

Metody komputerowe w mechanice

Rozwiązanie problemu belki zginanej w systemie Abaqus

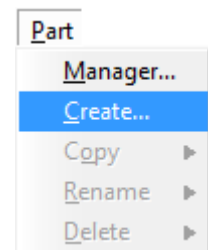
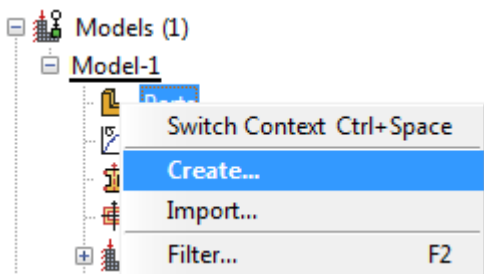
Uwagi:

- Instrukcja została opracowana dla systemu **Abaqus** w wersji **6.9**. W pracowniach komputerowych lub na klastrze komputerowym mogą być zainstalowane inne wersje oprogramowania. Z tego powodu mogą się zdarzyć drobne różnice w wyglądzie ikon narzędzi i okien dialogowych, w porównaniu z rysunkami umieszczonymi w instrukcji.
- Skrót **PPM** oznacza kliknięcie prawym przyciskiem myszy a **LPM** oznacza kliknięcie lewym przyciskiem myszy.
- Bardzo wiele narzędzi można uruchomić w różny sposób, np. tworzenie nowej części:


Model tree ⇒ **PPM: Parts | Create...**

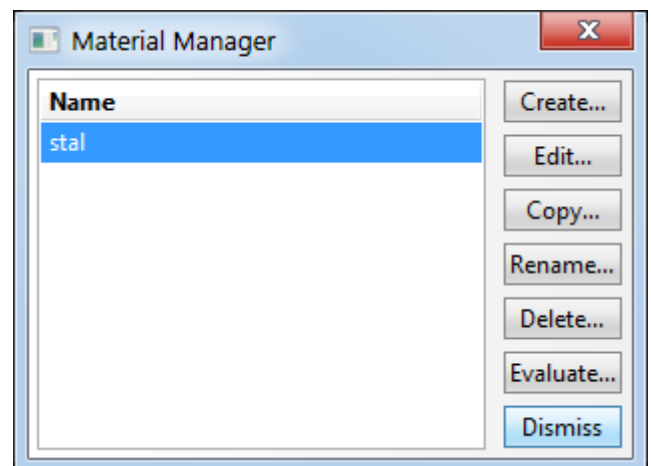
Toolbox ⇒ **Create Part**

Menu ⇒ **Part | Create...**



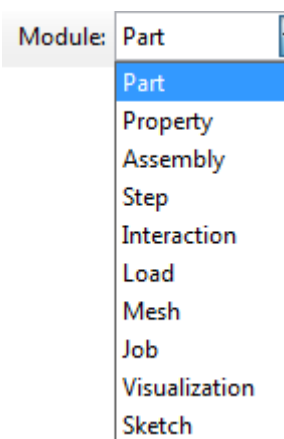
- W instrukcji zwykle będzie informacja o jednym sposobie, głównie z użyciem **Menu** lub **Model tree** (najprostsze do opisanie).

- Narzędzia **Toolbox** ⇒ **... Manager**  służą do zarządzania różnymi elementami modelu (np.: materiałami, częściami, profilami, przekrojami, etc.), za ich pomocą można tworzyć, usuwać czy modyfikować elementy modelu, poniżej znajduje się przykładowe okno menadżera materiałów.



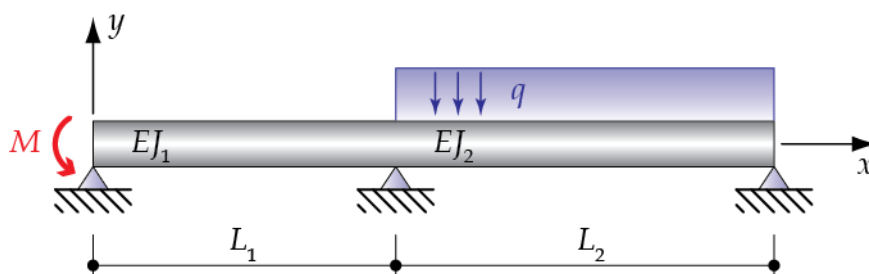
- Niektóre ikony narzędzi w **Toolbox** mają umieszczony czarny trójkąt w dolnym prawym rogu, oznacza to, że po jego dłuższym naciśnięciu pojawi się dodatkowa paleta z kolejnymi narzędziami.





- Często podczas pracy należało będzie zmienić tzw. moduł (**Module**), po zmianie modułu zmieni się część menu:
- Moduły w Abaqusie:
 - **Part** – narzędzia do tworzenia (rysowania) elementów geometrycznych zadania.
 - **Property** – narzędzia pozwalające na zdefiniowanie oraz przyporządkowanie właściwości (materiał, geometria przekroju, etc.) stworzonych elementów geometrii.
 - **Assembly** – określenie wzajemnego położenia części względem siebie, zdefiniowanie położenia w globalnym układzie współrzędnych, łączenie lub *wycinanie* części.
 - **Step** – zdefiniowanie kroku obliczeń (wybór rodzaju analizy), zdefiniowanie listy danych wynikowych; jedna analiza może zawierać kilka kroków obliczeniowych, a wyniki kroku obliczeniowego mogą być danymi do wykonania kolejnego kroku obliczeniowego.
 - **Interaction** – zdefiniowanie mechanicznych i termicznych zależności między modelem a jego otoczeniem lub między elementami modelu (np.: kontakt).
 - **Load** – definiowanie obciążenia (siła, moment, ciśnienie, etc.), warunków brzegowych (podpory, przemieszczenia, etc.) oraz warunków początkowych (prędkość, grawitacja, etc.).
 - **Mesh** – narzędzia umożliwiające generowanie, weryfikację i modyfikację siatki skończenie elementowej.
 - **Job** – uruchamianie i zarządzanie analiz.
 - **Visualization** – narzędzia do graficznej prezentacji wyników (mapy naprężeń, wykresy, etc.).
 - **Sketch** – narzędzia do rysowania szkiców płaskich, które mogą być wykorzystane do definiowania płaskich elementów, prętów, belek oraz elementów przestrzennych, które mogą być otrzymane przez obrót, wyciągnięcie, etc.

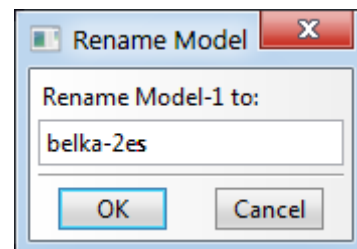
Belka zginana



- $L_1 = 6$ m, profil dwuteowy 260 x 135 mm
- $L_2 = 8$ m, profil dwuteowy 330 x 160 mm
- $E = 200$ GPa
- $q = 10$ kN/m
- $M = 20$ kNm

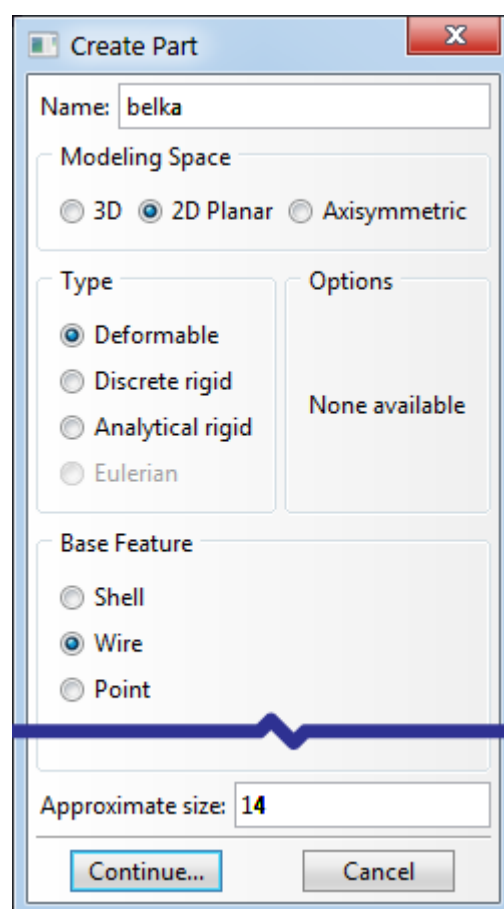
Zmiana nazwy modelu


- Wybierz **Model tree** ⇒ **PPM: Model-1 | Rename...**
- Wpisz nową nazwę: **belka-2es**

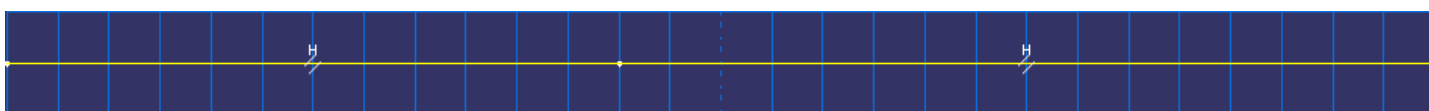


Dodanie części, rysowanie geometrii

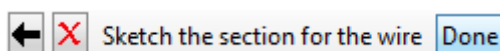
- Zmień moduł **Module** ⇒ **Part**
- Wybierz **Model tree** ⇒ **PPM: Parts | Create...**
- Utwórz część o nazwie **belka**, ustaw parametry:
 - **Modeling Space:** 2D Planar
 - **Type:** Deformable
 - **Base Feature:** Wire
 - **Approximate Size:** 14




- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Create Lines: Connected** 
- Naszkicuj belkę składającą się z dwóch części, mającą punkty o współrzędnych (-7, 0), (-1, 0), (7, 0)

