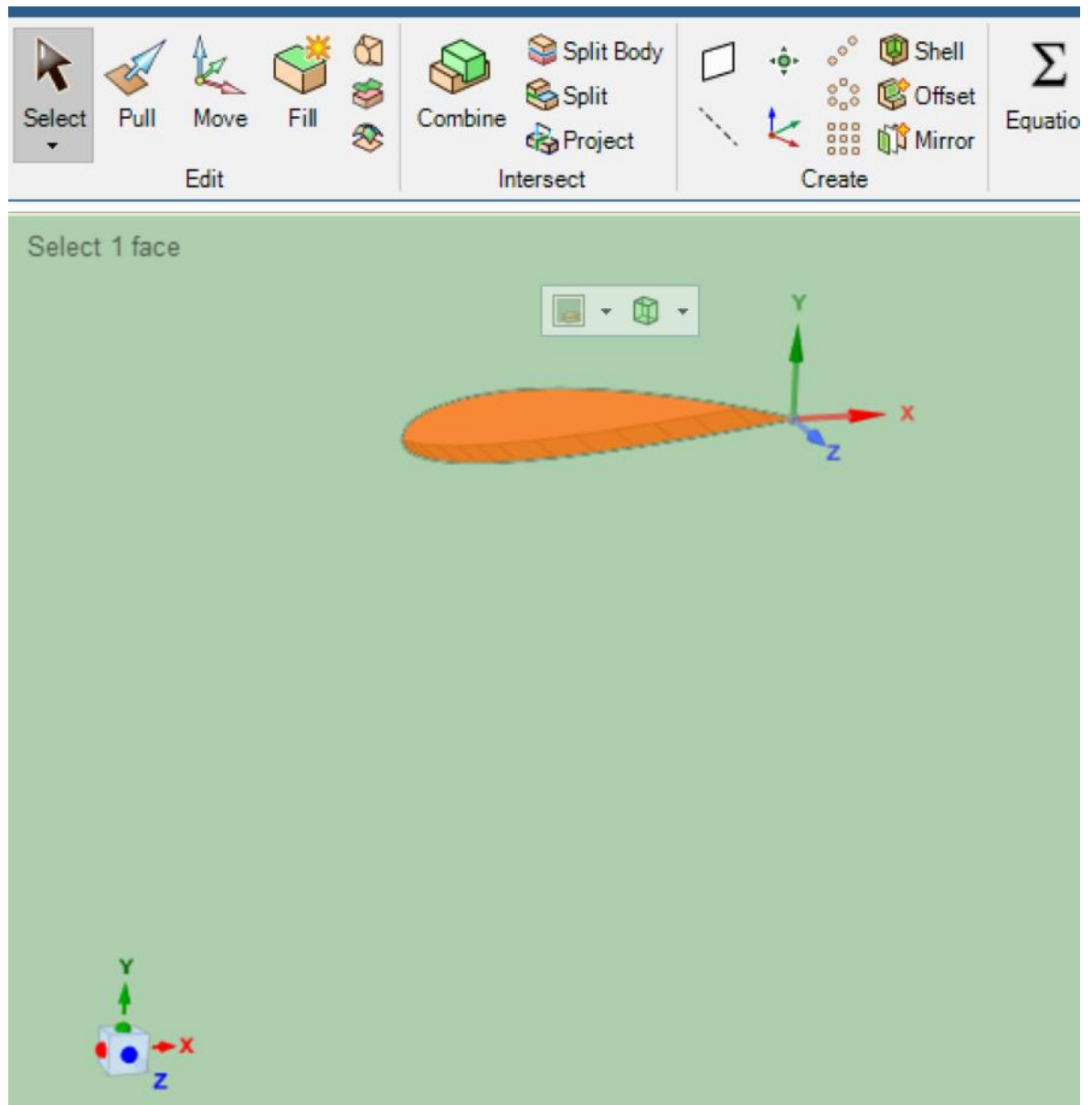
18) Wskaż LPM niepotrzebną już linię wewnątrz profilu i naciśnij klawisz *Delete*




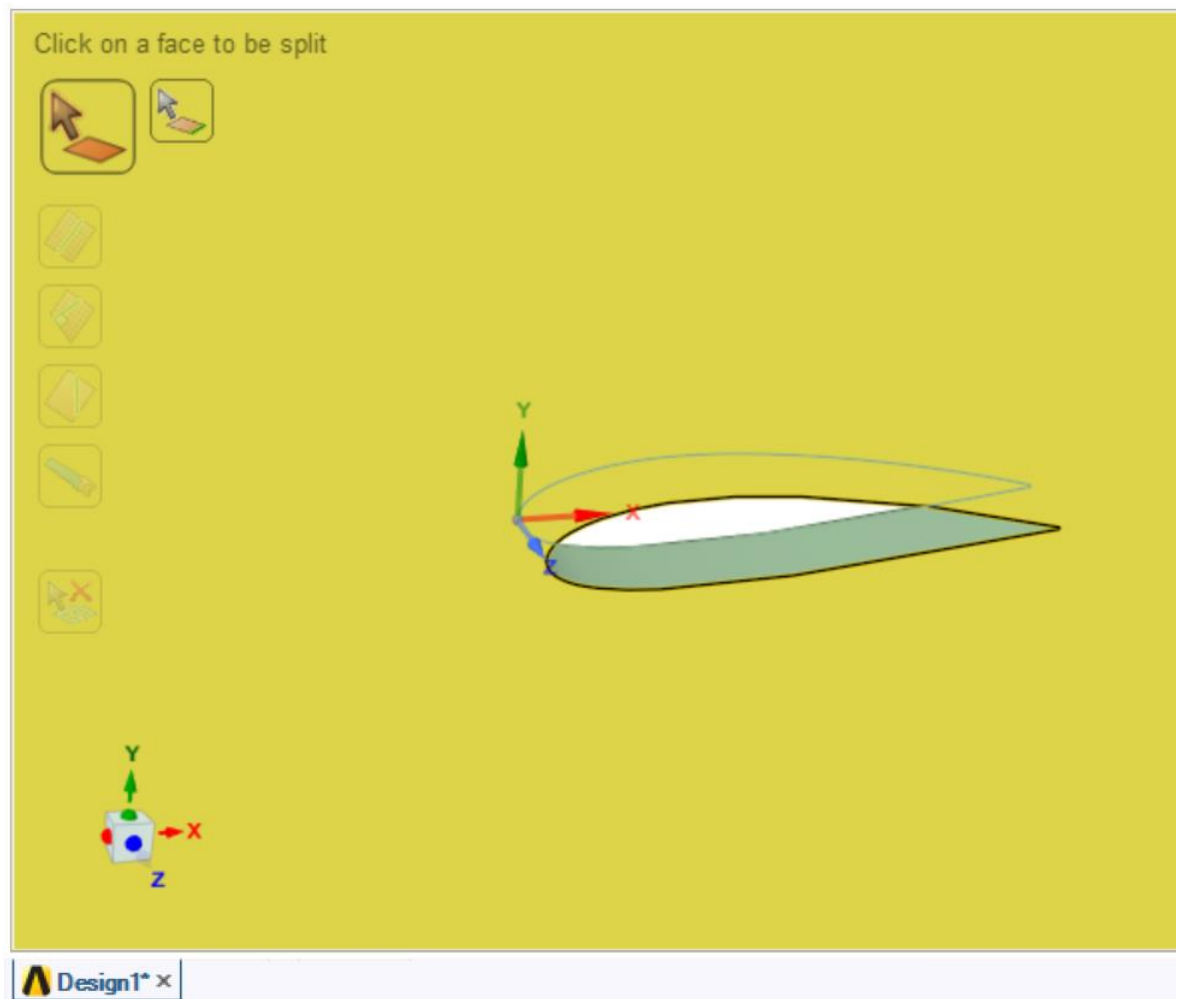
19) Wróć do widoku 3D i wybierz polecenie *Pull*, a następnie wyciągnij utworzony profil na 200 mm.



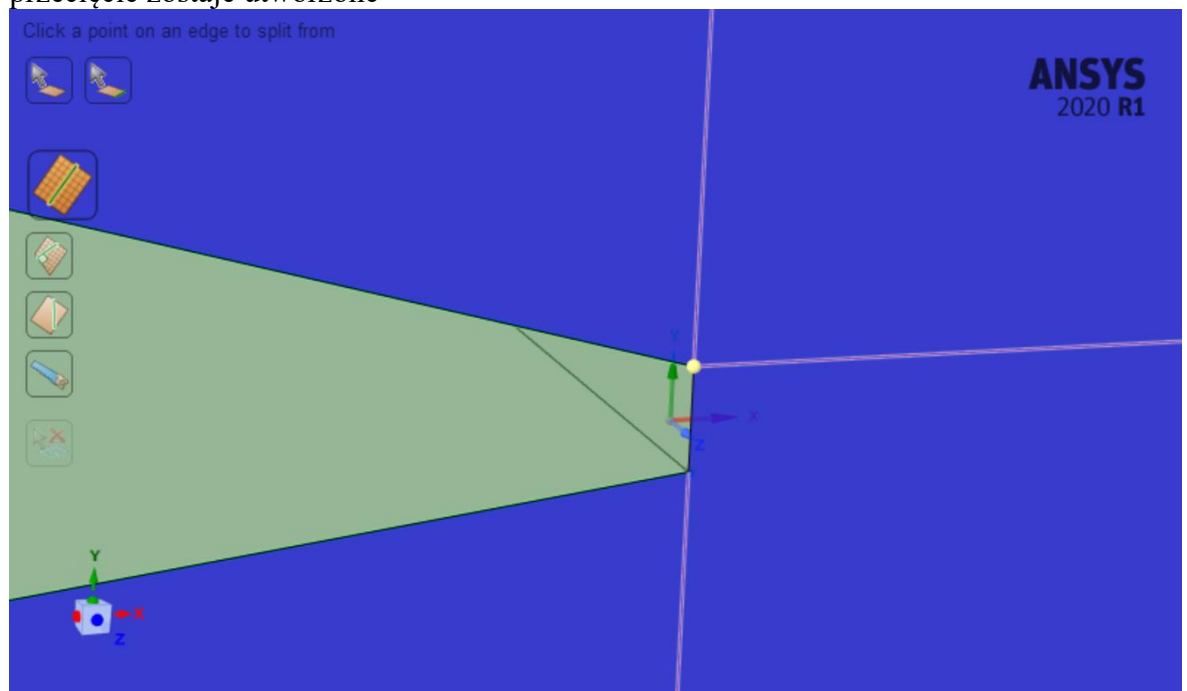
20) LPM wskaż profil i naciśnij *Delete* w celu jego usunięcia.



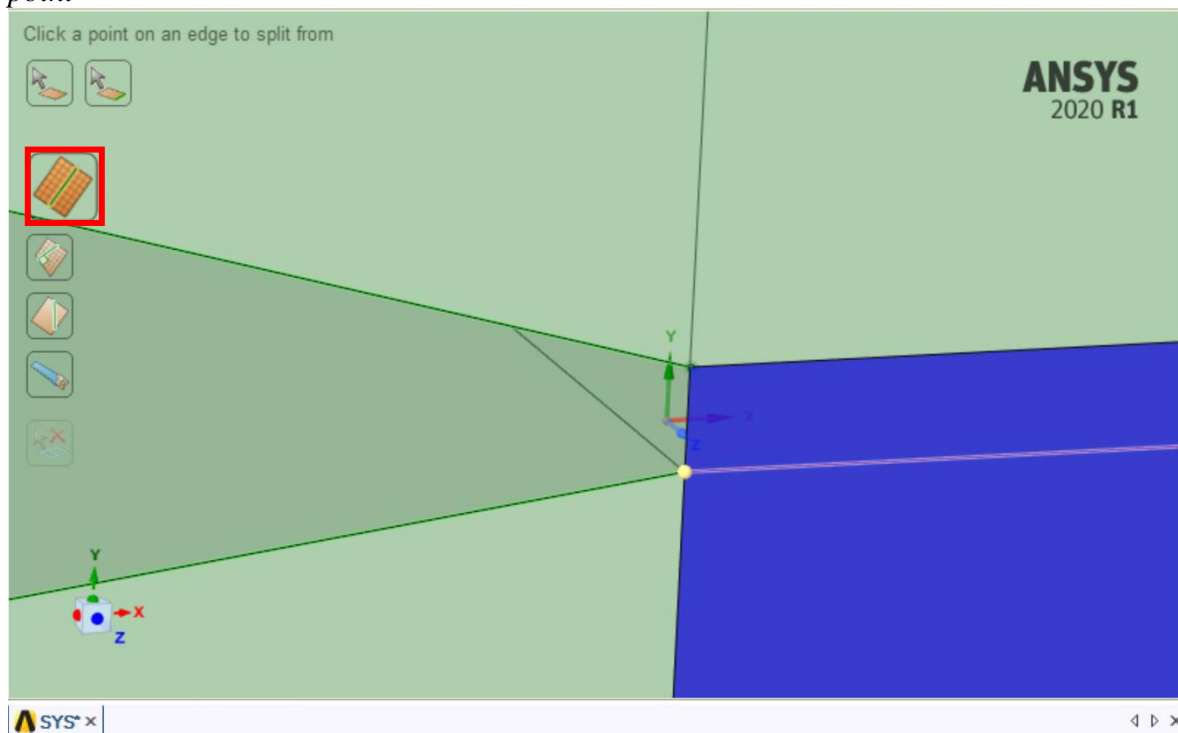
- 21) W ćwiczeniu zostanie utworzona siatka heksagonalna. Do jej utworzenia potrzebne są linie, które wyznaczą poszczególne „bloki” siatki. Do ich utworzenia wykorzystamy ikonę *Split*  w zakładce *Design*. Po jej wybraniu wskaż dużą, płaską powierzchnię zaznaczoną na żółto



