



Politechnika Wrocławska

---

**Wydział Mechaniczno-Energetyczny**  
Studia stacjonarne

Wybrane zagadnienia procesów ciepłno-przepływowych

Ćwiczenie nr 1

**Obliczanie nieustalonej wymiany ciepła**

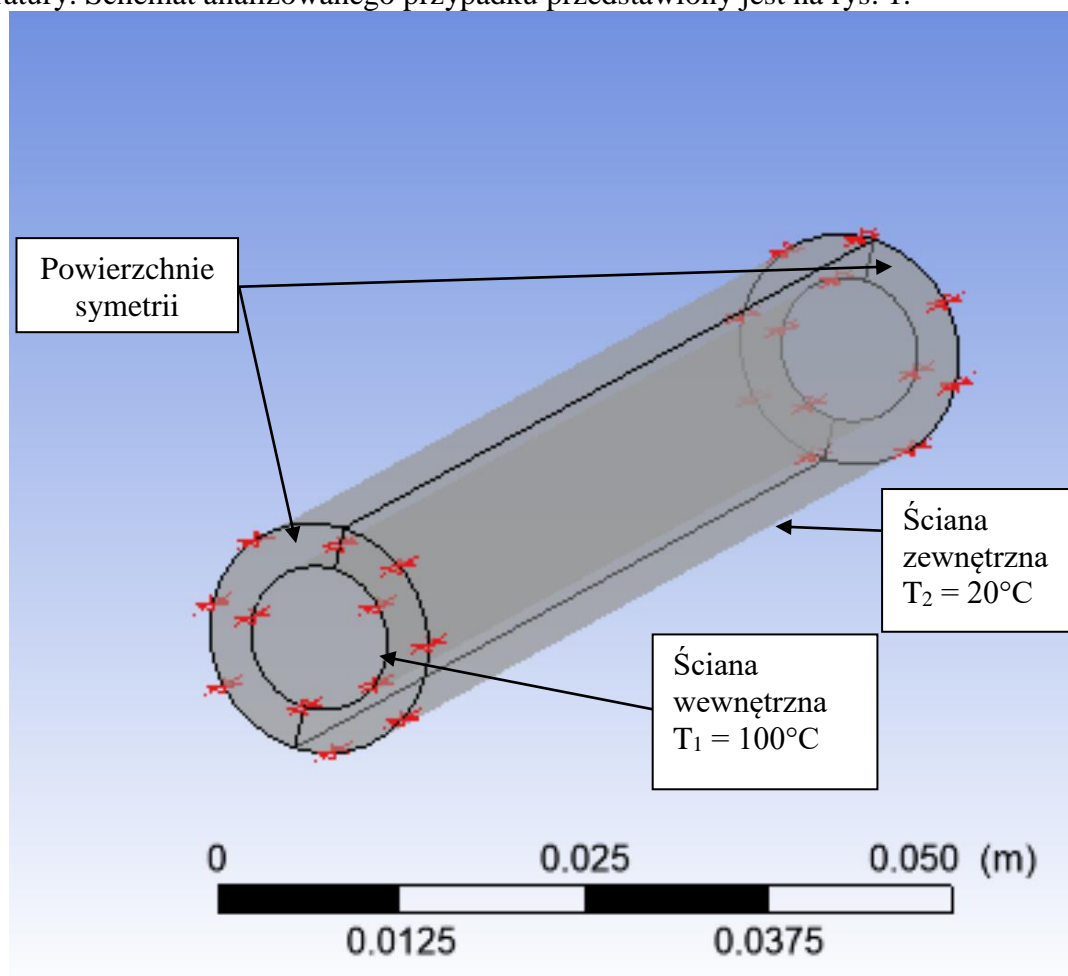
Wrocław 2020

## SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie ..... 2
2. Jednowymiarowe niestalone przewodzenie przez przegrodę cylindryczną ..... 2

### 1. WPROWADZENIE

W ćwiczeniu zostanie zaprezentowany sposób modelowania niestalonej wymiany ciepła w przegrodzie cylindrycznej. Zostanie przeprowadzona symulacja jednowymiarowego przewodzenia ciepła w rurze wykonanej ze stali. Dodatkowym założeniem będzie liniowa zależność współczynnika przewodzenia materiału rury od temperatury. Schemat analizowanego przypadku przedstawiony jest na rys. 1.



Rys. 1. Schemat zagadnienia niestalonego przewodzenia ciepła w przegrodzie cylindrycznej

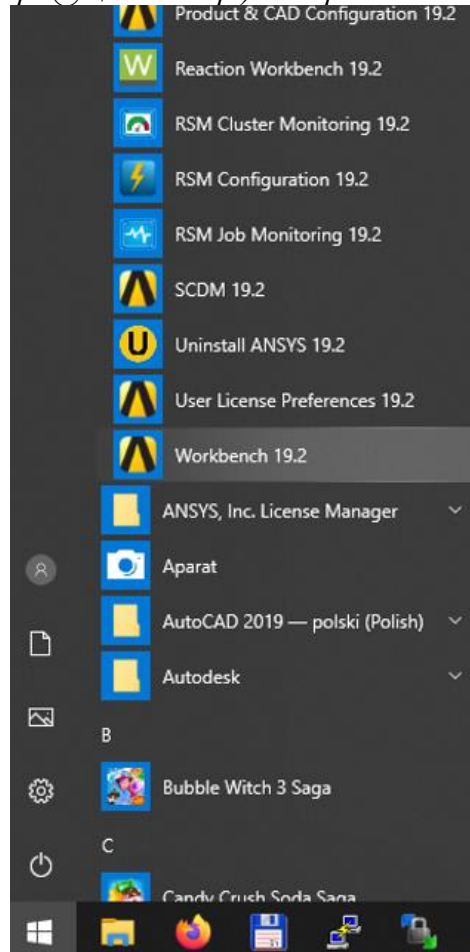
### 2. JEDNOWYMIAROWE NIEUSTALONE PRZEWODZENIE PRZEZ PRZEGRODĘ CYLINDRYCZNĄ

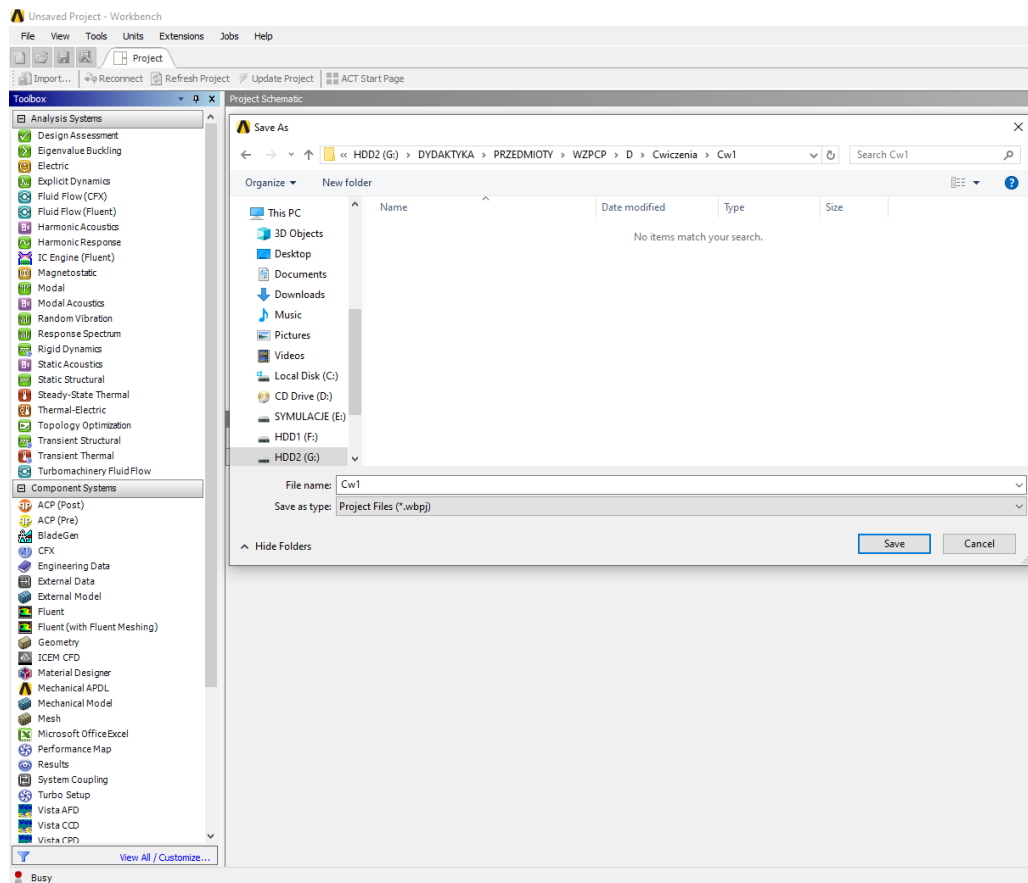
Wykonaj następujące zadania:

- 1) Otwórz program Ansys Workbench i zapisz projekt o nazwie Cw1 w katalogu o nazwie Cw1 (*File->Save As*).

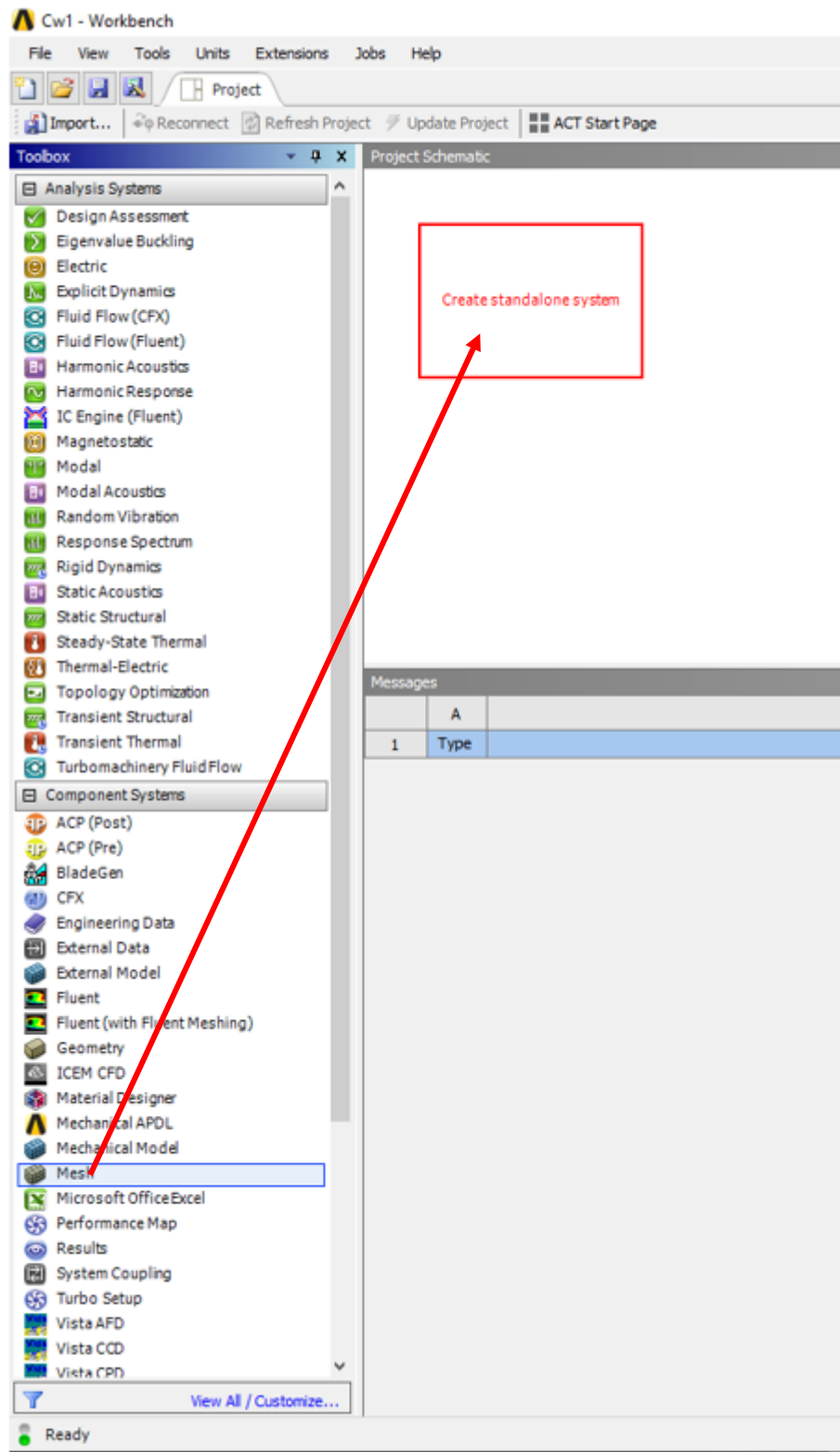
**ZASADA PRAKTYCZNA NR 1:** Dla każdego projektu tworzymy osobny katalog

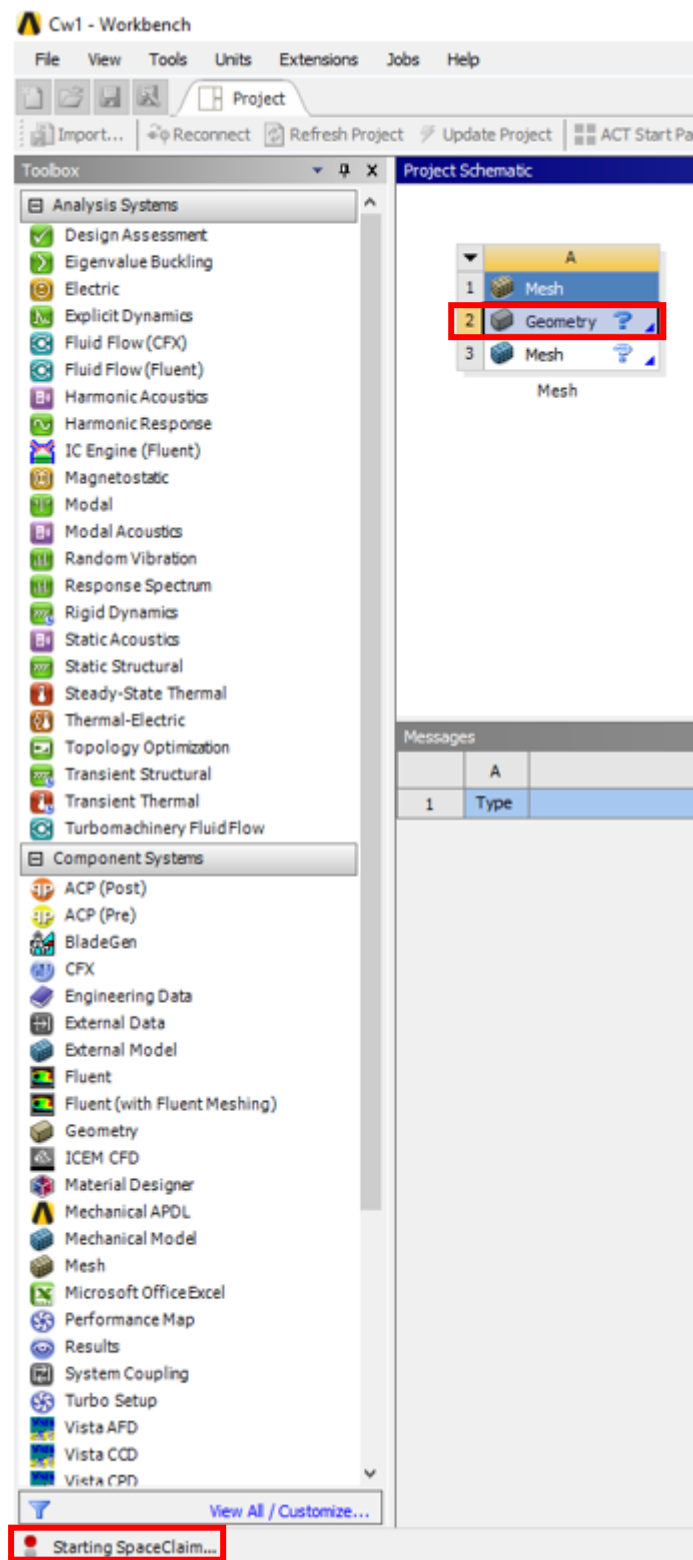
**ZASADA PRAKTYCZNA NR 2:** W nazwach katalogów nie stosujemy: spacji, znaków specjalnych (np. @#\$%^&\* itp.) oraz polskich znaków



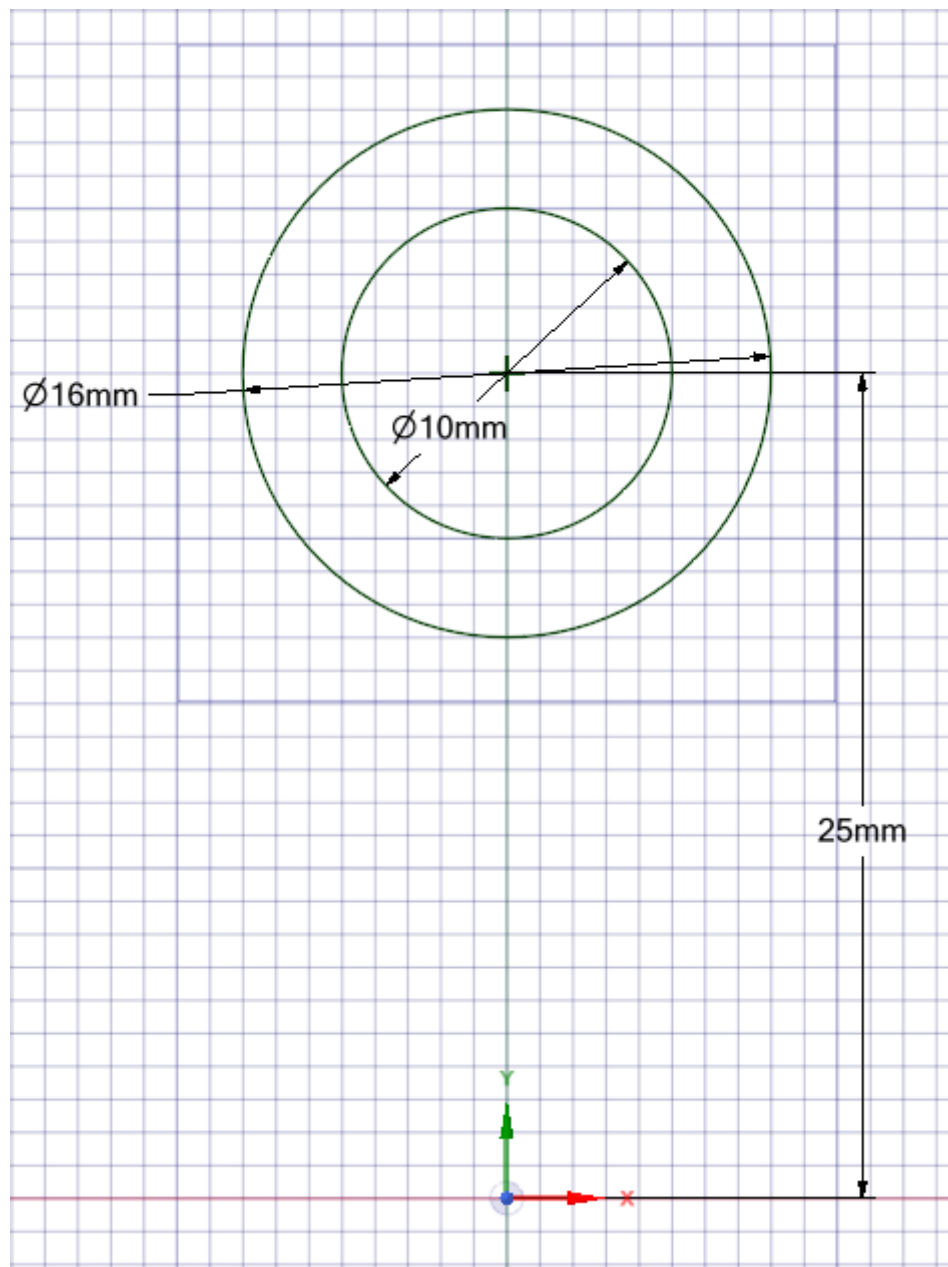


- 2) Wybierz moduł *Mesh* i otwórz program *Spaceclaim*. W tym celu chwyć lewym przyciskiem myszy (LPM) moduł *Mesh* i przeciągnij go do pola *Project Schematic*. Następnie kliknij dwukrotnie LPM na *Geometry* w celu uruchomienia programu *Spaceclaim*, w którym zostanie utworzona geometria. Zwróć uwagę,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





- 3) W programie *Spaceclaim* utwórz rurę cylindryczną o wymiarach przedstawionych na rys. 2. Długość rury ustal na 100 mm.