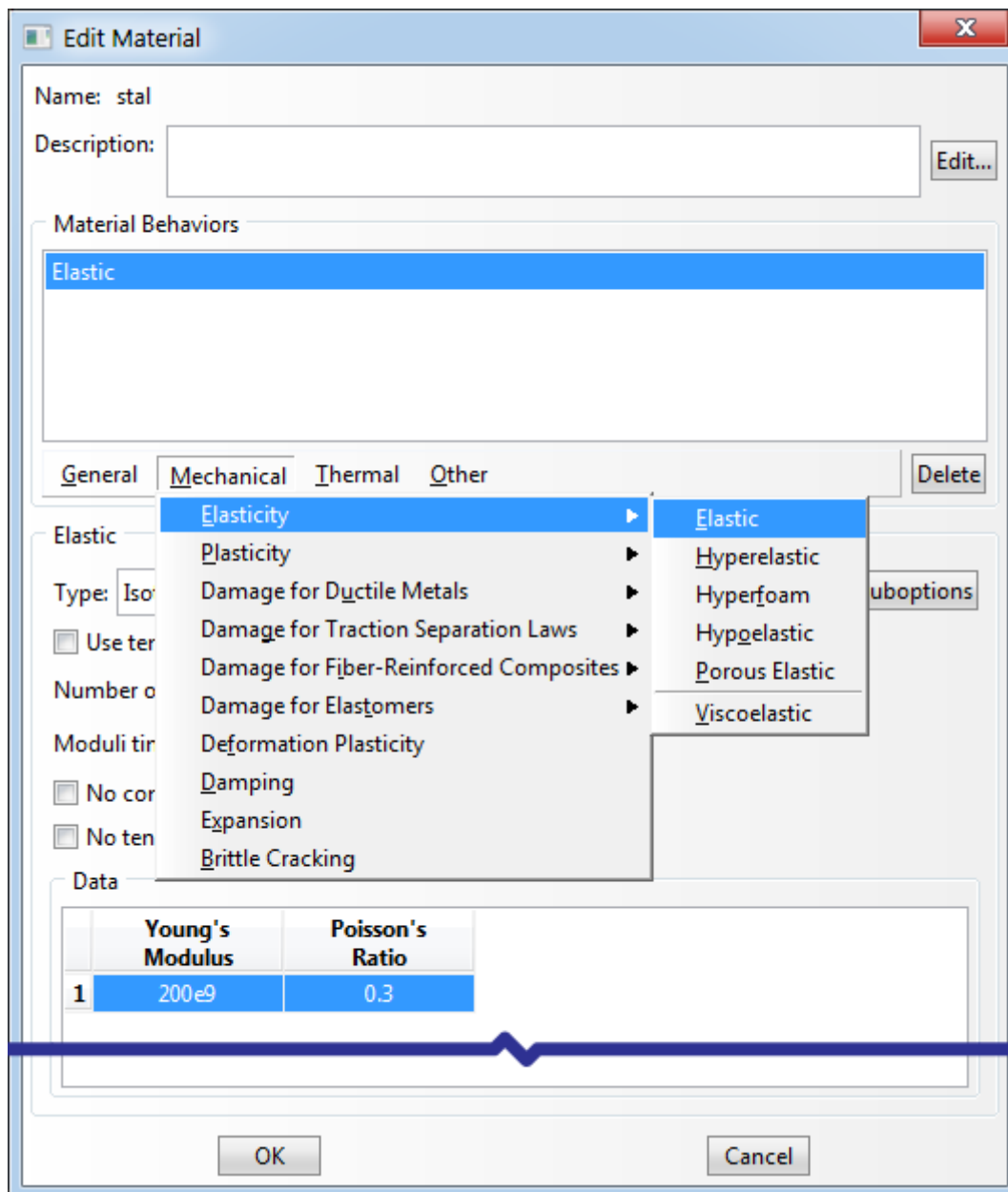


- Wyłącz narzędzie **Toolbox** ⇒ **Create Lines: Connected**
- Zakończ działanie narzędzia przyciskiem **Done**




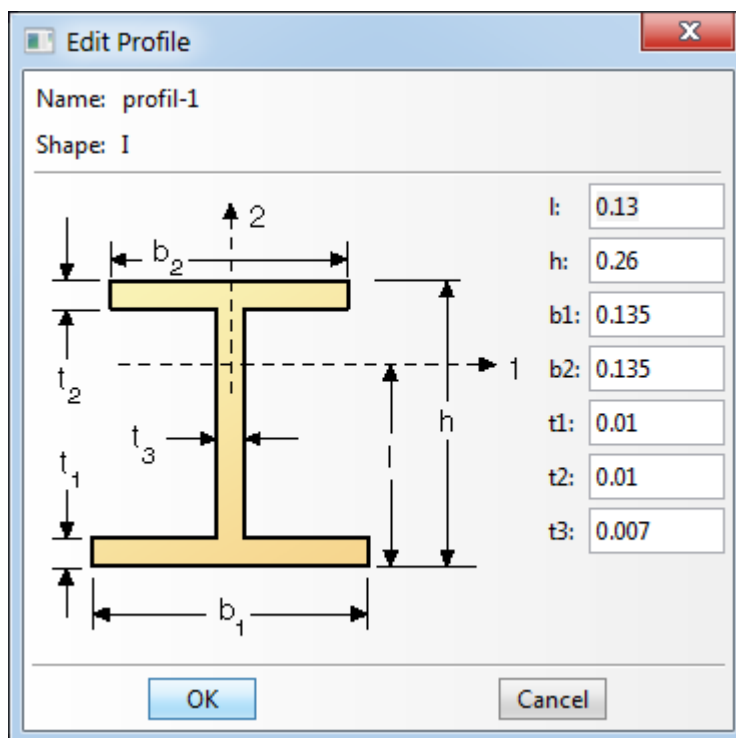
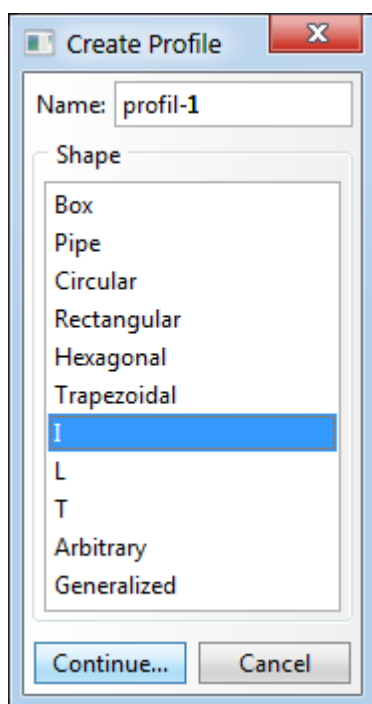
Definicja materiału

- Zmień moduł **Module** ⇒ **Property**, wybierz **Toolbox** ⇒ **Create Material** 
- Utwórz nowy materiał o nazwie **stal**:
 - Model materiału wybierz z grupy **Mechanical | Elasticity | Elastic**
 - **Young's Modulus**: 200e9, **Poisson's Ratio**: 0.3




Definicja profili (geometrii przekrojów poprzecznych)

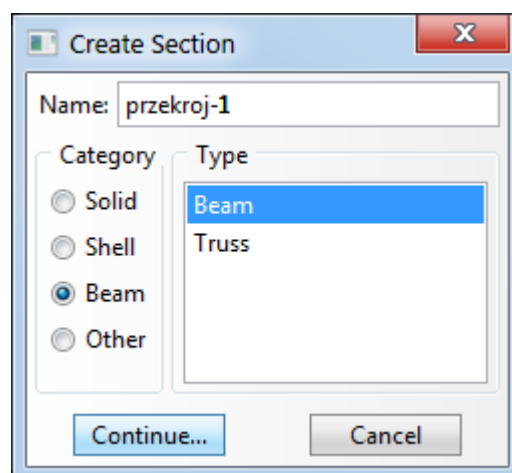
- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Create Profile** 
- Utwórz profil dwuteowy o nazwie **profil-1**
 - $l=0.13$
 - $h=0.26$
 - $b1=0.135$
 - $b2=0.135$
 - $t1=0.01$
 - $t2=0.01$
 - $t3=0.007$



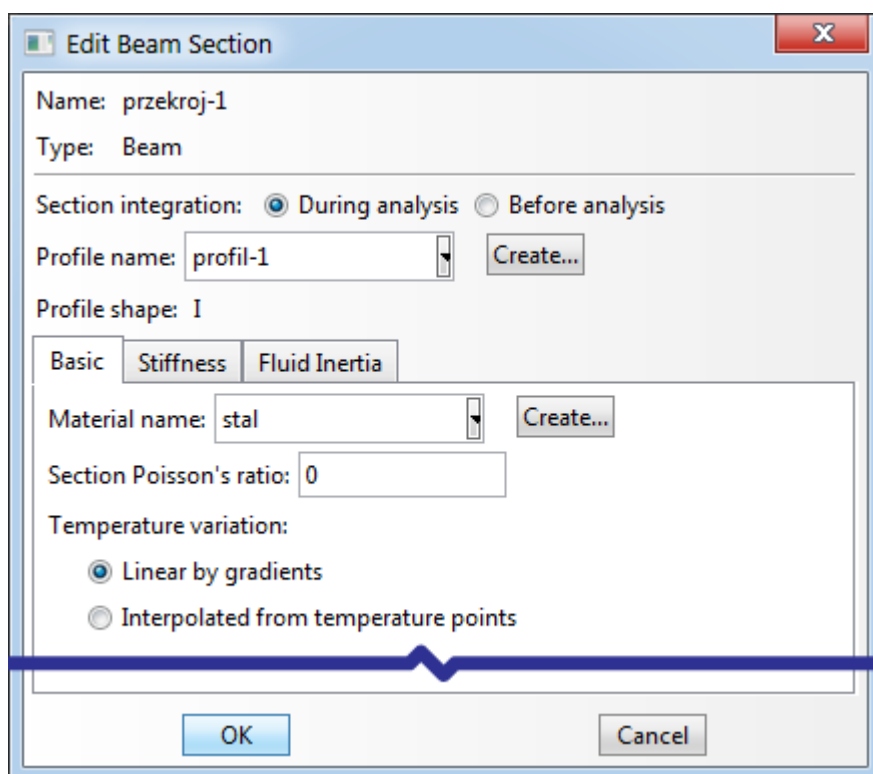
- Analogicznie zdefiniuj drugi profil **profil-2** o wymiarach
 - $l=0.165$
 - $t1=0.01$
 - $h=0.33$
 - $t2=0.01$
 - $b1=0.16$
 - $t3=0.007$
 - $b2=0.16$

