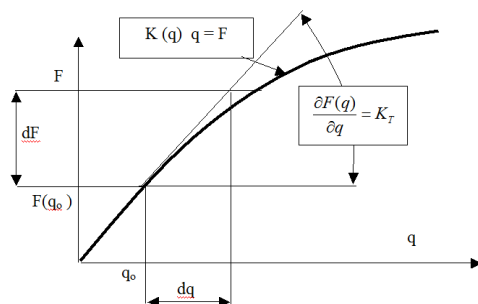


ZGINANIE SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNE BELKI. ODKSZTAŁCENIA I NAPRĘŻENIA RESZTKOWE

Nieliniowości strukturalne powodują, że reakcja konstrukcji lub komponentu zmienia się nieproporcjonalnie do przyłożonych sił. W rzeczywistości wszystkie struktury są z natury nieliniowe, ale nie zawsze w takim stopniu, aby nieliniowości miały znaczący wpływ na analizę. Jeśli jednak inżynier ustali, że nieliniowości wpływają na zachowanie konstrukcji w stopniu uniemożliwiającym ich zignorowanie, wymagana jest analiza nieliniowa.

$$\mathbf{K}(\mathbf{q}) \mathbf{q} = \mathbf{F}$$

W analizie nieliniowej macierz sztywności konstrukcji i wektor obciążenia mogą zależeć od rozwiązania i dlatego są nieznanne. Aby rozwiązać ten problem, program ANSYS wykorzystuje procedury iteracyjne oparte na metodzie Newtona-Raphsona, w której szereg liniowych przybliżeń (iteracji) zbiega się do rzeczywistego rozwiązania nieliniowego. W wielu nieliniowych analizach statycznych obciążenie musi być zastosowane w krokach obciążenia, reprezentujących historię obciążenia. Każdy krok obciążenia jest zwiększany, począwszy od początkowego obciążenia, aż do końcowej wartości obciążenia i można je podzielić na podkroki.

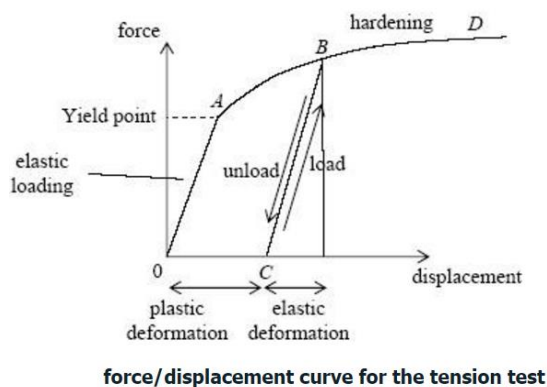


Rys.1

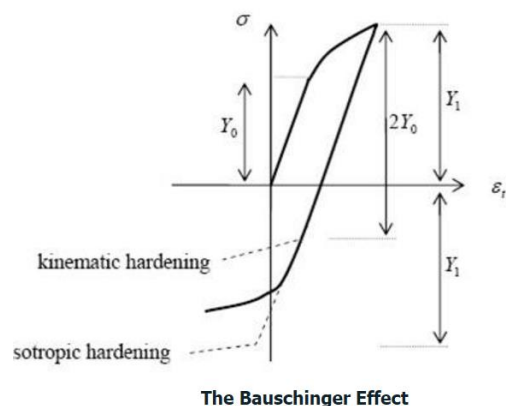
W tym podejściu problem nieliniowej analizy statycznej jest analizowany poprzez podzielenie obciążenia na kroki i podkroki obciążenia, wykonując w każdym z podkroków szereg przybliżeń liniowych w celu uzyskania równowagi. Każde przybliżenie liniowe wymaga jednego rozwiązania układu równań (znane jako iteracja równowagi).

Nieliniowości materiałowe

Nieliniowość materiału występuje wtedy, gdy naprężenie nie jest proporcjonalne do odkształcenia. Program ANSYS symuluje różne typy nieliniowego zachowania materiału. Plastyczność, multiliniowa sprężystość i hiperelastyczność charakteryzują się nieliniową zależnością naprężenie-odkształcenie. Lepkość, pełzanie i lepkosprężystość to zachowania, w których odkształcenie może zależeć od innych czynników, takich jak czas, temperatura lub naprężenie.



