

# **Przykład rozwiązania tarczy w zakresie sprężysto-plastycznym**



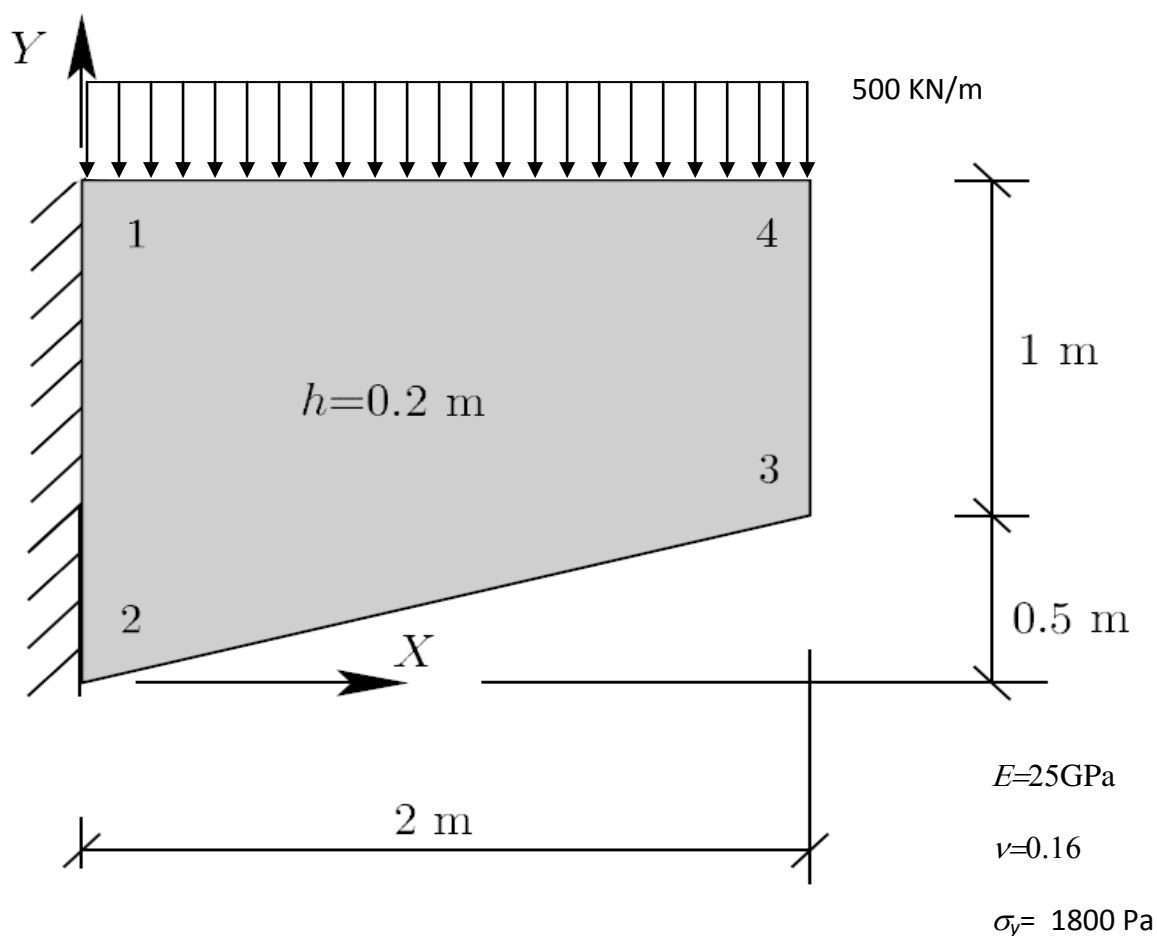
Piotr Mika

Kwiecień, 2012

## 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. W celu symulacji efektu plastycznego, w omawianym teraz przykładzie, zwiększymy obciążenie.

Będziemy modyfikować przygotowany wcześniej model sprężysty.



