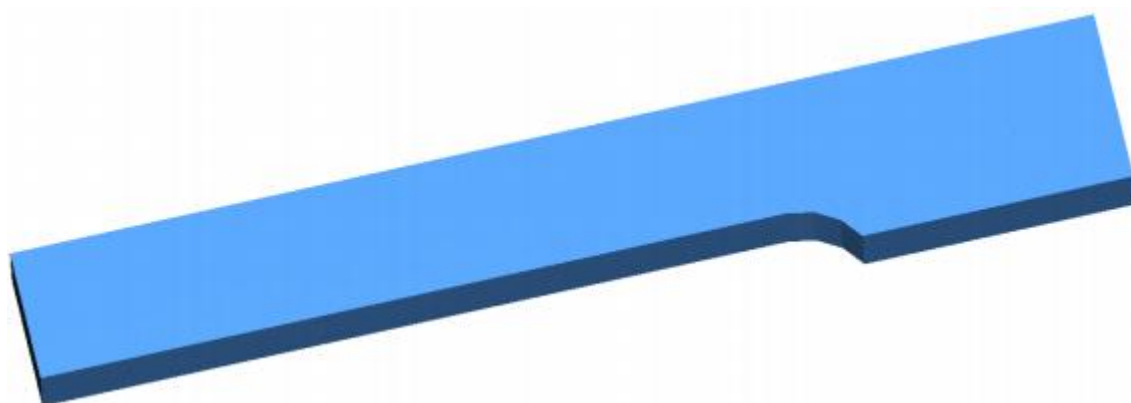


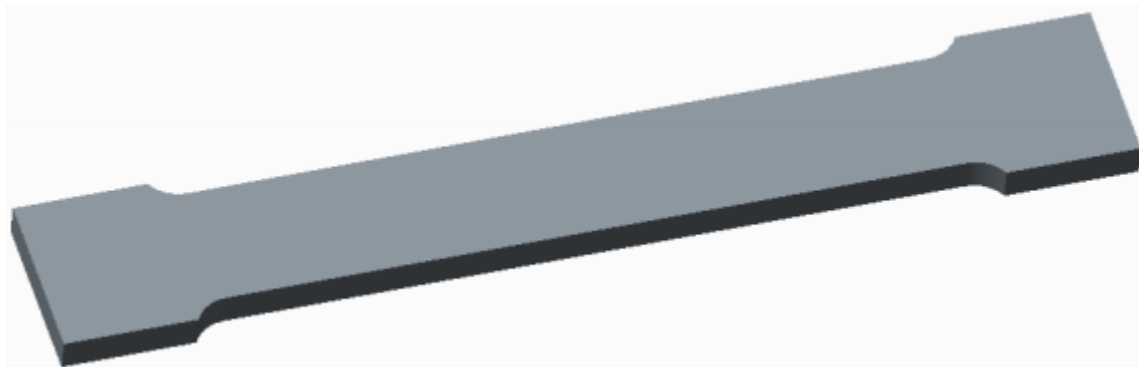
Z88AURORA ® PRZYKŁAD INSTRUKCJA:

**PRZYKŁAD 36: TEST ROZCIĄGANIA I MODELE  
MATERIAŁOWE**

(Sześcian nr 1 z 8 węzłami)

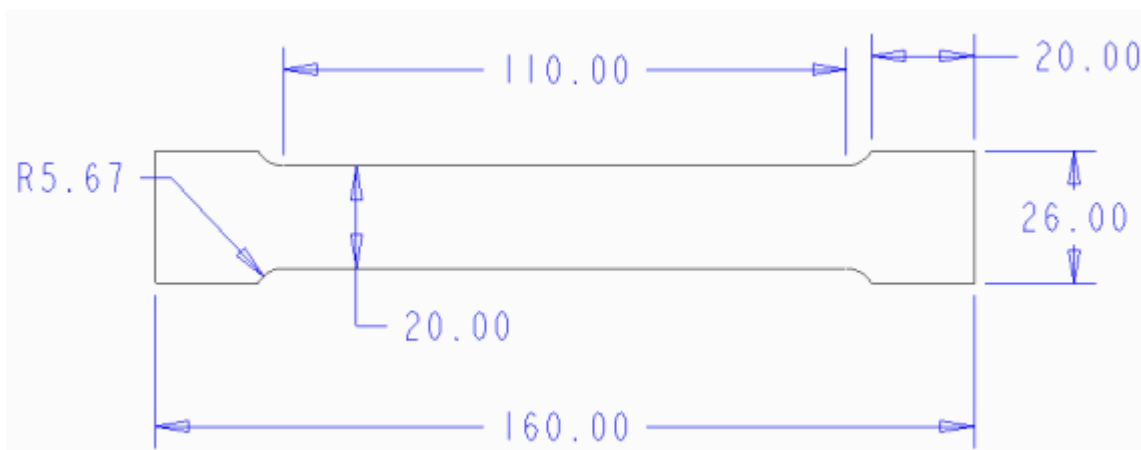


Poniżej przeprowadzana jest próba rozciągania próbki stali. Eksperyment jest symulowany za pomocą różnych modeli materiałów zintegrowanych w nieliniowym równaniu solwera Z88NL w Z88Aurora. W tym celu wykonuje się model płaskiej próbki rozciągaliwej, jak pokazano na rysunku 1.



Rysunek 1: Model CAD próbki rozciągaliwej

Wymiary pokazano na poniższym rysunku. Grubość próbki wynosi 5 mm.

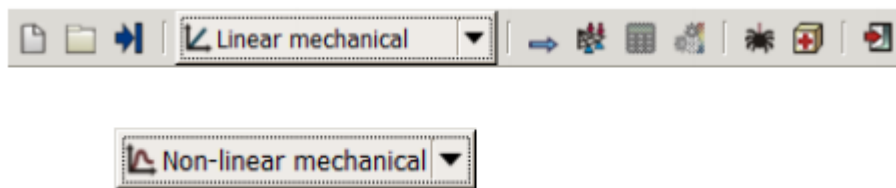


Rysunek 2: Wymiary próbki rozciągaliwej

Biorąc pod uwagę symetrię, tylko jedna czwarta próbki do próby rozciągania musi zostać zamodelowana.

## 1. Utwórz nowy folder projektu i zmień tryb

Utwórz nowy projekt, a następnie przełącz tryb z "Liniowy mechaniczny" na "Nieliniowy mechaniczny".



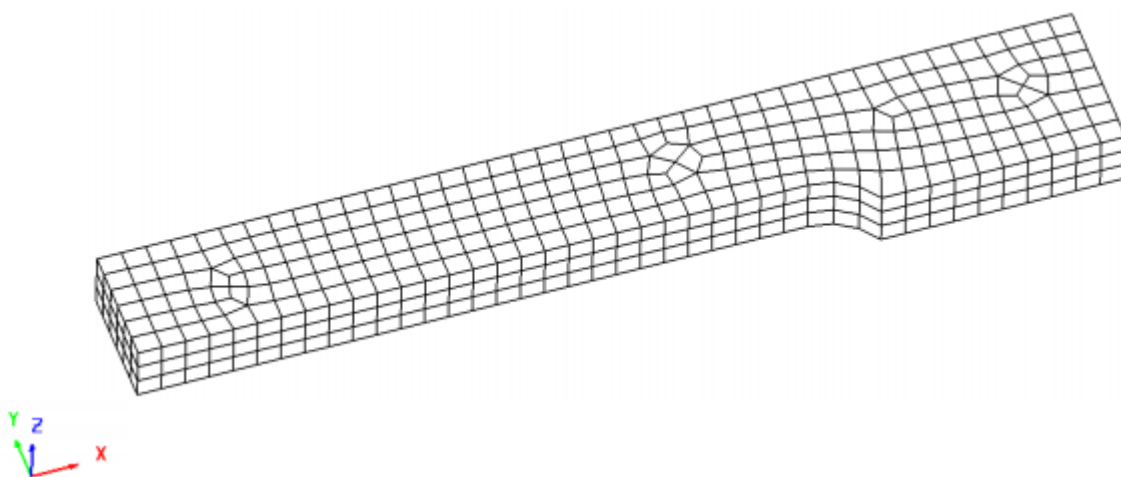
Rysunek 3: Definicja trybu "Nieliniowy mechaniczny"

## 2. Zaimportuj strukturę danych

Dokonaj importu pliku Z88 zugprobe.txt z:

"..\Z88AuroraVx\docu\examples\import\b36".