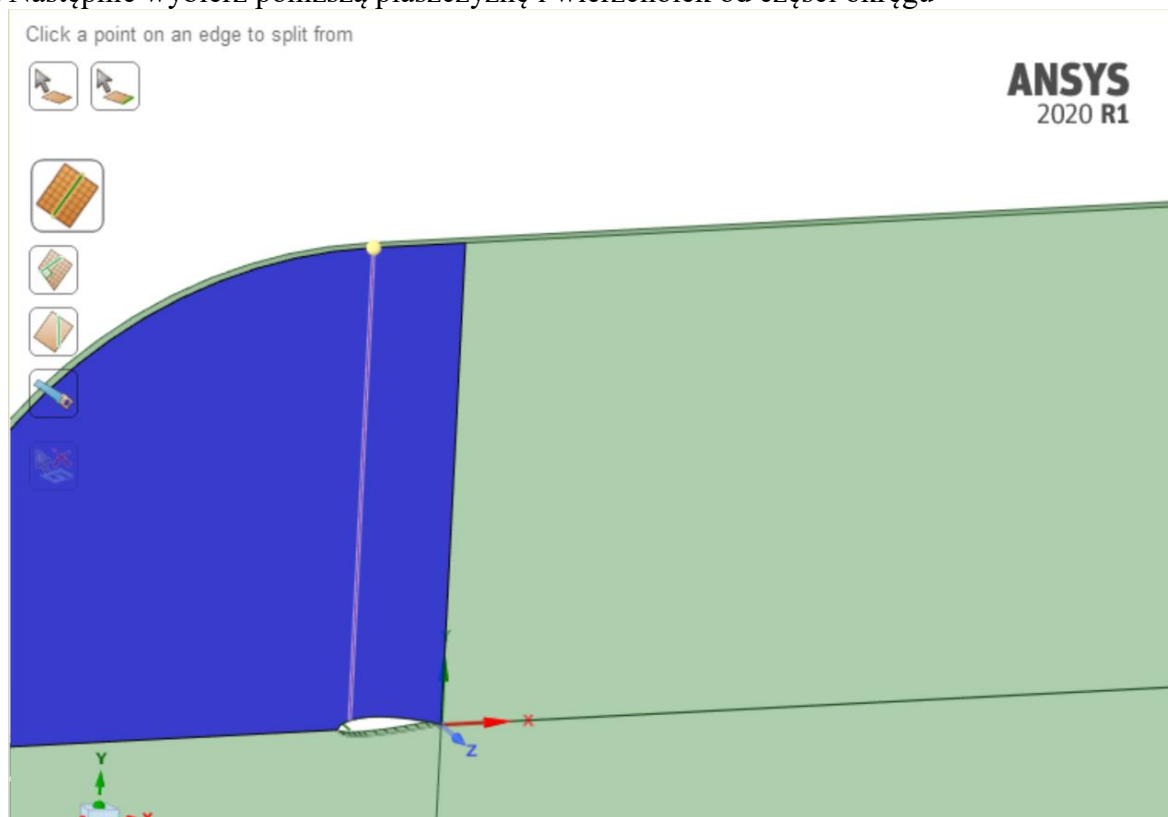
- 22) Zbliż się kursorem do krawędzi spływu i wybierz górny wierzchołek – przecięcie zostaje utworzone



- 23) Podobnie uczynić z dolnym wierzchołkiem – jeśli nie pojawia się niebieskie tło z widoczną linią przecinającą, upewnij się, że jest wybrana opcja *Select UV cutter point*

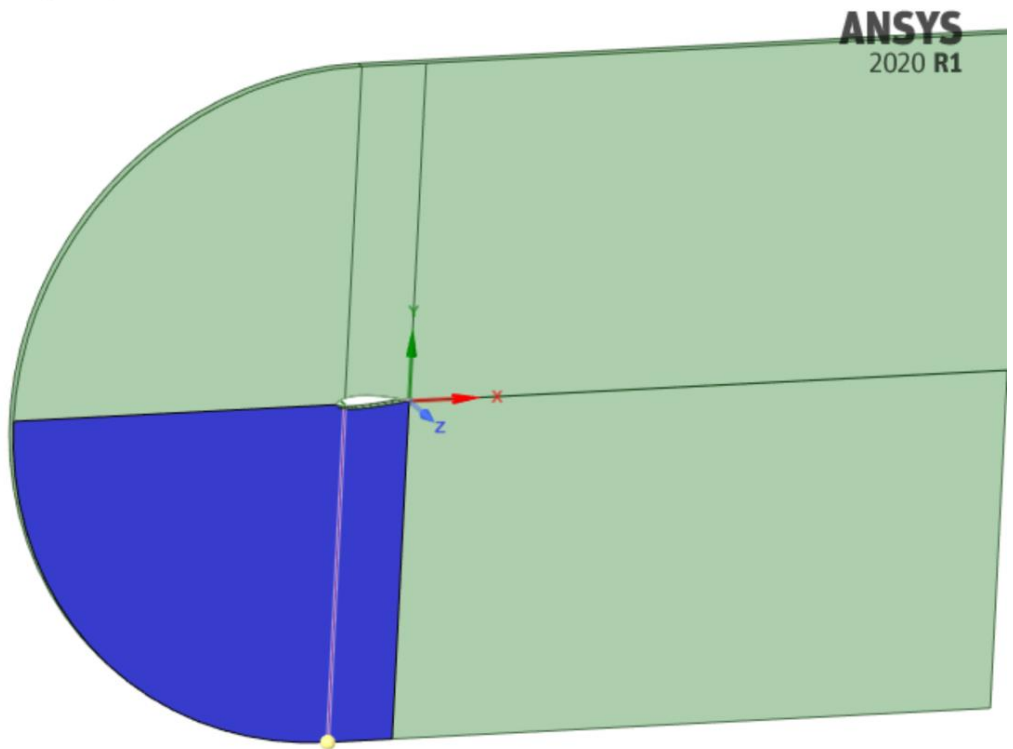


- 24) Następnie wybierz poniższą płaszczyznę i wierzchołek od części okręgu

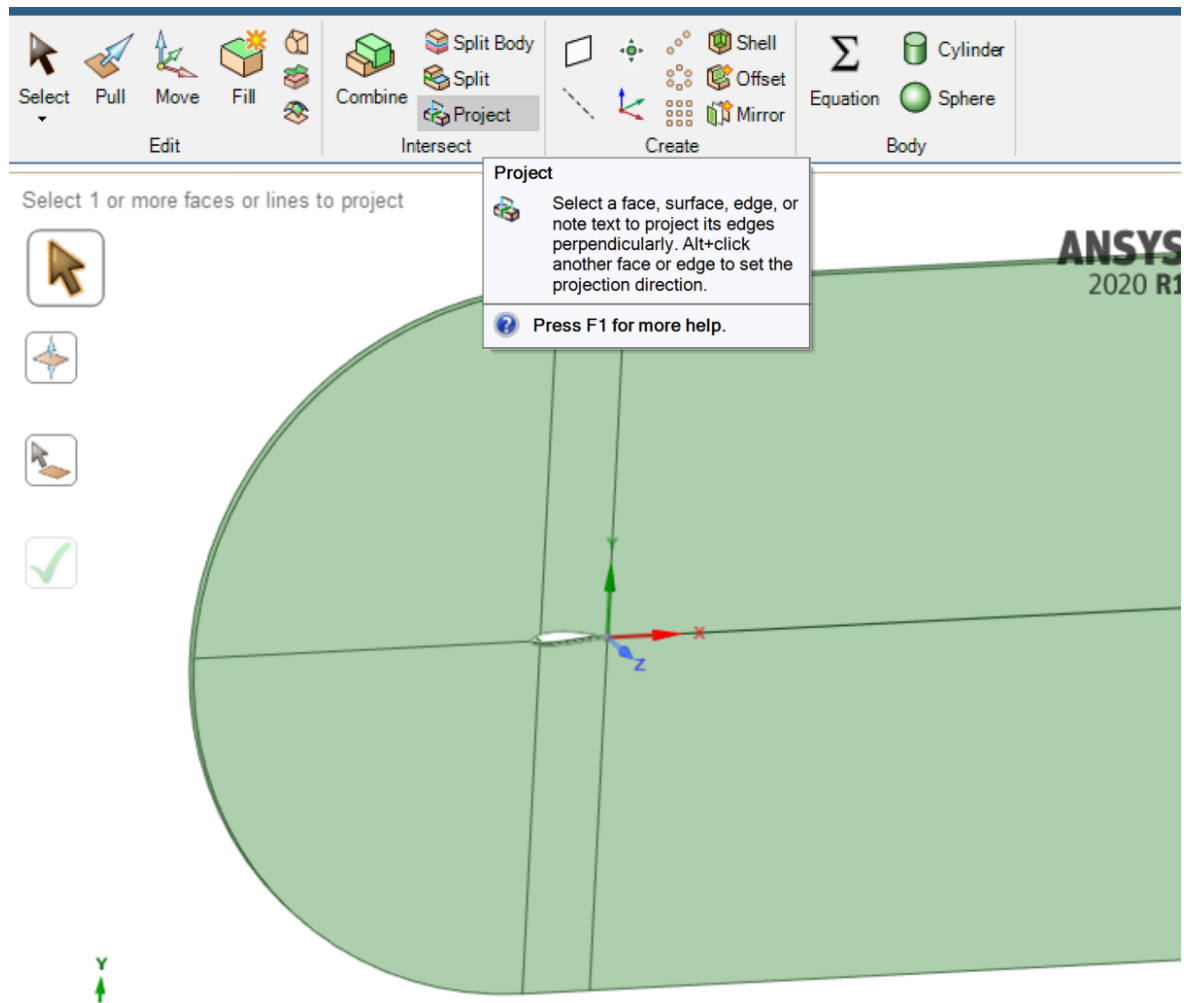


- 25) Podobnie utwórz przecięcie pod profilem

Click a point on an edge to split from

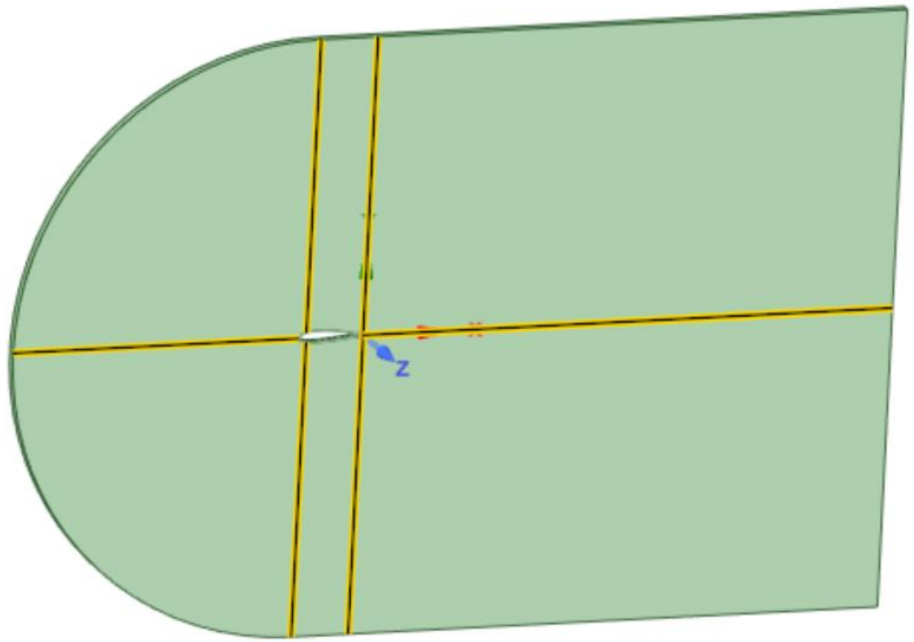


- 26) Podobne krawędzie tnące należy wykonać z drugiej strony geometrii. Można to zrobić poprzednią metodą lub poniższą przy wykorzystaniu polecenia *Project*

