



ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET  
TECHNOLOGICZNY  
w Szczecinie



KATEDRA MECHANIKI I PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych  
z metody elementów skończonych

Ćwiczenie nr 1

**Analiza statyczna  
obciążonej kratownicy płaskiej**

Opracował:  
Dr inż. Kamil Urbanowicz

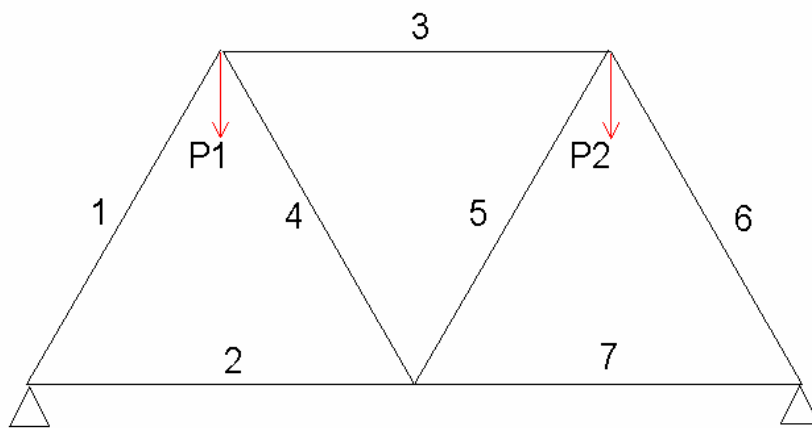
Szczecin 2012

## Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z systemem NASTRAN FX, z elementami dostępnymi w systemie oraz nabycie praktycznej wiedzy dotyczącej wykorzystania elementów prętowych w MES.

## Opis zadania

Jest to kratownica, której lewa strona jest podparta na podporze stałej, natomiast prawa strona na podporze ruchomej. Kratownica jest obciążona dwoma siłami o różnych wartościach. Zadanie jest o charakterze statycznym, z analizą w granicach liniowej sprężystości materiału. Przykład ma na celu zademonstrowanie typowej procedury przy analizie konstrukcji z użyciem programu NASTRAN FX.



Wszystkie pręty mają długość 1m.

- 1 – pręt o przekroju  $4 \text{ cm}^2 = 0.0004 \text{ m}^2$
- 2 – pręt o przekroju  $2 \text{ cm}^2 = 0.0002 \text{ m}^2$
- 3 – pręt o przekroju  $2 \text{ cm}^2 = 0.0002 \text{ m}^2$
- 4 – pręt o przekroju  $1 \text{ cm}^2 = 0.0001 \text{ m}^2$
- 5 – pręt o przekroju  $4 \text{ cm}^2 = 0.0004 \text{ m}^2$
- 6 – pręt o przekroju  $4 \text{ cm}^2 = 0.0004 \text{ m}^2$
- 7 – pręt o przekroju  $2 \text{ cm}^2 = 0.0002 \text{ m}^2$

P1 – siła o wartości 1000N

P2 – siła o wartości 2000N

Kratownica płaska wykonana jest ze stali konstrukcyjnej o module Younga  $E=2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$  i współczynnika Poissona  $\nu = 0.3$ .

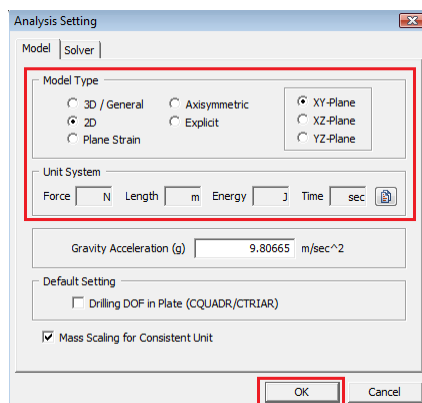
## MODEL

### 1. Budowa modelu fizycznego

Rozpoczynamy nowy projekt, wybierając w *Głównym Menu*: **File** → **New**.



W automatycznie pojawiającym się okienku *Analysis Setting* zaznaczamy typ modelu (2D) oraz płaszczyznę roboczą (XY-Plane) oraz wybieramy system jednostek (N, m, J, sek.):



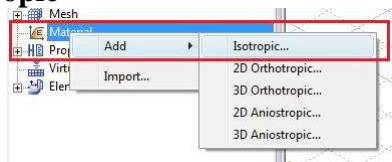
Wybór zatwierdzamy klikając na klawisz **OK**.

## 2. Zapisanie projektu

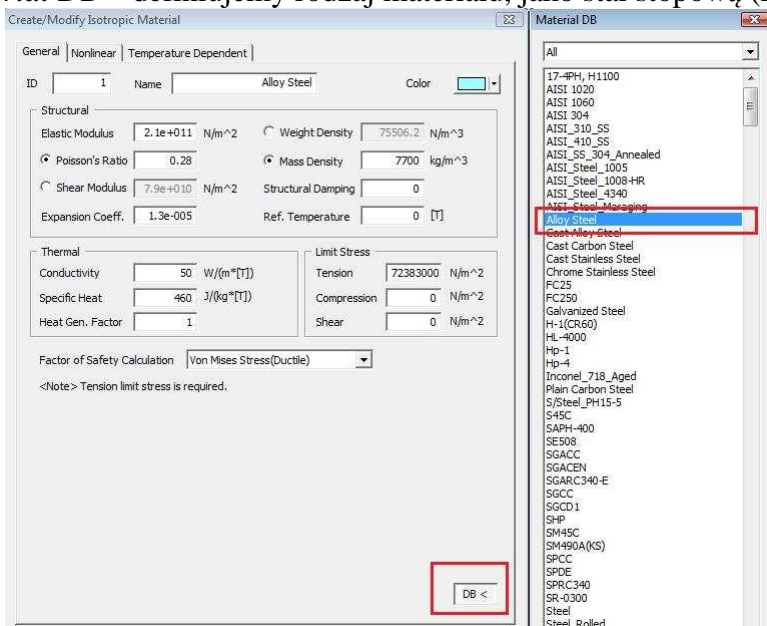
Projekt zapisujemy pod nazwą: *Kratownica2D.fnb*, wybierając w *Głównym Menu*: **File** → **Save As**