Definicja przekrojów

- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Create Section** 
- Utwórz przekrój o nazwie **przekroj-1**
- Ustaw parametry:
 - **Category:** Beam
 - **Type:** Beam




- W kolejnym oknie dialogowym ustaw:
 - Profile name:** profil-1
 - Material name:** stal

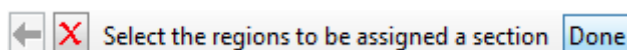


- Analogicznie utwórz **przrkój-2** (**Category:** Beam, i **Type:** Beam) z parametrami: **Profile name:** profil-2 i **Material name:** stal

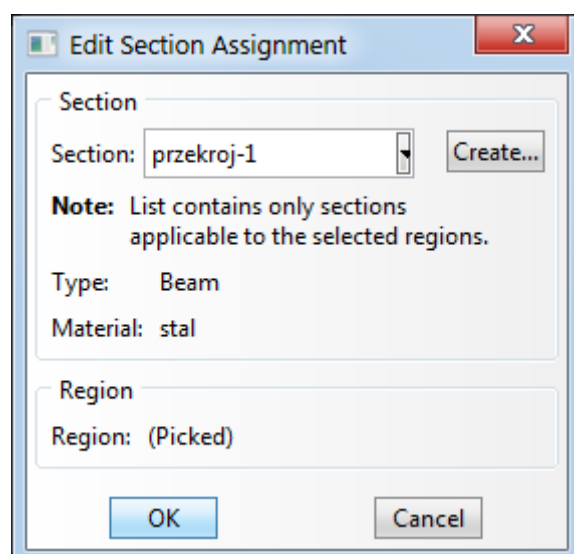
Przypisanie przekrojów

- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Assign Section** , zaznacz lewą część belki (po zaznaczeniu będzie koloru czerwonego)

- Zakończ działanie narzędzia **Done**



- W oknie dialogowym ustaw **Section:** przekroj-1

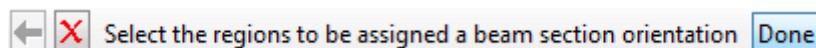


- W analogiczny sposób przypisz przekrój **przekroj-2** do prawej części belki

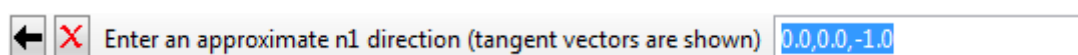
Ustalenie położenia profilu belki

- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Assign Beam Orientation** 
- Zaznacz całą belkę

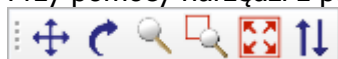
- Zakończ działanie narzędzia przyciskiem **Done**



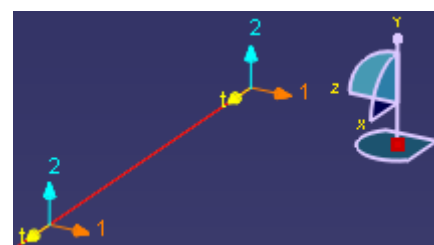
- Wprowadź współrzędne wektora (0.0, 0.0, -1.0) dla kierunku **n1** (prostopadły do środka), zaakceptuj klawiszem [ENTER]



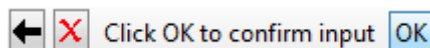
- Przy pomocy narzędzi z paska **View Manipulation**



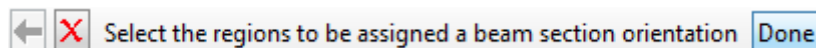
można zmienić sposób wyświetlania modelu (obrócić, powiększyć, pomniejszyć, etc.)



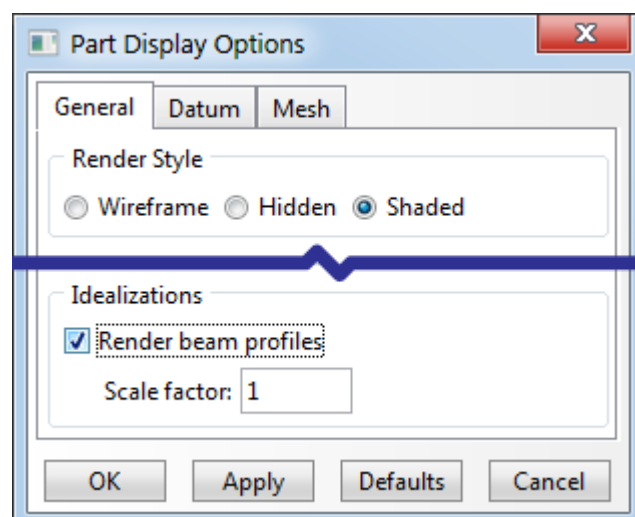
- Zaakceptuj wybór przyciskiem **OK**



- Zakończ działanie narzędzia przyciskiem **Done**




- Wybierz **Menu** ⇒ **View | Part Display Options...**
- Zaznacz opcję **Idealizations**: Render beam profile

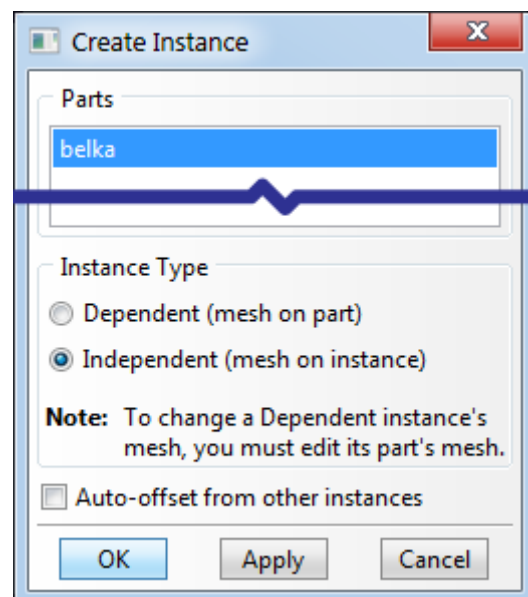


- Sprawdź, czy orientacja belki jest poprawnie zdefiniowana




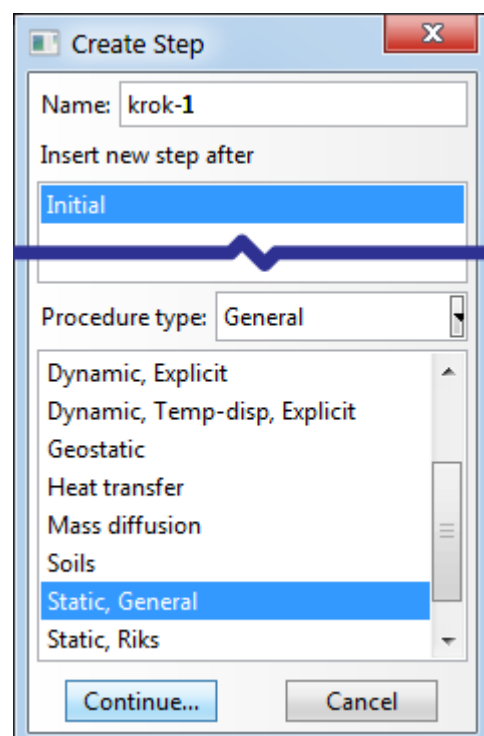
Utworzenie złożenia

- Zmień moduł **Module** ⇒ **Assembly**
- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Instance Part** 
- Zaznacz część **belka**
- Ustaw **Instance Type**: Independent

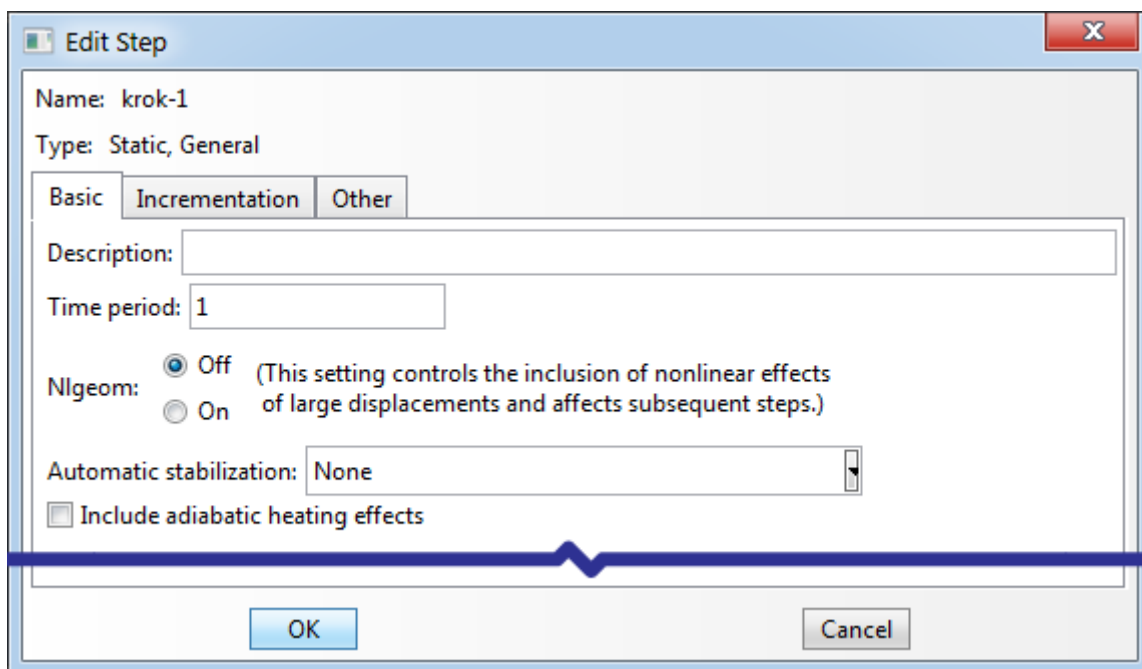


Utworzenie kroku obliczeń


- Zmień moduł **Module** ⇒ **Step**
- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Create Step** 
- Utwórz nowy krok o nazwie **krok-1**, ustaw parametry:
 - **Procedure type**: General
 - I niżej zaznacz **Static, General**

