

POMOC

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

BUDOWA MODELU

1. Przyjąć dane: a , E , A , P_1 , P_2 .

2. Zdefiniować geometrię konstrukcji.

Przykładowy sposób:

- zdefiniować współrzędne węzłów kratownicy:
Geometry → *Points*
- zdefiniować pręty:
Geometry → *Curve-Line* → *Points*

3. Zdefiniować materiał:

Model → *Material*¹.

Podać E , G , ν .

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

Model → *Property*¹.

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*. Element kratowy to **Rod**. Po wybraniu elementu nacisnąć OK.

Otworzy się kolejne okno *Define Property – Rod Element Type*. Należy wpisać pole przekroju pręta w polu *Area*, A .

Pozostałych pól nie wypełniać.

5. 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 klikając *Select All*, a następnie OK. W oknie *Mesh Size Along Curves* w polu *Number of elements* wpisać 1.
- Nadać element skończony:
Mesh → *Geometry* → *Curve*.
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.

6. Zadać warunki podporowe:

Model → *Constraint*¹

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

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 *Nodal*. Otworzy się okno wyboru węzłów, w których mają być zadane warunki podparcia.

Wybrać żądany węzeł lub węzły i kliknąć OK. W oknie *Create Nodal Constraints/DOF* zablokować odpowiednie stopnie swobody.

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 w kolejnych węzłach.

7. Zdefiniować obciążenia:

Model \rightarrow *Loads*¹

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 występują 3 przypadki obciążenia ($P_1, P_2, P_1 + P_2$).

Zaleca się utworzyć osobne pliki dla każdego z przypadków (choć nie jest to konieczne) tak, aby w każdym pliku był tylko jeden przypadek obciążenia.

Następnie należy rozwinąć utworzony przypadek obciążenia w drzewie modelu. Kliknąć prawym klawiszem myszy na *Load Definitions* i zdefiniować obciążenie. Wybrać opcję *Nodal*. Otworzy się okno wyboru węzłów, w których mają być zadane obciążenia.

Wybrać żądany węzeł lub węzły i kliknąć OK. W oknie *Create Load on Nodes* wybrać odpowiedni typ obciążenia węzła (w zadaniu *Force*) i zadać wartości składowych jej wektora F_x, F_y, F_z (w globalnym układzie współrzędnych).

W przypadku analizy liniowej należy przejść do punktu 8.

W analizie nieliniowej potrzebne jest określenie dodatkowych parametrów dla przypadku obciążenia:

W tym celu, należy kliknąć prawym klawiszem myszy w drzewie modelu na przypadek obciążenia i z rozwijalnej listy wybrać *Nonlinear Analysis*. Otworzy się okno *Load Set Options for Nonlinear Analysis*. Jako *Solution Type* wybrać *Static*.

Następnie kliknąć *Defaults*.

