

Wytrzymałość materiałów

Zastosowanie MES do rozwiązywania zagadnień dwuwymiarowych

Studia I stopnia stacjonarne
Laboratorium



Altair® HyperMesh®



Altair® OptiStruct®

2025.1



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 programy **Hypermesh** i **OptiStruct**, które 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



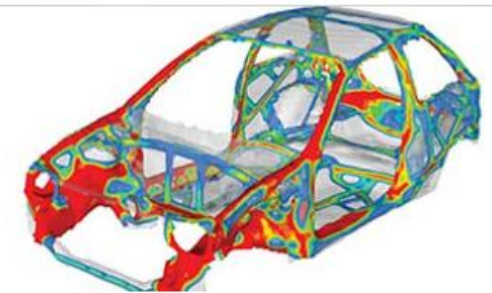
Get License



Altair® HyperMesh®



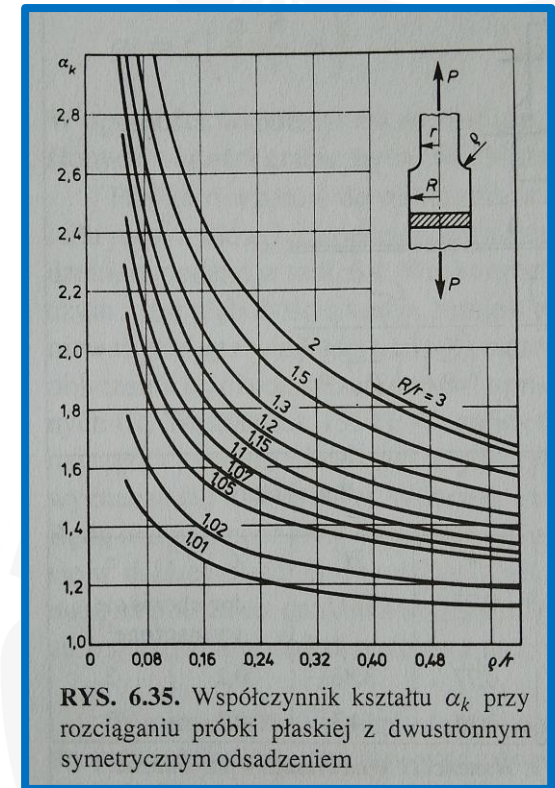
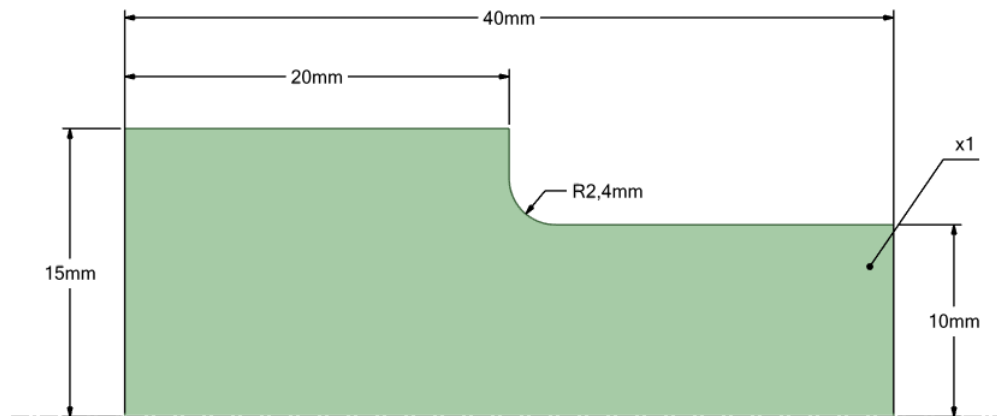
Altair® OptiStruct®





Parametry układu

- Modelowana będzie **próbka płaska z dwustronnym symetrycznym odsadzeniem**. Wymiary na dolnym rysunku podane są w milimetrach.
- Materiał: **stal**
- 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.



Chart 3.1 Stress concentration factors K_t for a stepped flat tension bar with shoulder fillets (based on

Interactive graphs from Peterson's Stress Concentration Factors (4th Edition)



Rozwiązanie do porównania

3. Shoulder Fillets

Peterson's Stress Concentration Factors (4th Edition) Latest Edition

Contents

Navigation

Chapter Contents Table Of Contents

Peterson's Stress Concentration Factors (4th Edition)

See other editions

Author(s) / Editor(s) Pilkey, Walter D.; Pilkey, Deborah F.; Bi, Zhuming

Publisher John Wiley & Sons

Copyright / Publication Date 2020

Additional information →

3.5 Torsion

3.6 Methods of Reducing Stress Concentration at a Shoulder

References

Charts

Graphs (1)

Save Cite Export

X Axis 1. radius of a notch/minir 3 X significant Digits

Y Axis 1. Stress concentration factor 3 Y significant Digits

Data set Hide all Add set

Data set label Data Set 1

X Axis Y Axis

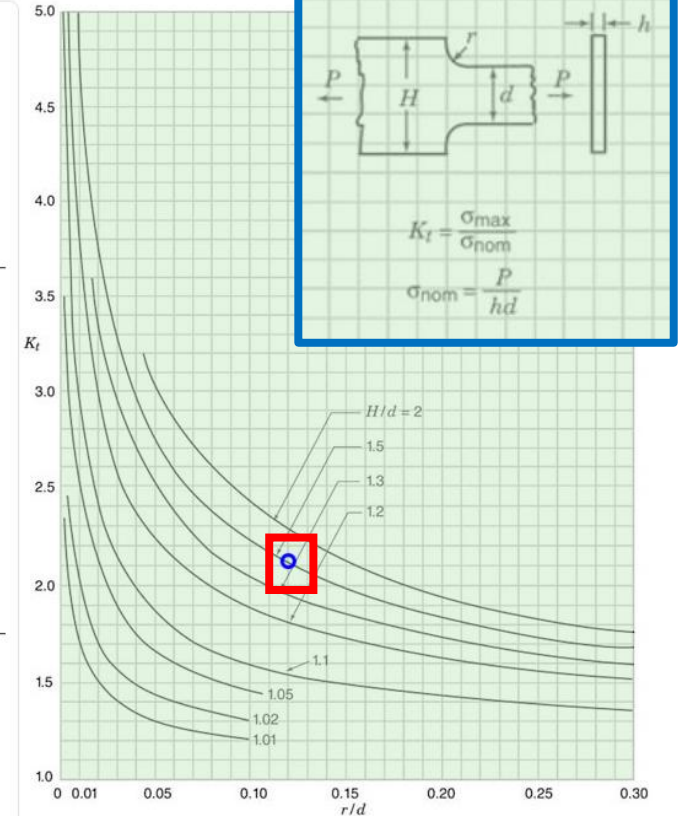
0.12 2.14

Graph area

Active area

Zoom

50 100 200



- Wartość współczynnika kształtu K_t (co to jest?) możesz odczytać z interaktywnego wykresu.
- Zaloguj się do bazy **Knovel** przez stronę Biblioteki Politechniki Śląskiej i wyszukaj podaną książkę a w niej interaktywny wykres **Chart 3.1**.
- <https://www.polsl.pl/bps/knovel/>



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

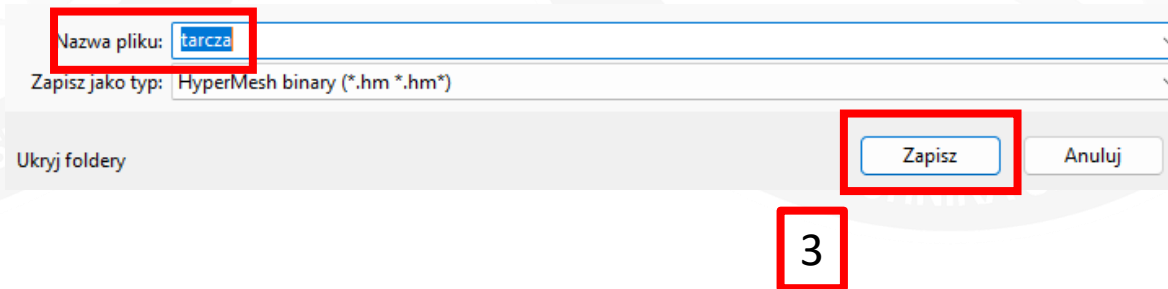
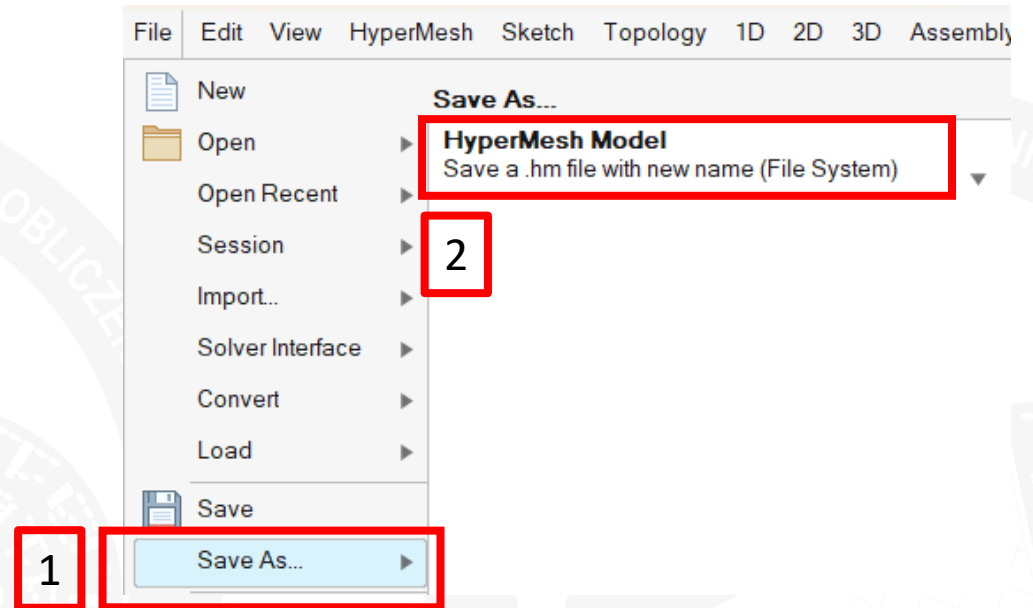
Don't show this again



Zapisz projekt

Uruchom program **Hypermesh**.

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

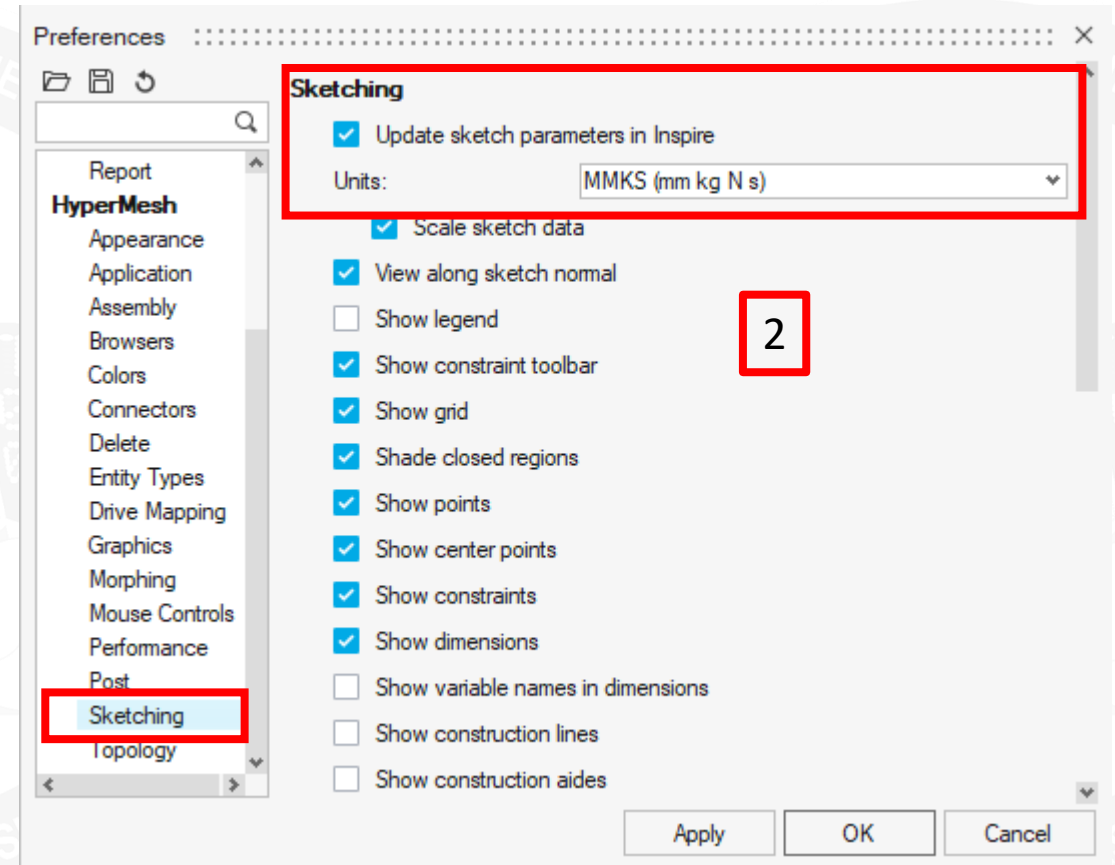


Dobrym nawykiem jest zapisywanie projektu po wykonaniu każdego etapu. Najłatwiej jest to robić kombinacją klawiszy **CTRL+S**



