

# **Wytrzymałość materiałów**

## **Zastosowanie MES do rozwiązywania zagadnień dwuwymiarowych**

Studia I stopnia stacjonarne  
**Laboratorium**



# Cel ćwiczenia

W ramach ćwiczenia:

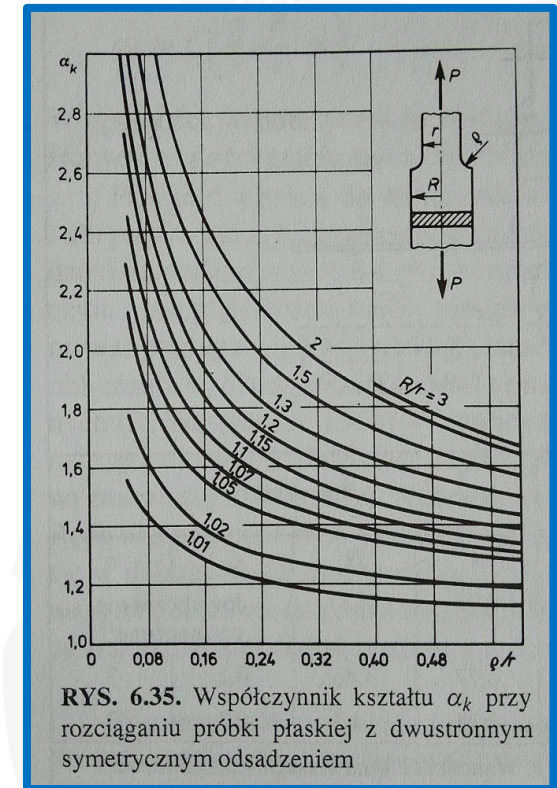
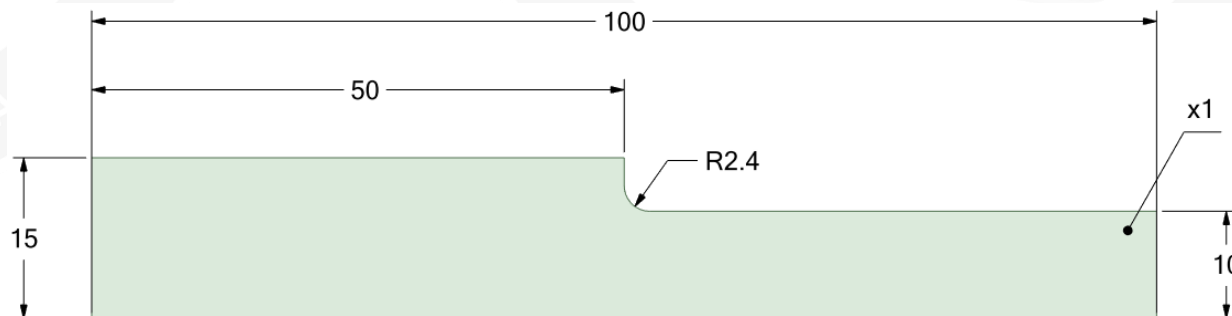
- Zapoznasz się z modelowaniem liniowosprężystego układu tarczowego z wykorzystaniem dwuwymiarowych elementów skończonych.
- Dokonasz sprawdzenia poprawności wyników przez porównanie ze znanymi rozwiązaniami wartości współczynnika kształtu.
- Do wykonania zadania wykorzystasz program **Ansys Workbench**, który możesz pobrać ze strony internetowej: <https://mesco.com.pl/strefa-akademicka/darmowy-ansys-student/>





# Parametry układu

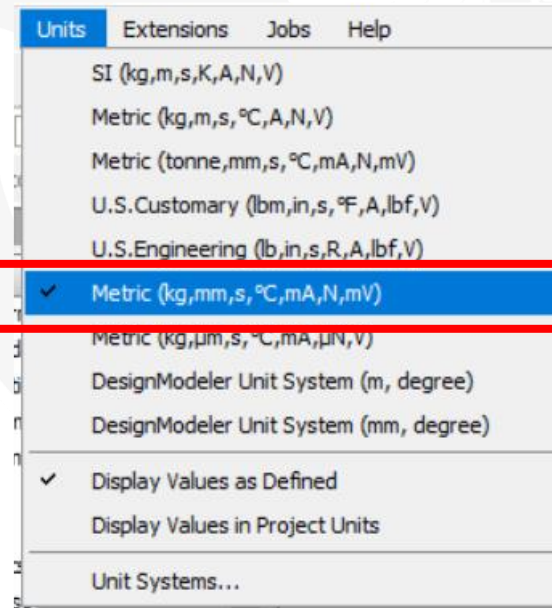
- Modelowana będzie **próbka płaska z dwustronnym symetrycznym odsadzeniem**. Wymiary na dolnym rysunku podane są w milimetrach.
- Materiał: **stal (Structural Steel)** w Ansysie)
- Siła obciążająca:  **$P=100\text{ N}$**
- Ze względu na **symetrię** układu modelowana będzie połówka leżąca po jednej stronie osi symetrii. Symetria będzie uwzględniona przez zadanie odpowiedniego podparcia układu oraz odpowiedniej wartości siły (jakiej?).



**Dietrich M. (red.): Podstawy konstrukcji maszyn, tom 1, WNT, Warszawa 1999.**

# Jednostki

1. Uruchom program **Ansys Workbench**.
2. Utwórz nowy projekt i zapisz go: **File, Save As**. Wybierz lokalizację i wpisz nazwę projektu.
3. Ustaw jednostki wielkości fizycznych.





# Geometria układu

1. Wybierz **Geometry**, przeciągnij i upuść na obszar roboczy – zielony prostokąt.
2. Kliknij prawym przyciskiem myszy (**PPM**) na pole **Geometry** i wybierz **Properties**.
3. Wybierz **Analysis Type, 2D**.

The screenshot illustrates the steps to configure the geometry analysis type in SpaceClaim. It shows the software interface with the following elements:

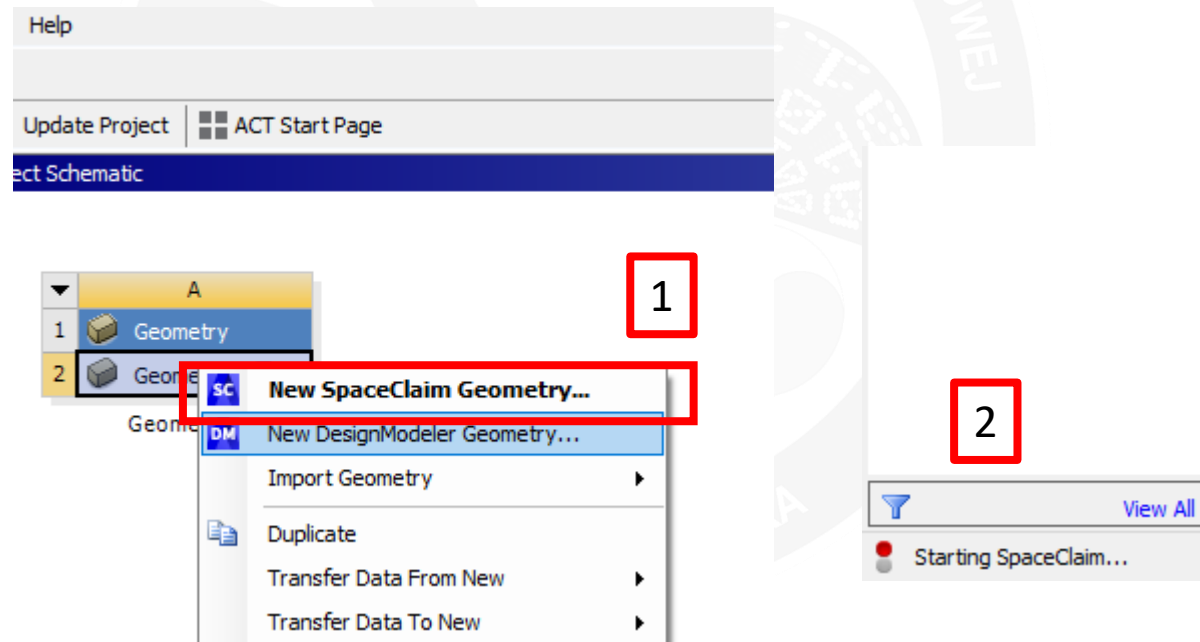
- 1**: The **Geometry** tool is selected in the **Toolbox** on the left. A red box highlights the **Geometry** icon, and a red arrow points to a green dashed rectangle on the **Project Schematic** workspace.
- 2**: A right-click context menu is open over the **Geometry** object in the **Project Schematic**. The **Properties** option at the bottom of the menu is highlighted with a red box.
- 3**: The **Advanced Geometry Options** dialog box is open. The **Analysis Type** dropdown menu is set to **2D**, which is highlighted with a red box.