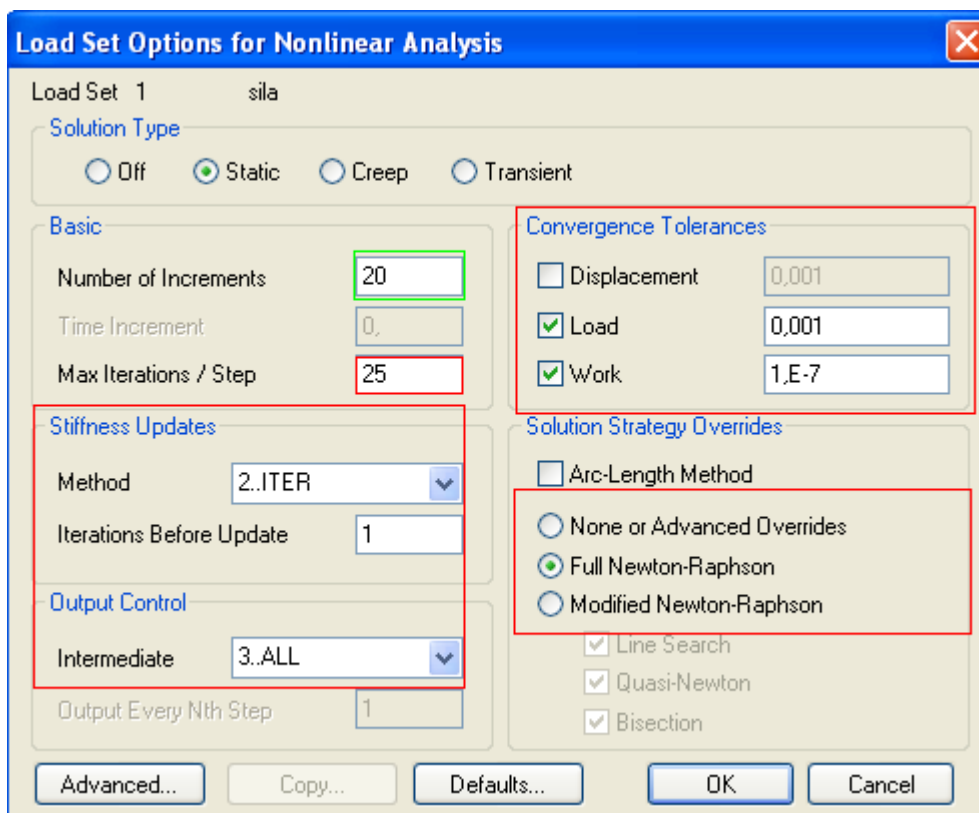
Kolejno w części *Stiffness Updates* i *Output Control* oraz *Solution Strategy Overrides* ustawić parametry jak na Rys.1.

Czerwonymi ramkami zaznaczono na Rysunku 1 te elementy, którym nie zaleca się nadawać innych wartości/ustawień niż na Rys.1. Zieloną ramką natomiast oznaczono parametr *Number of Increments*, który w razie potrzeby może/powinien być zmieniany.

STEROWANIE OBCIĄŻENIEM (Load Control)

Na rysunku 1. przedstawiono ustawienia parametrów dla sterowania obciążeniowego. Ustalanie wartości przyrostu obciążenia odbywa się poprzez zadanie wartości *Number of Increments*.

Wartość ta określa, na ile przyrostów ma być podzielone zadane obciążenie.



Rys.1 Parametry do sterowania obciążeniowego (Load Control)

STEROWANIE PARAMETREM ŚCIEŻKI (Arc-Length Control) (sterowanie łukiem)

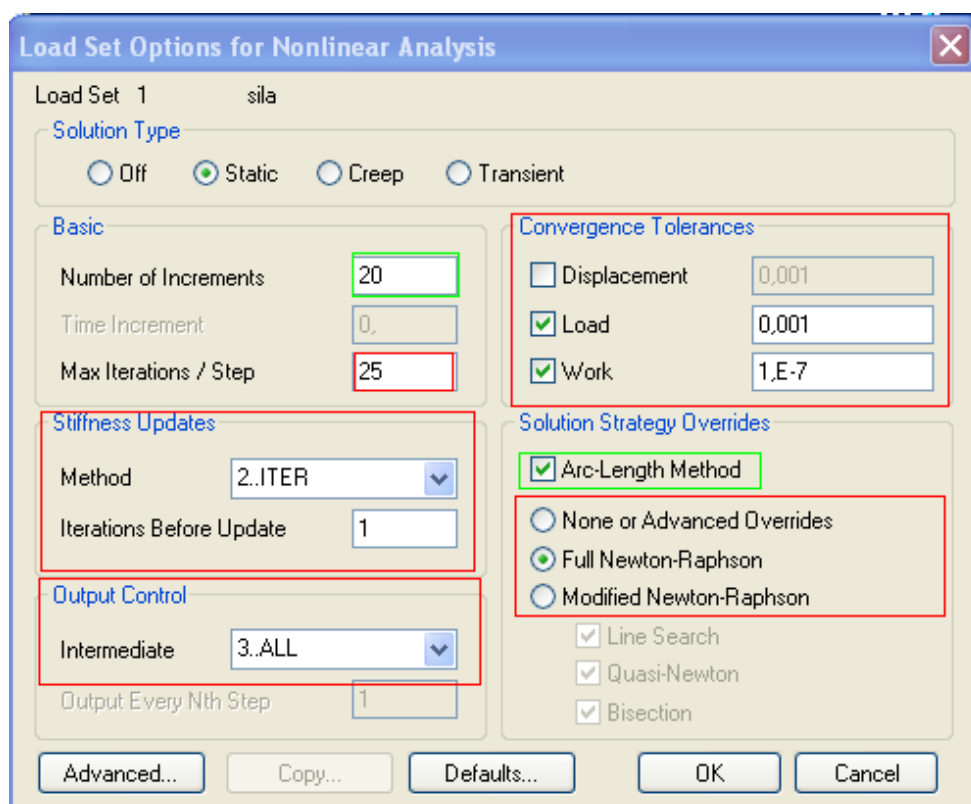
Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono ustawienia parametrów dla sterowania parametrem ścieżki. W oknie *Load Set Options for Nonlinear Analysis* należy zaznaczyć *Arc-Length Method* (Rys.2). Jest to jednoznaczne z uruchomieniem sterowania parametrem ścieżki.

