

# POMOC

do wykonania drugiego zadania projektowego  
z *Nieliniowej Analizy Konstrukcji*  
w programie *Femap&NX-Nastran*

## BUDOWA MODELU

### 1. Zdefiniować geometrię konstrukcji.

Przykładowy sposób definicji geometrii powierzchni z otworem lub wycięciem (zaleca się wykorzystywać warunki symetrii, jeśli istnieją):

- a) **Definicja powierzchni** (płaszczyzny-**czworoboku**): *Geometry* → *Surface* → *Corners*.  
W tej metodzie wystarczy zdefiniować współrzędne wierzchołków powierzchni.

Inny sposób: *Geometry* → *Points* (zadanie wierzchołków **czworoboku**), następnie *Geometry* → *Curve* → *Line* → *Points* (definicja boków **czworoboku** od punktu do punktu); definicja powierzchni ograniczonej czterema krawędziami: *Geometry* → *Surface* → *Edge Curves*.

- b) **Definicja otworu lub wycięcia** (lub **podziału powierzchni**):

- Zdefiniować kontur otworu (wycięcia) lub linię podziału powierzchni.

Okrag:

*Geometry* → *Curve* – *Circle*. Wybrać jedną z definicji, np. *Center*, a następnie podać współrzędne środka koła i kolejno promienia.

Wielobok lub linia podziału powierzchni:

*Geometry* → *Points* (zadanie wierzchołków wieloboku lub początku i końca linii podziału), a następnie *Geometry* → *Curve* → *Line* → *Points* (definicja boków wielokąta lub linii podziału od punktu do punktu).

- Następnie utworzyć powierzchnię/powierzchnie ze zdefiniowanego konturu lub linii podziału (prostopadłe do powierzchni zdefiniowanej w punkcie a):

*Geometry* → *Surface* → *Extrude*.

Zaznaczyć krzywe opisujące kontur lub linię podziału. Po wybraniu wszystkich kliknąć *OK*.

W nowo otwartym oknie kliknąć *Methods* i z rozwijalnej listy wybrać *Direction*. Funkcja ta pozwoli określić wektor, wzdłuż którego ma nastąpić wyciągnięcie krzywych do powierzchni. W linii *Base* można nic nie zmieniać. W linii *Vector* podać kierunek i zwrot wektora (np.  $dx=0$ ;  $dy=0$ ;  $dz=1$  – wektor równoległy do osi *Z* i zgodny z jej zwrotem). Następnie w polu *Length* wpisać długość, do jakiej ma być wyciągnięty kontur w zdefiniowanym kierunku (dowolna długość – ten etap zadania jest zupełnie ‘roboczy’). Kliknąć *OK*.

- W następnym kroku przecinamy powierzchnię zdefiniowaną w punkcie a powierzchniami/powierzchnią utworzoną z wyciągnięcia konturu lub linii podziału:

*Geometry → Curve - From Surface → Intersect.*

W oknie *Select First Surface Or Solid* wpisujemy numer powierzchni, która ma być przecięta (zdefiniowana w punkcie a). Wystarczy zaznaczyć myszą tę powierzchnię w widoku. W oknie *Select Second Surface Or Solid* wskazujemy powierzchnię przecinającą. Kroki te powtarzamy aż do momentu, w którym zdefiniujemy wszystkie przecięcia. Na końcu klikamy *Cancel*.

Jeśli wszystko zostało zrobione poprawnie, to fragment powierzchni początkowej ograniczony konturem został oddzielony jako odrębna powierzchnia, a wprowadzone linie podziału podzieliły powierzchnię.

- Usuwamy powierzchnię ograniczoną konturem oraz powierzchnie pomocnicze, które przecinały powierzchnię początkową:

*Delete → Geometry → Surface*. Zaznaczamy powierzchnie do usunięcia.

## 2. Zdefiniować materiał:

*Model → Material<sup>1</sup>.*

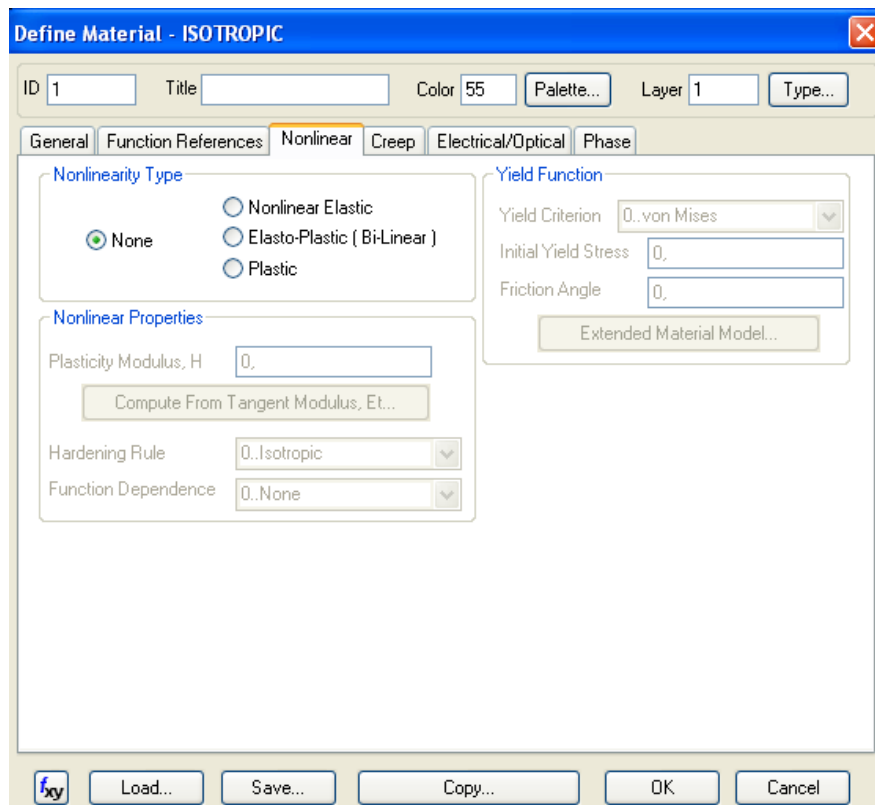
Podać E, G,  $\nu$ .

