



WALIDACJA OBLICZEŃ MES NA PRZYKŁADZIE ANALIZY WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ PÓŁOSI NAPĘDOWEJ



CEL I ZAKRES BADAŃ NUMERYCZNYCH

Określenie wartości maksymalnych naprężeń, generowanych w materiale półosi, obliczonych według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego (HMH).

Wykonanie analiz porównawczych pod kątem określenia wpływu zmian profilu geometrii i sposobu obciążenia modelu bryłowego. Modelowanie obciążenia przy różnym, symulowanym działaniu maksymalnych sił na sposób stacjonarny.



Analizy polegały na kontroli następujących parametrów:

- 1 - rozmiaru siatki elementów skończonych,
- 2 - sposobu nałożenia węzłów,
- 3 - wpływ karbu,
- 4 - sposobu zadania obciążenia.

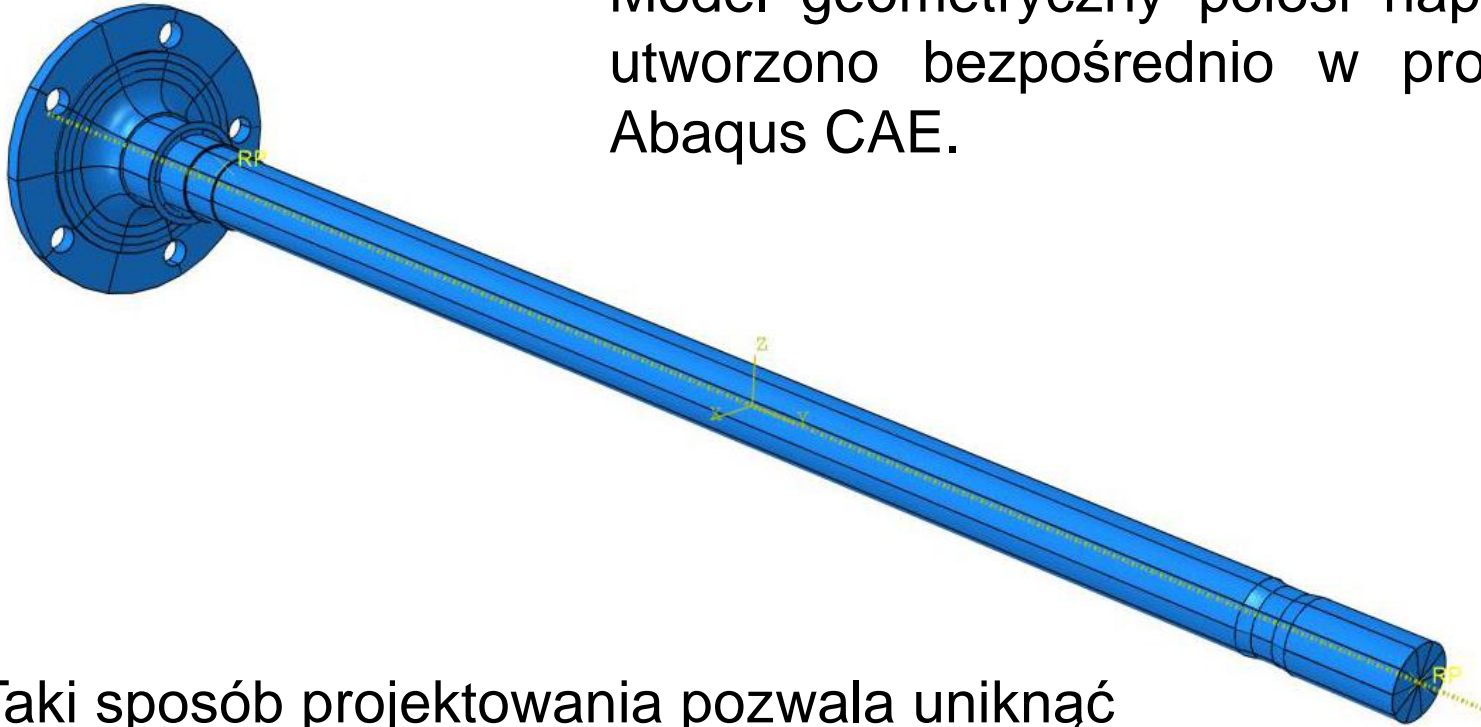
Dla każdego przypadku analizowanego podano:

- warianty geometryczne modelu, jeśli występowały,
- charakterystykę sposobu obciążenia,
- mapy rozkładu wielkości wytrzymałościowych lub geometrycznych,
- podsumowanie.



WIDOK MODELU

Model geometryczny półosi napędowej utworzono bezpośrednio w programie Abaqus CAE.

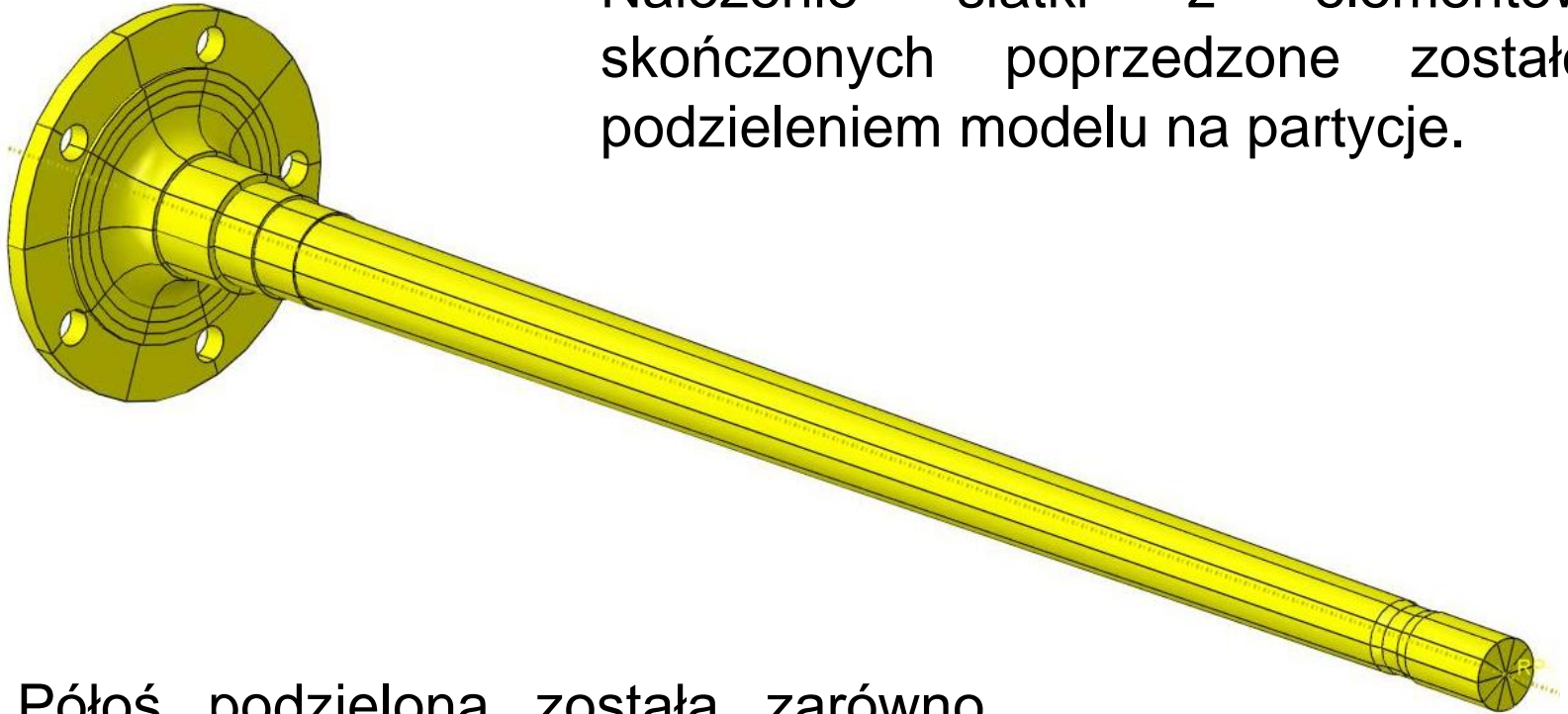


Taki sposób projektowania pozwala uniknąć ewentualnych ukrytych wad geometrii mogących utrudnić partycjonowanie, co zdarza się w przypadku importowania modelu z innego programu.



DYSKRETYZACJA MODELU - PARTYCJONOWANIE

Nałożenie siatki z elementów skończonych poprzedzone zostało podzieleniem modelu na partycje.



Półś podzielona została zarówno wzdłuż, na 10 części (partycji) z uwagi na 5 otworów, jak i w poprzek przy kolejnych stopniach.



DYSKRETYZACJA MODELU - SIATKA

Dyskretyzację pólci przeprowadzono w module Mesh

Charakterystyka bryłowych elementów dyskretnych:

