Seminarium dyplomowe

Prezentacja wyników MES

opracował:
dr hab. inż. Paweł JASION
e-mail: pawel.jasion@put.poznan.pl

Politechnika Poznańska
Instytut Mechaniki Stosowanej
Zakład Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji

Ansys

Źródła oprogramowania dla studentów:

- oprogramowanie w wersji studenckie na stronie Ansysa https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student
- licencja uczelniana dla studentów https://mesco.com.pl/strefa-akademicka/dostep-do-licencji-ansys-na-uczelniach-wyzszych

Plan prezentacji

Zdefiniowanie problemu

Przygotowanie modelu

Przedstawienie wyników

Co powinien zawierać raport z badań MES?

Zdefiniowanie problemu

Analiza MES powinna być poprzedzona

- opisem problemu – co w analizowanej konstrukcji stanowi problem, co chcemy poprawić
- wyjaśnienie, dlaczego niezbędna jest analiza MES
- uzasadnieniem wyboru typu analizy
- charakterystyką oczekiwanych danych wyjściowych

Zdefiniowanie problemu

Przykład

Problem: dobrać klucz do montażu mebli.

Parametry klucza:

- długość
- przekrój poprzeczny
- materiał



Zjawiska fizyczne

- zgięcie i skręcenie klucza
- skręcenie śruby
- zerwanie łba śruby
- zużycie klucza i gniazda śruby

Zdefiniowanie problemu

Analiza liniowa czy nieliniowa

Analiza statyczna może być przeprowadzona jako liniowa lub nieliniowa. Decyduje o tym macierz sztywności.

Analiza liniowa

macierz sztywności jest wyznaczana na początku analizy i nie zmienia się w jej trakcie; macierz nie zależy od przemieszczenia

Analiza nieliniowa

macierz sztywności (sztywność konstrukcji) zmienia się w czasie analizy; macierz zależy od przemieszczenia; macierz jest obliczana w każdym kroku analizy

Zdefiniowanie problemu

Analiza liniowa czy nieliniowa

Składniki zawarte w macierzy sztywności mają postać:

$$\frac{EA}{l}, \frac{EI}{l^3} \ldots$$

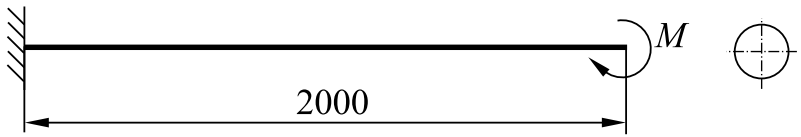
Zatem, możliwe są dwa źródła nieliniowości:

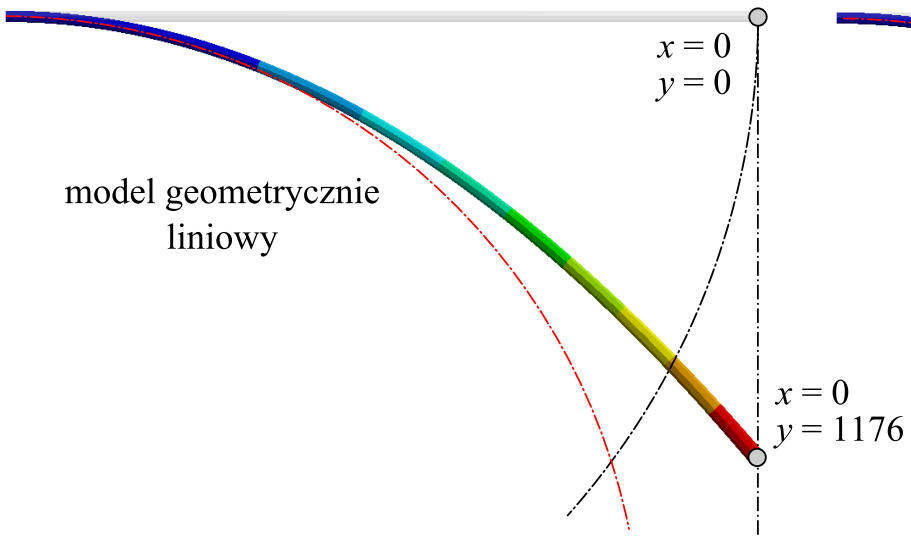
- nieliniowość geometryczna – nieliniowe zachowanie konstrukcji wywołane dużymi przemieszczeniami lub odkształceniami
- nieliniowość materiałowa – nieliniowe zachowanie materiału wywołane deformacją plastyczną, zmianą temperatury, płynięciem

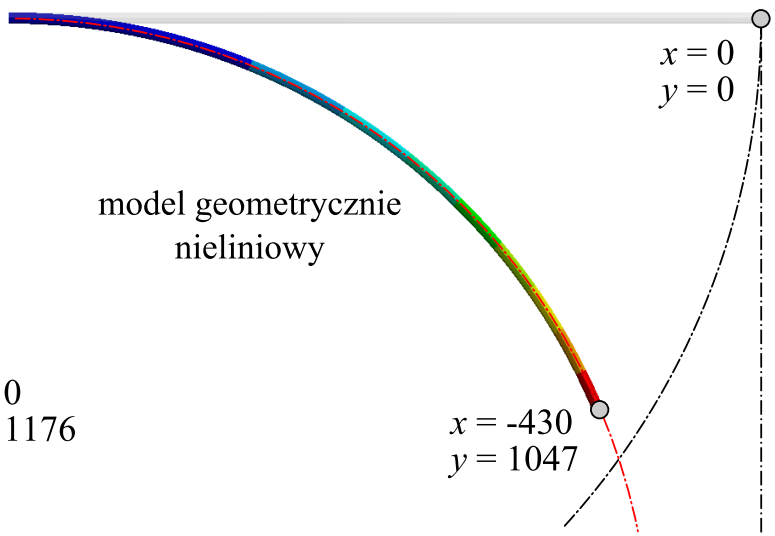
Zdefiniowanie problemu

Analiza liniowa czy nieliniowa

- przy dużych przemieszczeniach punktów konstrukcji, analiza liniowa nie odwzoruje rzeczywistych przemieszczeń







Przygotowanie modelu

Przygotowanie geometrii

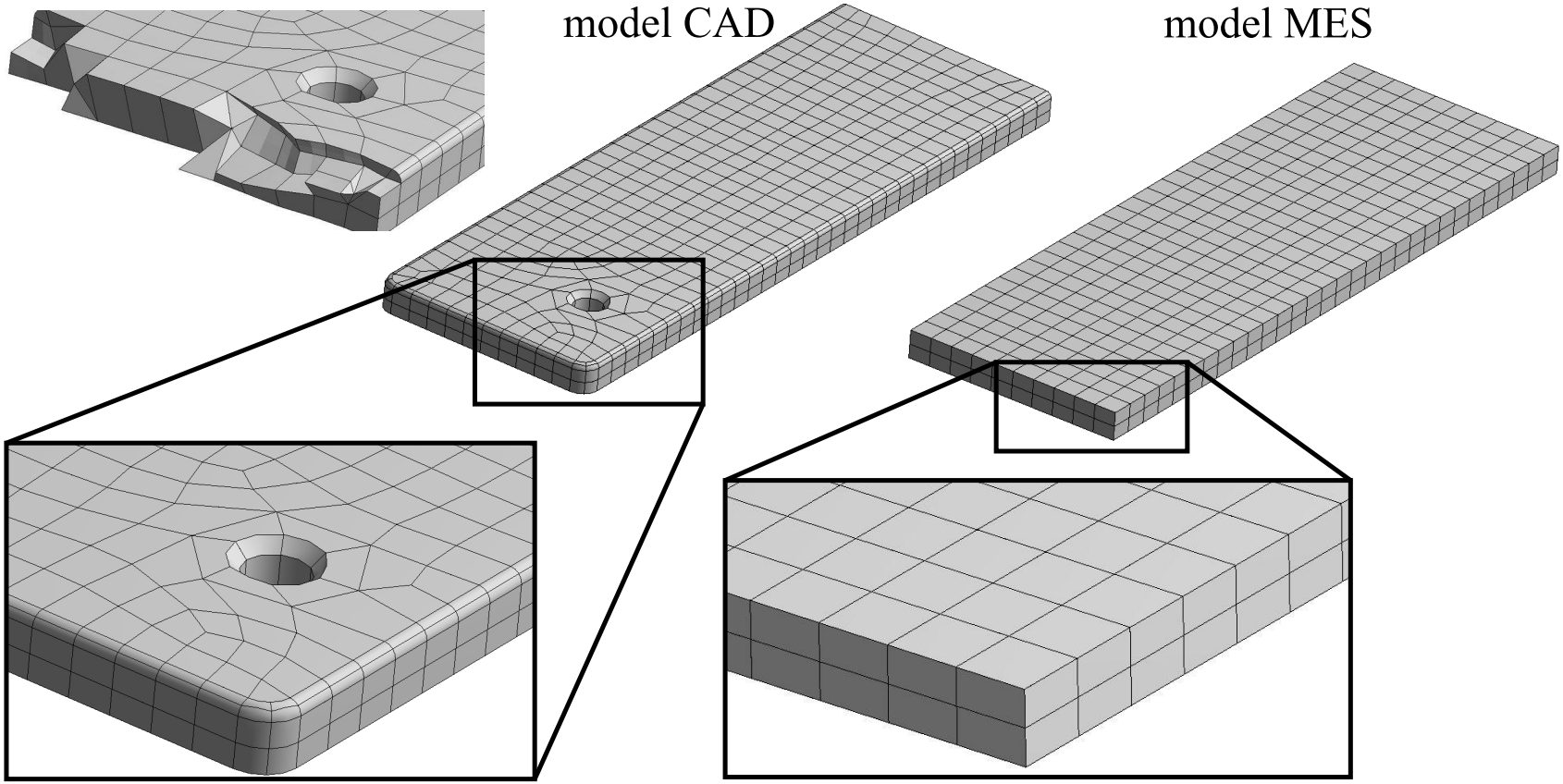
Model CAD i model MES przeznaczone są do różnych celów, w związku z czym stawia się im różne wymagania.