## 3. Zdefiniowanie materiału

Definiujemy rodzaj materiału, z którego wykonano pręty kratownicy. W tym celu w drzewku *Model* – *Works* wybieramy **Material**, a następnie za pomocą prawego przycisku myszy (*PPM*) – **Add** → **Isotropic**



W okienku *Create/Modify Isotropic Material* wybieramy przycisk **DB**. W kolejnym okienku – *Material DB* – definiujemy rodzaj materiału, jako stal stopową (Alloy Steel):



## 4. Określenie geometrycznych cech elementów

a) Model → Property → 1D

następnie Add (czyli PPM) – rys a)

W okienku *Create/Modify 1D Property* wprowadzamy przekrój poprzeczny nr 1 ( $0.0001\text{m}^2$ )

b) Analogicznie dla przekroju nr 2 ( $0.0002\text{m}^2$ )

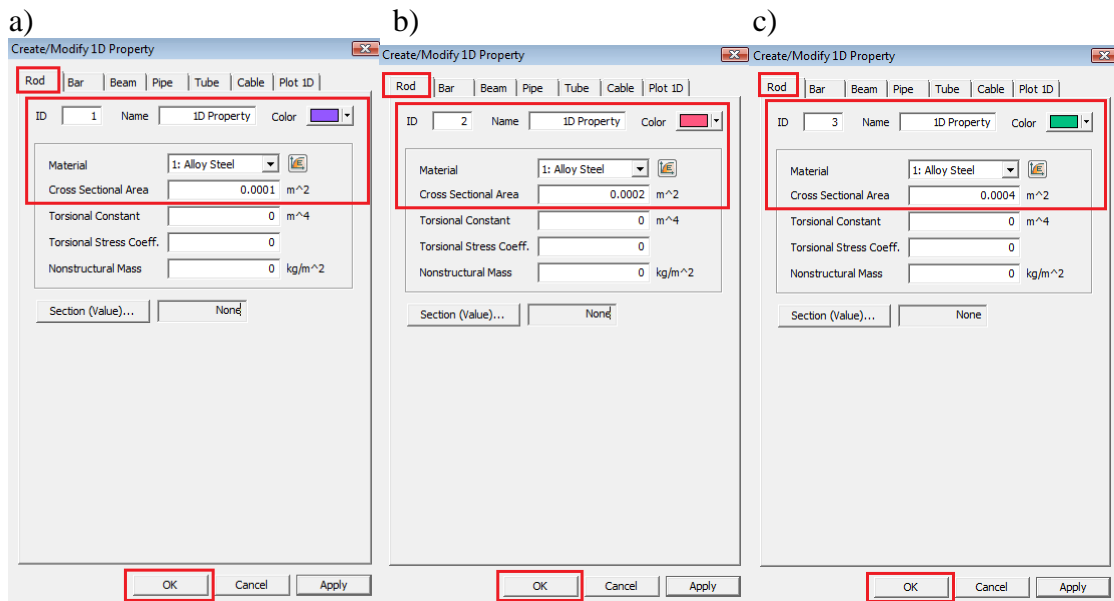
Model → Property → 1D

następnie Add (PPM) – rys b)

c) I trzeciego, który będzie występował w analizowanej konstrukcji ( $0.0004\text{m}^2$ )

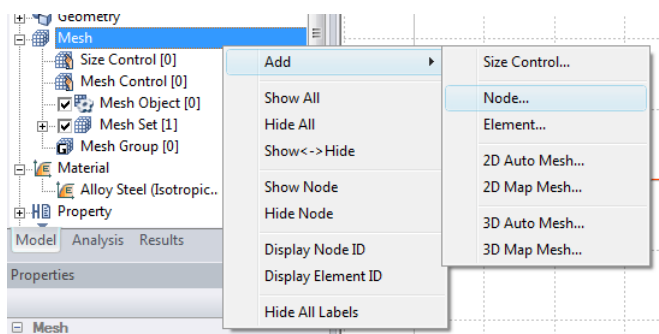
Model → Property → 1D

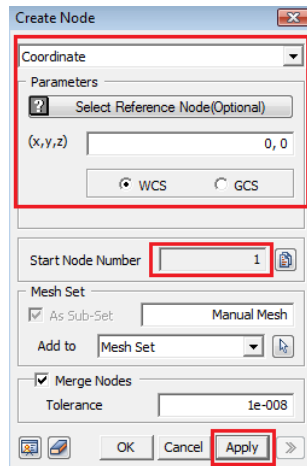
następnie Add (PPM) – rys c)