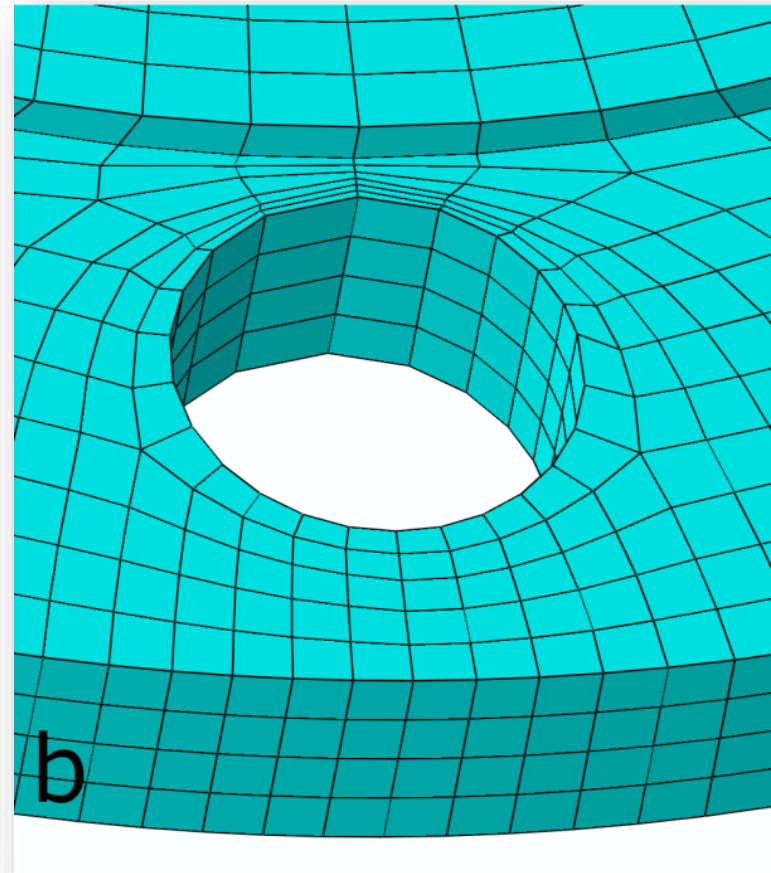
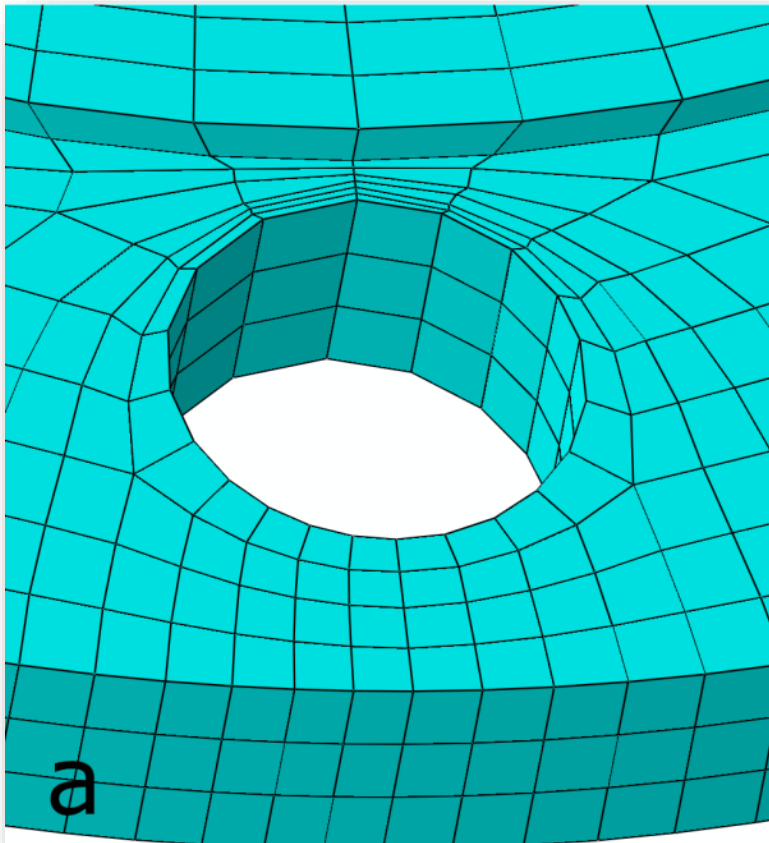
- heksagonalne Hex,
- typu Sweep,
- ośmiowęzłowe,
- o liniowej funkcji kształtu,
- oznaczenie C3D8R.

Warianty wielkości siatki elementów dla modeli:

- 3,0 mm,
- 2,5 mm.



WPŁYW ROZMIARU SIATKI ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH – NAŁOŻENIE SIATKI



Fragment kołnierza z otworem na śrubę koła: a – elementy o wielkości siatki 3,0 mm; b – elementy o wielkości siatki 2,5 mm



1. WPŁYW ROZMIARU SIATKI ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH – OBCIĄŻENIE MODELU

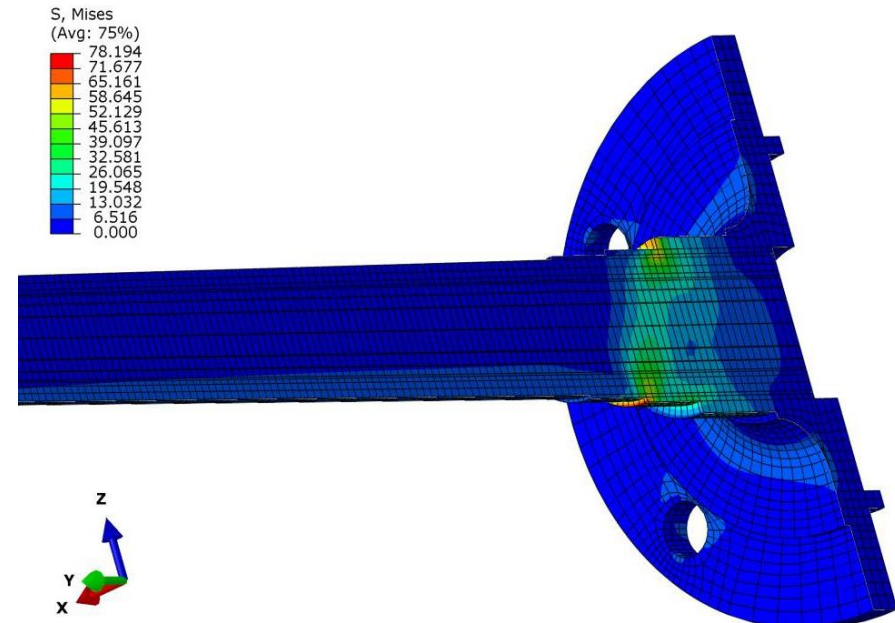
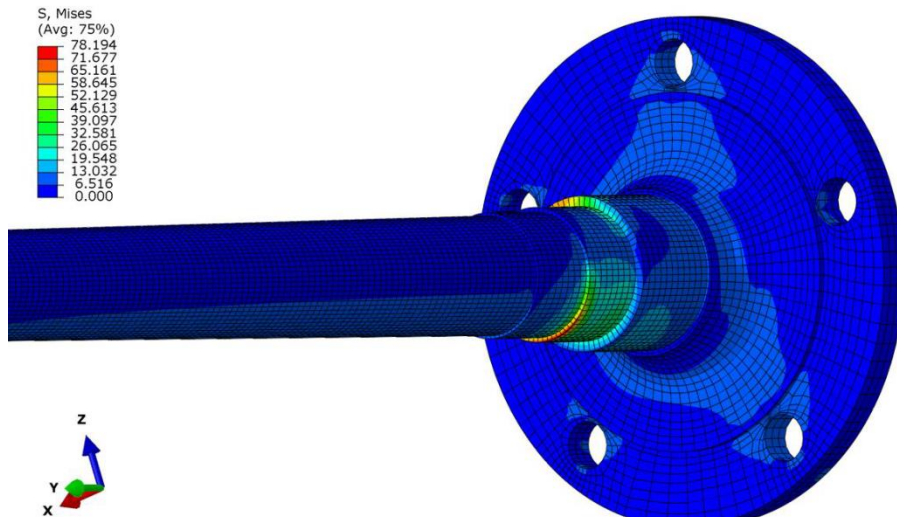
Analiza wytrzymałościowa została przeprowadzona dla przypadku obciążenia półosi siłą pionową o wartości $F_z = 8500 \text{ N}$.

Jest to wartość obliczona jako połowa maksymalnego nacisku na oś tylną.



1. WPŁYW ROZMIARU SIATKI ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH – WYNIKI ANALIZY WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ

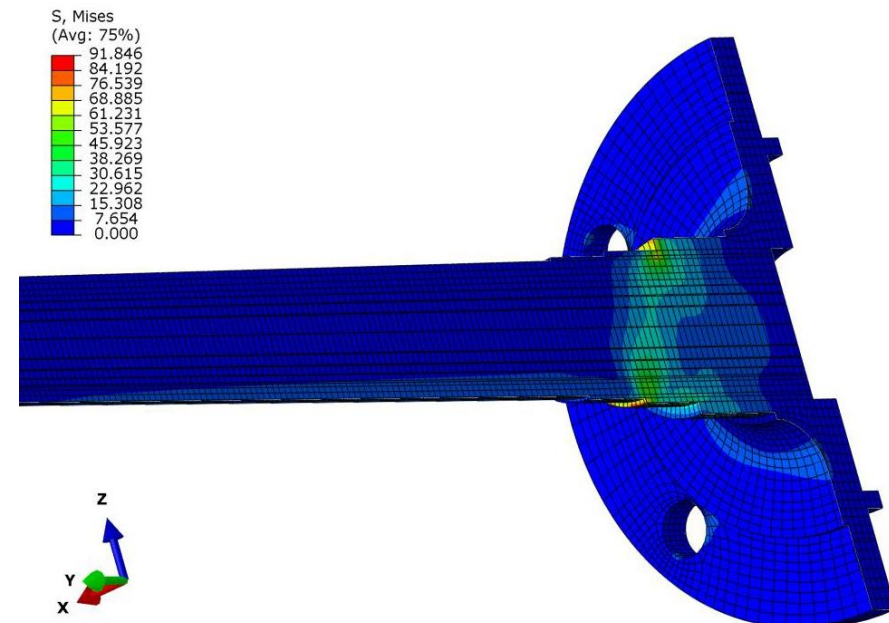
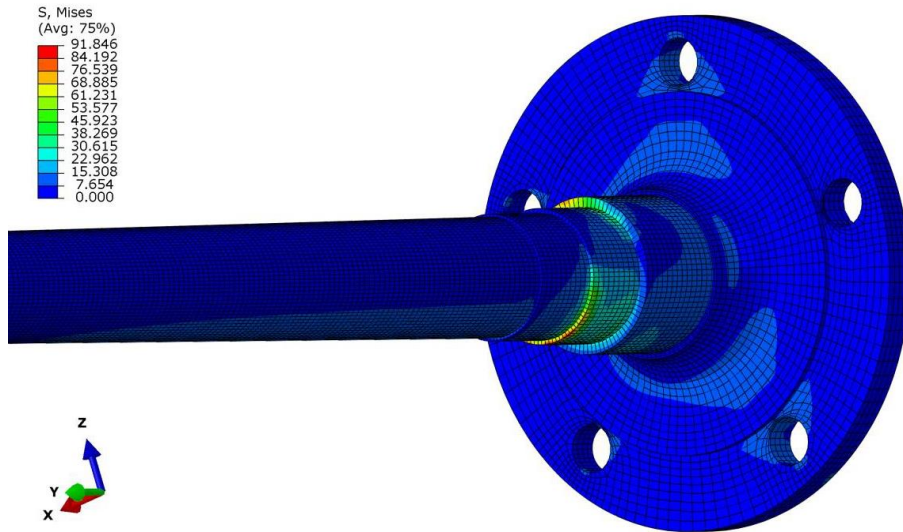
Mapa naprężeń w kołnierzu według hipotezy HMM dla siatki o wielkości elementu 3 mm





1. WPŁYW ROZMIARU SIATKI ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH – WYNIKI ANALIZY WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ, CD.

