

Wytrzymałość materiałów

Zastosowanie MES do rozwiązywania układów prętowych

Studia I stopnia stacjonarne
Laboratorium



Altair® HyperMesh®



Altair® OptiStruct®

2025.1



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 programy **Hypermesh** i **OptiStruct**, który możesz pobrać ze strony internetowej: <https://altairone.com/Marketplace>
- Pamiętaj, żeby najpierw zarejestrować się, pobrać i zainstalować obydwa programy!
- Instrukcja jest przygotowana dla wersji **2025.1**.



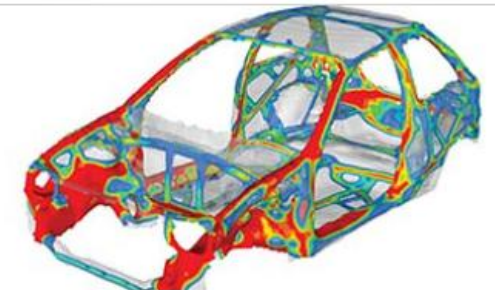
Student Edition License



Altair® HyperMesh®



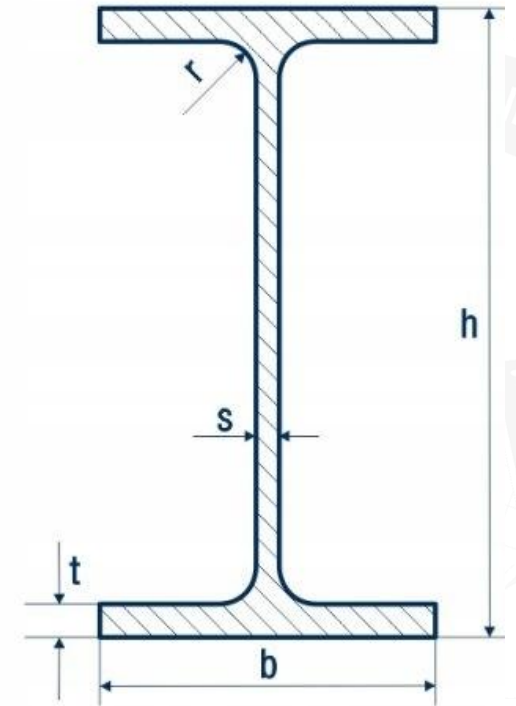
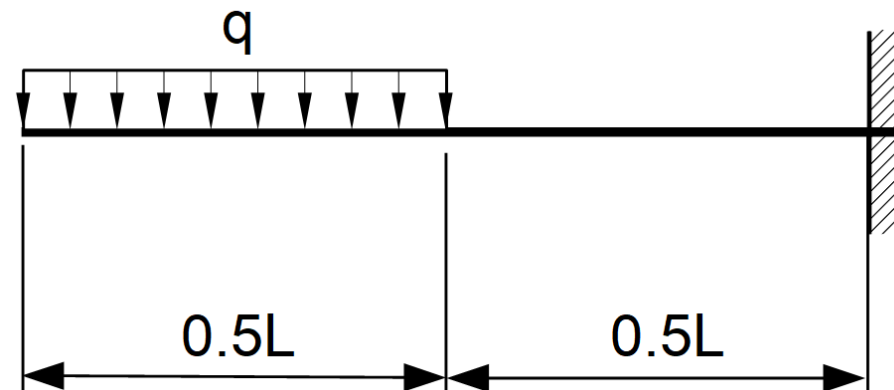
Altair® OptiStruct®





Parametry układu

- Materiał: stal **S235J**, $E=210$ GPa, $\nu=0.3$, $R_e=235$ MPa, $R_m=410$ MPa
- Przekrój: dwuteownik **IPE80**
- Wymiary: $h=80$ mm, $b=46$ mm, $t=5.2$ mm, $s=3.8$ mm, $r=5$ mm
- Długość: $L = 2\text{m} = 2000$ mm
- Obciążenie ciągłe: $q = 100$ N/m = 0.1 N/mm





Uruchom program

Uruchom program **Hypermesh**

1. Wybierz rodzaj sesji - **Hypermesh**
2. Wybierz profil (program wykonujący właściwe obliczenia):
OptiStruct
3. Wybierz katalog roboczy (możesz utworzyć własny podkatalog)
4. Utwórz sesję



HyperMesh 2025.1
Aplikacja



Altair HyperWorks 2025.1

New Session

1

HyperMesh

HyperView

HyperGraph

MotionView

MediaView

2

Profile: OptiStruct

3

Directory: D:\Studenci

4

Create Session

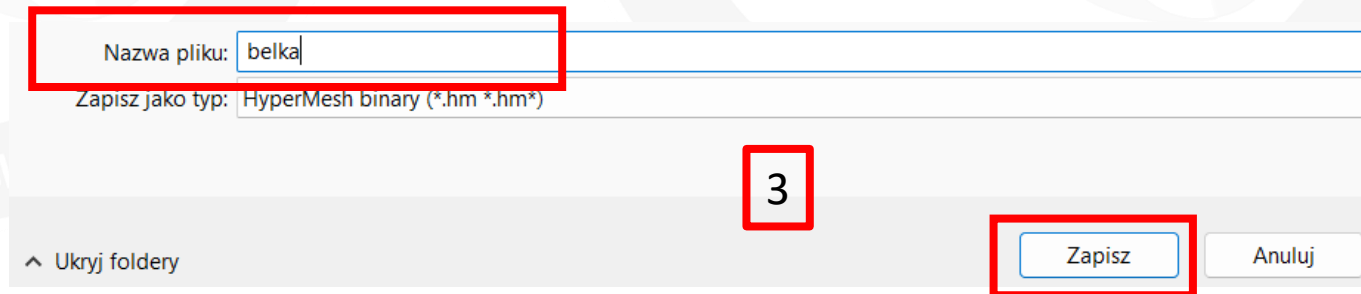
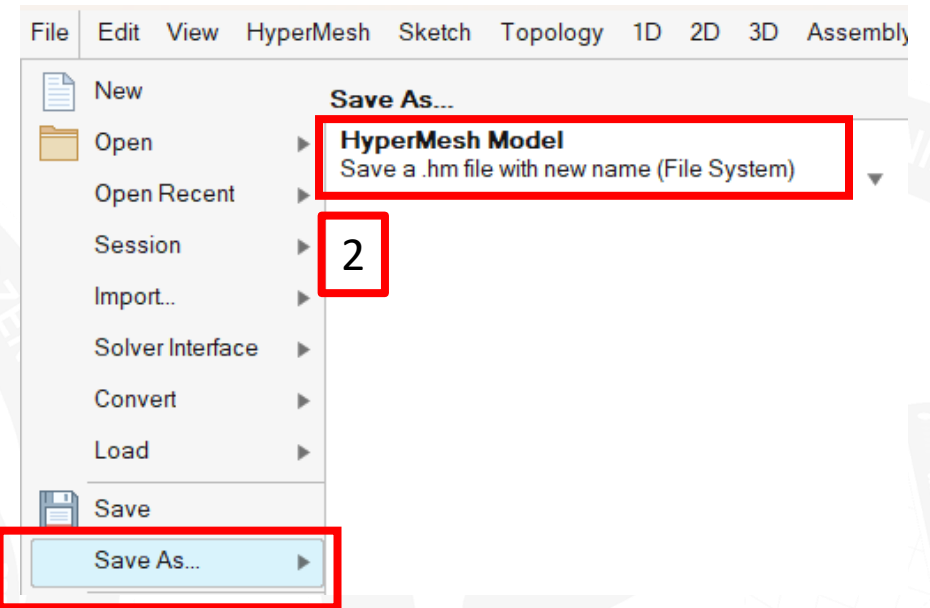
Don't show this again



Zapisz projekt

Uruchom program **Hypermesh**

1. Wybierz **File -> Save As...**
2. Wybierz **HyperMesh Model**
3. Wpisz nazwę pliku i kliknij **Zapisz**

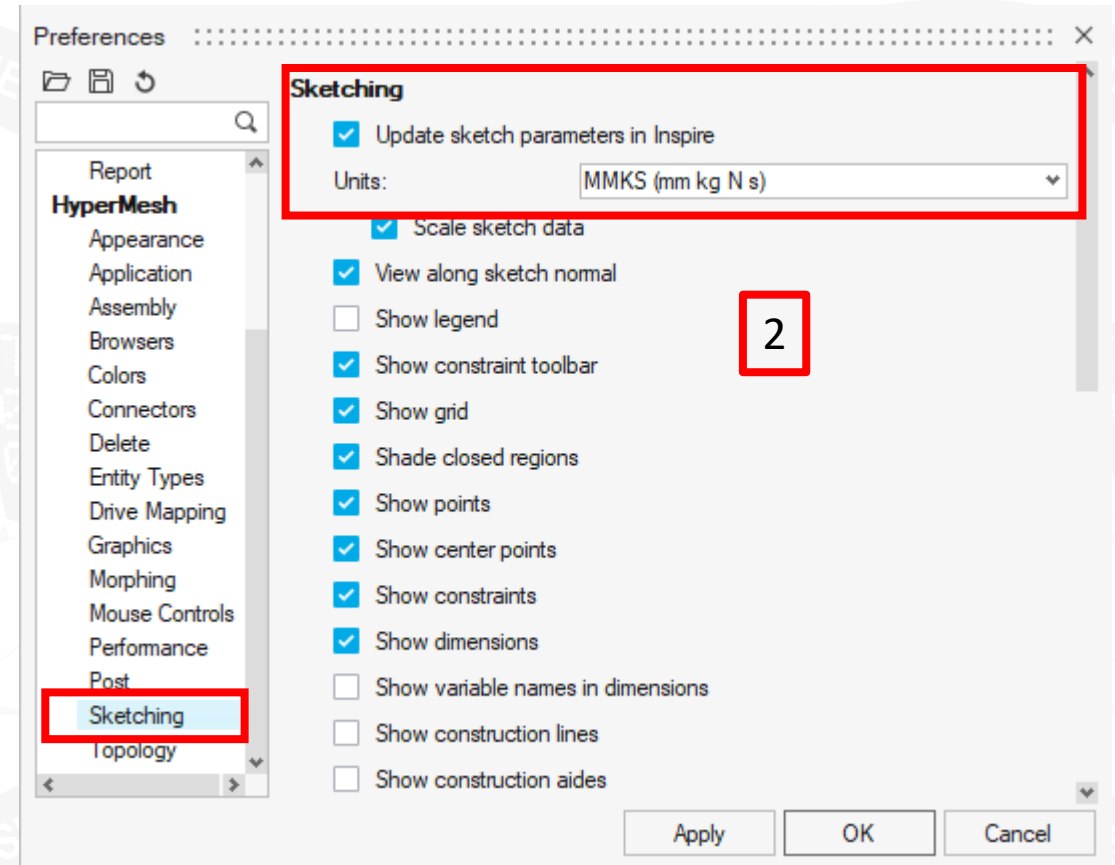


Dobrym nawykiem jest zapisywanie projektu po wykonaniu każdego etapu. Najłatwiej jest to robić kombinacją klawiszy **CTRL+S**.



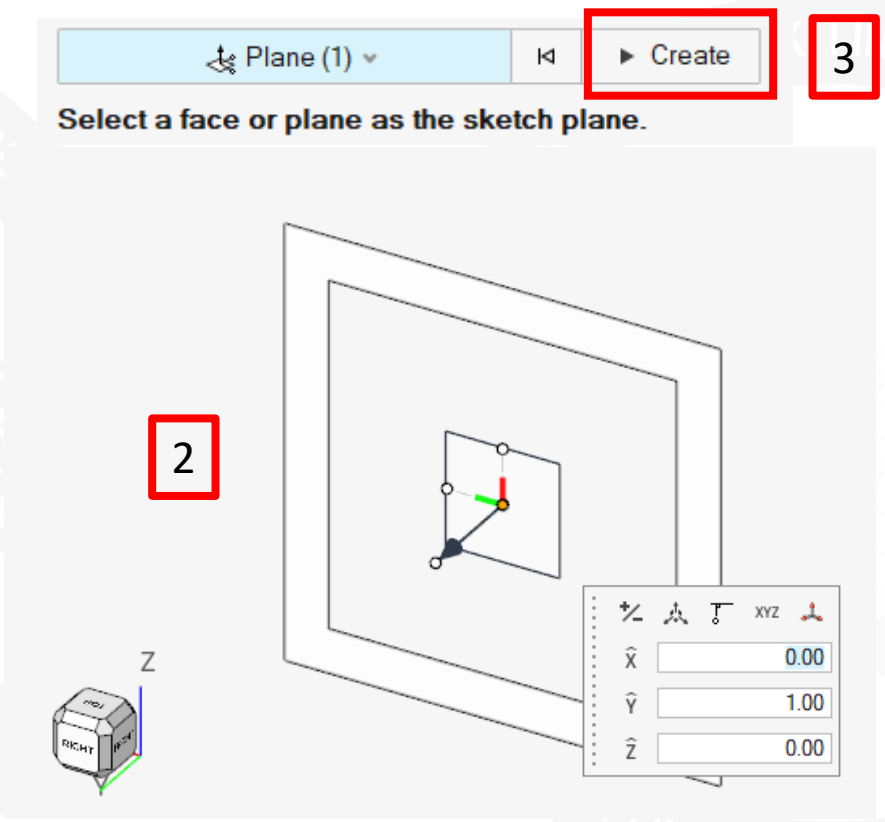
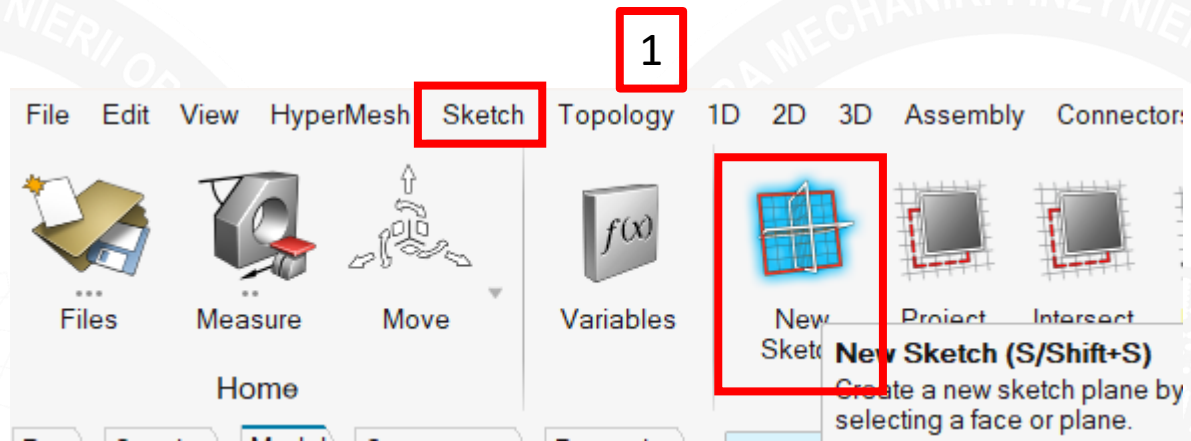
Ustaw jednostki

