



Politechnika Wrocławska

---

**Wydział Mechaniczno-Energetyczny**  
Studia stacjonarne

Wybrane zagadnienia procesów ciepłno-przepływowych

Ćwiczenie nr 2

**Obliczanie nieustalonej wymiany ciepła  
z uwzględnieniem promieniowania**

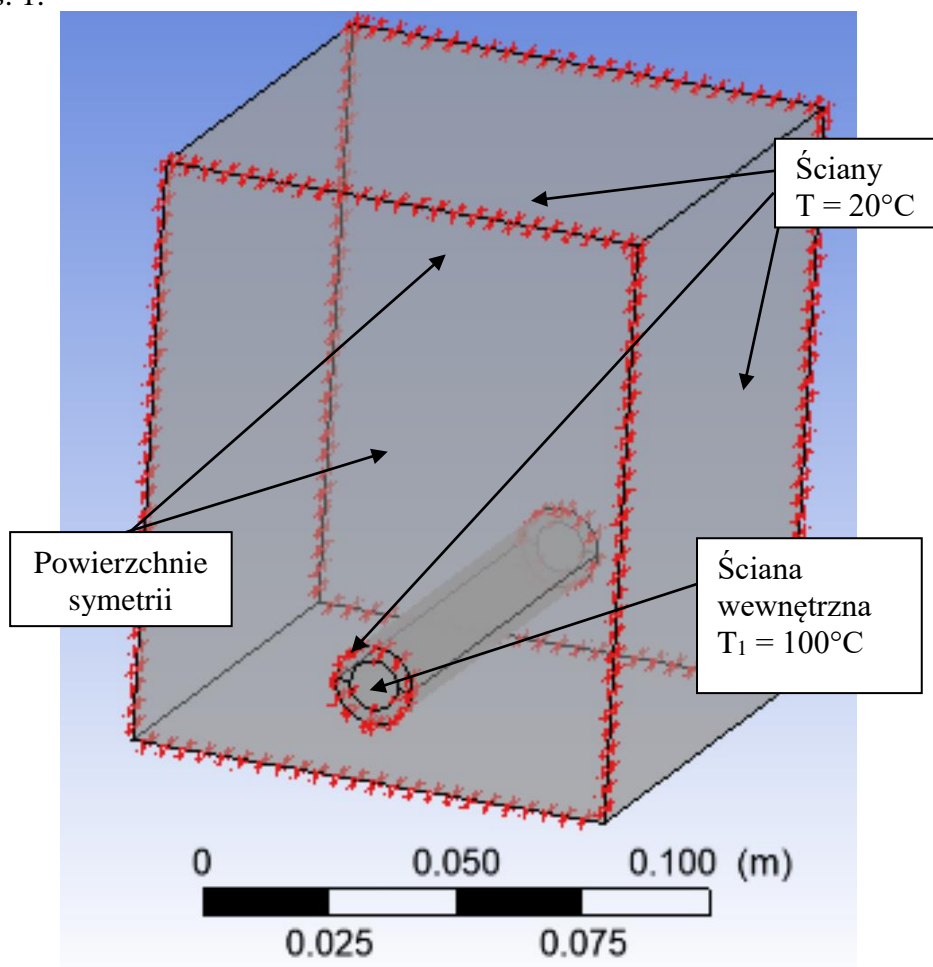
Wrocław 2020

## SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie .....	2
2. Jednowymiarowe nieustalone przewodzenie przez przegrodę cylindryczną z uwzględnieniem konwekcji i promieniowania .....	3
2.1. Przygotowanie geometrii .....	3
2.2. Przygotowanie siatki numerycznej .....	11
2.3. Symulacja numeryczna .....	25
3. Wizualizacja wyników.....	41

### 1. WPROWADZENIE

W ćwiczeniu zostanie zaprezentowany sposób modelowania nieustalonej wymiany ciepła z uwzględnieniem radiacji. Jako punkt startowy zostanie wykorzystany model z *Ćwiczenia nr 1*, który zostanie rozbudowany do przypadku dwuwymiarowego w celu uwzględnienia konwekcyjnej wymiany ciepła na zewnętrznej powierzchni rury. W końcowym etapie zostanie uwzględniona także składowa radiacyjna strumienia ciepła z zewnętrznej powierzchni rury. Schemat analizowanego przypadku przedstawiony jest na rys. 1.



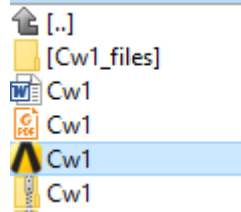
Rys. 1. Schemat zagadnienia złożonej wymiany ciepła

## 2. JEDNOWYMIAROWE NIEUSTALONE PRZEWODZENIE PRZEZ PRZEGRODĘ CYLINDRYCZNĄ Z UWZGLĘDNIENIEM KONWEKCJI I PROMIENIOWANIA

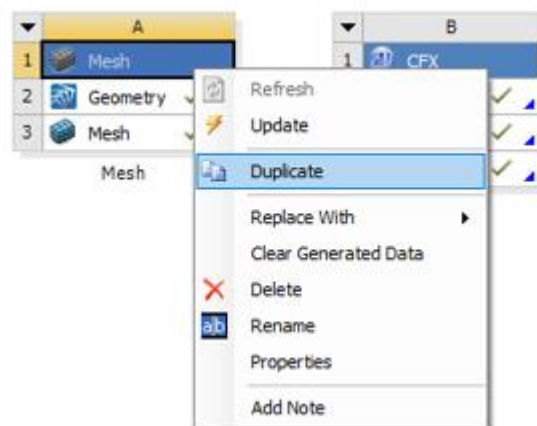
### 2.1. PRZYGOTOWANIE GEOMETRII

Wykonaj następujące zadania:

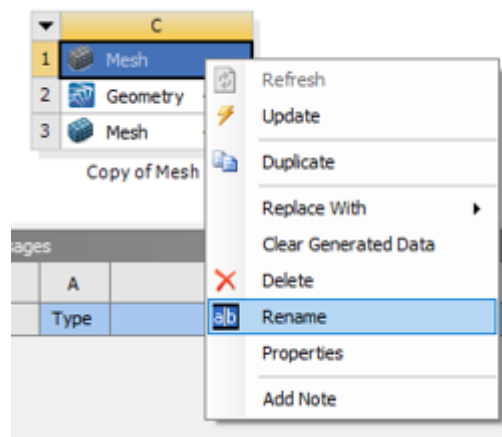
- 1) Otwórz plik *Workbench* z projektem z *Ćwiczenia nr 1*



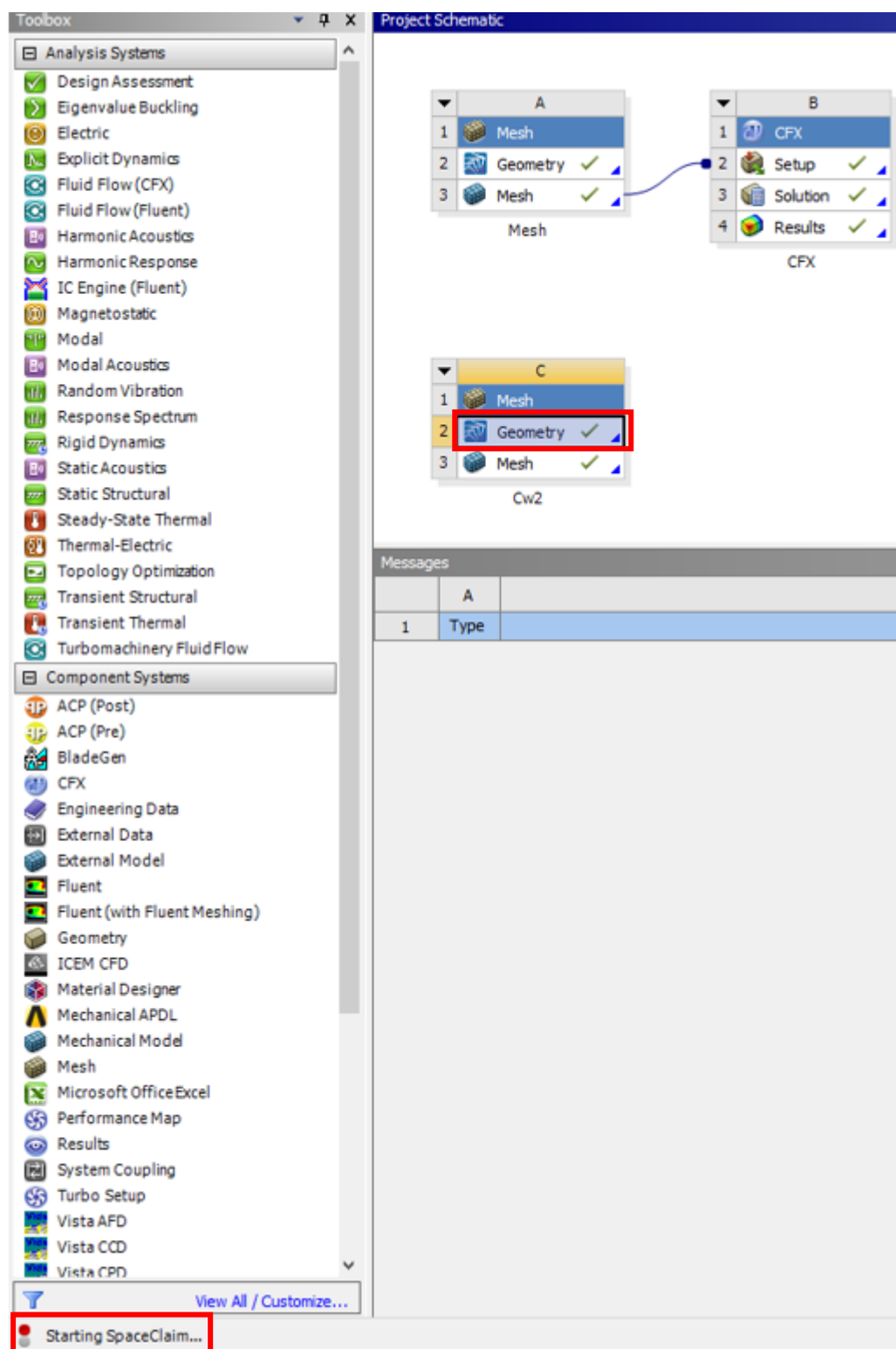
- 2) PPM kliknij na *Mesh* i wybierz *Duplicate* w celu skopiowania geometrii z *Ćwiczenia nr 1*



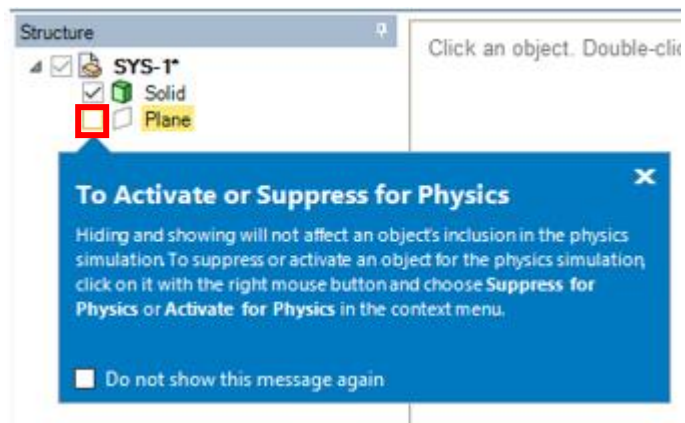
- 3) PPM kliknij na *Mesh* i wybierz *Rename*. Zmień nazwę na *Cw2*



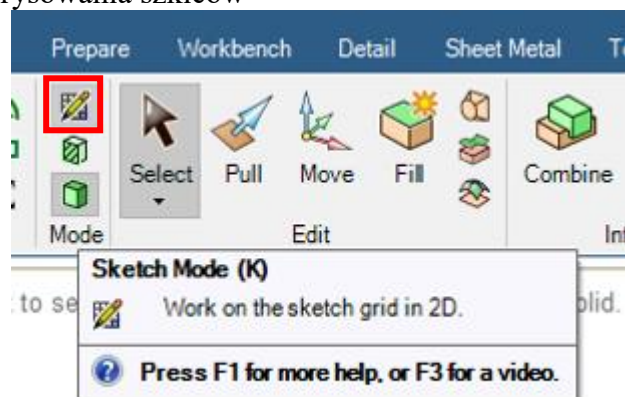
- 4) LPM kliknij dwukrotnie na *Geometry* w *Cw2*



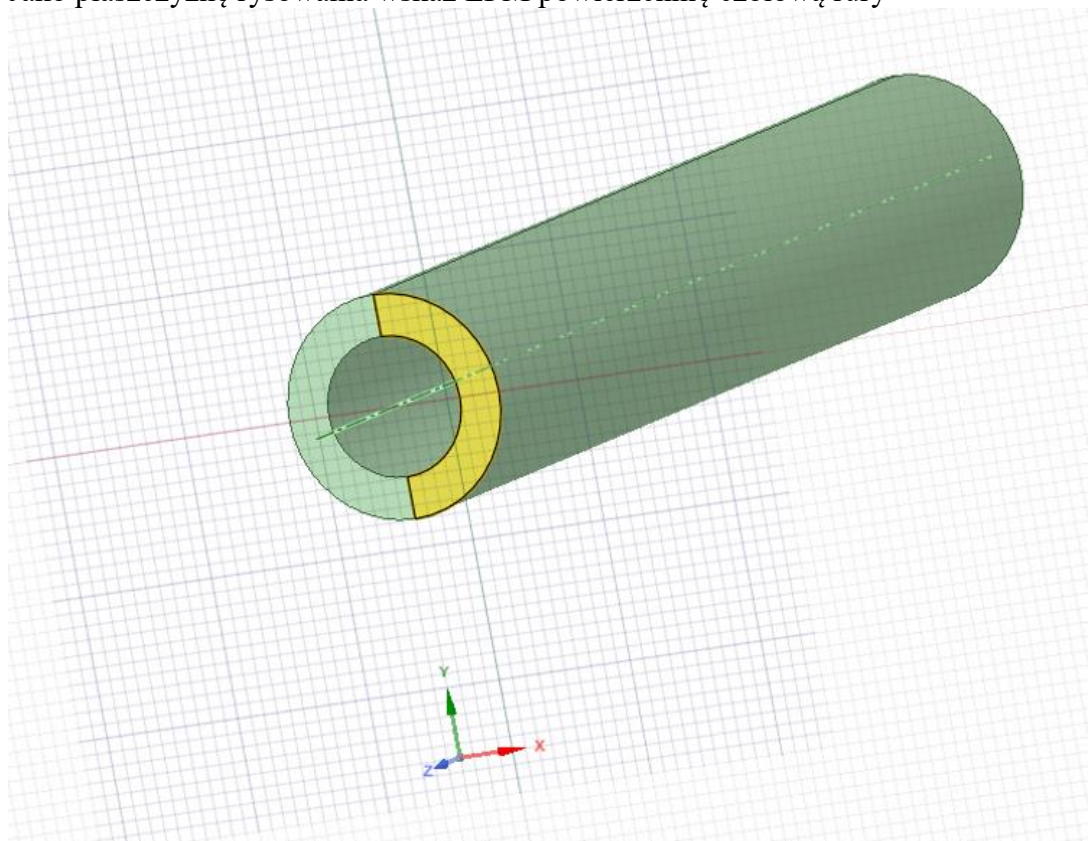
5) Wyłącz widoczność płaszczyzny tnącej z Ćwiczenia nr 1




6) Wybierz ikonę rysowania szkiców

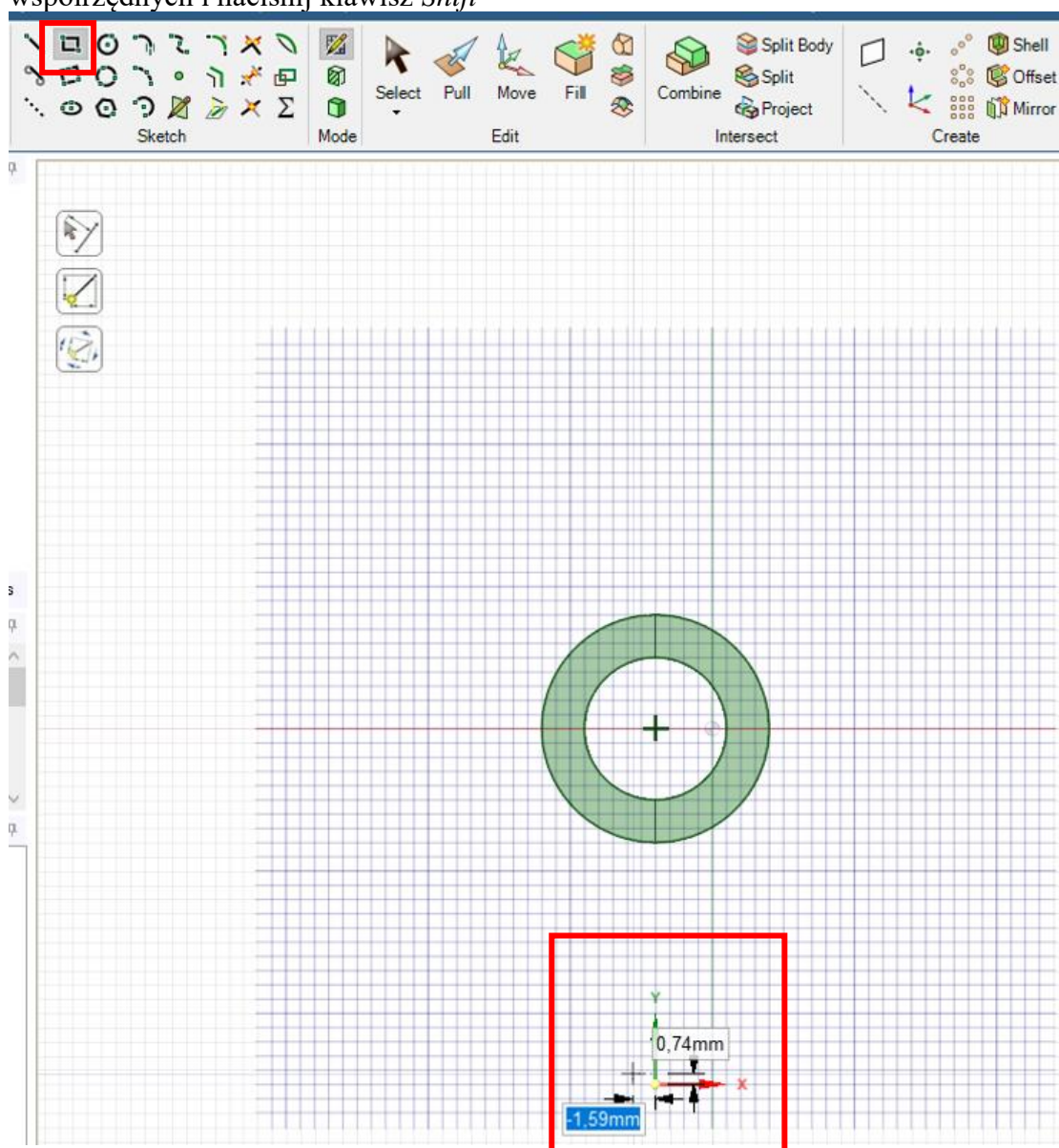


7) Jako płaszczyznę rysowania wskaż LPM powierzchnię czołową rury



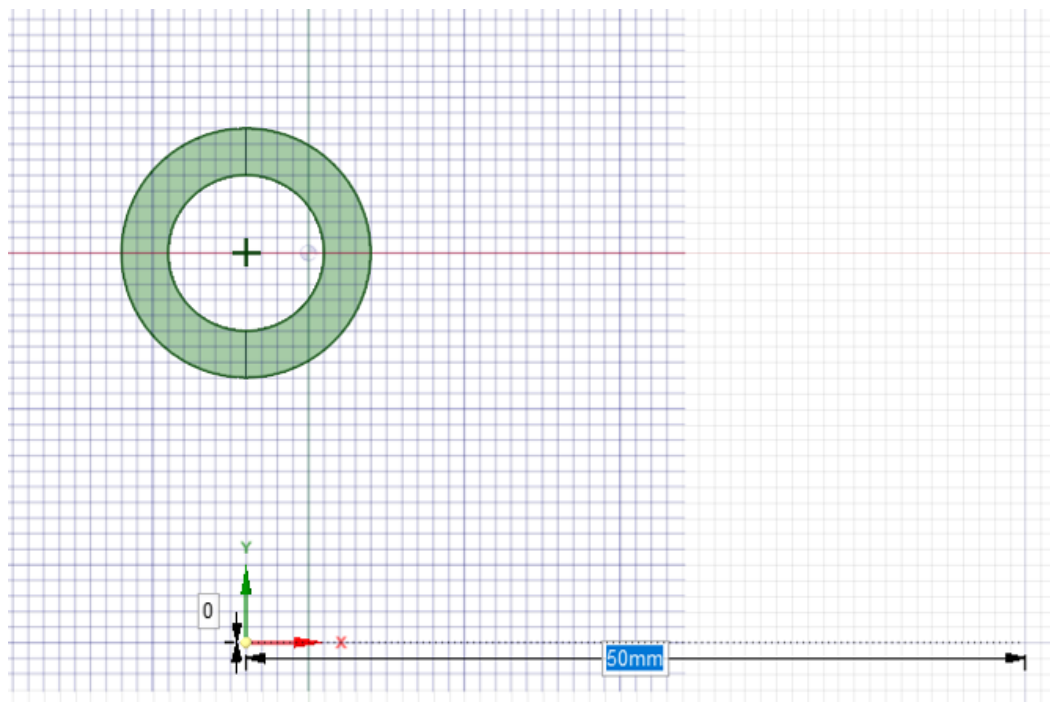
8) Ustaw widok równoległy do ekranu (*Shift + v* lub )