Mapa naprężeń w kołnierzu według hipotezy HMM dla siatki o wielkości elementu 2,5 mm





1. WPŁYW ROZMIARU SIATKI ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH – PODSUMOWANIE

Wielkość elementu, mm	3,0	2,5
Liczba węzłów w pólosci	114306	198196
Liczba elementów skończonych	101600	179176
Czas obliczeń, min, s	11' 29"	31' 28"
Maksymalne naprężenia zredukowane na czopie łozyskowym, MPa	78,19	91,84

Zmiana wielkości elementu skończonego spowodowała wzrost naprężeń maksymalnych o 17%. Widoczne jest też odmienne ukształtowanie map naprężeń na powierzchni zewnętrznej oraz w przekroju osiowym.



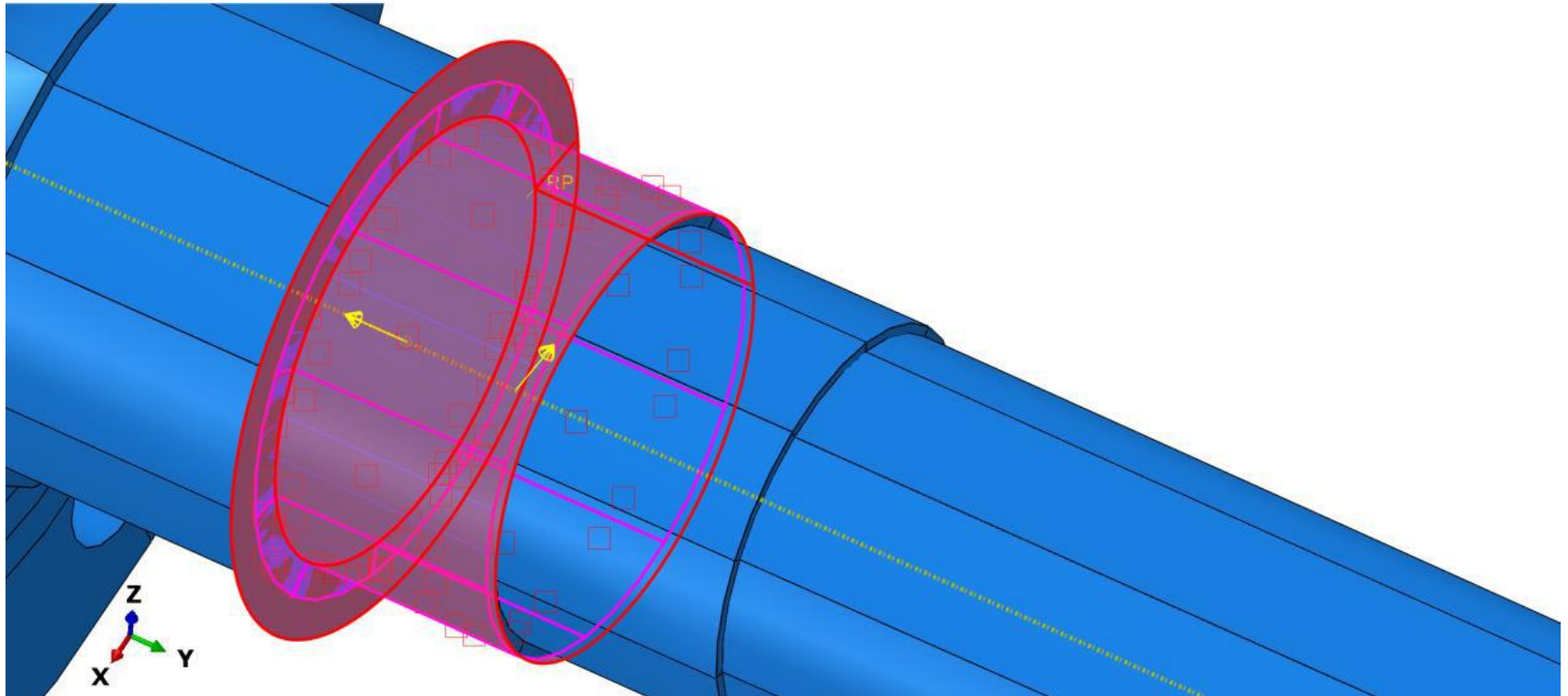
2. SPOSÓB NAŁOŻENIA WĘZŁÓW – OBCIĄŻENIE MODELU

Analiza wytrzymałościowa została przeprowadzona dla przypadku obciążenia pólasi maksymalną siłą boczną $F_Y = 15398,1$ N i odpowiadającej jej reakcji pionowej od nawierzchni drogi $F_Z = 15143$ N.

Przypadek taki został wybrany ze względu na największe wartości sił obciążających w porównaniu z warunkiem maksymalnej siły napędowej oraz maksymalnej siły hamującej.



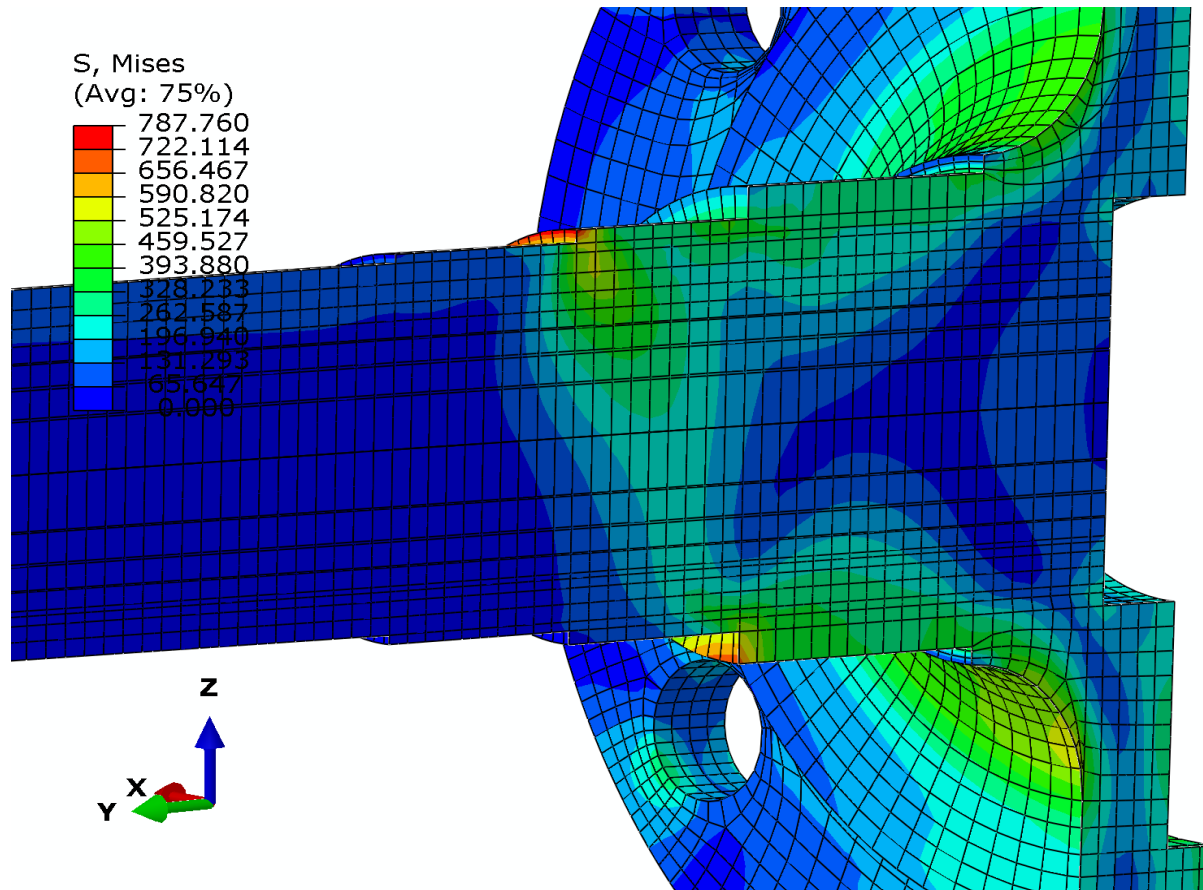
2. SPOSÓB NAŁOŻENIA WĘZŁÓW – NA CZOP PÓŁOSI ZOSTAŁO NAŁOŻONE ŁOŻYSKO



Tworzenie kontaktu wewnętrznego pierścienia łożyska z półosią



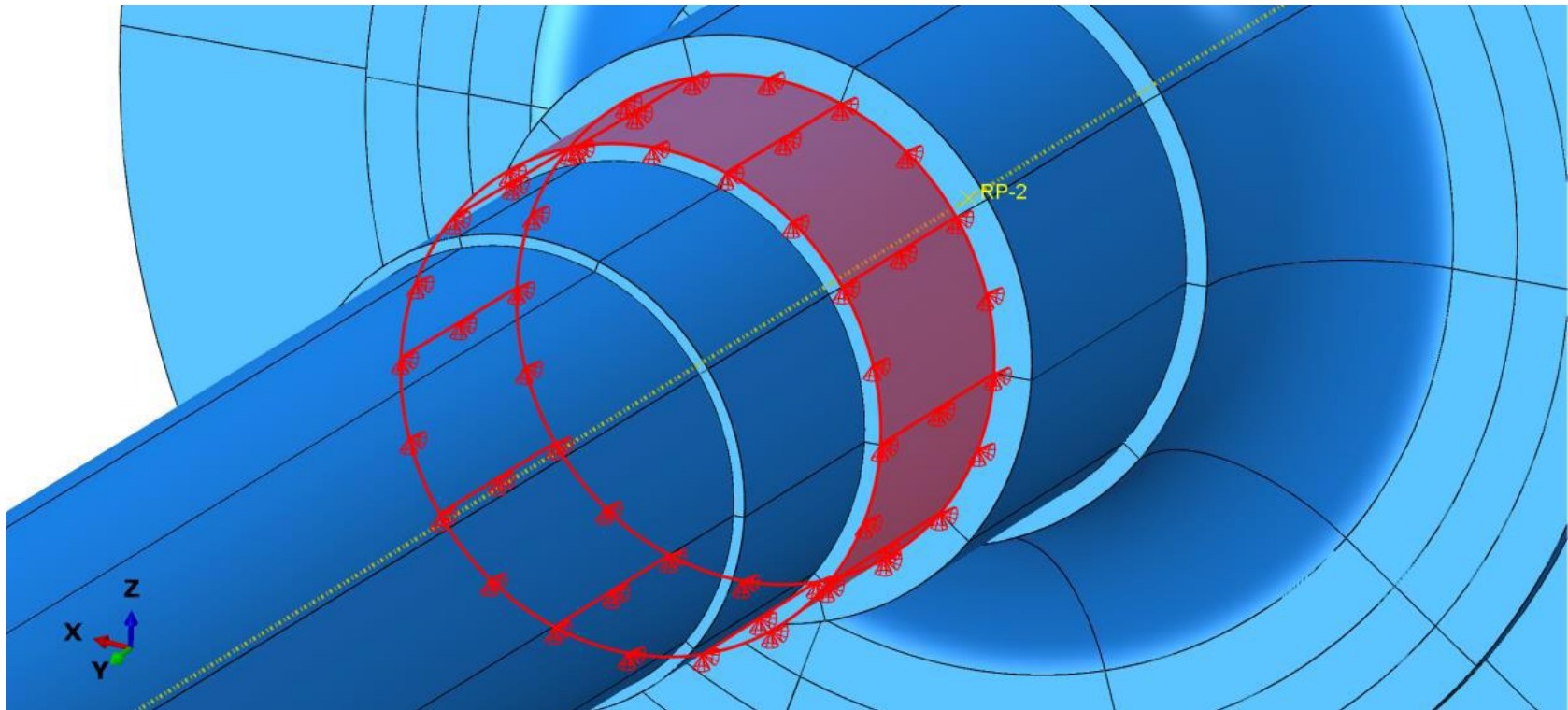
2. SPOSÓB NAŁOŻENIA WĘZŁÓW – WYNIKI ANALIZY WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ



Mapa naprężeń generowanych na przekroju półosi dla przypadku umieszczenia łożyska na czopie



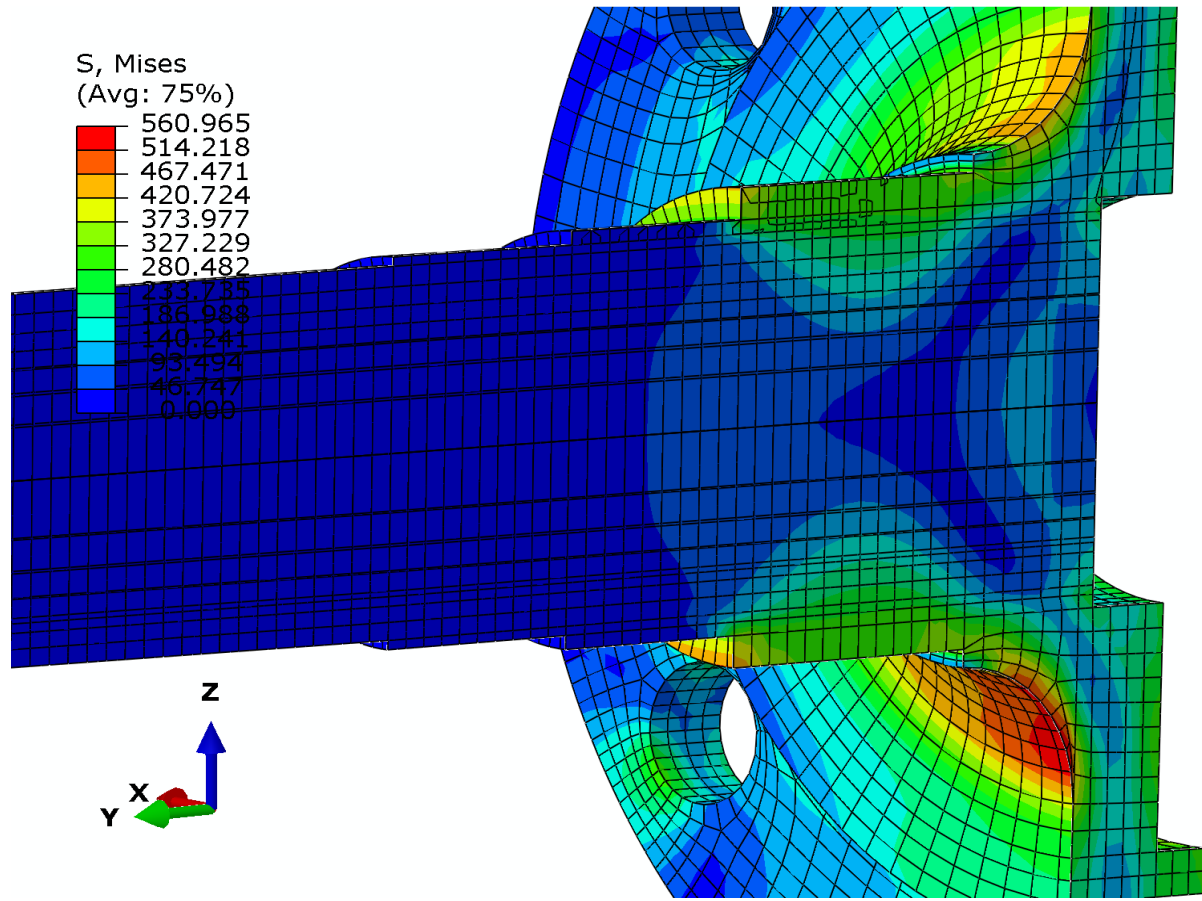
2. SPOSÓB NAŁOŻENIA WĘZŁÓW – BEZPOŚREDNIE OBCIĄŻENIE CZOPA ŁOŻYSKOWEGO



Nałożenie więzów bezpośrednio na powierzchnię czopa



2. SPOSÓB NAŁOŻENIA WĘZŁÓW – BEZPOŚREDNIE OBCIĄŻENIE CZOPA ŁOŻYSKOWEGO, CD.



Mapa naprężeń generowanych na przekroju półosi, dla przypadku nałożenia więzów bezpośrednio na powierzchnię czopa



2. SPOSÓB NAŁOŻENIA WĘZŁÓW – WNIOSKI

W modelu z łożyskiem występującym jako elementem sztywnym, naprężenia rozchodzą się po przekątnej przekroju jego czopa, pomiędzy powierzchniami czołowymi ograniczającymi ten czop. Maksymalna ich wartość dochodzi do 790 MPa.

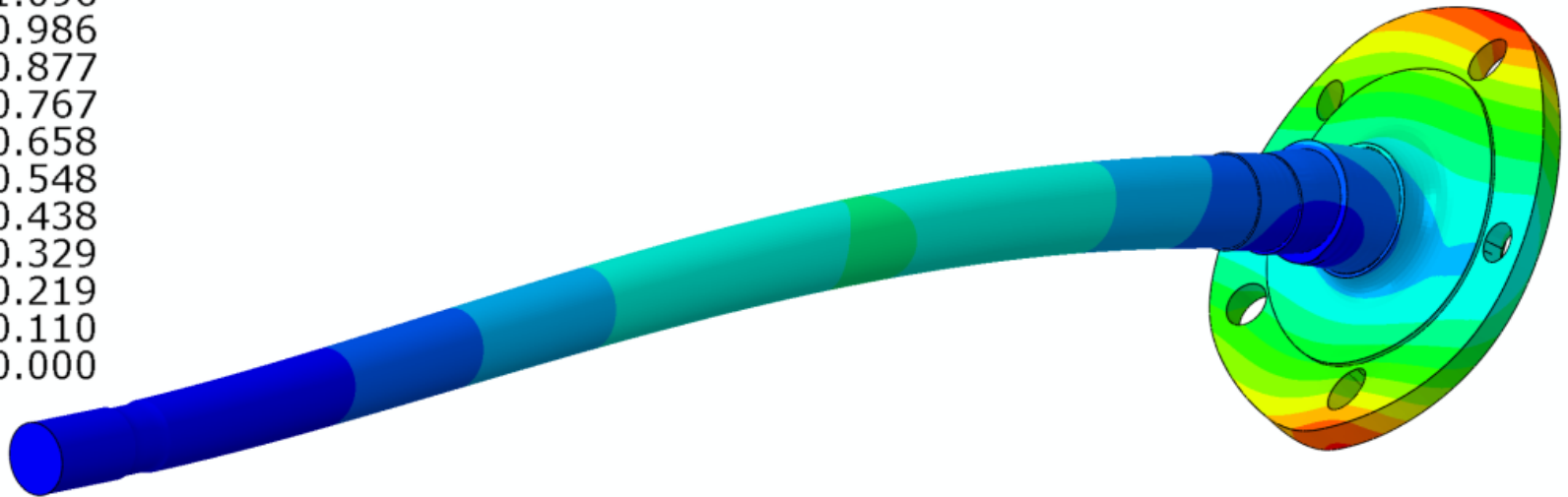
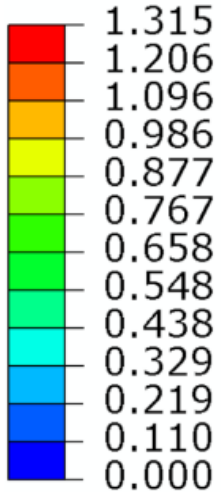
Rozkład naprężeń, po zmianie utwierdzenia bezpośrednio na powierzchni czopa, bardziej przypomina oczekiwany rozkład naprężeń przy zginaniu. Powstaje on jednak nie na czopie, na którym zasymulowano istnienie łożyska lecz na czopie bliższym kołnierza.

Tam naprężenia osiągają wartość maksymalną 561 MPa.