Rysunek 1 Geometria tarczy oraz stałe materiałowe

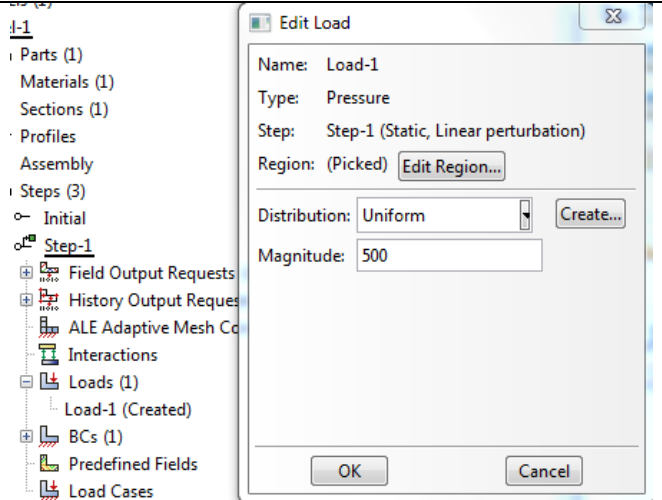
### 1.1. Preprocessing

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

Zacniemy od wykonania obliczeń w zakresie sprężystym dla zwiększonego obciążenia, równego 500 KN/m.

Obciążenie zwiększamy rozwijając opcję *Loads* w pierwszym 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.


Po przejściu do modułu *Visualization*, w celu dobrania granicy plastyczności, wyświetlimy naprężenia zastępcze Misesa.

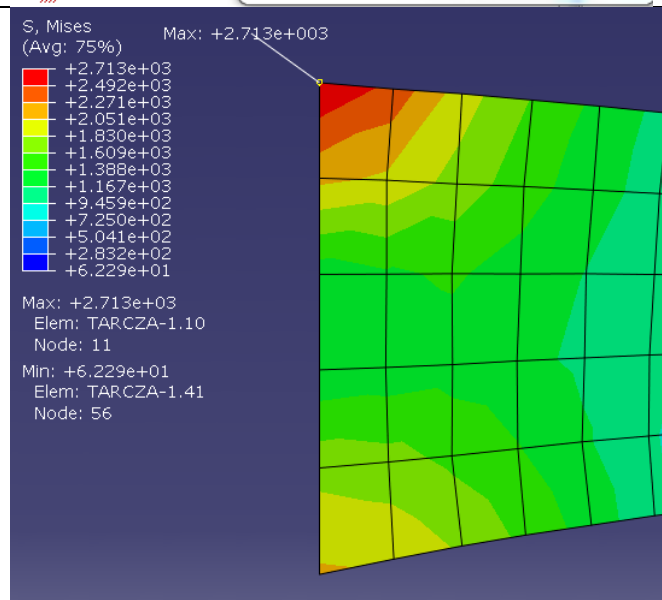


### OKREŚLENIE GRANICY PLASTYCZNOŚCI

Analiza maksymalnych wartości naprężeń Misesa, przy założeniu warunku plastyczności HMM, pozwala określić granicę plastyczności na poziomie niższym niż uzyskane wartości maksymalne. W tym przypadku przyjmujemy  $\sigma_y=1800$  Pa.

WSKAZÓWKĄ:

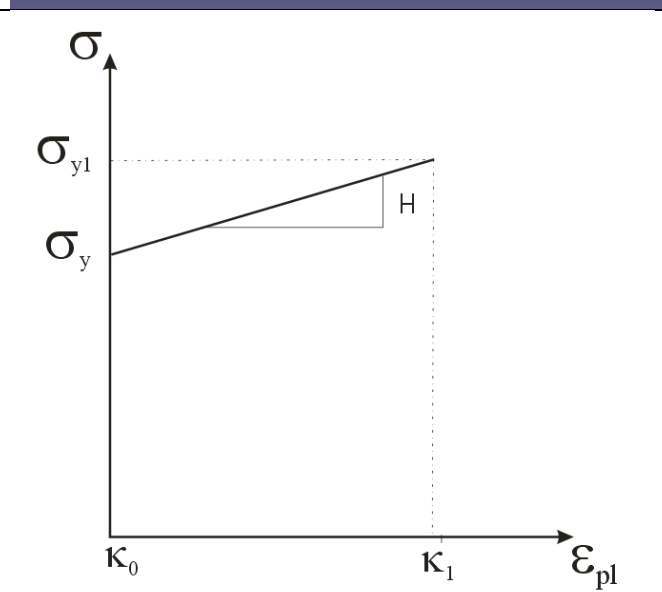
Klikając ikonę  i wybierając kartę *Limits*, możemy wyświetlić lokalizację ekstremalnych wartości wyświetlanej zmiennej