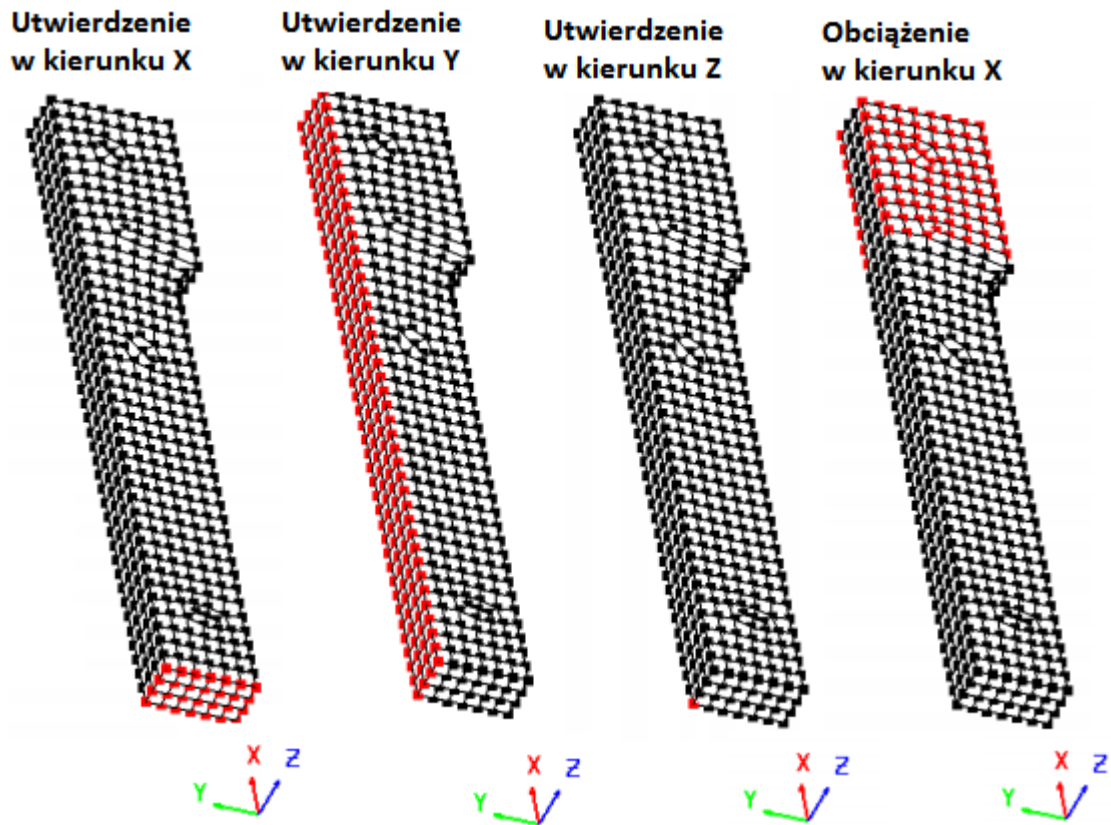
Teraz zobaczysz strukturę, która jest już posiatkowana.



Rysunek 4: Siatka na rozciąganie próbki (sześćcian nr 1)

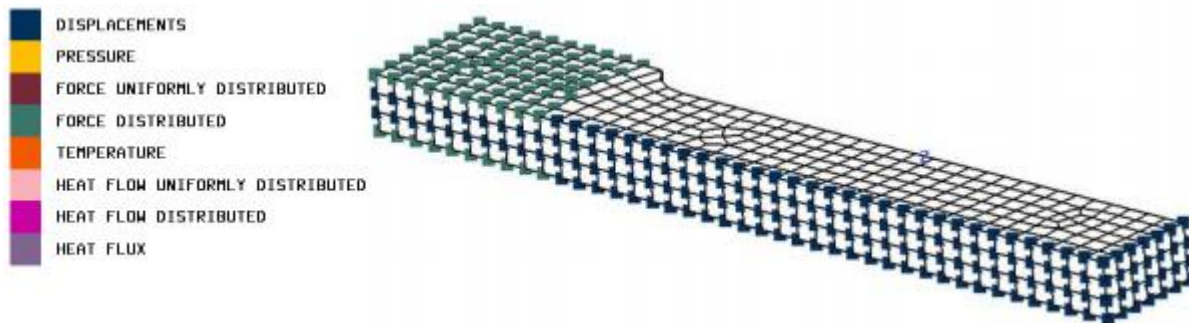
### 3. Utwórz warunki brzegowe

Aby utworzyć warunki brzegowe, musisz najpierw utworzyć zestawy. Rysunek 5 pokazuje zestawy węzłów, które są niezbędne dla warunków brzegowych.



Rysunek 5: Zestawy warunków brzegowych przemieszczenia

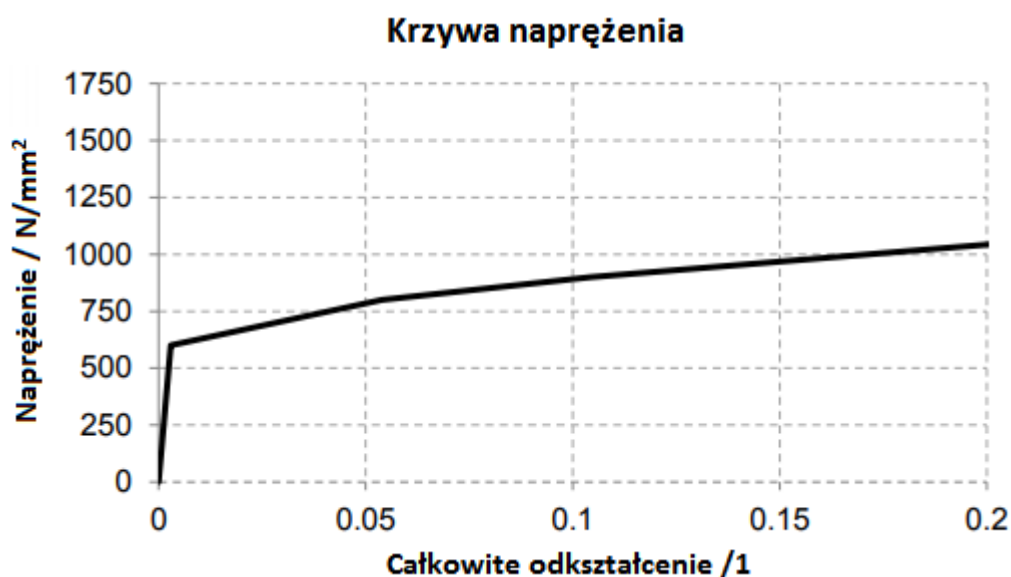
Przemieszczenie w odpowiednim kierunku współrzędnych jest ustawione na 0 dla trzech utwierdzeń. Zestaw sił zawiera obciążenie powierzchniowe 35000, ponieważ próbka do próby rozciągania powinna być obciążona łącznie 70000 N. Odpowiada to maksymalnemu naprężeniu 700 N / mm<sup>2</sup> dla tego przekroju. Możesz zobaczyć wynik na poniższym obrazku ze wszystkimi warunkami brzegowymi.