## 5. Rysowanie kratownicy

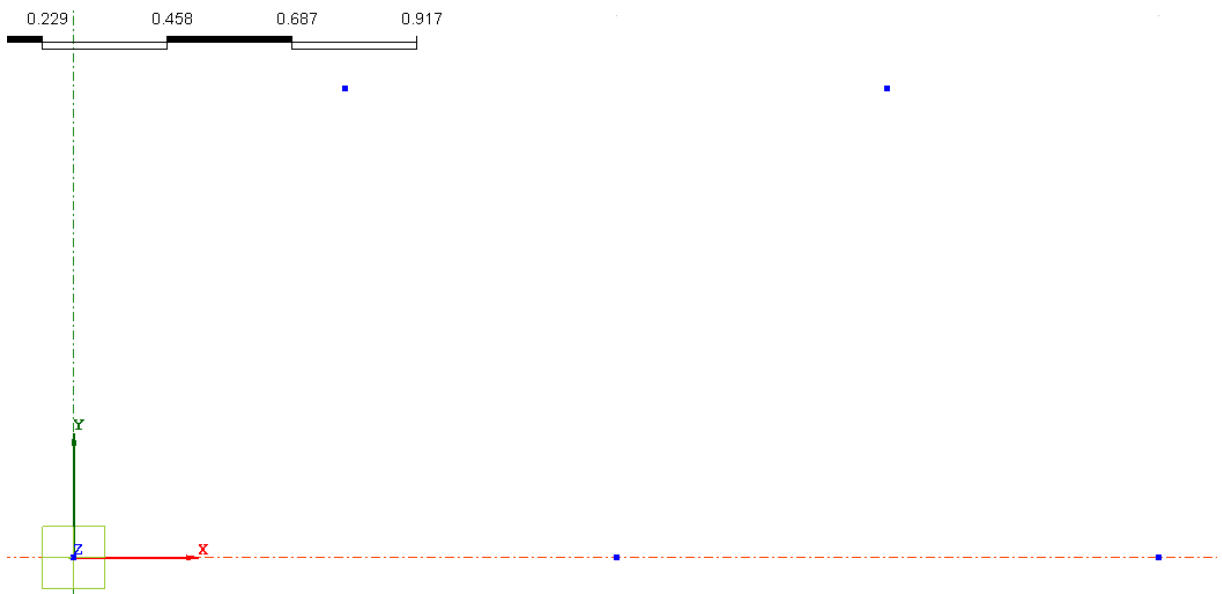
W Głównym Menu: Mesh (PPM) → Node → Create





W powyższym oknie należy wprowadzić współrzędne wszystkich punktów węzłowych z których składać się będzie nasza kratownica 2D. Po wprowadzeniu każdej współrzędnej kolejnego punktu należy wcisnąć przycisk *Apply* (po wprowadzeniu ostatniego punktu nacisnąć należy OK):

1 punkt: (0,0); 2 punkt (1,0); 3 punkt (2,0); 4 punkt (0.5,0.866); 5 punkt (1.5,0.866)



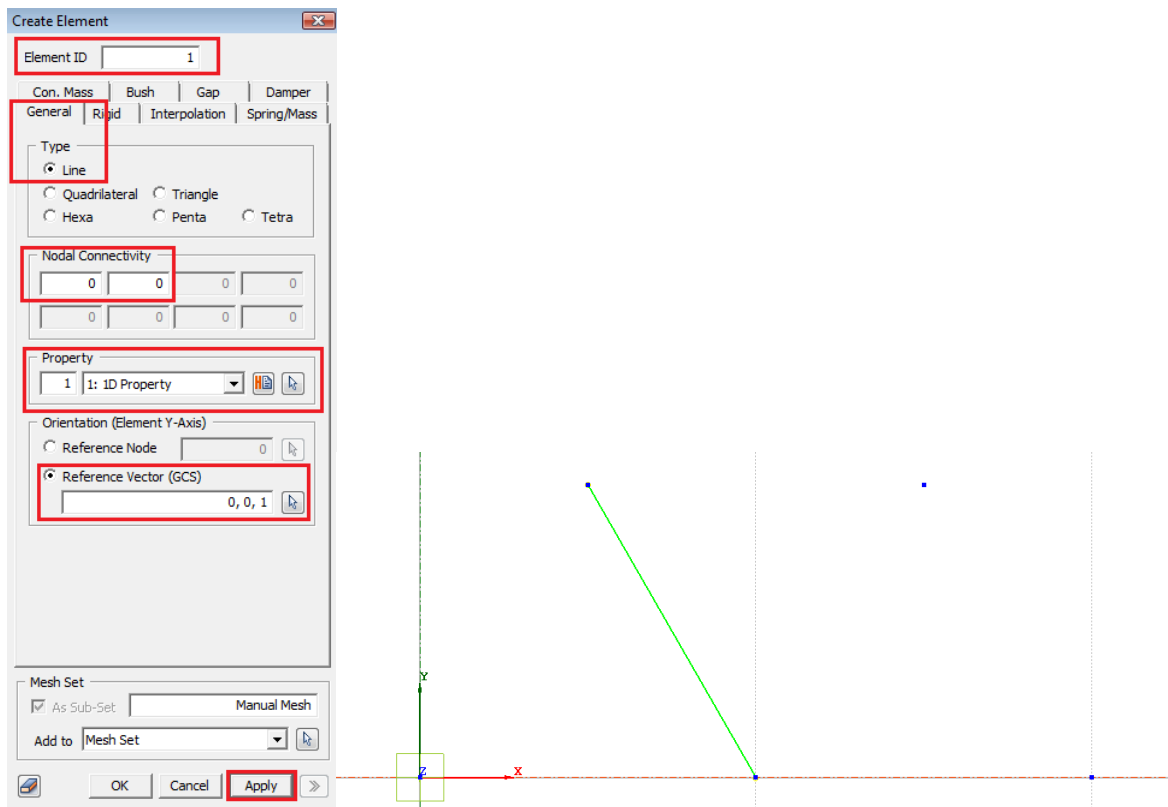
## **6. Tworzenie elementów**

Elementy tworzy się pomiędzy węzłami.