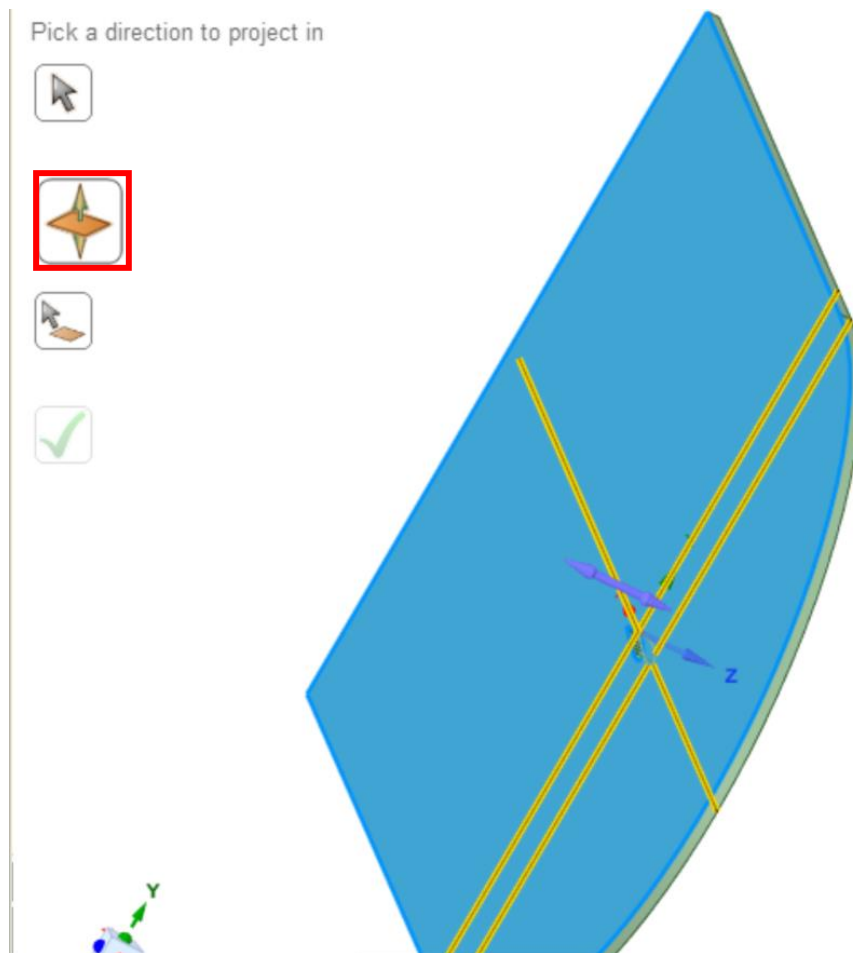


27) Przy wciśniętym klawiszu *Ctrl* wybierz wcześniej utworzone krawędzie

Select 1 or more faces or lines to project

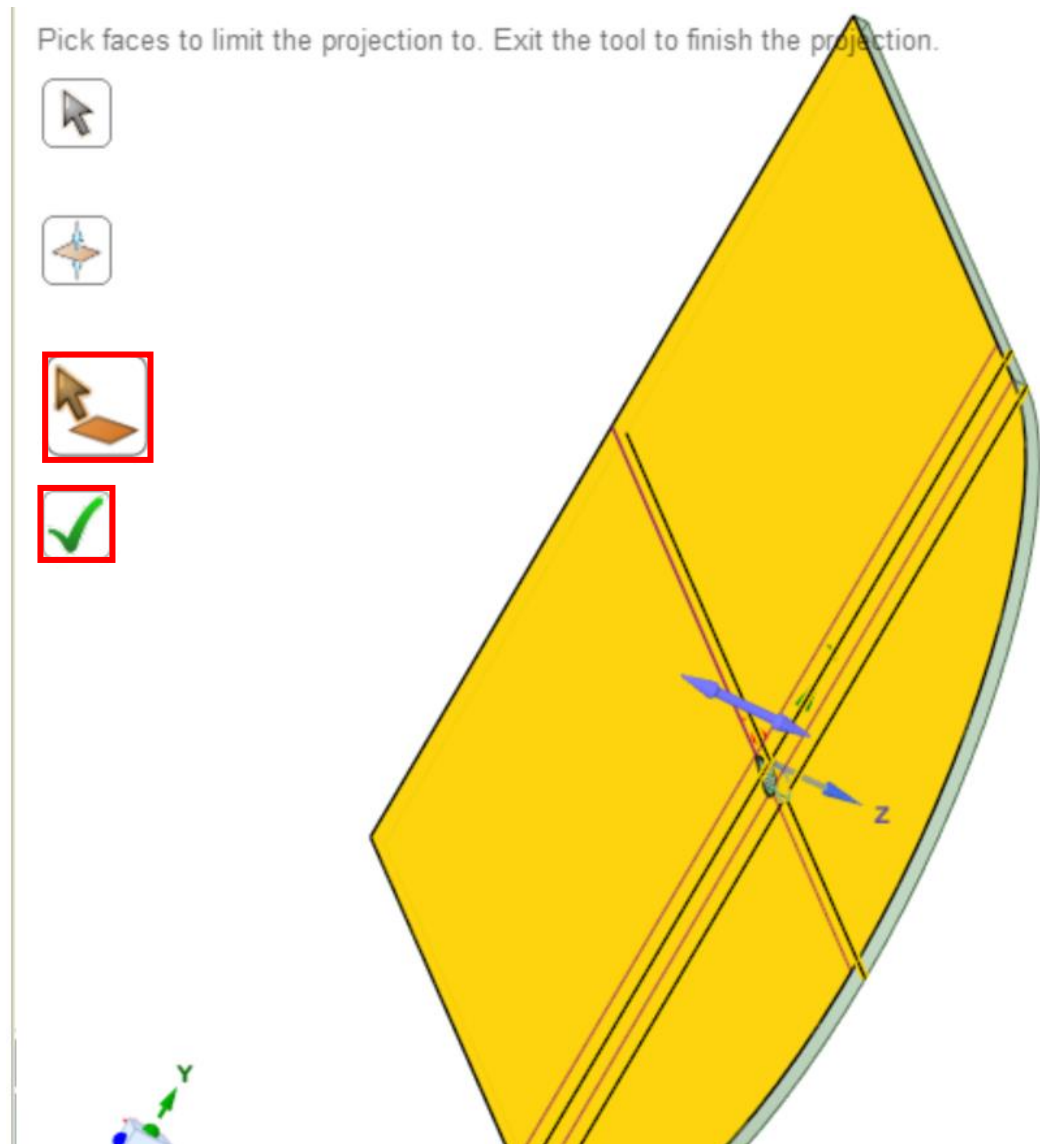


28) Wybierz kierunek rzutowania przez wskazanie płaskiej powierzchni



29) Wybierz dużą płaską powierzchnię jako płaszczyznę rzutowania i zatwierdź

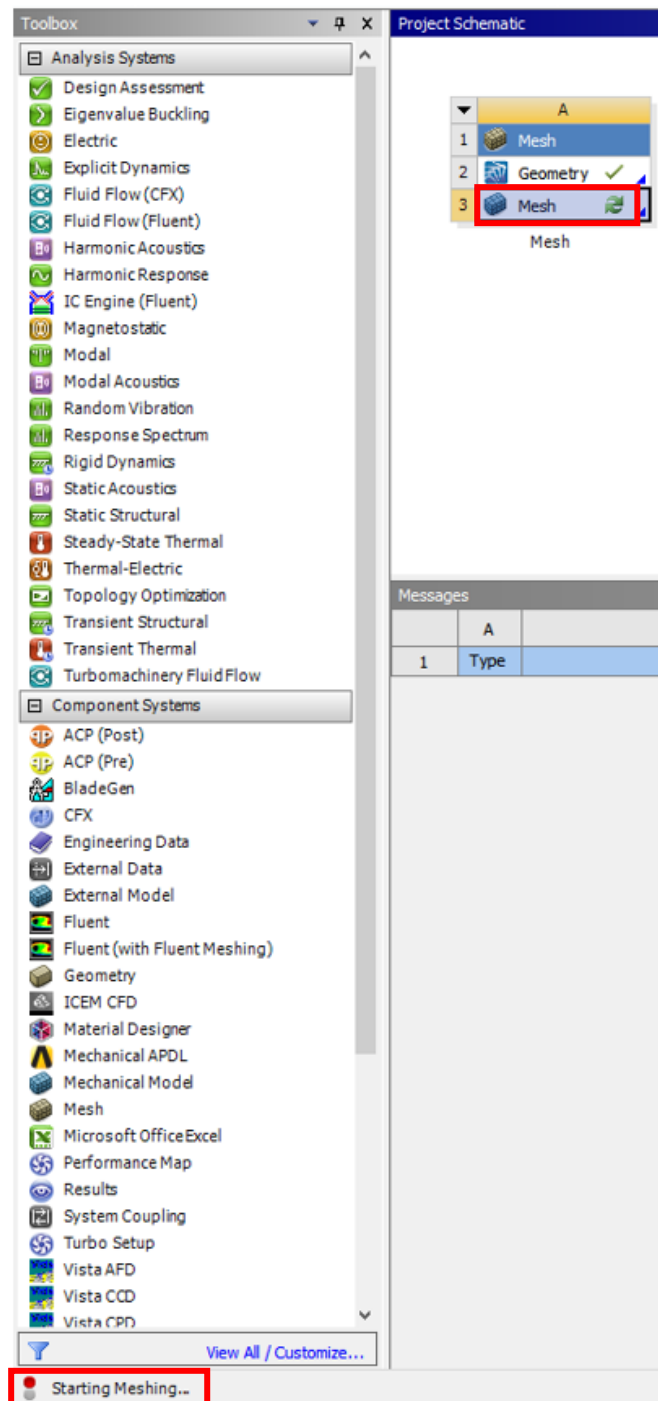
Complete 



30) Zamknij program *Spaceclaim* i zapisz projekt w *Workbench* za pomocą *Ctrl + s*



2.2. PRZYGOTOWANIA SIATKI NUMERYCZNEJ











- 1) W tym celu otwórz program *Ansys Meshing* przez dwukrotne kliknięcie LPM *Mesh*











- 2) W programie *Ansys Meshing*: 1) kliknij *Mesh*, 2) Zmień pole *Physisc Preference* na *CFD*, 3) Zmień pole *Solver Preference* na *CFX*, 4) Kliknij LPM *Generate Mesh*



A : Mesh - Meshing [ANSYS Academic Research Mechanical and CFD]






File Edit View Units Tools Help |  **Generate Mesh** 

       **4**   

 Show Vertices  Close Vertices 1,e-004 (Auto)  Wireframe







 Size  Location  Convert  Miscellaneous  Tolerances

 Reset Explode Factor:  Assembly Center






Mesh  Update  Mesh  Mesh Control  Mesh Edit  Metric G

Outline

Filter: Name

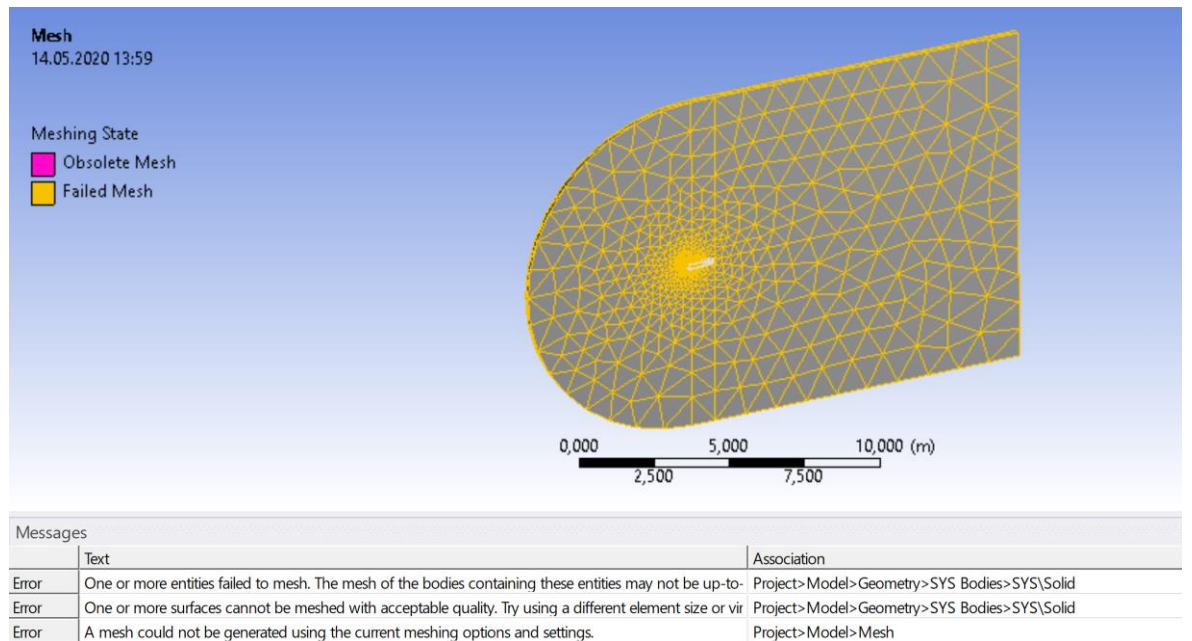
Project

-  **Model (A3)**
 -  Geometry
 -  Materials
 -  Coordinate Systems
 -  **Mesh** **1**

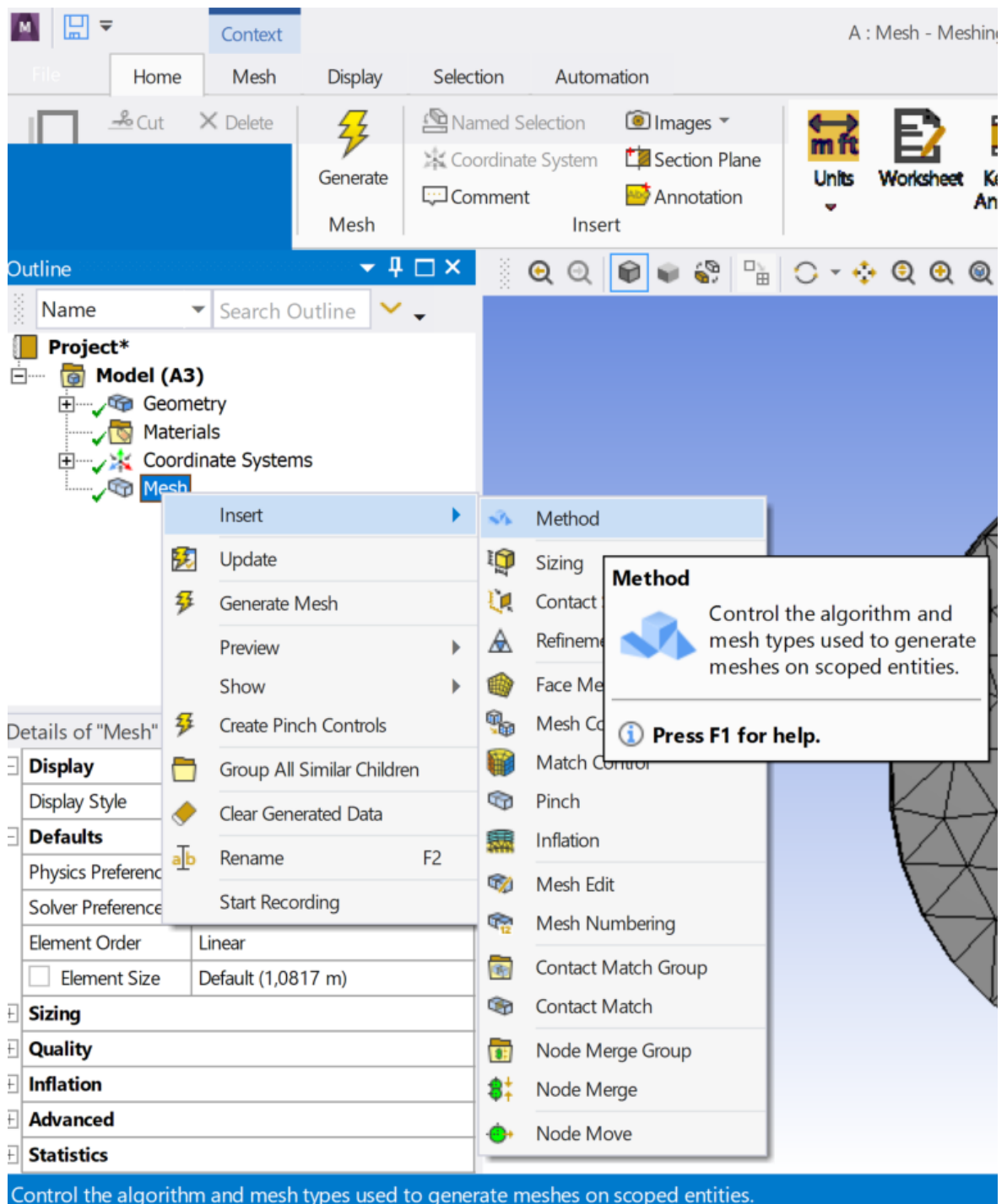
Details of "Mesh"

Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD 2
Solver Preference	CFX 3
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (5,1264e-003 m)
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	

Domyślna siatka nie jest poprawna. Siatkę należy edytować.