2. SPOSÓB NAŁOŻENIA WĘZŁÓW – DEFORMACJA

U, Magnitude

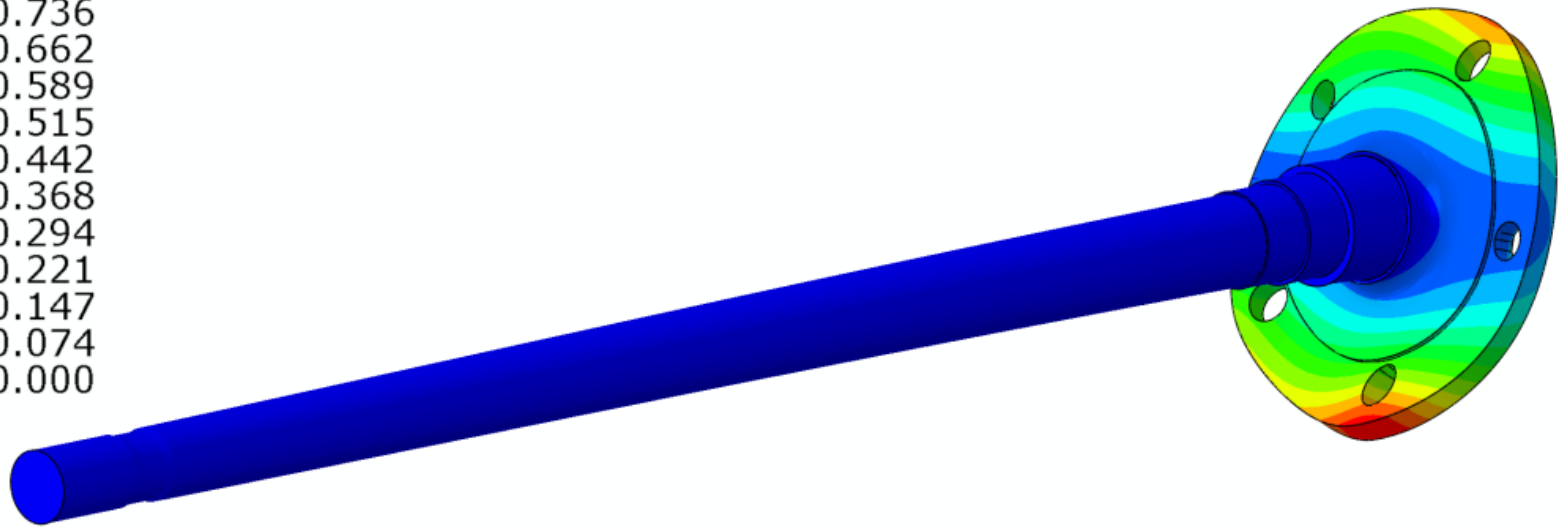
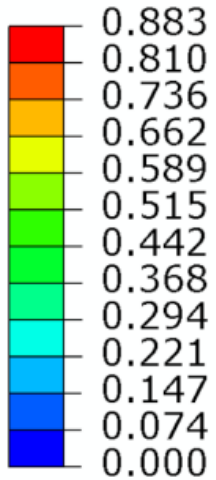


Mapa deformacji pól si w przypadku modelu z łożyskiem umieszczonym na czopie pól si



2. SPOSÓB NAŁOŻENIA WĘZŁÓW – DEFORMACJA, CD.

U, Magnitude



Mapa deformacji pólasi w przypadku nałożenia więzów bezpośrednio na powierzchnię czopa (braku łożyska na czopie pólasi)



2. SPOSÓB NAŁOŻENIA WĘZŁÓW – DEFORMACJA, WNIOSKI

Zmiana węzłów na półosi spowodowała zmianę kształtu deformacji półosi.

Symulacja nieodkształcalnego pierścienia łożyskowego doprowadziła do wygięcia całej półosi i zmiany jej profilu wzdłużnego. Maksymalne odkształcenie wyniosło ponad 1,3 mm i wystąpiło na kołnierzu.

W przypadku braku łożyska następuje zablokowanie stopni swobody na czopie łożyskowym co prowadzi do usztywnienia półosi i deformacji kątowej wyłącznie kołnierza. Jego maksymalne odkształcenie nie przekroczyło 0,9 mm.



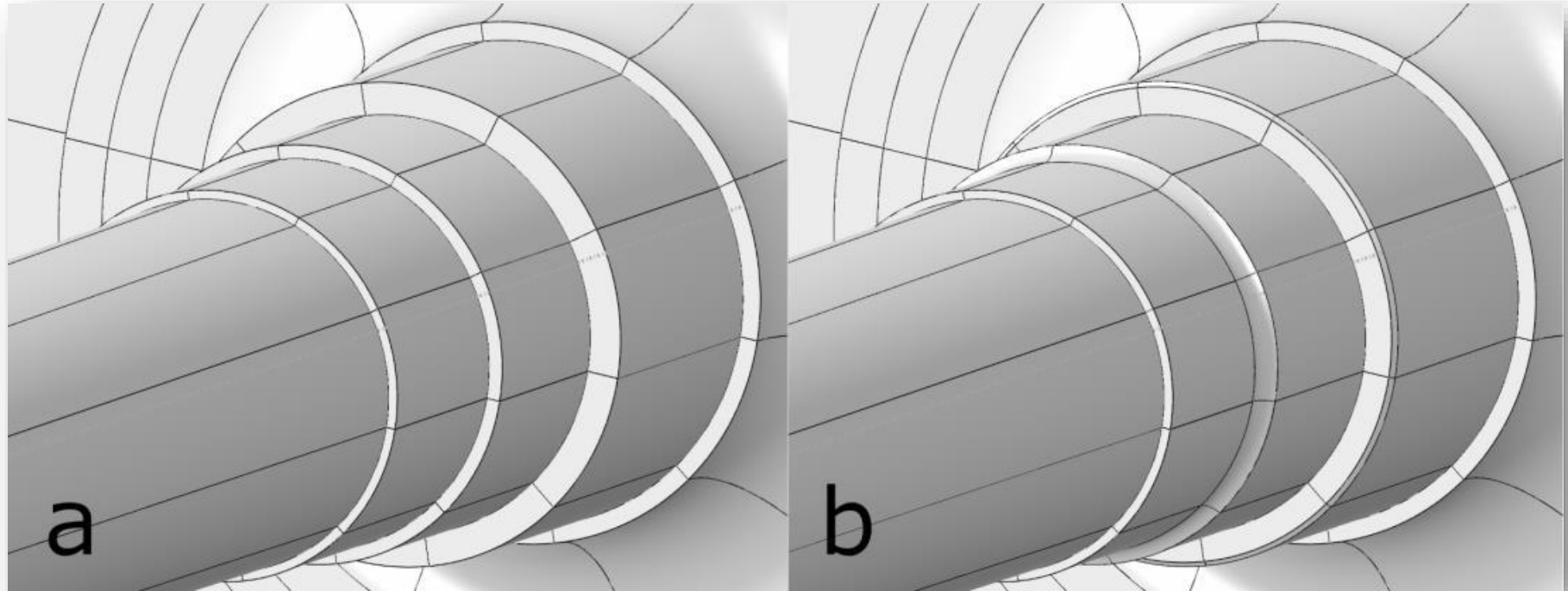
3. WYPŁYW ODDZIAŁYWANIA KARBU - ZAŁOŻENIA

Analiza polegała na ocenie wpływu wykonania sfazowania i promienia przejścia (zmniejszenia karbu) na czopie łożyskowym na wartość naprężeń powstających w materiale półosi.

Zmiana geometrii wymagała również modyfikacji siatki elementów skończonych. Do jej utworzenia potrzebne było ponowne partycjonowanie elementu oraz utworzenie walcowej partycji w środku półosi. Zagęszczono też siatkę elementów skończonych, przez co liczba elementów wyniosła 312067.



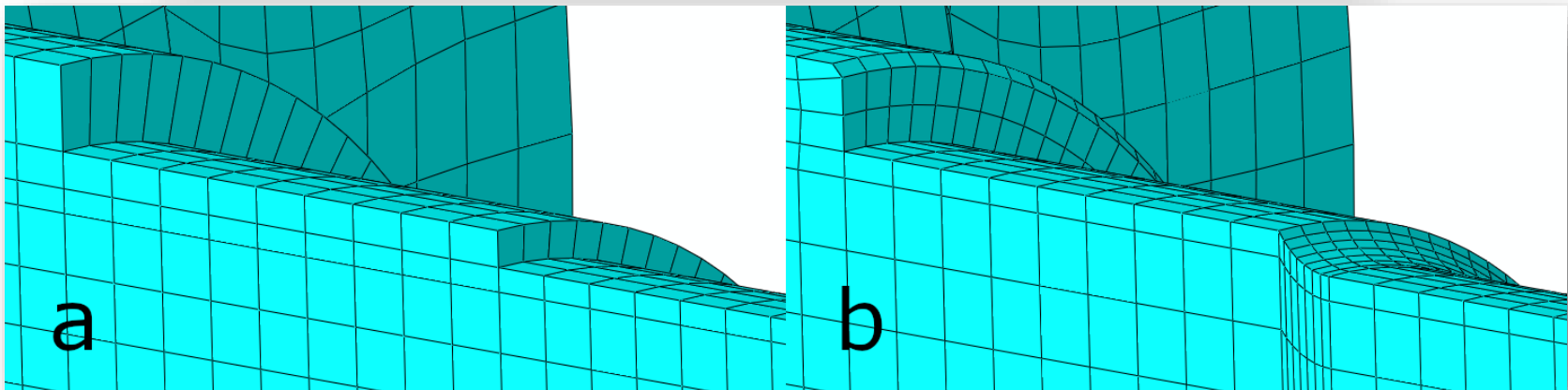
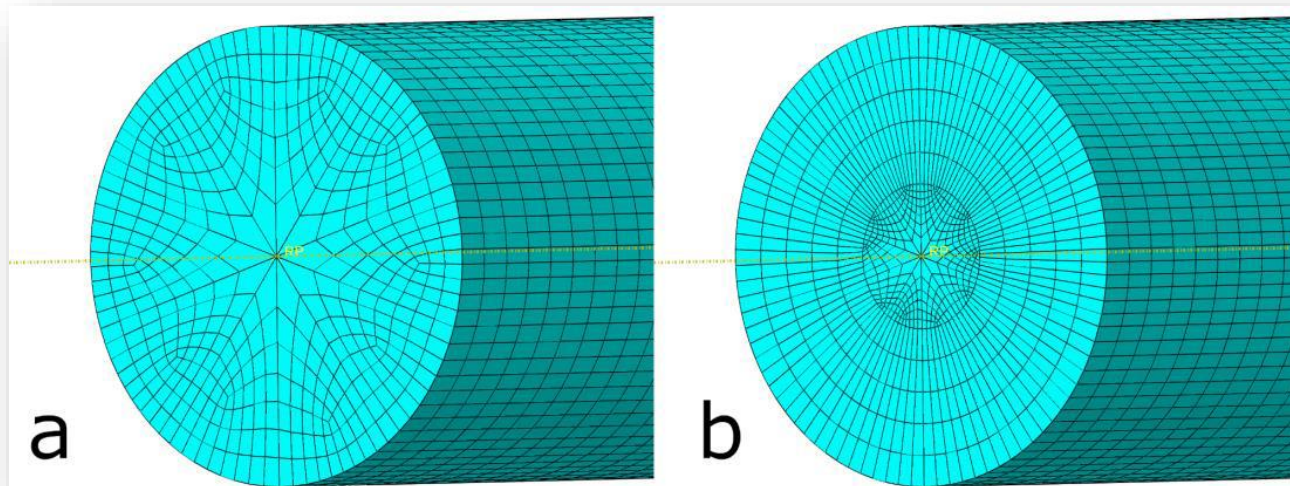
3. WYPLÝW ODDZIAŁYWANIA KARBÓW – MODEL BRYŁOWY