- 9) Wybierz ikonę rysowania prostokąta, zbliż kursor do środka układu współrzędnych i naciśnij klawisz *Shift*

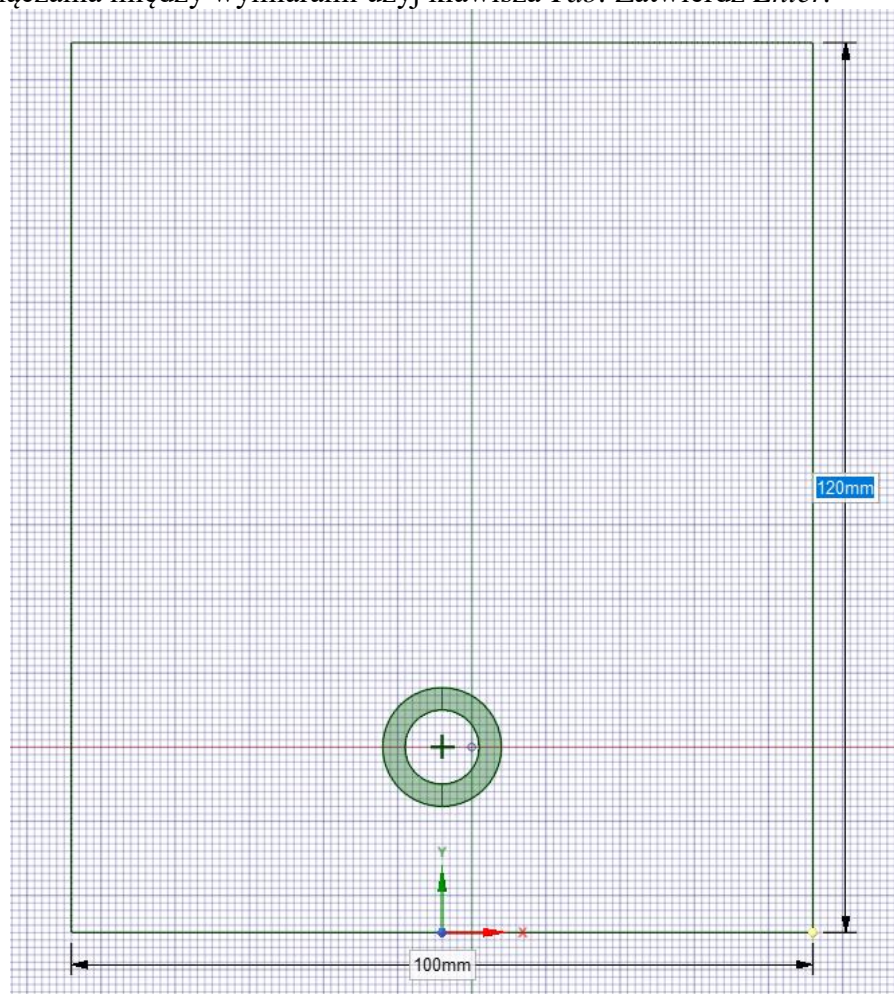


- 10) Po naciśnięciu *Shift* pojawią się dwa pola edycji wymiaru. Ustaw wymiar poziomy jako 50 mm a pionowy jako 0 mm. W celu przełączania między wymiarami użyj klawisza *Tab*. Zatwierdź *Enter*.

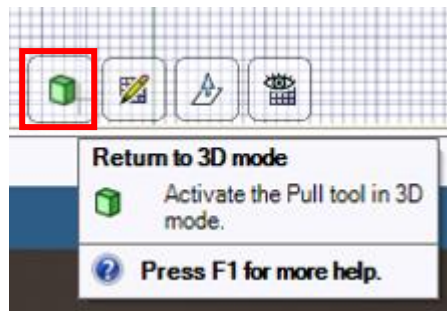




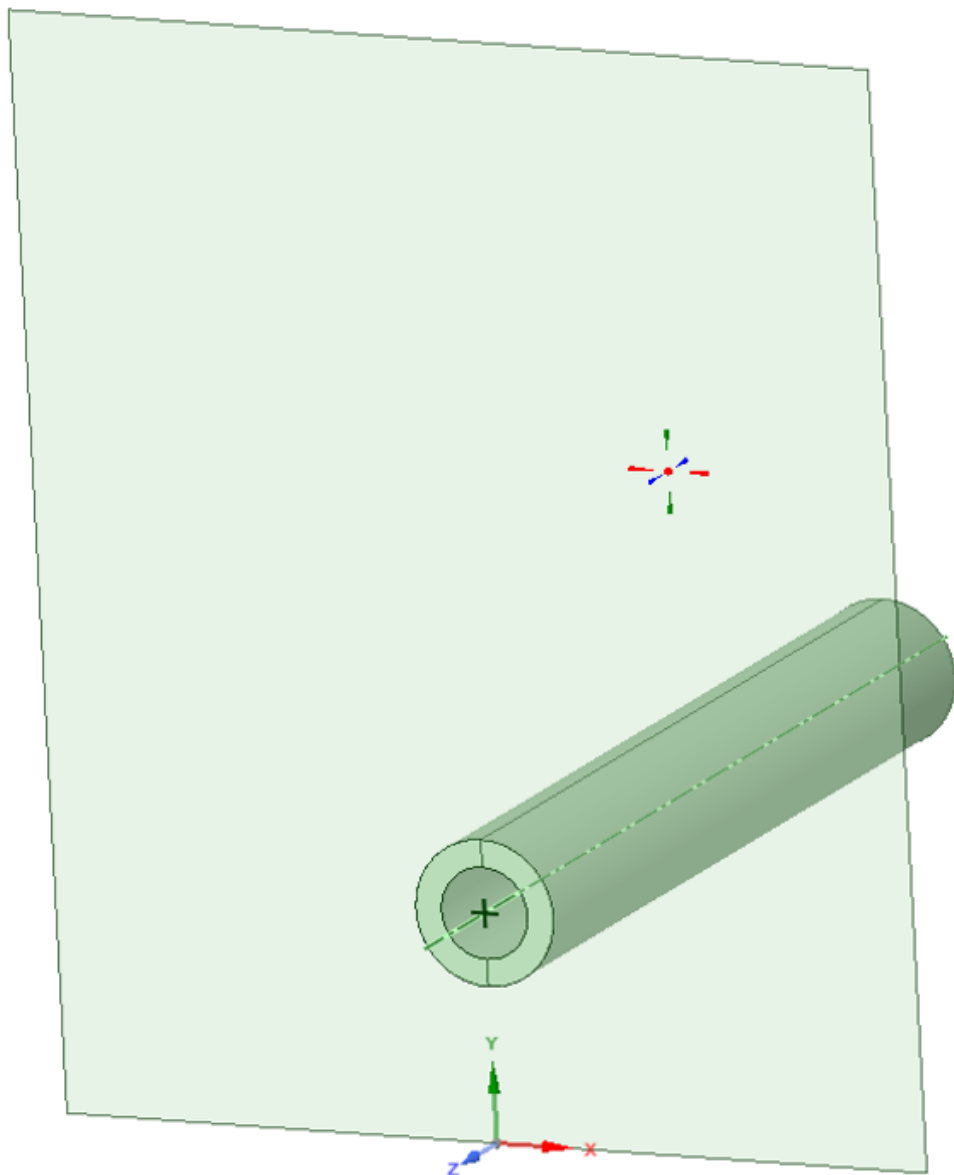
11) Ustaw wymiar poziomy jako 100 mm a pionowy jako 120 mm. W celu przełączania między wymiarami użyj klawisza *Tab*. Zatwierdź *Enter*.



12) Wróć do widoku 3D

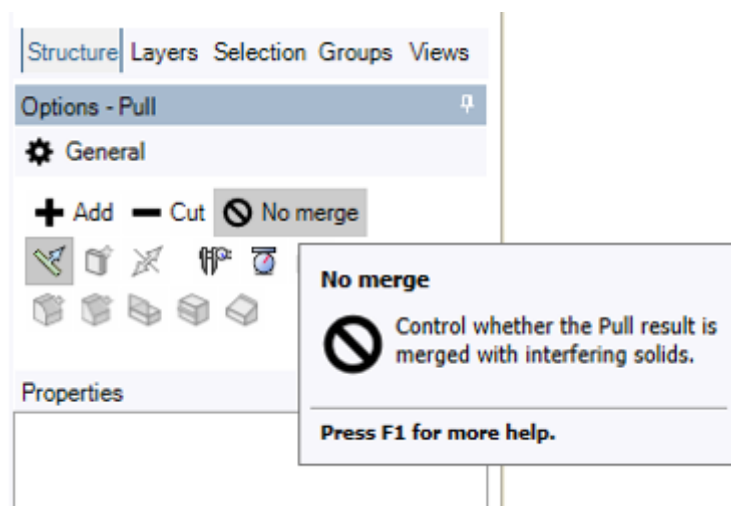


13) Przesuwając wciśnięty przycisk *Scroll* myszy obróć widok tak jak poniżej

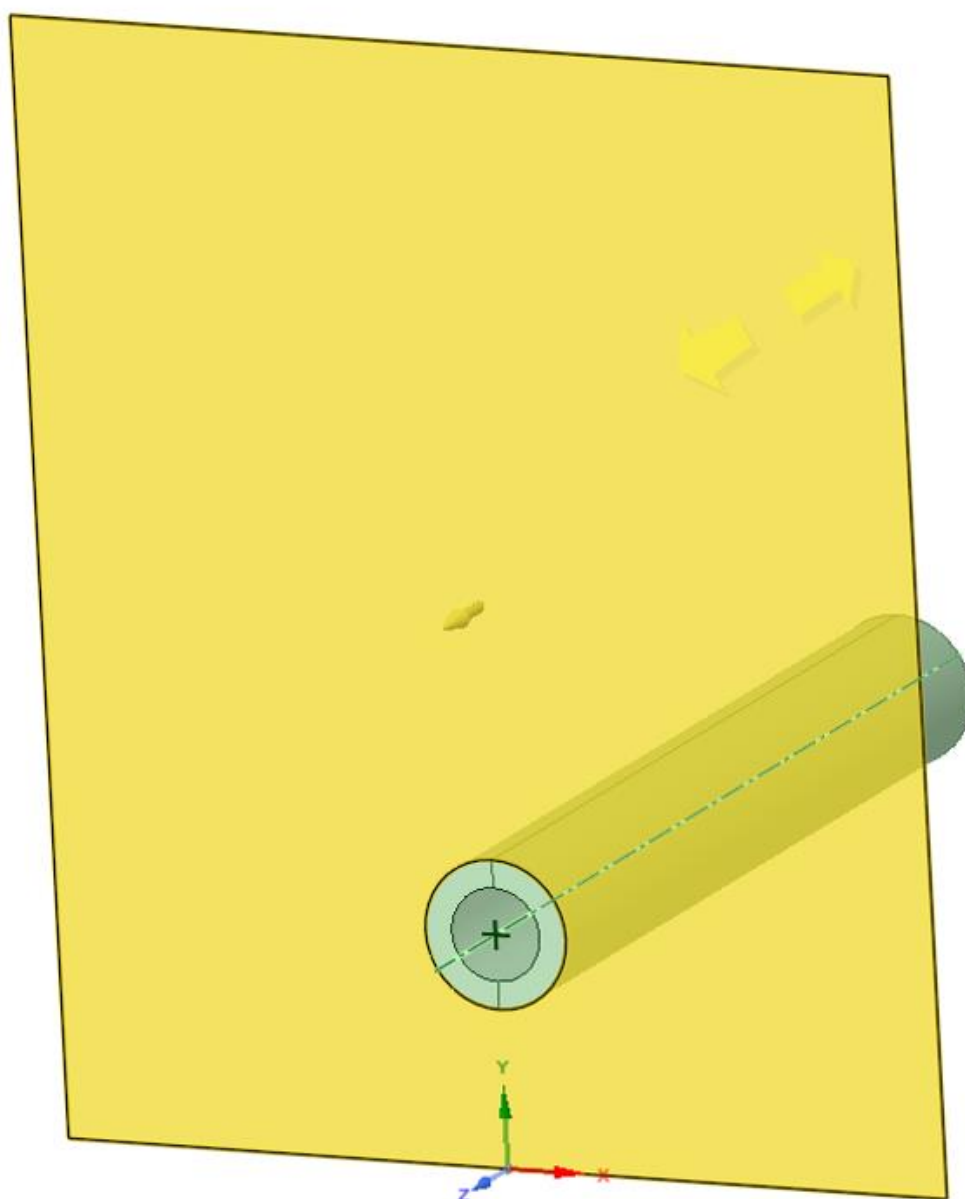


14) Po lewej stronie ekranu LPM wybierz *No merge*

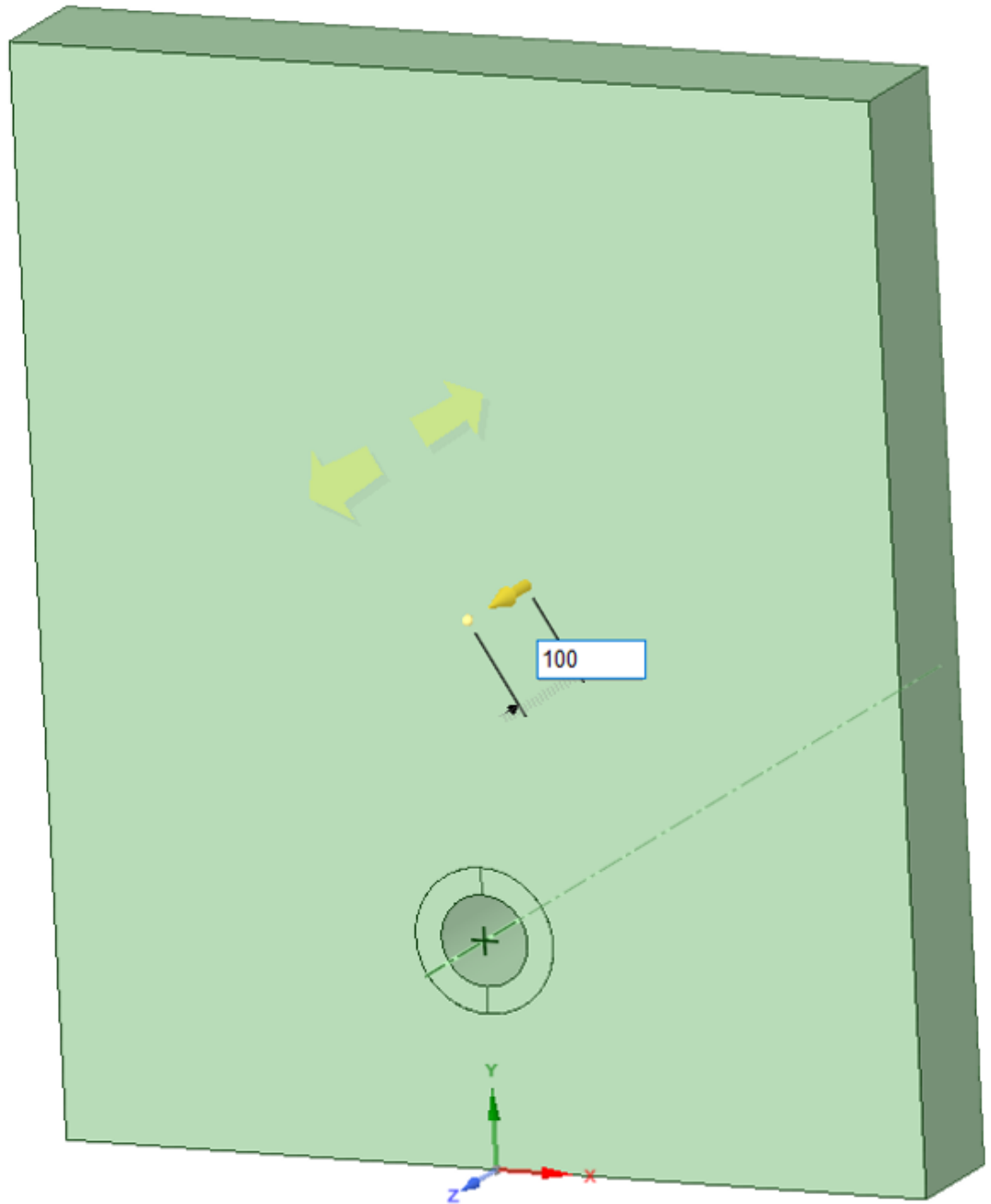




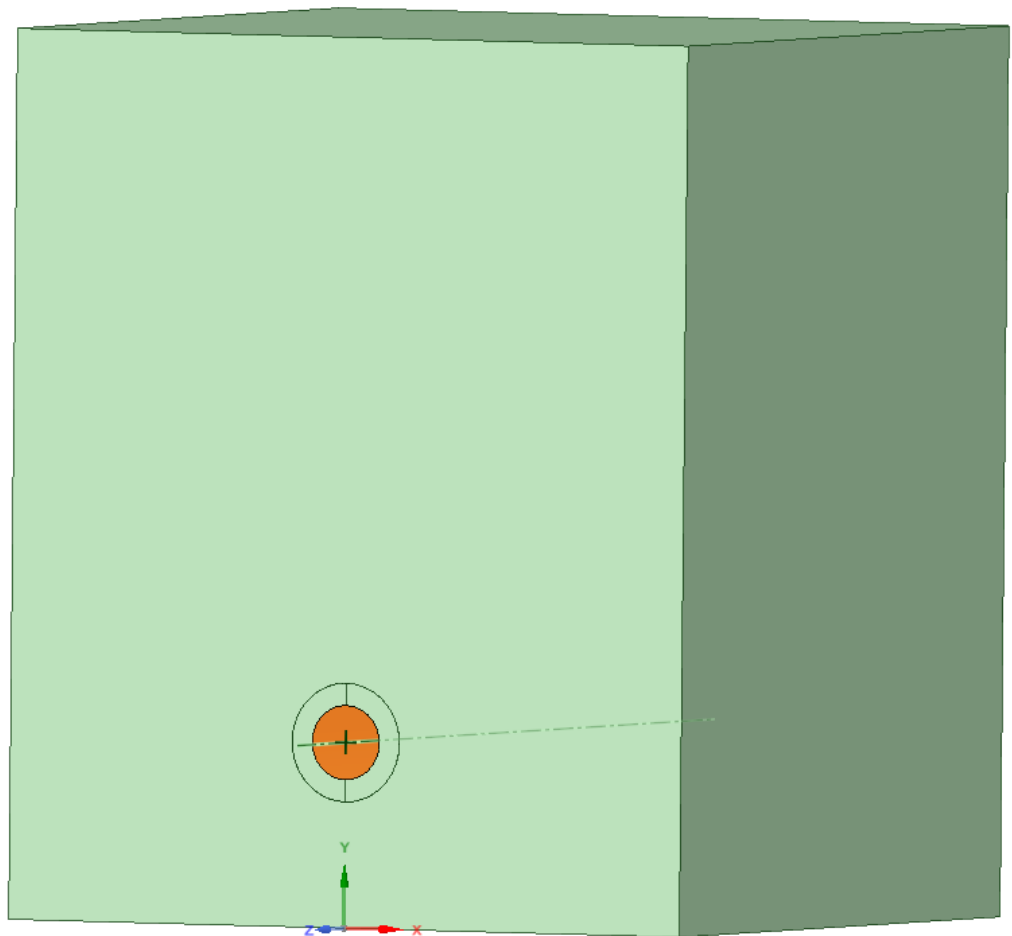
15) Następnie ustaw kursor, aby pokazały się żółte strzałki



- 16) Przesuń kursor przy wciśniętym LPM i nadaj wartość 100 mm, a następnie zatwierdź *Enter*.



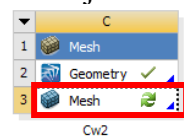
- 17) Naciśnij *Esc* w celu wyjścia z polecenia *Pull* i wskaż LPM powierzchnię wlotową do rury



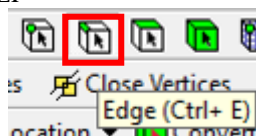
- 18) Naciśnij klawisz *Delete* w celu usunięcia pomarańczowej powierzchni i zamknij *Spaceclaim*.
- 19) Zapisz projekt w *Workbench* (*Ctrl + s*).