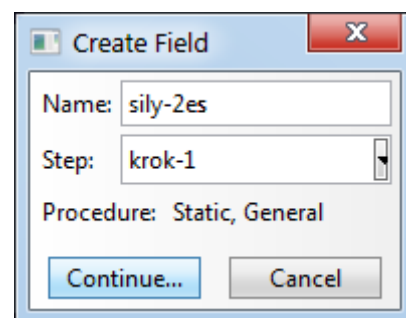


- Nie zmieniaj ustawień w kolejnym oknie dialogowym

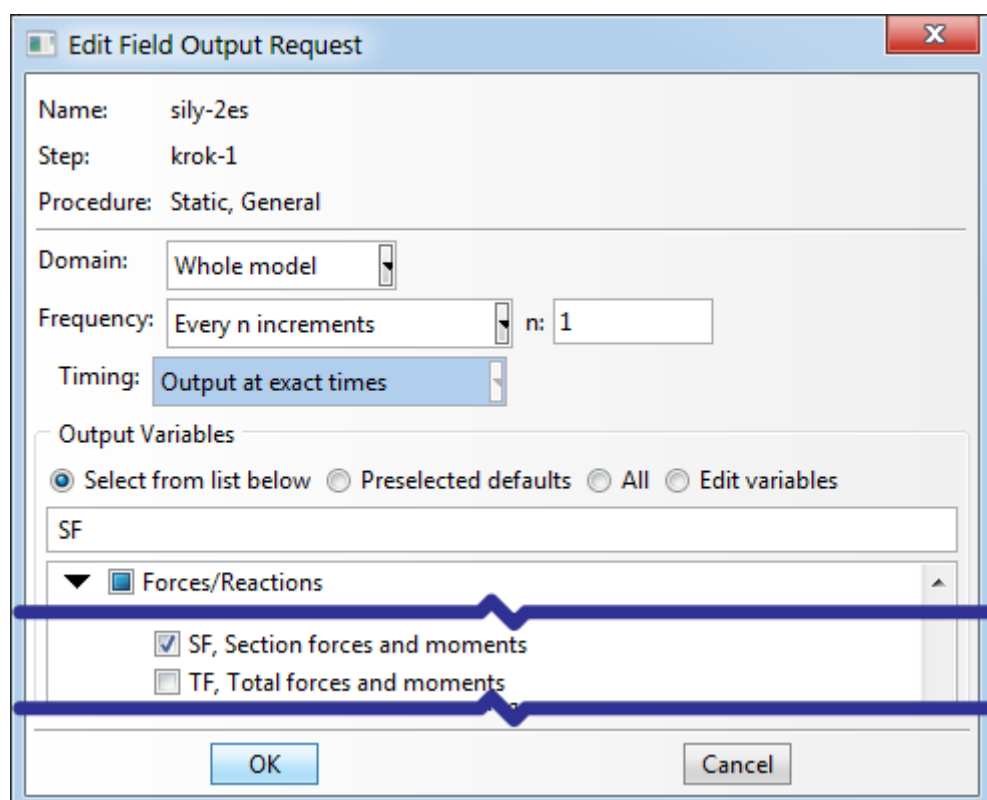


Definicja zmiennych wyjściowych


- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Create Field Output** 
- Utwórz zbiór zmiennych wyjściowych o nazwie **sily-2es**

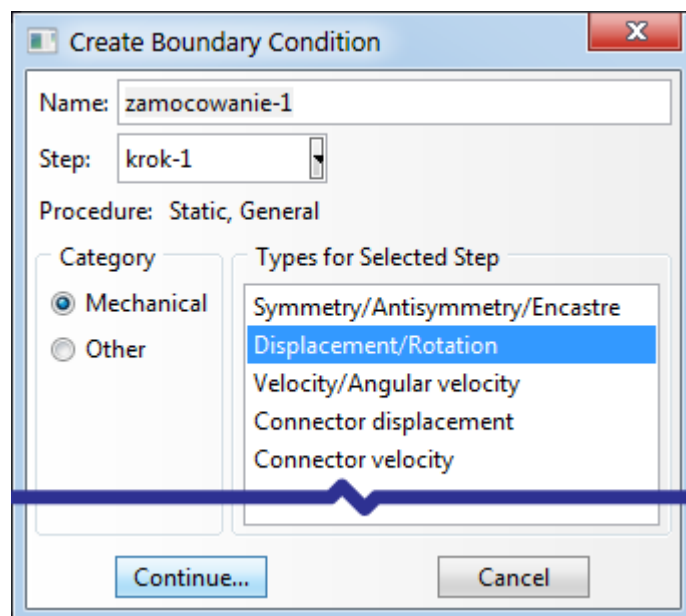


- W kolejnym oknie dialogowym zaznacz **Forces/Reactions | SF, Section forces and moments** w **Output Variables**

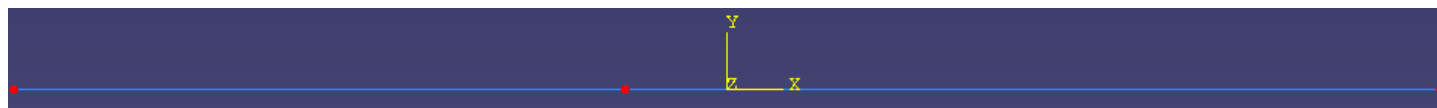


Definicja zamocowania

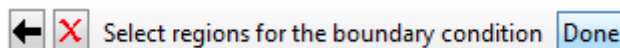
- Zmień moduł **Module** ⇒ **Load**
- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Create Boundary Conditions** 
- Utwórz nowe zamocowanie o nazwie **zamocowanie-1**:
 - **Step:** krok-1
 - **Category:** Mechanical
 - **Types for Selected Step:** Displacement/Rotation



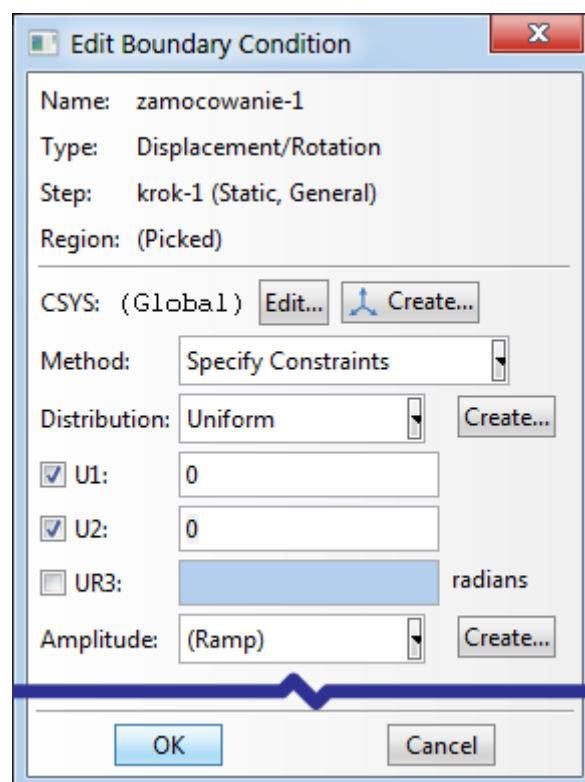
- Trzymając klawisz [SHIFT] zaznacz trzy punkty belki (będą zaznaczone na czerwono)




- Zakończ działanie narzędzia przyciskiem **Done**

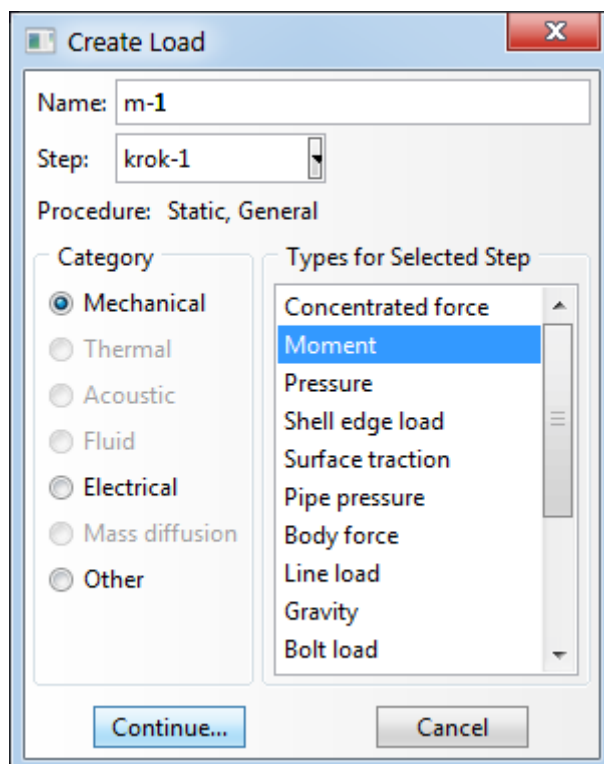


- W kolejnym oknie zaznacz i ustal wartości przemieszczeń **U1** i **U2** na 0

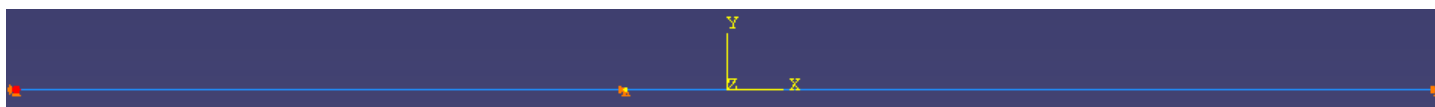


Definicja obciążenia

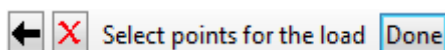
- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Create Load** 
- Utwórz nowe obciążenie o nazwie **m-1**:
 - **Step**: krok-1
 - **Category**: Mechanical
 - **Types for Selected Step**: Moment