Proszę pamiętać o jednostkach.

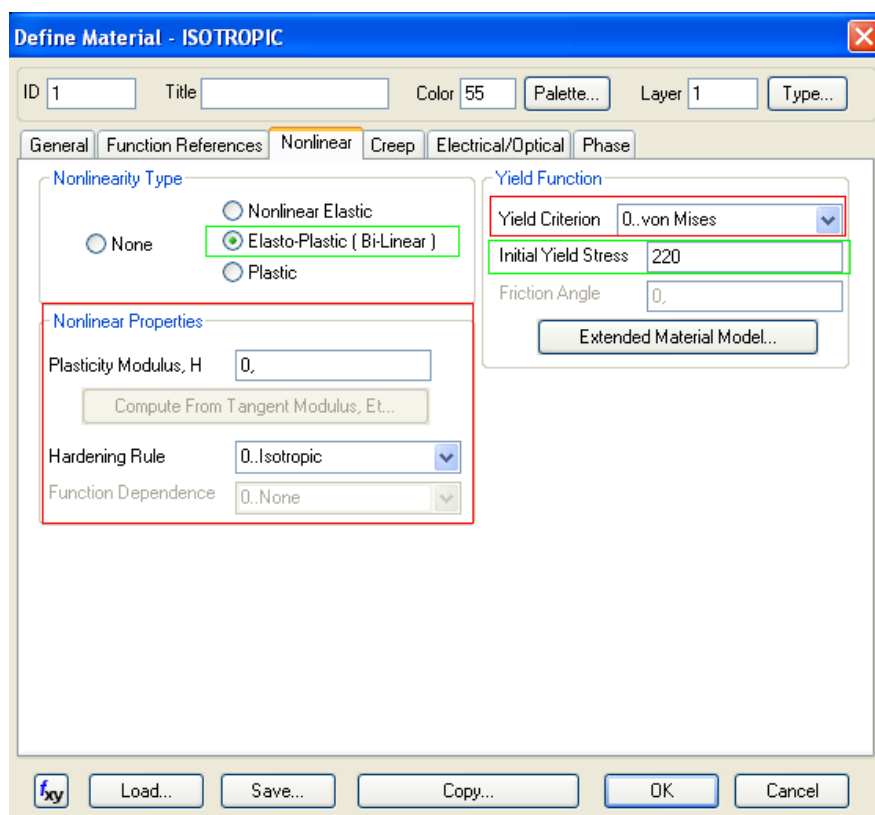
W zadaniu należy zbadać 3 warianty materiału: liniowo-sprężysty; sprężysto-plastyczny bez wzmocnienia; sprężysto-plastyczny ze wzmocnieniem. Aby zdefiniować materiał nieliniowy, należy w oknie *Define Material – ISOTROPIC* wejść w zakładkę *Nonlinear*:

- **Materiał liniowo-sprężysty** – jest to standardowy (domyślny) model materiału; żadne dodatkowe ustawienia nie są potrzebne (Rys.1);
- **Materiał sprężysto-plastyczny bez wzmocnienia** – w nowym oknie należy ustawić parametry nieliniowe materiału. W części *Nonlinearity Type* należy zaznaczyć *Elasto-Plastic (Bi-Linear)* oraz w części *Yield Function* podać granicę plastyczności (*Initial Yield Stress*) (Rys.2). Proszę pamiętać o jednostkach;
- **Materiał sprężysto-plastyczny ze wzmocnieniem** – w części *Nonlinearity Type* należy zaznaczyć *Elasto-Plastic (Bi-Linear)*, w części *Yield Function* podać granicę plastyczności (*Initial Yield Stress*) oraz w części *Nonlinear Properties* w polu *Plasticity Modulus, H* wpisać wartość modułu wzmocnienia (Rys.3). Proszę pamiętać o jednostkach.