a) Utwórz elementy o przekroju  $0.0001 \text{ m}^2$ :

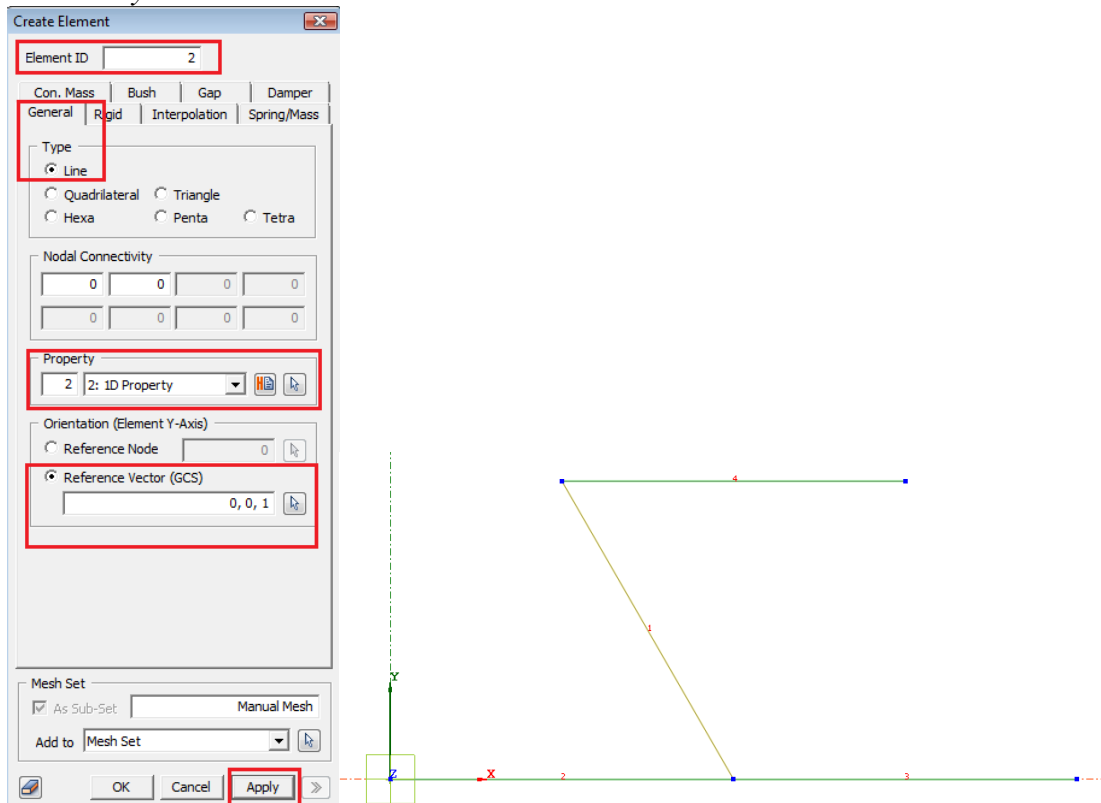
W *Głównym Menu*: **Mesh** → **Element** → **Create**

Element tworzymy wybierając na ekranie 2 węzły i następnie zatwierdzając OK (przy nastawach jak na rysunku poniżej z lewej strony). Utwórz 1 element jak na rysunku z prawej strony poniżej (wskazując na ekranie odpowiednie dwa punkty węzłowe):



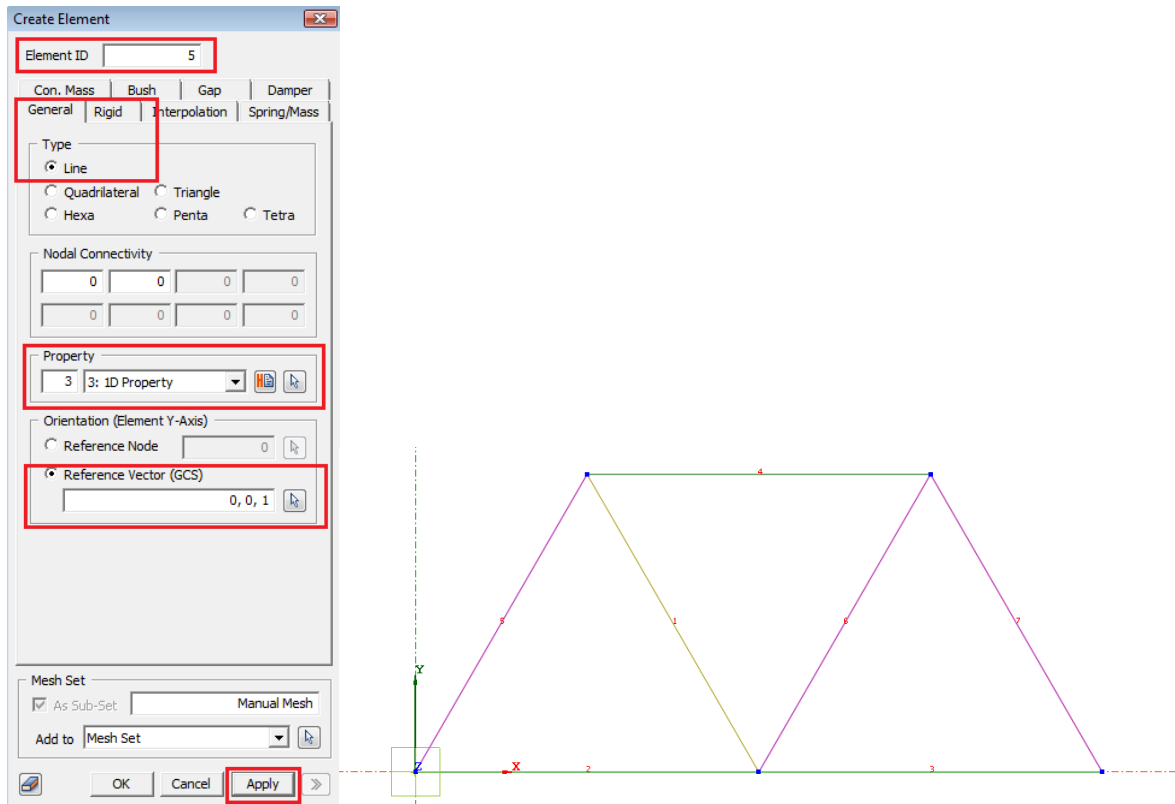
b) Utwórz elementy o przekroju  $0.0002 \text{ m}^2$  wybierając na ekranie odpowiednie 2 sąsiadujące węzły i następnie zatwierdzając Apply (przy nastawach jak na rysunku poniżej z lewej strony), po utworzeniu ostatniego elementu należy wcisnąć zamiast przycisku Apply, przycisk OK:

W Głównym Menu: **Mesh** → **Element** → **Create**



Uwaga: by wyświetlić numery węzłów lub elementów należy wybrać opcję **Model** → **Mesh (PPM)** a następnie Display Node ID (numeracja węzłów) lub Display Element ID (numeracja elementów)

c) Utwórz elementy o przekroju  $0.0004 \text{ m}^2$  – zgodnie z poniższymi obrazkami:  
W Głównym Menu: **Mesh** → **Element** → **Create**

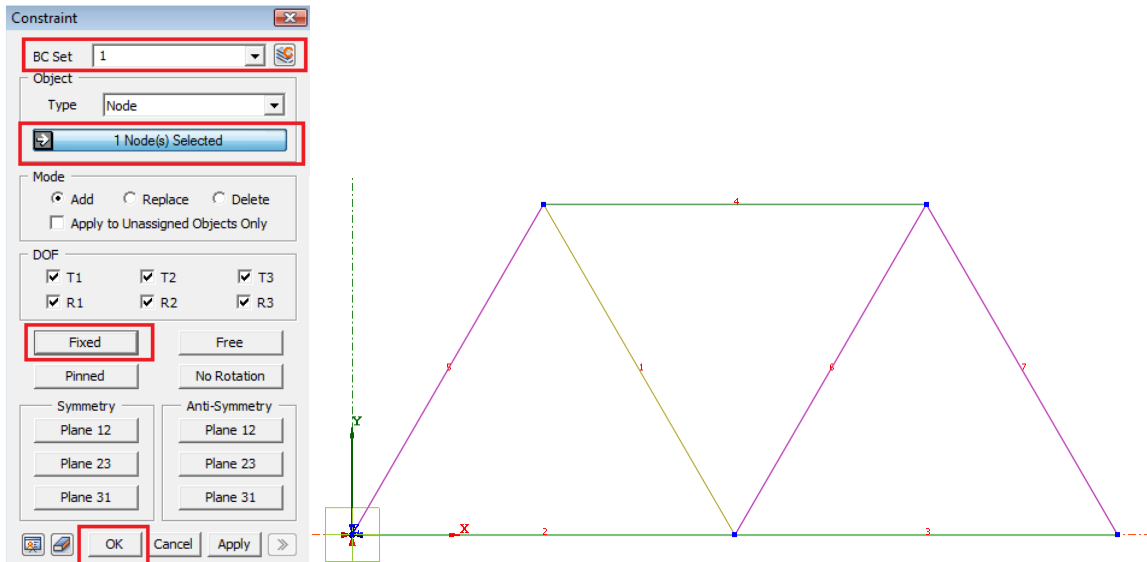


## ANALYSIS

### 7. Utwierdzenie kratownicy

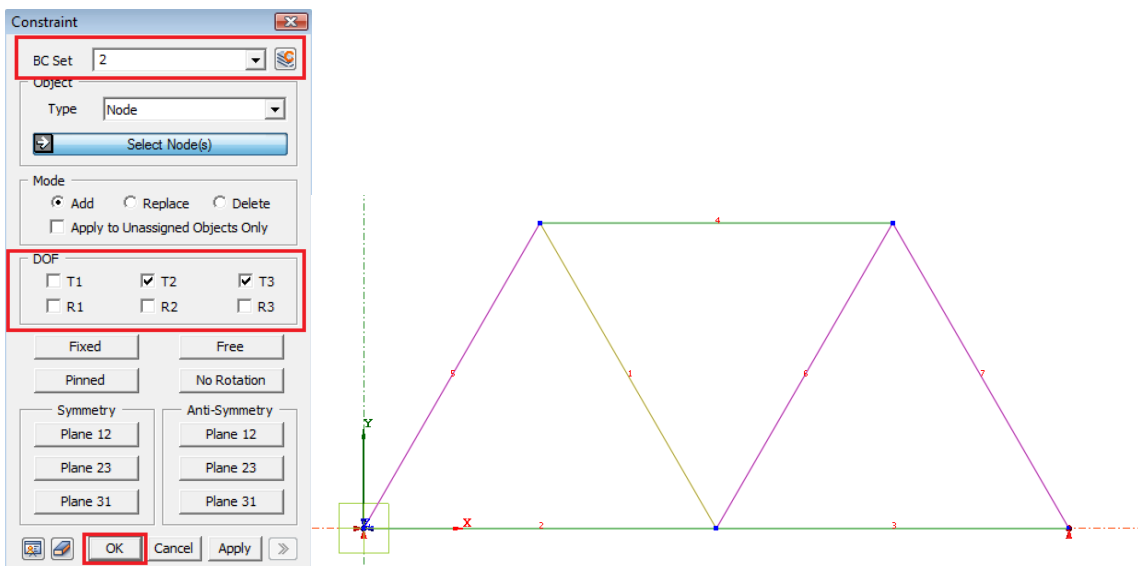
Utwierdzamy dolne węzły kratownicy. Konieczne jest wybranie na ekranie odpowiedniego węzła kratownicy. Lewy dolny węzeł będzie miał odebrane wszystkie stopnie swobody:

**Analysis** → **Boundary Condition (PPM)** → **Add** → **Constraints**:



Prawy dolny węzeł kratownicy jest podporą ruchomą – zatem należy zablokować możliwość przemieszczania się w osi y i z.

**Analysis → Boundary Condition (PPM → Add → Constraints):**



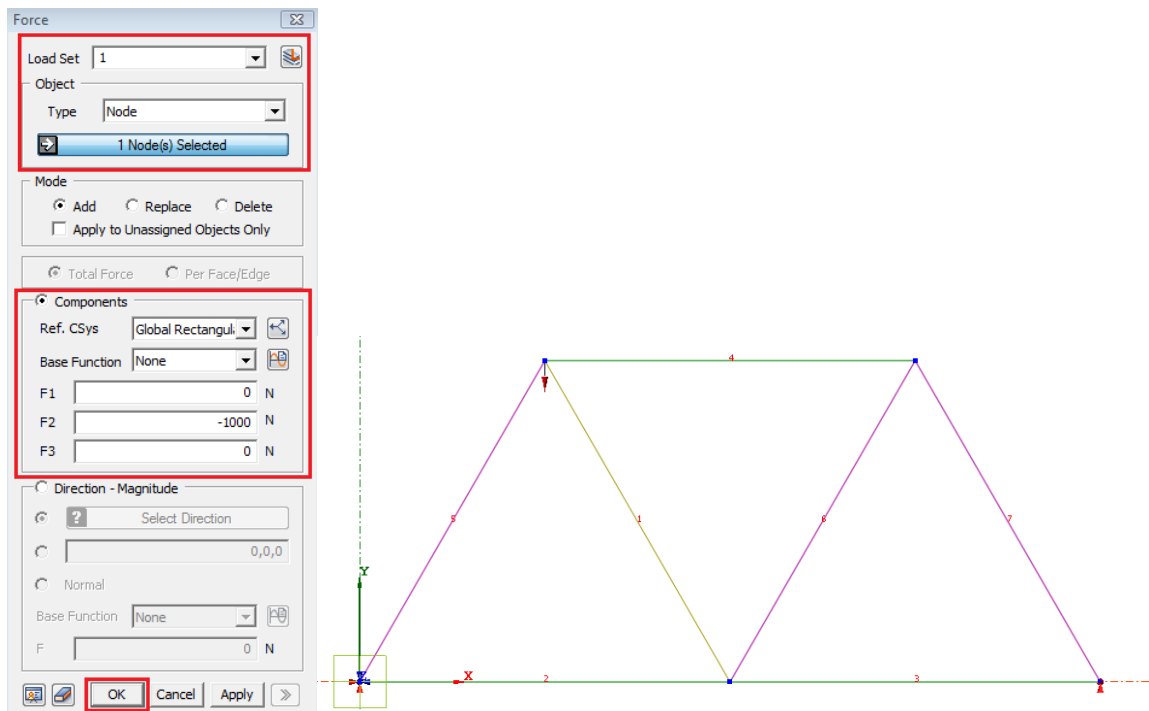
## **8. Obciążenie kratownicy**

**Analysis → Static Load (PPM → Add → Force):**

(oprócz wprowadzenia poniższych ustawień – pamiętaj o wyborze na ekranie punktu w którym będzie przyłożona siła!).

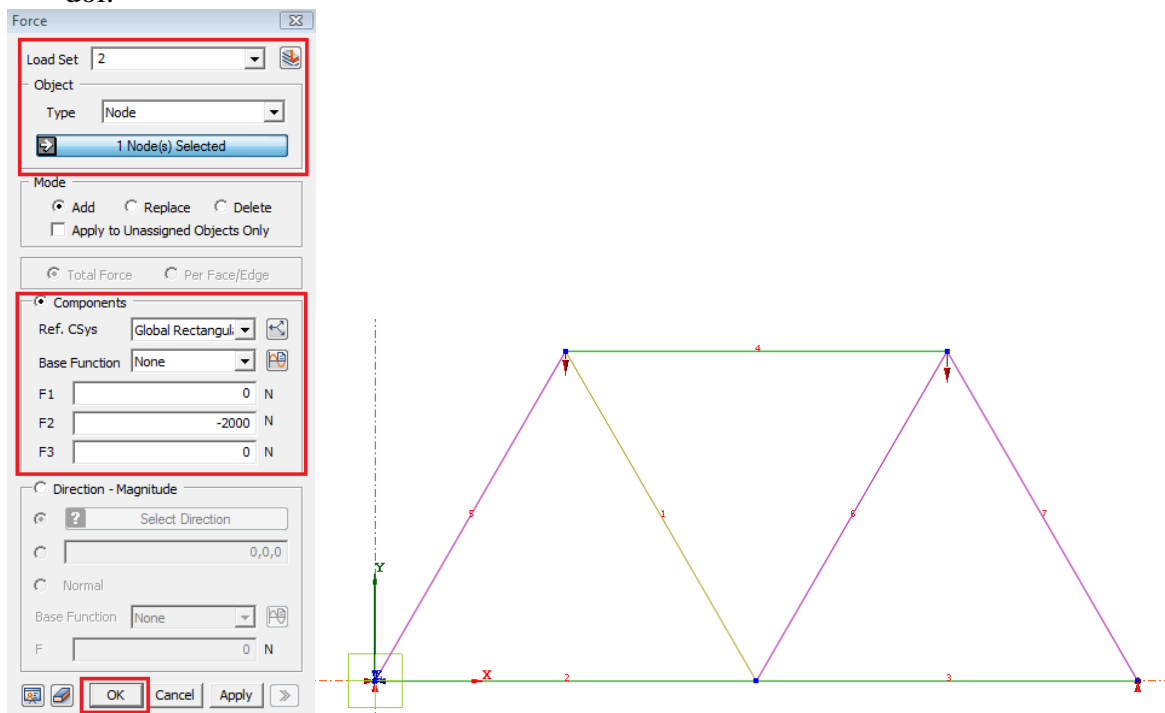
- a) Przyłożymy siłę o wartości 1000 N do lewego górnego węzła działającą w osi Y w dół:





Na powyższym rysunku F1 oznacza składową siły (siłę) działającą w osi x, F2 – w osi y, oraz F3 – w osi z.

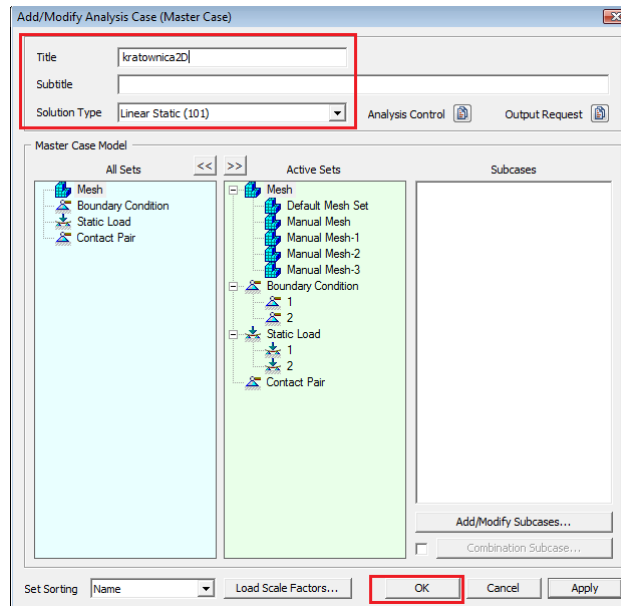
- b) Przyłożymy siłę o wartości 2000 N do prawego górnego węzła działającą w osi Y w dół:



## **10. Rozwiązanie zadania**

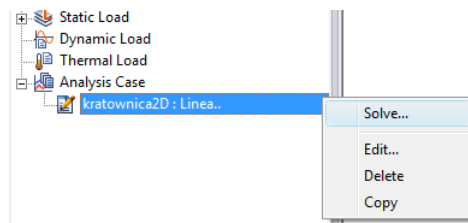
W Głównym Menu wybieramy: **Analysis** → **Analysis Case...** W okienku *Analysis Case Manager* naciskamy na przycisk **Add**.

W kolejnym okienku – *Add/Modify Analysis Case* – wpisujemy nazwę przypadku analizy (Title = kratownica 3D) oraz określamy rodzaj analizy (Solution Type = Linear Static):

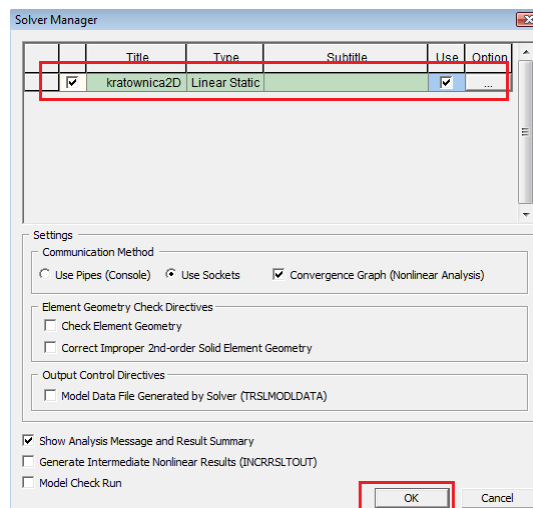


Wybór zatwierdzamy klikając na klawisz **OK** w aktualnie otwartym okienku i na klawisz **Close** – w poprzednim.

Kolejny krok to dokonanie obliczeń wybierając w *Głównym Menu: Analysis (PPM)* → **Solve**.



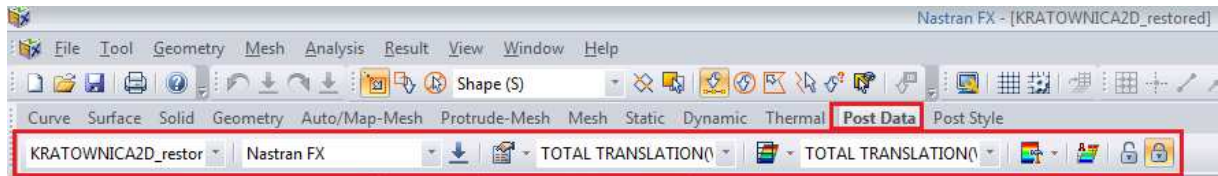
W okienku *Solver Manager* zaznaczamy zdefiniowany wcześniej rodzaj analizy oraz naciskamy na przycisk **OK**:



# RESULTS

## 11. Przemieszczenia węzłów

Analizę interesujących nas wyników obliczeń, rozpoczynamy od wyboru z *Paska narzędzi* komendy **Post Data**:



Aby odczytać przemieszczenia węzłów kratownicy, do której dodano obciążenie zewnętrzne, zaznaczamy w *Bazie danych wyników* opcję **Nodal Displacements** oraz typ danych – **Total Translation (przemieszczenie sumacyjne)**:



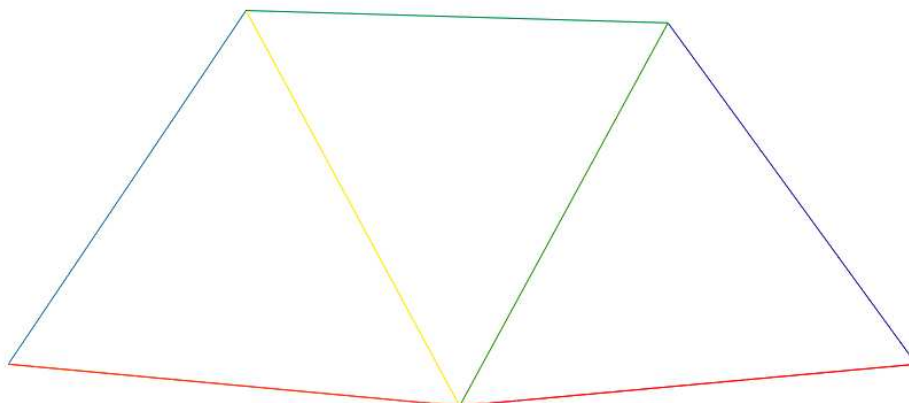
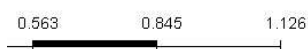
Istnieje możliwość analizy przemieszczeń w dowolnej osi. Wówczas w typie danych należało by wybrać: T1 – w osi x, T2 – w osi y oraz T3 – w osi z.

## 12. Siły w prętach

By odczytać wartości sił w prętach należy zaznaczyć w *Bazie danych wyników* opcję **1D Element Forces/Moments** oraz typ danych – **Rod Force end A-X**:



Powinny być widoczne wartości sił występujące w prętach:



Nastran FX	
ROD FORCE END A	
FX, N	
14.3%	+1.01039e+003
14.3%	+8.20947e+002
0.0%	+6.31501e+002
14.3%	+4.42055e+002
0.0%	+2.52609e+002
0.0%	+6.31635e+001
14.3%	-1.26282e+002
0.0%	-3.15728e+002
0.0%	-5.05174e+002
14.3%	-6.94620e+002
0.0%	-8.84066e+002
14.3%	-1.07351e+003
0.0%	-1.26296e+003
14.3%	-1.45240e+003
0.0%	-1.64185e+003
14.3%	-1.83129e+003
0.0%	-2.02074e+003

## 13. Napreżenia w prętach

Podobnie by odczytać wartości naprężeń w prętach należy zaznaczyć w *Bazie danych wyników* opcję **1D Element Stresses** oraz typ danych – **Rod S- Axial**.

#### **14. Animacja odkształconej konstrukcji**

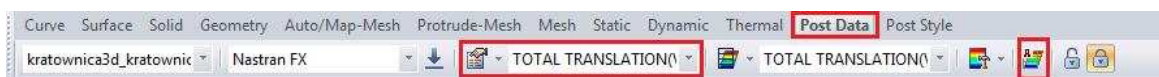
By włączyć animację należy z *Paska narzędzi* wybrać komendę **Post Style** i następnie *Animation Recording*:



Powinno się pojawić pod ekranem z naszymi wynikami następujące menu – włączenie animacji następuje poprzez wciśnięcie ikony szpulowego magnetofonu – **Record Button**:



By nie analizować zmian w czasie sił występujących w prętach, należy powrócić do *Bazy danych wyników* i wybrać opcję **Nodal Displacements** oraz typ danych – **Total Translation (przemieszczenie sumacyjne)** oraz by były widoczne „przekolorowane” przemieszczenia węzłów konstrukcji opcję **Actual Deformation**:



Podczas animacji istnieje możliwość zmiany widoku:

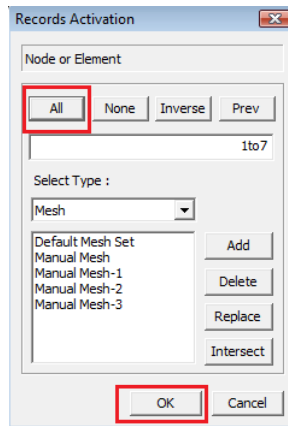


#### **15. Tabele wyników**

Istnieje również możliwość stworzenia tabeli z wynikami – którą następnie można wyeksportować choćby do Excela. Wyniki, które zostaną ukazane w tabeli znów zależą od wcześniej wybranej nastawy z *Bazy danych wyników*. Wybierzmy zatem przykładowo w **Post Data** opcję **1D Element Forces/Moments** oraz typ danych – **Rod Force end A-X**, przejdźmy następnie do okienek z opcji **Post Style** i by stworzyć tabelę szczegółowych wyników naprężenia w poszczególnych prętach należy wcisnąć przycisk **Table**:



W pojawiającym się okienku najlepiej jest wybrać że interesują nas wszystkie węzły oraz elementy ( w danym przypadku):



Ostatecznie uzyskamy następującą tabelę:

	ID	ROD FORCE END A-X
▶	1	288.677248
	2	721.708984
	3	1010.392639
	4	-866.050781
	5	-1443.386230
	6	-288.677248
	7	-2020.740723