Advanced Geometry Options	
Analysis Type	2D
Use Associativity	3D
Import Coordinate Systems	<input type="checkbox"/>
Import Work Points	<input type="checkbox"/>
Reader Mode Saves Updated File	<input type="checkbox"/>



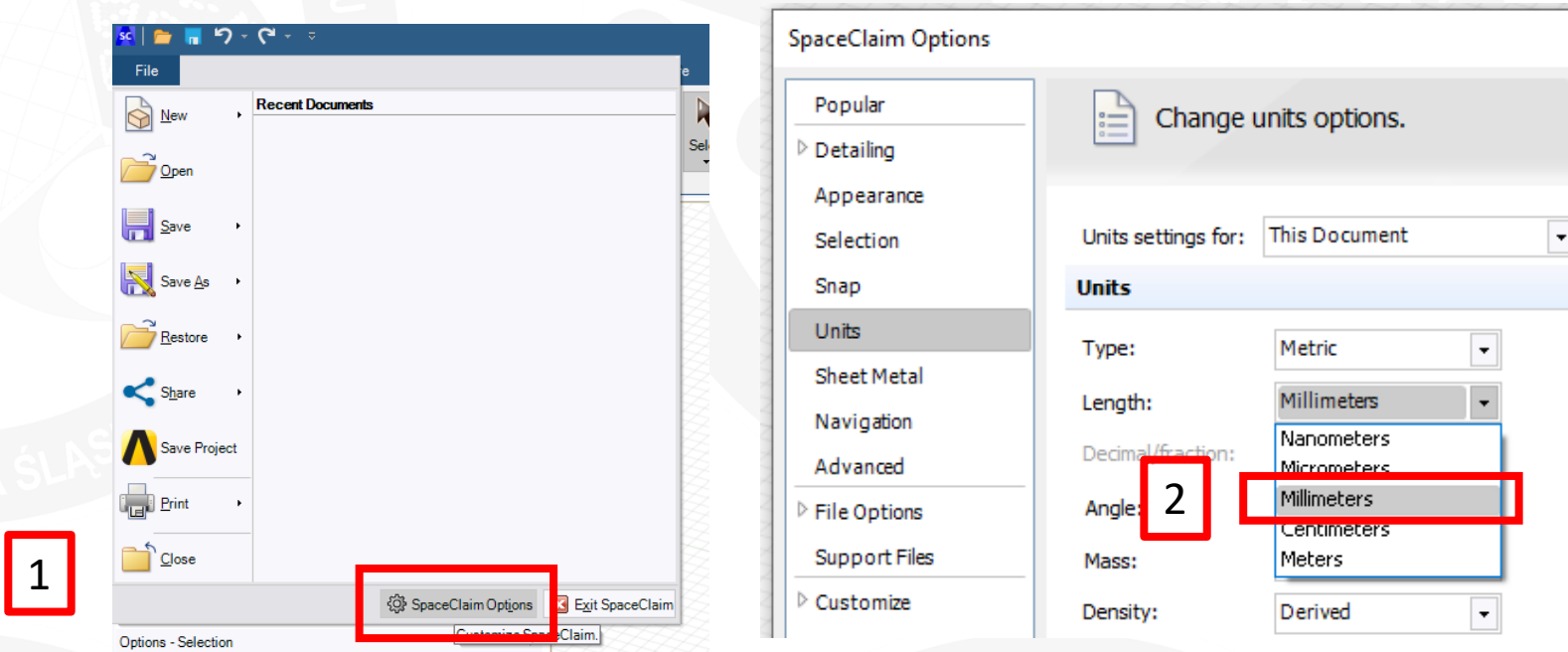
# Geometria układu

1. Kliknij prawym przyciskiem myszy (PPM) na pole **A2** i wybierz **New Space Claim Geometry**.
2. Poczekaj na uruchomienie programu **Space Claim**.



# Jednostki w Space Claim

1. W menu programu SpaceClaim wybierz **File, SpaceClaim Options**
2. Wybierz **Units** a następnie wskaż jednostkę długości stosowaną w **SpaceClaim**.



W każdym z programów wchodzącym w skład środowiska **Workbench** można stosować inny układ jednostek. Należy jednak wtedy pamiętać o przeliczeniu wartości podczas wprowadzania danych.

# Manipulowanie widokiem modelu

Zanim przejdziesz do modelowania geometrii zapoznaj się ze sposobem manipulowania widokiem modelu:

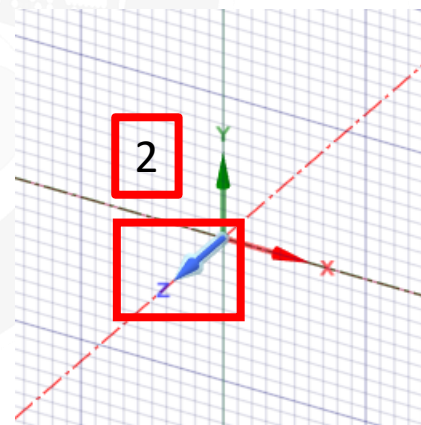
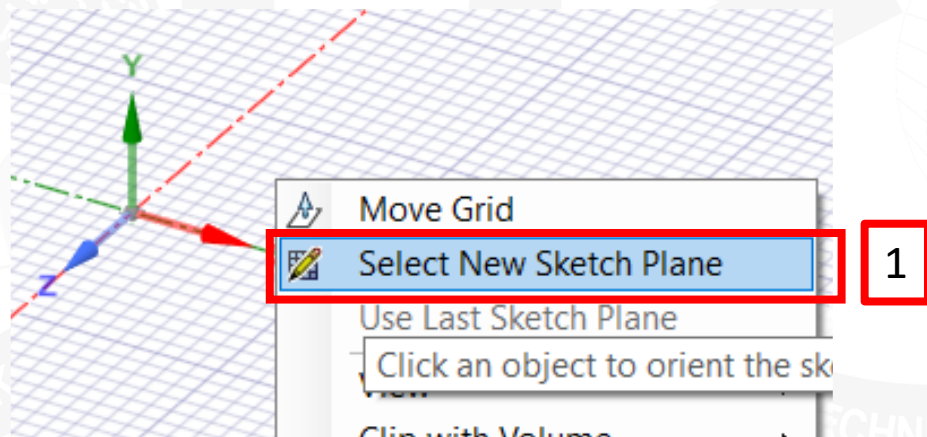
- Przesuwanie modelu: **ŚPM** (środkowy przycisk myszy) + klawisz **Ctrl** + **ruch myszy**,
- Obracanie: **ŚPM** + **ruch myszy**,
- Powiększanie lub pomniejszanie: **obrót rolki myszy**; lub **ŚPM** + klawisz **Shift** + **ruch myszy**
- Wyśrodkowanie modelu z dopasowaniem wielkości: klawisz **Z**,
- Jeśli chcesz ustawić widok zgodny z wybraną płaszczyzną układu współrzędnych możesz posłużyć się symbolami osi widocznymi w lewym dolnym rogu przestrzeni roboczej **(1)**.
- Możesz również szybko powrócić do standardowych widoków korzystając z przycisków **Orient** paska **Sketch** **(2)**.





