



Politechnika Wrocławska

---

**Wydział Mechaniczno-Energetyczny**  
Studia stacjonarne

Wybrane zagadnienia procesów ciepłno-przepływowych

Ćwiczenie nr 6

**Modelowanie przepływu przez stopień maszyny  
wirnikowej**

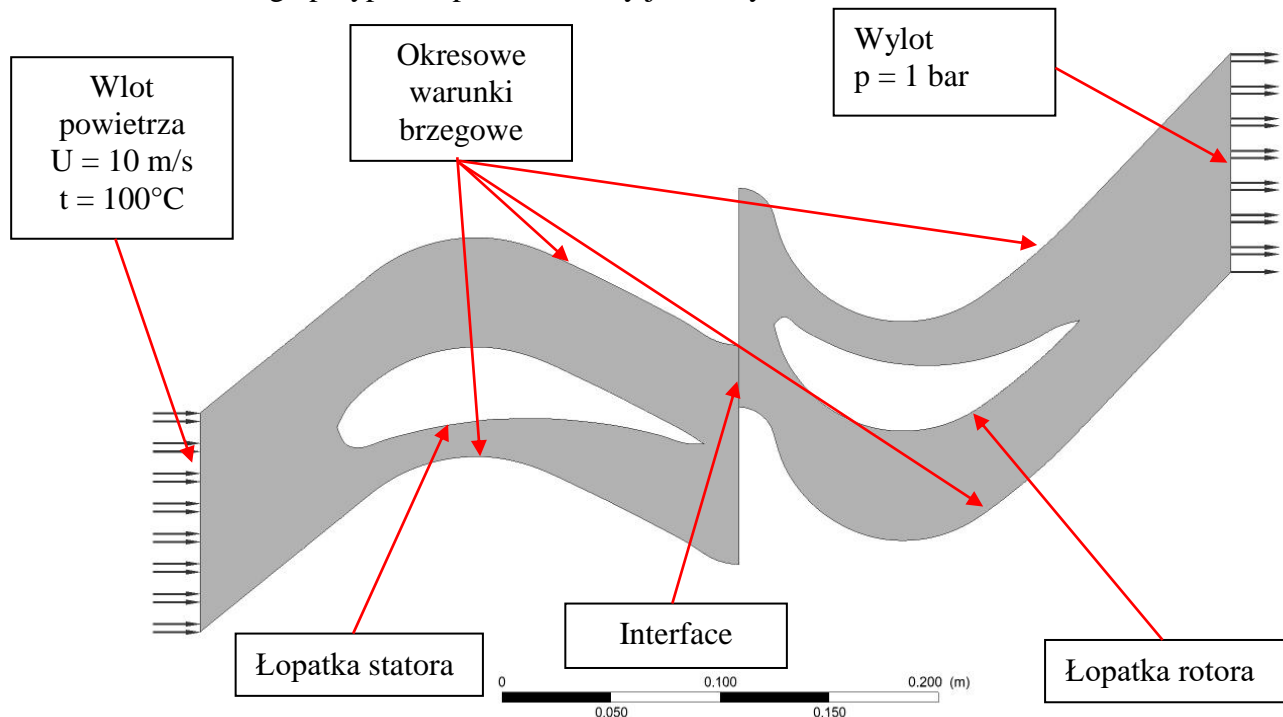
Wrocław 2020

## SPIS TREŚCI

<b>1. Wprowadzenie .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Przepływ przez stopień maszyny wirnikowej .....</b>	<b>3</b>
2.1. Przygotowanie geometrii .....	3
2.2. Przygotowania siatki numerycznej .....	20
2.3. Przygotowanie modelu numerycznego .....	28
2.4. Obliczenia .....	42
2.5. Opracowanie wyników .....	45
<b>3. Wyniki jakie należy umieścić w raporcie .....</b>	<b>48</b>
<b>4. Zadania nieobowiązkowe .....</b>	<b>48</b>
<b>5. Literatura .....</b>	<b>48</b>

## 1. WPROWADZENIE

W ćwiczeniu zostanie zaprezentowany sposób modelowania przepływu płynu ściśliwego przez stopień turbinowy. Stopień maszyny zostanie zamodelowany w uproszczeniu jako dwuwymiarowy bez uwzględnienia ścian kierownicy i wirnika za wyjątkiem ich łopatek. W celu dalszego uproszczenia stopień będzie się składał z pojedynczej łopatki kierownicy i wirnika, a pozostałe łopatki zostaną zamodelowane przy wykorzystaniu periodycznych (okresowych) warunków brzegowych. Do stopnia turbiny wpływa powietrze traktowane jako gaz idealny z prędkością 10 m/s o temperaturze 100°C. Wypływ powietrza następuje do otoczenia o ciśnieniu 1 bar. Kierownica (stator) jest nieruchoma natomiast wirnik (rotor) obraca się z prędkością 1000 obr/min. Schemat analizowanego przypadku przedstawiony jest na rys. 1.



Rys. 1. Schemat zagadnienia przepływu przez dwuwymiarowy stopień turbinowy

## 2. PRZEPŁYW PRZEZ STOPIEŃ MASZyny WIRNIKOWEJ

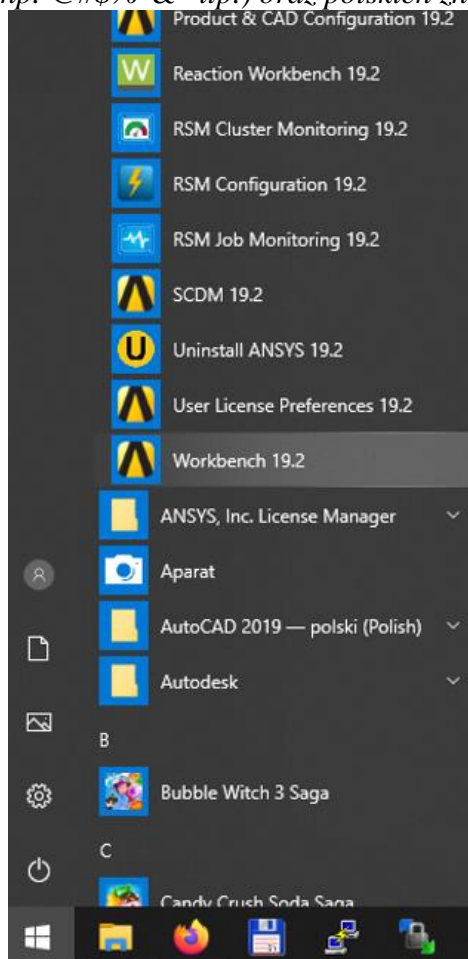
### 2.1. PRZYGOTOWANIE GEOMETRII

Wykonaj następujące zadania:

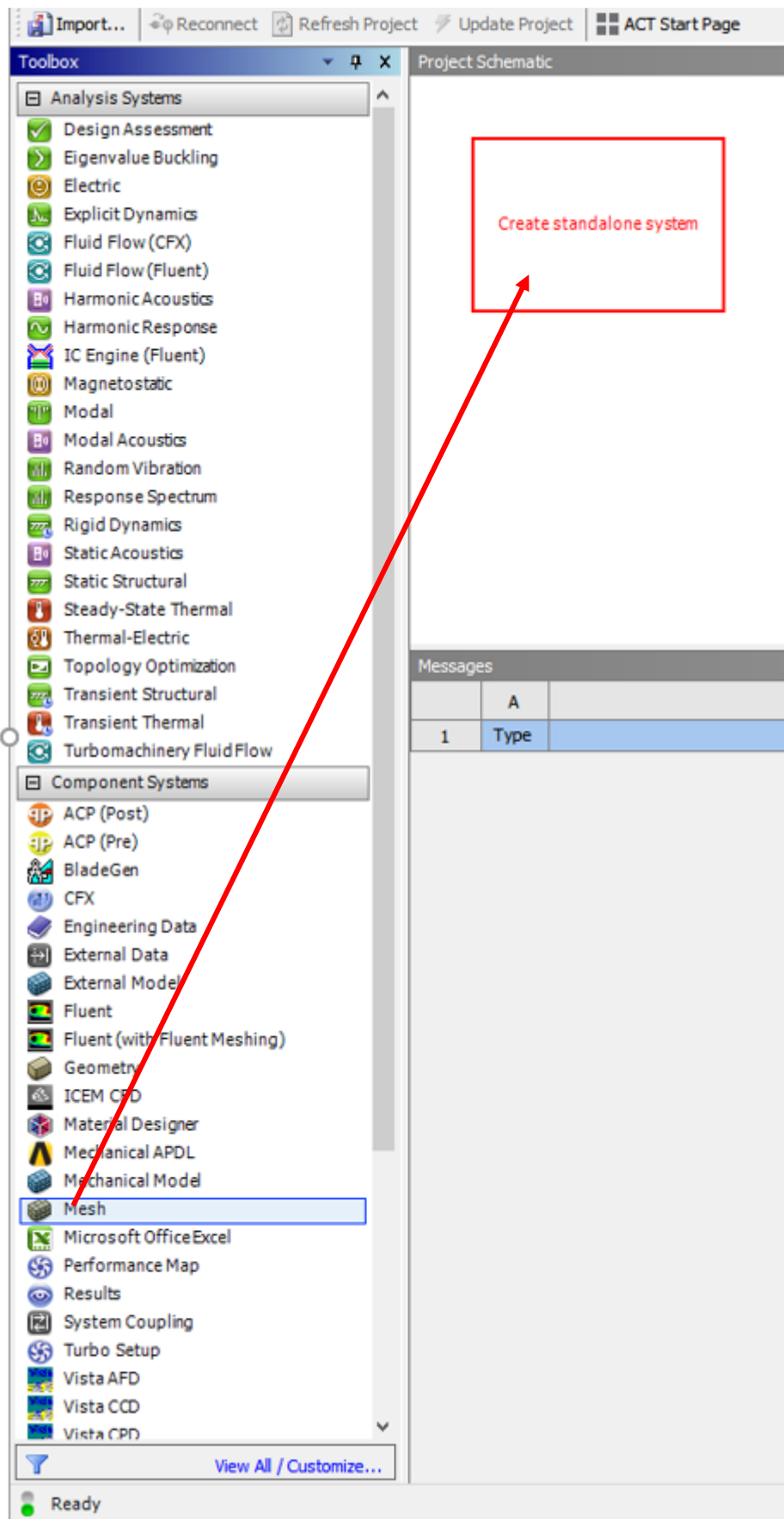
- 1) Otwórz program Ansys Workbench i zapisz projekt o nazwie Cw6 w katalogu o nazwie Cw6 (*File->Save As*).

**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...

Project Schematic

A

1Mesh

2Geometry?

3Mesh?

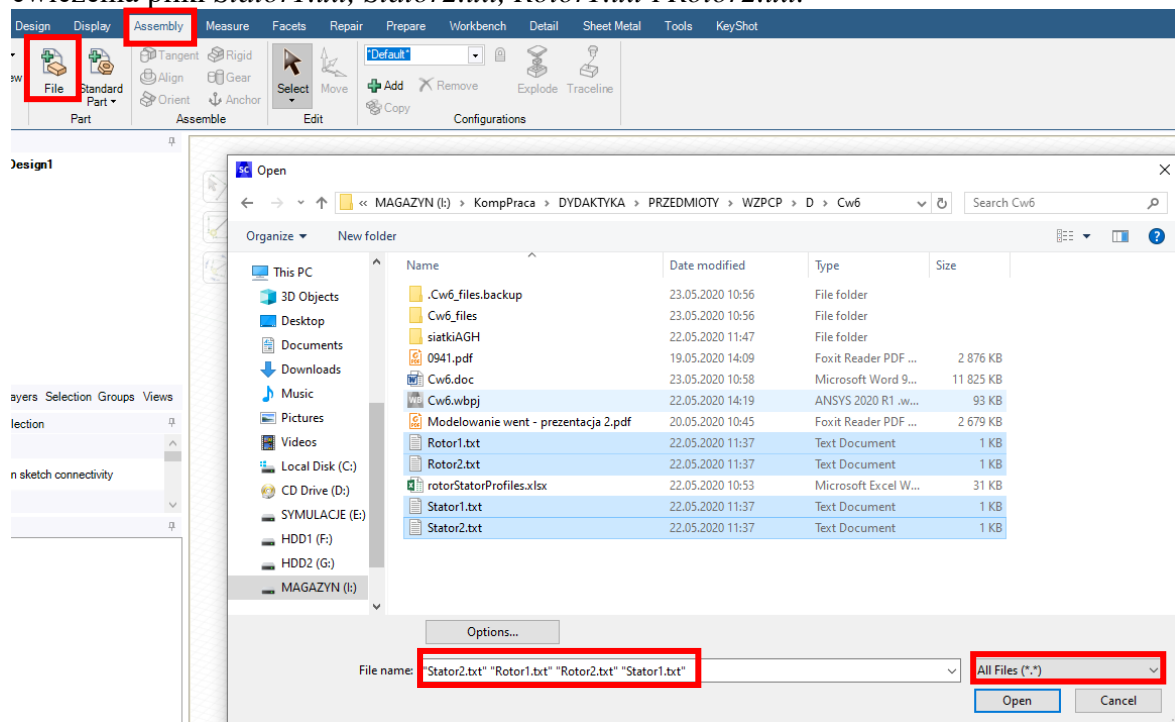
Mesh

Messages

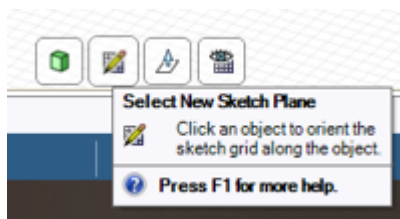
	A	
1	Type	

Starting SpaceClaim...

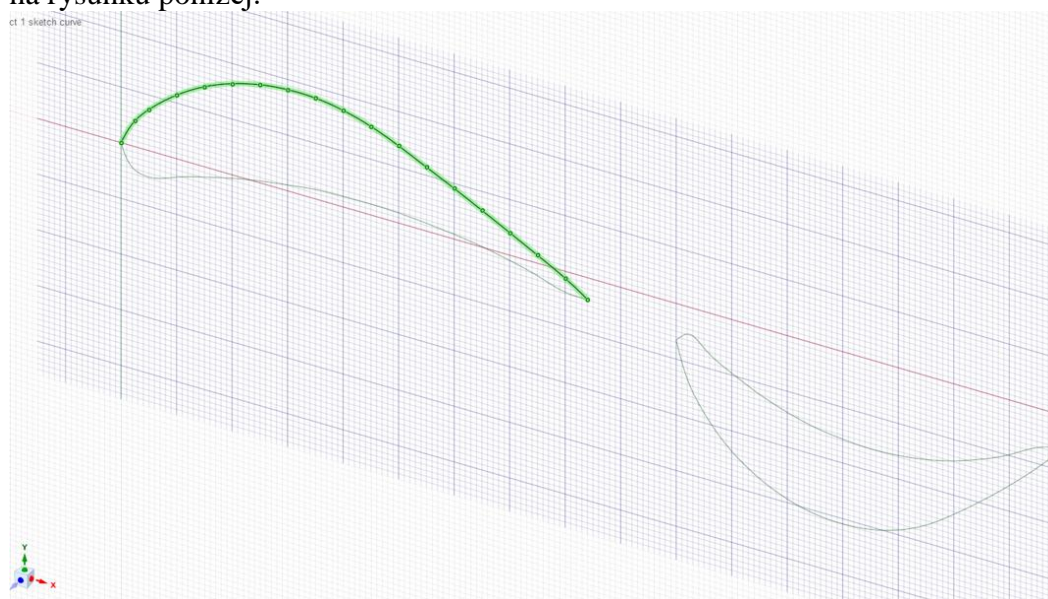
- 3) W zakładce *Assembly* wybierz ikonę *File*, a następnie wskaż dołączone do ćwiczenia pliki *Stator1.txt*, *Stator2.txt*, *Rotor1.txt* i *Rotor2.txt*.




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



Wybierz płaszczyznę X-Y przez kliknięcie LPM profilu statora lub rotora jak na rysunku poniżej.

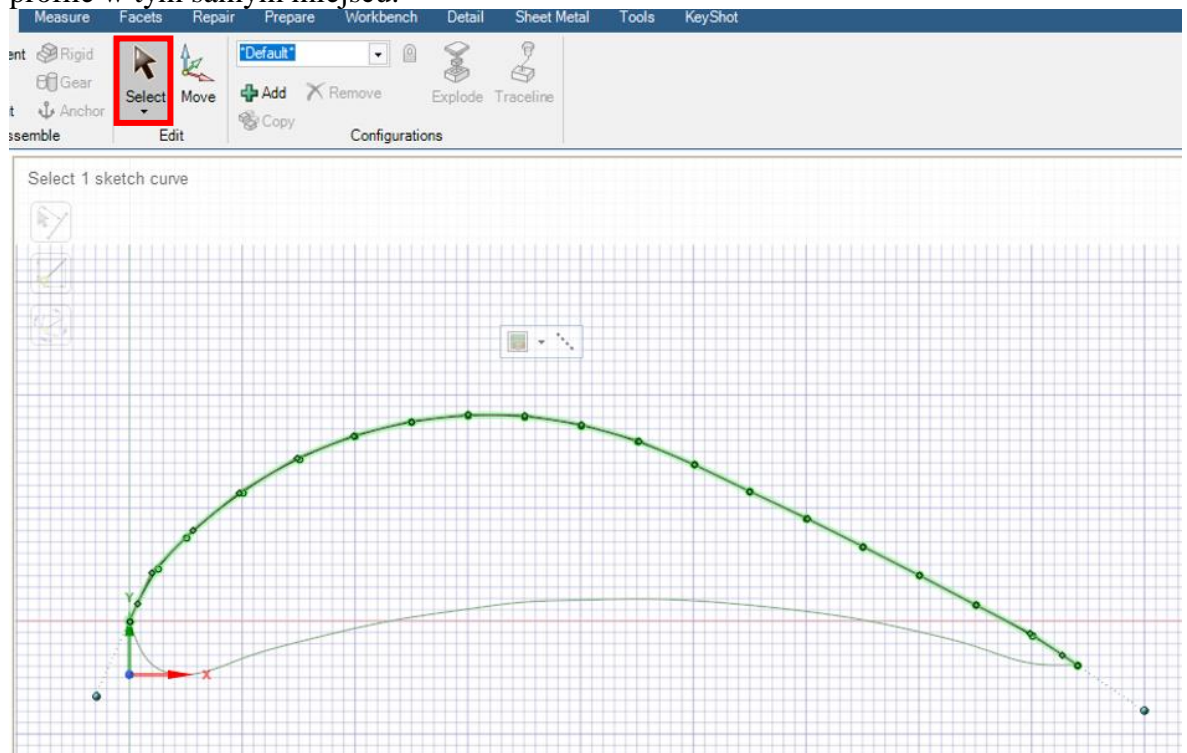




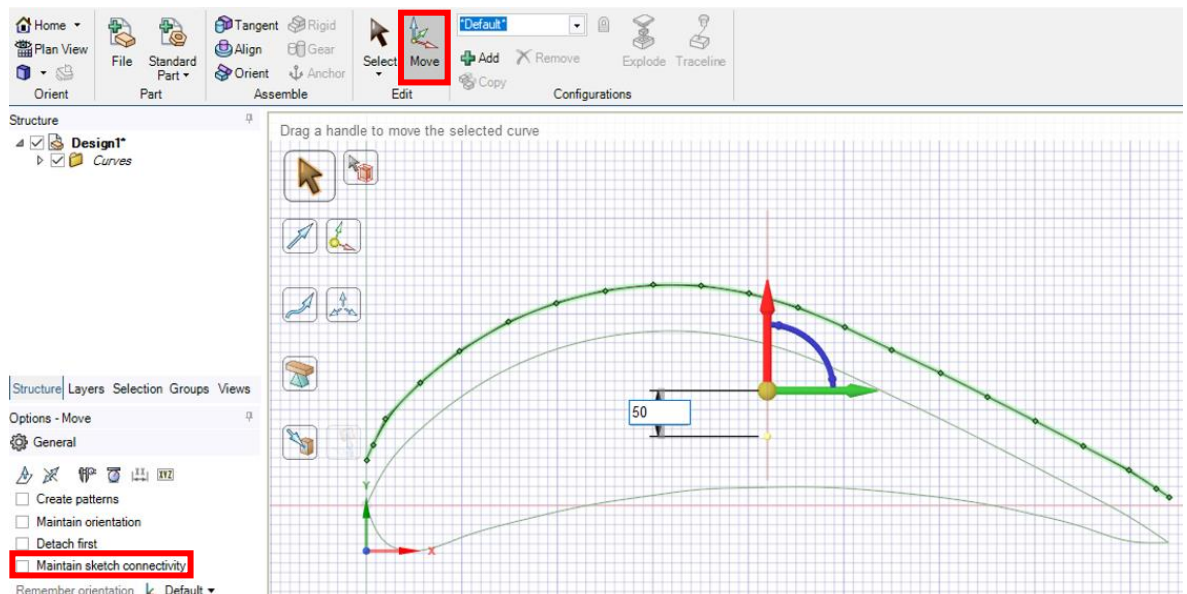
- 5) Kliknij ikonę *Plan View*  w celu obrócenia płaszczyzny rysowania równoległe do ekranu (możesz też to zrobić wciskając *Shift + v*).



