



POLITECHNIKA WARSZAWSKA

WYDZIAŁ : Mechaniczny Energetyki I Lotnictwa

Metody Komputerowe w Mechanice Konstrukcji

SPRAWOZDANIE

Ćwiczenie nr 1 (ANSYS)

Dźwigar cienkościenny

Wykonał : Adam Nowak (indeks 304250)

(magisterskie niestacjonarne)

WARSZAWA, grudzień 2024

Spis treści

1. Cel ćwiczenia	3
2. Obiekt – dane	3
3. Dane materiałowe	3
4. Warunki brzegowe	4
5. Model MES	5
6. Wyniki - analiza statyczna połowy dźwigara z warunkiem symetrii	6
7. Wyniki - analiza statyczna całego dźwigara	9
8. Wyniki – analiza wyboczenia dźwigara	11
9. Wyniki – analiza modalna bez utwierdzenia	12
10. Wnioski	12

1. Cel ćwiczenia

Celem przeprowadzonego ćwiczenia jest analiza dźwigara cienkościennego oraz optymalizacja jego struktury w celu zminimalizowania masy.

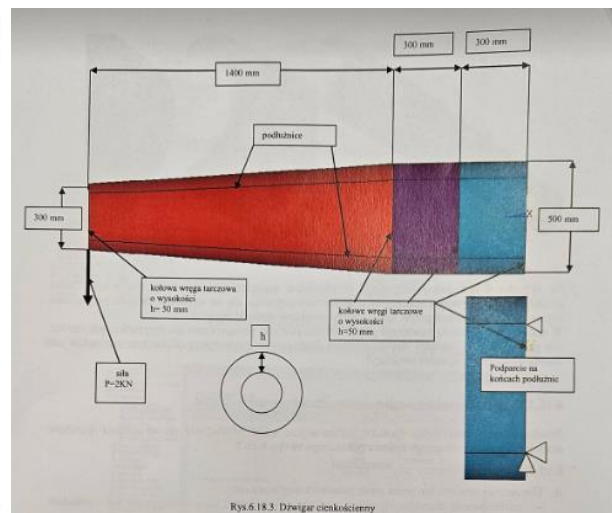
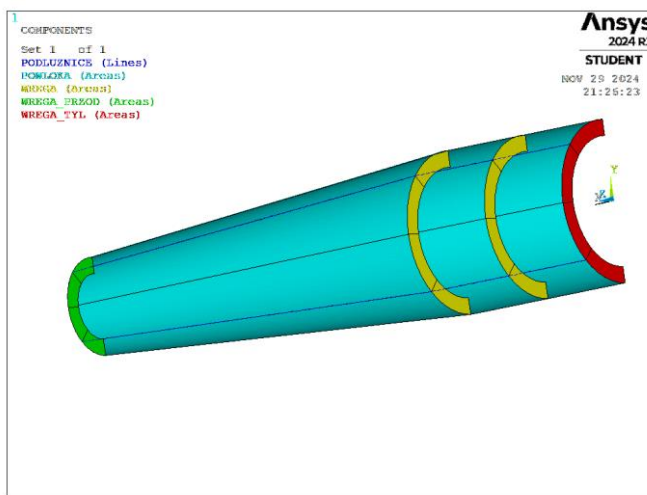
Przeprowadzone analizy:

- analiza statyczna połówki dźwigara obciążonego siłą skupioną,
- analiza statyczna całego dźwigara obciążonego siłą skupioną oraz momentem skręcającym,
- analiza wyboczenia dźwigara,
- analiza modalna.

Warunkiem zakończenia analizy jest spełnienie kryterium, według którego naprężenia w warstwie środkowej dźwigara nie mogą przekraczać wartości 100 MPa.

2. Obiekt – dane

Dźwigar składa się z powłoki walcowej, powłoki stożkowej oraz został wzmocniony czterema wręgami oraz czterema podłużnicami. Geometria, struktura oraz przyjęty układ współrzędnych został przedstawiony na rysunku nr Rysunek 1. Początkowo grubość powłoki oraz wręg wynosi 0.5 mm, natomiast pole przekroju podłużnicy wynosi 100 mm².



Rysunek 1 Struktura, geometria oraz przyjęty układ współrzędnych.

