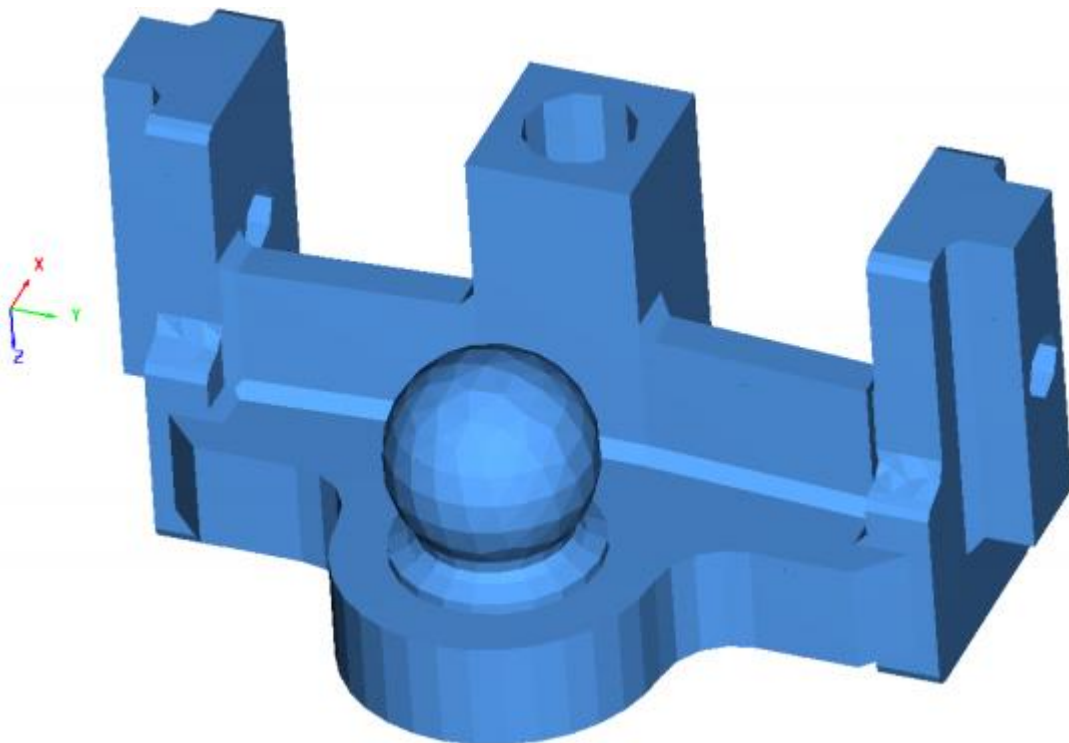


Z88AURORA ® PRZYKŁAD INSTRUKCJA:

## PRZYKŁAD 35: PLASTYCZNOŚĆ SPRZĘGU KUŁOWEGO

(Czworościan nr 16 z 10 węzłami)



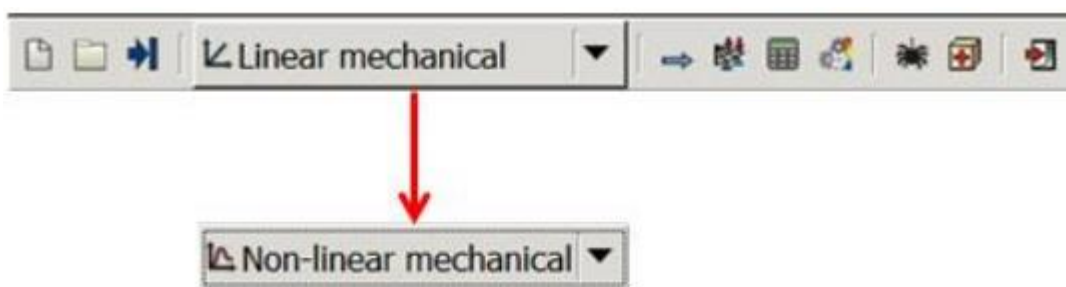
Ten przykład dotyczy przypadku przeciążenia sprzęgu kulowego stosowanego w inżynierii rolniczej. Sprzęg, który jest zamontowany na ciągniku i służy do łączenia sztywnych dyszli przyczep z dużymi obciążeniami podtrzymującymi, jest pokazany na rysunku 1.



Rysunek 1: Sprzęg kulowy w ciągniku

## 1. Tworzenie nowego folderu projektu i zmiana trybu działania

Utwórz nowy projekt i przełącz się z trybu "Linear mechanical" (mechaniczny liniowy) na "Non-linear mechanical" (mechaniczny nieliniowy).