1. Wybierz **File -> Preferences**
2. Ustaw układ jednostek





Utwórz szkic

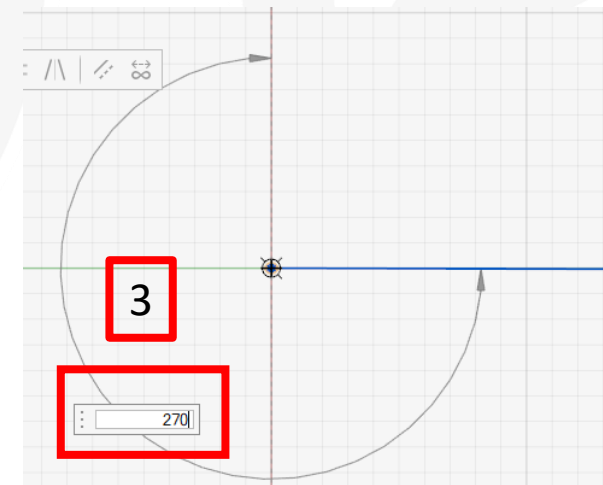
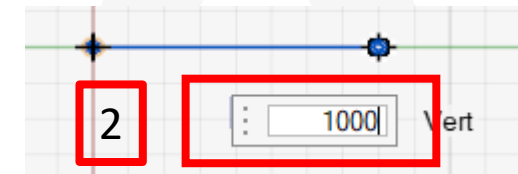
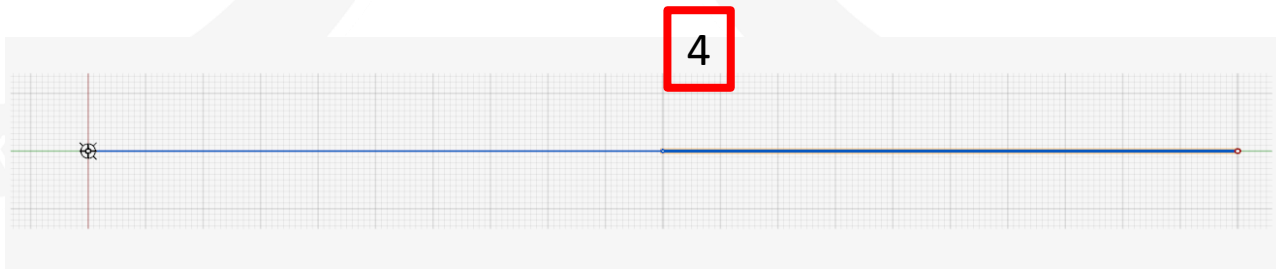


1. Z górnego menu wybierz pasek **Sketch** oraz **New Sketch**
2. Wybierz płaszczyznę **XZ**
3. Kliknij **Create**



Narysuj linie

1. Wybierz **Line**. Wskaż początek układu współrzędnych jako pierwszy punkt linii.
2. Wpisz długość: **1000 mm**
3. Wpisz kąt: **270** stopni. Naciśnij Enter.
4. Zaczynaj od razu rysować drugą linię o tej samej długości. Dostosuj kąt. Zakończ rysowanie klawiszem **Escape**.





Widok narysowanych linii

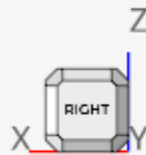
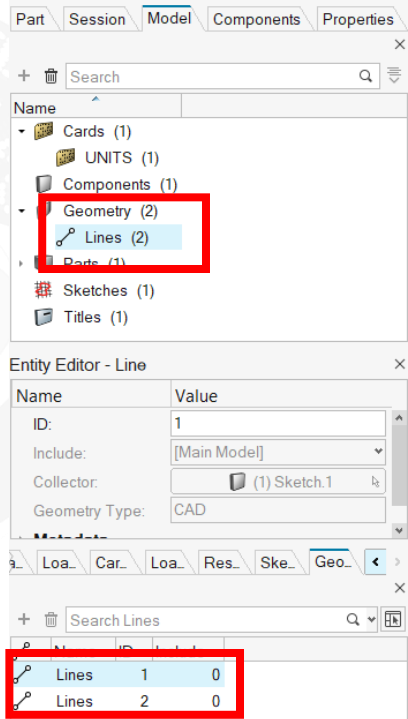
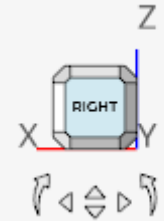
1. Wyśrodkuj linie.
2. Zwróć uwagę na reprezentację nowych obiektów w zakładkach **Model** i **Geometry**.

Nawigacja:

Przesuwanie – prawy przycisk myszy (**PPM**)

Zoom - **rolka**

Widoki w płaszczyznach układu współrzędnych ->



1

Fit Selected (F)

Adjust the view to fit tightly around selected entities. If no entities are selected, fit around the model.

Press F1 for more help.

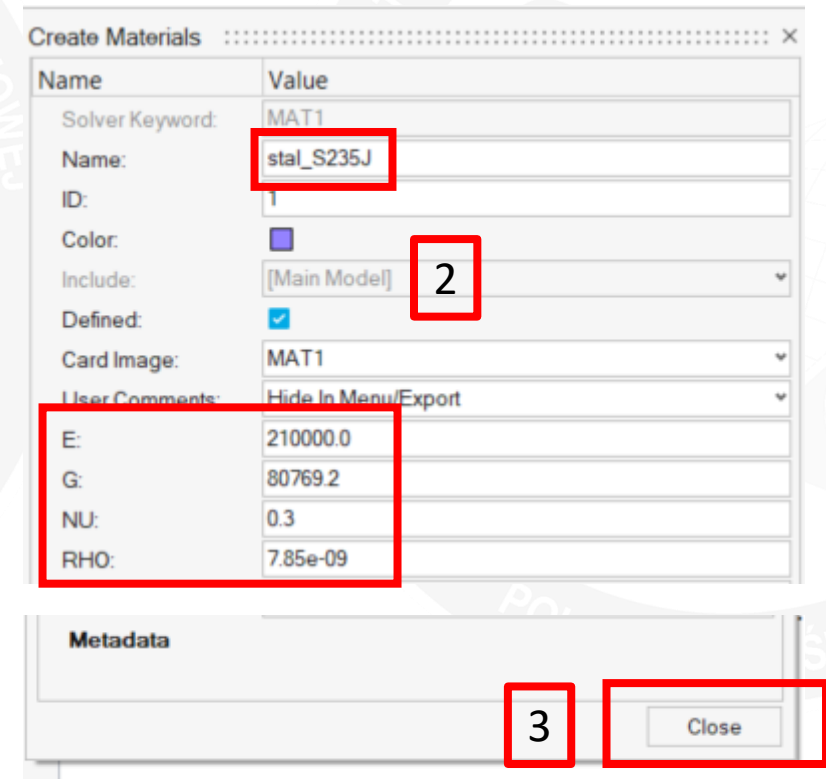
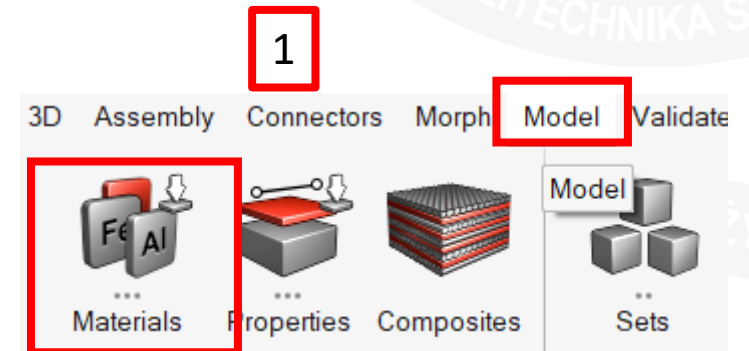
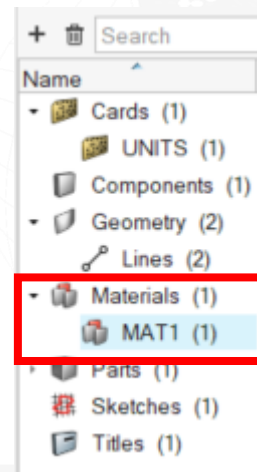




Utwórz materiał

1. Wybierz pasek **Model, Materials**
2. Wprowadź nazwę oraz własności (**E** – moduł Younga, **G** – moduł Kirchhoffa, **NU** – liczba Poissona, **RHO** - gęstość).
3. Kliknij **Close**. Zwróć uwagę na nowy obiekt w modelu.

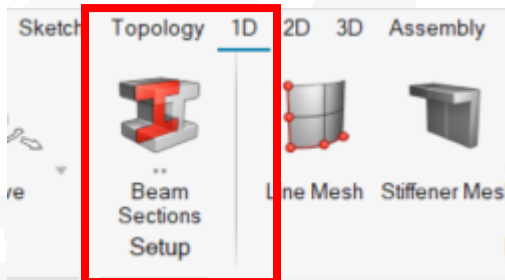
W przypadku stali program sam podpowiada odpowiednie wartości. Wielkości **G** oraz **RHO** nie są podane w treści naszego zadania, lecz program wymaga ich wprowadzenia (szczególnie gęstość nie jest wykorzystywana w analizie statycznej a moduł Kirchhoffa może być obliczony dla materiału izotropowego na podstawie **E** i **NU**).



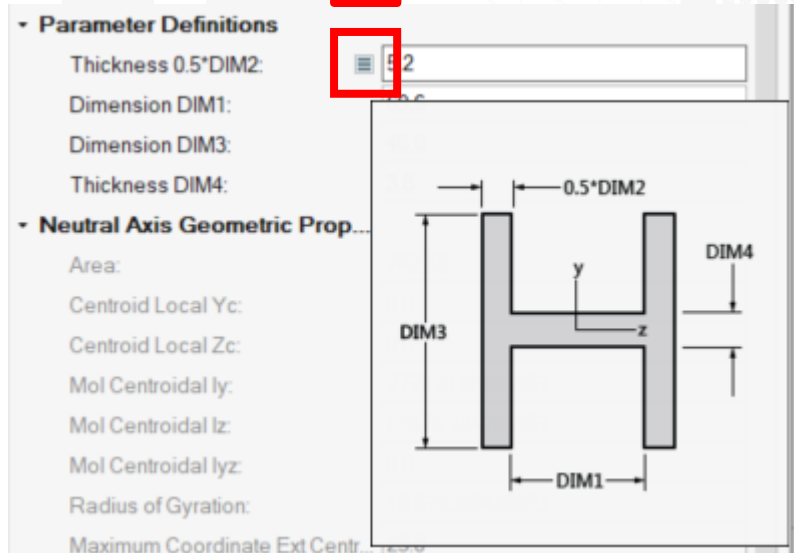


Utwórz przekrój belki

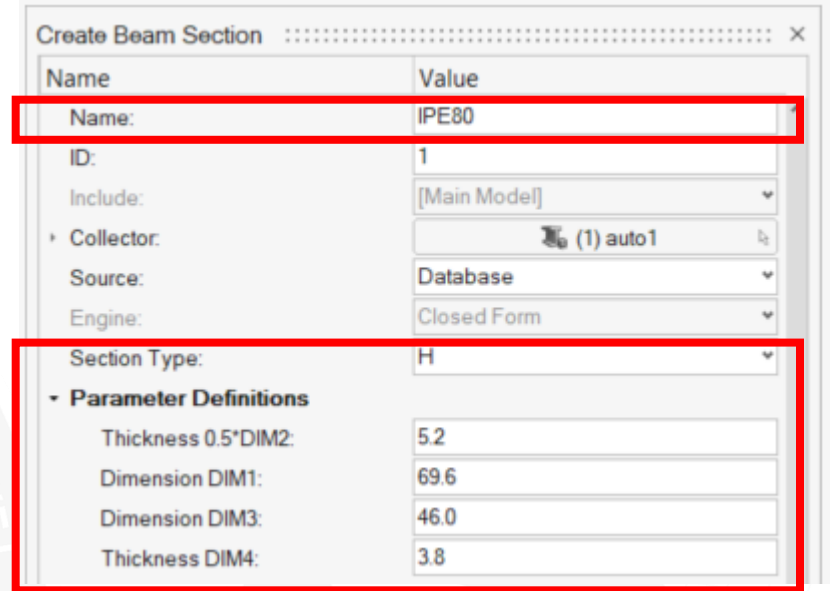
1. Wybierz pasek **1D**, **Beam Sections Setup**.
2. Wprowadź nazwę.
3. Wskaż kursorem pole podpowiedzi przy jednym z parametrów – wyświetli się rysunek pomocniczy z wymiarami, które należy wprowadzić. **Zwróć uwagę na orientację przekroju!**
4. Wprowadź typ przekroju **Section Type: H** oraz wymiary i zamknij okno przyciskiem **Close**.