3) Kliknij PPM na *Mesh* i wybierz *Insert->Method*



- 4) LPM wskaż całą bryłę i zatwierdź *Apply* w polu *Geometry*

Details of "Automatic Method" - Metho

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	Apply
	Cancel

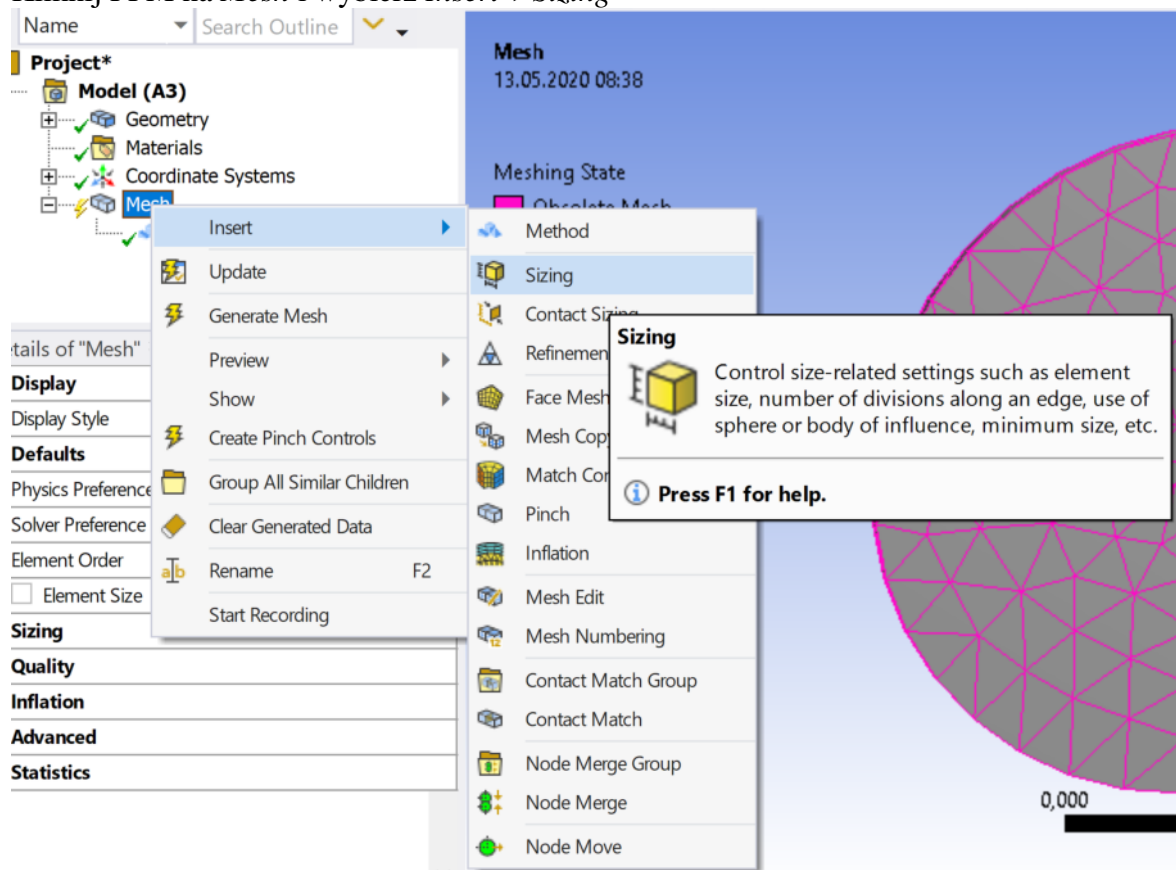
Definition	
Suppressed	No
Method	Automatic
Element Order	Use Global Setting

5) Zastosuj poniższe ustawienia

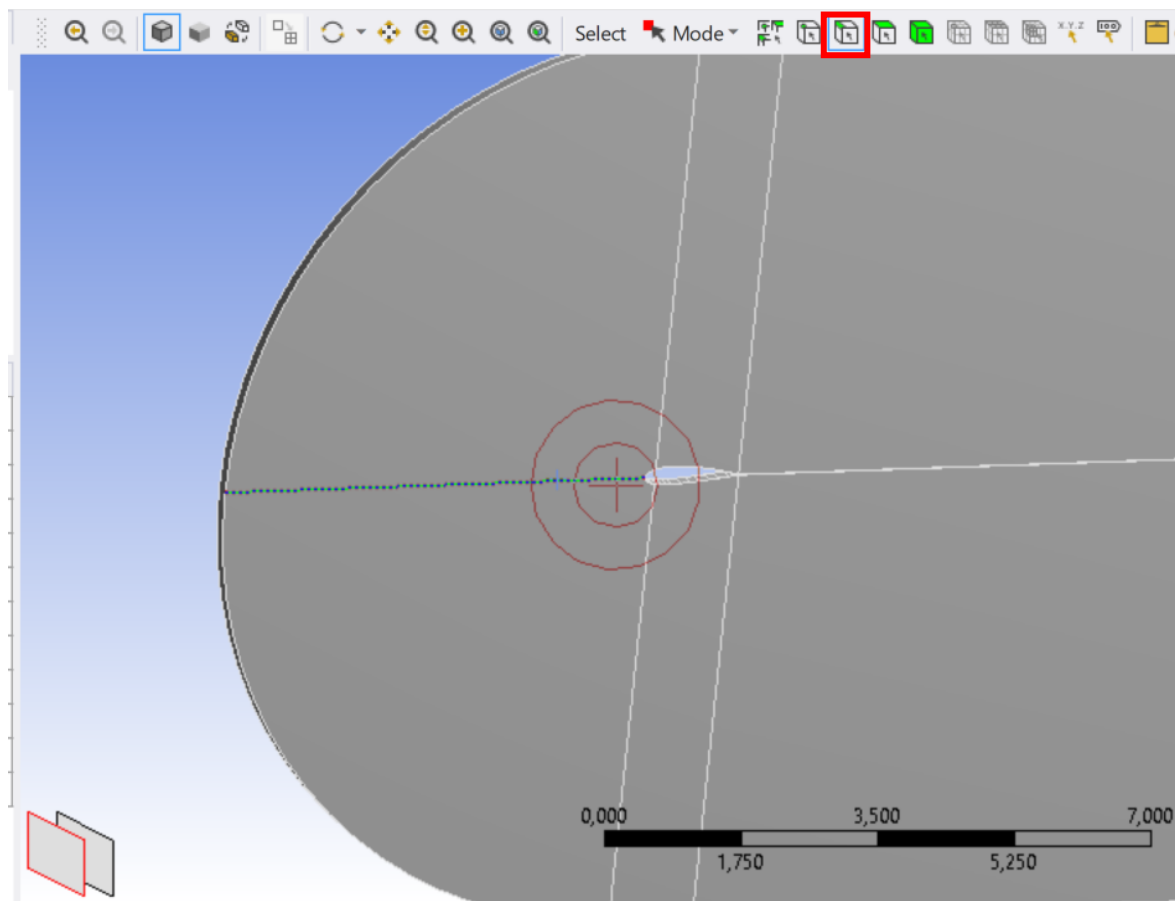
Details of "MultiZone" - Method

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Method	MultiZone
Mapped Mesh Type	Hexa/Prism
Surface Mesh Method	Program Controlled
Free Mesh Type	Not Allowed
Element Order	Use Global Setting
Src/Trg Selection	Automatic
Source Scoping Method	Program Controlled
Source	Program Controlled
Sweep Size Behavior	Sweep Element Size
<input type="checkbox"/> Sweep Element Size	Default

6) Kliknij PPM na *Mesh* i wybierz *Insert->Sizing*



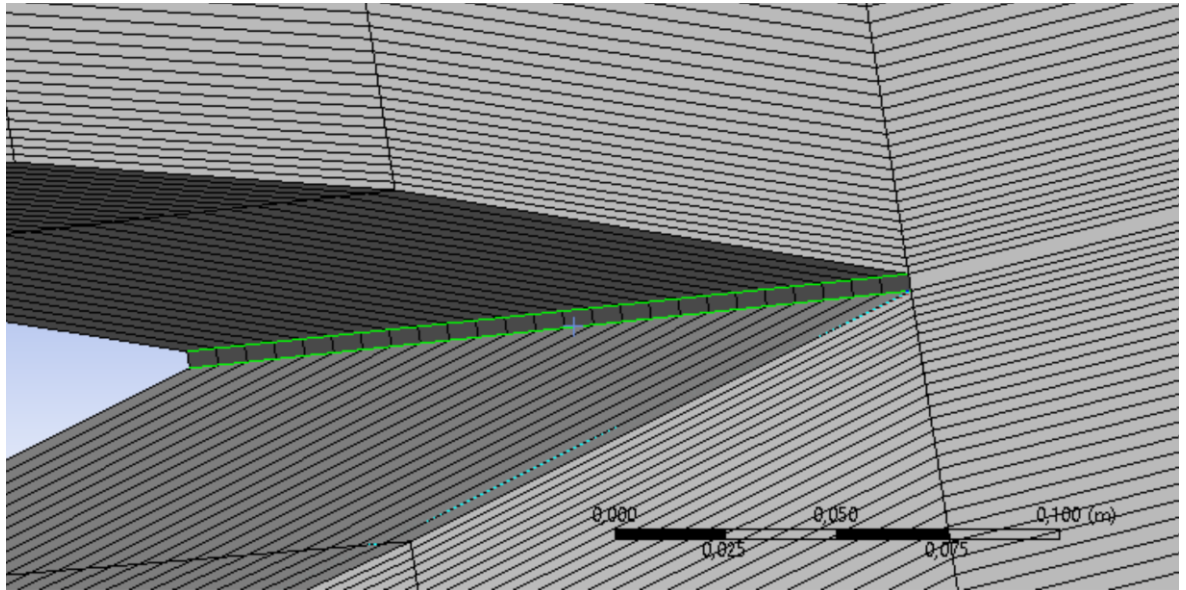
7) Zmień filtr wyboru na krawędzie (skrót *Ctrl + E*) i wskaż krawędź jak na rysunku



8) Zastosuj poniższe ustawienia

Details of "Edge Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Edge
Definition	
Suppressed	No
Type	Number of Divisions
<input type="checkbox"/> Number of Divisions	150
Advanced	
Behavior	Hard
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No
Bias Type	- - - -
Bias Option	Bias Factor
<input type="checkbox"/> Bias Factor	100,
Reverse Bias	No Selection

9) Podobnie wstaw *Sizing* dla krawędzi przy krawędzi spływowej pokazanych poniżej



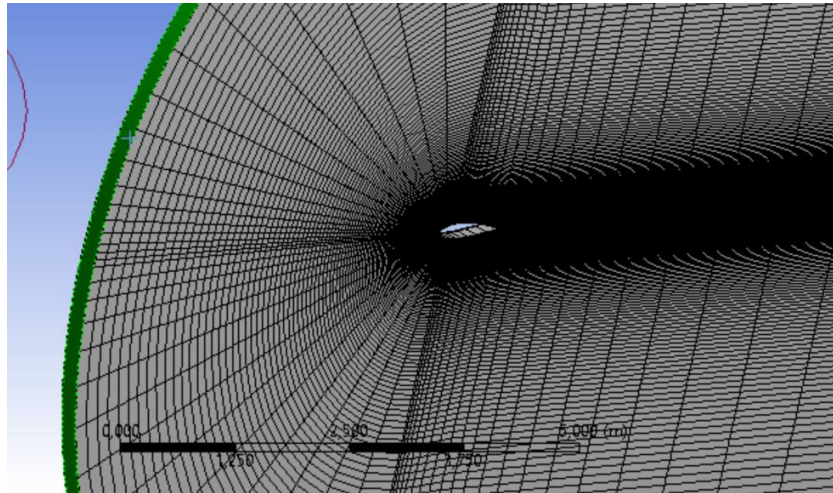
10) Zastosuj poniższe ustawienia

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Edges
Definition	
Suppressed	No
Type	Number of Divisions
<input type="checkbox"/> Number of Divisions	1
Advanced	
Behavior	Hard
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No
Bias Type	No Bias

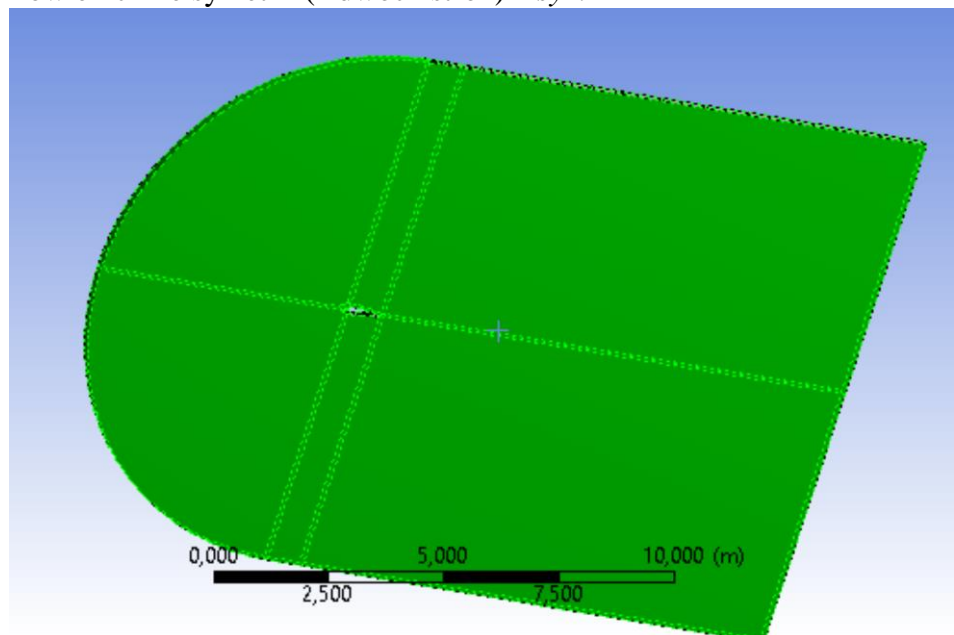
i naciśnij *Generate Mesh*.