Rys.2



Rys.3

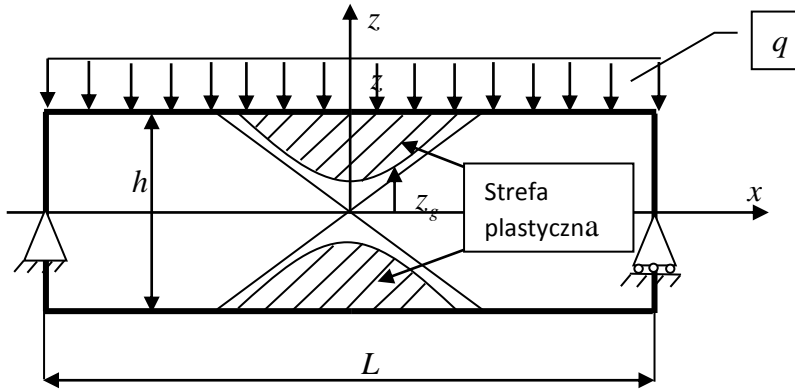
Aby w pełni uwzględnić zachowanie materiału plastycznego w analizie, należy wziąć pod uwagę trzy ważne pojęcia: **kryterium plastyczności**, **reguła płynięcia** i **prawo umocnienia**. Kryterium plastyczności mierzy stan naprężenia 3D poprzez obliczenie jednowartościowego naprężenia zredukowanego, które jest porównywane z granicą plastyczności w celu określenia, kiedy materiał ulegnie uplastycznieniu. Prawo płynięcia przewiduje kierunek, w którym wystąpi odkształcenie. Prawo umocnienia, które ma zastosowanie do materiałów, które ulegają umocnieniu, opisuje, w jaki sposób **powierzchnia plastyczności** rozszerza się lub zmienia wraz z naprężeniem materiału.

Klasyczne biliniowe umocnienie kinematyczne opisuje ogólne materiały metalowe, które można określić charakterystyką biliniową (rys.5). Ta opcja ma zastosowanie do większości powszechnych, początkowo izotropowych metali konstrukcyjnych w obszarze małych odkształceń. Kryterium plastyczności von Misesa jest używane ze stowarzyszonym prawem płynięcia. Umocnienie kinematyczne odpowiada za efekt Bauschingera.

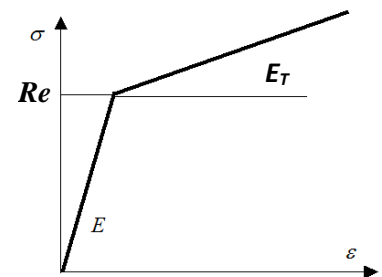
Przykład - Odkształcenia resztkowe i naprężenia w belce sprężysto-plastycznej.

Prosta belka podparta o przekroju prostokątnym ($b=10\text{mm}$, $h=20\text{mm}$) ma długość $L=200\text{mm}$. Belka wykonana ze stali ($E=2 \times 10^5 \text{ MPa}$, $\nu=0.3$, granica plastyczności $Re=250\text{MPa}$, moduł umocnienia $E_T=100\text{MPa}$) jest obciążona równomiernym ciśnieniem $q=5\text{MPa}$, a następnie odciążona ($q=0 \text{ MPa}$). Znaleźć rozkład naprężenia σ_z i ugięcie u_y po obciążeniu oraz obciążeniu.

UWAGA na wybór jednostek: SI (N, m, s, W, kg) lub mod_SI (N, mm, s, mW, t)



Rys.4



Rys.5

Zadania do wykonania:

1. Rozwiązać zadanie jako 3D wykorzystując symetrię modelu (tylko połówka modelu)
2. Rozwiązać zadanie jako 2D (PSN) wykorzystując symetrię modelu (tylko połówka modelu)

Najpierw rozwiąż zadanie liniowe (bez plastyczności) potem wprowadź własności plastyczne i znajdź rozwiązanie nieliniowe.