1

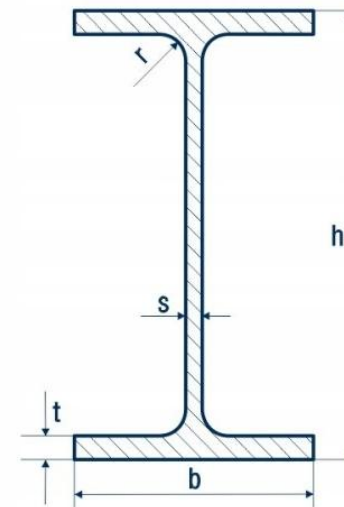


3



2

4



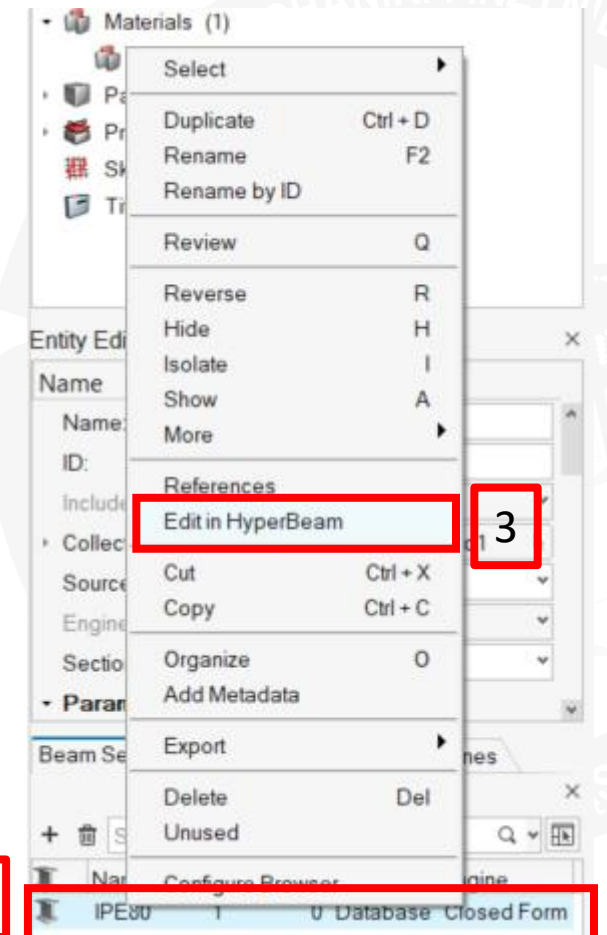
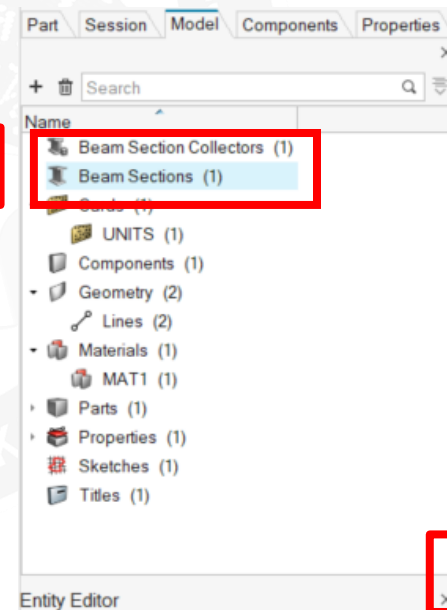
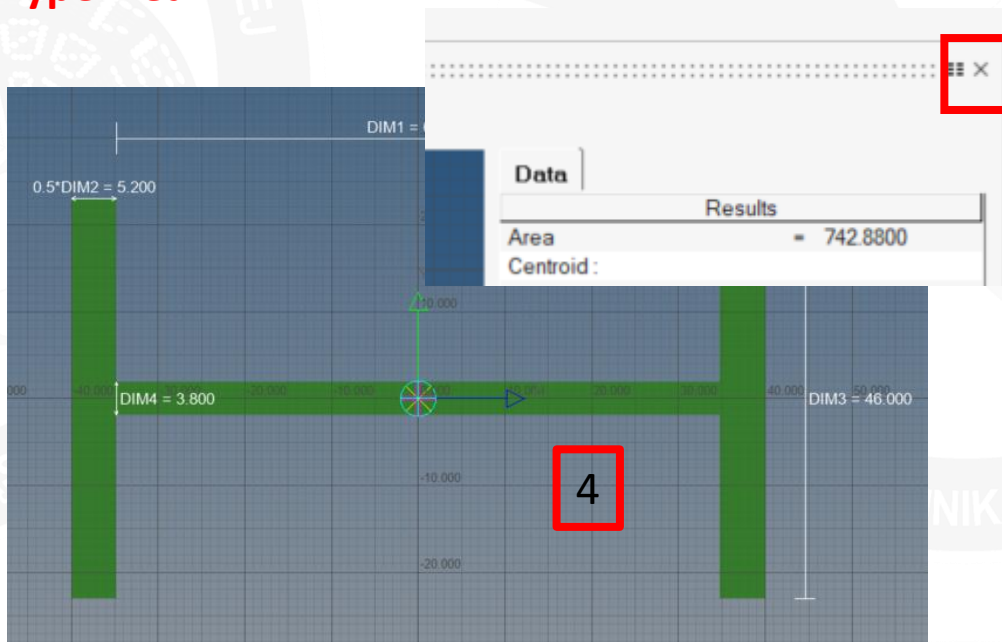
$h=80$ mm, $b=46$ mm,
 $t=5.2$ mm, $s=3.8$ mm,
 $r=5$ mm





Sprawdź przekrój

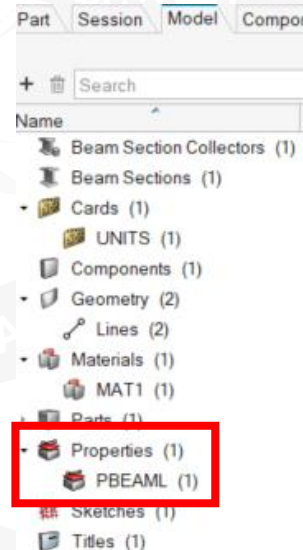
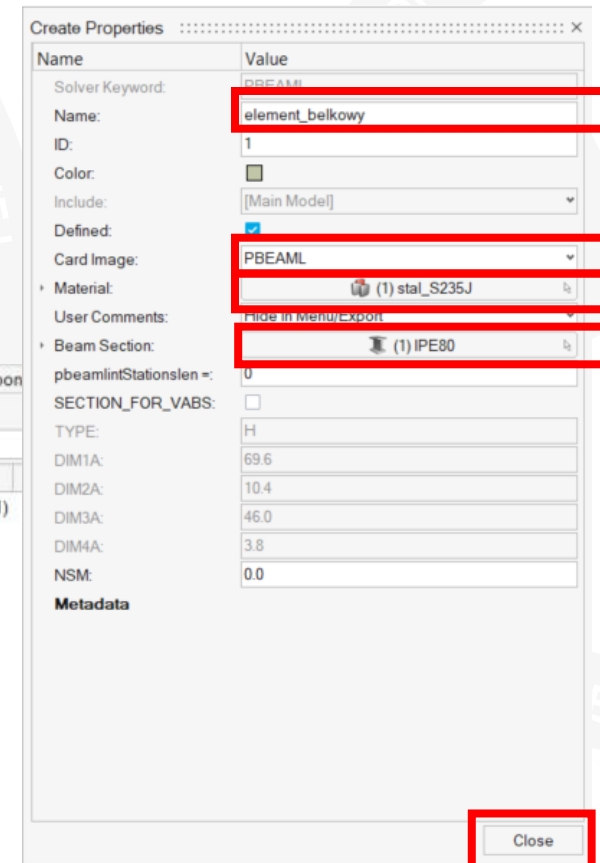
1. W zakładce **Model** wybierz **2xLPM** (lewy przyciski myszy) na **Beam Sections (1)**
2. Poniżej, w panelu **Beam Sections** kliknij **PPM** na **IPE80**
3. Wybierz **Edit in HyperBeam**
4. Sprawdź wymiary. Po sprawdzeniu możesz zamknąć okno **HyperBeam**.





Wprowadź własności elementów

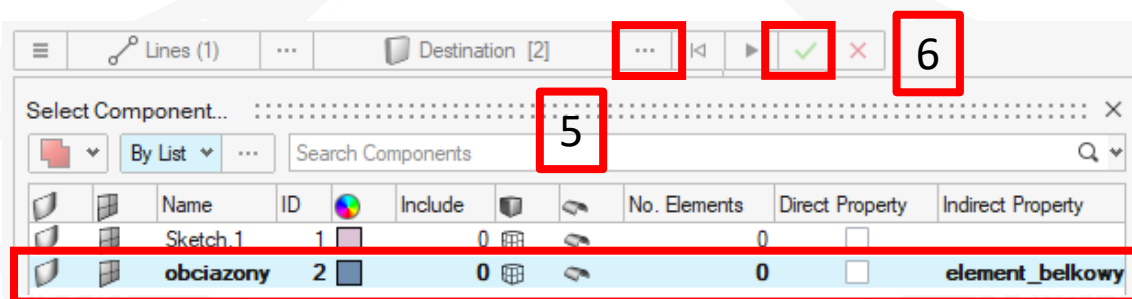
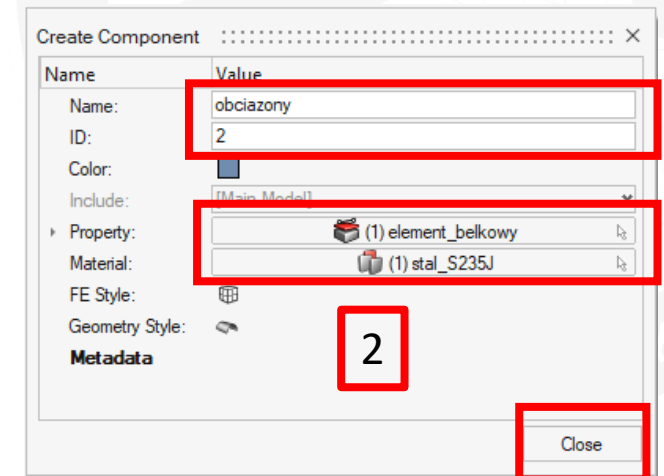
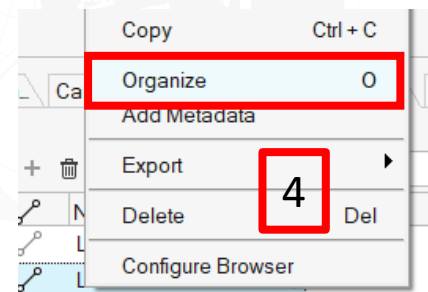
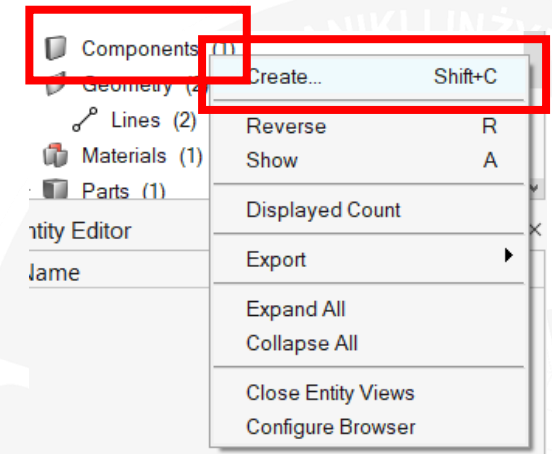
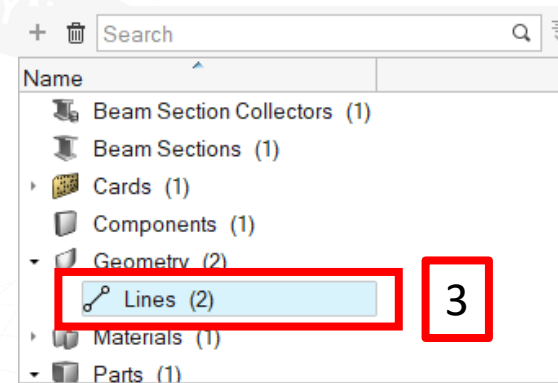
1. Wybierz pasek **Model, Properties**
2. Wprowadź nazwę oraz własności. Materiał i przekrój możesz wybrać z listy (mała ikonka lupy). Pole **Card Image** ustaw na **PBEAML** (jest to nazwa elementu skończonego stosowana w programie OptiStruct, który umożliwia wyznaczenie wymaganych rodzajów naprężeń w belce).
3. Kliknij **Close**.
4. Zwróć uwagę na nowy obiekt w strukturze modelu.





Rozdziel odcinki belki na dwa komponenty

1. W panelu bocznym **Model** Kliknij **PPM Components** -> **Create**
2. Wprowadź parametry nowego komponentu, później **Close**
3. Kliknij **2xLPM** na **Lines (2)**
4. Kliknij **PPM** na obiekt **Lines z ID 2, Organize**
5. Przy **Destination** wybierz **...** a następnie komponent **obciążony**, potwierdź **OK**
6. Zatwierdź operację zielonym haczykiem



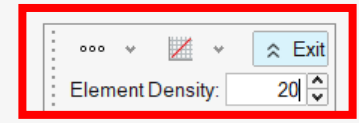
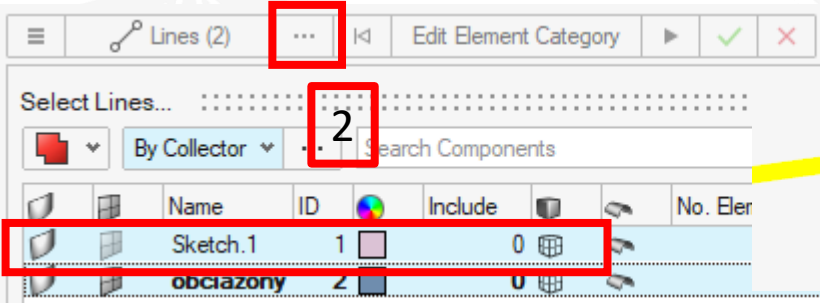
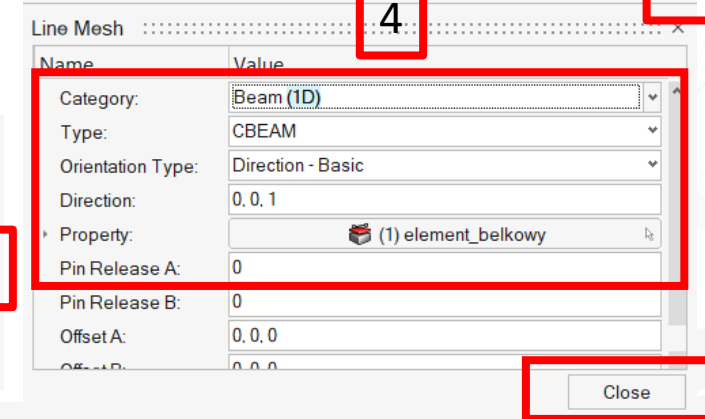
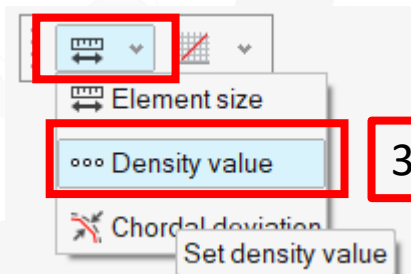
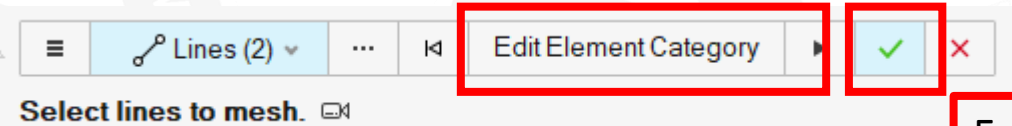
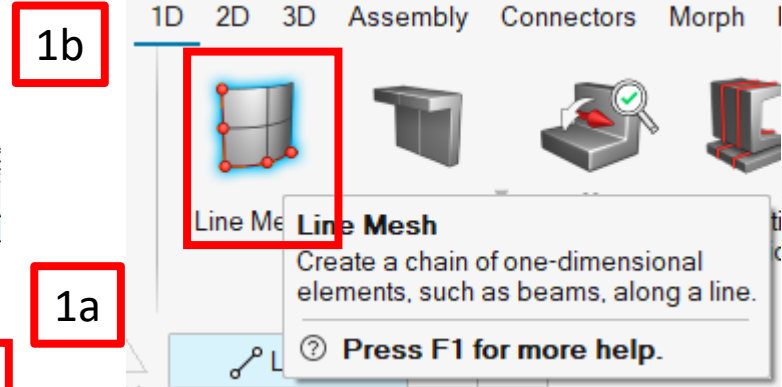
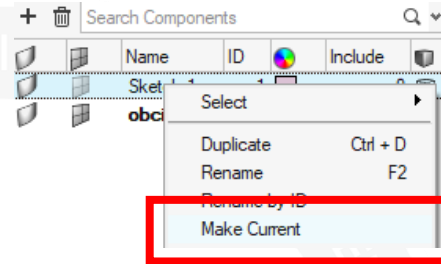
Name	ID	Include
Lines	1	0
Lines	2	0





