



Politechnika Wrocławska

Wydział Mechaniczno-Energetyczny
Studia stacjonarne

Wybrane zagadnienia procesów ciepłno-przepływowych

Ćwiczenie nr 3

Modelowanie przepływów wielofazowych

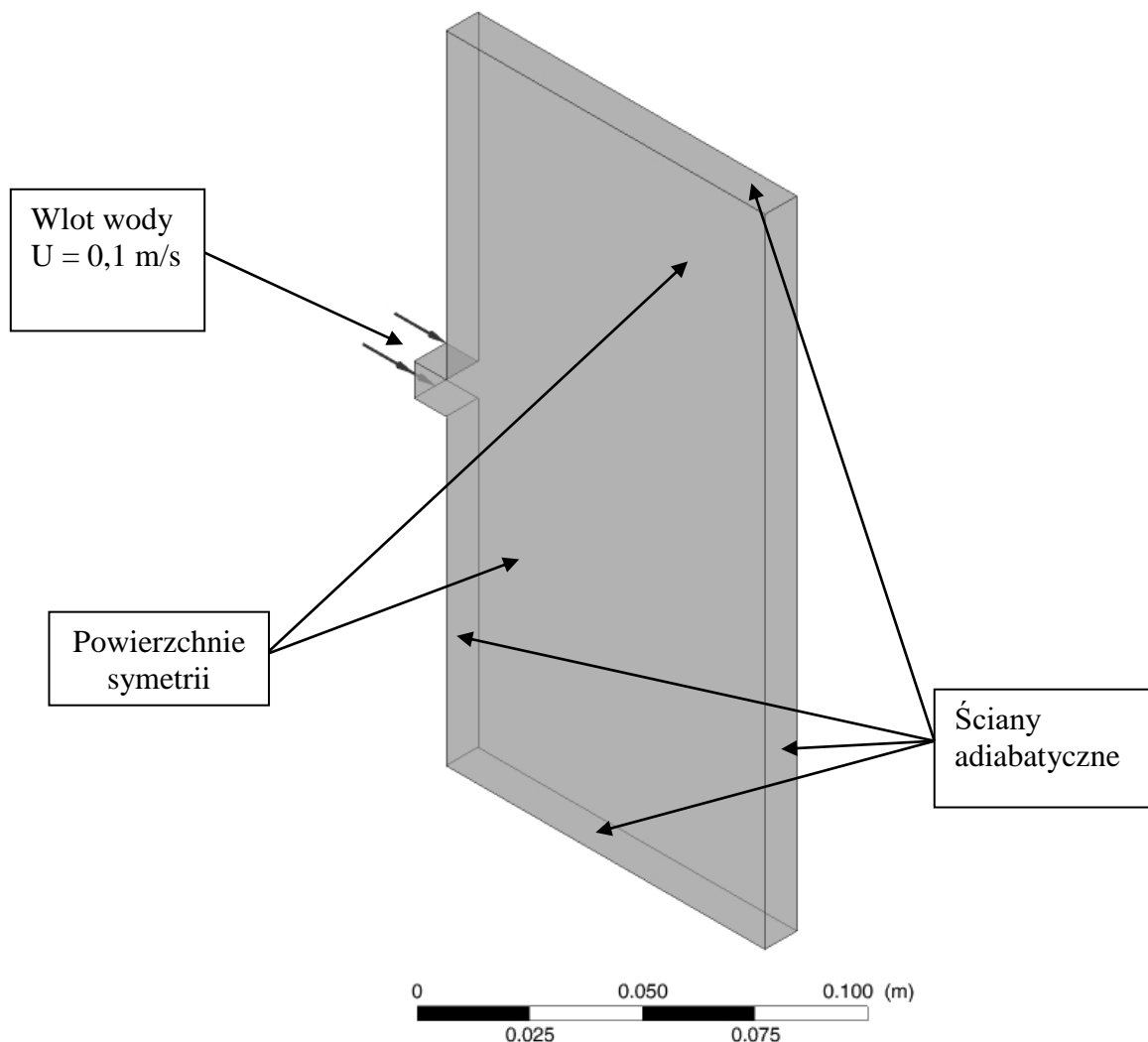
Wrocław 2020

SPIS TREŚCI

1.	Wprowadzenie	2
2.	Dwuwymiarowy przepływ dwufazowy woda-powietrze	3
2.1.	Przygotowanie geometrii	3
2.2.	Przygotowania siatki numerycznej	18
2.3.	Przygotowanie modelu numerycznego	31
2.4.	Obliczenia	44
2.5.	Opracowanie wyników	47

1. WPROWADZENIE

W ćwiczeniu zostanie zaprezentowany sposób modelowania prostego przepływu dwufazowego. W chwili początkowej zbiornik jest wypełniony powietrzem pod ciśnieniem atmosferycznym. W pewnej chwili zostaje otwarty zawór i do zbiornika zaczyna wpływać woda z prędkością 0,1 m/s. Zawór jest otwarty przez 10 s. W celu skrócenia czasu obliczeń przypadek zostanie zamodelowany jako dwuwymiarowy. Schemat analizowanego przypadku przedstawiony jest na rys. 1.



Rys. 1. Schemat zagadnienia napelniania wodą zbiornika wypełnionego powietrzem pod ciśnieniem atmosferycznym

2. DWUWYMIAROWY PRZEPŁYW DWUFAZOWY WODA-POWIETRZE

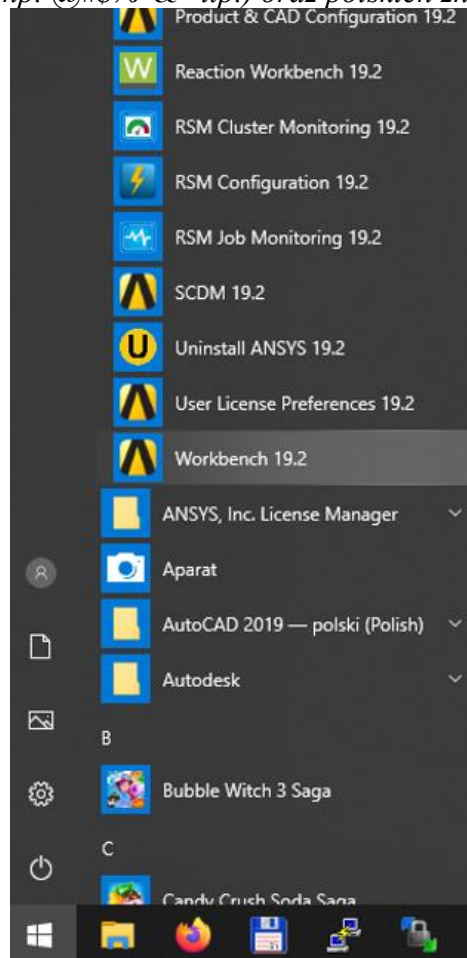
2.1. PRZYGOTOWANIE GEOMETRII

Wykonaj następujące zadania:

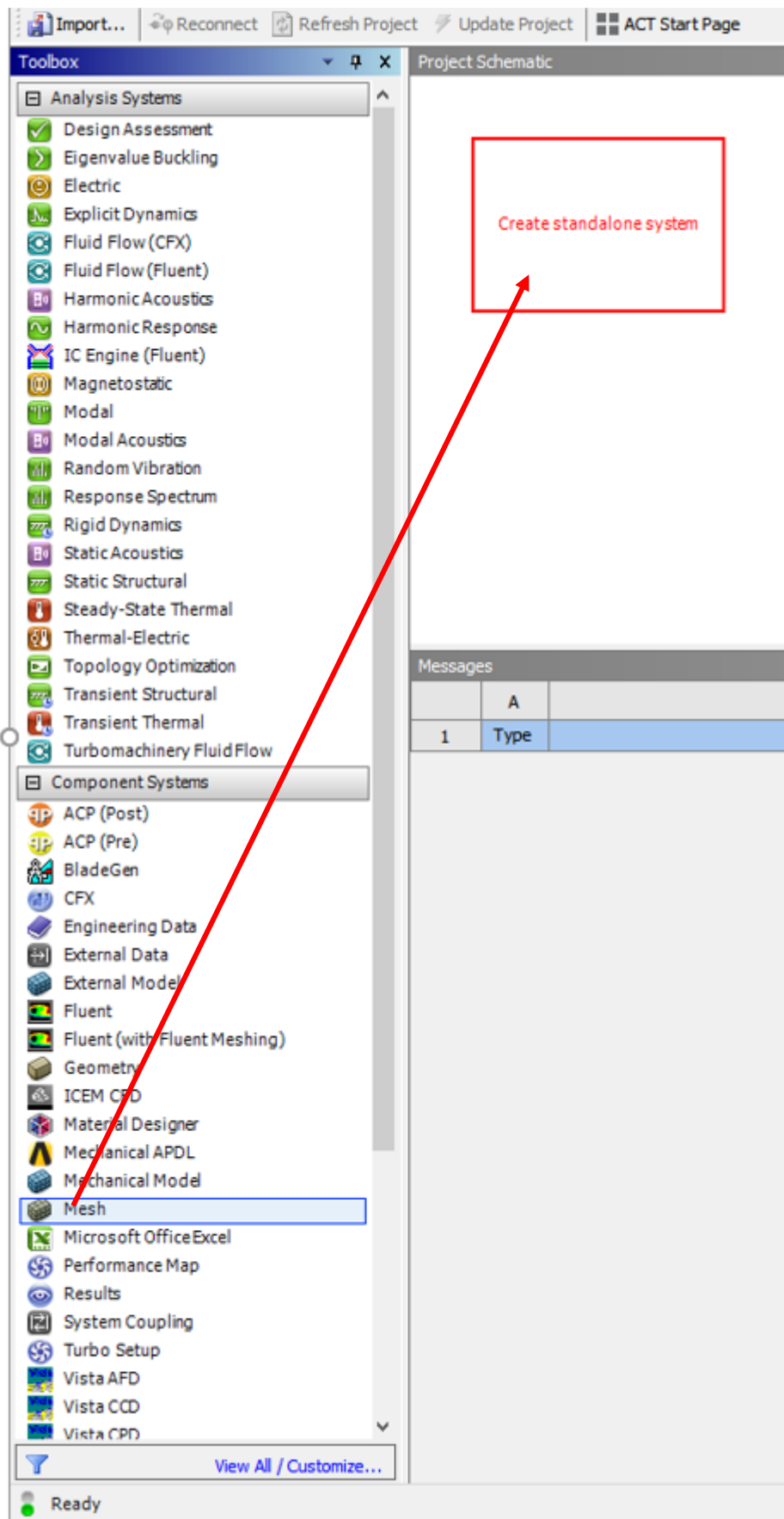
- 1) Otwórz program Ansys Workbench i zapisz projekt o nazwie Cw3 w katalogu o nazwie Cw3 (*File->Save As*).

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

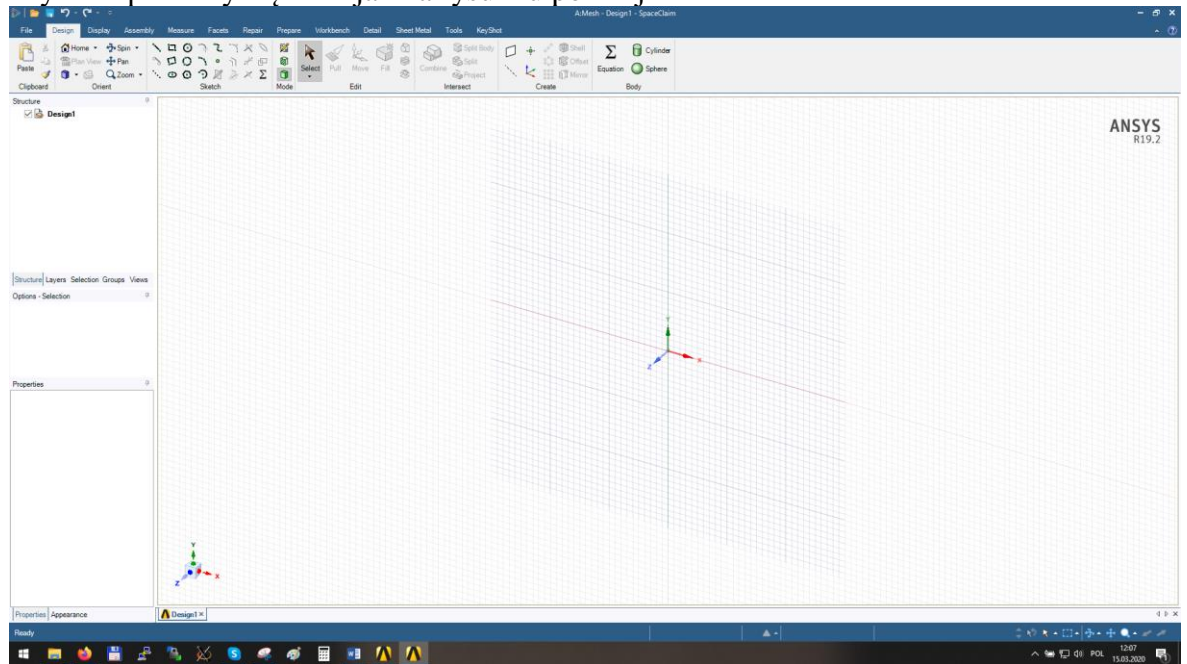
Messages


	A	
1	Type	

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




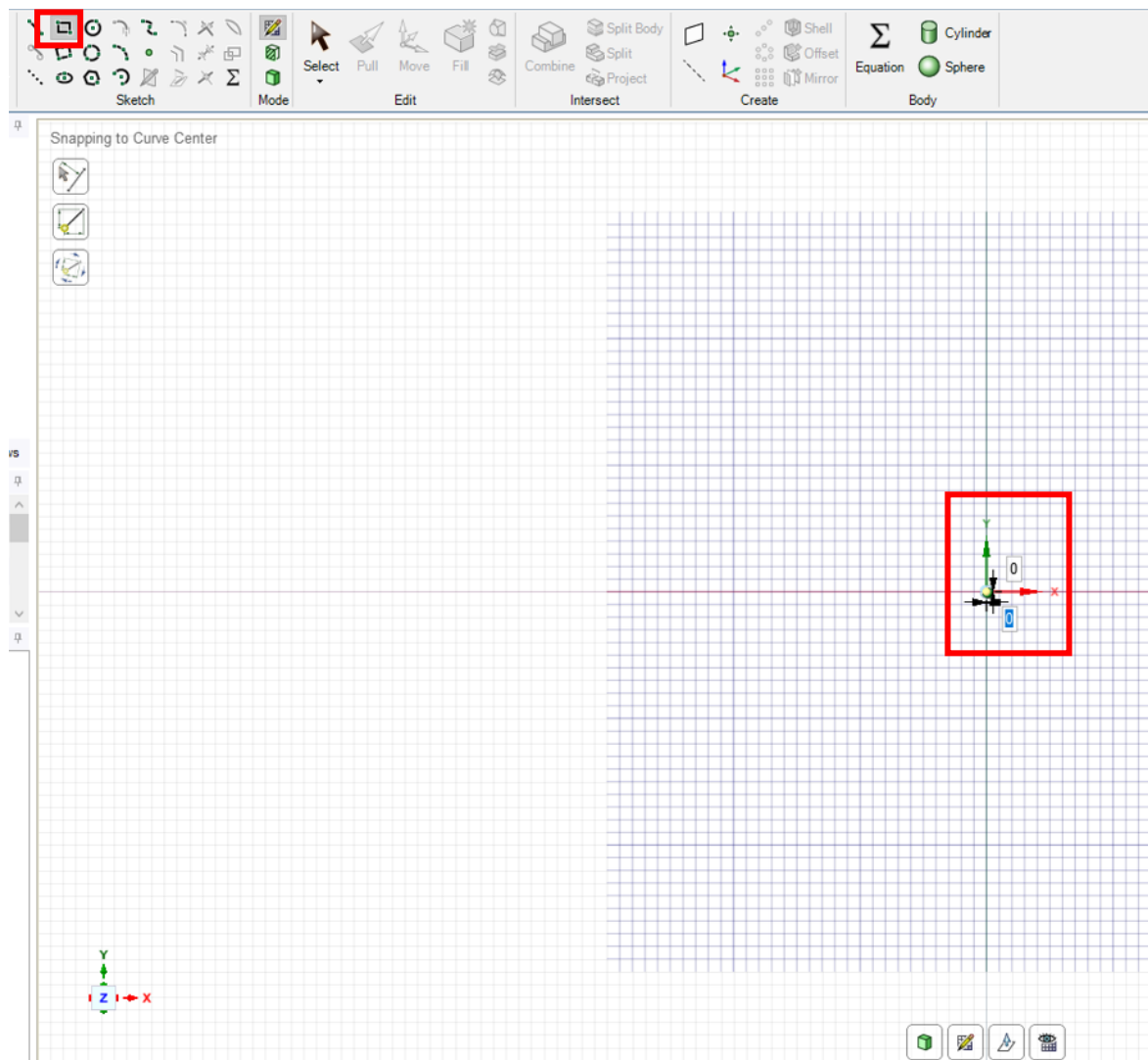
Wybierz płaszczyznę X-Y jak na rysunku poniżej.



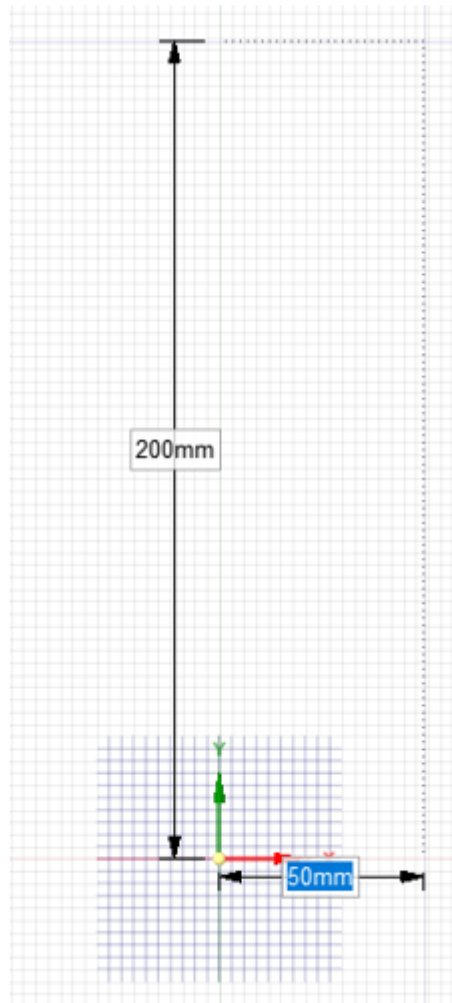
- 4) Kliknij ikonę *Plan View*  w celu obrócenia płaszczyzny rysowania równolegle do ekranu (możesz też to zrobić wciskając *Shift + v*).




- 5) W panelu u góry ekranu wybierz ikonę rysowania okręgu  i zbliż kursor do środka układu współrzędnych po czym naciśnij klawisz *Shift* – pojawią się dwa pola do edycji wymiarów jak pokazano poniżej.



Pomiędzy polami edycji wymiaru można się przełączać klawiszem *Tab*. Ustaw wymiar poziomy na 50 natomiast pionowy na 200 mm i naciśnij klawisz *Enter*.