Wymagania stawiane modelom:

- model CAD
  - musi zawierać wszystkie informacje niezbędne przy wytwarzaniu elementu lub złożenia
- model MES
  - musi być możliwy od dyskretyzacji
  - umożliwiać stworzenie siatki odwzorowującej istotne obszary (szczegóły)
  - umożliwiać stworzenie siatki, którą można rozwiązać w rozsądnym czasie

Przygotowanie modelu

Przygotowanie geometrii – CAD-MES

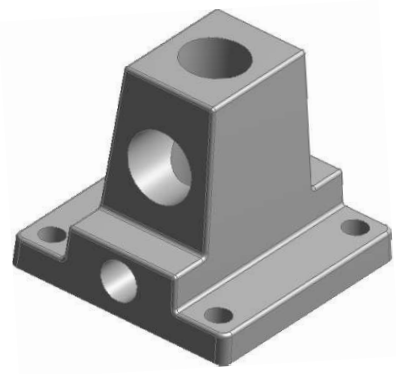


Przygotowanie modelu

Etapy modelowania

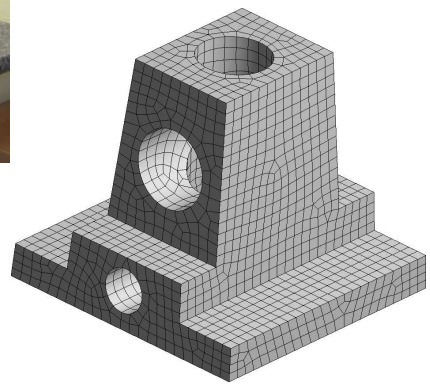


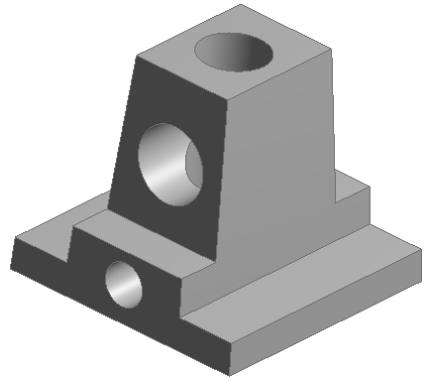




model fizyczny

model CAD





model MES

model matematyczny

Przygotowanie modelu

Przygotowanie geometrii

Geometrię do analizy MES można pozyskać na dwa sposoby:

- budowa modelu w systemie MES
  - zalety – możliwość parametryzacji modelu, łatwa modyfikacja modelu
  - wady – długi czas przygotowania modelu od podstaw
- import istniejącego modelu
  - zalety – użycie istniejącego modelu (krótki czas przygotowania modelu)
  - wady – utrudniona modyfikacja modelu, brak parametryzacji modelu, ukryte wady modelu (import z błędami)

Przygotowanie modelu

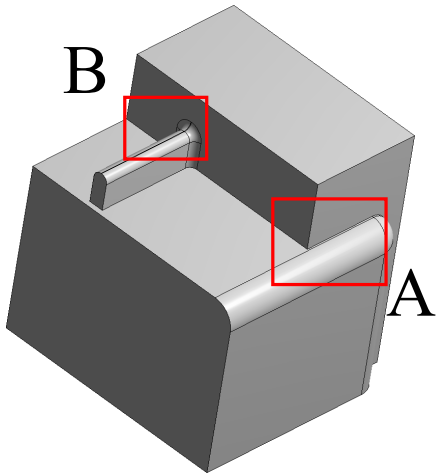
Przygotowanie geometrii

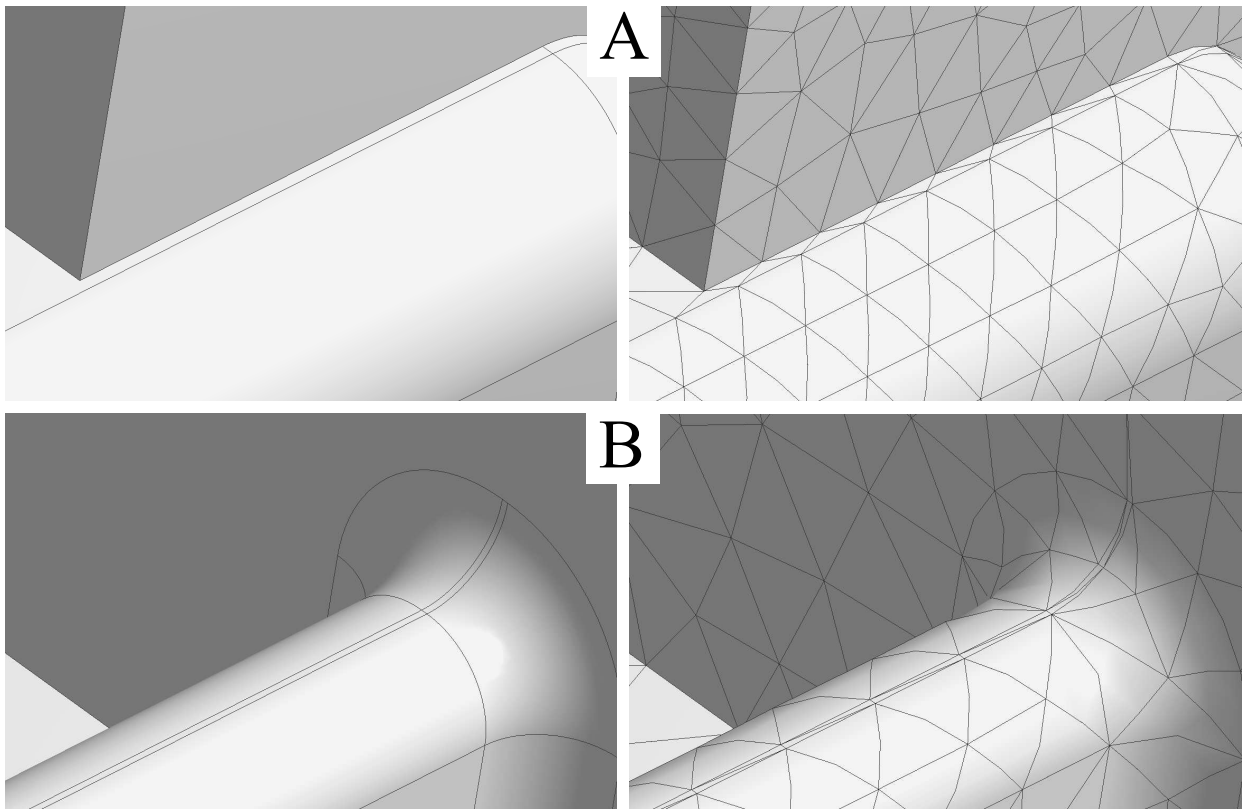
Przejście od modelu CAD do modelu MES wymaga:

- usunięcia nieistotnych szczegółów
  - otworów, zaokrągleń, sfazowań
- idealizacji
  - zmniejszenie wymiarowości, zastosowanie symetrii
- czyszczenia modelu
  - usunięcie nieciągłości po operacjach Boolowskich