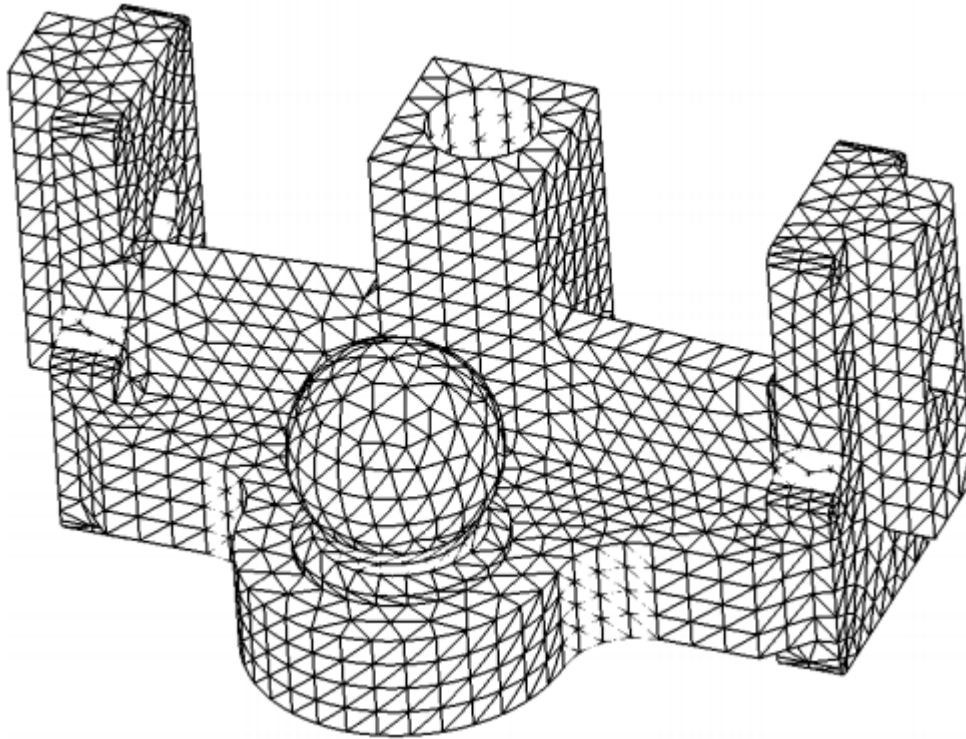
Rysunek 2: Tryb definiowania "Mechaniczny nieliniowy"

## 2. Import danych struktury

Zaimportuj plik Z88 ball\_coupling.txt z:

". \ Z88AuroraVx \ docu \ examples \ import \ b35".

Teraz widzisz strukturę, która jest już posiatkowana.



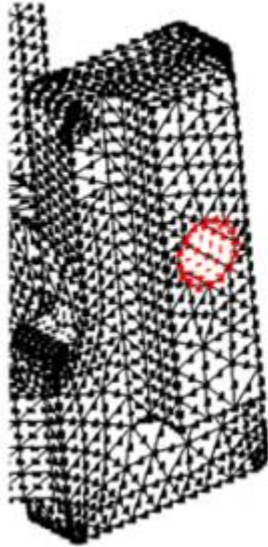
Rysunek 3: Posiatkowany sprzęg kulowy

## 3. Tworzenie warunków brzegowych

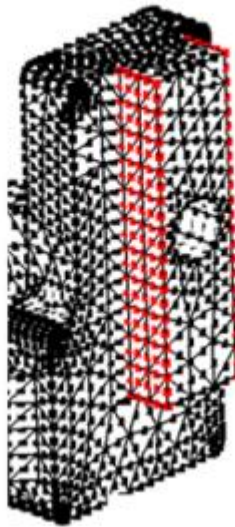
Aby stworzyć warunki brzegowe, musisz najpierw wybrać zestawy.

Rysunek 4 pokazuje zestawy węzłów, które są niezbędne do przypisania warunku przemieszczenia. Rysunki pokazują zawsze tylko jedną stronę sprzęgu. Odpowiednie powierzchnie po drugiej stronie części, również muszą zostać wybrane. Otwory po lewej stronie figury są zamocowane we wszystkich trzech kierunkach, powierzchnie w środku są zamocowane w kierunku X, a powierzchnie po prawej stronie w kierunku Y. Najpierw musisz utworzyć znacznik dla każdej powierzchni, wybierając jeden węzeł (przytrzymaj klawisz Ctrl) i kliknij "Surface" (Powierzchnia). Proszę użyć kąta 0 dla powierzchni płaskich i 60 dla pickingu (wybrania) otworów.

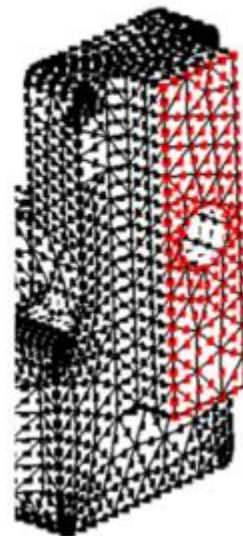
**Wywiercony otwór:  
Utwierdzony w X, Y i Z**