Utwórz siatkę elementów

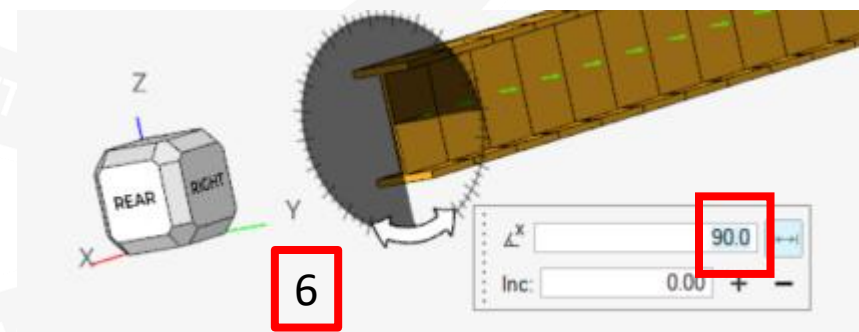
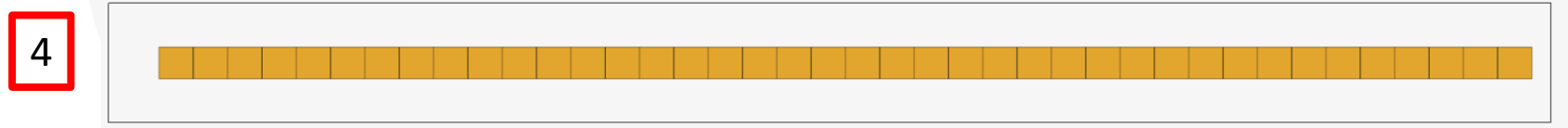
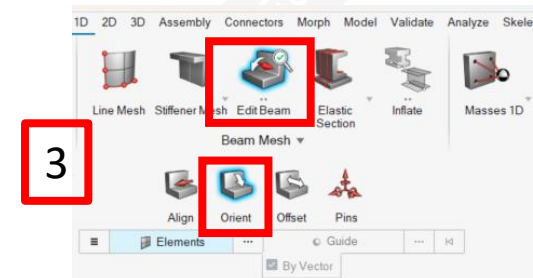
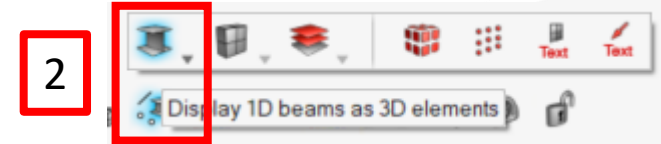
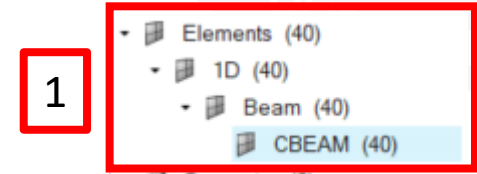
1. a) Ustaw pierwszy komponent jako bieżący **PPM**, **Make Current**. b) Wybierz **1D** -> **Line Mesh**
2. Wybierz ... i zaznacz pierwszy z komponentów. Kliknij **OK**
3. Wybierz **Element Density** (wyświetla się w okolicy modelu) i wpisz **20**, **Exit**.
4. Wybierz **Edit Element Category** i uzupełnij własności elementów. **Close**
5. Zatwierdź operację tworzenia siatki zielonym haczykiem oraz zakończ klawiszem **Escape**
6. Powtórz operacje tworzenia siatki dla komponentu **obciążony**





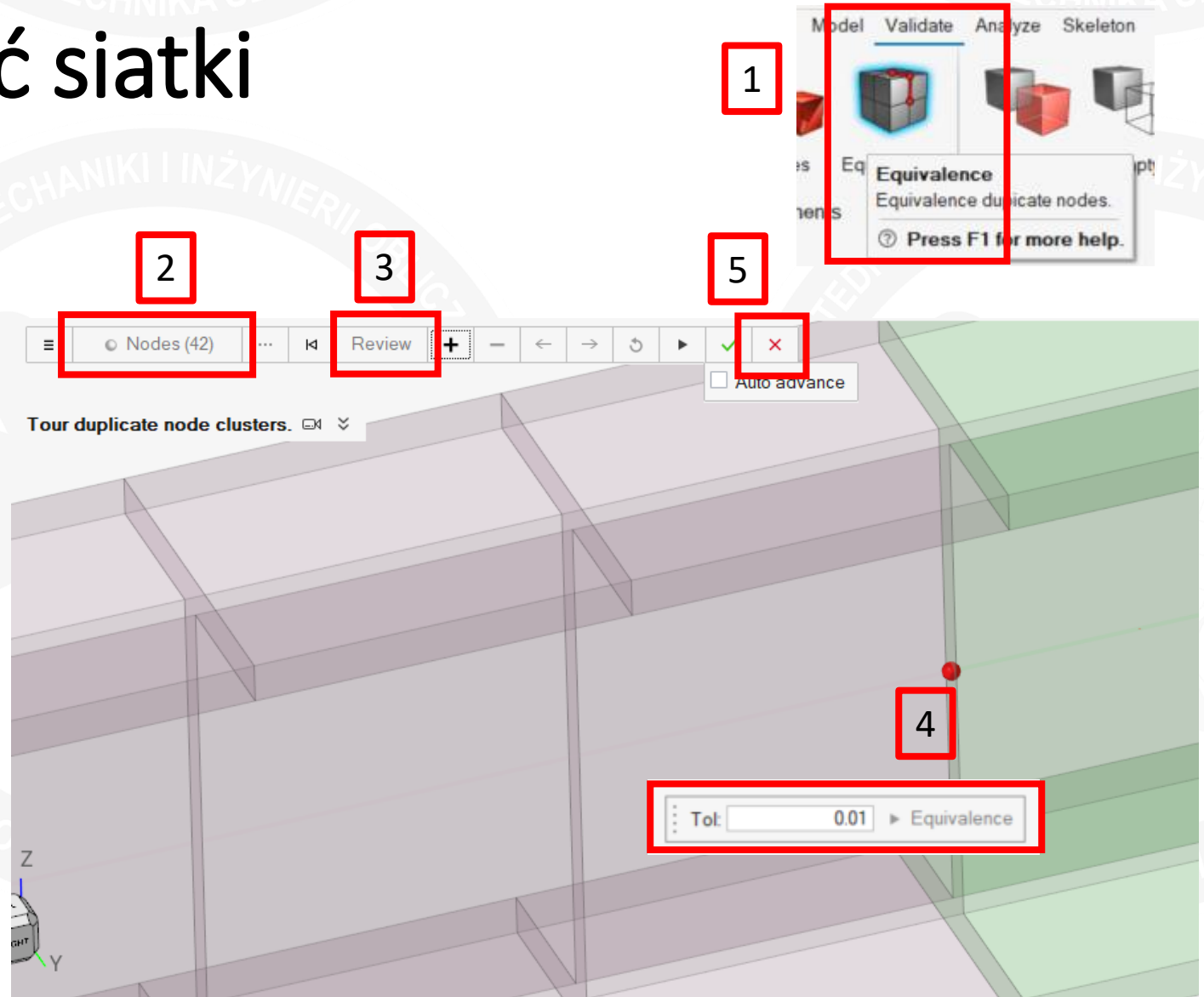
Dostosuj orientację przekroju

1. Sprawdź reprezentację elementów w drzewie
2. Wybierz (na dole okna roboczego): **Display 1D beams as...**
3. Wybierz **Edit Beam, Orient**
4. Zaznacz prostokątem całą belkę (lub **Ctrl+A**)
5. Wybierz narzędzie obrotu przekroju
6. Wpisz kąt i obróć przekrój zgodnie z pokazaną orientacją



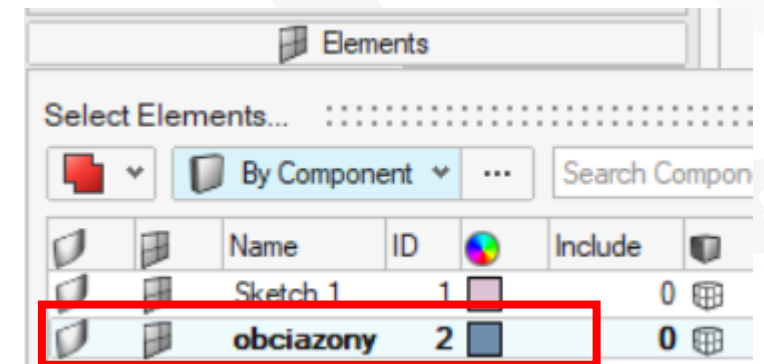
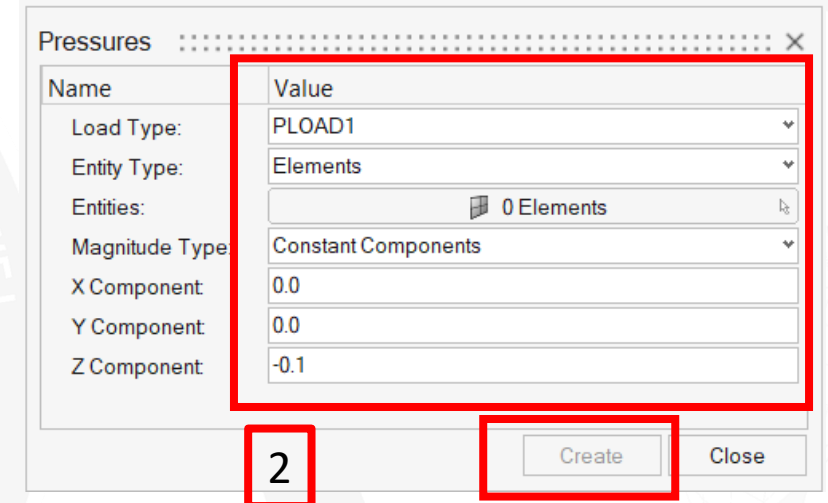
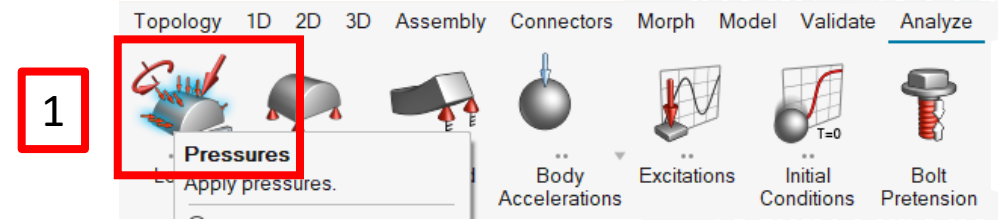
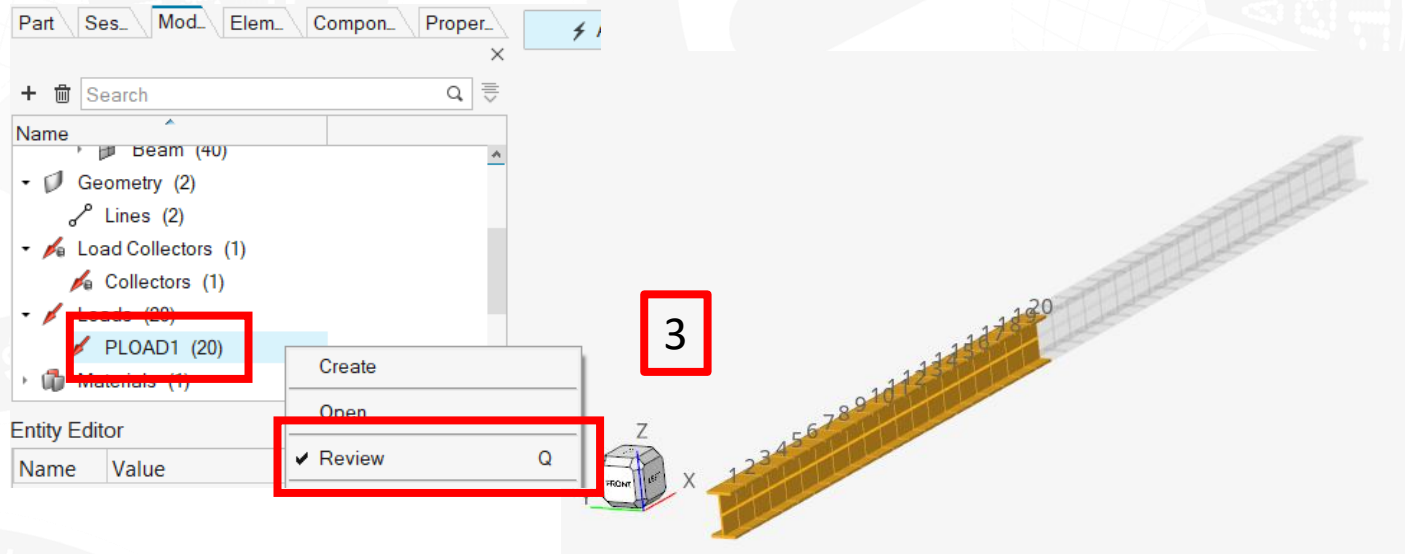
Zapewnij spójność siatki