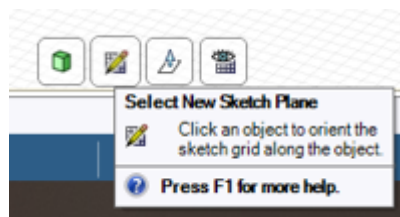


Rys. 2. Wymiary rury cylindrycznej w przekroju (długość rury wynosi 100 mm)

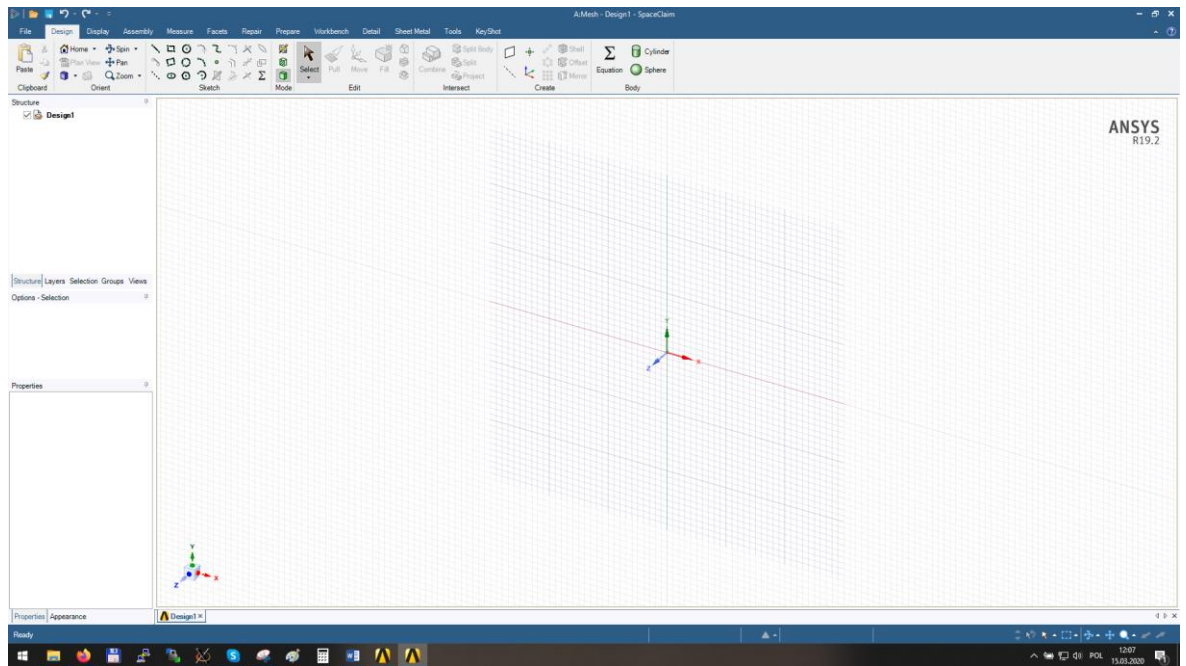
W tym celu kliknij LPM ikonę *Select New Sketch*




w celu wybrania płaszczyzny rysowania.




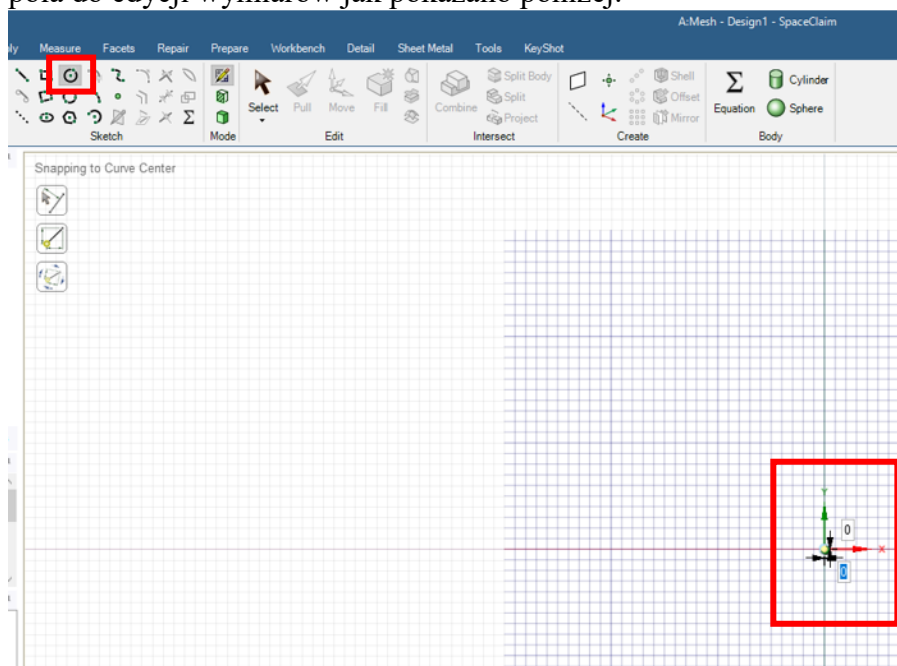
Wybierz płaszczyznę X-Y jak na rysunku poniżej.



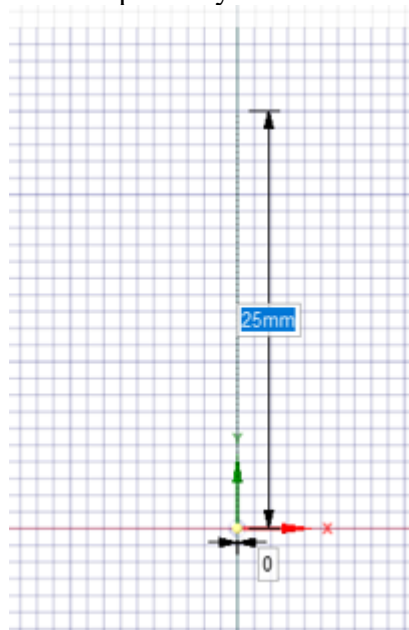
Kliknij ikonę *Plan View*  w celu obrócenia płaszczyzny rysowania równoległe do ekranu (możesz też to zrobić wciskając *Shift + v*).




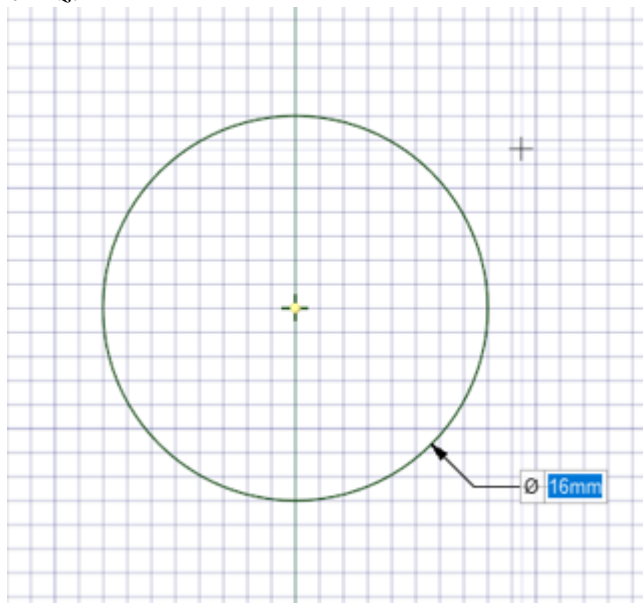
W panelu u góry ekranu wybierz ikonę rysowania okręgu  i zbliż kursor do środka układu współrzędnych po czym naciśnij klawisz *Shift* – pojawią się dwa pola do edycji wymiarów jak pokazano poniżej.



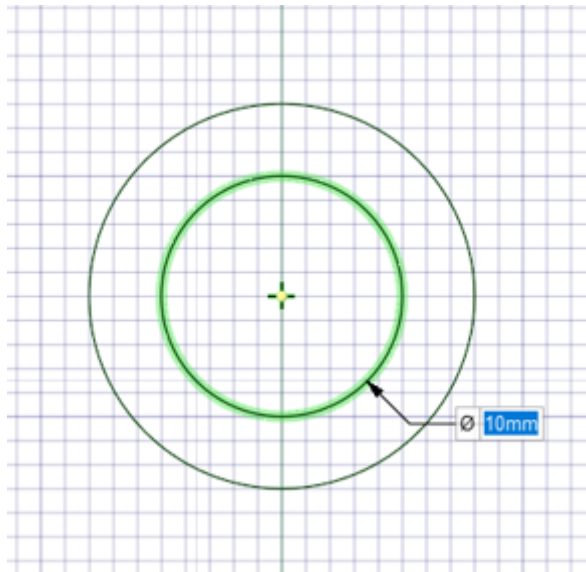
Pomiędzy polami edycji wymiaru można się przełączać klawiszem *Tab*. Ustaw wymiar poziomy na 0 natomiast pionowy na 25 mm i naciśnij klawisz *Enter*.



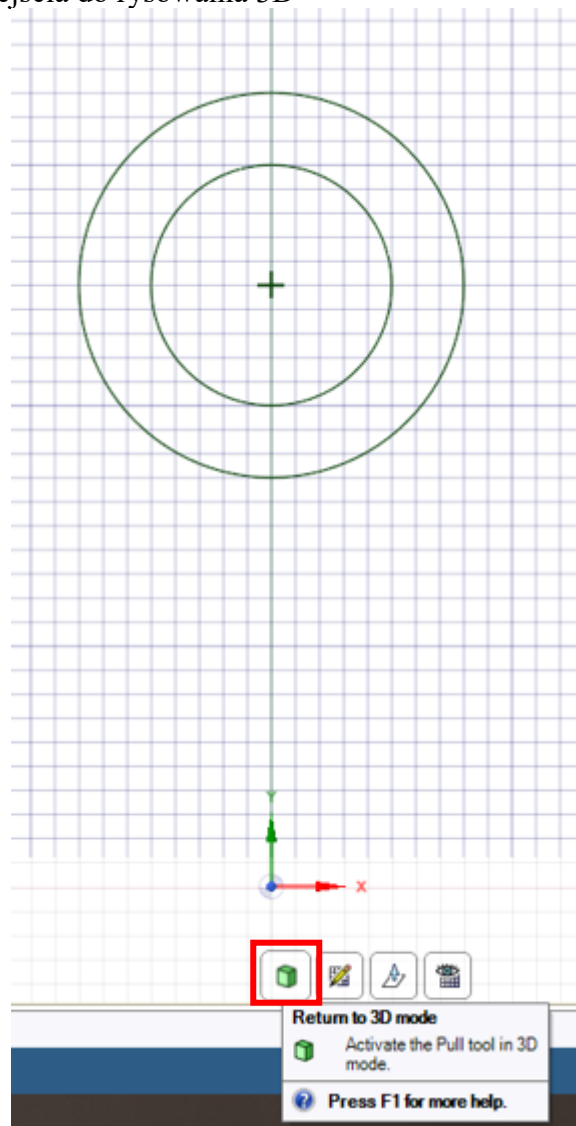
Program przejdzie do rysowania okręgu. Wpisz wartość 16 mm i zatwierdź klawiszem *Enter*. **Pamiętaj**, że w razie niepowodzenia w każdym momencie możesz kliknąć ikonę cofnięcia  (znajduje się w lewym górnym rogu ekranu) lub *Ctrl* + *z*.



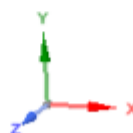
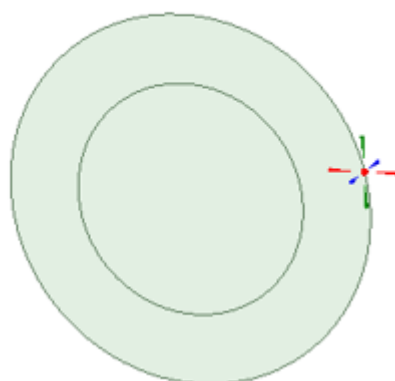
Następnie utwórz drugi okrąg o średnicy 10 mm przez kliknięcie LPM w środek poprzednio utworzonego okręgu.



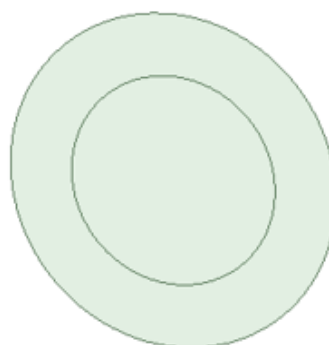
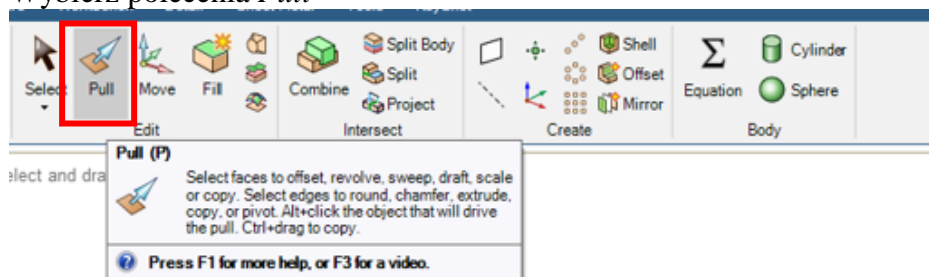
W celu wyjścia z polecenia rysowania okręgu naciśnij klawisz *Esc* i LPM kliknij ikonę przejścia do rysowania 3D



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



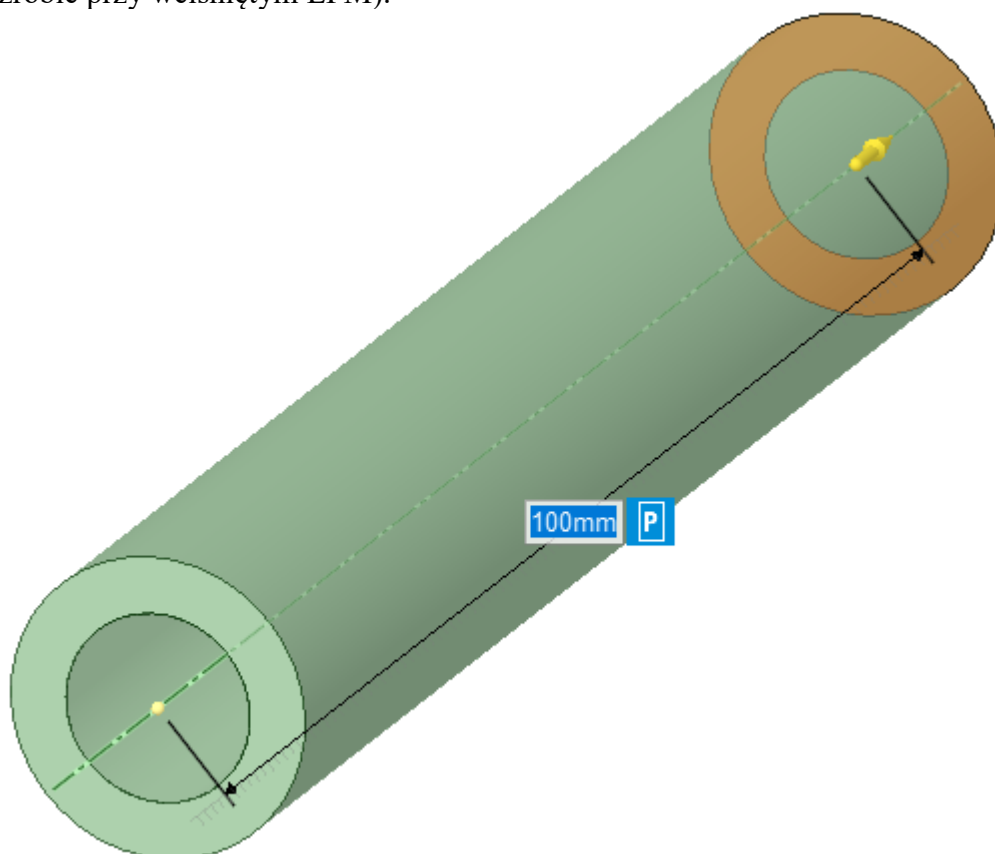
Wybierz polecenia *Pull*



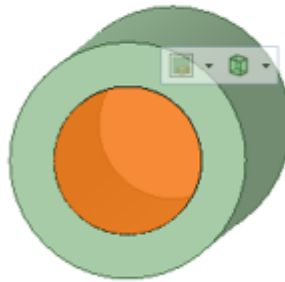
Następnie ustaw kursor tak jak pokazano na rysunku poniżej



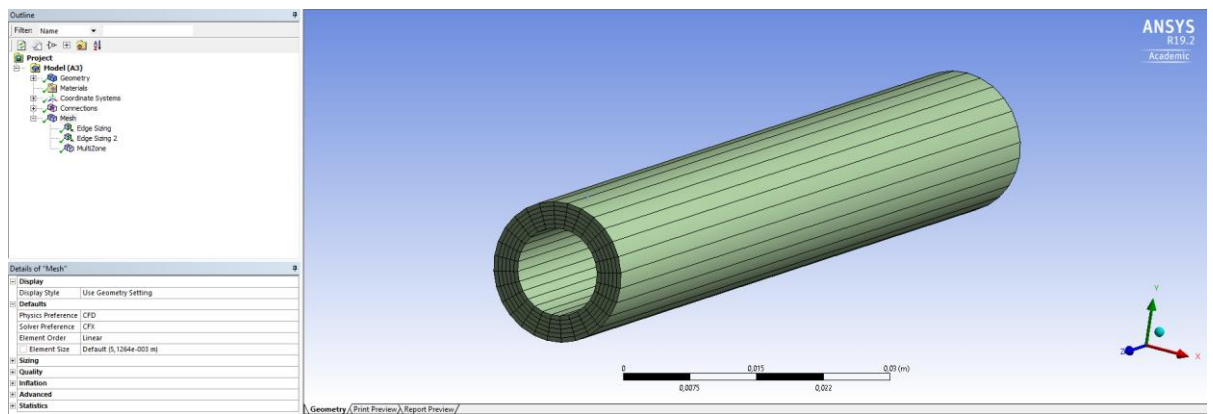
Przesuwając kursor przy wciśniętym LPM zauważysz zmieniający się wymiar długości rury. Wpisz 100 mm i zatwierdź *Enter* (możliwe, że będziesz musiał to zrobić przy wciśniętym LPM).



Ostatnim krokiem jest usunięcie zbędnej płaszczyzny zasklepiającej otwór rury. W tym celu naciśnij *Esc* a następnie wybierz zbędną płaszczyznę (zrobi się wtedy pomarańczowa jak na rys. poniżej) i naciśnij klawisz *Delete*.