## 2.2. PRZYGOTOWANIE SIATKI NUMERYCZNEJ

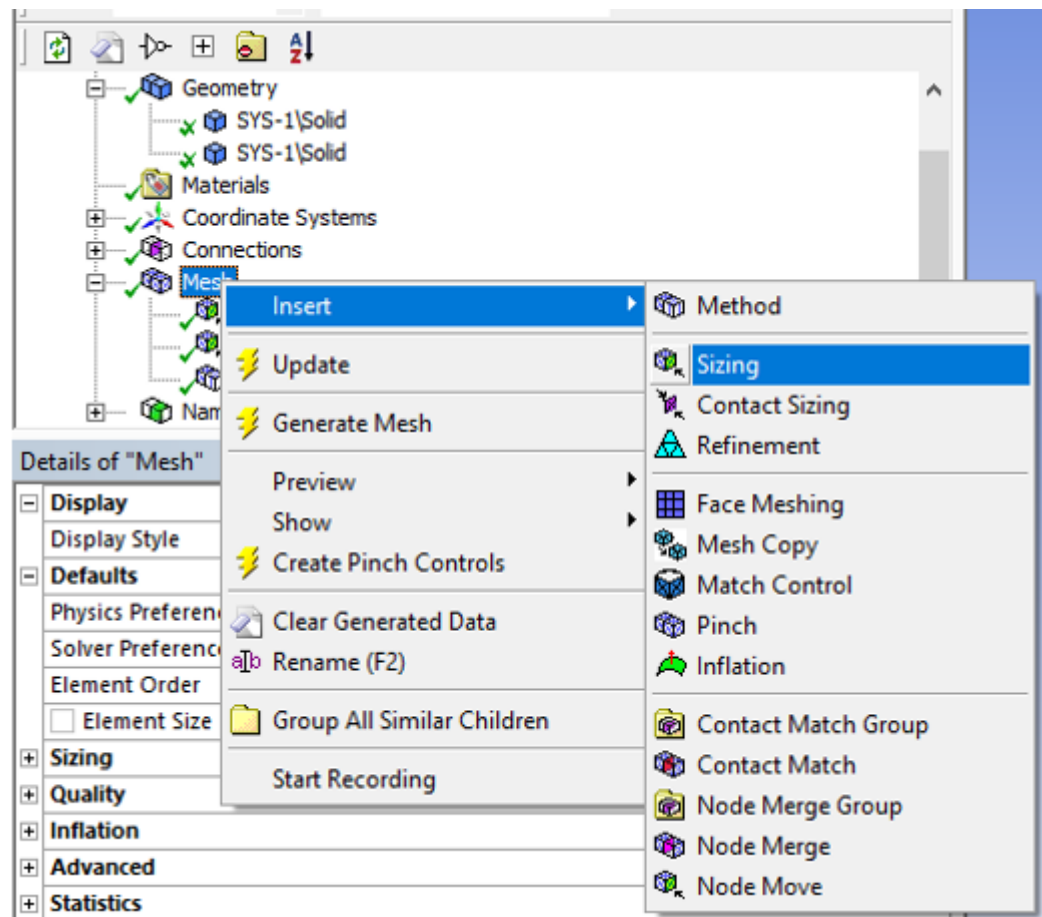
- 1) Kliknij dwukrotnie *Mesh* i wybierz *Yes*



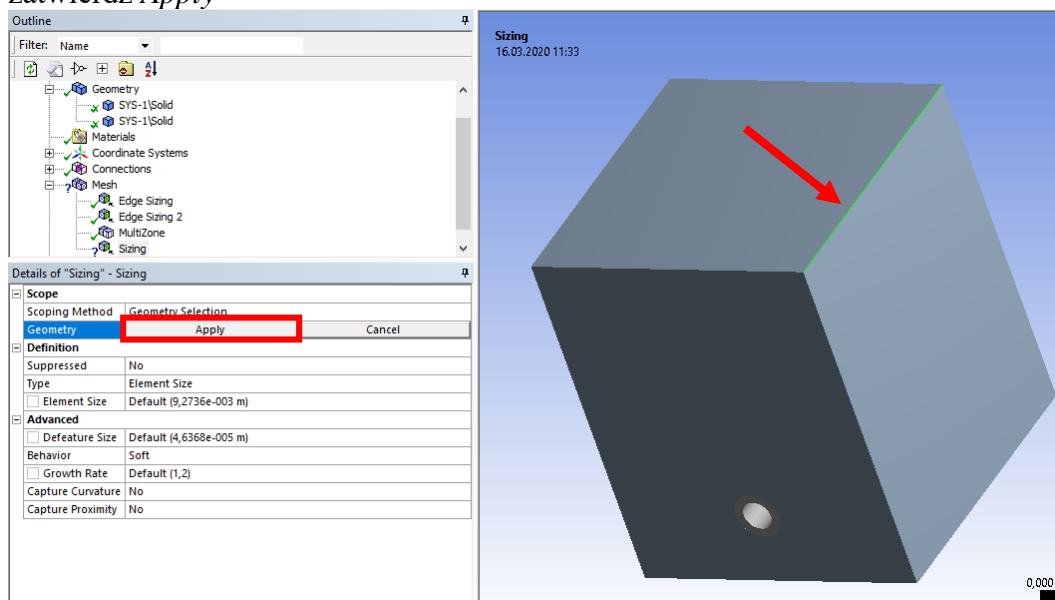
- 2) Wybierz filtr wyboru krawędzi



- 3) PPM wskaż *Mesh* i wybierz *Insert->Sizing*



- 4) LPM wybierz kraweź prostopadłościanu wzdłuż kierunku rury, a następnie zatwierdź *Apply*



- 5) W polu *Details* zastosuj następujące ustawienia

Details of "Edge Sizing 3" - Sizing	
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Edge
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Number of Divisions
<input type="checkbox"/> Number of Divisions	1
<b>Advanced</b>	
Behavior	Soft
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,2)
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No
Bias Type	No Bias

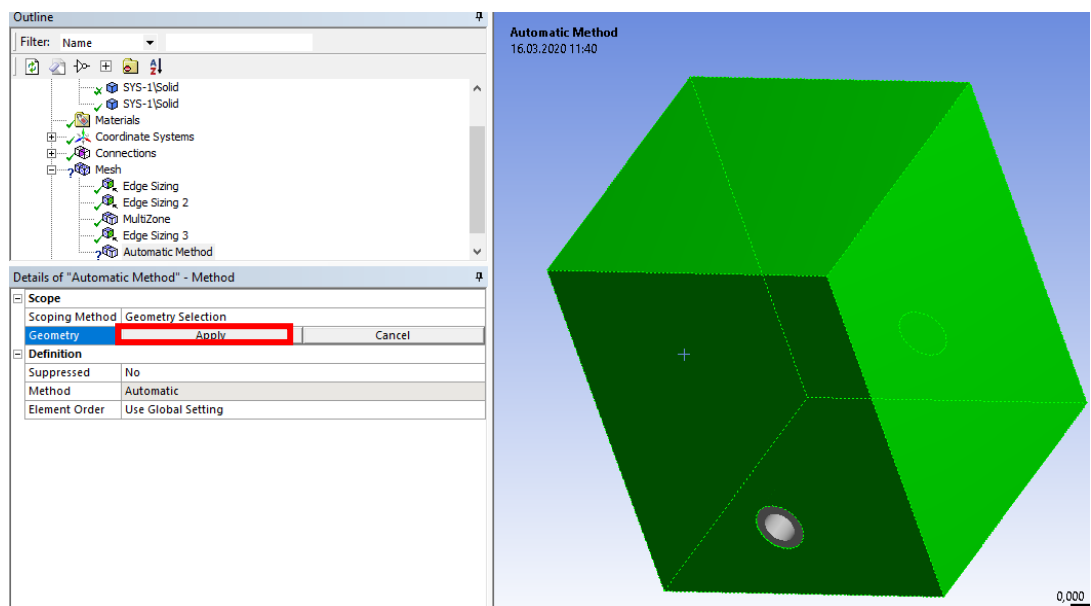
6) Kliknij *Generate Mesh* i zobacz jak wygląda siatka numeryczna.

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

The screenshot shows the 'Outline' pane on the left with a tree view. The 'Mesh' object is selected, and a context menu is open. The 'Insert' option is highlighted, and the 'Method' submenu is displayed, showing options like 'Sizing', 'Contact Sizing', 'Refinement', 'Face Meshing', 'Mesh Copy', 'Match Control', 'Pinch', 'Inflation', 'Contact Match Group', 'Contact Match', 'Node Merge Group', 'Node Merge', and 'Node Move'. The 'Details of "Mesh"' pane is also visible, showing sections for 'Display', 'Defaults', 'Sizing', 'Quality', 'Inflation', 'Advanced', and 'Statistics'.

8) LPM wskaż prostopadłościan i zatwierdź *Apply*.

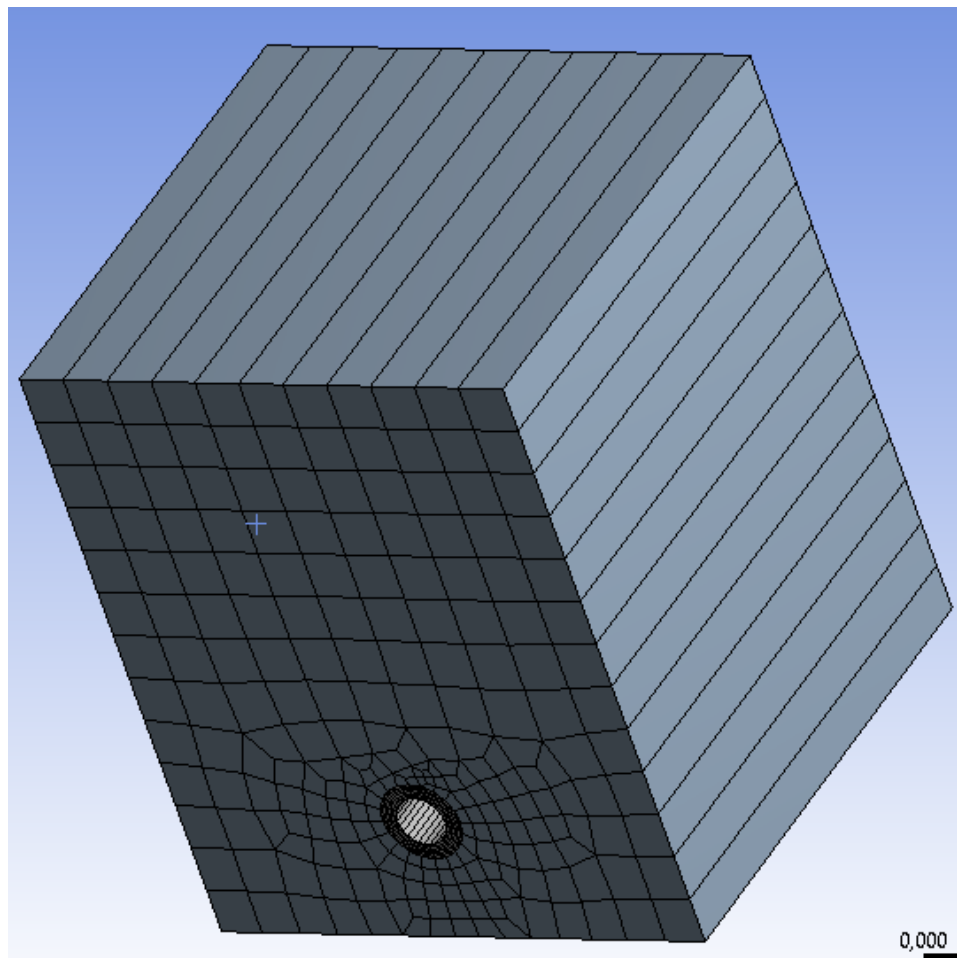




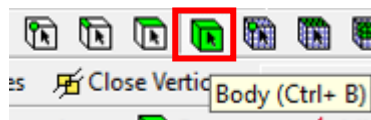
9) W polu *Details* zastosuj poniższe ustawienia

Details of "MultiZone 2" - Method	
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<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	5,0265e-002 m
Write ICEM CFD Files	No

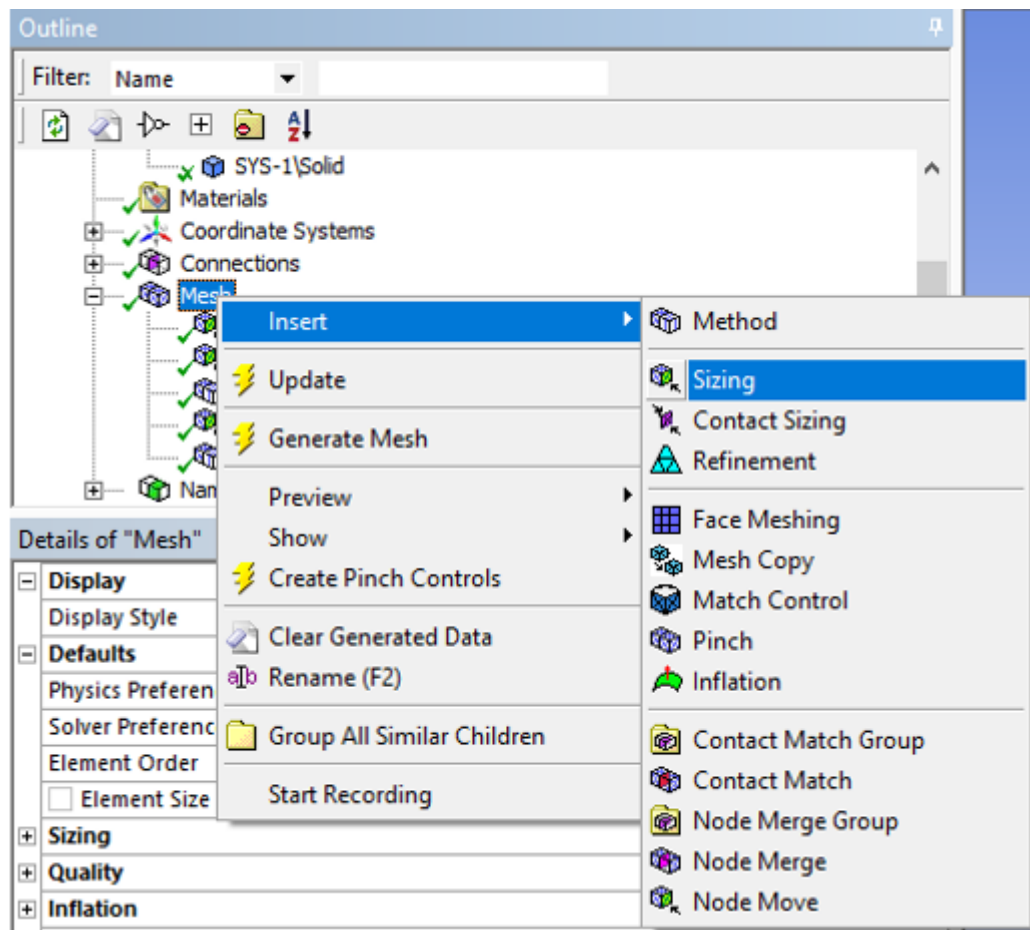
10) Kliknij *Generate Mesh* i zobacz jak wygląda siatka numeryczna.



11) Zmień filtr na wybór ciał

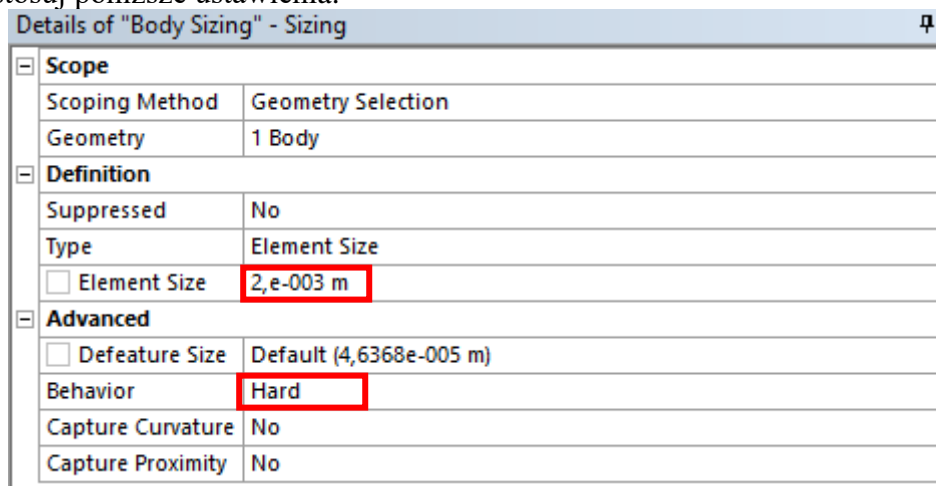


12) PPM wskaż *Mesh* i wybierz *Insert->Sizing*

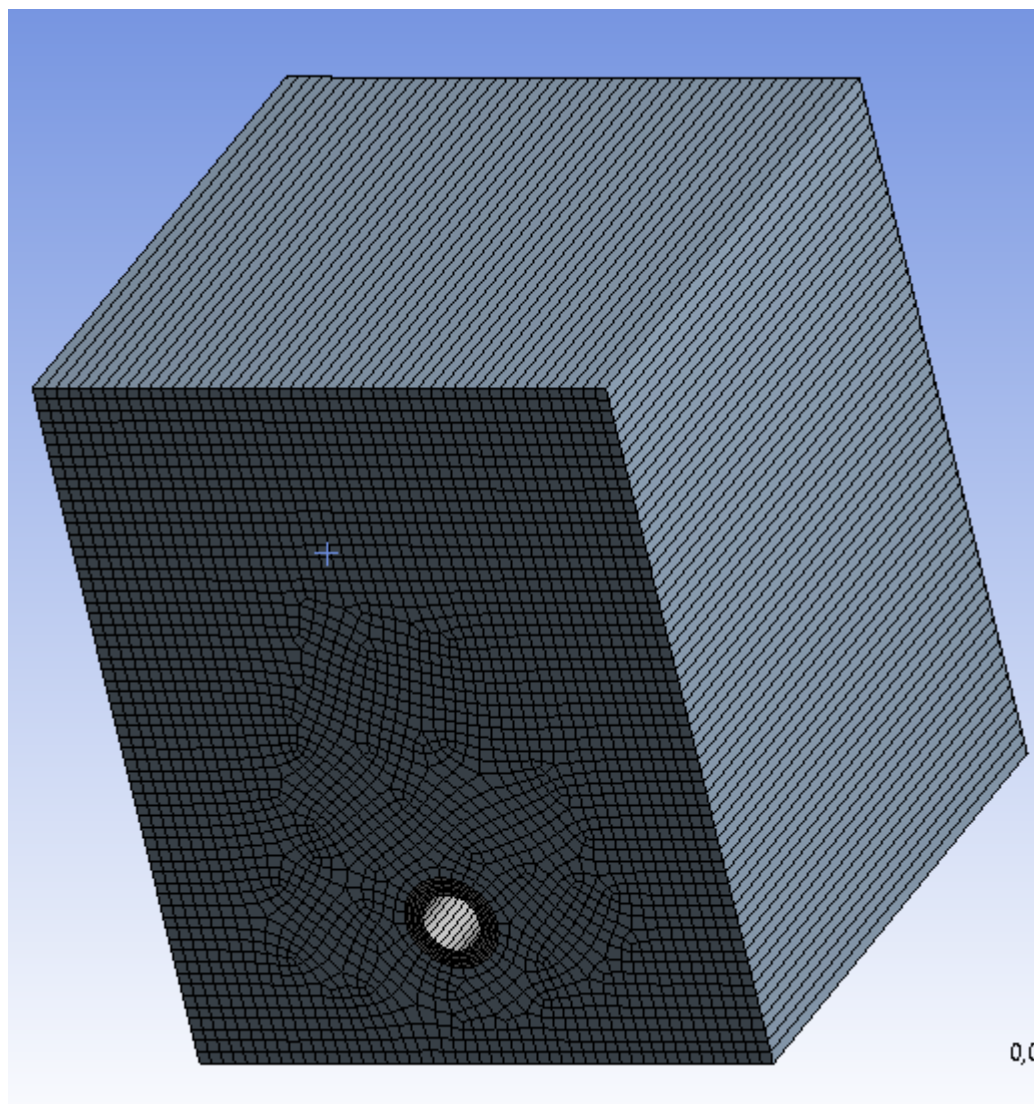


13) Wskaż prostopadłościan i zatwierdź *Apply*.