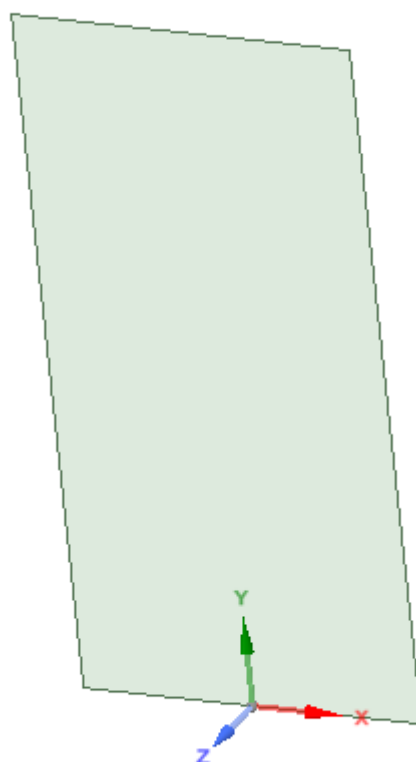


Program przejdzie do rysowania prostokąta. Wpisz wartość 100 mm dla wymiaru poziomego i 200 dla pionowego i zatwierdź klawiszem *Enter*. **Pamiętaj**, że w razie niepowodzenia w każdym momencie możesz kliknąć ikonę cofnięcia  (znajduje się w lewym górnym rogu ekranu) lub *Ctrl* + *Z*.

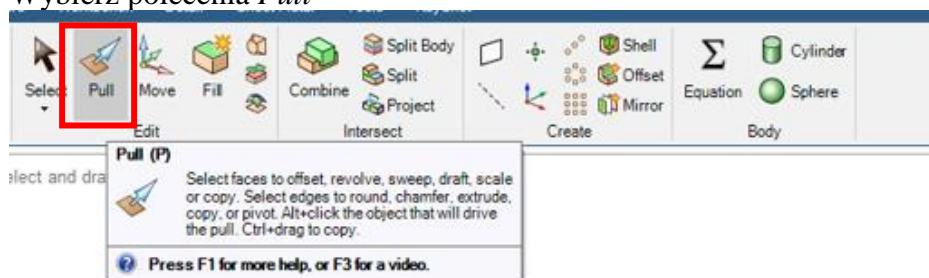
- 6) W celu wyjścia z polecenia rysowania prostokąta naciśnij klawisz *Esc* i LPM kliknij ikonę przejścia do rysowania 3D



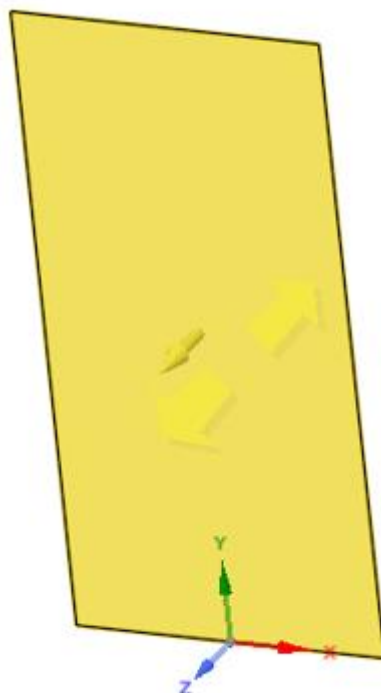
- 7) Obróć widok za pomocą przytrzymania przycisku myszy *Scroll* i jego przesunięcia tak, aby uzyskać widok izometryczny podobny do tego poniżej.



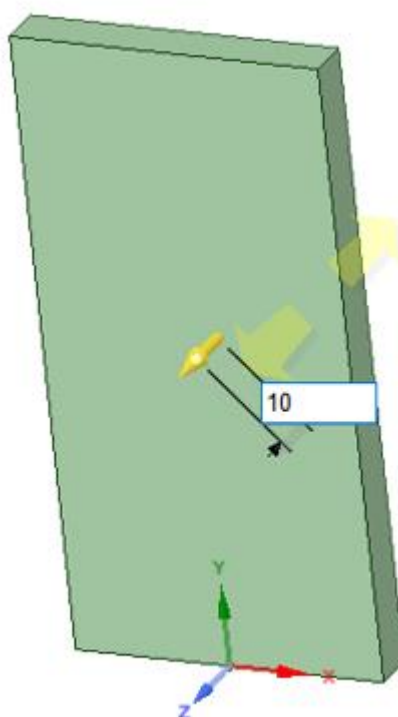
8) Wybierz polecenia *Pull*



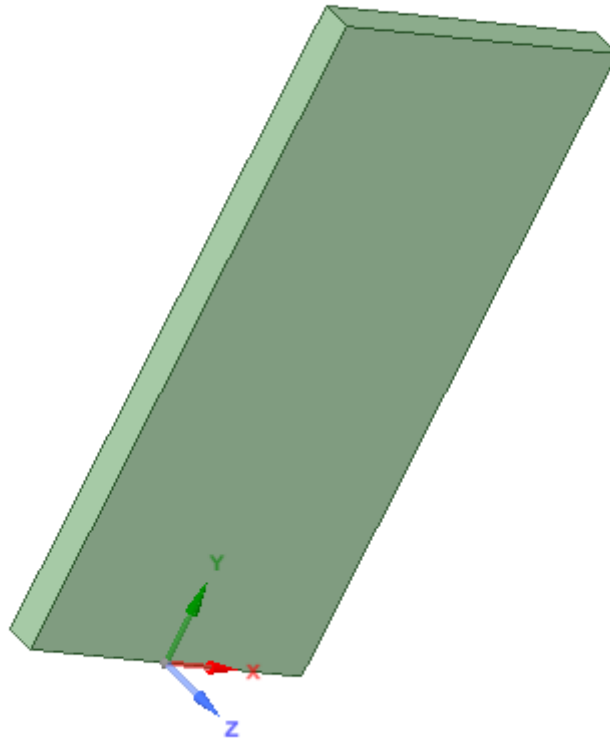
Następnie ustaw kursor tak jak pokazano na rysunku poniżej



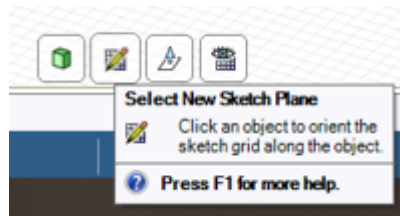
Przesuwając kursor przy wciśniętym LPM zauważysz zmieniający się wymiar długości rury. Wpisz 10 mm i zatwierdź *Enter* (możliwe, że będziesz musiał to zrobić przy wciśniętym LPM).



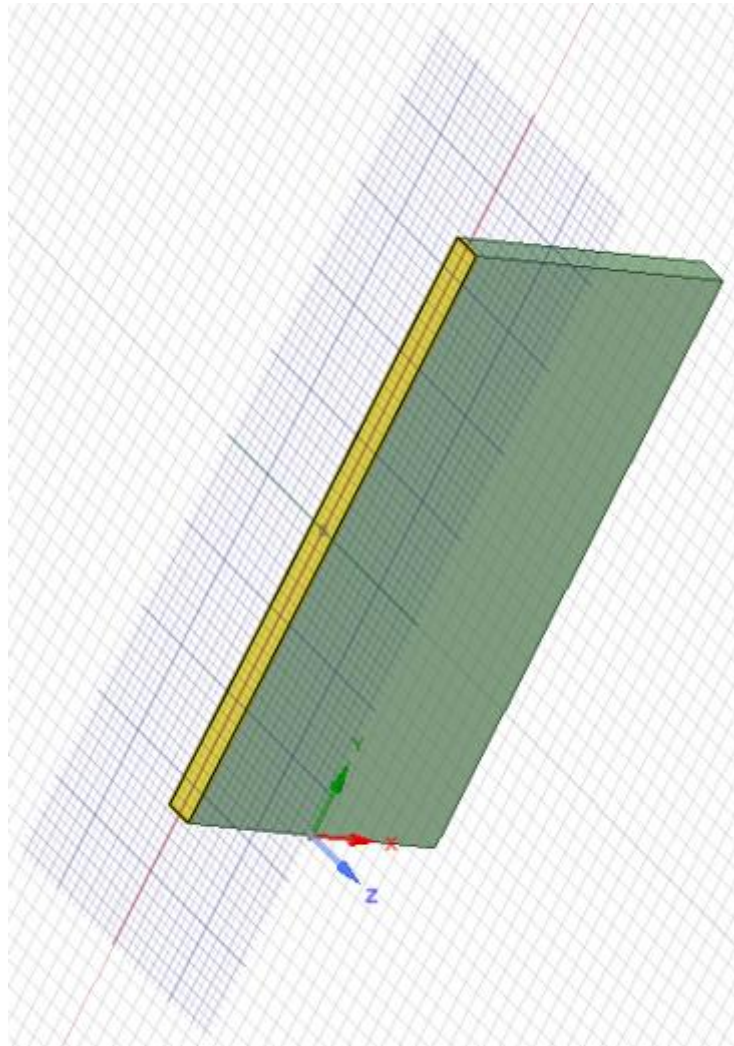
9) Za pomocą przycisku *Scroll* obróć model, aby zobaczyć płaszczyznę YZ




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



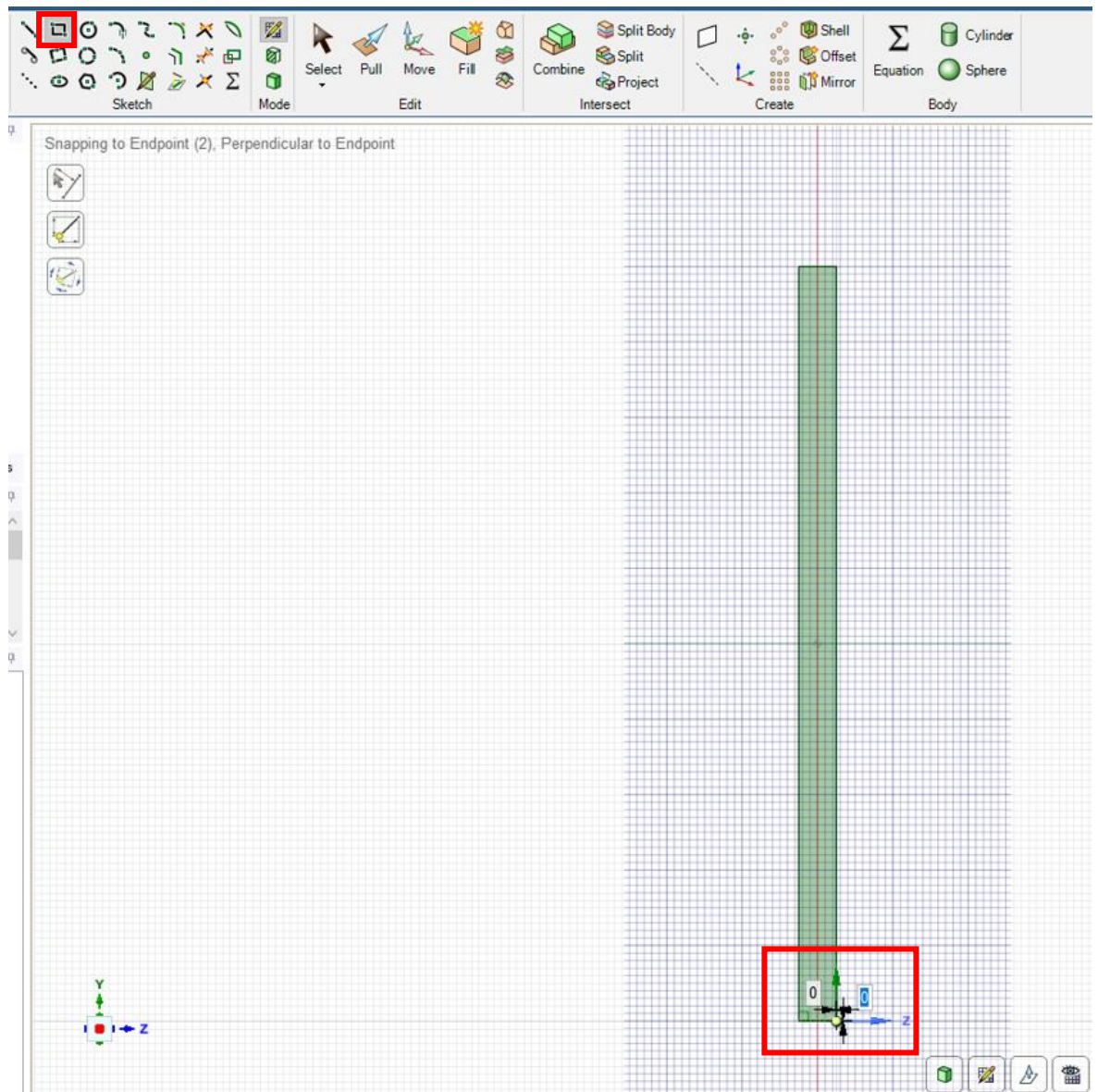
Wybierz płaszczyznę Y-Z jak na rysunku poniżej.



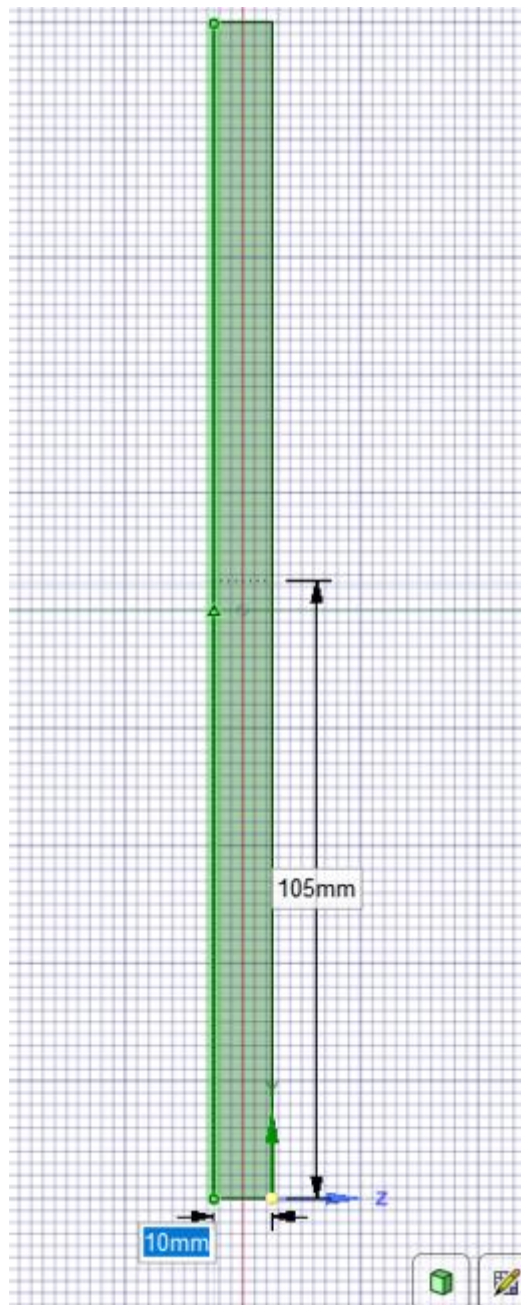
- 11) Kliknij ikonę *Plan View*  w celu obrócenia płaszczyzny rysowania równoległe do ekranu (możesz też to zrobić wciskając *Shift + v*).



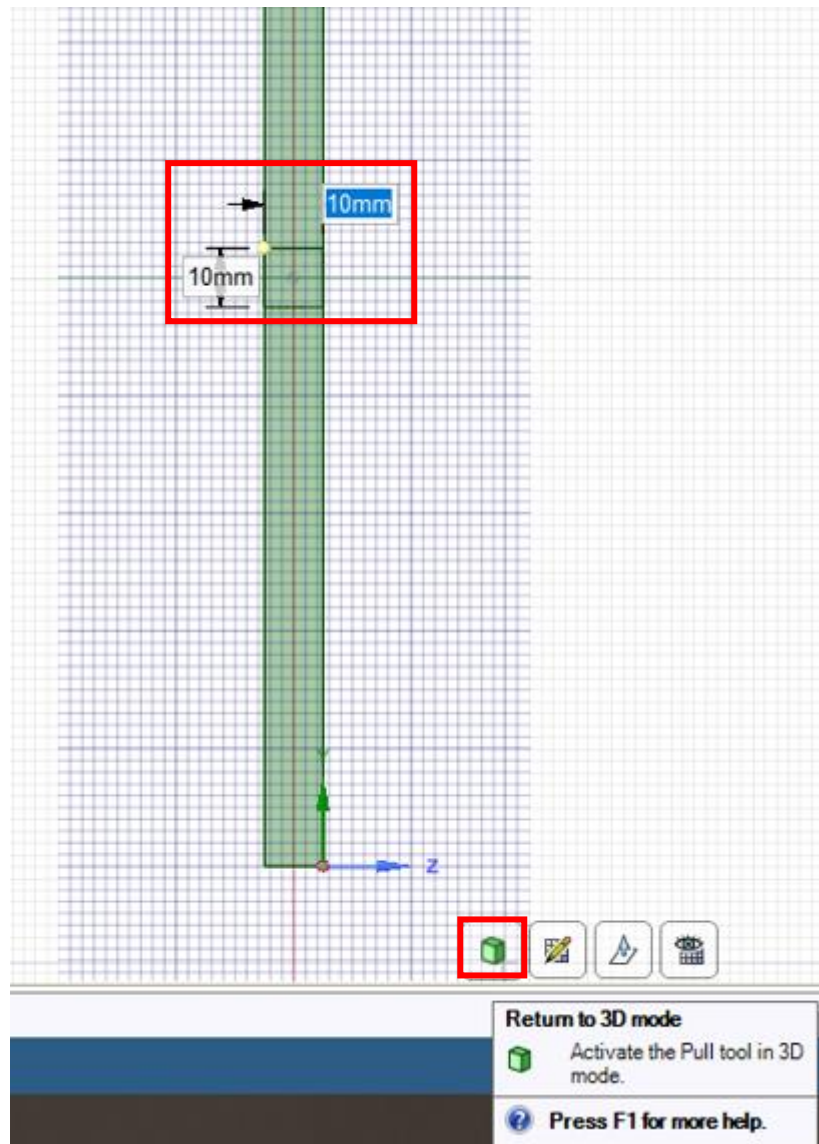
- 12) Wybierz ikonę rysowania prostokąta i zbliż kursor do początku układu współrzędnych, a następnie wciśnij klawisz *Shift*