1. Wybierz **Validate, Equivalence**
2. Wybierz filtr **Nodes** oraz **Ctrl+A** (wszystkie węzły)
3. Wybierz **Review**. Zostanie wskazany jeden wspólny węzeł
4. Wybierz **Equivalence**
5. Zamknij narzędzie



Zdefiniuj obciążenie belki

1. Wybierz **Analyze, Pressures**
2. Jako typ wybierz **PLOAD1** (obciążenie ciągłe). W polu **Entities** wybierz elementy komponentu **obciazony**. Zatwierdź **OK**. Wybierz parametry obciążenia. Działa ono przeciwnie do osi **Z**. Kliknij **Create**
3. Sprawdź obiekt **PLOAD1** w strukturze projektu – **PPM, Review**





Zdefiniuj obciążenie belki, cd

1. Wybierz **2xLPM PLOAD1**
2. W zakładce **Loads** wybierz wszystkie obiekty **Ctrl+A** lub **SHIFT+LPM**
3. Wpisz parametry obciążenia ciągłego:
 - **TYPE: FZ** – wzdłuż osi Z
 - **SCALE: FR** – położenie punktów na elemencie odniesione do jego długości
 - **X1: 0.0** – początek obciążenia (pierwszy kraniec elementu)
 - **X2: 1.0** – koniec obciążenia (drugi kraniec elementu)
 - **P1, P2** – wartość obciążenia na końcach elementu (P1=P2)

Name	ID	Include
Loads	1	0
Loads	2	0
Loads	3	0
Loads	4	0
Loads	5	0
Loads	6	0
Loads	7	0
Loads	8	0
Loads	9	0
Loads	10	0
Loads	11	0
Loads	12	0
Loads	13	0
Loads	14	0
Loads	15	0
Loads	16	0
Loads	17	0
Loads	18	0
Loads	19	0
Loads	20	0

Entity Editor - Load

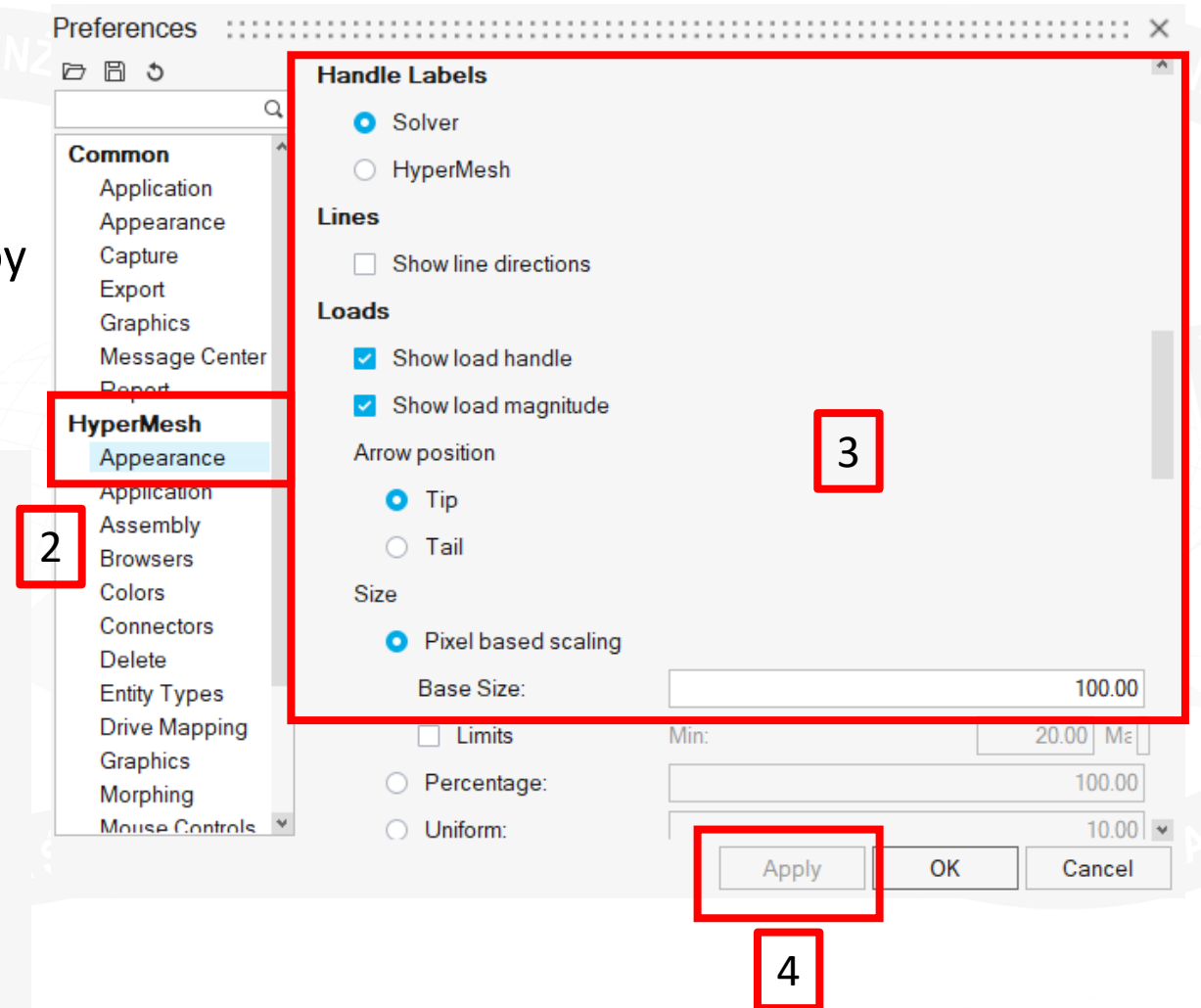
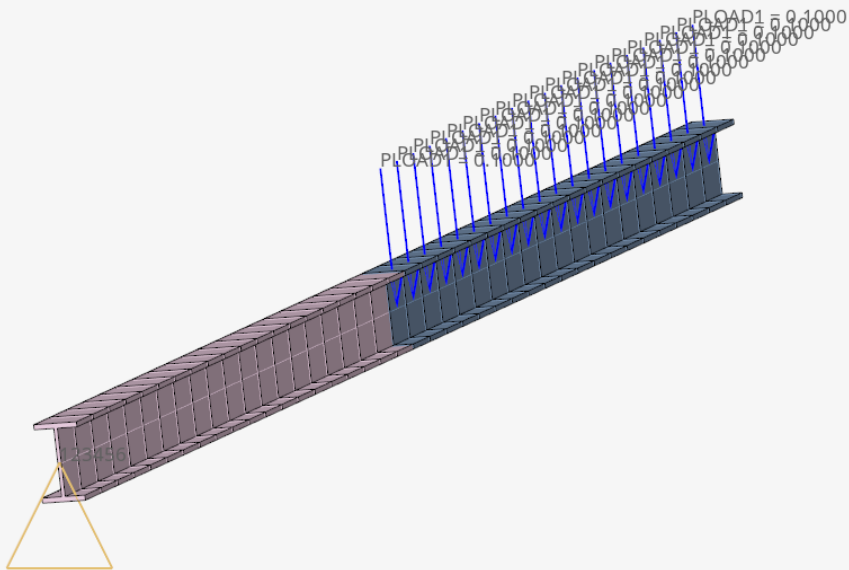
Name	Value
Include:	[Main Model]
Type:	PLOAD1
Config:	Pressure
Collector:	(1) auto1
Total Magnitude:	0.1
Direction:	0. 0. -1
X-magnitude:	0.0
Y-magnitude:	0.0
Z-magnitude:	-0.1
Entity id:	###
Pressure type:	Pressure on face
TYPE:	FZ
SCALE:	FR
X1:	0.0
P1:	-0.1
X2:	1.0
P2:	-0.1





Ustaw opcje wyświetlania

1. Wybierz **File, Preferences**
2. Wybierz **HyperMesh, Appearance**
3. Dostosuj opcje wyświetlania obciążenia tak żeby symbole na schemacie belki stały się czytelne.
4. Potwierdź **Apply**

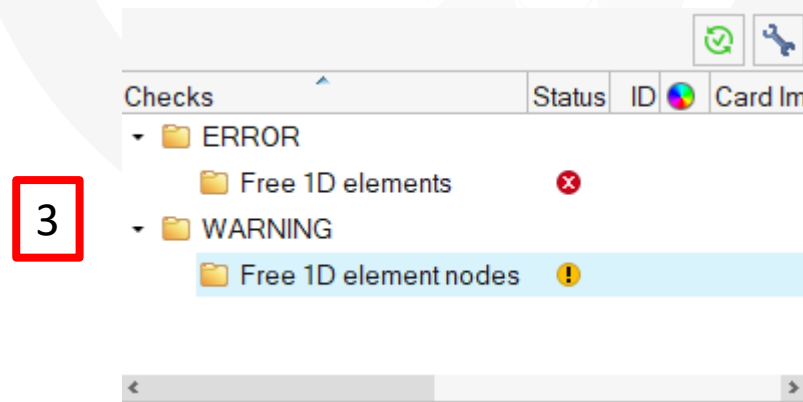
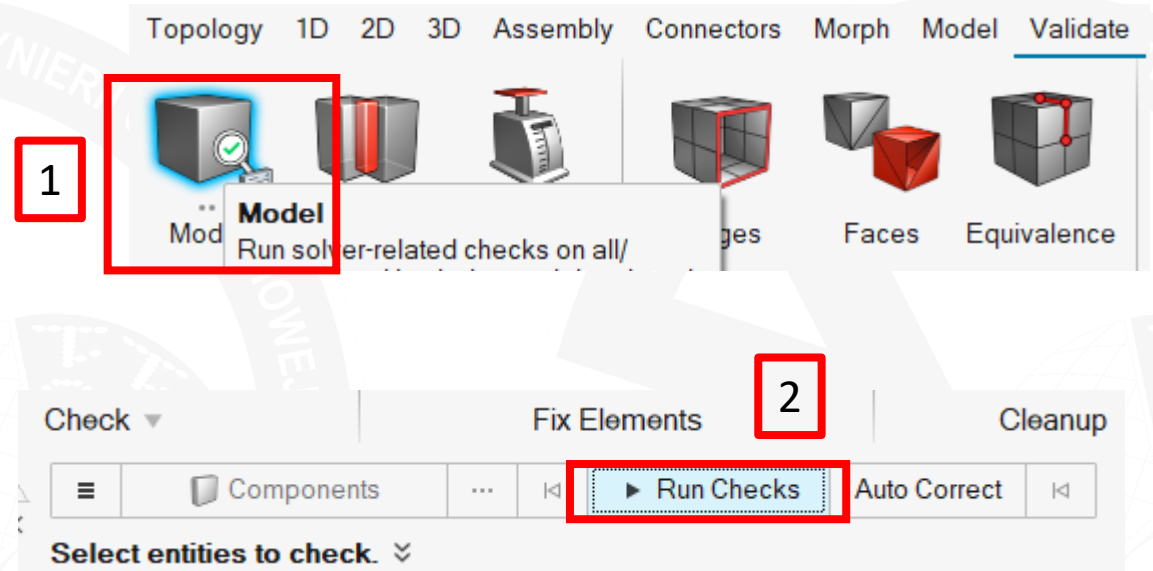




Sprawdź poprawność modelu

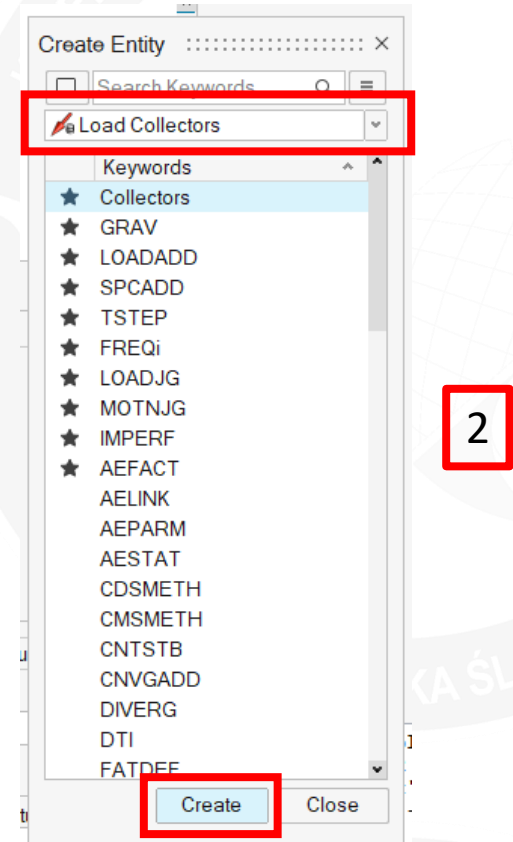
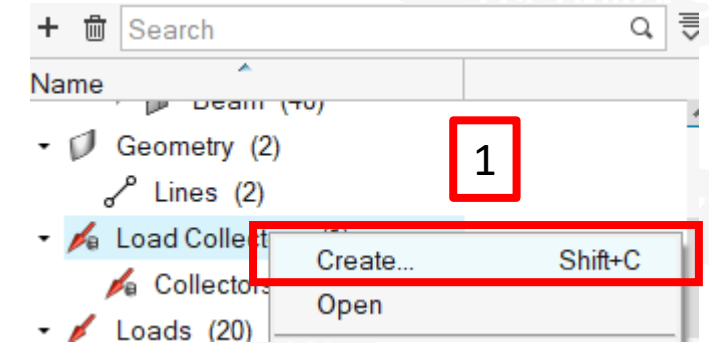
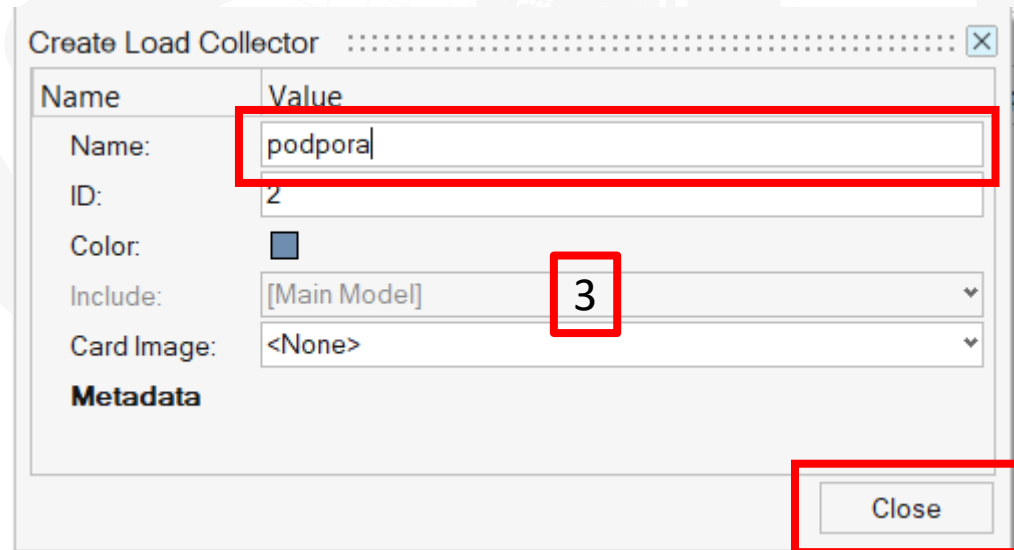
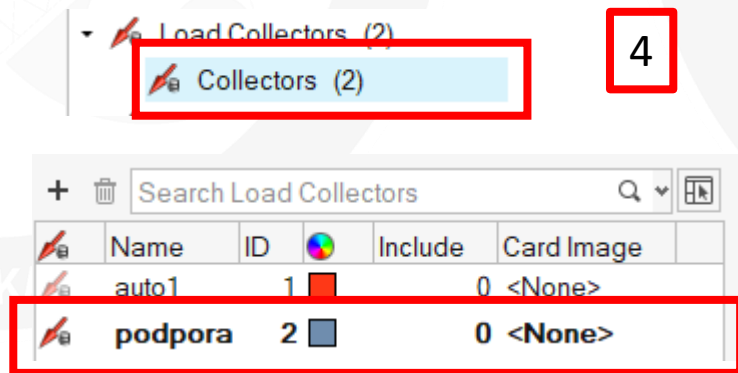
1. Wybierz **Validate, Model**
2. Wybierz **Run Checks**
3. W dolnym oknie wyświetliły się błędy i ostrzeżenia wynikające z niedostatecznego podparcia modelu. Aktualnie jest to zrozumiałe, ponieważ nie zdefiniowaliśmy podpory.