Ustaw jednostki

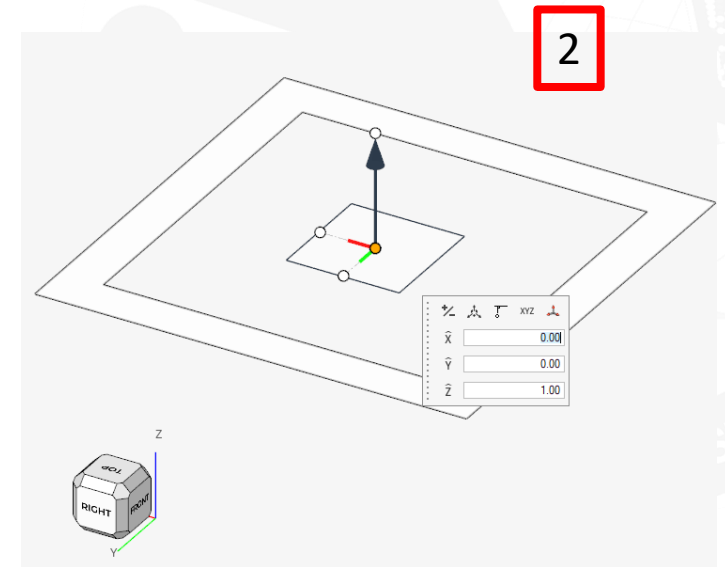
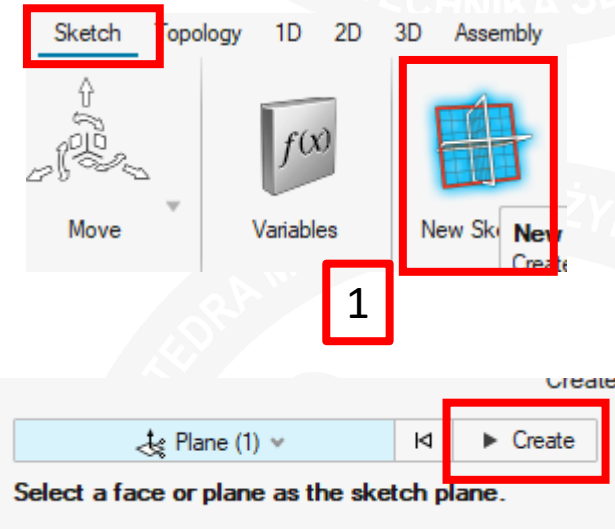
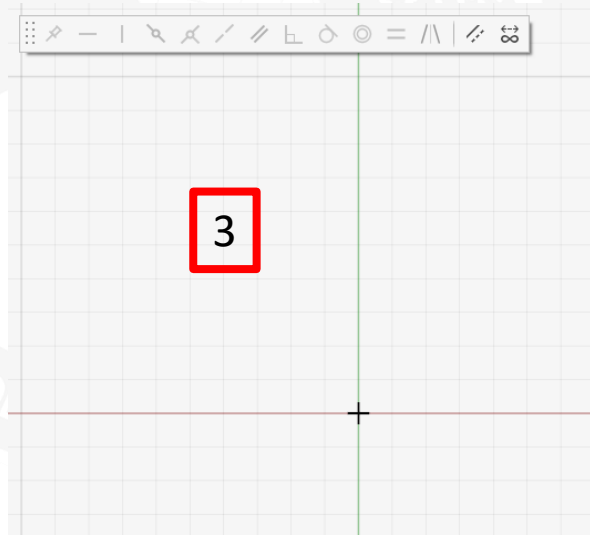
1. Wybierz **File -> Preferences**.
2. Ustaw układ jednostek.





Utwórz szkic

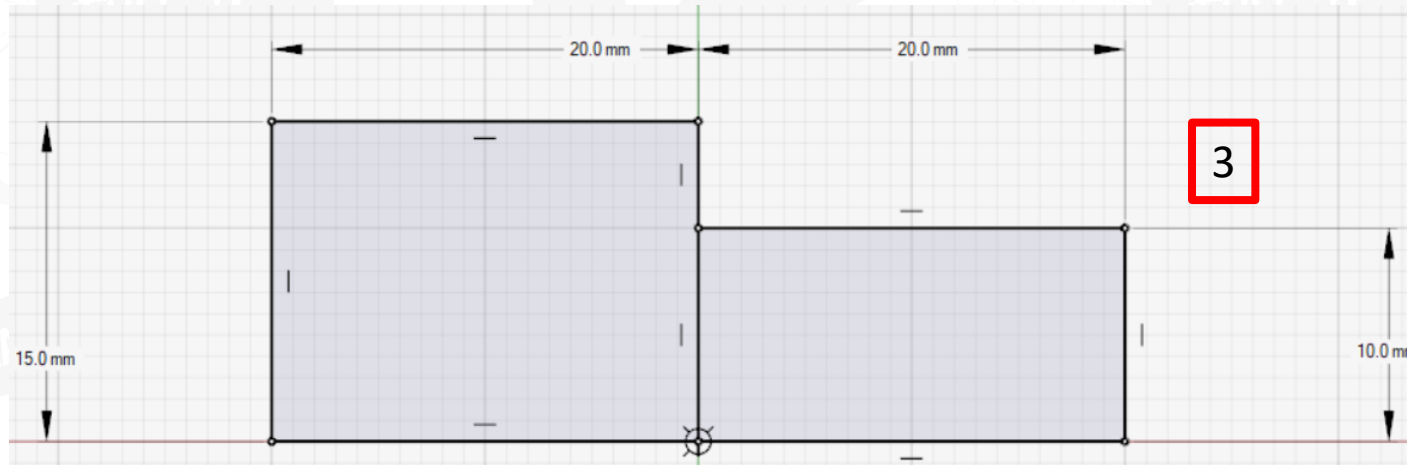
1. Wybierz pasek **Sketch, New Sketch**.
2. Wybierz płaszczyznę **XY, Create**.
3. Uruchomił się tryb szkicu.



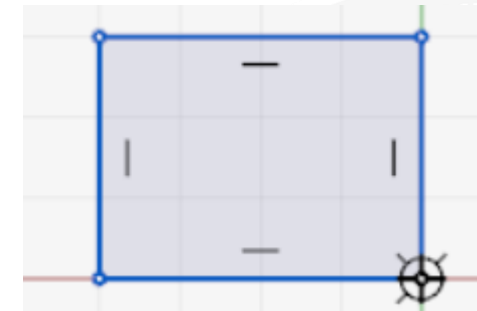
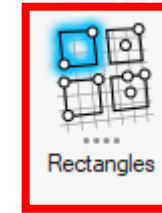


Utwórz szkic

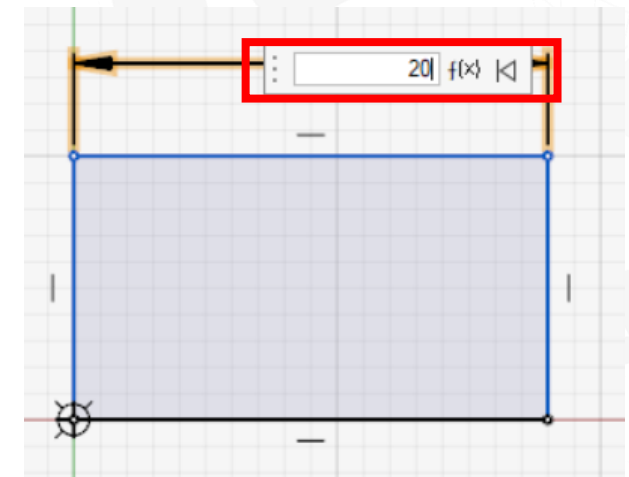
1. Wybierz **Rectangles**. Narysuj prostokąt.
2. Wybierz **Dimensions**. Wskaż poziomy bok prostokąta, wpisz wymiar, zatwierdź klawiszem **Enter**.
3. Narzuc wymiar pionowy oraz dorysuj drugi prostokąt. Wprowadź pozostałe wymiary.



1



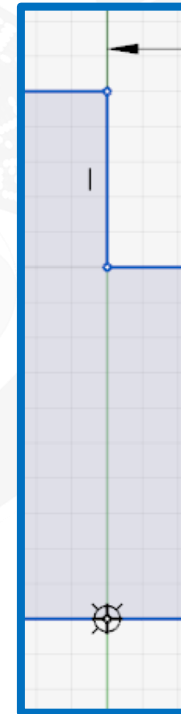
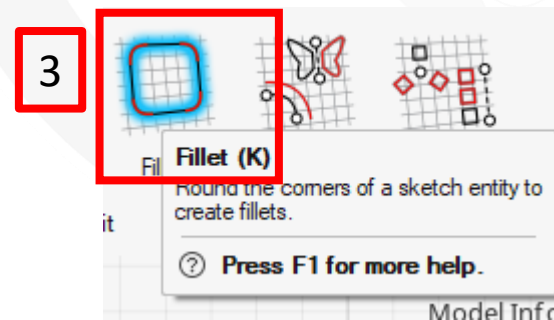
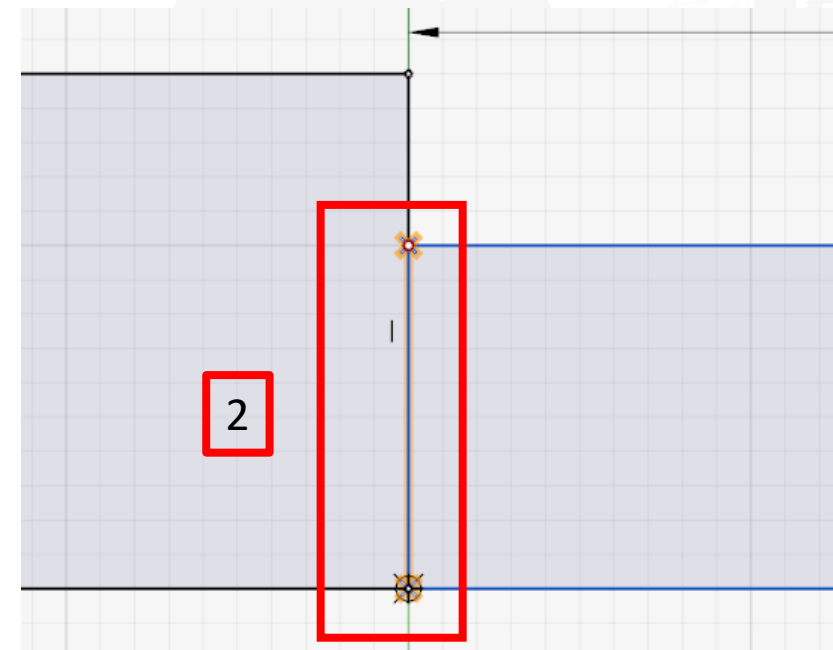
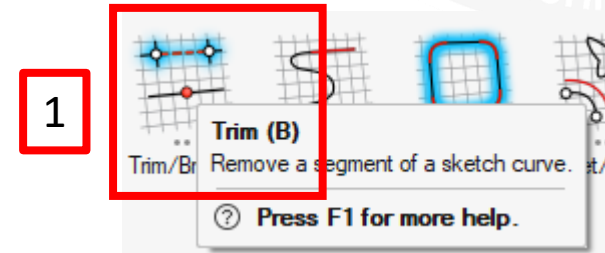
2





Utwórz szkic, cd.

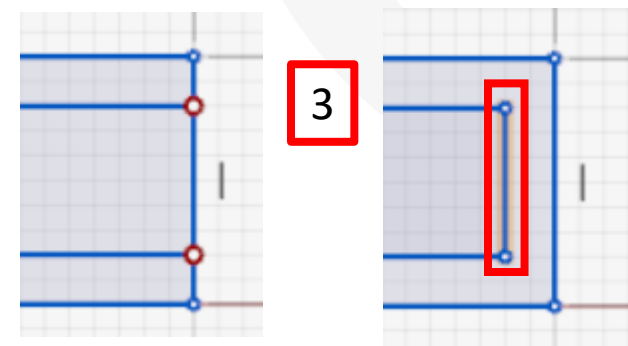
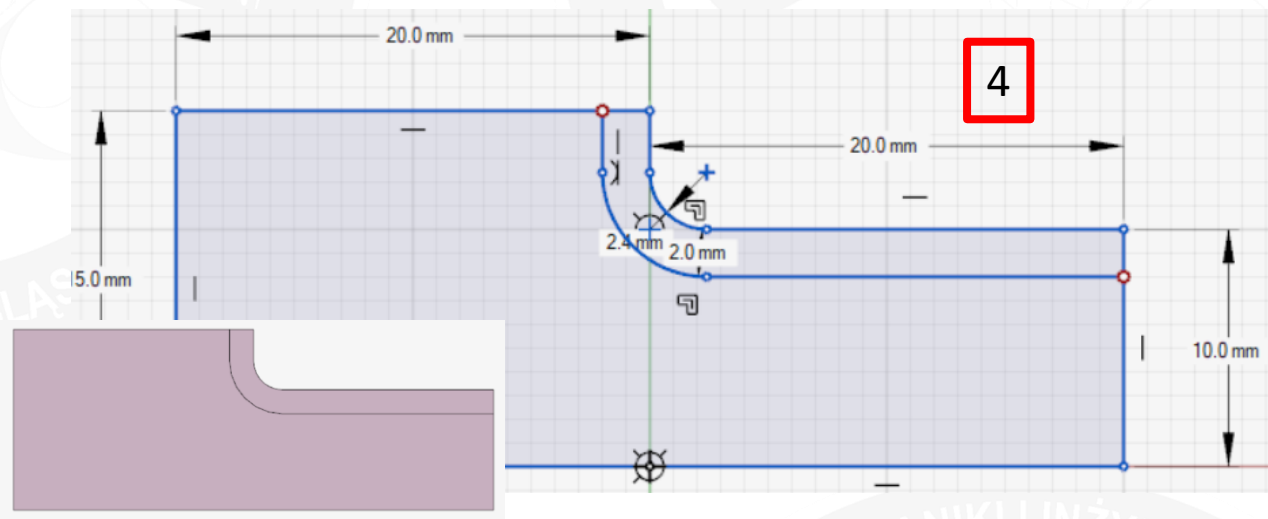
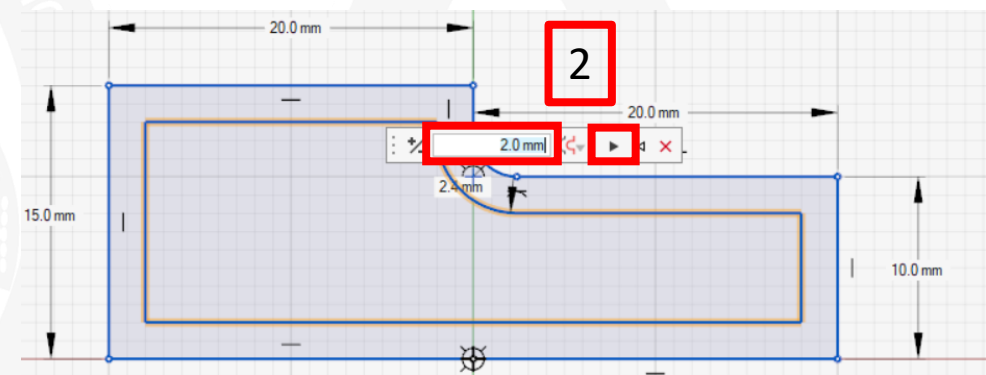
1. Wybierz **Trim**.
2. Kliknij **2xLPM** (lewym przyciskiem myszy) wspólną krawędź prostokątów do usunięcia.
3. Wybierz **Fillet**.
4. Wskaż wierzchołek i wprowadź długość promienia zaokrąglenia. Potwierdź wybór.





Utwórz szkic, cd.