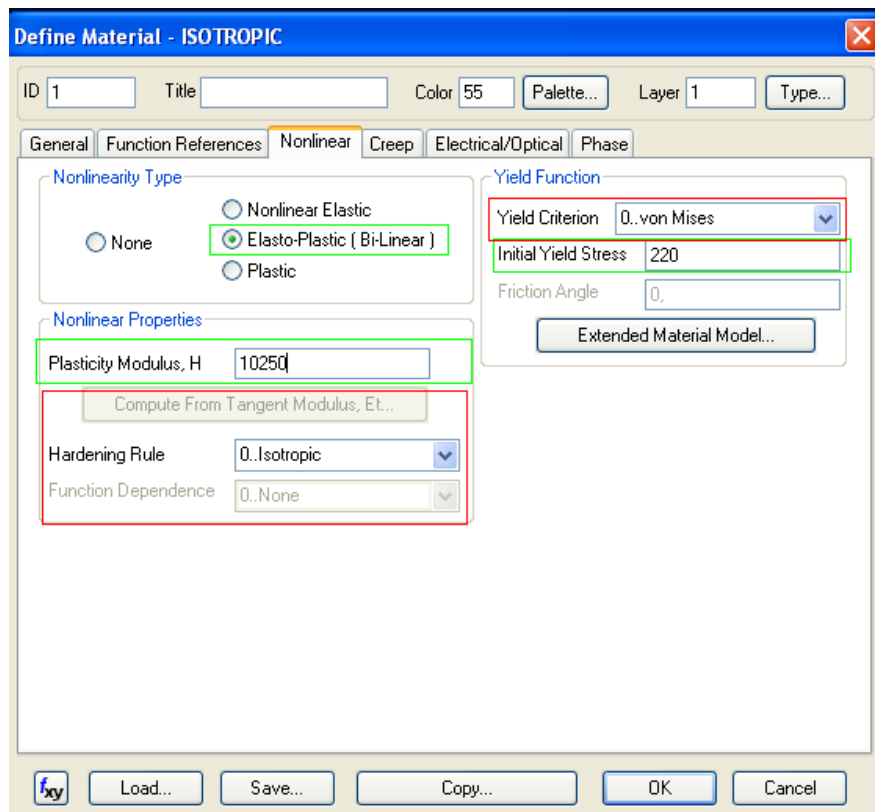
<sup>1</sup> Można wybrać z górnego *Menu* lub kliknąć na odpowiedni element w drzewie modelu prawym klawiszem myszy i wybrać *New*.



Rys.1 Ustawienia dla materiału liniowo-sprężystego.



Rys.2 Ustawienia dla materiału sprężysto-plastycznego bez wzmocnienia.



Rys.3 Ustawienia dla materiału sprężysto-plastycznego ze wzmocnieniem.

### 3. Zdefiniować przekrój (wybrać element skończony i podać jego własności):

*Model* → *Property*<sup>1</sup>.

Nazwanie przekroju nie jest konieczne. Należy wybrać materiał z *Menu* rozwijalnego, a następnie kliknąć przycisk *Element/Property Type*.

Otworzy się kolejne okno - *Element/Property Type*.

- **Powłoka, tarcza, płyta (PSN)**

Wybrać element *Plate*. Wcisnąć *OK*. W oknie *Define Property – PLATE Element Type* w części *Property Values* podać w polu *Thicknesses, Tavg or T1* grubość elementu, pamiętając o jednostkach. Pozostałych pól nie wypełniać.

- **PSO**

Wybrać element *Plane Strain*. Wcisnąć *OK*. W oknie *Define Property – PLANE STRAIN Element Type* w części *Property Values* podać w polu *Thicknesses, Tavg or T1* grubość elementu, pamiętając o jednostkach. Pozostałych pól nie wypełniać.

Przy powyższych ustawieniach zastosowany będzie płaski element 4-węzłowy (**QUAD4**).

#### 4. Zdefiniować siatkę elementów skończonych:

- Zdefiniować podział na elementy:  
*Mesh → Mesh Control → Size Along Curve.*  
W oknie *Entity Selection – Select Curves to Set Mesh Size* wybrać wszystkie krzywe, na których ma być narzucony jednakowy podział, a następnie kliknąć *OK*. W oknie *Mesh Size Along Curves* w polu *Number of elements* wpisać żadaną liczbę elementów. Kroki powtarzać, aż zostaną zadane podziały wzdłuż wszystkich krzywych.
- Nadać element skończony:  
*Mesh → Geometry → Surface.*  
W oknie *Entity Selection – Select Curves to Mesh* kliknąć *Select All*, a następnie *OK*. W oknie *Geometry Mesh Options* wybrać z *Menu* rozwijalnego *Property* zdefiniowany wcześniej przekrój. Kliknąć *OK*.

**UWAGA!!!** Aby uzyskać regularną siatkę często konieczne jest wprowadzenie dodatkowego podziału powierzchni na mniejsze powierzchnie. Procedura opisana w 1b.

Przydatne może być użycie *Meshing Toolbox*’u do ewentualnego zagęszczenia/rozrzedzenia siatki bez jej ponownej definicji.

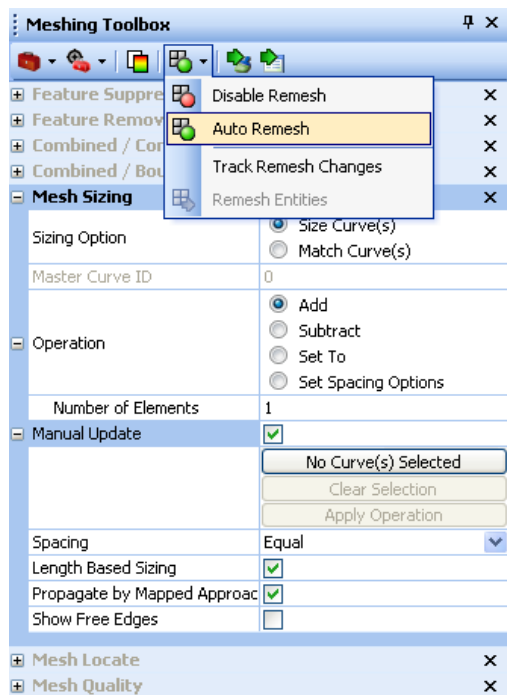
Mając już utworzoną siatkę, otwieramy *Toolbox* drugim przyciskiem od lewej na pasku *Panes* pokazanym na rysunku 4. Pierwszy przycisk natomiast włącza *Model Info*.