Pamiętaj, że możesz sprawdzać gotowość modelu do analizy na każdym etapie!



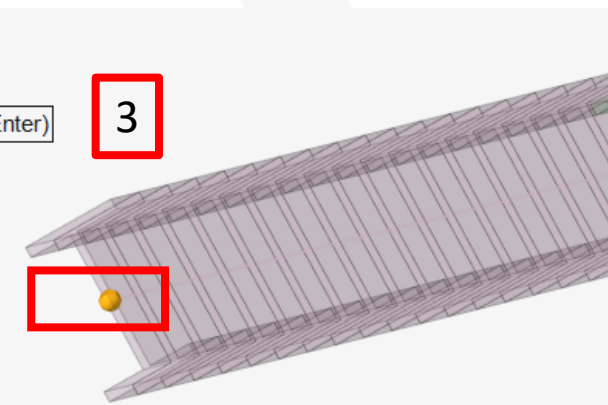
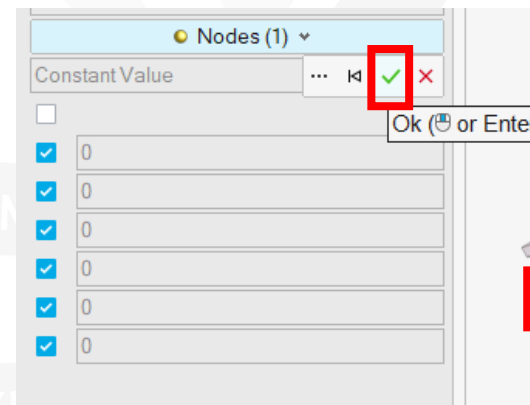
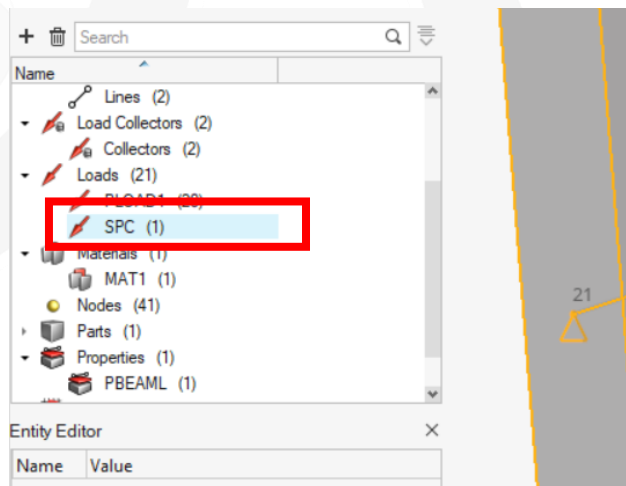
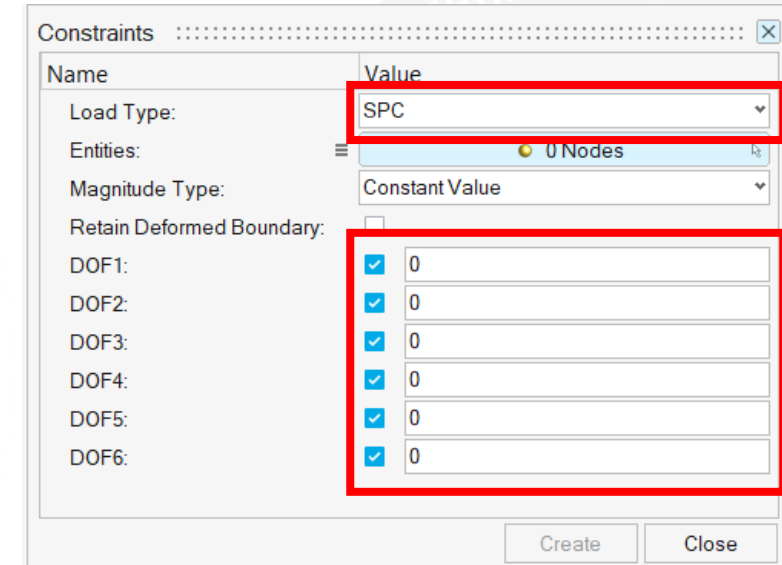
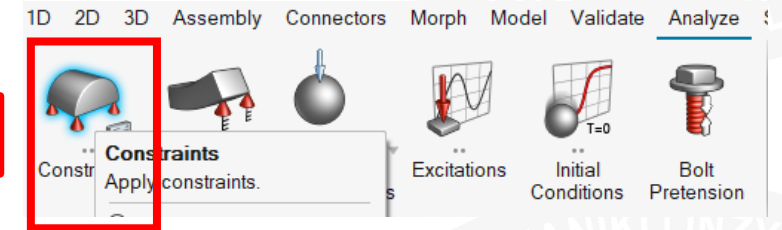
Zdefiniuj podporę (1)

1. Podpora jako wymuszone przemieszczenie musi być zdefiniowana w osobnym obiekcie **Load Collector**
2. Wybierz **PPM Load Collectors, Create**
3. W polu **Name** wpisz **podpora**, **Close**
4. W drzewie kliknij **2xLPM** na **Collectors**. W dolnym oknie sprawdź, czy aktywny jest obiekt **podpora**



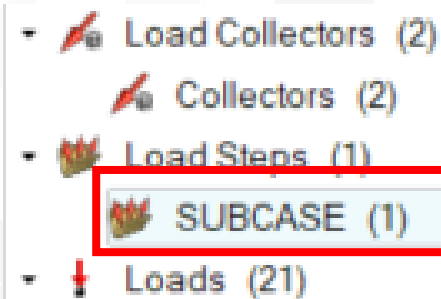
Zdefiniuj podporę (2)

1. Wybierz **Analyze, Constraints**
2. Wpisz parametry: typ podpory i składowe przemieszczeń (trzy liniowe i trzy kątowe) – wszystkie równe **0**
3. Wybierz węzeł, który ma być utwierdzony i potwierdź wybór haczykiem. Kliknij przycisk **Create**
4. W drzewie kliknij obiekt **SPC (1)** i naciśnij klawisz **Q** (Review) żeby sprawdzić zadane przemieszczenie



Zdefiniuj symulację

1. Wybierz z zakładki **Analyze** narzędzie **Analyze** (narzędzie)
2. Wybierz **PPM: Loadsteps, New loadstep**
3. Wpisz nazwę, potwierdź **Create**
4. Wybierz typ symulacji: **Linear static**. Potwierdź **OK**
5. Kliknij **2xLPM** na obiekt **SUBCASE (1)**, i w oknie **Loadsteps: Symulacja 1**



Search Load Steps			
Name	ID	Include	
symulacja1	1	0	

5

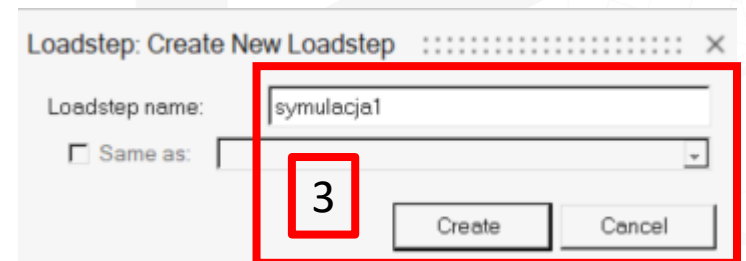
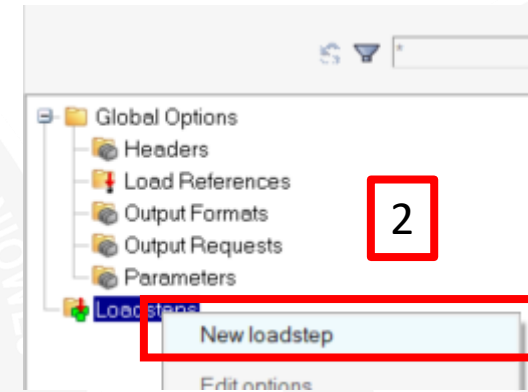
Validate Analyze Skeleton Design Space

1

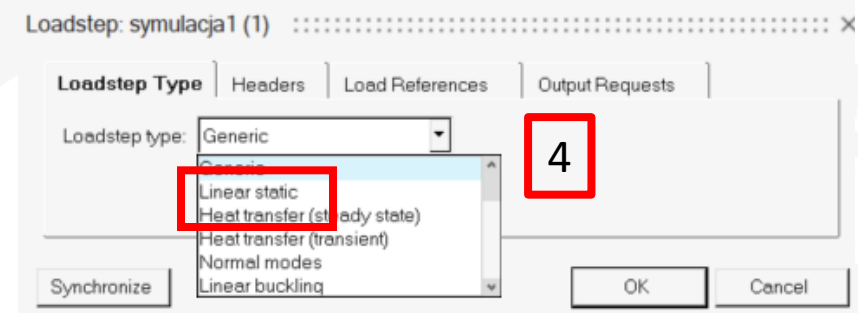


Analyze
Parameters

2



3



4





Wprowadź parametry symulacji

1. Wybierz obiekty zawierające podparcie **SPC: podpora** i obciążenie **LOAD: auto1**. Przewiń w dół i zaznacz **OUTPUT**
2. Wpisz liczbę przypadków (**1**), dla których obliczane są dodatkowo siły wewnętrzne **ELFORCE: 1** i format zapisu **OUTPUT2** (plik typu ***.op2**). Podobnie dla sił węzłowych elementów **GPFORCE**

Solver Keyword: SUBCASE
Name: symulacja1
ID: 1
Include: [Main Model]
User Comments: Do Not Export
Subcase Definition
Analysis type: Generic
SPC: (2) podpora
LOAD: (1) auto1
MPC: <Unspecified>
FREQ: <Unspecified>
TEMP_LOAD:
OUTPUT:
ACCELERATION:
CFAILURE:
CMDE:

Entity Editor - Load Step
Name Value
ELFORCE:
ELFORCE_NUM =: 1
1
SORTING:
FORMAT: OUTPUT2
FORM:

GPFORCE:
GPFORCE_NUM =: 1
1
FORMAT: OUTPUT2
FORM:
PEAK:
MODAL:
USE:
OPTION: ALL





Uruchom symulację

1. Wybierz **Run**
2. Wpisz nazwę pliku **belka** i wybierz **Zapisz**
3. W kolejnych oknach wybierz **Export, Run** (uruchom solver OptiStruct)
4. Jeśli analiza się powiodła, możesz zamknąć okno **Close** i wczytywać wyniki. W przeciwnym razie musisz zidentyfikować przyczynę błędu...

Solver: optistruct_2025.1_win64.exe
Input file: belka.fem Job completed

Run command: .../hwsolver.tcl .../belka.fem -screen -dir -solver OS

Message log:
Messages for the job:
ANALYSIS COMPLETED.

Optimization summary:

le Grid/Elem ID Value
42_z -1.05397

Run summary:
==== End of solver screen output ====

==== OptiStruct Job completed ====

Buttons: Results, View, **Close**

Solver Export Options

OptiStruct

General
Export: All
Template: Standard

Include files
Include export: Preserve
 Export include file path relative to include statement
 Use drive mapping
 Write include file statements only for exported includes

Write comments for
 Connectors
XML style: XML1.0
 HyperMesh
 ID rules
 Materials
 Parts
 Subsystems

Warning messages
 Invalid elements
 Overwrite existing file
 Do not show this dialog again

Buttons: Restore Defaults, **Export**, Cancel

Nazwa pliku: **belka**

Zapisz jako typ: OptiStruct (Elem -param...)

Buttons: **Zapisz**, Anuluj

Buttons: **Run**, Close

Buttons: **Run**, Run OptiStruct solver.

