

Przykład rozwiązania tarczy w zakresie sprężysto-plastycznym



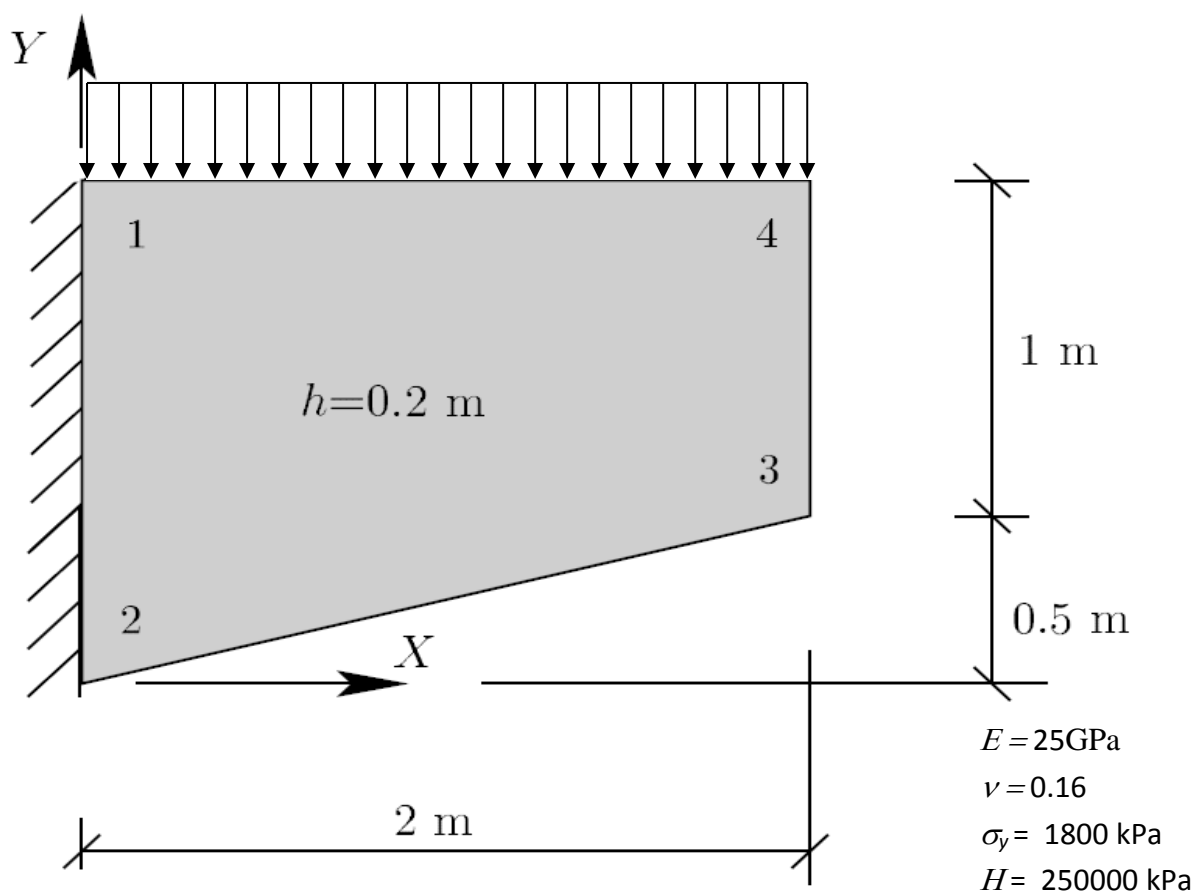
Piotr Mika

Maj, 2014

1. Przykład – rozwiązanie tarczy programem ABAQUS

Celem zadania jest przeprowadzenie analizy sprężysto-plastycznej tarczy, której rozwiązanie sprężyste zostało szczegółowo opisane w manualu „Wprowadzenie do programu ABAQUS oraz przykład rozwiązania tarczy”. Wymiary oraz stałe materiałowe konstrukcji dla przypomnienia zamieszczono poniżej, na rysunku 1.