**Bok szyny:  
Utwierdzony w X**

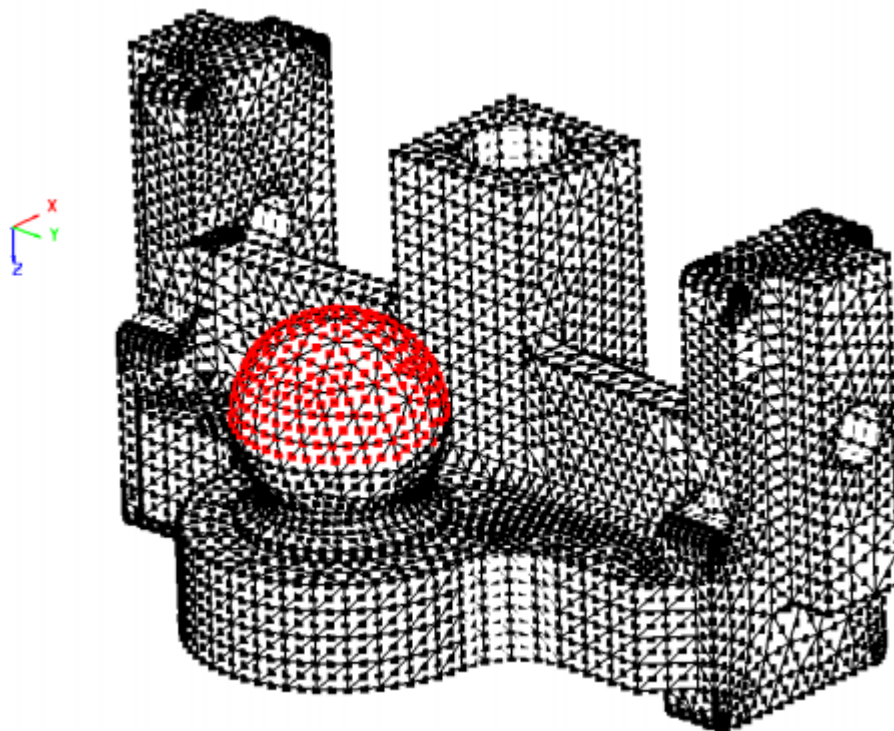


**Front szyny:  
Utwierdzony w Y**



Rysunek 4: Zestawy do zastosowania warunków brzegowych

Możesz zobaczyć zestawy obciążeń na rysunku 5.



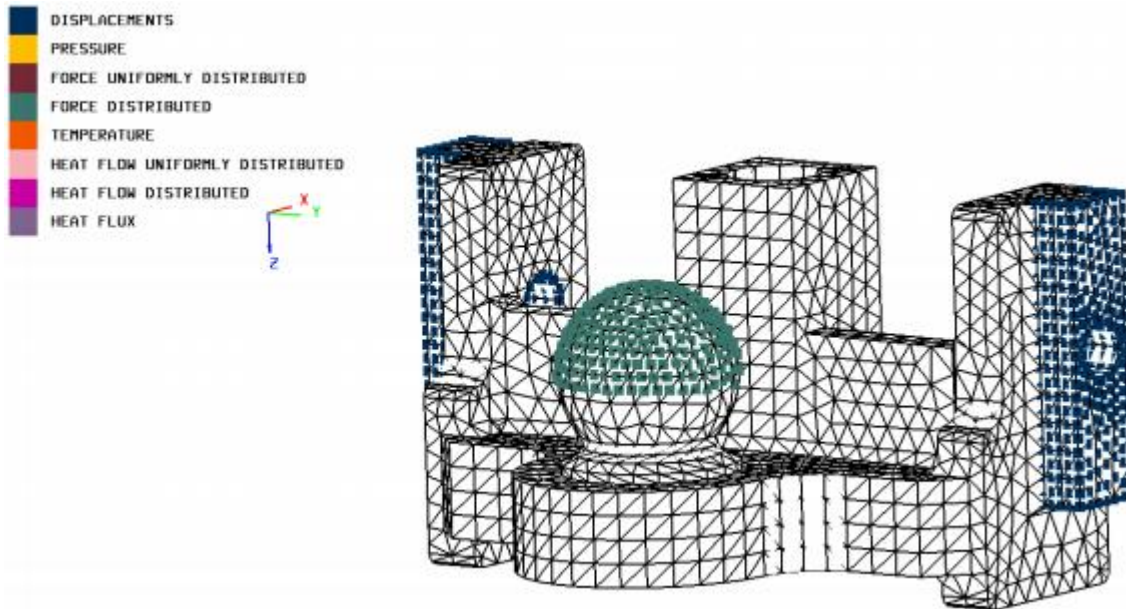
Rysunek 5: Wybrane węzły do zastosowania obciążenia

Następnie należy utworzyć dwa zestawy zaznaczonych węzłów, aby zastosować dwie różne siły. Pierwszy to siła nośna (kierunek Z), a druga to obciążenie ciągnące 6 t (ujemny kierunek X). Z technicznego punktu widzenia, tylne obciążenie powinno być przykładane tylko do przedniej



połówki sprzęgu, ale w tym przypadku ten sam zestaw służy do aproksymacji.