1. Wybierz **Offset**.
2. Wskaż obrys figury i wprowadź odległość: **2.0 mm** Potwierdź operację.
3. Wskaż linię i usuń ją klawiszem **Delete**.
4. Usuń podobnie pozostałe niepotrzebne linie.
5. Wyjdź z trybu szkicowania dwukrotnie naciskając **Escape**.

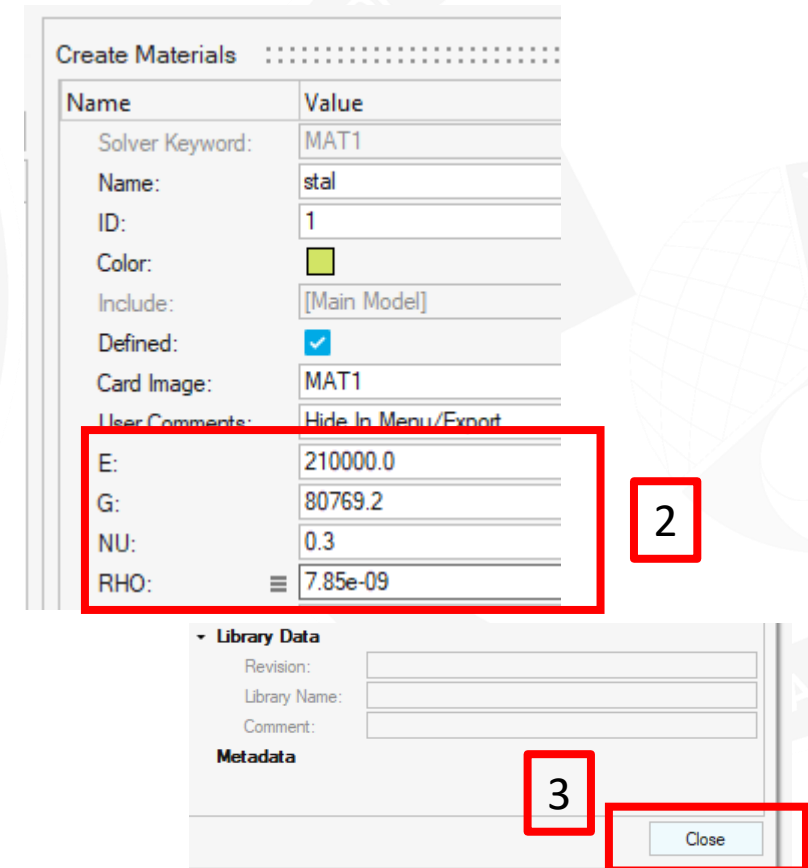
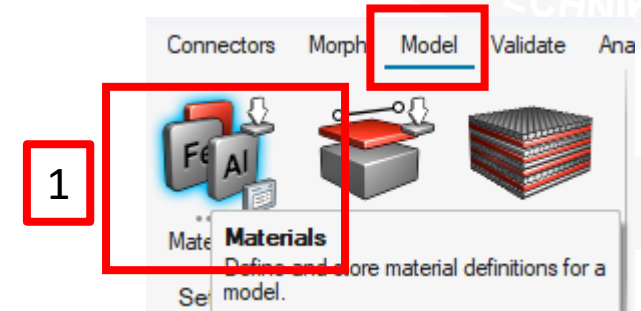
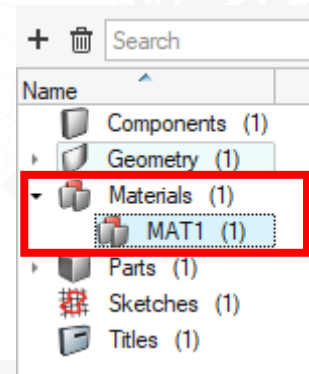




Utwórz materiał

1. Wybierz pasek **Model**, narzędzie **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 drzewie 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**).



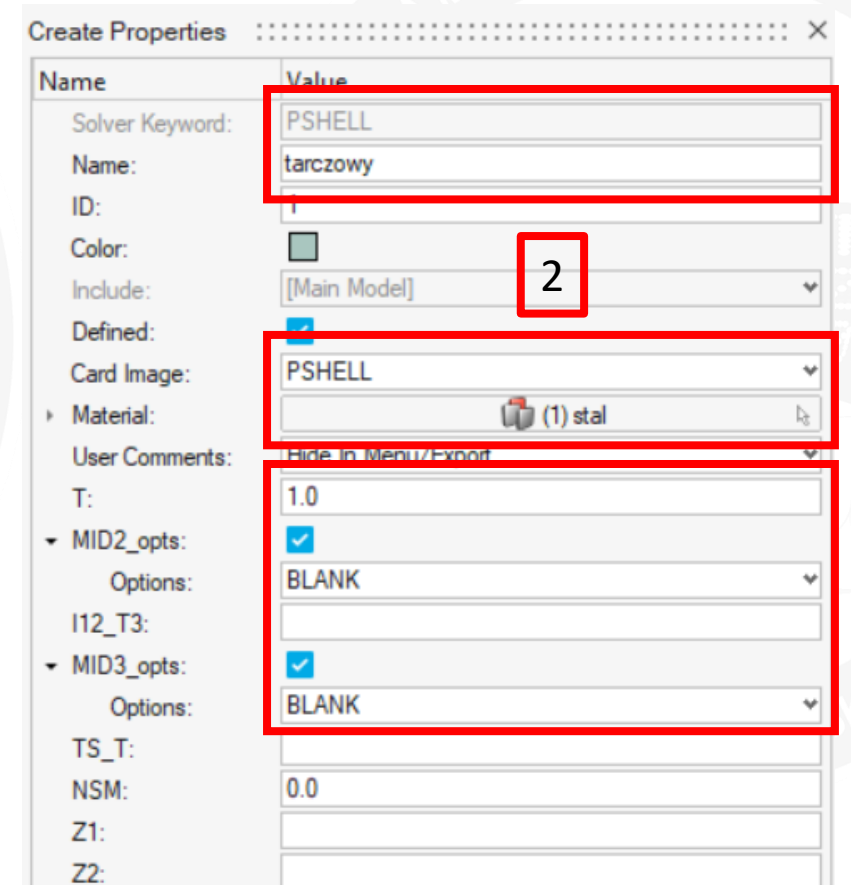
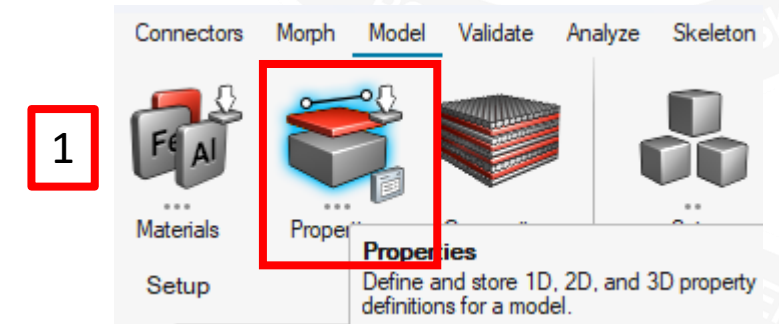


Utwórz własności elementów

1. Wybierz pasek **Model, Properties**
2. Wprowadź własności elementów skończonych – typ **PSHELL**, materiał **stal**. Symbol **T** oznacza grubość.
3. Kliknij **Close**.

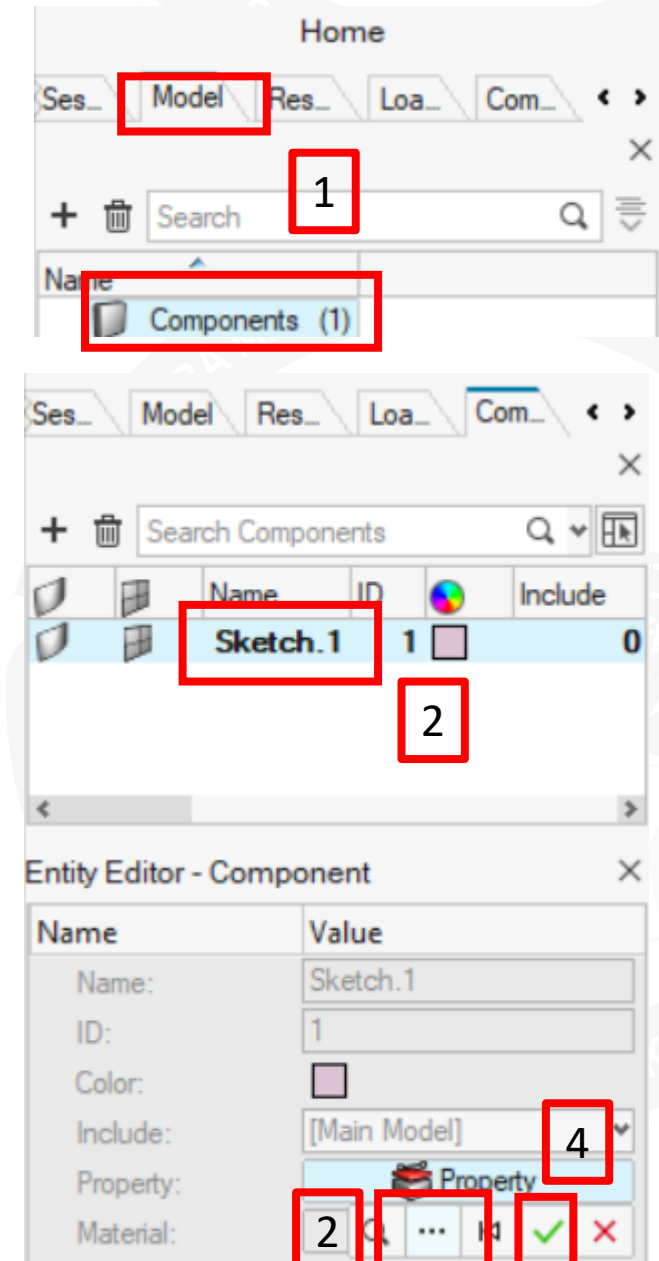
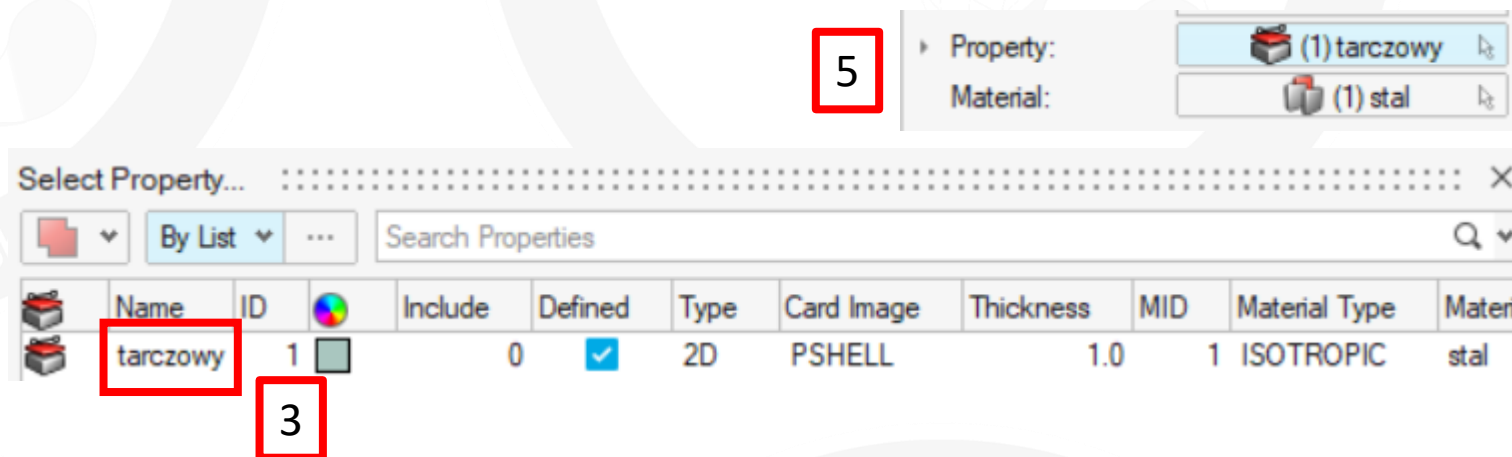
Wybrany element **PSHELL** to powłoka, która jest szerszym sformułowaniem niż elementy w płaskim stanie naprężenia lub odkształcenia (dodatkowo uwzględnia zginanie i odkształcenie poprzeczne). Wybrane ustawienia ograniczają wybrane sformułowanie tylko do płaskiego stanu naprężenia (ang. **plane stress**). Dokumentacja: [PSHELL](#)

Membrane Shell (Plane Stress)	If <i>MID2</i> is blank	Membrane Shell formulation. Pure membrane in plane stress - no bending, coupling, or transverse shear stiffness. Pure membrane shell uses a standard 2D element formulation without drilling degrees of freedom. <i>MID3</i> and <i>MID4</i> should also be blank. 16
--	-------------------------	--



Przypisz właściwości do komponentu

1. W panelu bocznym wybierz zakładkę **Model**. Kliknij **2xLPM** na obiekt **Components (1)**.
2. W zakładce **Components** wybierz **Sketch.1** i rozwiń **Property**.
3. Wybierz właściwości **tarczowy**.
4. Potwierdź wybór.