Rysunek 6: Wszystkie warunki brzegowe przy próbie rozciągania

#### 4. Definiowanie danych materiałowych

W następnym kroku zdefiniujemy dane materiałowe. Aby to zrobić, przechodzimy do preprocesora, a następnie do bazy danych materiałów.



Rysunek 7: Krzywa naprężenie-odkształcenie

Krzywa naprężenie-odkształcenie według rysunku 7 znana jest z próby rozciągania. Stąd, korzystając z relacji

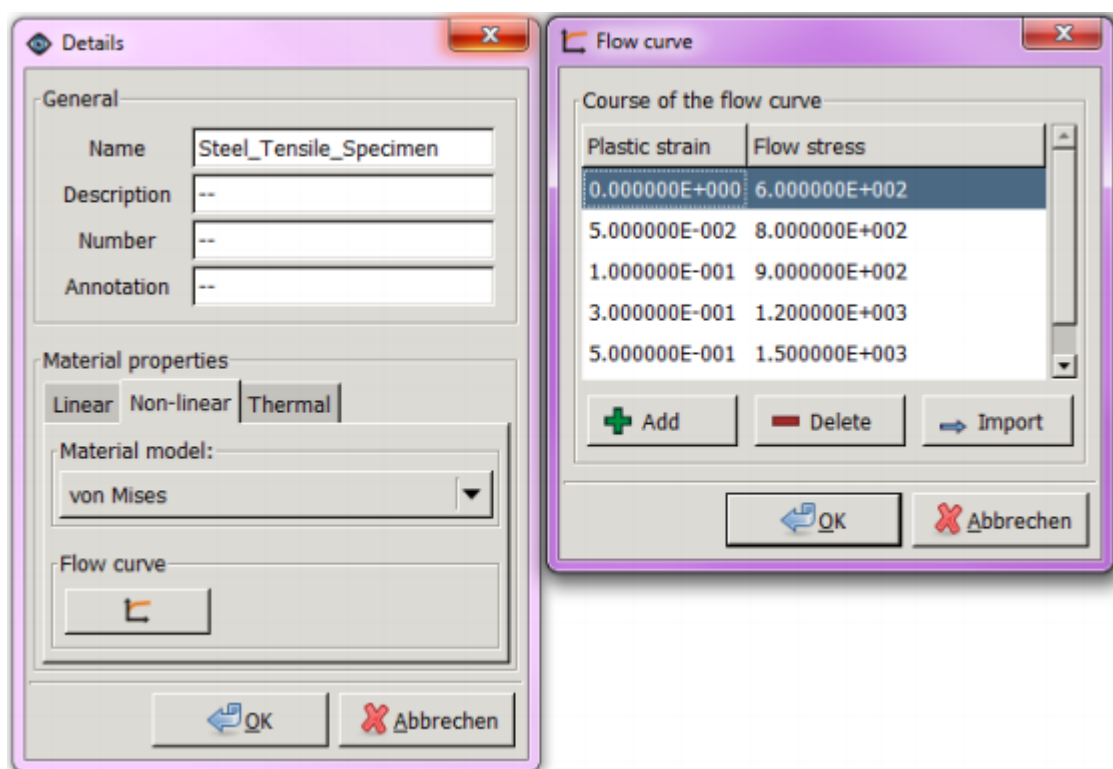
$$\varepsilon_{pl} = \varepsilon - \varepsilon_{el} = \varepsilon - \frac{\sigma}{E}$$

można wyznaczyć krzywą przepływu (patrz także instrukcja obsługi). Naprężenie odpowiada granicy plastyczności. Moduł Younga wynosi 206000 N / mm². Poniższa tabela zawiera wszystkie wartości wykresu naprężenie-odkształcenie i krzywej przepływu.

Tabela 1: Pary wartości krzywej naprężenie-odkształcenie i krzywej przepływu

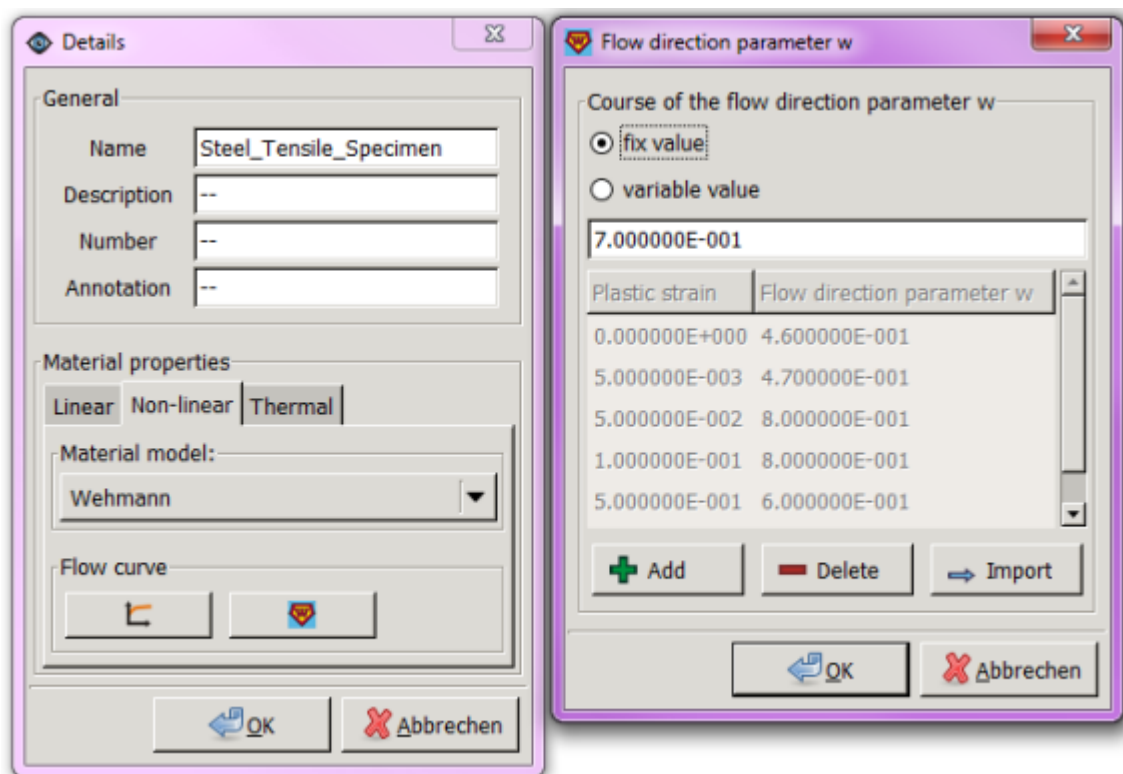
Naprężenie / N/mm <sup>2</sup>	Odszt. plastyczne / 1	Całk. odkształcenie / 1
0	0	0
600	0	0.0029
800	0.05	0.0539
900	0.1	0.1044
1200	0.3	0.3058
1500	0.5	0.5073
3000	1	1.0146

Tworzymy nowy materiał klikając na "Add" (Dodaj). Następnie wchodzimy do modułu Younga (206000), współczynnika Poissona (0.3) i gęstości (7.8E-9) do zakładki "Linear" (liniowy). Następnie możemy przejść do zakładki "Non-linear" (nieliniowa), w której należy użyć funkcji importu: Naciskając "Import", przechodzimy do okna wyboru plików. Tutaj wybieramy plik fließskurve.txt z katalogu ".. \ Z88AuroraVx \ docu \ examples \ import \ b36" i zatwierdzamy za pomocą "OK". Pojawia się następujący rysunek.