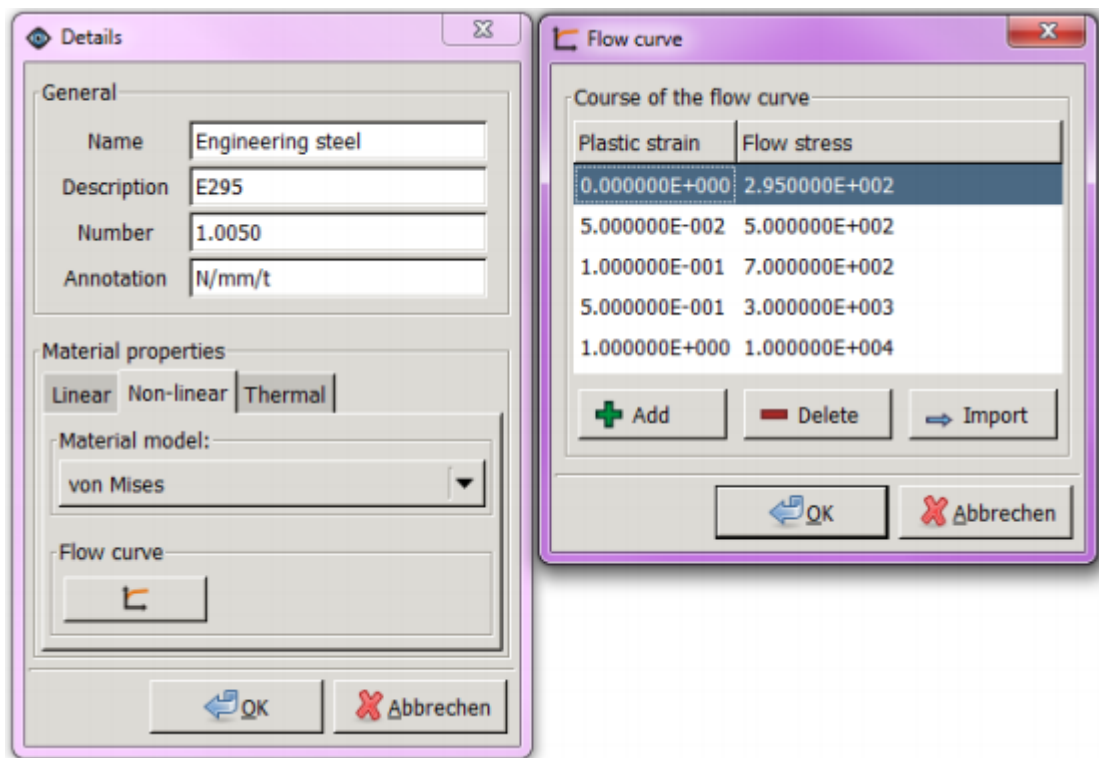
Warunki brzegowe przemieszczenia są realizowane poprzez ustawienie wartości dla danych kierunków na 0. Narzędzie "projected surface load" (projektowane obciążenie powierzchniowe) jest stosowane dla obu warunków brzegowych siły. Daje to następujący obraz przedstawiający wszystkie zastosowane warunki.



Rysunek 6: Wszystkie warunki brzegowe sprzęgu kulowego

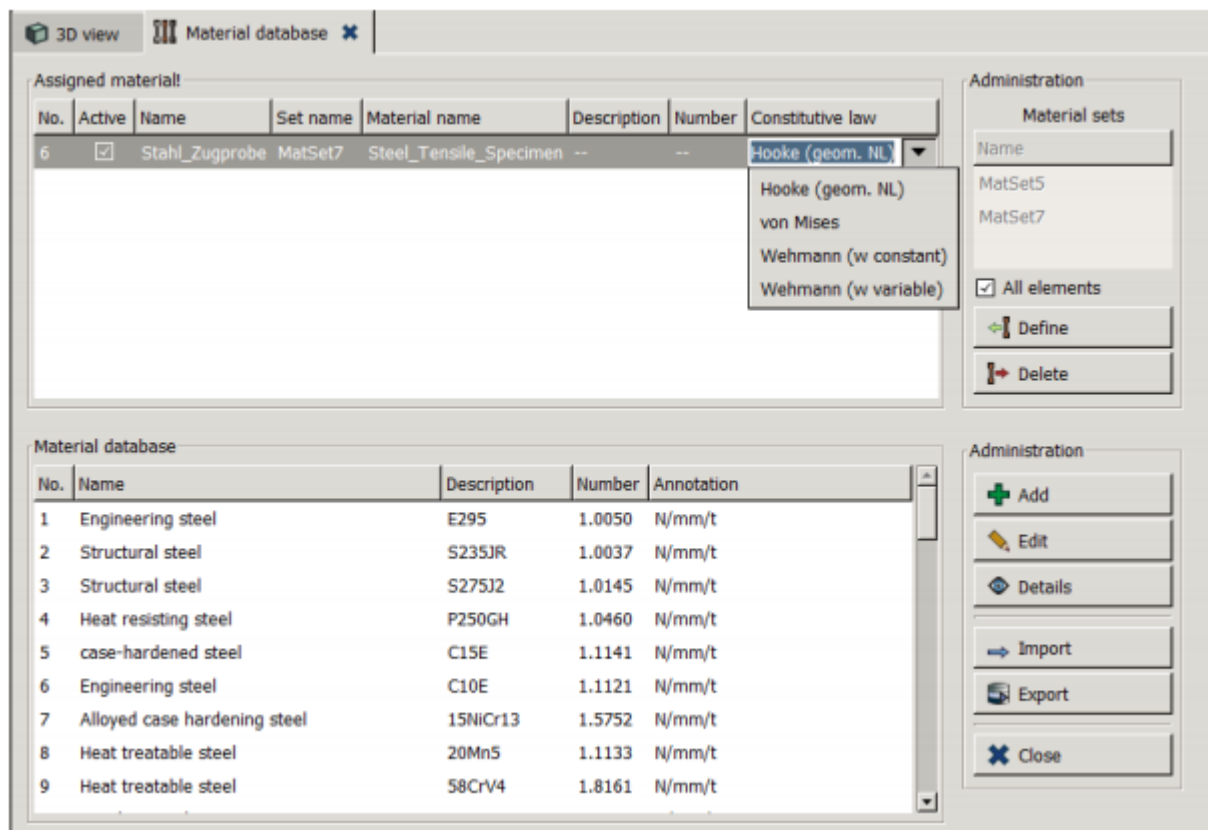
#### 4. Definiowanie danych materiałowych