3. Dane materiałowe

Materiał: Duraluminium

Moduł Younga: $E = 70\,000\text{ MPa}$

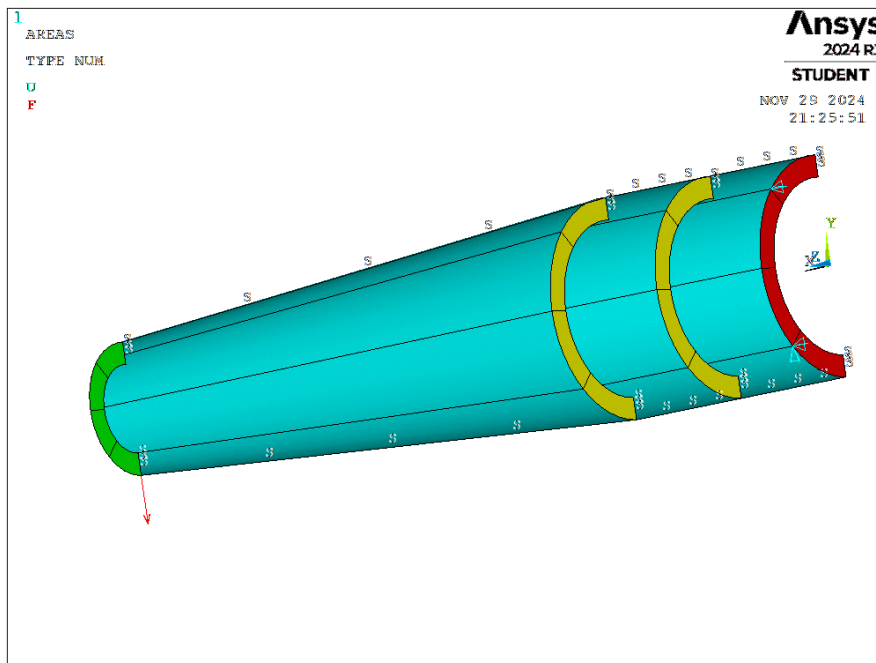
Stała Poissona: $\nu = 0.33$

Gęstość: $\rho = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

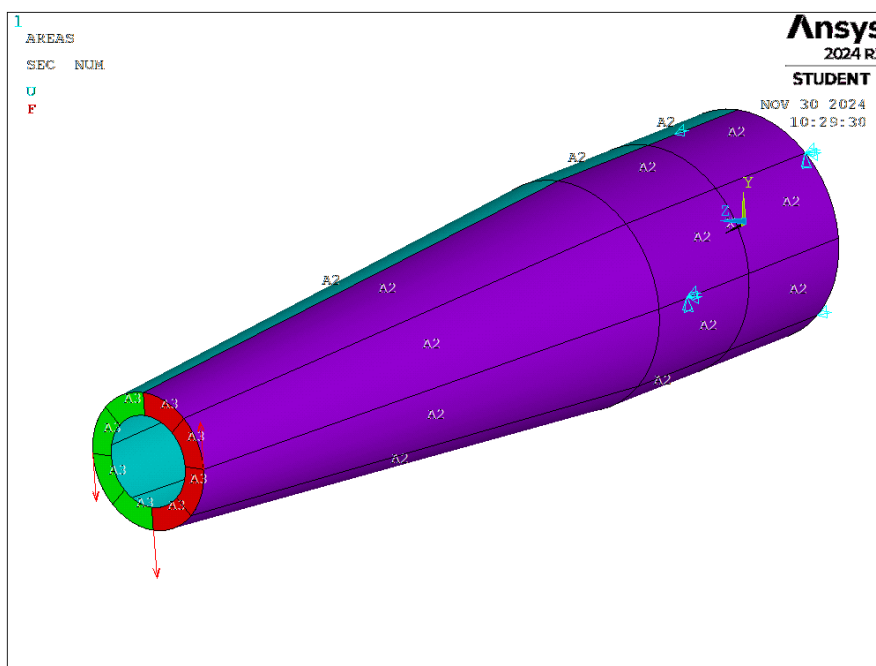
Zastosowano model linowy, izotropowy.

4. Warunki brzegowe

- **Przypadek 1:** Obciążenie siłą skupioną $F = 4000$ N, (w modelu $F = 2000$ N, warunek symetrii).
Utwierdzenie: odebrane dwa stopnie swobody oraz warunek symetrii (Rysunek 2).
- **Przypadek 2:** Obciążenie siłą skupioną o wartości $F1 = 4000$ N, parą sił (każda) $F2 = 4000$ N.
Utwierdzenie: odebrane trzy stopnie swobody (Rysunek 3).
- **Przypadek 3:** Analiza wyboczenia z warunkami z przypadku 2.
Utwierdzenie jak w przypadku 2.
- **Przypadek 4:** Analiza modalna bez utwierdzenia.
- **Przypadek 5:** Analiza modalna z utwierdzeniem z przypadku 2.



Rysunek 2 Warunki brzegowe, przypadek 1.



Rysunek 3 Warunki brzegowe, przypadek 2.

5. Model MES

5.1 Użyte oprogramowanie.

Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano oprogramowanie Ansys Mechanical Enterprise z wykorzystaniem aplikacji wewnętrznej APDL.

5.2 Zastosowane elementy skończone.

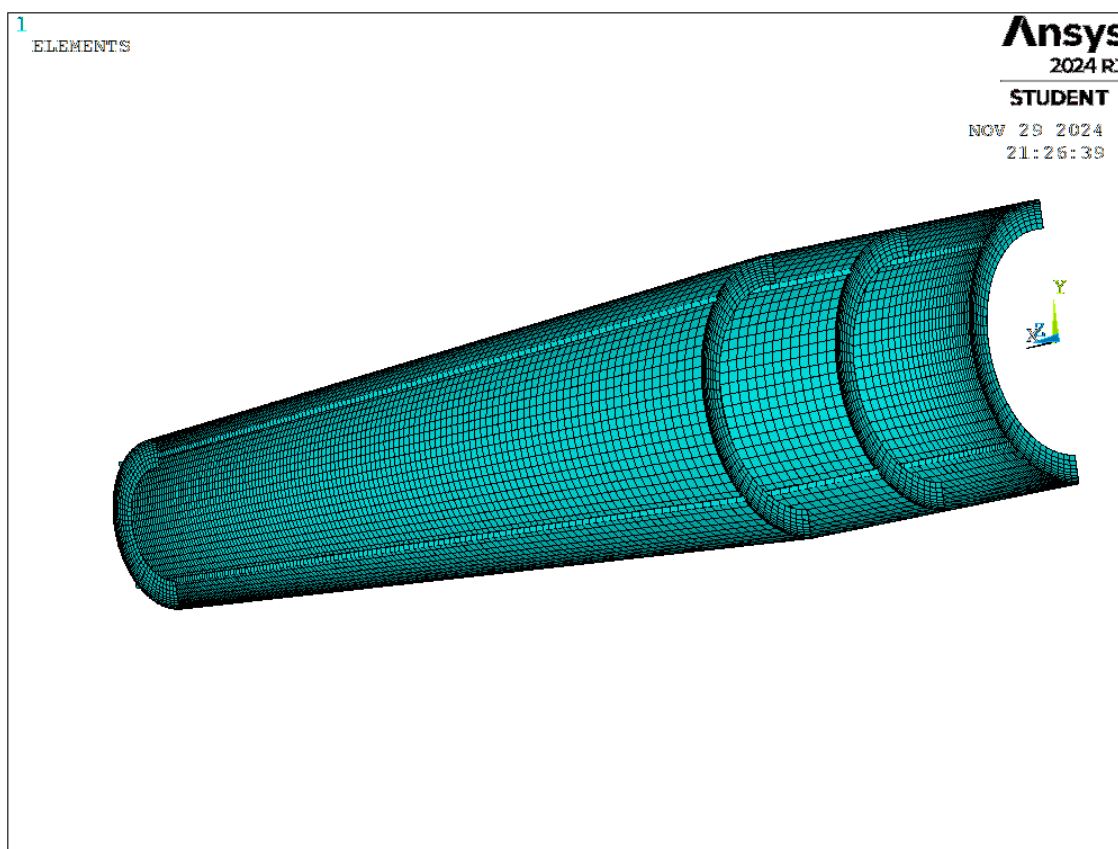
Zastosowano dwa rodzaje elementów w celu zamodelowania struktury:

- SHELL181 – powłoka walcowa, powłoka stożkowa, wręgi,
- LINK180 – podłużnice.

Siatka została podzielona na każdej powierzchni za pomocą linii, co pozwoliło na dokładne odwzorowanie geometrii. W miejscach połączenia wręgi przedniej z powłoką stożkową oraz wręgi tylnej z powłoką walcową dokonano zagęszczenia siatki, aby uwzględnić zwiększoną koncentrację naprężeń. Ze względu na lokalizację utwierdzeń oraz przyłożonych sił spodziewano się wystąpienia skupienia naprężeń w tych obszarach, które są kluczowe dla optymalizacji konstrukcji.

Cechy siatki	
Ilość węzłów	18532
Ilość elementów	18740

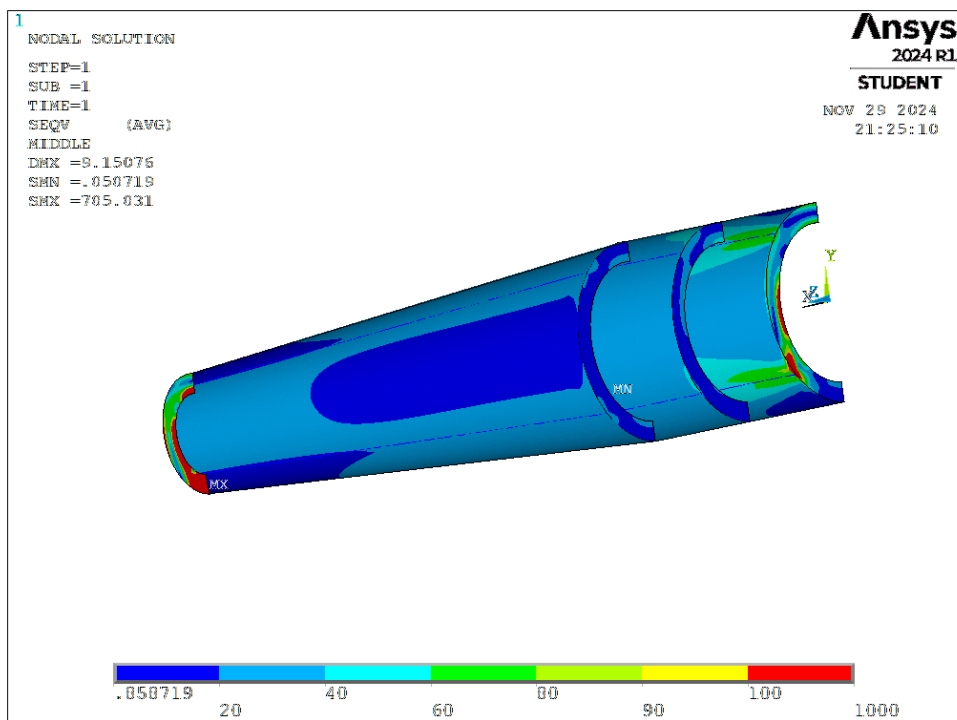
Tabela 1 Cechy siatki dla całego modelu dźwigara.



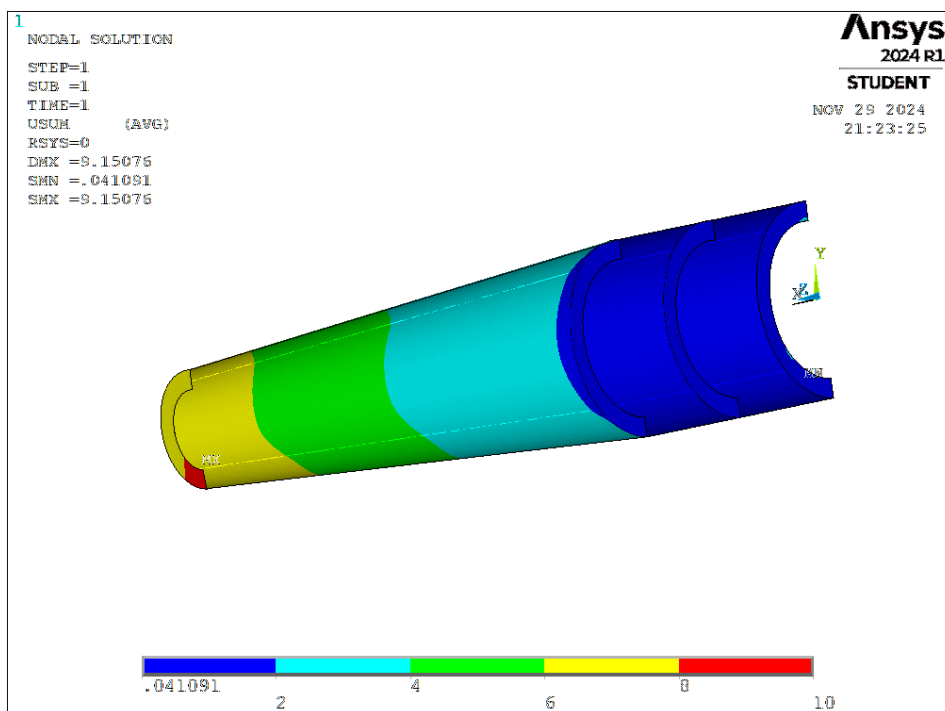
Rysunek 4 Siatka dla połówki modelu dźwigara.

