

Wytrzymałość materiałów

Zastosowanie MES do rozwiązywania układów prętowych

Studia I stopnia stacjonarne
Laboratorium

Ansys

DISCOVERY



Cel ćwiczenia

W ramach ćwiczenia:

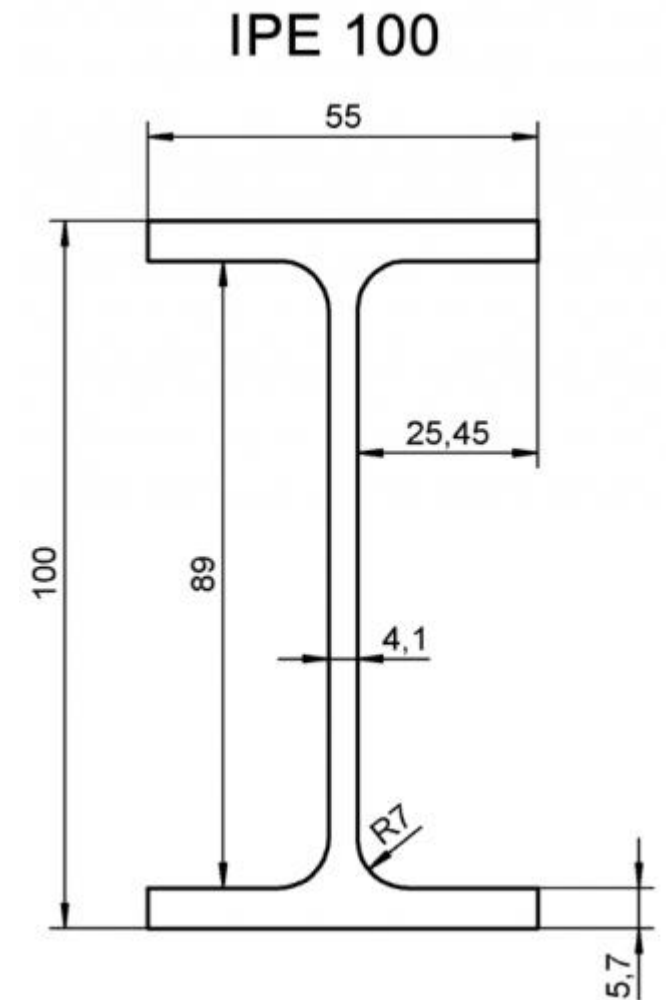
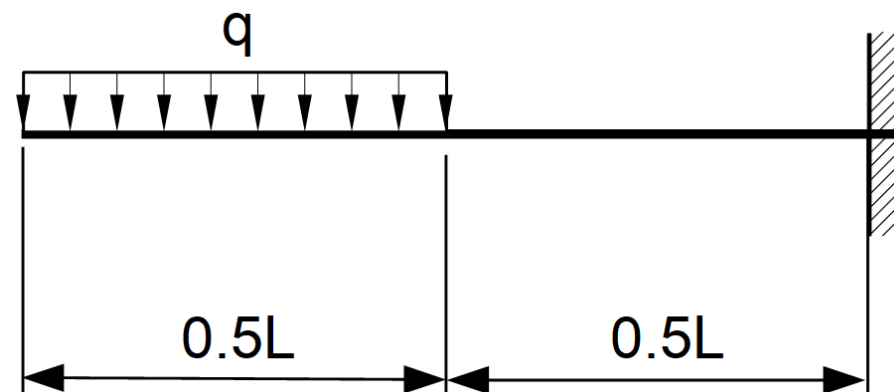
- zapoznasz się z modelowaniem liniowosprężystego układu belkowego z wykorzystaniem jednowymiarowych elementów skończonych,
- dokonasz analitycznego sprawdzenia poprawności wyników wyznaczonych przemieszczeń i naprężeń,
- Do wykonania zadania wykorzystasz program **Ansys Workbench**, który możesz pobrać ze strony internetowej: <https://mesco.com.pl/strefa-akademicka/darmowy-ansys-student/>





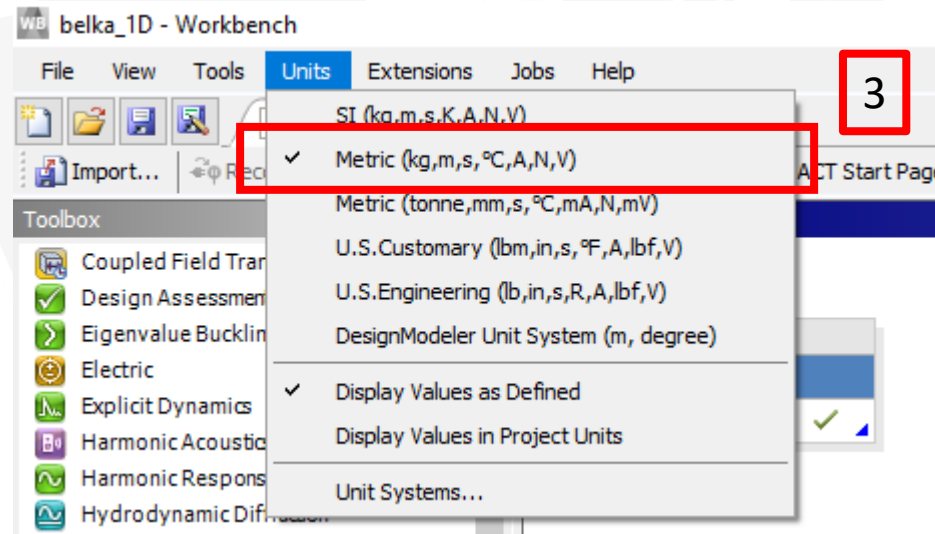
Parametry układu

- Materiał: stal **S235J**, $E=210$ GPa, $\nu=0.3$, $R_e=235$ MPa, $R_m=410$ MPa
- Przekrój: dwuteownik **IPE100** - wymiary na rysunku podano w milimetrach
- Długość: $L=2$ m
- Obciążenie ciągłe: $q=100$ N/m



Jednostki

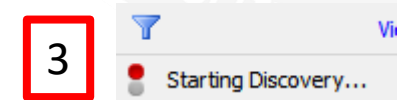
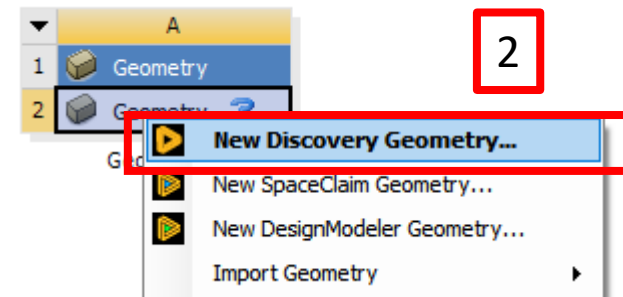
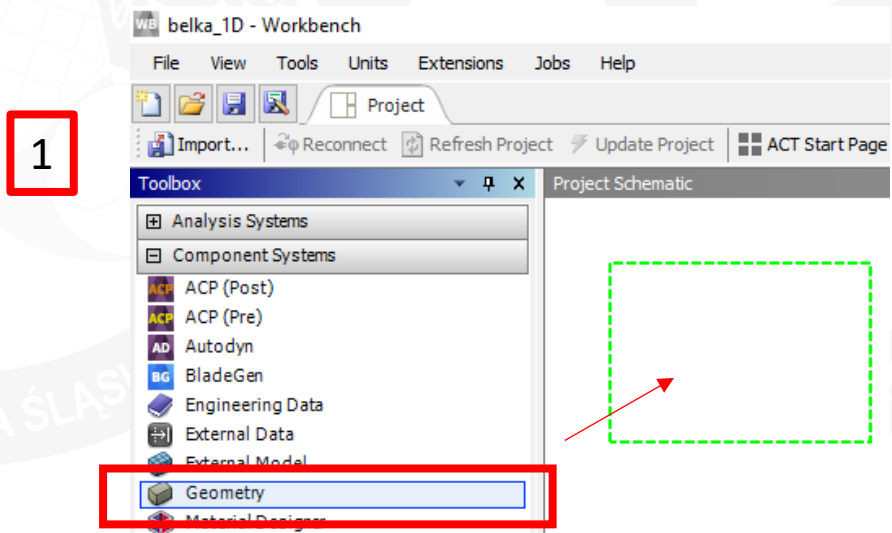
1. Uruchom program **ANSYS Workbench**.
2. Utwórz nowy projekt i zapisz go: **File, Save As**. Wybierz lokalizację i wpisz nazwę projektu. Po każdym ważnym etapie, w każdym programie, wykonuj **Save Project!**
3. Ustaw jednostki wielkości fizycznych.





Geometria układu

1. Wybierz **Geometry**, przeciągnij i upuść na obszar roboczy – zielony prostokąt.
2. Kliknij prawym przyciskiem myszy (PPM) na pole **A2** i wybierz **New Space Claim Geometry**.
3. Poczekaj na uruchomienie programu **Space Claim**

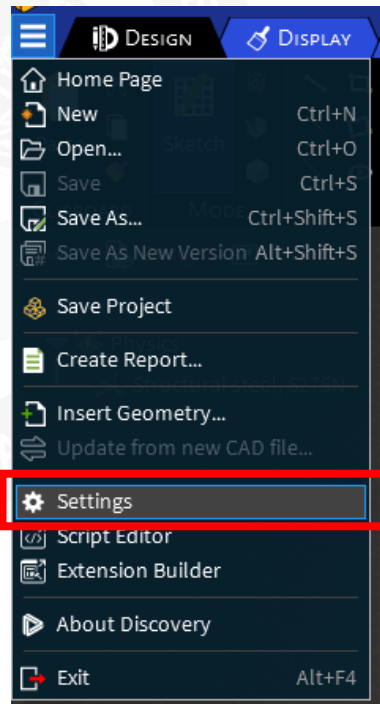




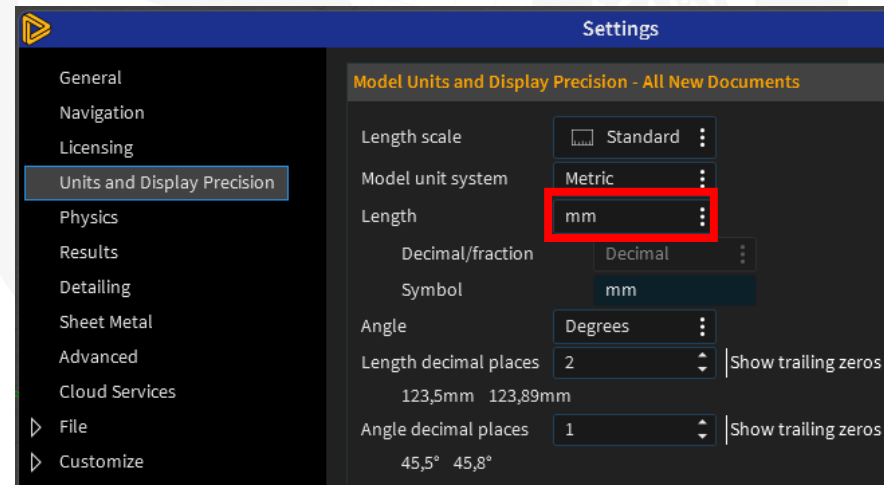
Jednostki w Space Claim

1. W menu programu SpaceClaim wybierz **File Menu, Settings**
2. Wybierz **Units and display precision** a następnie wskaż jednostkę długości stosowaną w SpaceClaim. Możesz zamknąć okno.

1



2



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

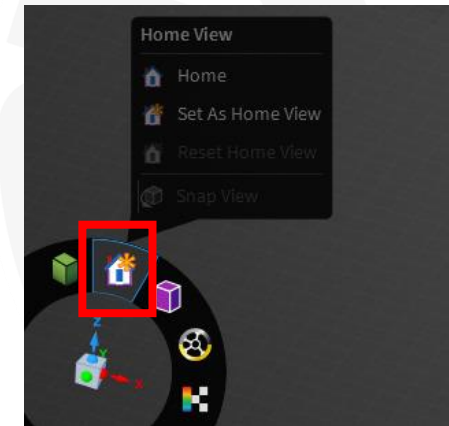
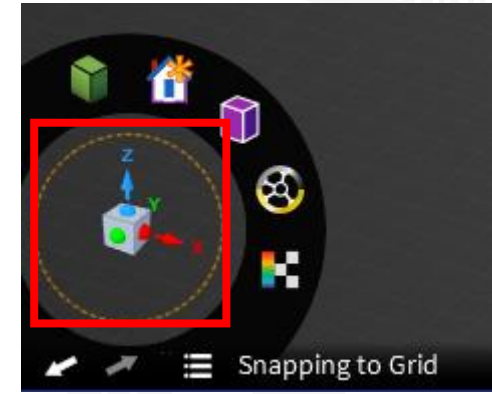


Manipulowanie widokiem modelu

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 przyborników nawigacji **(2)**.