11) Ostatni krok to nadanie nazw objętościom i powierzchniom. Za pomocą *Create Named Selection* nadaj następujące nazwy (jeśli nie pamiętasz jak używać *Create Named Selection* sprawdź w poprzednich instrukcjach):

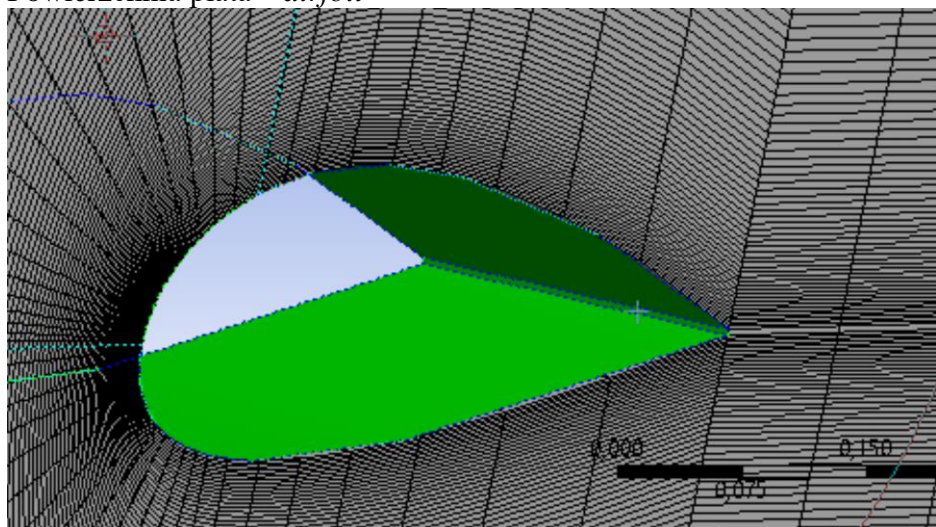
- a. Objętość bryły – *Fluid_domain*
- b. Powierzchnia wlotowa (powierzchnia cylindryczna) – *inlet*



c. Powierzchnie symetrii (z dwóch stron) – *sym*



d. Powierzchnia płata – *airfoil*

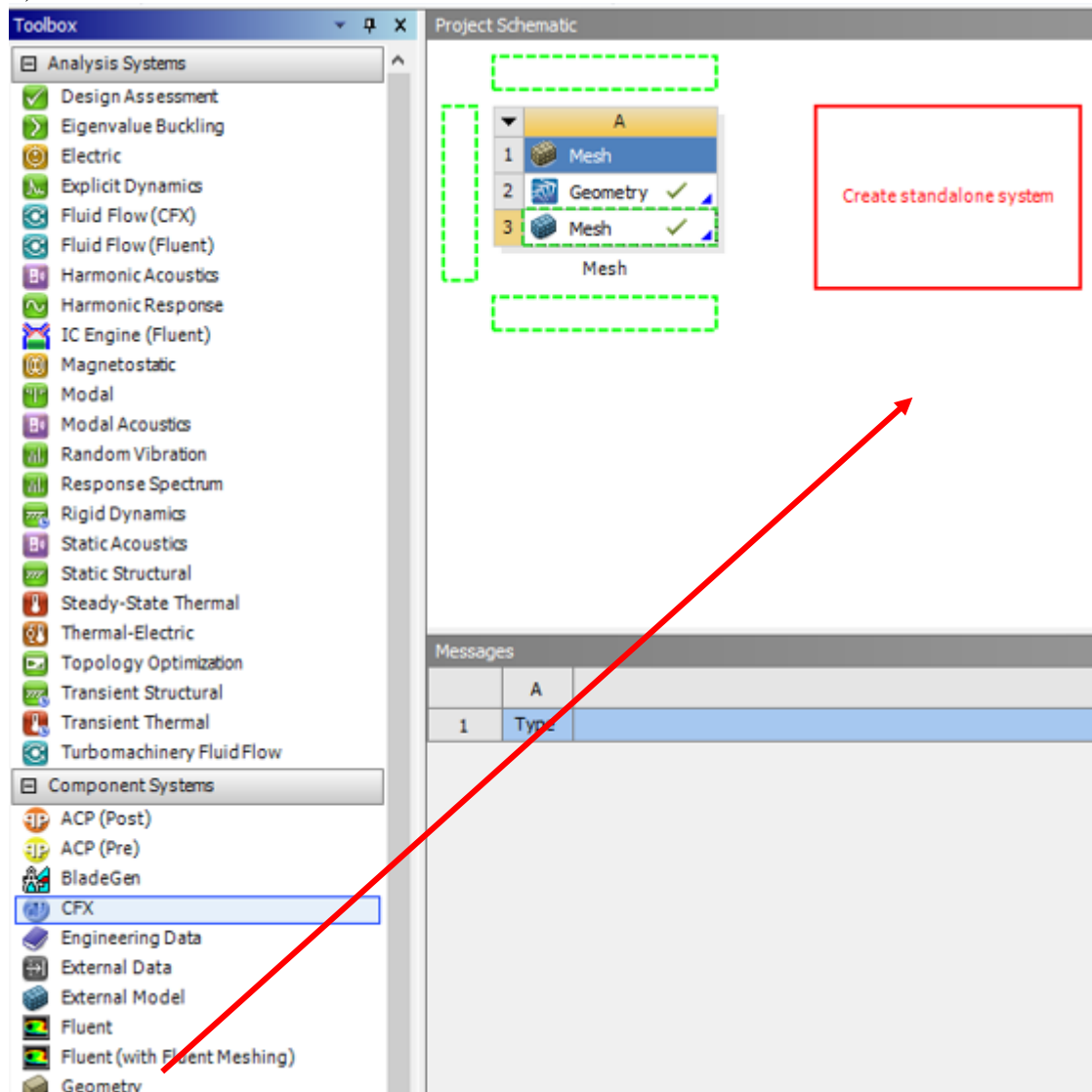


e. Powierzchnia wylotowa (pozostałe powierzchnie) – *outlet*

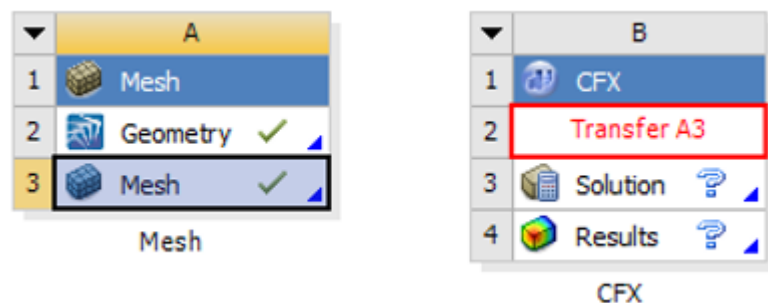
12) Zamknij moduł *Ansys Meshing* i zapisz projekt w *Workbench*.

2.3. PRZYGOTOWANIE MODELU NUMERYCZNEGO

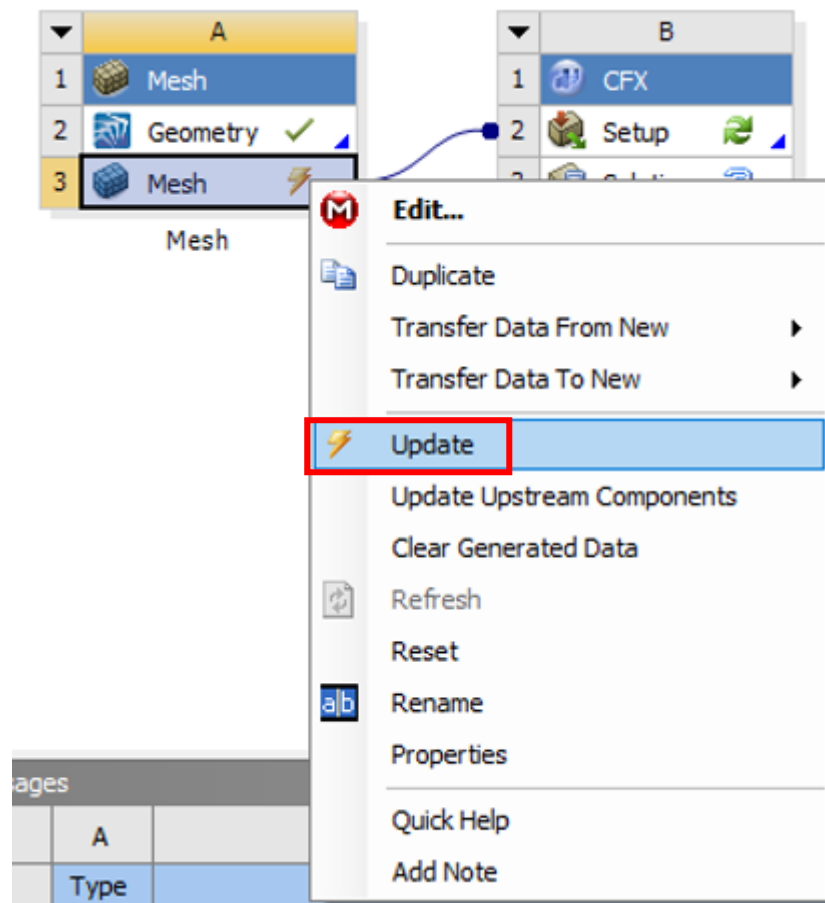
1) Wstaw moduł CFX



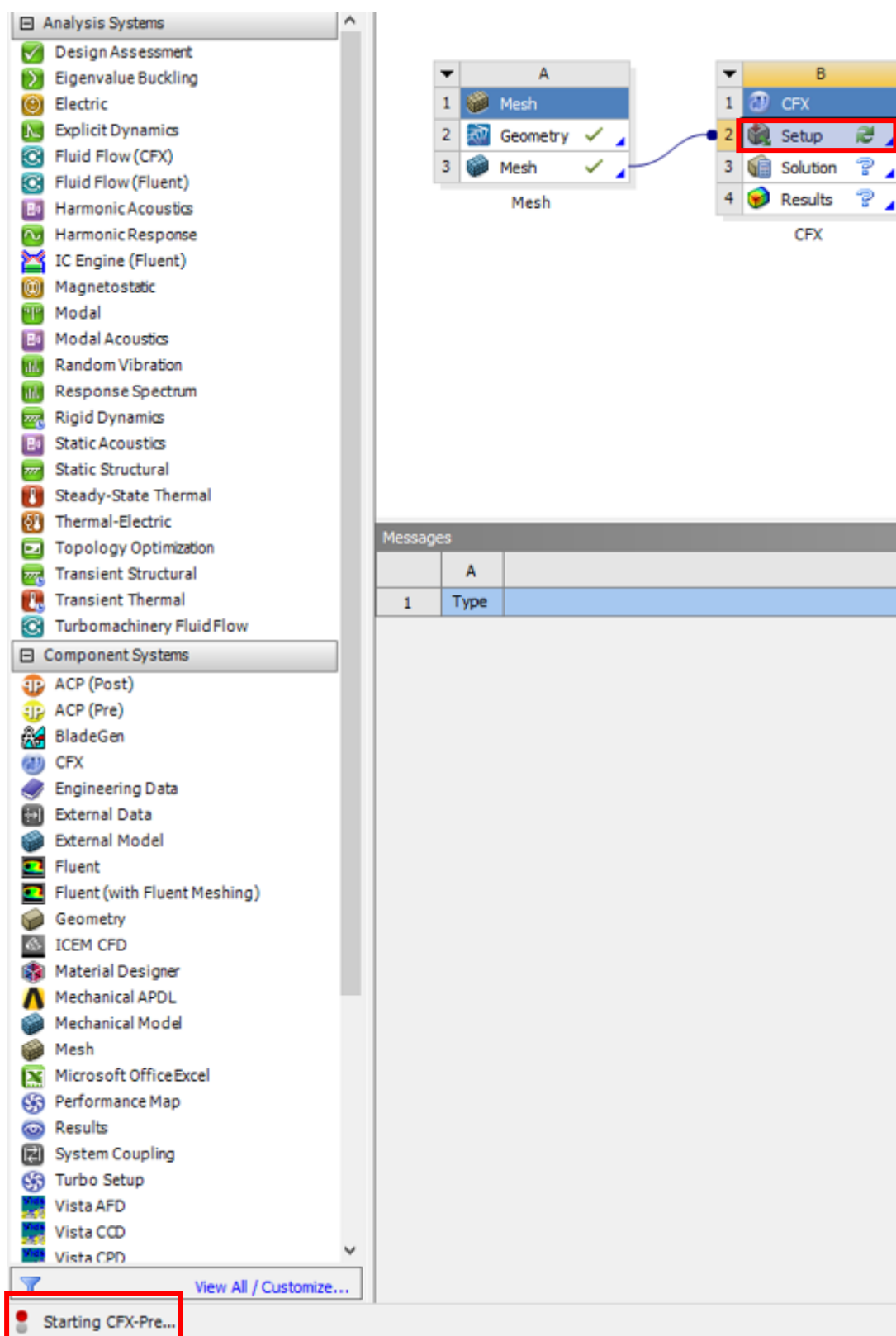
W celu połączenia modułu *Mesh* z *CFX* chwyć LPM *Mesh* (to niżej) i przeciągnij na *Setup* aż do pojawienia się pola *Transfer A3*, a następnie puść LPM – połączenie zostało utworzone