### Przyjęcie danych dla wzmocnienia plastycznego

Korzystamy z formuły  $\sigma_{y1} = \sigma_y + \kappa_1 * H$ , przy czym  $H$  przyjmujemy na poziomie  $0.01 * E$ , natomiast  $\kappa_1$  na poziomie 0.1.

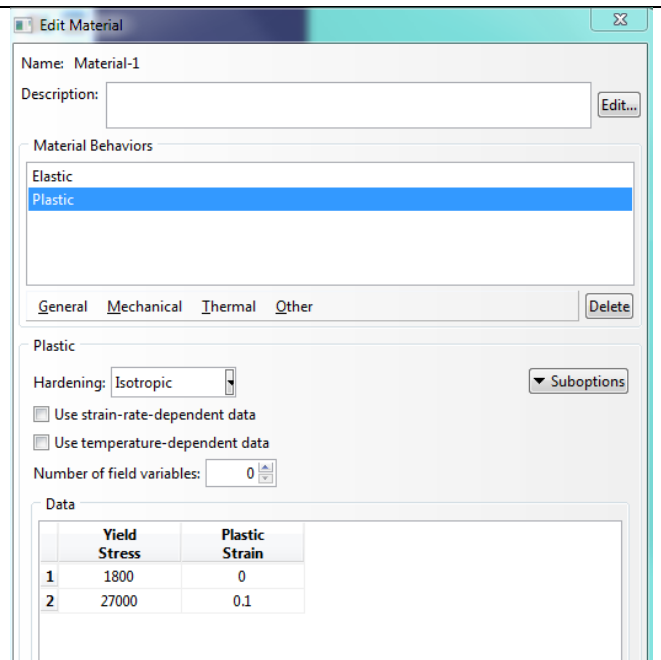
Przyjęte ostatecznie dane materiałowe są podane na następnym rysunku.



## 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*.

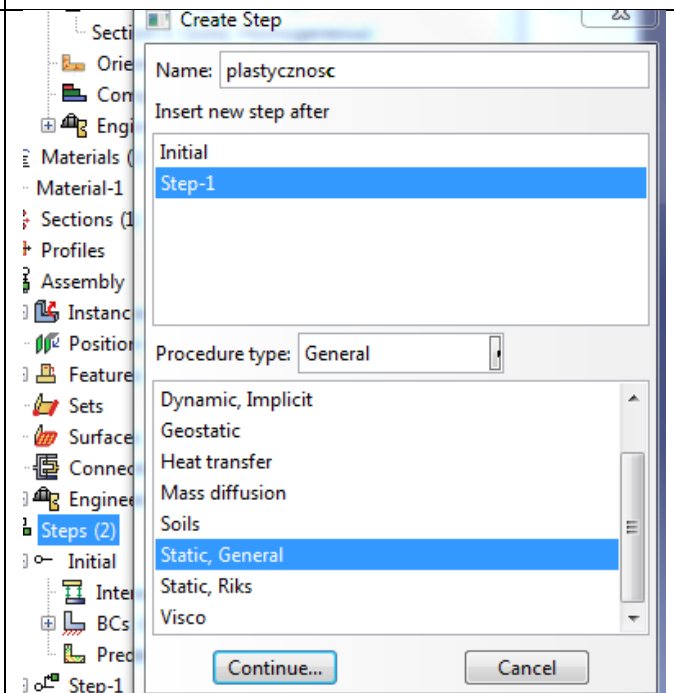


## ZDEFINIOWANIE KROKU OBLICZENIOWEGO DLA ZADANIA SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNEGO ZE WZMOCNIENIEM