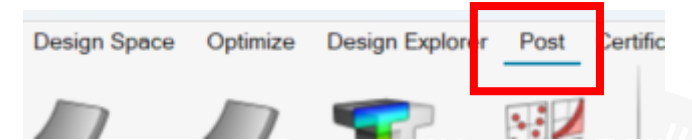
Buttons: **Export**, Cancel

Data modyfikacji	Typ	Rozmi.
10.02.2026 09:29	Plik FEM	
10.02.2026 09:29	Altair HyperView P...	
10.02.2026 09:10	Altair HyperWorks ...	
10.02.2026 09:29	Altair HyperWorks ...	
10.02.2026 09:29	Plik OP2	



Wczytaj wyniki symulacji

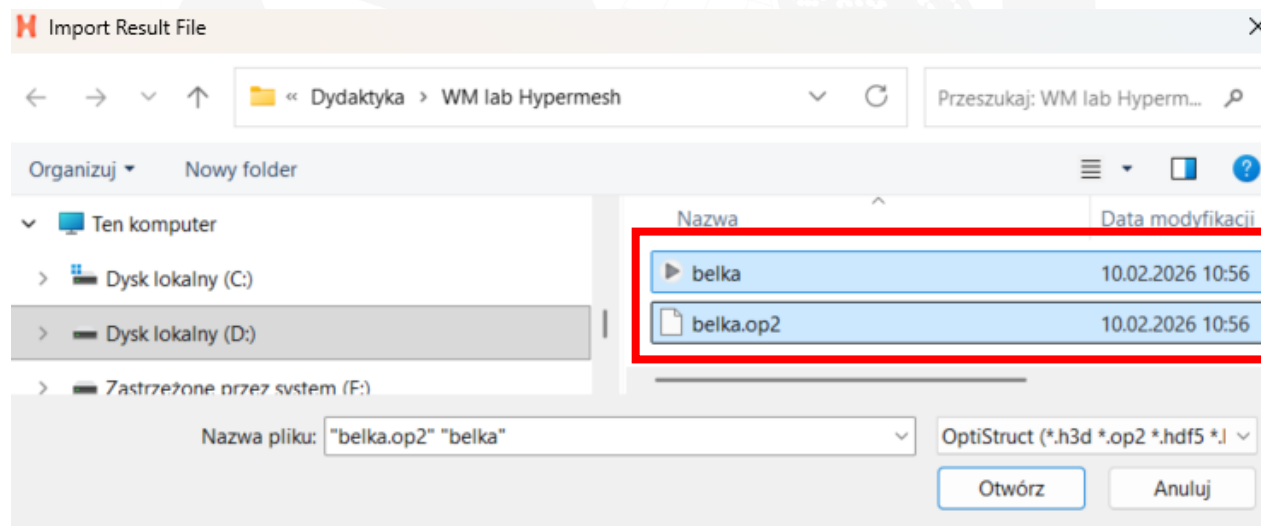
1. Wybierz **Post, Results**
2. Wskaż pliki z wynikami, **Otwórz**



1



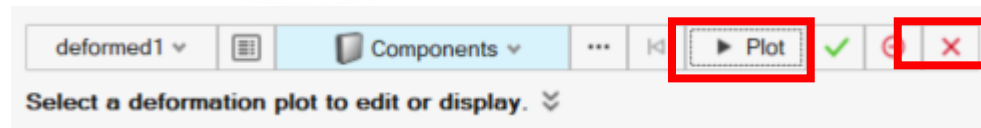
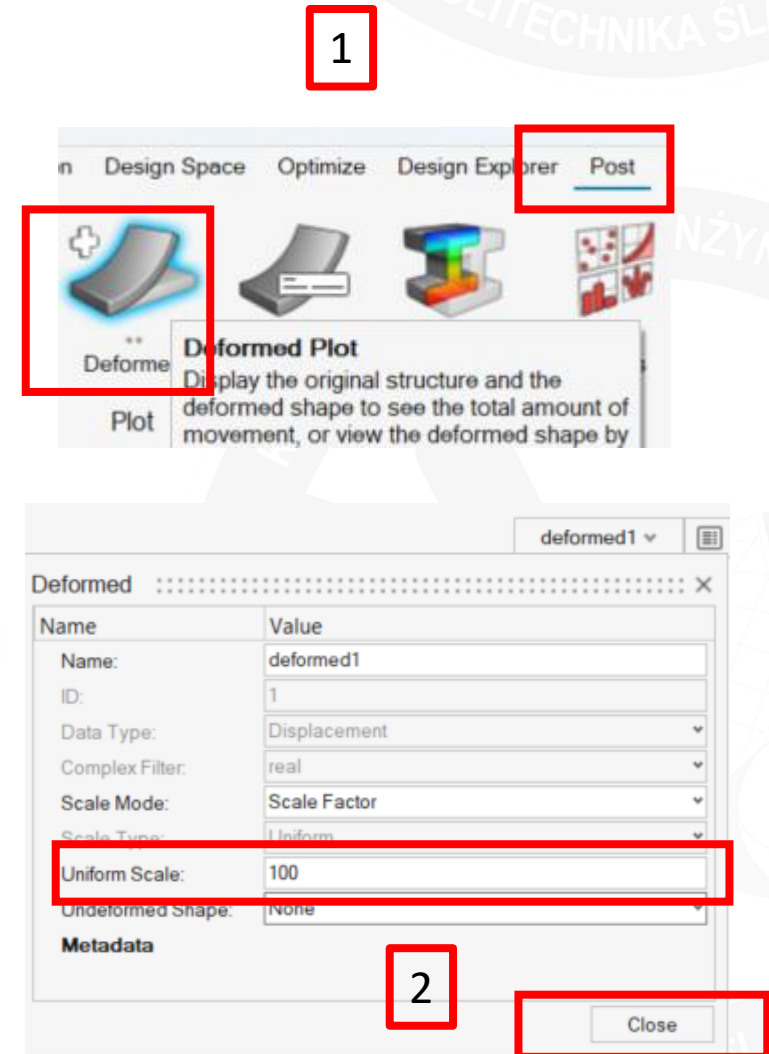
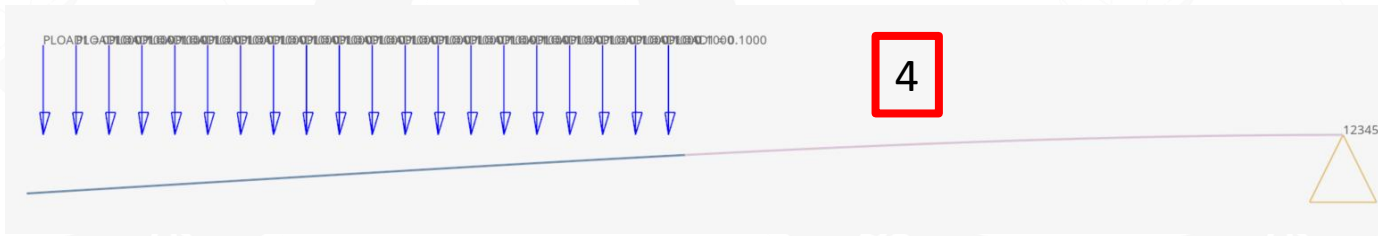
2





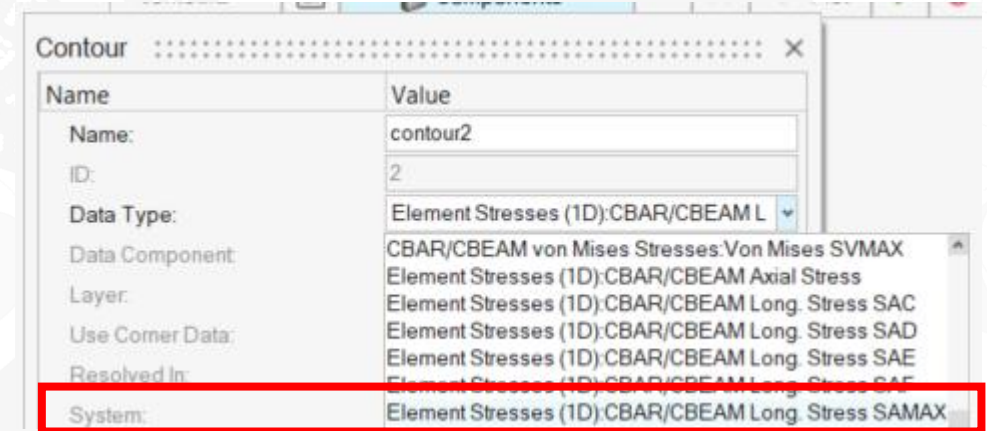
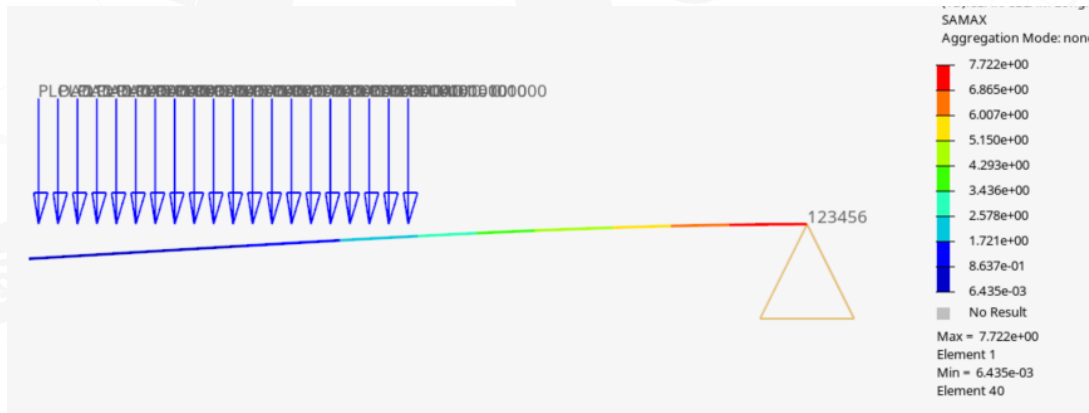
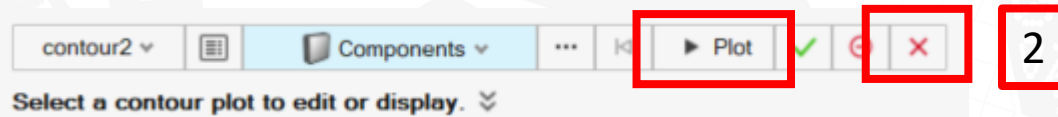
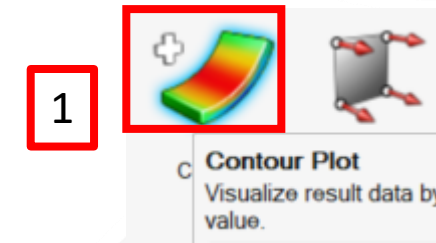
Wyświetl ugiętą belkę

1. Wybierz **Post, Deformed Plot**
2. Wpisz **Uniform Scale: 100**, wybierz **Close**
3. Wybierz **Plot**, zamknij narzędzie
4. Sprawdź kształt ugiętej belki. Czy jest prawidłowy?



Wyświetl rozkład naprężeń

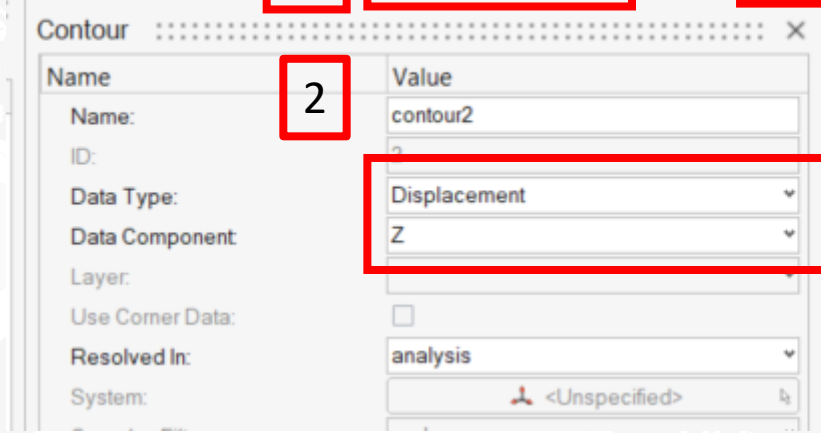
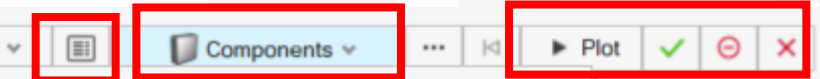
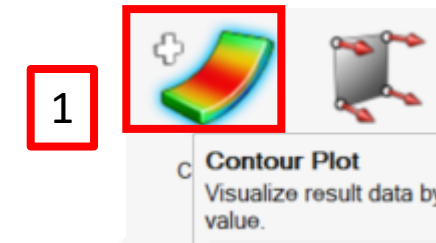
1. Wybierz **Contour Plot**
2. Wybierz typ wyniku: **SAMAX** – maksymalne naprężenia w przekroju pochodzące od zginania
3. Wybierz **Plot**, zamknij narzędzie





Wyświetl rozkład przemieszczeń

1. Wybierz **Contour Plot**
2. Wybierz typ wyniku **Displacement, Z**
3. Wybierz obydwa komponenty
4. Wybierz **Plot**, zamknij narzędzie





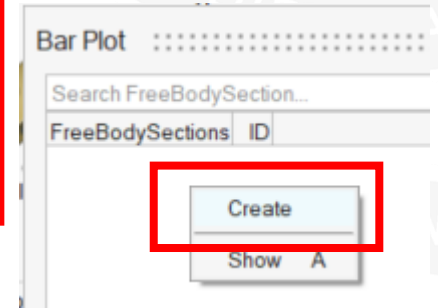
Wyświetl wykres sił tnących

1. Wybierz **Bar Plot**.
2. W nowym oknie kliknij **PPM, Create** aby utworzyć obiekt **freebodysection1**.
3. Wybierz wszystkie elementy **Ctrl+A**, oraz przypadek analizy.
4. Ustaw parametry wyświetlania wykresu siły **FZ** (tnącej). Sprawdź różne ustawienia i zatwierdź **Apply**. Wartości na wykresie wyświetlą się po powiększeniu modelu.