Przygotowanie modelu

Przygotowanie geometrii – usuwanie małych powierzchni

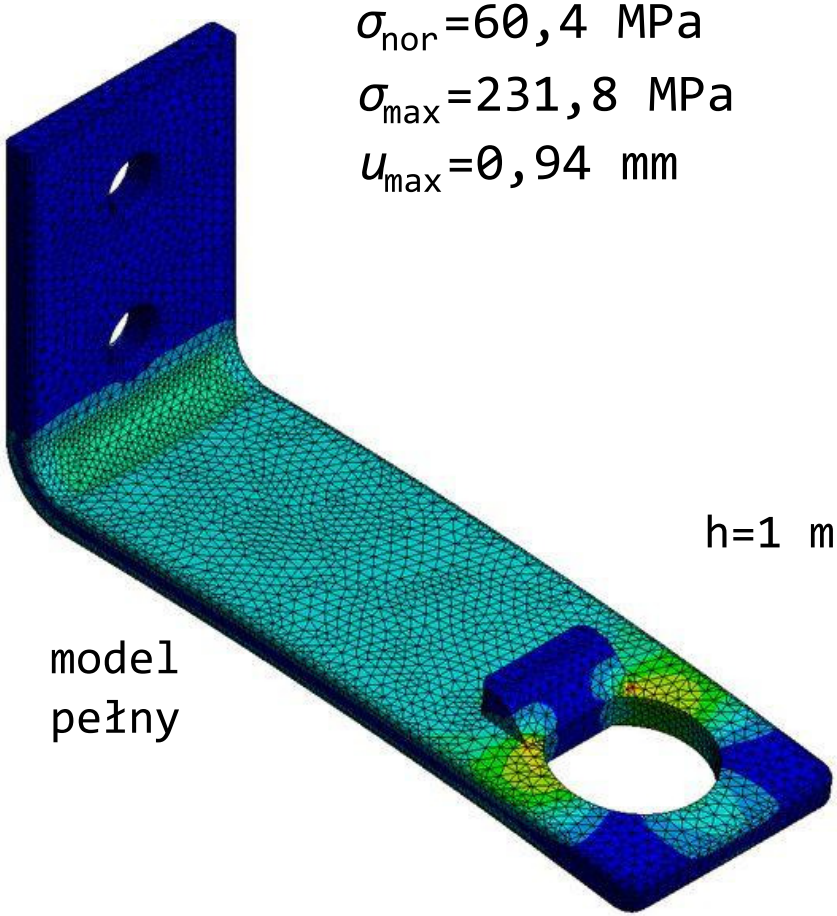




Przygotowanie modelu

Przykład uproszczenia

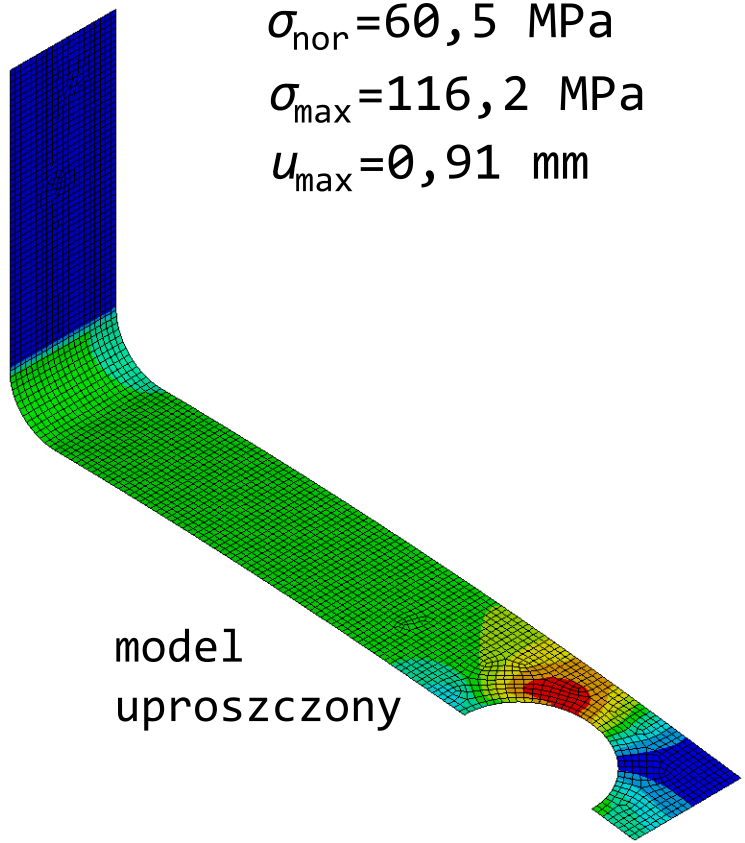
liczba el. = 74380
czas zegarowy = 13 s
czas procesora = 17 s
σ_{nor}=60,4 MPa
σ_{max}=231,8 MPa
u_{max}=0,94 mm



model pełny

h=1 mm

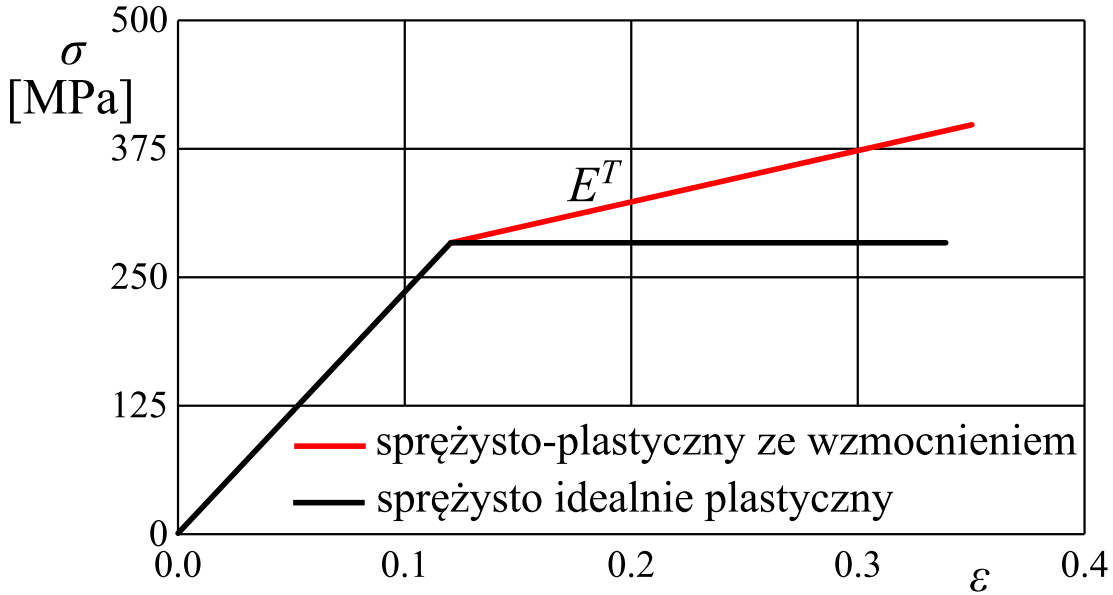
liczba el. = 10023
czas zegarowy = 6 s
czas procesora = 5,9 s
σ_{nor}=60,5 MPa
σ_{max}=116,2 MPa
u_{max}=0,91 mm



model uproszczony

Przygotowanie modelu

Model materiału – sprężysto-plastyczny



Parametry:

- E
- ν
- R_e
- E^T

- zastosowania:
  - analiza nośności granicznej
  - nieliniowa analiza stateczności – zniszczenie

Przygotowanie modelu

Model podparcia

Definiowanie podparcia modelu polega na odbieraniu stopni swobody w wybranych węzłach. Wprowadzone do modelu warunki podparcia powinny odzwierciedlać warunki rzeczywiste.

Należy pamiętać aby:

- uniemożliwić ruch modelu jako całości
- odebrać najmniejszą konieczną liczbę stopni swobody, aby nie przesztywnić modelu

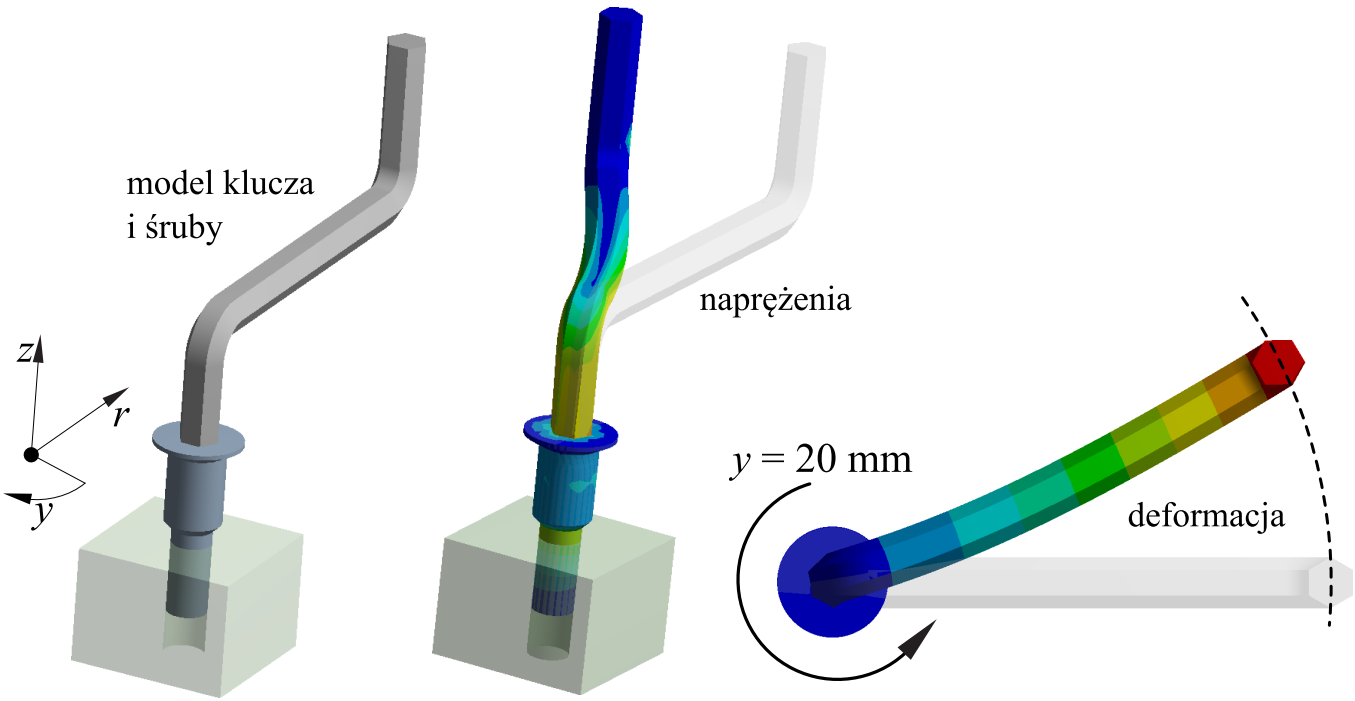
Równowaga warunkowa – równowaga konstrukcji uzyskana symetrycznym obciążeniem, bez odpowiedniego podparcia

Przygotowanie modelu

Model podparcia

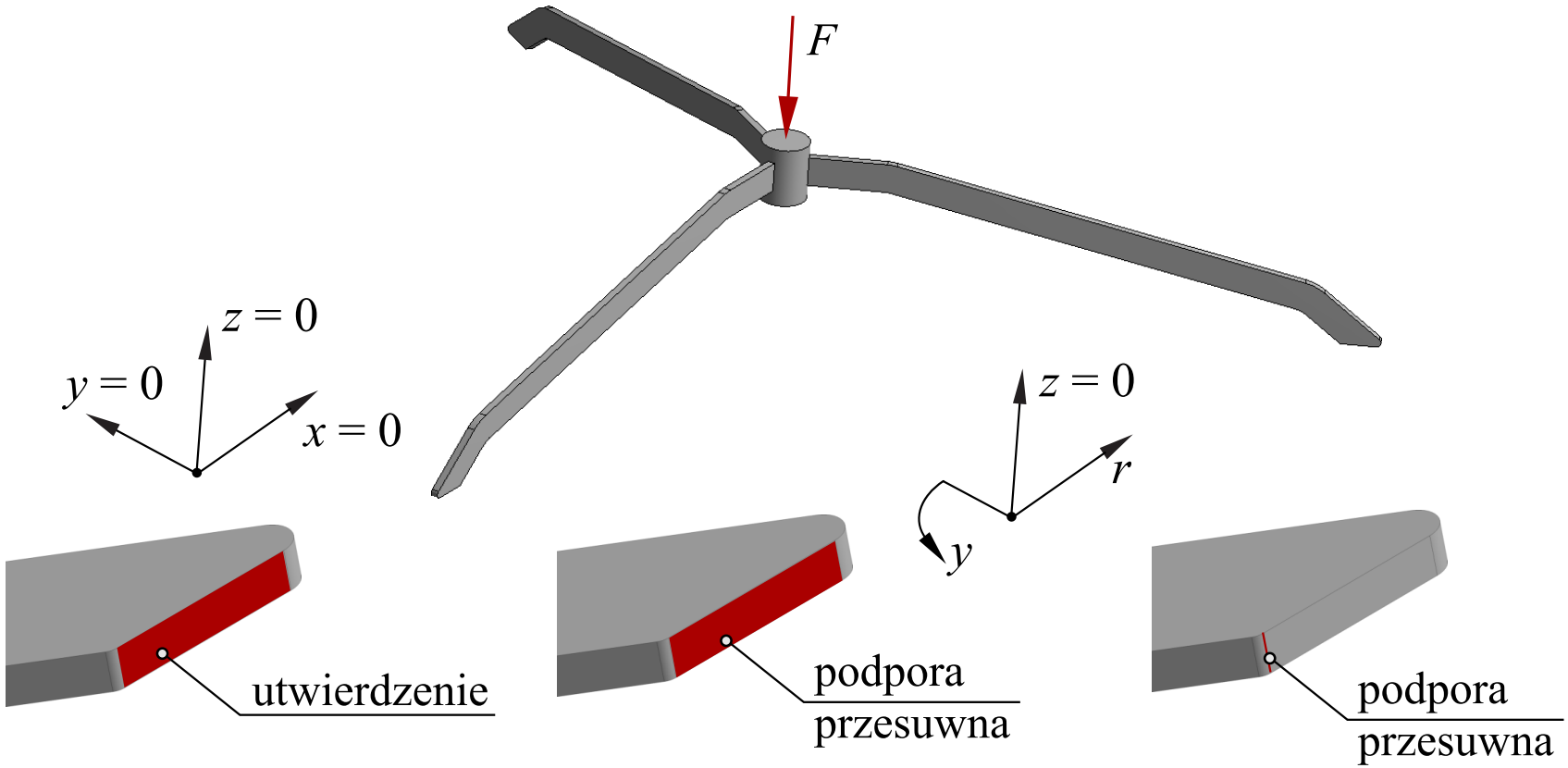
Należy pamiętać, że:

- podparcie musi być realizowane w takim układzie współrzędnych, który odwzoruje zakładany ruch względem stopni swobody



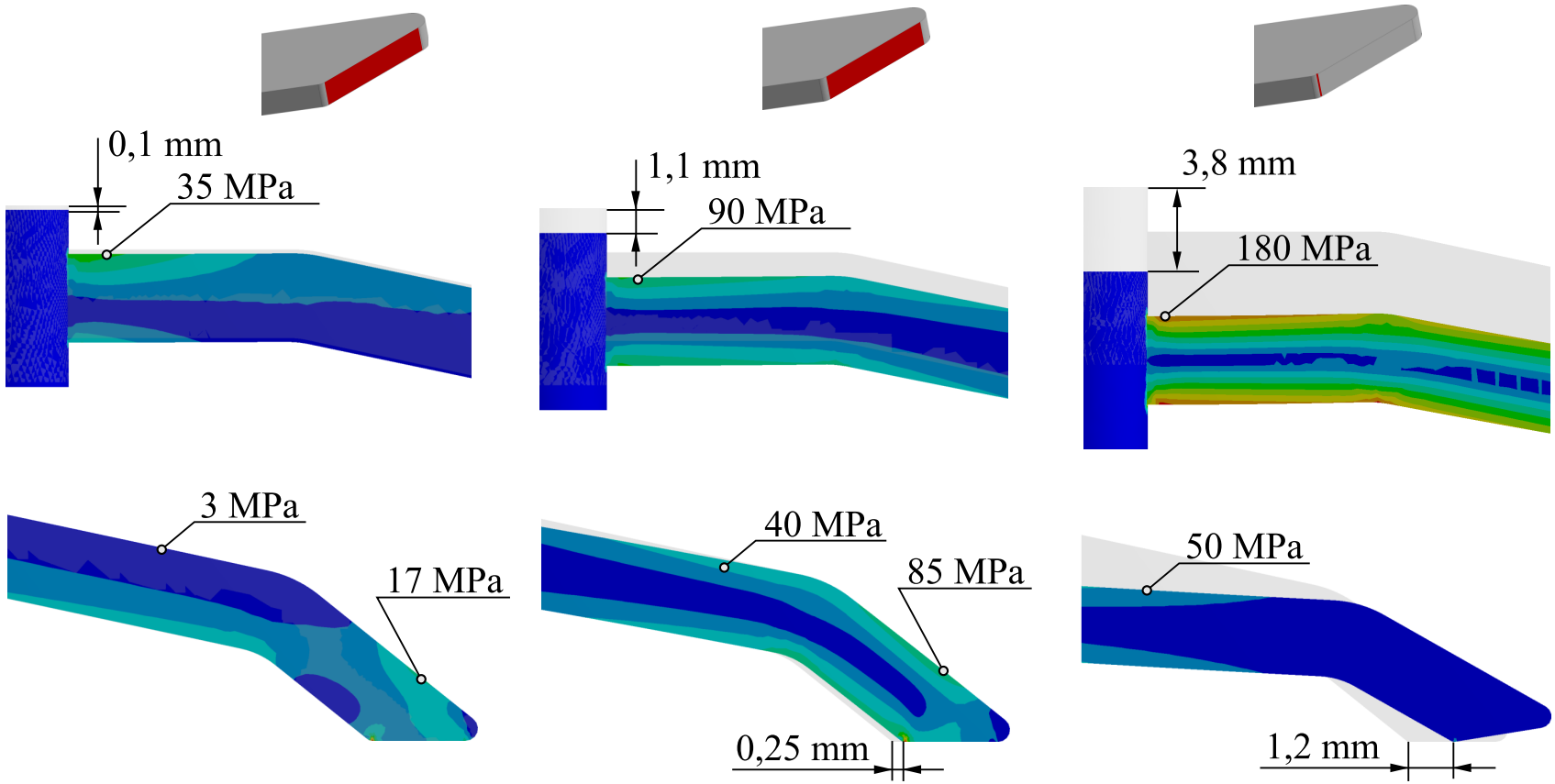
Przygotowanie modelu

Model podparcia



Przygotowanie modelu

Model podparcia



Przygotowanie modelu

Model obciążenia

Rodzaje obciążeń:

- skupione (siła lub moment skupione w punkcie)
- rozłożone wzdłuż linii lub powierzchni (ciśnienie)
- objętościowe (przyspieszenie – siła odśrodkowa, grawitacja)
- temperatura

Realizacja obciążenia:

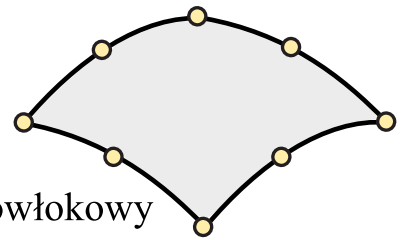
- każde obciążenie jest ostatecznie sprowadzane do węzłów
- obciążenie ciągłe przyłożone do modelu jest w rzeczywistości obciążeniem dyskretnym

Przygotowanie modelu

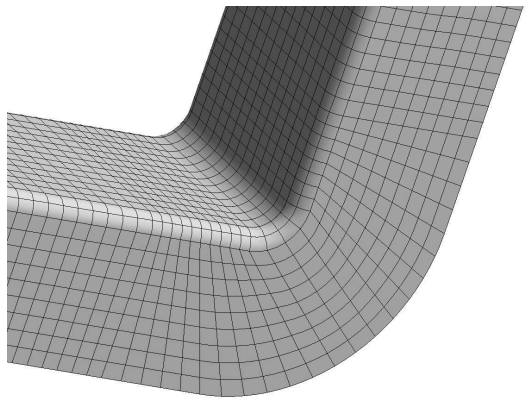
Przygotowanie siatki elementów skończonych

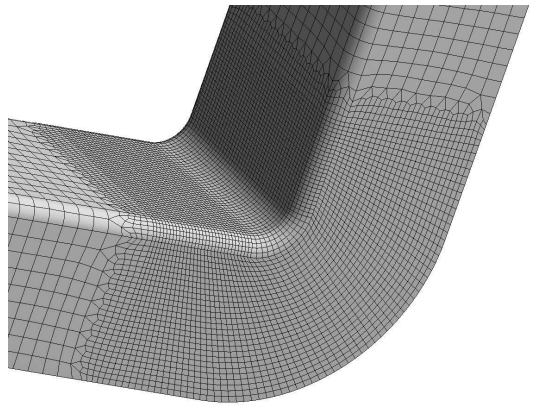
Siatka

- opis elementu (typ, liczba węzłów, liczba stopni swobody, funkcja kształtu)
- rozmiar elementu (globalny i lokalny)
- analiza zbieżności rozwiązania



element powłokowy
- shell 281
- 6 stopni swobody
- 8 węzłów

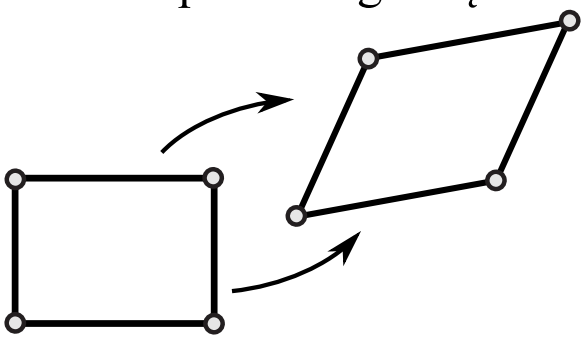


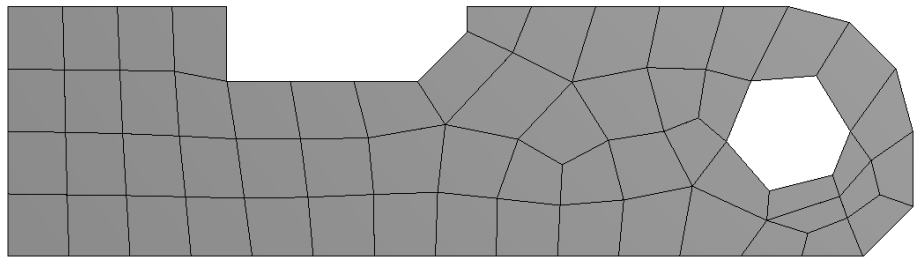


Przygotowanie modelu

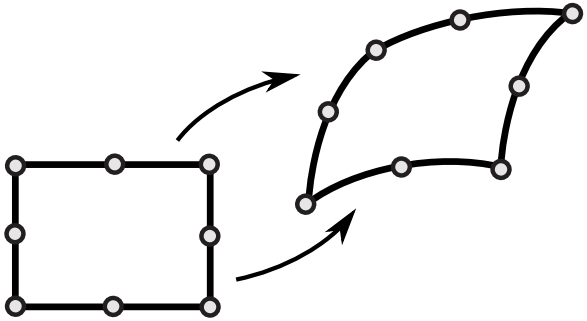
Przygotowanie siatki elementów skończonych – rząd elementu