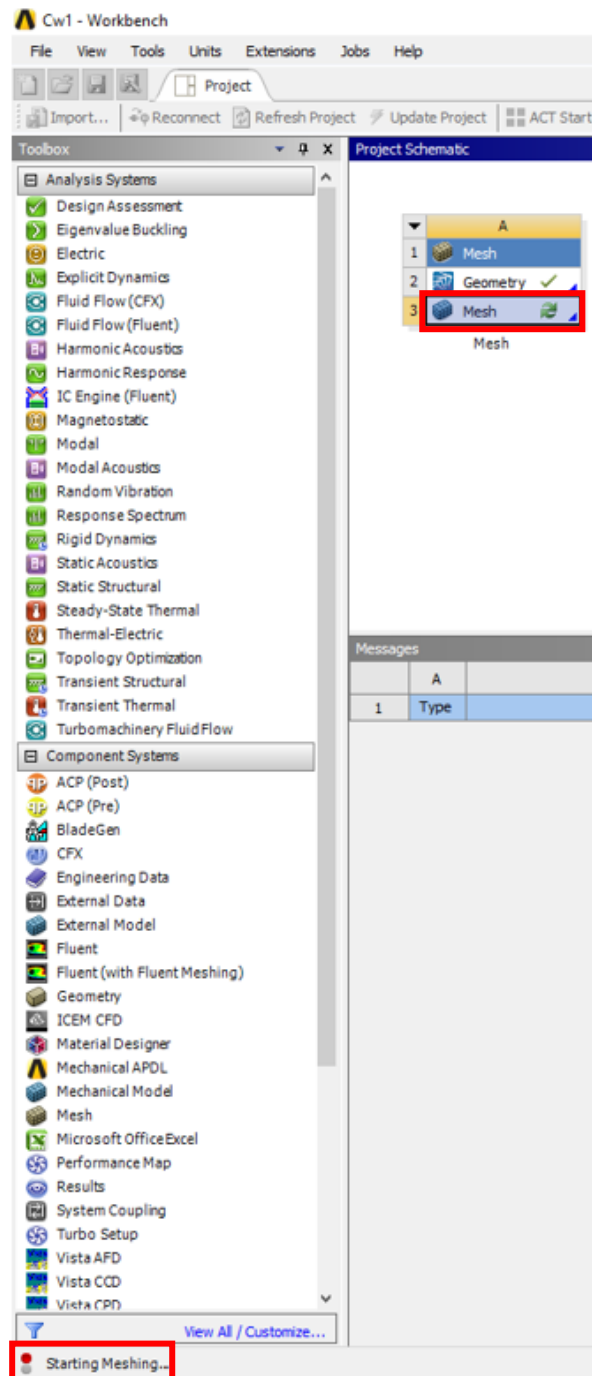


- 4) Zamknij program *Spaceclaim* i zapisz projekt w *Workbench* za pomocą *Ctrl + s*
- 5) W module wykonywania siatki numerycznej *Mesh* wykonaj siatkę numeryczną, tak aby wyglądała podobnie do tej przedstawionej na rys. 3.

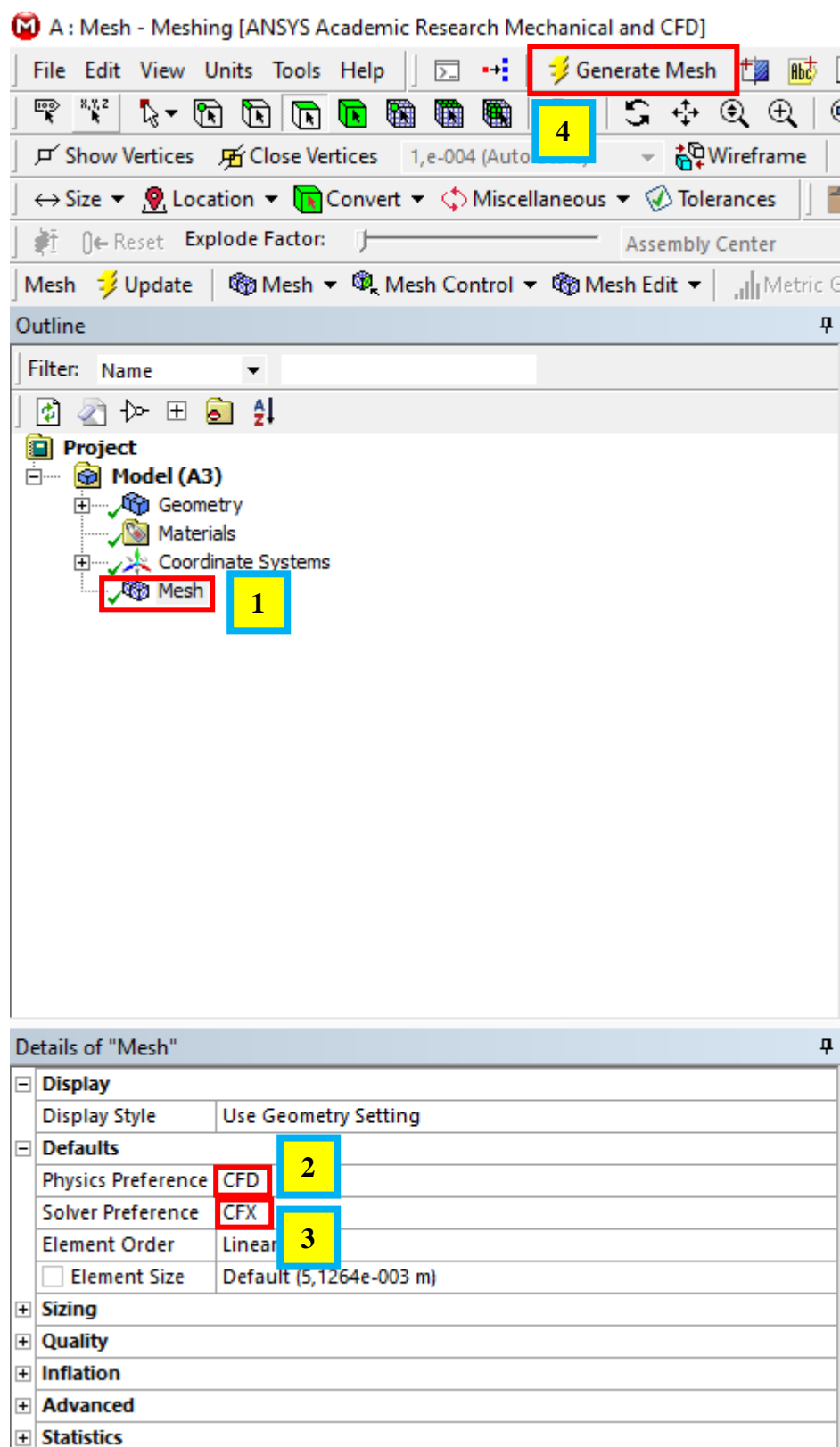


Rys. 3. Widok siatki numerycznej dla zagadnienia jednowymiarowego nieustalonego przewodzenia ciepła w rurze cylindrycznej

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

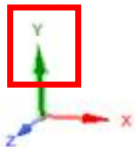
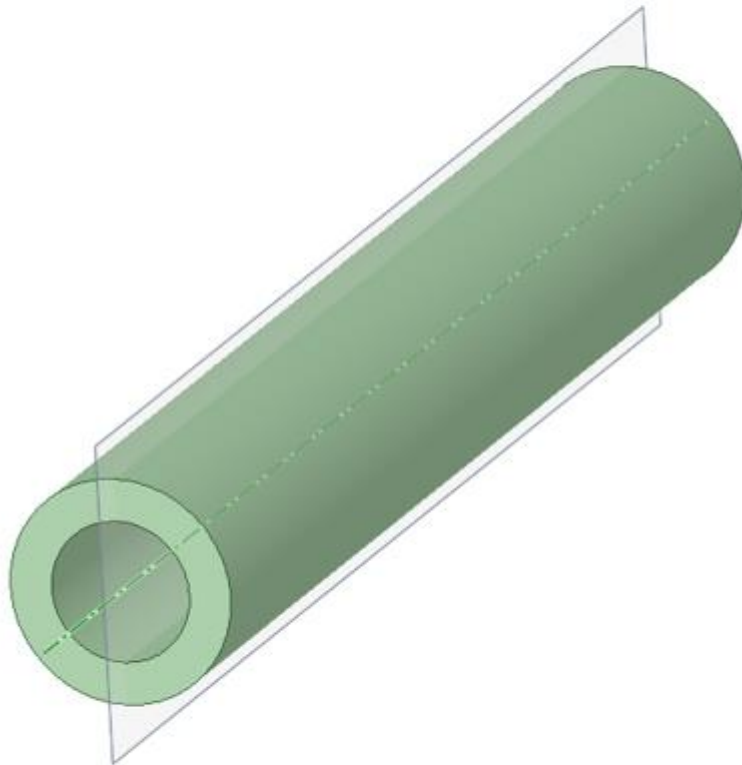


W programie *Ansys Meshing*: 1) kliknij *Mesh*, 2) Zmień pole *Physisc Preference* na *CFD*, 3) Zmień pole *Solver Preference* na *CFX*, 4) Kliknij *LPM Generate Mesh*

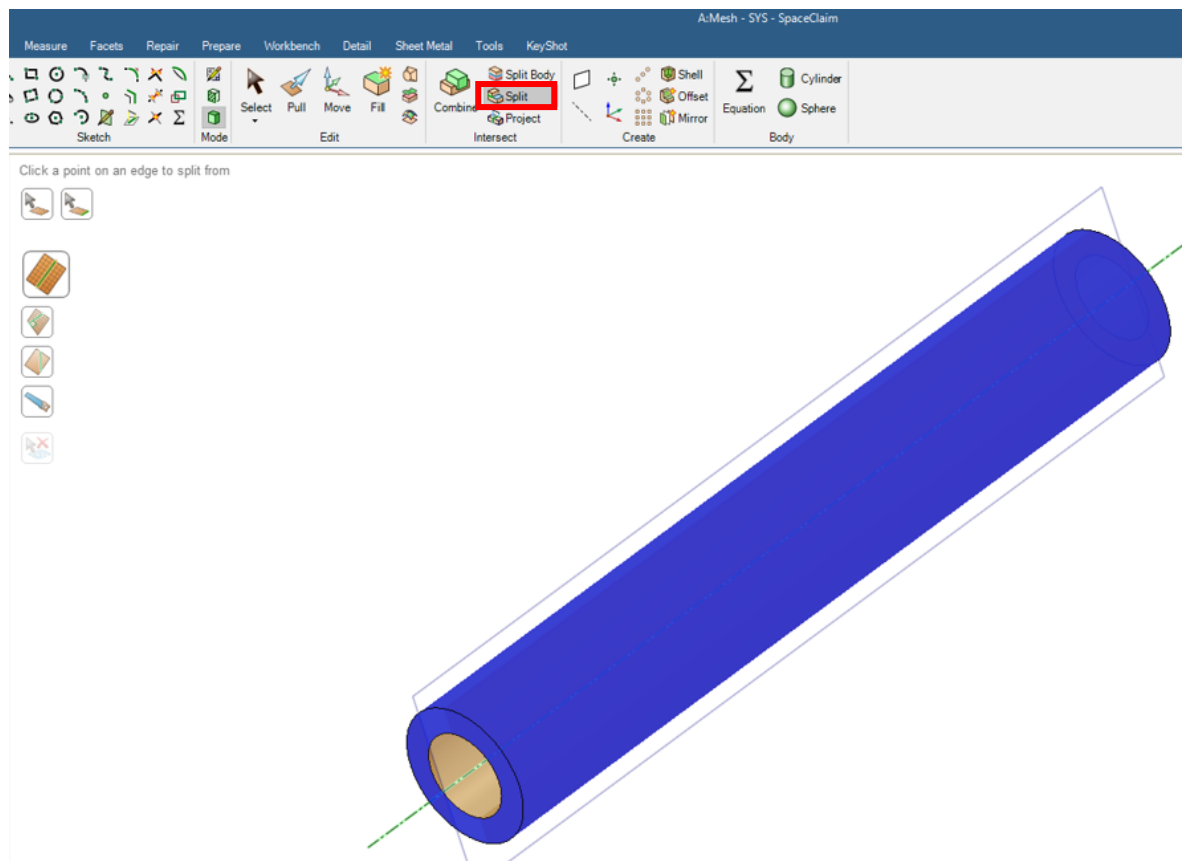


Jak widać domyślna siatka nie jest podobna do siatki z rys. 3. W celu jej naprawy należy najpierw edytować geometrię. Przetniemy rurę na pół w celu utworzenia krawędzi, na których następnie możliwe będzie nadanie liczby elementów siatki numerycznej. Zamknij moduł *Ansyes Meshing* i otwórz program *Spaceclaim*.

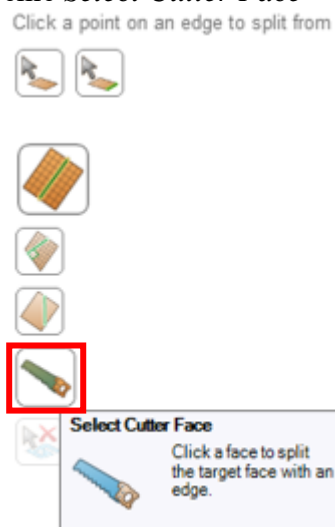
Wybierz ikonę tworzenia płaszczyzn  i LPM kliknij oś Y w celu utworzenia płaszczyzny YZ



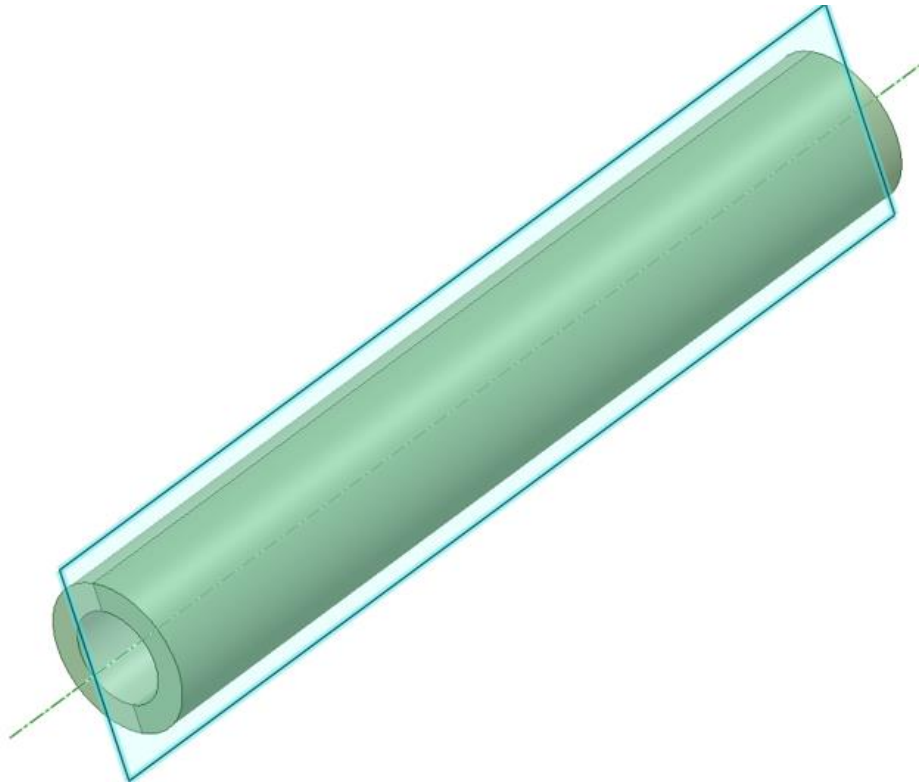
Wybierz ikonę *Split* i wskaż LPM przy wciśniętym klawiszu *Ctrl* 3 powierzchnie zewnętrzne rury (oznaczone na niebiesko)



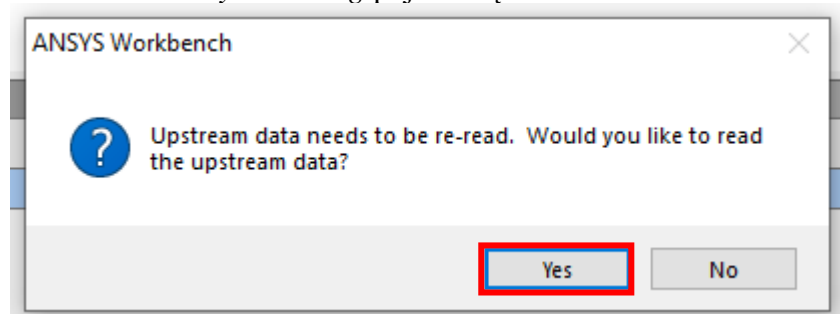
Następnie wybierz polecenie *Select Cutter Face*



A następnie wskaż utworzoną wcześniej płaszczyznę YZ i zamknij program *Spaceclaim* i otwórz *Ansys Meshing*.

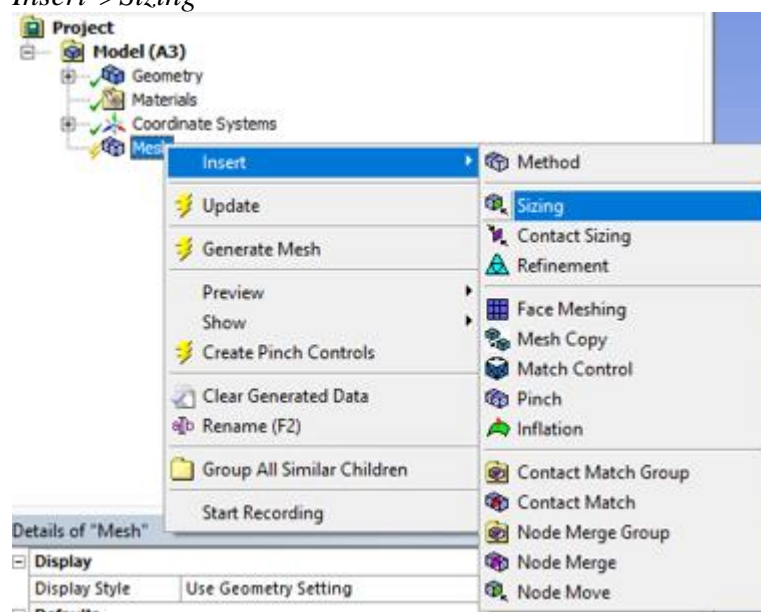


Podczas otwierania *Ansys Meshing* pojawi się komunikat

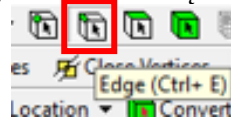


Wybierz *Yes*.

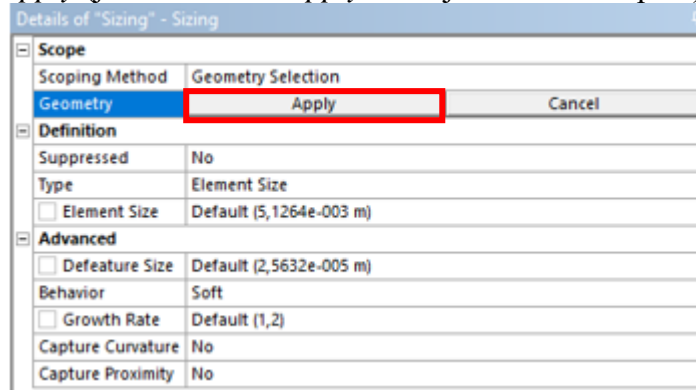
W *Ansys Meshing* naciśnij prawy przycisk myszy (PPM) na *Mesh* i wybierz *Insert->Sizing*



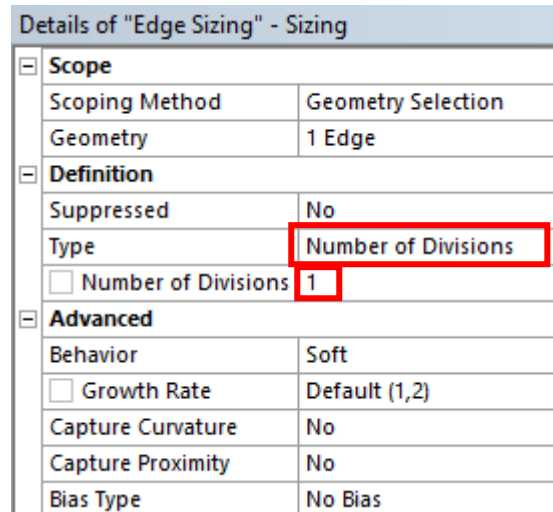
U góry ekranu wybierz filtr wybierania krawędzi *Edge*



Wybierz długą krawędź (na rys. poniżej linia przerywana) i zatwierdź *Geometry->Apply* (jeśli nie widać *Apply* kliknij LPM w żółte pole).



Zmień pole *Definition->Type* z *Element Size* na *Number of Divisions*. W polu *Number of Divisions* ustaw wartość 1

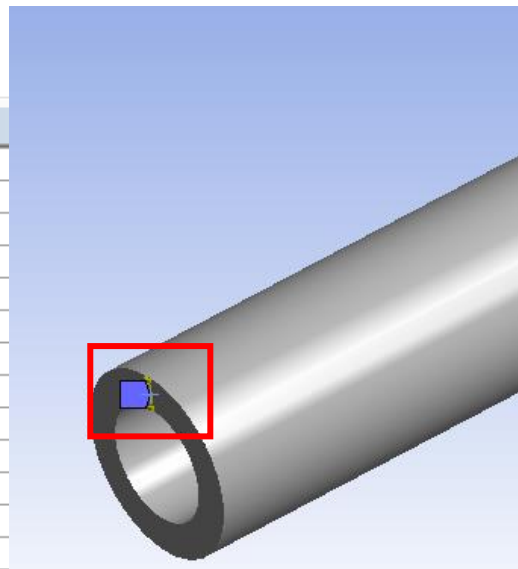


Kliknij *Generate Mesh* i sprawdź wygenerowaną siatkę (jeśli nie widać siatki kliknij LPM na *Mesh* w drzewku po lewej stronie).