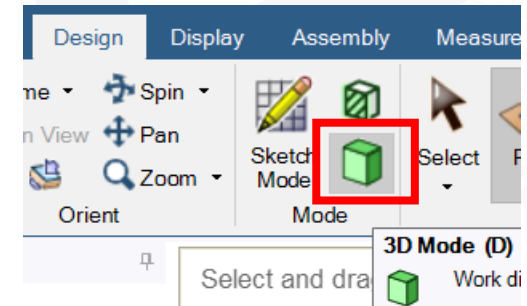
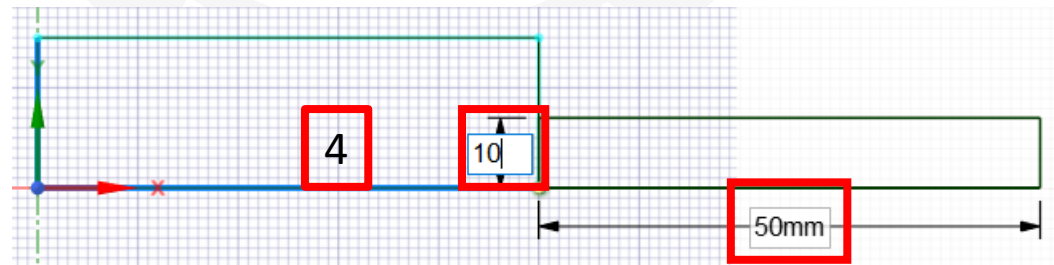
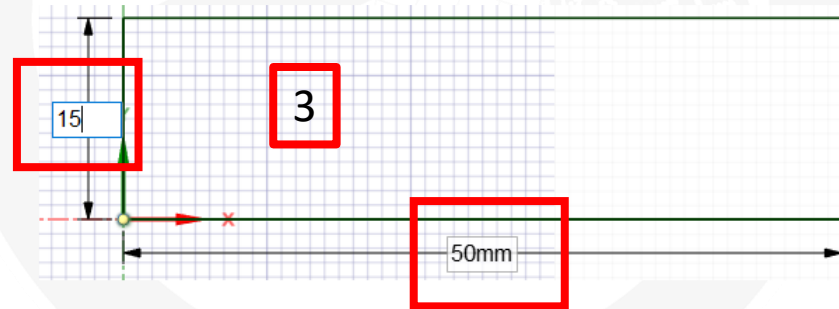
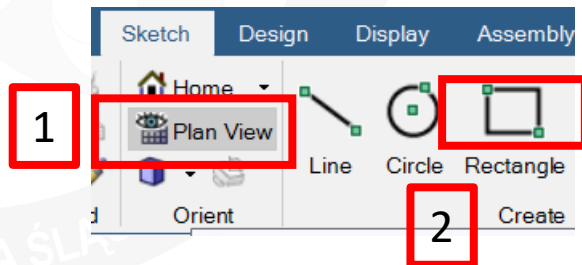
# Wybierz płaszczyznę szkicu

1. Kliknij **PPM** w obszarze roboczym oraz wybierz **Select New Sketch Plane**.
2. Wybierz **LPM** oś **Z**. W efekcie płaszczyzną, na której będzie wykonany szkic będzie **XY**. Program **Ansys** wymaga, aby układy płaskie były zamodelowane właśnie na tej płaszczyźnie.



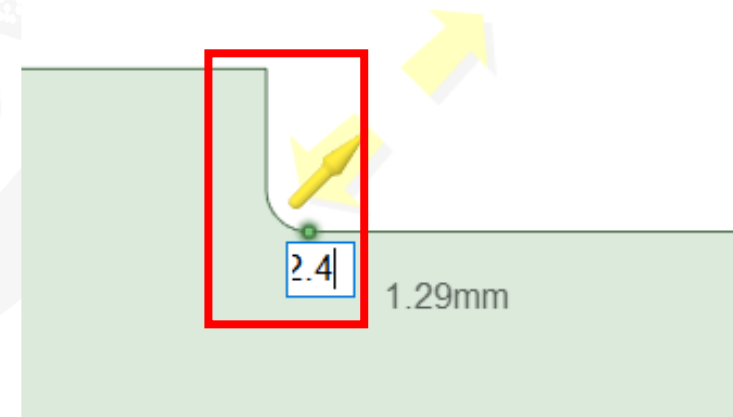
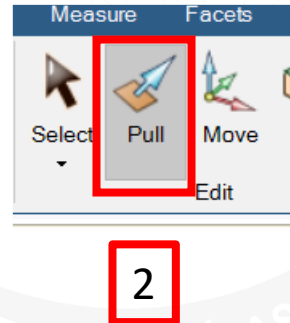
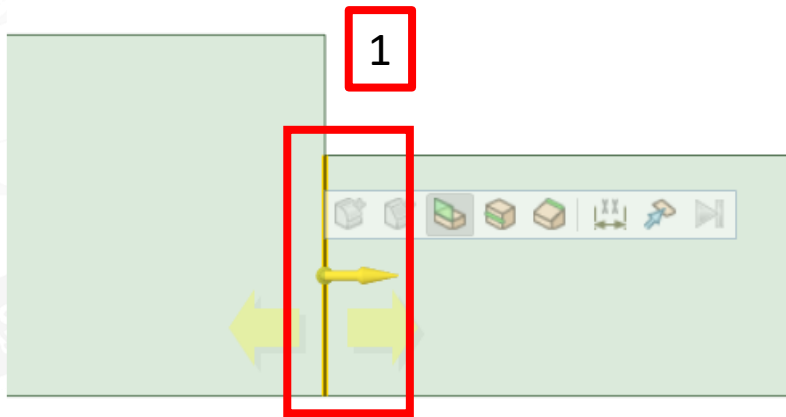
# Zdefiniuj geometrię (1)

1. Wybierz **Plan View**.
2. Wybierz narzędzie **Rectangle** i zacznij rysować prostokąt.
3. Wymiary prostokąta wpisz w odpowiednich polach. Możesz przemieszczać się pomiędzy tymi polami za pomocą klawisza **Tab**.
4. Narysuj w podobny sposób drugi z prostokątów. Operację zakończ klawiszem **Esc**.
5. Wybierz tryb **3D Mode**.



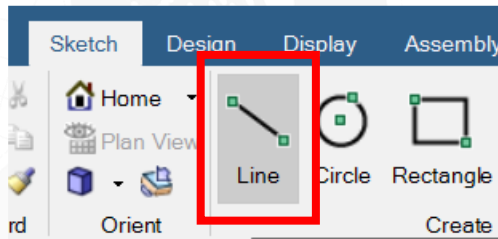
## Zdefiniuj geometrię (2)

1. Wybierz **LPM** krawędź oddzielającą dwa składowe prostokąty i usuń ją klawiszem **Delete**.
2. Wybierz narzędzie **Pull**.
3. Wybierz punkt leżący w narożu pomiędzy dwoma prostokątami i zacznij przesuwać żółtą strzałkę. Utworzysz w ten sposób zaokrąglenie. Wpisz wartość promienia: **2.4 mm**. Potwierdź klawiszem **Enter** i operację zakończ klawiszem **Esc**.

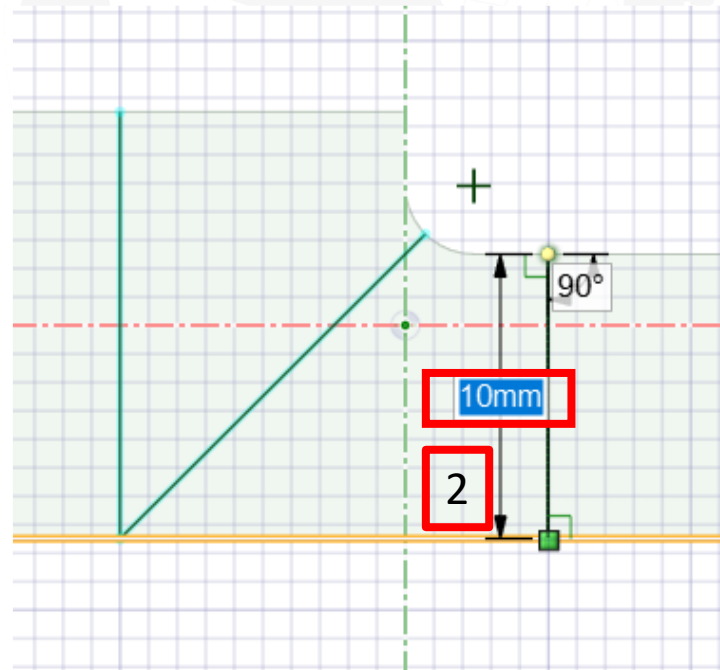


# Zdefiniuj geometrię (3)

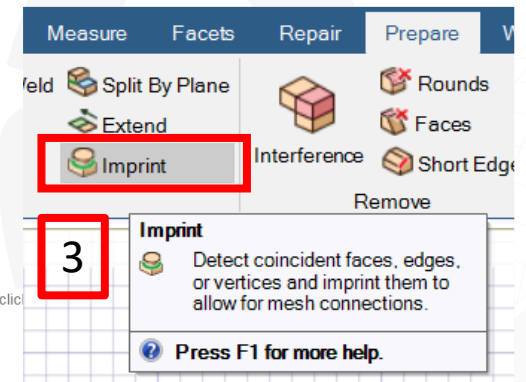
1. Wybierz **Sketch, Line**.
2. Narysuj trzy linie. Rysowanie pojedynczej linii możesz zakończyć klawiszem **Escape**.
3. Po narysowaniu linii wybierz **Prepare, Imprint**.
4. Potwierdź wybór wykrytych linii. Wykonanie operacji zapewni możliwość zdefiniowania regularnej siatki elementów czworokątnych zapewniających wysoką dokładność symulacji.
5. Wybierz **File, Save Project**.