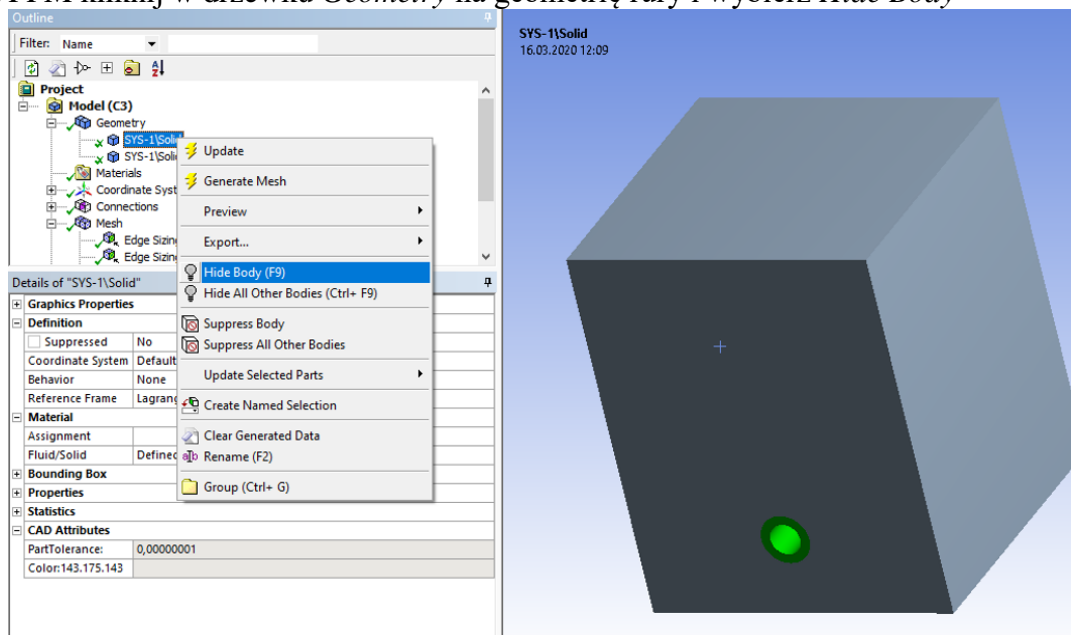
14) Zastosuj poniższe ustawienia.



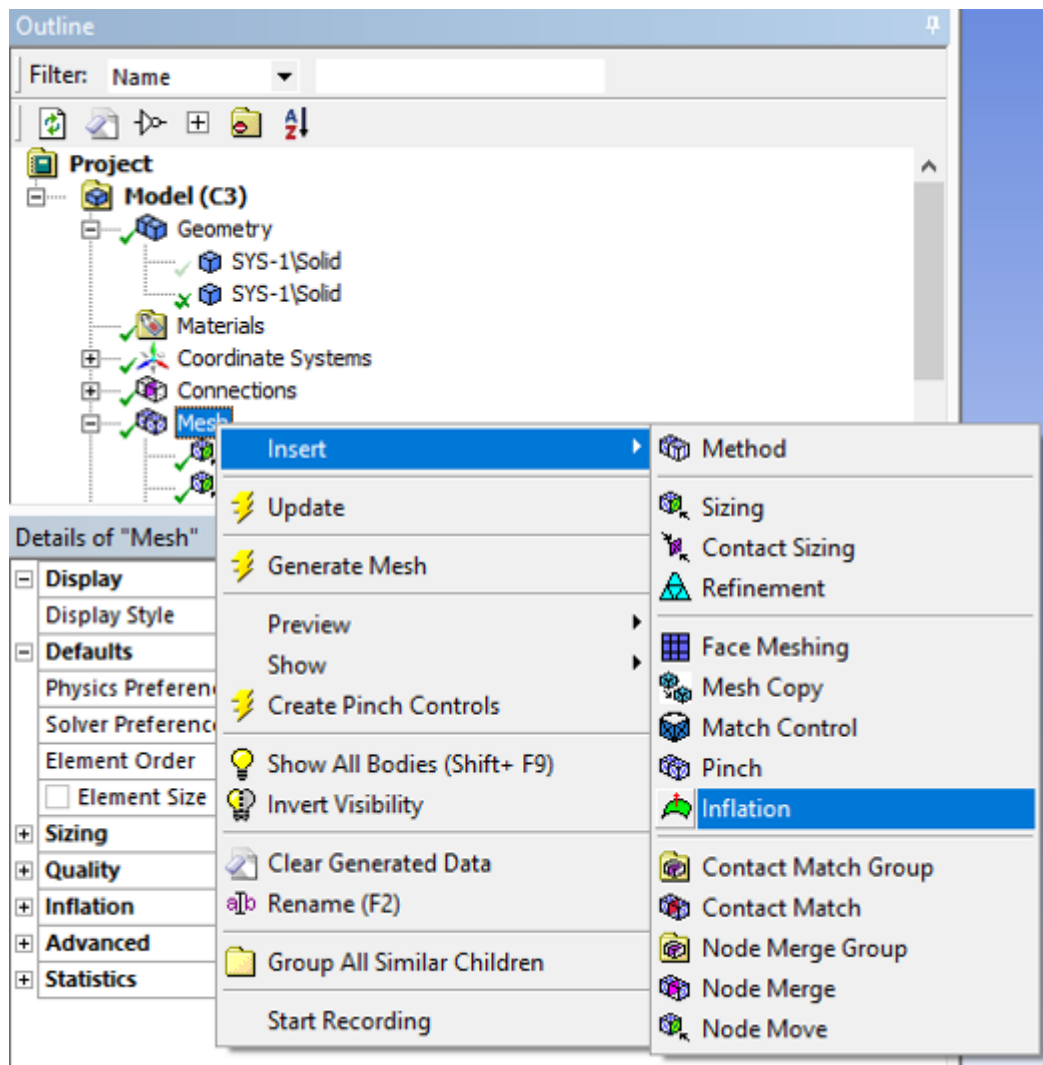
15) Kliknij *Generat Mesh* i sprawdź jak wygląda siatka numeryczna.



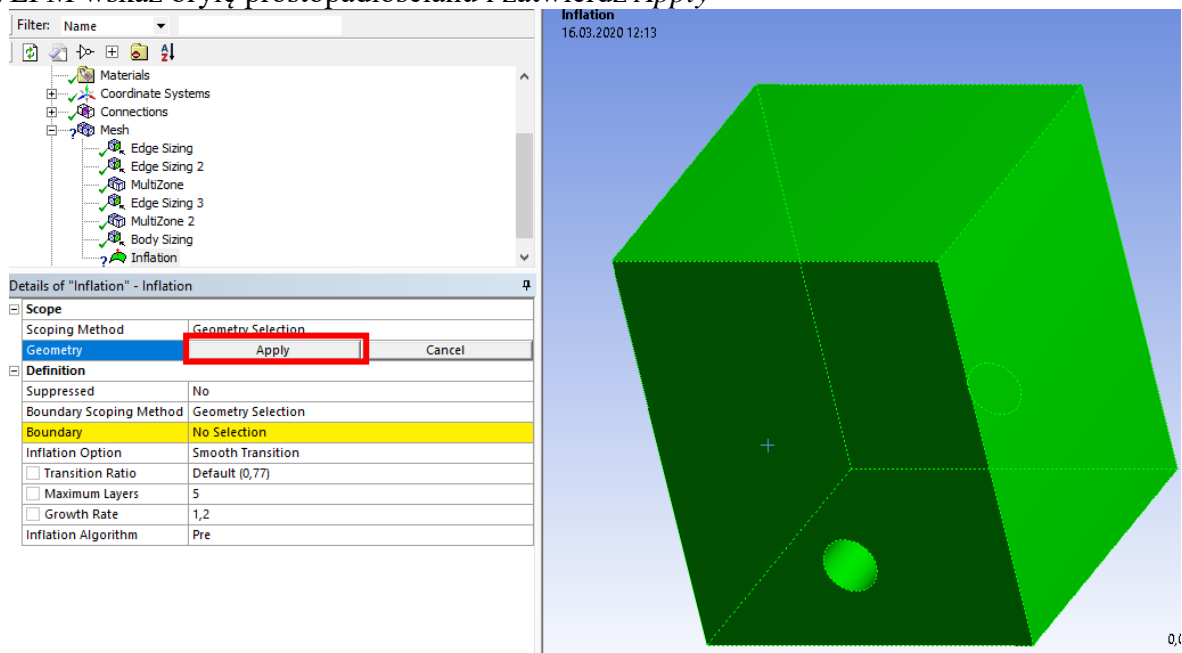
16) PPM kliknij w drzewku *Geometry* na geometrię rury i wybierz *Hide Body*



17) PPM kliknij na *Mesh* i wybierz *Insert->Inflation*

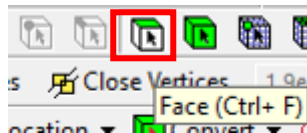


18) LPM wskaż bryłę prostopadłościanu i zatwierdź *Apply*

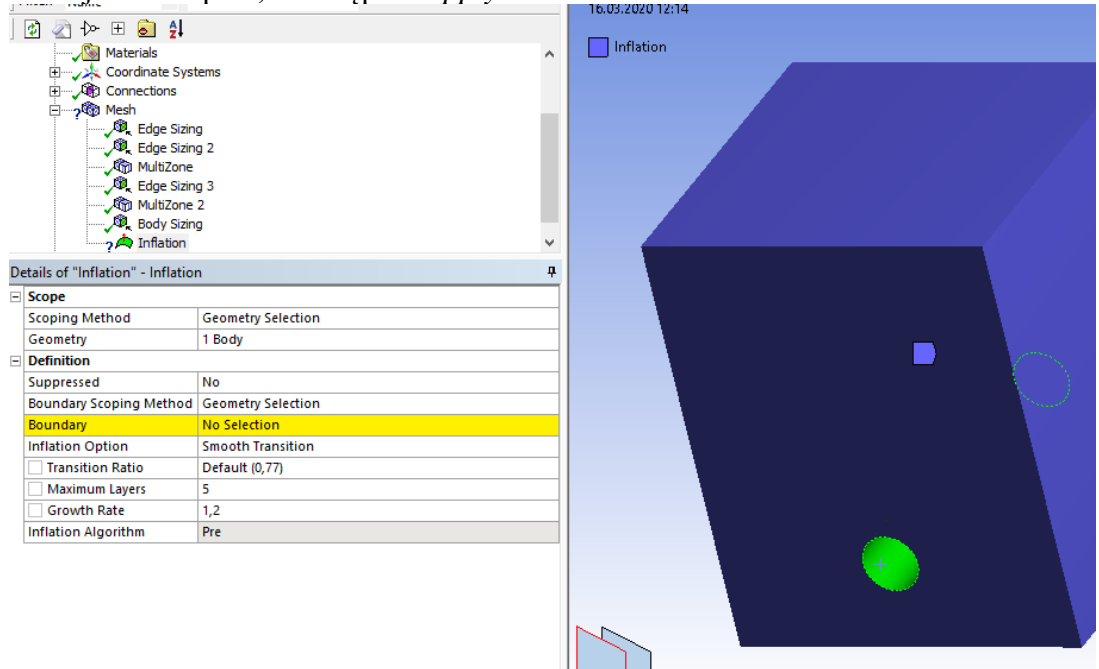


19) Zmień filtr na wybór powierzchni





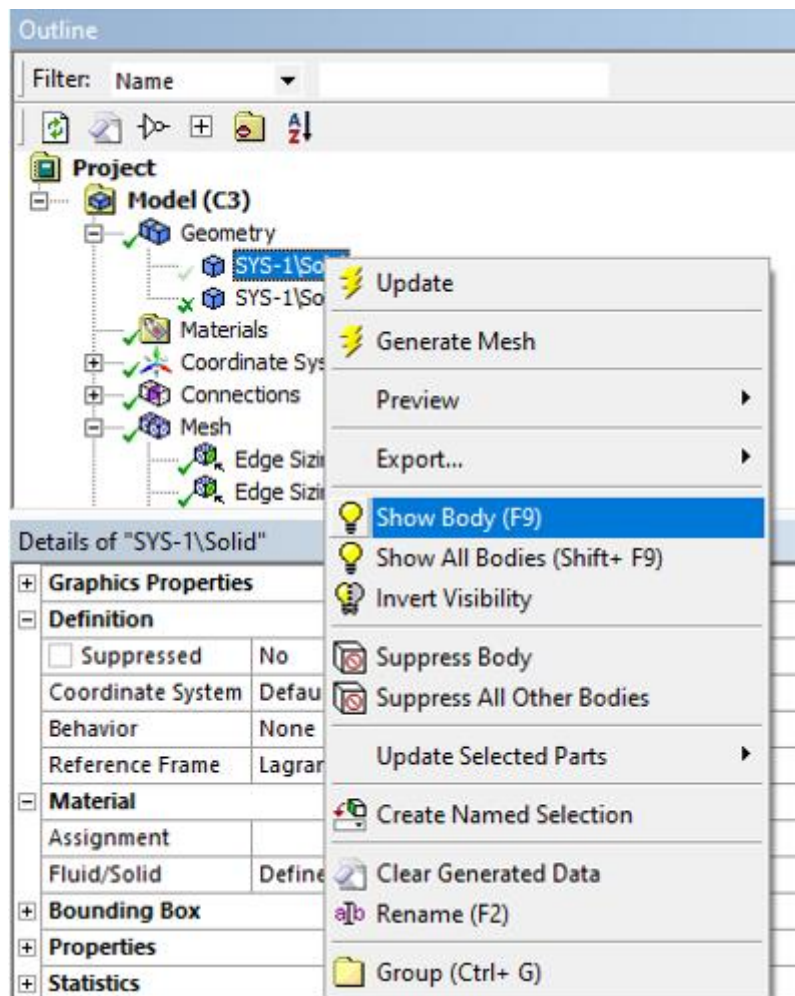
20) LPM wskaż powierzchnię cylindryczną w bryle prostopadłościanu i LPM kliknij w żółte pole, a następnie *Apply*



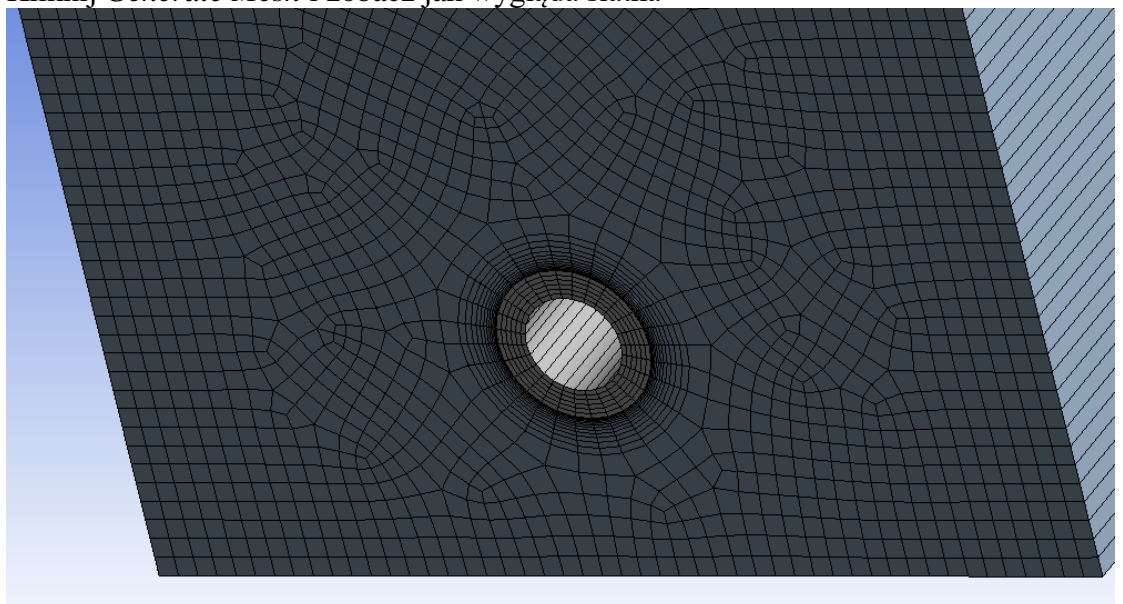
21) W polu *Details* zastosuj następujące ustawienia

Details of "Inflation" - Inflation	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Boundary Scoping Method	Geometry Selection
Boundary	1 Face
Inflation Option	First Layer Thickness
<input type="checkbox"/> First Layer Height	1,e-004 m
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	12
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre

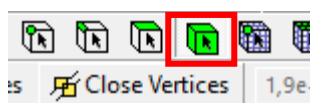
22) Włącz widoczność rury



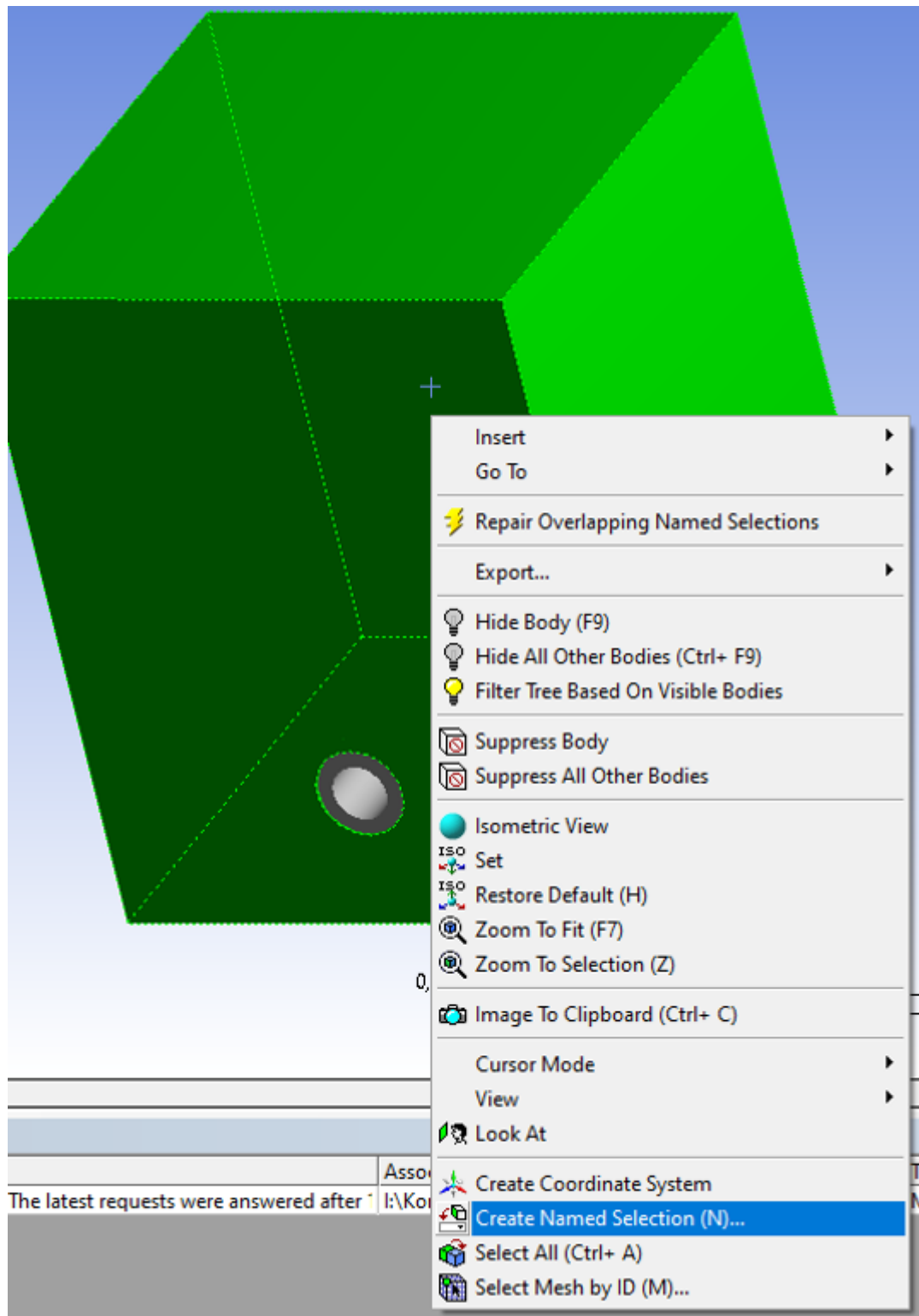
23) Kliknij *Generate Mesh* i zobacz jak wygląda siatka