Będziemy modyfikować przygotowany wcześniej model sprężysty.

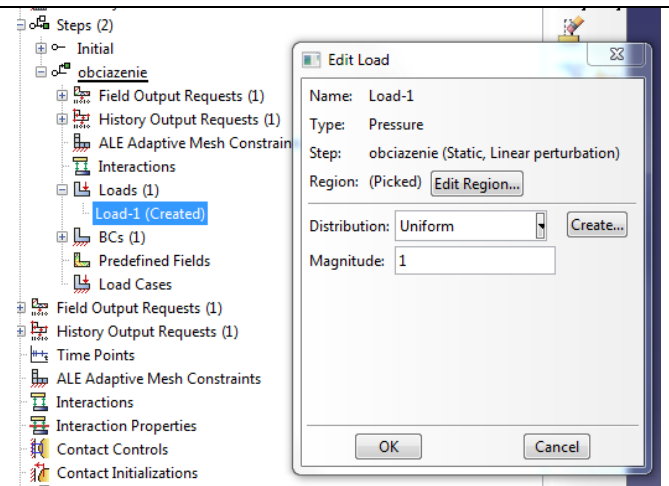


Rysunek 1 Geometria tarczy oraz stałe materiałowe

1.1. Preprocessing

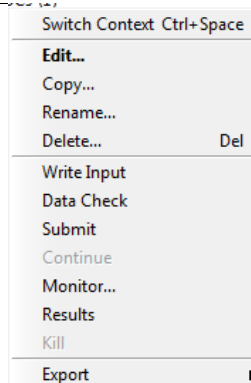
Kolejne kroki, prowadzące do wykonania obliczeń w programie ABAQUS, opisano w tabeli na następujących stronach.

W celu określenia obciążenia, przy którym nastąpi pierwsze uplastycznienie, zaczniemy od wykonania obliczeń w zakresie sprężystym dla obciążenia jednostkowego. Obciążenie zmieniamy, rozwijając opcję *Loads* w pierwszym, istniejącym już kroku (*Step-1*), następnie po kliknięciu prawym klawiszem w nazwę obciążenia (*Load-1*) i wywołaniu menu, wskazujemy polecenie *Edit*, które wyświetla okno umożliwiające zmianę wartości.




W dolnej części *model tree* klikamy w *Jobs*, wskazujemy nazwę zadania i uruchamiamy obliczenia (polecenie *Submit*).

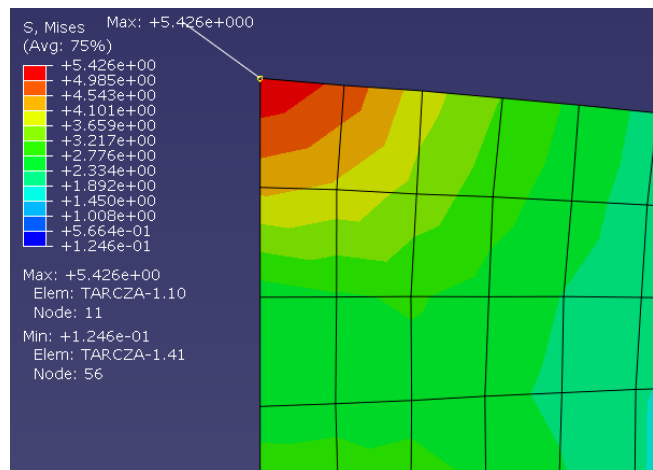
Po przejściu do modułu *Visualization* wyświetlimy naprężenia zastępcze Misesa.



Odczyt maksymalnych wartości naprężeń Misesa, uzyskanych przy założeniu jednostkowego obciążenia, pozwala na zasadzie proporcji określić wartość obciążenia, które spowoduje uplastycznienie materiału. W naszym przypadku (warunek plastyczności HMH) $1800/5.426 \cong 331.74$ – przekroczenie takiego obciążenia spowoduje uplastycznienie materiału.