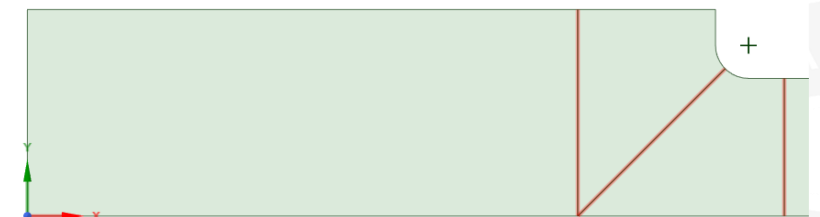
1



4



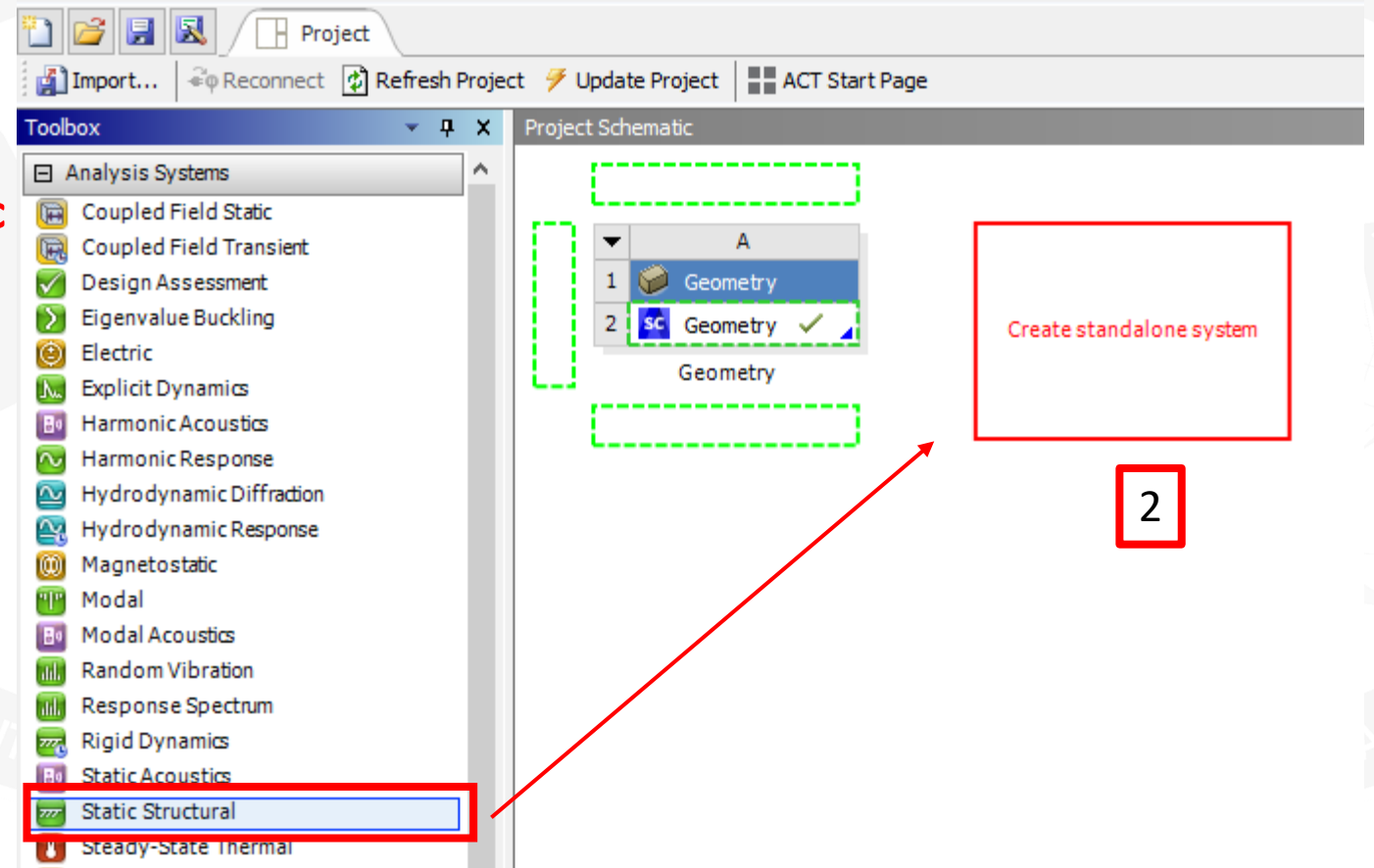
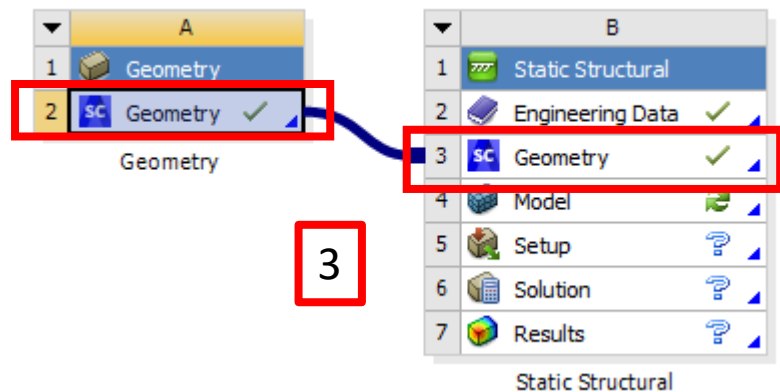
3





# Utwórz blok analizy i przypisz geometrię

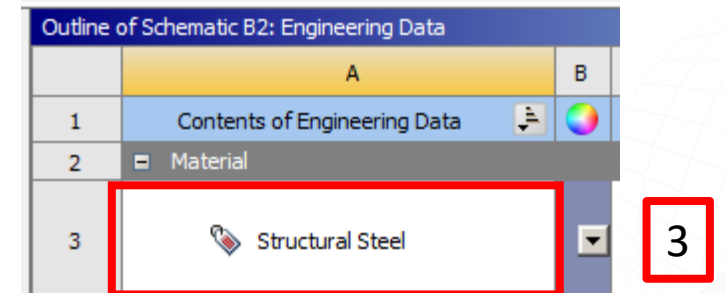
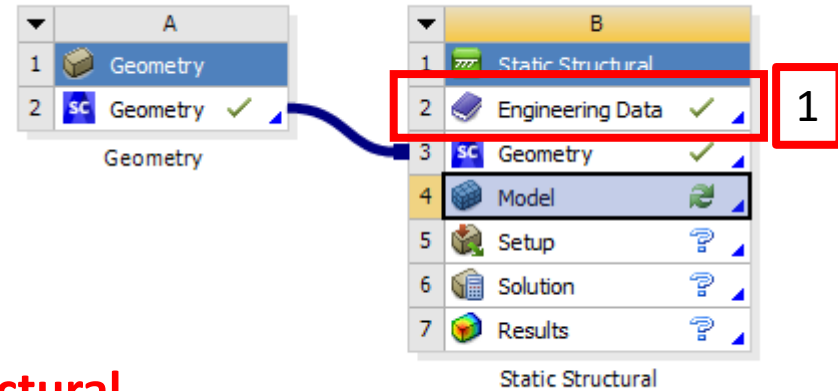
1. Wróć do okna programu **Workbench**.
2. Za pomocą **LPM** wybierz blok **Static Structural**, przeciągnij i upuść w obszarze roboczym (czerwony prostokąt).
3. Za pomocą LPM przeciągnij komórkę **A2** na **B3** i upuść.





# Zdefiniuj materiał

1. Kliknij dwukrotnie na komórce **B2**.
2. W tym ćwiczeniu wykorzystasz gotowy materiał **Structural Steel**.
3. Kliknij dwukrotnie **LPM** na nazwie materiału i przejrzyj tabelę własności. Czy rozpoznajesz któreś z nich?