W następnym kroku przydzielane są dane materiałowe. Przechodzimy do preprocesora, a następnie przechodzimy do bazy danych materiałów. Pierwszy materiał (stal konstrukcyjna, E295) powinien być przypisany do wszystkich elementów. Baza danych zawiera również krzywą przepływu materiału, którą można wykorzystać do analizy plastycznej bez żadnych modyfikacji. Należy pamiętać, że baza danych nie zawiera krzywych przepływu dla większości innych materiałów. Jeśli chcesz użyć jednego z nich do analizy plastycznej, najpierw musisz zaimportować krzywą przepływu. Aby sprawdzić, czy "Engineering Steel" ma krzywą przepływu, zaznacz materiał i kliknij "Details". W zakładce "Non-linear" (Nieliniowy) okna podręcznego znajdziemy wymagane wartości krzywej przepływu.



Rysunek 7: Dane materiałowe "Engineering Steel E295" (materiał nr 1 w Z88Aurora)

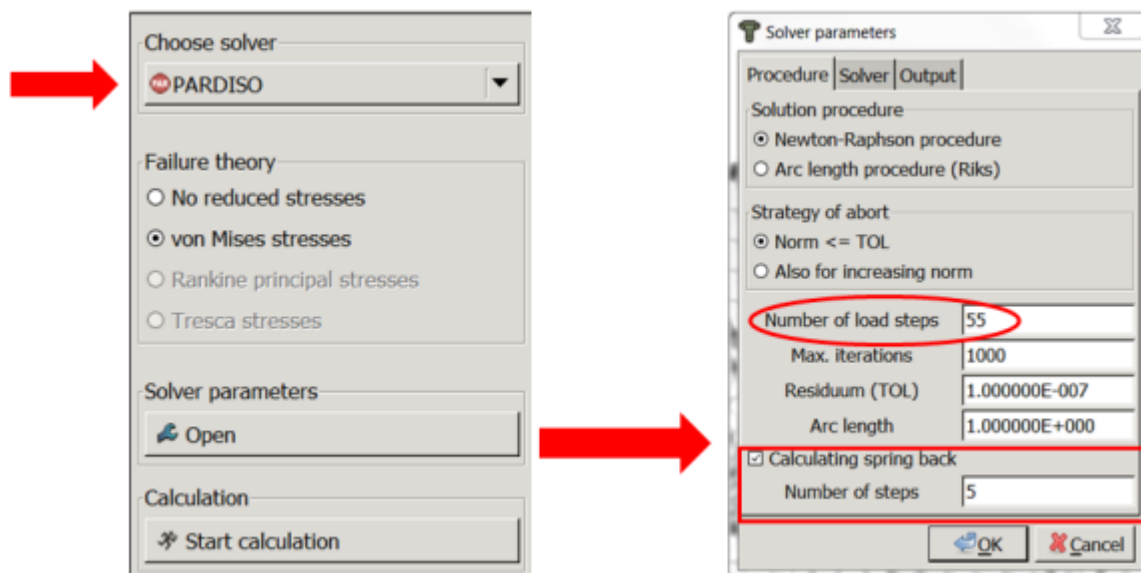
Pokazana ilustracja pokazuje, że granica plastyczności materiału wynosi 295 N / mm<sup>2</sup>. W końcu należy wybrać regułę materiałową "von Mises", jak pokazano na rysunku 8. Następnie można zamknąć zakładkę materiału.



Rysunek 8: Wybór reguły materialnej

## 5. Definiowanie parametrów solwera i obliczenia

Obliczenia są wykonywane przez solwer PARDISO, który można znaleźć w menu "Equation solver" (solwer równań). Następnie zmienia się liczbę etapów obciążenia na 55, a okno "Calculating spring back" (Obliczanie sprężyny powrotnej) jest zaznaczone w wyskakującym okienku "Solver parameters" (parametry solwera). Po zamknięciu okna dialogowego parametrów solwera przez kliknięcie "OK" można rozpocząć obliczenia (przycisk: "Start calculation"). Proces rozwiązywania będzie teraz zajmować trochę czasu w zależności od komputera.