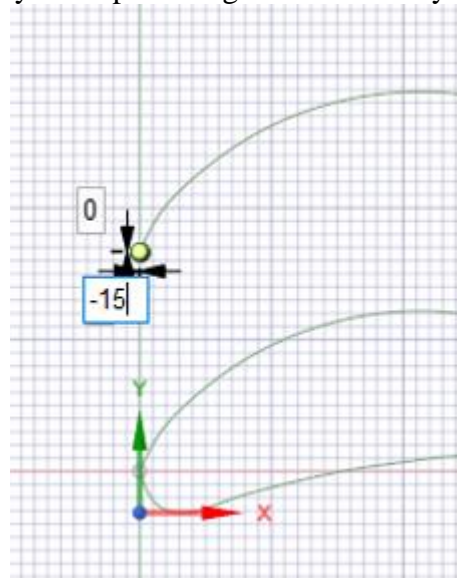
- 6) Wybierz *Select* a następnie LPM wskaż górny profil statora. Następnie *Ctrl+c* oraz *Ctrl+v* w celu skopiowania i wklejenia identycznego profilu. Są teraz dwa profile w tym samym miejscu.



- 7) Wybierz ikonę *Move*, LPM wskaż górny profil statora, odznacz po lewej stronie opcję *Maintain sketch connectivity* i przesun profil o 50 mm w górę.

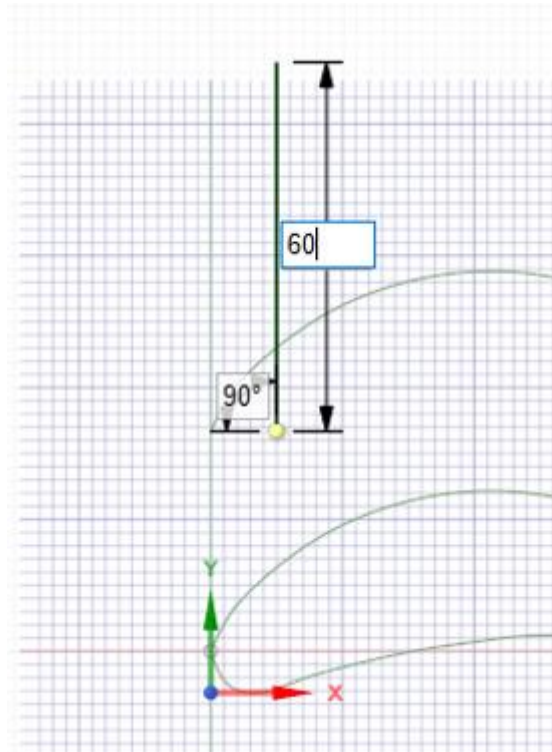



- 8) Zbliż kursor do końca przesuniętej krzywej i naciśnij klawisz *Shift*, a następnie zastosuj -15 mm dla wymiaru poziomego i 0 mm dla wymiaru pionowego.

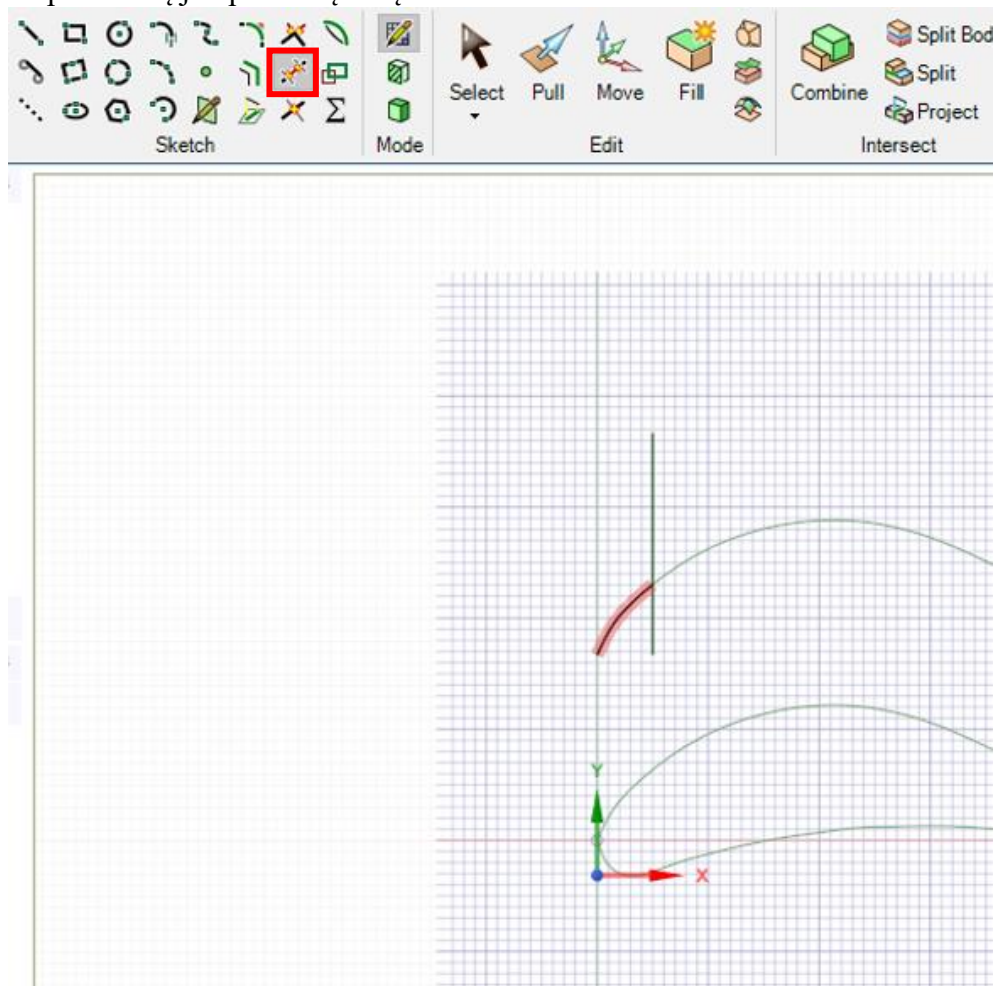


- 9) Narysuj linię pionową o długości 60 mm.

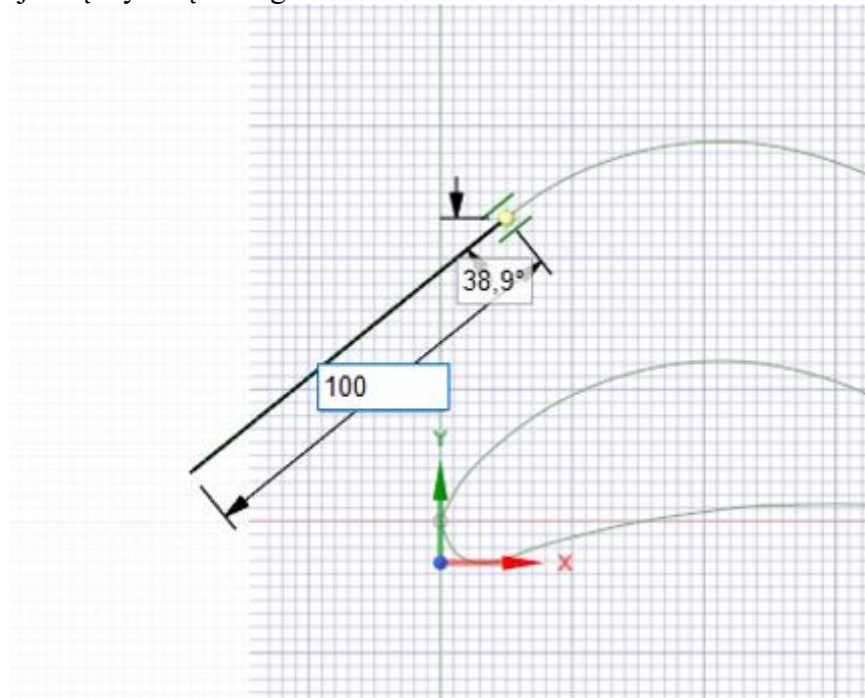




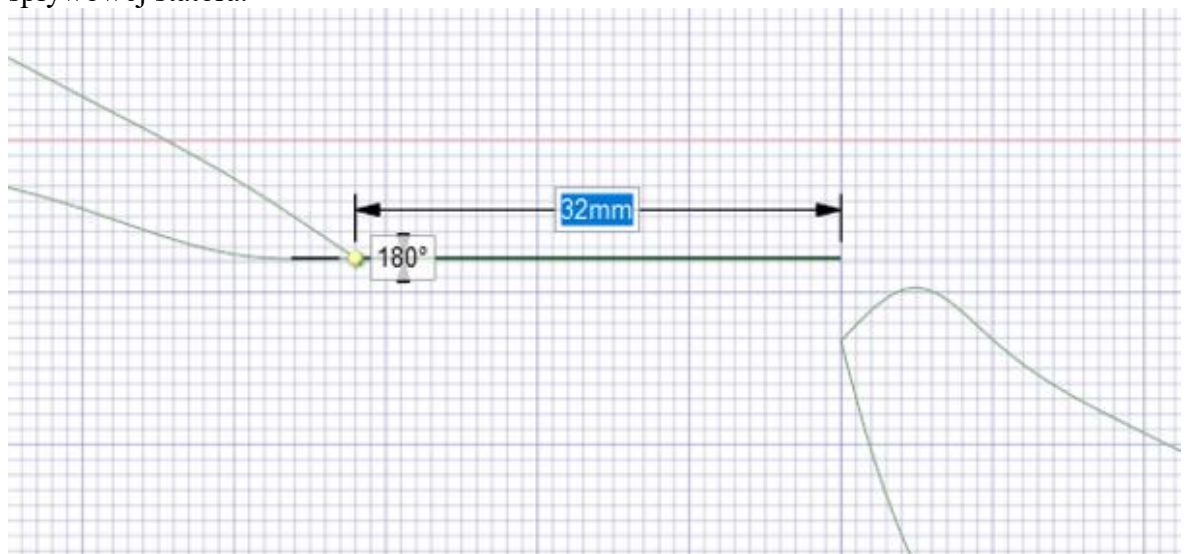
- 10) Wybierz ikonę *Trim Away*  i usuń wskazaną na czerwono krawędź oraz niepotrzebną już pionową linię.



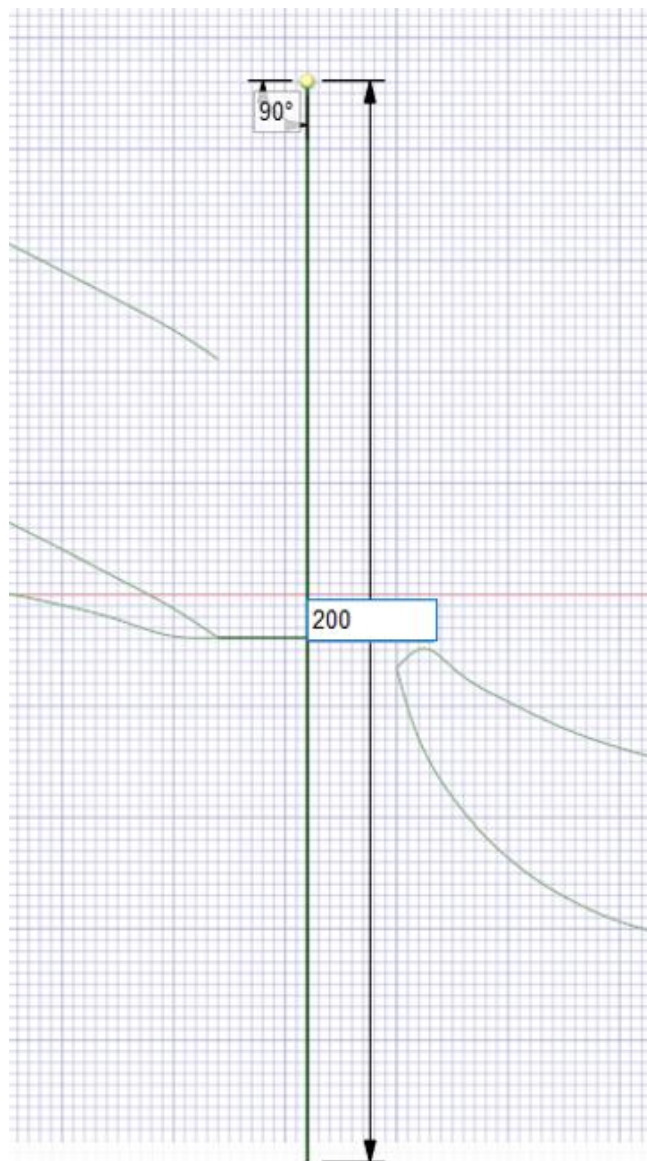
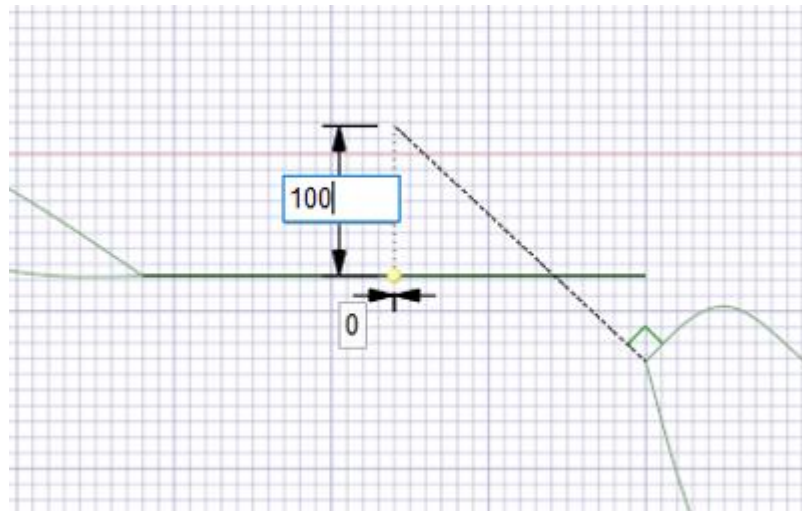
11) Narysuj linię styczną o długości 100 mm.



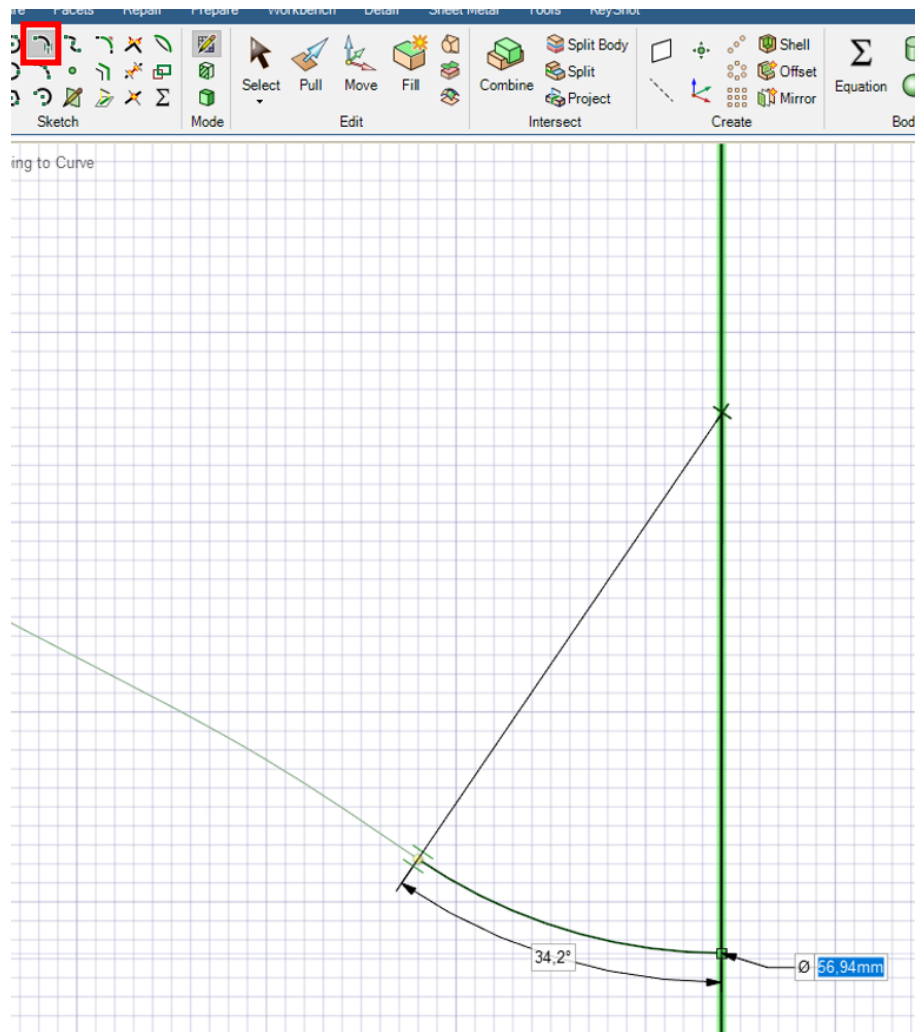
12) Narysuj linię poziomą o długości 32 mm zaczynając się na krawędzi spływowej statora.



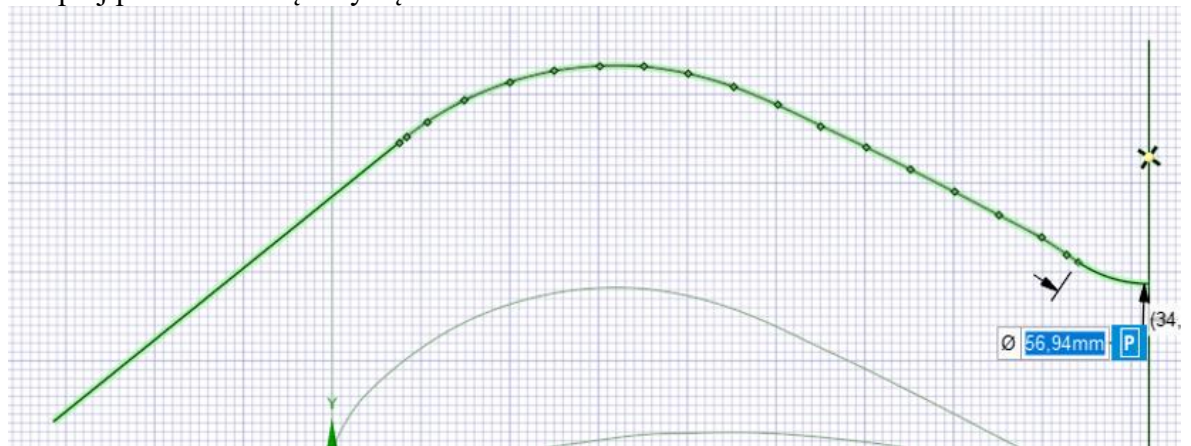
13) Zbliź kursor do środka narysowanej linii (pojawi się zielony trójkąt) i naciśnij *Shift*. Dla wymiaru poziomego wybierz 0 mm, a dla pionowego 100 mm. Następnie narysuj linię pionową o długości 200 mm.



- 14) Narysuj styczny łuk do skopiowanej linii statora przez wybranie polecenia *Tangent Arc* i LPM końca linii.

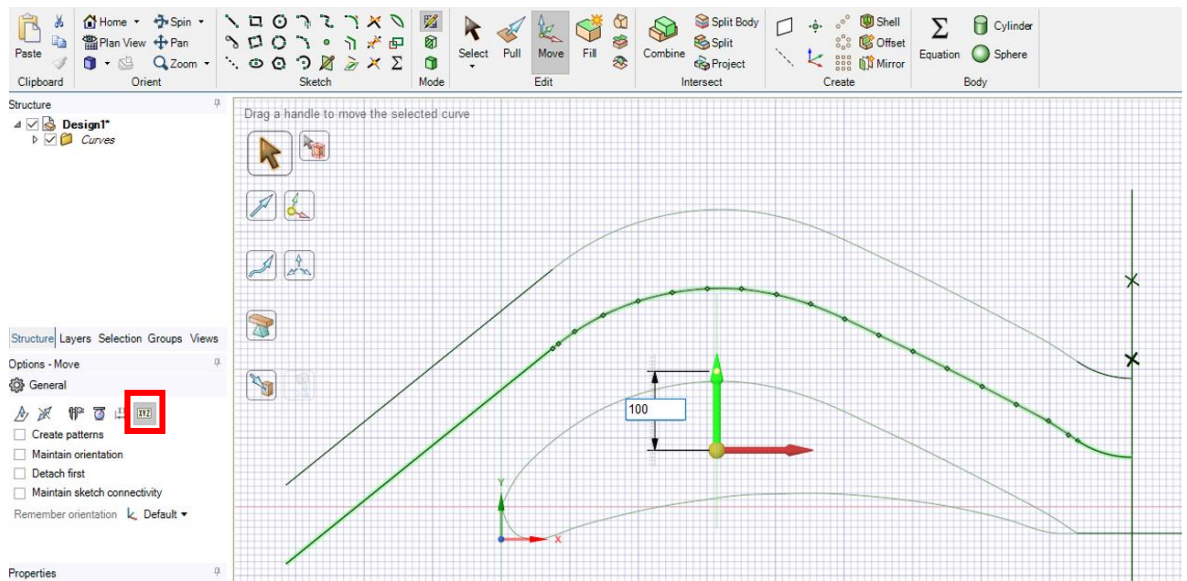


15) Skopiuj przedstawioną krzywą.