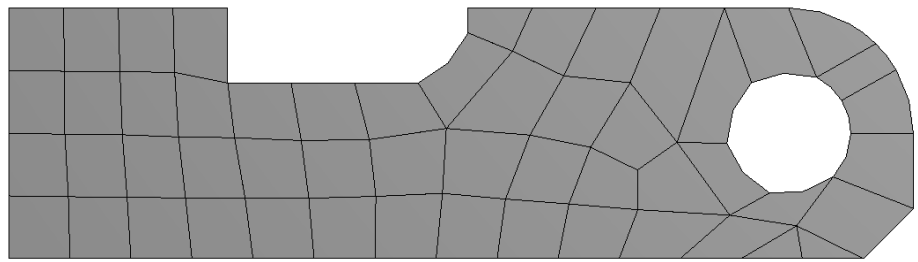
element pierwszego rzędu





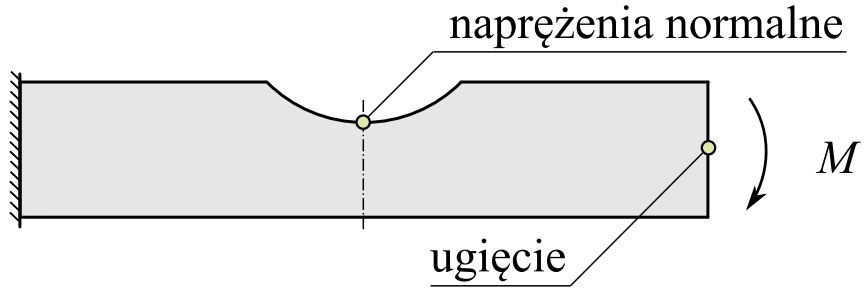
element drugiego rzędu

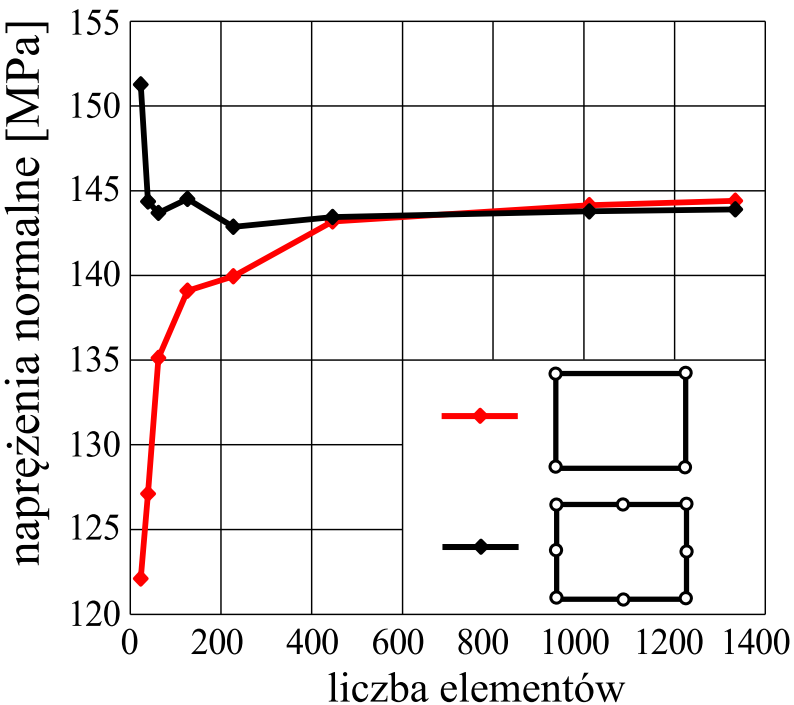


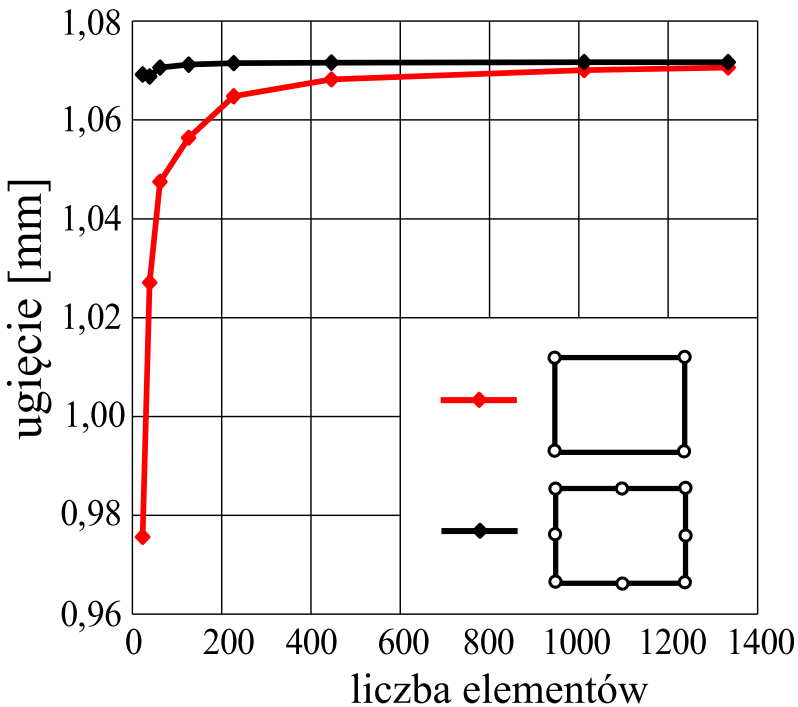


Przygotowanie modelu

Przygotowanie siatki elementów skończonych – zbieżność

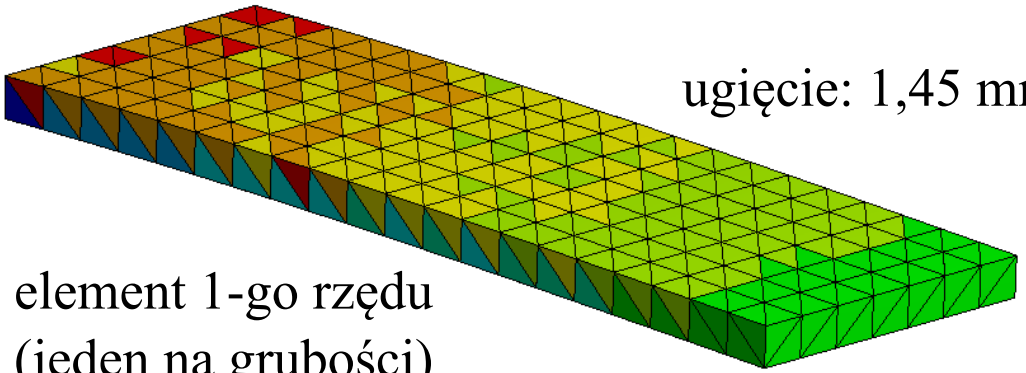






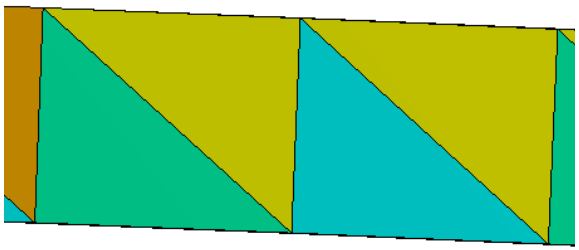
Przygotowanie modelu

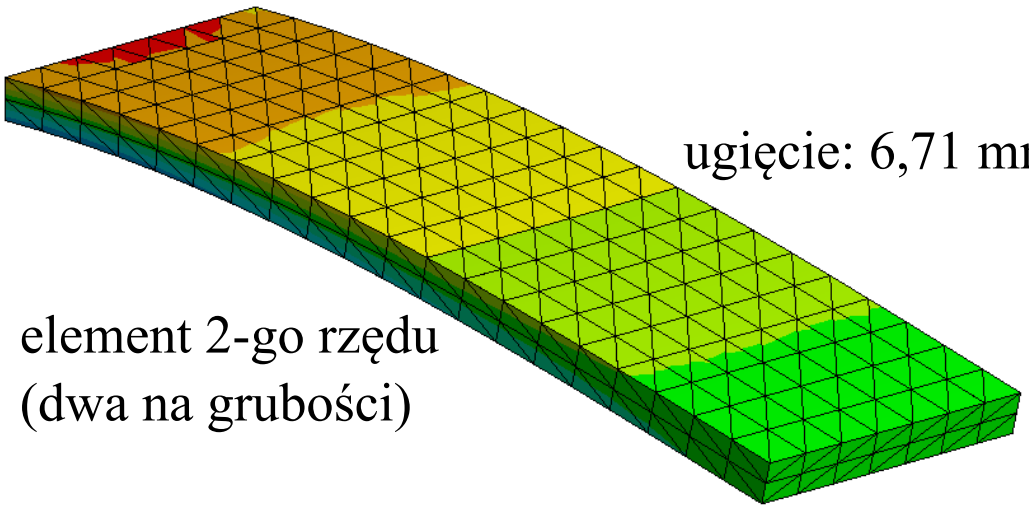
Przygotowanie siatki elementów skończonych – źle dobrany element



ugięcie: 1,45 mm

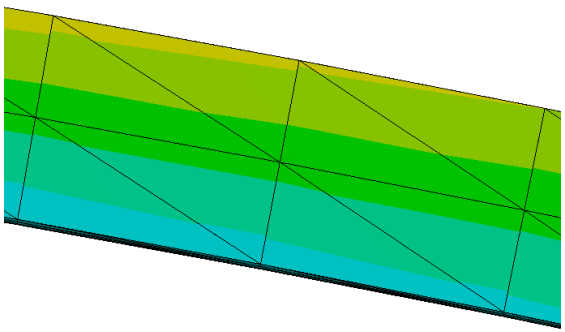
element 1-go rzędu
(jeden na grubości)