Rysunek 9: Parametry Solwera dla obliczeń nieliniowych

Przechodzimy do okna konsoli, aby prześledzić proces rozwiązywania. Rysunek 10 pokazuje wynikowy obraz. Każda linia równa się jednemu krokowi obciążenia. Pierwsza liczba podaje numer kroku obciążenia, druga wartość obciążenia w procentach, trzecia liczba to rzeczywisty punkt przecięcia Raphsona Newtona, a czwarty to faktyczna norma Residuum Newtona. Jeśli ta wartość spadnie poniżej wartości krytycznej (5 liczba, wartość "Residuum (TOL)" w parametrach solwera), to znaleziono rozwiązanie. Wyjście konsoli w tym punkcie jest równe wynikowi geometrycznej analizy nieliniowej. Różnice pojawiają się jednak po słowie "pardiso": Gdy tylko limit sprężystości zostanie przekroczony w jednym punkcie, wyświetlacz zmienia się z "EL" na "PL" (patrz Rysunek 10).

```

C:\Users\lscad_student3\Desktop\Z88AuroraV3\win\bin\z88aurora.exe
17 34.000 1 +5.4905E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
18 36.000 1 +5.8147E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
19 38.000 1 +6.0788E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
20 40.000 1 +6.2844E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
21 42.000 1 +6.8415E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
22 44.000 1 +7.3301E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
23 46.000 1 +7.5106E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
24 48.000 1 +7.8648E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
25 50.000 1 +8.1039E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
26 52.000 1 +8.4719E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
27 54.000 1 +8.8485E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
28 56.000 1 +9.0975E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
29 58.000 1 +9.3469E-014 +1.0000E-007 pardiso EL +0.0000E+000
30 60.000 4 +9.3899E-014 +1.0000E-007 pardiso PL +0.0000E+000
31 62.000 4 +9.7716E-014 +1.0000E-007 pardiso PL +0.0000E+000
32 64.000 1 +6.8552E-004 +1.0000E-007 pardiso PL +1.7978E-004

```

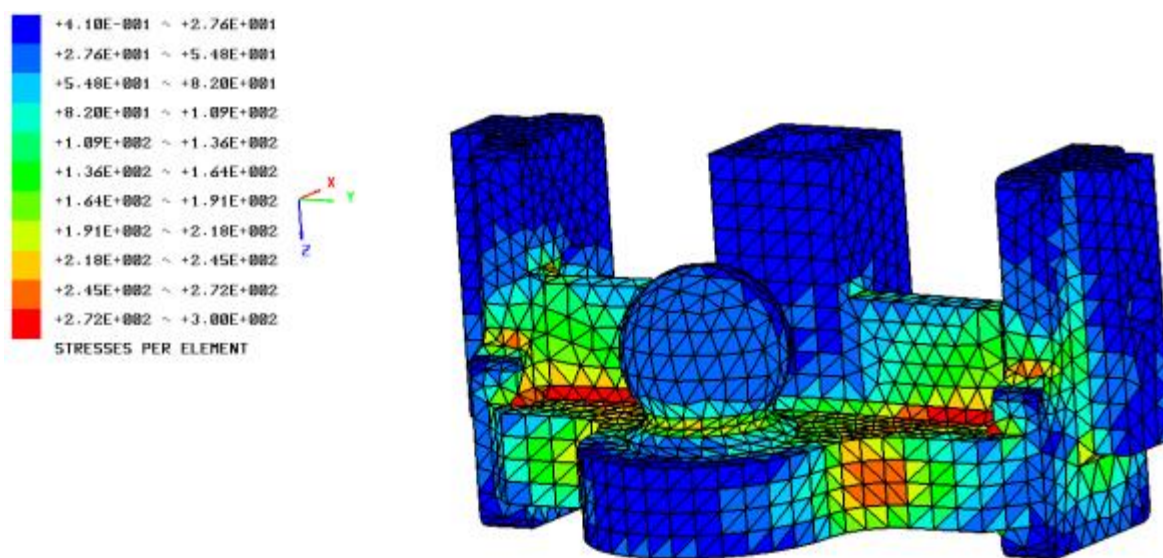
Rysunek 10: Wyjście terminalu



"EL" oznacza sprężyste i "PL" odkształcenie plastyczne. Ostatnia liczba wyświetla maksymalne efektywne odkształcenie w rzeczywistym punkcie przecięcia Newtona. Zazwyczaj Newton przechwytuje na obciążenie skokowy wzrost z wejściem do zakresu plastycznego.