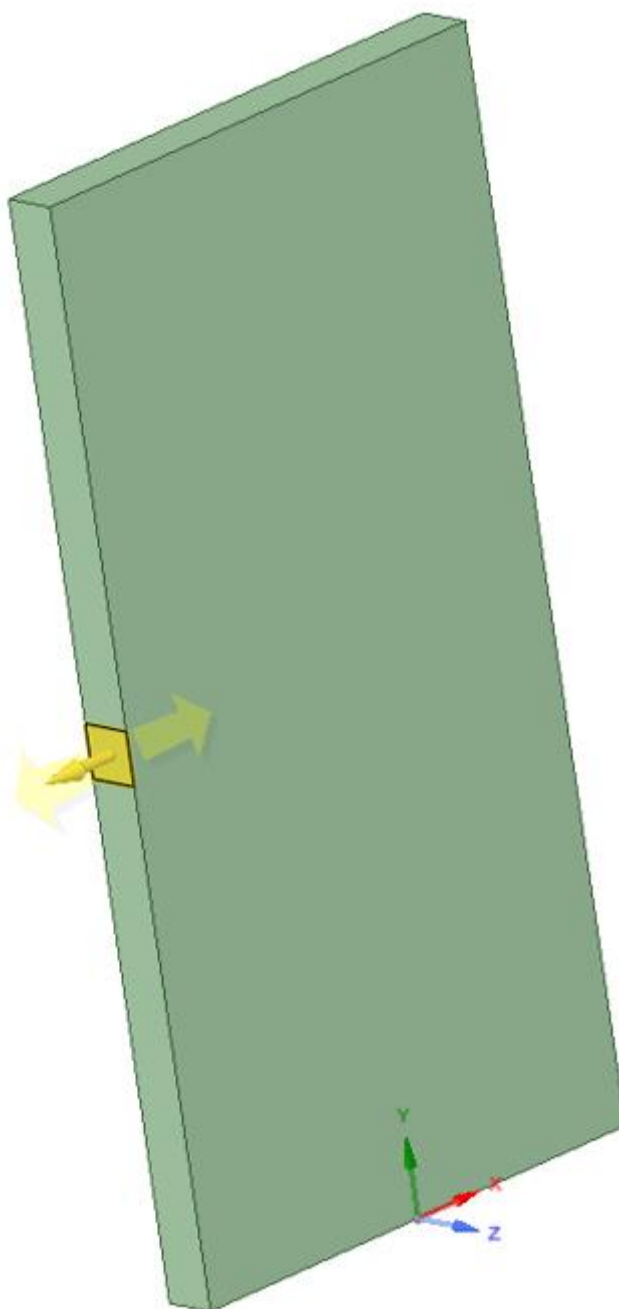
13) Zastosuj wymiary jak poniżej i zatwierdź *Enter* (pomiędzy wymiarami przełączaj się klawiszem *Tab*)



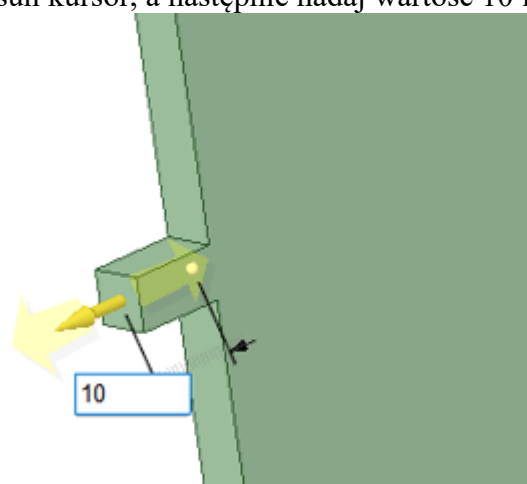
Następnie zastosuj poniższe wymiary i przejdź do rysowania 3D



14) Ustaw kursor jak na rysunku poniżej



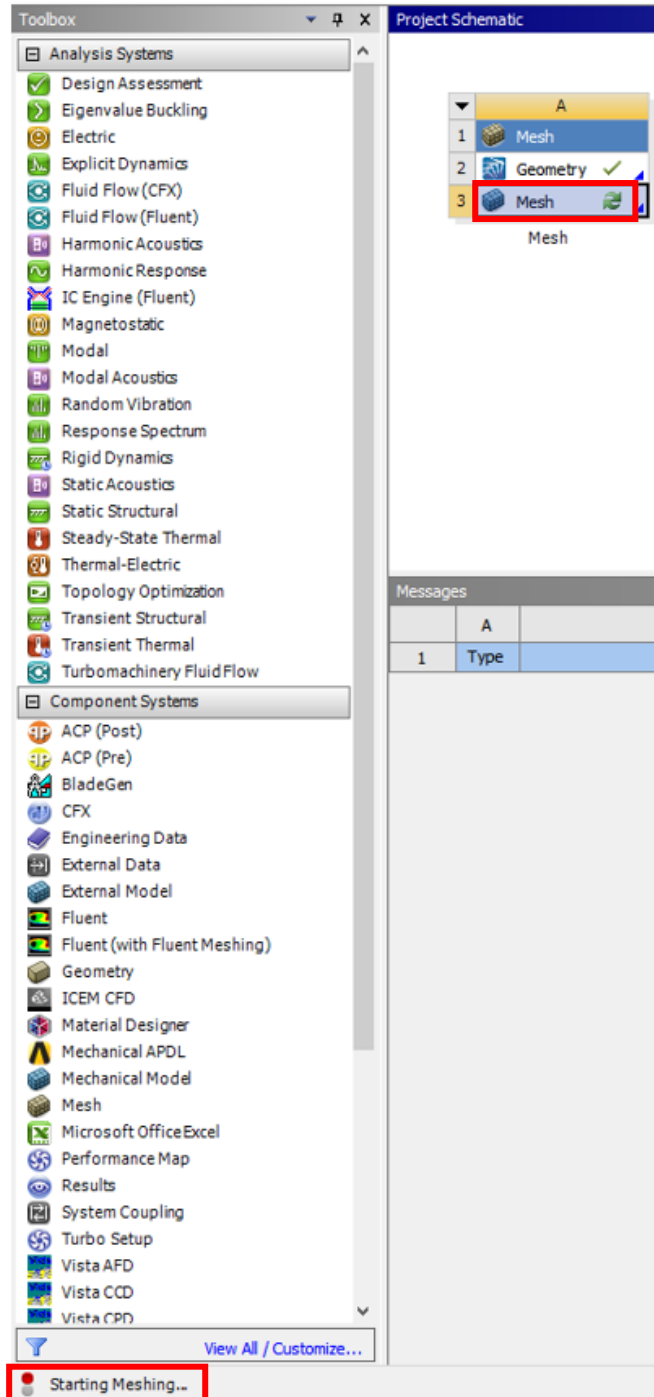
15) Naciśnij LPM i przesun kursor, a następnie nadaj wartość 10 i zatwierdź *Enter*



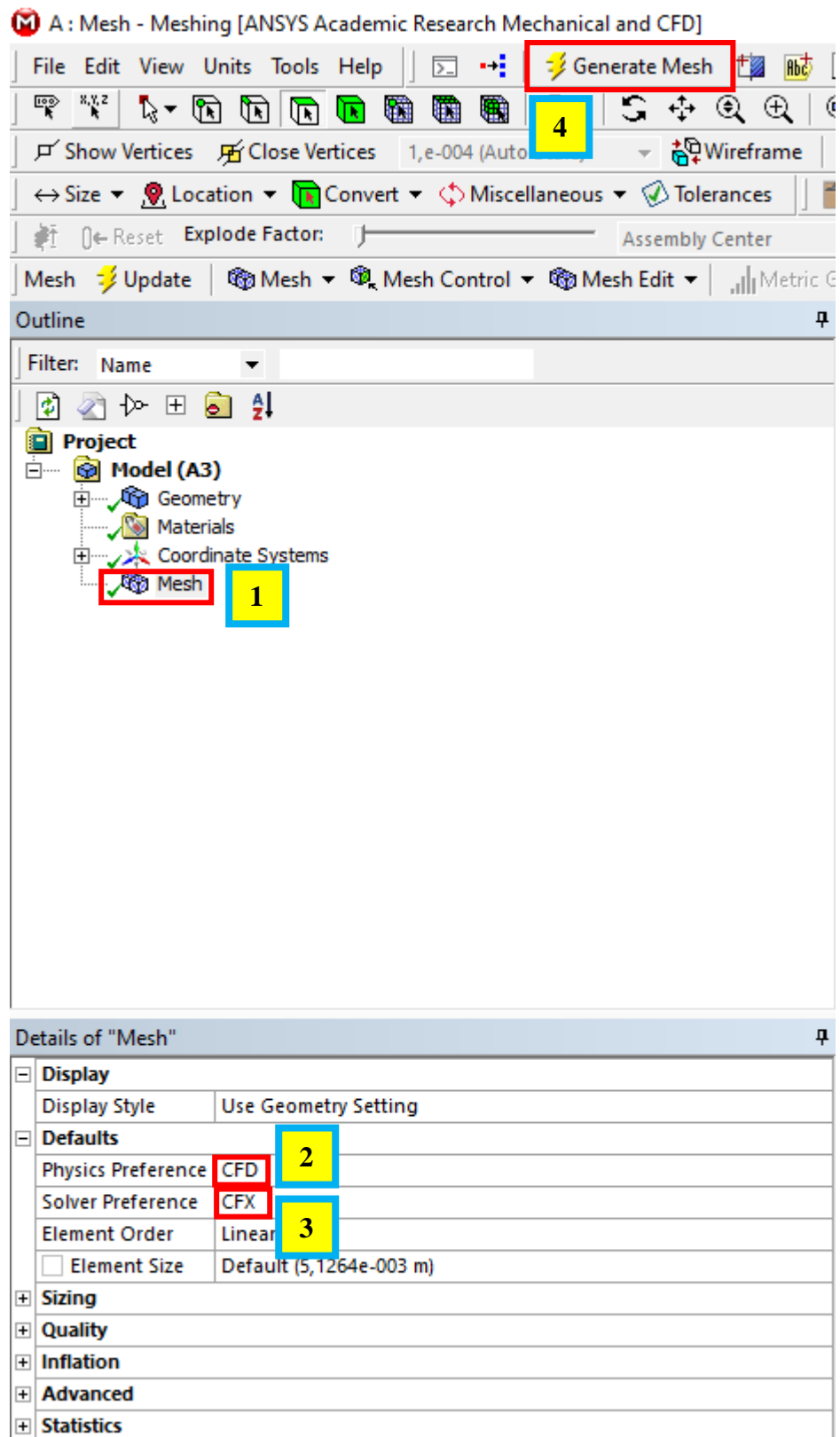
16) Zamknij program *Spaceclaim* i zapisz projekt w *Workbench* za pomocą *Ctrl + s*

2.2. PRZYGOTOWANIA SIATKI NUMERYCZNEJ

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

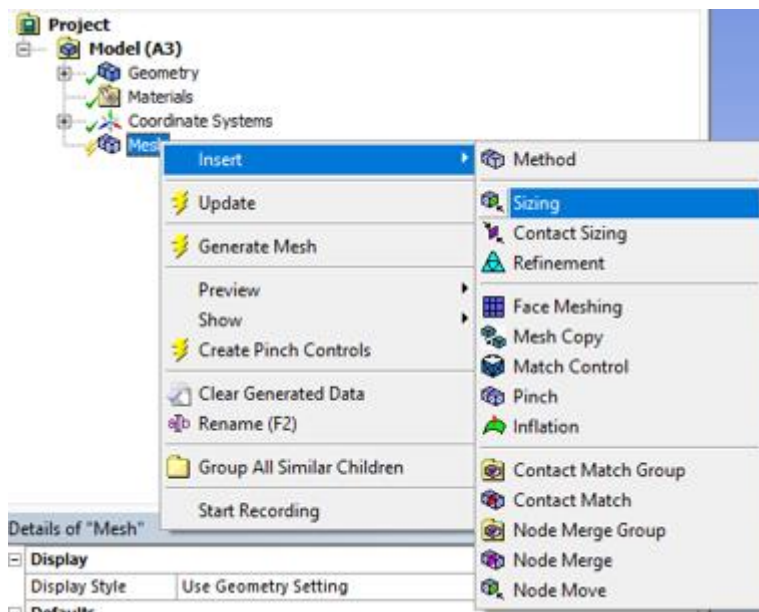


- 2) W programie *Ansys Meshing*: 1) kliknij *Mesh*, 2) Zmień pole *Physisc Preference* na *CFD*, 3) Zmień pole *Solver Preference* na *CFX*, 4) Kliknij LPM *Generate Mesh*

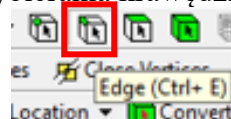


Domyślna siatka nie jest poprawna. Siatkę należy edytować.

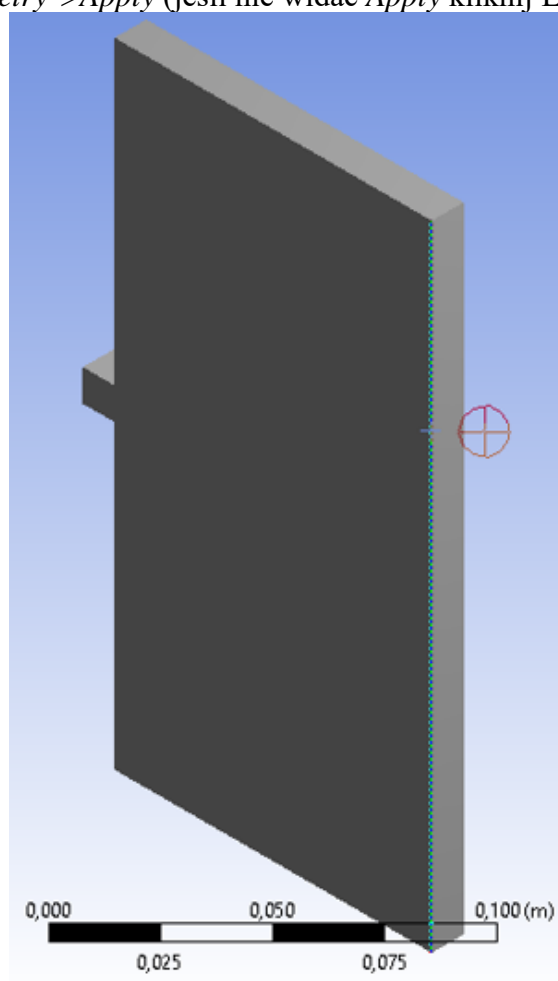
- 3) W *Ansyes Meshing* naciśnij prawy przycisk myszy (PPM) na *Mesh* i wybierz *Insert->Sizing*



U góry ekranu wybierz filtr wybierania krawędzi *Edge*



Przy wciśniętym klawiszu *Ctrl* wybierz dwie krawędzie jak na rysunku poniżej i zatwierdź *Geometry->Apply* (jeśli nie widać *Apply* kliknij LPM w żółte pole).



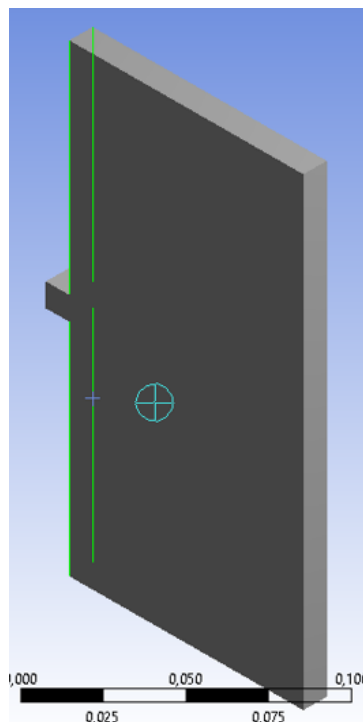
Details of "Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	Apply Cancel
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (5,1264e-003 m)
Advanced	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (2,5632e-005 m)
Behavior	Soft
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,2)
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No

Zmień pole *Definition* jak na rysunku poniżej

Details of "Edge Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Edges
Definition	
Suppressed	No
Type	Number of Divisions
<input checked="" type="checkbox"/> Number of Divisions	100
Advanced	
Behavior	Hard
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No
Bias Type	No Bias

Kliknij *Generate Mesh* i sprawdź wygenerowaną siatkę (jeśli nie widać siatki kliknij LPM na *Mesh* w drzewku po lewej stronie).

- 4) W *Ansys Meshing* naciśnij prawy przycisk myszy (PPM) na *Mesh* i wybierz *Insert->Sizing*. Przy wciśniętym klawiszu *Ctrl* wybierz cztery krawędzie jak na rysunku poniżej i zatwierdź *Geometry->Apply* (jeśli nie widać *Apply* kliknij LPM w żółte pole).

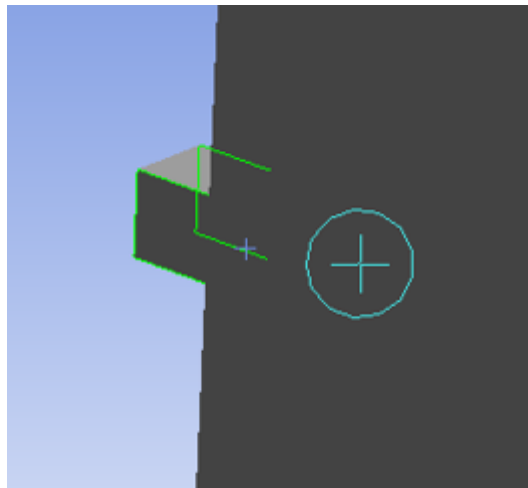


Zastosuj poniższe ustawienia

Details of "Edge Sizing 2" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	4 Edges
Definition	
Suppressed	No
Type	Number of Divisions
<input type="checkbox"/> Number of Divisions	45
Advanced	
Behavior	Hard
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No
Bias Type	No Bias

Kliknij *Generate Mesh* i sprawdź wygenerowaną siatkę (jeśli nie widać siatki kliknij LPM na *Mesh* w drzewku po lewej stronie).

- 5) W *Ansys Meshing* naciśnij prawy przycisk myszy (PPM) na *Mesh* i wybierz *Insert->Sizing*. Przy wciśniętym klawiszu *Ctrl* wybierz sześć krawędzi jak na rysunku poniżej i zatwierdź *Geometry->Apply* (jeśli nie widać *Apply* kliknij LPM w żółte pole).

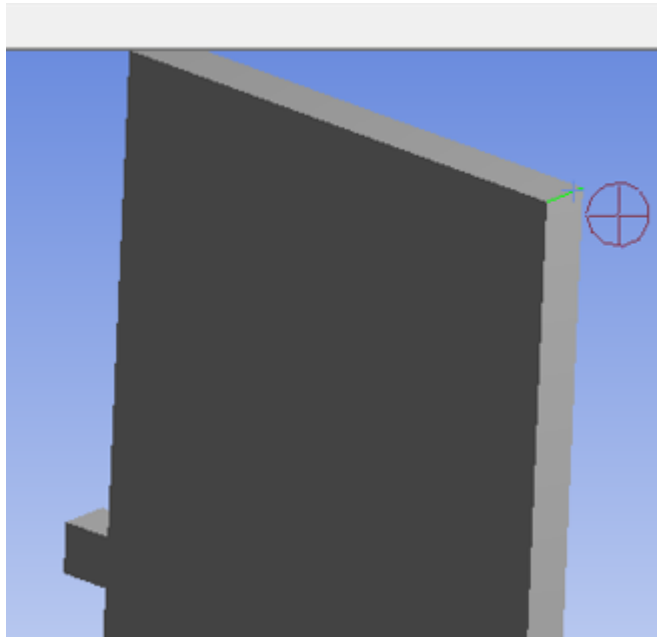


Zastosuj poniższe ustawienia

Details of "Edge Sizing 3" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	6 Edges
Definition	
Suppressed	No
Type	Number of Divisions
<input type="checkbox"/> Number of Divisions	10
Advanced	
Behavior	Hard
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No
Bias Type	No Bias

Kliknij *Generate Mesh* i sprawdź wygenerowaną siatkę (jeśli nie widać siatki kliknij LPM na *Mesh* w drzewku po lewej stronie).

- 6) W *Ansys Meshing* naciśnij prawy przycisk myszy (PPM) na *Mesh* i wybierz *Insert->Sizing*. Przy wciśniętym klawiszu *Ctrl* wybierz krawędź jak na rysunku poniżej i zatwierdź *Geometry->Apply* (jeśli nie widać *Apply* kliknij LPM w żółte pole).