6. Wyniki - analiza statyczna połowy dźwigara z warunkiem symetrii

Początkowo grubość każdej powłoki oraz wręg wynosiły 0.5 mm natomiast powierzchnia przekroju podłużnicy wynosiła 100 mm². Spodziewano się otrzymać koncentracji naprężeń w utwierdzeniu oraz w miejscu przyłożenia siły.



Rysunek 5 Naprężenia zredukowane Von-Mises'a.

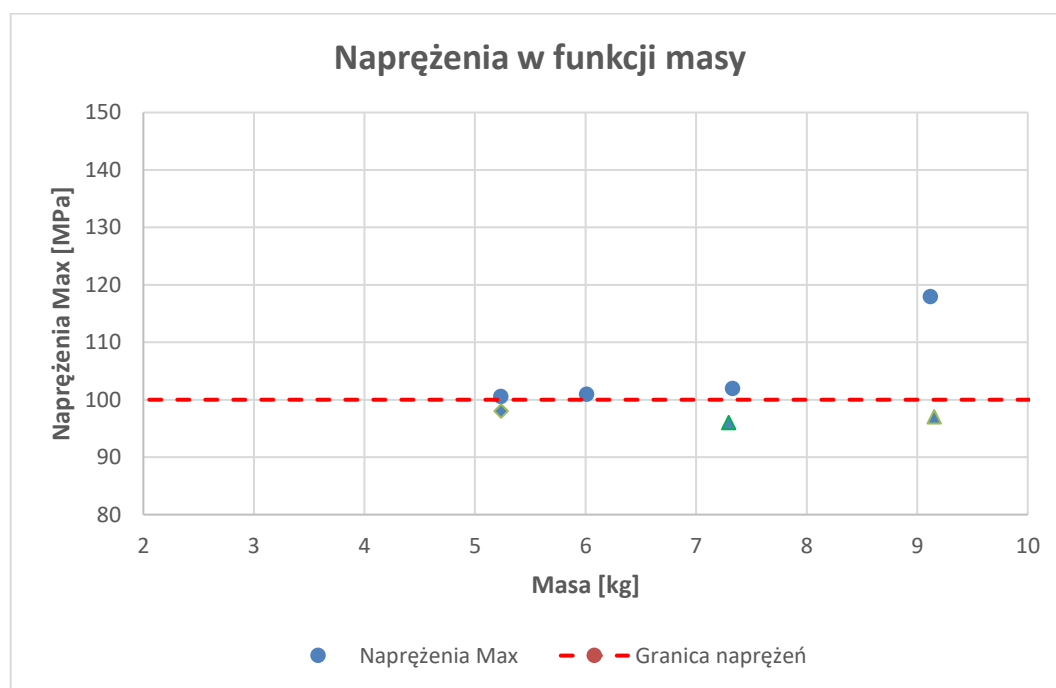


Rysunek 6 Deformacje w trzech osiach.

Maksymalne naprężenia w warstwie środkowej wyniosły 705 MPa w miejscu przyłożonej siły. Wobec tego należało przeprowadzić dodatkowe analizy modyfikując grubości struktury. Poniższa tabela oraz wykres przedstawiają proces iteracji. Wykres nie uwzględnia początkowej iteracji w celu lepszej wizualizacji wyników.

Grubość [mm]				Masa połówki[kg]	Naprężenia max [MPa]	Miejsce
Przednia wręga	Wręgi środkowe	Tylne wręga	Powłoka			
0.5	0.5	0.5	0.5	3.0776	785	Przednia wręga
2	2	2	2	9.0648	169	Przednia wręga
3	2	2	2	9.1178	118	Przednia wręga
3.7	2	2	2	9.1548	97	Przednia wręga
3.7	2	2	1.5	7.3286	102	Przednia wręga
4	2	1.5	1.5	7.2968	96	Tylne wręga
3.8	1	1.4	1.2	6.0104	101	Tylne wręga
4	0.5	2	1	5.2322	100	Przednia wręga
4.1	0.5	2	1	5.2375	98	Przednia wręga