1



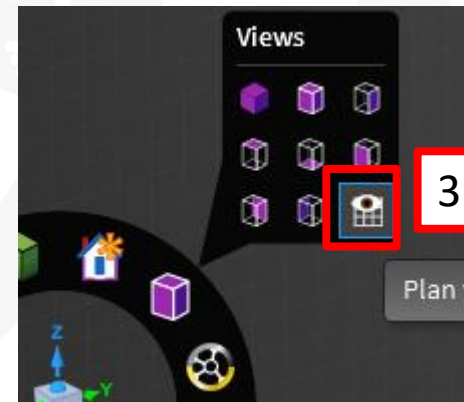
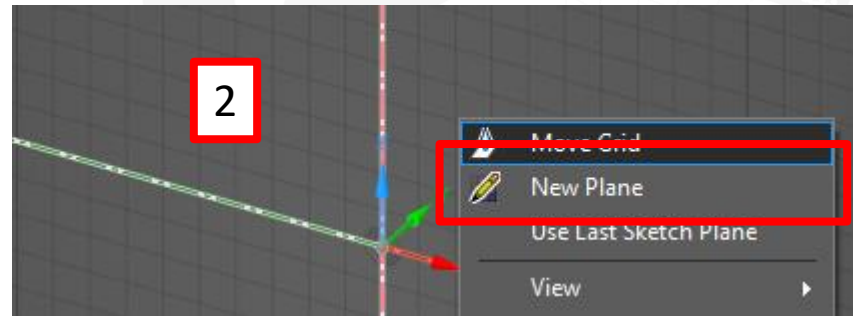
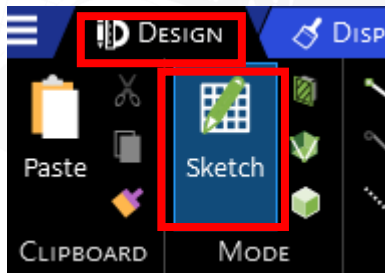
2





Wybierz płaszczyznę szkicu

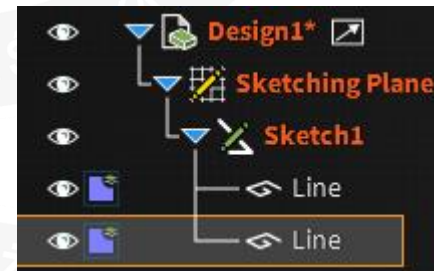
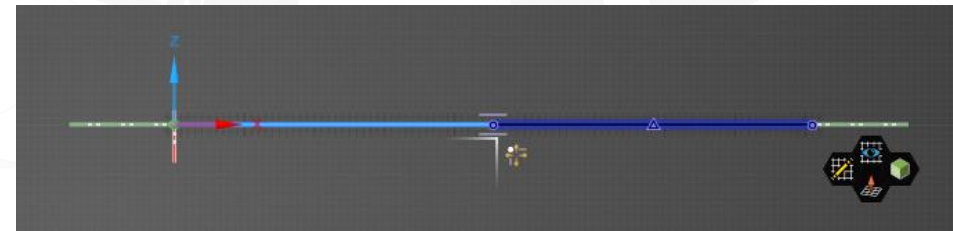
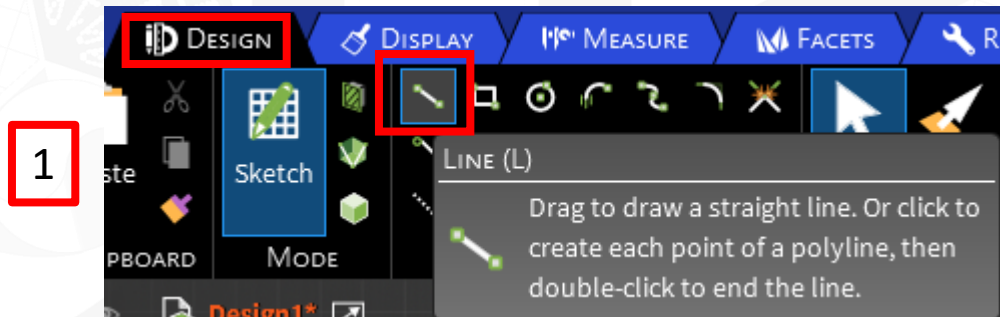
1. Wybierz pasek **Design**, narzędzie **Sketch**
2. W obszarze roboczym kliknij **PPM** i wybierz **New Plane**. Wybierz oś **Y**.
3. Ustaw widok prostopadły do powierzchni szkicu **Plan View**.





Narysuj oś belki

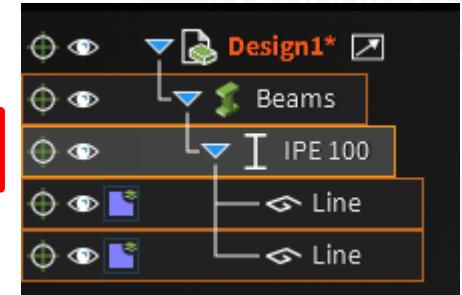
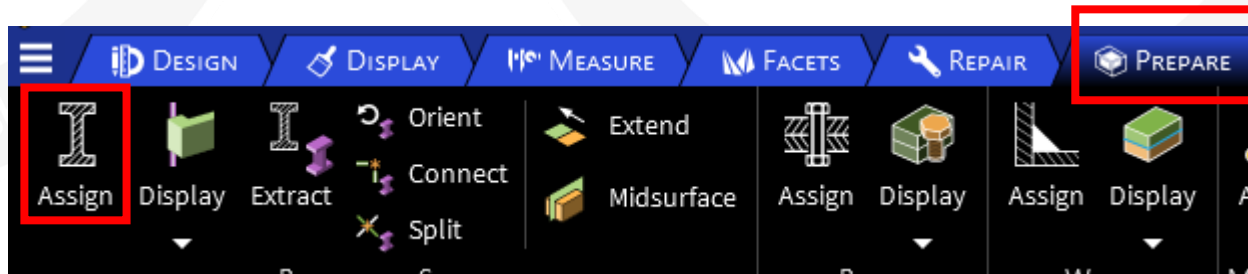
1. Wybierz narzędzie **Line**
2. Wskaż pierwszy punkt linii w początku układu współrzędnych. Przesuń kursor w prawo wzdłuż osi **X**. Wpisz wymiar: **1000**. Potwierdź klawiszem **Enter**. Kontynuuj rysowanie linii tworząc kolejną o tej samej długości. Operację rysowania zakończ naciskając **2xEsc**.
3. Sprawdź, czy w strukturze szkicu są obecne dwie linie.



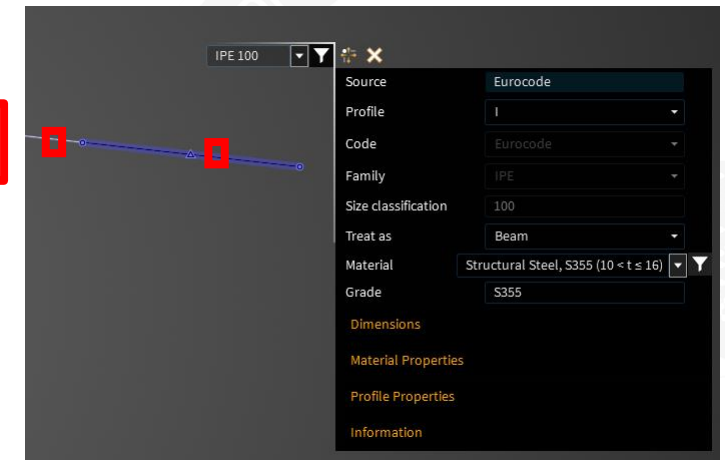
Zdefiniuj przekrój belki

1. Wybierz **Prepare, Assign**
2. Zaczynij wpisywać nazwę znormalizowanego przekroju: **IPE**. Wyświetlą się podpowiedzi z dostępnymi przekrojami. Wybierz **IPE 100**.
3. Wskazuj kolejno linie. Belki będą tworzone automatycznie. Zakończ klawiszem **Esc**.
4. Sprawdź, czy w strukturze projektu widać dwie belki **Beams**.

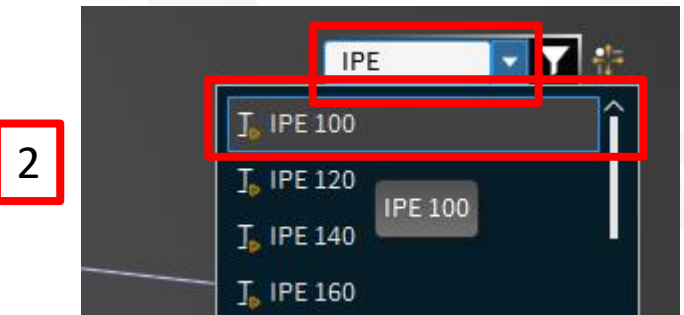
1



4



3



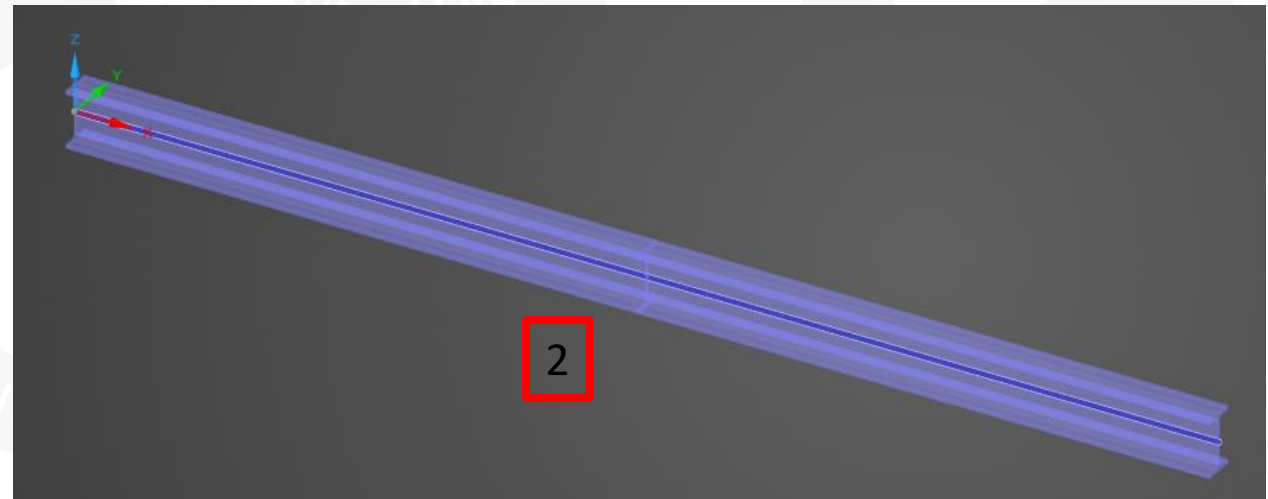
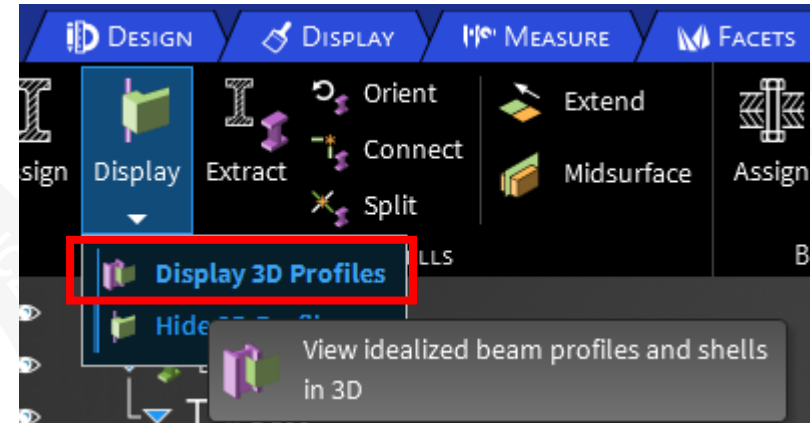
2