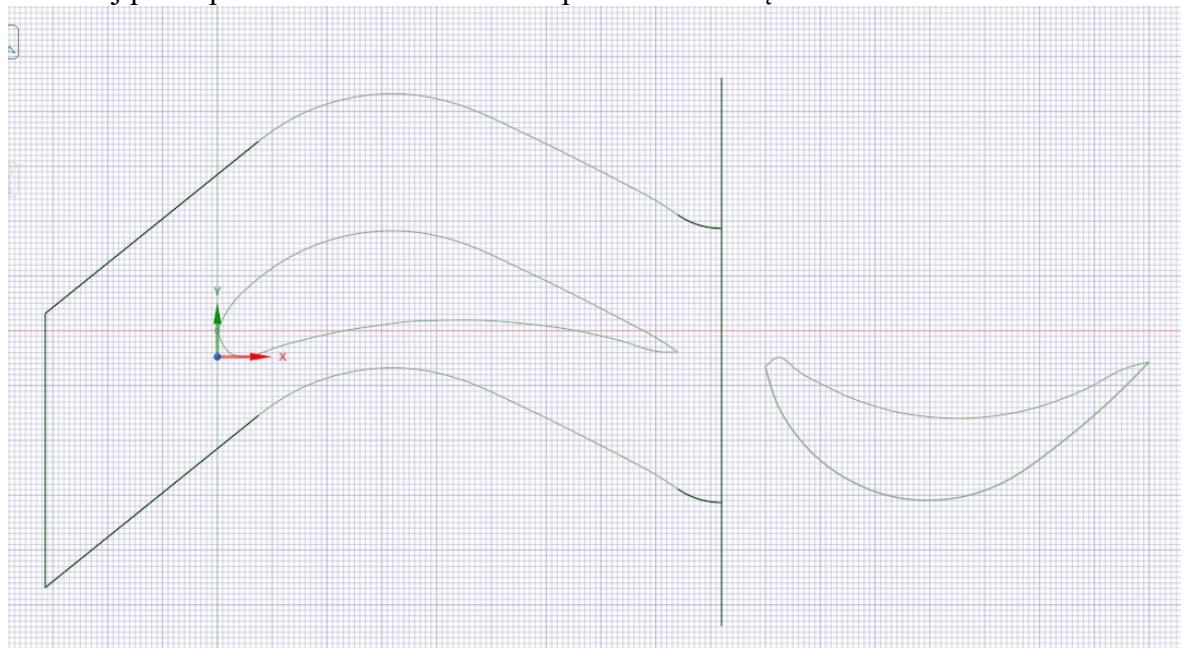


16) Następnie przesun każdą z krzywych w dół o 100 mm. Aby to uczynić wybierz polecenie *Move* i zaznacz opcję *Cartesian Coordinates* po lewej stronie.

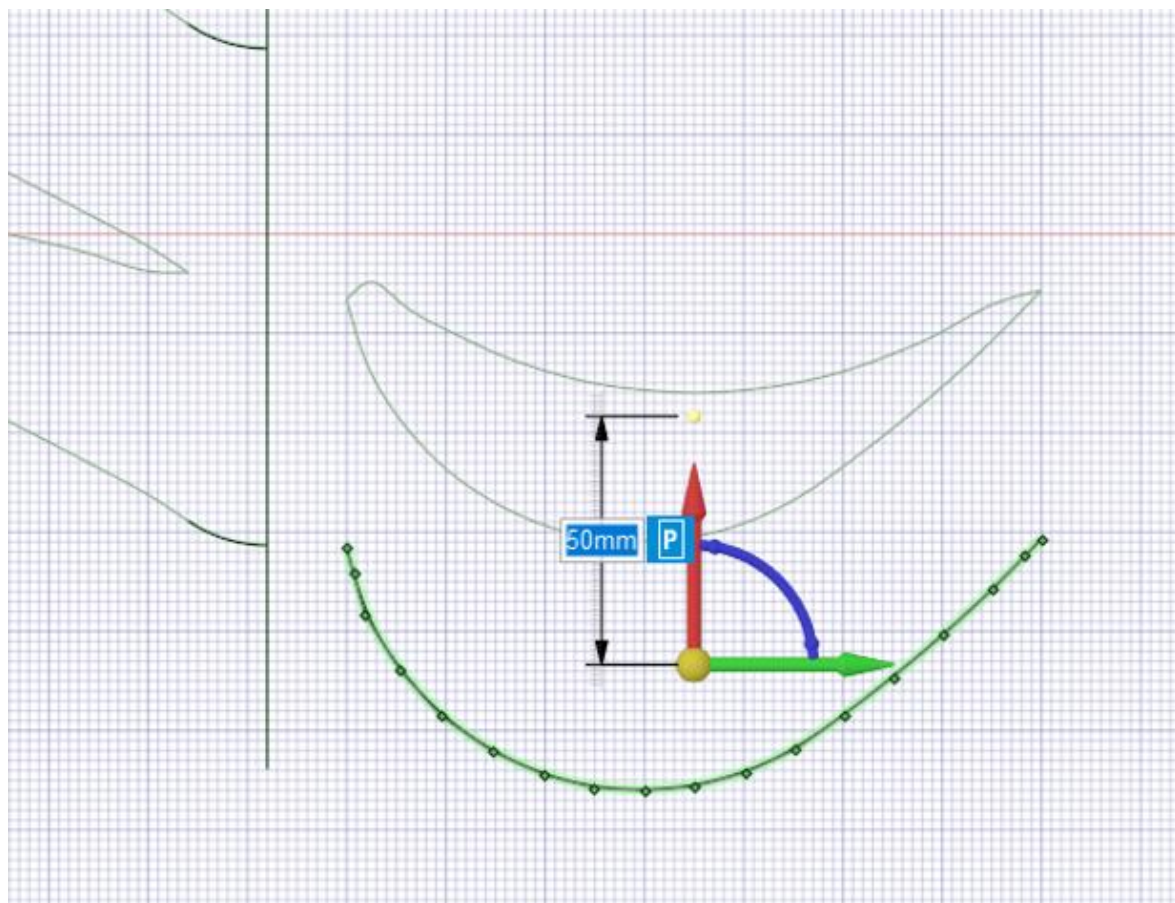




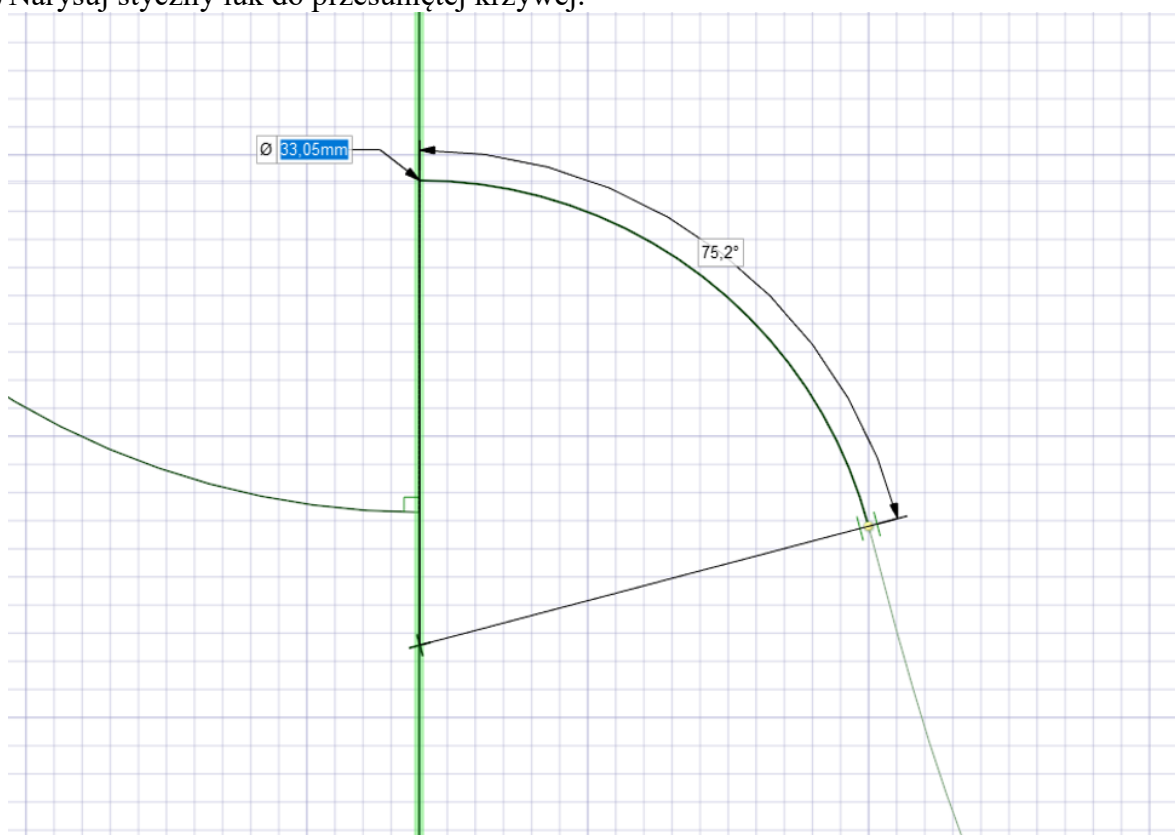
17) Domknij profil po stronie statora i usuń niepotrzebne krawędzie.



18) Skopiuj i przesun o 50 mm dolną krzywą rotora.

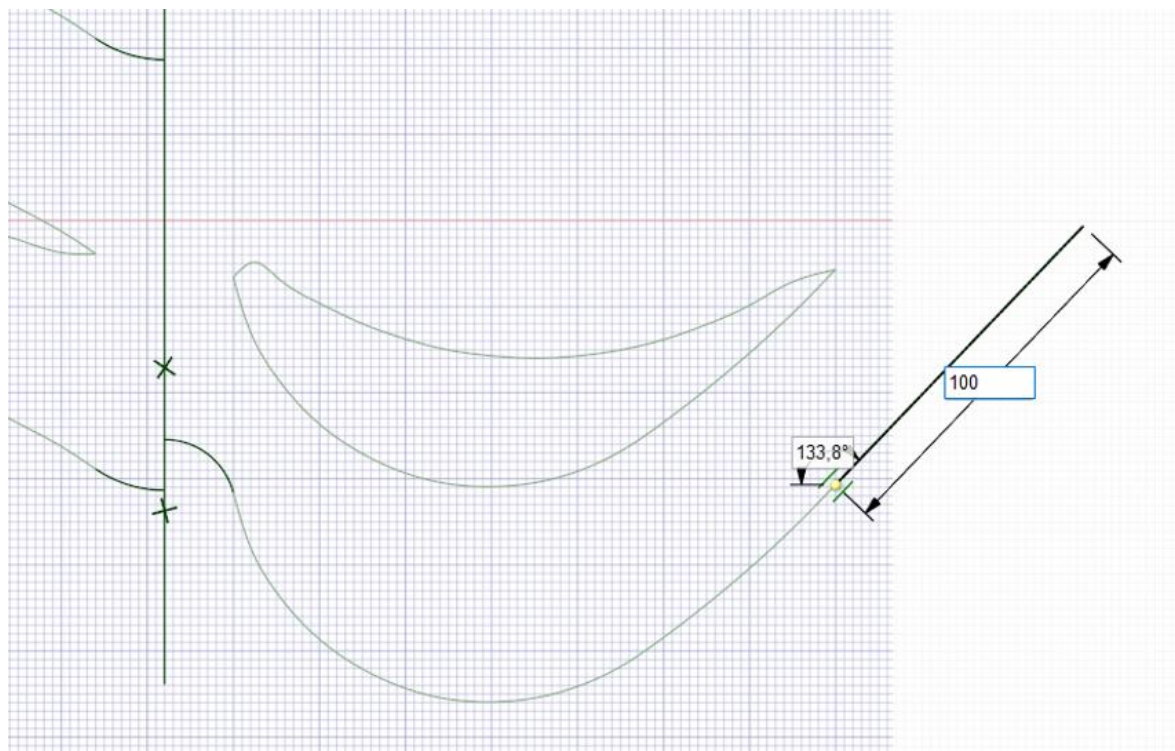


19) Narysuj styczny łuk do przesuniętej krzywej.

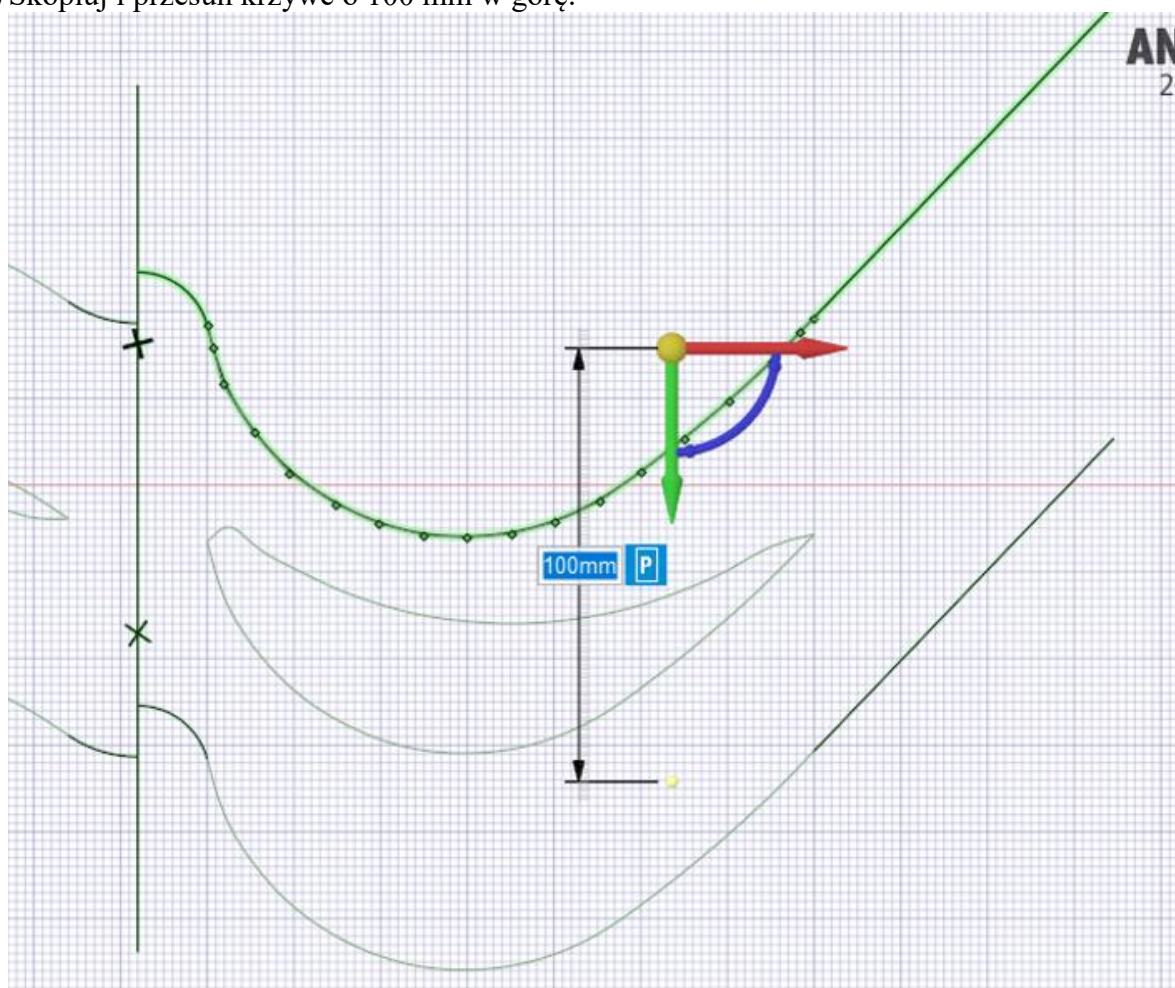


20) Narysuj styczną linię o długości 100 mm.

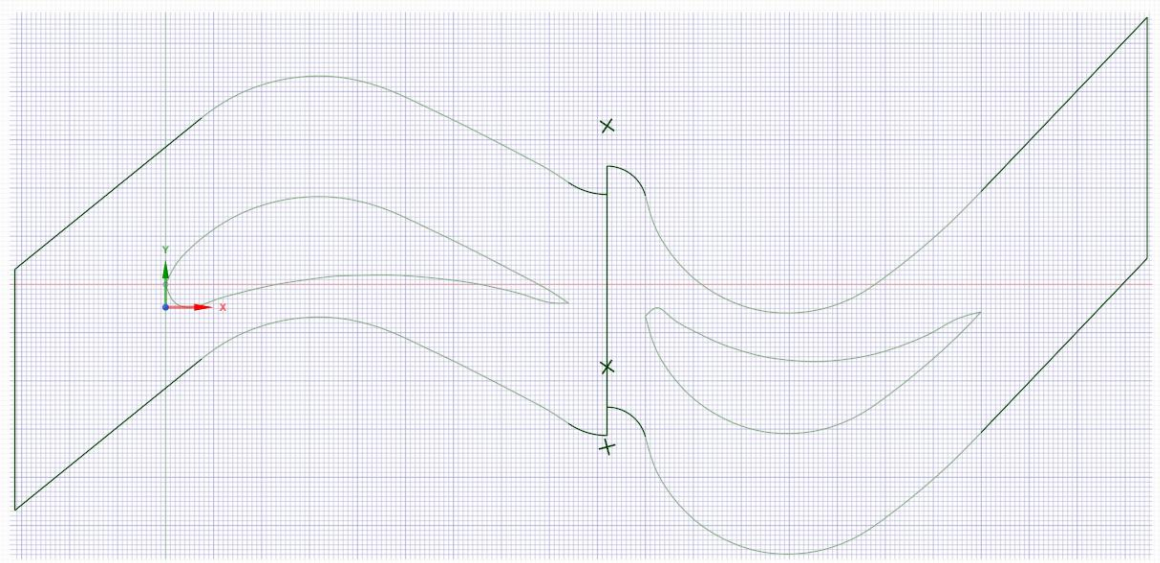
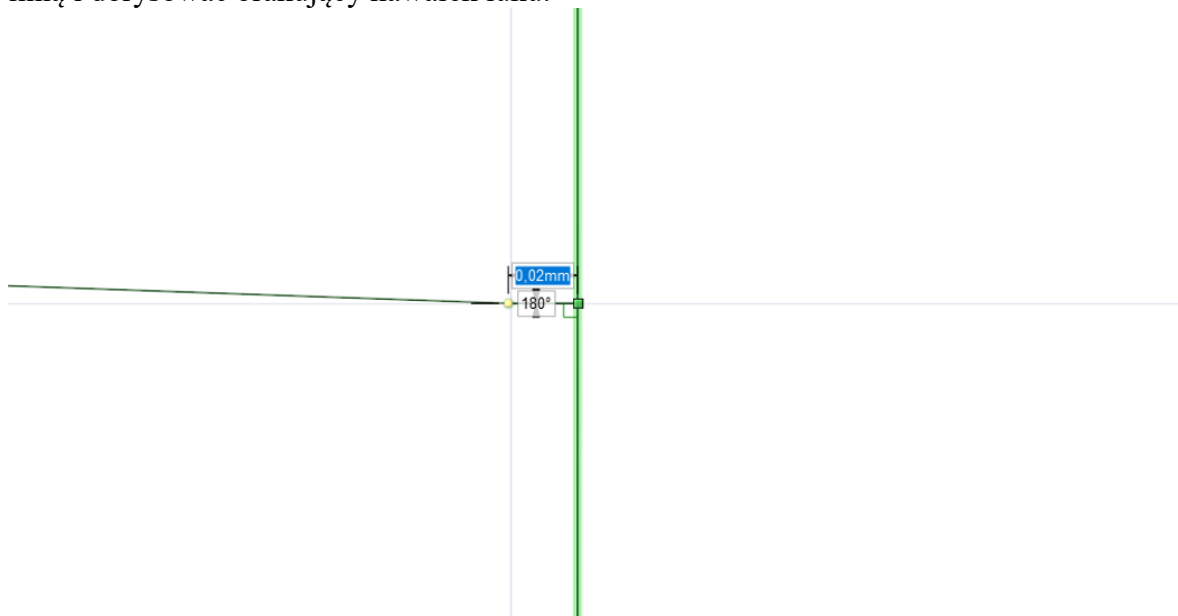




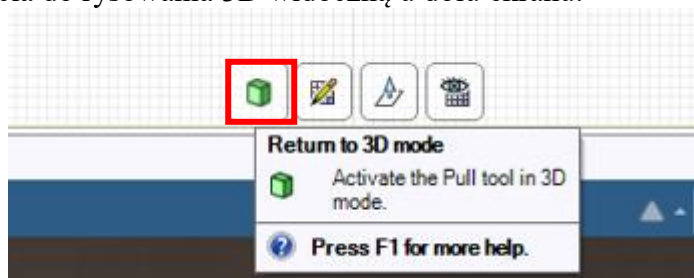
21) Skopiuj i przesun krzywe o 100 mm w górę.