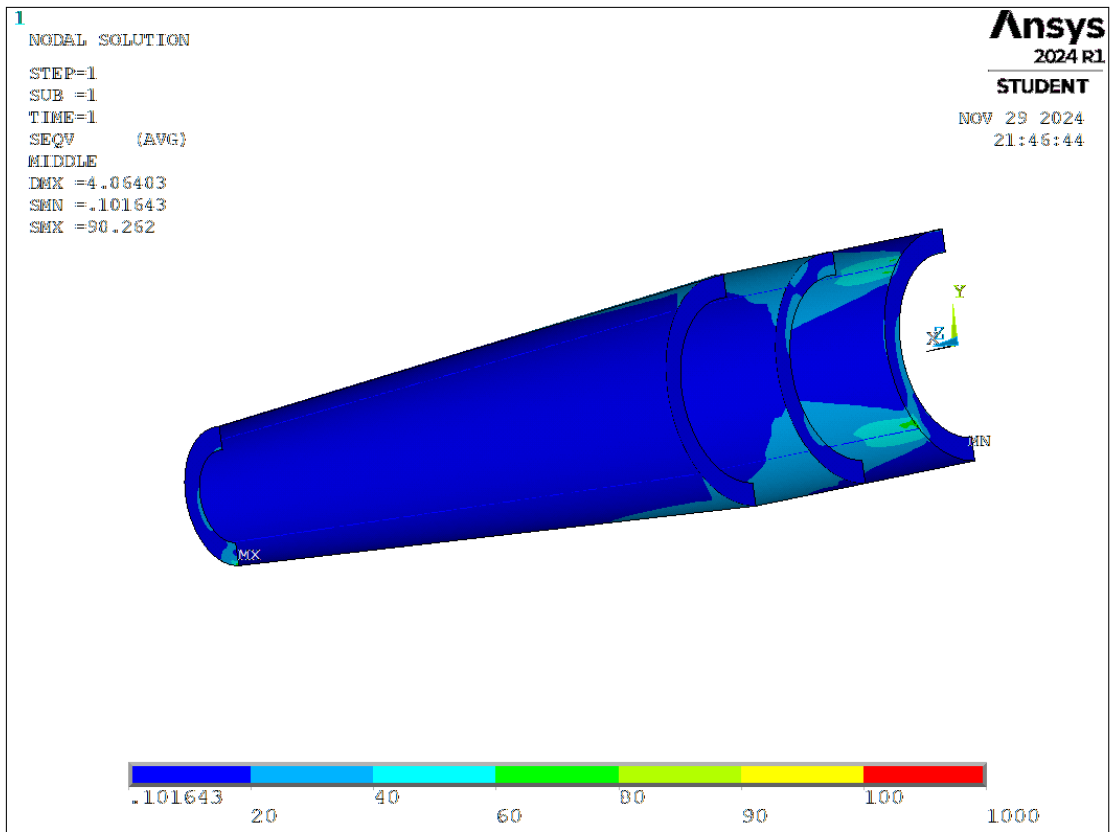
Rysunek 7 Wyniki iteracji kolejnych symulacji, optymalizacja geometrii.



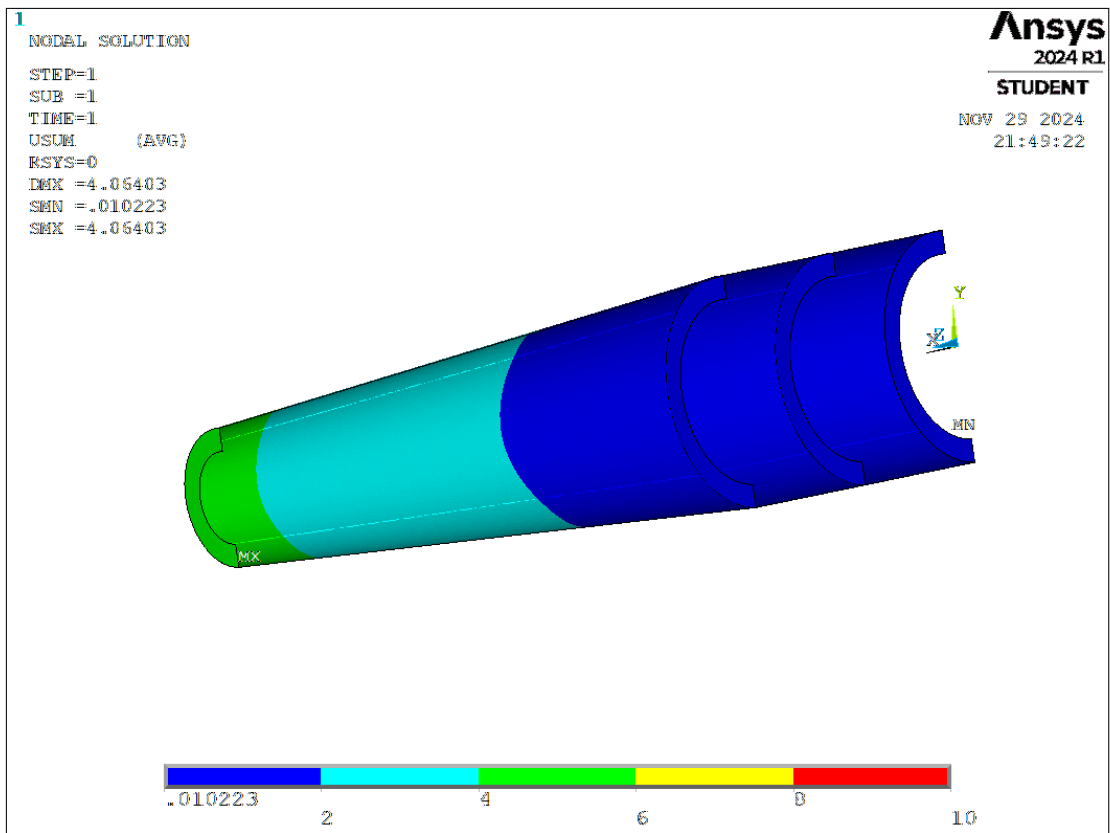
Rysunek 8 Optymalizacja struktury.