Ustaw widok przekroju

1. Wybierz **Display 3D Profiles**.
2. Sprawdź, czy widoczne są dwa odcinki belki.



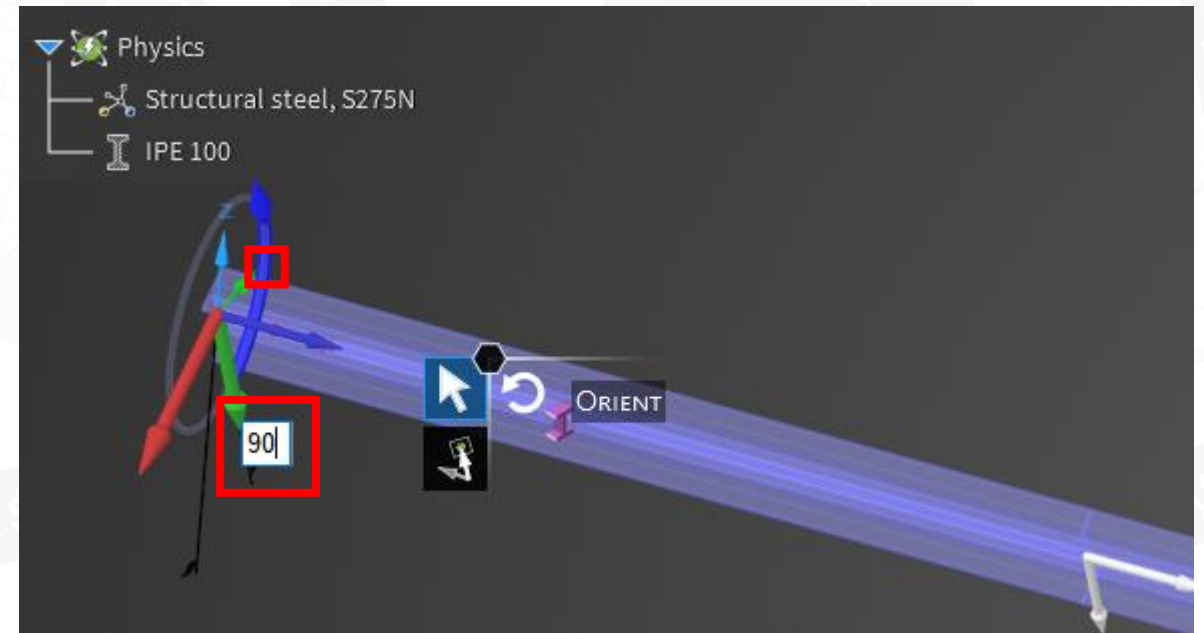


Ustaw orientację przekroju

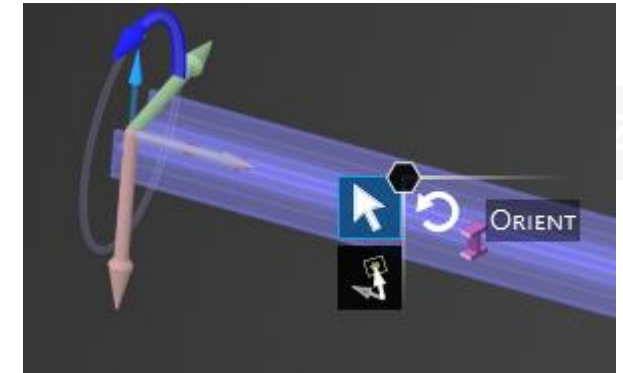
1. Wybierz **Orient**.
2. Wybierz obydwie belki i kliknij wektor obrotu. W okienku wpisz wartość kąta w stopniach: **90**. Zatwierdź klawiszem **Enter**.
3. W efekcie płaszczyzna środka dwuteownika będzie równoległa do osi **Y**.



2



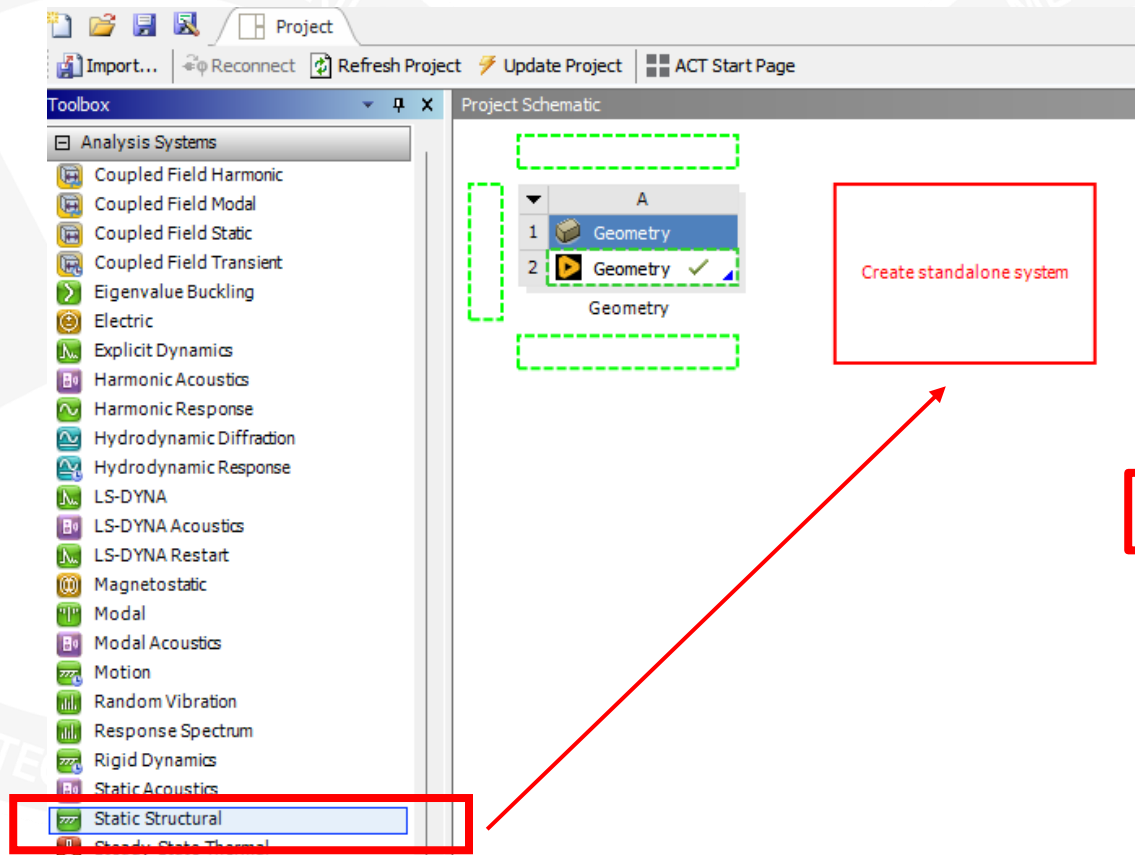
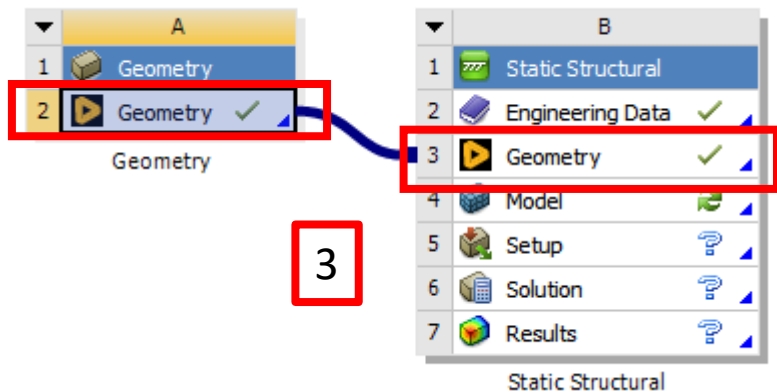
3





Utwórz blok analizy i przypisz geometrię

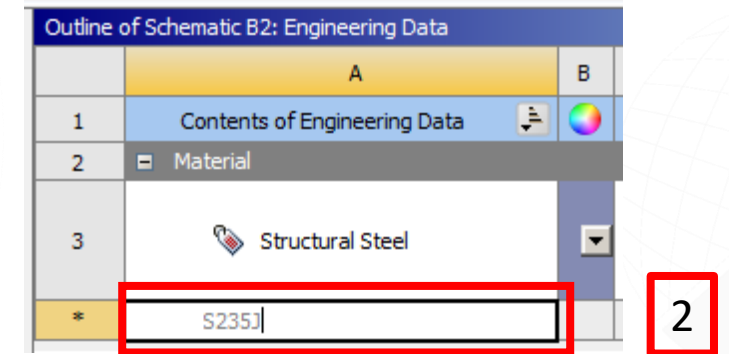
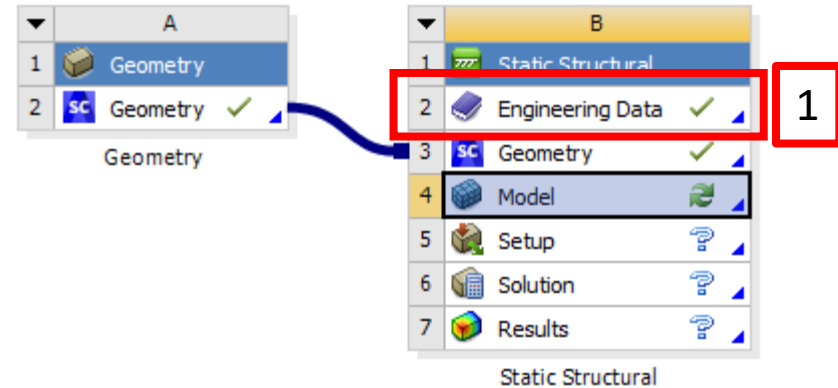
1. Wróć do okna programu **Workbench**.
2. Za pomocą **LPM** wybierz blok **Static Structural**, przeciągnij i upuść w obszarze roboczym (czerwony prostokąt).
3. Za pomocą LPM przeciągnij komórkę **A2** na **B3** i upuść.



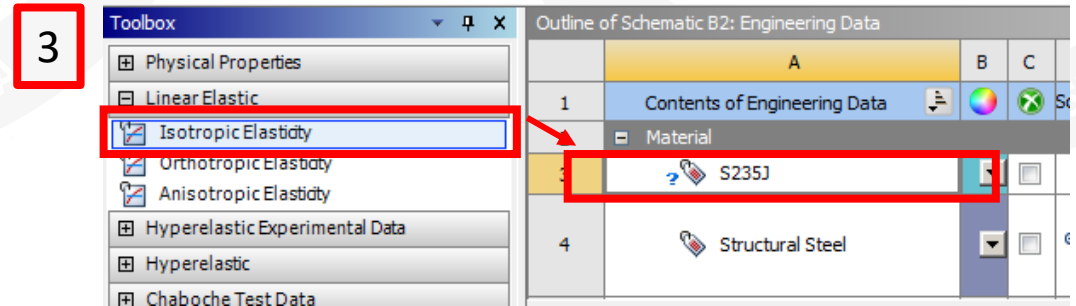


Zdefiniuj materiał

1. Kliknij dwukrotnie na komórce **B2**.
2. W polu **Click here to add new material** wpisz nazwę materiału: **S235J**.
3. Przeciągnij zbiór własności **Isotropic Elasticity** i upuść na utworzonym materiale o nazwie **S235J**.
4. Wprowadź wartości modułu Younga i liczby Poissona. Jednostki wynikają z ustawień pokazanych na slajdzie 4.