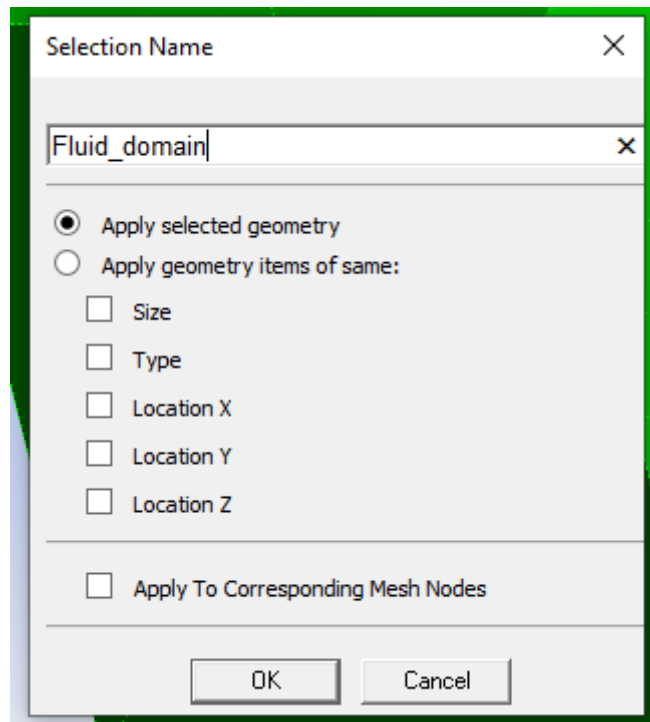
24) Zmień filtr na wybór ciał



25) LPM wskaż bryłę prostopadłościanu, a następnie PPM wybierz *Create Named Selection*



26) Nazwij bryłę *Fluid\_domain*



27) Zmień filtr na wybór powierzchni



28) Wybierz z *Ctrl* dwie powierzchnie czołowe w prostopadłościanie





Selection Name

side\_fluid

☒ Apply selected geometry

☐ Apply geometry items of same:

☐ Size

☐ Type

☐ Location X

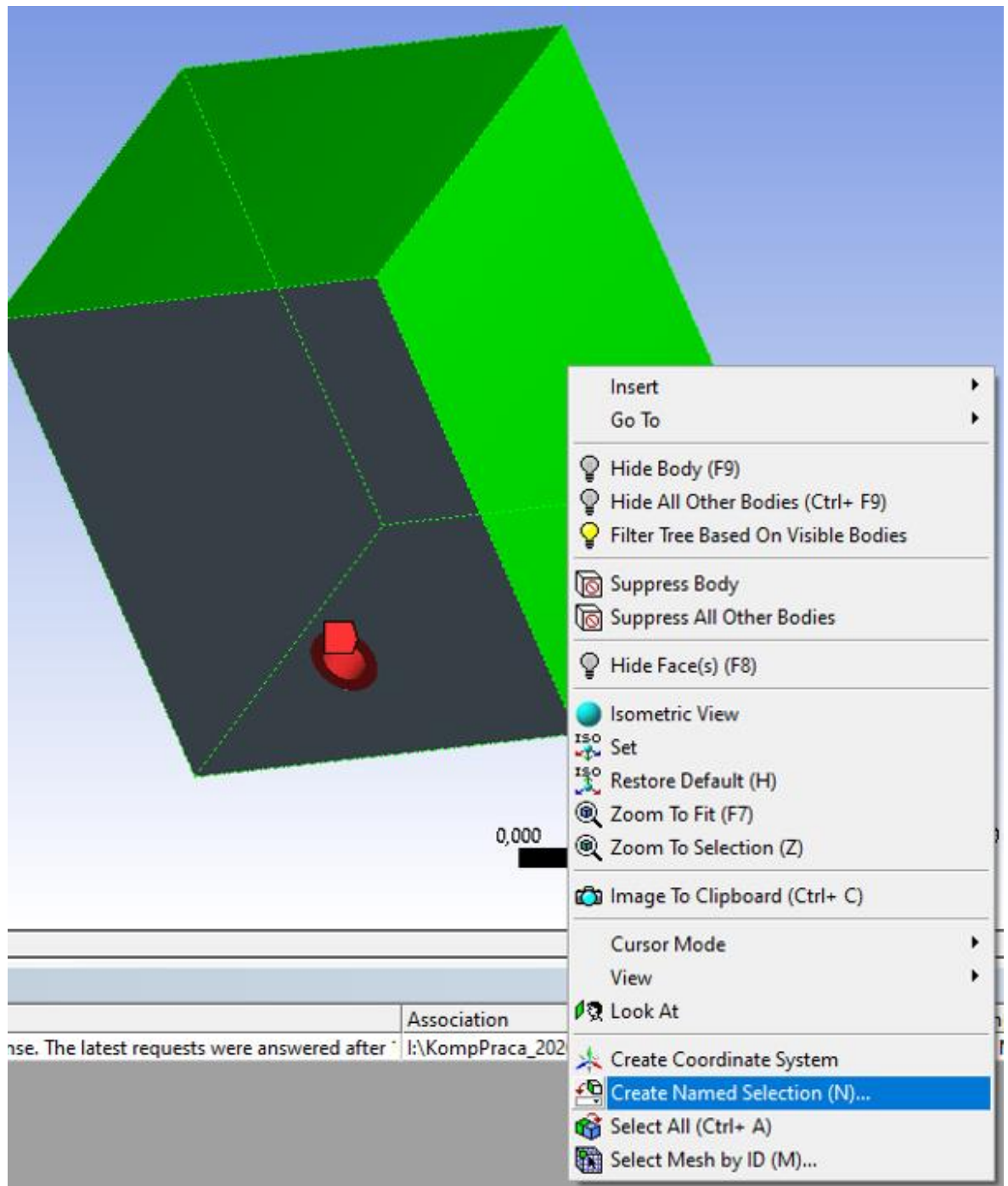
☐ Location Y

☐ Location Z

☐ Apply To Corresponding Mesh Nodes

OK Cancel

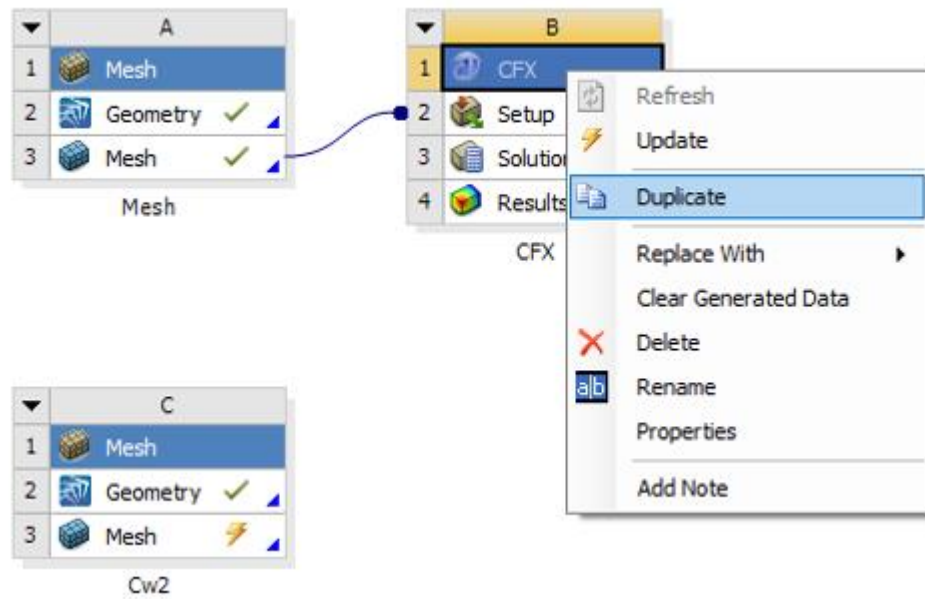
30) Podobnie wybierz cztery pozostałe ściany prostopadłościanu i nazwij je *walls*



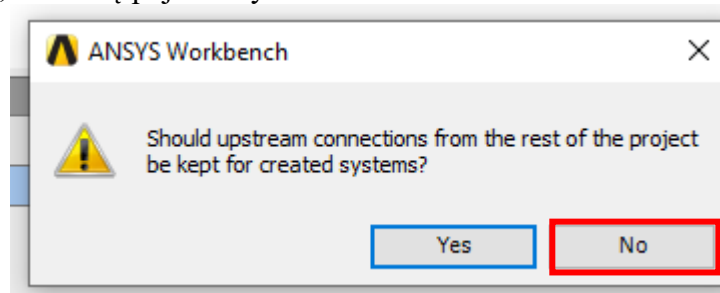
31) Zamknij program *Ansys Meshing* i zapisz projekt w *Workbench*.

## 2.3. SYMULACJA NUMERYCZNA

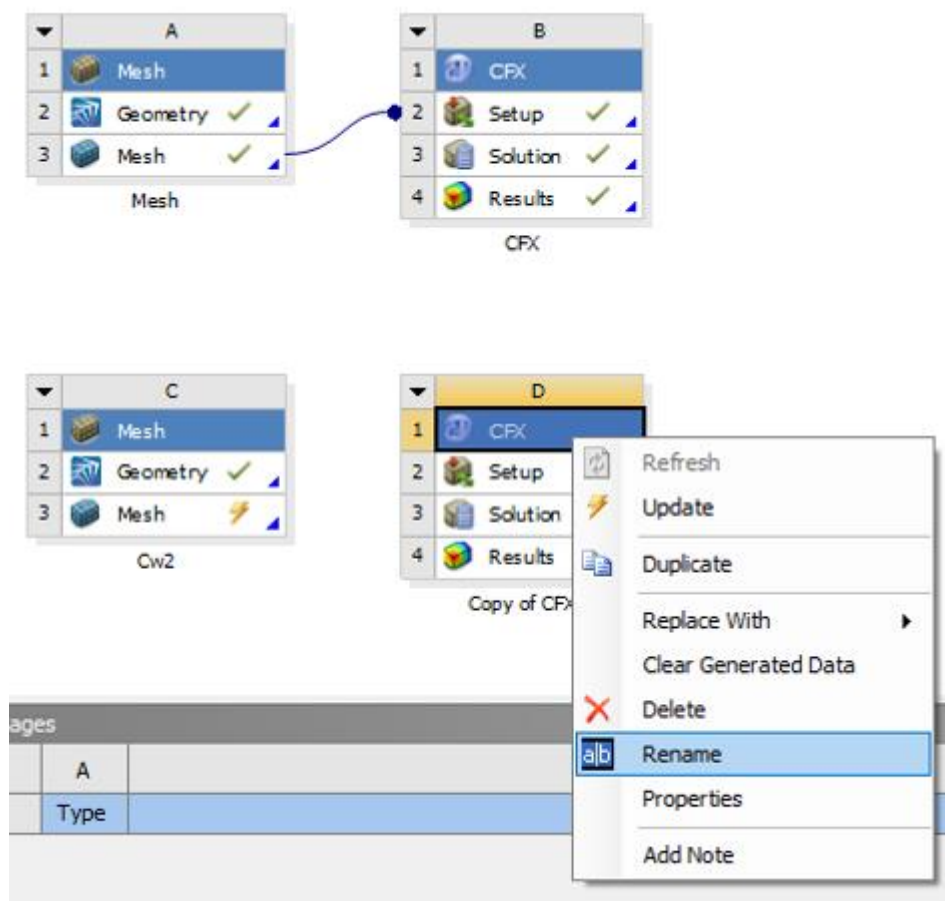
- 1) PPM wskaż *CFX* z *Ćwiczenia nr 1* i wybierz *Duplicate*



2) W okienku, które się pojawi wybierz *No*

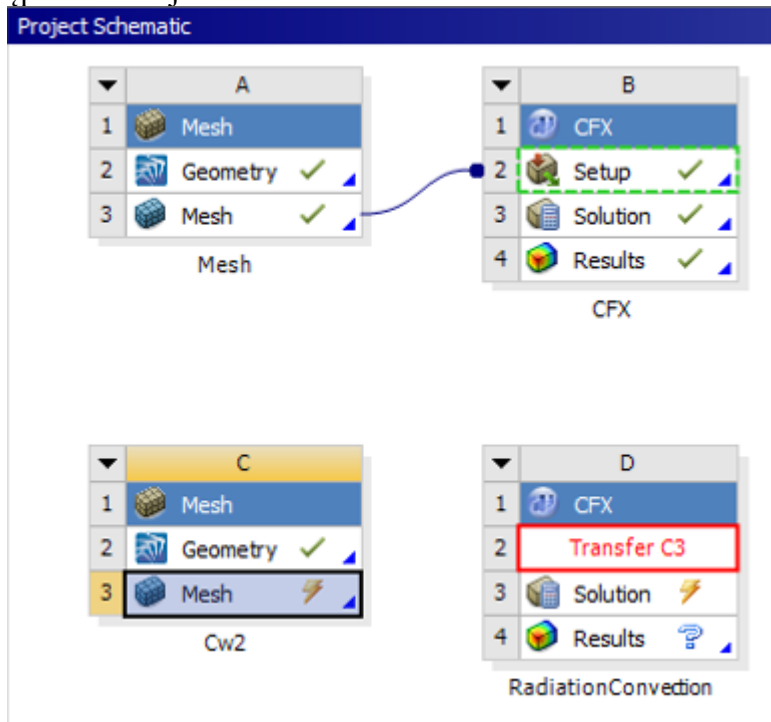


3) Zmień nazwę na *RadiationConvection*

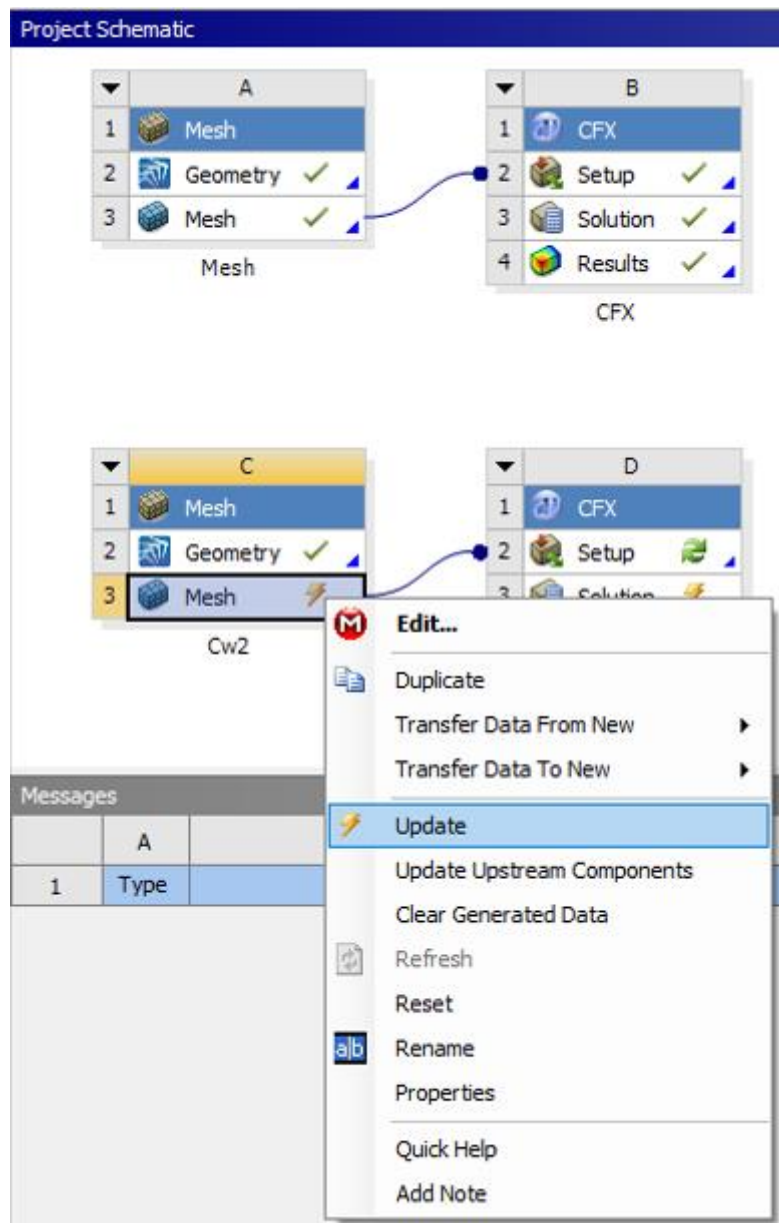


**Uwaga:** jeśli nie widzisz komórki D użyj *Scroll* w celu oddalenia widoku w *Project Schematic*. Następnie możesz przesunąć komórkę D za pomocą LPM.

- 4) LPM kliknij na *Mesh* w *Cw2* i przeciągnij na *Setup* do pojawienia się *Transfer C3*, a następnie zwolnij LPM.

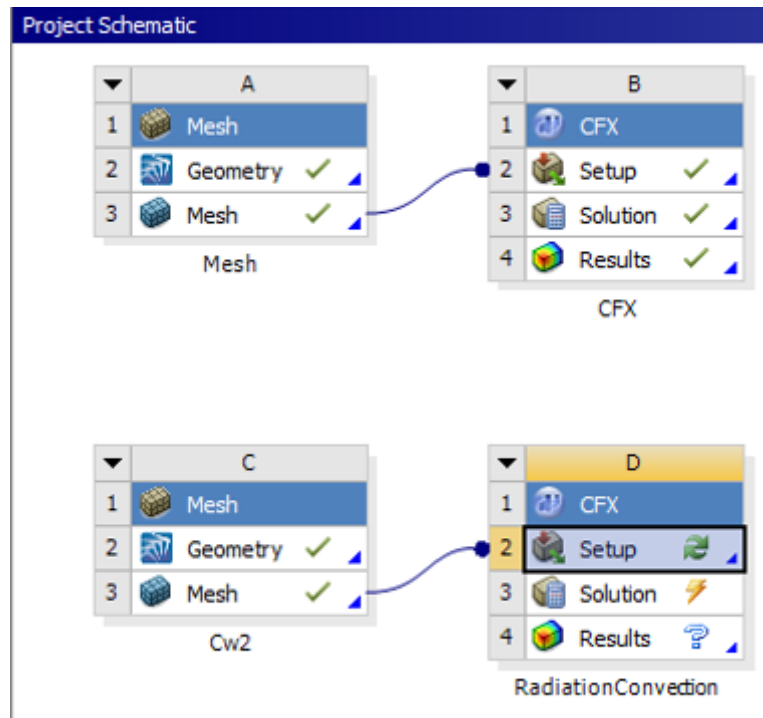


- 5) PPM myszy kliknij na *Mesh* w *Cw2* i wybierz *Update*

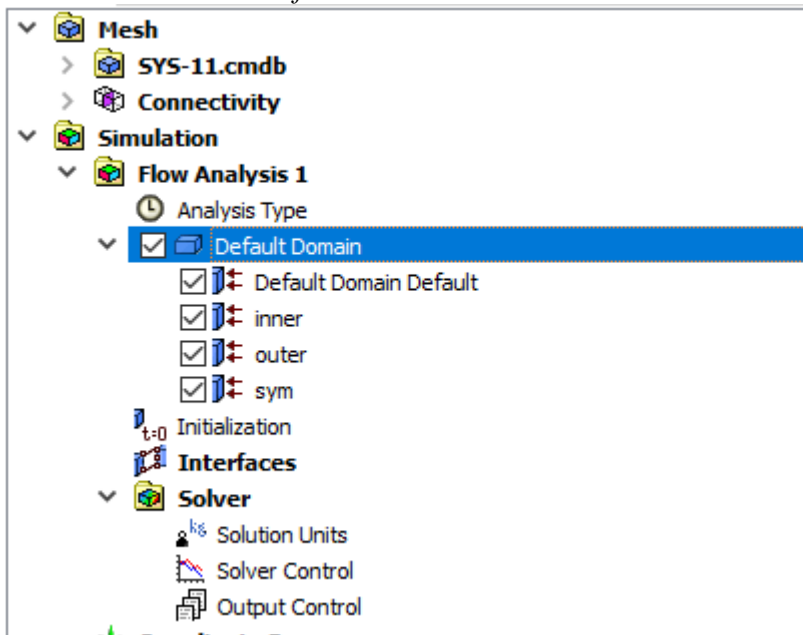


- 6) Kliknij dwa razy LPM na *Setup* w celu edycji modelu numerycznego z nową siatką numeryczną

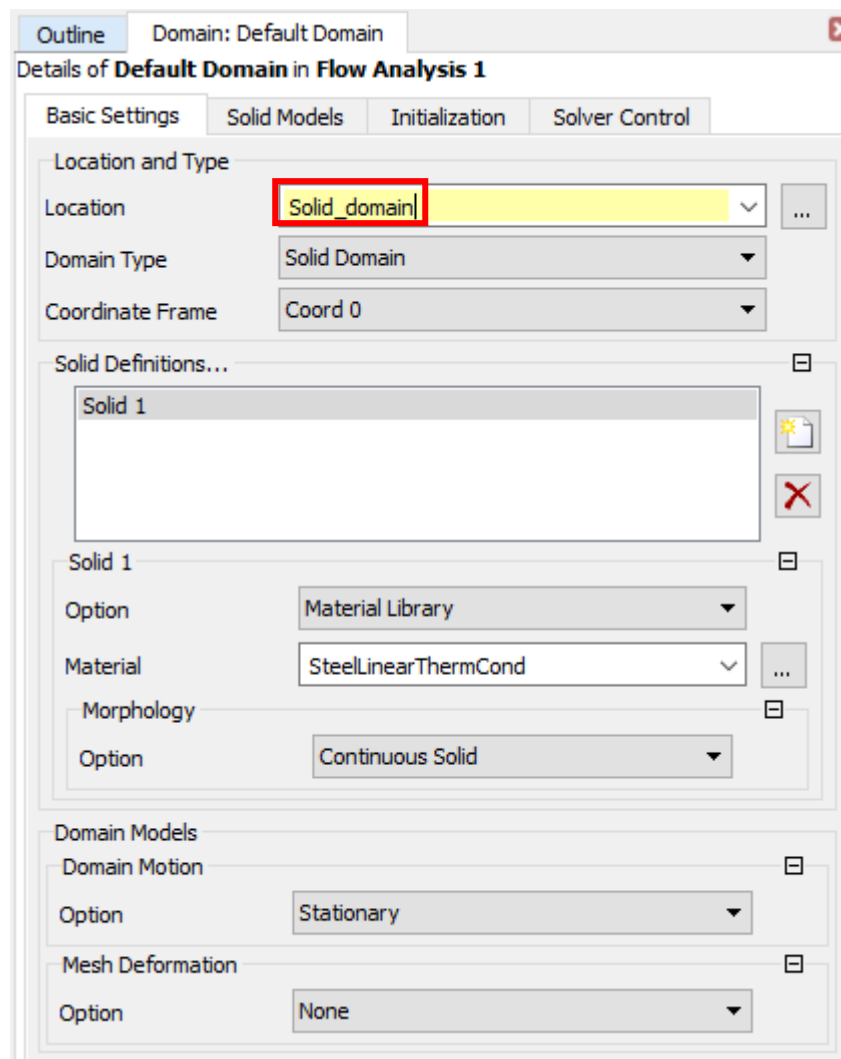




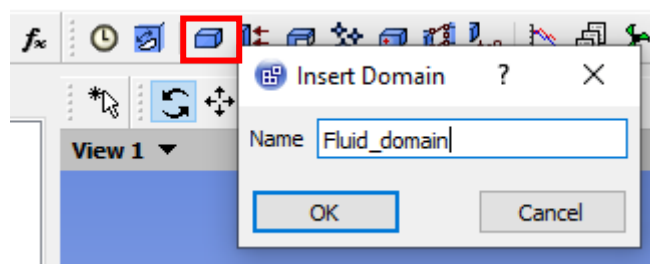
7) Kliknij dwukrotnie LPM na *Default Domain*



8) Zastosuj poniższe ustawienia.