WSKAZÓWKA:

Klikając ikonę  i wybierając kartę *Limits*, możemy wyświetlić lokalizację ekstremalnych wartości wyświetlanej zmiennej



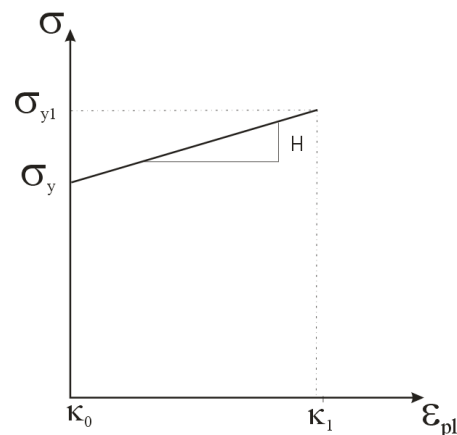
Dalsze obliczenia będą przeprowadzone w dwu kolejnych krokach:

- sprężystym, przy przyjęciu obciążenia, które pozwoli znaleźć się możliwie blisko uplastycznienia oraz
- plastycznym – przy założeniu znacznie większego obciążenia

Przyjęcie danych dla wzmocnienia plastycznego

Korzystamy z formuły $\sigma_{y1} = \sigma_y + \kappa_l * H$, przy czym H przyjmujemy na poziomie $0.01 * E$, natomiast κ_l na poziomie 0.1.

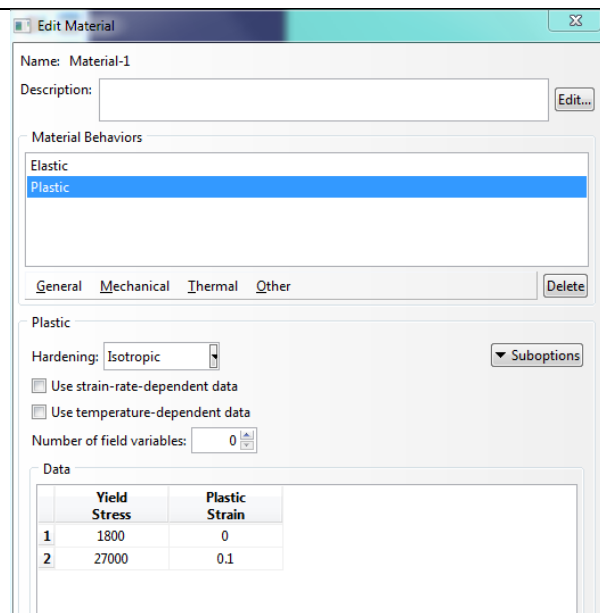
Przyjęte ostatecznie dane materiałowe są podane na następnym rysunku.



DEFINICJA MATERIAŁU – MODYFIKACJA

Rozwijamy *Menu Tree/Materials* klikając w „plus”.

Wskazujemy prawym klawiszem myszy nazwę naszego materiału i po wybraniu *Edit*, w karcie *Mechanical /Plasticity/Plastic* definiujemy granicę plastyczności - *Yield Stress=1800*, *Plastic Strain=0* (miara odkształceń plastycznych) oraz dodajemy dodatkowy wiersz (klawiszem enter) podając wartości 27 000 dla *Yield Stress* i 0.1 dla *Plastic Strain*.