Wykonaj podobne czynności dla krawędzi pokazanej na rys. poniżej z tą różnicą, że *Number of Divisions* = 6

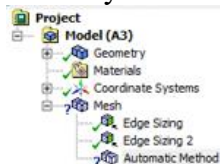


Details of "Edge Sizing 2" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Edge
Definition	
Suppressed	No
Type	Number of Divisions
Number of Divisions	6
Advanced	
Behavior	Soft
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,2)
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No
Bias Type	No Bias

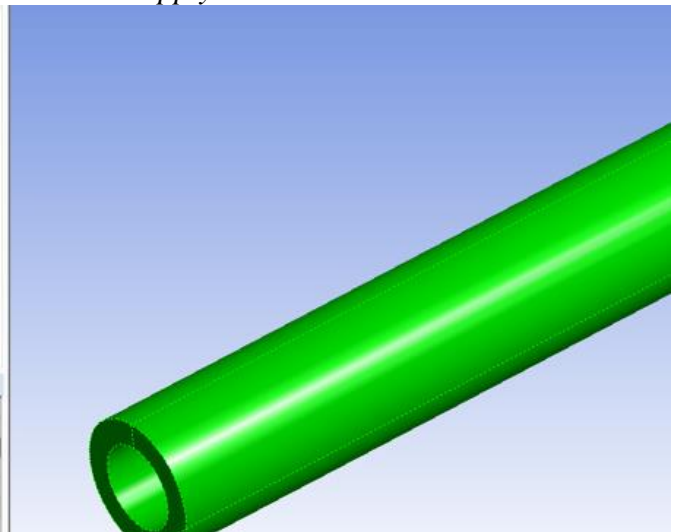


W Ansys Meshing naciśnij prawy przycisk myszy (PPM) na *Mesh* i wybierz *Insert->Method*

LPM wybierz rurę (stanie się zielona) i zatwierdź *Apply*.



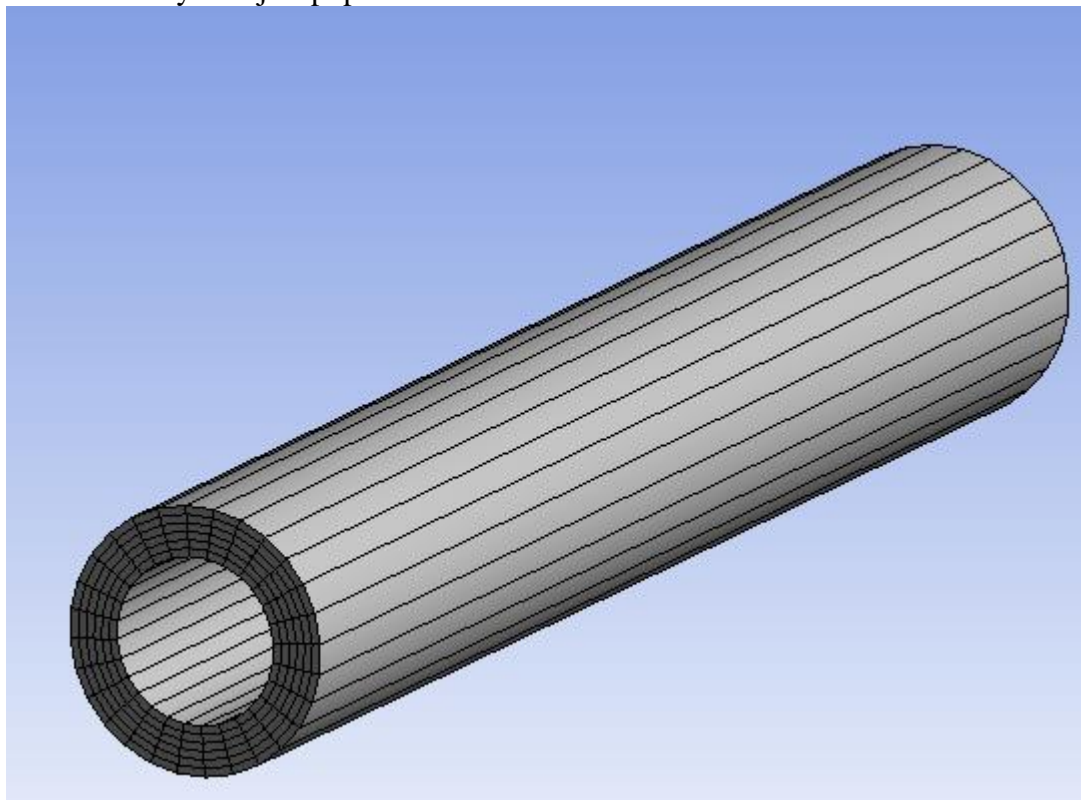
Details of "Automatic Method" - Method	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	Apply
Definition	
Suppressed	No
Method	Automatic
Element Order	Use Global Setting



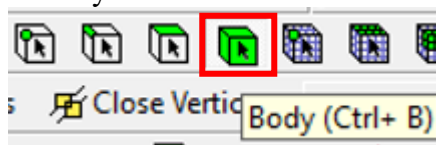
Zmień *Method* z *Automatic* na *Multizone* i kliknij *Generate Mesh*

Details of "MultiZone" - Method	
[-] <b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
[-] <b>Definition</b>	
Suppressed	No
<b>Method</b>	<b>MultiZone</b>
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	3,e-003 m
Write ICEM CFD Files	No

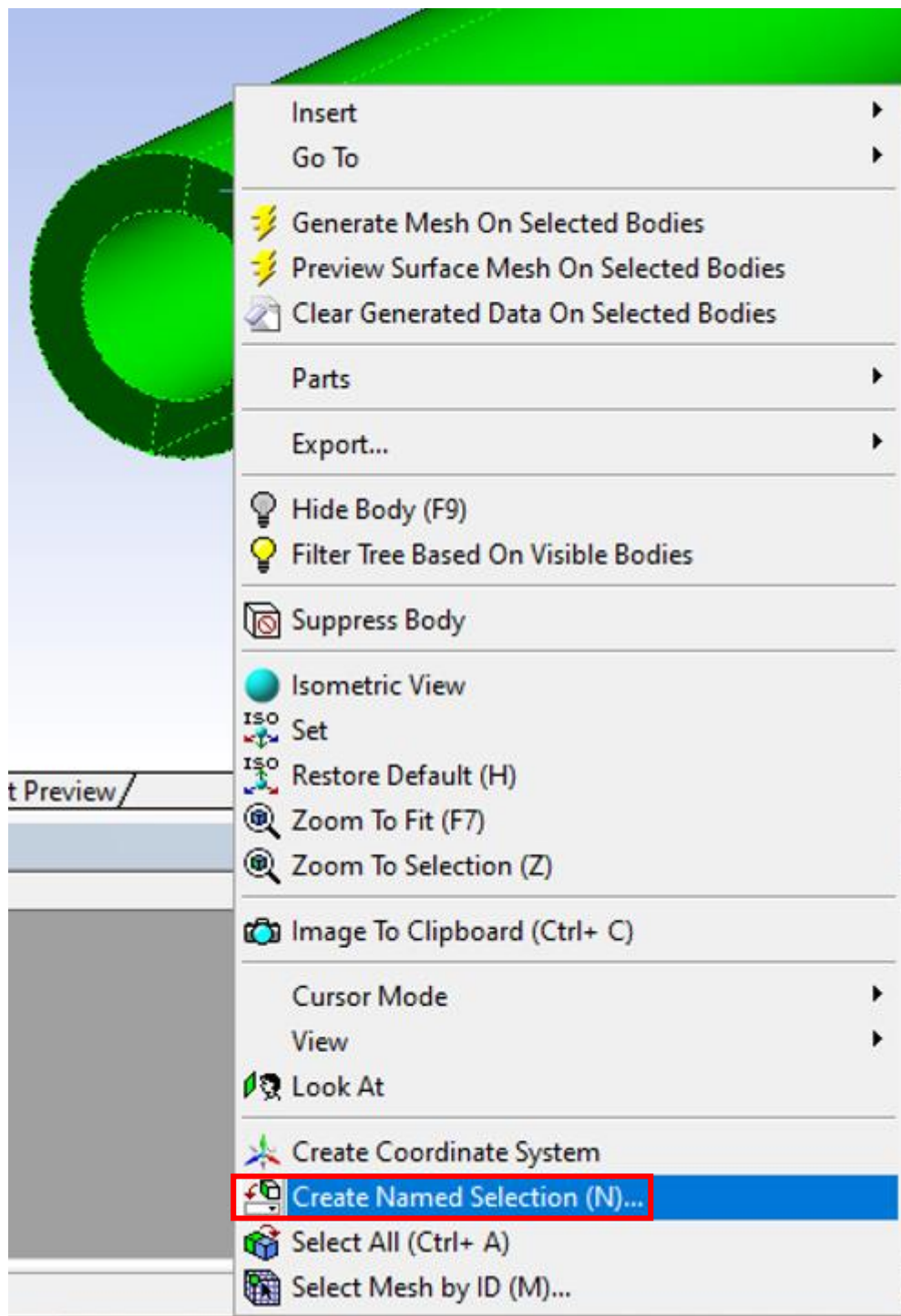
Siatka numeryczna jest poprawna.



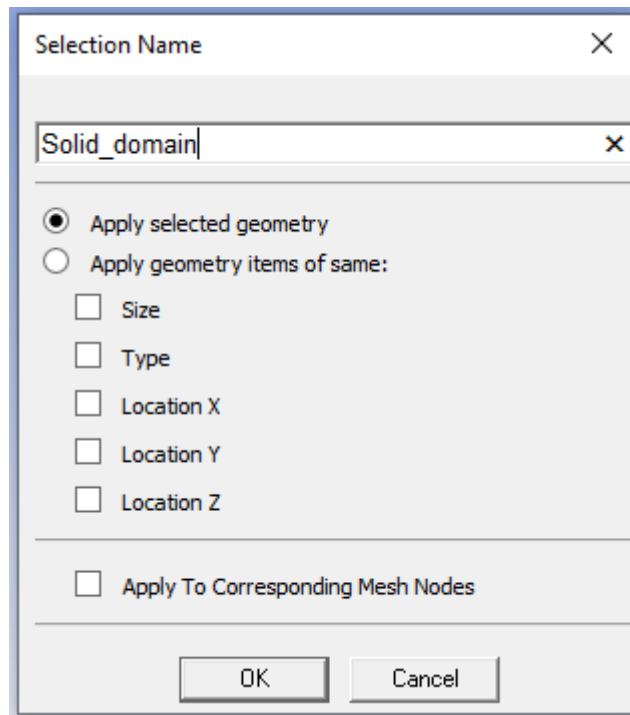
Ostatni krok to nadanie nazw objętościom i powierzchniom.  
Wybierz LPM filtr wyboru brył



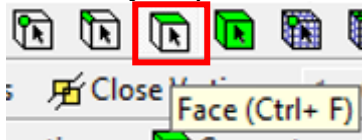
Wybierz rurę LPM, a następnie kliknij PPM i wybierz *Create Named Selection*



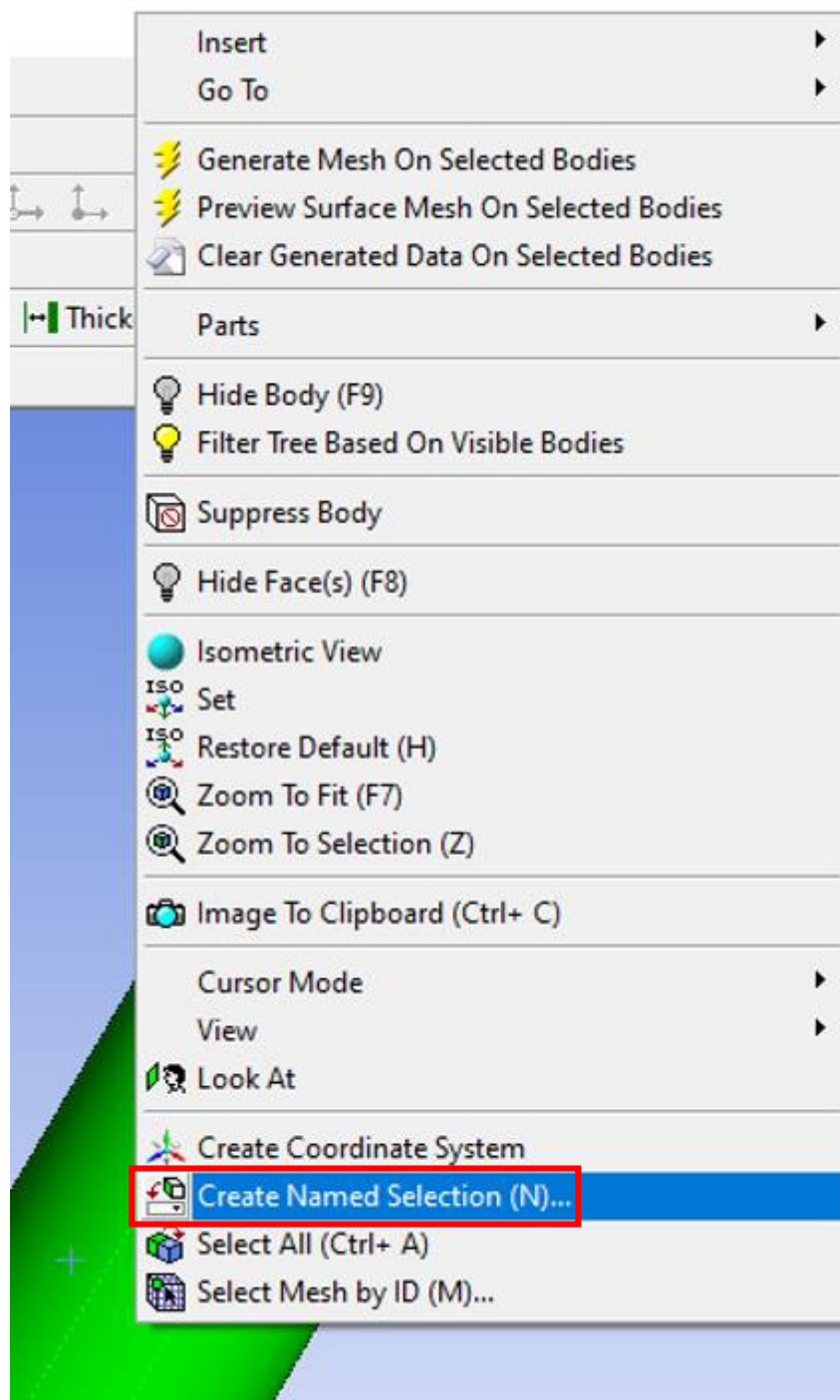
Jako nazwę proszę wybrać *Solid\_domain*



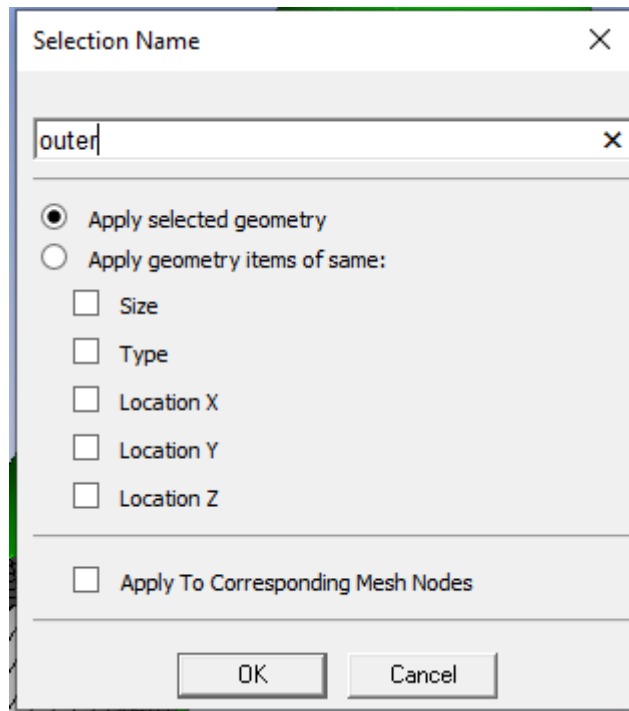
Następnie proszę zmienić filtr na wybór powierzchni



LPM wskaż zewnętrzną powierzchnię rury i kliknij PPM, a następnie wybierz *Create Named Selection* (rura została wcześniej podzielona na pół więc teraz zewnętrzna powierzchnia składa się także z dwóch części; przy wyborze powierzchni zewnętrznej wskaż obie półowki przy wciśniętym klawiszu *Ctrl*)



Nadaj nazwę *outer*



Podobnie utwórz nazwy *inner* i *side* odpowiednio dla wewnętrznej powierzchni rury i dwóch powierzchni bocznych (w przypadku powierzchni bocznych należy wybrać 4 części).

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

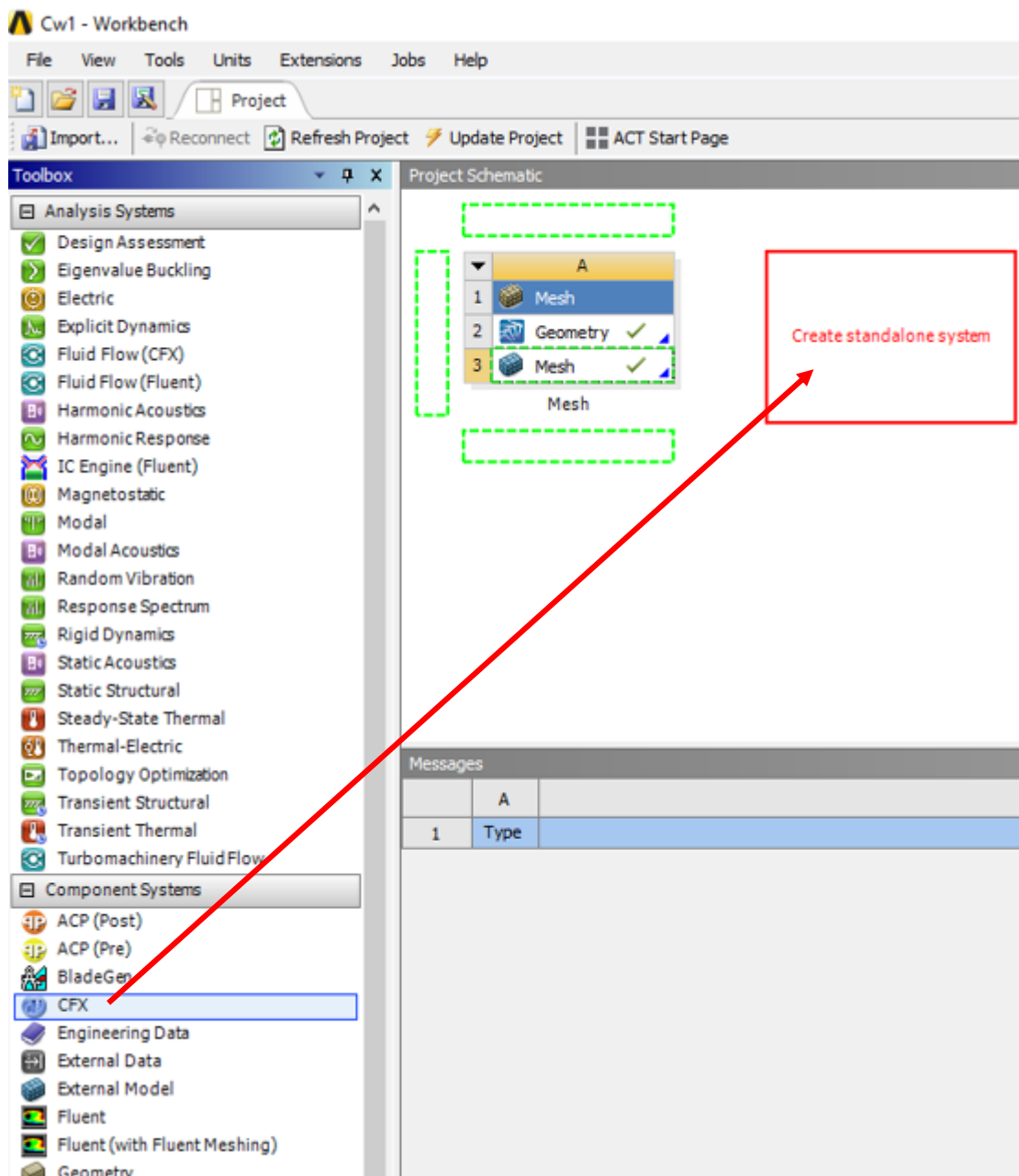
- 6) W module *CFX* wykonaj obliczenia jednowymiarowego nieustalonego przewodzenia ciepła przez przegrodę cylindryczną. Na powierzchni wewnętrznej rury ustaw stałą temperaturę  $T_1 = 100^\circ\text{C}$ , natomiast na powierzchni zewnętrznej  $T_2 = 20^\circ\text{C}$ . Współczynnik przewodzenia ciepła należy zaimplementować jako zależny od temperatury wg następującego wzoru

$$\lambda = \lambda_0 (1 + bT) \quad (1)$$

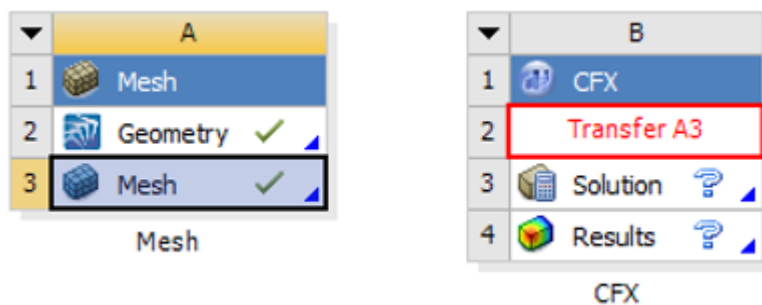
Tab. 1. Parametry wykorzystywane w obliczeniach