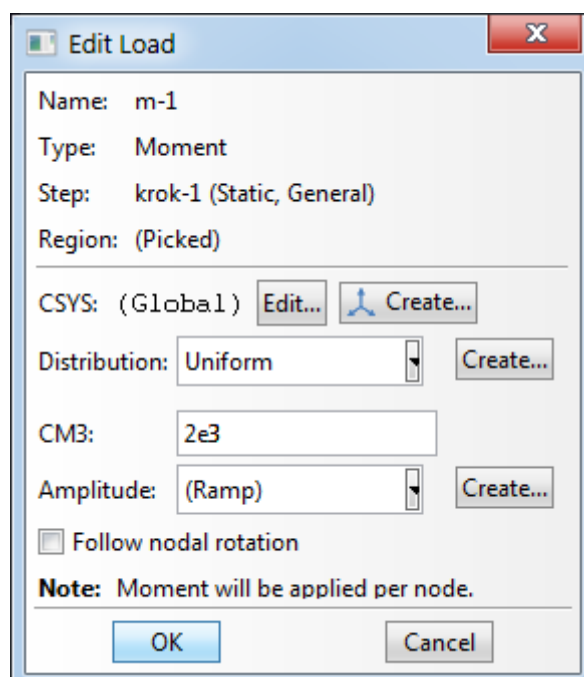
- Zaznacz punkt przyłożenia momentu M (skrajny lewy)




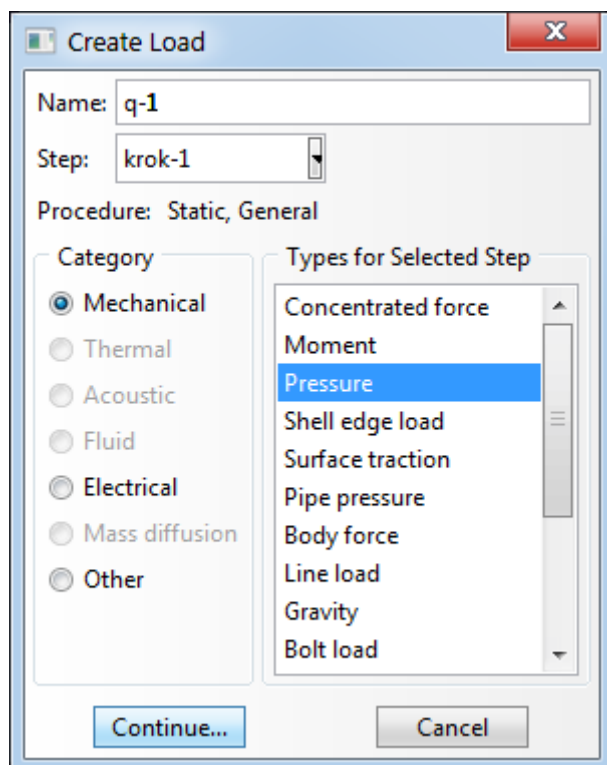
- Zakończ działanie narzędzia **Done**



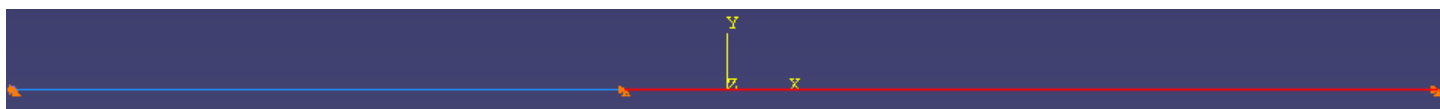
- W kolejnym oknie ustal wartości obciążenia **CM3** na $2e3$



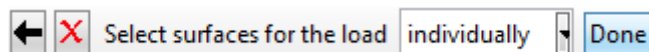
- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Create Load** 
- Utwórz nowe obciążenie o nazwie **q-1**:
 - **Step**: krok-1
 - **Category**: Mechanical
 - **Types for Selected Step**: Pressure



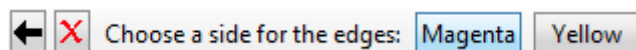
- Zaznacz prawą część belki (miejsce przyłożenia obciążenia q)



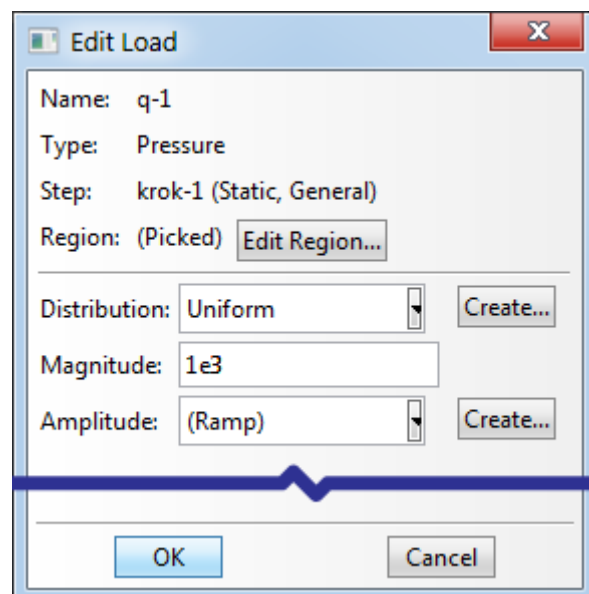
- Zaakceptuj wybór przyciskiem **Done**





- Wybierz stronę na którą będzie działało ciśnienie za pomocą przycisku z odpowiednim kolorem



- W kolejnym oknie ustal wartości ciśnienia na $1e3$

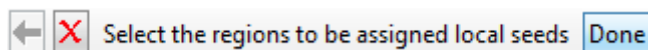


Generacja siatki skończenie elementowej

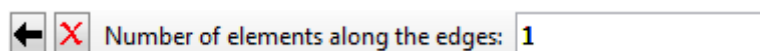
- Zmień moduł **Module** ⇒ **Mesh**
- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Seed Edge: By Number**  (ikona może być niewidoczna, dostępna w menu pojawiającym się po dłuższym naciśnięciu na ) , zaznacz lewą część belki




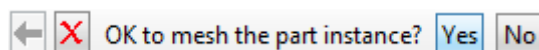
- Zaakceptuj wybór przyciskiem **Done**



- Wpisz i zaakceptuj liczbę elementów: **1**



- Analogicznie ustal liczbę elementów na prawej części belki (1 element), zaakceptuj wciskając **Done**
- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Mesh Part Instance**  i wygeneruj siatkę skończenie elementową wybierając przycisk **Yes**

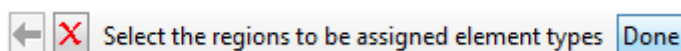


Przypisanie typu elementu

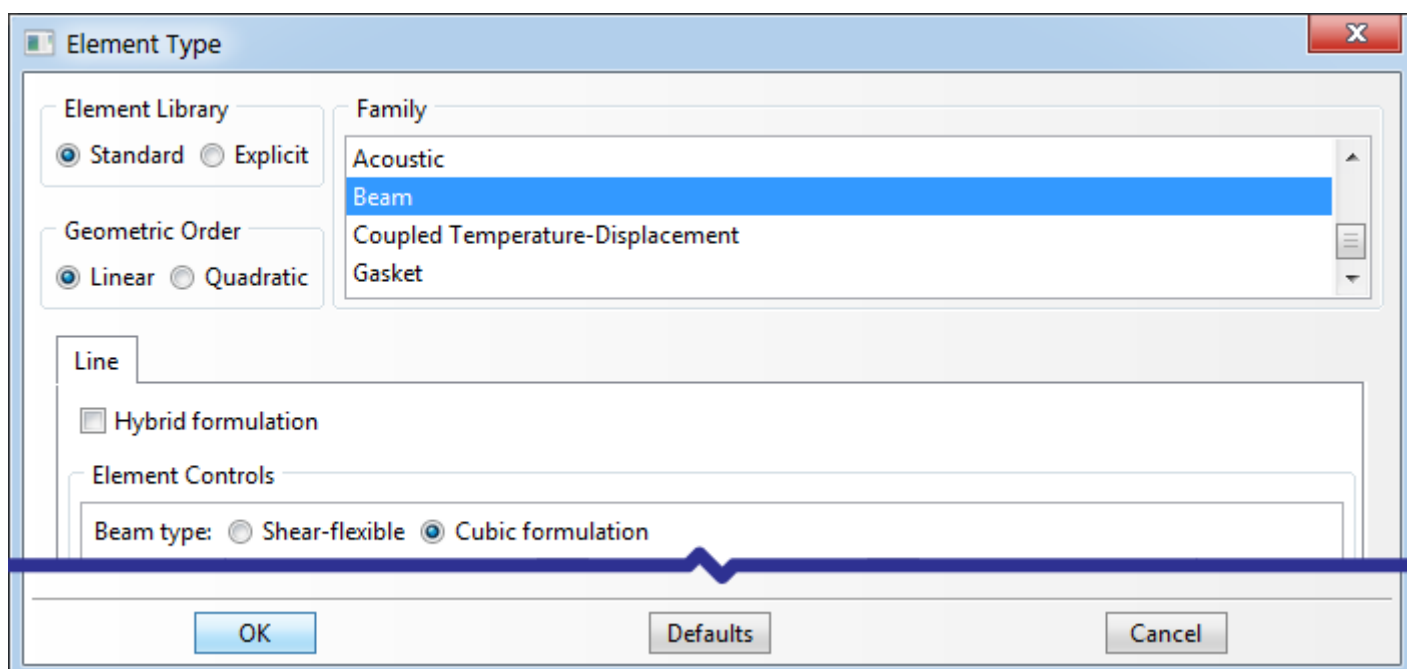
- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Assign Element Type** , zaznacz całą belkę