## 6. Wyniki

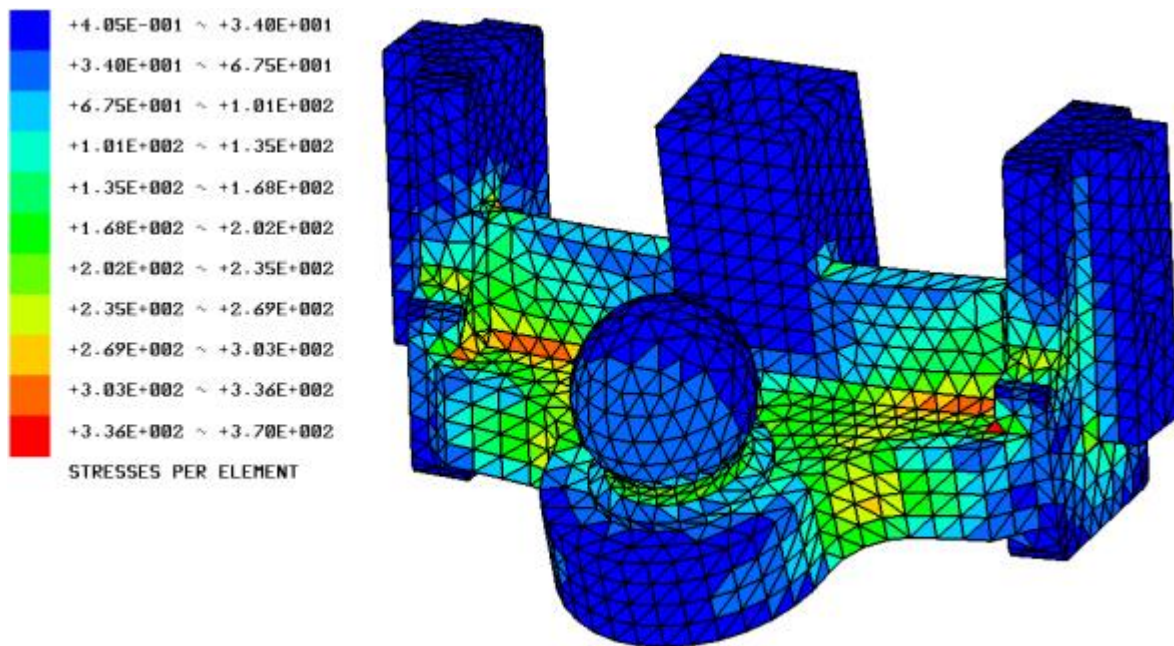
Po zakończeniu obliczeń wyniki mogą być przeglądane w postprocesorze. Jak wiadomo z geometrycznie nieliniowej analizy, wszystkie wyniki mogą być wyświetlane dla dowolnego kroku obciążenia, wybierając żądany krok przez "Choice of increment" (Wybór przyrostu). Wynik obliczeń plastycznych przy 100% obciążeniu pokazano na rysunku 11. Wyświetlane są naprężenia na element.



Rysunek 11: Wynik obliczeń plastycznych (skalowanie: 50)

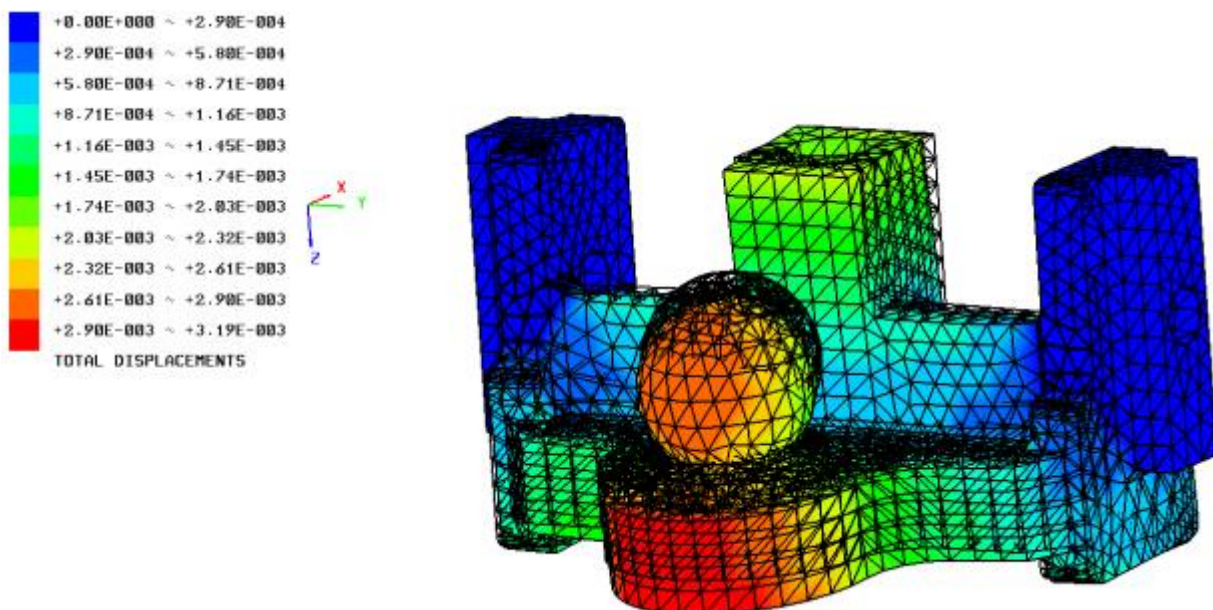
Przeciwnie, rysunek 12 pokazuje wynik obliczenia sprężystego. Łatwo zauważyć, że naprężenia w nacięciach są wyższe w obliczeniach sprężystych. Przy obliczeniach plastycznych miejscowe piki są zredukowane, a naprężenie rozłożone bardziej równomiernie

Sprężyste obliczenia porównawcze można bardzo łatwo wykonać, zmieniając regułę materiałową na "Hooke" w preprocesorze. Należy pamiętać, że po ponownym kliknięciu przycisku "Start calculation" (Rozpocznij obliczenia) wszystkie wyniki pierwszego obliczenia zostaną nadpisane. Jeśli oba wyniki (sprężysty i plastyczny) powinny zostać zapisane, katalog projektu musi zostać zduplikowany lub pliki wyjściowe muszą zostać zapisane ręcznie.