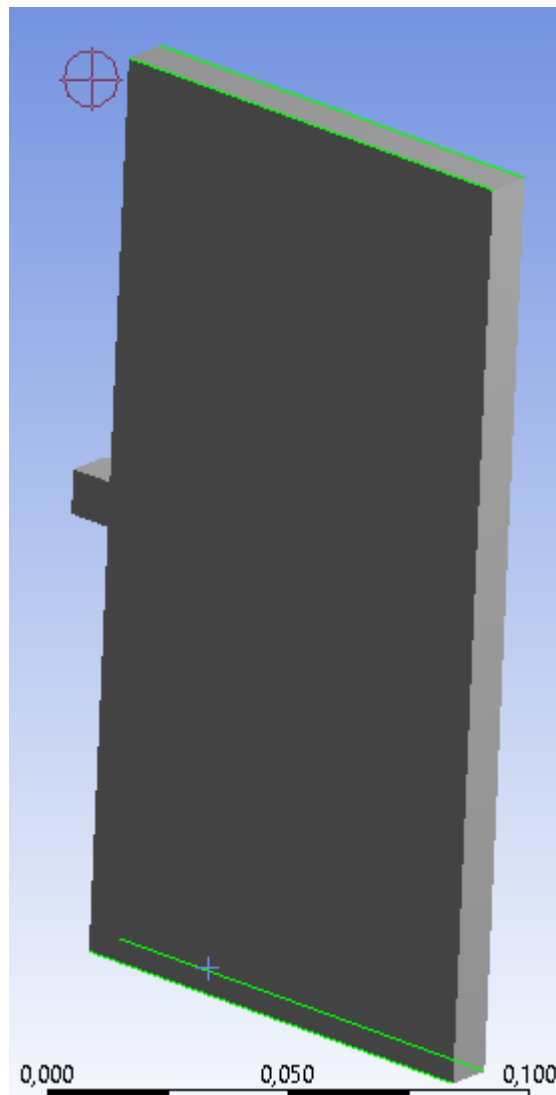


Zastosuj poniższe ustawienia

Details of "Edge Sizing 4" - Sizing	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Edge
[-] 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

Kliknij *Generate Mesh* i sprawdź wygenerowaną siatkę (jeśli nie widać siatki kliknij LPM na *Mesh* w drzewku po lewej stronie).

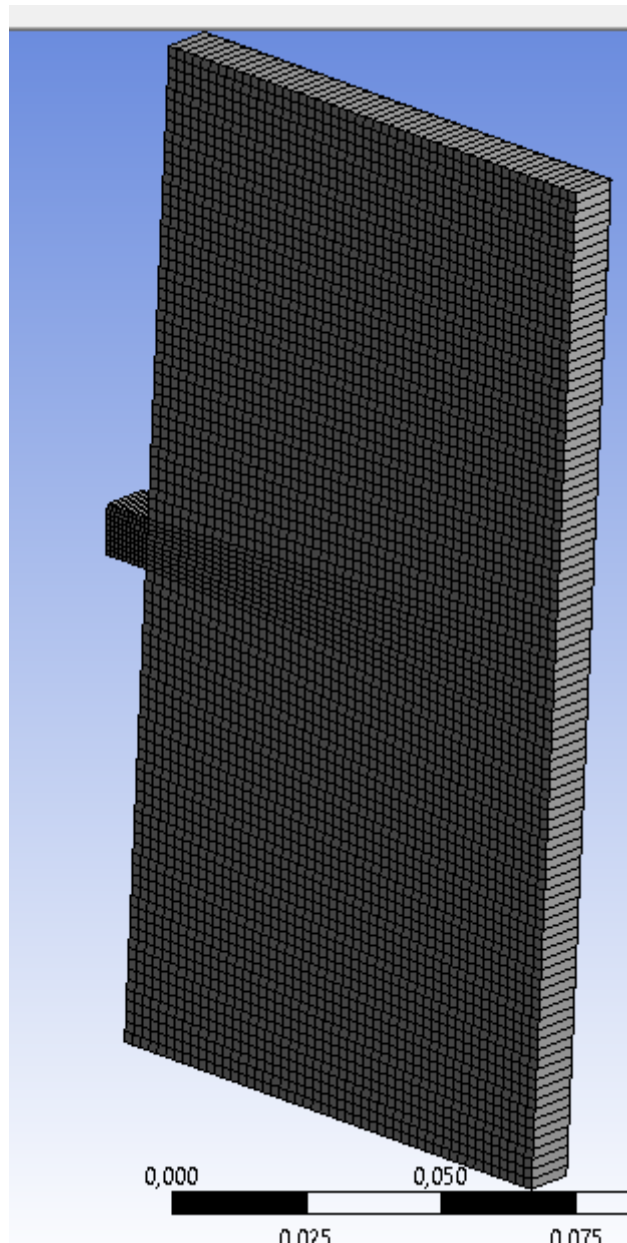
- 7) W *Ansys Meshing* naciśnij prawy przycisk myszy (PPM) na *Mesh* i wybierz *Insert->Sizing*. Przy wciśniętym klawiszu *Ctrl* wybierz krawędź jak na rysunku poniżej i zatwierdź *Geometry->Apply* (jeśli nie widać *Apply* kliknij LPM w żółte pole).



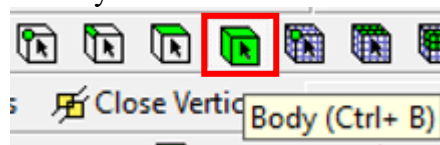
Zastosuj poniższe ustawienia

Details of "Edge Sizing 5" - Sizing	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	4 Edges
[-] Definition	
Suppressed	No
Type	Number of Divisions
<input type="checkbox"/> Number of Divisions	50
[-] Advanced	
Behavior	Hard
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No
Bias Type	No Bias

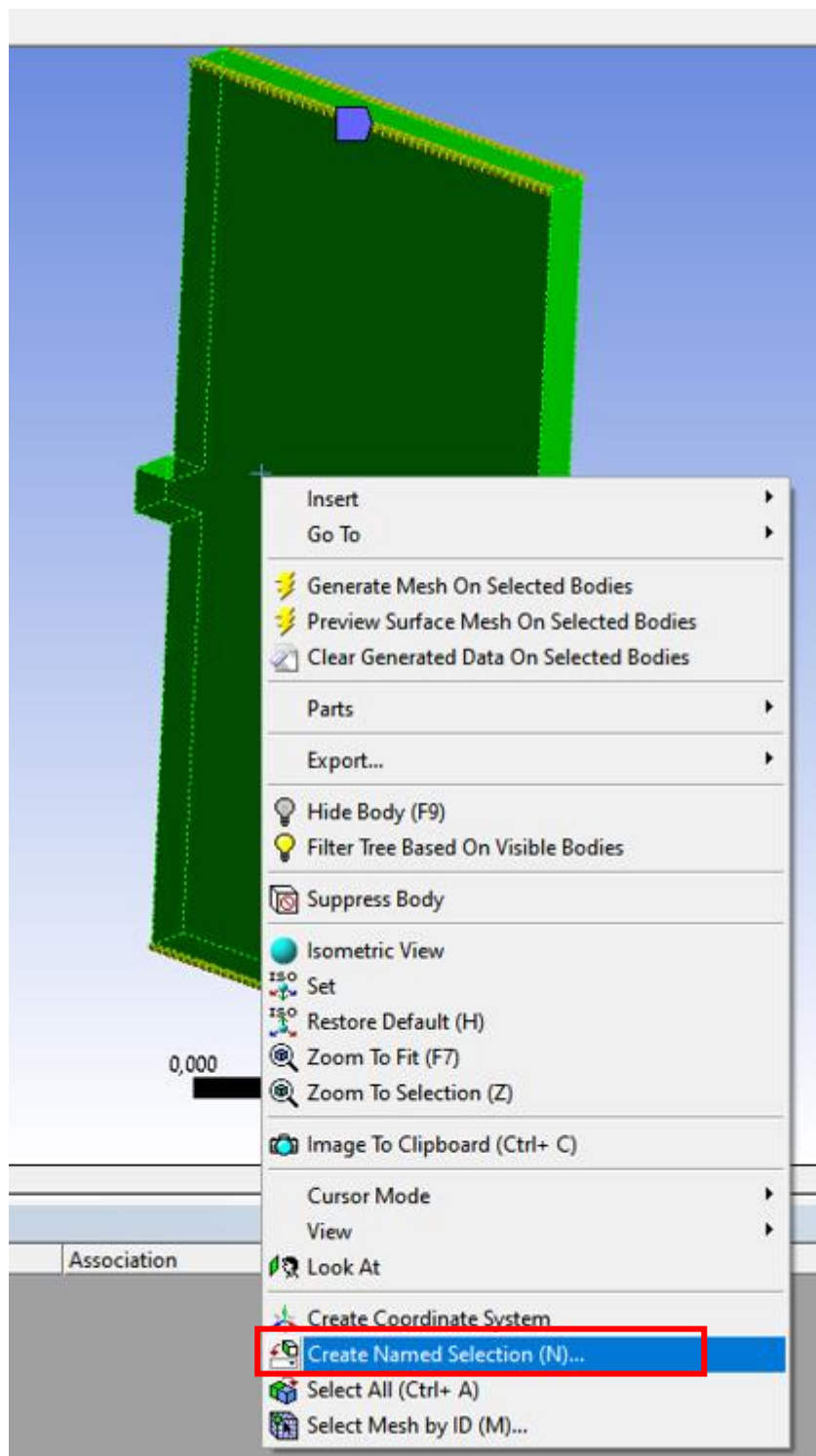
- 8) Kliknij *Generate Mesh* i sprawdź wygenerowaną siatkę (jeśli nie widać siatki kliknij LPM na *Mesh* w drzewku po lewej stronie). Siatka numeryczna jest gotowa.



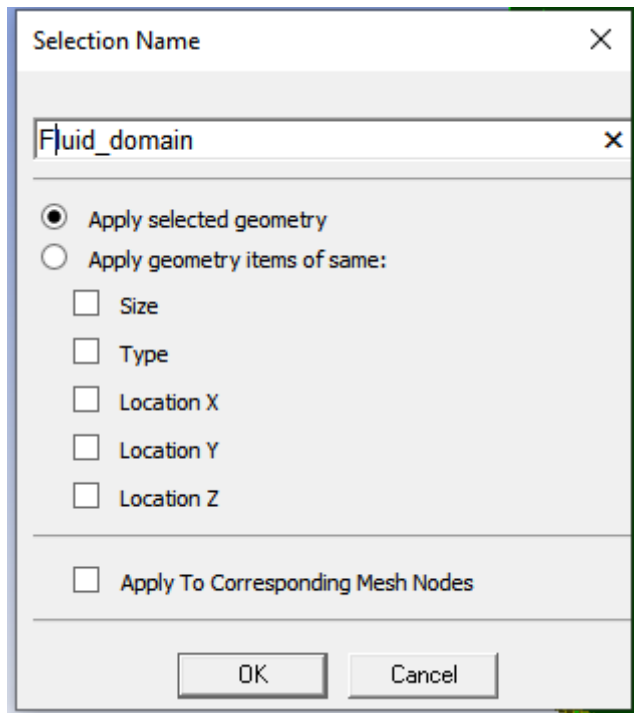
- 9) Ostatni krok to nadanie nazw objętościom i powierzchniom.
Wybierz LPM filtr wyboru brył



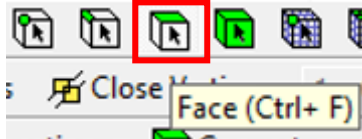
Wybierz rurę LPM, a następnie kliknij PPM i wybierz *Create Named Selection*



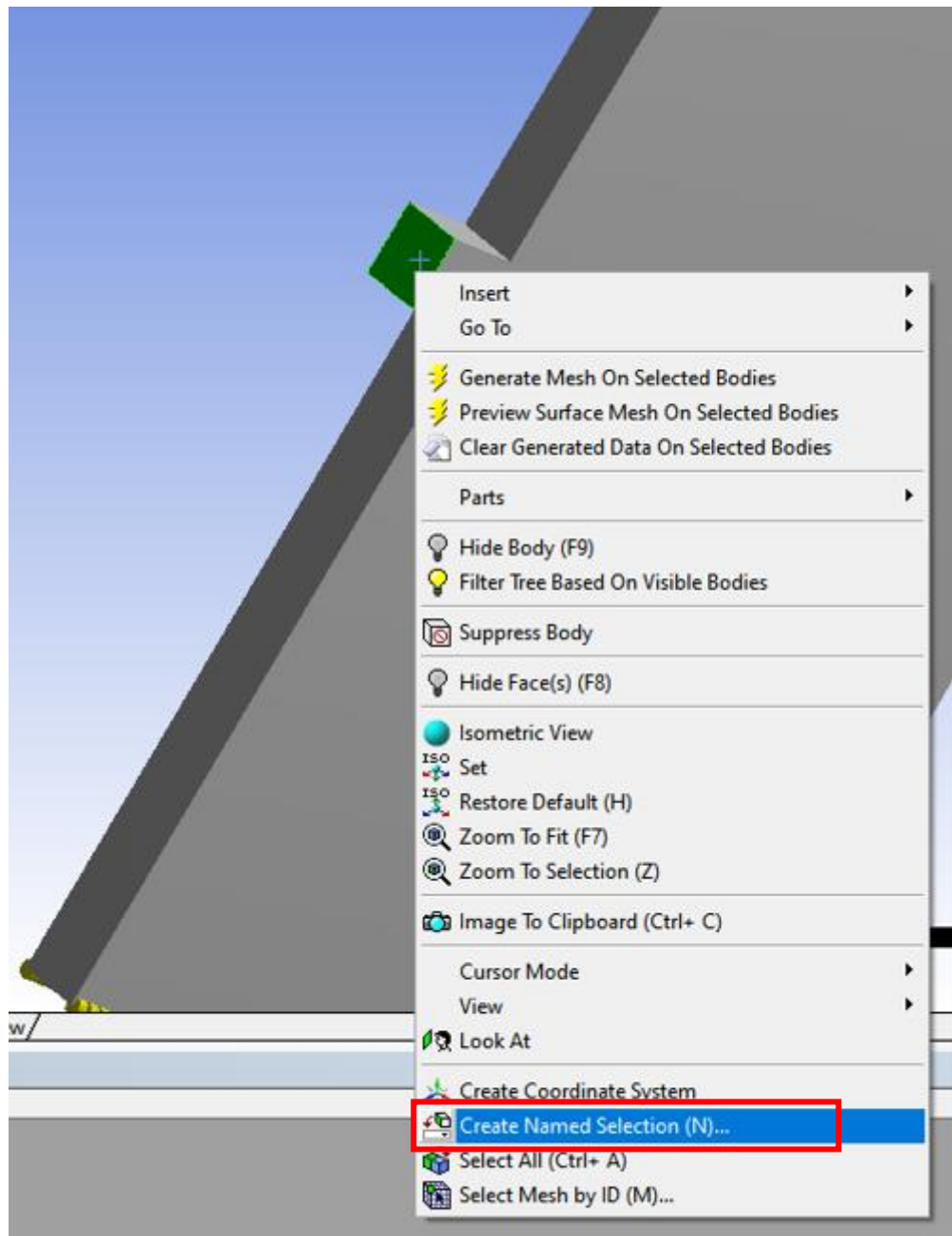
Jako nazwę proszę wybrać *Fluid_domain*



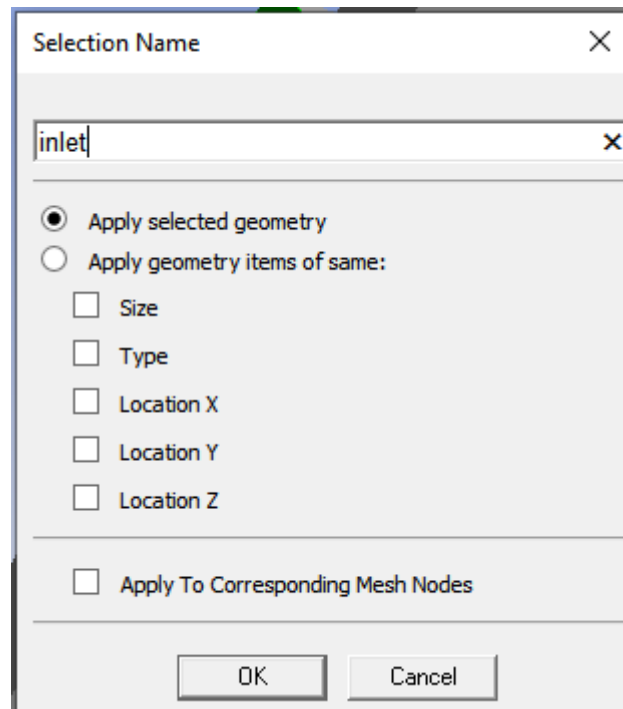
10) Następnie zmień filtr na wybór powierzchni



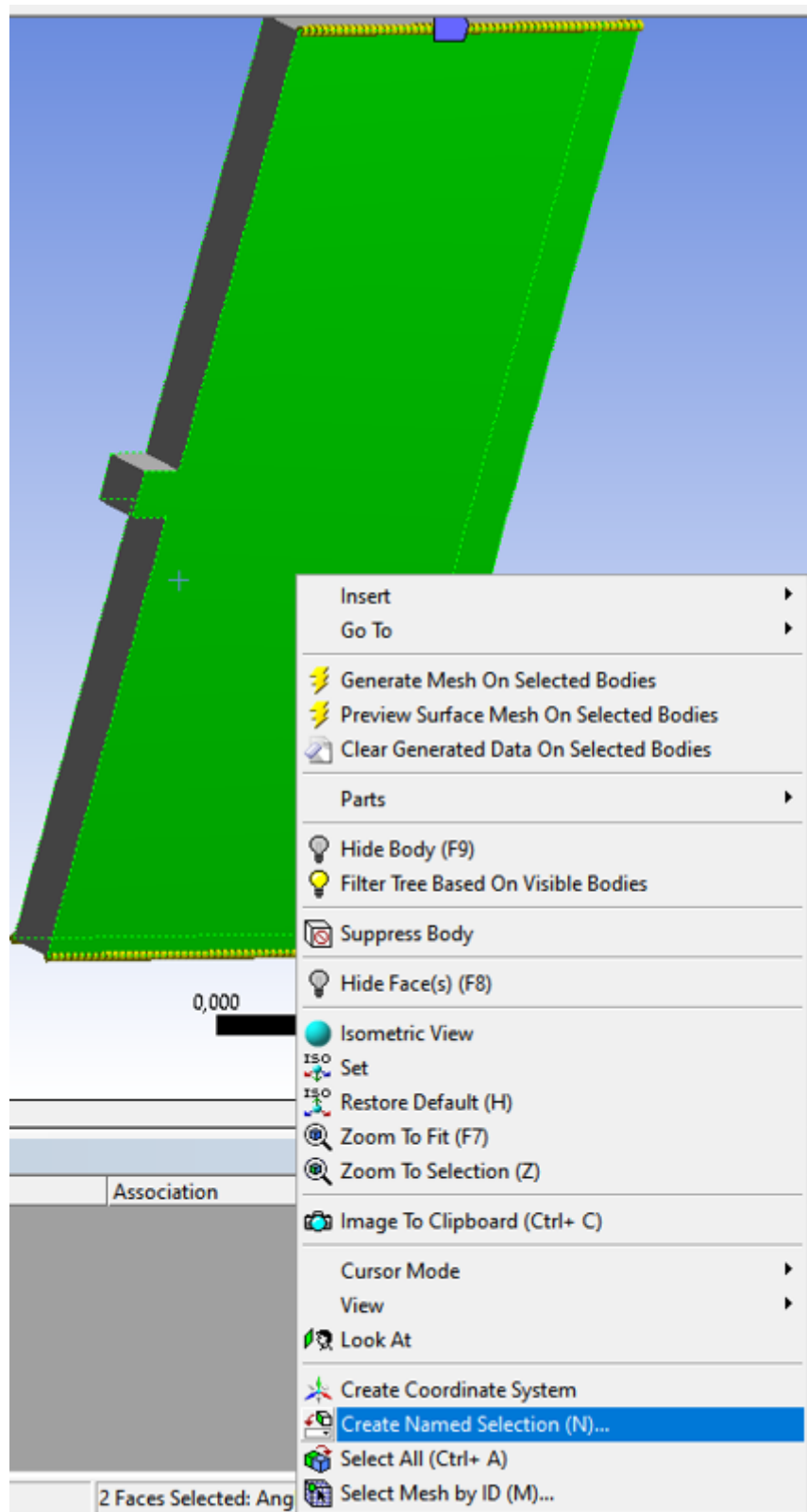
LPM wskaż zewnętrzną powierzchnię wypustka i kliknij PPM, a następnie wybierz *Create Named Selection*