$\lambda_0$	b	t	dt
W/(m K)	1/K	s	s
40	-0,001	2	0.05

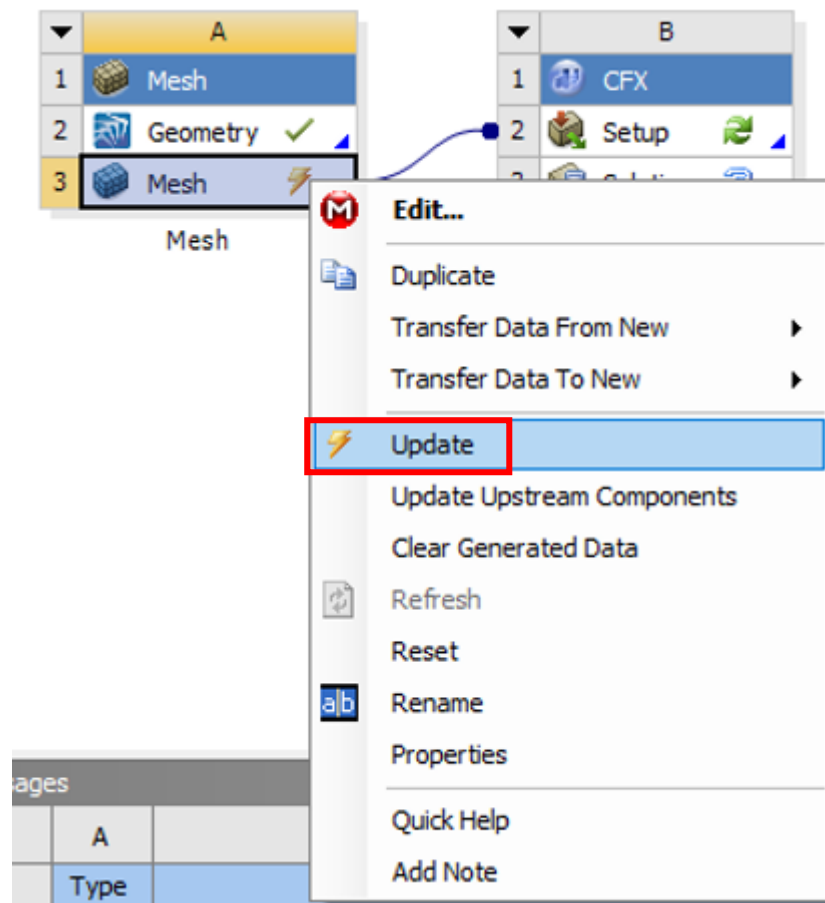
W tym celu do *Project Schematic* przeciągnij lewym przyciskiem myszy moduł *CFX*



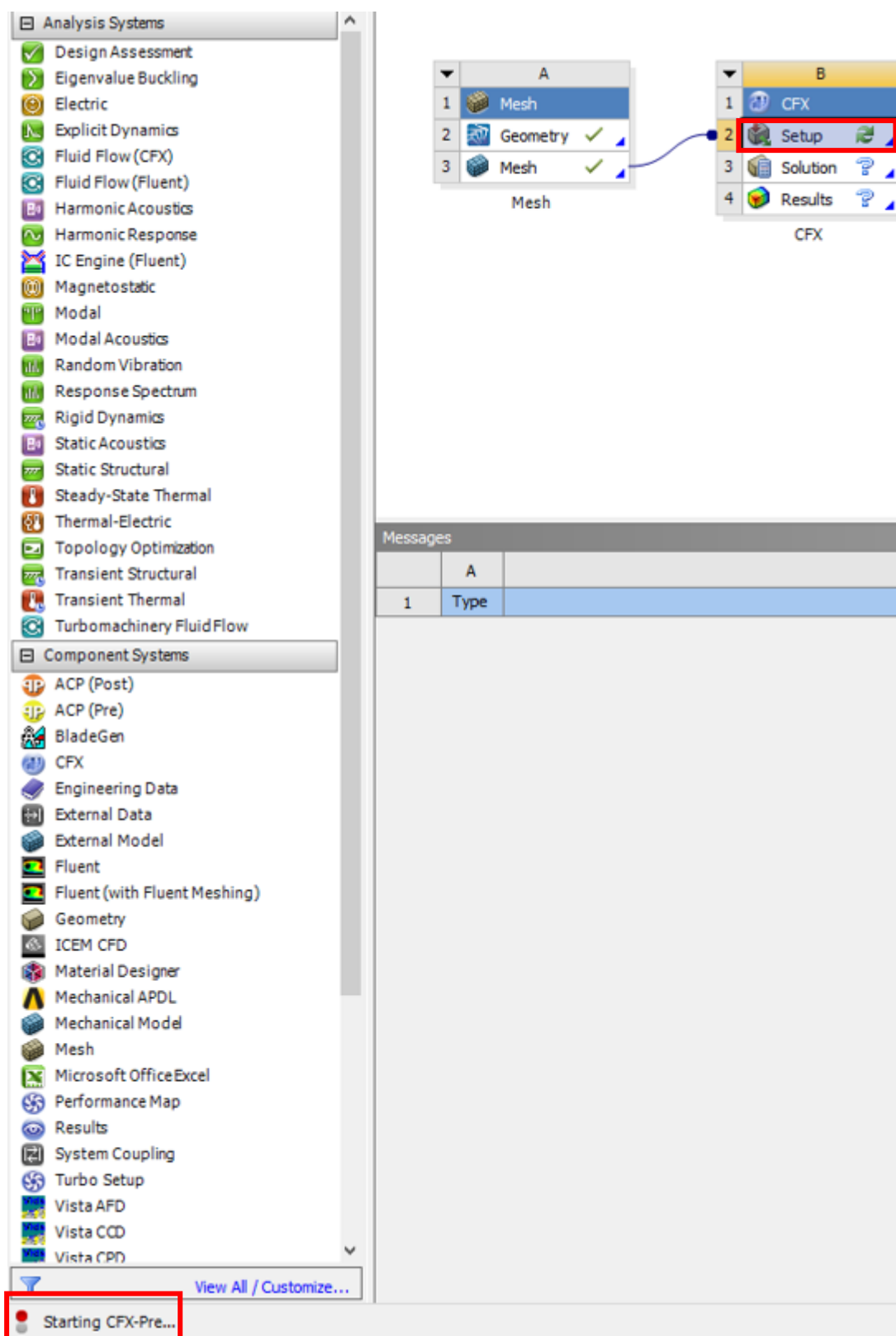
W celu połączenia modułu *Mesh* z *CFX* chwycić LPM *Mesh* (to niżej) i przeciągnij na *Setup* aż do pojawienia się pola *Transfer A3*, a następnie puść LPM – połączenie zostało utworzone



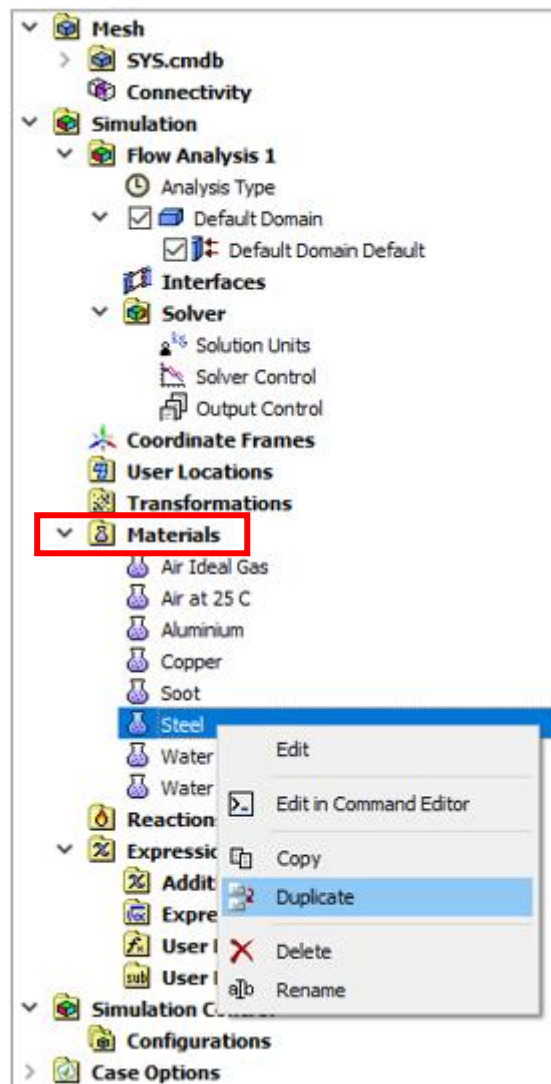
Kliknij PPM na *Mesh* i wybierz *Update*



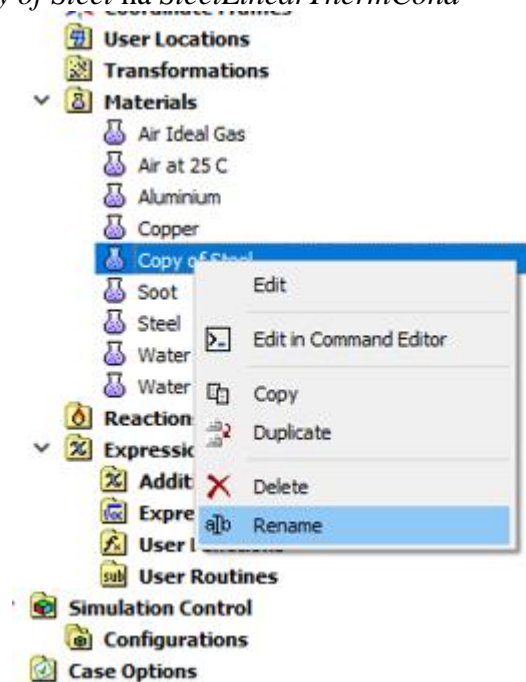
Kliknij dwukrotnie *Setup* w celu uruchomienia programu *Ansys CFX*



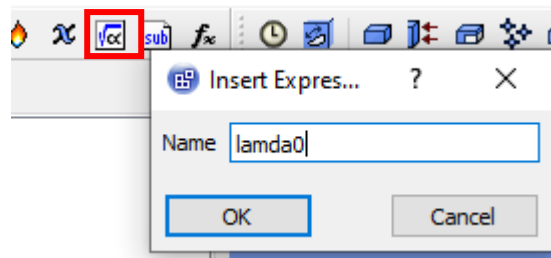
W pierwszym kroku utworzysz materiał stali o współczynniku przewodzenia ciepła zależnym liniowo od temperatury zgodnie z równaniem (1). W tym celu rozwiń *Materials* w drzewku i naciśnij PPM na materiale *Steel*, a następnie wybierz *Duplicate*, aby utworzyć kopię.



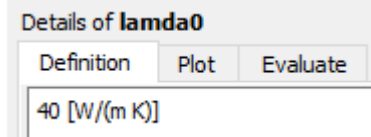
Zmień nazwę *Copy of Steel* na *SteelLinearThermCond*



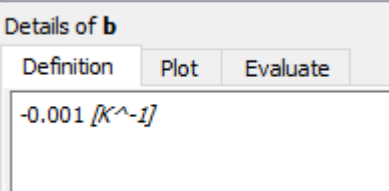
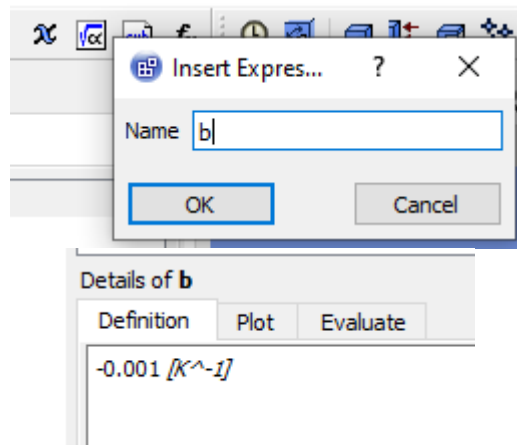
Utwórz *Expression* o nazwie *lambda0*



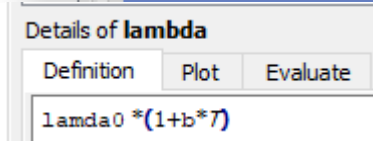
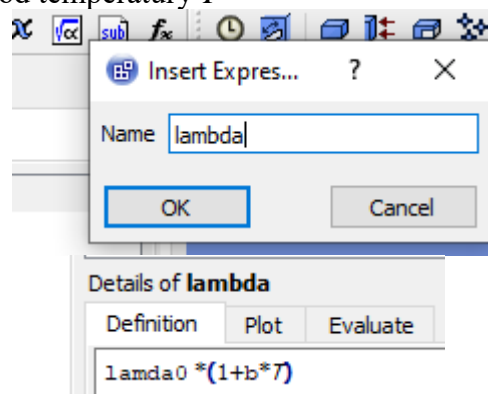
W polu *Details* wpisz zgodnie z poniższym rysunkiem i zatwierdź *Apply*.



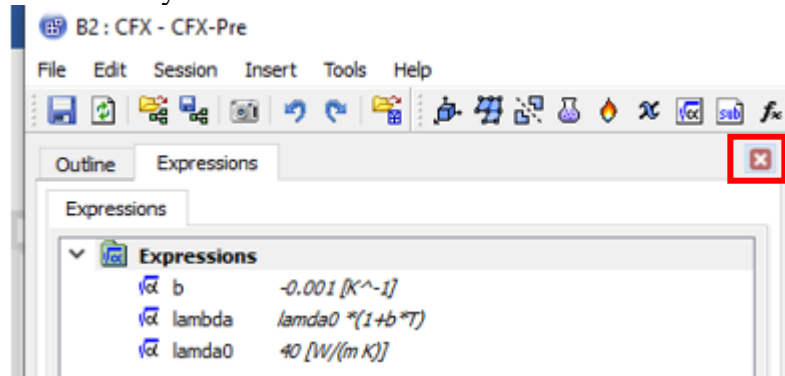
Utwórz kolejne wyrażenie o nazwie *b*



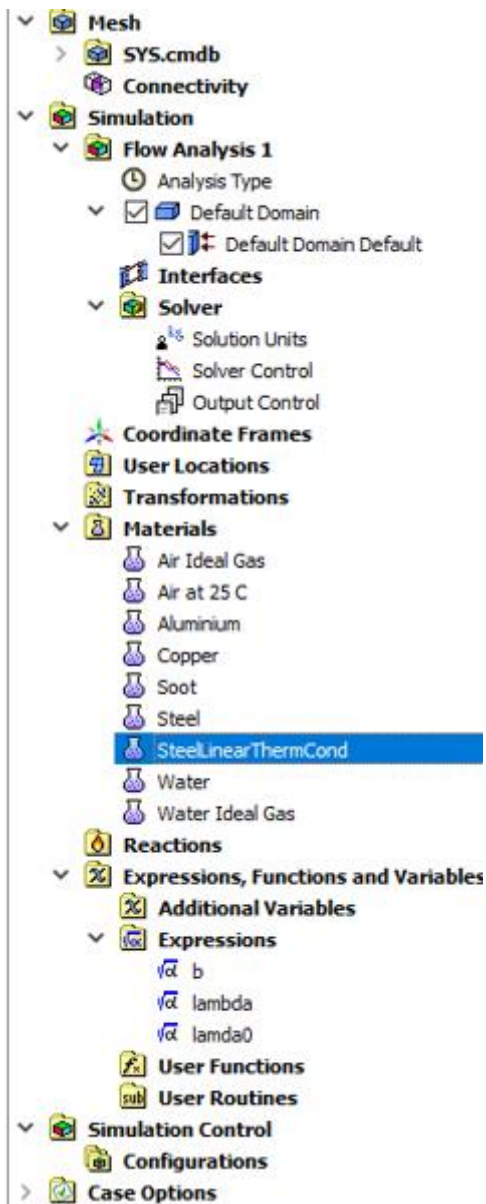
Utwórz wyrażenie o nazwie *lambda* obliczające współczynnik przewodzenia ciepła w zależności od temperatury *T*




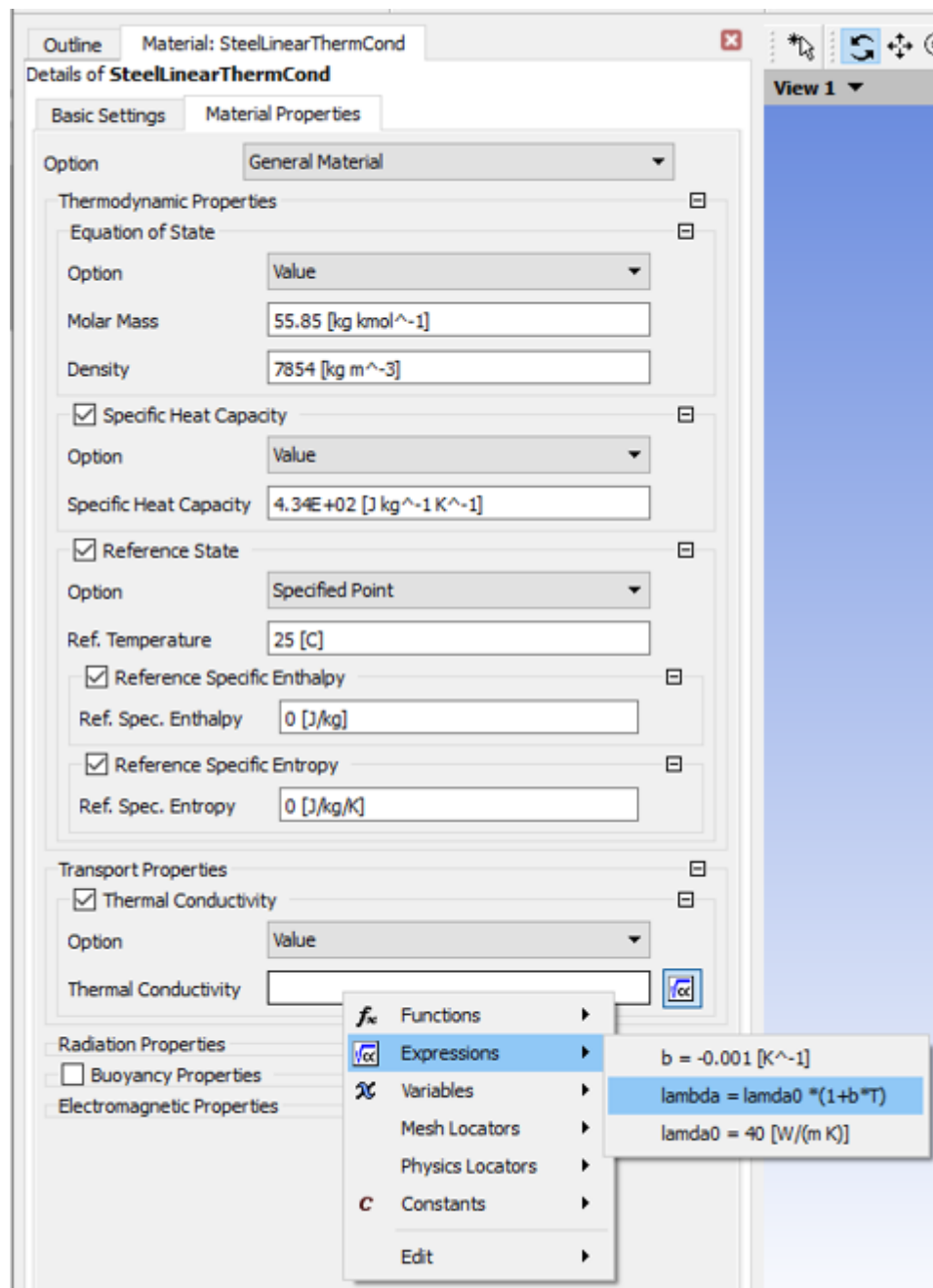
Zamknij tworzenie wyrażeń



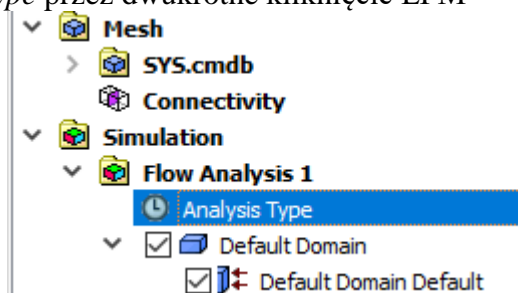
Kliknij dwukrotnie LPM na *SteelLinearThermCond* w celu edycji materiału



W zakładce *Material Properties* rozwiń *Transport Properties* i w polu *Thermal Conductivity* kliknij ikonę *Expressions*  a następnie kliknij PPM w polu *Thermal Conductivity* i wybierz *Expressions->lambda*. Zatwierdź OK.