Rysunek 9: Zaimportowana krzywa przepływu

Nazywamy materiał "Steel\_Tensile\_Specimen" (próbka stali wytrzymałość na rozciąganie). Następnie należy wprowadzić dodatkowy parametr materiałowy w modelu Wehmanna (Plastyczność z parametrem Flow Directon (kierunek przepływu)). W rozwijanym menu "Material model" (model materiału) "von Mises" należy zmienić na "Wehmann model". Dla parametru w wybieramy wartość 0,7. Krzywa przepływu jest automatycznie pobierana przez model materiałowy "von Mises". Teraz model Wehmanna jest całkowicie zdefiniowany.



Rysunek 9: Definicja modelu Wehmanna

Na koniec deponujemy parametr materiału zmodyfikowanego modelu Wehmanna. Przebieg skurczu poprzecznego, który jest dostępny w teście rozciągania, przedstawiono na rysunku 10. Pokazuje przebieg "całkowitego skurczu poprzecznego"

$$\nu_{ges} = -\frac{\epsilon^q}{\epsilon} = -\frac{\epsilon_{el}^q + \epsilon_{pl}^q}{\epsilon_{el} + \epsilon_{pl}}$$

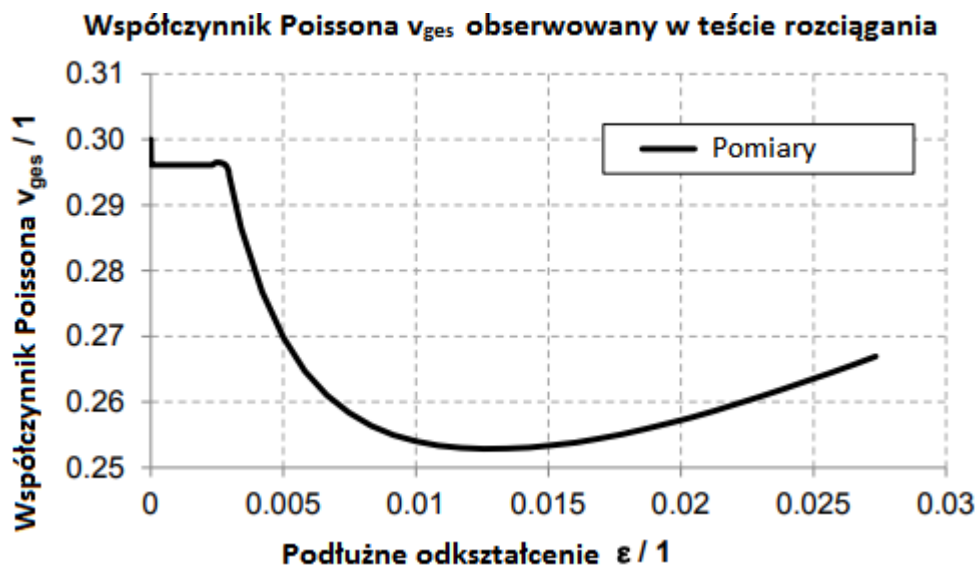
To równanie i równania

$$\epsilon_{pl} = \epsilon - \epsilon_{el} = \epsilon - \frac{\sigma}{E}$$

i

$$\epsilon_{pl}^q = \epsilon^q - \epsilon_{el}^q = \epsilon^q + \nu \frac{\sigma}{E}$$

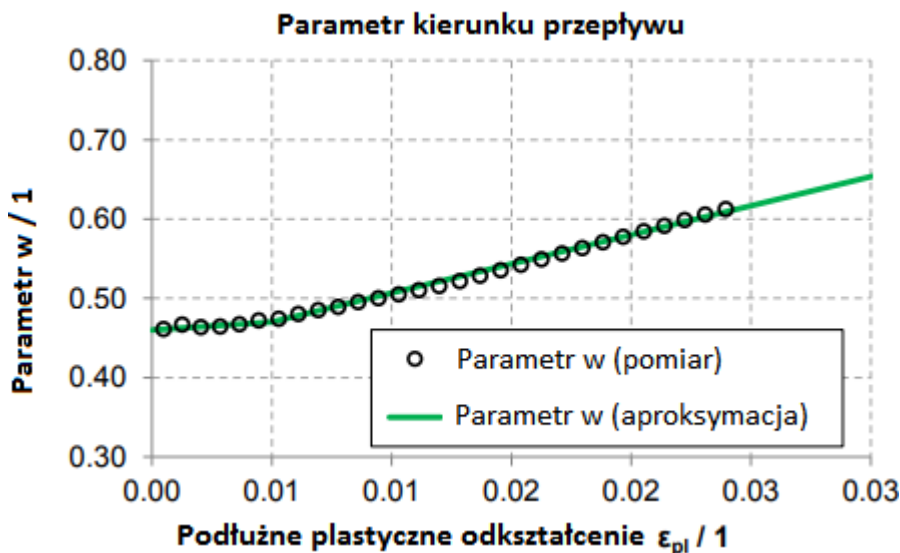
określają przebieg poprzecznego odkształcenia plastycznego  $\varepsilon_{pl}^q$  nad podłużną plastyczną masą  $\varepsilon_{pl}$ .



Rysunek 10: Przebieg współczynnika Poissona obserwowany w teście rozciągania

Obliczając iloraz różnicy w aplikacji arkusza kalkulacyjnego, parametr  $w$  określa się za pomocą następującego równania (patrz również w instrukcji użytkownika). Wynik przedstawiono na rysunku 11.