Następnie, wciskając w tym oknie przycisk *Advanced*, przejść do kolejnego okna (*Advanced Load Set Options for Nonlinear Analysis*) (Rys.3). Tutaj dokonujemy ustawienia parametrów dla sterowania łukiem. W tym oknie w części *Additional Transient Options* i *Advanced* niczego nie zmieniamy!

W części *Arc-Length Solution Strategy* można zmienić *MaxArcLenAdjust Ratio* z 4 na np. 1. Wszystkie ustawienia w czerwonych ramkach (poza *MaxArcLenAdjust Ratio*) nie powinny być dalej zmieniane.

Konieczne będzie jedynie zmienianie wartości parametru *Max Increments*.

Jeśli w liczbie przyrostów określonych przez *MaxIncrements*, zadane obciążenie nie zostanie osiągnięte, program zakomunikuje błąd NLITER. Nie oznacza to wcale, że obliczenia się nie powiodły. Należy sprawdzić wyniki i ocenić, czy kolejna analiza z większą liczbą przyrostów (większym *Max Increments*) jest konieczna.



Rys.2 Uruchomienie sterowania parametrem ścieżki (Arc-Length Control)

Rys.3 Parametry do sterowania łukiem (Arc-Length Control)

8. 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).

Następnie kliknąć 2x *Next* przechodząc do kolejnych etapów definicji parametrów analizy i w oknie *NASTRAN Bulk Data Options* w części *Format* zaznaczyć *Large Field* (choć nie jest to konieczne). Obliczenia będą realizowane na liczbach o podwójnej precyzji.

W przypadku analizy nieliniowej (*Nonlinear Static*) klikając kolejno 5x *Next* przejść do *Nonlinear Control Options* i włączyć opcję 'Use Load Set Options'.

9. 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. Jeśli nie zapiszemy projektu przed uruchomieniem analizy i zapomnimy następnie usunąć dodatkowe pliki, niepotrzebnie 'zaśmiećmy' dysk.

10. 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 siłę 1000N.

Po obliczeniach dla *Case1* mnożnik wynosi 0.05, oznacza to, że w pierwszym kroku algorytm doszedł do obciążenia 50N;
dla *Case7* mnożnik wynosi 0.475, oznacza to, że w siódmym kroku algorytm doszedł do obciążenia 475N, itd.