Otwórz *Analysis Type* przez dwukrotne kliknięcie LPM



Zastosuj następujące ustawienia zgodnie z tab. 1. i zatwierdź OK.

Outline Analysis Type ✕

Details of **Analysis Type** in **Flow Analysis 1**

Basic Settings

Option **Transient**

Time Duration ⊞

Option Total Time

Total Time **2 [s]**

Time Steps ⊞

Option Timesteps

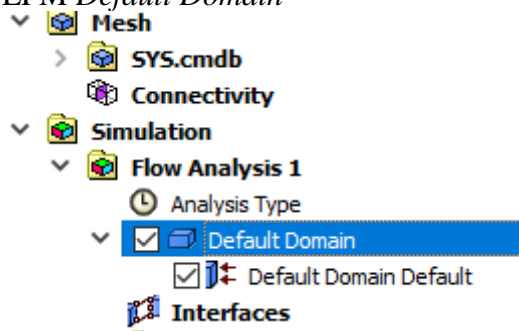
Timesteps **0.05 [s]**

Initial Time ⊞

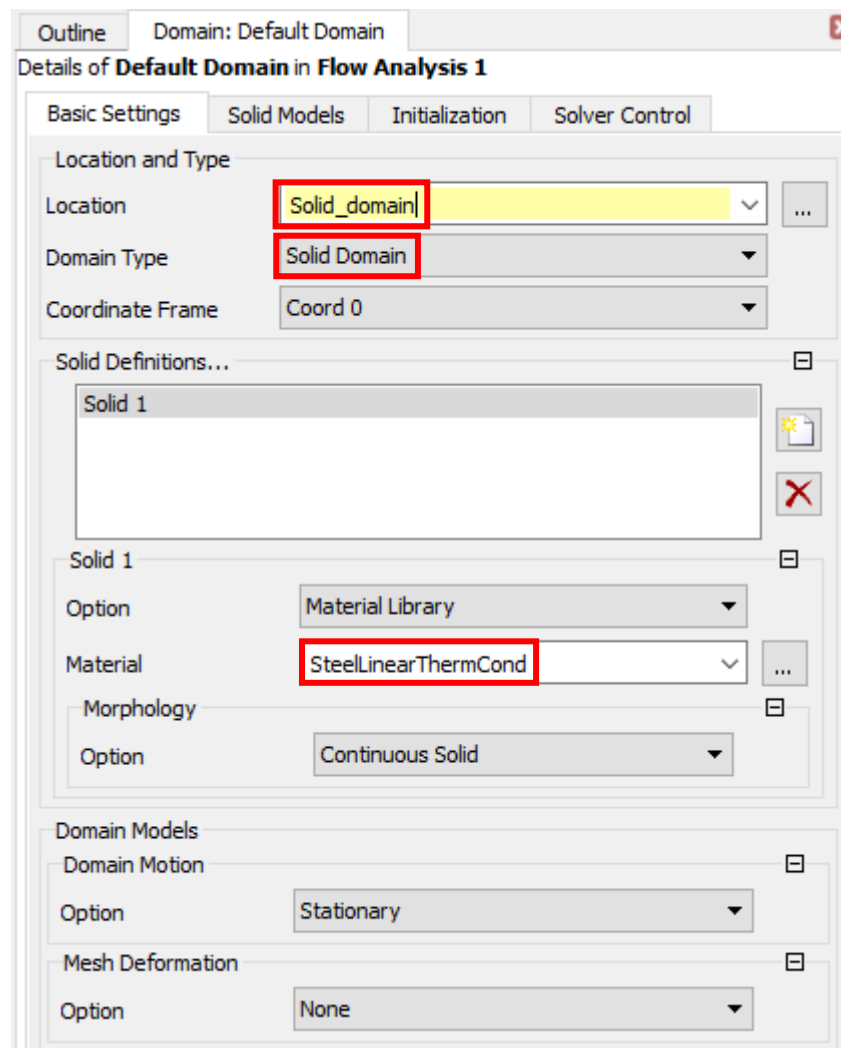
Option Automatic with Value

Time 0 [s]

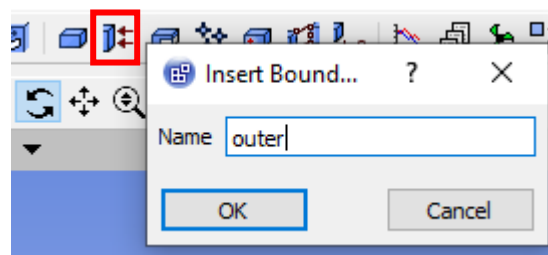
Kliknij dwukrotnie LPM *Default Domain*



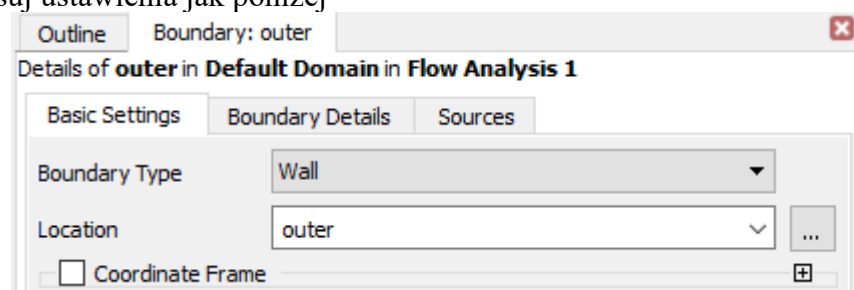
Zastosuj następujące ustawienia i zatwierdź *OK*.

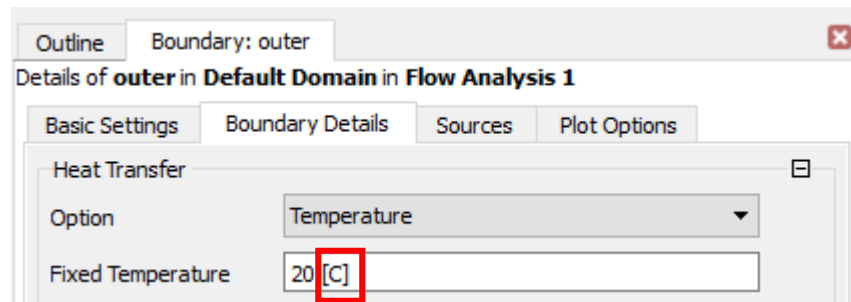


Utwórz warunek brzegowy o nazwie *outer*

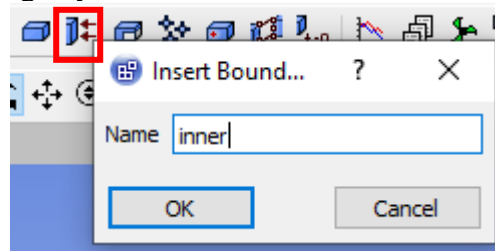


Zastosuj ustawienia jak poniżej

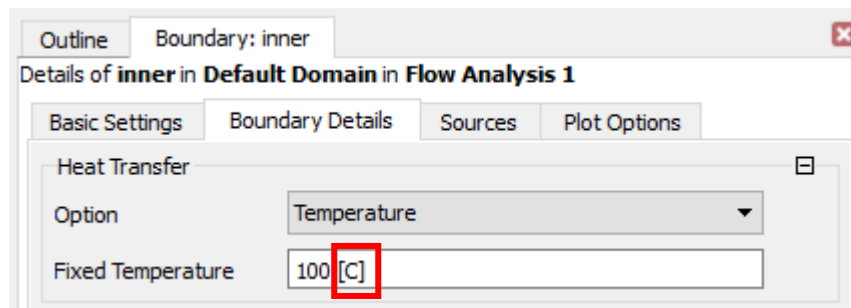
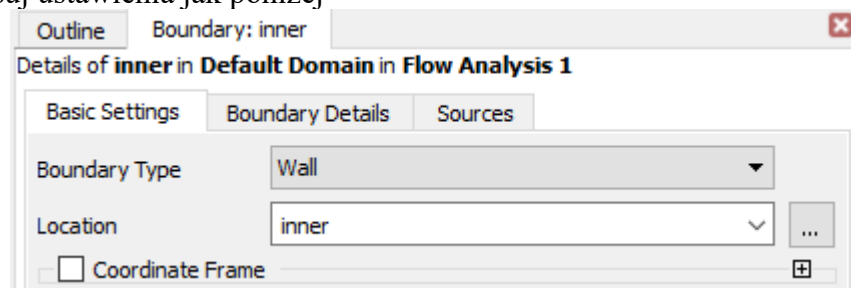




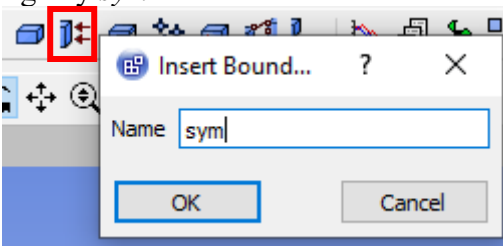
Utwórz warunek brzegowy o nazwie *inner*



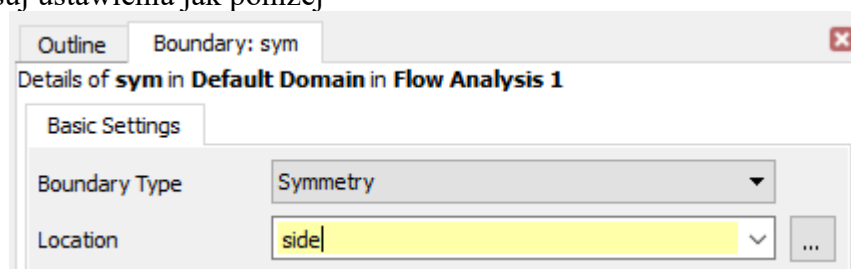
Zastosuj ustawienia jak poniżej



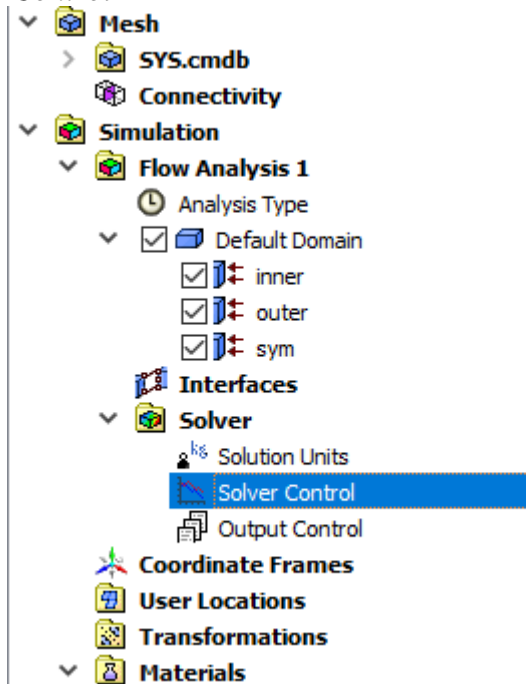
Utwórz warunek brzegowy *sym*



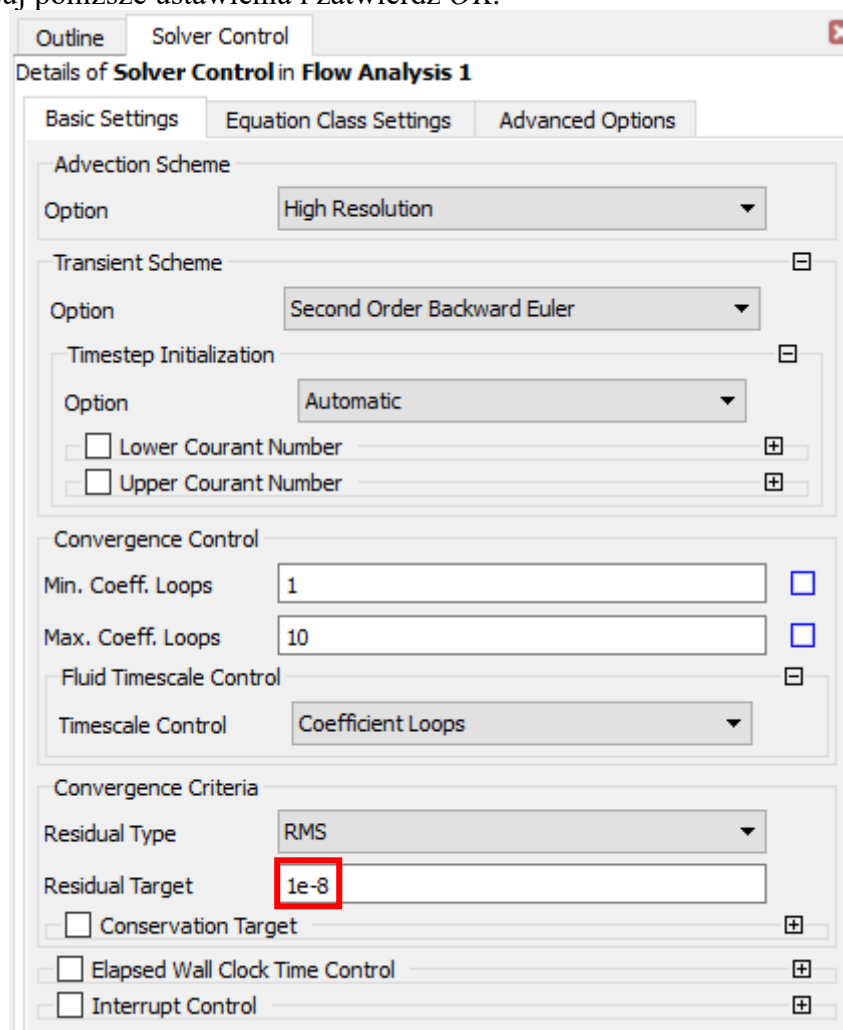
Zastosuj ustawienia jak poniżej



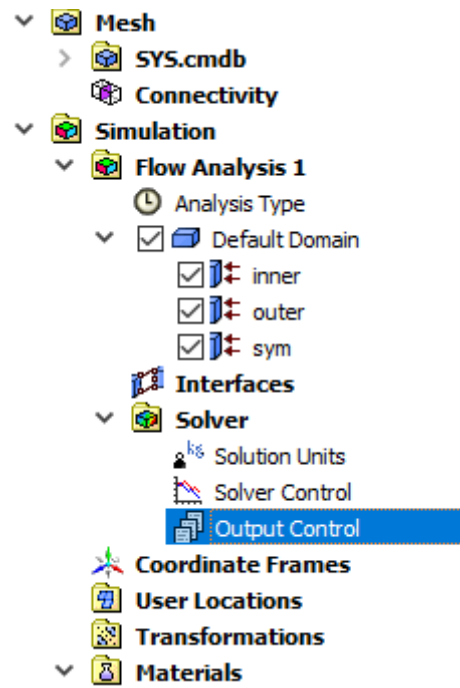
Otwórz pole *Solver Control*



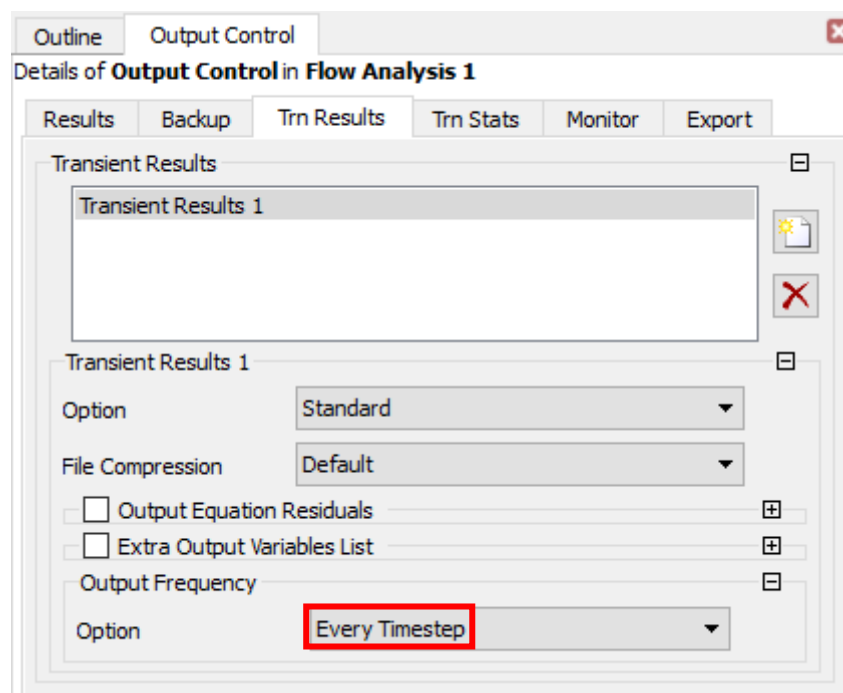
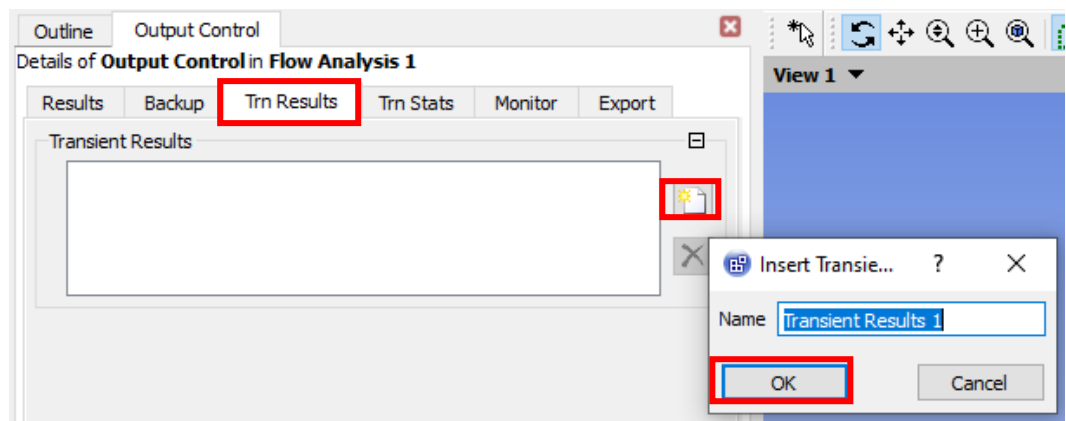
Zastosuj poniższe ustawienia i zatwierdź OK.