Properties of Outline Row 3: Structural Steel

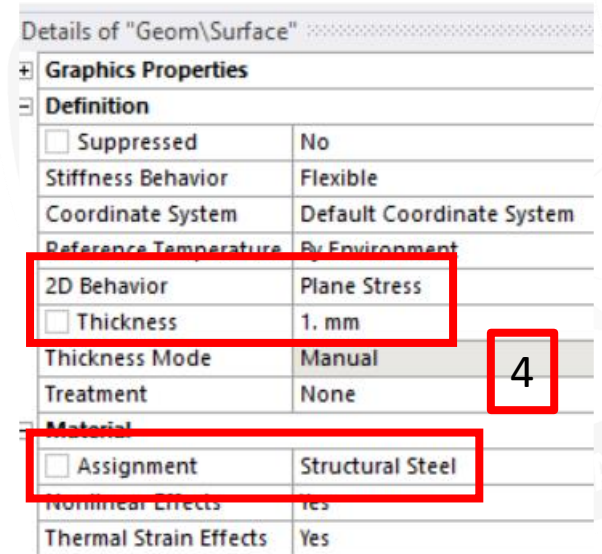
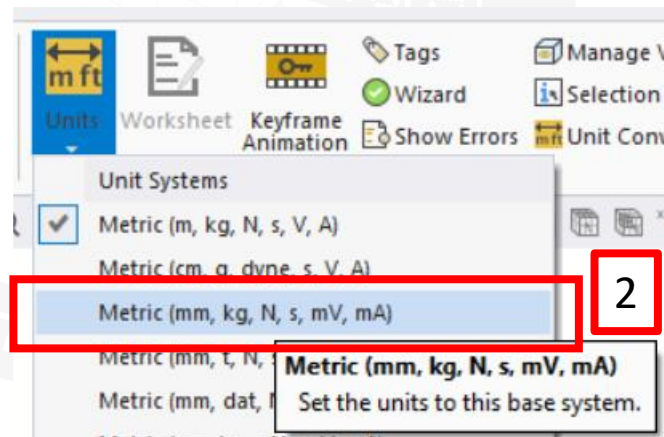
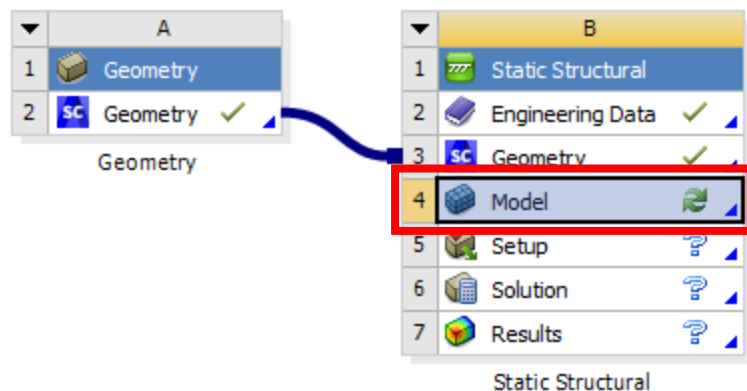
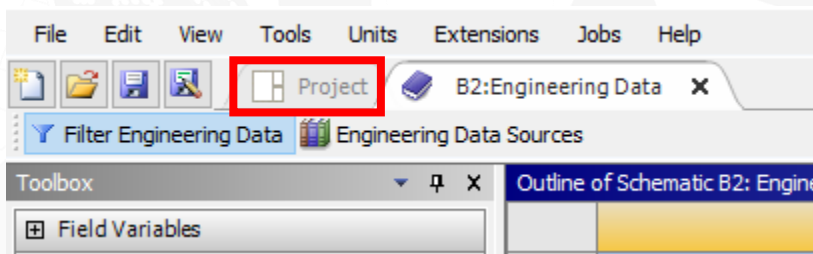
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus an...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0.3			
10	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa		





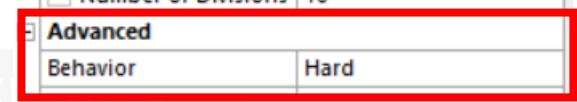
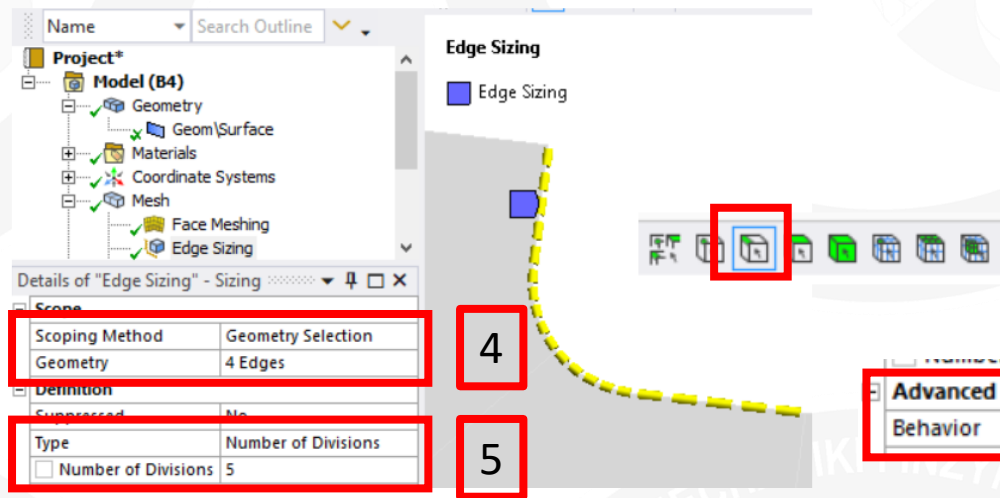
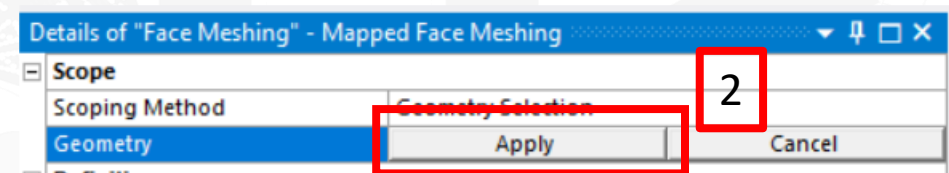
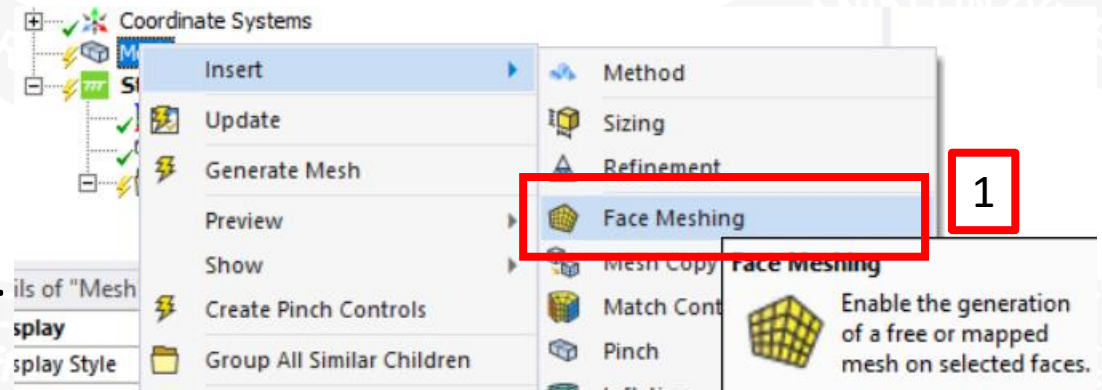
# Uruchom program Mechanical

1. Wróć do panelu **Project** i kliknij **LPM** dwukrotnie na komórce **B4**. Zaczekaj na uruchomienie programu **Mechanical**.
2. Ustaw układ jednostek.
3. Wybierz **Geom/Surface**.
4. Ustaw własności układu. **Plane stress** to płaski stan naprężenia.