- Zaakceptuj wybór przyciskiem **Done**

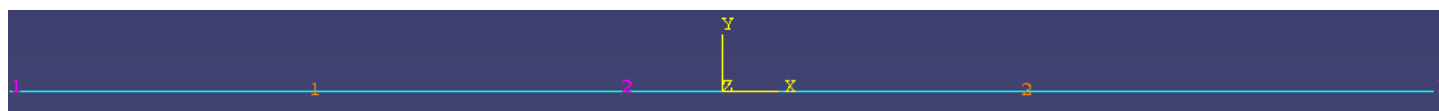
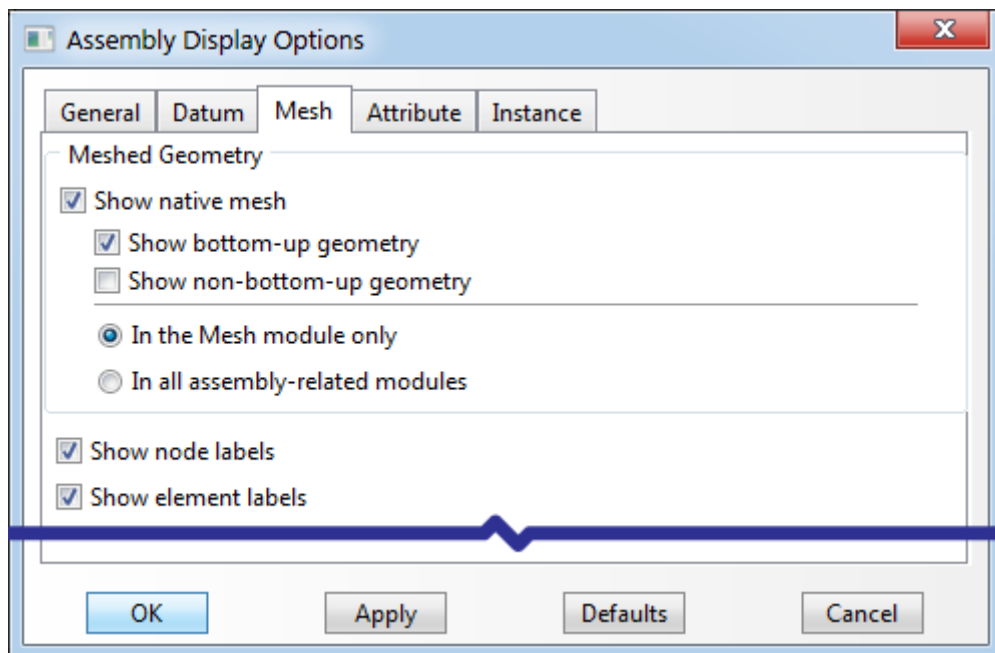


- W **Element controls | Beam type** ustaw **Cubic formulation (B23)**, zaakceptuj **OK**, potem **Done**




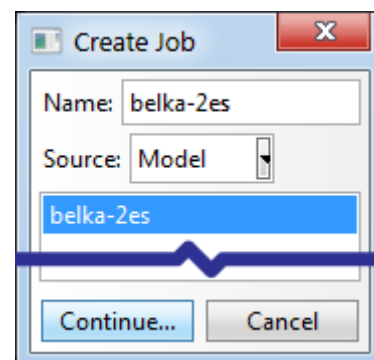
Wyświetlenie numerów węzłów i elementów

- Wybierz **Menu** ⇒ **View | Assembly Display Options...**
- W zakładce **Mesh** zaznacz opcje: **Show Node Labels** i **Show Element Labels**

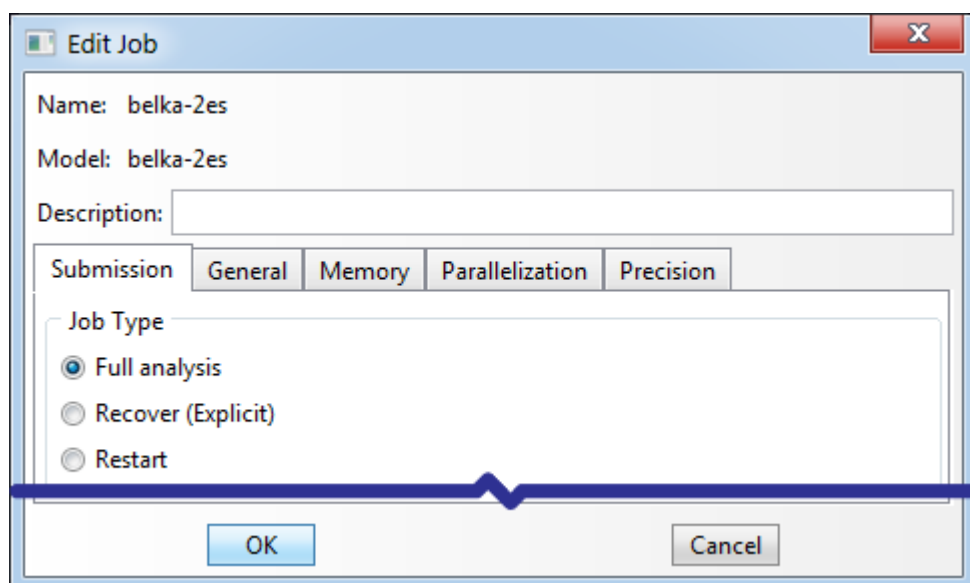


Utworzenie zadania

- Zmień moduł **Module** ⇒ **Job**
- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Create Job** 
- Utwórz nowe zadanie o nazwie **belka-2es**:
 - **Source:** Model, belka-2es
 - **Model:** belka-2es

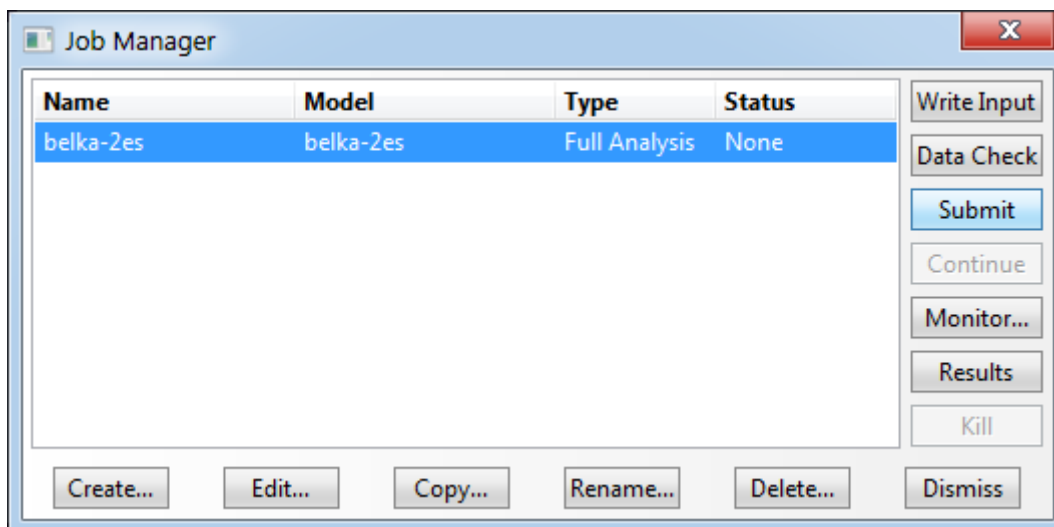


- Nie zmieniaj ustawień w kolejnym oknie dialogowym

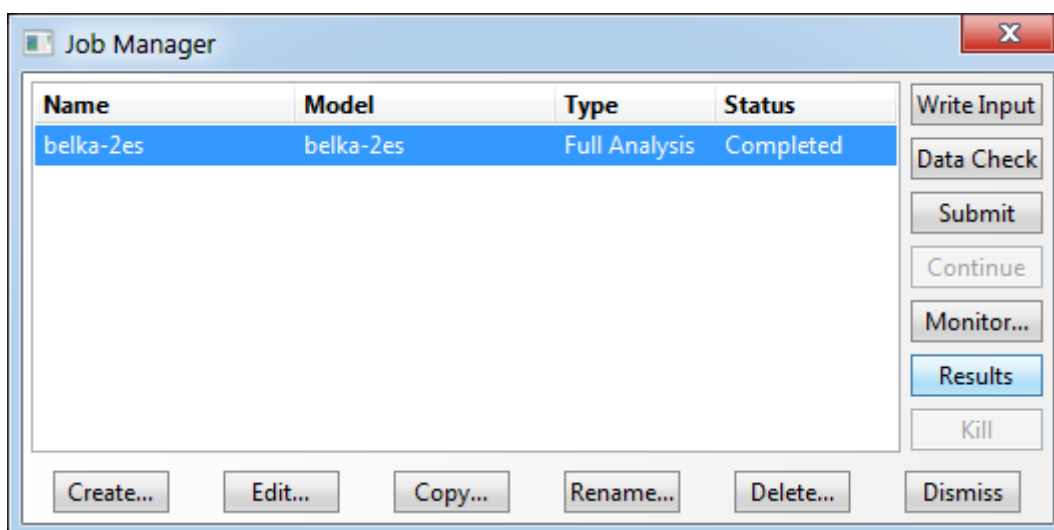


Rozwiązanie zadania

- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Job Manager** 
- Zaznacz zadanie o nazwie **belka-2es** i uruchom obliczenia za pomocą przycisku **Submit**