$$w = -2 \frac{\partial \varepsilon_{pl}^q}{\partial \varepsilon_{pl}}$$



Rysunek 11: Przebieg parametru kierunku przepływu

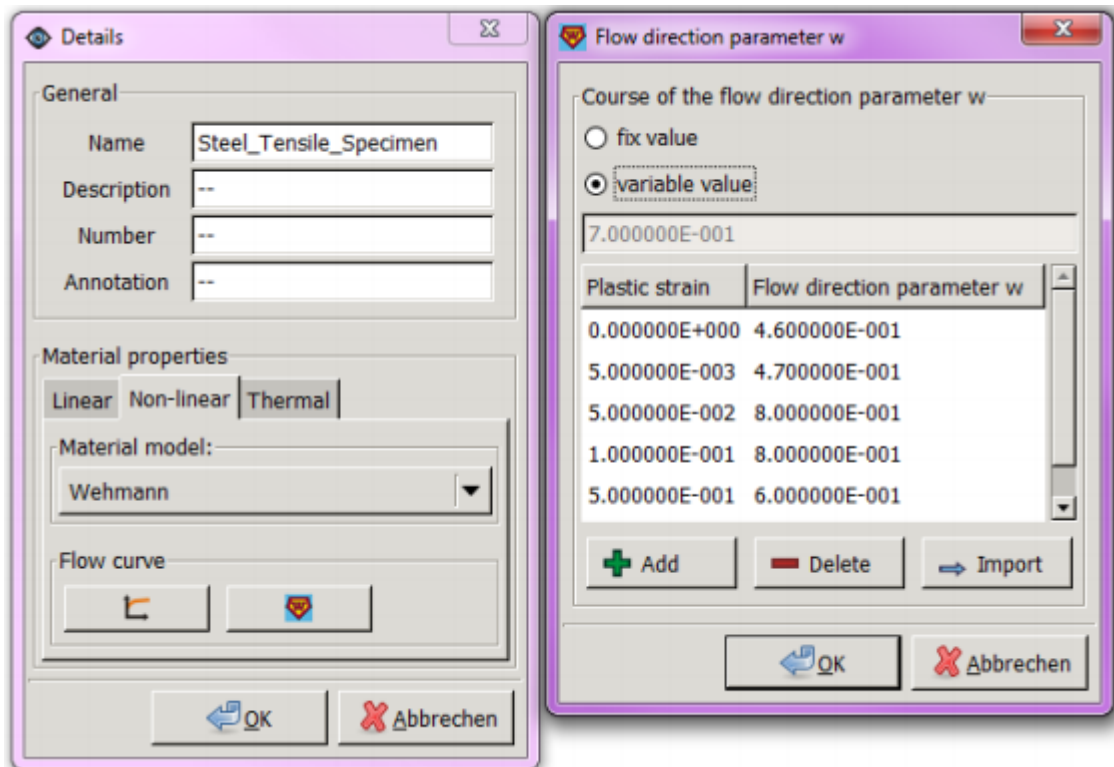


Zmierzone dane są przybliżone w celu zmniejszenia liczby wartości, które należy wprowadzić. Przynależne pary wartości są wymienione w poniższej tabeli.

**Tabela 2: Wartości parametru w do definiowania zmodyfikowanego modelu Wehmanna**

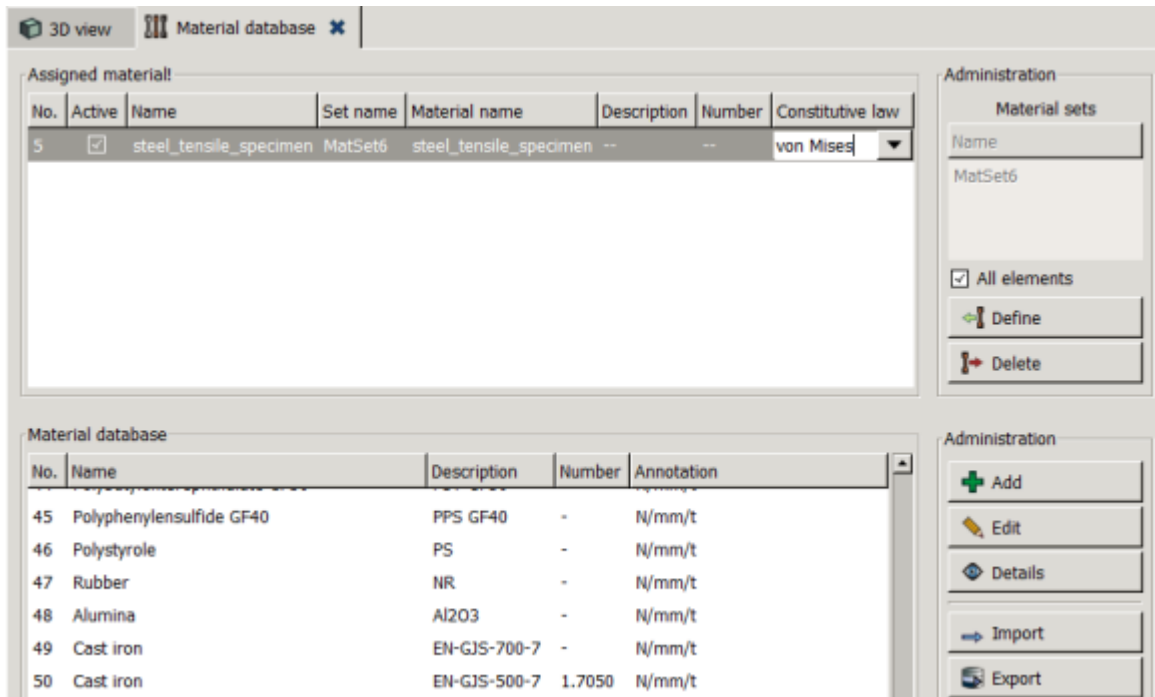
Podł. plast. okkształc. / 1	w / 1
0	0.46
0.005	0.47
0.05	0.8
0.1	0.8
0.5	0.6
1	0.5

Pierwsze 3 pary wartości pochodzą z aproksymacji, ostatnie 3 są arbitralnie wybrane, ponieważ w tym przypadku nie ma więcej pomiarów dla tak dużych odkształceń. Niemniej jednak należy dodać wartości, zawierające duże odkształcenia, ponieważ w trakcie procesu rozwiązywania dużych naprężeń mogą się pojawić. Szczególnie w przypadku krzywej przepływu temat ten jest bardzo ważny. Rysunek 12 pokazuje wprowadzone parametry.




Rysunek 12: Parametry zmodyfikowanego modelu Wehmanna

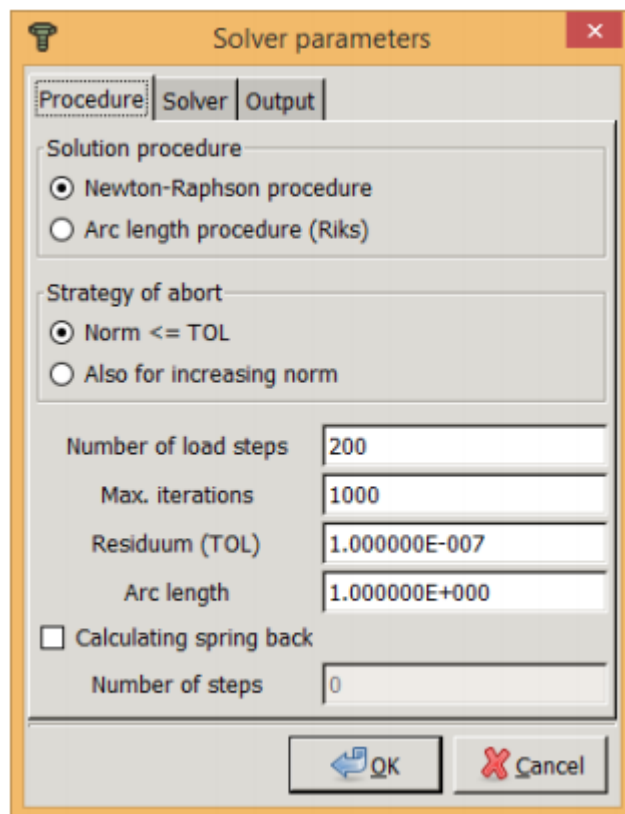
Naciśnij przycisk "Add" (Dodaj), aby wprowadzić nowy parametr. Wartości można edytować poprzez dwukrotne kliknięcie. Na koniec potwierdzamy dialog za pomocą OK i przypisujemy ten materiał do wszystkich elementów (przycisk "Define" (Definiuj)). Teraz wybieramy regułę składową. Do pierwszego obliczenia wybieramy "von Mises" (patrz rys. 13).



Rysunek 13: Wybór reguły składowej

## 5. Ustawianie parametrów solwera i obliczenia

Teraz przechodzimy do solwera równania  i wybieramy solwer PARDISO. Następnie zmieniamy liczbę kroków obciążenia w oknie dialogowym parametrów solver. Do procesu obliczeniowego stosuje się 200 etapów obciążenia. Obliczenie może trochę potrwać, w zależności od komputera. Rysunek 14 pokazuje wybrane parametry.