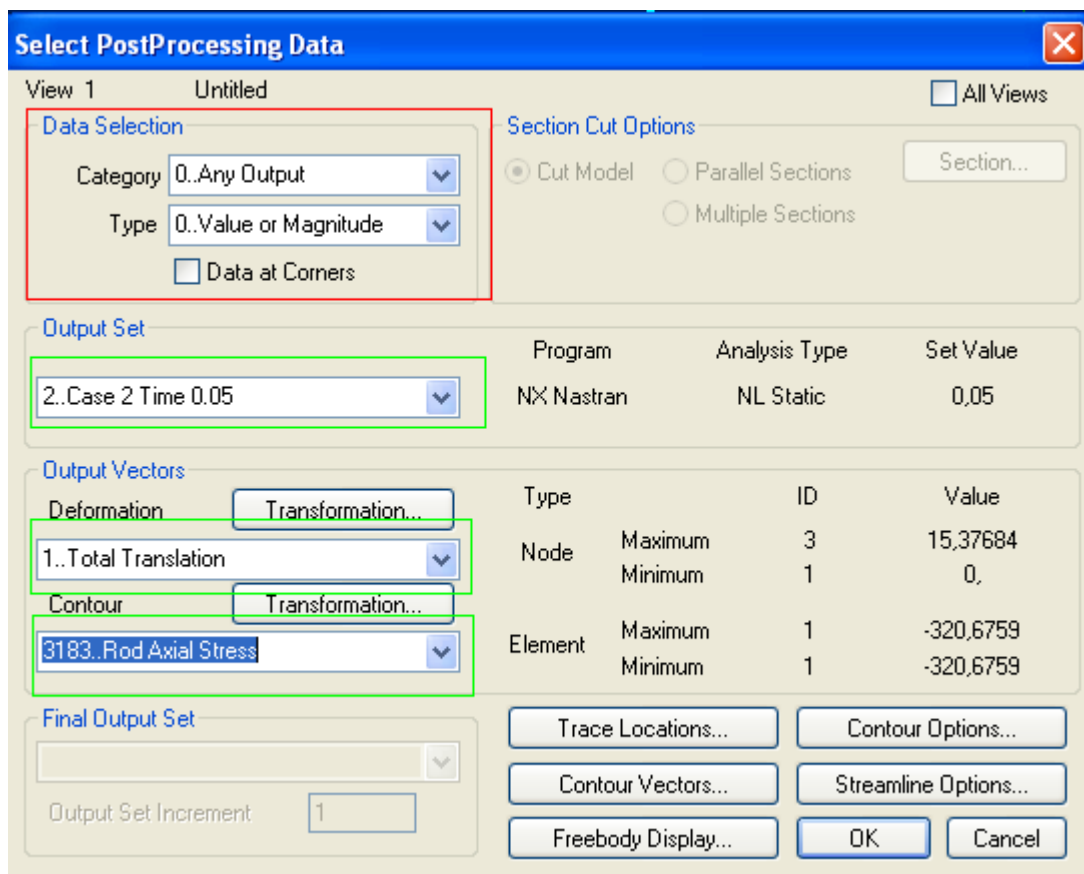
UWAGA: jeśli wybraliśmy analizę *Static* (analiza liniowa) to w rezultatach będzie tylko jeden przyrost.

Pasek analizy wyników przedstawia Rysunek 4.



Rys.4 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.5). 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), np. siła osiowa (*Rod Axial Force*).
- 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.5 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

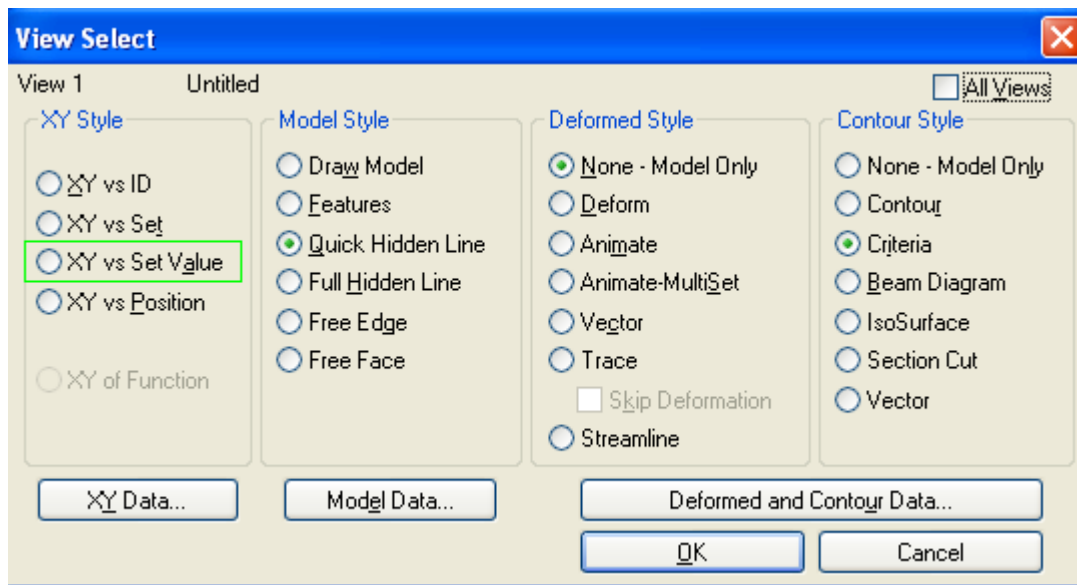
TWORZENIE WYKRESÓW

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.