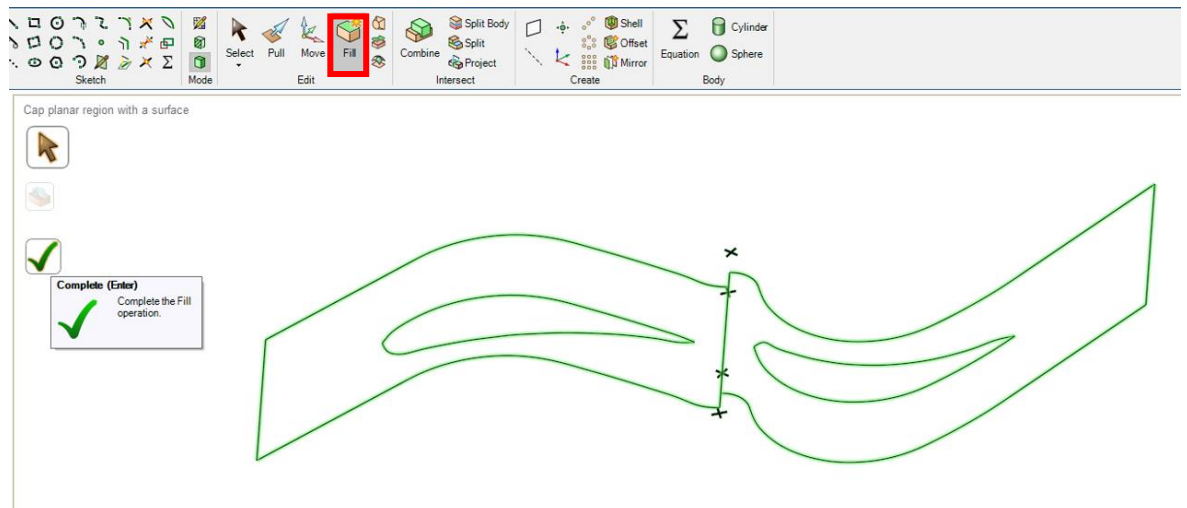
- 22) Domknij profil i usuń niepotrzebne krawędzie. Jeśli okaże się, że trzeba usunąć całą pionową linię, należy powiększyć widok w pobliżu styku łuku z pionową linią i dorysować brakujący kawałek łuku.



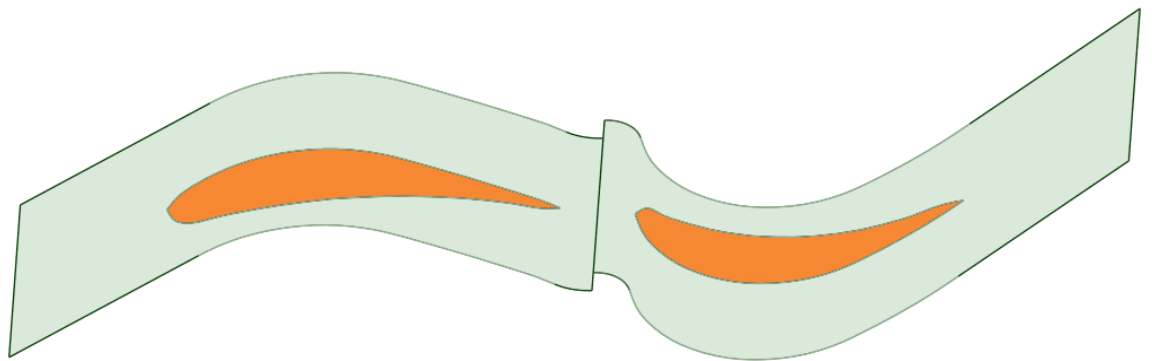
- 23) W celu wyjścia z polecenia rysowania linii naciśnij klawisz *Esc* i LPM kliknij ikonę przejścia do rysowania 3D widoczną u dołu ekranu.



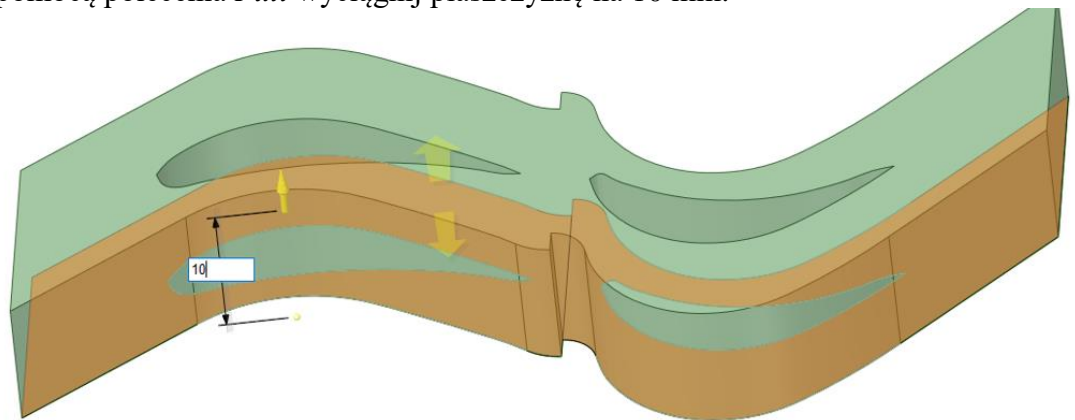
- 24) Wybierz polecenie *Fill*, a następnie *Ctrl+a* w celu zaznaczenia wszystkich krzywych. Następnie zatwierdź *Complete*.



25) Zaznacz LPM łopatki statora i rotora i je usuń klawiszem *Delete*.

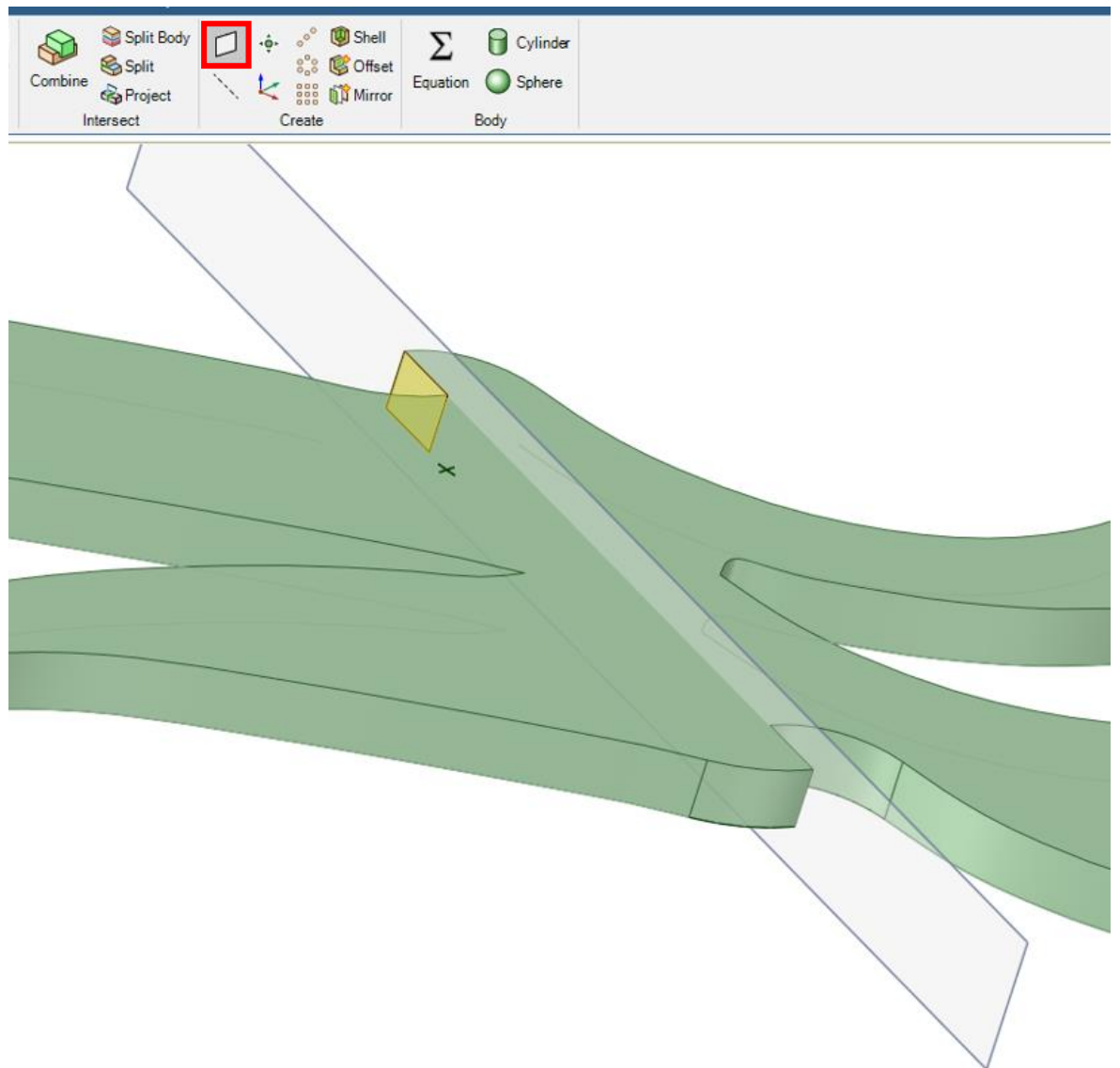


26) Za pomocą polecenia *Pull* wyciągnij płaszczyznę na 10 mm.

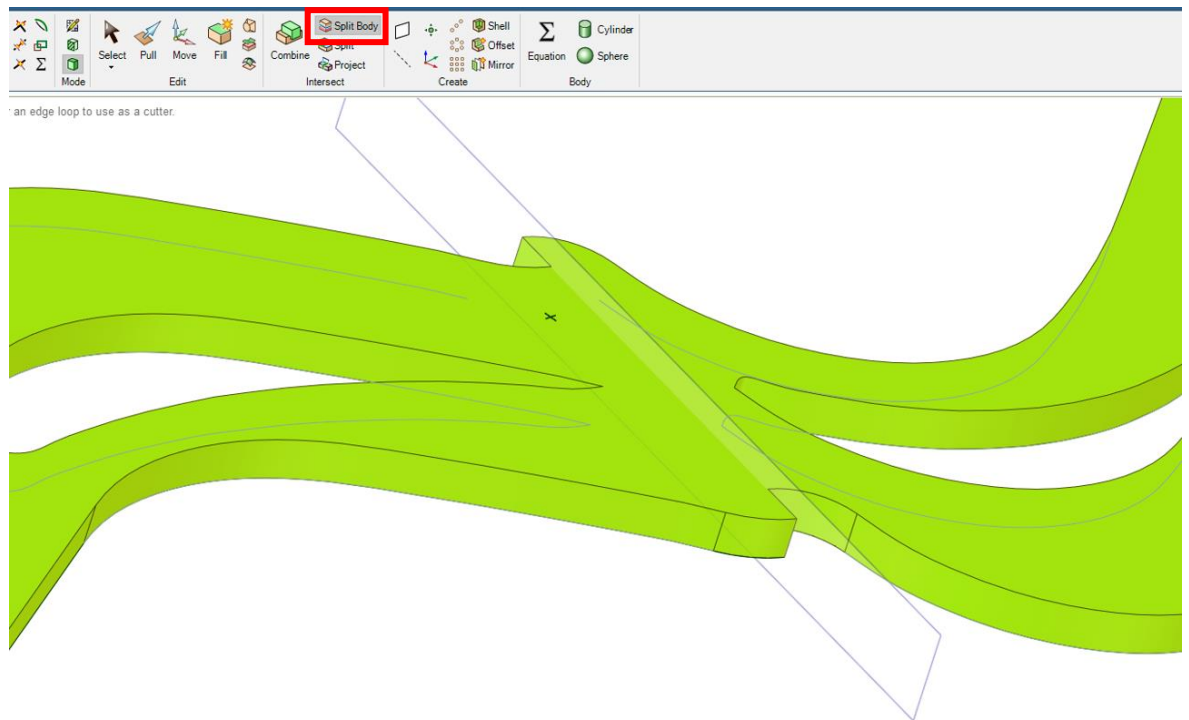


27) Utwórz płaszczyznę jak na rysunku poniżej.

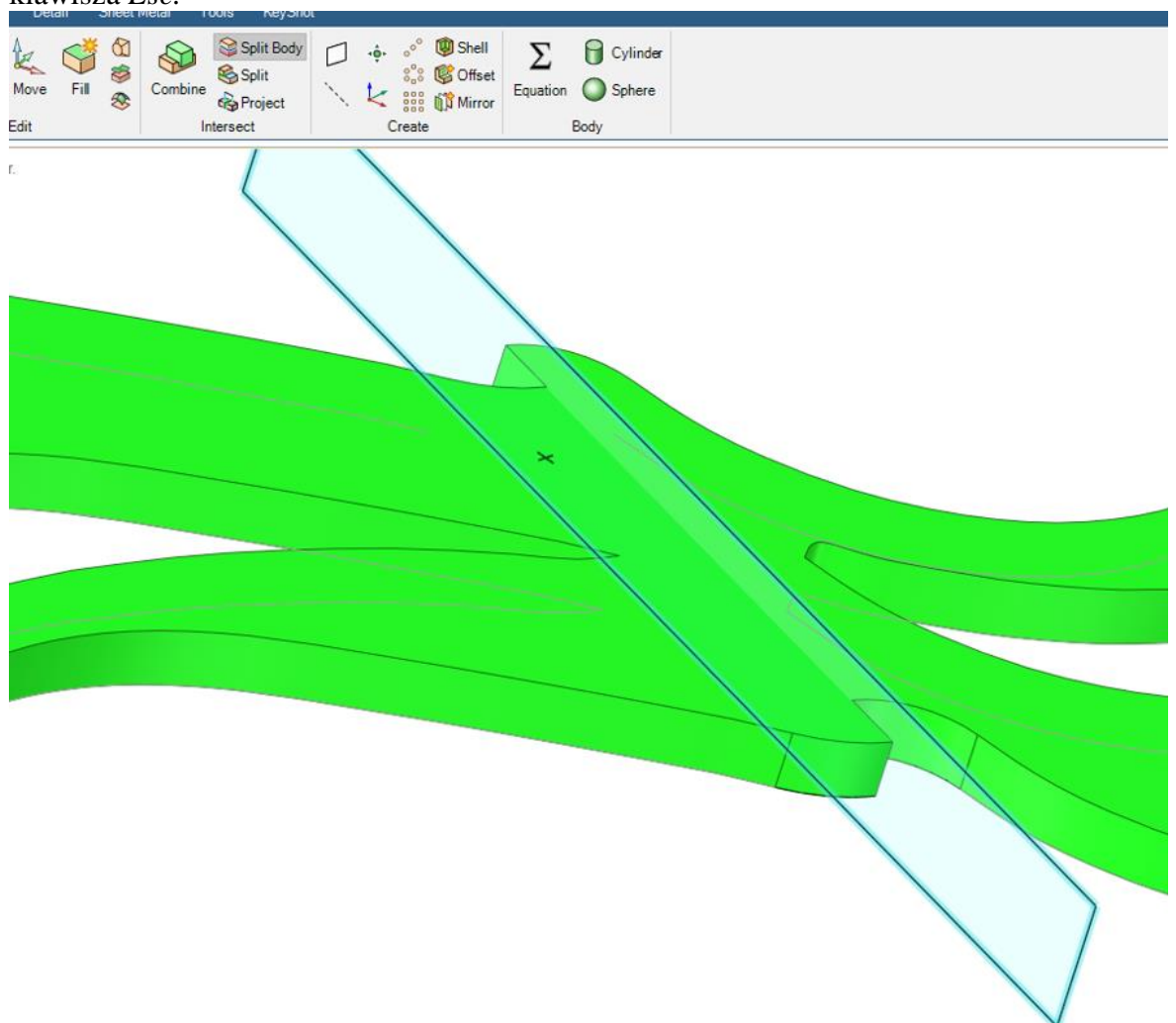




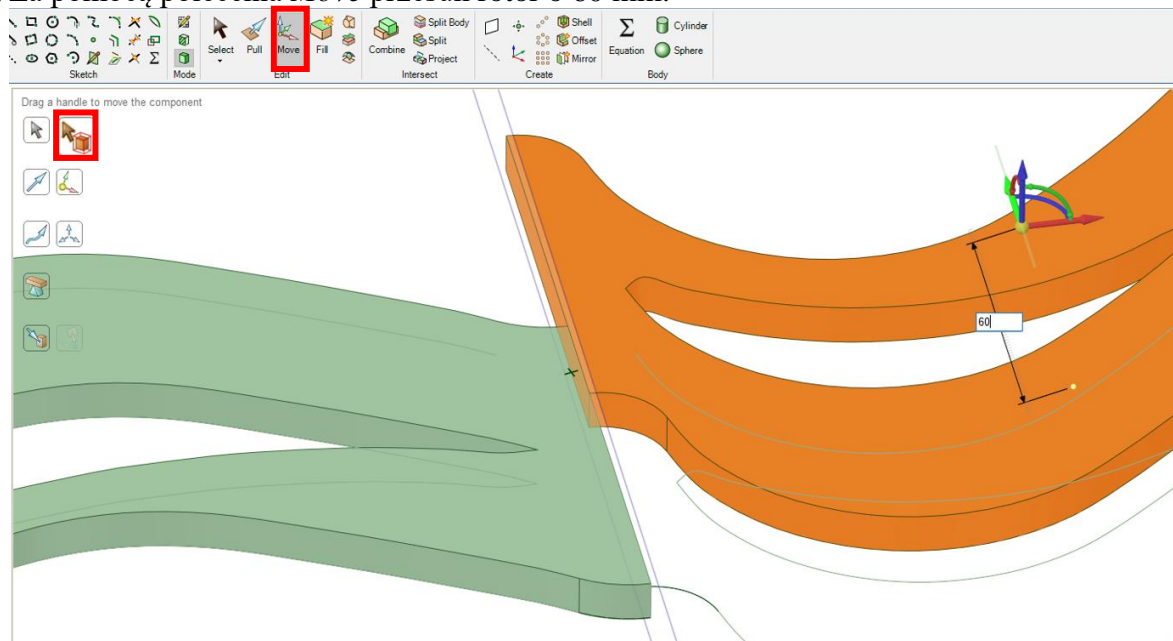
28) Wybierz polecenie *Split Body* i zaznacz bryłę.



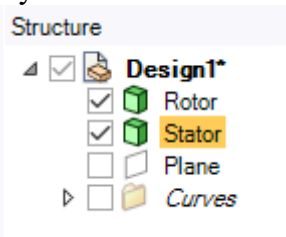
29) Następnie LPM wskaż płaszczyznę tnącą i wyjdź z polecenia za pomocą klawisza *Esc*.



30) Za pomocą polecenia *Move* przesunąć rotor o 60 mm.



31) Zmień odpowiednio nazwy brył na *Stator* i *Rotor*.