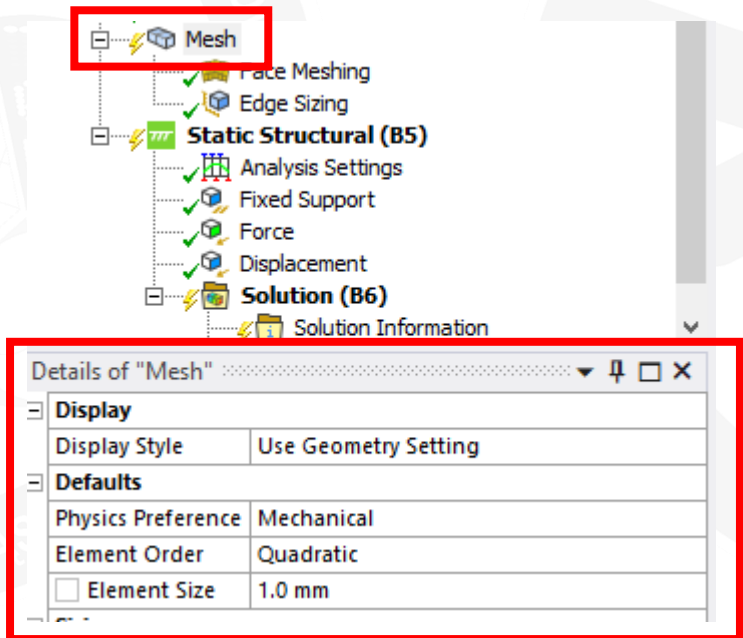
# Wprowadź ustawienia siatki (1)

1. W drzewie projektu wybierz **PPM: Mesh, Insert, Face Meshing**.
2. Wybierz wszystkie powierzchnie (najłatwiej: **Ctrl+A**) i potwierdź **Apply**.
3. W drzewie projektu wybierz **PPM: Mesh, Insert, Sizing**.
4. Wskaż cztery krawędzie przy zaokrągleniu (**Ctrl+LPM**).
5. Wprowadź liczbę elementów na krawędzi **Number of Divisions: 5** oraz **Behavior, Hard**.

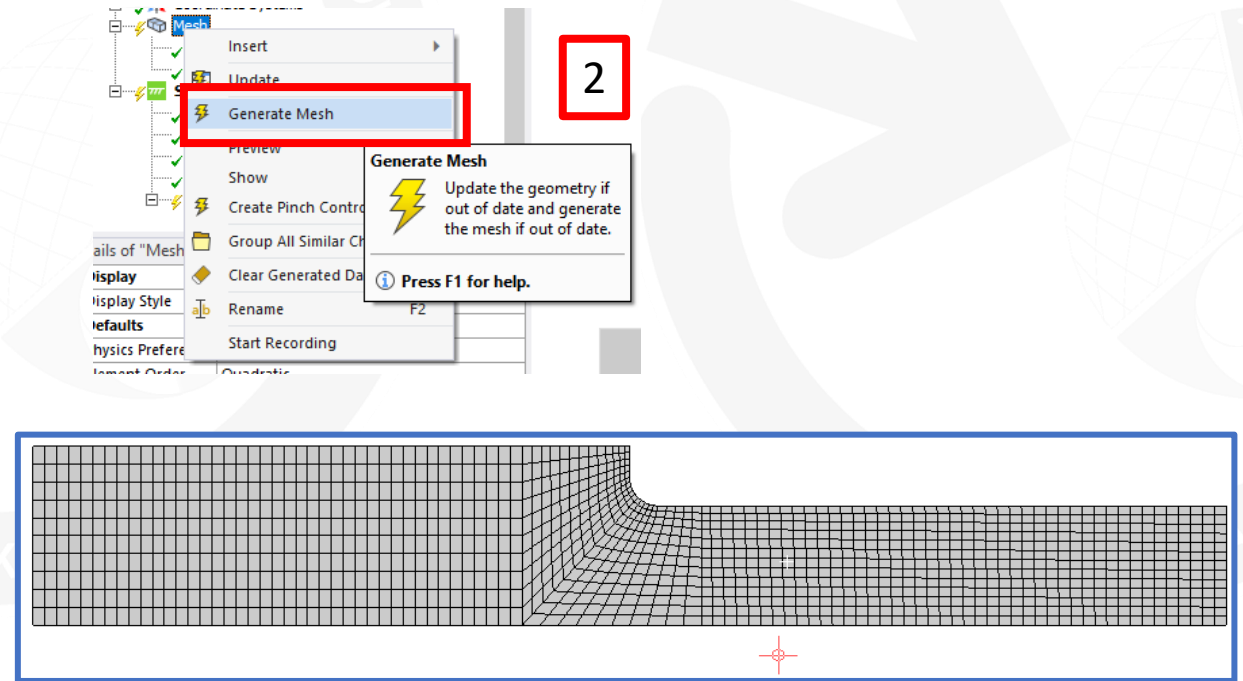


# Wprowadź ustawienia siatki (2)

1. Wybierz ustawienia globalne siatki: **Element Order, Quadratic** oraz **Element Size: 1.0 mm**.
2. Wybierz **PPM: Mesh, Generate Mesh**.



1



# Wprowadź podparcie układu (1)

1. Wybierz **Displacement**.
2. Wybierz lewą krawędź tarczy i potwierdź **Apply**.
3. Wpisz składową **X** przemieszczenia równą **0 mm**. Taki sposób zamocowania odpowiada unieruchomieniu lewej krawędzi tarczy w kierunku działania obciążenia, które będzie zadane na przeciwległej, prawej krawędzi. Siła rozciągająca pojawi się tu jako reakcja podpory.

The screenshot illustrates the process of applying a displacement support in ANSYS. It is divided into three numbered steps:

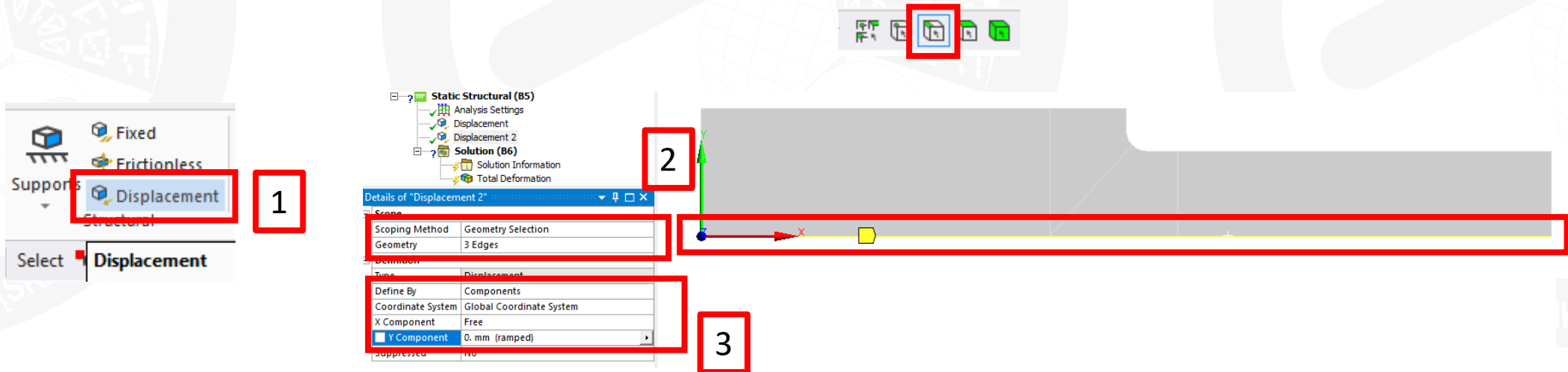
- Step 1:** The 'Supports' menu is open, and the 'Displacement' option is selected and highlighted with a red box.
- Step 2:** The 'Details of "Displacement"' dialog box is shown. The 'Scope' is set to '1 Edge', and the 'X Component' is set to '0. mm (ramped)'. Both the 'Scope' and 'X Component' fields are highlighted with red boxes.
- Step 3:** The 3D model of the part is shown with a green arrow pointing upwards on the left edge, indicating the direction of the displacement constraint. A red box highlights the arrow and the 'Apply' button in the top right corner of the model view.

The background shows the ANSYS software interface with a tree view on the left containing 'Model (B4)', 'Geometry', 'Materials', 'Coordinate Systems', 'Mesh', 'Face Meshing', 'Edge Sizing', 'Static Structural (B5)', 'Analysis Settings', 'Displacement', 'Solution (B6)', 'Solution Information', and 'Total Deformation'. The 'Displacement' component is highlighted in the tree view.



# Wprowadź podparcie układu (2)

1. Wybierz **Displacement**.
2. Wybierz trzy dolne krawędzie układu i potwierdź **Apply**.
3. Wpisz składową **Y** przemieszczenia równą **0 mm**. Taki sposób podparcia odpowiada warunkowi symetrii układu (oś **X** jest osią symetrii).



# Zadaj obciążenie

1. Wybierz **Force**.
2. Wskaż prawą krawędź i potwierdź **Apply**.
3. Wpisz wartość składowej **X** siły równą **50 N**.