Po otwarciu *Meshing Toolbox*’u:

- Wybieramy (rozwijamy) *Mesh Sizing* (Rys.5);
- Zaznaczamy *Manual Update* (Rys.5);
- Włączamy w górnym *Menu Meshing Toolbox*’u funkcję *Auto Remesh* (Rys.5);
- Zaznaczamy krzywe, na których chcemy zmienić podział (np. dodać/usunąć elementy lub wprost zmienić ich liczbę na konkretną wartość np.7). W tym celu włączamy *Dialog Select* (pierwszy przycisk z prawej strony w górnym *Menu Meshing Toolbox*’u. Otworzy się okno dialogowe wyboru krzywych. Wybieramy krzywe i klikamy *OK*. Funkcja *Apply Operation* stanie się aktywna.
- Wybieramy w części *Operation* operację, którą chcemy wykonać oraz w polu *Number of elements* podajemy liczbę elementów. Wg ustawień na Rys.5 program doda po jednym elemencie wzdłuż każdej z wybranych krzywych.
- Wciskamy *Apply Operation*.



Rys.4 Panes.



Rys.5 Meshing Toolbox.

## 5. Zadać warunki podporowe:

*Model* → *Constraint*

Najpierw należy utworzyć tzw. *Set* (przypadek warunków podparcia). Należy nadać mu dowolną nazwę i kliknąć *OK*.

W drzewie modelu w zakładce *Constraints* powstanie lista zdefiniowanych przypadków.

W zadaniu wystarczy jeden przypadek.

Następnie należy rozwinąć utworzony przypadek warunków podparcia w drzewie modelu.

Kliknąć prawym klawiszem myszy na *Constraint Definitions* i zdefiniować warunki podporowe. Wybrać opcję *On Curve*. Otworzy się okno wyboru krzywych, wzdłuż których mają być zadane warunki podparcia.

Wybrać żądane krzywe i kliknąć *OK*. W oknie *Create Constraints on Geometry* zablokować odpowiednie stopnie swobody wykorzystując funkcje *Standard Types* lub *Advanced Types* (w tym wypadku wybrać kartezjański układ współrzędnych - *Basic Rectangular*)

$T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$  – translacje wzdłuż osi globalnego układu współrzędnych;

$R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  – rotacje (obroty) wokół osi globalnego układu współrzędnych.

Następnie kliknąć prawym klawiszem myszy ponownie na *Constraint Definitions* i zdefiniować warunki wzdłuż kolejnych krzywych.

**Uwaga!!!** W zadaniach, w których występuje obciążenie samo zrównoważone, jeśli warunki symetrii nie będą w modelu wykorzystane, należy zadać warunki podparcia w węzłach (*Nodal*). Postępowanie jest identyczne jak w pierwszym zadaniu projektowym.

## 6. Zdefiniować obciążenia:

*Model* → *Loads*<sup>1</sup>

Najpierw należy utworzyć tzw. *Set* (przypadek obciążenia). Należy nadać mu dowolną nazwę i kliknąć *OK*.

W drzewie modelu w zakładce *Loads* powstanie lista zdefiniowanych przypadków.

W zadaniu występuje 1 przypadek obciążenia.

Następnie należy rozwinąć utworzony przypadek obciążenia w drzewie modelu. Kliknąć prawym klawiszem myszy na *Load Definitions* i zdefiniować obciążenie. Wybrać opcję *On Curve*. Otworzy się okno wyboru krzywych, wzdłuż których mają być zadane obciążenia. Wybrać żądane krzywe i kliknąć *OK*. W oknie *Create Loads on Curves* wybrać odpowiedni typ obciążenia (w zadaniu *Force Per Length*) i zadać wartości składowych obciążenia  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  (w globalnym układzie współrzędnych), pamiętając o odpowiednich jednostkach. Jeśli obciążenie musi być zadane w cylindrycznym układzie współrzędnych (np. obciążenie promieniowe na konstrukcji łukowej), to w oknie *Create Loads on Curves* w liście rozwijalnej *Coord Sys* zmienić układ współrzędnych z kartezjańskiego na cylindryczny. Wtedy składowe  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  określają odpowiednio składowe w kierunku promieniowym, stycznym do łuku oraz w kierunku prostopadłym do łuku (jeśli łuk leży w płaszczyźnie *XY*).

**UWAGA !!!** Jeśli w treści zadania obciążenie jest zadane w jednostce ciśnienia, to należy je sprowadzić do obciążenia liniowego (zbierając ciśnienie z grubości elementu). Na wykresach w opracowaniu zadania proszę jednak stosować taki typ obciążenia, jaki narzucono w treści zadania.

**W przypadku analizy liniowej należy przejść do punktu 8.**

**W analizie nieliniowej potrzebne jest określenie dodatkowych parametrów dla przypadku obciążenia (jak w ZADANIU 1):**

## 7. Ustawić typ analizy.

*Model* → *Analysis* → *New*

Można nadać dowolny tytuł analizie (nie jest to konieczne). Następnie na rozwijalnej liście *Analysis Type* wybrać odpowiednio *Static* (analiza liniowa) lub *Nonlinear Static* (analiza nieliniowa).

Warto następnie kliknąć 2x *Next* przechodząc do kolejnych etapów definicji parametrów analizy i w oknie *NASTRAN Bulk Data Options* w części *Format* zaznaczyć *Large Field*. Obliczenia będą realizowane na liczbach o podwójnej precyzji.

## 8. Zapisać plik w dowolnej lokalizacji przed uruchomieniem obliczeń.

Program podczas analizy tworzy pewne pliki robocze. Jeśli dokonamy zapisu przed uruchomieniem obliczeń, dodatkowe pliki powstaną w tym folderze, w którym zapisaliśmy nasz projekt. W przeciwnym razie dodatkowe pliki będą zapisywane w folderze FEMAPv1001 na dysku C.

Te pliki zwykle można i warto usuwać. Są one potrzebne tylko w wyjątkowych wypadkach.