Dopasuj lokalnie rozmiar siatki

1. W pasku **2D** wybierz **Freeform**.
2. Rozwiń menu ustawień siatki – automatyczny dobór elementów czworokątnych lub trójkątnych o kwadratowych funkcjach kształtu i rozmiarze **1 mm**. Schowaj menu tym samym przyciskiem.
3. Wybierz wszystkie powierzchnie **Ctrl+A, Mesh**.
4. Wybierz kolejno liczbę elementów na promieniach i ustaw na **5** (**Ctrl+Rolka**). Po każdej zmianie potwierdź **Update**

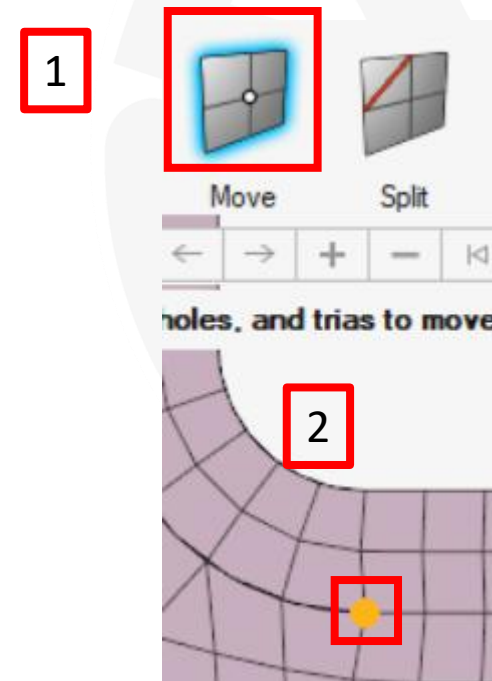
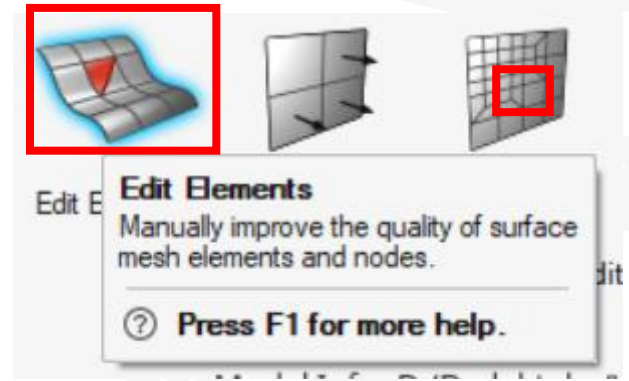
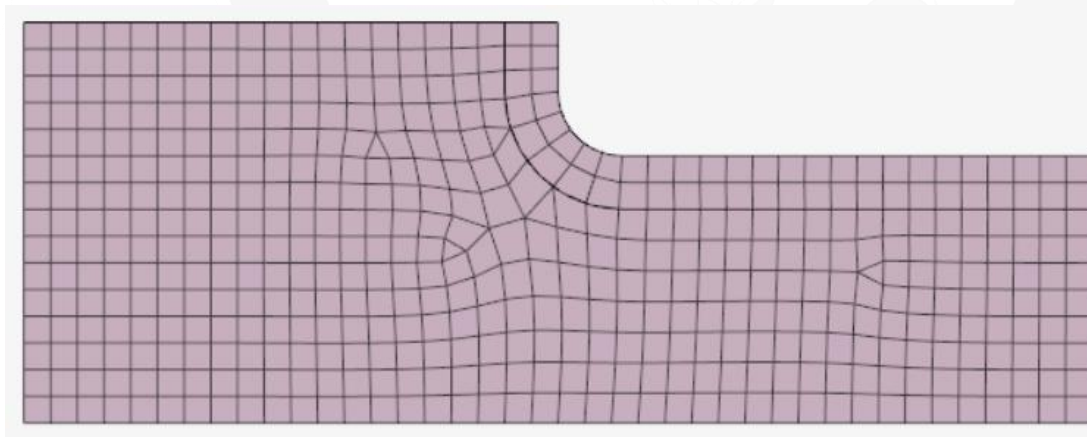
The screenshot illustrates the steps for adjusting the mesh size locally. The main window shows a 2D model with a mesh. The 'Surfaces (2)' toolbar is visible, and the 'Mesh' dialog box is open. The 'Options' section of the dialog is highlighted with a red box, showing 'Element size: 1', 'Mesh type: Auto-decide', 'Element type: Mixed', and 'Element order: Second'. The 'Update' button is also highlighted with a red box. The 'Mesh' button is highlighted with a red box. The 'Density' and 'Bi' buttons are also visible. The 'Update' button is highlighted with a red box. The 'Mesh' button is highlighted with a red box.





Popraw położenie węzłów

1. W zakładce **2D** wybierz **Edit Elements**.
2. Wybierz **Move**. Możesz w ten sposób w razie potrzeby manualnie poprawić kształt elementów.

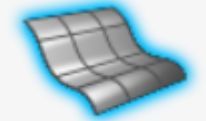
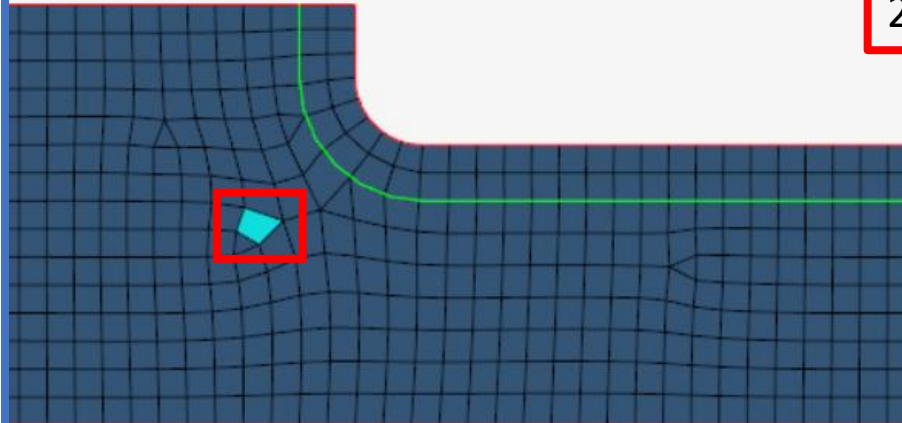
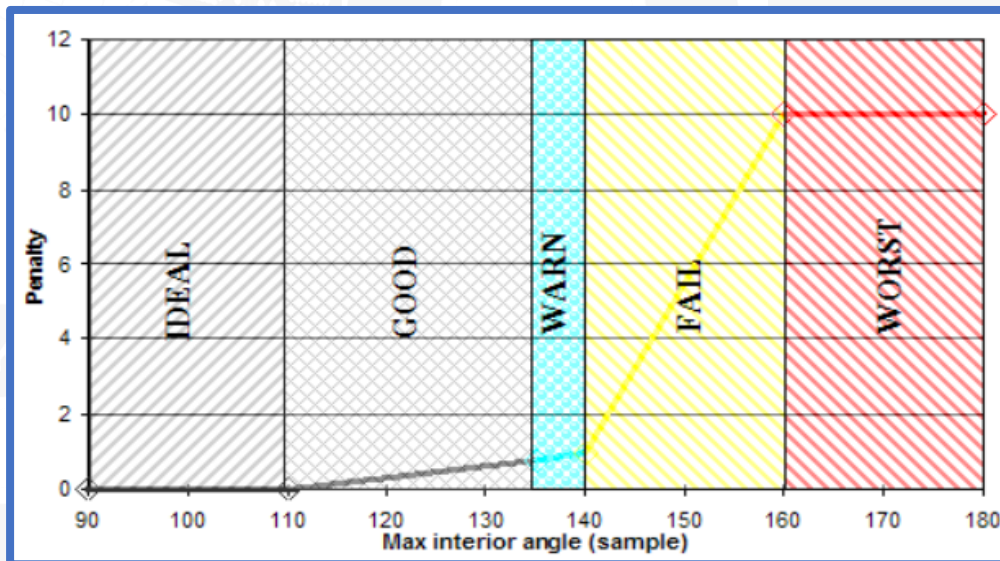




Sprawdź jakość elementów

1. W zakładce **2D** wybierz **Auto Quality**.
2. Wybierz **2D** oraz **QI Range**. Obniż suwak przy kolorowym pasku. Tylko jeden element jest stosunkowo niskiej jakości – kąty odbiegają znacząco od kąta prostego. Element ten leży poza zakresem spiętrzenia naprężeń (promienia) i nie wpłynie na wynik naprężeń w tym miejscu. Siatka może być zaakceptowana.

Jakość elementu zależy od jego kształtu, w tym od kątów pomiędzy jego bokami. W programie Hypermesh obliczany jest wskaźnik **Quality Index (QI)** zależny od wartości dwunastu różnych kryteriów pogrupowanych na pięciu poziomach. [Review 2D Elements by Quality Index](#)



1

Auto Quality

2

1D 2D 3D

QI Range Criteria


Worst
Fail
Warn
Good
Ideal

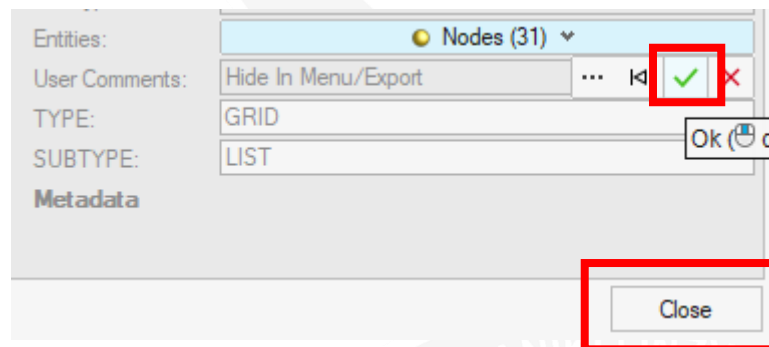
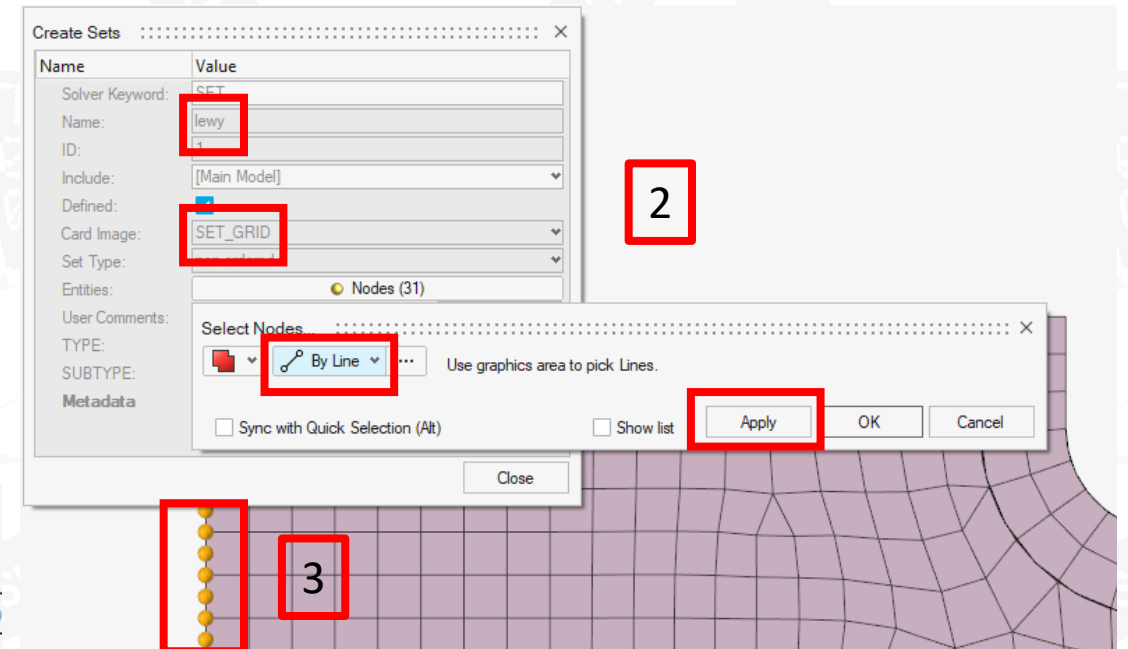
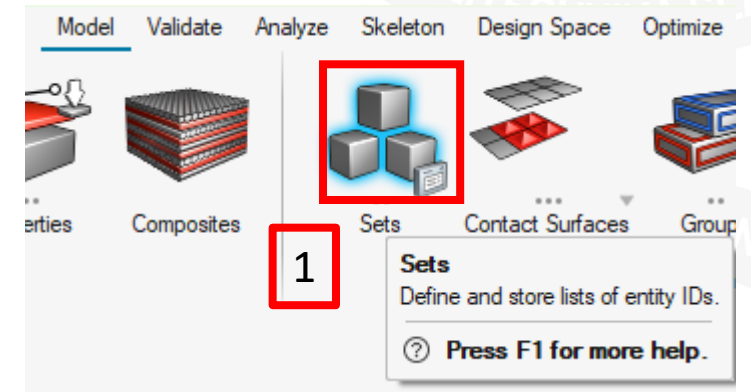
Number of Trias : 5 (1.0 %)

Compound QI : 0.00
Elements Count : 485 (100.0 %)



Zdefiniuj grupy węzłów

1. W pasku **Model** wybierz **Sets**.
2. Ustaw: **Name: lewy, Card Image: SET_GRID**.
3. Kliknij  przy **Nodes**. Wybierz **By Line** i kliknij lewy pionowy bok tarczy. Potwierdź **Apply**.
4. Potwierdź zielonym haczykiem i **Close**.
5. W podobny sposób utwórz zbiory zawierające węzły na dolnym poziomym boku (**dolny**) i prawym pionowym (**prawy**; składa się on z dwóch odcinków).

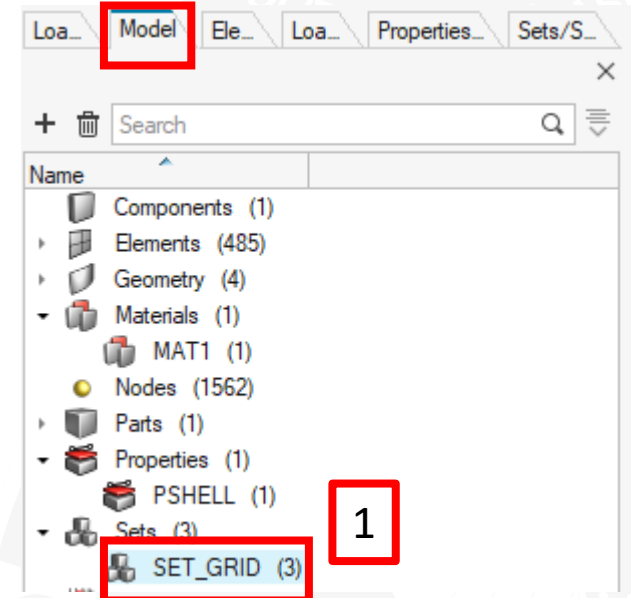




Sprawdź utworzone grupy

1. W panelu **Model** wybierz **SET_GRID (3)**. Otworzy się panel **Sets**
2. Wybierz **lewy** i naciśnij klawisz **Q (review)**. Podświetlą się odpowiednie węzły modelu.
3. Podobnie sprawdź zbiór **dolny**.
4. Podobnie sprawdź zbiór **prawy**.

W razie potrzeby popraw model!