9) Utwórz domenę płynu i nazwij ją *Fluid\_domain*



10) Zastosuj poniższe ustawienia

OutlineDomain: Fluid\_domain

Details of **Fluid\_domain** in **Flow Analysis 1**

Basic SettingsFluid ModelsInitialization

Location and Type

LocationFluid\_domain

Domain TypeFluid Domain

Coordinate FrameCoord 0

Fluid and Particle Definitions...

Fluid 1

Fluid 1

OptionMaterial Library

MaterialAir at 25 C

Morphology

OptionContinuous Fluid

☐ Minimum Volume Fraction

Domain Models

Pressure

Reference Pressure1 [atm]

Buoyancy Model

OptionBuoyant

Gravity X Dirn.0 [m s<sup>-2</sup>]

Gravity Y Dirn.-9.81 [m s<sup>-2</sup>]

Gravity Z Dirn.0 [m s<sup>-2</sup>]

Buoy. Ref. Temp.20 [C]

Ref. Location

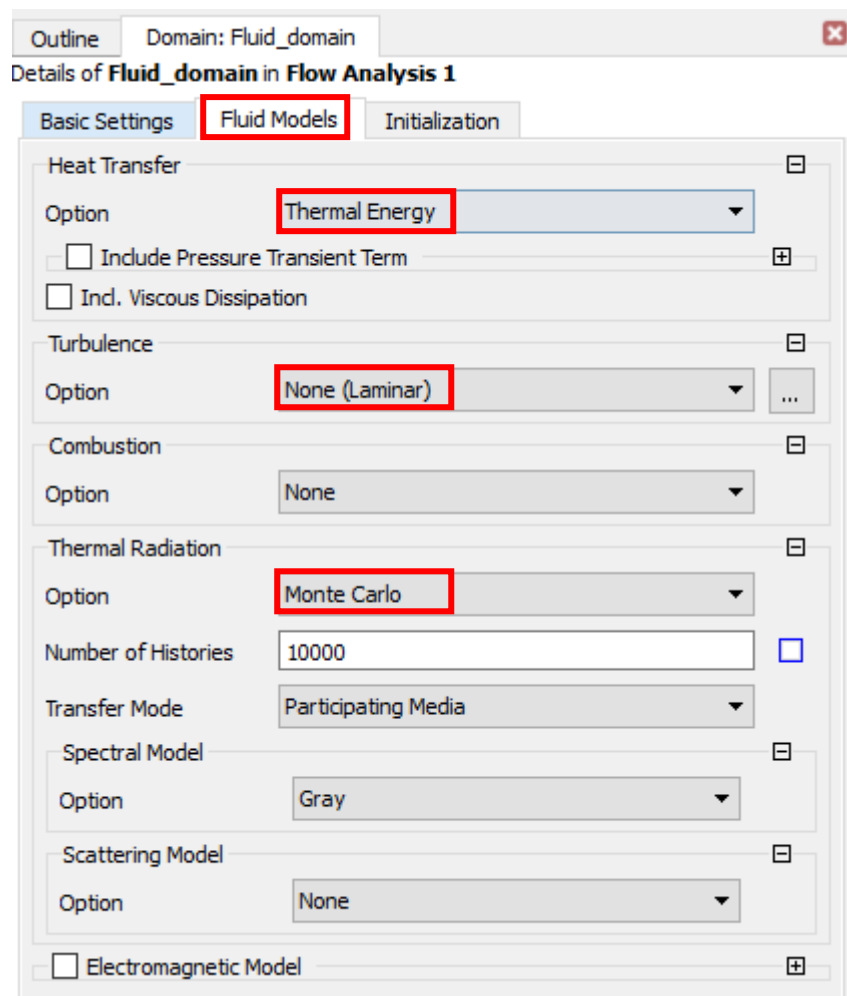
OptionAutomatic

Domain Motion

OptionStationary

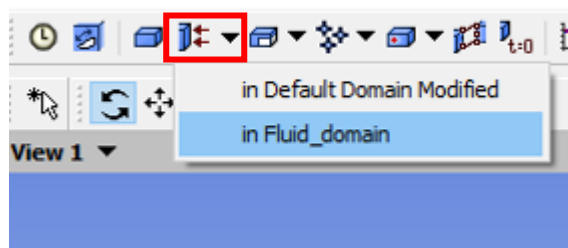
Mesh Deformation

OptionNone

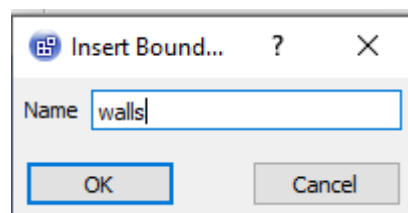


11) Zatwierdź OK.

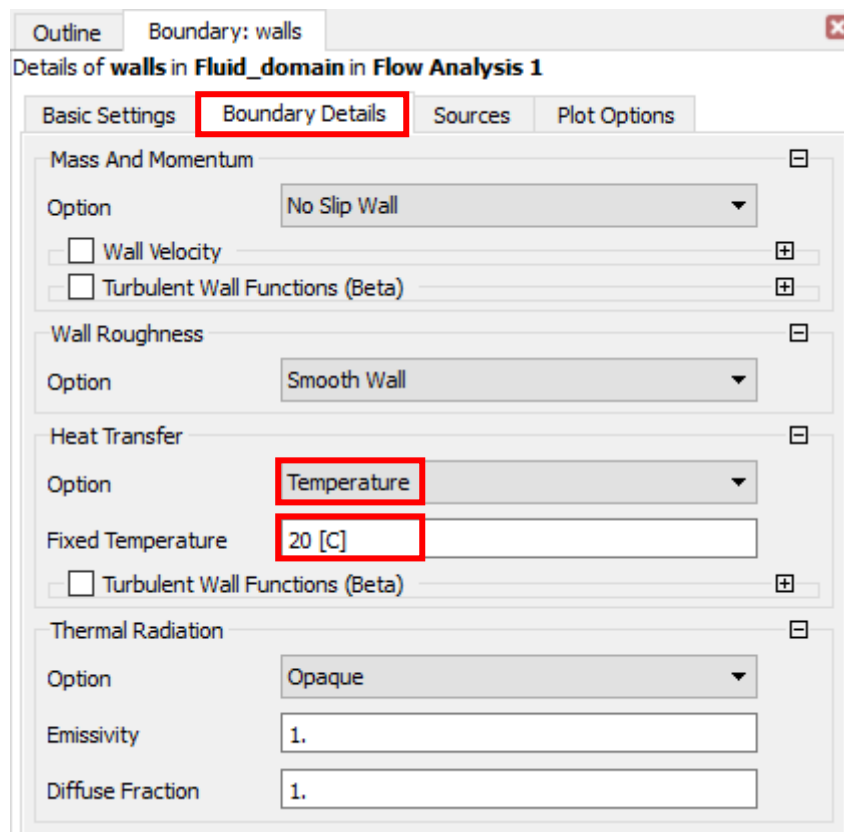
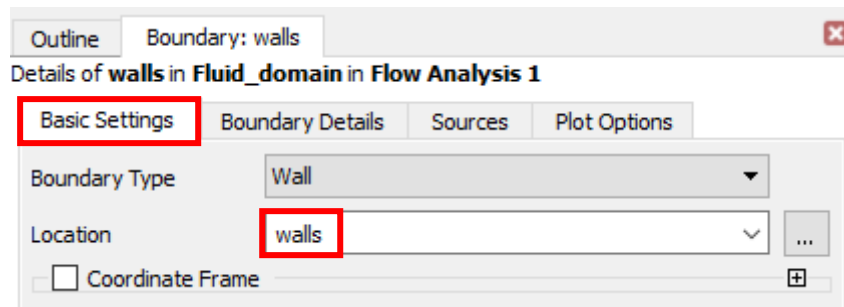
12) Utwórz warunek brzegowy w domenie płynu



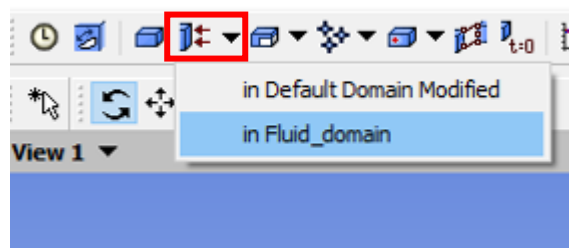
13) Nadaj nazwę *walls*



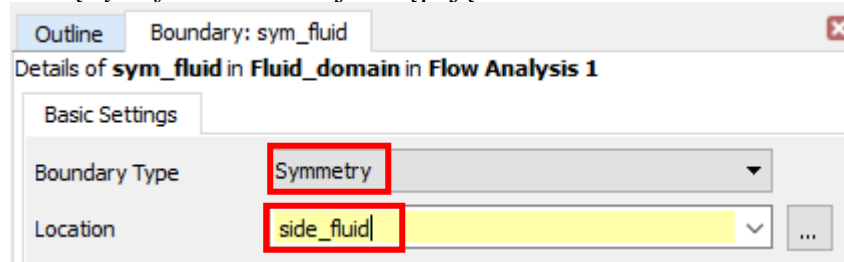
14) Nadaj następujące ustawienia i zatwierdź OK.



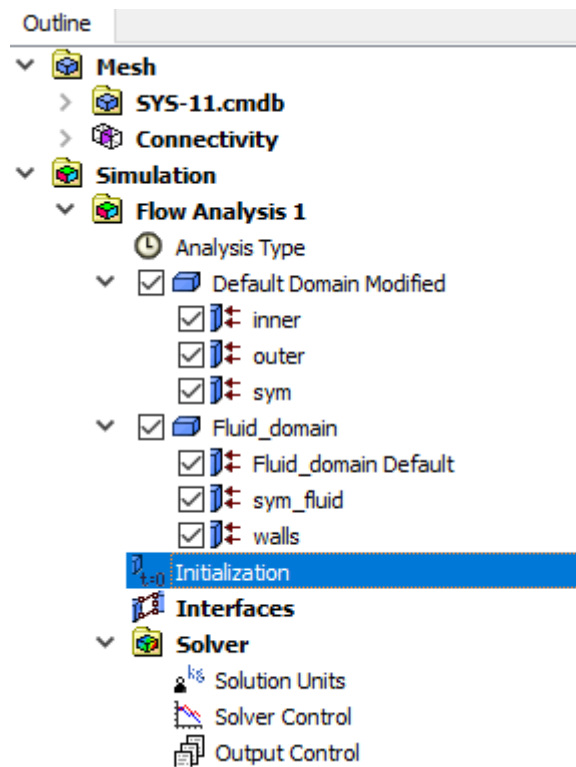
15) Utwórz warunek brzegowy w domenie płynu




16) Nadaj nazwę *sym\_fluid* i zastosuj następujące ustawienia i zatwierdź OK.



17) Kliknij dwukrotnie ikonę warunków początkowych





18) Zastosuj następujące ustawienia i zatwierdź *OK*.


Outline Initialization 


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


Global Settings


☐ Coordinate Frame 


Initial Conditions 


Velocity Type Cartesian 


Cartesian Velocity Components 


Option Automatic with Value 


U 0 [m s<sup>-1</sup>] 


V 0 [m s<sup>-1</sup>] 


W 0 [m s<sup>-1</sup>] 


Static Pressure 


Option Automatic with Value 


Relative Pressure 0 [Pa] 


Temperature 


Option Automatic with Value 

Temperature 20 [C] 

Turbulence 

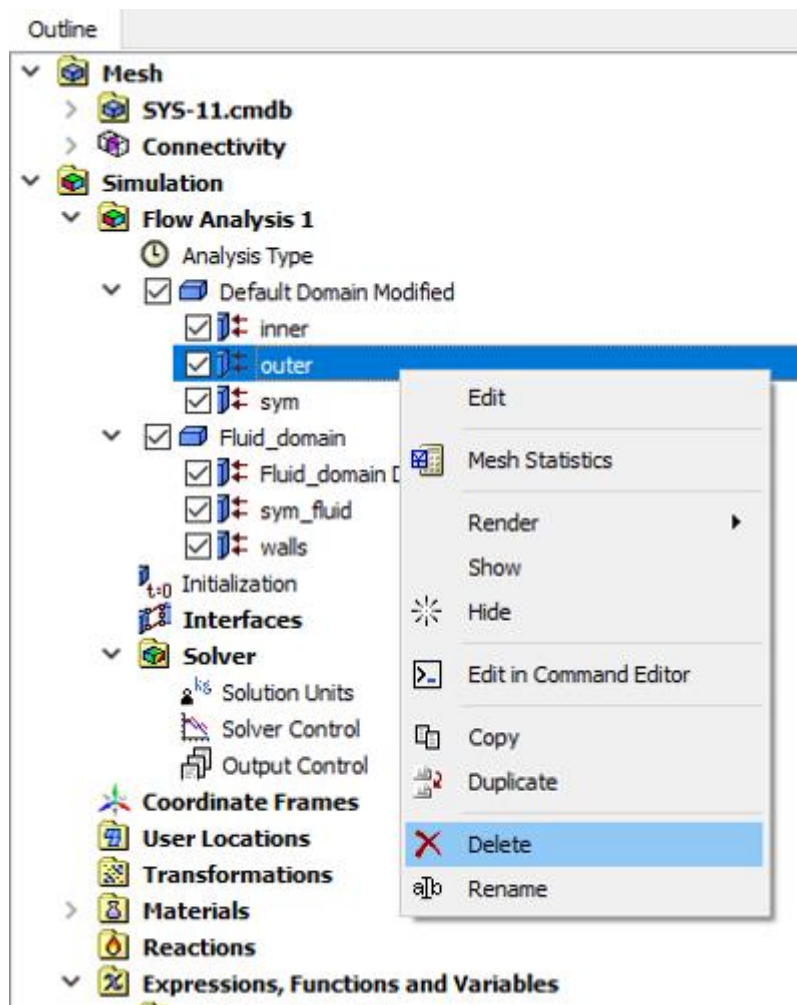
Option Medium (Intensity = 5%) 

Radiation Intensity 

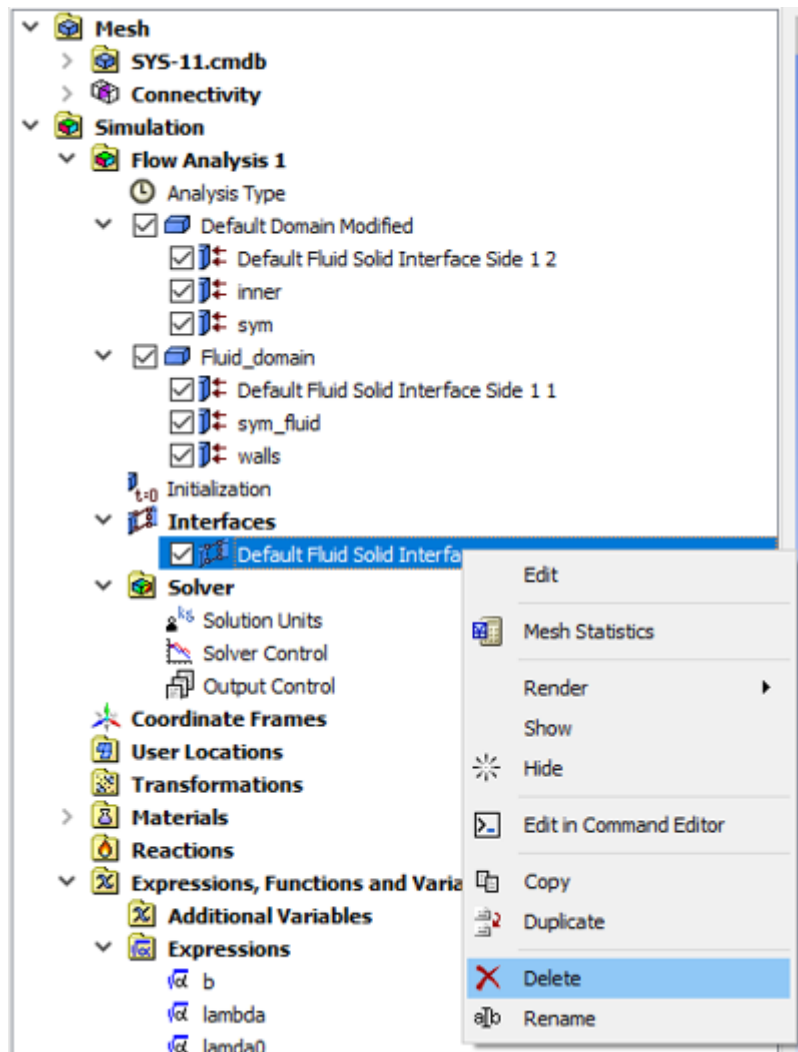
Option Automatic 

19) Usun warunek brzegowy *outer*

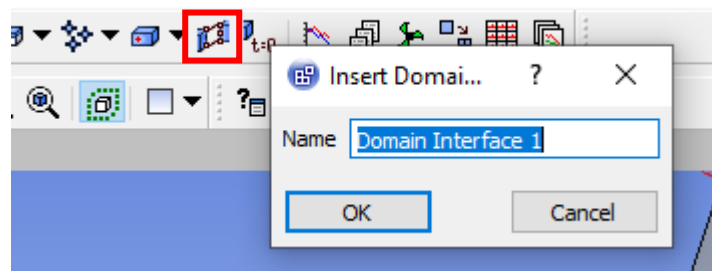




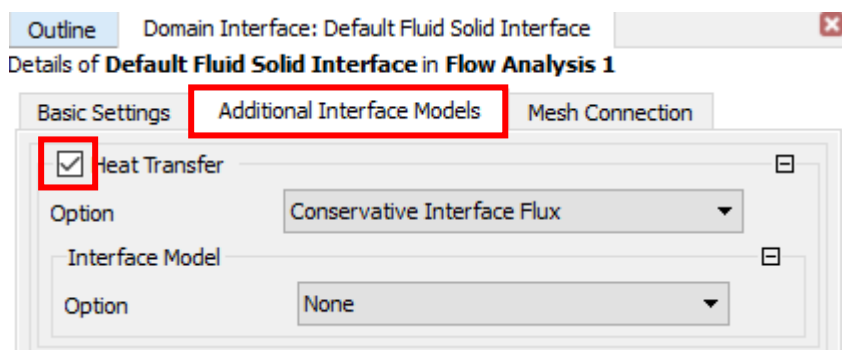
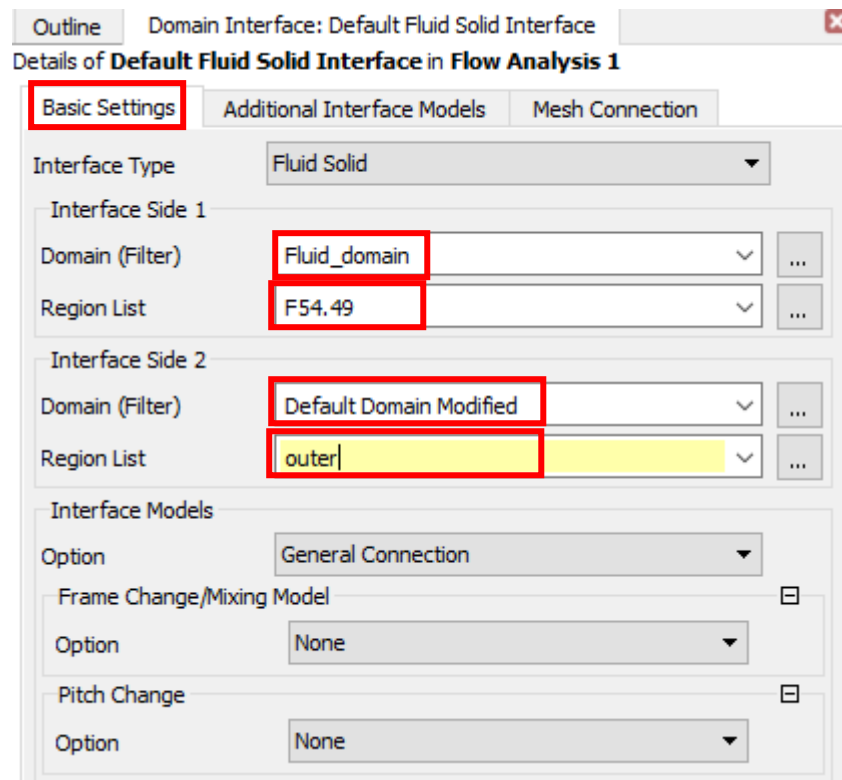
20) Usun domyslne ustawienia *Interface*



21) Utwórz nowe połączenie obszaru płynu i ciała stałego



22) Zastosuj następujące ustawienia



23) Zatwierdź OK.