## 9. Uruchomienie analizy.

*Model* → *Analysis* → *Analyze*.

# ANALIZA WYNIKÓW

Jeśli analiza przebiegła poprawnie, to w drzewie modelu w *Results* powstanie rozwijalna lista. Każdy *Case* na tej liście odpowiada kolejnemu przyrostowi, który program zrealizował podczas obliczeń.

**UWAGA!!!** Jeśli przeprowadzimy kilka (np.3) analizy, np. po 40 przyrostów każda, to w efekcie na liście *Results* będzie 120 przypadków (*Cases*). Należy o tym pamiętać przy interpretacji wyników. Jeśli wiemy, że z jakiegoś powodu otrzymane dotąd wyniki nie będą nam potrzebne, to należy je od razu usunąć, aby uniknąć późniejszych pomyłek. Usuwanie odbywa się standardowo – zaznaczamy przypadki do usunięcia (wystarczy zaznaczyć pierwszy i trzymając Shift ostatni, który chcemy usunąć) i kliknąć prawym, a następnie wybrać z listy *Delete*, lub po zaznaczeniu wcisnąć od razu na klawiaturze przycisk *Delete*.

Pojawiająca się liczba przy *Case*, to tzw. *Set Value* – jest to aktualny w danym przyroście (*Case*) mnożnik obciążenia. Aby określić wartość obciążenia w danym przyroście należy pomnożyć *Set Value* przez wartość przyłożonej siły.

Przykład: Przyłożono obciążenie 1000N/mm.

Po obliczeniach dla *Case1* mnożnik wynosi 0.05, oznacza to, że w pierwszym kroku algorytm doszedł do obciążenia 50N/mm;

dla *Case7* mnożnik wynosi 0.475, oznacza to, że w siódmym kroku algorytm doszedł do obciążenia 475N/mm, itd.

UWAGA: jeśli wybraliśmy analizę *Static* (analiza liniowa) to w rezultatach będzie tylko jeden przyrost.

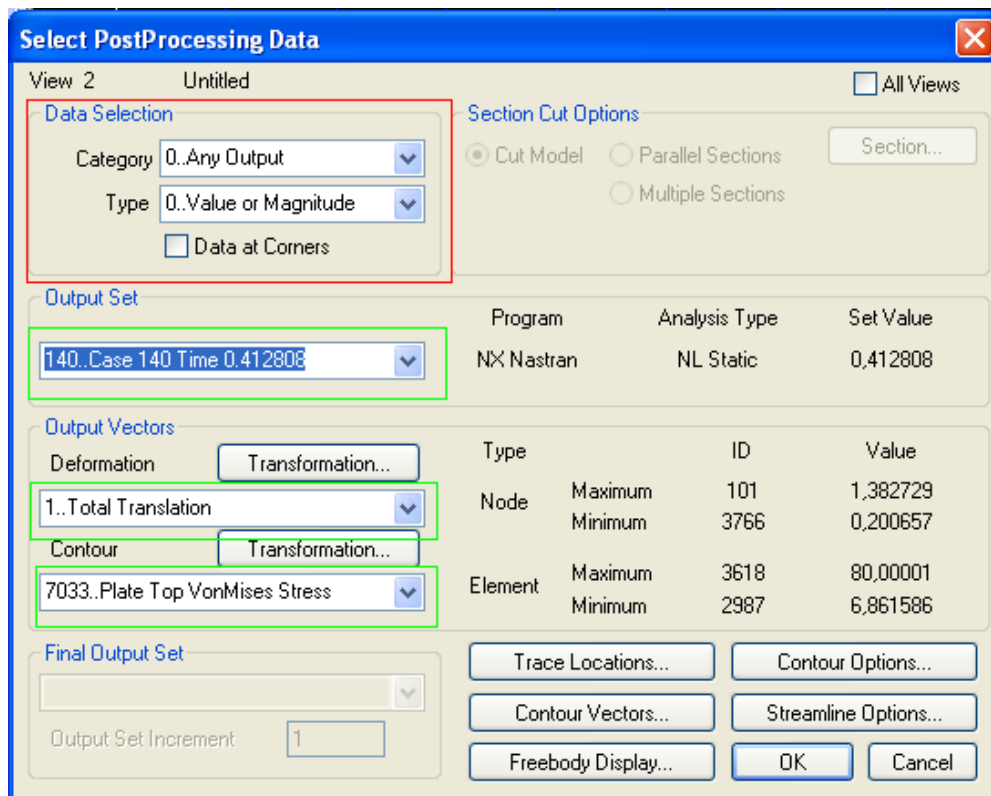
Pasek analizy wyników przedstawia Rysunek 9.



Rys.9 Pasek analizy wyników.

- Pierwszy przycisk włącza widok niezdeformowany.
- Drugi przycisk pokazuje układ zdeformowany dla wybranego z listy *Results* (drzewo modelu) poziomu obciążenia.
- Trzeci przycisk uruchamia animację dla wybranego z listy *Results* (drzewo modelu) poziomu obciążenia.
- Czwarty przycisk włącza widok bez konturów, tj. bez map.
- Piąty przycisk włącza kontury, tj. mapy wygładzone.
- Szósty przycisk włącza kontury, tj. mapy uśrednione.
- Siódmy przycisk służy do wyboru zmiennych, które chcemy wyświetlać (konkretne składowe naprężeń, przemieszczeń, itp.) (Rys.10). Tutaj można również ustawić poziom obciążenia, dla którego chcemy oglądać wybrane wyniki (pole *Output Set*); W części *Output Vectors* można ustawić wektor, wg którego ma być obliczana deformacja układu (najrozsądniejszy wektor do *Total Translation*) oraz wektor, który ma przedstawiać kontur (mapa).
- Przyciski ósmy i dziewiąty przełączają kolejne przypadki obciążenia (kolejne przyrosty) o jeden odpowiednio w górę lub w dół.
- Przyciski dziesiąty i jedenasty przełączają kolejne wektory o jeden odpowiednio w górę lub w dół.
- Ostatni przycisk to lista rozwijalna, dzięki której można ustawić pewne dodatkowe parametry wyświetlania.