Name	ID	Include	Card Image	Type
lewy	1	0	SET_GRID	Noc
dolny	2	0	SET_GRID	Noc
prawy	3	0	SET_GRID	Noc

2

Name	ID	Include	Card Image	Type
lewy	1	0	SET_GRID	Noc
dolny	2	0	SET_GRID	Noc
prawy	3	0	SET_GRID	Noc

4

Name	ID	Include	Card Image	Type
lewy	1	0	SET_GRID	Noc
dolny	2	0	SET_GRID	Noc
prawy	3	0	SET_GRID	Noc

3

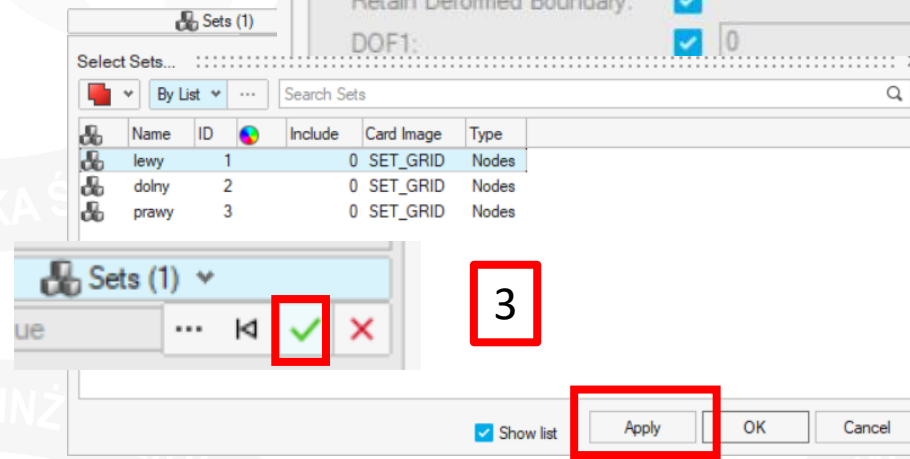
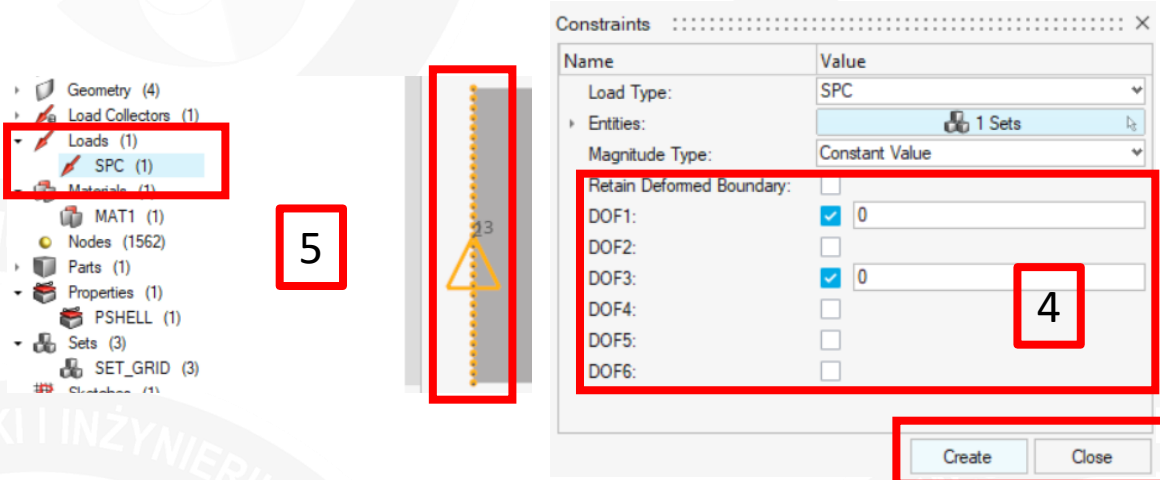
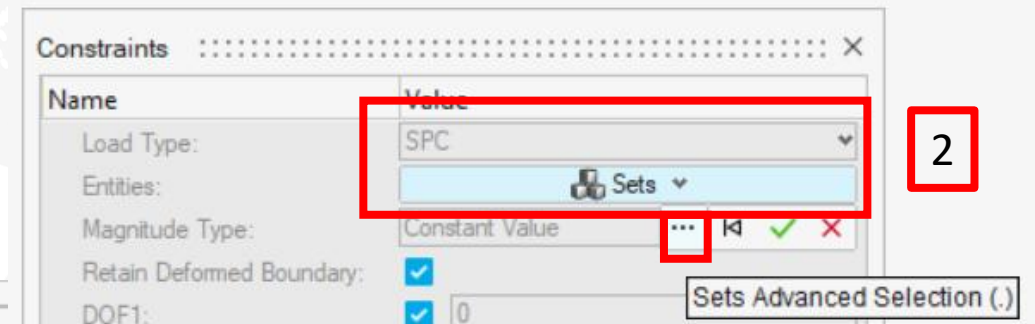
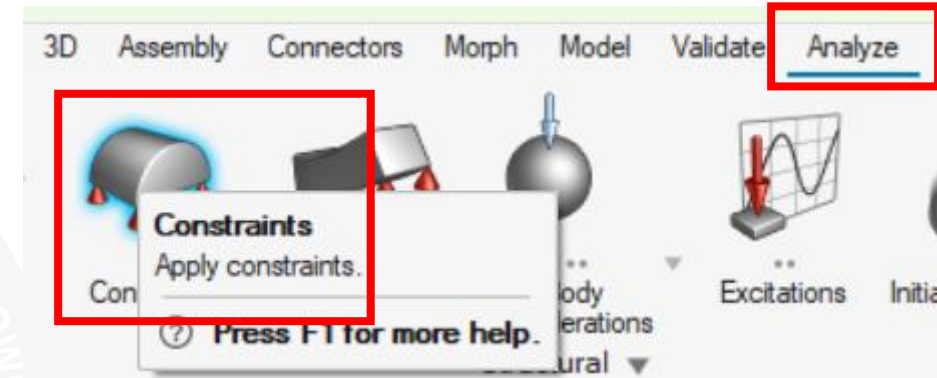




Zdefiniuj pierwszą część podparcia

1

1. Kliknij pasek **Analyze, Constraints**.
2. Ustaw **SPC**, wybierz **Sets** oraz **Sets Advanced Selection**.
3. Z listy zbiorów wybierz **lewy, Apply**, potwierdź haczykiem.
4. Wyzeruj przemieszczenia liniowe wzdłuż osi **X (DOF1)** oraz **Z (DOF3)**. Wybierz **Create, Close**.
5. W strukturze projektu znajdź **SPC (1)** i naciśnij **Q (Review)**. Sprawdź na modelu zadane podparcie.



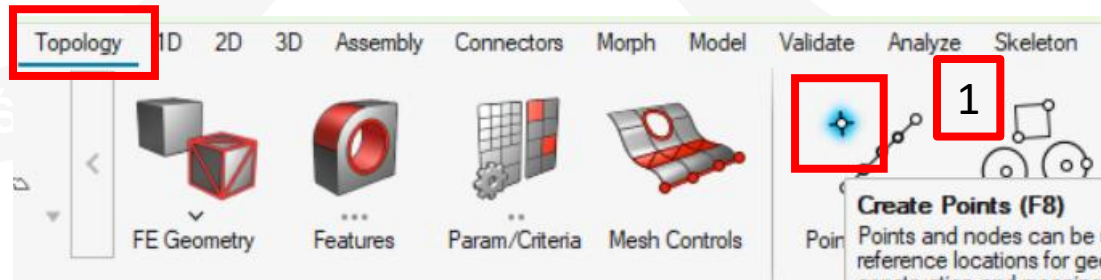
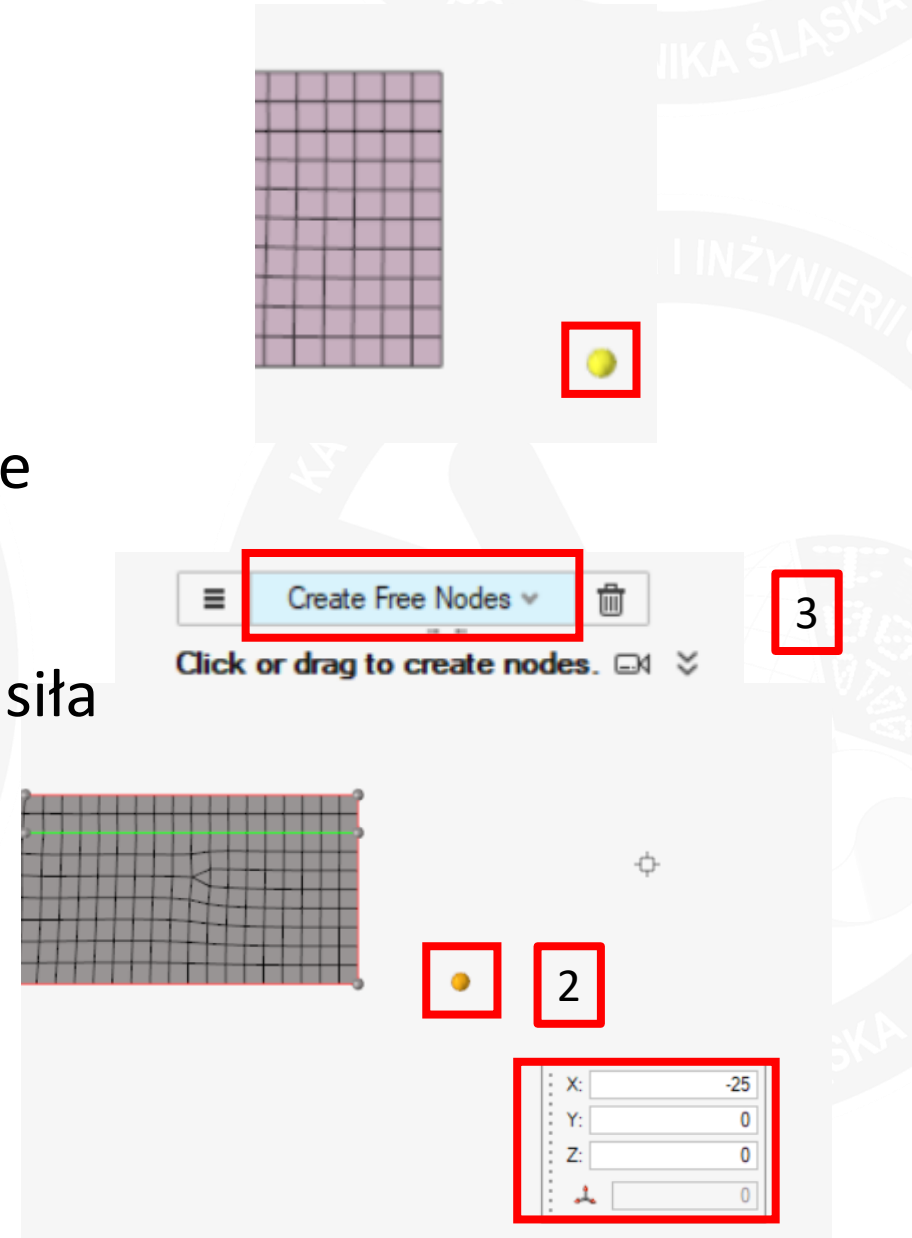
Zdefiniuj drugą część podparcia

W podobny sposób jak poprzednio zdefiniuj podparcie w węzłach zbioru **dolny**. Tym razem odbierz możliwość przesunięcia wzdłuż osi **Y (DOF2)** oraz **Z (DOF3)**.



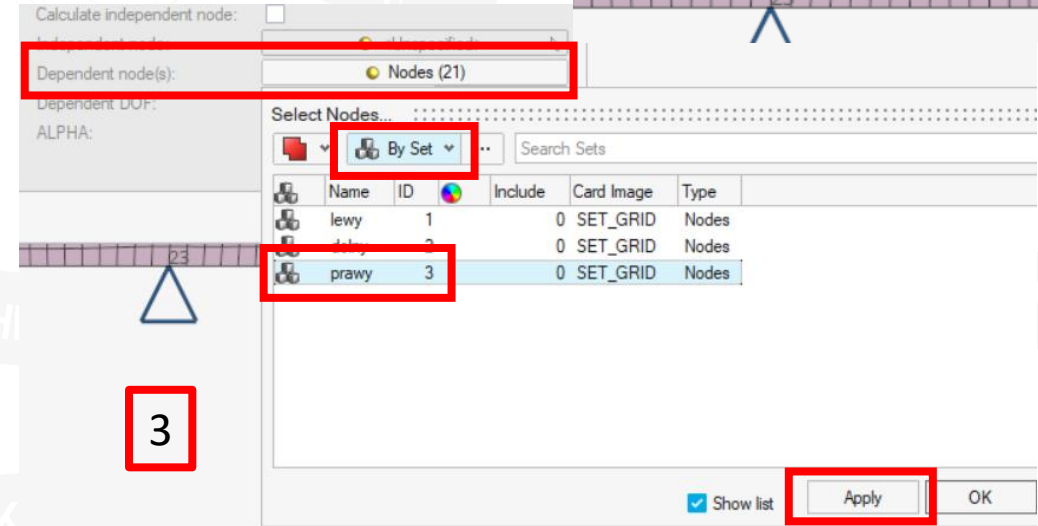
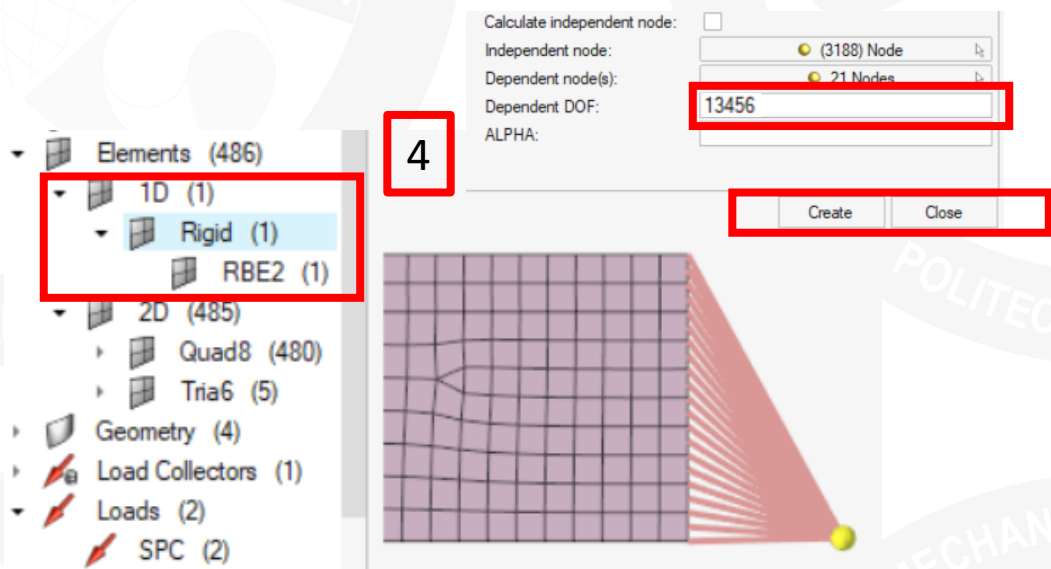
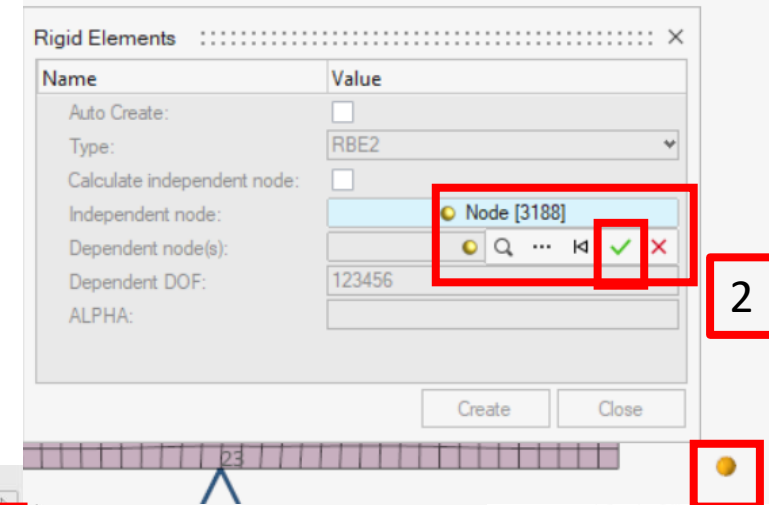
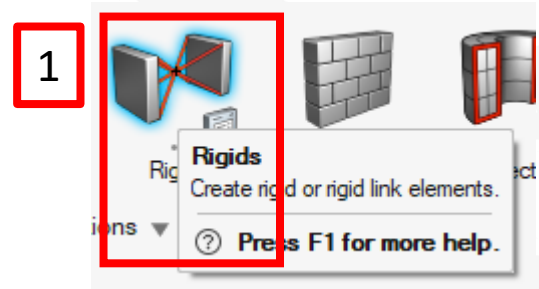
Zdefiniuj węzeł przyłożenia siły