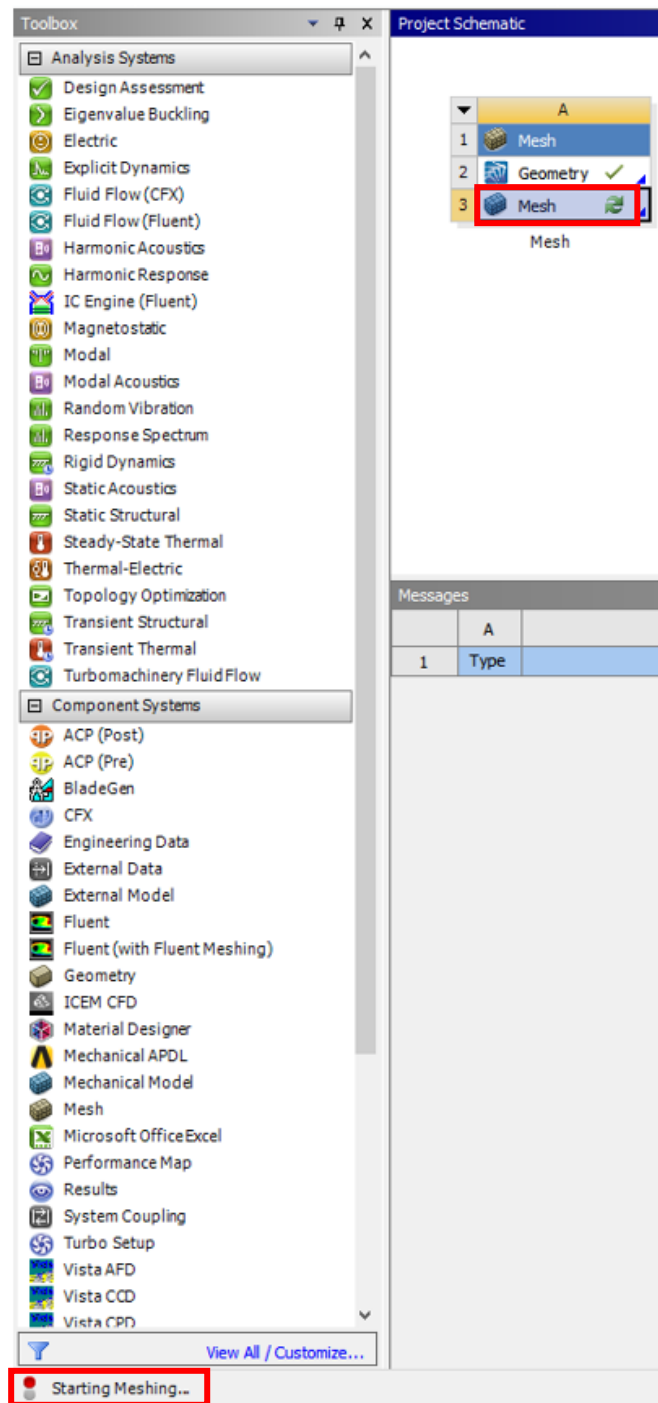


32) Zamknij program *Spaceclaim* i zapisz projekt w *Workbench* za pomocą *Ctrl + s*

## 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** 

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






Size Location Convert Miscellaneous Tolerances

Reset Explode Factor: Assembly Center


Mesh Update Mesh Mesh Control Mesh Edit Metric G

**Outline**



Filter: Name

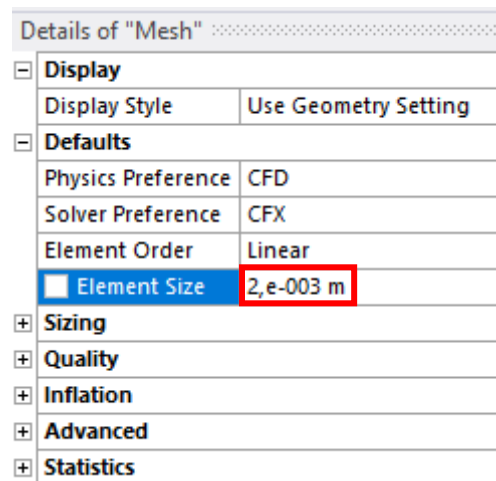
**Project**

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

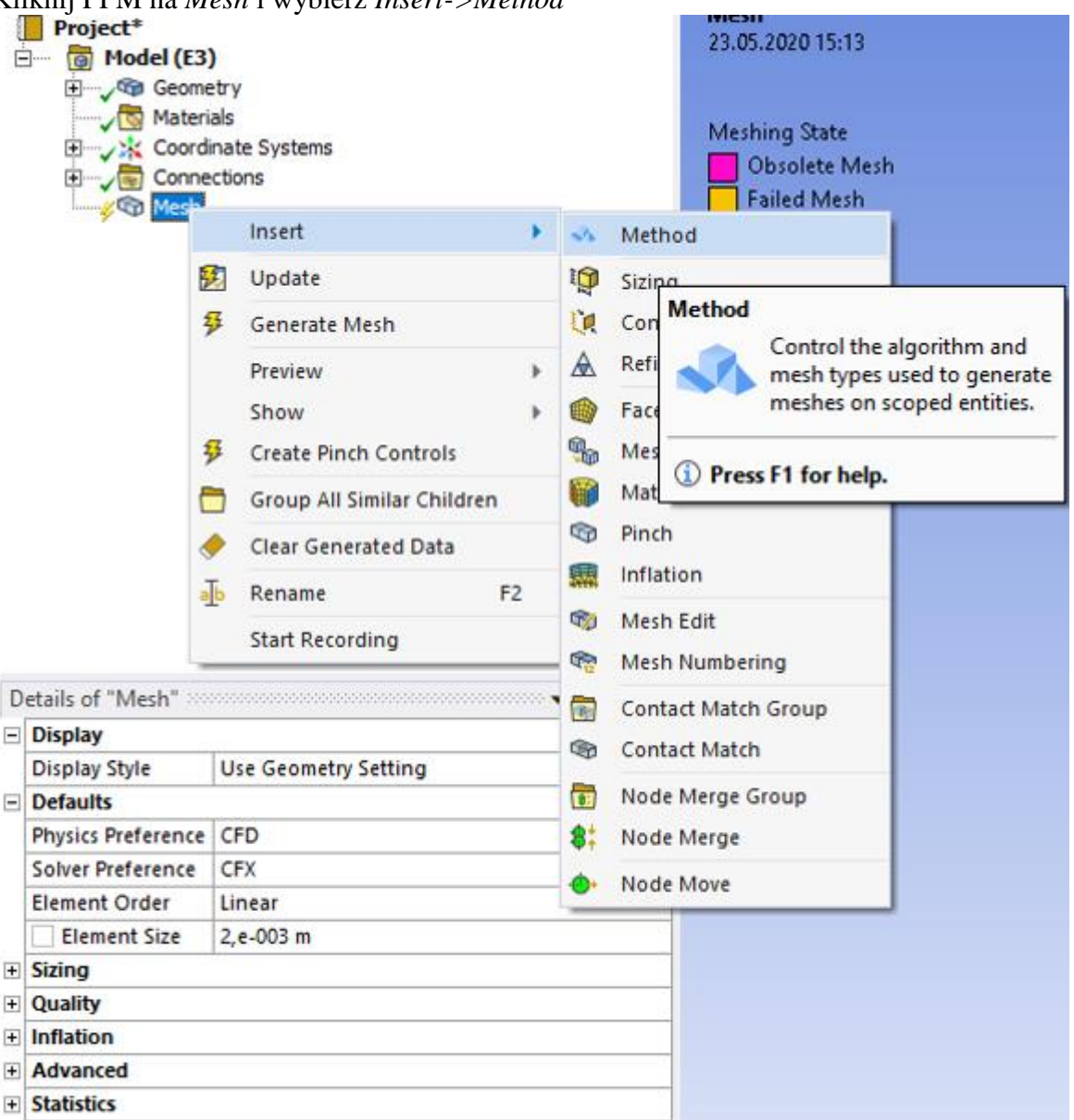
**Details of "Mesh"**

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

3) W *Details of Mesh* zmień wartość *Element Size* na  $2e-3$  m



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



5) LPM wskaż obie bryły i zatwierdź *Apply* w polu *Geometry*

Details of "Automatic Method" - Metho ▾ 🔍 □ ×

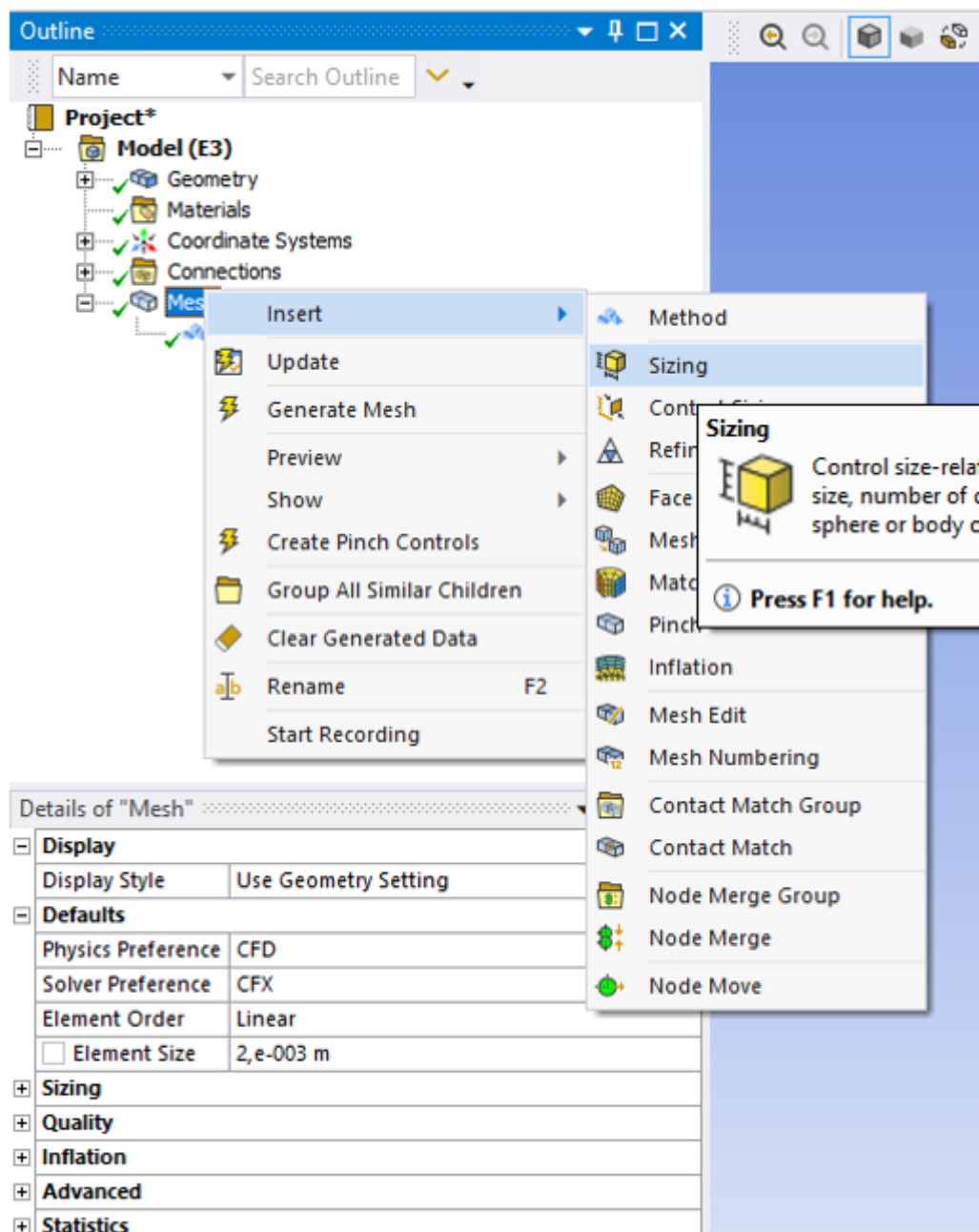
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	<input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="Cancel"/>
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Method	Automatic
Element Order	Use Global Setting

6) Zastosuj poniższe ustawienia

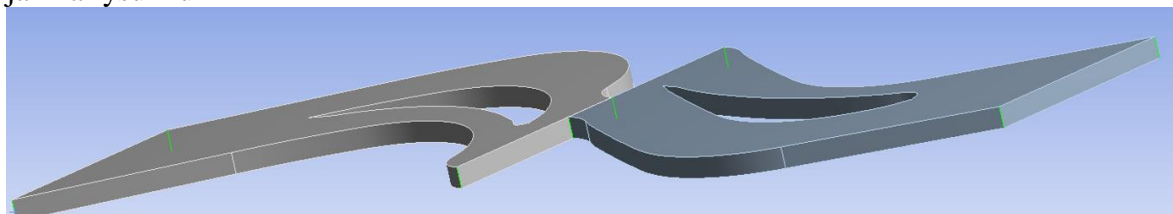
Details of "MultiZone" - Method

<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Bodies
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Method	MultiZone
Mapped Mesh Type	Hexa
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
<b>Advanced</b>	
Preserve Boundaries	Protected
Mesh Based Defeaturing	Off
Minimum Edge Length	1,2568e-002 m
Write ICEM CFD Files	No

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



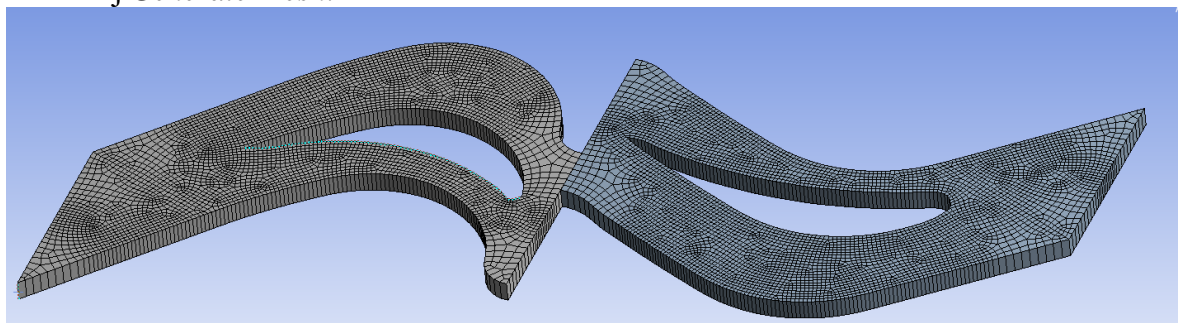
- 8) Zmień filtr wyboru na krawędzie (skrót *Ctrl + E*) i wskaż 8 zielonych krawędzi jak na rysunku



- 9) Zastosuj poniższe ustawienia

Details of "Edge Sizing" - Sizing	
[-] <b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	8 Edges
[-] <b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Number of Divisions
<input type="checkbox"/> Number of Divisions	1
[-] <b>Advanced</b>	
Behavior	Hard
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No
Bias Type	No Bias

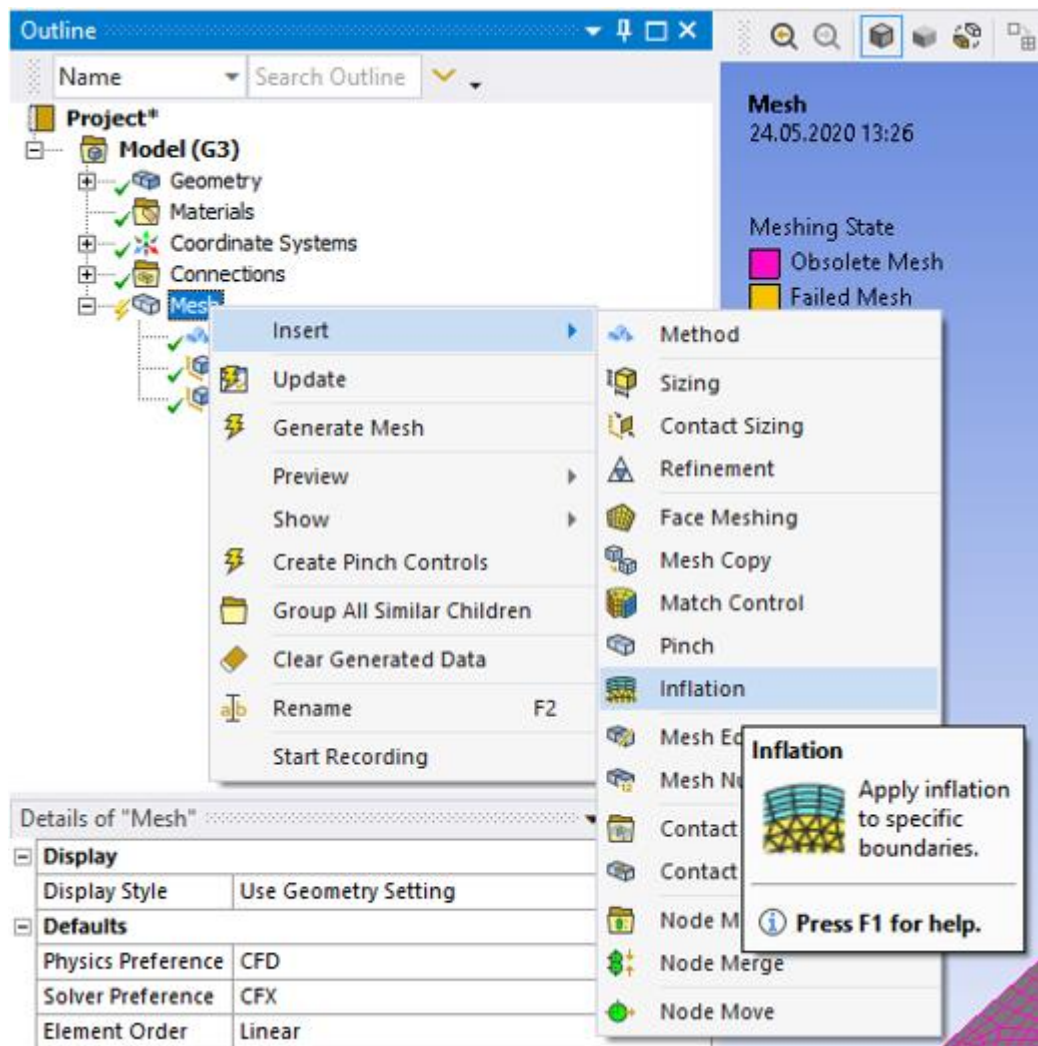
i naciśnij *Generate Mesh*.



10) Wstaw *Sizing* (face) na powierzchniach obu łopatek o rozmiarze  $5e-4$  m.

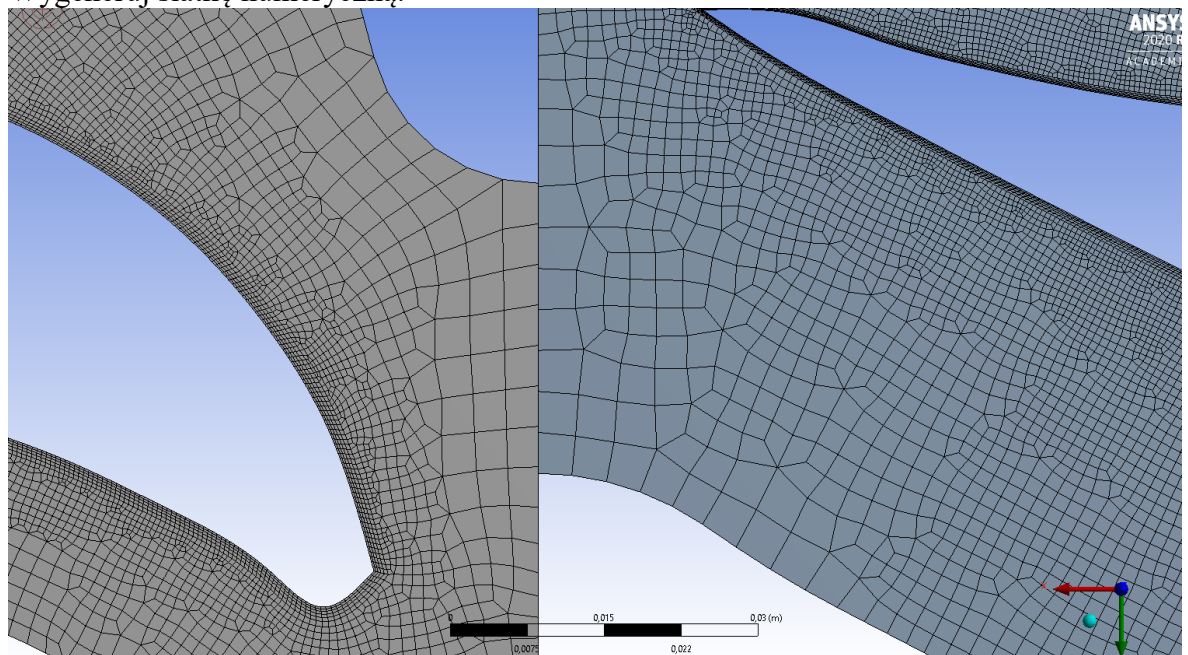
11) Wstaw *Inflation*.





12) Wybierz obie bryły i zatwierdź *Geometry*->*Apply*.

13) W polu *Boundary* wybierz 4 powierzchnie łopatek i zatwierdź *Apply*.  
Wygeneruj siatkę numeryczną.