Rysunek 14: Parametry solwera dla testu rozciągania

Przed rozpoczęciem obliczeń musimy przeprowadzić specjalne dopasowanie. Wykonując następujące kroki, tworzymy automatycznie wygenerowany plik wyjściowy, który zawiera krzywe siła-przemieszczenie w niektórych węzłach. W tym celu otwieramy katalog instalacyjny Z88Aurora pod Z88AuroraVx / win / bin lub Z88AuroraVx / bin / unix64 lub Z88AuroraVx / bin / mac plik z88enviro.dyn. Tutaj dodajemy linię

```
FLAG CONFIRM_SOLVER_START 1
```

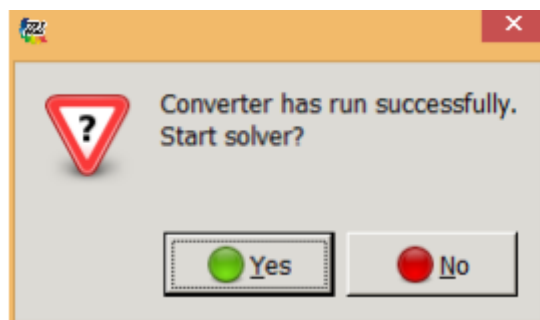
do flag jak pokazano na rysunku poniżej. Jeśli flaga już istnieje, musi być ustawiona na 1. Jeśli jest ustawiona na 0, żądana funkcja nie jest aktywna.

\*-----  
Z88Aurora Version 3.0.0 (Oct 30 2014 14:12:37)  
-----\*

```
**FLAGS to adjust the different options
FLAG  SHOW_SURFACE          -8
FLAG  SCROLLER              150
FLAG  ROTATOR               1.000000
FLAG  TRANSLATOR            1.000000
FLAG  RESOLUTION            800 x 600
FLAG  MPC_RIGID             1.000000E+012
FLAG  MPC_USER              1.000000E+002
FLAG  MPC_TYP               100
FLAG  CULLING               -8
FLAG  SPIDER_START         -7
FLAG  SCOUNTER              24
FLAG  SHOW_START_INFO      -8
FLAG  LOAD_INFO_OFF        -8
FLAG  CPU_NUM               2
FLAG  CONFIRM_SOLVER_START  1
FLAG  PICKING_USE_CTRL_KEY  1
FLAG  INTORD_TYP_1          2
FLAG  INTORD_TYP_7          3
```

Rysunek 15: Plik z88enviro.dyn i nowa flaga

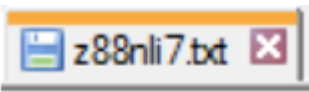
Teraz musimy zakończyć i ponownie uruchomić Z88Aurora. Nie stanowi to problemu, ponieważ wszystkie dane są zapisywane automatycznie, a katalog projektów można ponownie otworzyć. Ponownie przełączamy się na solver, a następnie klikamy "start calculation" (rozpocznij obliczenia). Teraz powinno pojawić się następujące okno dialogowe z powodu nowej flagi.



Rysunek 16: Okno dialogowe, potwierdzające start solwera

Dzięki temu istnieje możliwość edytowania lub uzupełniania plików wejściowych solwera (tutaj Z88NL). Teraz definiujemy nowy plik `z88nli7.txt` w katalogu projektu i zapisujemy w nim liczby, które można znaleźć na rysunku 17. Pierwszy wiersz zawiera liczbę całkowitą określającą, ile wierszy będzie następowało (= liczba zmiennych

historycznych). Każda linia będzie zawierała definicję jednej zmiennej historycznej, która składa się z trzech szczegółów: pierwszej liczby a wiersz definiuje typ zmiennej historycznej, drugi miejsce (w zależności od typu numeru węzła lub elementu) i trzeci, jeśli to konieczne, numer punktu integracji.



```
4
1 2 -1
2 2 -1
1 3 -1
2 3 -1
```

Rysunek 17: Gotowy plik z88nli7.txt do definicji zmiennych historii

Możliwe są następujące typy:

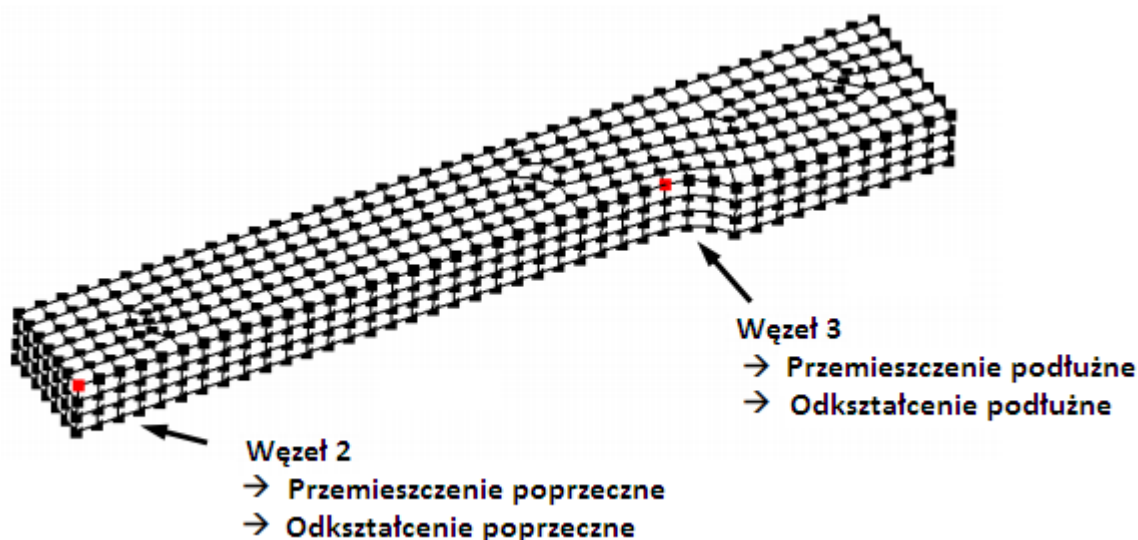
Tabela 3: Lista możliwych typów zmiennych historii

Typ zmiennej	Jakość fizyczna	Referencje
1	krok obciążenia $i$	węzeł
2	przemieszczenia $u$	węzeł
3	naprężenia $P$ (naprężenia nominalne)	element
4	naprężenia $\lambda$	element
5	macierz materiałowa $C$	element
6	naprężenia Cauchy'ego $\sigma$ (rzeczywiste naprężenia)	element
7	plast. odpow. odkształcenia	element
8	odpowiednik naprężenia	element
9	siły wewnętrzne	węzeł
10	suma sił wewnętrznych	węzeł