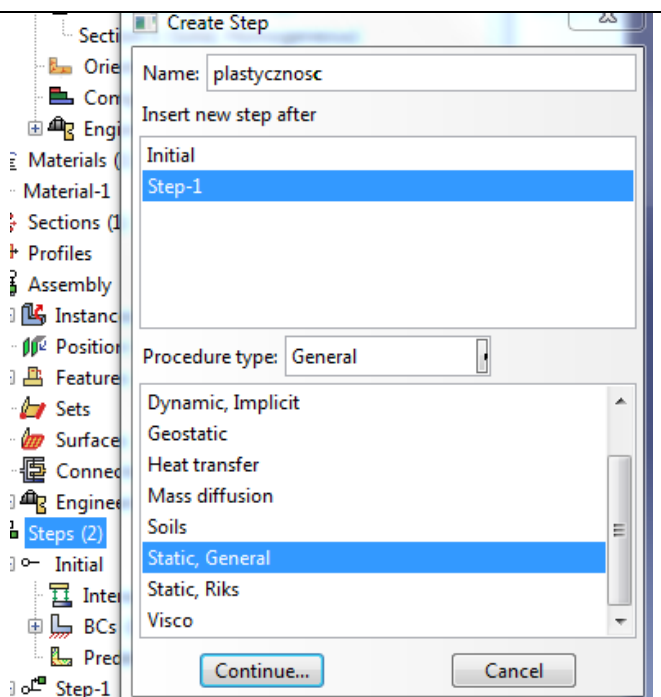


ZDEFINIOWANIE KROKÓW OBLICZENIOWYCH

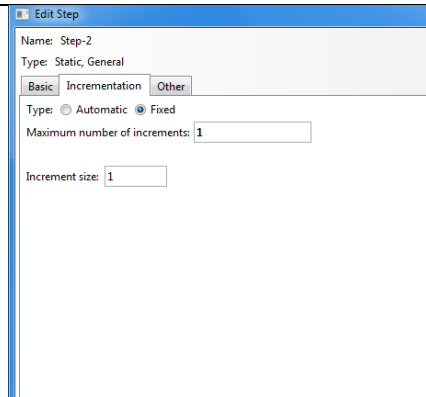
W celu przeprowadzenia analizy nieliniowej, musimy stworzyć kolejne kroki obliczeniowe.

Istniejący krok (*Step-1*) *Linear perturbation/Static, Linear perturbation* pozwala wyznaczyć rozwiązanie przy założeniu materiału liniowo-sprężystego. Rozwiązanie to można wykorzystać do oszacowania poziomu obciążenia, które doprowadzi do uplastycznienia.

Dwukrotnie klikamy w *Step – Create Step*, *Procedure Type: General*, rodzaj analizy: *Static, General*.

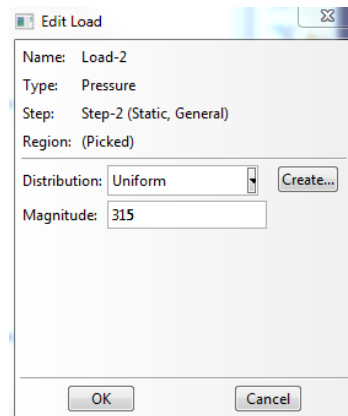


W karcie *Incrementation* możemy określać ręcznie wielkość kroku plastycznego. W tym przypadku (ponieważ mamy pozostać w zakresie sprężystym) przyjmujemy jeden przyrost obciążenia (bez iteracji)



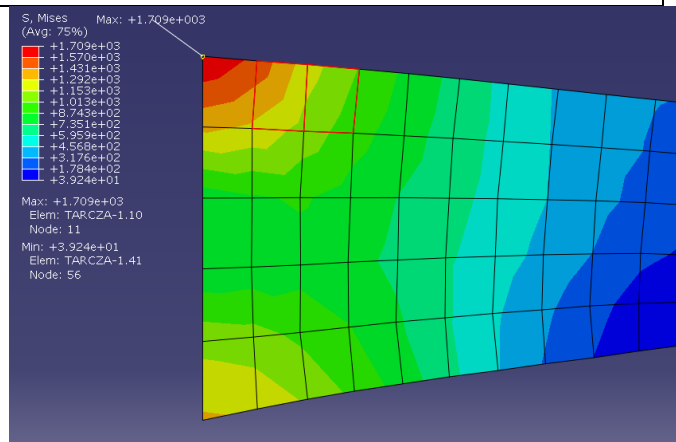
ZADANIE OBCIĄŻENIA

Rozwijamy krok *Step-2*, klikamy w *Loads*, po wyświetleniu okienka *Create load* wybieramy krok, w którym ma być przyłożone obciążenie (*Step-2*), kategorię *Mechanical*, typ *Pressure* i *Continue*.