Model geometryczny, widok na czop łożyskowy: a – przed modyfikacją; b – po modyfikacji



3. WYPŁYW ODDZIAŁYWANIA KARBU – SIATKA ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH



Model z nałożoną siatką elementów skończonych widoczną na przekroju półosi: a – przed modyfikacją; b – po modyfikacji



3. WYPLÝW ODDZIAŁYWANIA KARBU – SPOSÓB OBCIĄŻENIA

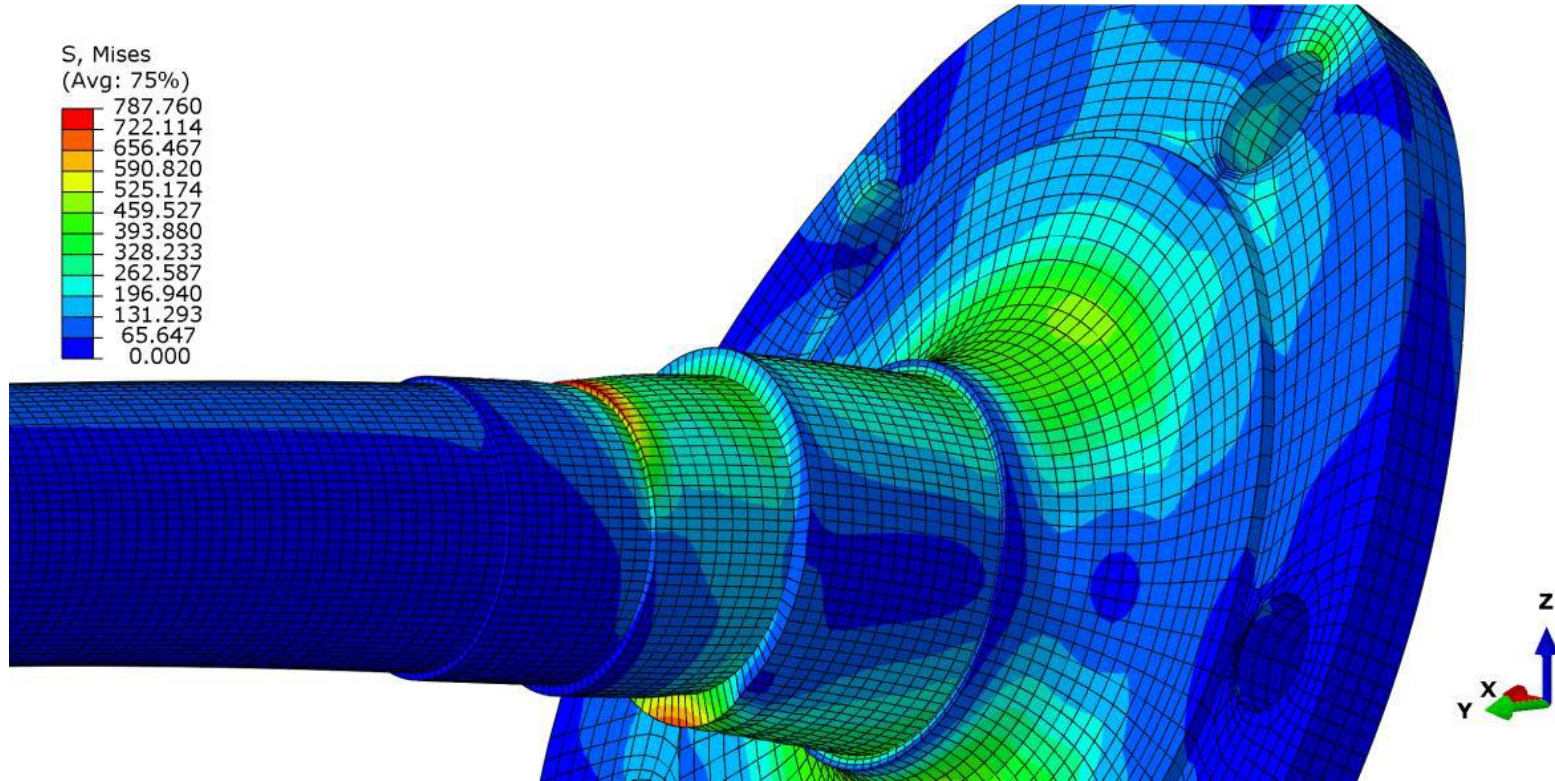
Analiza wytrzymałościowa została przeprowadzona dla przypadku obciążenia półosi maksymalną siłą boczną $F_Y = 15398,1 \text{ N}$ i odpowiadającej jej reakcji pionowej od nawierzchni drogi jej $F_Z = 15143 \text{ N}$.

Przypadek taki został wybrany ze względu na największe wartości sił obciążających w porównaniu z warunkiem maksymalnej siły napędowej i maksymalnej siły hamującej.

Obliczenia przeprowadzono dla przypadku umieszczenia łożyska na czopie.



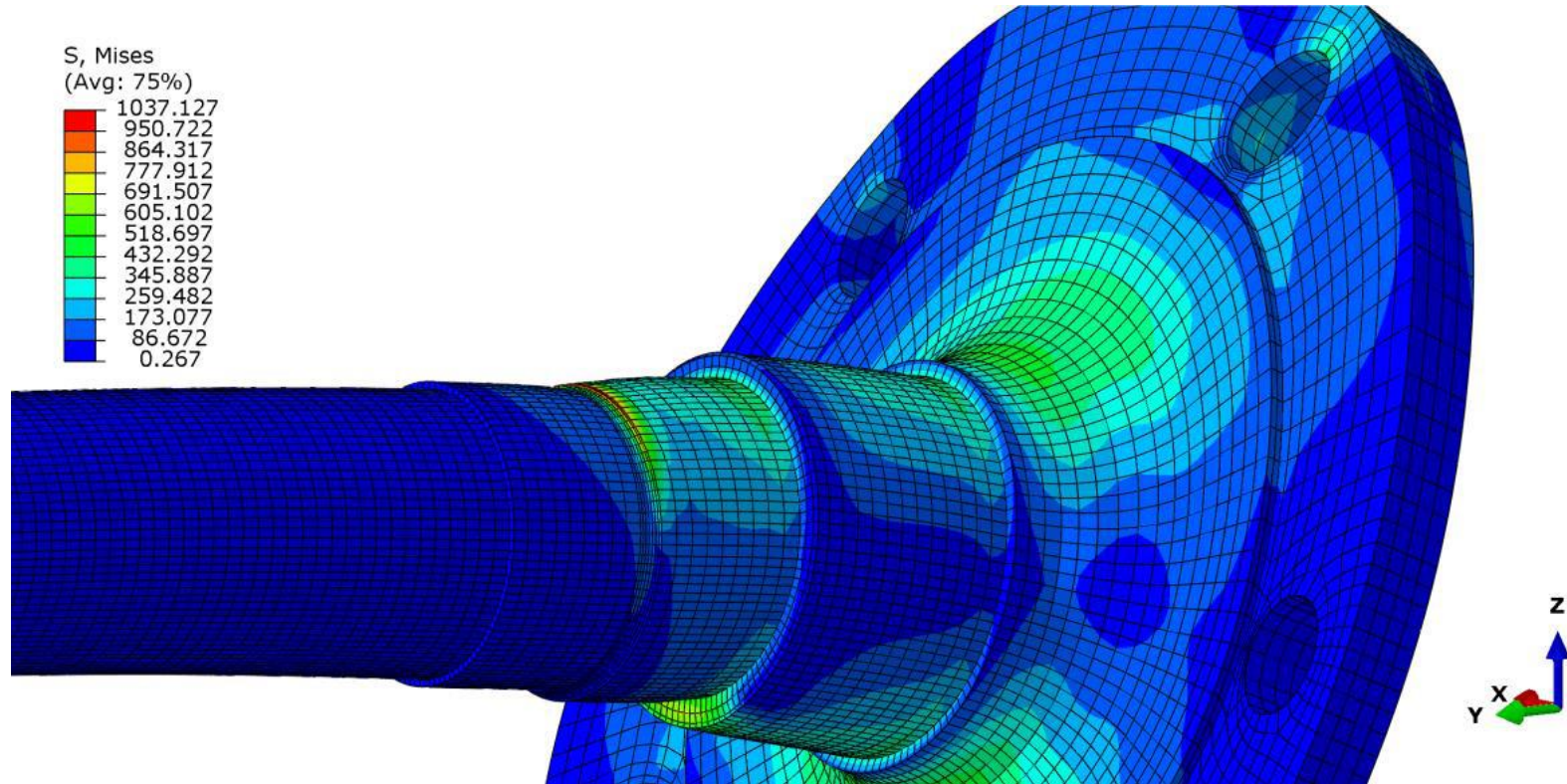
3. WYPLÝW ODDZIAŁYWANIA KARBU – WYNIKI ANALIZY WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ



Mapa naprężeń zredukowanych obserwowana dla modelu przed modyfikacją



3. WYPLÝW ODDZIAŁYWANIA KARBU – WYNIKI ANALIZY WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ, CD.



Mapa naprężeń zredukowanych obserwowana dla modelu po modyfikacji, polegającej na wykonaniu sfazowania i promienia przejścia



3. WYPŁYW ODDZIAŁYWANIA KARBU – WNIOSKI

Eliminacja karbu geometrycznego na czopie łożyskowym doprowadziła do wzrostu naprężeń, z wartości 788 MPa otrzymanej przy karbie. Spowodowane to było zagęszczeniem siatki na powierzchni przejścia promieniowego oraz na powierzchni czołowej sfazowania.

Większa liczba punktów węzłowych doprowadziła do uzyskania lokalnie wyższych wartości naprężeń (1037 MPa), lecz bardziej odpowiadających rzeczywistości.