1. Wybierz pasek **Topology**, narzędzie **Points/Nodes**
2. Wskaż orientacyjnie położenie węzła. Dokładne współrzędne możesz wpisać w okienku. Zatwierdź je klawiszem **Enter**.
3. Wybierz **Create Free Nodes**.
4. Utworzony został węzeł, w którym zadana zostanie siła obciążająca pionową krawędź.



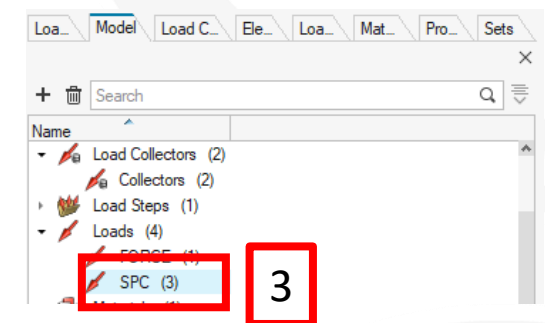
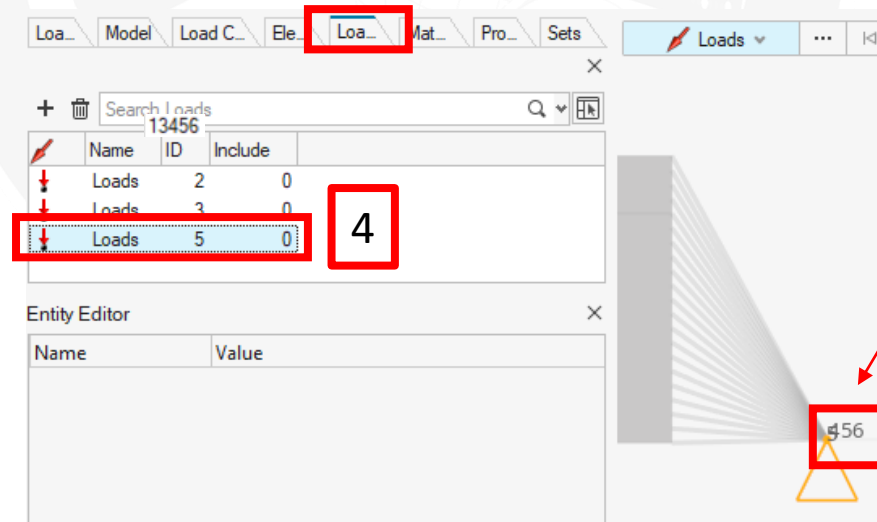
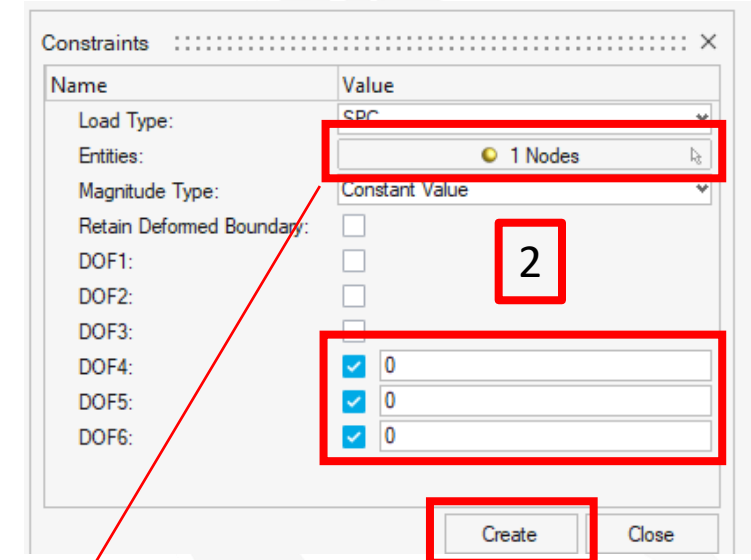
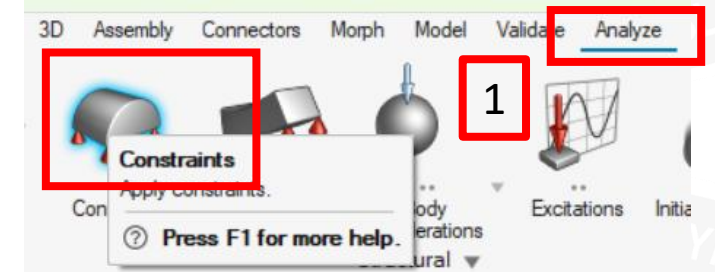
Zdefiniuj obciążenie, cd.

1. Wybierz pasek **Model**, narzędzie **Rigids**.
2. Odznacz **Auto Create**. W polu **Independent Nodes** wybierz nowy węzeł, zatwierdź wybór zielonym haczykiem,
3. W polu **Dependent Nodes** zaznacz węzły na prawym boku – zbiór **prawy**, **Apply**. Zatwierdź wybór zielonym haczykiem. Zwiąż elementem sztywnym wszystkie przemieszczenia poza pionowym (nie wpiszuj **2**). Potwierdź **Create, Close**.
4. Sprawdź nowy obiekt w drzewie.



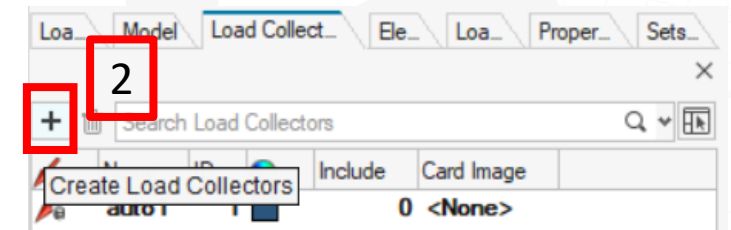
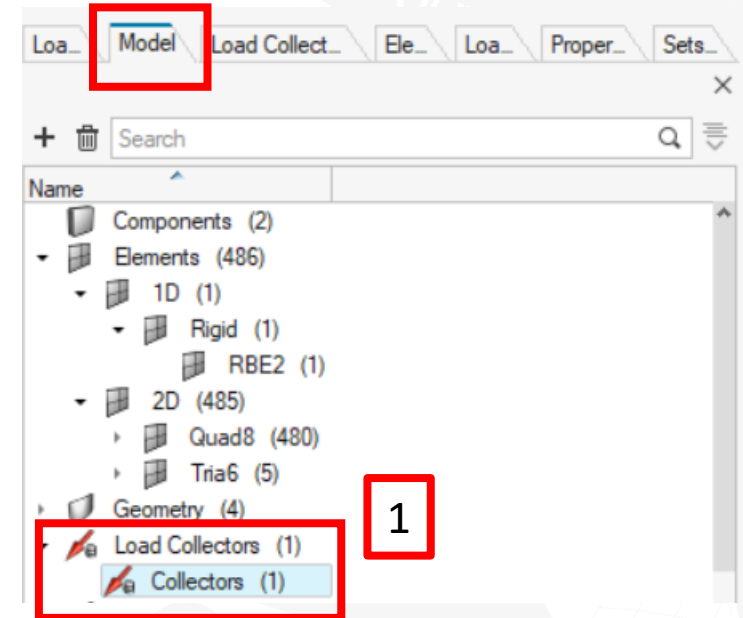
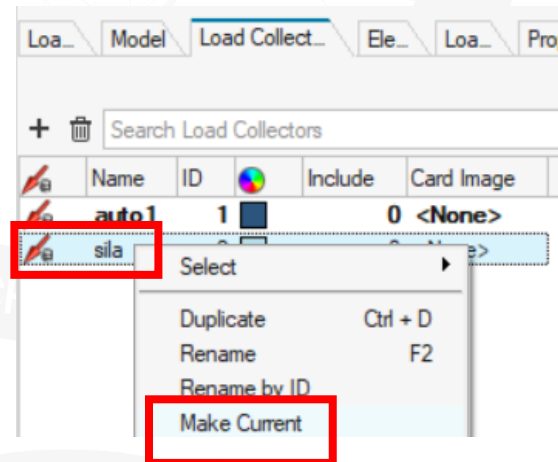
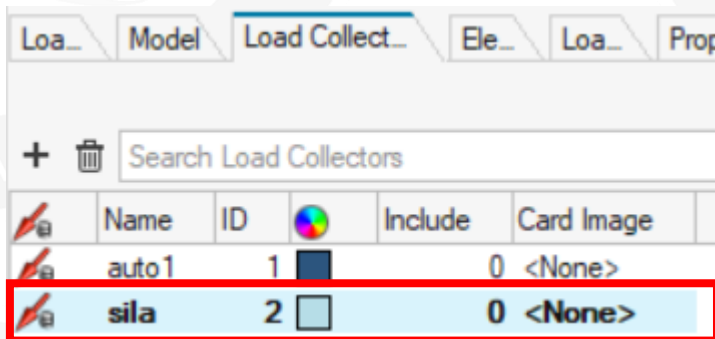
Zdefiniuj obciążenie, cd.

1. Wybierz pasek **Analyze**, narzędzie **Constraints**.
2. W polu **Entities** wybierz węzeł, w którym będzie zadana siła. Wymuś brak obrotów **DOF4-6: 0**. Potwierdź **Create**.
3. W drzewie projektu rozwiń **PPM** obiekt **Loads** a następnie ostatni z obiektów. Naciśnij **Q (Review)**. Sprawdź, czy zadane są prawidłowe przemieszczenia.



Zdefiniuj obciążenie, cd.

1. Wybierz pasek **Model**, kliknij **2xPPM** (prawym przyciskiem myszy) obiekt **Collectors**.
2. W zakładce **Load Collectors** wybierz **Create Load Collectors**. Nowy obiekt nazwij **sila**. Będzie on zawierał definicję obciążenia.
3. Upewnij się, że nowy obiekt jest aktywny. Jego nazwa musi być pogrubiona. W razie potrzeby wybierz **PPM**, **Make Current**.

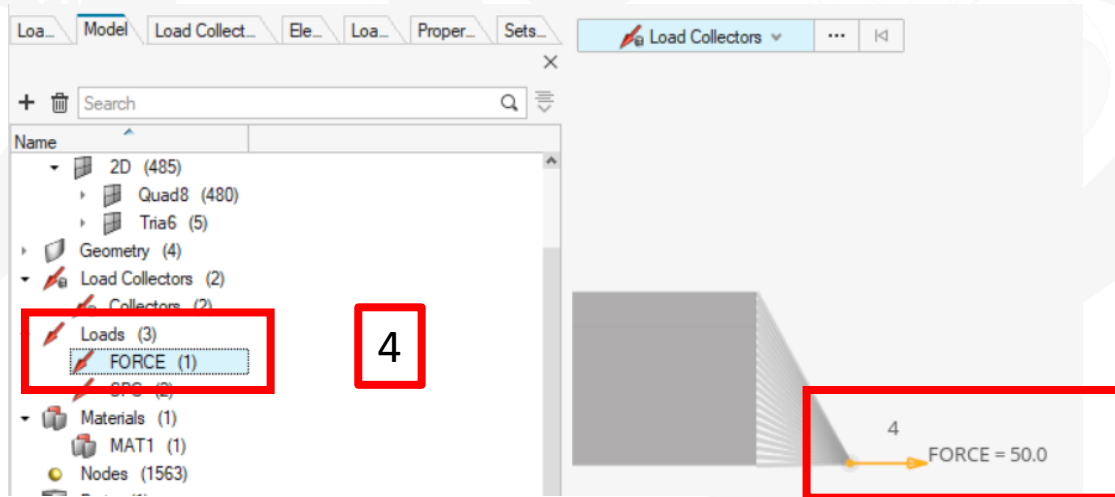
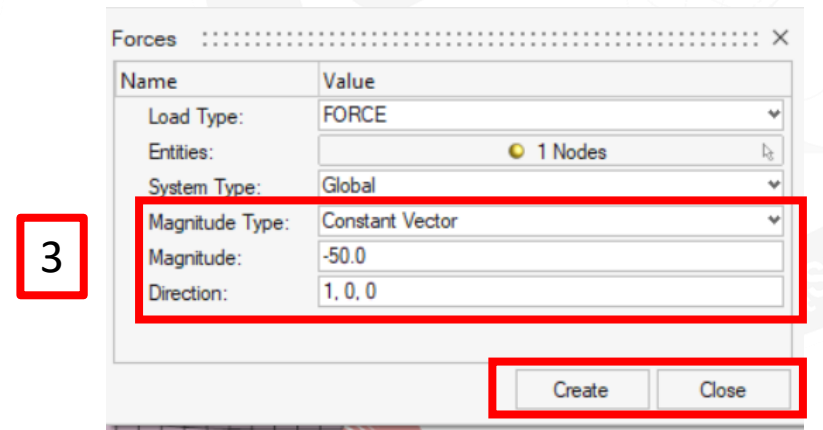
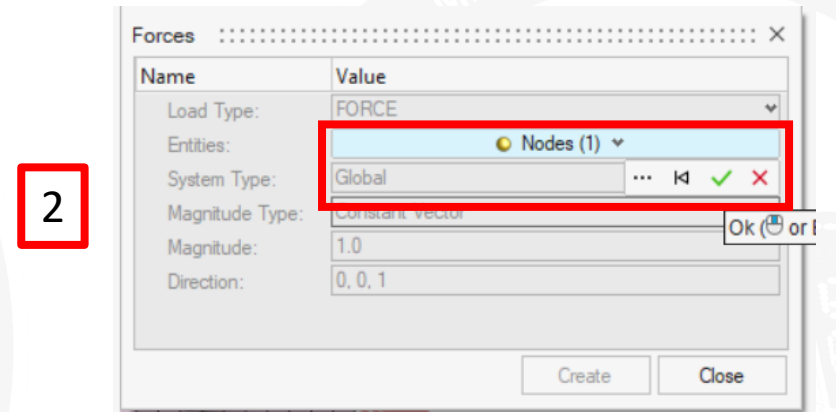
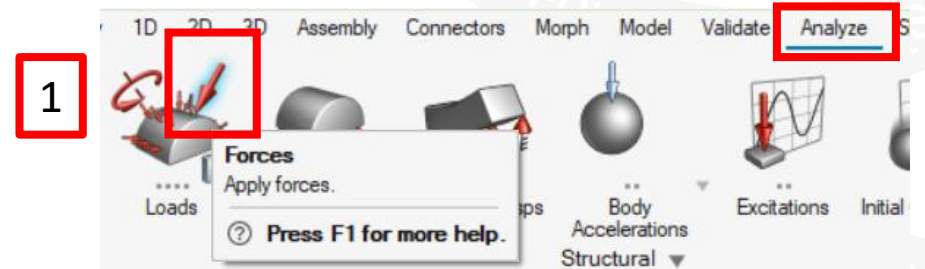