Nadaj nazwę *inlet*



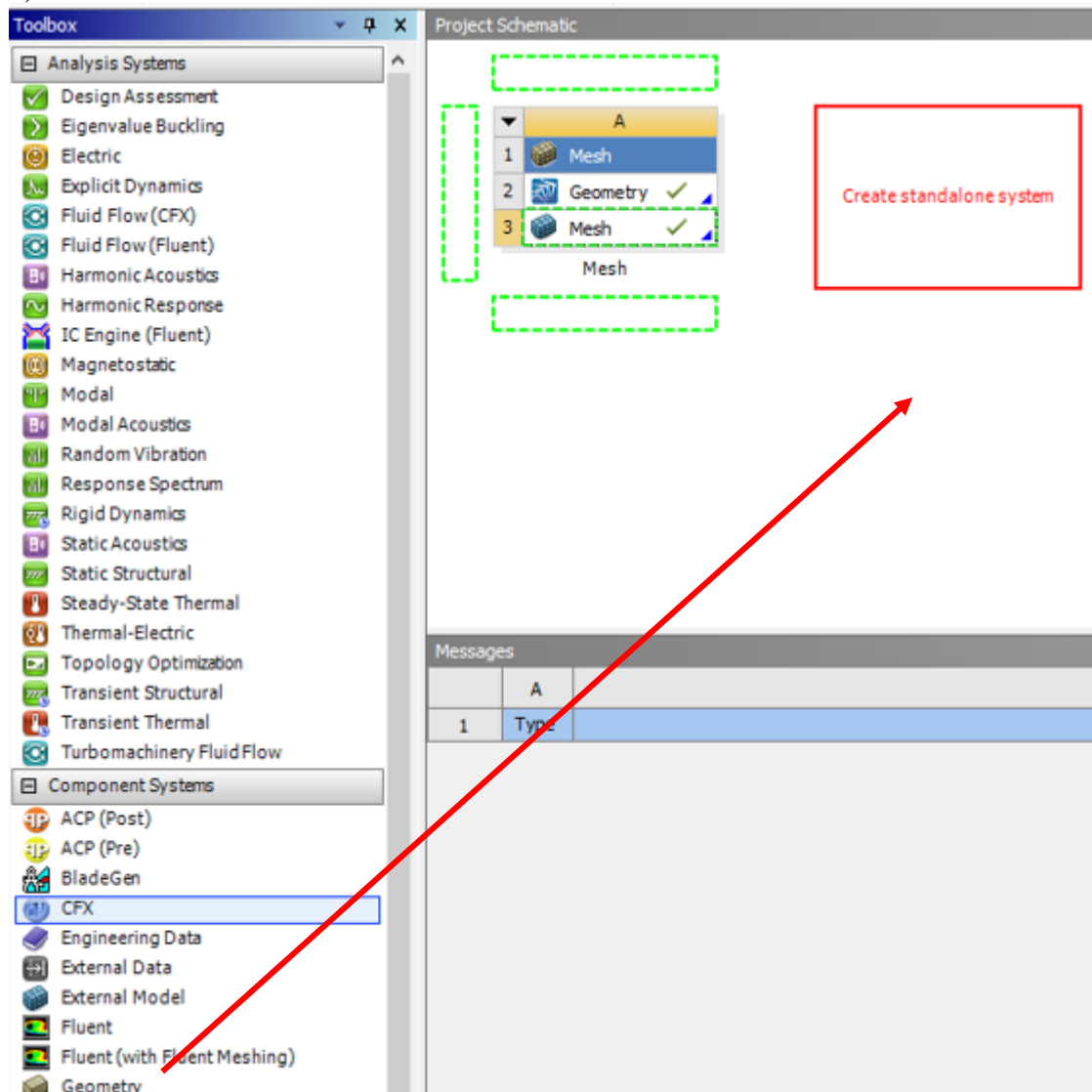
11) Podobnie utwórz nazwę *sym* dla dwóch dużych powierzchni płaskich



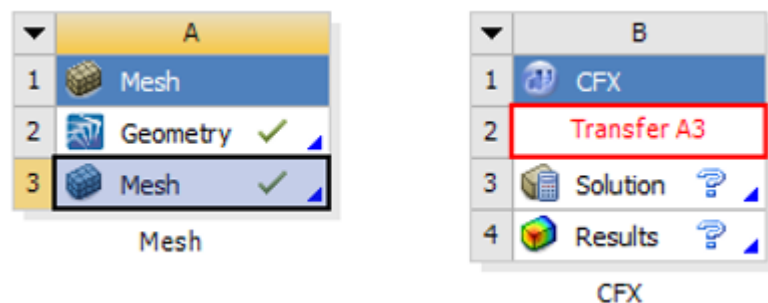
12) Zamknij moduł *Ansys Meshing* i zapisz projekt w *Workbench*.

2.3. PRZYGOTOWANIE MODELU NUMERYCZNEGO

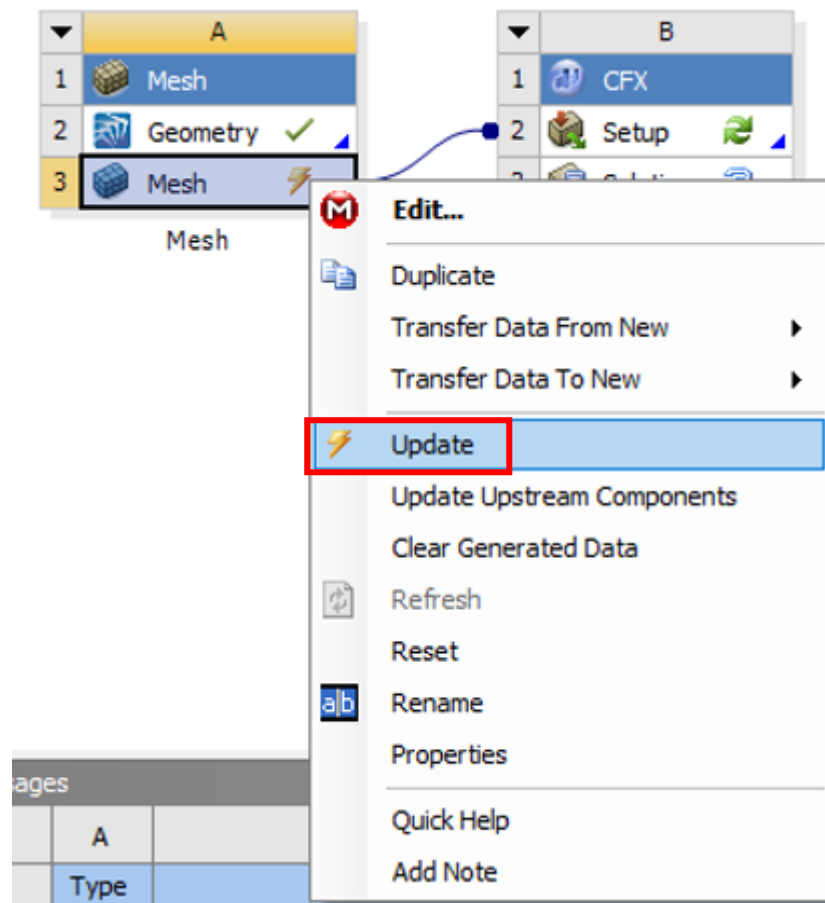
1) Wstaw moduł CFX



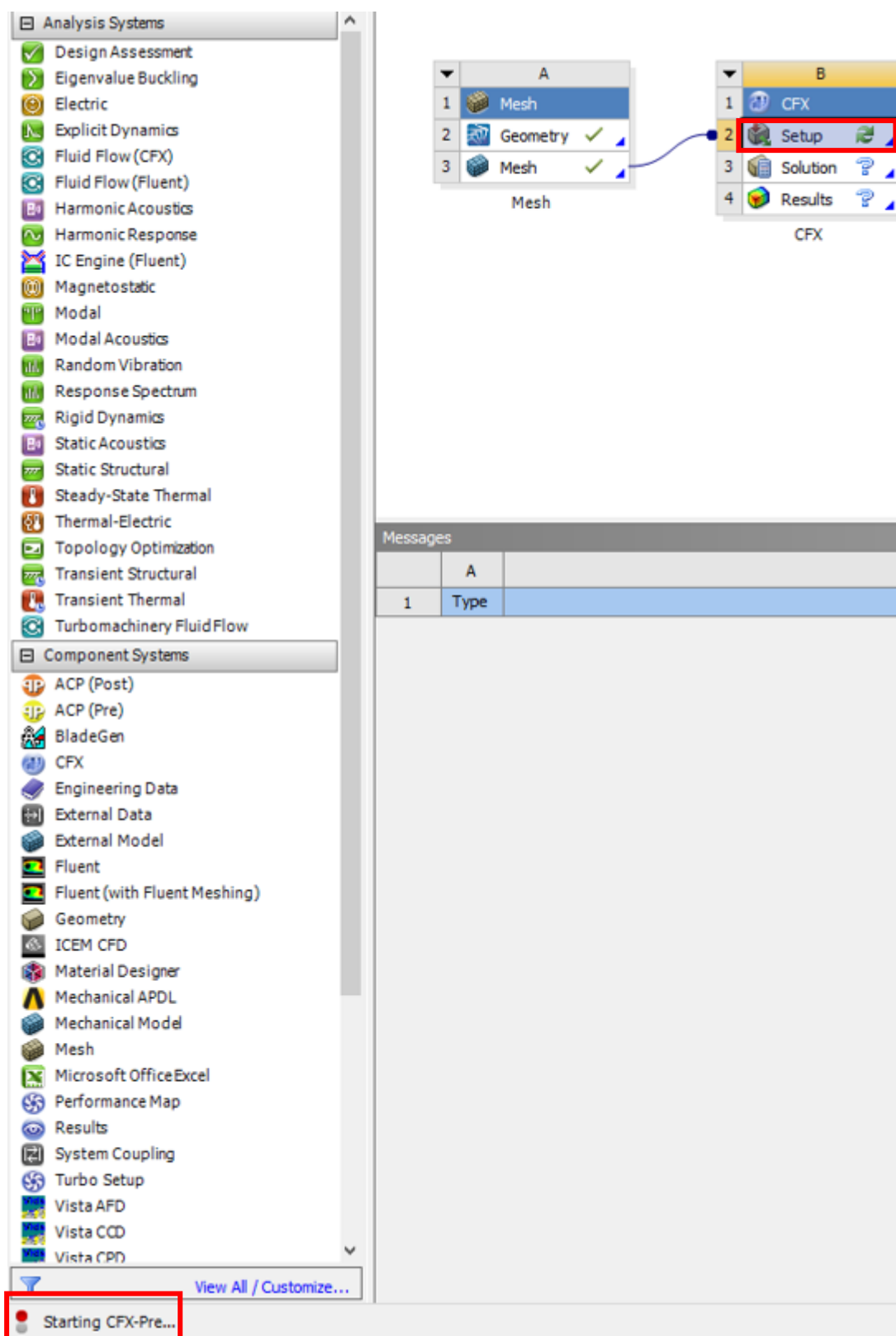
W celu połączenia modułu *Mesh* z *CFX* chwyć LPM *Mesh* (to niżej) i przeciągnij na *Setup* aż do pojawienia się pola *Transfer A3*, a następnie puść LPM – połączenie zostało utworzone



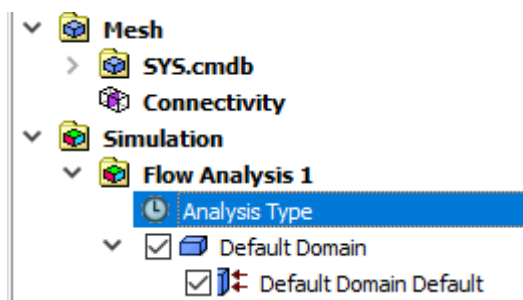
Kliknij PPM na *Mesh* i wybierz *Update*



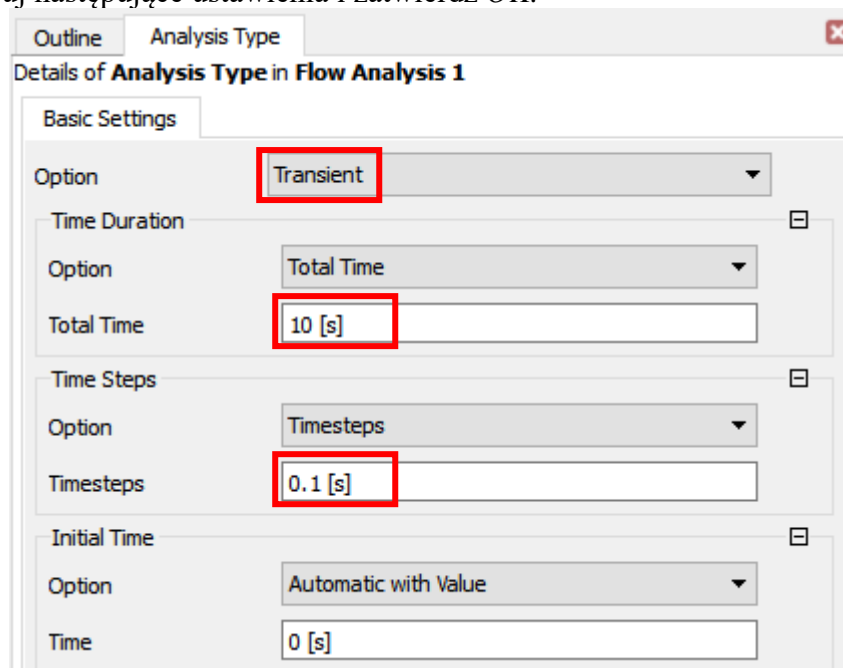
Kliknij dwukrotnie *Setup* w celu uruchomienia programu *Ansys CFX*



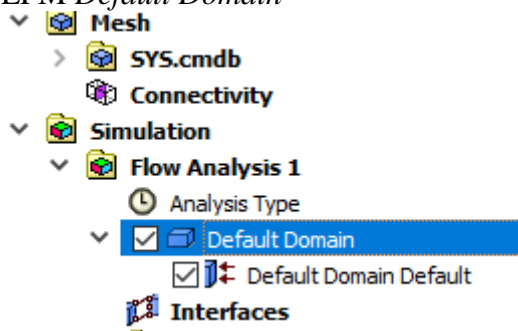
2) Otwórz *Analysis Type* przez dwukrotne kliknięcie LPM



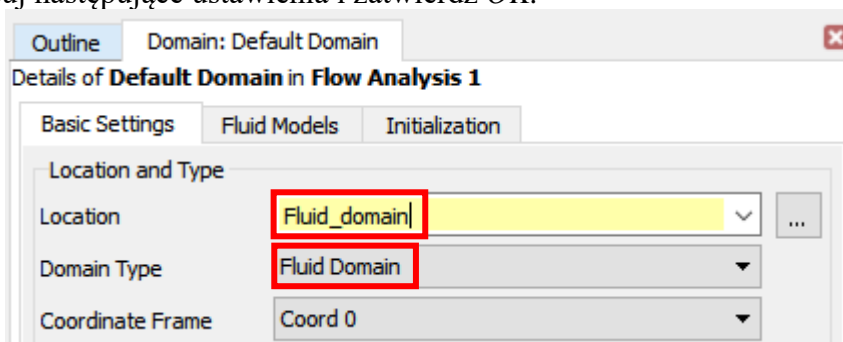
Zastosuj następujące ustawienia i zatwierdź OK.



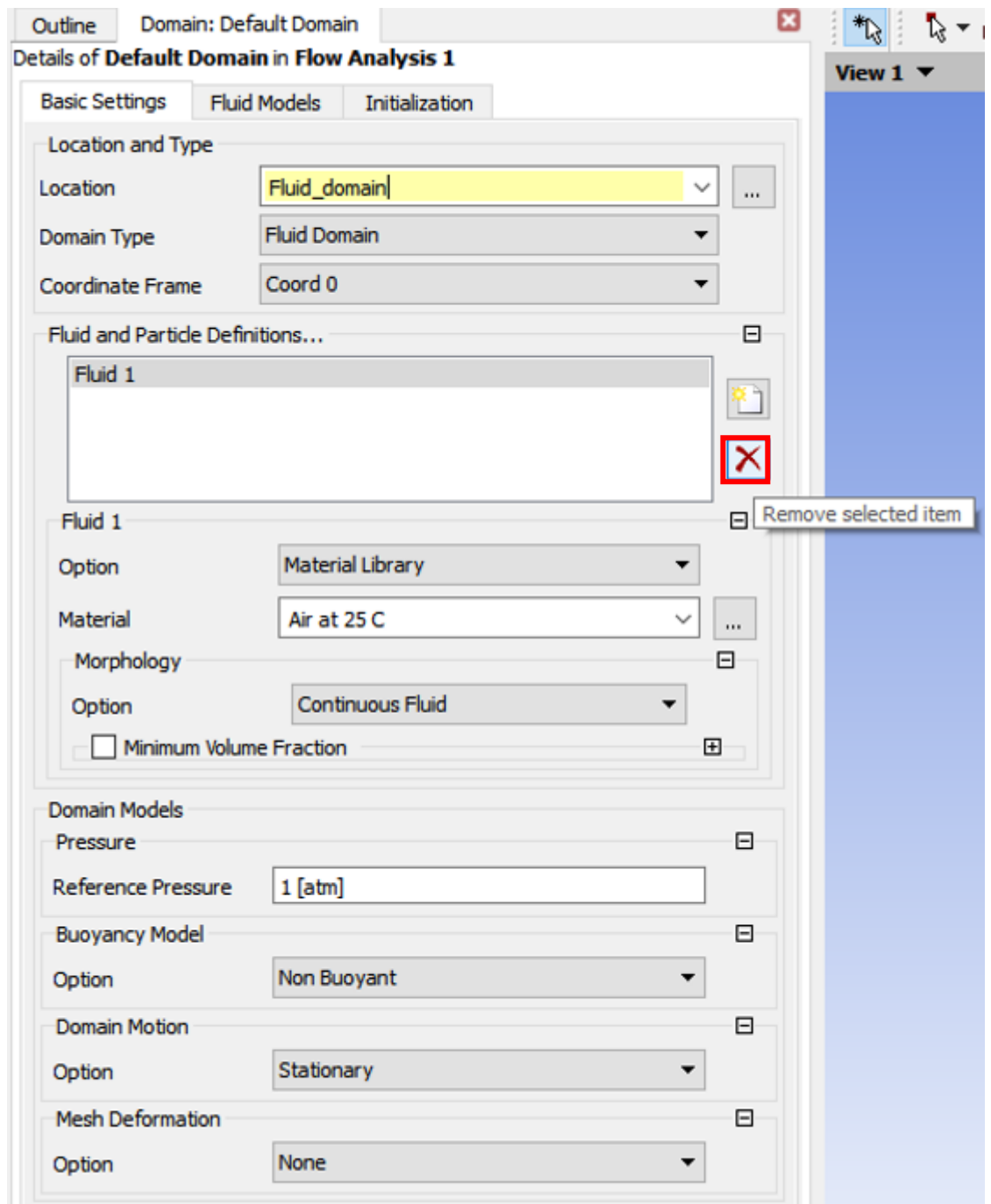
3) Kliknij dwukrotnie LPM *Default Domain*



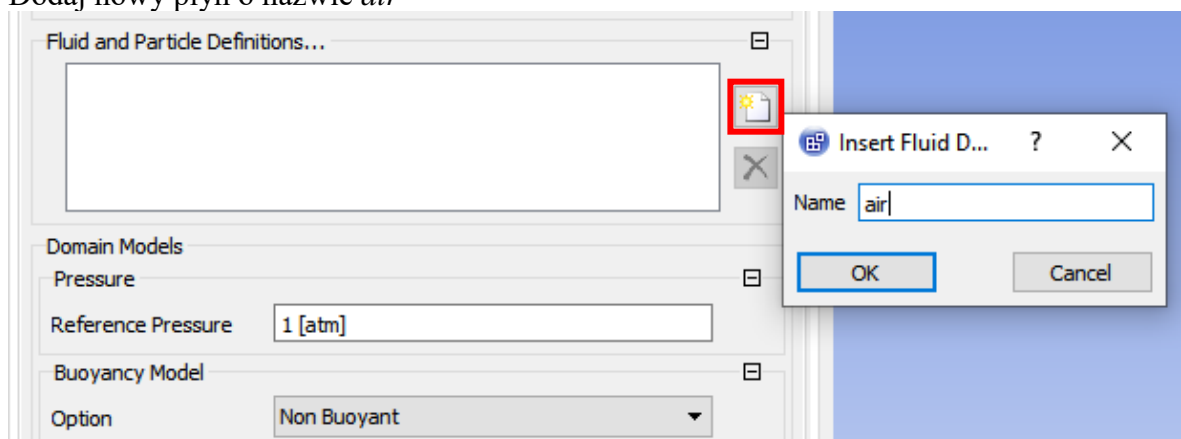
Zastosuj następujące ustawienia i zatwierdź OK.