Po przeprowadzonych 9 iteracjach udało się zoptymalizować strukturę dźwigara tak, aby naprężenia spełniały kryterium ($\sigma_{\max} < 100$ MPa), a także zredukować masę do 5,238 kg.

Mapy naprężeń oraz deformacji zostały pokazane na kolejnej stronie.



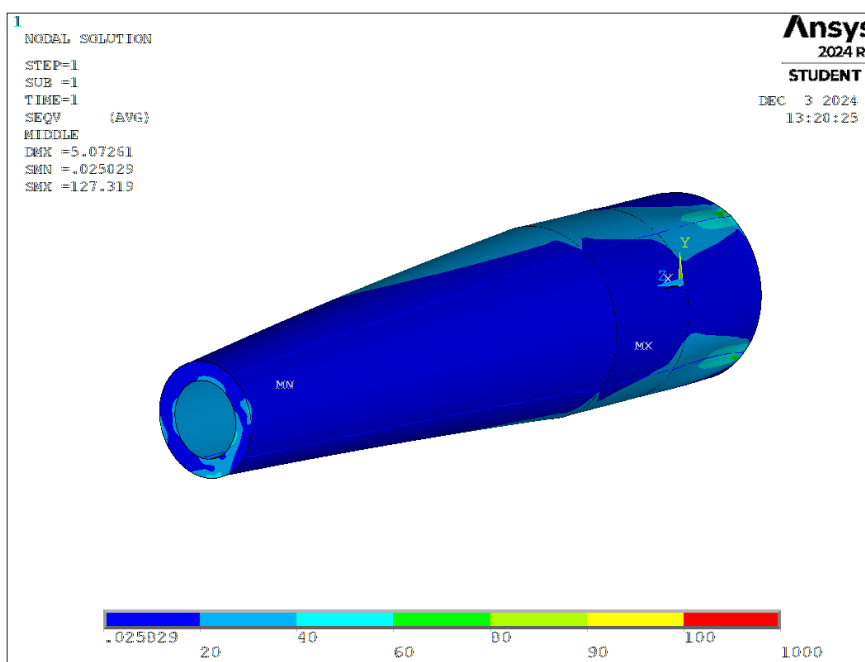
Rysunek 9 Naprężenia zredukowane Von-Mises'a.



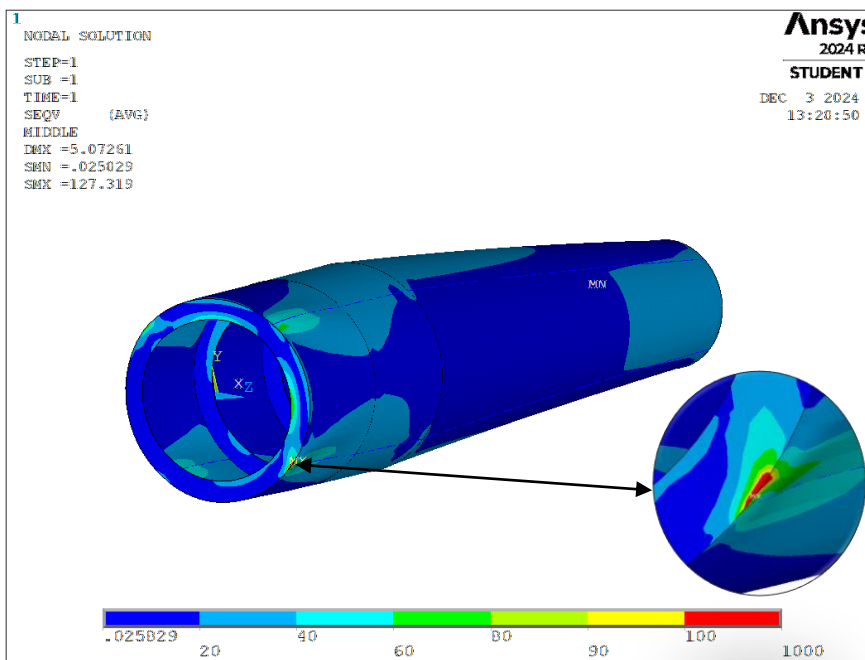
Rysunek 10 Deformacje w trzech osiach.

7. Wyniki - analiza statyczna całego dźwigara

W poniższej analizie dźwigar został zamodelowany jako pełna konstrukcja, bez warunków symetrii. W badaniu uwzględniono moment skręcający, reprezentowany przez dodatkową parę sił o wartości 4000 N każda. Analiza całego dźwigara z przyłożoną jedną siłą o wartości 4000 N wykazała, iż maksymalne naprężenia wynoszą 87 MPa.



Rysunek 11 Naprężenia zredukowane Von-Mises'a, widok na przednią wręgę.