Dlaczego zadana siła ma wartość **50 N**, skoro w danych podana jest wartość **100 N**?

1

2

3

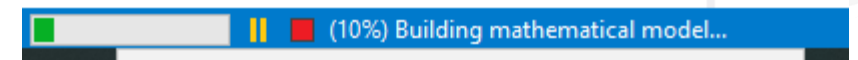
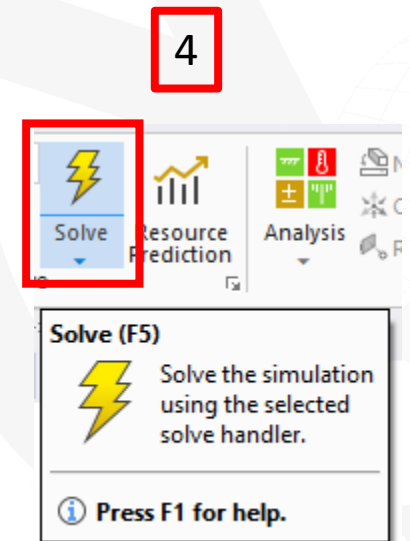
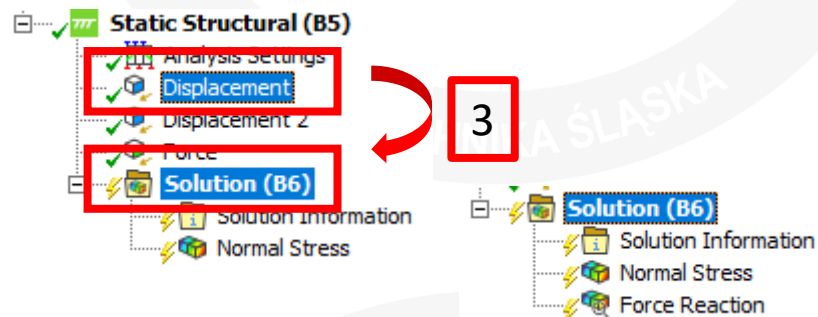
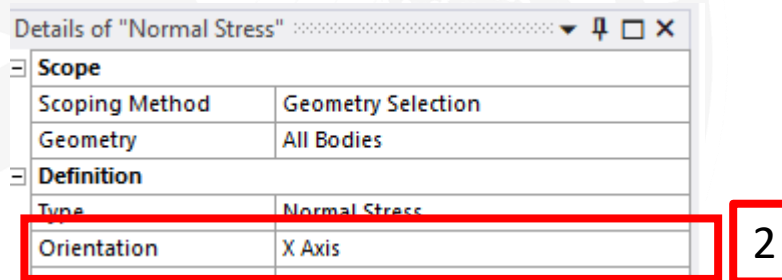
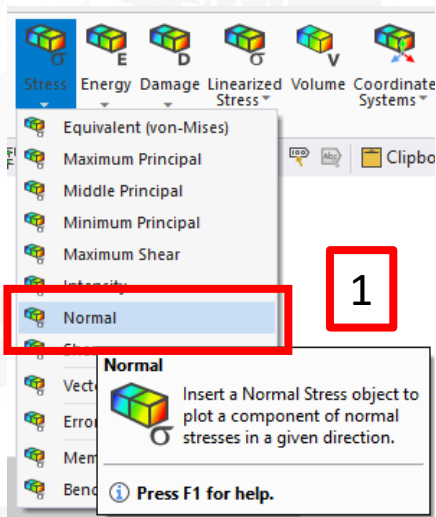
Details of "Force"	
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Edge
<b>Definition</b>	
Type	Force
Define By	Components
Applied By	Surface Effect
Coordinate System	Global Coordinate System
<input checked="" type="checkbox"/> X Component	50. N (ramped)
<input type="checkbox"/> Y Component	0. N (ramped)





# Wybierz wyniki do obliczenia

1. Wybierz **Solution, Stress, Normal**.
2. We właściwościach nowego obiektu wybierz **Orientation, X Axis**.
3. Wskaż **LPM** obiekt **Displacement**, przeciągnij i upuść na **Solution**. Zdefiniujesz w ten sposób nowy obiekt **Force Reaction**, który będzie zawierał wartość reakcji podpory.
4. Wybierz **Solve**. Poczekaj...





# Sprawdź wartość reakcji

1. Wybierz **Force Reaction**.
2. Porównaj wartość reakcji z zadaną siłą.

Sprawdzenie wartości reakcji podpór jest jednym z podstawowych sposobów sprawdzenia poprawności zbudowanego modelu.

The screenshot displays the ANSYS Workbench interface. In the tree view, the 'Force Reaction' option under 'Solution (B6)' is highlighted with a red box and labeled '1'. The 'Details of "Force Reaction"' window is open, showing the following configuration:

Definition	
Type	Force Reaction
Location Method	Boundary Condition
Boundary Condition	Displacement
Orientation	Global Coordinate System
Suppressed	No

Under the 'Results' section, the 'Maximum Value Over Time' table is highlighted with a red box and labeled '2':

Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-50. N
<input type="checkbox"/> Y Axis	-4.5696e-004 N
<input type="checkbox"/> Total	50. N

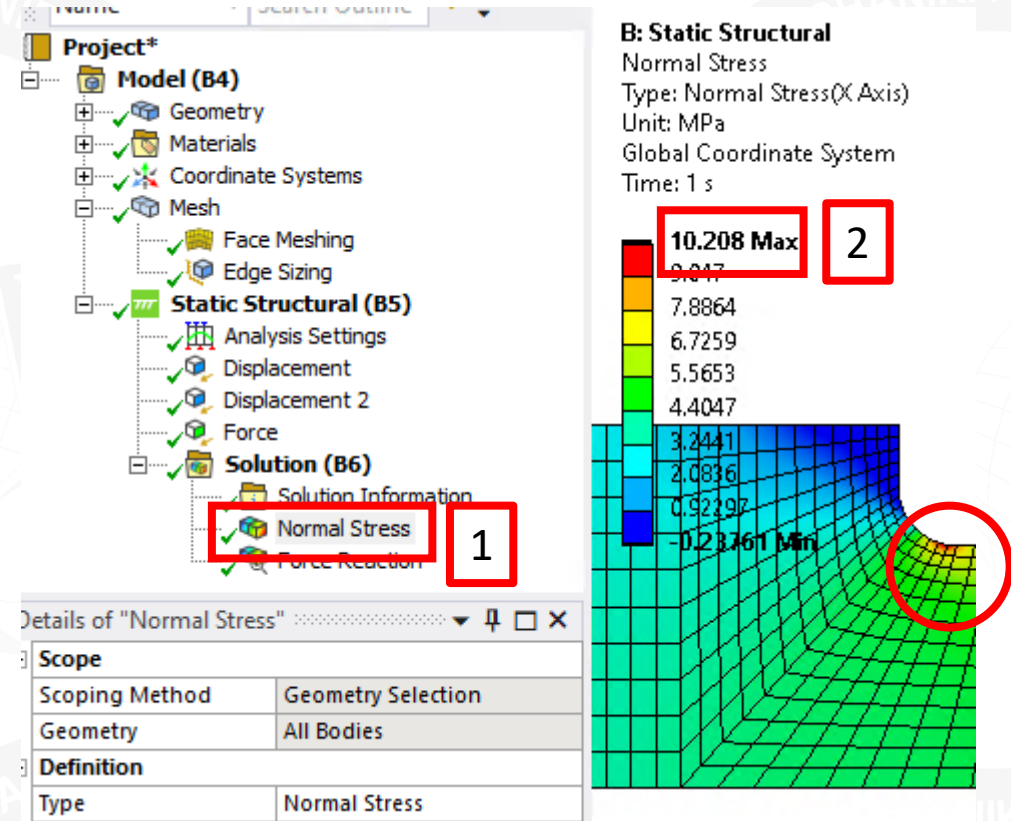
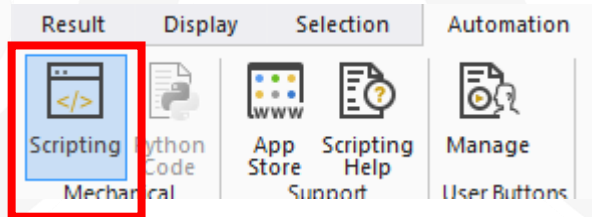
The 'Minimum Value Over Time' table shows the same values for the X and Y axes, and a total of 50. N. The 'Information' section is also visible but empty.