ugięcie: 6,71 mm

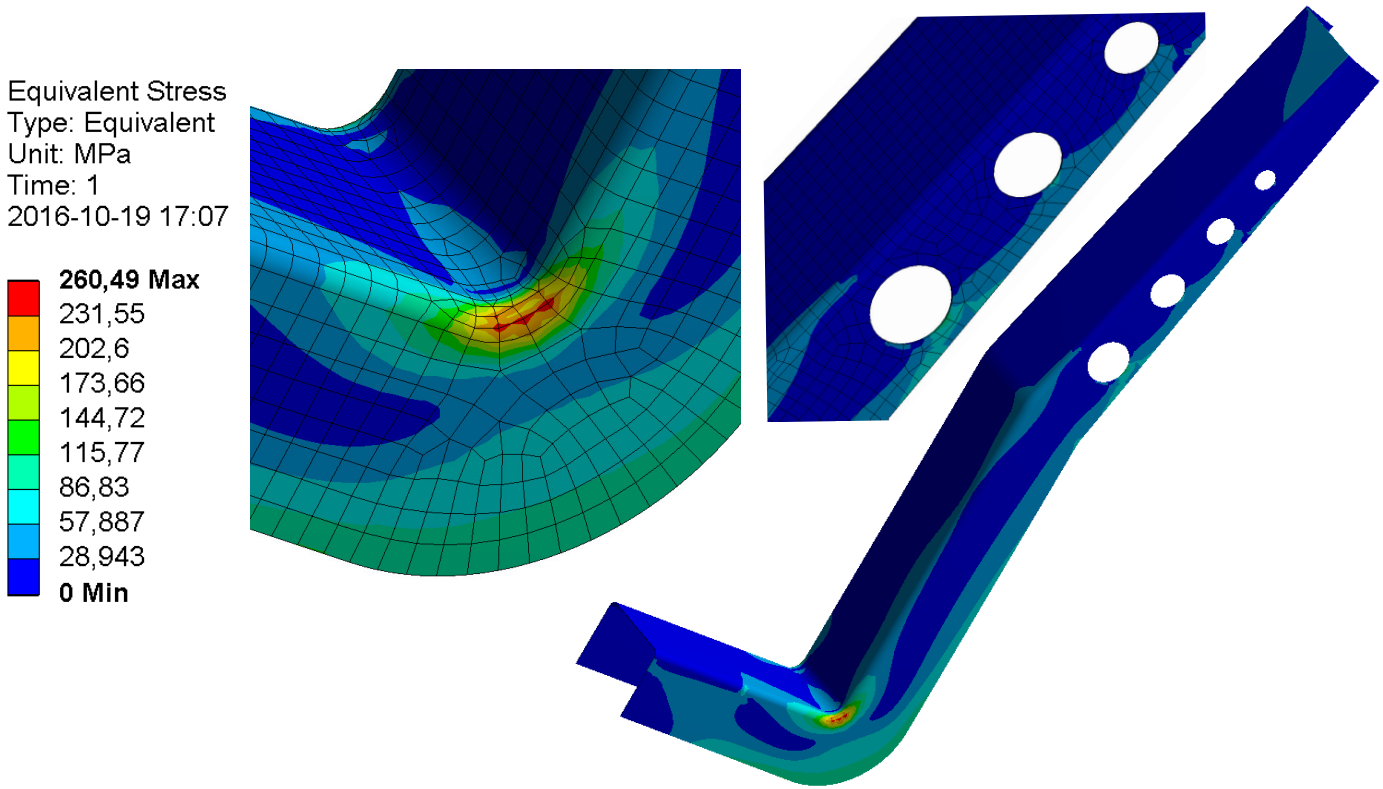
element 2-go rzędu
(dwa na grubości)



Przedstawienie wyników

Analiza naprężeń

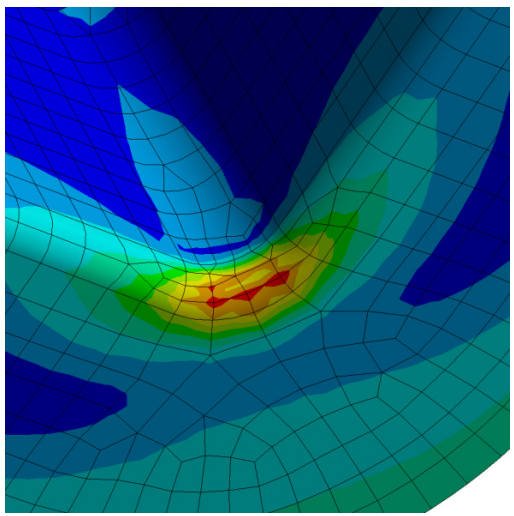
- analiza statyczna pozwala zbadać rozkład naprężeń w konstrukcji; dzięki temu można m. in. wyeliminować niekorzystne spiętrzenia naprężeń oraz usunąć materiał z miejsc, gdzie naprężeń nie ma



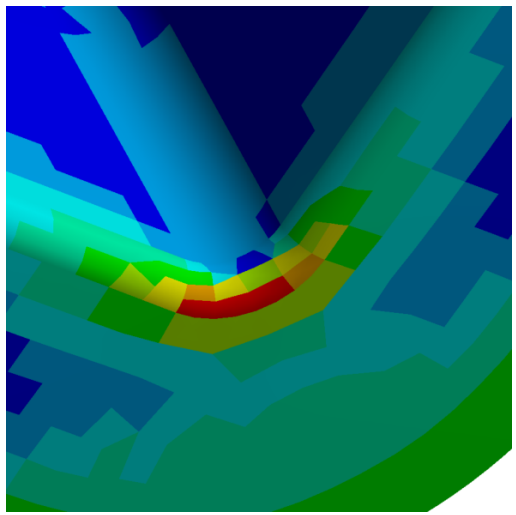
Przedstawienie wyników

Analiza naprężeń

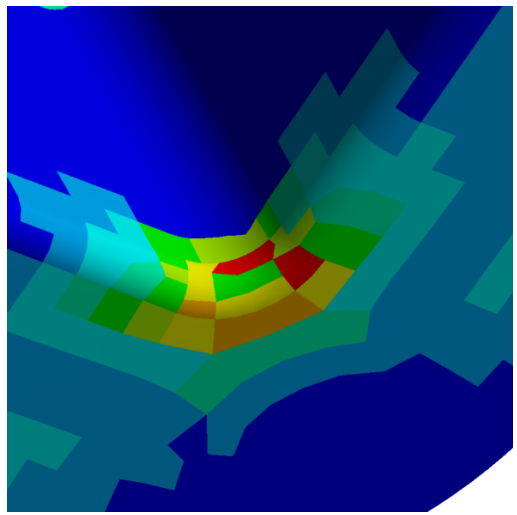
- dostępne są różne sposoby wyświetlania naprężeń; naprężenia uśrednione stosuje się do prezentacji otrzymanych wyników; obraz maksymalnej różnicy naprężeń w węzłach pozwala sprawdzić poprawność położonej siatki



naprężenia uśrednione



średnie naprężenia w elemencie



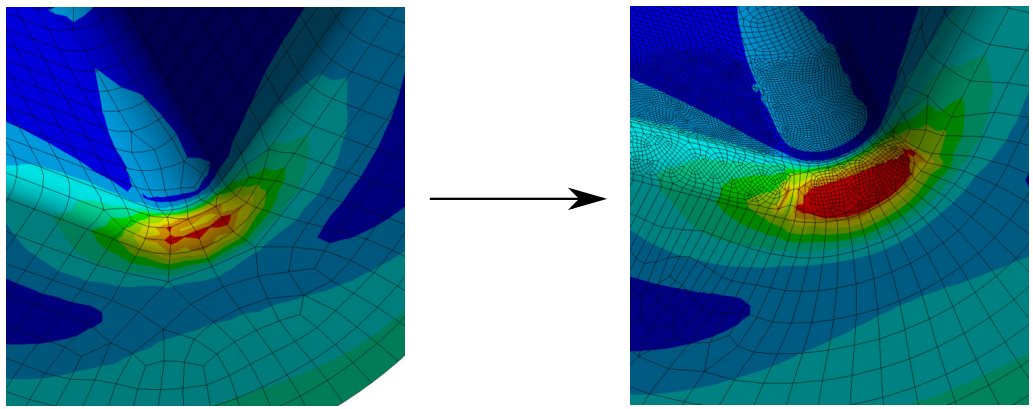
max. różnica naprężeń w węzłach

Przedstawienie wyników

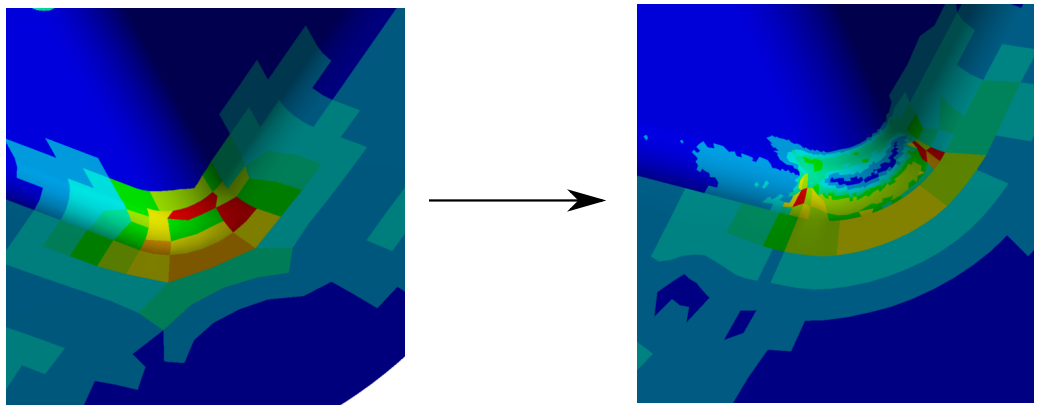
Analiza naprężeń

- zagęszczenie siatki w obszarach spiętrzenia naprężeń przybliża je do wartości rzeczywistej