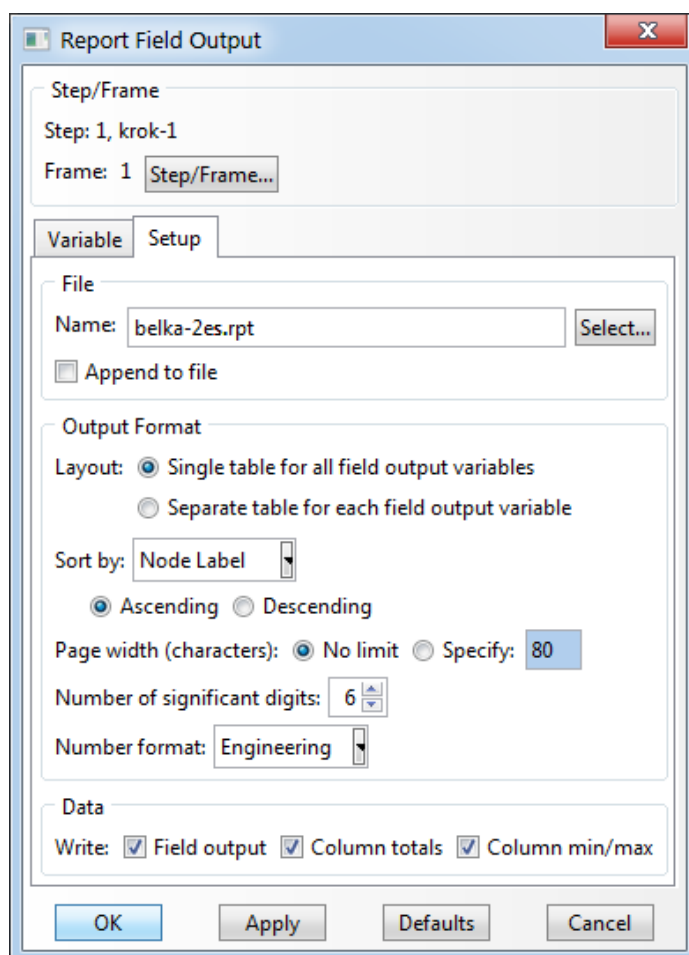
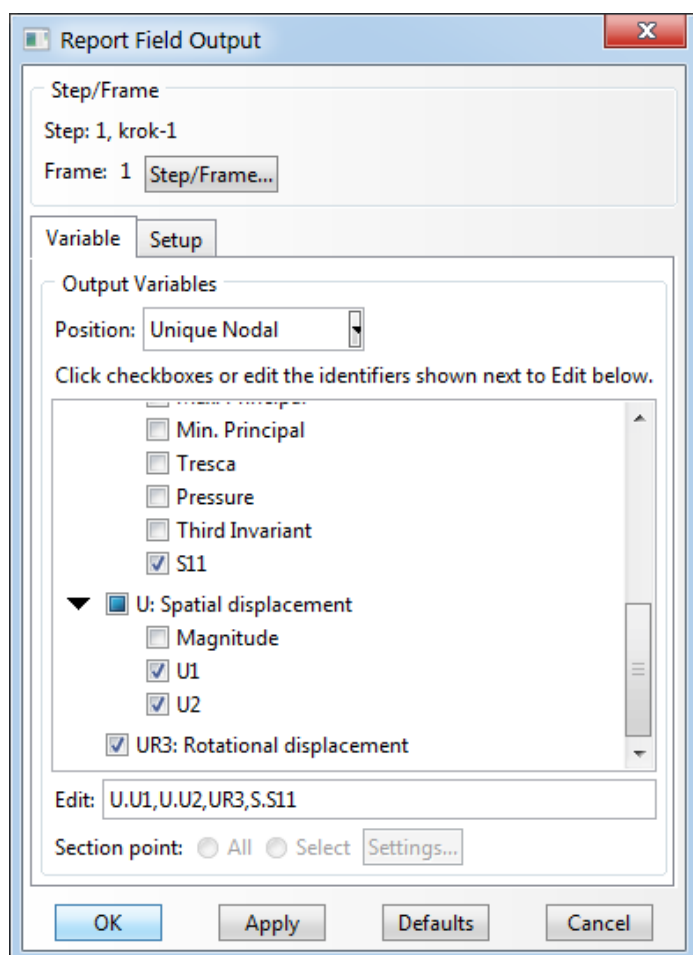


- Poprawne zakończenie analizy spowoduje zmianę statusu zadania na **Completed**
- Przejdź do wyników analizy, naciśnij przycisk **Results** (zostanie automatycznie zmieniony moduł na **Module** ⇒ **Visualization**, i otwarty plik wynikowy `belka-2es.odb`)



Zapisanie wyników analizy do pliku tekstowego

- Wybierz **Menu** ⇒ **Report | Field Output...**
- W zakładce **Variable** ustaw: **Position**: Unique Nodal, zaznacz: **S11** w **S: Stress components**, **U1** i **U2** w **U: Spatial displacement** i **UR3**
- W zakładce **Setup** zmień nazwę pliku **Name**: `belka-2es.rpt` i odznacz opcję **Append to file**, zaakceptuj przyciskiem **OK**
- Plik z wynikami prawdopodobnie zostanie utworzony w katalogu `C:\Temp`, otwórz plik i zapoznaj się z jego zawartością
- U.U1**, **U.U2** są przemieszczeniami węzłów (wartości zerowe), **UR3** to kąt obrotu w węzłach
- S.S11** to naprężenia normalne, odczytane w punktach całkowania numerycznego (@Loc 4 – dolna półka, @Loc 5 – górna półka)
- Porównaj wyniki z otrzymanymi z systemu Mathcad



Lister - [C:\Temp\belka-2es.rpt]



File Edit Options Encoding Help 100 %

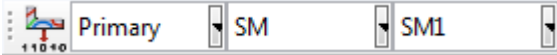
ODB: C:/Temp/belka-2es.odb
Step: krok-1
Frame: Increment 1: Step Time = 1.000

Loc 1 : Nodal values from source 1
Loc 4 : Nodal values at beam < I-section > < elset = ASSEMBLY_BELKA-1_PICKEDSET2 > from source 1 : Bottom
Loc 5 : Nodal values at beam < I-section > < elset = ASSEMBLY_BELKA-1_PICKEDSET2 > from source 1 : Top

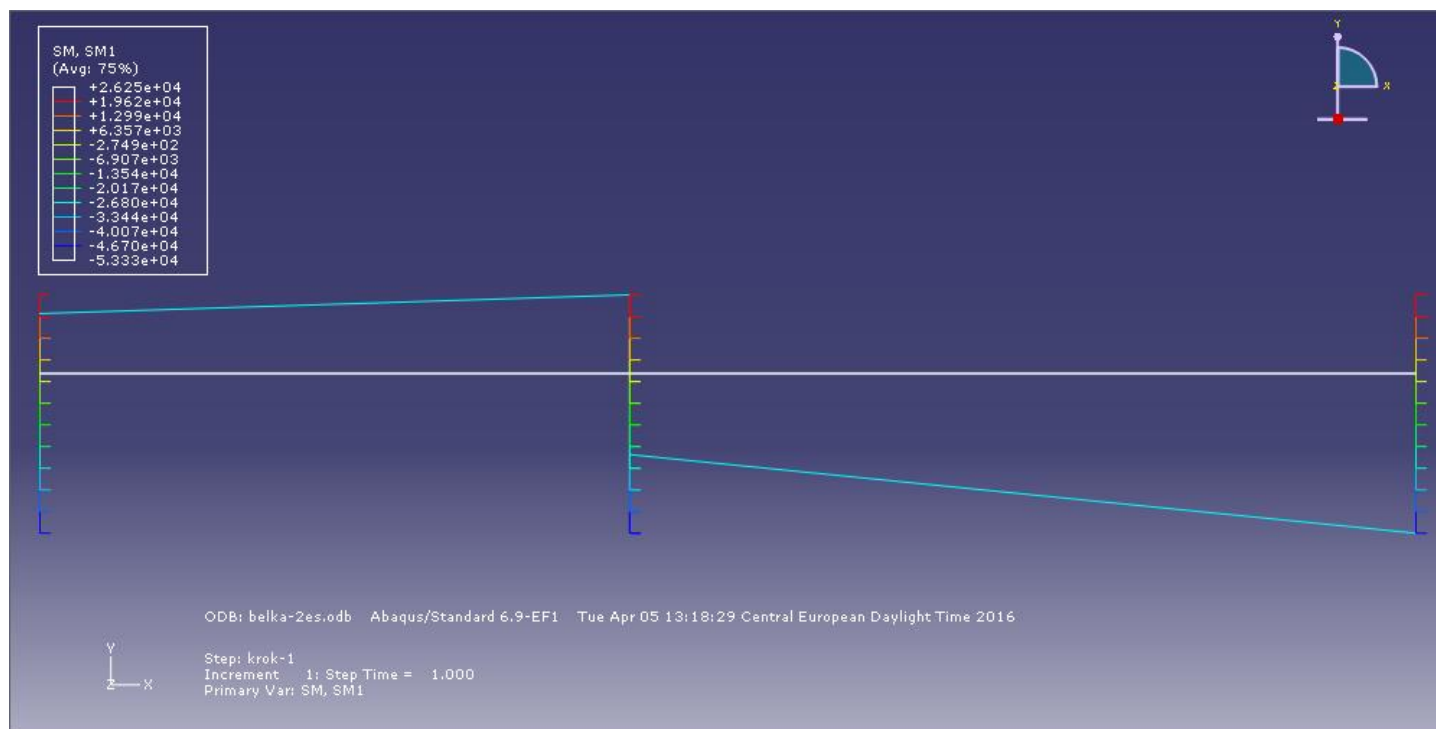
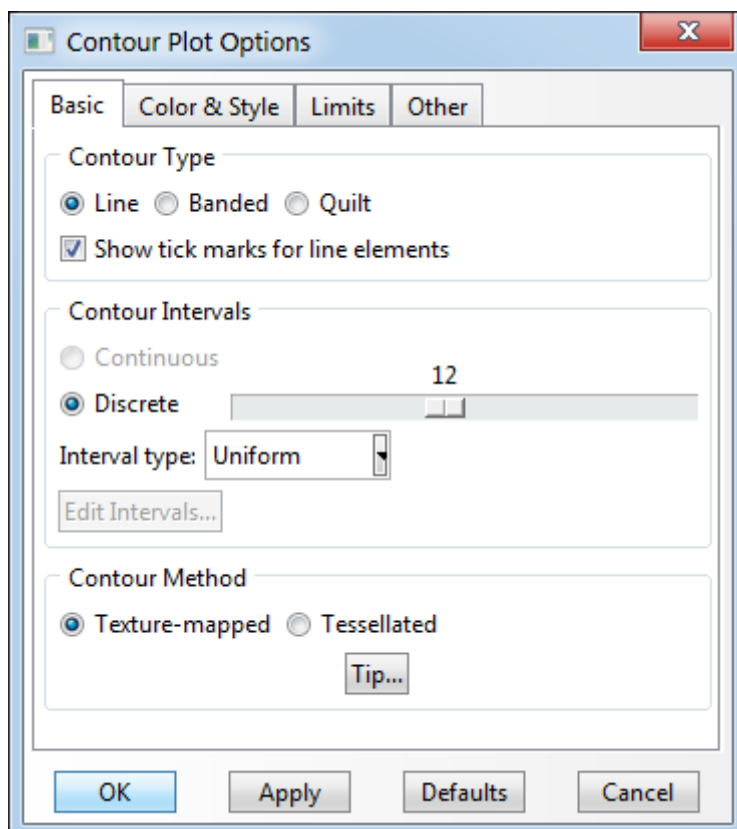
Node Label	U.U1 @Loc 1	U.U2 @Loc 1	UR3 @Loc 1	S.S11 @Loc 4	S.S11 @Loc 5
1	0.	1.04239E-33	6.59794E-03	-49.7925E+06	49.7925E+06
2	0.	-44.3242E-33	-7.22078E-03	-65.3634E+06	65.3634E+06
Node Label	U.U1 @Loc 1	U.U2 @Loc 1	UR3 @Loc 1	S.S11 @Loc 4	S.S11 @Loc 5
2	0.	-44.3242E-33	-7.22078E-03	43.6571E+06	-43.6571E+06
3	-0.	3.28179E-33	8.98442E-03	85.9845E+06	-85.9845E+06