A więc linia

2 3 -1

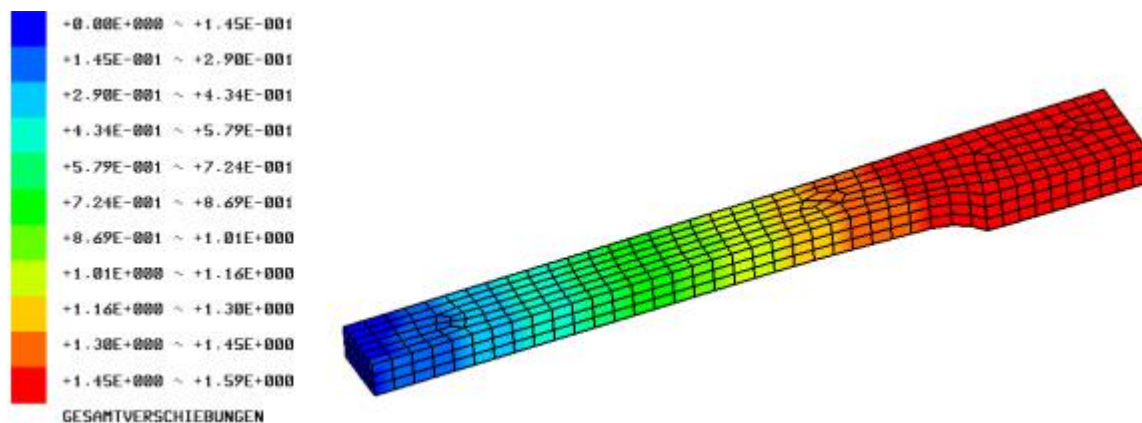
w naszym pliku z88nli7.txt oznacza, że przemieszczenia węzła 3 są rejestrowane. Ponieważ jest to zmienna związana z węzłem, trzecia liczba nie ma tutaj znaczenia i jest ustawiona na -1. W przypadku dużych ilości związanych z elementami byłyby to numer punktu integracji. Rysunek 18 pokazuje dwa węzły, w których zapisywane są zmienne historii. Po ukończeniu pliku z88nli7.txt uruchamiamy solver klikając "Yes".



Rysunek 18: Węzły ocenione i zdefiniowane w pliku wejściowym z88nli7.txt

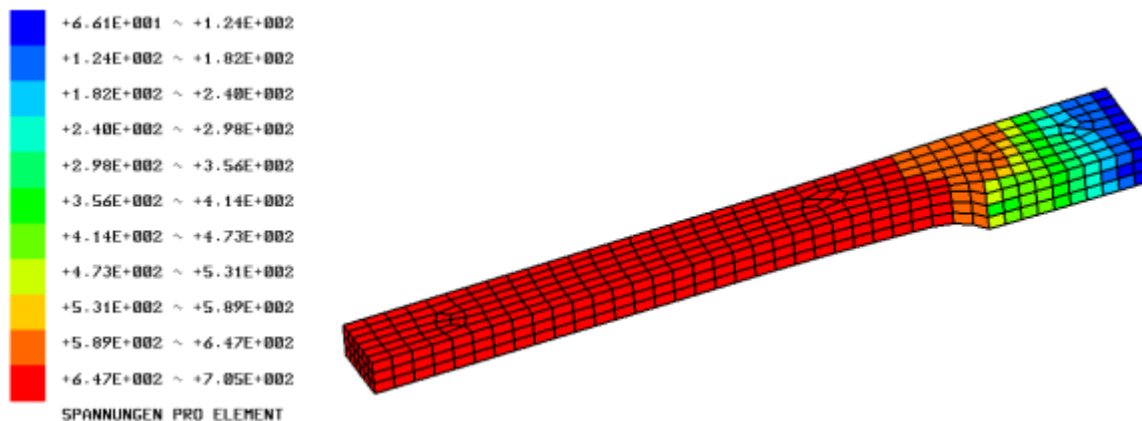
## 6. Analiza wyników (postprocessing)

Po uruchomieniu obliczeń przełączamy się na Post-procesor. Poniższy rysunek przedstawia wyniki dla 100% obciążenia.



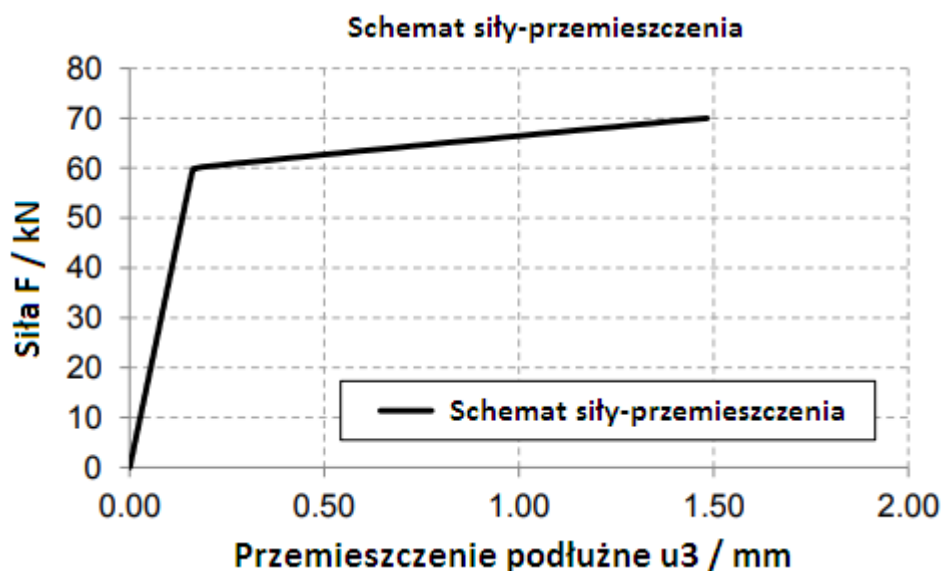
Rysunek 19: Całkowite przemieszczenia przy 100% obciążenia, współczynnik skalowania: 10

Naprężenia są przedstawione na rysunku 20.



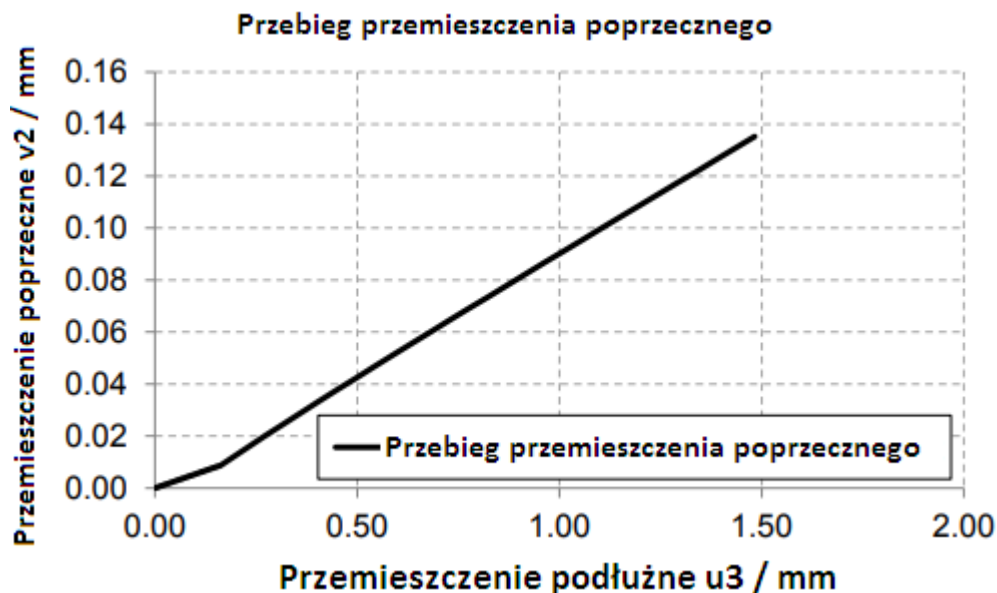
Rysunek 20: Naprężenia przy 100% obciążenia, współczynnik skalowania: 50

Ponieważ stworzyliśmy plik z88nli7.txt, w katalogu projektu znajduje się nowy plik wyjściowy z88nloh.txt. Jego nagłówek zawiera początkowo zawartość pliku z88nli7.txt, po drugie dla każdej zmiennej historycznej jeden nagłówek (który odpowiada powiązanej linii w z88nli7.txt) i dodatkowo blok przebiegu zmiennej nad obciążeniem. Tutaj, do każdego kroku ładowania, zapisywana jest pożądana ilość. W przykładzie przemieszczeń w pierwszym wierszu znajduje się na początku liczba kroków obciążenia, a następnie przemieszczenia w kierunku osi X, Y i Z. Za pomocą pliku wyjściowego można szybko wygenerować krzywe. Zostało to pokazane na poniższych diagramach.