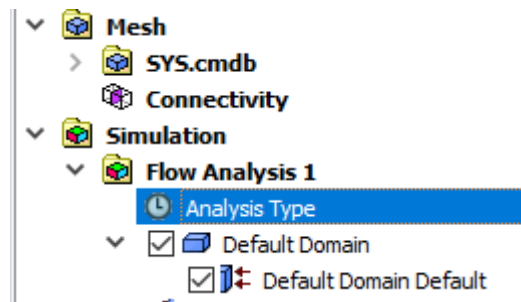
Kliknij PPM na *Mesh* i wybierz *Update*



Kliknij dwukrotnie *Setup* w celu uruchomienia programu *Ansys CFX*



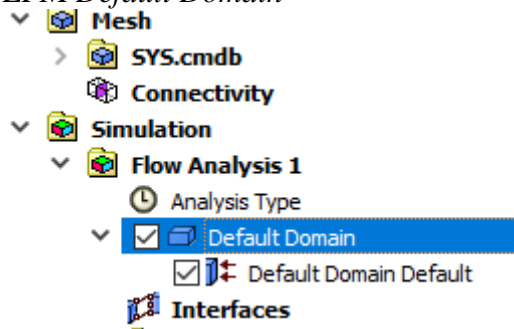
2) Otwórz *Analysis Type* przez dwukrotne kliknięcie LPM



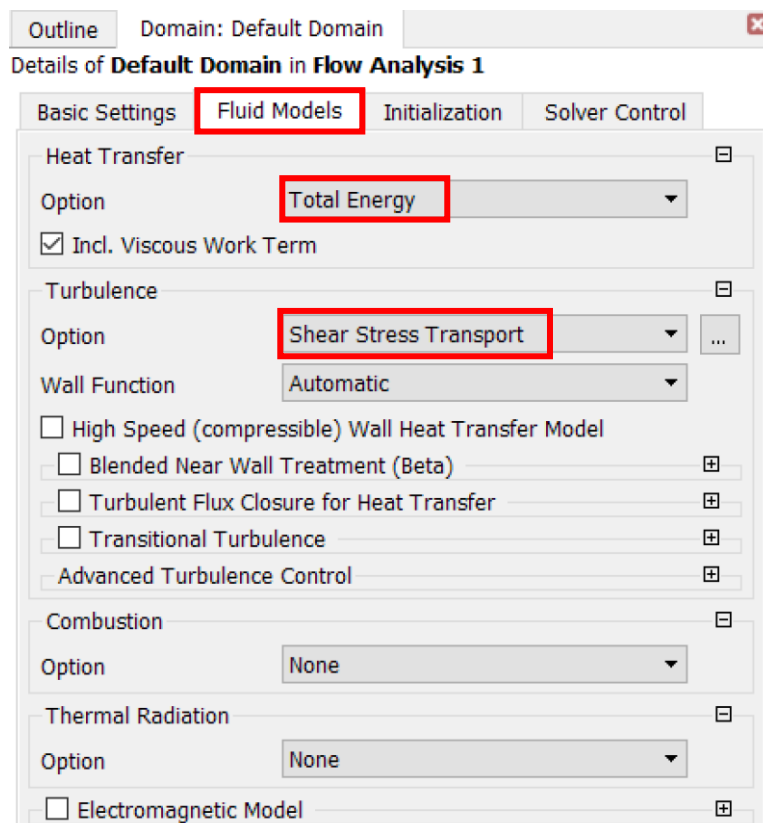
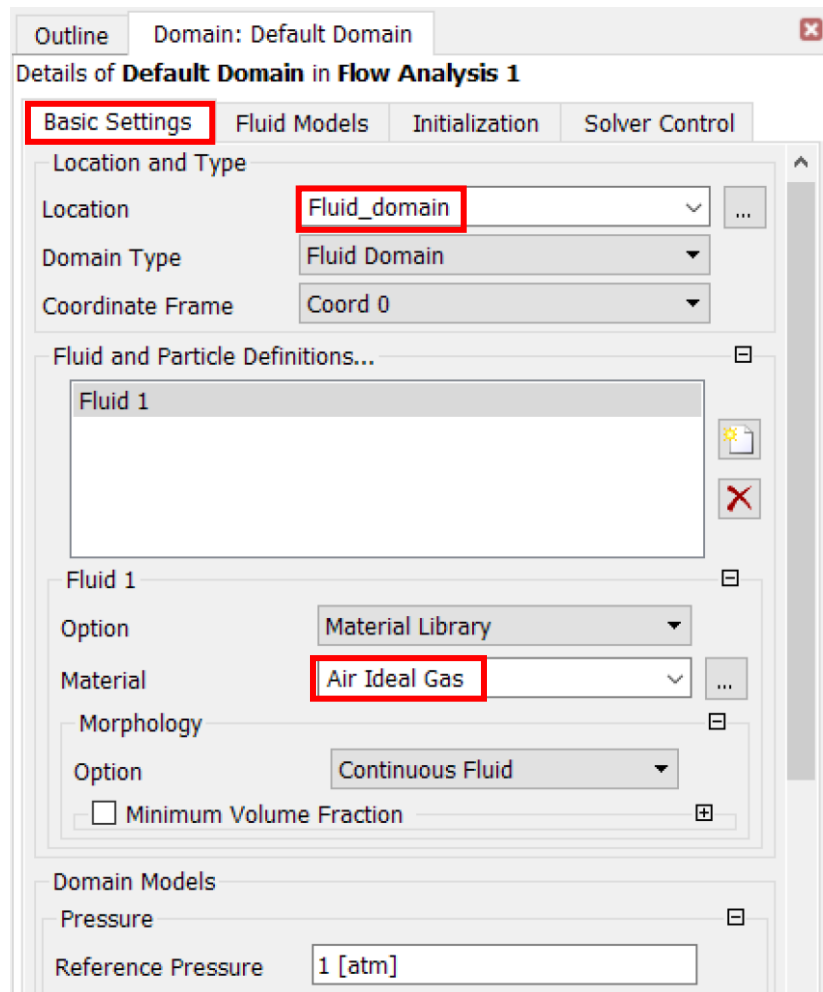
Zastosuj następujące ustawienia i zatwierdź OK.



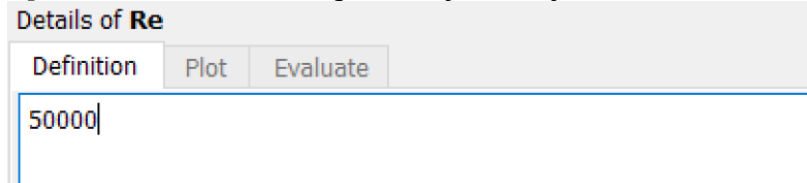
3) Kliknij dwukrotnie LPM *Default Domain*



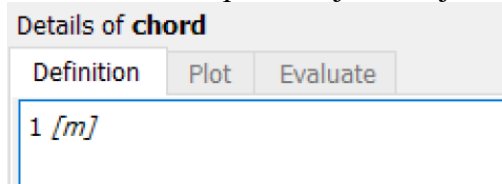
Zastosuj następujące ustawienia



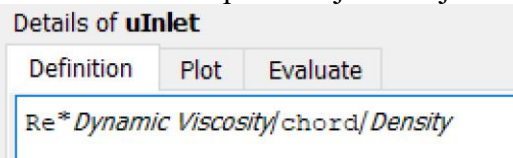
- 4) Utwórz *expression* o nazwie *Re* o poniższej definicji



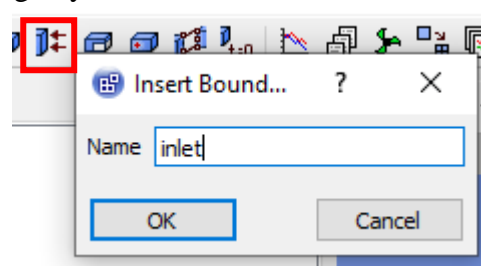
- 5) Utwórz *expression* o nazwie *chord* o poniższej definicji



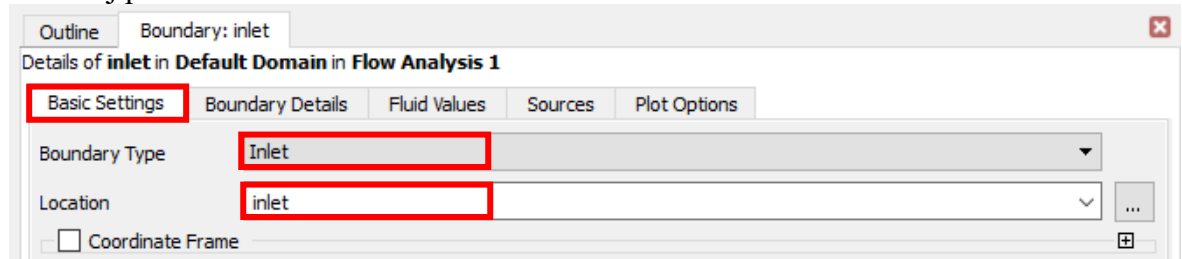
- 6) Utwórz *expression* o nazwie *uInlet* o poniższej definicji



- 7) Utwórz warunek brzegowy o nazwie *inlet*



- 8) Zastosuj poniższe ustawienia



Outline Boundary: inlet ✕

Details of **inlet** in **Default Domain** in **Flow Analysis 1**

Basic Settings **Boundary Details** Sources Plot Options

Flow Regime ⊞

Option Subsonic

Mass And Momentum ⊞

Option Cart. Vel. Components

U uInlet

V 0 [m s⁻¹]

W 0 [m s⁻¹]

☐ Acoustic Reflectivity (Beta) ⊞

Turbulence ⊞

Option Medium (Intensity = 5%)

Heat Transfer ⊞

Option Static Temperature

Static Temperature 20 [C]

9) Utwórz warunek brzegowy *outlet* i zastosuj poniższe ustawienia

Outline Boundary: outlet ✕

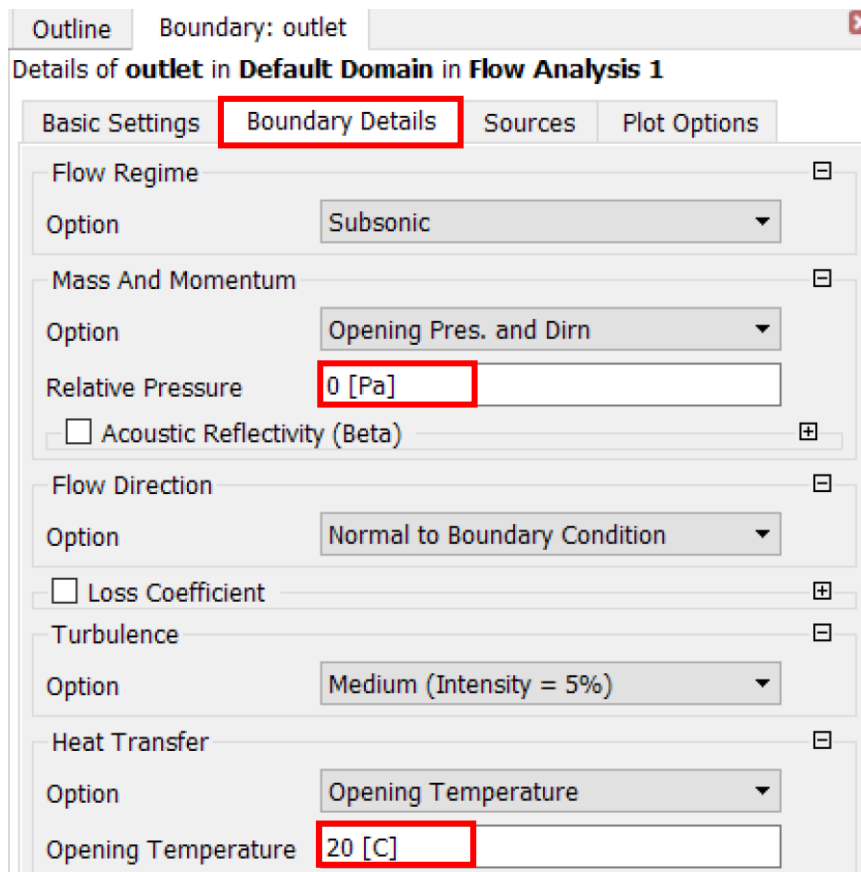
Details of **outlet** in **Default Domain** in **Flow Analysis 1**