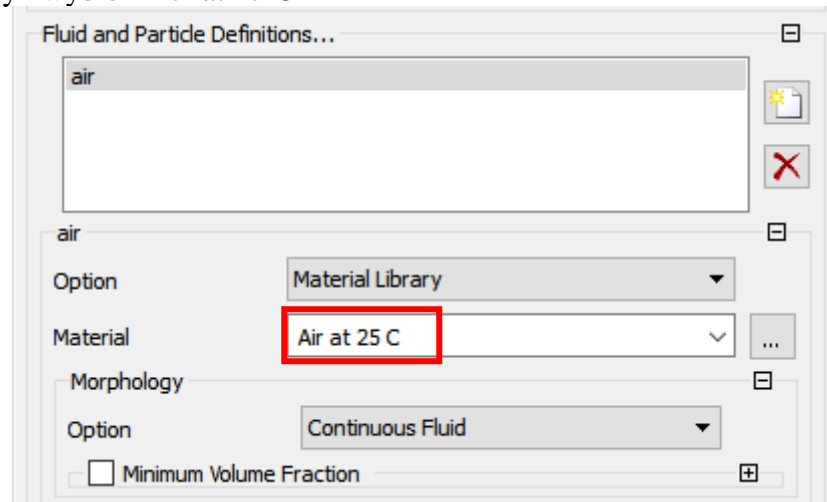
4) Usuń domyślny płyn *Fluid1*



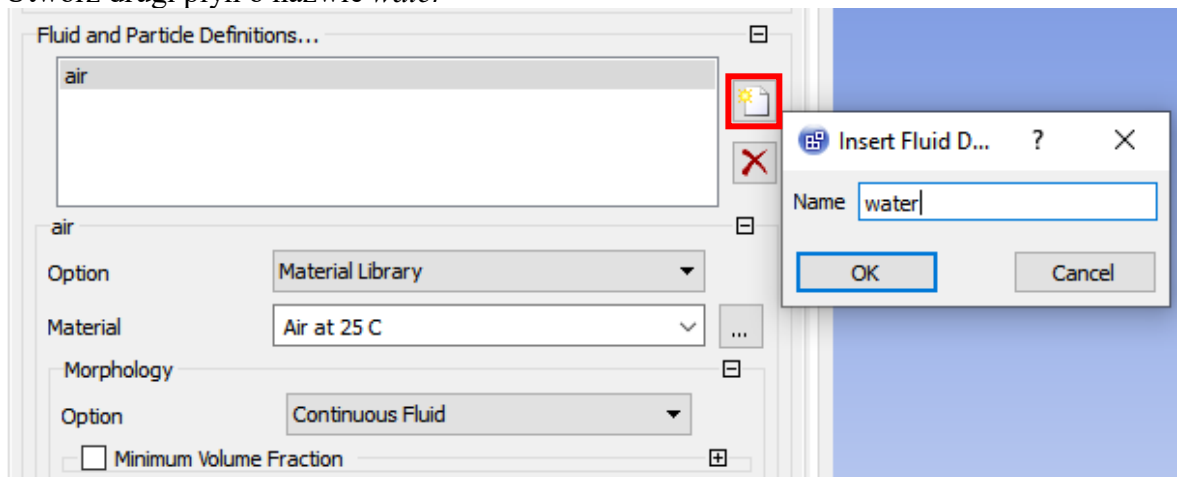
5) Dodaj nowy płyn o nazwie *air*



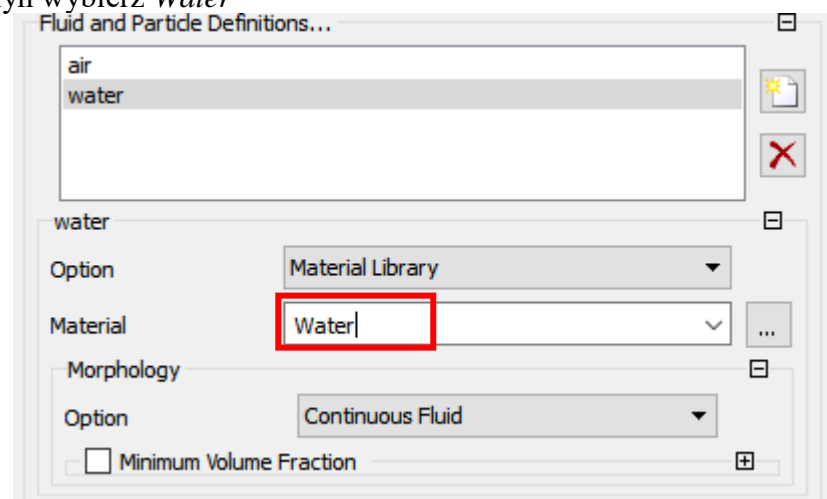
6) Jako płyn wybierz *Air at 25 C*



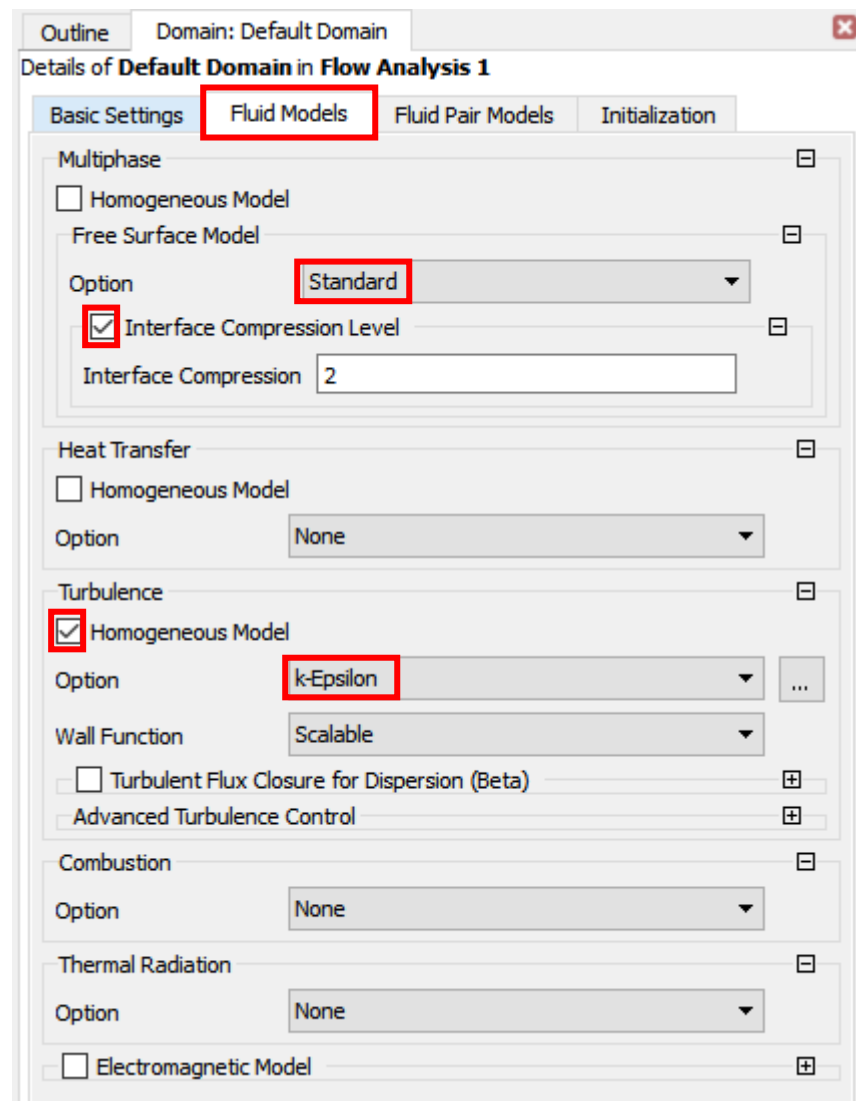
7) Utwórz drugi płyn o nazwie *water*



8) Jako płyn wybierz *Water*



9) W zakładce *Fluid Models* zastosuj następujące ustawienia



10) Wróć do zakładki *Basic Settings* i zastosuj następujące ustawienia, a następnie zatwierdź *OK*.

Outline Domain: Default Domain

Details of Default Domain in Flow Analysis 1

Basic Settings Fluid Models Fluid Specific Models Fluid Pair Models

Location and Type

Location: Fluid_domain

Domain Type: Fluid Domain

Coordinate Frame: Coord 0

Fluid and Particle Definitions...

air

water

water

Option: Material Library

Material: Water

Morphology

Option: Continuous Fluid

☐ Minimum Volume Fraction

Domain Models

Pressure

Reference Pressure: 1 [atm]

Buoyancy Model

Option: Buoyant

Gravity X Dirn.: 0 [m s⁻²]

Gravity Y Dirn.: -9.81 [m s⁻²]

Gravity Z Dirn.: 0 [m s⁻²]

Buoy. Ref. Density: 997 [kg m⁻³]

Ref. Location

Option: Automatic

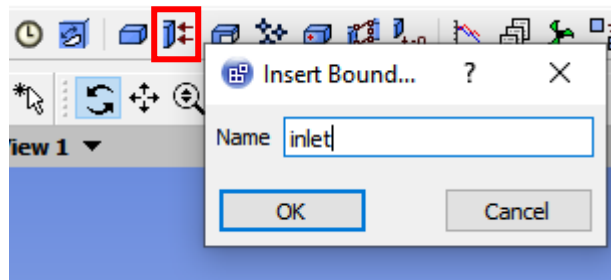
Domain Motion

Option: Stationary

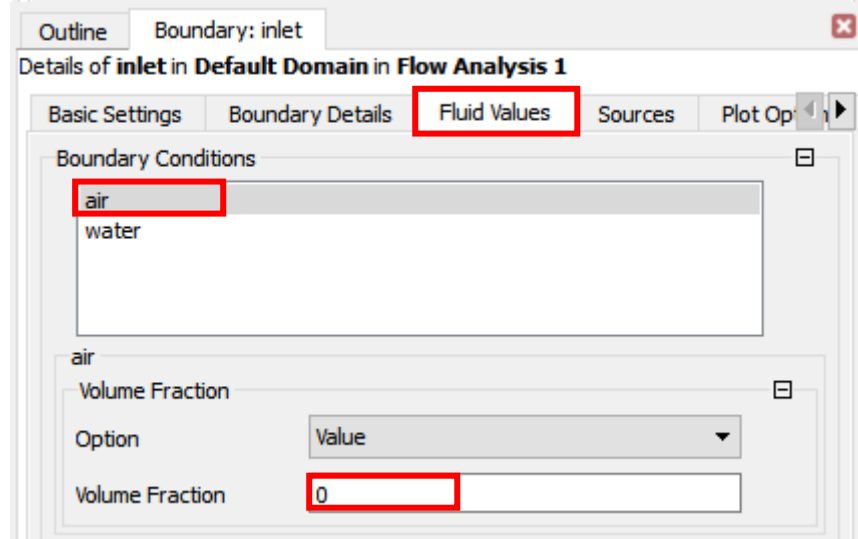
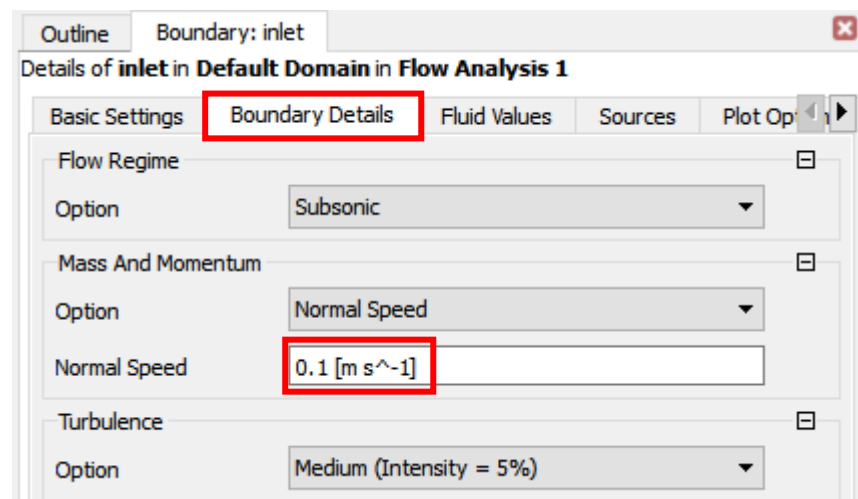
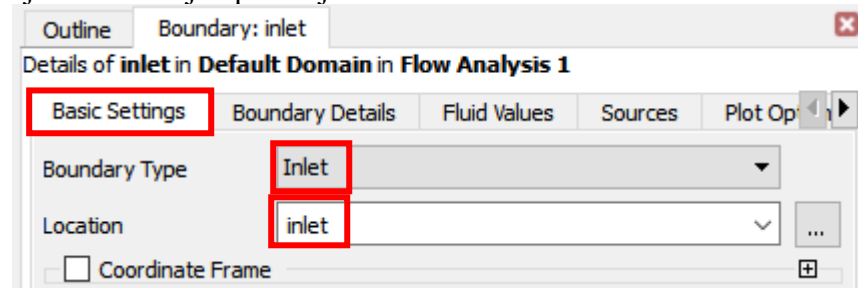
Mesh Deformation

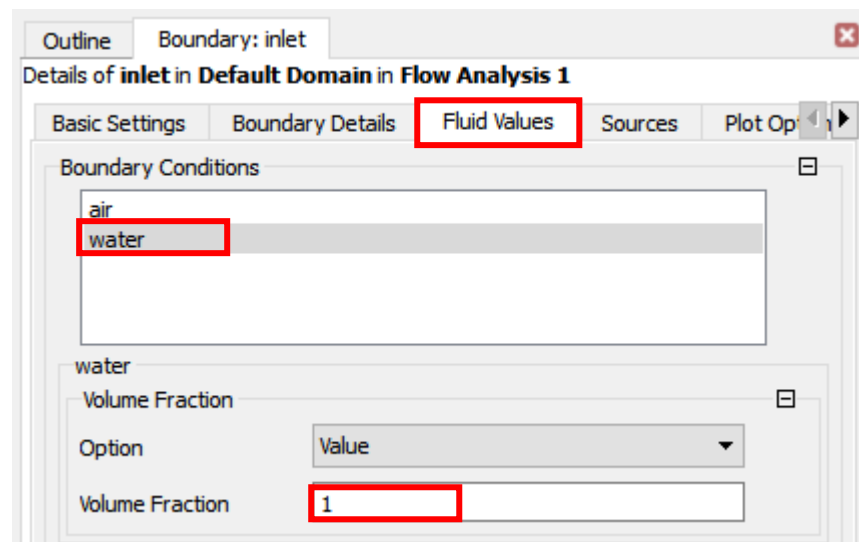
Option: None

11) Utwórz warunek brzegowy o nazwie *inlet*

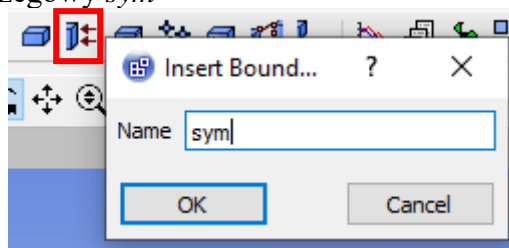


Zastosuj ustawienia jak poniżej i zatwierdź OK.