naprężenia uśrednione



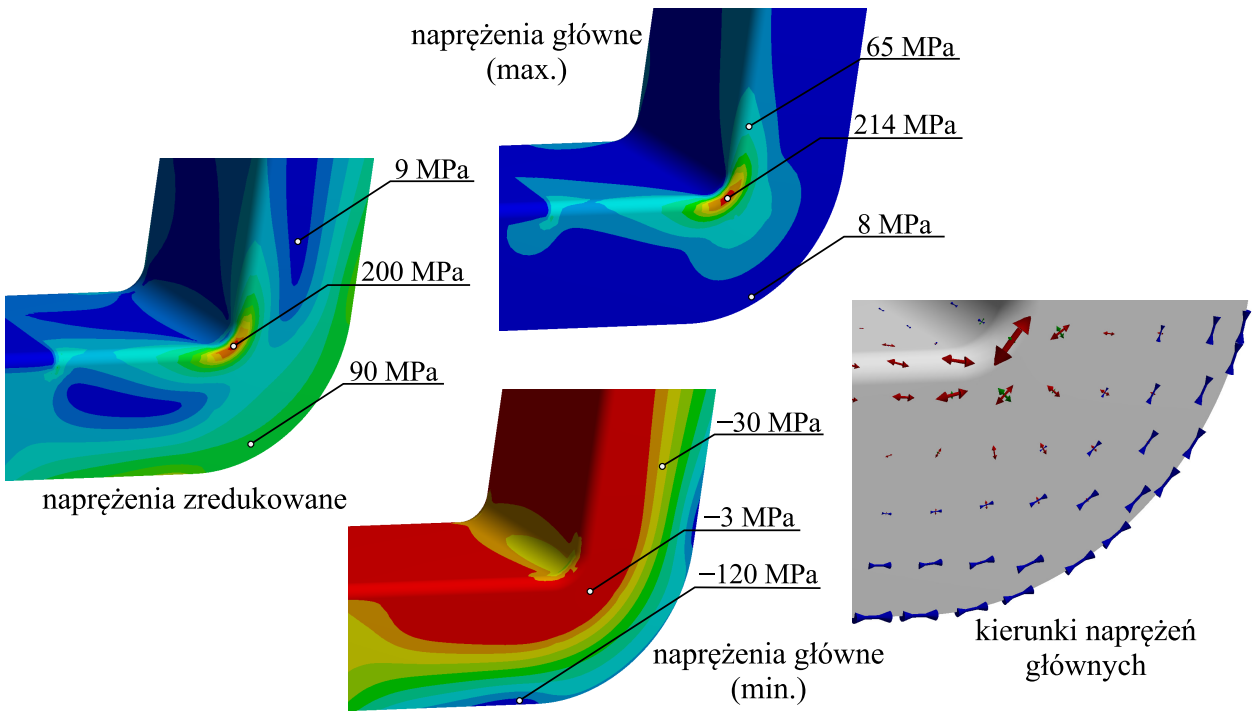
max. różnica naprężeń w węzłach



Przedstawienie wyników

Analiza naprężeń

- należy pamiętać, że oprócz domyślnie wyświetlanych naprężeń zredukowanych, można wyświetlić składowe naprężeń; pozwalają one m. in. na zlokalizowanie obszarów konstrukcji, w których pojawiają się naprężenia ściskające; naprężenia takie mogą prowadzić do utraty stateczności



Przedstawienie wyników

Skalowanie legendy

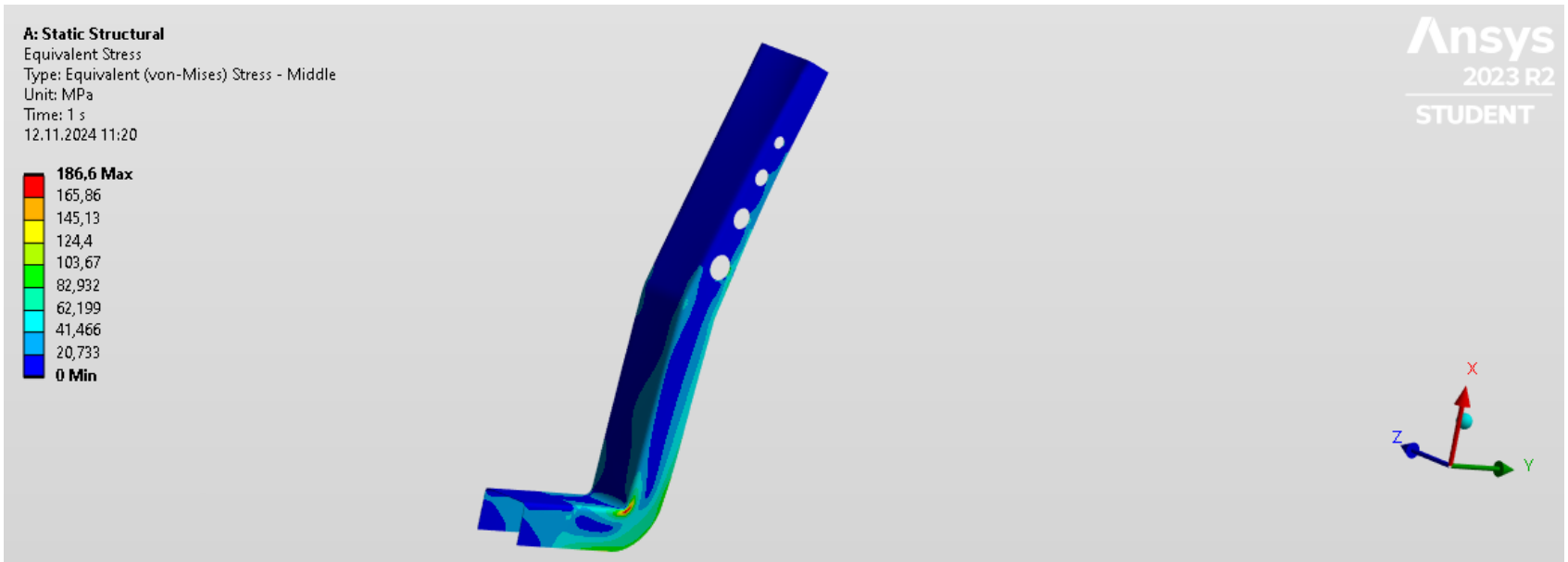
- lokalne obciążenia prowadzą do powstania lokalnych spiętrzeń naprężeń
- w takim przypadku, aby wynik był czytelny należy przeskalować legendę





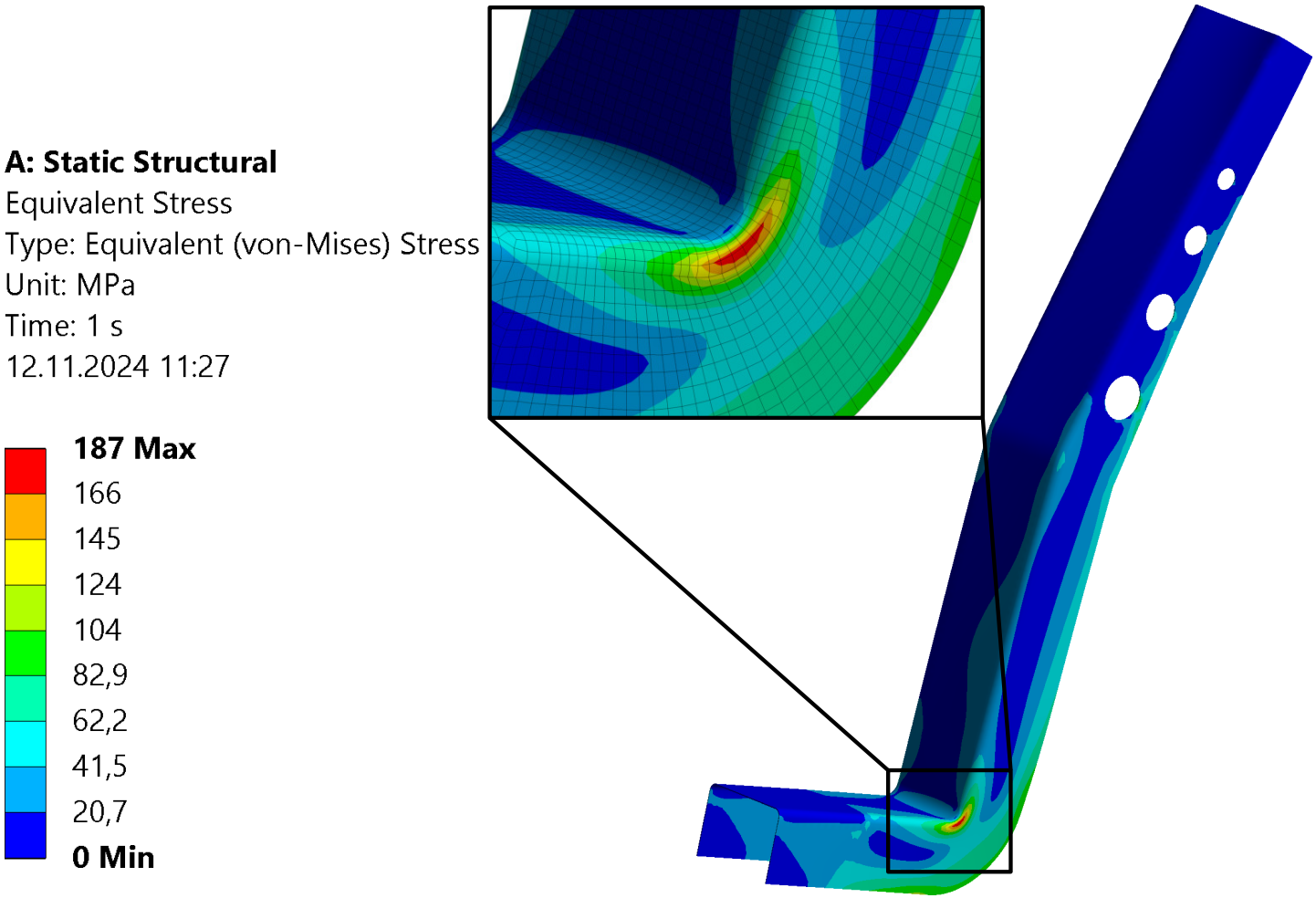
Przedstawienie wyników

Czytelność wyników



Przedstawienie wyników

Czytelność wyników



Elementy raportu z badań MES

1. Wprowadzenie

- opis problemu
- dlaczego wymagana jest analiza MES
- jaki rodzaj analizy został przeprowadzony
- jakich danych wyjściowych oczekiwano

„...konstrukcja przeznaczona jest do... W typowej eksploatacji pojawia się problem... Należy zatem zweryfikować stosowane profile ze względu na... Ze względu na złożoność problemu – skomplikowana geometria, duże odkształcenia – badania można przeprowadzić jedynie przy użyciu... Przeprowadzono analizę wytrzymałościową, która pozwoliła określić...