Narysowanie wykresu momentu gnącego i naprężeń normalnych

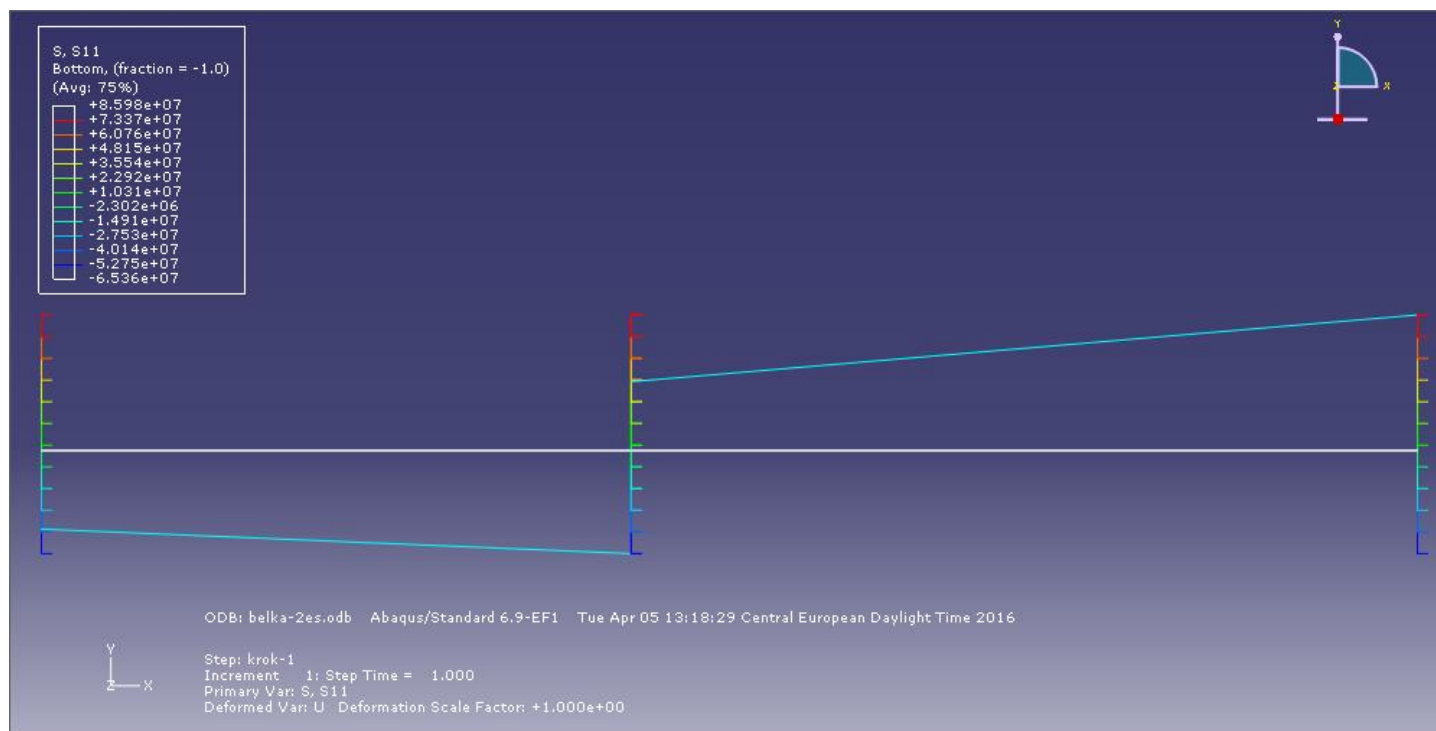
- Wybierz **Toolbox** ⇒ **Plot Contours on Undeformed Shape**  (ikona może być niewidoczna, dostępna w menu pojawiającym się po dłuższym naciśnięciu na )

- Na pasku **Field Output**  wybierz opcje: **Primary**, **SM** i **SM1** (moment gnący)

- Wybierz **Menu** ⇒ **Options | Contour...**, ustaw:
 - Contour type:** Line
 - Zaznacz opcję **Show tick marks for line elements**



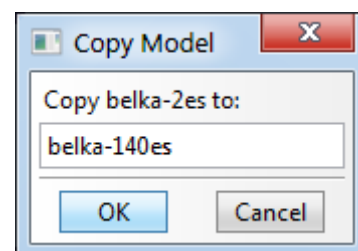
- Na pasku **Field Output** wybierz opcje: **Primary, S** i **S11** (naprężenia normalne)



- Porównaj wyniki z otrzymanymi z systemu Mathcad

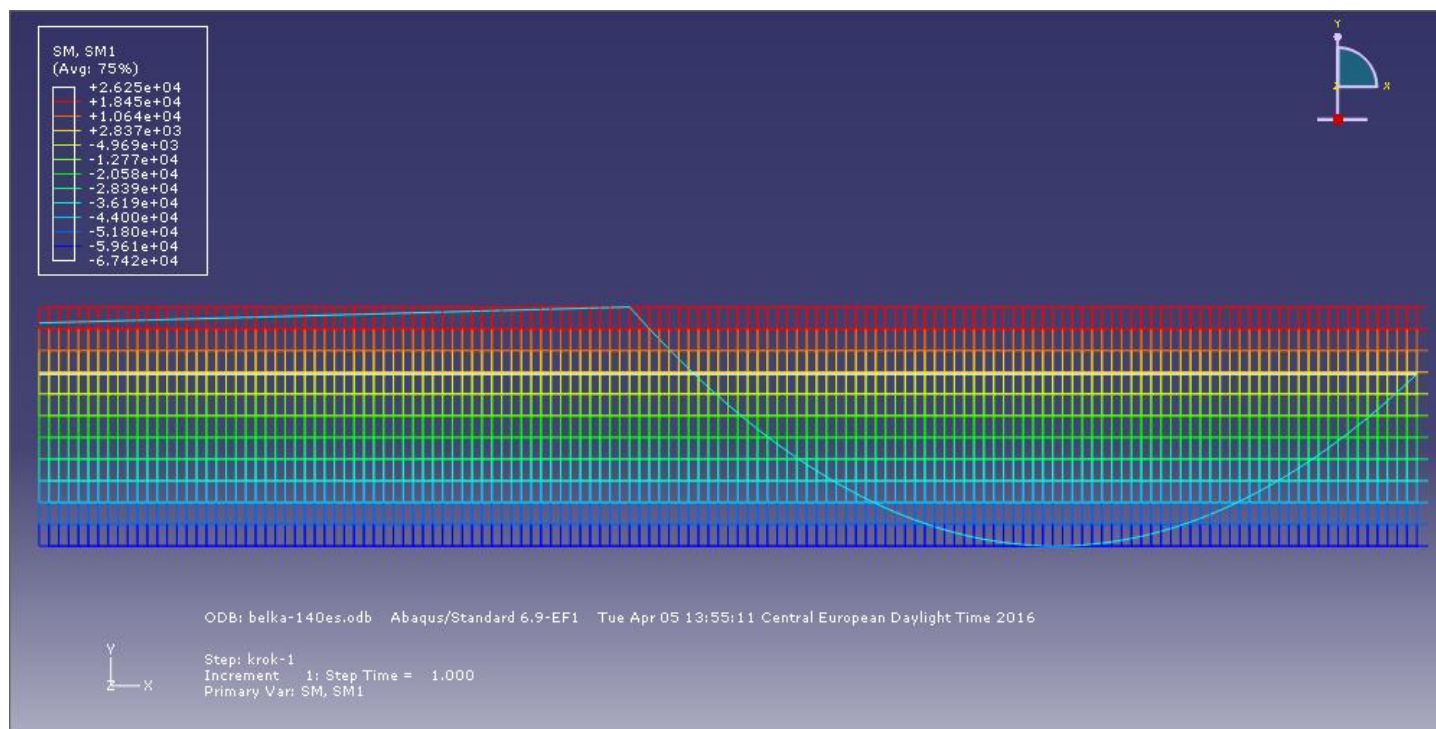
Zadanie dodatkowe – powtórz obliczenia dla większej liczby elementów

- Zmień moduł **Module** ⇒ **Mesh**
- Skopiuj model **belka-2es** i zapisz pod nazwą **belka-140es**
- Model tree** ⇒ **PPM: belka-2es | Copy...**



- Zwiększ liczbę elementów, odpowiednio do 60 i 80 dla lewej i prawej części belki
- Wygeneruj siatkę skończenie elementową
- Zdefiniuj nowe zadanie obliczeniowe
- Wykonaj obliczenia
- Wykonaj wykres momentów gnących i naprężeń normalnych
- Porównaj wyniki uzyskane dla modeli z 2. i 140. elementami

- Wykres momentu gnącego



- Wykres naprężeń normalnych