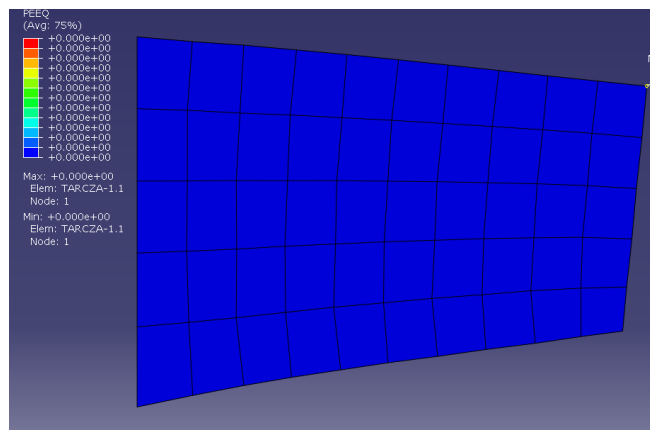


Następnie należy wskazać krawędź, która będzie obciążona, zatwierdzić *Done* oraz podać wartość 315 KN/m (wartość nieco mniejsza niż wyliczona z proporcji)

Po uruchomieniu zadania i przejściu do wyników, wyświetlamy naprężenia Misesa (maksymalna wartość jest niższa od granicy plastyczności)



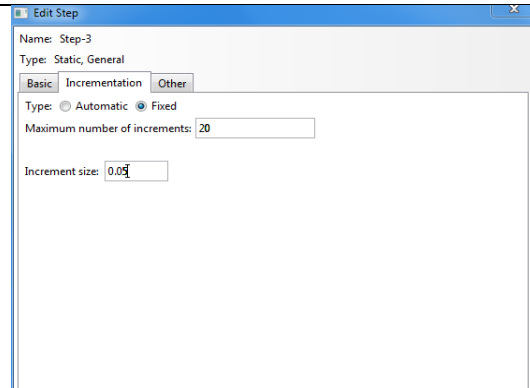
Zerowe wartości plastycznego odkształcenia zastępczego, oznaczonego w programie ABAQUS symbolem *PEEQ* świadczą o braku uplastycznienia.



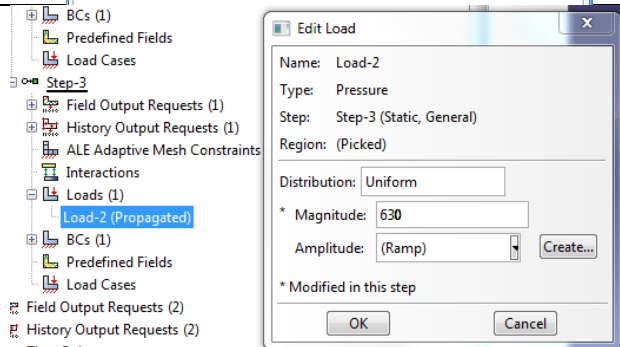
UTWORZENIE KROKU „PLASTYCZNEGO”

Tworzymy kolejny krok obliczeniowy - dwukrotnie klikamy w Step – *Create Step*, *Procedure Type: General*, rodzaj analizy: *Static, General*.

Tym razem w karcie *Incrementation* przyjmujemy, że obciążenie zostanie przyłożone w 20 krokach po 0.05 s.



Rozwijamy krok *Step-3* i zauważamy, że obciążenie z *Step-2* zostało tu przeniesione. Zwiększamy je dwukrotnie, do poziomu 630 KN/m.



WYKONANIE OBLICZEŃ

Korzystając z menu *Jobs*, uruchamiamy obliczenia (polecenie *Submit*).