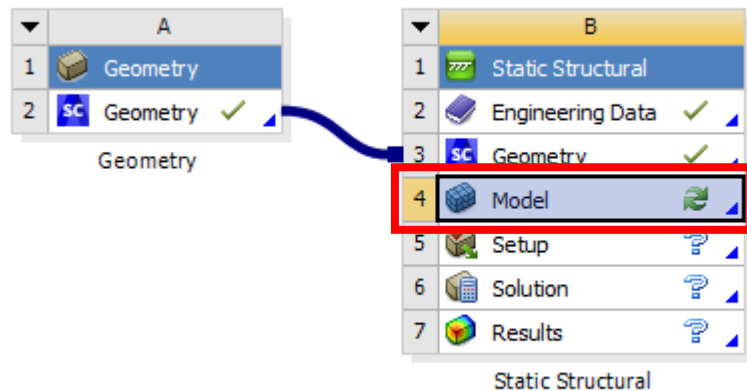
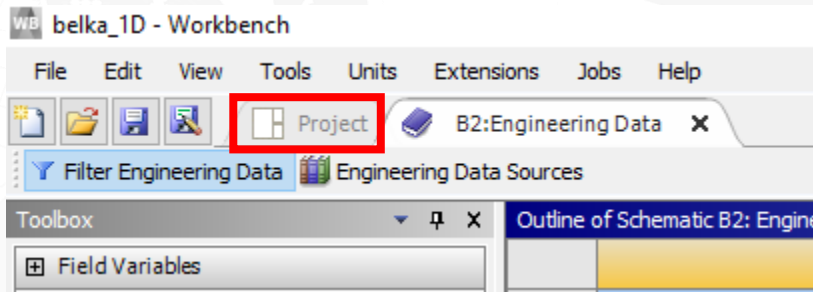
Properties of Outline Row 4: S235J					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Isotropic Elasticity				
4	Derive from	Young's			
5	Young's Modulus	2.1E+11	Pa		
6	Poisson's Ratio	0.3			
7	Bulk Modulus	1.75E+11	Pa		
8	Shear Modulus	8.0769E+10	Pa		



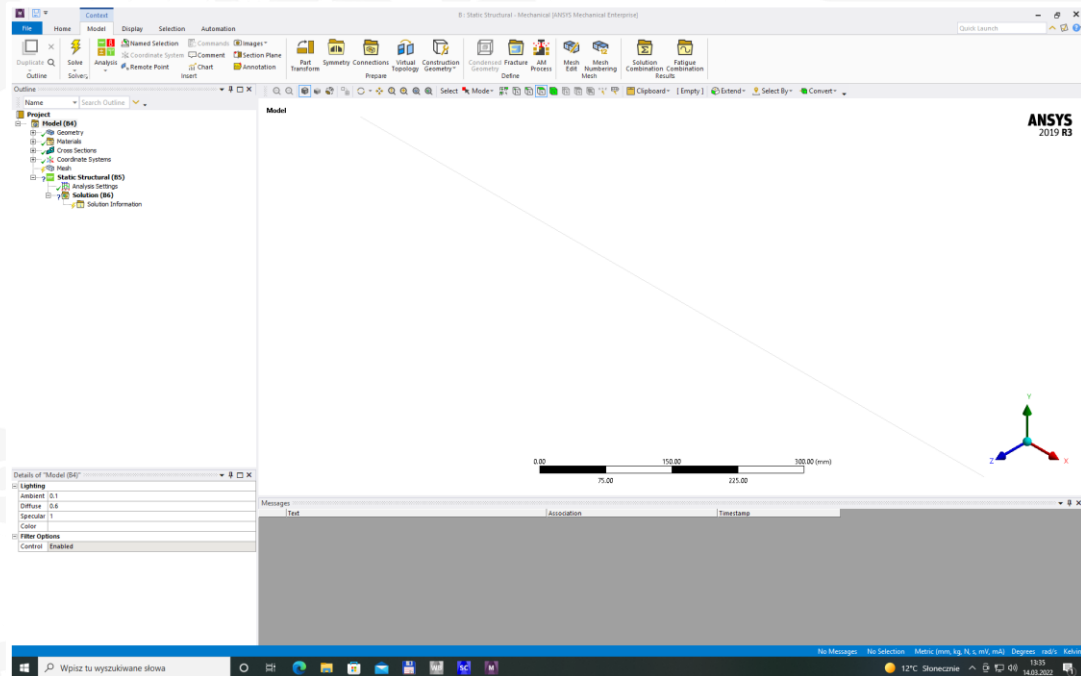


Uruchom program Mechanical

1. Wróć do panelu **Project** i kliknij **LPM** dwukrotnie na komórce **B4**.
2. Zaczekaj na uruchomienie programu **Mechanical**.



1



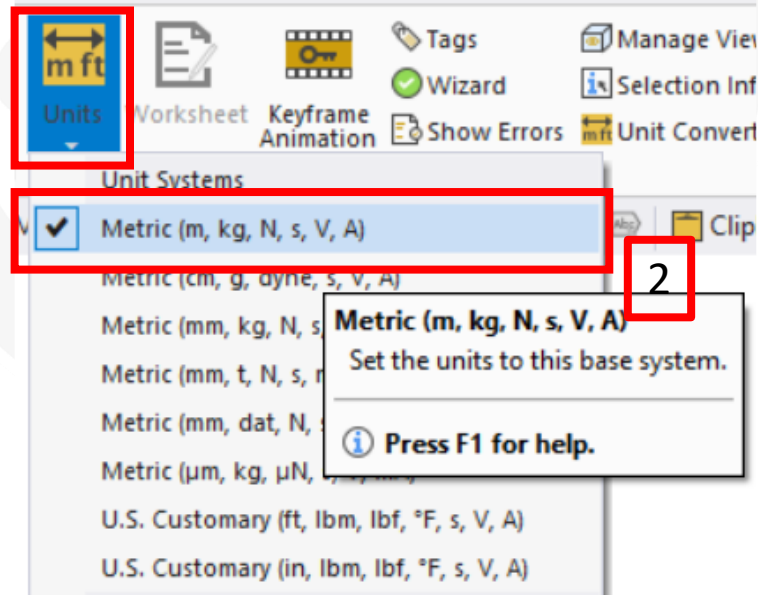
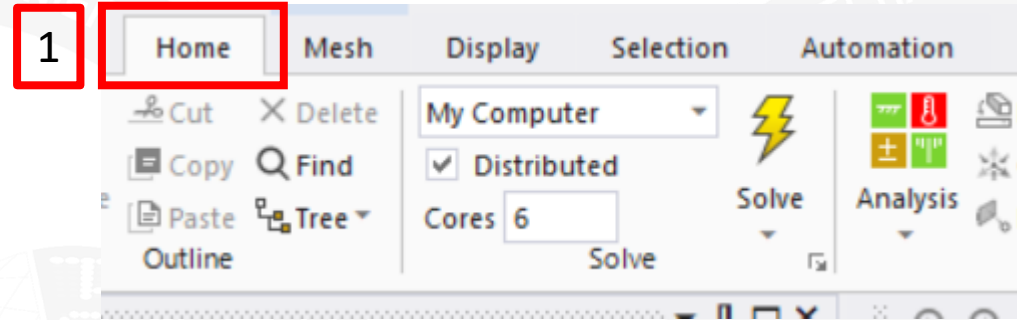
2





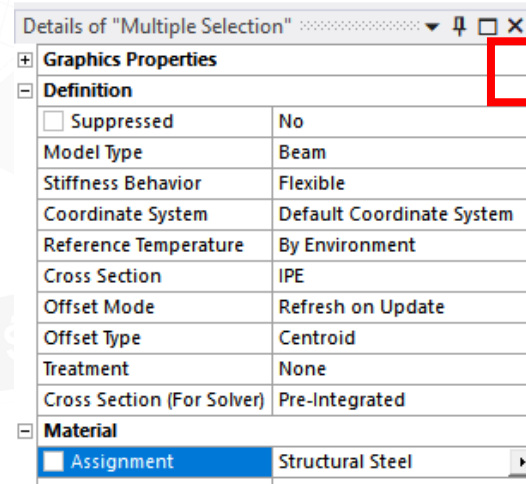
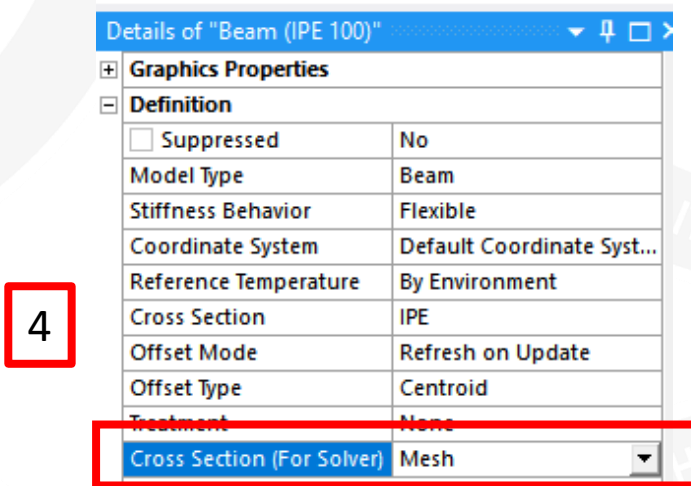
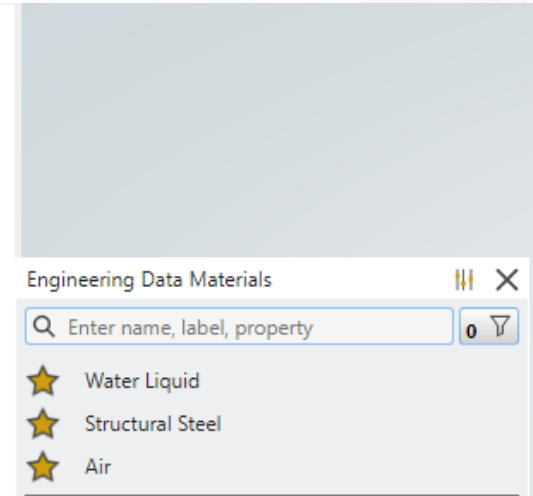
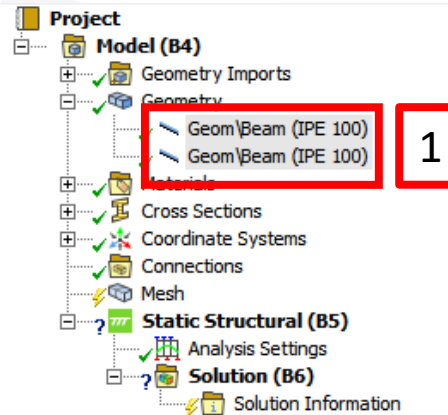
Wybierz układ jednostek

1. Wybierz pasek narzędzi **Home**.
2. Wybierz **Units** a następnie wskaż odpowiedni układ jednostek.



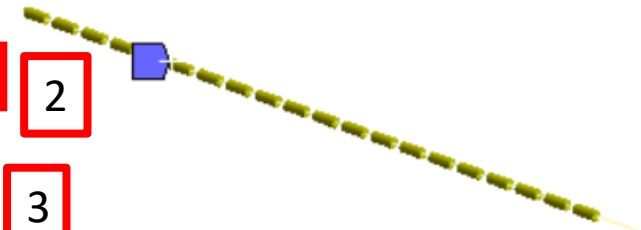
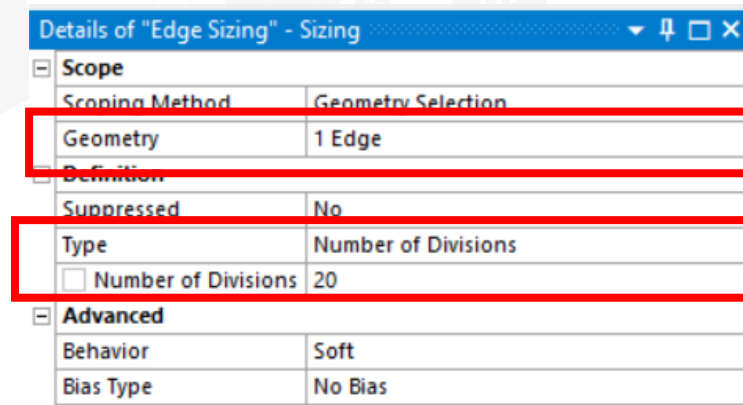
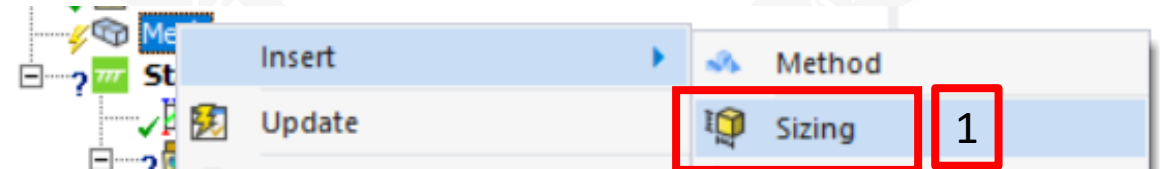
Przypisz materiał do modelowanej belki

1. W drzewie projektu wybierz obydwie obiekty belki **Geom\Beam (IPE 100)**.
2. W panelu **Details** of rozwiń listę materiałów **Assignment**.
3. Wybierz zdefiniowany materiał **S235J**.
4. W polu **Cross Section (For Solver)** wybierz **Mesh**. Umożliwi to dostęp do wyników naprężeń w przekroju belki.