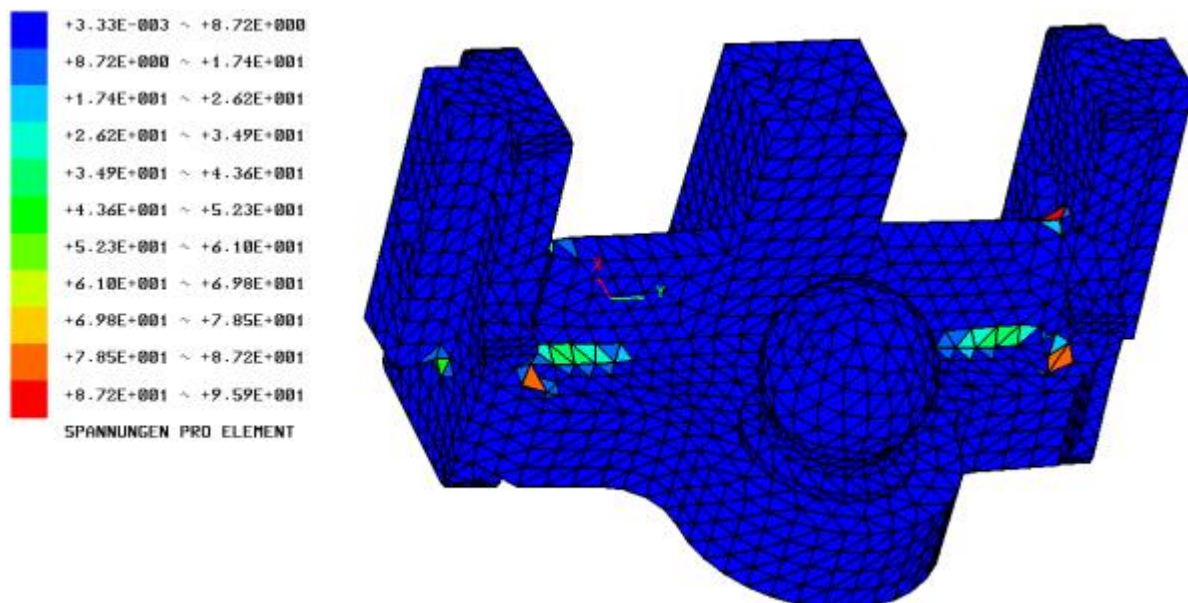
Rysunek 12: Wynik obliczenia sprężystego (skalowanie: 50)

Ponieważ obliczenia plastyczne uwzględniają również sprężystość powrotną, obciążenie spada ponownie po osiągnięciu 100%. Po wybraniu ostatniego kroku obciążenia (0%) można obejrzeć strukturę w jej ostatecznym stanie, w tym pozostałą deformację. (porównaj rys. 13).



Rysunek 13: Struktura po sprężystości powrotnej (stopień obciążenia 55, 0% obciążenia, skalowanie: 5000, wysokość "Both" (oba))

Naprężenia w tym ostatnim obciążeniu są równe naprężeniom szczątkowym, które zostały wprowadzone przez odkształcenie plastyczne. Rysunek 14 pokazuje wynikowe naprężenia szczątkowe.



Rysunek 14: Naprężenia szczątkowe sprzęgu kulowego (stopień obciążenia 55, 0% obciążenia)

Przykład ten podkreśla wpływ zachowania się tworzywa na analizie naprężeń. Obliczona sprężystość, maksymalne naprężenie wynosi  $370 \text{ N/mm}^2$ , co znacznie przewyższa granicę plastyczności, co wykazuje, że połączenie nie działa. W przeciwieństwie do tego, obliczenia plastyczne zapewniają maksymalne naprężenia tylko  $300 \text{ N/mm}^2$ , co stanowi również nieco powyżej granicy plastyczności, ale poniżej wytrzymałość na rozciąganie, która wynosi około  $500 \text{ N/mm}^2$  dla E295. Co więcej, obliczenia amortyzacji sprężystości powrotnej pokazują, że pozostałe odkształcenia są bardzo małe (maksymalne przemieszczenie  $3,19\text{E-}3 \text{ mm}$ , patrz Figura 13). W oparciu o obliczenia plastyczne, przypadek ten można uznać za bezkrytyczny. Wyniki pozwalają stwierdzić, że obliczenia plastyczne lepiej obrazują rzeczywistość w tym przypadku, ponieważ symulowane sprężenie występuje w praktyce i łatwo znosi badane warunki obciążenia.