Basic Settings Boundary Details Sources Plot Options

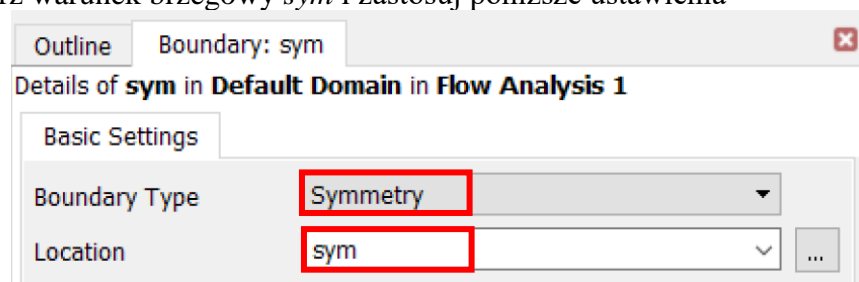
Boundary Type Opening

Location outlet ⋮

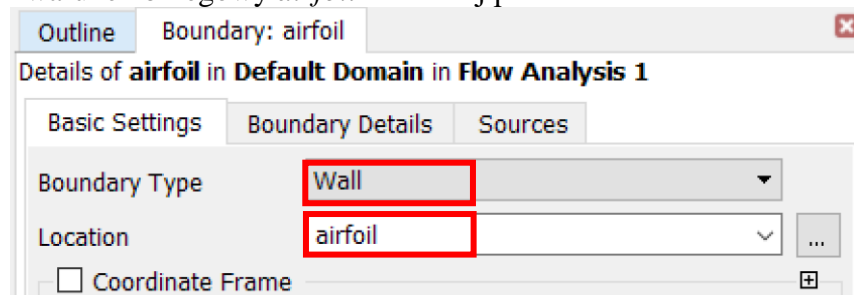
☐ Coordinate Frame ⊞

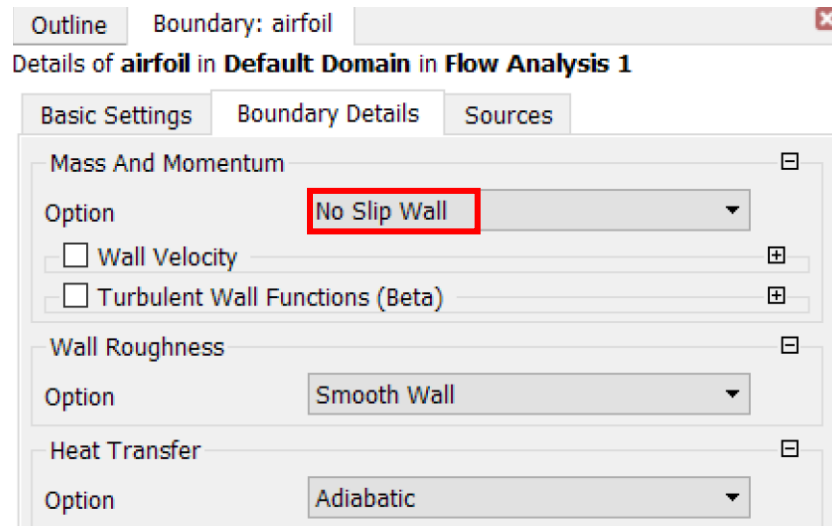


10) Utwórz warunek brzegowy *sym* i zastosuj poniższe ustawienia

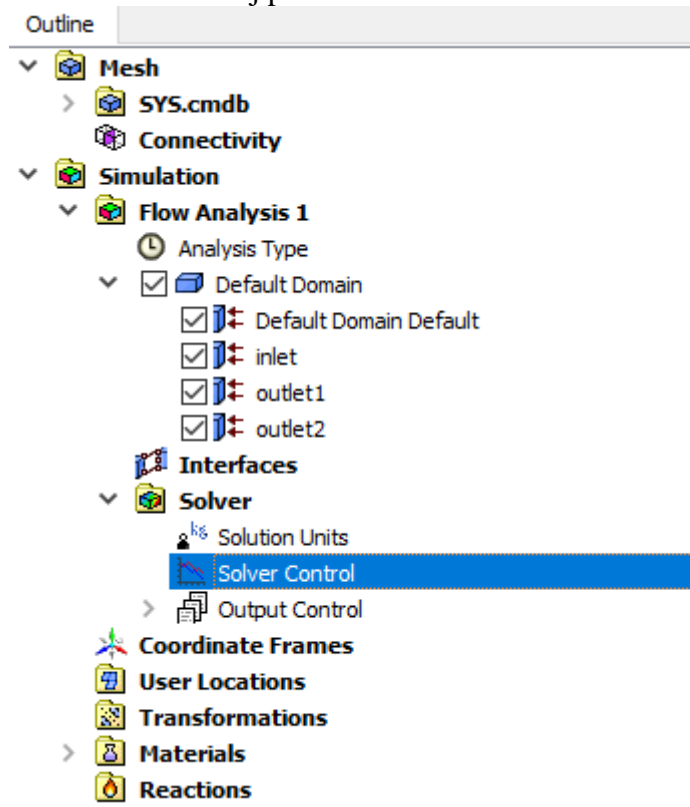


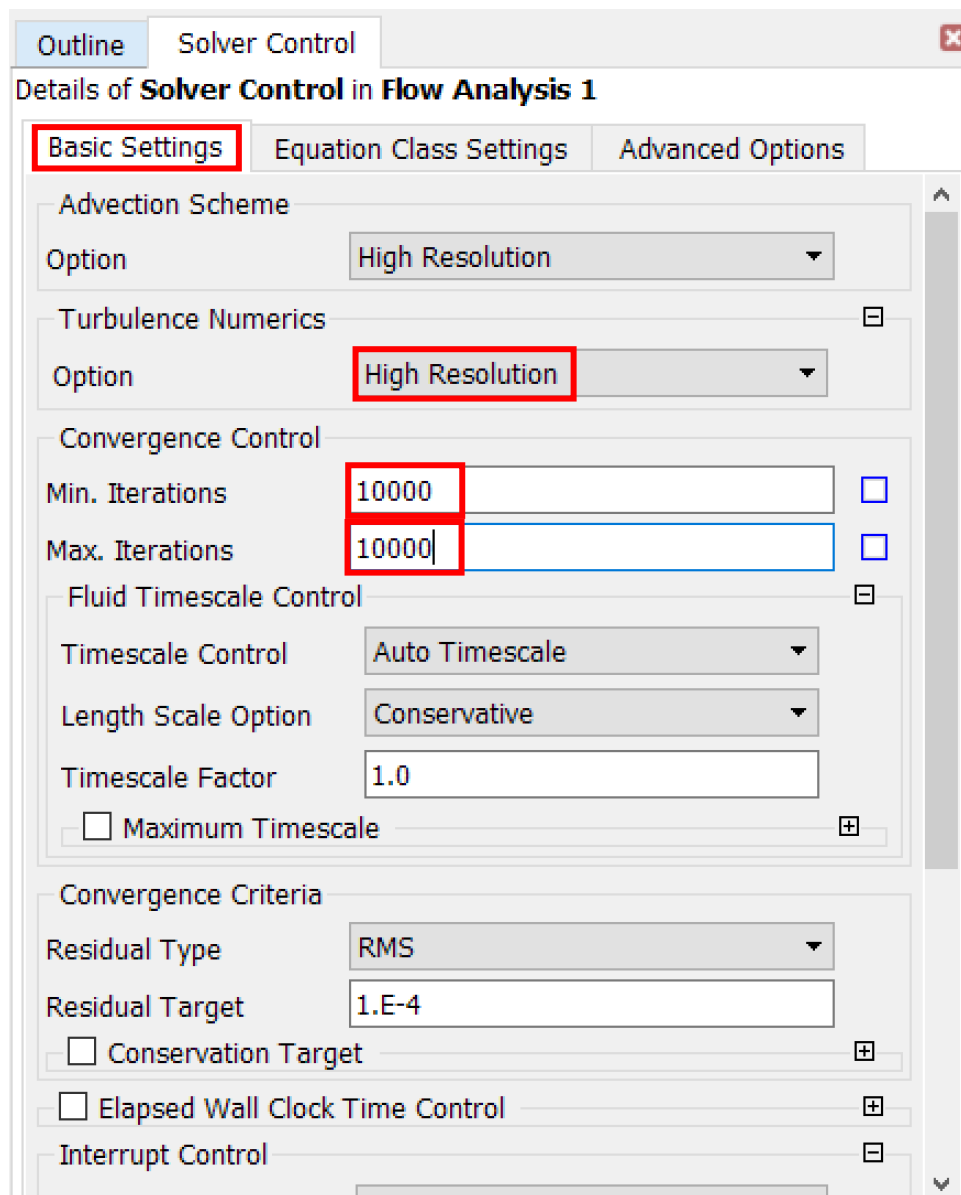
11) Utwórz warunek brzegowy *airfoil* i zastosuj poniższe ustawienia





- 12) Utwórz punkt monitorujący zawierający *expression* o następującej definicji:
`areaInt(Wall Shear)@airfoil`
- 13) Otwórz *Solver Control* i zastosuj poniższe ustawienia

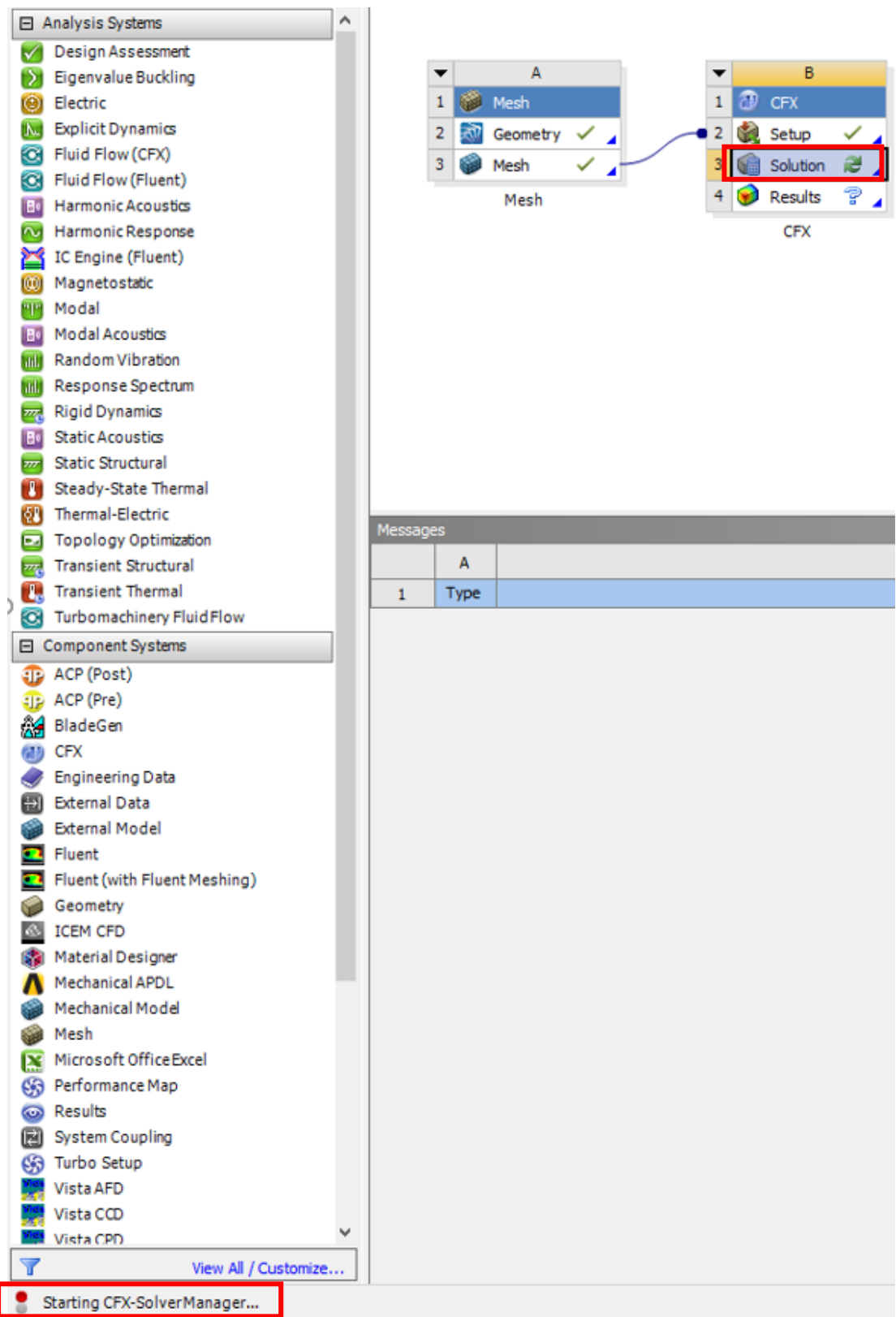




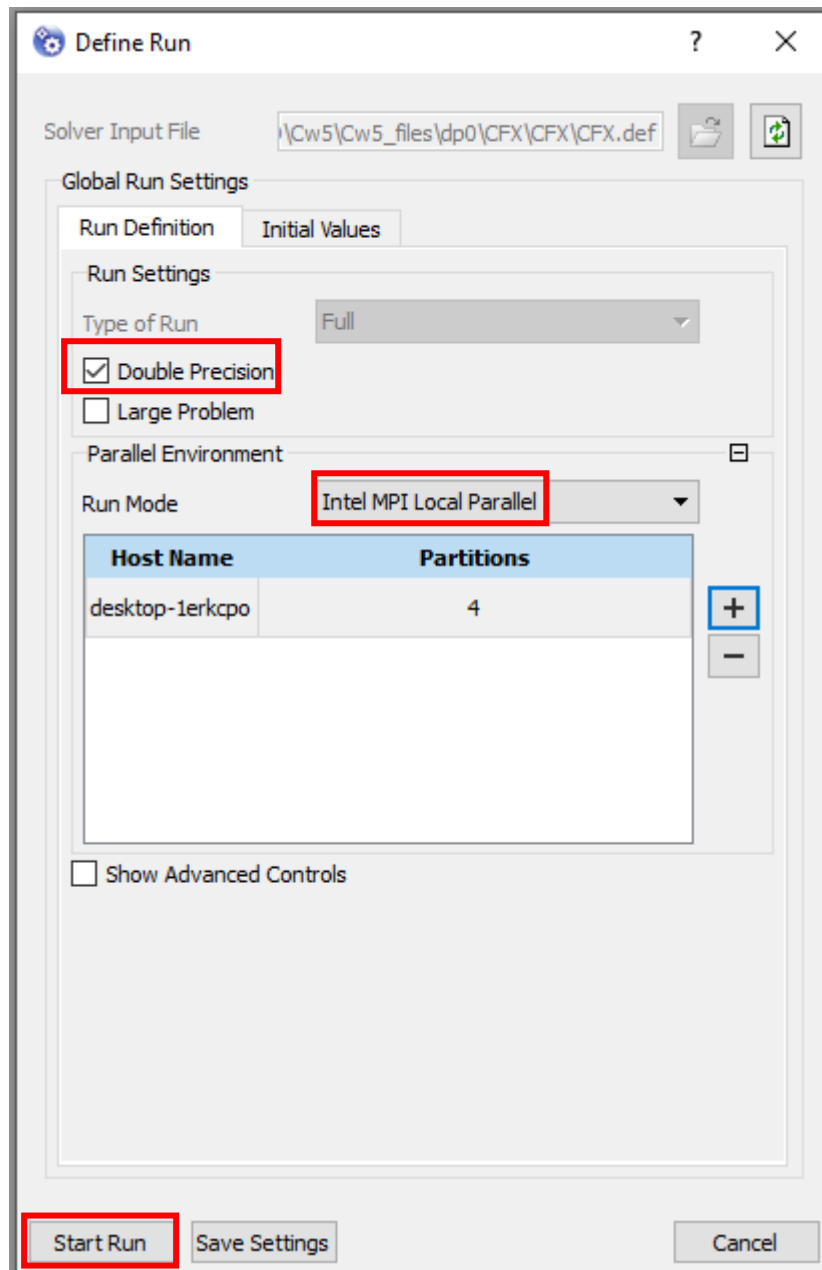
14) Zamknij program *Ansys CFX*.