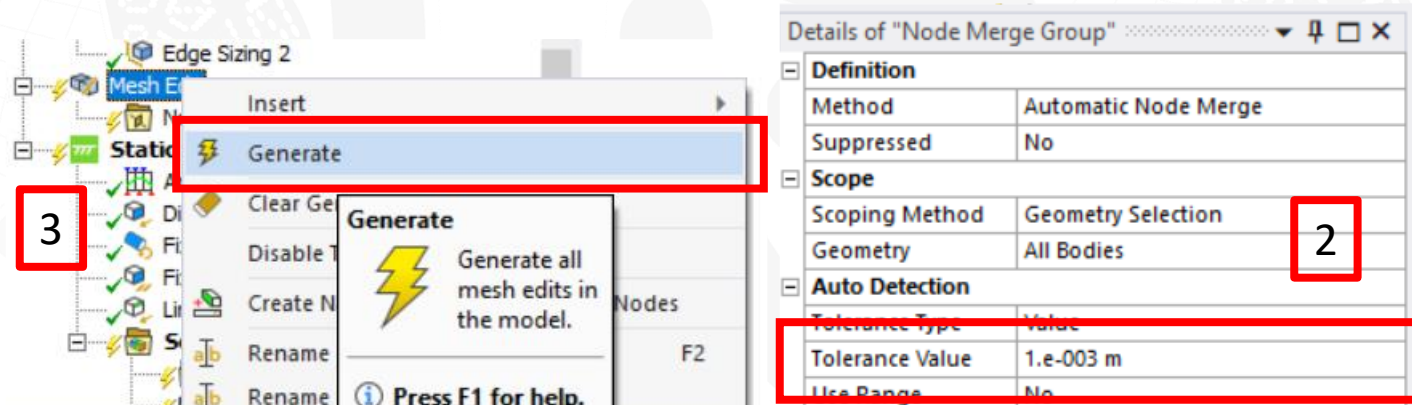
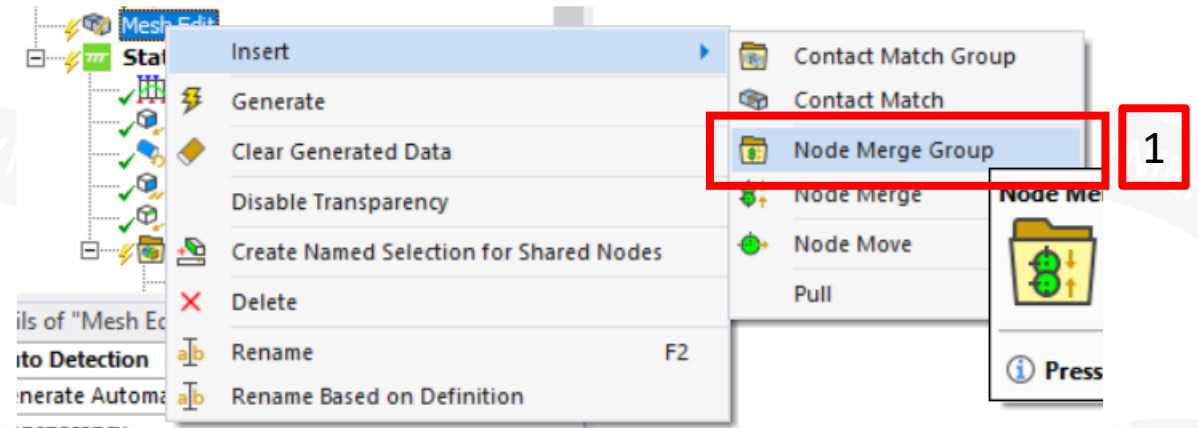
Wprowadź rozmiar siatki i wygeneruj ją

1. W drzewie projektu wybierz **PPM: Mesh, Insert, Sizing**.
2. W pole **Geometry** wybierz odcinek, na którym będzie zadane obciążenie ciągłe. Potwierdź **Apply**.
3. Wybierz **Number of Divisions** oraz wpisz **20**.
4. Stosując tę metodę zdefiniuj drugi obiekt **Sizing** i podziel drugi z odcinków belki na **10** elementów.
5. Wygeneruj siatkę elementów skończonych: **PPM, Mesh, Generate Mesh**

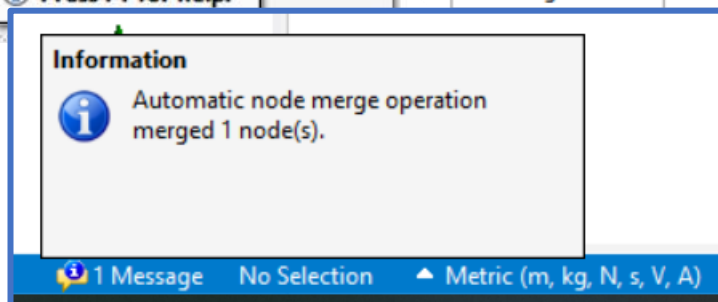


Połącz odcinki belki

1. W drzewie projektu wybierz **PPM: Mesh, Insert, Node Merge Group**.
2. W właściwościach obiektu **Node Merge Group** wpisz tolerancję połączenia węzłów.
3. Wybierz **PPM: Mesh Edit, Generate**.



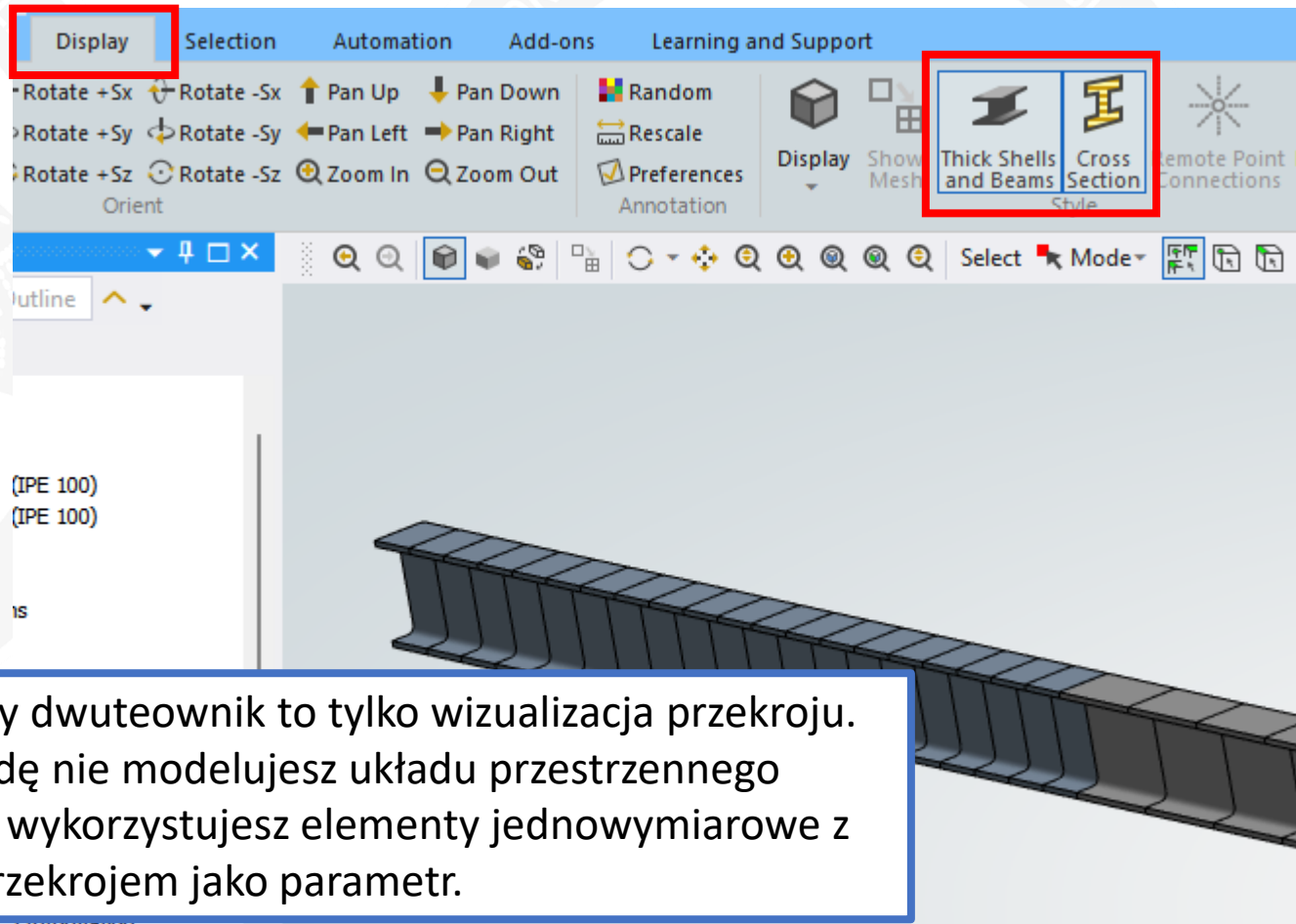
Innym sposobem na połączenie obiektów może być operacja **Share** w **Discovery**. Powoduje ona utworzenie spójnej siatki elementów skończonych na stykających się obiektach geometrycznych.





Wyświetl siatkę elementów wraz z przekrojem

Wybierz zakładkę **Display** oraz **Cross Section**.



Wyświetlony dwuteownik to tylko wizualizacja przekroju. Tak naprawdę nie modelujesz układu przestrzennego (bryły), lecz wykorzystujesz elementy jednowymiarowe z nadanym przekrojem jako parametr.

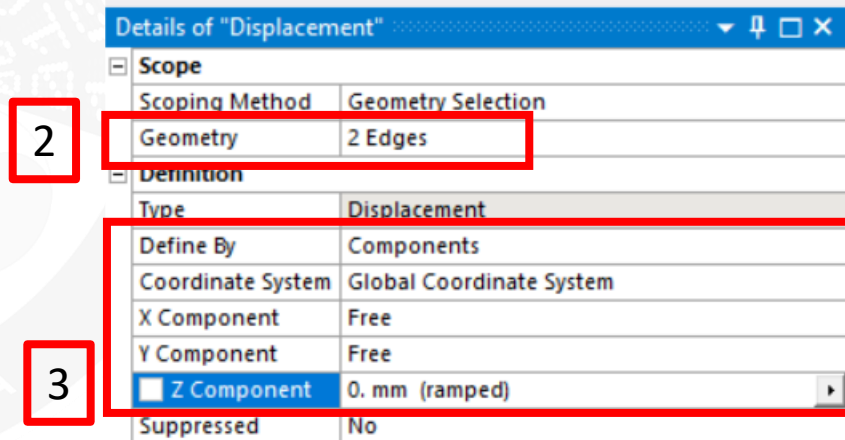
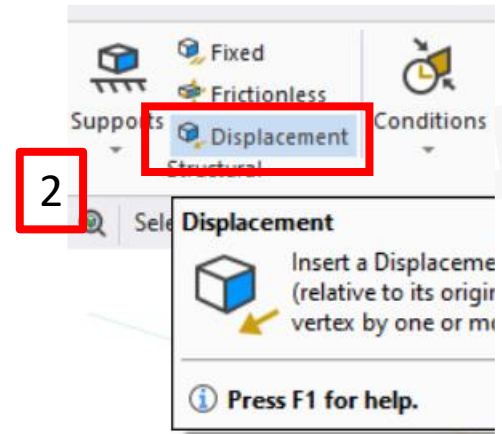
Pokazany sposób ustalania rozmiaru siatki pozwala na jej zagęszczenie w miejscach gdzie jest to potrzebne. W tym przypadku siatka została zagęszczona w miejscu, gdzie zadane jest obciążenie ciągłe, w celu jego lepszego odwzorowania. W ogólnym przypadku obciążenie nie musi być stałe. Może być opisane bardziej skomplikowaną funkcją.



Zdefiniuj podparcie belki (1)

1. Wskaż w drzewie obiekt **Static Structural**.
2. Wybierz **Environment, Displacement**.
3. W polu **Geometry** wybierz wszystkie odcinki belki.
4. Wybierz **Define By Components** oraz wpisz **Z Component: 0mm**.