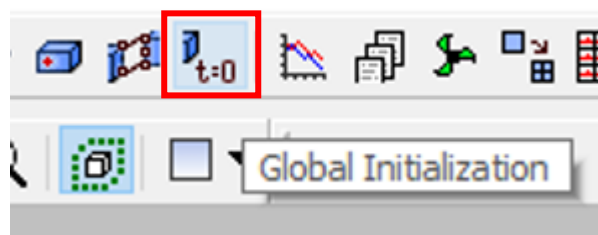
Otwórz *Output Control*



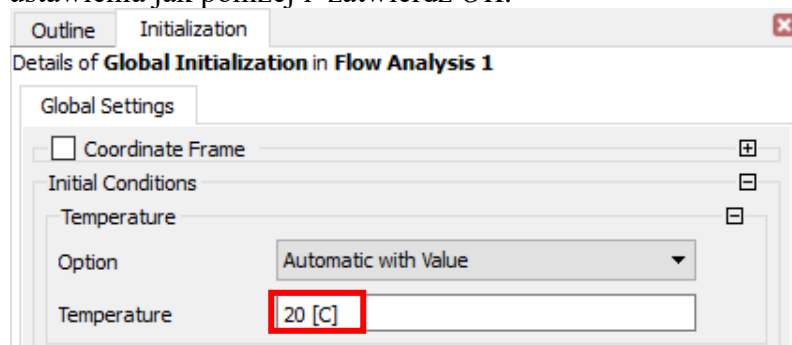
Zastosuj poniższe ustawienia i zatwierdź *OK*.



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

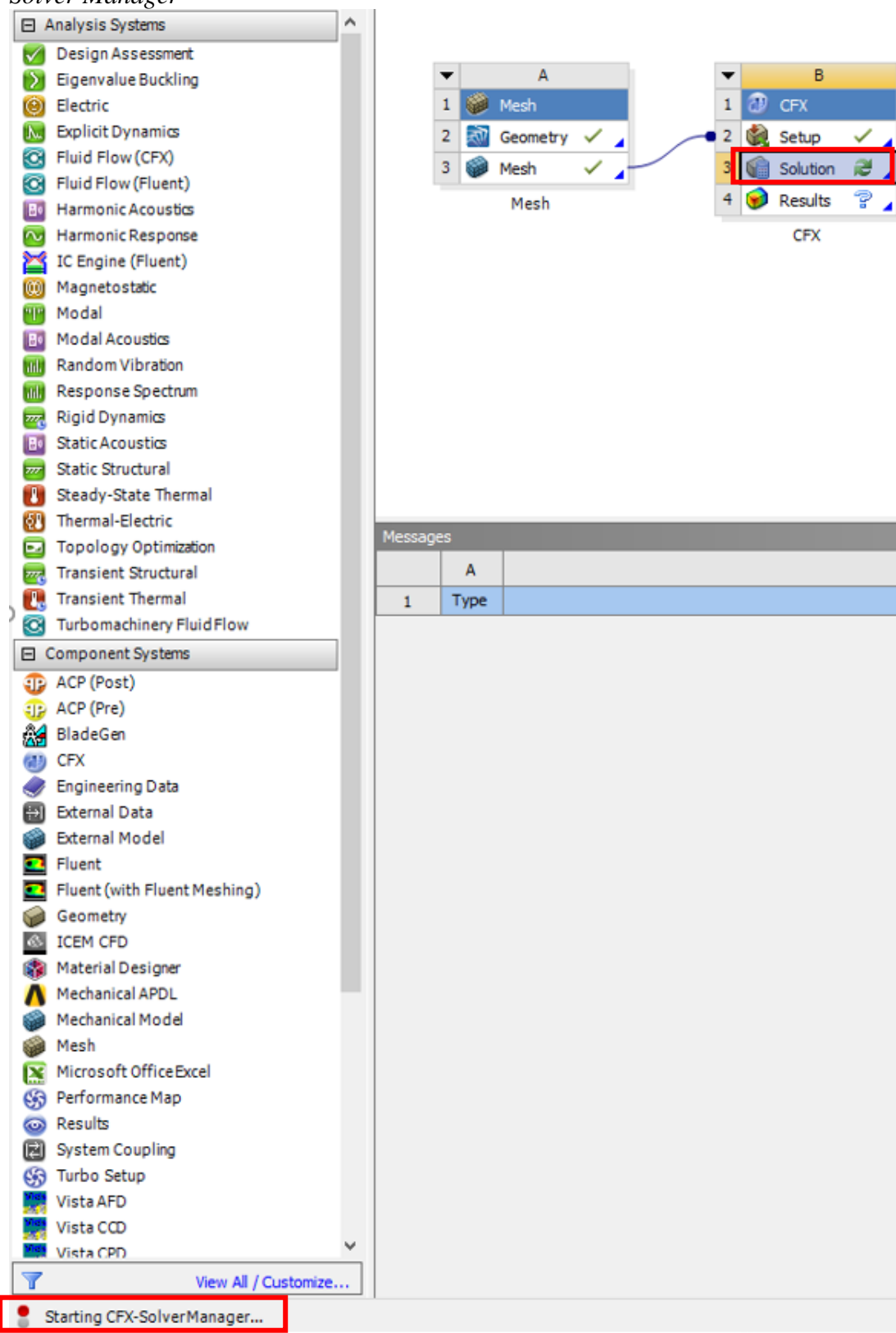


Zastosuj ustawienia jak poniżej i zatwierdź *OK*.

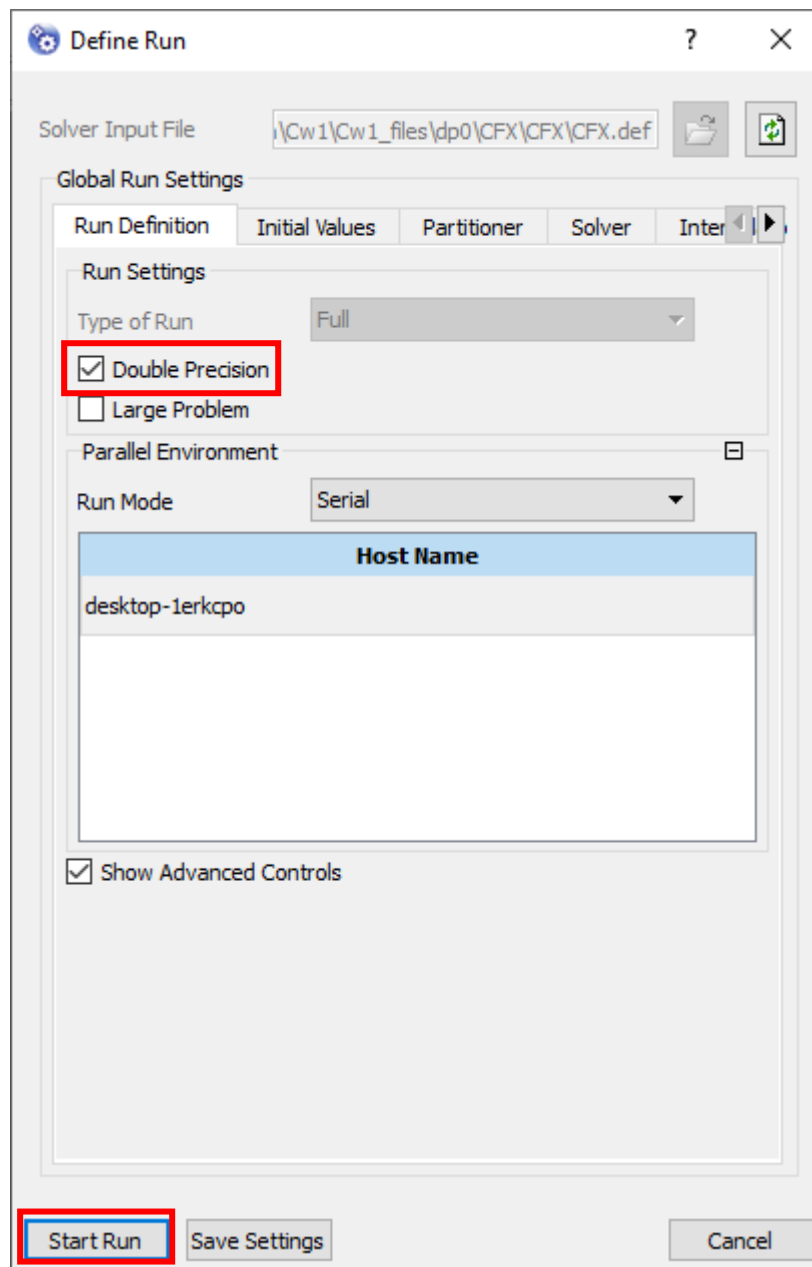


Zamknij program *Ansys CFX*.

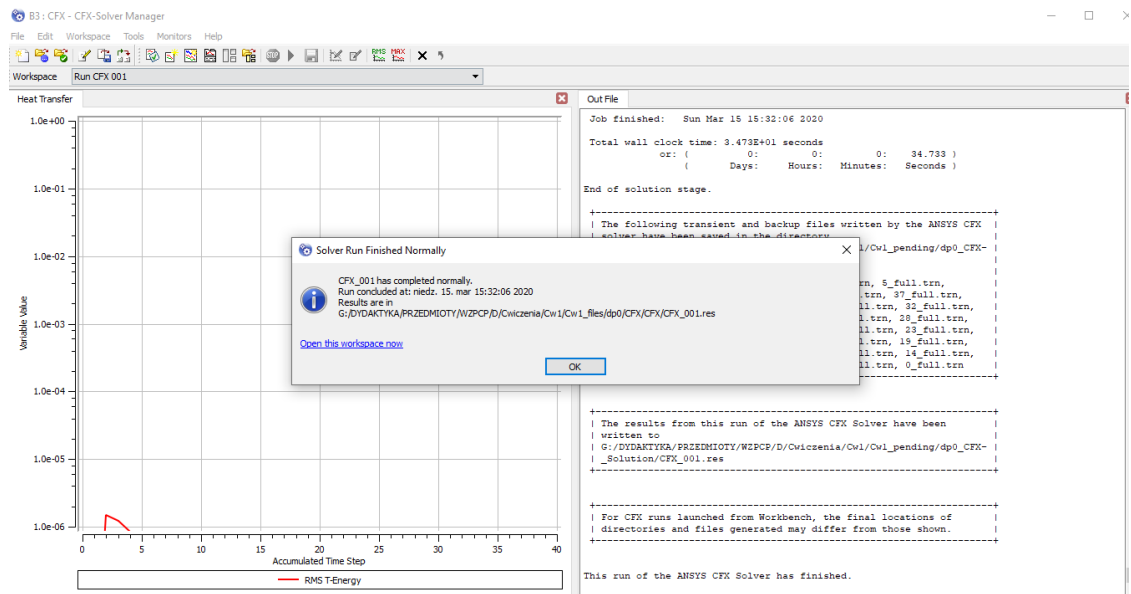
Kliknij dwukrotnie pole *Solution* w celu uruchomienia programu *Ansys CFX Solver Manager*



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



Po skończeniu obliczeń program wyświetli komunikat:



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

- 7) W raporcie należy przedstawić kontury rozkładów temperatury w przegrodzie cylindrycznej dla czasów: 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0 s. Ponadto należy porównać na jednym wykresie rozwiązanie numeryczne rozkładu temperatury w ścianie dla czasu 2 s z rozwiązaniem analitycznym (2)

$$T(r) = \frac{1}{b} \left[ \sqrt{\left( \frac{\lambda_1}{\lambda_0} \right)^2 - \frac{\dot{q}_L b}{\pi \lambda_0} \ln \frac{r}{r_1}} - 1 \right] \quad (2)$$

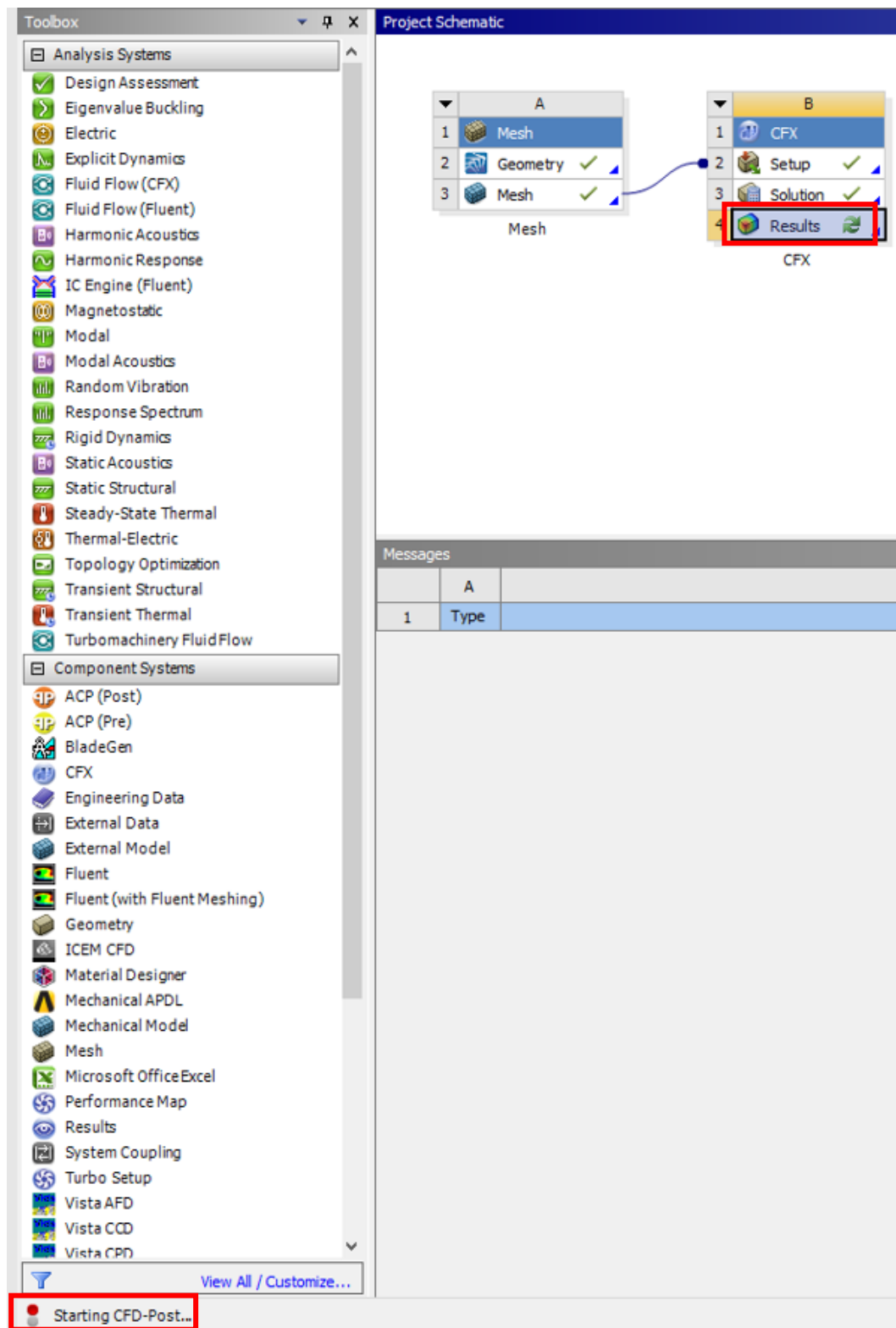
gdzie  $\lambda_1 = \lambda(T_1)$ ,  $r$  to dowolny promień rury,  $r_1$  promień wewnętrzny rury,  $\dot{q}_L$  liniowa gęstość strumienia ciepła dana wzorem (3)

$$\dot{q}_L = \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (3)$$

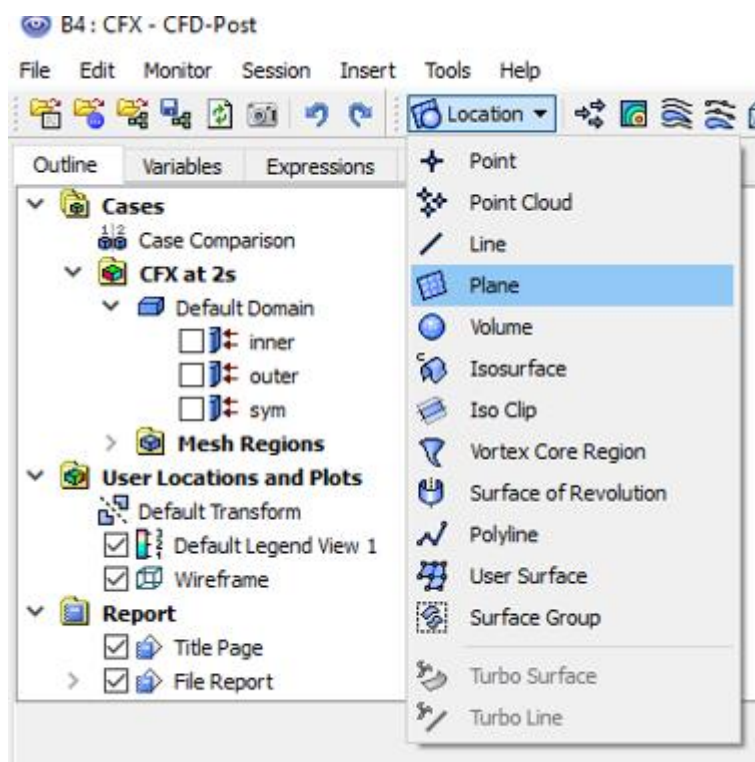
gdzie  $\lambda_m$  to średnia wartość współczynnika przewodzenia ciepła materiału rury.

$$\lambda_m = \frac{1}{2} [\lambda(T_1) + \lambda(T_2)] = \frac{1}{2} (\lambda_1 + \lambda_2) \quad (4)$$

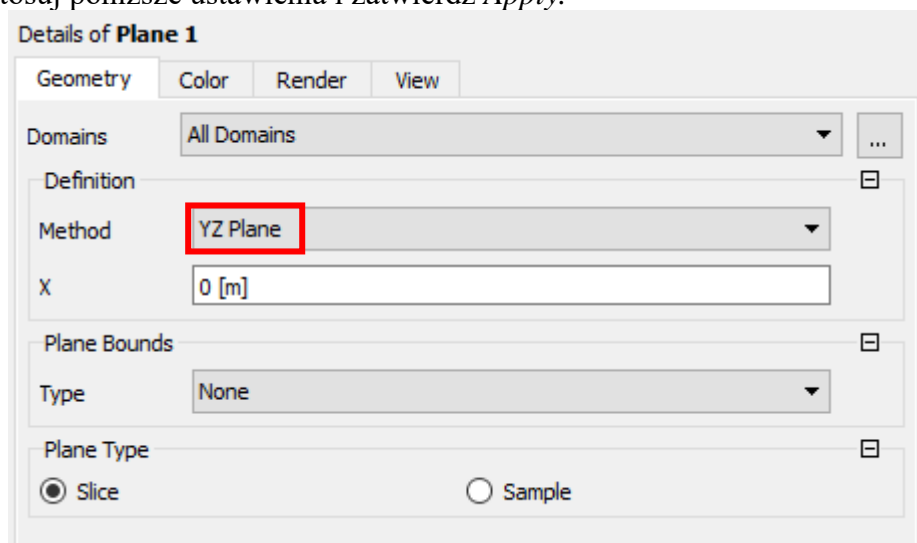
Kliknij dwukrotnie *LPM Results* w celu uruchomienia programu *Ansys CFD Post* i obejrzenia wyników



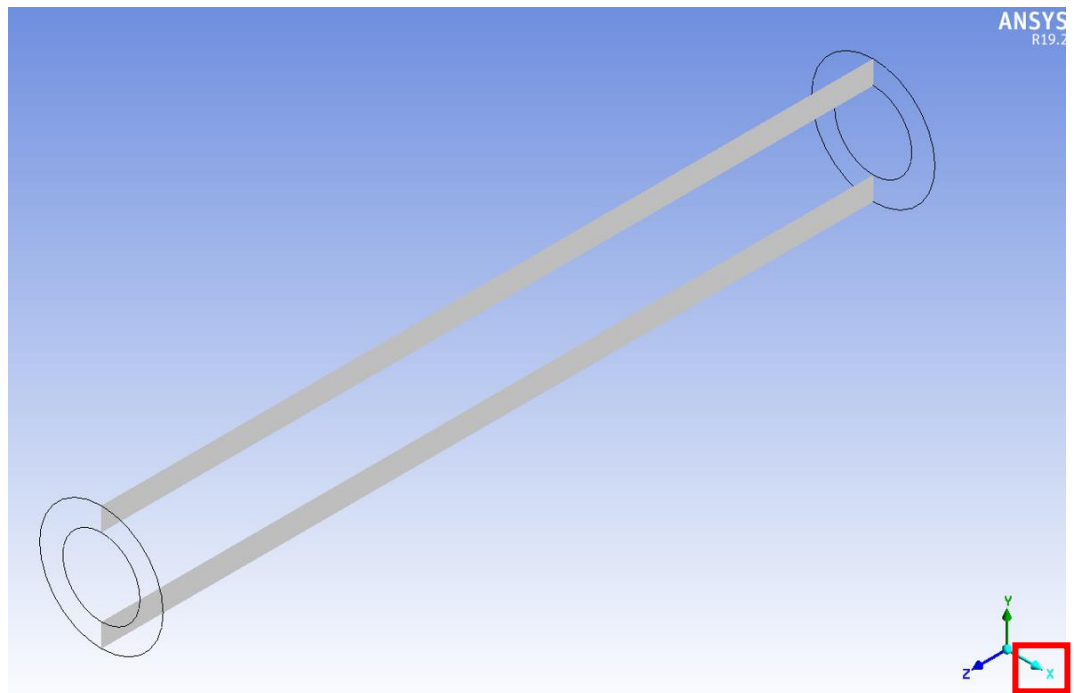
Z menu *Location* wybierz *Plane*



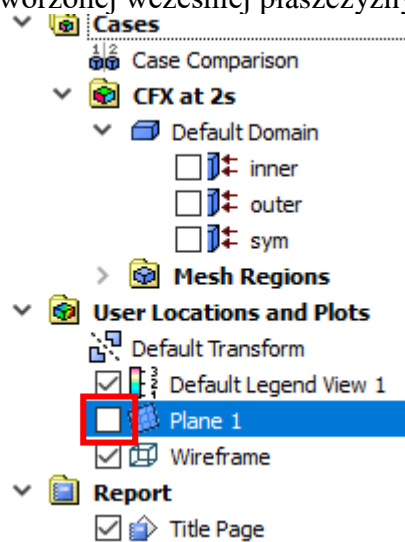
Zastosuj poniższe ustawienia i zatwierdź *Apply*.