Rys.10 Wybór danych, które mają być wyświetlane.

## DODATKOWE INFORMACJE:

**Ctrl+A** – widok całej konstrukcji

**Ctrl+G** – odświeżanie ekranu

**F6** – uruchamia *View Options* (można np. ustawić wyświetlanie numerów węzłów, itp.)

**F5** – uruchamia *View Select*, w tym m.in. możliwość tworzenia wykresów

**Usuwanie elementów modelu:** z *Menu* górnego wybrać *Delete*. Jeśli chcemy usunąć wszystko, wybieramy *All*. Jeśli usuwanie ma być selektywne, to wybieramy odpowiednio np. *Geometry* i usuwamy powierzchnie (*Surface*), krzywe (*Curves*) itp. Jeśli chcemy usunąć siatkę, to wybieramy *Model* → *Mesh*.

**UWAGA!!!** Proszę pamiętać, że jeśli obciążenia lub warunki podporowe zadane były na elementach siatki (np. w węzłach), to wraz z usunięciem siatki zostaną również usunięte informacje o obciążeniu i warunkach podparcia. Należy zdefiniować je ponownie po generacji nowej siatki.

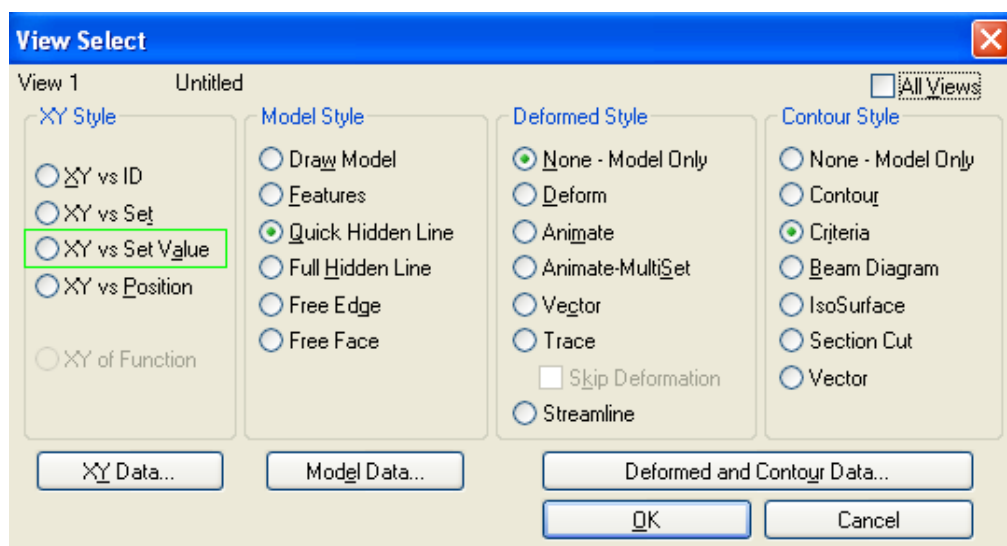
Jeśli warunki podparcia i obciążenia zadane są na geometrii (*On Point*, *On Curve*), usunięcie siatki nie usuwa informacji o warunkach brzegowych.

# TWORZENIE WYKRESÓW

Najlepiej najpierw utworzyć tzw. nowy widok, tj. w lewym górnym rogu pola ekranu, w którym wyświetlana jest konstrukcja, jest nazwa widoku (standardowo jest 'Untitled'). Kliknąć na tej nazwie prawym klawiszem myszy i wybrać *New*. Utworzy się kolejny widok. Warto w jednym widoku mieć konstrukcję, a wykresy w innych.

Będąc w nowym widoku kliknąć F5. Otworzy się okno *View Select* (Rys.11). W części *XY Style* wybrać *XY vs Set Value*. Kliknąć *XY Data*. Otworzy się okno *Select XY Curve Data* (Rys.12). W polu *Output Set* wybrać przypadek, od którego ma się zaczynać wykres (najczęściej jest to pierwszy przypadek w danej analizie). Następnie wybrać *Output Vector* (czyli zmienną, której przebieg ma pokazać wykres). W *Output Location* zaznaczyć węzeł, którego np. przemieszczenie ma być wyświetlone.

Wg danych na Rys. 12 program wyświetli wykres translacji T1 w węźle nr 101 rozpoczynając od pierwszego przyrostu obciążenia. Będzie to wykres wybranego przemieszczenia względem poziomu obciążenia (*Set Value*) rozpoczynający się od pierwszego przyrostu w analizie (*Case1*) (Rys.13).



Rys.11 Tworzenie wykresu, krok 1.