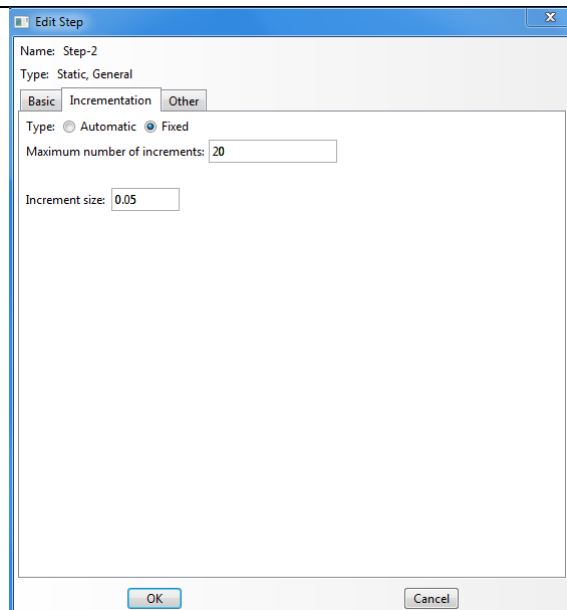
W celu przeprowadzenia analizy nieliniowej, musimy stworzyć kolejny krok obliczeniowy.

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

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



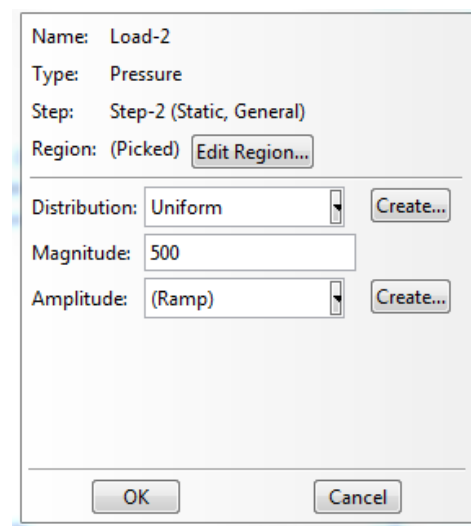
W karcie *Incrementation* możemy określać ręcznie wielkość kroku plastycznego.  
W naszym przykładzie obciążenie zostanie przyłożone w 20 krokach po 0.05 s.



### 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*.

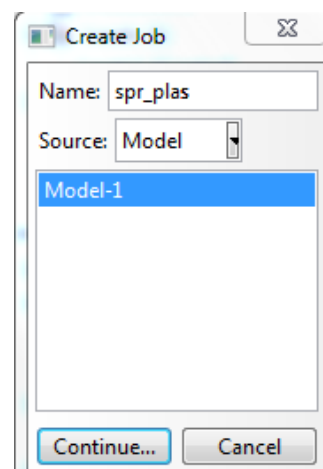
Następnie należy wskazać krawędź, która będzie obciążona, zatwierdzić *Done* oraz podać wartość 500 KN/m



### ZDEFINIOWANIE OBLICZEŃ

W dolnej części *model tree* dwukrotnie klikamy w *Jobs*, w okienku możemy nadać nazwę zadaniu i wybrać polecenie *Continue*.

Następnie 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 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	0.05	0.05	0.05
2	2	1	0	1	1	0.1	0.1	0.05
2	3	1	0	1	1	0.15	0.15	0.05
2	4	1	0	1	1	0.2	0.2	0.05
2	5	1	0	1	1	0.25	0.25	0.05
2	6	1	0	1	1	0.3	0.3	0.05
2	7	1	0	1	1	0.35	0.35	0.05
2	8	1	0	1	1	0.4	0.4	0.05
2	9	1	0	1	1	0.45	0.45	0.05
2	10	1	0	1	1	0.5	0.5	0.05
2	11	1	0	1	1	0.55	0.55	0.05