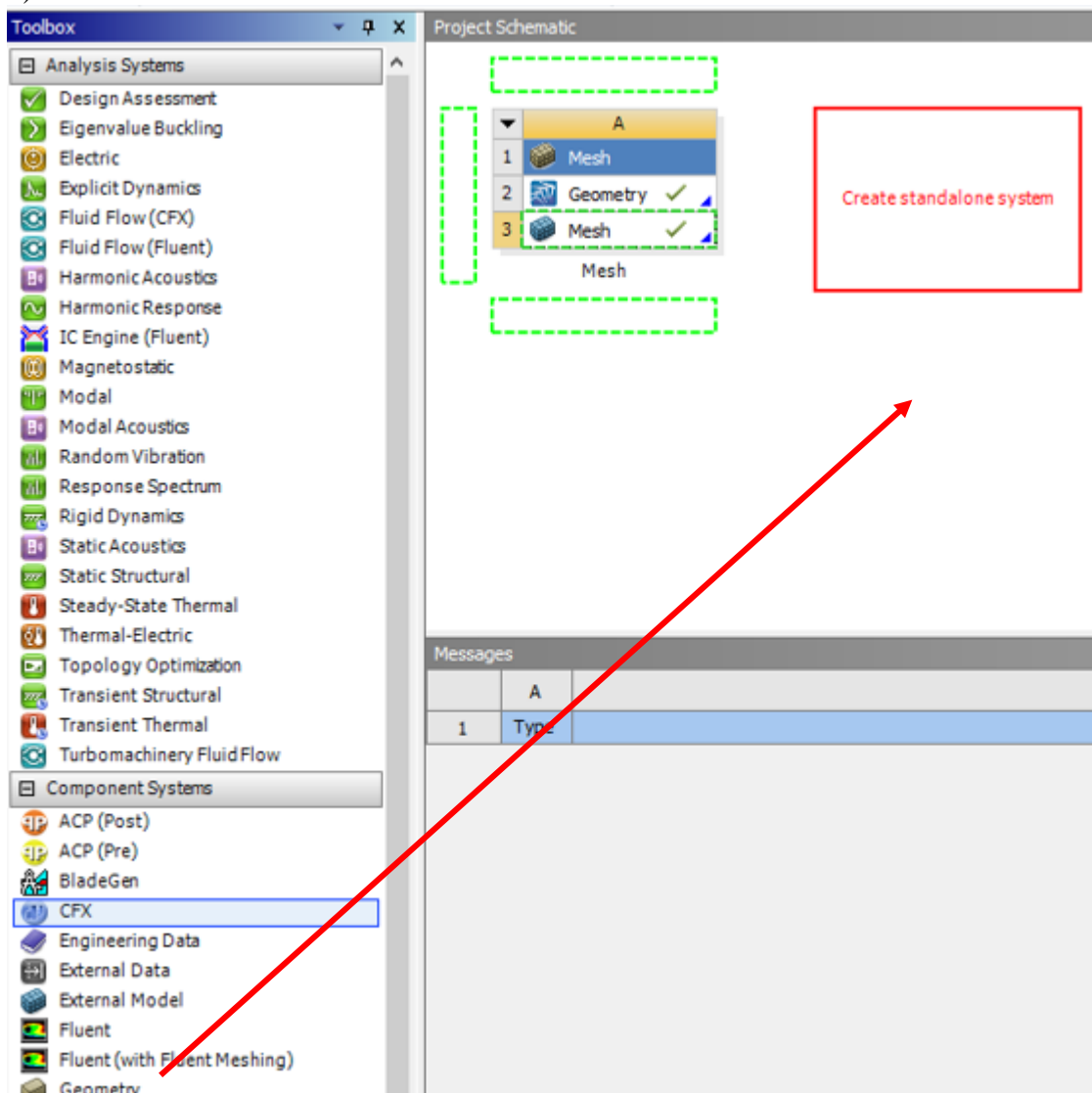
14) Ostatni krok to nadanie nazw objętościom i powierzchniom. Za pomocą *Create Named Selection* nadaj następujące nazwy (jeśli nie pamiętasz jak używać *Create Named Selection* sprawdź w poprzednich instrukcjach):

- a. Objętość statora – *Stator\_domain*
- b. Objętość rotora – *Rotor\_domain*
- c. Wlot do statora – *inlet*
- d. Wylot z rotora – *outlet*
- e. Powierzchnie płaskie statora (dolna i górna) – *statorSym*
- f. Powierzchnie płaskie rotora (dolna i górna) – *rotorSym*
- g. Powierzchnia styku statora z rotorem – *statorRotorInterface*
- h. Powierzchnia styku rotora ze statorem – *rotorStatorInterface*
- i. Prawa powierzchnia boczna bryły statora – *statorPeriodic1*
- j. Lewa powierzchnia boczna bryły statora – *statorPeriodic2*
- k. Prawa powierzchnia boczna bryły rotora – *rotorPeriodic1*
- l. Lewa powierzchnia boczna bryły rotora – *rotorPeriodic2*
- m. Powierzchnia łopatki statora – *statorBlade*
- n. Powierzchnia łopatki rotora – *rotorBlade*

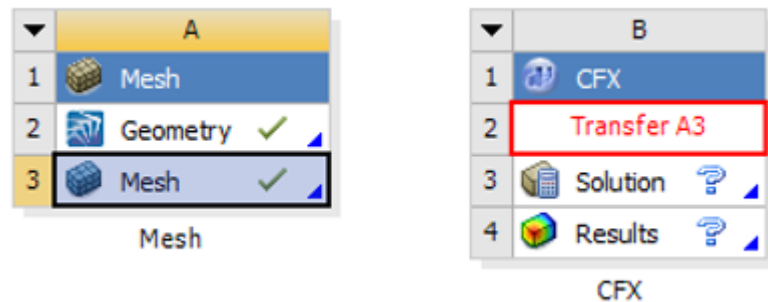
15) Zamknij moduł *Ansys Meshing* i zapisz projekt w *Workbench*.

### 2.3. PRZYGOTOWANIE MODELU NUMERYCZNEGO

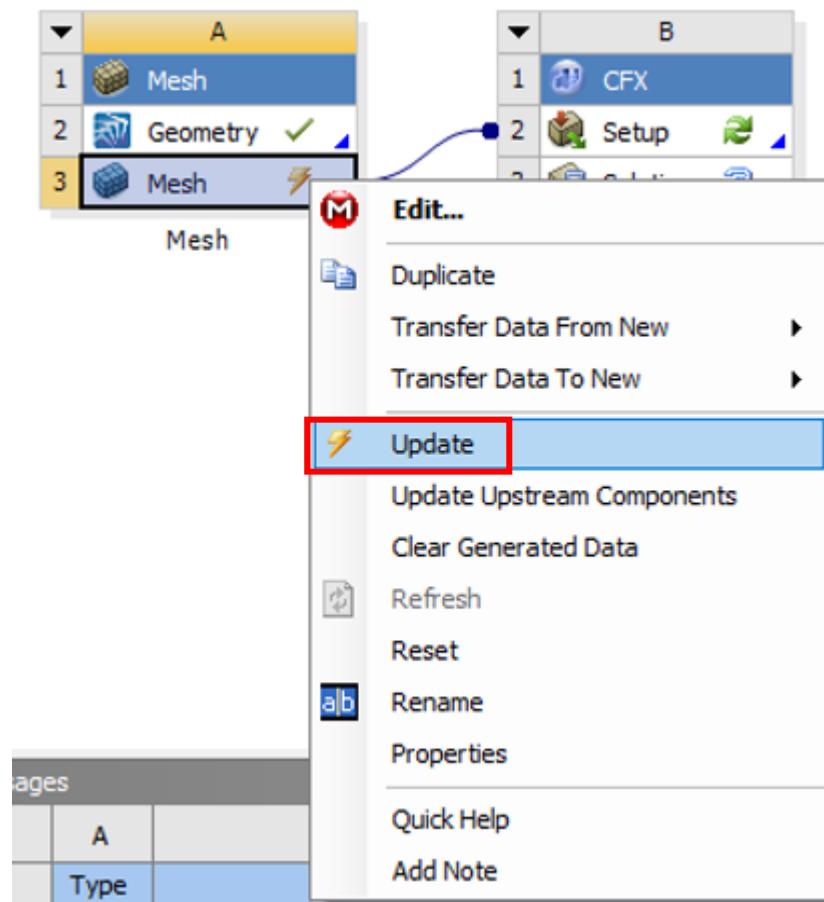
1) Wstaw moduł *CFX*



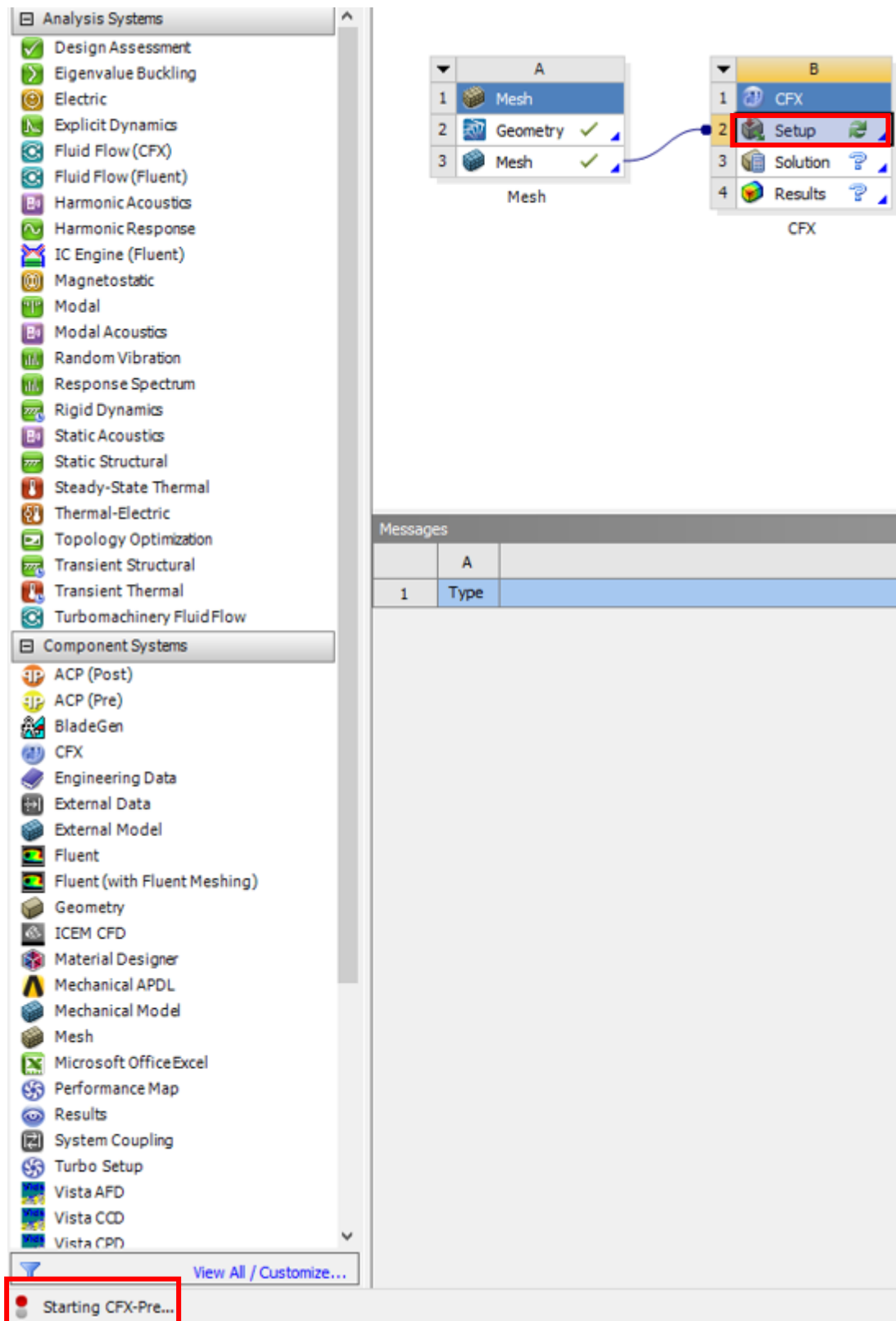
W celu połączenia modułu *Mesh* z *CFX* chwyć LPM *Mesh* (to niżej) i przeciągnij na *Setup* aż do pojawienia się pola *Transfer A3*, a następnie puść LPM – połączenie zostało utworzone



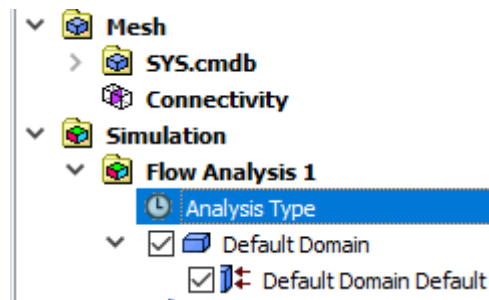
Kliknij PPM na *Mesh* i wybierz *Update*



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



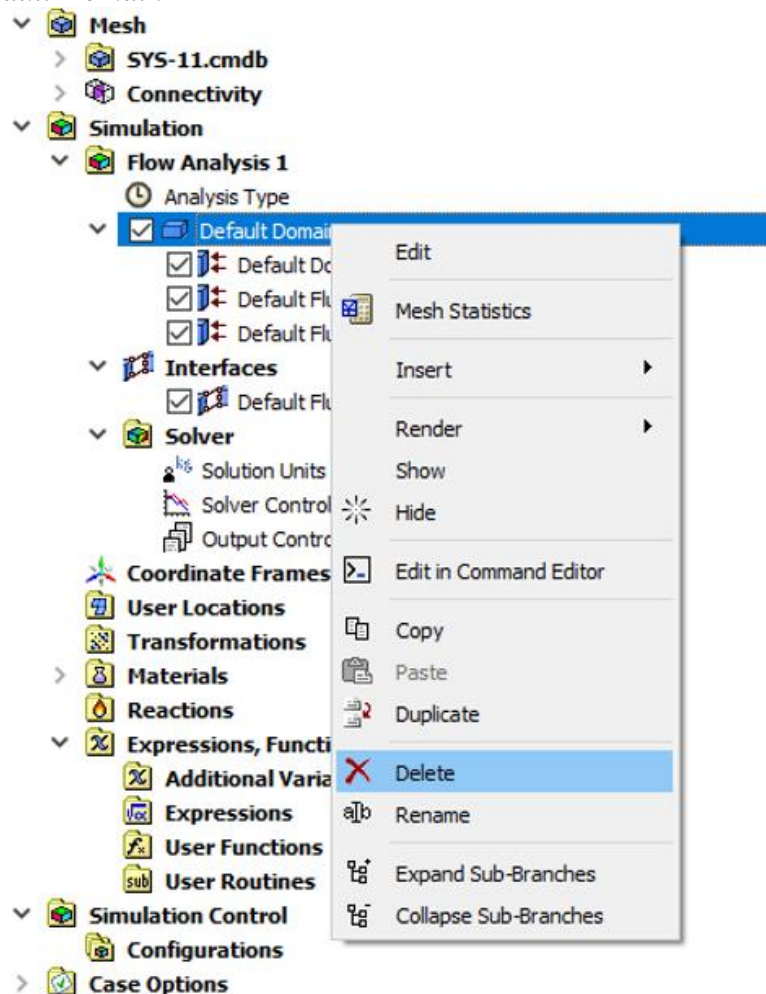
2) Otwórz *Analysis Type* przez dwukrotne kliknięcie LPM



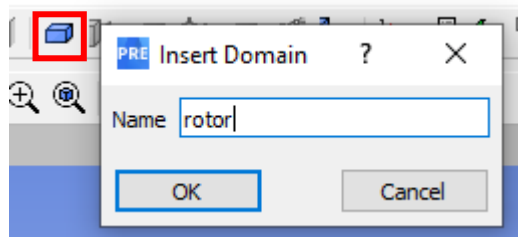
Zastosuj następujące ustawienia i zatwierdź OK.



3) Usuń *Default Domain*



4) Utwórz domenę *rotor*



i zastosuj następujące ustawienia

Outline

Domain: rotor

Details of **rotor** in **Flow Analysis 1**

Basic Settings

Fluid Models

Initialization

Solver Control

Location and Type

Location

Rotator\_domain

...

Domain Type

Fluid Domain

Coordinate Frame

Coord 0

Fluid and Particle Definitions...

Fluid 1

...

...

Fluid 1

Option

Material Library

Material

Air Ideal Gas

...

Morphology

Option

Continuous Fluid

☐ Minimum Volume Fraction

+

Domain Models

Pressure

Reference Pressure

1 [atm]

Buoyancy Model

Option

Non Buoyant

Domain Motion

Option

Rotating

Angular Velocity

1000 [rev min<sup>-1</sup>]

☐ Alternate Rotation Model

Axis Definition

Option

Coordinate Axis

Rotation Axis

Global X

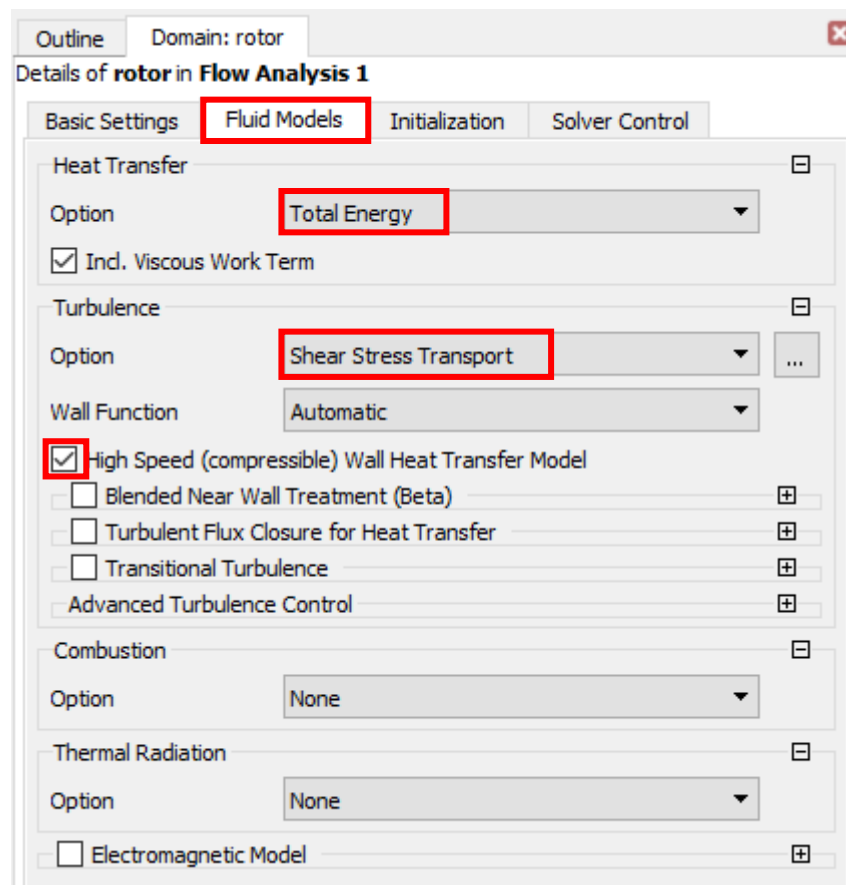
...

Mesh Deformation

Option

None





5) Analogicznie utwórz domenę *stator* i zastosuj następujące ustawienia

Outline

Domain: stator

Details of **stator** in **Flow Analysis 1**

Basic Settings

Fluid Models

Initialization

Solver Control

Location and Type

Location

Stator\_domain

...

Domain Type

Fluid Domain

Coordinate Frame

Coord 0

Fluid and Particle Definitions...

Fluid 1

...

...

Fluid 1

Option

Material Library

Material

Air Ideal Gas

...

Morphology

Option

Continuous Fluid

☐ Minimum Volume Fraction

+

Domain Models

Pressure

Reference Pressure

1 [atm]