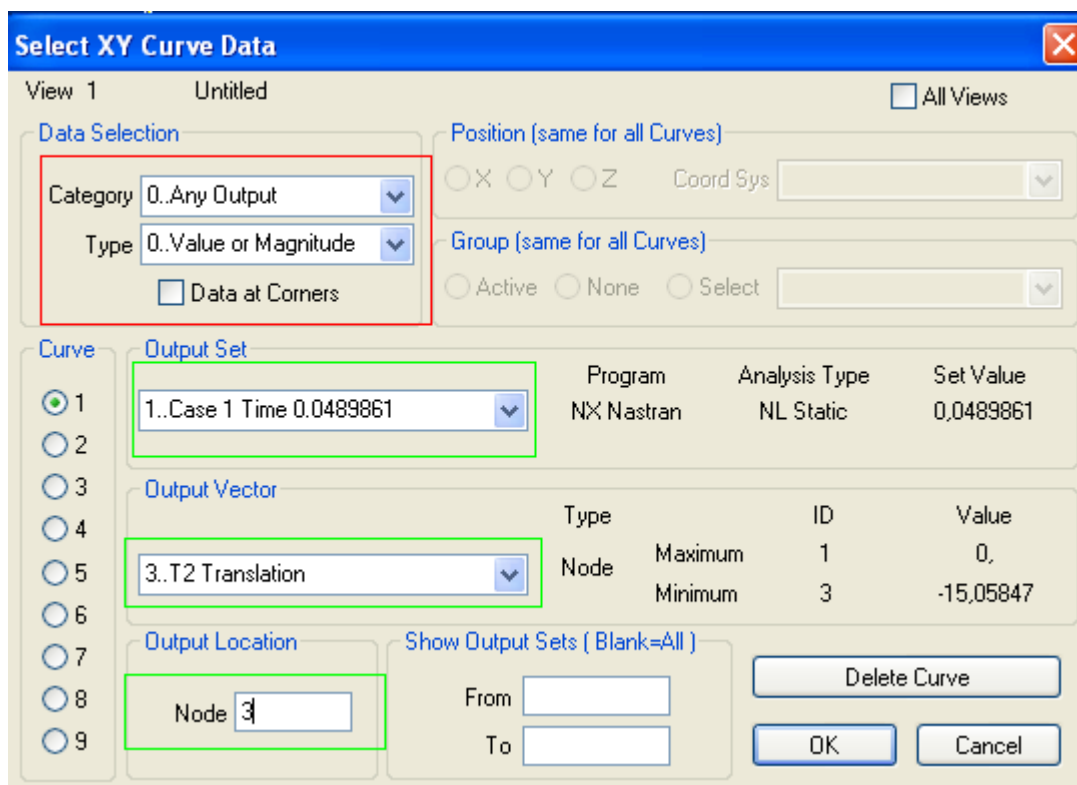
Będąc w nowym widoku kliknąć F5. Otworzy się okno *View Select* (Rys.6). W części *XY Style* wybrać *XY vs Set Value*. Kliknąć *XY Data*. Otworzy się okno *Select XY Curve Data* (Rys.7).

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.