4. SPOSÓB ZADANIA OBCIĄŻENIA - ZAŁOŻENIE

Do analizy przyjęto dwie wersje obciążenia:

a - Przyłożono siłę pionową $F_z = 5862,8$ N, działającą w kierunku osi Z, oraz moment skręcający

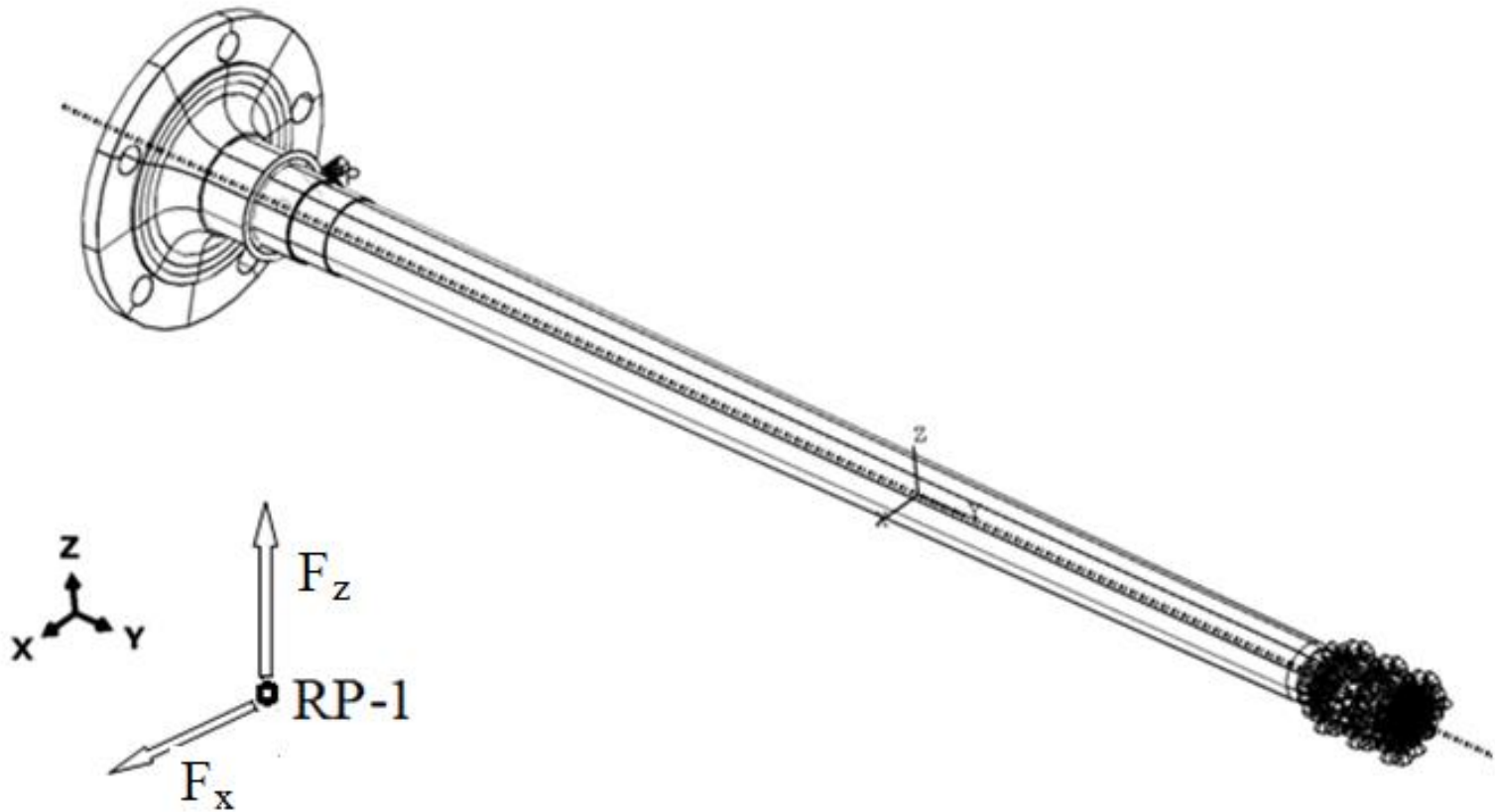
$M_y = 1.71E+6$ N mm wokół osi Y.

b - Obciążono element siłą pionową działającą w kierunku osi Z, $F_z = 5862,8$ N oraz przyłożono siłę obwodową $F_x = 5200,2$ N działającą w kierunku osi X, która powodowała skręcanie półosi.

Wartości sił zostały obliczone dla warunku obciążenia półosi maksymalną siłą hamującą.



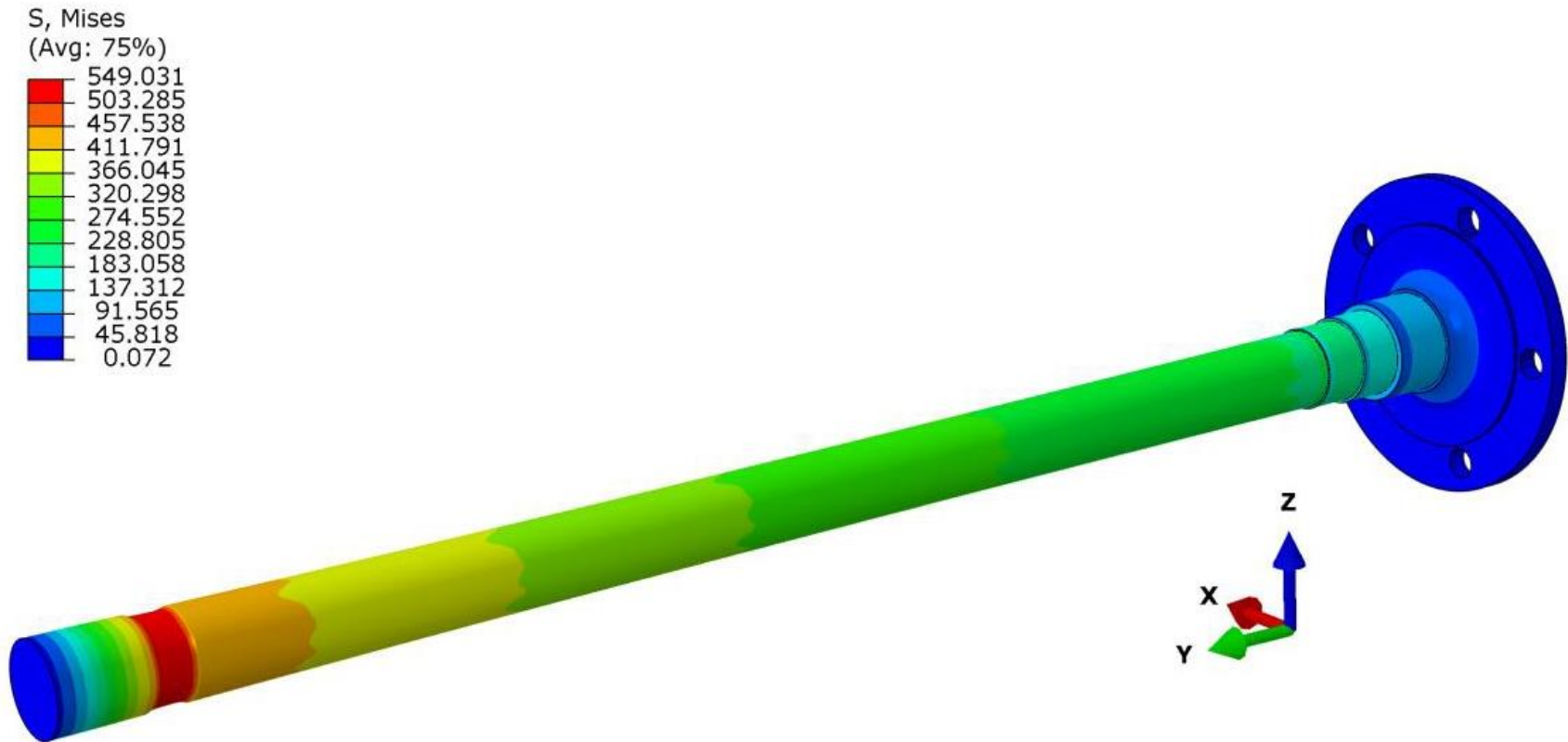
4. SPOSÓB ZADANIA OBCIĄŻENIA – WIZUALIZACJA DZIAŁANIA SIŁ



Siły obciążające półoś: F_z – siła pionowa, reakcja od nawierzchni,
 F_x – siła obwodowa hamująca, RP-1 – punkt referencyjny.
Utwierdzenie na wielowypuście



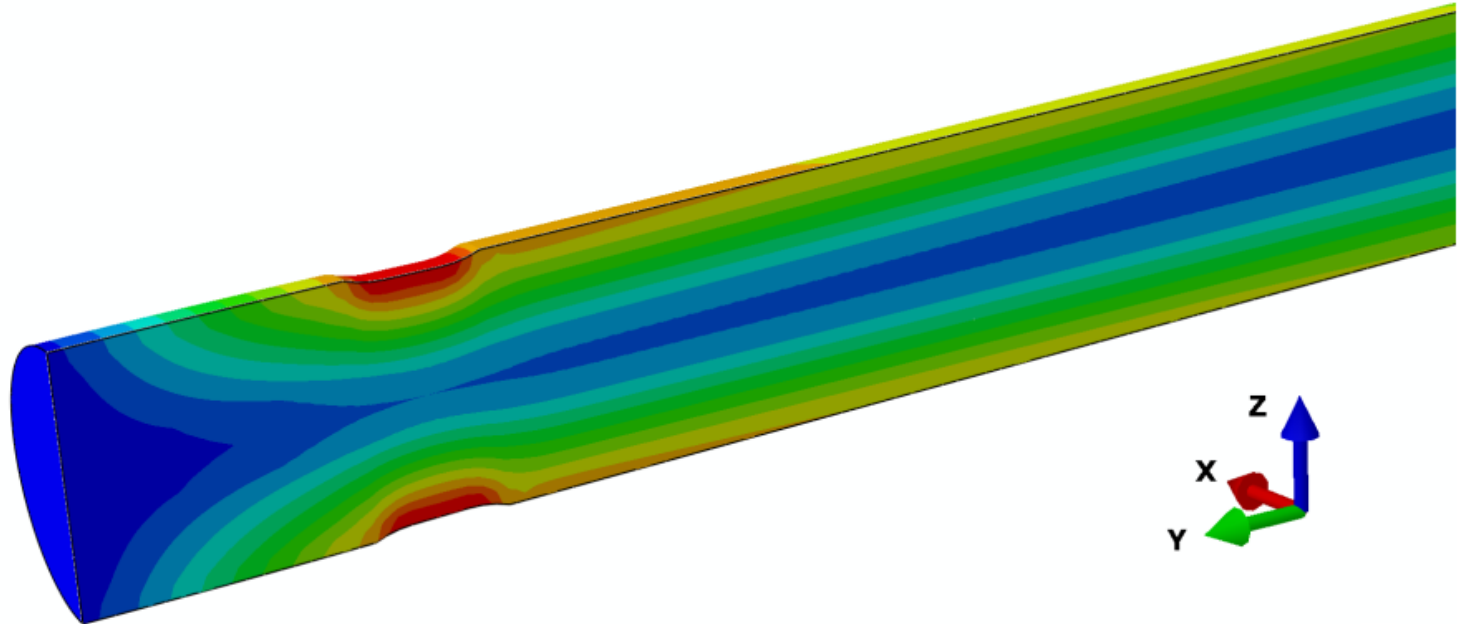
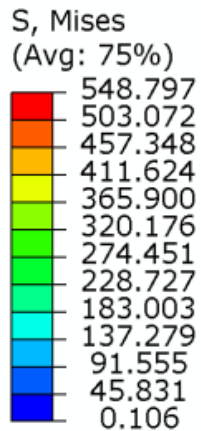
4. SPOSÓB ZADANIA OBCIĄŻENIA – WYNIKI ANALIZY WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ



Mapa naprężeń obliczonych według hipotezy HMM dla modelu obciążonego siłą pionową F_z i momentem od siły obwodowej M_y



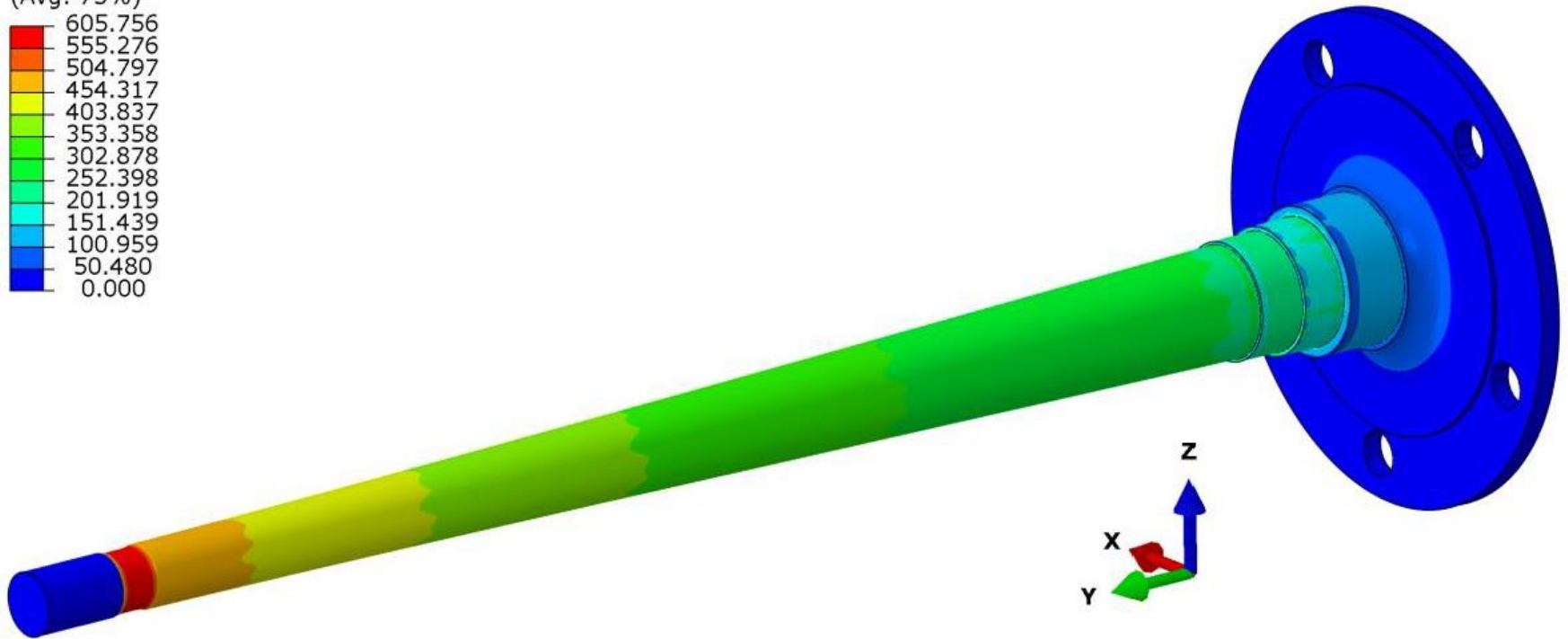
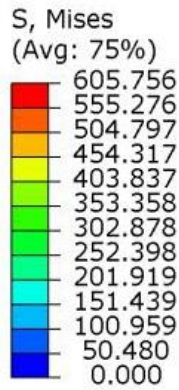
4. SPOSÓB ZADANIA OBCIĄŻENIA – WYNIKI ANALIZY WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ, CD.



Mapa naprężeń obliczonych według hipotezy HMH w miejscu wykonania wielowypustu w przypadku modelu obciążonego siłą pionową F_z i momentem od siły obwodowej M_Y



4. SPOSÓB ZADANIA OBCIĄŻENIA – WYNIKI ANALIZY WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ, CD.

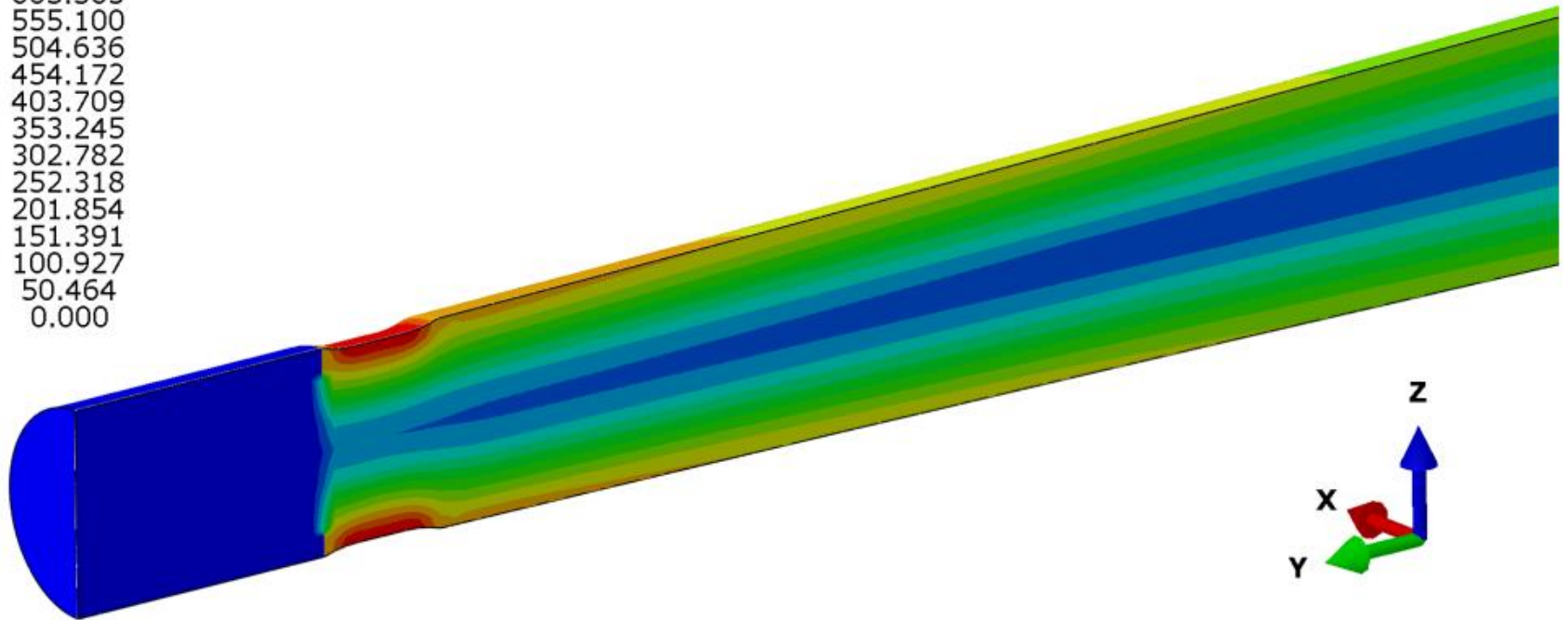
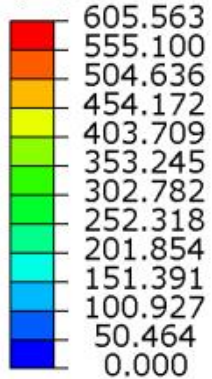


Mapa naprężeń obliczonych według hipotezy HMM dla modelu obciążonego siłą obwodową F_x i reakcją pionową od nawierzchni drogi F_z



4. SPOSÓB ZADANIA OBCIĄŻENIA – WYNIKI ANALIZY WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ, CD.

S, Mises
(Avg: 75%)



Mapa naprężeń obliczonych według hipotezy HMM w miejscu wykonania wielowypustu w przypadku obciążenia modelu siłą obwodową F_x i reakcją pionową od nawierzchni drogi F_z



4. SPOSÓB ZADANIA OBCIĄŻENIA – WNIOSKI

Różnica w zadanych warunkach brzegowych spowodowała różny stopień deformacji pólci. Dla zobrazowania tego efektu przeskalowano uzyskane deformacje. Obciążony momentem M_Y i siłą F_Z element „puchnie” w okolicy wielowypustu, a w modelu obciążonym siłami F_X i F_Z – deformacja jest największa na czopach przy kołnierzu.

W obu przypadkach, największe naprężenia w pólci występują w okolicy przewężenia przy wielowypuście i wynoszą odpowiednio 550 MPa i 606 MPa



PODSUMOWANIE

Prezentacja zawiera porównanie parametrów wytrzymałościowych, mających na celu wskazanie niektórych przyczyn powstawania różnic w wynikach podczas modelowania MES. W toku analiz porównywano wartości i miejsca wystąpień naprężeń maksymalnych oraz profile odkształcenia i maksymalne przemieszczenia węzłów. Wykazano, że różnice w wynikach nie zawsze są spowodowane uproszczeniami modelu geometrycznego lub też błędami geometrii powstającymi podczas importu modelu.

Różnice w rozkładach naprężeń mogą mieć swe źródło w sposobie nakładania węzłów i ograniczeniach przemieszczeń. Udowodniono także, że wartości naprężeń maksymalnych zależą od miejsca zdefiniowania punktów referencyjnych i przypisywania do tych punktów obciążenia.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

Walidacja obliczeń MES na przykładzie analizy wytrzymałościowej pólasi napędowej

POLITECHNIKA LUBELSKA
Katedra Inżynierii Materiałowej
dr inż. Kazimierz Drozd
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
i Mechatroniki
dr inż. Aleksander Nieoczym

Projekt „ Politechnika Lubelska – Regionalna Inicjatywa Doskonałości”
– finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo
Nauki
i Szkolnictwa
Wyższego