Uruchamiając opcję *Monitor* w managerze obliczeń, możemy śledzić ilość iteracji w poszczególnych przyrostach w obrębie danego kroku obliczeniowego. Pierwsza kolumna wskazuje na numer kroku – w tym wypadku mamy dwa trzy kroki; druga kolumna podaje numer przyrostu. Kolumna 6 *Total Iter* podaje ilość iteracji potrzebnych do uzyskania równowagi w każdym z przyrostów. Kolumna przedostatnia podaje całkowity czas, natomiast kolumna ostatnia przyrost czasu.

Step	Increment	Att	Severe Discon Iter	Equil Iter	Total Iter	Total Time/Freq	Step Time/LPF	Time/LPF Inc
1	1	1	0	1	1	0	2.22e-16	2.22e-16
2	1	1	0	1	1	1	1	1
3	1	1	0	1	1	1.05	0.05	0.05
3	2	1	0	1	1	1.1	0.1	0.05
3	3	1	0	1	1	1.15	0.15	0.05
3	4	1	0	1	1	1.2	0.2	0.05
3	5	1	0	1	1	1.25	0.25	0.05
3	6	1	0	1	1	1.3	0.3	0.05
3	7	1	0	1	1	1.35	0.35	0.05
3	8	1	0	1	1	1.4	0.4	0.05
3	9	1	0	1	1	1.45	0.45	0.05
3	10	1	0	1	1	1.5	0.5	0.05
3	11	1	0	1	1	1.55	0.55	0.05
3	12	1	0	1	1	1.6	0.6	0.05

Kontrola zbieżności iteracji

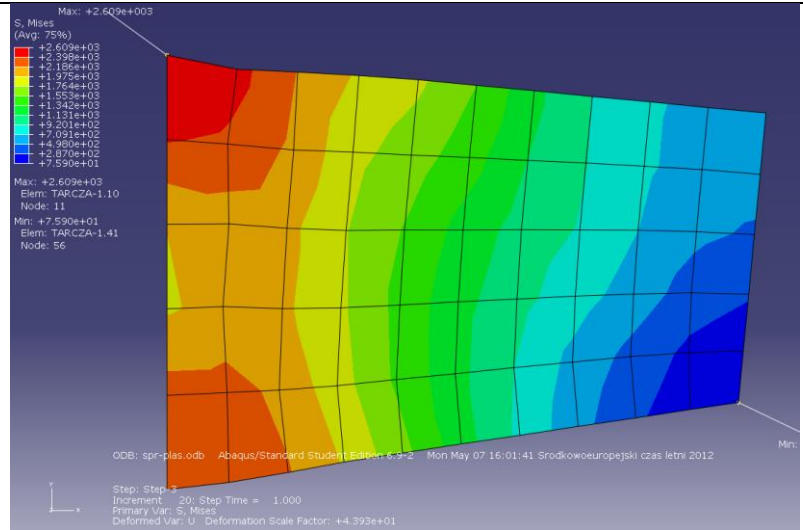
Po zakończeniu obliczeń możemy w module *Visualization* uruchomić opcję *Job Diagnostic* z menu *Tools*. Po wskazaniu na *Attempt*, w karcie *Summary*, otrzymujemy podstawowe informacje o liczbie iteracji. Dalej rozwijając drzewo z lewej strony okna, przechodzimy do iteracji – karta *Summary* służy do sprawdzenia, czy proces iteracji jest zbieżny, a jeśli nie, to w karcie *Residuals* można odczytać, z jakiego powodu iteracja nie jest zbieżna. Są tu podane wartości największej siły rezydualnej, największego przyrostu przemieszczenia oraz największego współczynnika korygującego

Description	Value	DOF	Node
Max force residual	-2.1316282072803	1	TARCA-1.54
Max displacement increment	-8.7142130323457	2	TARCA-1.1
Max displacement correction	-8.7142130323457	2	TARCA-1.1

przemieszczenie. Zaznaczając opcję *Highlight selection in viewport* możemy zobaczyć miejsce w naszym modelu, gdzie te wartości są osiągnięte.