3



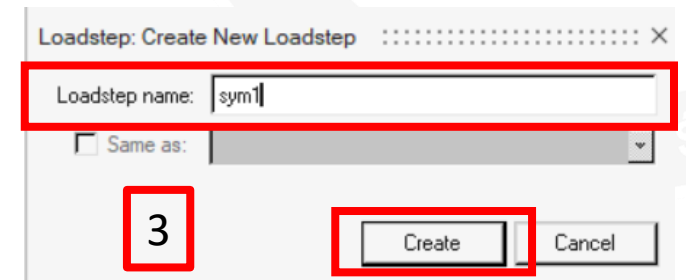
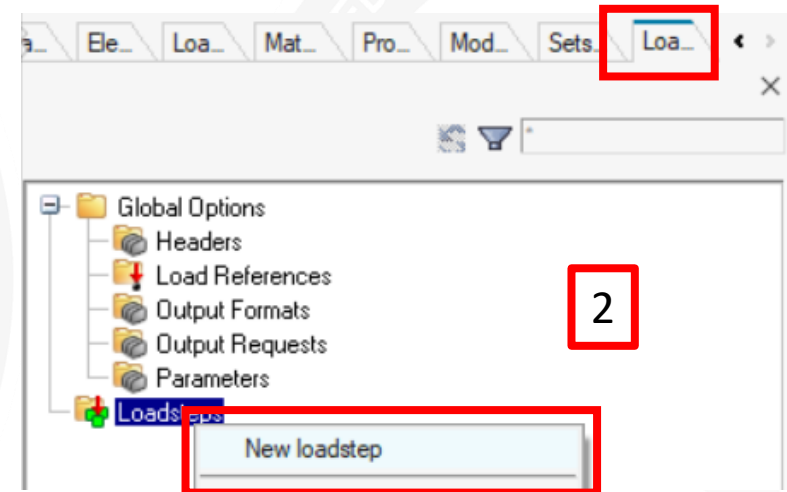
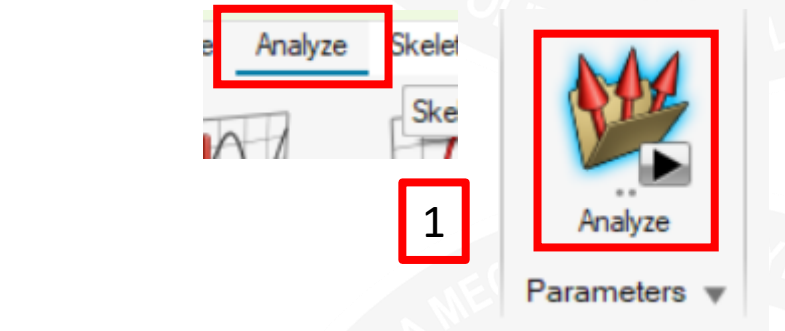
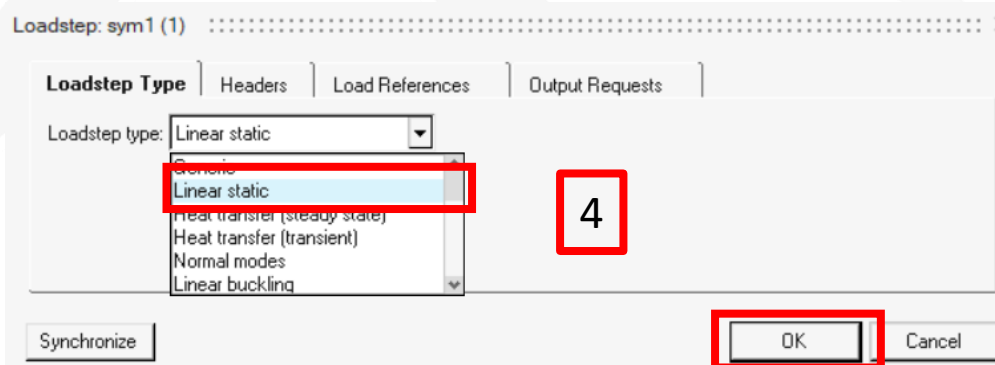
Zdefiniuj obciążenie, cd.

1. Wybierz pasek **Analyze**, narzędzie **Forces**.
2. W polu **Entities** wskaż utworzony pojedynczy węzeł. Zatwierdź zielonym haczykiem.
3. Wpisz dane wektora siły – wartość **Magnitude: -50**, kierunek osi **X (Direction: 1, 0, 0)**. Kliknij **Create, Close**.
4. Sprawdź nowy obiekt w drzewie.



Zdefiniuj przypadek obciążenia

1. Wybierz pasek **Analyze**, narzędzie **Analyze**.
2. W panelu bocznym, w zakładce **Loadsteps** kliknij **PPM** na obiekcie **Loadsteps** -> **New loadstep**.
3. Wpisz nazwę **sym1**.
4. Wybierz typ: **Linear static**, potwierdź **OK**.





Wprowadź parametry symulacji

1. Wybierz panel **Model**, kliknij **2xLPM** na **SUBCASE**.
2. We właściwościach obiektu **sym1** ustaw collector – **SPC: auto1** (przemieszczenia), **LOAD: sila** (obciążenie).
3. Przewiń w dół aż do **OUTPUT** – zaznacz.
4. Przewiń w dół aż do **STRESS** – zaznacz, wpisz liczbę przypadków: **1**, format **H3D** (plik Hypermesha z wynikami naprężeń) oraz lokalizację wyniku naprężeń w elemencie – interpolacja do naroży: **CORNER**.

Uwaga: Bez zaznaczenia ostatniej opcji uzyskasz na brzegu układu zaniżone wyniki naprężeń, wzięte z punktu środkowego elementu skończonego!

STRESS:

STRESS_NUM =: 1

1

FORMAT: H3D

FORM:

TYPE:

LOCATIO... CORNER

OUTPUT:

ACCELERATION:

CFailure:

CMDE:

Model

Search 1

Load Steps (1)

SUBCASE (1)

Model

Search Load Steps

Name	ID	Include
sym1	1	0

Entity Editor - Load Step

Name	Value
Solver Keyword:	SUBCASE
Name:	sym1
ID:	1
Include:	[Main Model]
User Comments:	Do Not Export
Subcase Definition	
Analysis type:	Linear Static
SPC:	(1) auto1
LOAD:	(2) sila
SUPPORT:	(Unspecified)

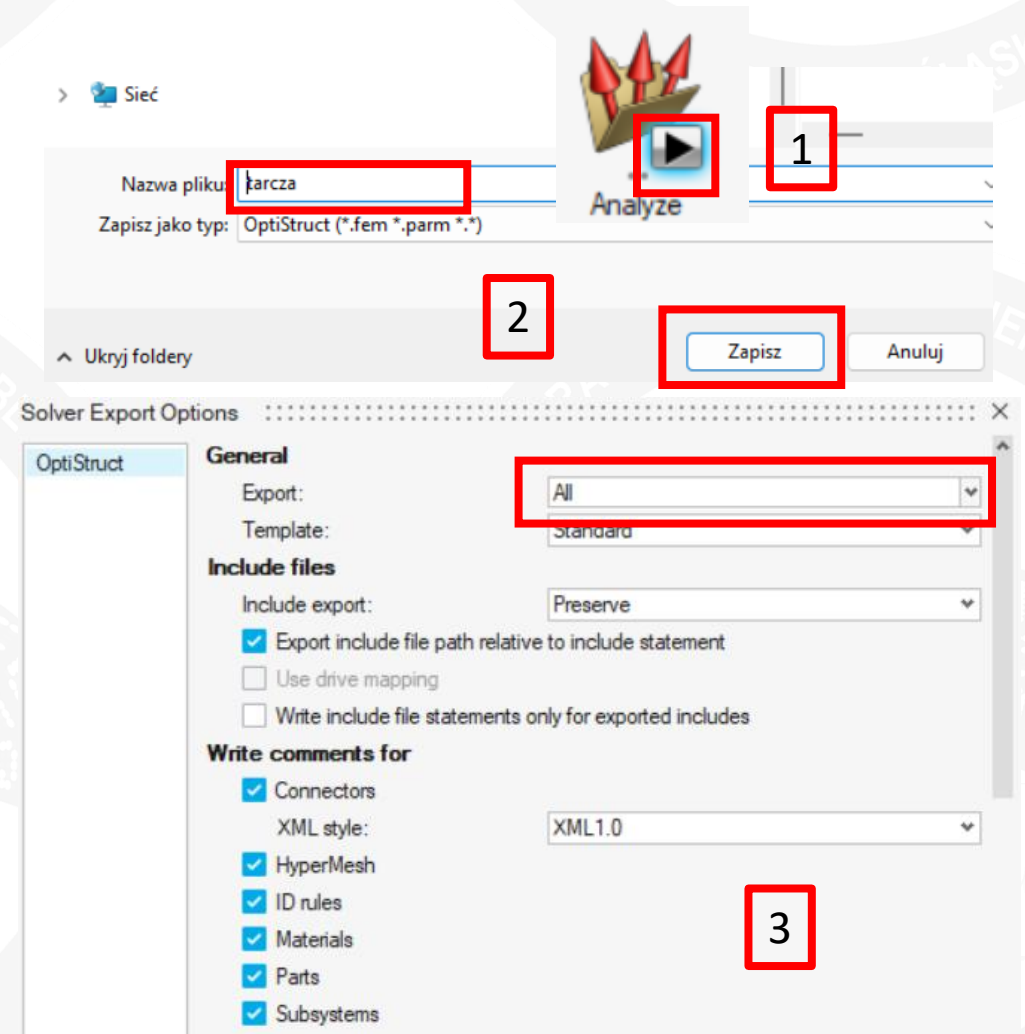
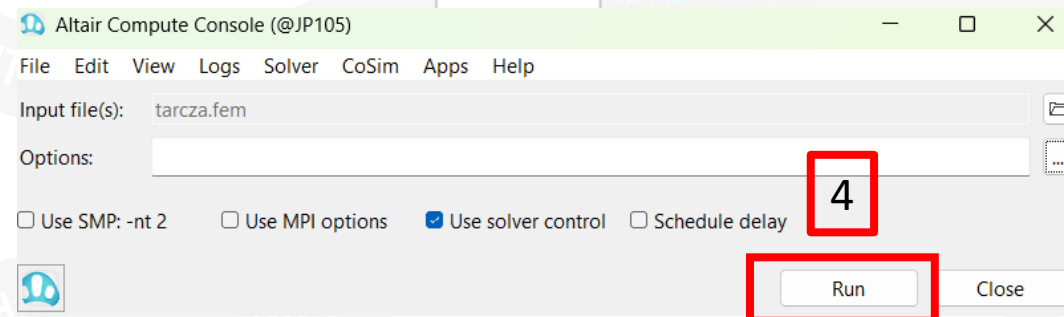
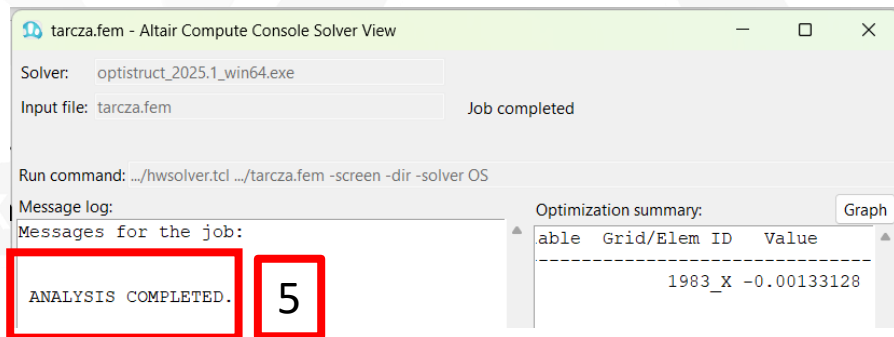




Uruchom analizę

1. Wybierz pasek **Analyze**, narzędzie **Analyze**.
2. Wpisz nazwę pliku z modelem, **Zapisz**.
3. W oknie eksportowania modelu wybierz **All, Export**.
4. W oknie **Altair Compute Console** wybierz Run.
5. W oknie **Altair Compute Solver View** powinien wyświetlić się komunikat **ANALYSIS COMPLETED**.