24) Zamknij Program *Ansys CFX* i zapisz projekt w *Workbench*.

25) Edytuj *Solution*.

**Project Schematic**

The Project Schematic displays four components arranged in a 2x2 grid:

- Component A:**
  - 1 Mesh
  - 2 Geometry ✓
  - 3 Mesh ✓

Mesh
- Component B:**
  - 1 CFX
  - 2 Setup ✓
  - 3 Solution ✓
  - 4 Results ✓

CFX
- Component C:**
  - 1 Mesh
  - 2 Geometry ✓
  - 3 Mesh ✓

Cw2
- Component D:**
  - 1 CFX
  - 2 Setup ✓
  - 3 Solution ✓
  - 4 Results

RadiationConvec

Connections: A blue line connects the output of Component A (Mesh) to the input of Component B (CFX). Another blue line connects the output of Component C (Cw2) to the input of Component D (RadiationConvec).

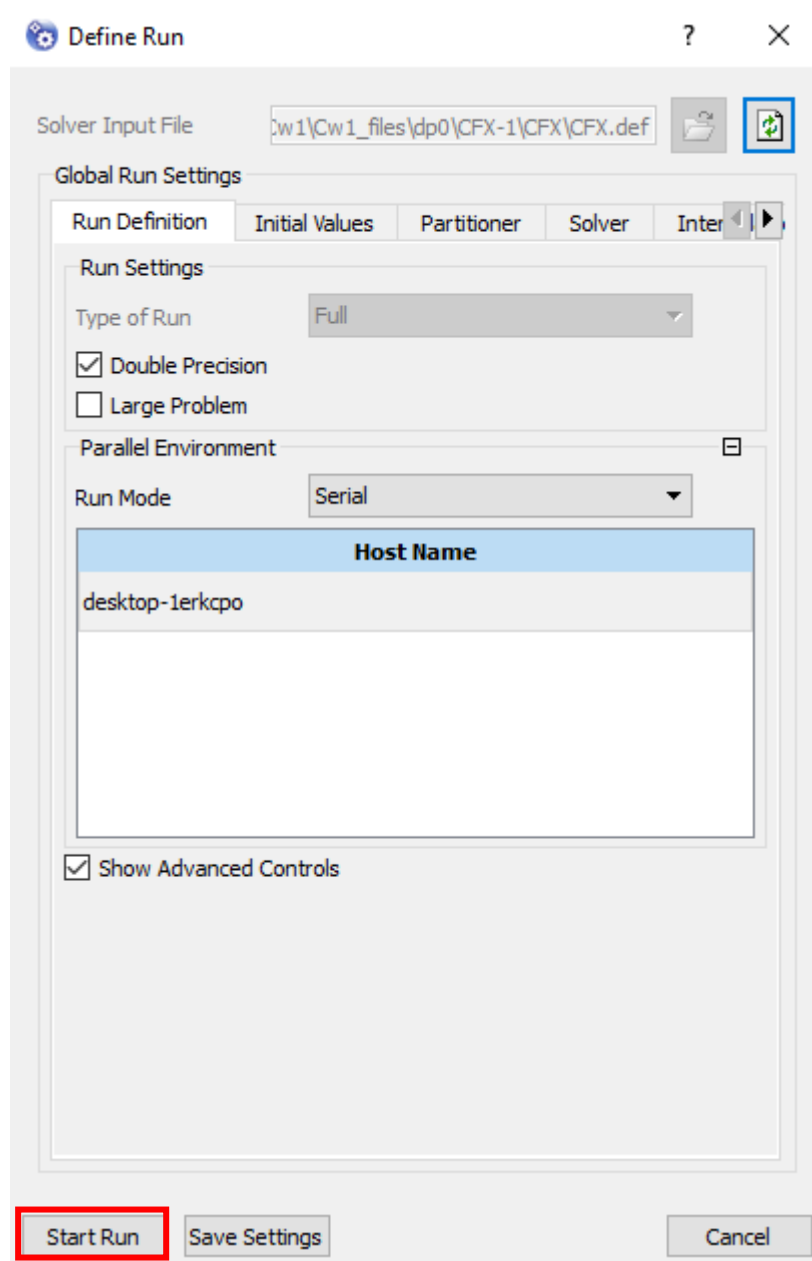
**Messages**

	A
1	Type

**Edit... Context Menu:**

- Display Monitors
- Duplicate
- Transfer Data From New
- Transfer Data To New
- Update
- Continue Calculation
- Update Upstream Components
- Clear Generated Data
- Refresh
- Clear Old Solution Data
- Clear Cached Solution Data
- Clear Execution Control
- Reset
- Rename
- Properties
- Quick Help
- Add Note

26) Nacišnjij *Start run*



27) Poczekaj aż program skończy liczyć.

28) Po zakończeniu obliczeń zamknij program *Anslys CFX Solver Manager*.

### 3. WIZUALIZACJA WYNIKÓW

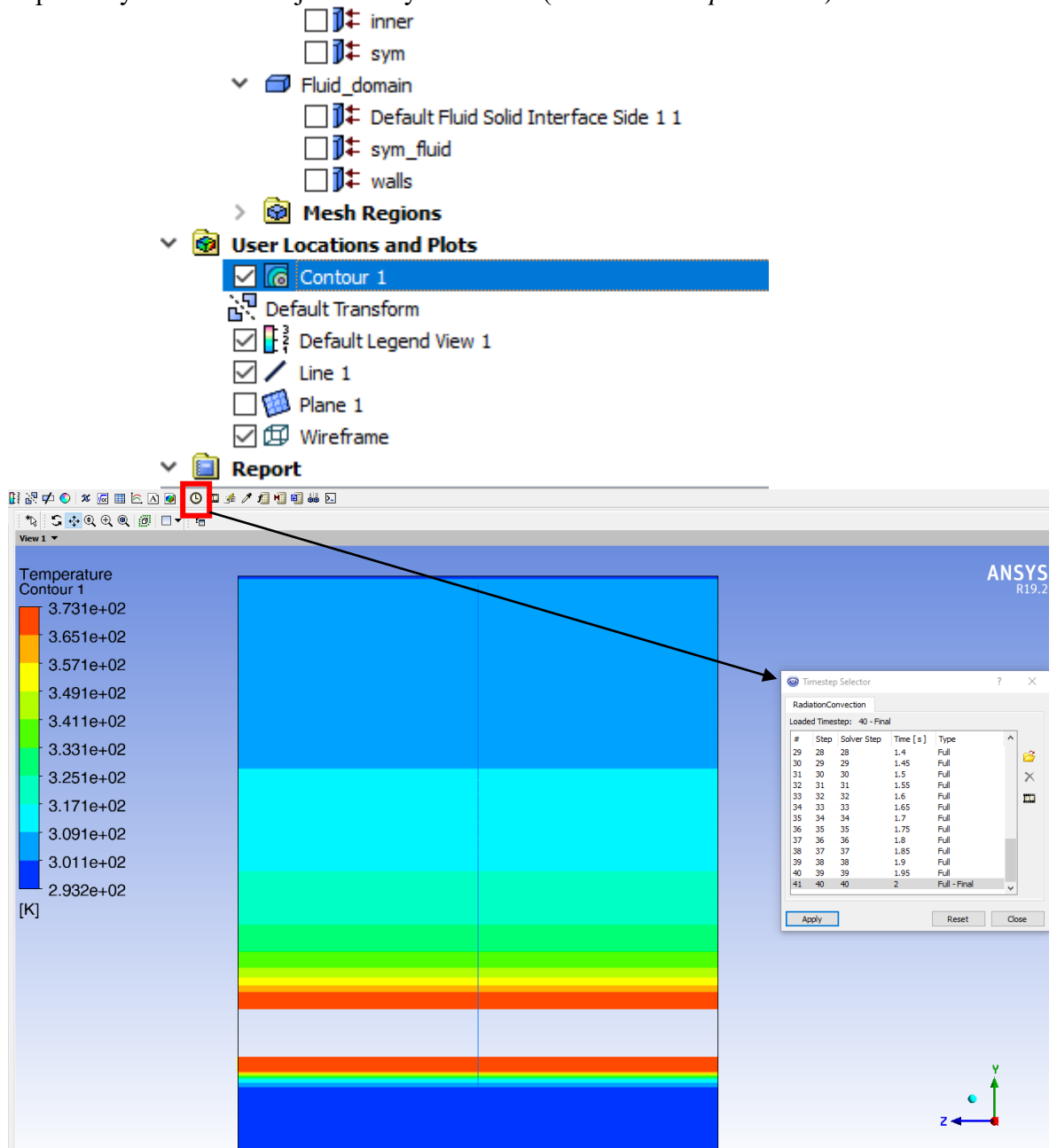
- 1) Kliknij dwukrotnie LPM na *Results*.

The screenshot displays the ANSYS Workbench interface. On the left is the **Toolbox**, which is divided into **Analysis Systems** and **Component Systems**. The **CFX** component system is highlighted. The main area shows the **Project Schematic** with four cells: A (Mesh), B (CFX), C (Cw2), and D (RadiationConvection). Cell A contains a Mesh component. Cell B contains CFX components: CFX, Setup, Solution, and Results. Cell C contains a Mesh component. Cell D contains CFX components: CFX, Setup, Solution, and Results. A blue line connects the Mesh component in Cell A to the CFX component in Cell B. Another blue line connects the Mesh component in Cell C to the CFX component in Cell D. The **Messages** pane at the bottom shows a table with the following content:

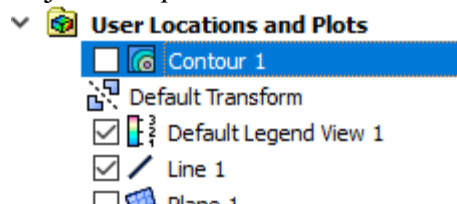
	A	
1	Type	

At the bottom of the interface, there is a status bar with a red circle icon and the text "Starting CFD-Post..."

- 2) Kliknij LPM oś X w prawym dolnym rogu ekranu.
- 3) Włącz kontury utworzone w *Ćwiczeniu nr 1* i obserwuj rozkłady temperatury w płaszczyźnie wzdłużnej dla różnych czasów (ikona *Timestep Selector*)

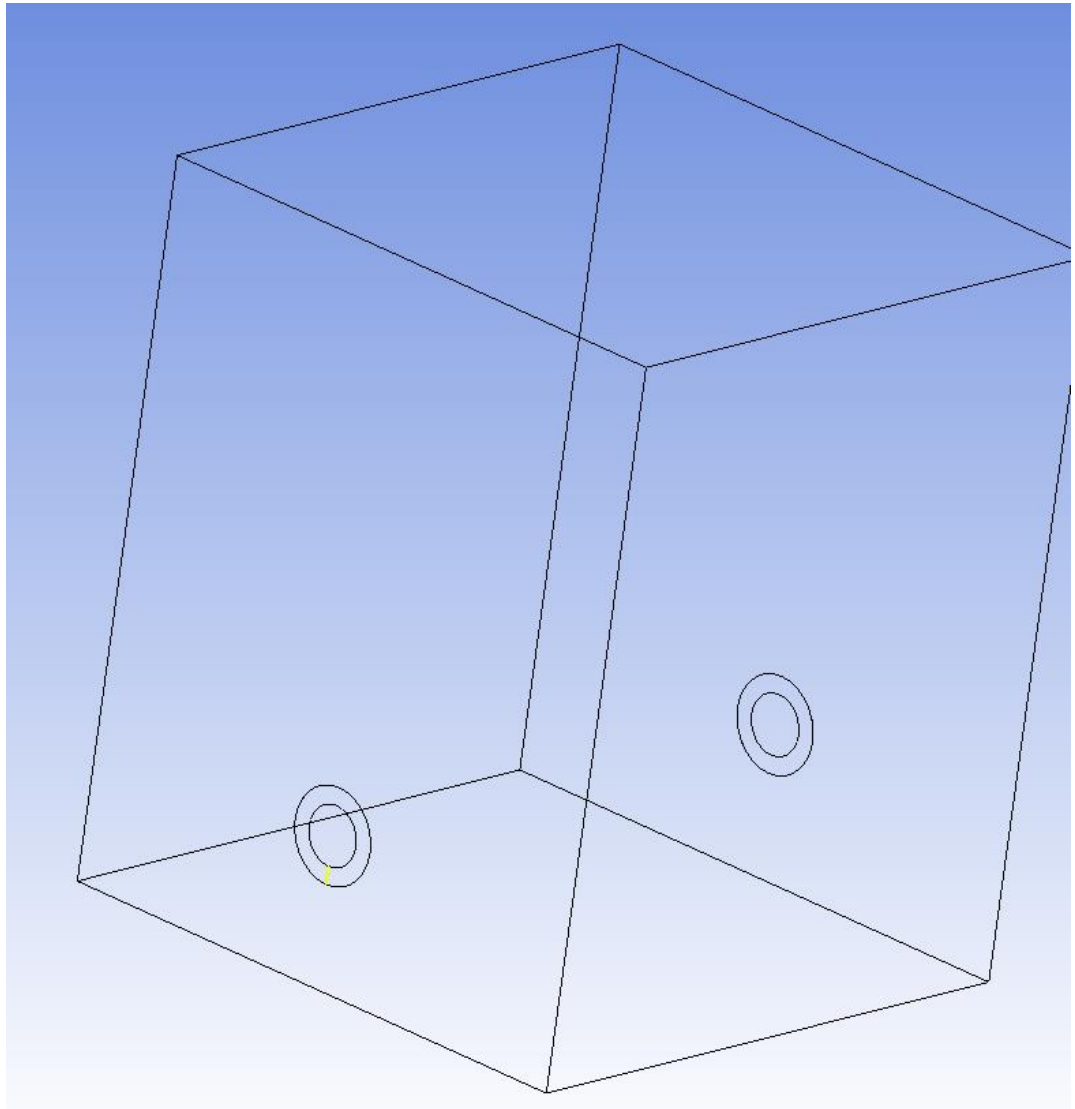


- 4) Wyłącz kontury i zamknij *Timestep Selector*

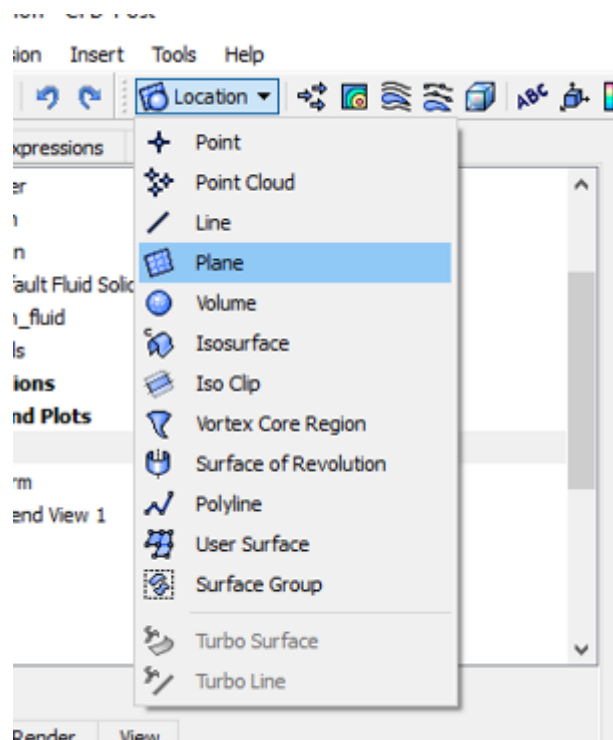


- 5) Obróć model do widoku jak poniżej

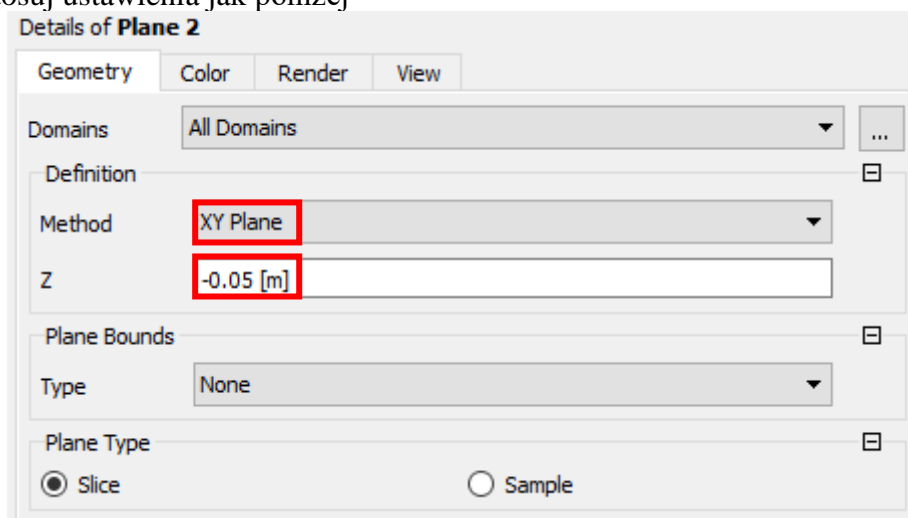




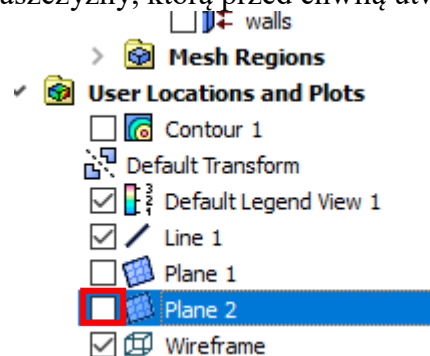
6) Utwórz płaszczyznę poprzeczną za pomocą *Location->Plane*