Wyniki kontrolne

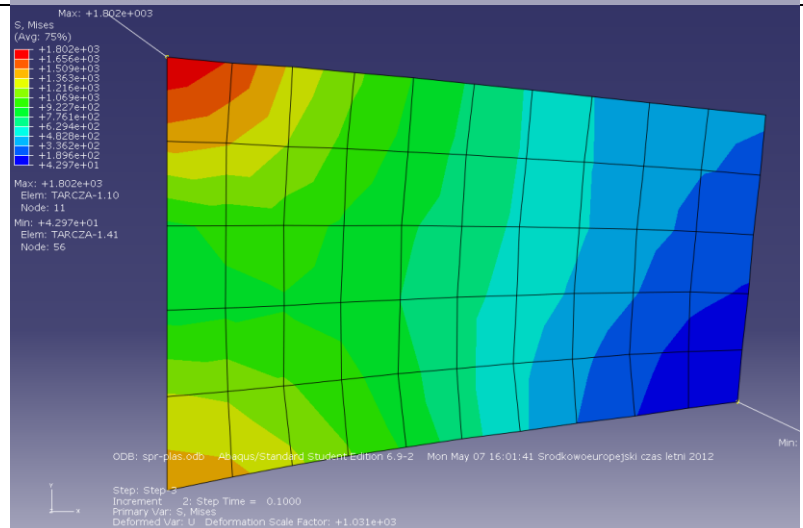
Jako wyniki kontrolne wyświetlimy mapy konturowe wartości naprężeń zastępczych Misesa, (*Plot/Contours*, wybór zmiennych i kroku obliczeniowego – *Results/Field Output*). Podpisy pod rysunkiem wskazują na krok i nr przyrostu.



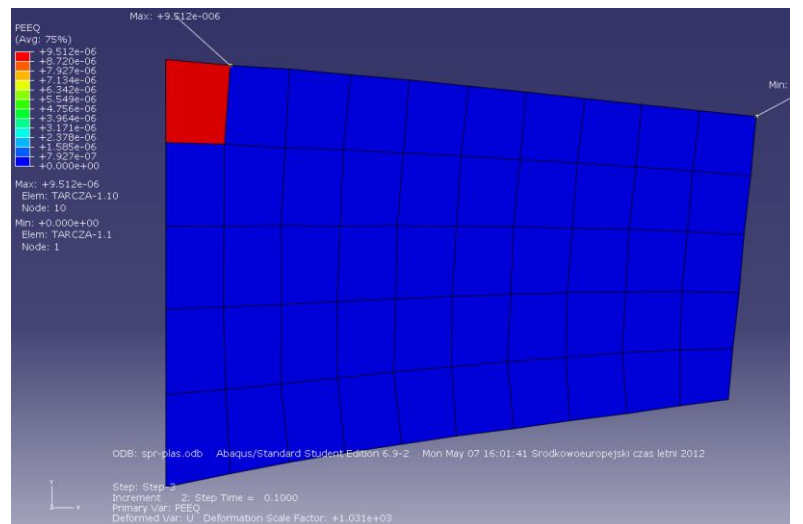
Postępując się ikonami:



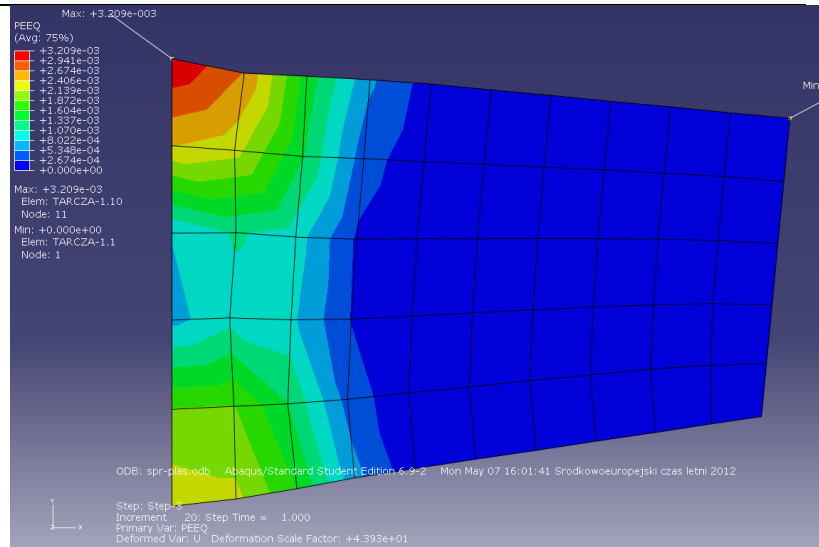
możemy przeglądać wyniki w poszczególnych przyrostach czasowych, np. w przyroście odpowiadającym osiągnięciu granicy plastyczności oraz w poszczególnych krokach naszej analizy.