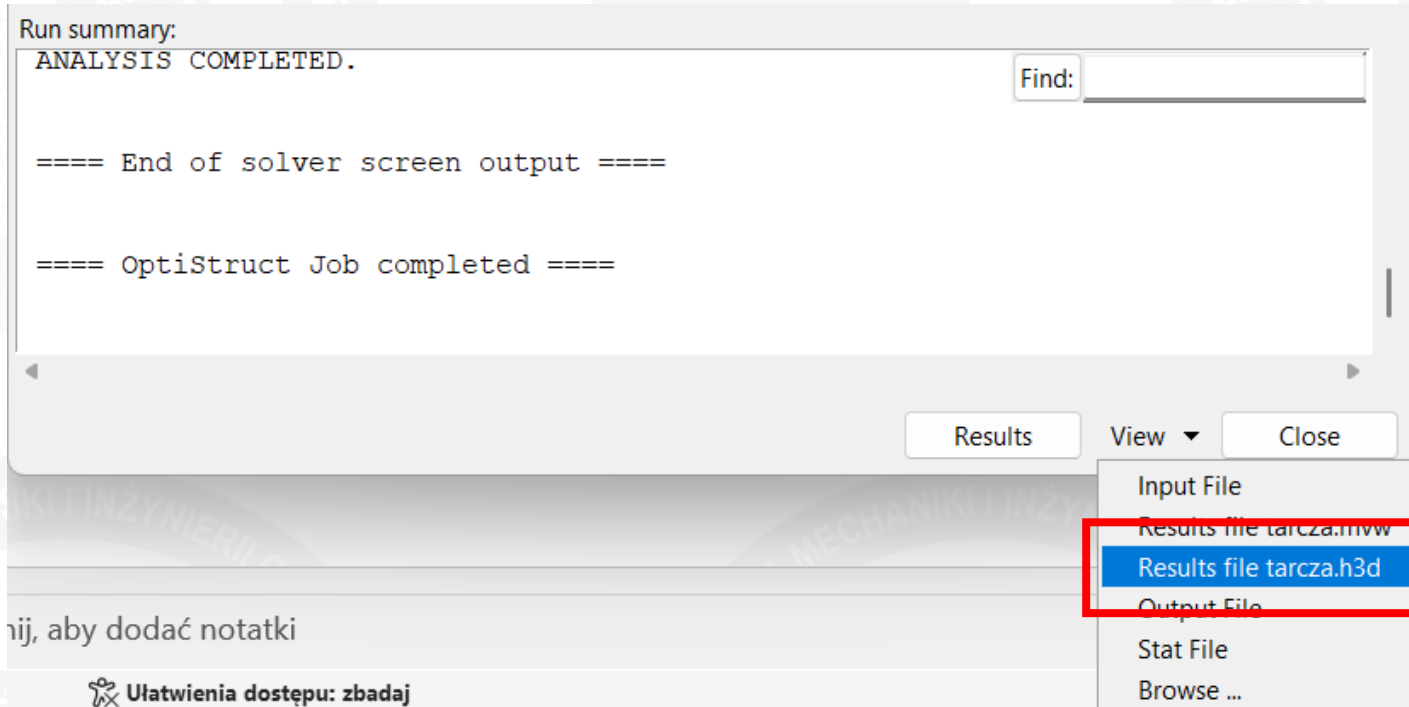
Jeśli widać komunikaty o błędach – musisz dokładnie sprawdzić swój model...





Wczytaj wyniki

1. Wybierz **View, Results file tarcza.h3d**.
2. Poczekaj na uruchomienie programu **HyperView**.



Altair® HyperMesh®

2025.1

Copyright © 2025 Altair Engineering Inc. All Rights Reserved
Loading HyperWorksDesktop [gui/win64/bin/hwdplugin.dll].



2

1



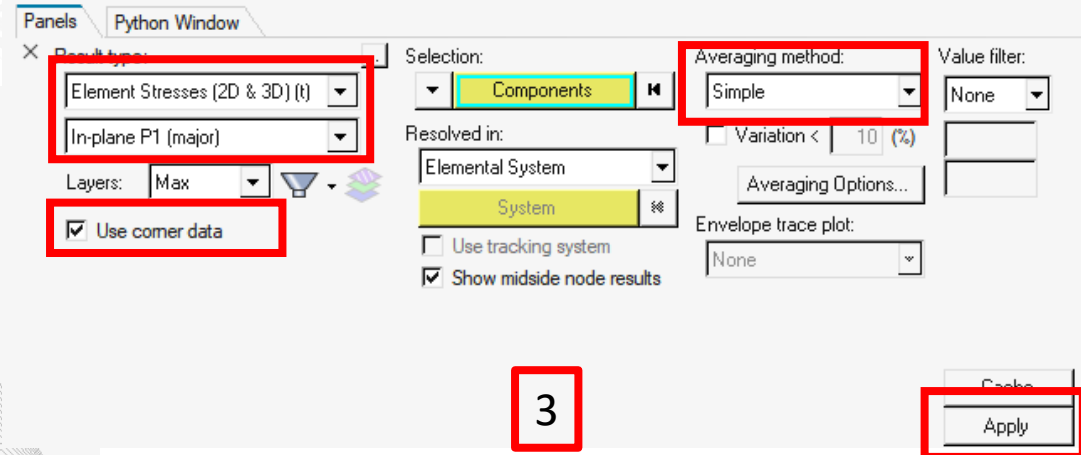
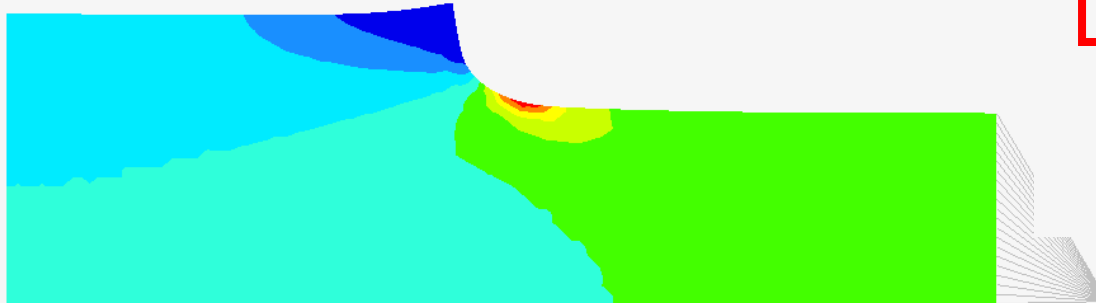
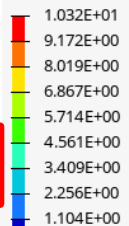


Wyświetl wyniki naprężeń

1. Wybierz pasek **Results**, narzędzie **Contour**.
2. Ustaw odpowiedni rzut.
3. W dolnym panelu wybierz parametry mapy naprężeń: największe naprężenia główne dla układu płaskiego **In-Plane P1 (major)**, wartości z naroży elementów **Use Corner Data**, sposób uśredniania wyników naprężeń w węzłach **Simple**, potwierdź **Apply**.



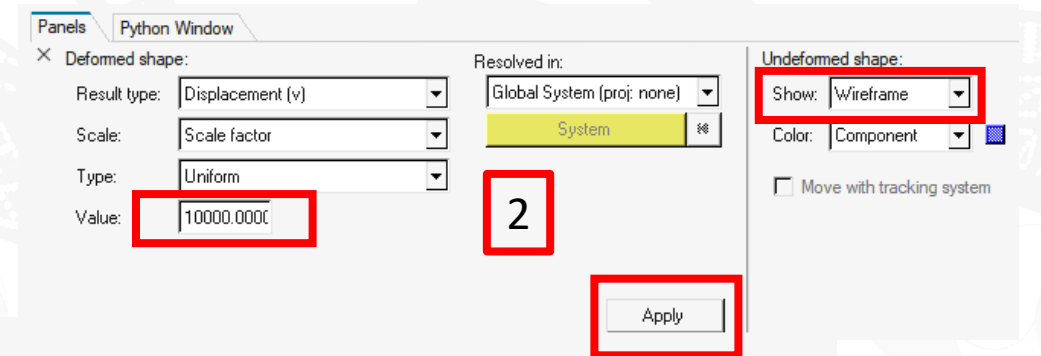
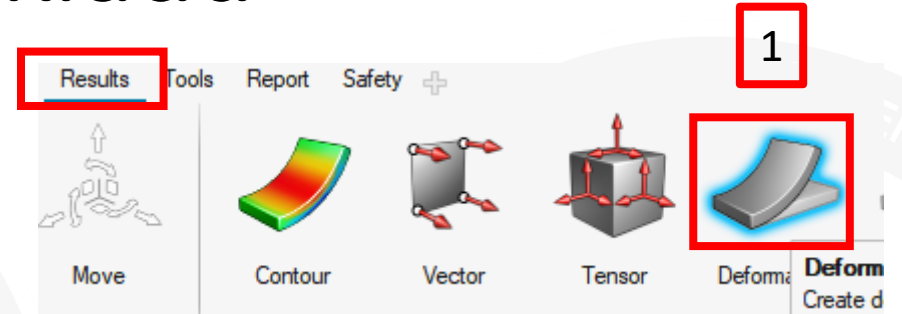
Contour Plot
Element Stresses (2D & 3D)(In-plane P1 (major), Max, CornerData)
Elemental system
Simple Average



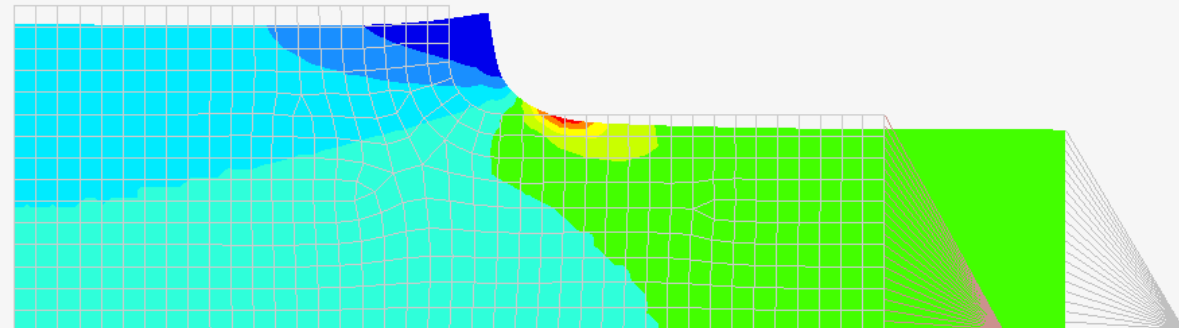
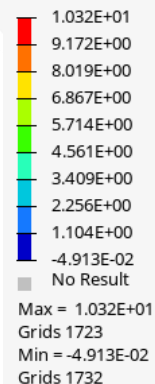
Sprawdź kształt obciążonego układu

1. Wybierz pasek **Results**, narzędzie **Deformation**.
2. W panelu dolnym wpisz skalę przemieszczeń **1e4** lub **10000**, wybierz styl wyświetlania wyjściowego kształtu układu **Wireframe**, potwierdź **Apply**.

Czy układ odkształcił się zgodnie z oczekiwaniami?
Dlaczego odpowiednie krawędzie tarczy pozostały prostoliniowe, w szczególności ta obciążona siłą?



Contour Plot
Element Stresses (2D & 3D)(In-plane P1 (major), Max, CornerData)
Elemental system
Simple Average



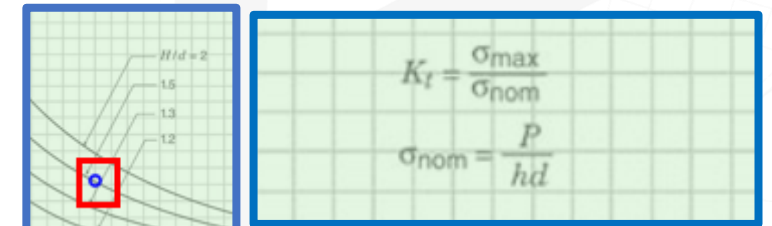
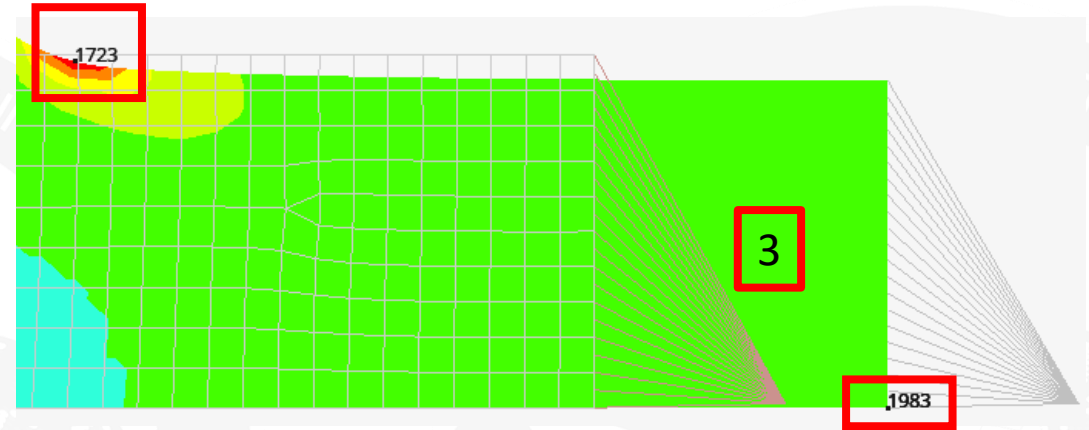


Sprawdź wyniki naprężeń

1. Wróć do **Contour**, w panelu dolnym wybierz **Query Results**.
2. Wskaż dwa węzły: z maksymalną wartością naprężeń w obszarze zaokrąglenia oraz prawe dolne naroże.
3. Odczytaj wartości naprężeń w tych punktach z tabelki na dole ekranu i oblicz wartość współczynnika kształtu. Możesz skorzystać z konsoli Pythona **View -> Python Window**.

Czy obliczona wartość ok. 2.05 zgadza się z danymi literaturowymi? Czy można ją uzyskać dokładniej? W jaki sposób?

Z czego wynika wartość naprężeń w obszarze prawej krawędzi tarczy? Czy Jesteś w stanie sprawdzić ją analitycznie na podstawie danych?



Node ID	Node Coordinates	Contour(Element Stresses (2D & 3D))
1723	-1.65868 -10.1173 0	1.032E+01
1983	-20.0008 0 0	5.029E+00
1983	-20.0008 0 0	N/A

2

3

```

Panels Python Window
Jupyter QtConsole 5.6.1
Python 3.8.20.2 (default, May 19
Type 'copyright', 'credits' or
IPython 8.12.3 -- An enhanced In

IPython profile: hwx

In [1] 1.032E+01 / 5.029E+00
Out[1] 2.052097832571088

```





Podsumowanie

Wykonując ćwiczenie nauczyłeś/aś się jak:

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





KONIEC