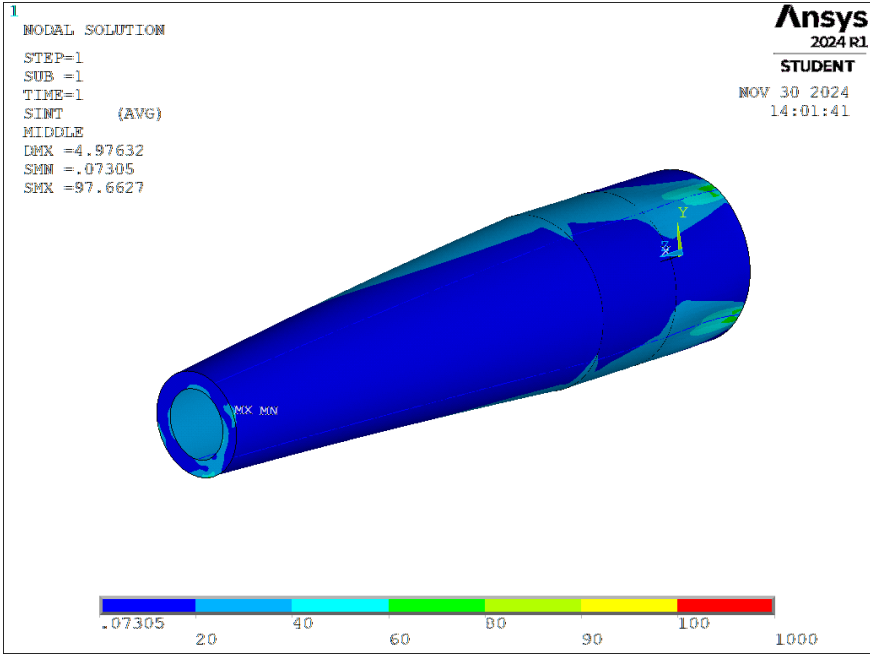


Rysunek 12 Naprężenia zredukowane Von-Mises'a, widok na tylną wręgę, miejsce utwierdzeń.

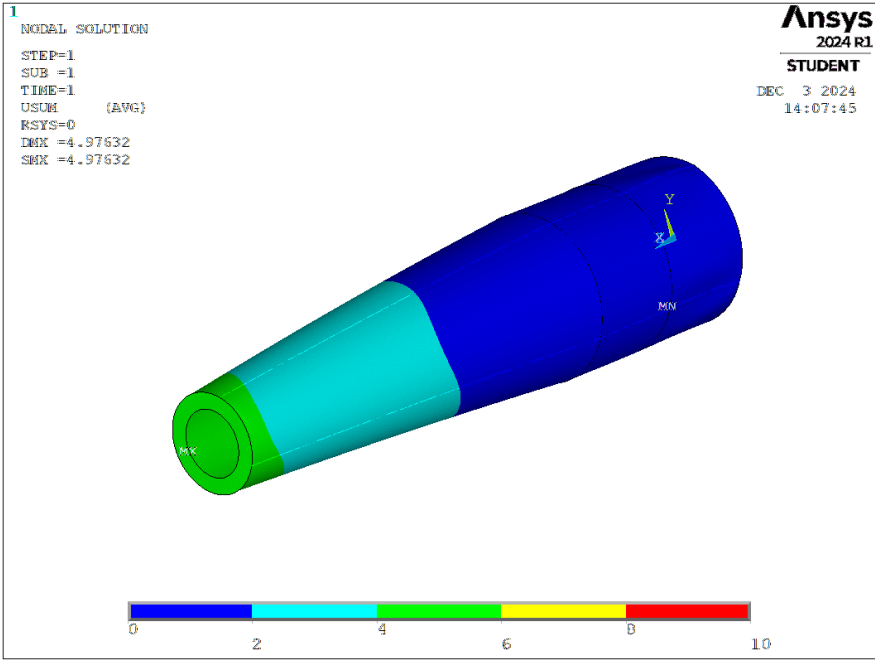
Po analizie całej geometrii z dodatkową parą sił naprężenia zostały ponownie przekroczone. Zdecydowano się zmodyfikować strukturę w celu spełnienia kryterium naprężeniowego. Po wprowadzeniu modyfikacji kryterium naprężeniowe zostało spełnione.

Grubość [mm]				Masa [kg]	Naprężenia max [MPa]	Miejsce
Przednia wręga	Wręgi środkowe	Tylna wręga	Powłoka			
4.1	0.5	2	1	10.475	127	Tylna wręga
4.4	0.5	3	1	10.7	97	Przednia wręga

Rysunek 13 Optymalizacja struktury.



Rysunek 14 Naprężenia zredukowane Von-Mises'a po optymalizacji struktury.



Rysunek 15 Deformacje w trzech osiach.

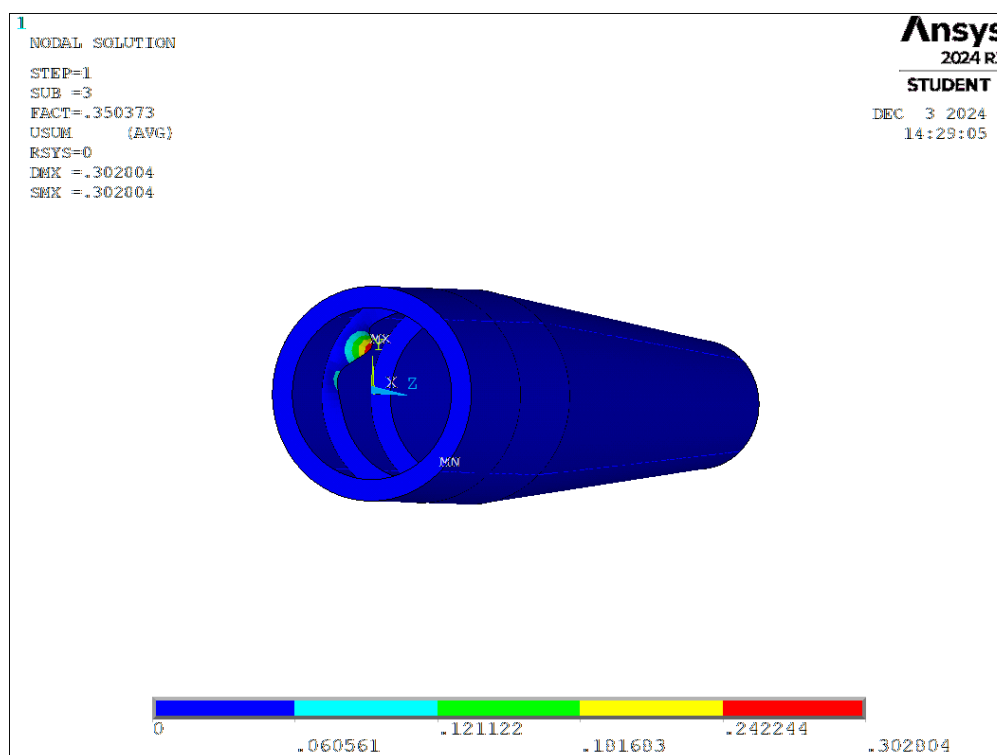
8. Wyniki – analiza wyboczenia dźwigara

Następnie dźwigar został poddany analizie wyboczenia. Analiza wyboczenia jest poprawna oraz stabilna, gdy wartości mnożnika obciążenia krytycznego jest większy od 1 lub mniejszy od 0.