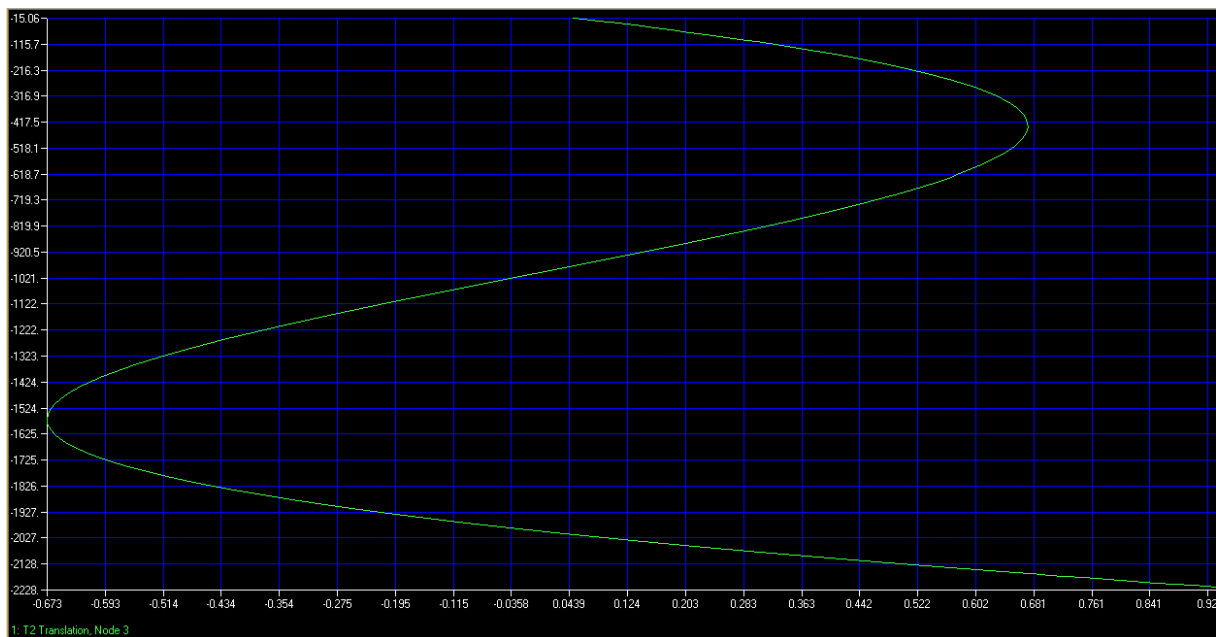
Wg danych na Rys. 7 program wyświetli wykres translacji T2 w węźle nr 3 rozpoczynając od pierwszego przyrostu obciążenia. Będzie to wykres wybranego przemieszczenia względem poziomu obciążenia (*Set Value*) rozpoczynający się od pierwszego przyrostu w analizie (*Case I*) (Rys.8).



Rys.6 Tworzenie wykresu, krok 1.



Rys.7 Tworzenie wykresu, krok 2.



Rys.8 Przykładowy wykres.

UWAGA!!! Na osi **poziomej** jest *Set Value* (mnożnik obciążenia). Aby obliczyć odpowiadające obciążenie, należy *Set Value* pomnożyć przez zadaną wartość obciążenia. 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*, a następnie dokonać **normalizacji obciążenia i przemieszczenia zgodnie z treścią zadania.**

ZADAWANIE IMPERFEKCJI

- **Imperfekcje obciążeniowe** – należy w istniejącej definicji siły dołożyć jakąś niewielką składową na kierunku poprzecznym do kierunku zadanego obciążenia.
- **Imperfekcje geometryczne** – należy ‘zaburzyć’ lokalizację wybranego węzła. W tym celu należy wybrać z *Menu* górnego *Modify* → *Edit* → *Node*. Otworzy się okno wyboru węzłów. Należy wybrać żądany węzeł, kliknąć OK. Wyświetli się okno ze współrzędnymi danego węzła. Należy je zmodyfikować (zwykle modyfikujemy jedną ze współrzędnych).

CO POWINIEN ZAWIERAĆ PROJEKT?

- Kartę tematu jako stronę tytułową;
- Przyjęte dane liczbowe;
- Krótki opis tego, co zostało zrobione;
- Odpowiednie czytelne wykresy (wg treści zadania) z czytelnym, logicznym opisem;
- Komentarze do wykresów, kwalifikacje rozwiązania;
- Wnioski.

Prowadzącemu należy dostarczyć również odpowiednie pliki Nastrana.

Proszę pamiętać, że główną część pracy stanowią wykresy. Należy je starannie wykonać. Same nie stanowią jednak kompletnego opracowania zadania.

Niekompletne projekty nie będą zaliczane.

Konieczność poprawy będzie skutkowała obniżeniem końcowej punktacji.