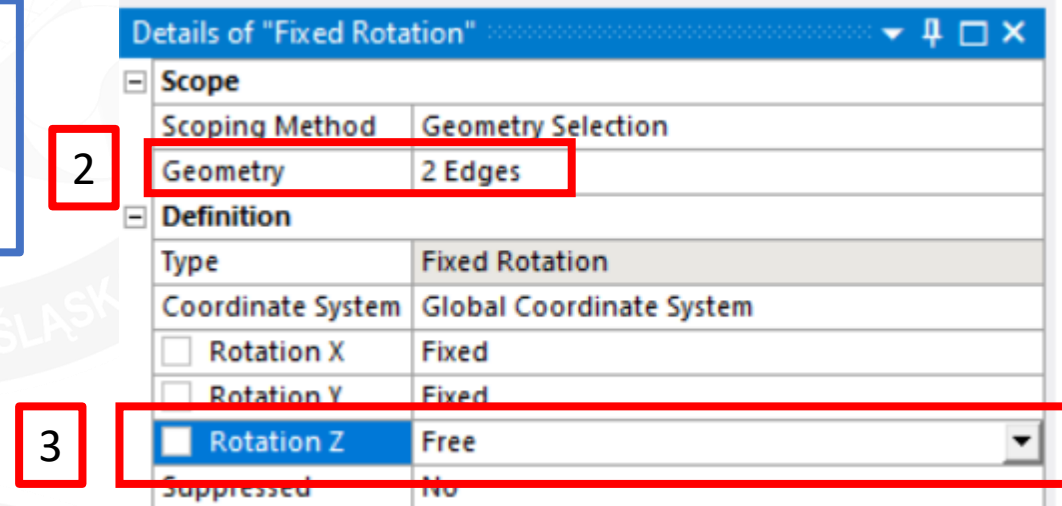
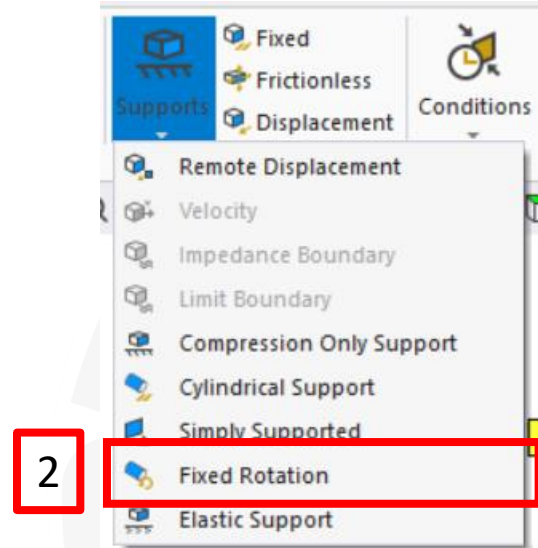
Taki krok wykonasz w przypadku każdej analizy belki obciążonej na płaszczyźnie. W programach MES modeluje się układy przestrzenne, a więc w tym przypadku należy odebrać punktom belki możliwość przemieszczania się w kierunku prostopadłym do rysunku. Tutaj takim kierunkiem jest oś **Z**.



Zdefiniuj podparcie belki (2)

1. Wskaż w drzewie obiekt **Static Structural**.
2. Wybierz **Environment, Supports, Fixed Rotation**.
3. W polu **Geometry** wybierz wszystkie odcinki belki.
4. Wybierz **Rotation Z, Free**.

Ten krok z kolei uniemożliwi obrót belki wokół osi **X** oraz **Y**, natomiast umożliwi obrót przekroju belki wokół osi **Z**. Właśnie w taki sposób zachowa się belka równoległa do osi **X**, obciążona w płaszczyźnie **XY**.

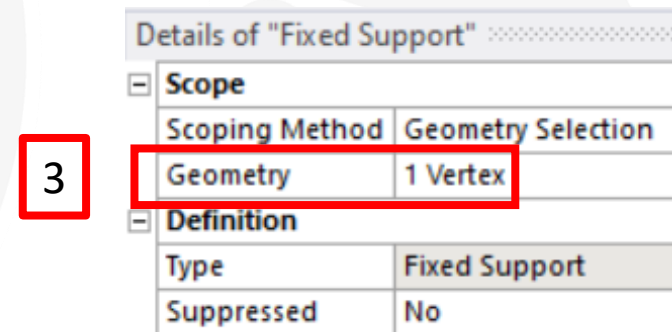
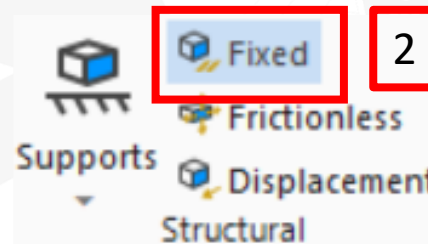
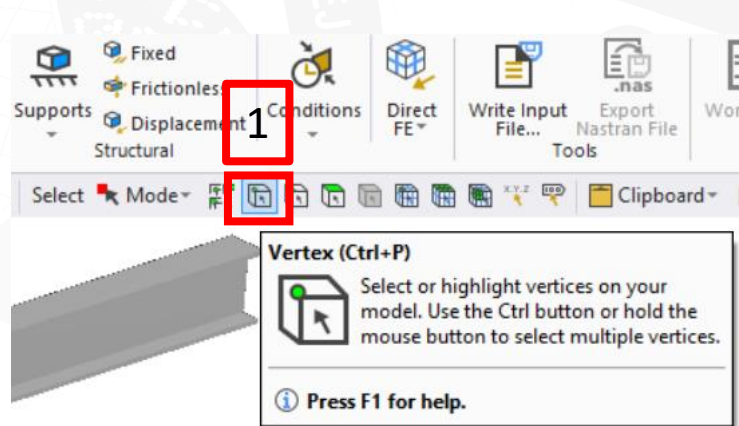


Zdefiniuj podparcie belki (3)

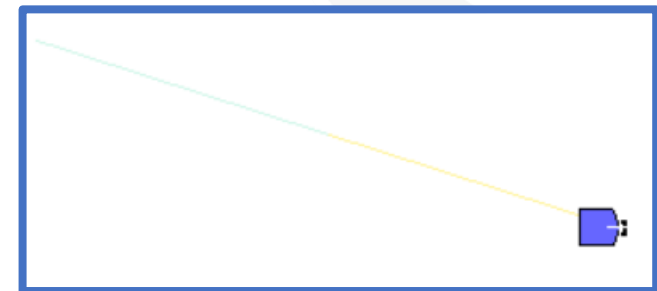
1. Wybierz filtr wyboru geometrii **Vertex**.
2. Wybierz **Fixed** (sztywne utwierdzenie).
3. W polu **Geometria** wybierz prawy kraniec belki.

Nawigacja – przydatne przy wyborze geometrii:

- **Środkowy przycisk myszy (ŚPM)** – obrót modelu
- **Rolka, Shift+ŚPM** – powiększenie
- **Ctrl+ŚP** – przesuwanie
- **Z** - wyśrodkowanie



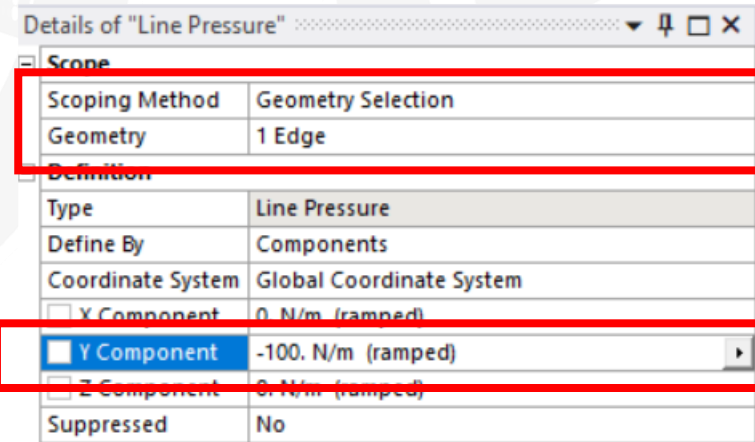
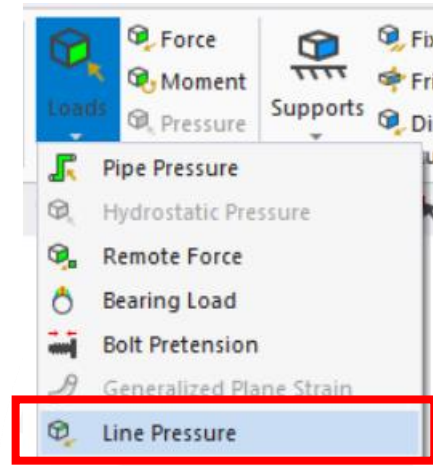
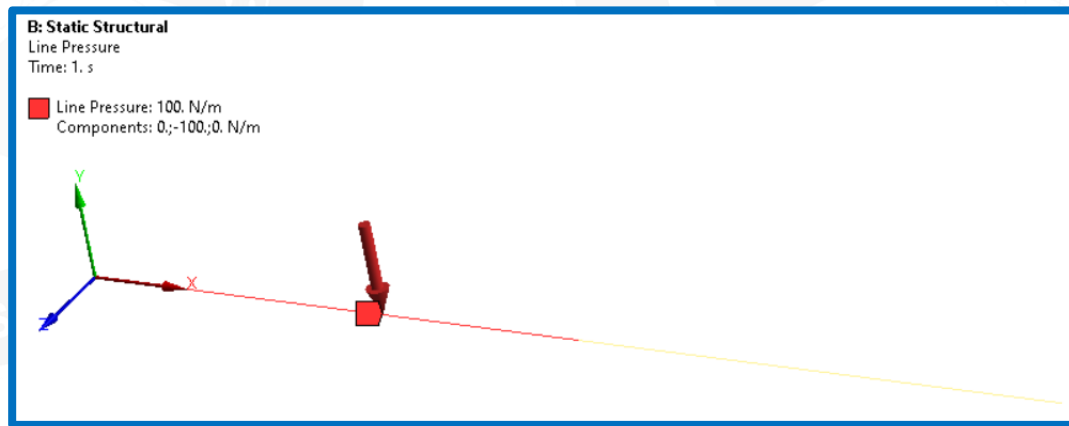
- Czy jest inny sposób na zadanie sztywnego utwierdzenia? Zastanów się! Podpowiedź znajdziesz na dwóch poprzednich slajdach.
- Zastanów się również jak można zdefiniować podporę przegubową stałą i przesuwną. Przyda Ci się to podczas rozwiązywania innych zadań.





Zdefiniuj obciążenie belki

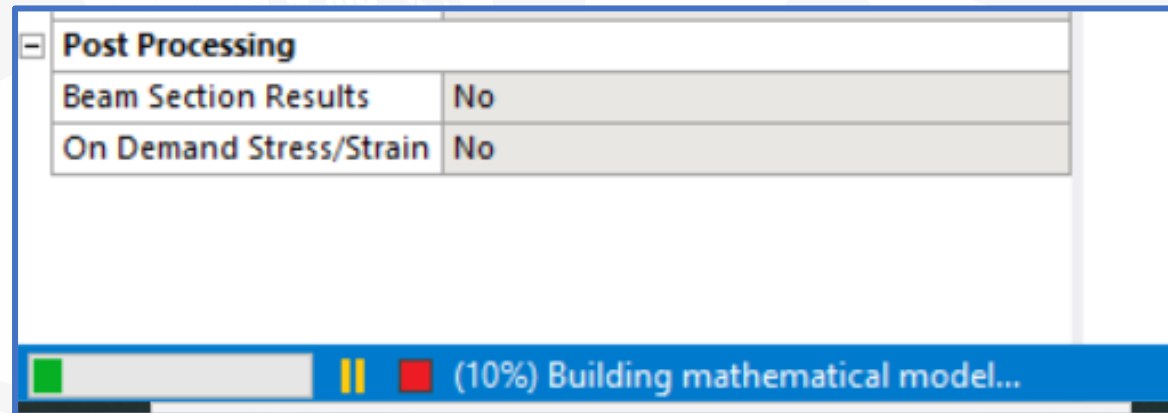
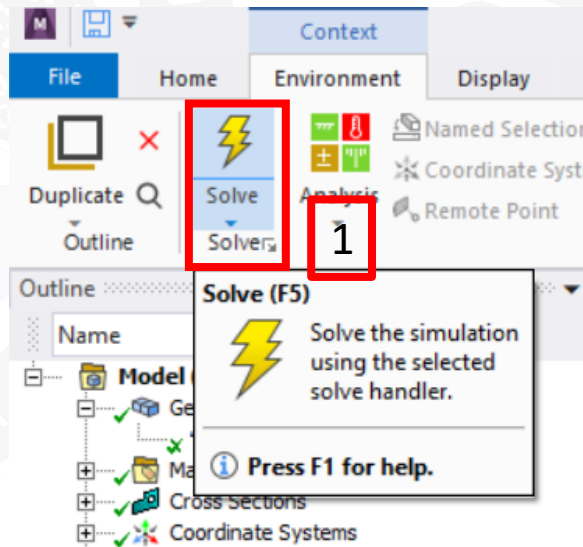
1. Wybierz **Force, Line Pressure**.
2. W polu **Geometry** wskaż odcinek, na którym jest zadane obciążenie
3. Wybierz **Define By Components** oraz wpisz wartość składowej **Y** obciążenia.