Rysunek 21: Przebieg całkowitej siły na próbkę rozciągającą, wynik obliczenia MES





Rysunek 22: Przebieg przemieszczenia poprzecznego (przemieszczenie węzła 2 w kierunku osi y)

W związku z tym dokonujemy tych samych obliczeń z Wehmannem i zmodyfikowanym modelem Wehmanna. Dlatego otwieramy preprocesor i zmieniamy zdefiniowane materiały (→ Material database (Baza danych materiałów)) reguła konstytutywna. Przed rozpoczęciem obliczeń musimy upewnić się, czy plik z88nli7.txt istnieje. Następnie analizujemy plik z88nloh.txt.

Z przebiegu reguły konstytutywnej "von Misesa" (ryc. 21 i 22) określamy krzywą naprężenie-odkształcenie i przebieg całkowitego skurczu poprzecznego przy pomocy następujących równań:

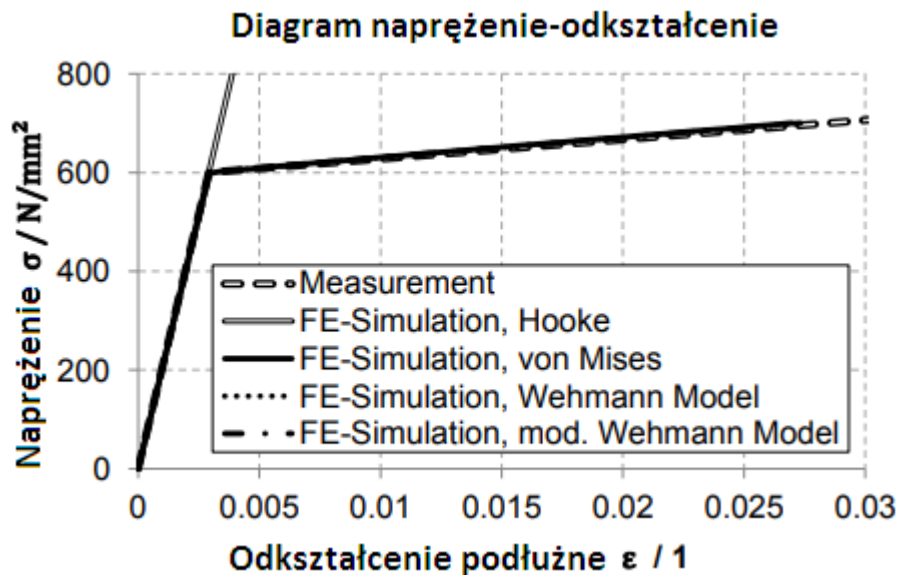
$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{L}, \quad \varepsilon^q = \frac{\Delta b}{B}, \quad \nu_{ges} = -\frac{\varepsilon^q}{\varepsilon}$$

Rysunek 23 pokazuje, że każdy z tych trzech modeli jest w stanie idealnie opisać krzywą naprężenie-odkształcenie. Pokazuje również, że prawo Hooke'a (czyste obliczenia sprężystości) wykraczające poza granicę plastyczności prowadzi do dużych błędów.

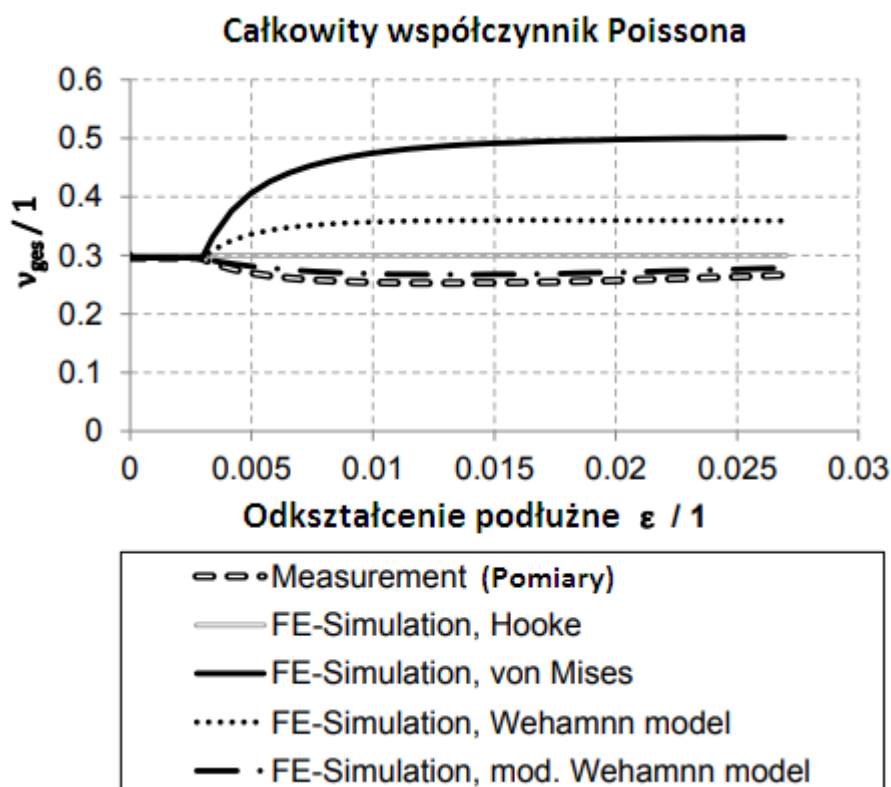
Rysunek 24 ilustruje różnicę między różnymi modelami plastycznymi. W modelu "von Misesa" deformacja poprzeczna przesuwają się w kierunku 0,5 przy rosnącym odkształceniu plastycznym, ponieważ model "von Misesa" nie może opisać plastycznej zmienności objętości. W pozostałych obu modelach skurcz poprzeczny jest zmienny w stosunku do parametru w.



W modelu Wehmanna można było zoptymalizować coś jeszcze, ale zmierzony przebieg nieznacznie wzrasta na końcu krzywej (rysunek 10). Efekt ten można opisać jedynie w zmodyfikowanym modelu Wehmanna.



Rysunek 23: Krzywa naprężeń i odkształceń różnych modeli



Rysunek 24: Przebiegi poprzecznego kurczenia się różnych modeli

Staje się jasne, że zmodyfikowany model Wehmanna pokazuje, że przebieg skurczu poprzecznego jest prawie idealny. Pozostała różnica wynika z naprężenia na ramionach, które nie jest dokładnie jednoosiowe,

więc analityczne określenie parametru  $w$  jest dotknięte błędami. Po dokładnym dostrojeniu parametru  $w$ , na podstawie wielokrotnych obliczeń MES, błąd ten można naprawić. Modele Wehmanna i zmodyfikowane modele Wehmanna nadają się np. do symulacji komponentów ze stali TRIP. Z powodu przemiany fazowej stale te wykazują masywną zmianę objętości podczas odkształceń plastycznych.