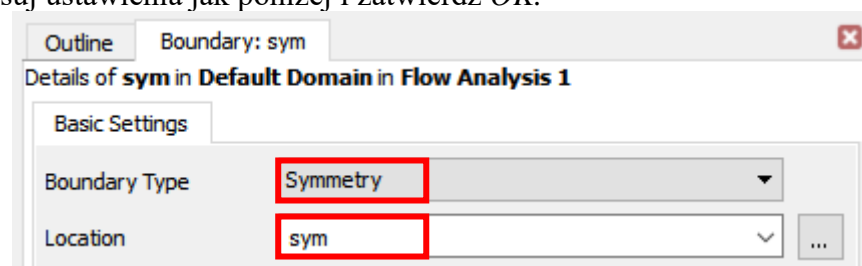




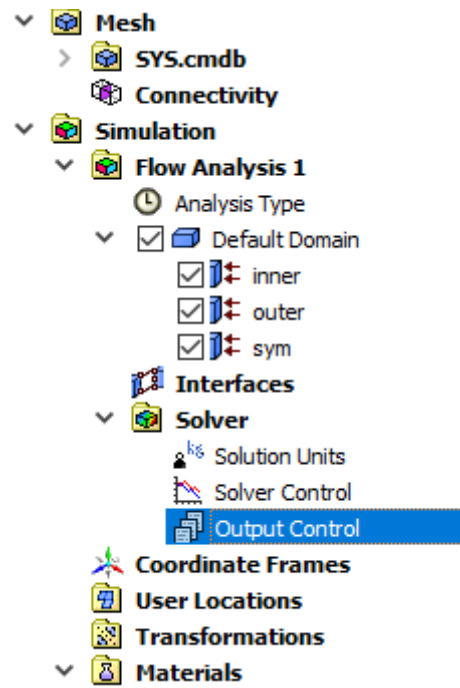
12) Utwórz warunek brzegowy *sym*



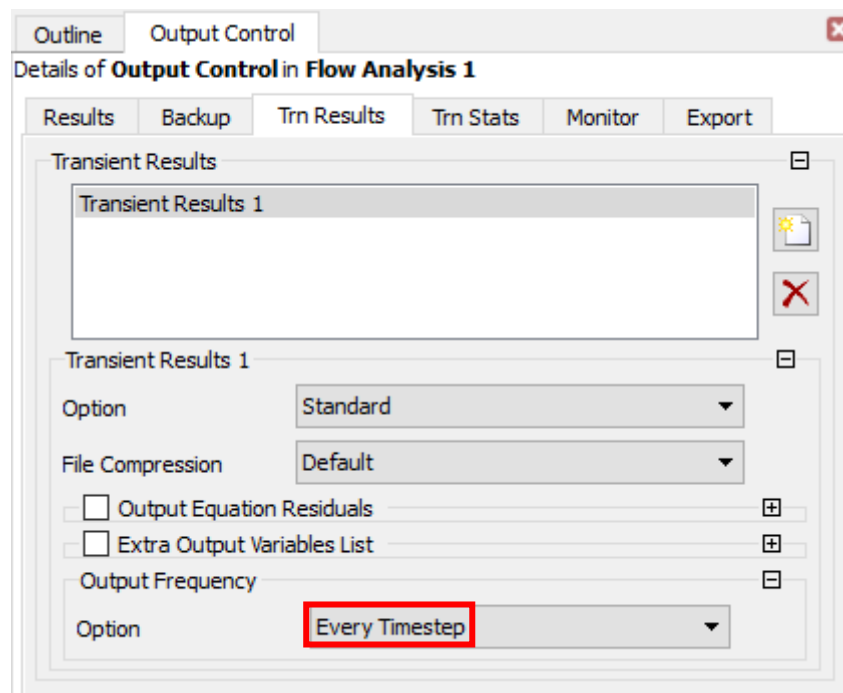
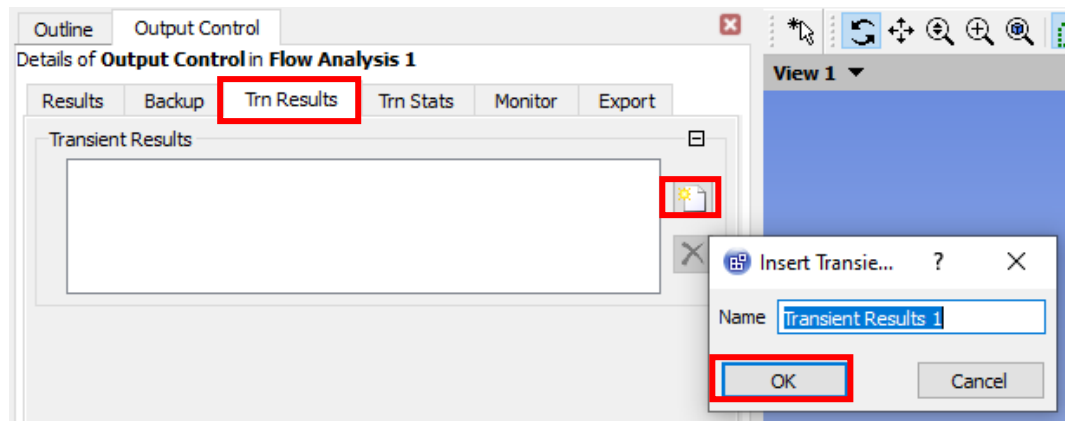
Zastosuj ustawienia jak poniżej i zatwierdź *OK*.



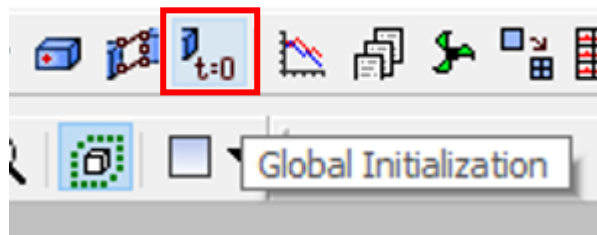
13) Otwórz *Output Control*



Zastosuj poniższe ustawienia i zatwierdź OK.



- 14) Utwórz warunki początkowe przez kliknięcie LPM ikony *Global Initialization* (u góry ekranu, prawie na środku)



Zastosuj ustawienia jak poniżej i zatwierdź *OK*.

OutlineInitialization

Details of **Global Initialization** in **Flow Analysis 1**

Global Settings

Fluid Settings

☐ Coordinate Frame

Initial Conditions

Static Pressure

OptionAutomatic with Value

Relative Pressure0 [Pa]

Turbulence

OptionMedium (Intensity = 5%)

OutlineInitialization

Details of **Global Initialization** in **Flow Analysis 1**

Global Settings

Fluid Settings

Fluid Specific Initialization

air

water

air

Initial Conditions

Velocity TypeCartesian

Cartesian Velocity Components

OptionAutomatic with Value

U0 [m s⁻¹]

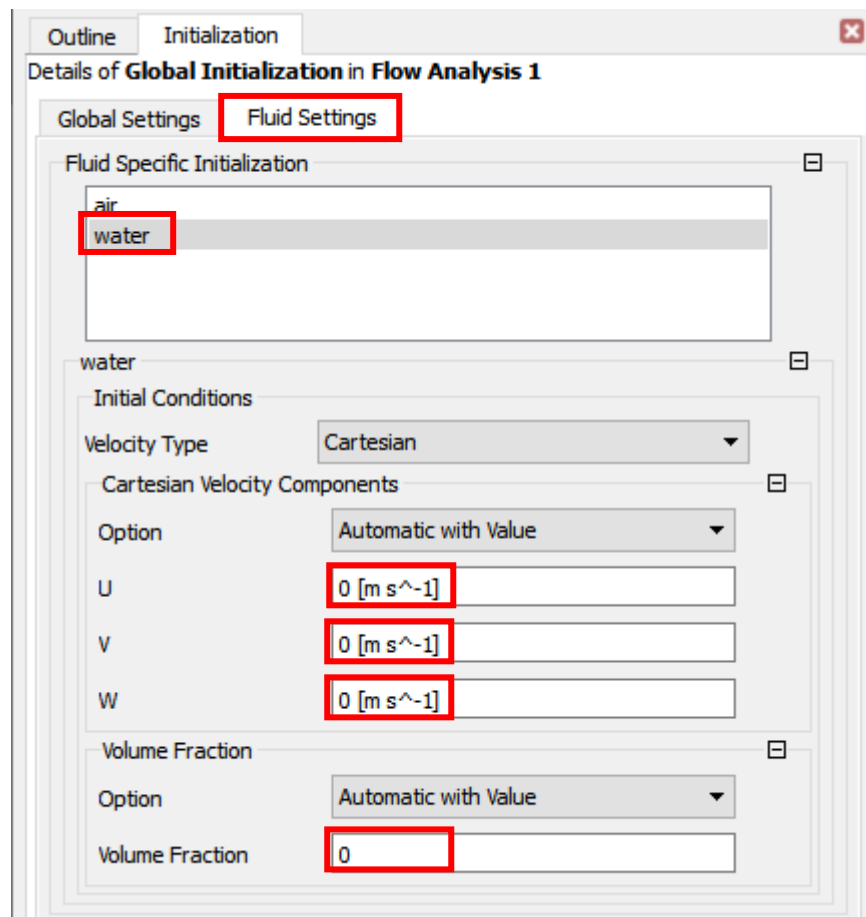
V0 [m s⁻¹]

W0 [m s⁻¹]

Volume Fraction

OptionAutomatic with Value

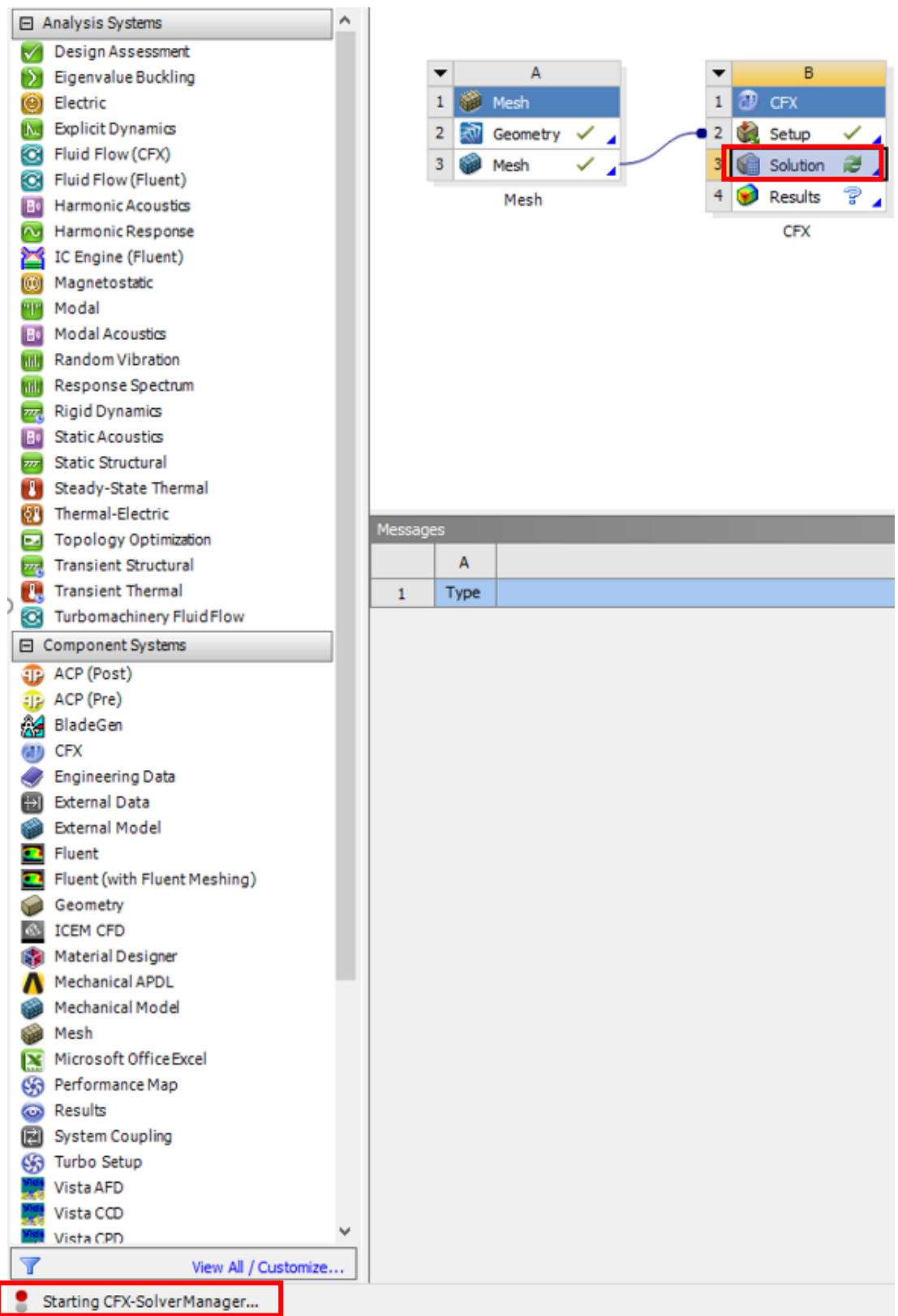
Volume Fraction1



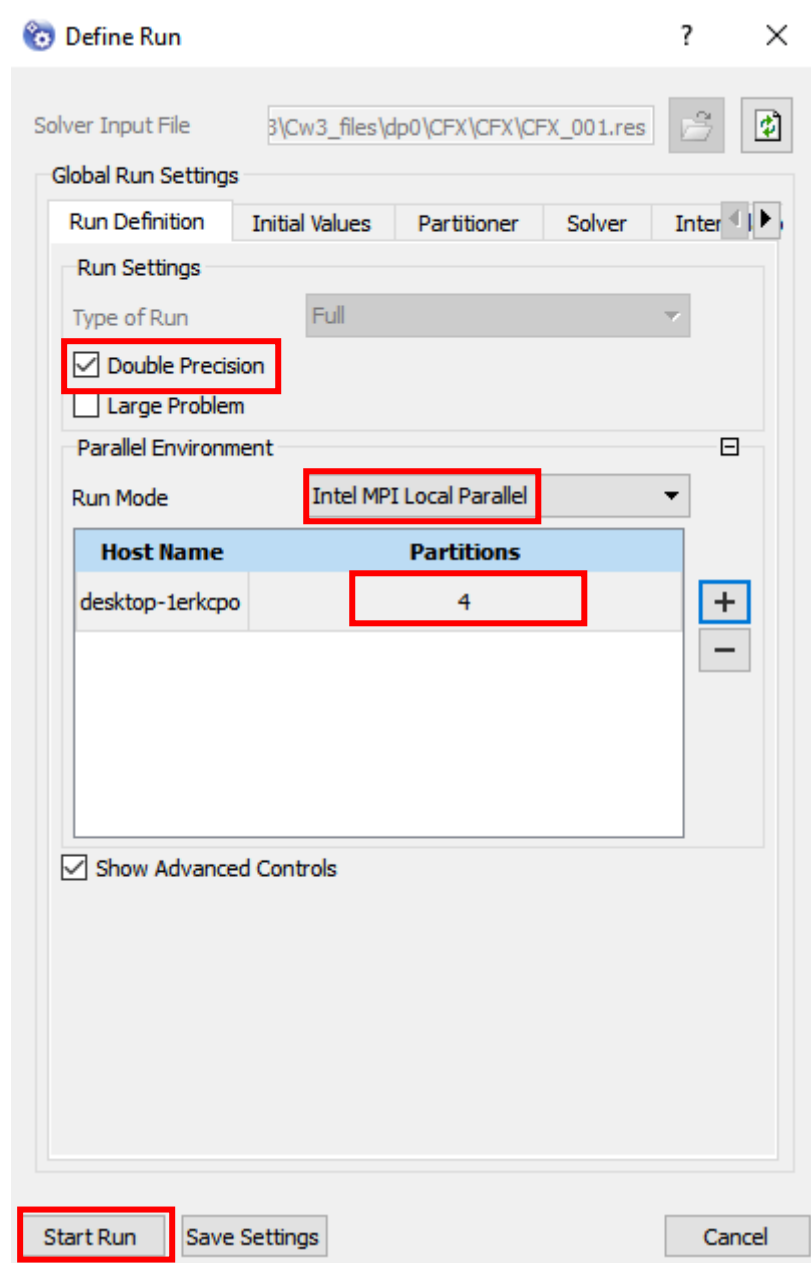
15) Zamknij program *Ansys CFX*.

2.4. OBLICZENIA

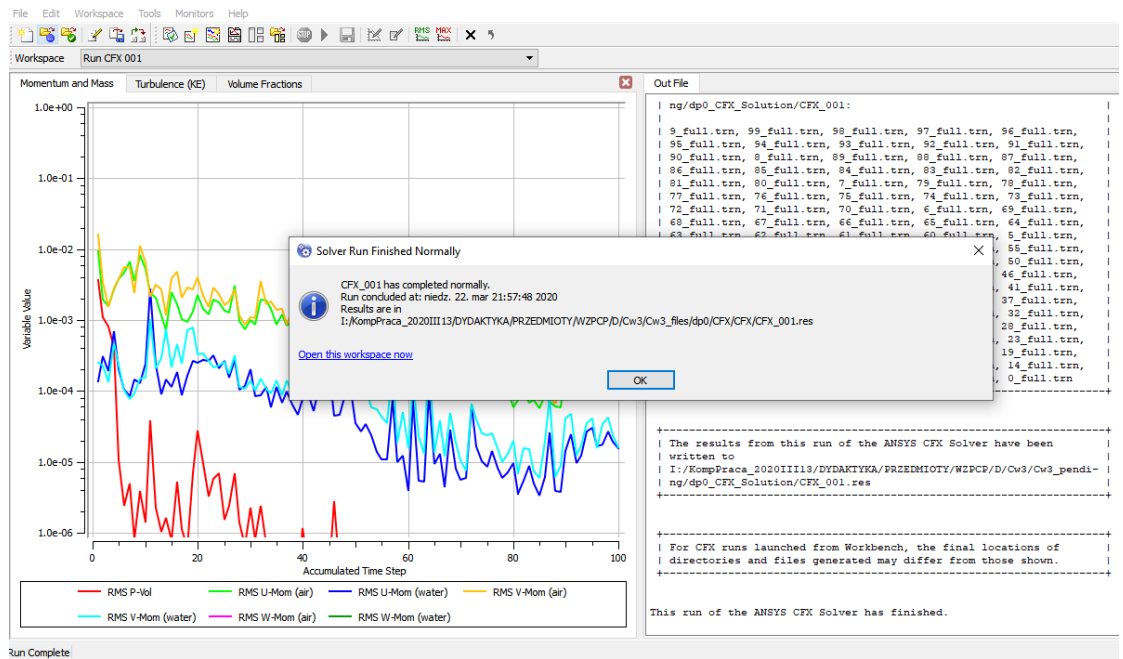
- 1) Kliknij dwukrotnie pole *Solution* w celu uruchomienia programu *Ansys CFX Solver Manager*



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



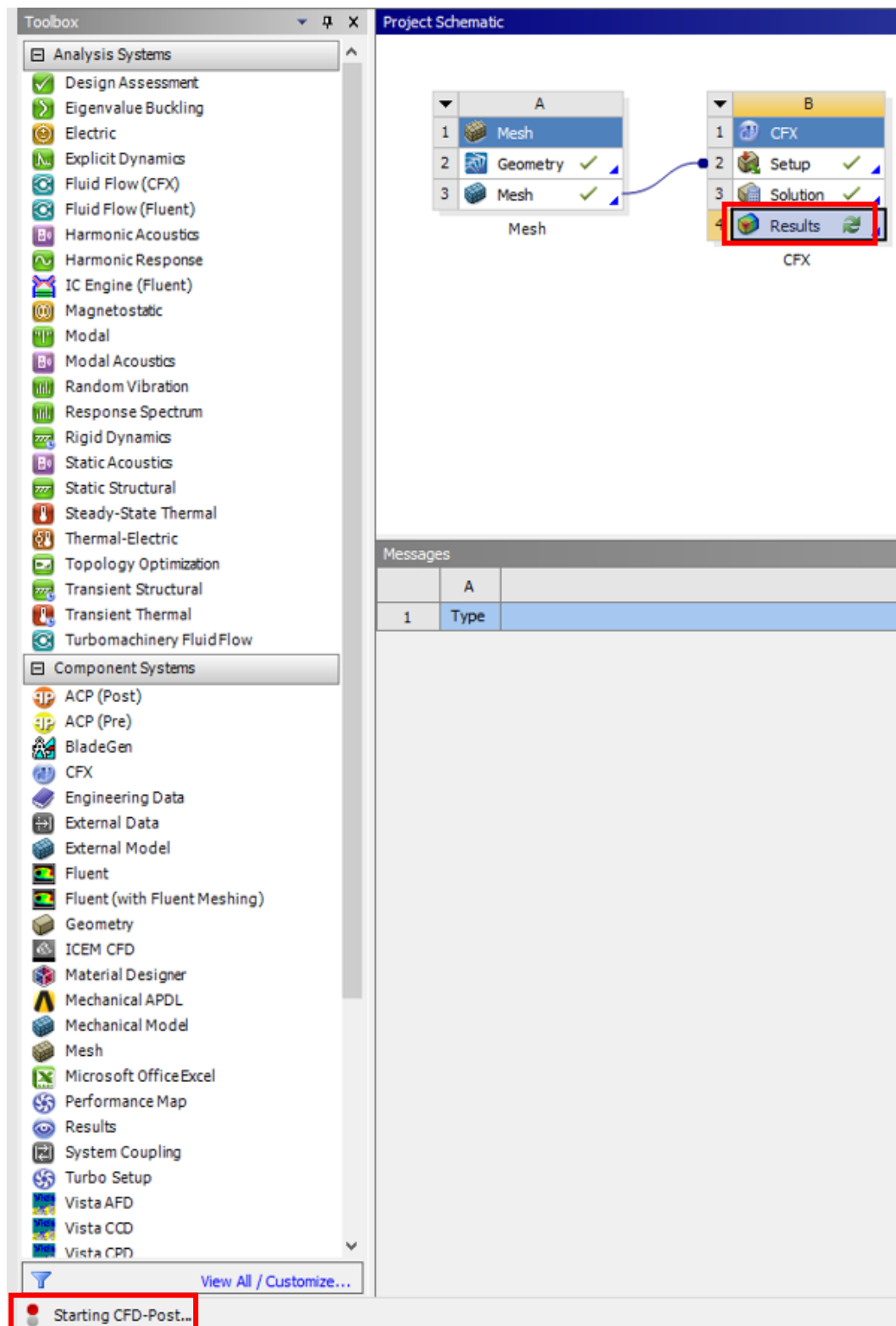
- 3) Obliczenia trwają około 15-20 minut. Po skończeniu obliczeń program wyświetli komunikat:



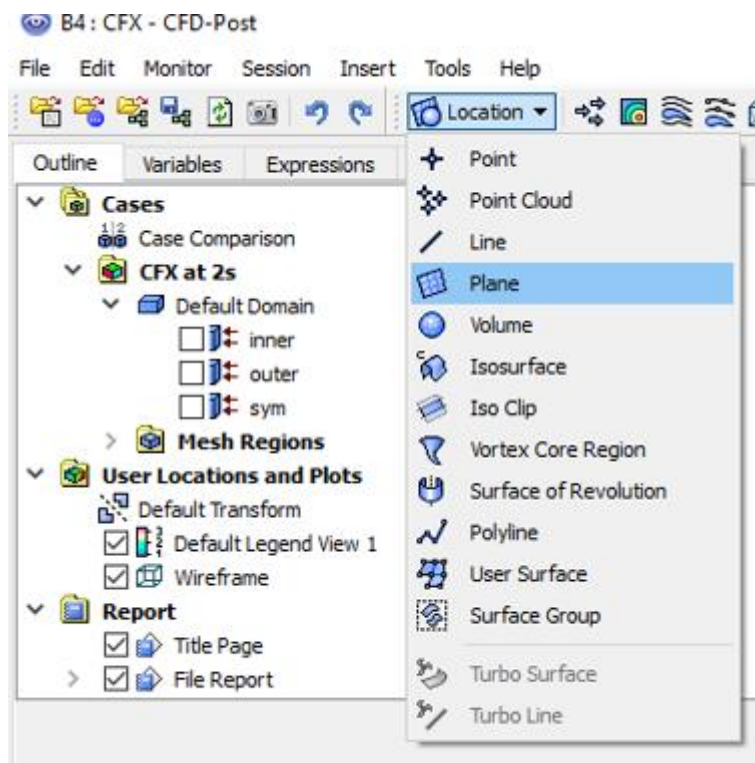
- 4) Zatwierdź *OK* i zamknij *Ansys CFX Solver Manager*. Zapisz projekt w *Workbench*.

2.5. OPRACOWANIE WYNIKÓW

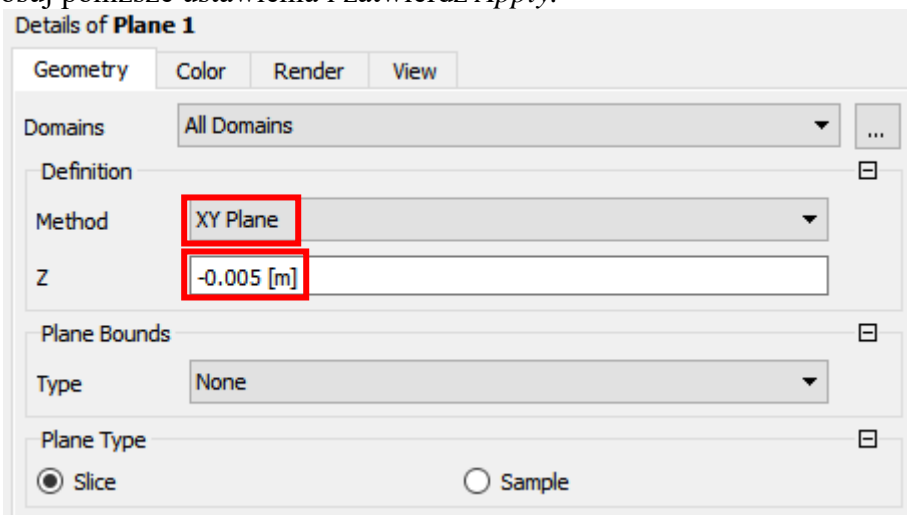
- 1) Kliknij dwukrotnie *LPM Results* w celu uruchomienia programu *Ansys CFD Post* i obejrzenia wyników



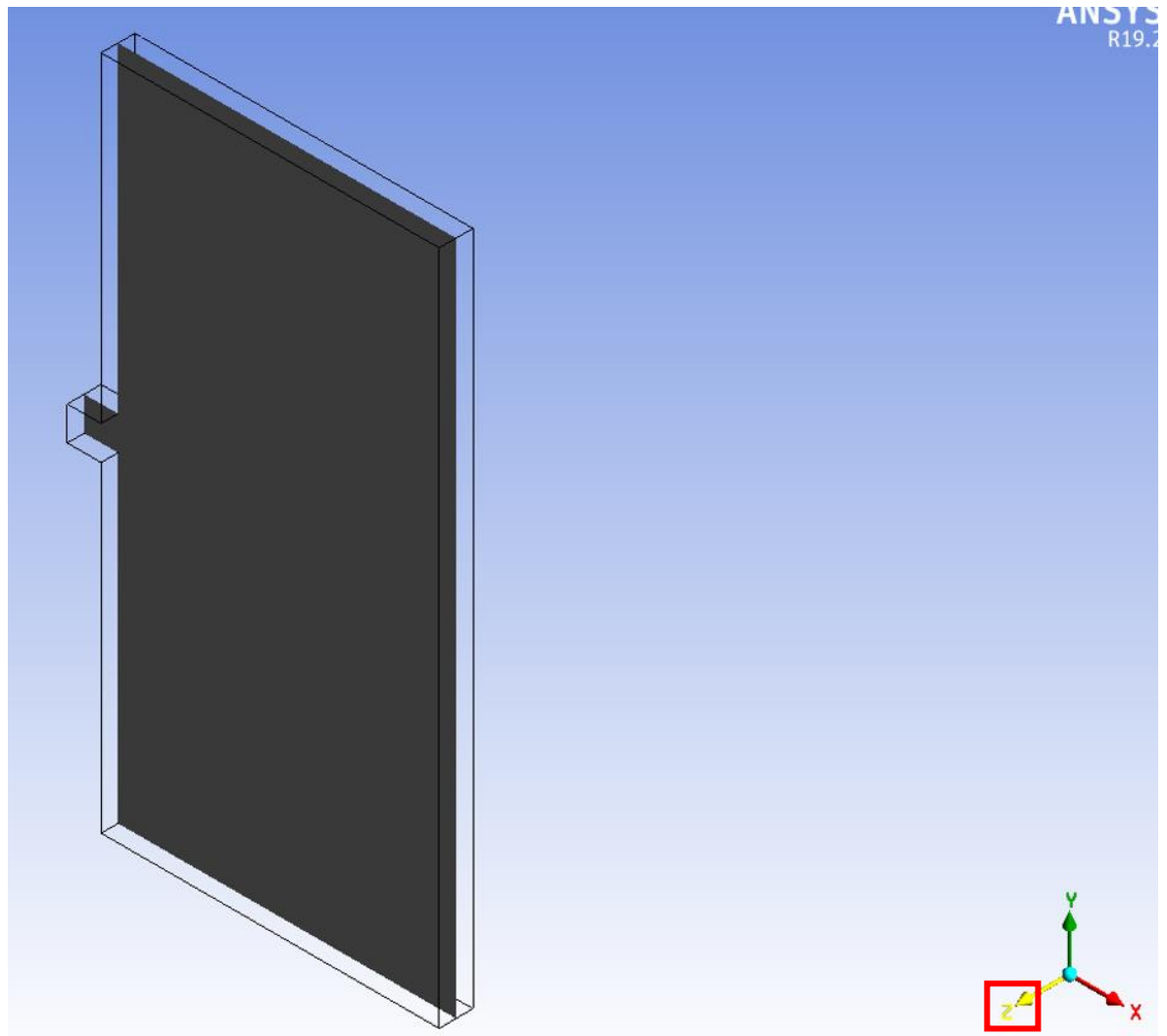
2) Z menu *Location* wybierz *Plane*



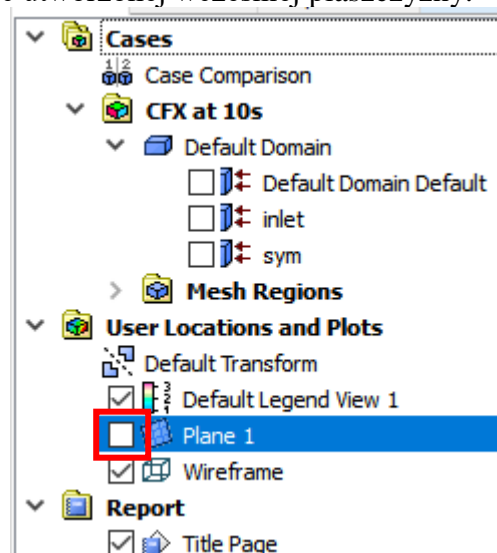
Zastosuj poniższe ustawienia i zatwierdź *Apply*.



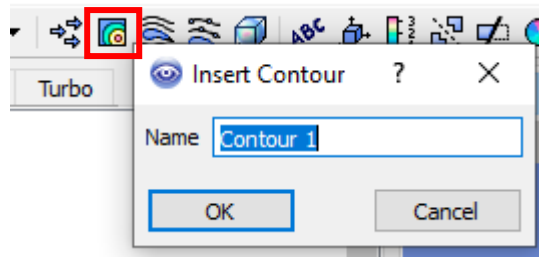
3) LPM naciśnij oś X



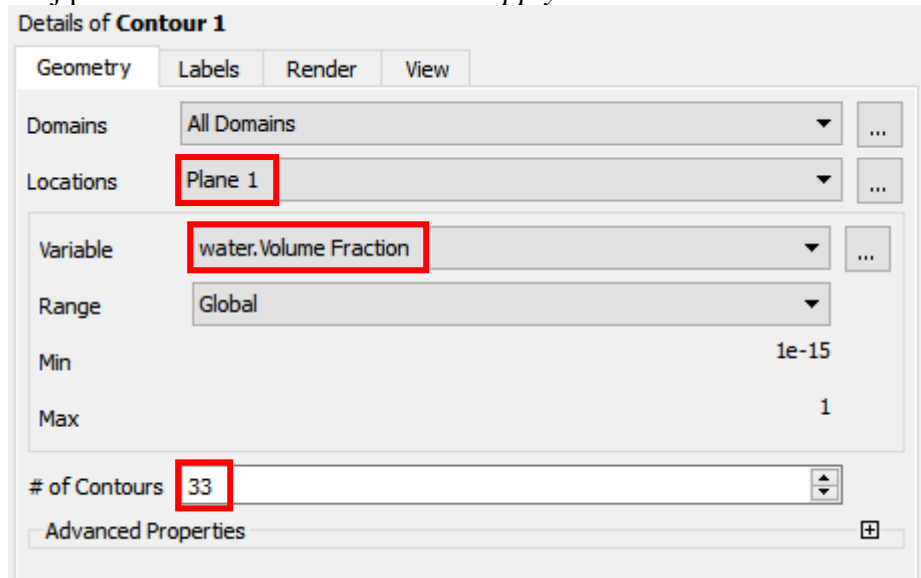
- 4) Odznacz widoczność utworzonej wcześniej płaszczyzny.



- 5) Wybierz tworzenie konturów i zatwierdź OK.



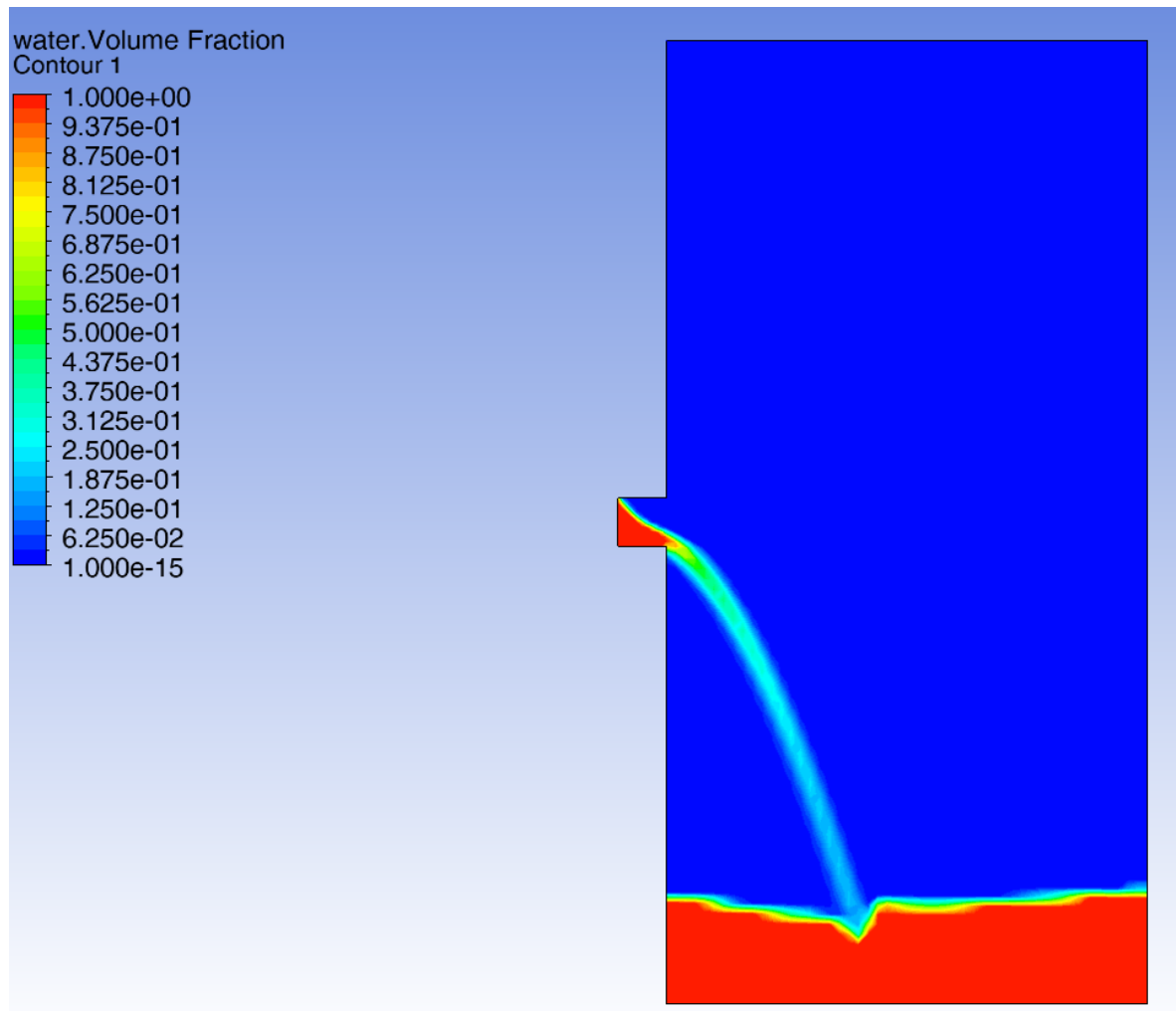
Zastosuj poniższe ustawienia i zatwierdź *Apply*.



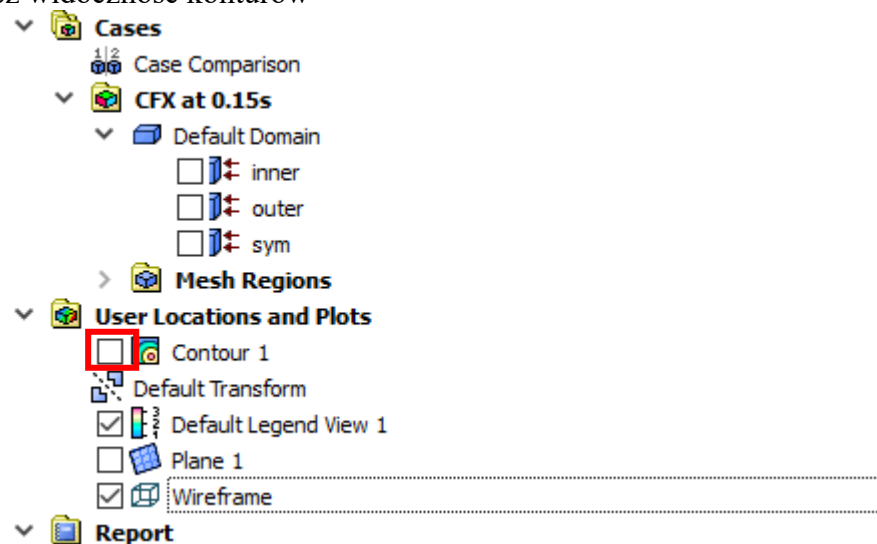
- 6) Wybierz ikonę *Time Step Selector*



i zmieniając czas symulacji obserwuj zmiany udziału objętościowego wody w zbiorniku w czasie



- 7) Po zapisaniu zdjęć konturów dla czasów 0; 2; 4; 6; 8; 10 s.
wyłącz widoczność konturów



- 8) Przygotuj i zapisz także kontury ciśnienia (*Pressure*) dla czasów 0; 2; 4; 6; 8; 10 s.
- 9) Zadanie dodatkowe: Utwórz animację pokazującą zmiany udziału objętościowego wody w zbiorniku (pomoc:

<http://fluid.itcmp.pwr.wroc.pl/~pblasiak/CFD/UsefulInformation/animationCFX.jpg>

Wyniki jakie należy umieścić w raporcie:

- I. Kontury rozkładów udziału objętościowego wody w zbiorniku dla czasów: 0; 2; 4; 6; 8; 10 s.
- II. Kontury rozkładów ciśnienia w zbiorniku dla czasów: 0; 2; 4; 6; 8; 10 s.

Zadania nieobowiązkowe:

- 1) Utwórz animację pokazującą zmiany udziału objętościowego wody w zbiorniku (pomoc: <http://fluid.itcmp.pwr.wroc.pl/~pblasiak/CFD/UsefulInformation/animationCFX.jpg>)
- 2) Oblicz teoretyczną wysokość do jakiej powinien napełnić się zbiornik w czasie $t = 10$ s i porównaj ją z wartością z programu.
- 3) Wykonaj obliczenia przy wyłączonej opcji *Interface Compression Level* i porównaj wyniki z rozwiązaniem podstawowym.