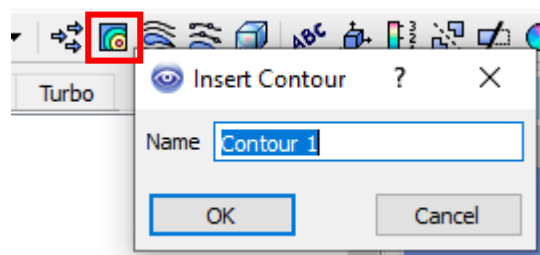
LPM naciśnij oś X



Odznacz widoczność utworzonej wcześniej płaszczyzny.



Wybierz tworzenie konturów i zatwierdź OK.



Zastosuj poniższe ustawienia i zatwierdź Apply.

Details of **Contour 1**

Geometry Labels Render View

Domains All Domains ...

Locations **Plane 1** ...

Variable Temperature ...

Range Global

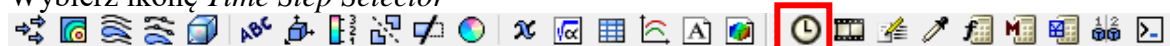
Min 293.145 [K]

Max 373.91 [K]

# of Contours 11

Advanced Properties

Wybierz ikonę *Time Step Selector*



i zmieniając czas symulacji obserwuj zmiany temperatury w czasie

**Cases**

- Case Comparison
- CFX at 0.15s**
  - Default Domain
    - inner
    - outer
    - sym
  - Mesh Regions

**Timestep Selector**

CFX

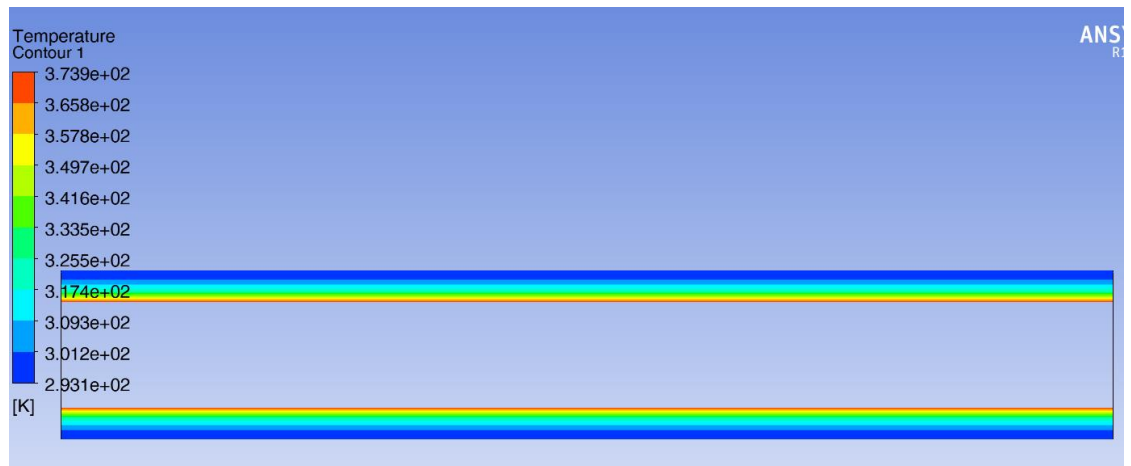
Loaded Timestep: 3

#	Step	Solver Step	Time [ s ]	Type
1	0	0	0	Full
2	1	1	0.05	Full
3	2	2	0.1	Full
4	3	3	0.15	Full
5	4	4	0.2	Full
6	5	5	0.25	Full
7	6	6	0.3	Full
8	7	7	0.35	Full
9	8	8	0.4	Full
10	9	9	0.45	Full
11	10	10	0.5	Full
12	11	11	0.55	Full
13	12	12	0.6	Full
14	13	13	0.65	Full

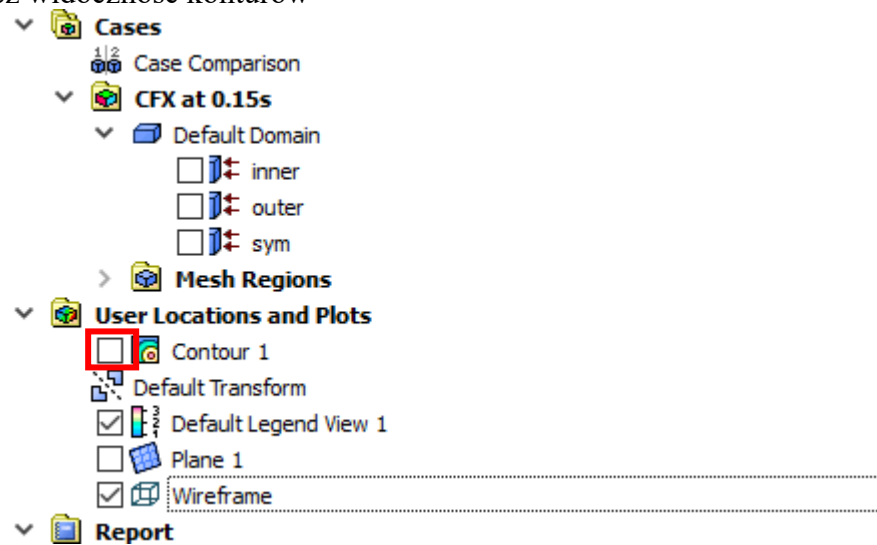
Apply Reset Close

# of Contours 11

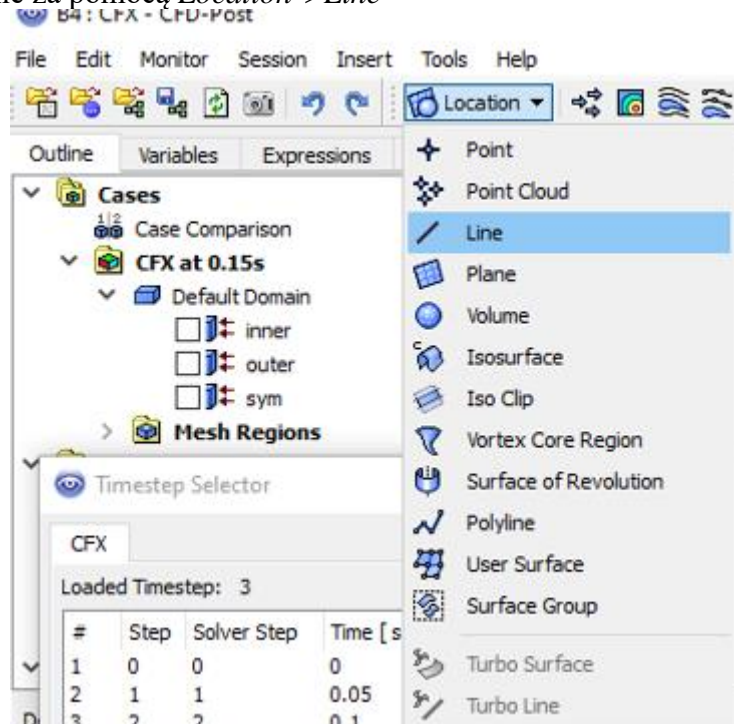
Advanced Properties



- 1) Po zapisaniu zdjęć konturów dla czasów 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0 s. wyłącz widoczność konturów



Utwórz linie za pomocą *Location->Line*



Zastosuj następujące ustawienia i zatwierdź *Apply*.

Details of **Line 1**

Geometry Color Render View

Domains All Domains ...

Definition

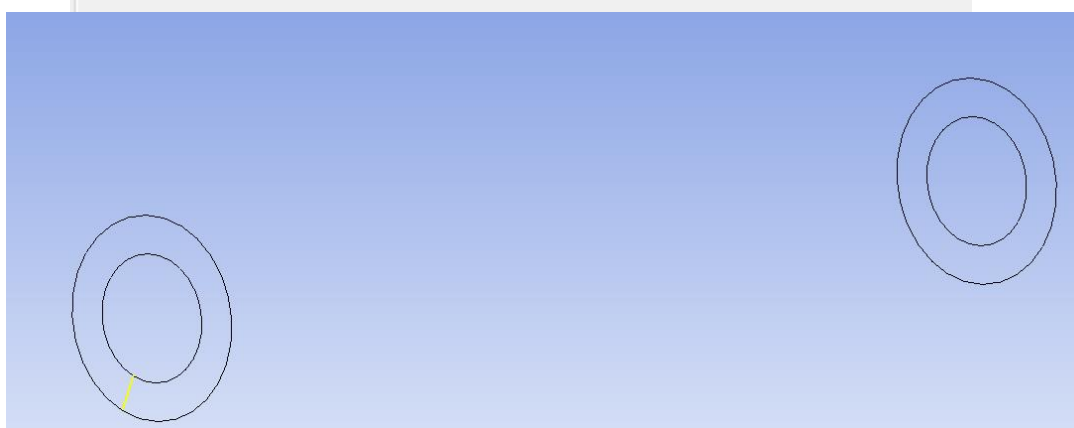
Method Two Points

Point 1	0	0.02	0
Point 2	0	0.017	0

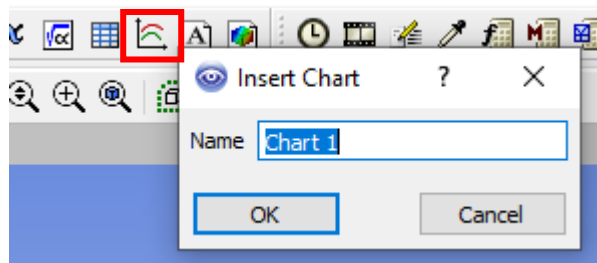
Line Type

☐ Cut ☒ Sample

Samples 25



Wybierz ikonę tworzenia wykresu i zatwierdź *OK*.



Zastosuj ustawienia jak na poniższych rysunkach

Details of **Chart 1**

General **Data Series** X Axis Y Axis Line Display Chart Display

Specify data series for locations, files or expressions

Series 1 (Line 1)

Name

Data Source

☒ Location  ...

☐ File  ...

☐ Monitor Data

☐ Custom Data Selection

Details of **Chart 1**

General Data Series **X Axis** Y Axis Line Display Chart Display

Data Selection

Variable  ...

Boundary Data ☐ Hybrid ☒ Conservative

☐ Take absolute value of data points

Axis Range

☒ Determine ranges automatically

Min  Max

☐ Logarithmic scale ☐ Invert axis

Axis Number Formatting

☒ Determine the number format automatically

Precision

Axis Labels

☒ Use data for axis labels

Custom Label

Details of **Chart 1**

General Data Series X Axis **Y Axis** Line Display Chart Display

Data Selection

Variable **Temperature** ...

Boundary Data ☒ Hybrid ☐ Conservative

☐ Take absolute value of data points

Axis Range

☒ Determine ranges automatically

Min -1.0 Max 1.0

☐ Logarithmic scale ☐ Invert axis

Axis Number Formatting

☒ Determine the number format automatically

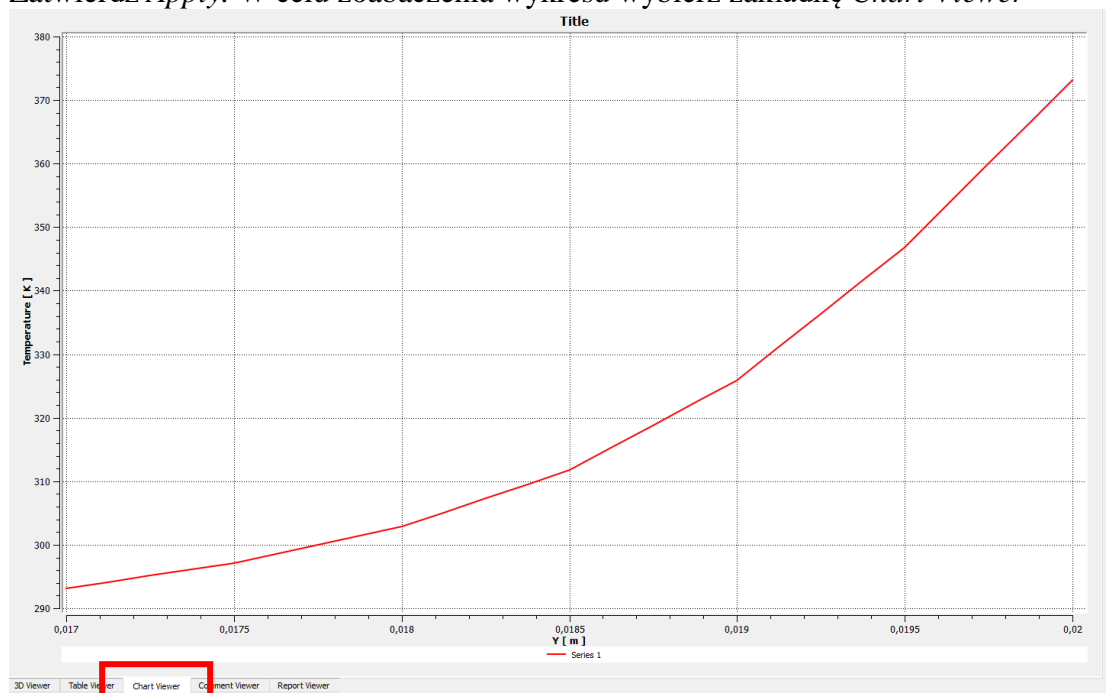
Precision 3 Scientific

Axis Labels

☒ Use data for axis labels

Custom Label Y Axis <units>

Zatwierdź *Apply*. W celu zobaczenia wykresu wybierz zakładkę *Chart Viewer*



W celu porównania wyników numerycznych z analitycznymi wyeksportuj wyniki numeryczne do pliku csv.

Details of **Chart 1**

General Data Series X Axis **Y Axis** Line Display Chart Display

Data Selection


Variable  ...

Boundary Data ☒ Hybrid ☐ Conservative

☐ Take absolute value of data points

Axis Range

☒ Determine ranges automatically

Min  Max  

☐ Logarithmic scale ☐ Invert axis

Axis Number Formatting

☒ Determine the number format automatically

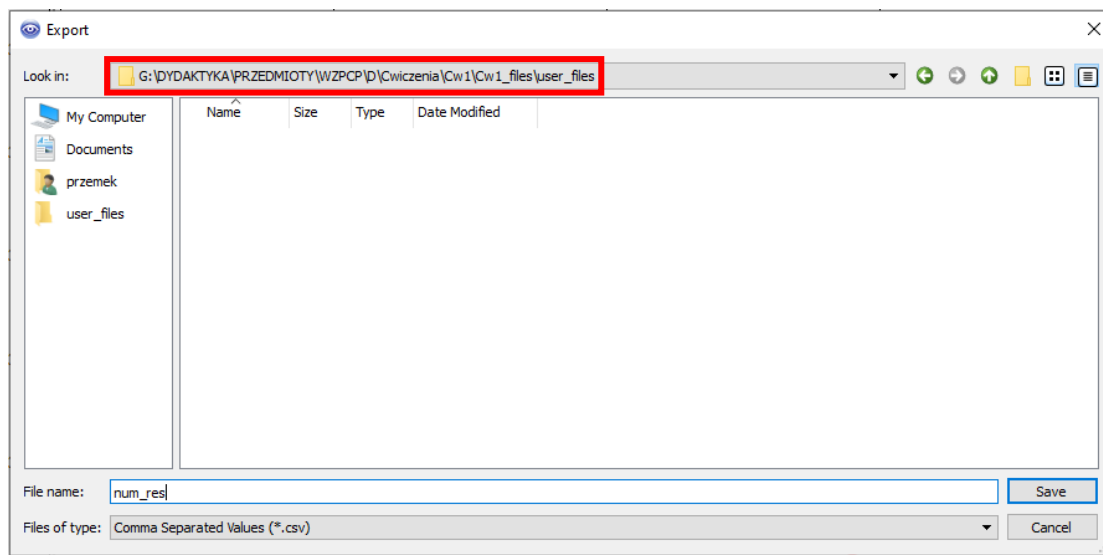
Precision

Axis Labels

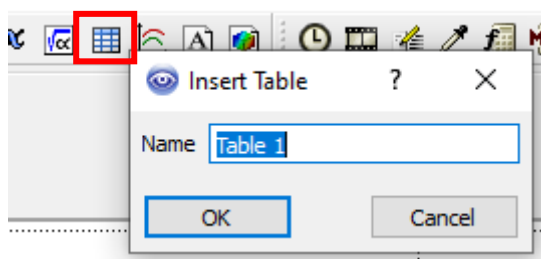
☒ Use data for axis labels

Custom Label

Nadaj nazwę *num\_res* i zapisz. Lokalizacja pliku jest pokazana w górnej części okna dialogowego i jest inna na każdym komputerze.



- 8) Obliczyć strumień ciepła przepływający przez rurę  
Utwórz tabelę



Upewnij się, że załadowane są wyniki dla czasu  $t = 2$  s (ikona *Timestep Selector*). Do komórki A1 wklej wyrażenie obliczające strumień ciepła na powierzchni zewnętrznej rury

`=areaInt(Wall Heat Flux)@outer`

i naciśnij *Enter*. Do komórki B1 wklej wyrażenie obliczające strumień ciepła na powierzchni wewnętrznej rury

`=areaInt(Wall Heat Flux)@inner`

Table 1			
	A1		
		<code>=areaInt(Wall Heat Flux)@outer</code>	
	A	B	C
1	-2.851e+03 [W]	2.851e+03 [W]	
2			

### Wyniki jakie należy umieścić w raporcie:

- I. kontury rozkładów temperatury w przegrodzie cylindrycznej dla czasów: 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0 s.
- II. porównać na jednym wykresie rozwiązanie numeryczne rozkładu temperatury w ścianie dla czasu  $t = 2$  s z rozwiązaniem analitycznym (2)
- III. w tabeli przedstawić strumień ciepła obliczony numerycznie i analitycznie

**Zadania nieobowiązkowe:**

- 1) Zadanie dodatkowe: Utwórz animację pokazującą zmiany temperatury w przekroju rury (pomoc: <http://fluid.itcmp.pwr.wroc.pl/~pblasiak/CFD/UsefulInformation/animationCFX.jpg>)
- 2) Zadanie dodatkowe: Wykonaj obliczenia ze współczynnikiem  $b = 0,001 \text{ 1/K}$  i porównaj oba rozwiązania zestawiając obok siebie wyniki I)-III)