O osiągnięciu granicy plastyczności świadczy niezerowa wartość plastycznego odkształcenia zastępczego, oznaczona w programie ABAQUS symbolem *PEEQ*.



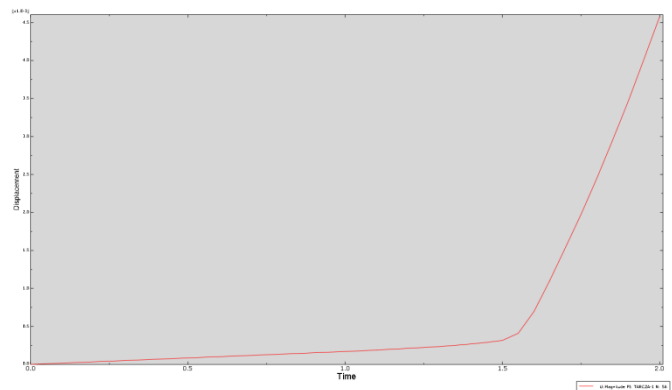
Na sąsiednim rysunku zilustrowano *PEEQ* osiągnięte w ostatnim przyroście (nr 20 – aktualny numer zamieszczony w opisie pod rysunkiem)



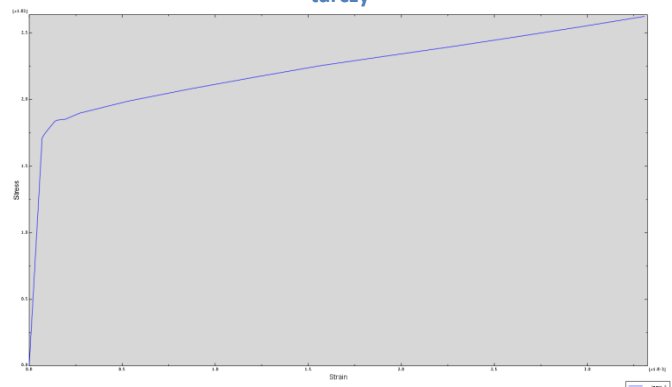
Rysunki dwuwymiarowe

Korzystając z menu *Tools/XY data – Create*, można wygenerować rysunki ilustrujące zmianę podczas analizy wybranych wielkości, np. poszczególnych składowych tensora naprężeń. Można tu wskazać jako źródło plik *ODB Field Output*. W karcie *Variables* wybieramy zmienną i pozycję (element, węzeł,...), natomiast w karcie *Elements/Nodes* podajemy konkretny element lub węzeł – najwydawniej jest wskazać myszką na ekranie – opcja *Pick from viewport*.

Po zapamiętaniu wartości naprężeń i odkształceń w wybranym punkcie konstrukcji, można użyć opcji *Tools/XY data – create/Operate on XY data* i operatora *combine(X,X)* w celu uzyskania wzajemnej zależności dwu zmiennych np. $\epsilon-\sigma$ (rysunek obok).



Rysunek 2 Zmiana przemieszczenia w prawym dolnym narożu tarczy



Rysunek 3 Zależność $\epsilon-\sigma$ w lewym górnym elemencie tarczy (wyniki dla materiału sprężysto-plastycznego ze wzmocnieniem)