Uruchom analizę

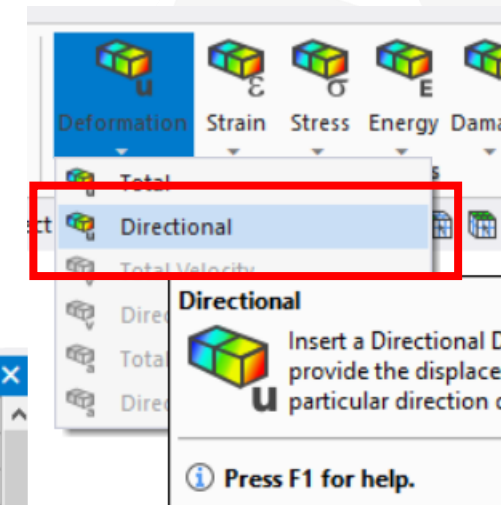
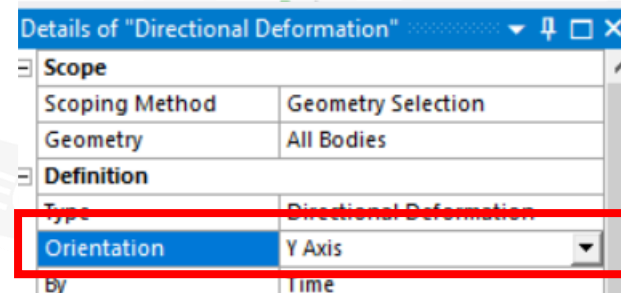
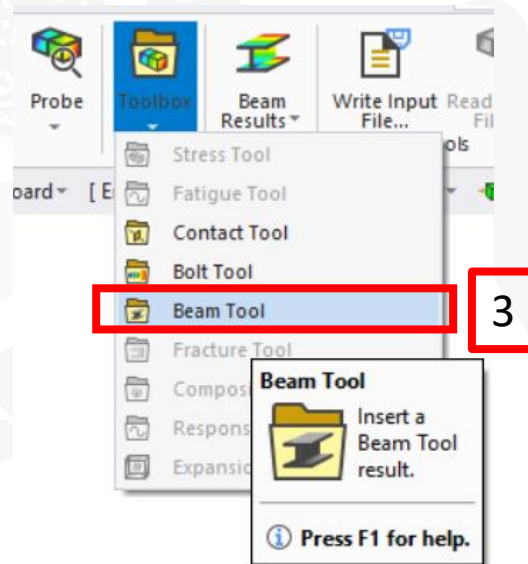
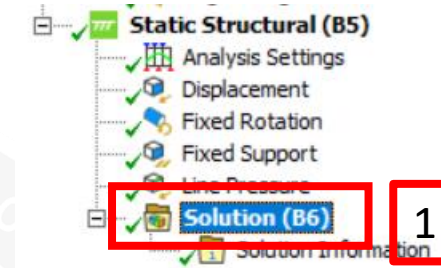
1. Wybierz **Solve**. Poczekaj...





Dodaj wyniki analizy

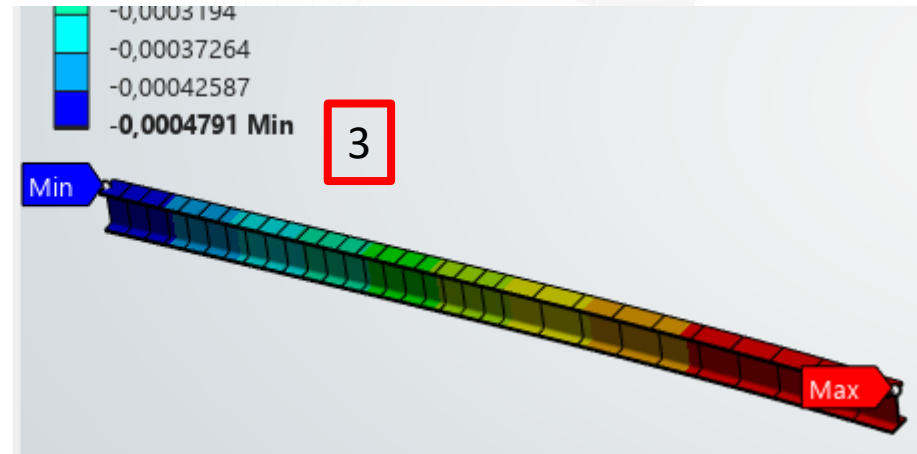
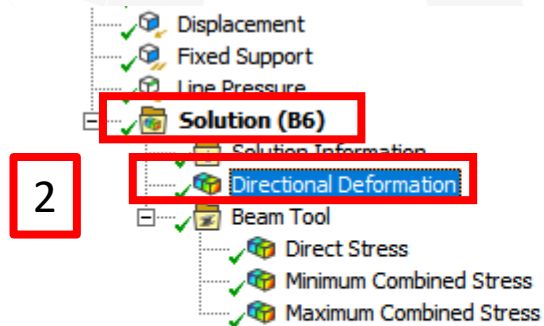
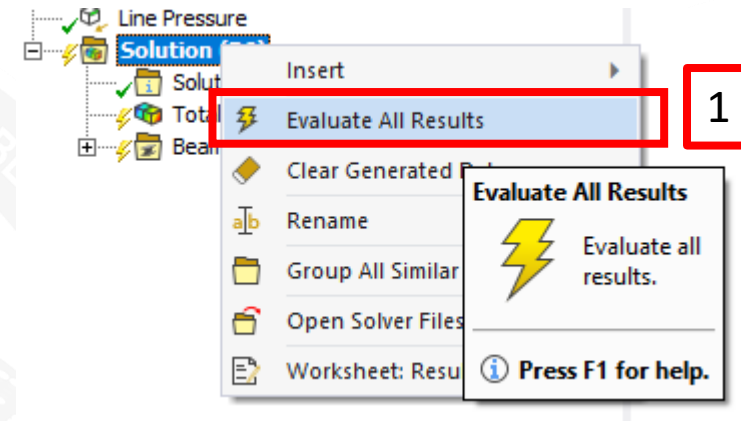
1. Wybierz obiekt **Solution** w drzewie.
2. Wybierz **Deformation, Directional**. Wybierz składową przemieszczeń **Y**.
3. Wybierz **Toolbox, Beam Tool**





Oblicz i wyświetl wyniki

1. Wybierz **PPM** obiekt **Solution** w drzewie. Wybierz **Evaluate All Results**
2. Wyświetl ugiętą belkę – **Directional Deformation**.
3. Zwróć uwagę na maksymalną (co do modułu) wartość przemieszczenia: **0.0004791 m = 0.4791 mm**. Znak minus oznacza, że przemieszczenie belki ma zwrot przeciwny do osi **Y** (w dół).

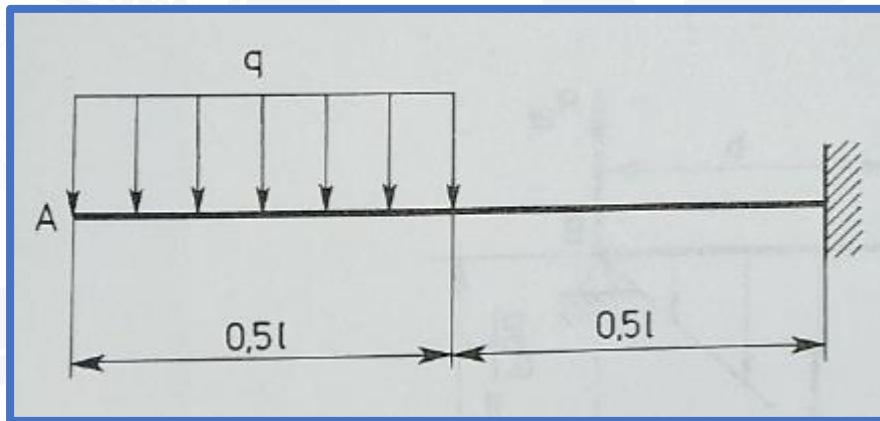




Sprawdź wynik przemieszczeń maksymalnych (1)

Rozwiązanie analityczne przemieszczeń liniowych i kątowych swobodnego końca belki podano w zbiorze zadań

M. Banasiak, K. Grossman, M. Trombski: Zbiór zadań z wytrzymałości materiałów, PWN, Warszawa 1998.



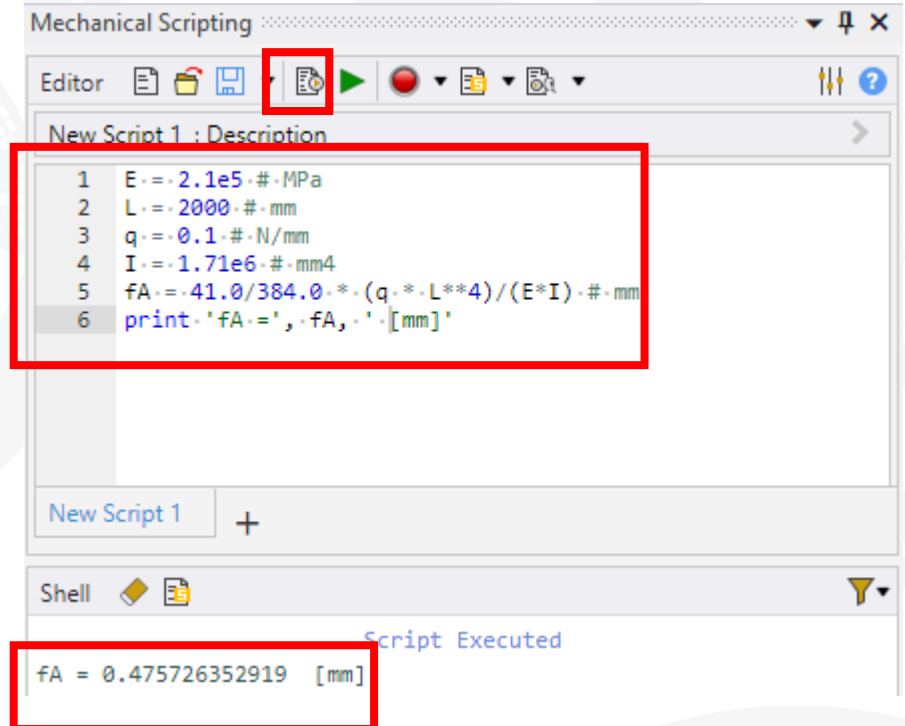
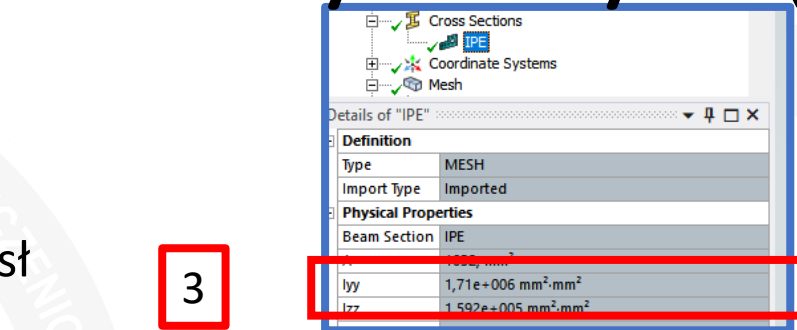
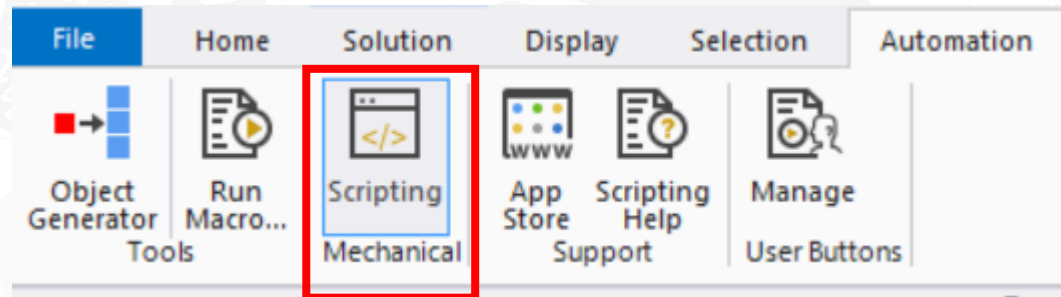
$$f_A = + \frac{41}{384} \cdot \frac{ql^4}{EJ_y}, \quad \theta_A = - \frac{7}{48} \cdot \frac{ql^3}{EJ_y},$$





Sprawdź wynik przemieszczeń maksymalnych (2)

- Wybierz obiekt **Automation, Scripting** (1)
- Wpisz krótki skrypt **Pythona** (2) i uruchom go (3). Sprawdź wartość przemieszczenia. Wynik przemieszczeń MES wyniósł **1.0536 mm**.