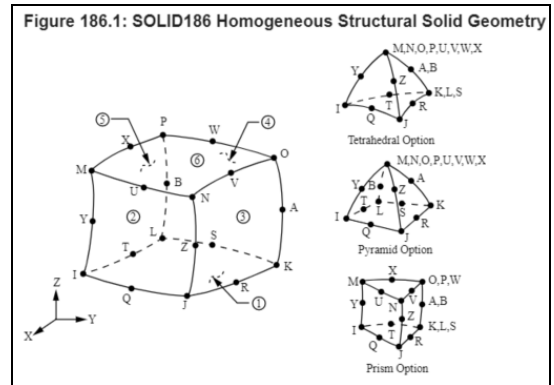
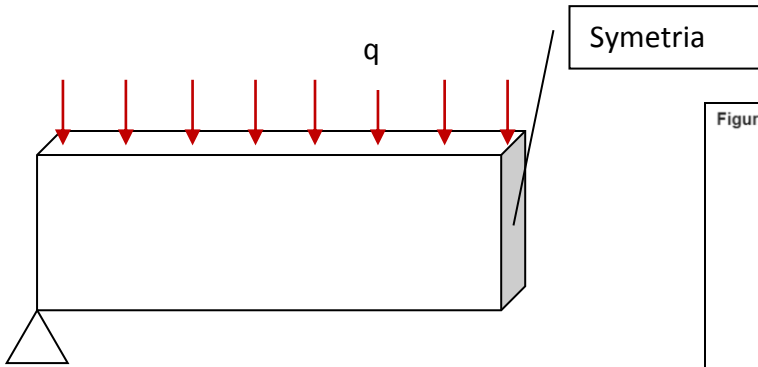
Raport powinien zawierać:

Opis zadania i model MES, najciekawsze wyniki odpowiadające maksymalnemu obciążeniu i końcowemu stanowi resztkowemu. Podsumuj raport omówieniem wyników i porównaniem do prostych szacunków analitycznych.

Tabela 1. Wyniki

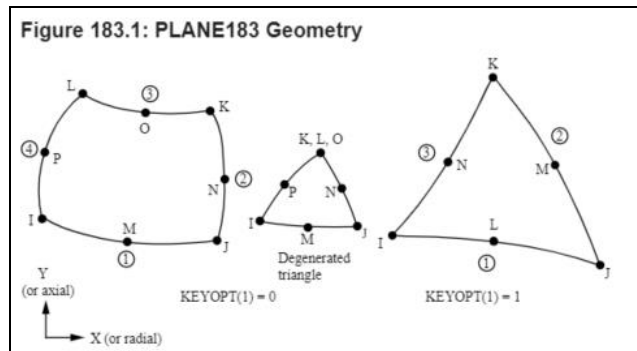
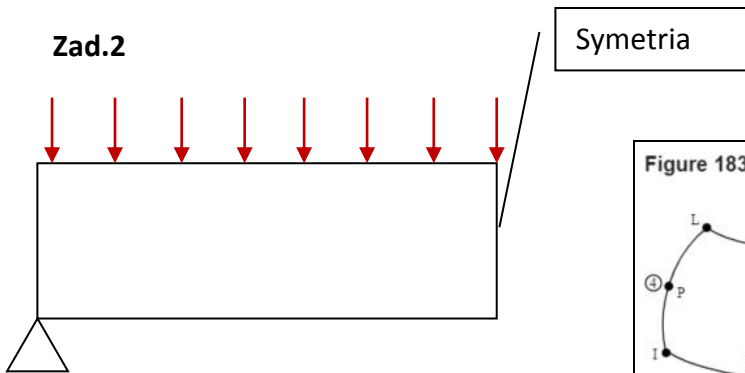
	Max obciążenie [MPa]		Zad1 Model 3D	Zad 2 Model 2D	Teoria
		Liczba elem.			
Liniowe	q=5	U_{min} [mm]			
		σ_{min} [MPa]			
		σ_{max} [MPa]			
Nieliniowe	q=5	U_{min} [mm]			
		σ_{min} [MPa]			
		σ_{max} [MPa]			
	q=0 (unload)	U_{min} [mm]			
		σ_{min} [MPa]			
		σ_{max} [MPa]			

Zad.1



Degrees of Freedom UX, UY, UZ

Zad.2



Degrees of Freedom

UX, UY (KEYOPT(3) ≠ 6)