Buoyancy Model

Option

Non Buoyant

Domain Motion

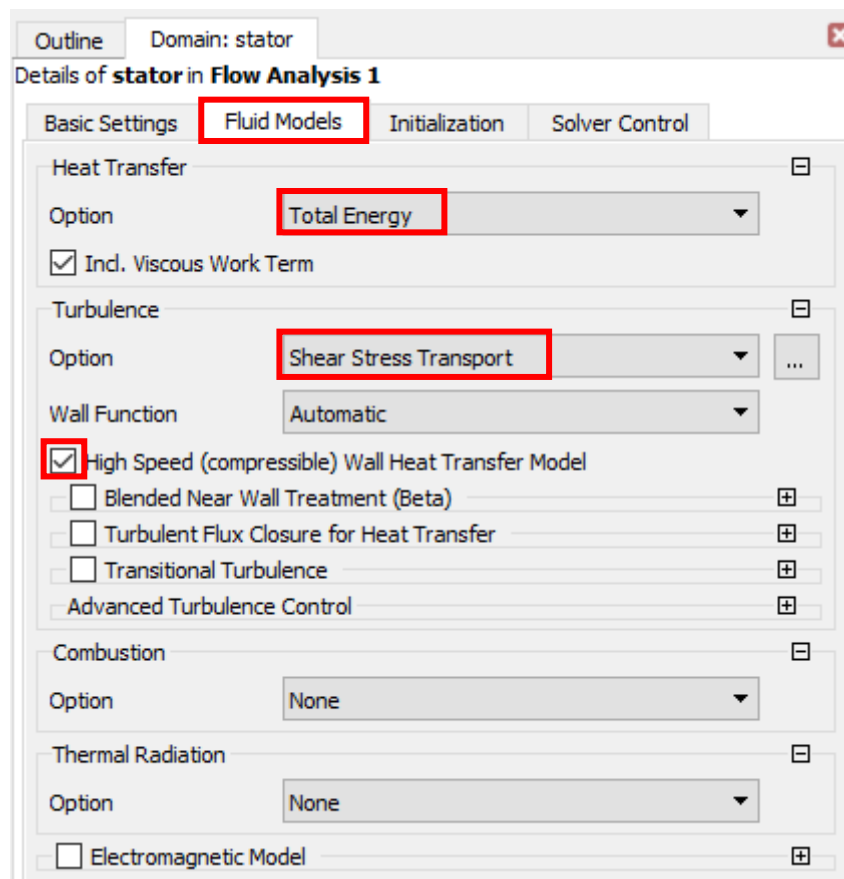
Option

Stationary

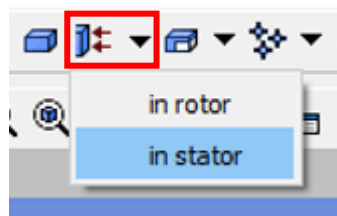
Mesh Deformation

Option

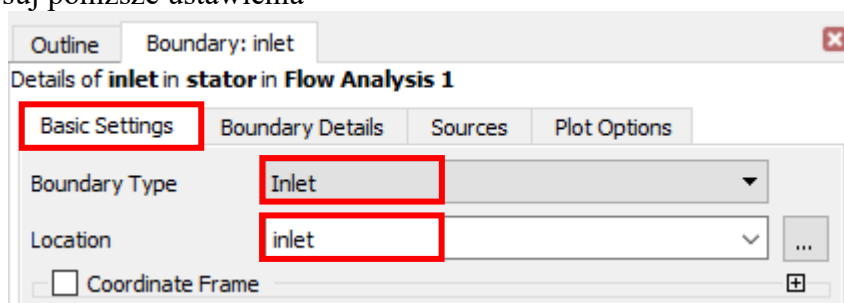
None

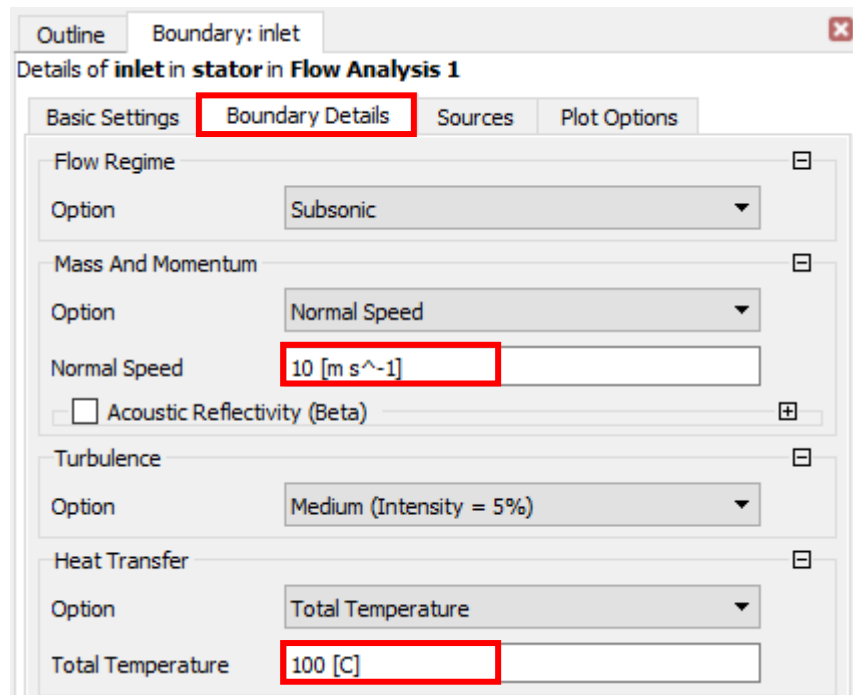


6) W domenie *stator*

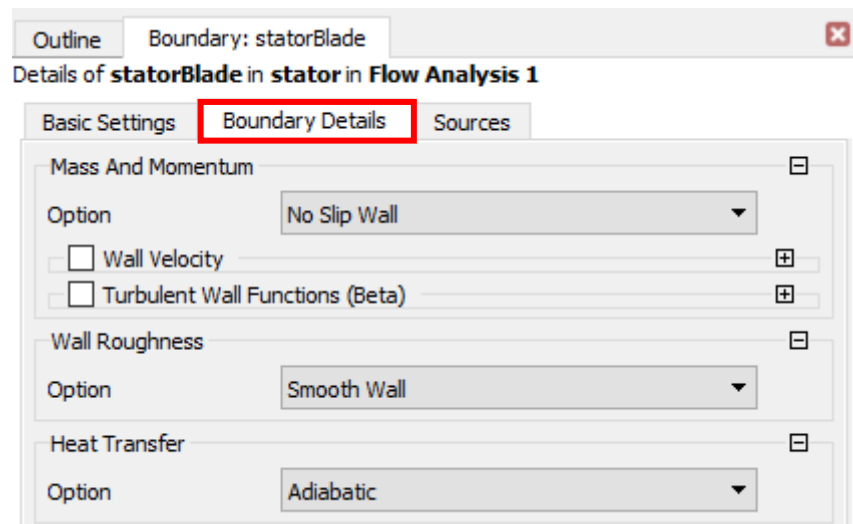
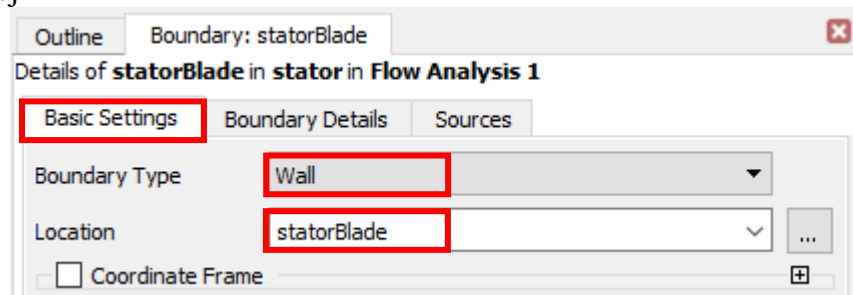


i zastosuj poniższe ustawienia

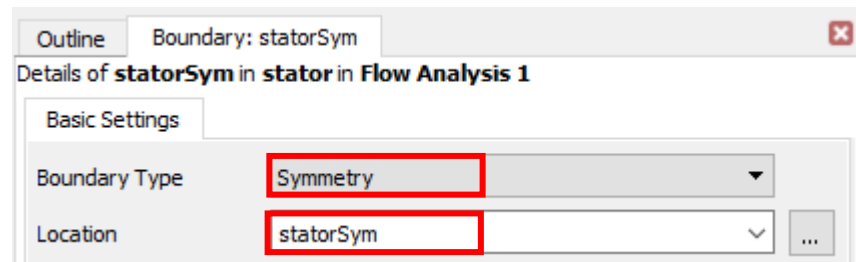




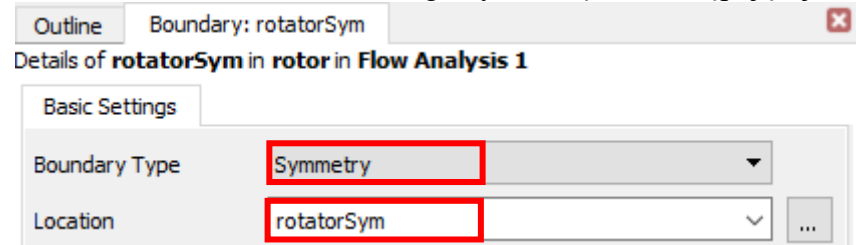
- 7) W domenie *stator* utwórz warunek brzegowy *statorBlade* o następującej definicji



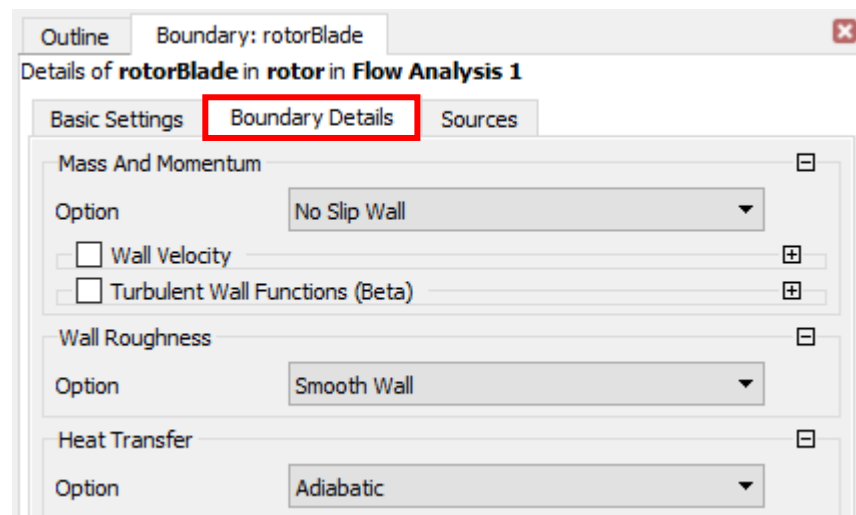
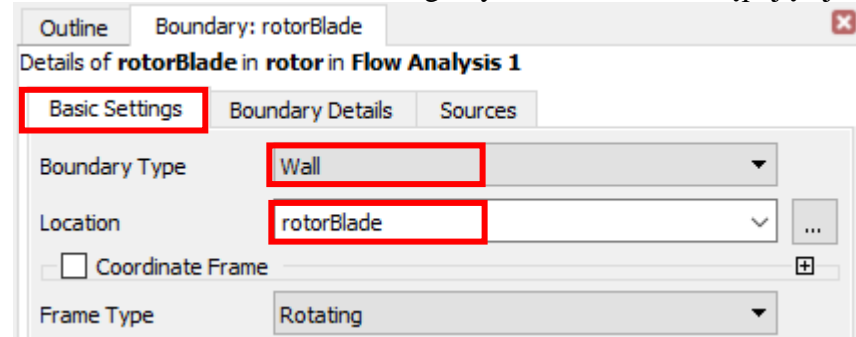
- 8) W domenie *stator* utwórz warunek brzegowy *statorSym* o następującej definicji



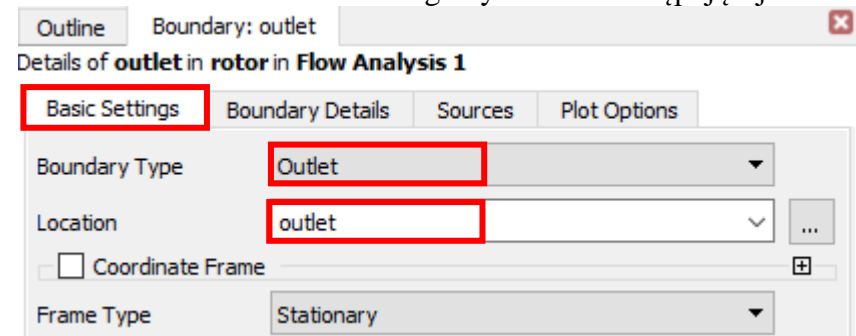
9) W domenie *rotor* utwórz warunek brzegowy *rotatorSym* o następującej definicji



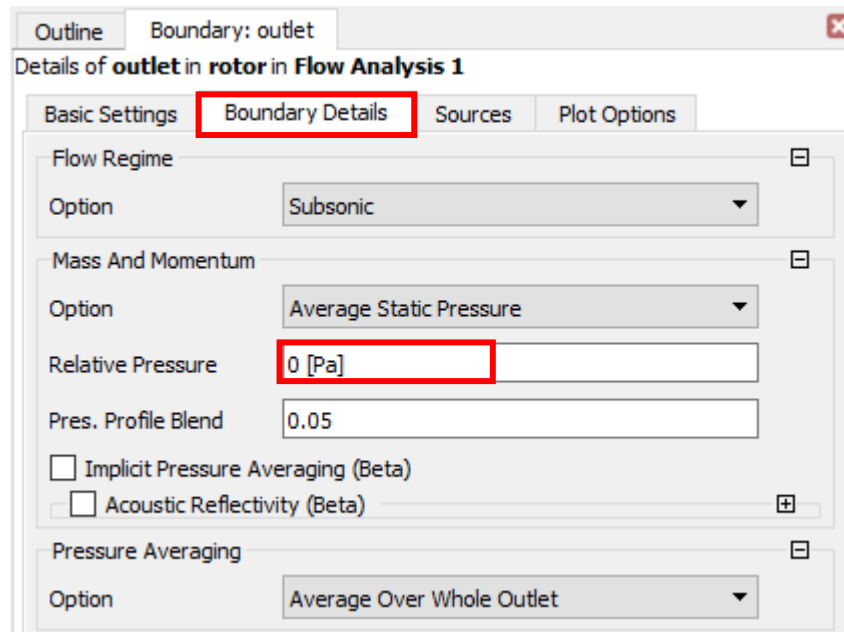
10) W domenie *rotor* utwórz warunek brzegowy *rotorBlade* o następującej definicji



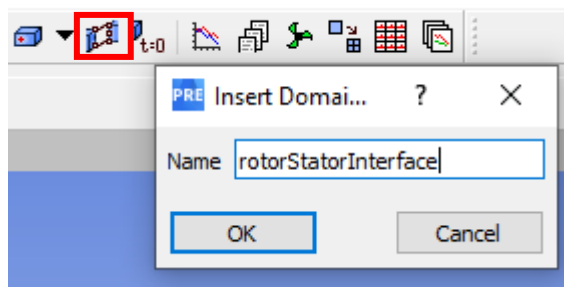
11) W domenie *rotor* utwórz warunek brzegowy *outlet* o następującej definicji



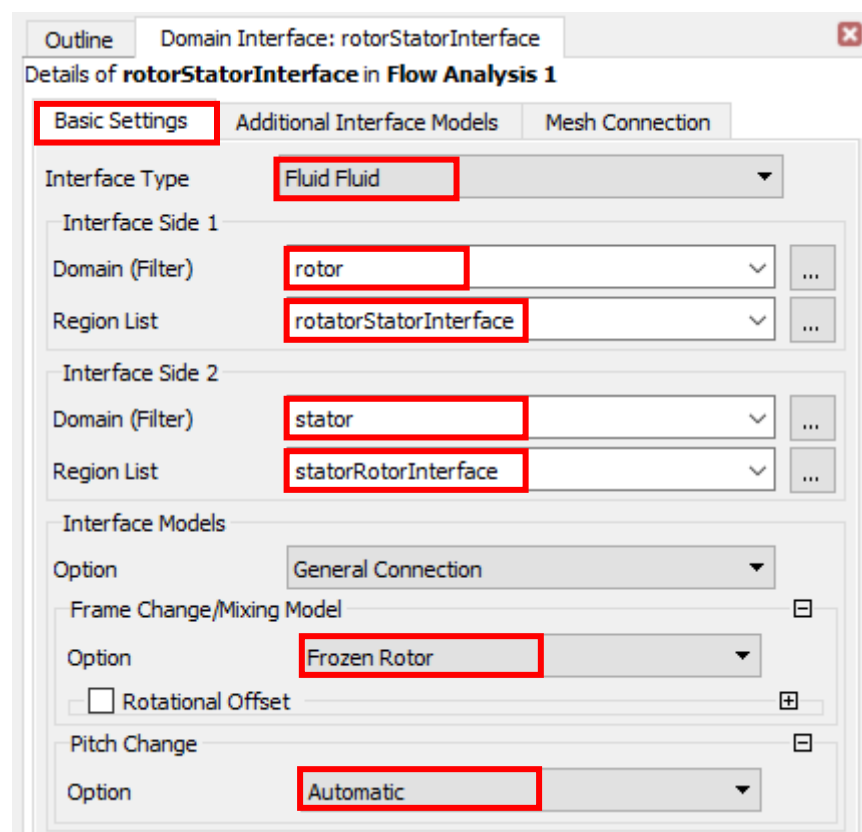




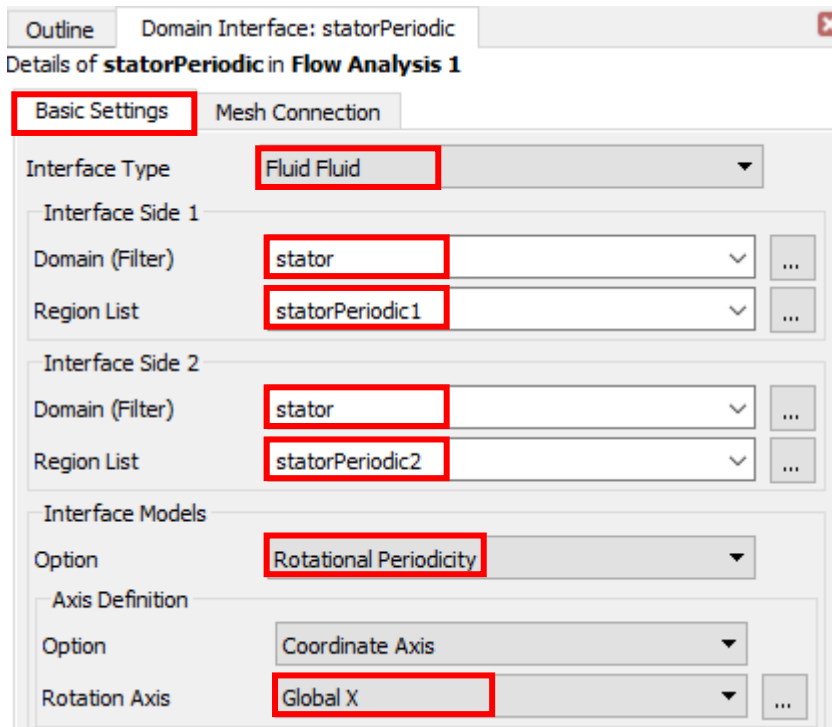
12) Utwórz *interface* o nazwie *rotorStatorInterface*

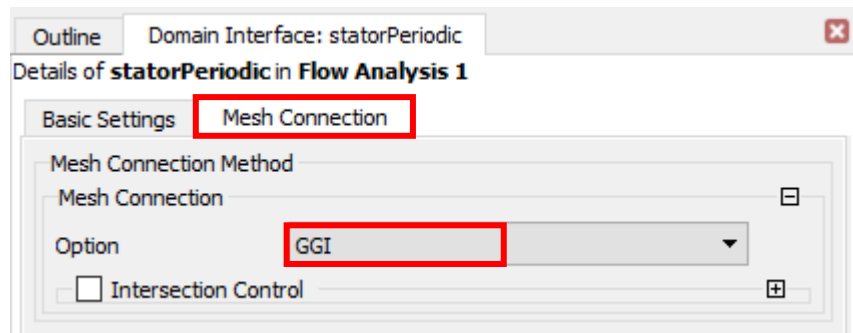


i zastosuj ustawienia

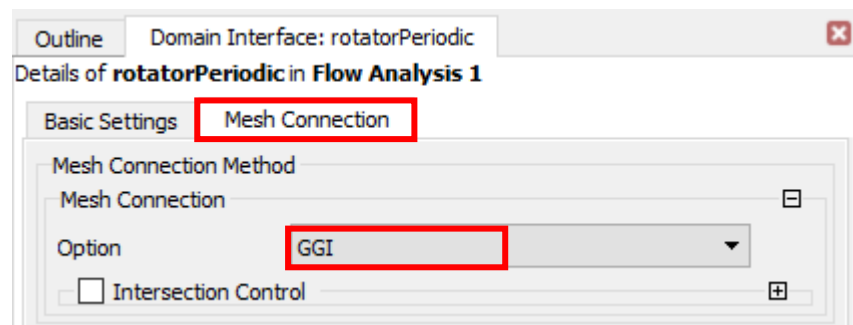
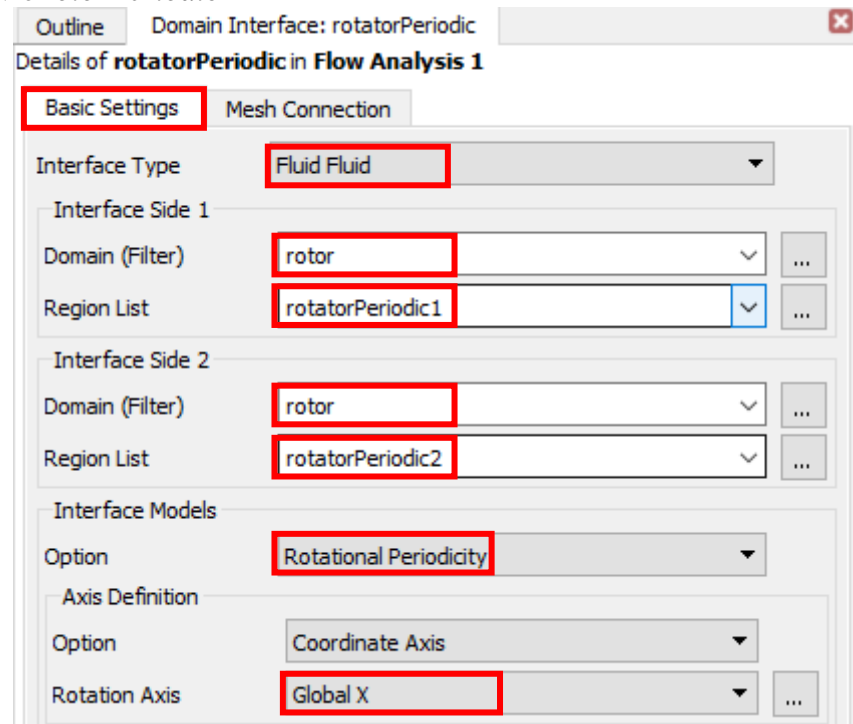


- 13) Utwórz periodyczne warunki brzegowe w domenie *stator* za pomocą *interface* o nazwie *statorPeriodic*