**Select XY Curve Data**

View 2    Untitled    ☐ All Views

**Data Selection**

Category: 0..Any Output  
 Type: 0..Value or Magnitude  
☐ Data at Corners

**Position (same for all Curves)**

☐ X ☐ Y ☐ Z    Coord Sys:

**Group (same for all Curves)**

☐ Active ☐ None ☐ Select:

**Curve**

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

**Output Set**

1..Case 1 Time 0.02    Program: NX Nastran    Analysis Type: NL Static    Set Value: 0.02

**Output Vector**

2..T1 Translation    Type: Node    ID: 1427    Value: 0.0145541  
 Minimum: 101    -0.0145541

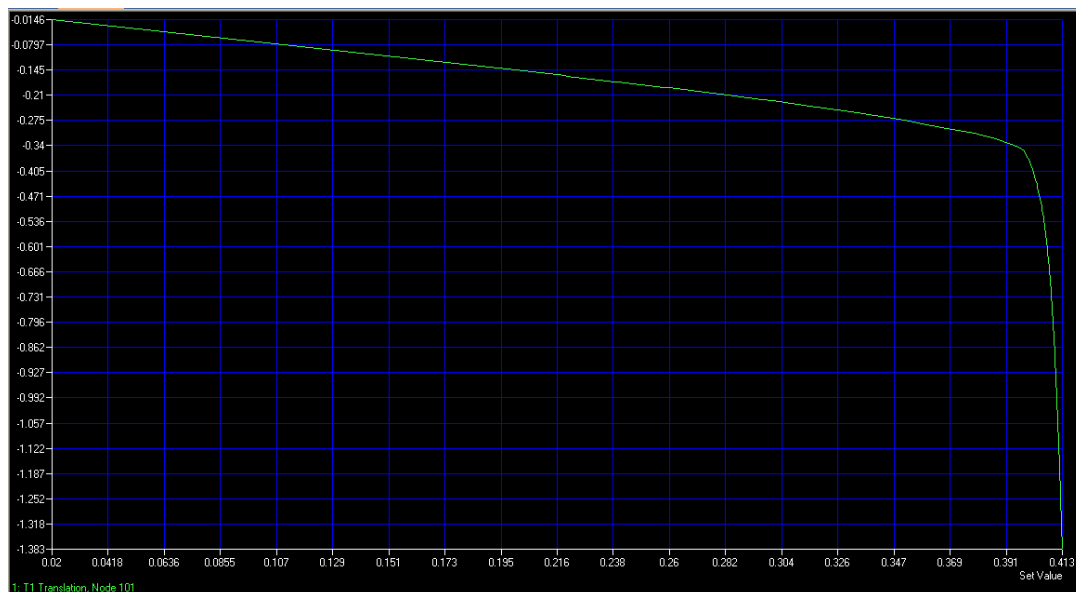
**Output Location**

Node: 101    Show Output Sets ( Blank=All )

From:  To:

Delete Curve    OK    Cancel

Rys.12 Tworzenie wykresu, krok 2.



Rys.13 Przykładowy wykres.

**UWAGA!!!** Na osi **poziomej** jest **Set Value** (mnożnik obciążenia). Aby obliczyć odpowiadające obciążenie, należy **Set Value** pomnożyć przez zadaną wartość obciążenia i ewentualnie podzielić przez grubość elementu, jeśli w treści zadania obciążenie ma jednostkę ciśnienia.  
 Na osi **pionowej** jest wprost wartość wybranego przemieszczenia.

## PRZENIESIENIE DANYCH WYKRESU DO np. EXCELA

Będąc w widoku z wykresem wybrać z Menu górnego *List* → *Output* → *XY Plot*.

Program wyświetli w dolnym oknie *Messages* dane wykresu – w pierwszej kolumnie wartości z osi poziomej, a w drugiej z osi pionowej.

Należy je skopiować (Ctrl+C) i wkleić np. do Excela.

Warto w Excelu od razu zmienić separator z kropki na przecinek (Ctrl+F → Znajdź+Zamień), a następnie rozbić tekst na kolumny (Dane → Tekst jako kolumny).

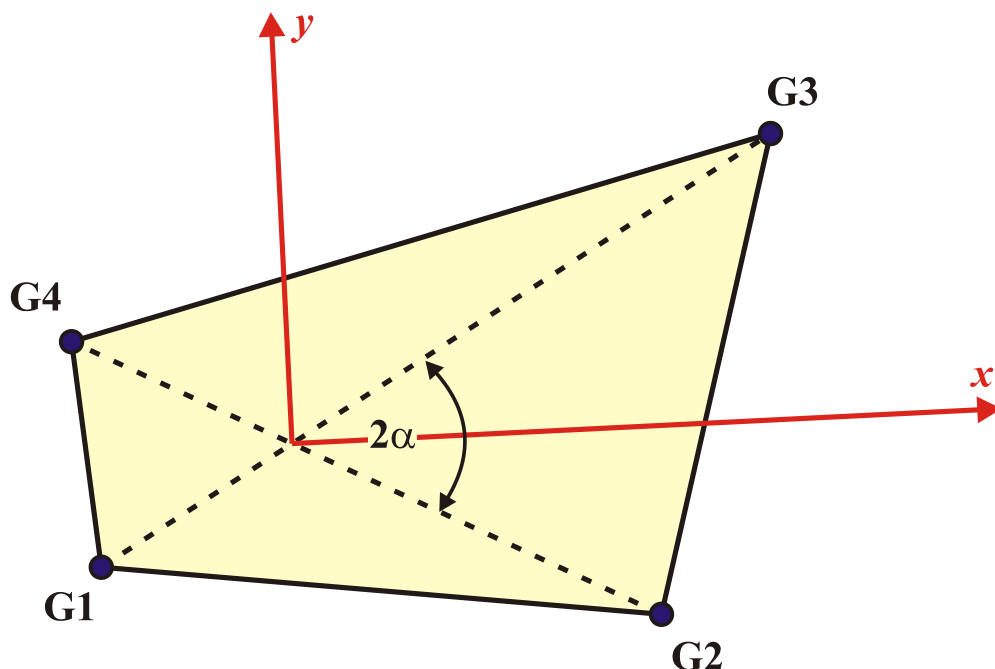
**Proszę pamiętać, że chcemy uzyskać wykres, w którym na osi poziomej będzie przemieszczenie, a na pionowej obciążenie, czyli odwrotnie niż wyświetla Femap. Dodatkowo obciążenie należy wyliczyć z wyświetlanej w Femapie wartości *Set Value*.**