### Kontrola zbieżności iteracji

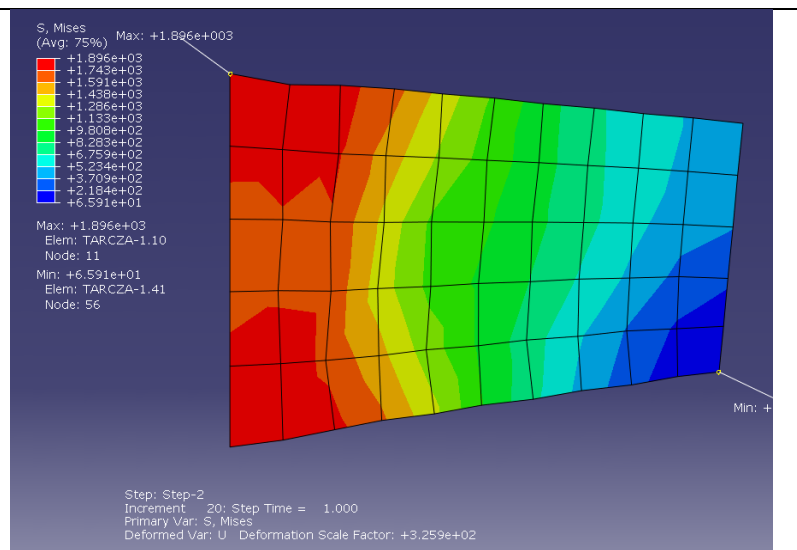
Po zakończeniu obliczeń możemy w module *Visualization* uruchomić opcję *Job Diagnostic* z menu *Tools*. Po wskazaniu na *Attempt*, w karcie *Summary*, otrzymujemy podstawowe informacje o liczbie iteracji. Dalej rozwijając drzewo z lewej strony okna, przechodzimy do iteracji – karta *Summary* służy do 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 przemieszczenie. Zaznaczając opcję *Highlight selection in viewport* możemy zobaczyć miejsce w naszym modelu, gdzie te wartości są osiągnięte.

**Job History**

- Job
  - Step 1
    - Increment 1
      - Attempt 1
        - Iteration 1
  - Step 2
    - Increment 1
      - Attempt 1
        - Iteration 1
    - Increment 2
    - Increment 3
    - Increment 4
    - Increment 5
    - Increment 6
    - Increment 7
    - Increment 8
      - Attempt 1
        - Iteration 1
    - Increment 9
    - Increment 10
    - Increment 11
    - Increment 12
    - Increment 13
    - Increment 14
    - Increment 15
    - Increment 16

### Wyniki kontrolne

Jako wyniki kontrolne wyświetlimy mapy konturowe wartości naprężeń zastępczych Misesa, (*Plot/Contours*, wybór zmiennych i kroku obliczeniowego – *Results/Field Output*) i porównamy wykres z kroku sprężystego *Step-1* (zamieszczony wcześniej) oraz wykres otrzymany z uwzględnieniem uplastycznienia (krok *Step-2*).