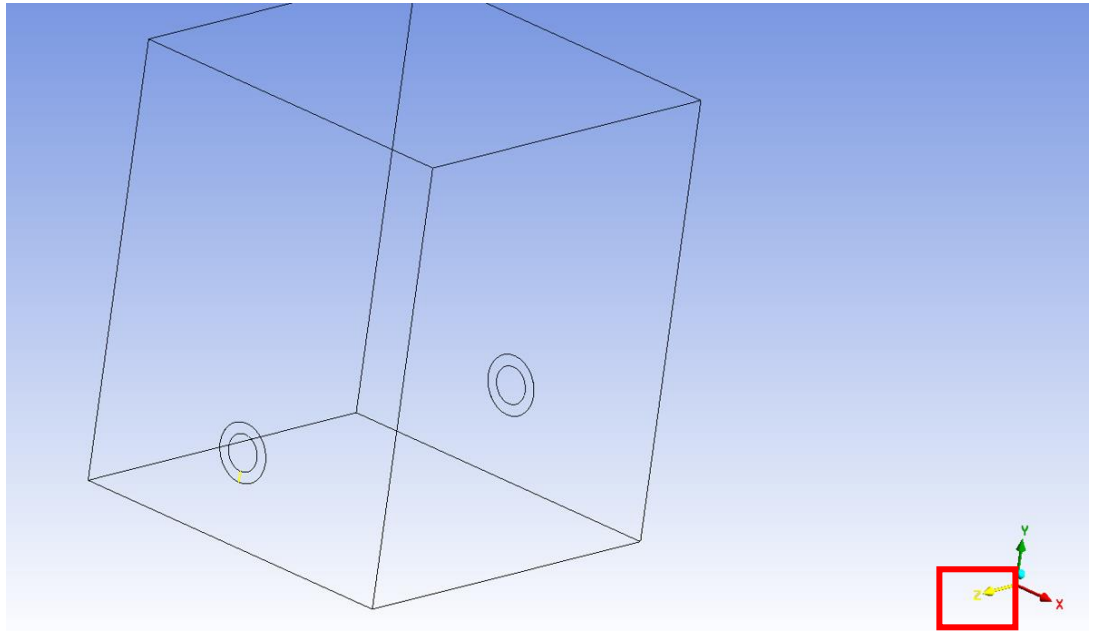
7) Zastosuj ustawienia jak poniżej



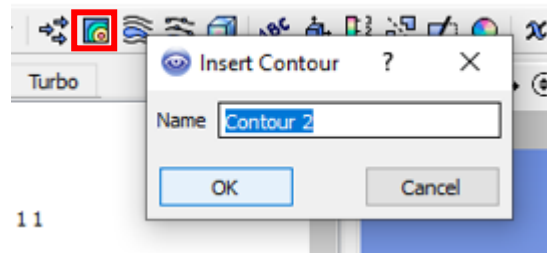
8) Wyłącz widoczność płaszczyzny, którą przed chwilą utworzyłeś



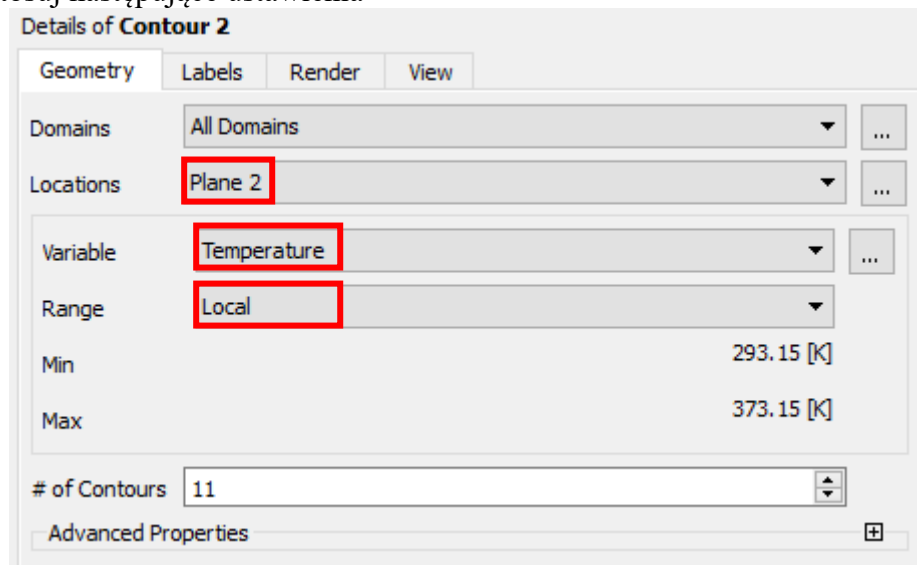
9) Naciśnij oś Z



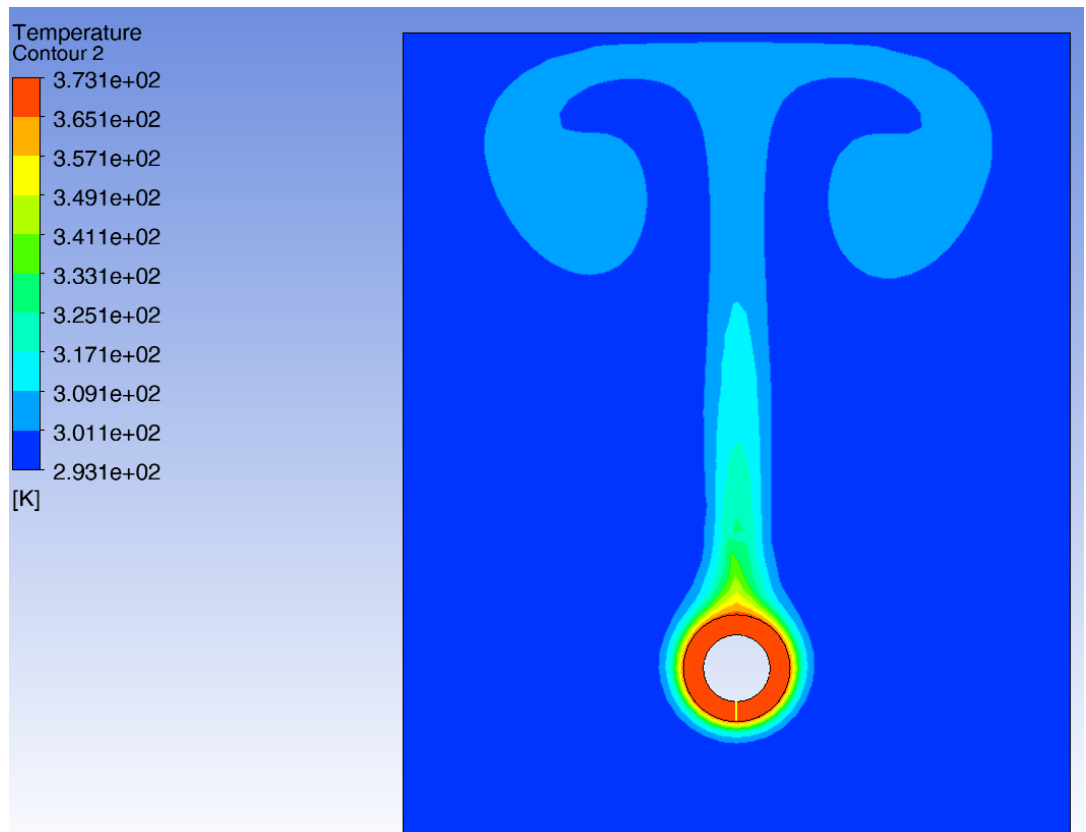
10) Utwórz kolejne kontury



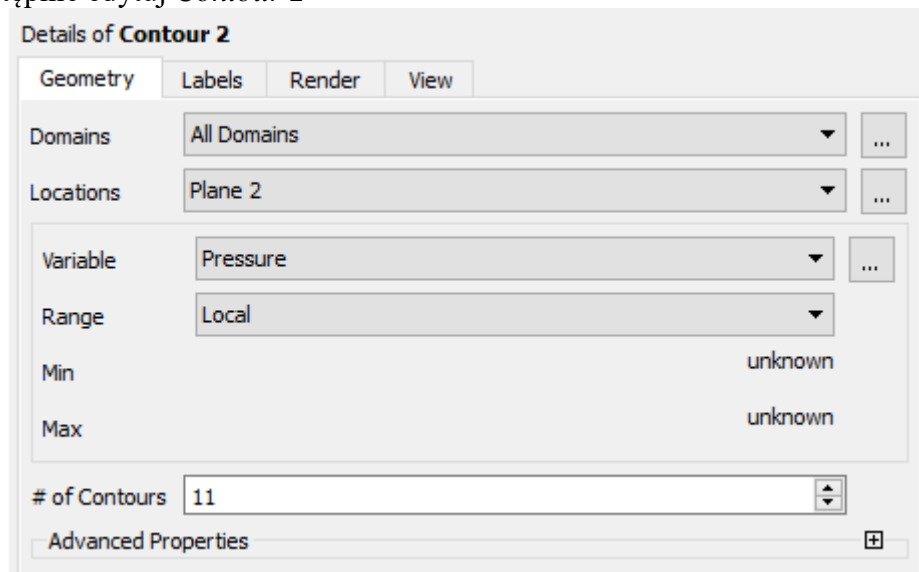
11) Zastosuj następujące ustawienia



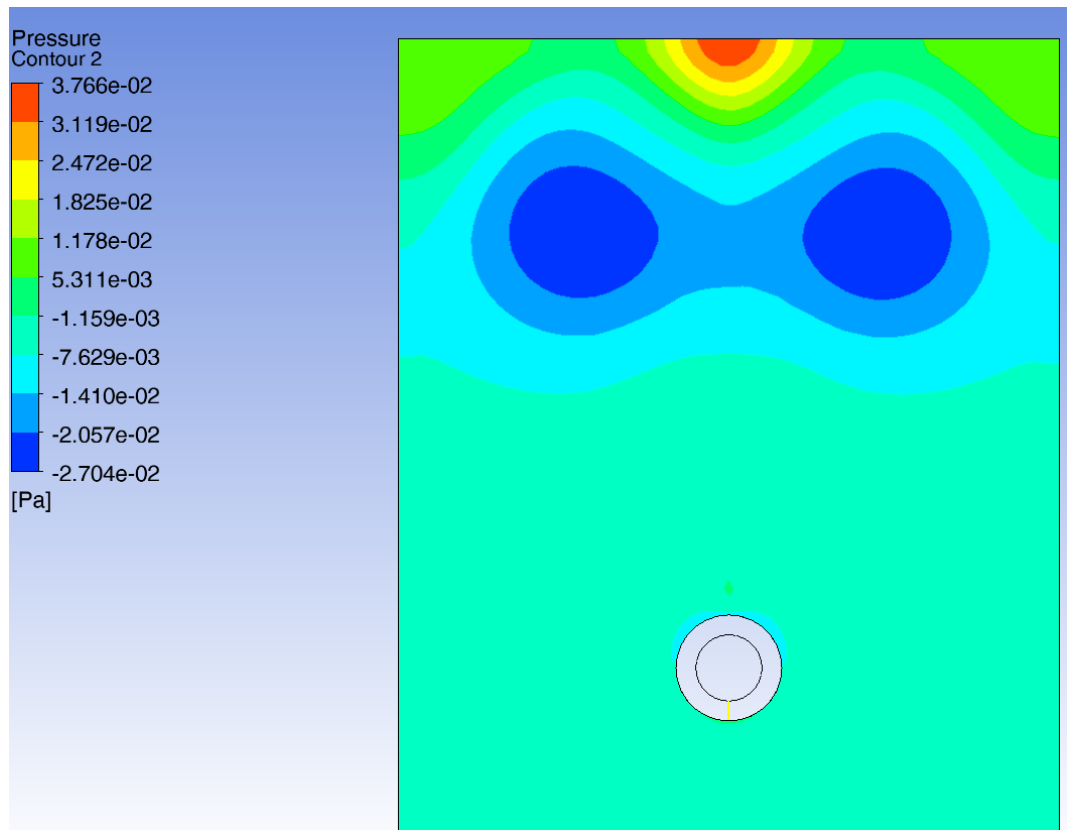
12) Używając *Timestep Selector* obserwuj rozkłady temperatur w różnych czasach



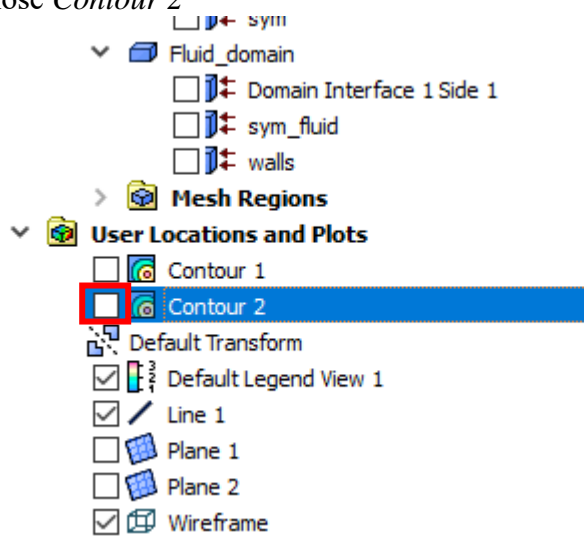
13) Następnie edytuj *Contour 2*



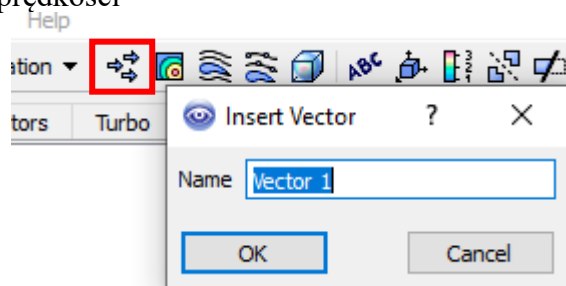
14) Używając *Timestep Selector* obserwuj rozkłady ciśnienia w różnych czasach



15) Wyłącz widoczność *Contour 2*



16) Utwórz wektory prędkości



17) Zastosuj następujące ustawienia i zatwierdź *Apply*.

**Details of Vector 1**

Geometry Color Symbol Render View

Domains: All Domains

Definition

Locations: **Plane 2**

Sampling: Vertex

Reduction: Reduction Factor

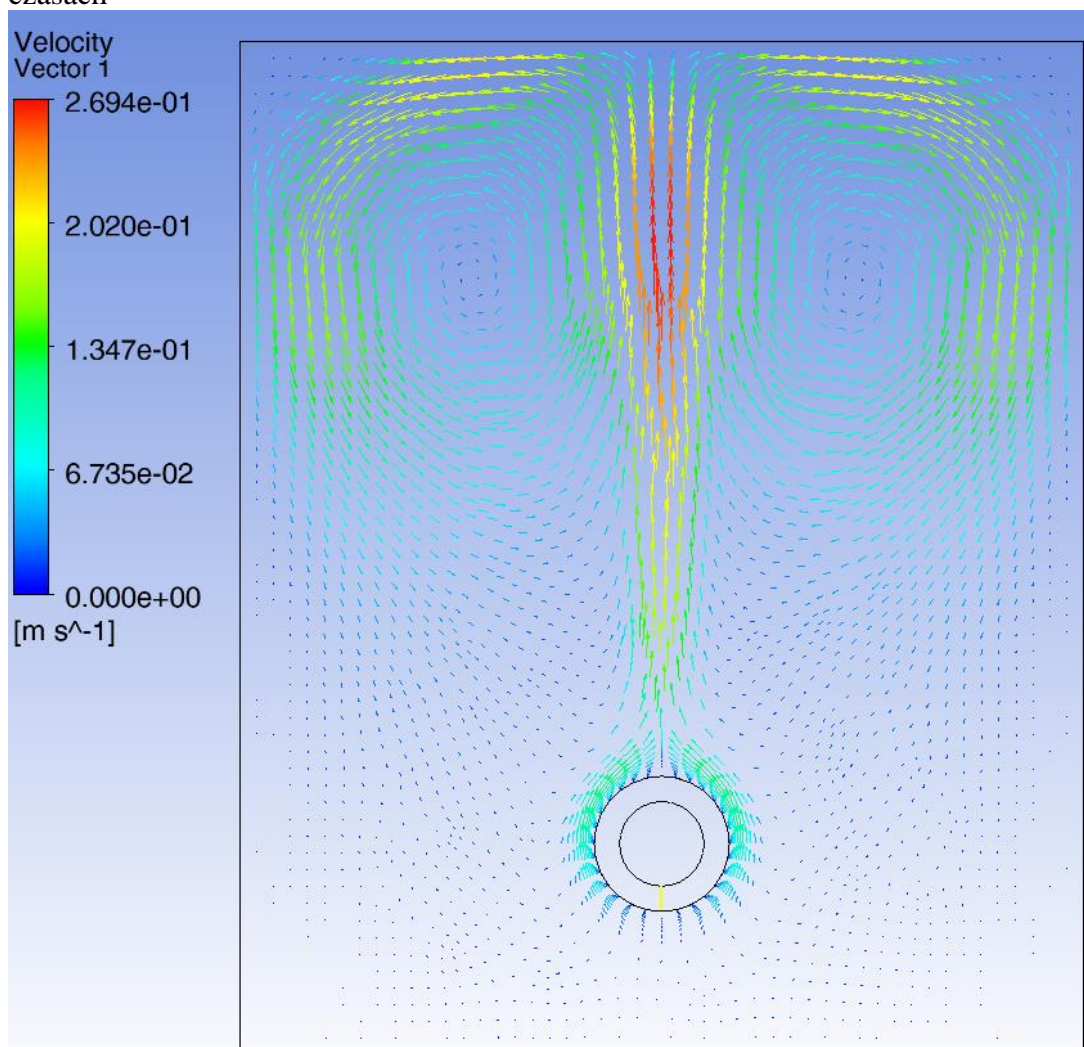
Factor: 1.0

Variable: Velocity

Boundary Data: ☒ Hybrid ☐ Conservative

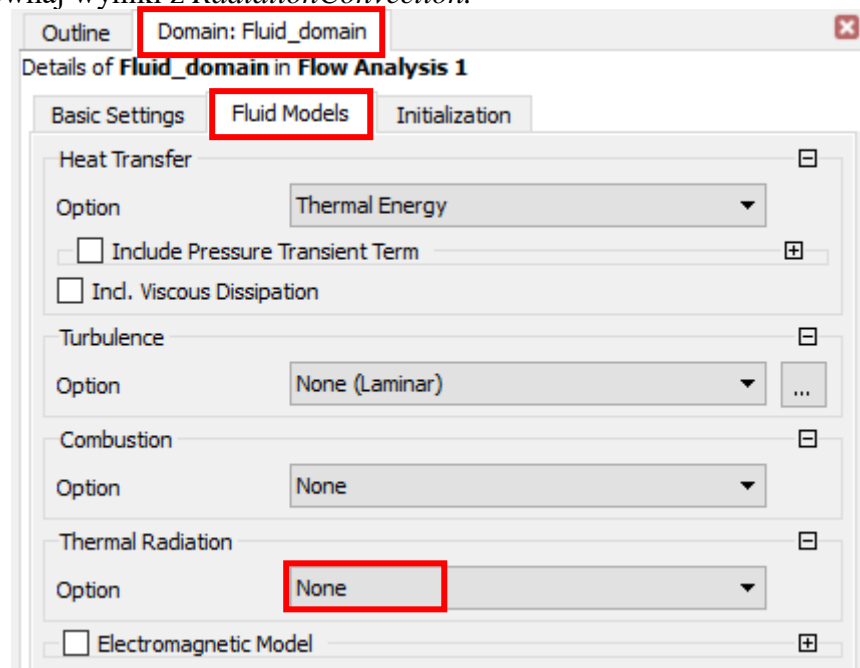
Projection: None

18) Używając *Timestep Selector* obserwuj rozkłady wektorów prędkości w różnych czasach



19) Zadanie do samodzielnego wykonania: skopiuj *RadiationConvection* i kopii nadaj nazwę *onlyConvection*. Edytuj *Setup* w *onlyConvection* wyłączając

w domenie płynu promieniowanie cieplne. Włącz ponownie obliczenia i porównaj wyniki z *RadiationConvection*.



- 20) Zadanie do samodzielnego wykonania: podobnie jak w *Ćwiczeniu nr 1* oblicz strumienie ciepła na powierzchni rury dla czasu  $t = 2$  s. Wykorzystaj następujące *expression*:

$=\text{areaInt}(\text{Wall Heat Flux})@\text{Domain Interface 1 Side 1}$

### Wyniki jakie należy umieścić w raporcie:

- I. Kontury rozkładów temperatury w płaszczyźnie prostopadłej do osi rury z uwzględnieniem tylko konwekcji i z uwzględnieniem konwekcji i promieniowania dla czasów: 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0 s
- II. Kontury rozkładów ciśnienia w płaszczyźnie prostopadłej do osi rury z uwzględnieniem tylko konwekcji i z uwzględnieniem konwekcji i promieniowania dla czasów: 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0 s
- III. Rozkładów wektorów prędkości w płaszczyźnie prostopadłej do osi rury z uwzględnieniem tylko konwekcji i z uwzględnieniem konwekcji i promieniowania dla czasów: 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0 s
- IV. Rozkładów linii prądu w płaszczyźnie prostopadłej do osi rury z uwzględnieniem tylko konwekcji i z uwzględnieniem konwekcji i promieniowania dla czasów: 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0 s
- V. W tabeli przedstawić strumienie ciepła dla wszystkich obliczanych przypadków

### Zadania nieobowiązkowe:

- 1) Za pomocą *expression* oblicz numerycznie liczbę Grashofa  $Gr$  dla  $t = 2$  s. Czy model laminarny został użyty poprawnie? Odpowiedź uzasadnij.
- 2) Za pomocą *expression* oblicz numerycznie średni na powierzchni rury współczynnik wnikania ciepła  $\alpha$ . Wykonaj wykres zależności współczynnika wnikania ciepła w funkcji czasu.
- 3) Wykonaj obliczenia dla pozostałych modeli promieniowania cieplnego i porównaj w tabeli uzyskane strumienie ciepła dla czasu  $t = 2$  s.