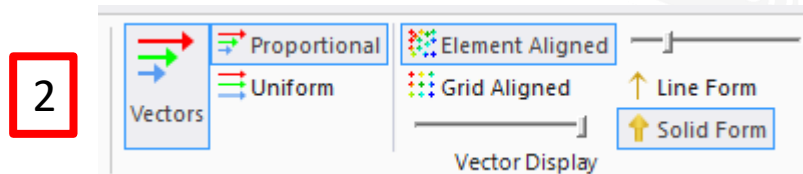
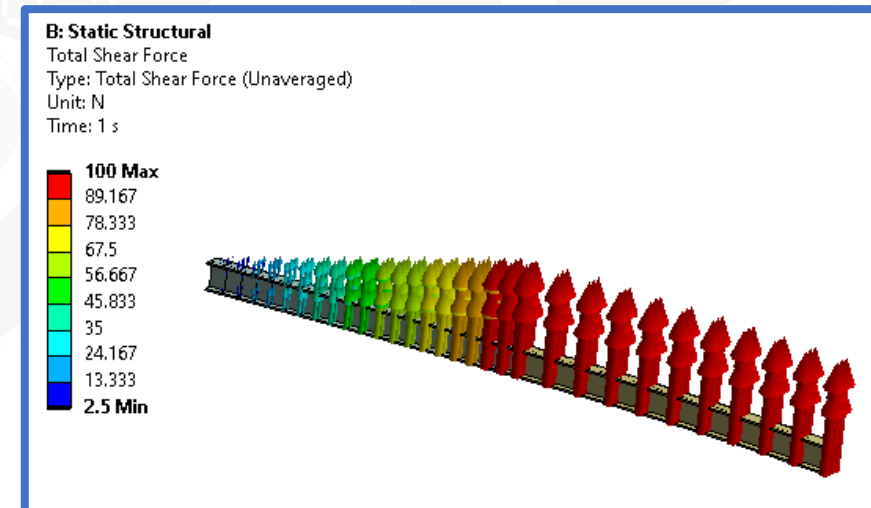
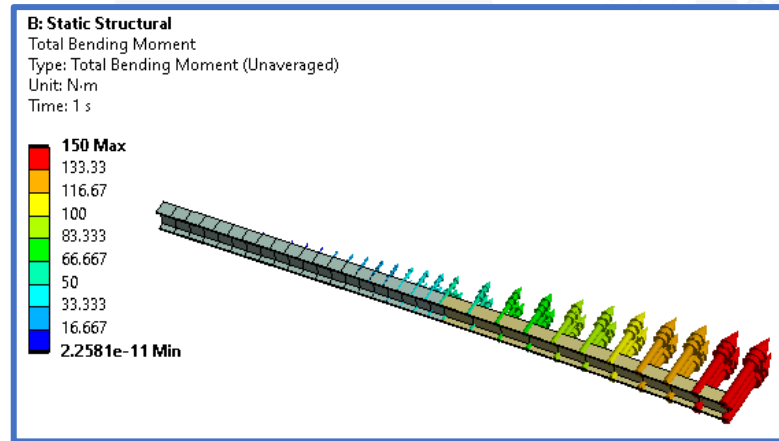
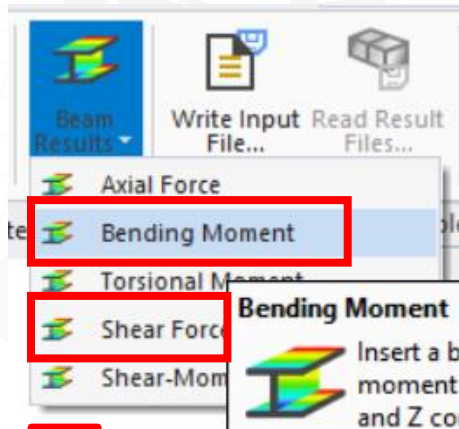
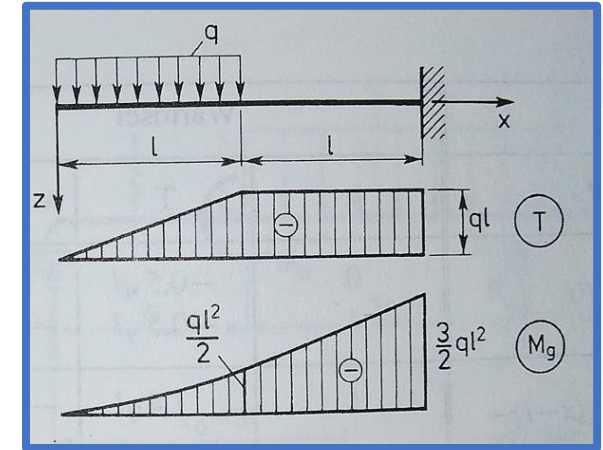


- Wartość momentu bezwładności przekroju **I** możesz odczytać w oknie **Details of IPE**
- Jaką różnicę względną przemieszczenia uzyskano? Możesz ją obliczyć w powłoce Pythona.
- Czy różnica jest akceptowalna? Z czego może ona wynikać? Jak można uzyskać dokładniejszy wynik?



Wyświetl wykresy sił wewnętrznych

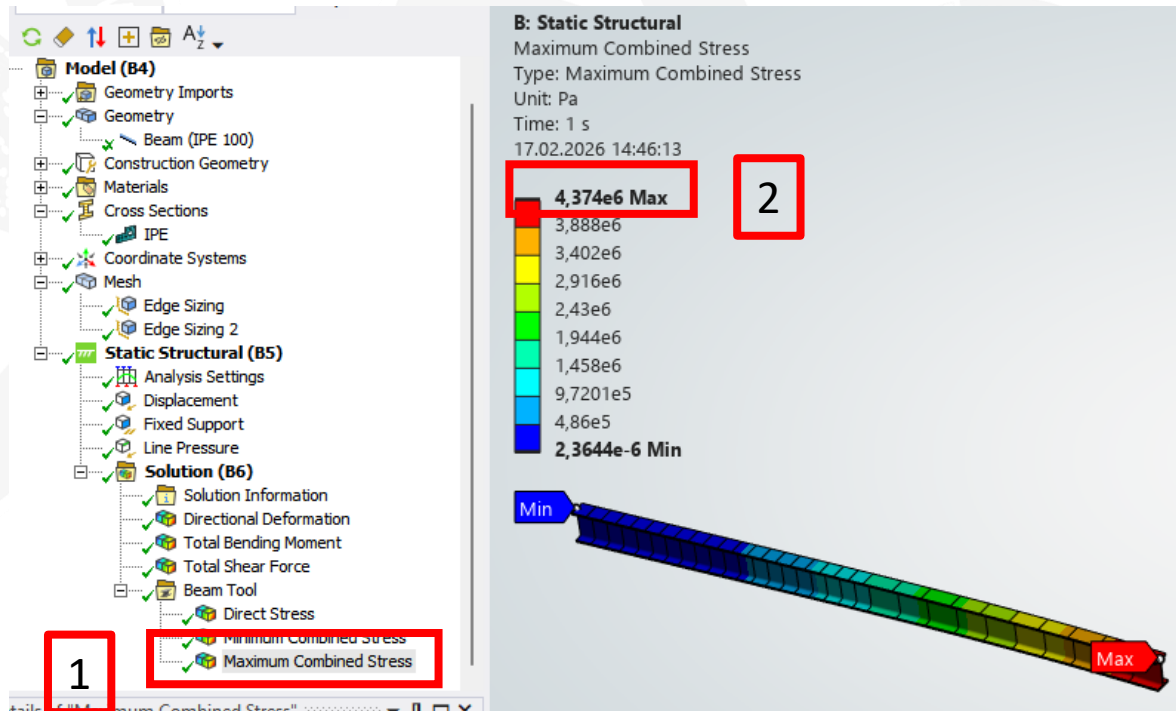
1. Wybierz obiekty **Results, Beam Results, Bending Moment** oraz **Shear Force**
2. Uaktualnij wyniki. Wyświetl wykresy sił wewnętrznych: **Total Bending Moment, Total Shear Force**. Wypróbuj działanie przycisków kontroli wizualizacji pola wektorowego.





Wyświetl wyniki naprężeń

1. Wybierz obiekt **Maximum Combined Stress** w drzewie.
2. Zwróć uwagę na maksymalną wartość naprężeń: ok. **4.36 MPa**. Jest ona niższa od granicy plastyczności materiału **$R_e=235$ MPa**



- Sprawdź wartość naprężeń wykonując obliczenia analityczne.
- Co by było w przypadku gdyby wartość naprężeń przekroczyła R_e ?
- Czy można by było zastosować aktualny model materiału?

```
Mechanical Scripting
Editor
New Script 1 : Description
1 E := 2.1e5 # MPa
2 L := 2000 # mm
3 q := 0.1 # N/mm
4 I := 1.71e6 # mm4
5 fA := 41.0/384.0 * (q * L**4) / (E * I) # mm
6 print 'fA = ', fA, ' [mm]'
7
8 Mmax := 150e3 # Nmm
9 h := 100 # mm
10 W := I / (h / 2.0)
11 Sigma := Mmax / W
12 print 'Sigma_max = ', Sigma, ' MPa'

New Script 1 +

Shell
Script Executed

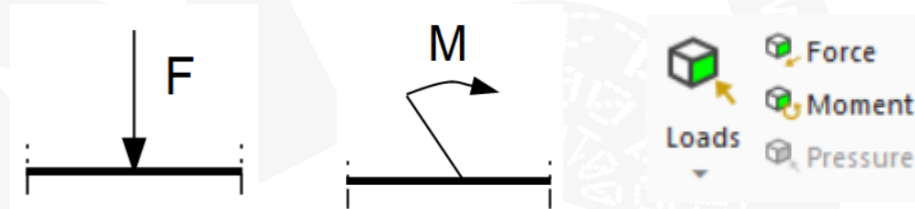
fA = 0.475726352919 [mm]
Sigma_max = 4.38596491228 MPa
>>> |
```



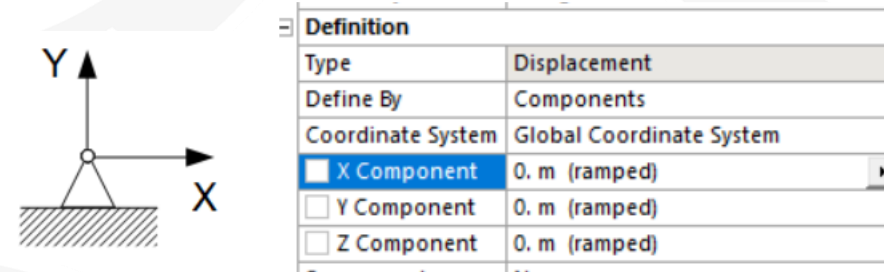
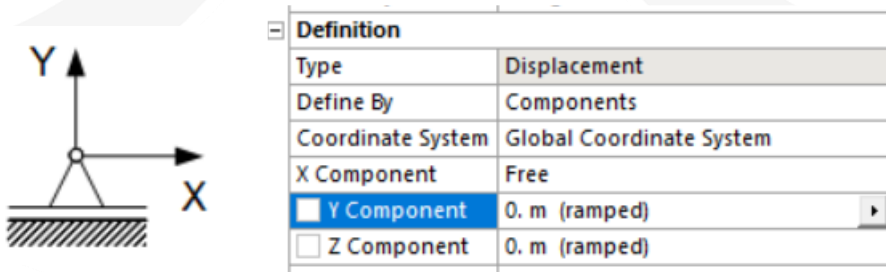


Może się przydać

- Prowadzący zajęcia może zadać inne zadanie, które będzie zawierać inne dane, inne obciążenie, itd.
- W przypadku sił skupionych wykorzystasz obciążenie typu **Force**, a w przypadku momentu skupionego – **Moment**. Musisz zastanowić się nad wartościami i znakami składowych definiowanych wektorów.



- W przypadku podpór przegubowych stałych i przesuwnych pamiętaj o wprowadzeniu wartości **0** w miejscach odpowiadających odpowiednim składowym zadanych przemieszczeń **Displacement**:





Podsumowanie

Wykonując ćwiczenie nauczyłeś/aś się jak:

- Wykonać analizę układu belkowego z wykorzystaniem elementów 1D.
- Definiować zbiory wyników.
- Sprawdzić poprawność wyników analizy.





KONIEC