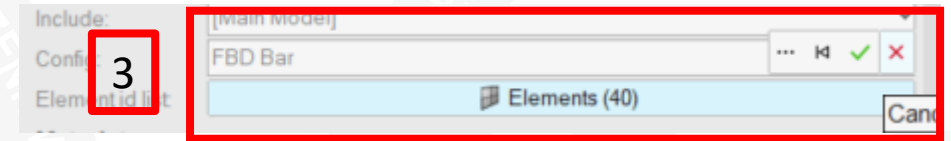
1



2



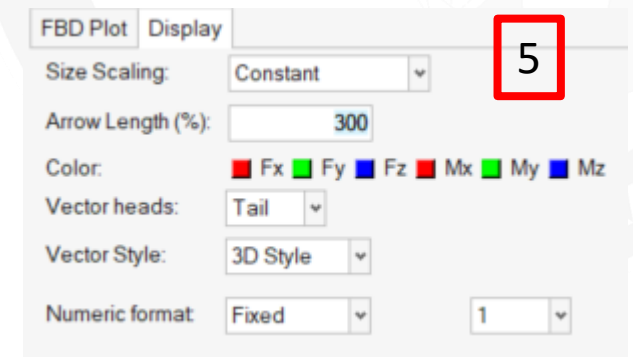
3



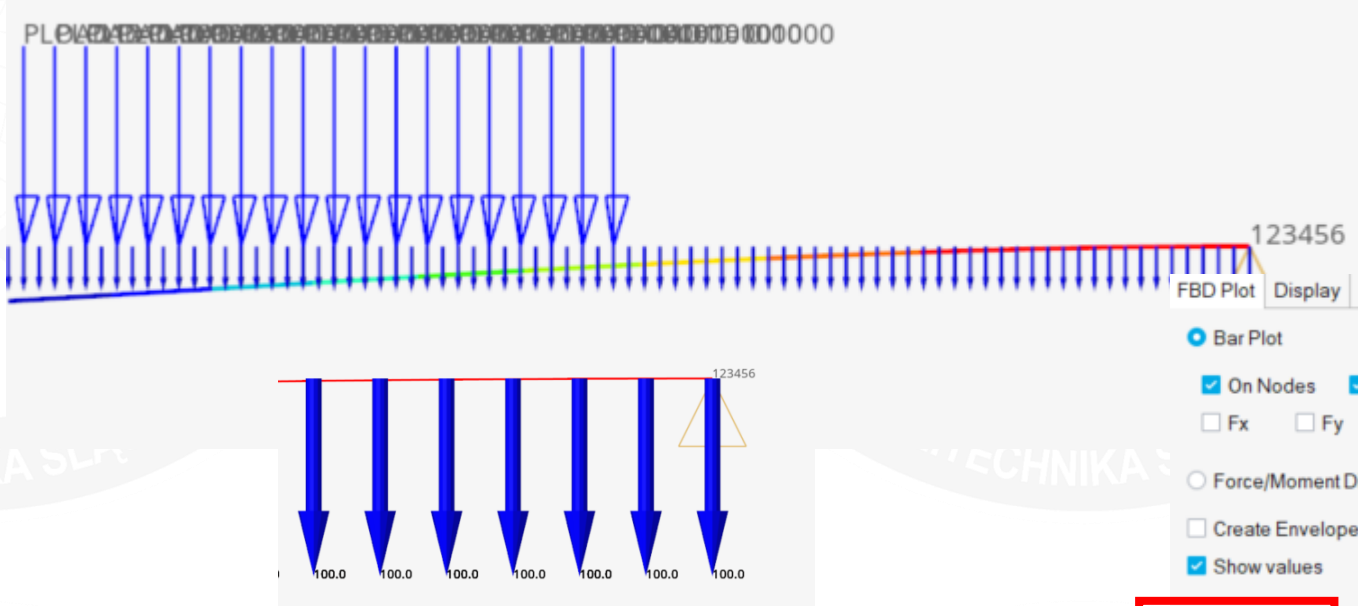
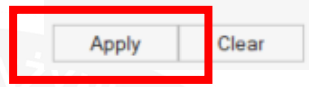
4

Loadcases	ID	File ID
- Subcase 1 (symulacja1)	1	2
Static Analysis	0	
- SUBCASE 1 = symulacja1	1	3
Simulation 1	0	

5

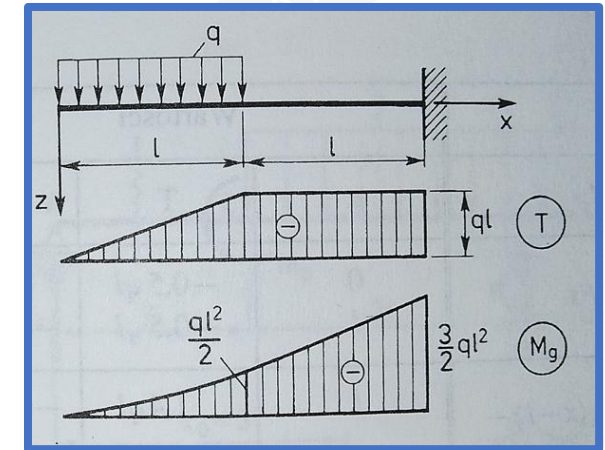
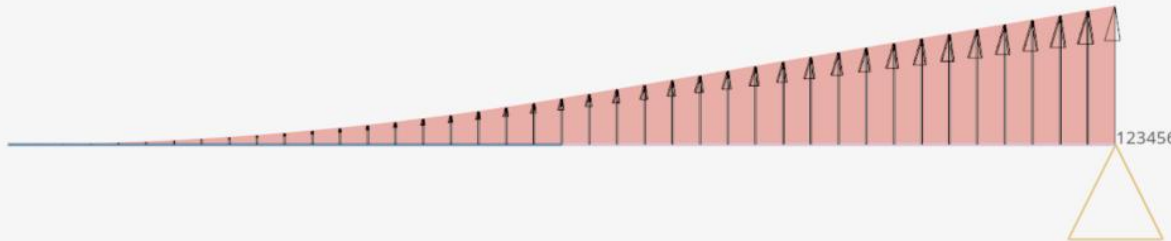
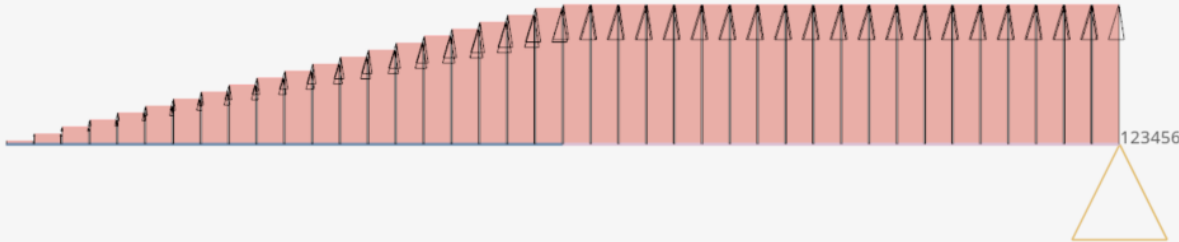


6





Porównaj wykresy sił wewnętrznych z rozwiązaniem z książki

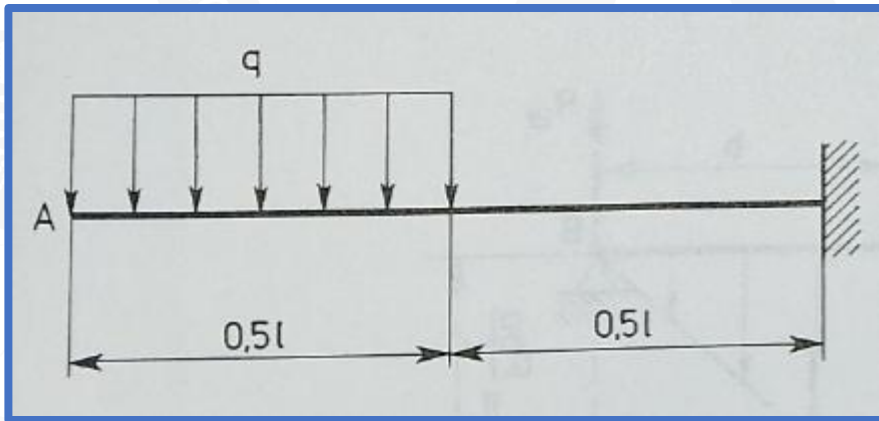


M. Banasiak, K. Grossman, M. Trombski: Zbiór zadań z wytrzymałości materiałów, PWN, Warszawa 1998.

Wykresy w tej formie nie są wyświetlane przy ustawieniach domyślnych. Możesz spróbować znaleźć te ustawienia. Wszystkie potrzebne okna są pokazane na poprzednim slajdzie.



Sprawdź wyniki liczbowe



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

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



Sprawdź wyniki liczbowe

1. Wybierz **View, Python Window**
2. W notatniku Windows napisz uważnie skrypt w języku Python i skopiuj go do konsoli
3. Porównaj obliczone wyniki z wynikami MES
 - **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?

```
In [8]: E = 2.1e5 # MPa
...: L = 2000 # mm
...: q = 0.1 # N/mm
...: I = 777010.07 # mm4
...: fA = 41.0/384 * (q * L**4)/(E * I) # mm
...: Mgmax = 150e3 # Nmm
...: h = 80 # mm
...: W = I/(h/2.0) # mm3
...: Sigma = Mgmax / W
...: print ('fA = ', fA, ' mm')
...: print ('Sigma_max = ', Sigma, ' MPa')

fA = 1.0469517640769617 mm
Sigma_max = 7.7219076452895905 MPa

In [9]:
```

2

```
E = 2.1e5 # MPa
L = 2000 # mm
q = 0.1 # N/mm
I = 777010.07 # mm4
fA = 41.0/384 * (q * L**4)/(E * I) # mm
Mgmax = 150e3 # Nmm
h = 80 # mm
W = I/(h/2.0) # mm3
Sigma = Mgmax / W
print ('fA = ', fA, ' mm')
print ('Sigma_max = ', Sigma, ' MPa')
```

Neutral Axis Geomet...

Area:	742.88
Centroid Local Yc:	0.0
Centroid Local Zc:	0.0
Mol Centroidal Iy:	777010.06506667

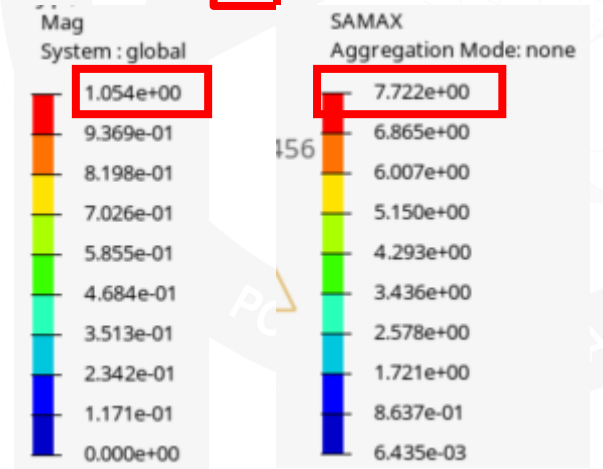
View HyperMesh Sketch Topo...

Altair Copilot (Beta)
Demo Browser

- Model Browser
- Solver Browser
- Session Browser
- Entity State Browser
- Entity Editor Shift+E
- HWC Console
- Python Window

1

3

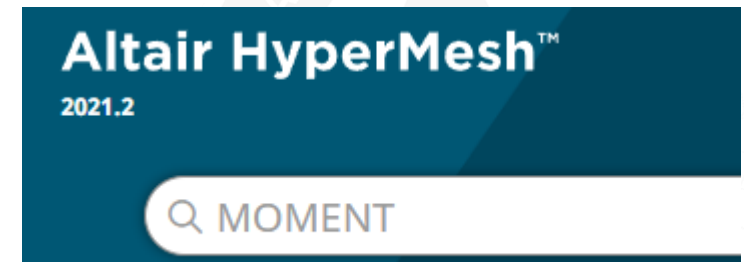
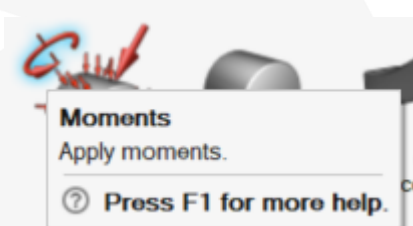
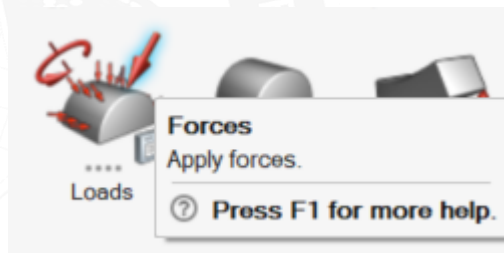




Może się przydać

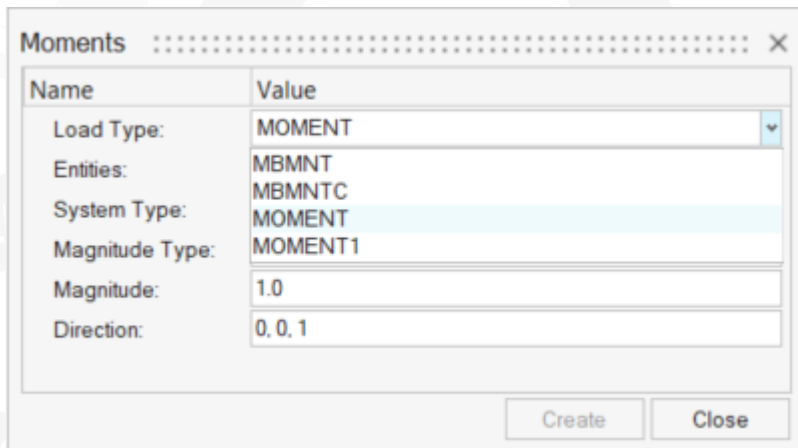
- Prowadzący zajęcia może zadać inne zadanie, które będzie zawierać inne dane, inne obciążenie, itd.
- Typ zadawanych obciążeń i wszystkich innych elementów wykorzystywanych w programie **Hypermesh/OptiStruct** możesz sprawdzić w dokumentacji:

<https://2021.help.altair.com/2021.2/hwdesktop/hm/index.htm>



4. **MOMENT** [OptiStruct]

Bulk Data Entry Defines a static **moment** at a grid point or a SET of grid points by specifying a vector.



MOMENT

Bulk Data Entry

Defines a static moment at a grid point or a *SET* of grid points by specifying a vector.

It can also be used to define the *EXCITEID* field (Amplitude 'A') of dynamic loads in *RLOAD1*, *RLOAD2*, *TLOAD1*, and *TLOAD2* Bulk Data Entries.





Podsumowanie

Wykonując ćwiczenie nauczyłeś/aś się jak:

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





KONIEC