Elementy raportu z badań MES

2. Geometria modelu

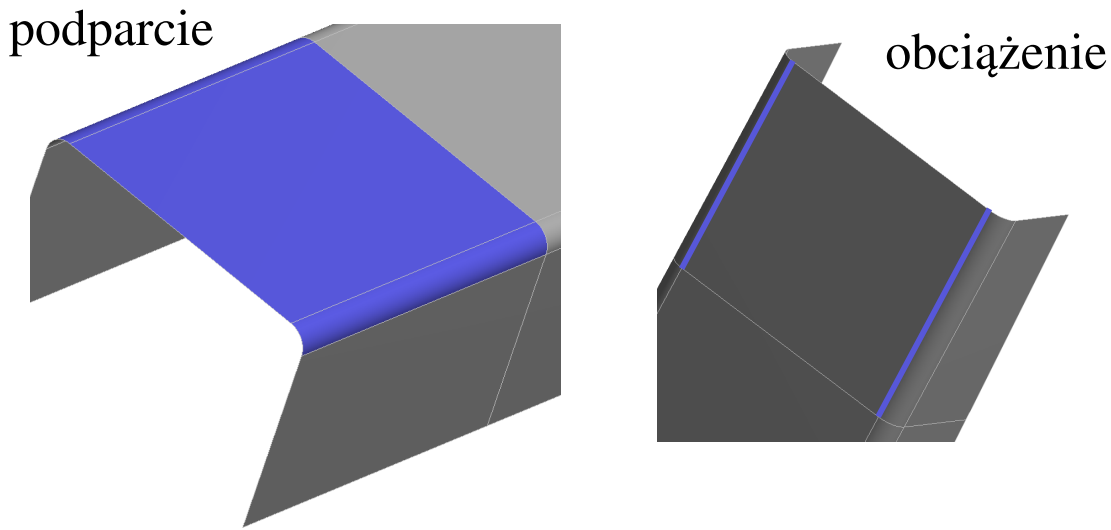
- omówić geometrię i sposób w jaki została przygotowana (import istniejącego modelu, tworzenie modelu od zera...)
- omówić proces przygotowania modelu MES: czyszczenie, usuwanie zbędnych szczegółów, idealizacja; uzasadnić sposób modelowanie (2D, 3D, typ elementu)

„Model do analizy przygotowano na podstawie modeli 3D (pliki .stp) przesłanych przez... Ponieważ analizowane były naprężenia w elementach prętowych pominięto łączniki, łącząc elementy na trwałe... Analiza porównawcza pozwala przyjąć, że uproszczenie nie wpłynie na wyniki...

Elementy raportu z badań MES

3. Obciążenie i podparcie

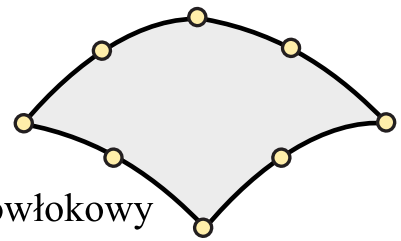
- omówić obciążenia i podparcia
- przedstawić model uwolniony od więzów
- omówić ewentualne założenia i uproszczenia



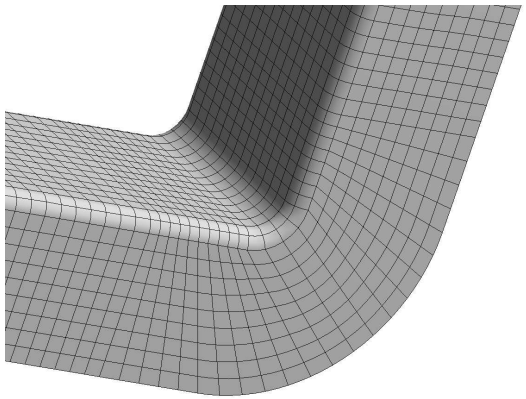
Elementy raportu z badań MES

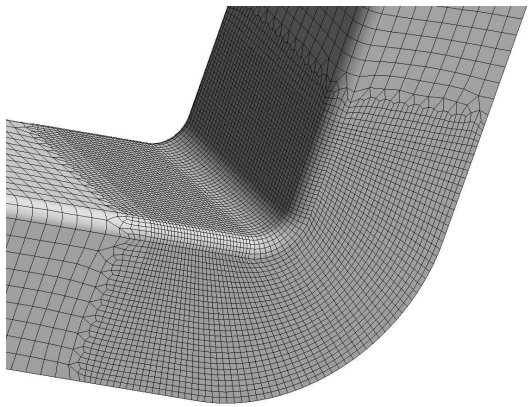
4. Siatka

- opis elementu (typ, liczba węzłów, liczba stopni swobody, funkcja kształtu)
- rozmiar elementu (globalny i lokalny)
- analiza zbieżności siatki



element powłokowy
- shell 281
- 6 stopni swobody
- 8 węzłów

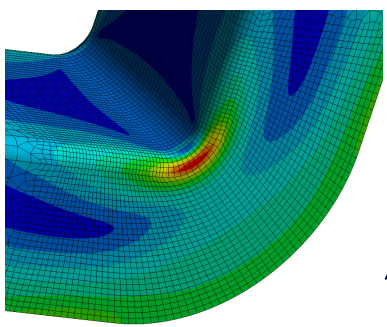




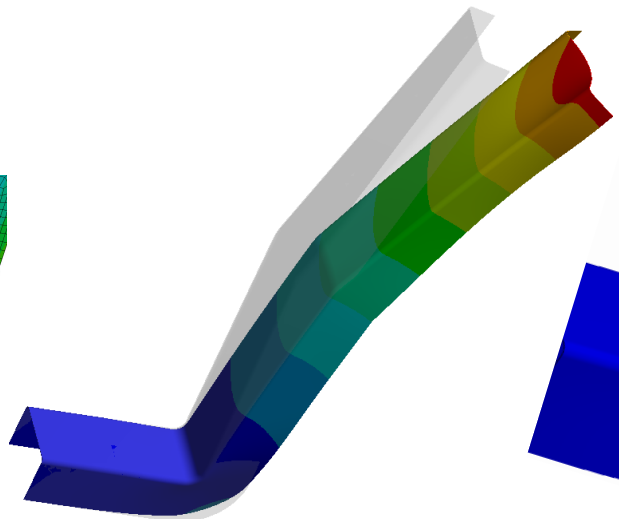
Elementy raportu z badań MES

5. Prezentacja i analiza wyników

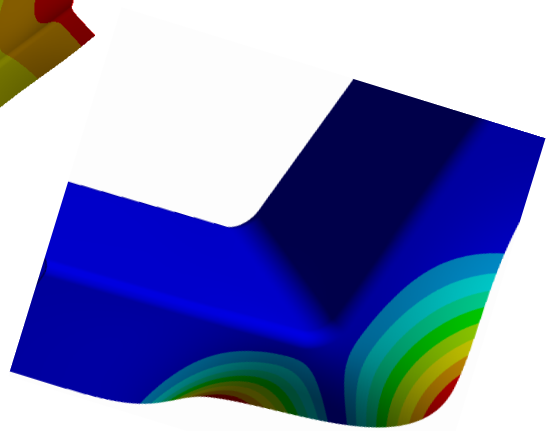
- przedstawić odkształcenia i rozkłady naprężeń (wykresy, animacje); zdefiniować, jakie naprężenia są prezentowane – zredukowane, normalne, styczne…
- przedyskutować ewentualne błędy, współczynnik bezpieczeństwa



naprężenia zredukowane



deformacja (x50)

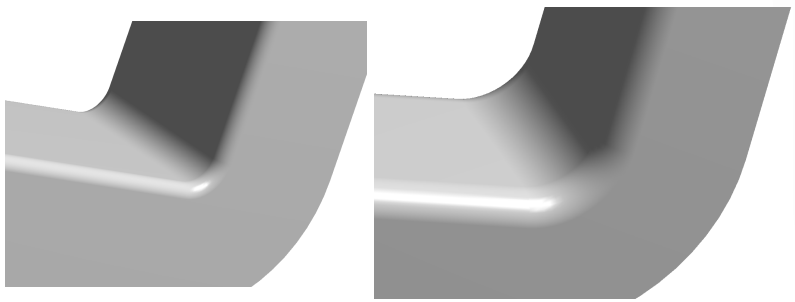


pierwsza postać wyboczenia

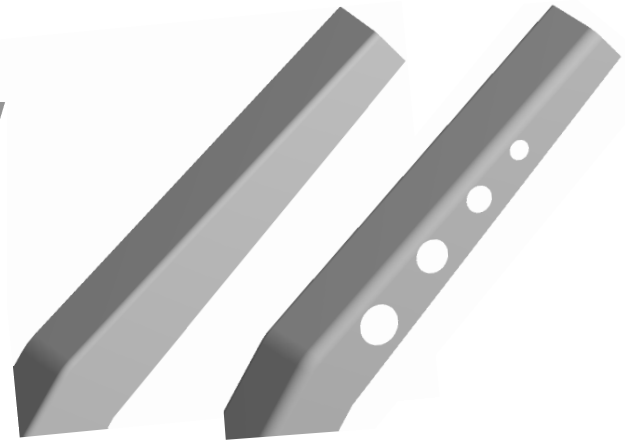
Elementy raportu z badań MES

6. Podsumowanie

- przedstawić zalecenia dotyczące projektu – modyfikacje, dalsze badania
- zaproponować sposób badania prototypu (tensometry, badania zmęczeniowe)



zwiększenie promienie w celu obniżenia naprężeń



wprowadzanie otworów zmniejszających masę