2.4. OBLICZENIA

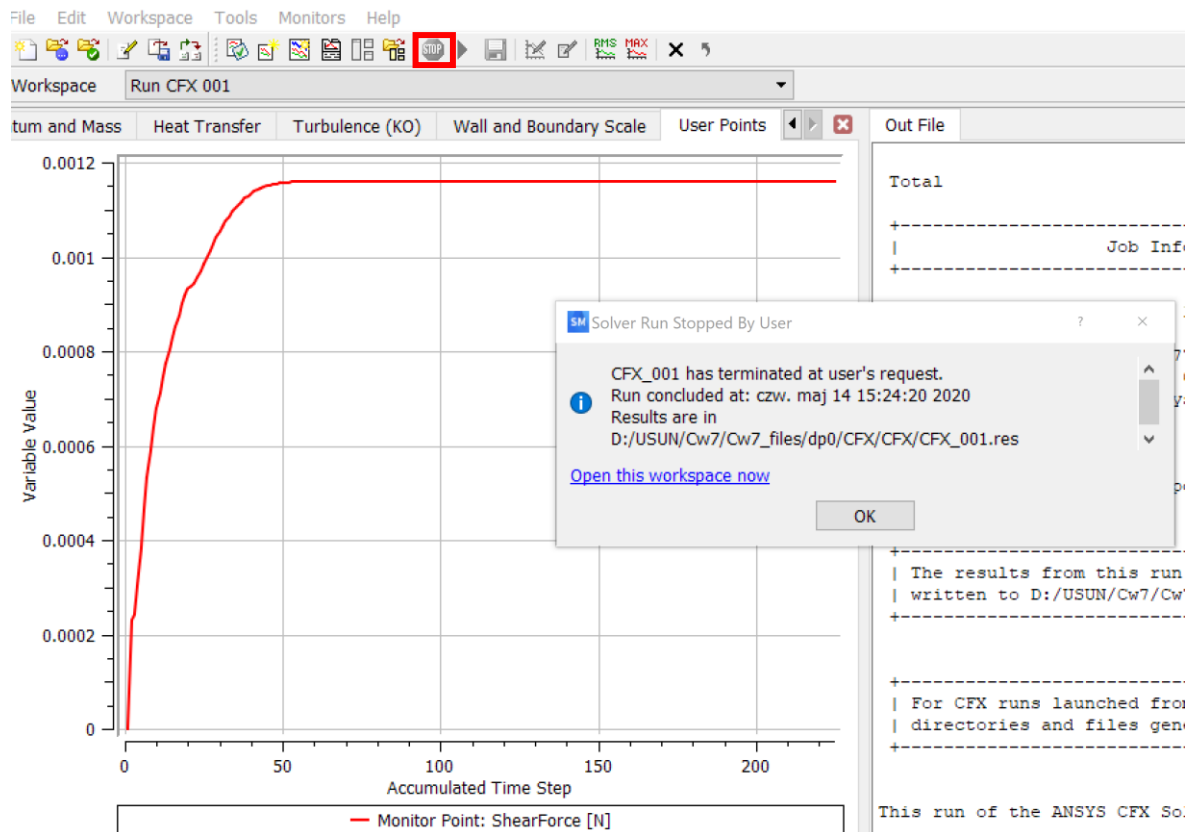
- 1) Kliknij dwukrotnie pole *Solution* w celu uruchomienia programu *Ansys CFX Solver Manager*



- 2) Zastosuj poniższe ustawienia i naciśnij *Start Run*. Program wykona obliczenia. Zaczekaj kilka chwil na komunikat o zakończeniu obliczeń.



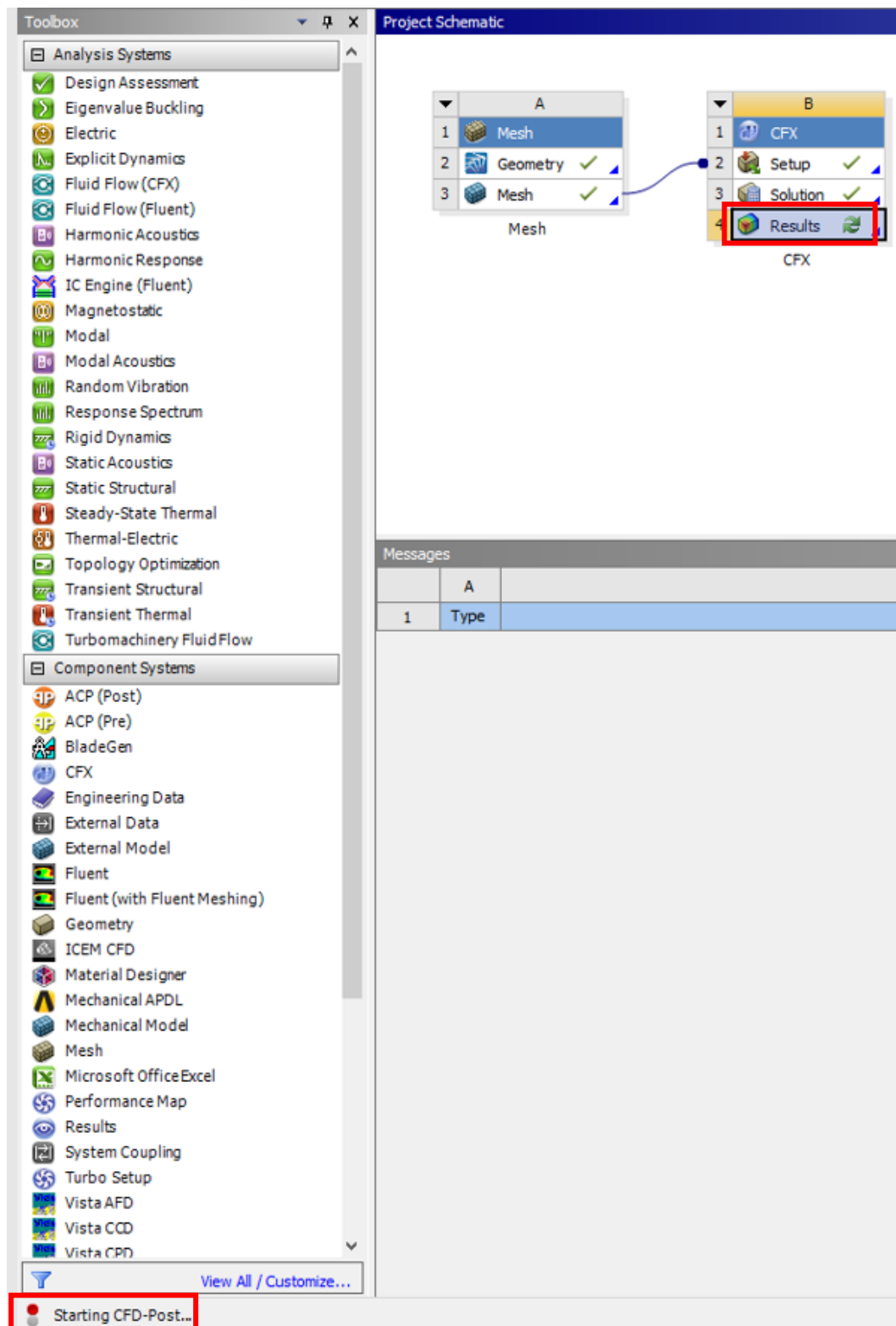
- 3) Obliczenia trwają około 2 minut. Obserwuj poszczególne zakładki reziduów jak się zmieniają. Szczególnie zwróć uwagę na zakładkę *User Point*, gdzie pokazana jest siła ścinająca na profilu. Stan ustalony będzie osiągnięty, gdy krzywa ustabilizuje się, co nastąpi po około 100 iteracjach. Dodatkowe iteracje powinny być wykonane aż do ustabilizowania się wszystkich reziduów. W celu wcześniejszego zatrzymania naciśnij przycisk *Stop* u góry ekranu i potwierdź *Yes*.



- 4) Po skończeniu obliczeń program wyświetli komunikat potwierdzający.
- 5) Zatwierdź *OK* i zamknij *Ansys CFX Solver Manager*. Zapisz projekt w *Workbench*.

2.5. OPRACOWANIE WYNIKÓW

- 1) Kliknij dwukrotnie *LPM Results* w celu uruchomienia programu *Ansys CFD Post* i obejrzenia wyników



- 2) Utwórz płaszczyznę prostopadłą do profilu (równoległą do powierzchni *sym*) i pokaż kontury
 - a. Ciśnienia – *Pressure*
 - b. Ciśnienia absolutnego – *Absolute Pressure*
 - c. Ciśnienia całkowitego – *Total Pressure*
 - d. Prędkości – *Velocity*
 - e. Liczby Macha – *Mach Number*
 - f. Gęstości – *Density*

- g. Temperatury – *Temperature*
 - h. Całkowitej temperatury – *Total temperature*
 - i. Turbulentnej energii kinetycznej – *Turbulence Kinetic Energy*
 - j. Turbulentnej dyssypacji energii – *Turbulence Eddy Dissipation*
- 3) Wykorzystując funkcję *areaAve* oblicz w tabeli:
 - a. Wartość prędkości na wlocie
 - b. Wartość strumienia masy na wlocie
 - c. Wartość średniej temperatury na powierzchni *airfoil*
 - d. Wartość średnią zmiennej *Yplus*
 - 4) Pokaż kontury zmiennej *Yplus* na powierzchni *airfoil*
 - 5) Wyświetl linie prądu na poprzednio utworzonej płaszczyźnie
 - 6) *Oblicz współczynniki oporu i unoszenia dla badanego płata
 - 7) Wróć do *Ansys CFX Pre* i zmień wartość *expression Re* na wartość 500 000 i powtórz obliczenia oraz wykonaj punkty 2)–6). Następnie dla $Re = 5\,000\,000$.

3. WYNIKI JAKIE NALEŻY UMIEŚCIĆ W RAPORCIE

Dla wartości $Re = 50\,000$, $500\,000$ oraz $5\,000\,000$ (Uwaga: jeśli to możliwe wyniki najlepiej zestawiać ze sobą w celu porównania; np. Rys. 1. Rozkład ciśnienia w płaszczyźnie prostopadłej do płata, a) $Re = 50\,000$, b) $Re = 500\,000$, c) $Re = 5\,000\,000$):

- 1) Kontury w płaszczyźnie równoległej do powierzchni *sym*:
 - a. Ciśnienia – *Pressure*
 - b. Ciśnienia absolutnego – *Absolute Pressure*
 - c. Ciśnienia całkowitego – *Total Pressure*
 - d. Prędkości – *Velocity*
 - e. Liczby Macha – *Mach Number*
 - f. Gęstości – *Density*
 - g. Temperatury – *Temperature*
 - h. Całkowitej temperatury – *Total temperature*
 - i. Turbulentnej energii kinetycznej – *Turbulence Kinetic Energy*
 - j. Turbulentnej dyssypacji energii – *Turbulence Eddy Dissipation*
- 2) W tabeli umieścić wyniki:
 - a. średniej prędkości na wlocie
 - b. średniego strumienia masy na wlocie
 - c. średniej temperatury na powierzchni *airfoil*
 - d. średniej wartości zmiennej *Yplus*
- 3) Zdjęcie konturów zmiennej *Yplus* na powierzchni *airfoil*
- 4) Zdjęcie linii prądu
- 5) Odpowiedzieć na pytanie: Na podstawie analizy wartości zmiennej *Yplus*, czy zastosowany model turbulencji *SST* został wybrany poprawnie?

4. ZADANIA NIEOBOWIĄZKOWE

1. Wykonaj obliczenia przy pomocy innego modelu turbulencji i porównaj wyniki.
2. Wróć do modułu *Meshing* i zagęść siatkę (szczególnie przy powierzchni *airfoil*). Zwiększ ilość elementów także na innych krawędziach. Sprawdź jaki to ma wpływ na obliczenia i na wartość zmiennej *Yplus*.

5. LITERATURA

- [1] <https://www.youtube.com/watch?v=xkEvS5eafCg&t=6s> Dostęp: 15.05.2020 r.