## ANALIZA NAPRĘŻEŃ

Program oblicza i wyświetla naprężenia (oraz siły wewnętrzne) w **lokalnym układzie współrzędnych** elementu skończonego. Lokalny układ współrzędnych 4-węzłowego elementu skończonego w Nastranie przedstawia Rys. 14. Oś  $x$  dzieli kąt  $2\alpha$  na połowę. Dodatni jej zwrot biegnie od G1 do G2. Oś  $y$  jest prostopadła do  $x$ , a dodatni jej zwrot biegnie od G1 do G4. Oś  $z$  jest prostopadła do płaszczyzny elementu, a jej zwrot określa reguła śruby prawoskrętnej.

Jak widać, orientacja osi lokalnych elementu jest uwarunkowana kolejnością numeracji węzłów związanych z danym elementem. Aby sprawdzić tę kolejność należy wejść w *Menu* górnym w *List* → *Model* → *Element*. W oknie *Entity Selection – Select Element(s) to List* wskazać wybrany element/elementy i kliknąć *OK*. W oknie *Element Listing Options* nie trzeba nic zmieniać, tylko kliknąć *OK*. W oknie *Messages* zostaną wyświetlone informacje o elemencie/elementach, w tym w linii *Nodes* podane zostaną numery węzłów elementu w kolejności G1-G2-G3-G4.

Po wyświetleniu numerów węzłów na ekranie (klawisz F6) można na podstawie wyświetlonych w *Messages* informacji wywnioskować, jakie są orientacje osi lokalnych elementu/elementów.



Rys.14 Lokalny układ współrzędnych w elemencie 4-węzłowym.

W elemencie czterowęzłowym wyniki naprężeń obliczane i prezentowane są w jednym, **centralnie położonym punkcie Gaussa**. W elemencie *PLATE* dla każdego punktu program oblicza i wyświetla dwie wartości wybranej składowej naprężenia (np.  $\sigma_x$ ), co wynika z wyznaczania wartości wybranej składowej w dwóch punktach na wysokości (grubości) elementu. Standardowo jest to powierzchnia górna (Top) i dolna (Bottom) elementu (i odpowiednio np.: *Plate Top Von Mises Stress*; *Plate Bot Von Mises Stress*). Przy obciążeniu tarczowym (w płaszczyźnie elementu) wartości u góry i dołu elementu będą jednakowe. W elemencie *PLAIN STRAIN* wyniki naprężeń obliczane i wyświetlane są w środku grubości elementu (np. *Plate Mid Von Mises Stress*)

Analizę wyników naprężeń przeprowadza się na ogół na podstawie map (*Contour*), choć analiza wykresu np. zmiany wartości konkretnej składowej w wybranym elemencie wraz ze zmianą obciążenia też może być przydatna. Tworzenie takiego wykresu jest identyczne, jak w przypadku tworzenia wykresu dla składowej przemieszczenia w węźle. Po wybraniu w oknie *Select XY Curve Data* (Rys.12) w polu *Output Vector* z listy rozwijalnej dowolnej składowej naprężenia, w części *Output Location* trzeba wpisać numer elementu, a nie węzła.

Mapy naprężeń włączamy 5 i 6 od lewej przyciskiem na pasku analizy wyników (Rys.9). Przycisk 5 włącza mapy wygładzone, a 6 uśrednione – wyświetlając w elementach wartość wybranej składowej naprężenia. Jest to wartość określona w punkcie Gaussa.

Wyboru składowej naprężenia dokonujemy w oknie *Select PostProcessing Data* (Rys. 10), które to okno włącza 7 przycisk od lewej na pasku analizy wyników (Rys.9). W *Select PostProcessing Data* w części *Output Vectors* na rozwijalnej liście *Contour* wybieramy żadaną składową naprężenia.

**UWAGA!!!** Jeśli program zakomunikuje brak danych do wyświetlenia, oznacza to, że w *Output Vectors* żadne wektory nie zostały wybrane. Należy je wybrać, bez ponownego wykonywania obliczeń.

Jeśli stan naprężeń jest złożony, to analizujemy naprężenia zastępcze (Von Misesa – to samo, co Hubera-Mises’a-Hencky’ego). Te naprężenia porównywane są z granicą plastyczności.

Upłastycznienie następuje z chwilą, gdy wartość naprężeń zastępczych przekroczy wartość granicy plastyczności.

Rozwój stref upłastycznienia musi być zatem przeprowadzony na podstawie wartości naprężeń zastępczych.

## CO POWINIEN ZAWIERAĆ PROJEKT?

- Kartę tematu jako stronę tytułową,
- Dane liczbowe – zadane w treści oraz przyjętą wartość obciążenia,
- Krótki opis tego, co zostało zrobione,
- Odpowiednie czytelne wykresy (wg treści zadania) z czytelnym, logicznym opisem,
- Mapy (np. zrzuty ekranu) przedstawiające rozwój stref uplastycznienia dla przypadku materiału sprężysto-plastycznego bez wzmocnienia,
- Komentarze do wyników, wnioski

**Prowadzącemu należy dostarczyć również odpowiednie pliki Nastrana.**

**Niekompletne projekty nie będą zaliczane.**

Konieczność poprawy będzie skutkowałą obniżeniem końcowej punktacji.