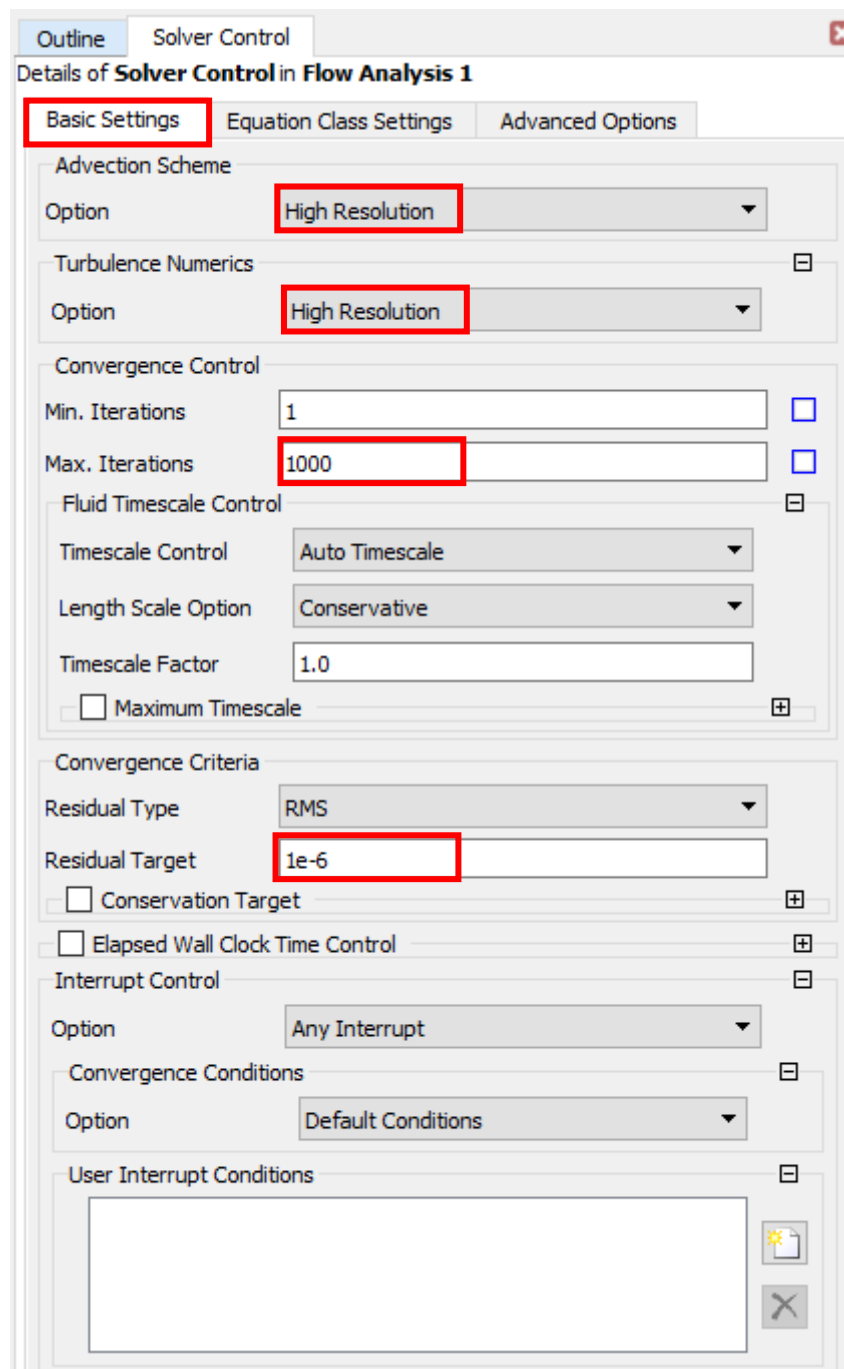




- 14) Utwórz okresowe warunki brzegowe w domenie *rotator* za pomocą *interface* o nazwie *rotorPeriodic*



- 15) Utwórz punkt monitorujący zawierający *expression* o następującej definicji:  
torque()@rotorBlade  
16) Otwórz *Solver Control* i zastosuj poniższe ustawienia



17) Zamknij program *Ansys CFX*.

## 2.4. OBLICZENIA

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

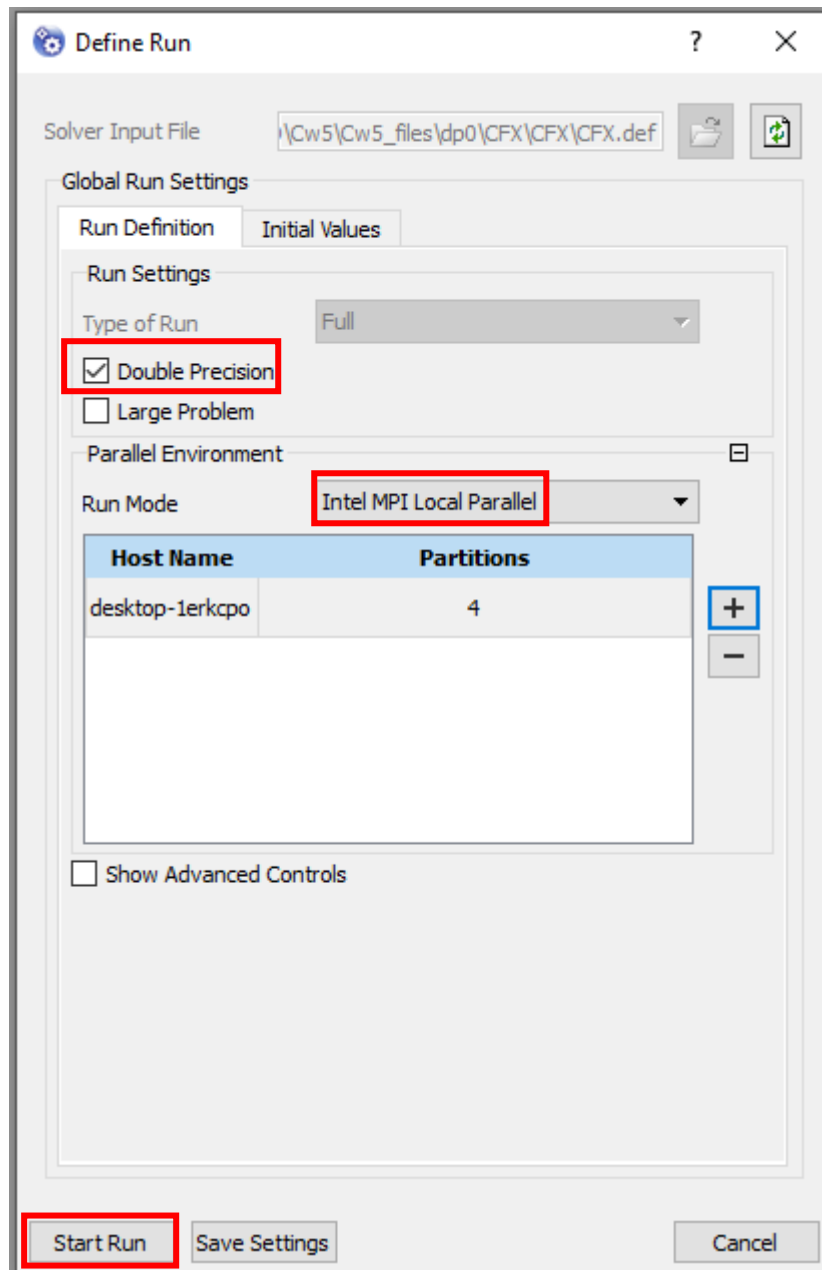
The screenshot displays the ANSYS Workbench interface. On the left, the 'Analysis Systems' and 'Component Systems' panes are visible. The 'Analysis Systems' pane lists various analysis types, including 'Fluid Flow (CFX)'. The 'Component Systems' pane lists various components, including 'CFX'. In the center, a 'Mesh' component (A) is connected to a 'CFX' component (B). The 'CFX' component (B) has a 'Solution' sub-component highlighted with a red box. Below the components, the 'Messages' pane shows a table with the following content:

Messages	
	A
1	Type

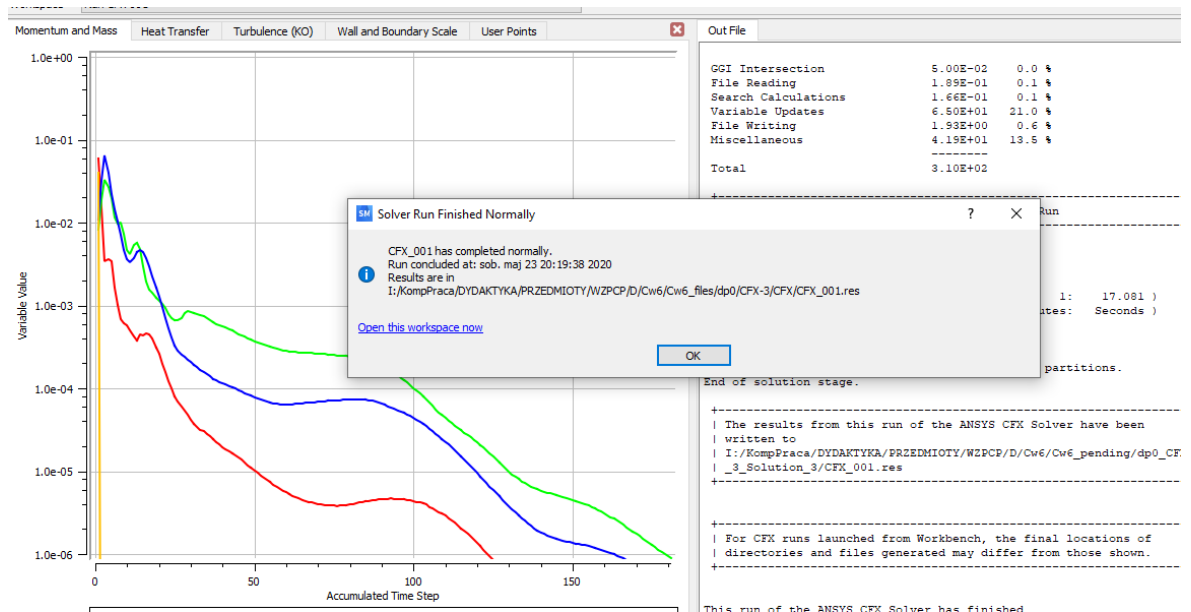
At the bottom of the interface, a status bar shows a red dot icon and the text 'Starting CFX-SolverManager...' highlighted with a red box.

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





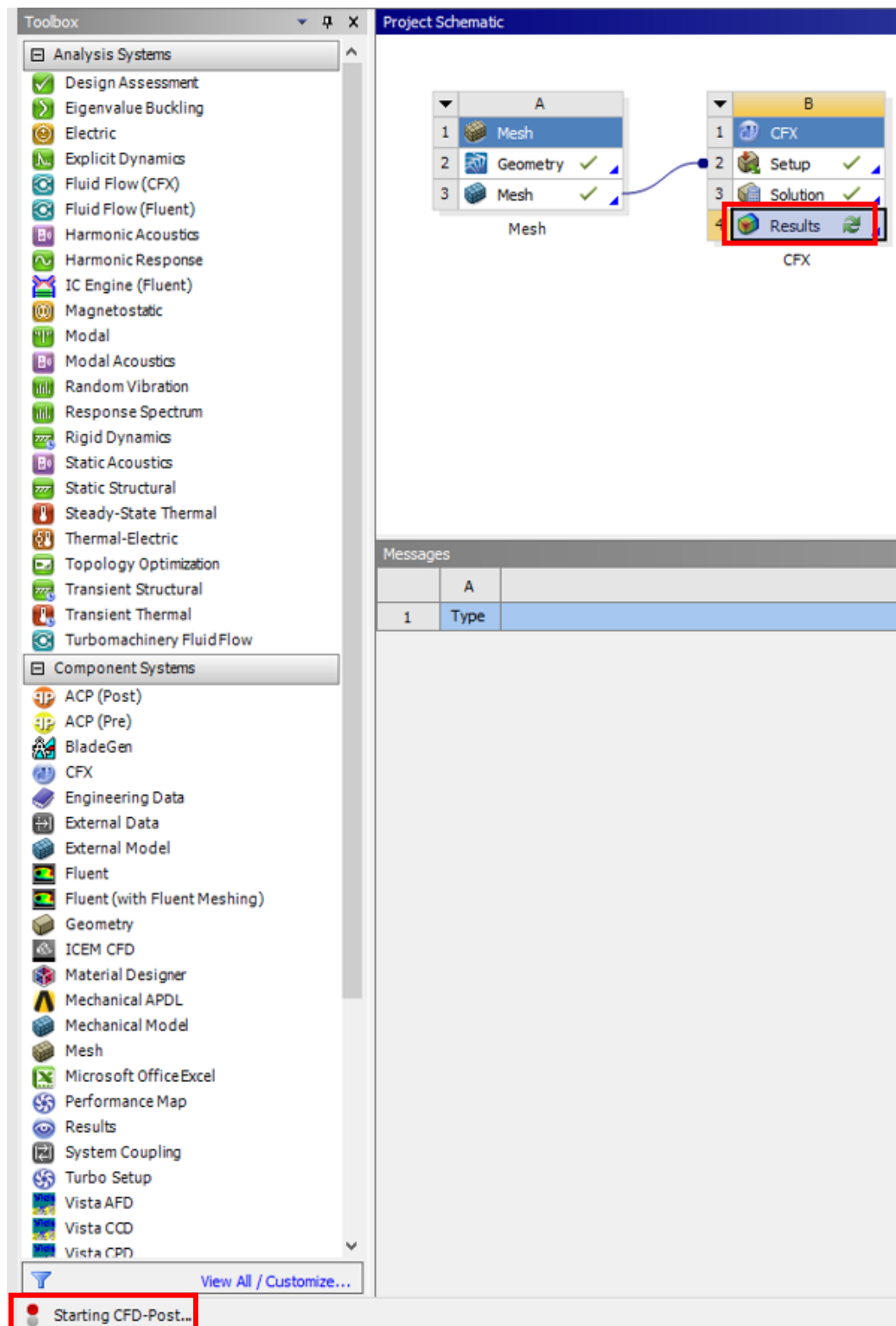
- 3) Obliczenia trwają około 5 minut. Zbieżność zostaje osiągnięta po około 150 iteracjach. Obserwuj poszczególne zakładki rezidułów jak się zmieniają. Szczególnie zwróć uwagę na zakładkę *User Point*, gdzie pokazany jest moment obrotowy na profilu łopatkii rotora. Stan ustalony będzie osiągnięty, gdy krzywa ustabilizuje się, co nastąpi po około 50 iteracjach. Dodatkowe iteracje powinny być wykonane aż do ustabilizowania się wszystkich rezidułów. W celu wcześniejszego zatrzymania naciśnij przycisk *Stop* u góry ekranu i potwierdź *Yes*.



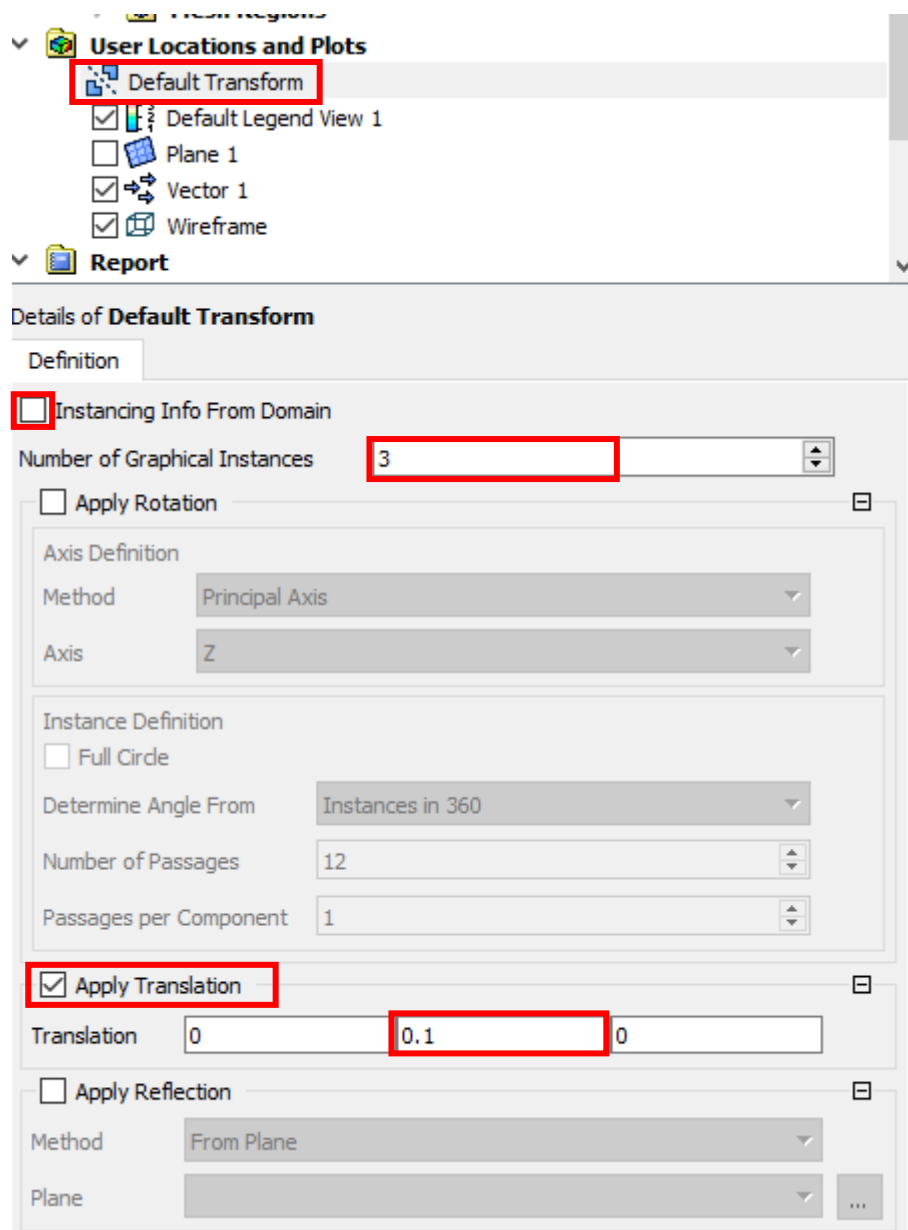
- 4) Po skończeniu obliczeń program wyświetli komunikat potwierdzający.
- 5) Zatwierdź *OK* i zamknij *Ansys CFX Solver Manager*. Zapisz projekt w *Workbench*.

## 2.5. OPRACOWANIE WYNIKÓW

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



2) W celu lepszej obserwacji wyników zastosuj *Default Transform*



- 3) 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 w układzie względnym – *Velocity*
  - e. Prędkości w układzie bezwzględnym – *Velocity in Stn Frame*
  - f. Liczby Macha – *Mach Number*
  - g. Gęstości – *Density*
  - h. Temperatury – *Temperature*
  - i. Całkowitej temperatury – *Total temperature*
  - j. Turbulentnej energii kinetycznej – *Turbulence Kinetic Energy*
  - k. Turbulentnej dyssypacji energii – *Turbulence Eddy Dissipation*
- 4) Wykorzystując funkcję *areaAve* oblicz w tabeli:
  - a. Wartość średniej prędkości na wlocie
  - b. Wartość strumienia masy na wlocie i wylocie
  - c. Wartość średniej temperatury na powierzchni łopatek

- d. Wartość średnią zmiennej  $Y_{plus}$  na powierzchni łopatek
- 5) Pokaż kontury zmiennej  $Y_{plus}$  na powierzchni łopatek
- 6) Wyświetl linie prądu na poprzednio utworzonej płaszczyźnie
- 7) \*Oblicz moc generowaną w stopniu turbiny

### 3. WYNIKI JAKIE NALEŻY UMIEŚCIĆ W RAPORCIE

- 1) Kontury w płaszczyźnie równoległej do powierzchni *sym*:
  - a. Ciśnienia – *Pressure*
  - b. Ciśnienia absolutnego – *Absolute Pressure*
  - c. Ciśnienia całkowitego – *Total Pressure*
  - d. Prędkości w układzie względnym – *Velocity*
  - e. Prędkości w układzie bezwzględnym – *Velocity in Stn Frame*
  - f. Liczby Macha – *Mach Number*
  - g. Gęstości – *Density*
  - h. Temperatury – *Temperature*
  - i. Całkowitej temperatury – *Total temperature*
  - j. Turbulentnej energii kinetycznej – *Turbulence Kinetic Energy*
  - k. Turbulentnej dyssypacji energii – *Turbulence Eddy Dissipation*
- 2) W tabeli umieścić wyniki:
  - a. średniej prędkości na wylocie
  - b. średniego strumienia masy na wlocie i wylocie
  - c. średniej temperatury na powierzchni łopatek
  - d. średniej wartości zmiennej  $Y_{plus}$  na powierzchni łopatek
- 3) Zdjęcie konturów zmiennej  $Y_{plus}$  na powierzchni łopatek
- 4) Zdjęcie linii prądu.
- 5) Odpowiedzieć na pytanie: Co to jest  $Y_{plus}$ ? Na podstawie analizy wartości zmiennej  $Y_{plus}$ , 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 wykonaj obliczenia dla: a) rzadszej siatki numerycznej, b) zagęszczonej siatki numerycznej (szczególnie przy powierzchni łopatek). Sprawdź jaki to ma wpływ na obliczenia i na wartość zmiennej  $Y_{plus}$  i momentu obrotowego.

### 5. LITERATURA

- [1] I.H. Johnston, Dianne Smart, An experiment in turbine blade profile design, Ministry of technology Aeronautical Research Council, London, 1967.