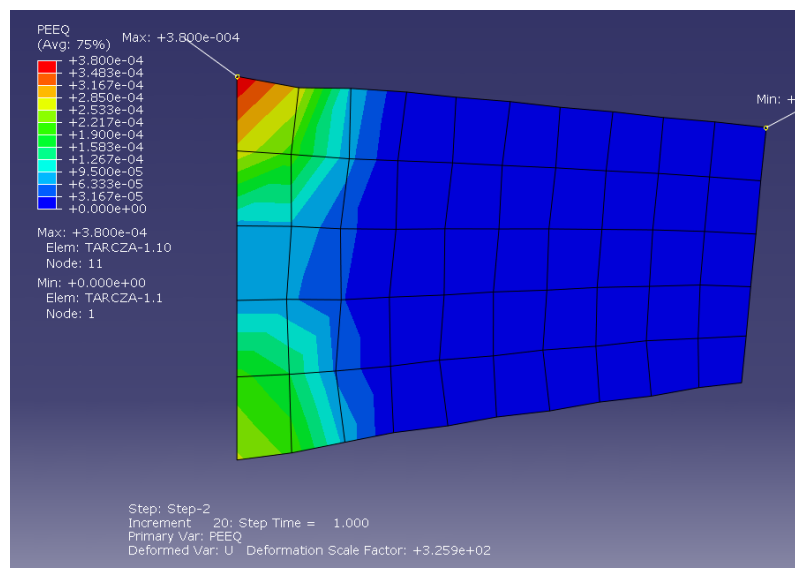
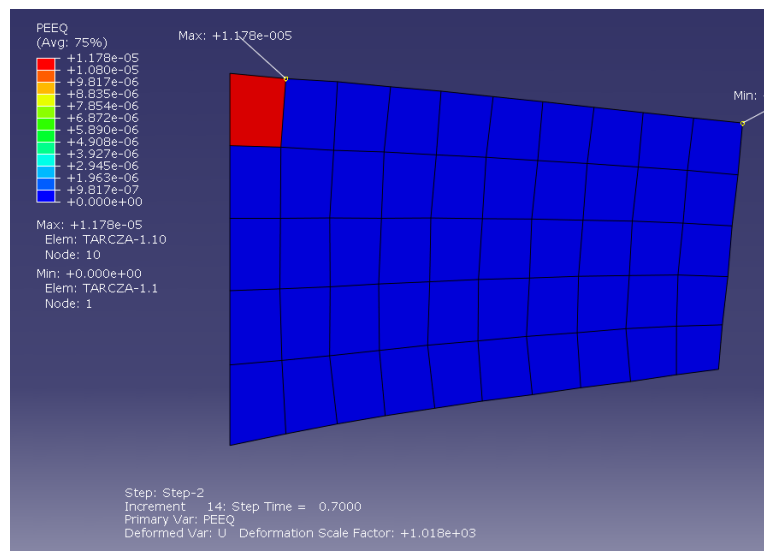
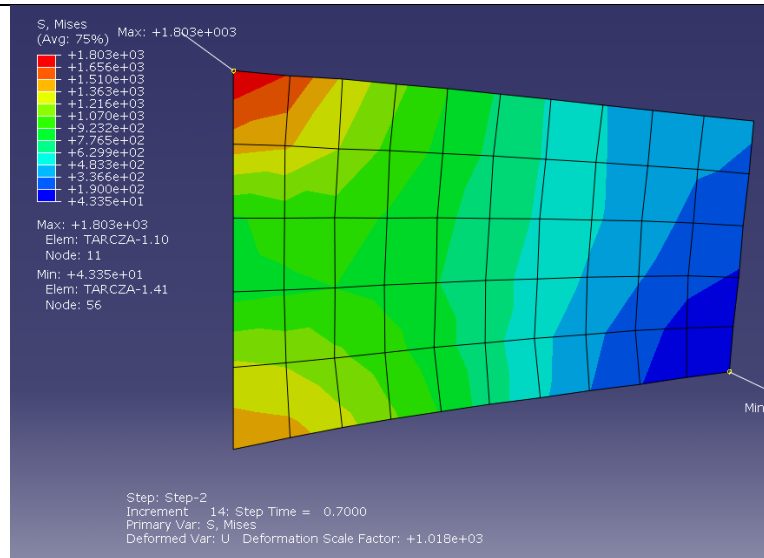
Postępując się ikonami:

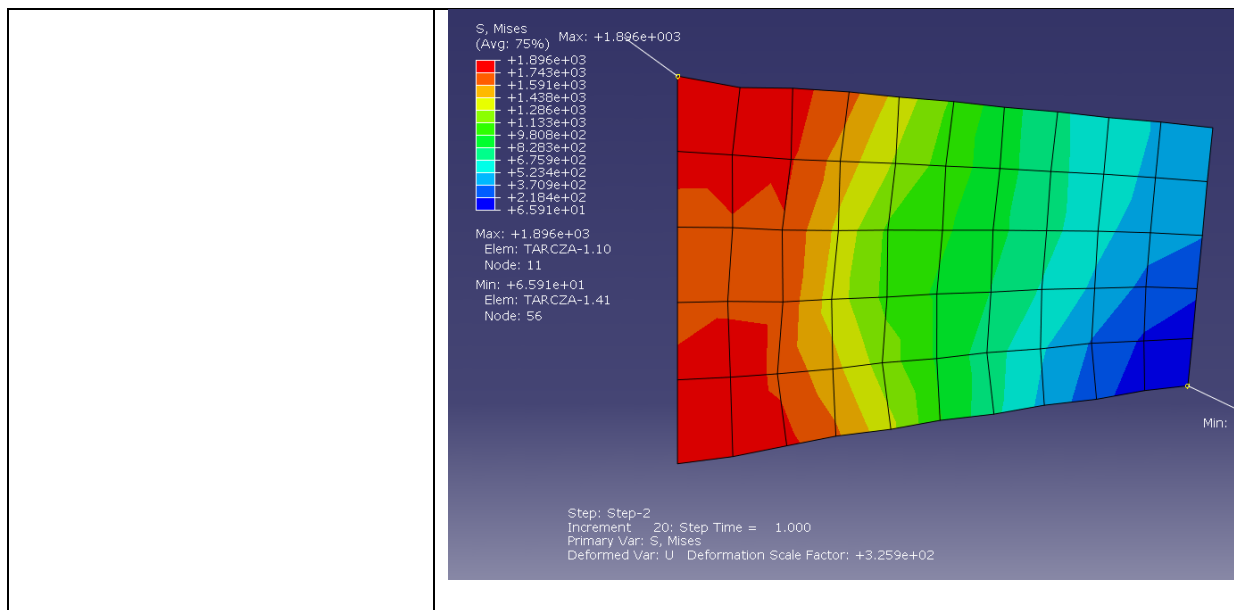


możemy przeglądać wyniki w poszczególnych przyrostach czasowych, np. w przyroście odpowiadającym osiągnięciu granicy plastyczności.

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

Na sąsiednich rysunkach zilustrowano *PEEQ* osiągnięte w ostatnim przyroście (nr 20 – aktualny numer zamieszczony w opisie pod rysunkiem) i odpowiadające naprężenia Mises'a.

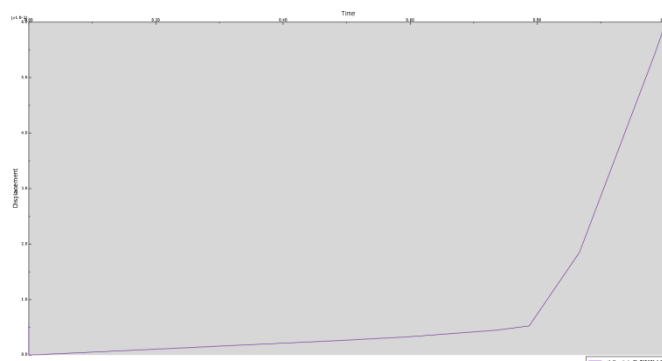




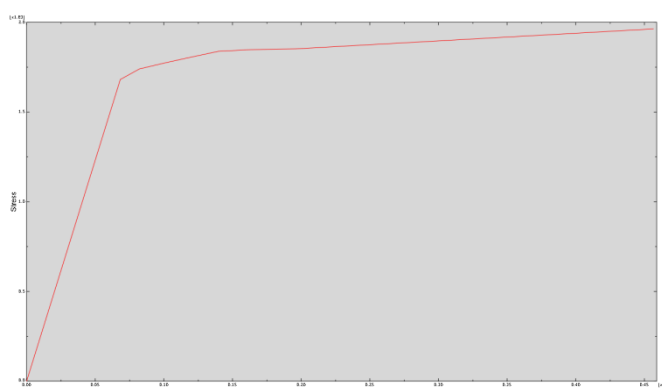
## Rysunki dwuwymiarowe

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 opisany jako *ODB history output*. Trzeba jednak pamiętać, aby w module *Step*, w poleceniu *History Output Request* wybrać odpowiednie wielkości, które mają być zapamiętywane w trakcie procesu w wybranych węzłach lub punktach całkowania. Najwygodniej wcześniej zdefiniować zbiór – *set* – aby nie pamiętać dużej ilości wyników dla całej konstrukcji. Robimy to rozwijając nazwę naszego zadania w oknie z poleceniami i wybierając polecenie *Set*.

Po zapamiętaniu wartości naprężeń i odkształceń w wybranym punkcie konstrukcji, można użyć opcji *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 narożu tarczy



Rysunek 3 Zależność  $\epsilon$ – $\sigma$  w lewym górnym elemencie tarczy (wyniki dla materiału sprężysto-plastycznego ze wzmocnieniem – krok *Step-2*)