On the right, a 3D model of a vertical beam is shown with a horizontal force arrow pointing to the left. A 'Graphics Annotations' window is open at the bottom right, showing a table with 'Type' and 'Value' columns.



# Sprawdź wartości naprężeń (1)

1. Wskaż w drzewie obiekt **Normal Stress**.
2. Odczytaj z legendy maksymalną wartość naprężeń: **10.208 MPa**.
3. Oblicz wartość naprężeń nominalnych  $\sigma_n$  występujących w obszarze prawej krawędzi. Wykorzystasz do tego celu narzędzie **Automation, Scripting**.

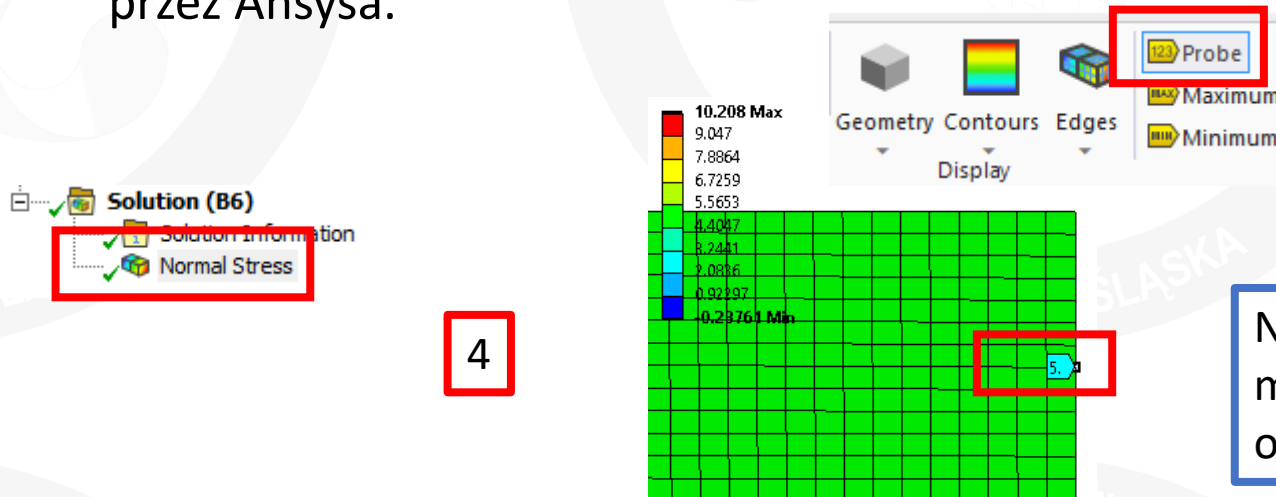
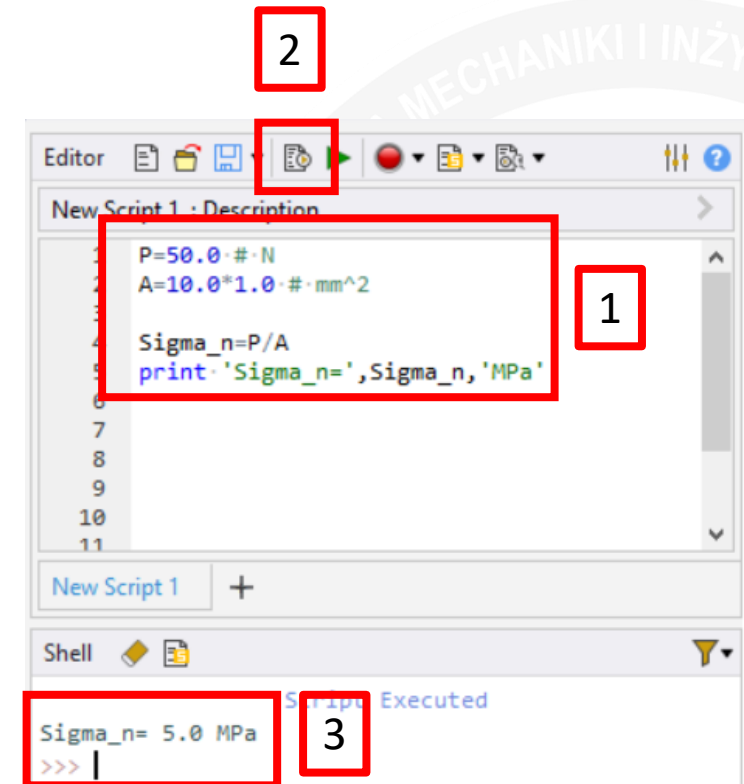


W obszarze zaokrąglenia (karbu) występuje tzw. **spiętrzenie naprężeń**, mogące powodować zniszczenie układu w tym przekroju.



# Sprawdź wartości naprężeń (2)

1. Wpisz treść skryptu **Pythona**. Jak określono pole powierzchni przekroju **A**?
2. Uruchom skrypt.
3. Odczytaj wartość naprężeń. Są to naprężenia nominalne  $\sigma_n$ , które powinny występować po prawej stronie układu, z dala od zaokrąglenia.
4. Sprawdź wartość naprężeń nominalnych i porównaj z obliczoną przez Ansysa.



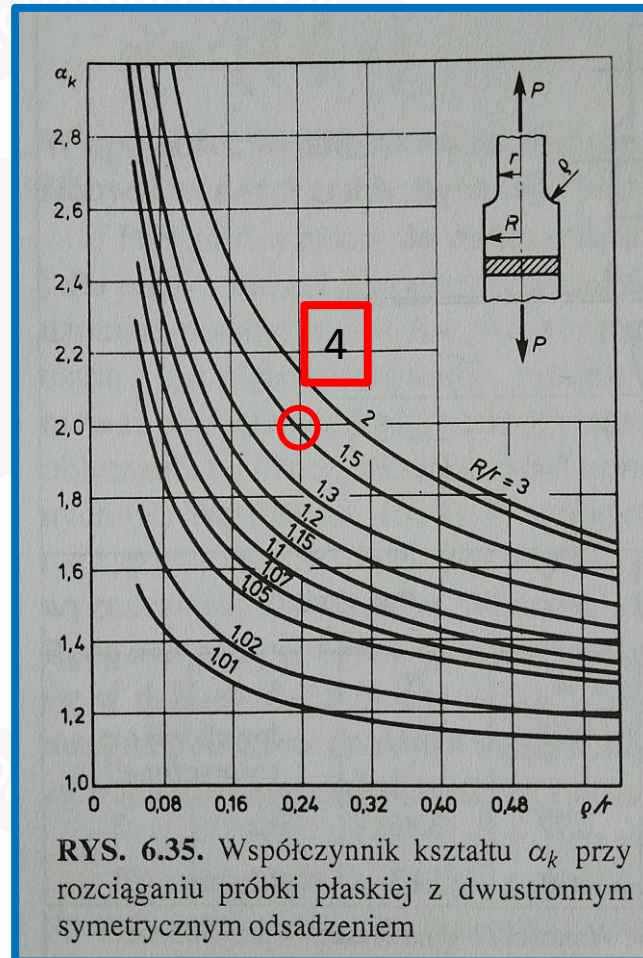
Naprężenia nominalne są niższe od maksymalnych, występujących w obszarze karbu.



# Sprawdź wartości naprężeń (3)

1. Oblicz współczynnik kształtu  
 $\alpha_k = \sigma_{\max} / \sigma_n$ .
2. Uruchom skrypt.
3. Odczytaj wartość współczynnika kształtu.
4. Porównaj wyznaczoną wartość z wartością podaną w podręczniku.

- Jak możesz wpłynąć na wartość wyznaczonych naprężeń?
- Sprawdź wynik dla różnych wariantów siatki.



```
Editor [Icons] [Run] [Stop] [Refresh] [Help] [Close]
New Script 1 : Description
1 P=50.0*#*N
2 A=10.0*1.0*#*mm^2
3
4 Sigma_n=P/A
5 print 'Sigma_n=',Sigma_n,'MPa'
6
7 Sigma_max=10.208*#*MPa
8 alfa_k=Sigma_max/Sigma_n
9 print 'alfa_k=',alfa_k

New Script 1 +

Shell [Icons]

Script Executed
Sigma n= 5.0 MPa
alfa_k= 2.0416
>>>
```



# Podsumowanie

Wykonując ćwiczenie nauczyłeś/aś się jak:

- Wykonać analizę układu płaskiego z wykorzystaniem elementów 2D.
- Definiować zbiory wyników.
- Sprawdzić poprawność wyników analizy.





**KONIEC**