W celu wykonania analizy wyboczenia, wykorzystano wyniki z analizy statycznej.

SET	TIME/FREQ		
	Iteracja 1	Iteracja 2	Iteracja 3
1	-0.3234966	-0.66381	-1.85933
2	0.3194698	-0.63869	-1.77737
3	0.3503733	-0.6364	-1.77356
4	0.3530789	0.636399	1.767218
5	0.3549701	0.638695	1.783105

Rysunek 16 Analiza wyboczenia dźwigara, 1-wyboczenie wręgi, 2-wyboczenie powłoki, 3-spełnienie kryterium.



Rysunek 17 Wyboczenie środkowej wręgi.

Analiza wyboczenia wykazała, iż obecna geometria nie spełnia wymagań dotyczących współczynników obciążeń krytycznych. Wyboczeniu uległa jedna z wręg środkowych. Zdecydowano się ponownie zmodyfikować strukturę dźwigara. W tym przypadku, oprócz zwiększenia grubości środkowych wręg, konieczne okazało się również pogrubienie powłoki, co potwierdziły kolejne symulacje.

Grubość [mm]				Masa [kg]	Miejsce wyboczenia
Przednia wręga	Wręgi środkowe	Tylna wręga	Powłoka		
4.4	0.5	3	1	10.7	Tylna wręga
4.4	1	3	1	10.628	Powłoka
4.4	1	3	1.5	14.54	Spełnione kryterium

9. Wyniki – analiza modalna bez utwierdzenia

W przypadku dźwigara nieutwierdzonego, pierwsze sześć częstotliwości wynoszą zero. Wynika to z faktu, iż dźwigar posiada sześć stopni swobody.

SET	Freq [Hz] – dźwigar swobodny	Freq [Hz] – dźwigar utwierdzony
1	0	86.007681
2	0	89.643856
3	0	125.69674
4	0.94965831E-04 ~ 0	125.69812
5	0.26240187E-03 ~ 0	139.70377
6	0.42805656E-03 ~ 0	146.92862
7	125.44826	153.28103
8	125.44955	160.07957
9	139.71012	206.86600
10	145.28521	206.89841
11	147.02993	234.41731
12	160.31558	236.06221
13	206.97735	259.47720
14	206.97750	260.60541
15	234.41774	265.54180
16	259.47170	267.40989
17	260.39046	294.66953
18	267.70367	295.01580
19	267.70494	315.39058
20	295.01553	317.76237

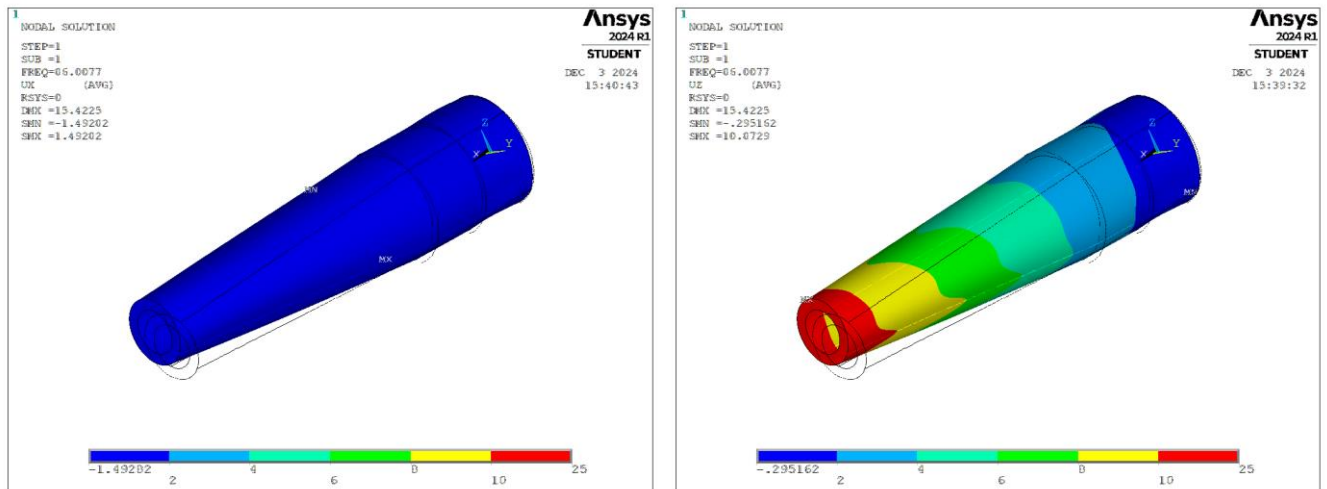
Tabela 2 Częstotliwości drgań własnych belki.

Wraz ze wzrostem częstotliwości drgań dźwigar wykazuje coraz większe deformacje. Przykładowe postacie tych deformacji zaprezentowano na kolejnej stronie. Największe deformacje występują na powłoce dźwigara.

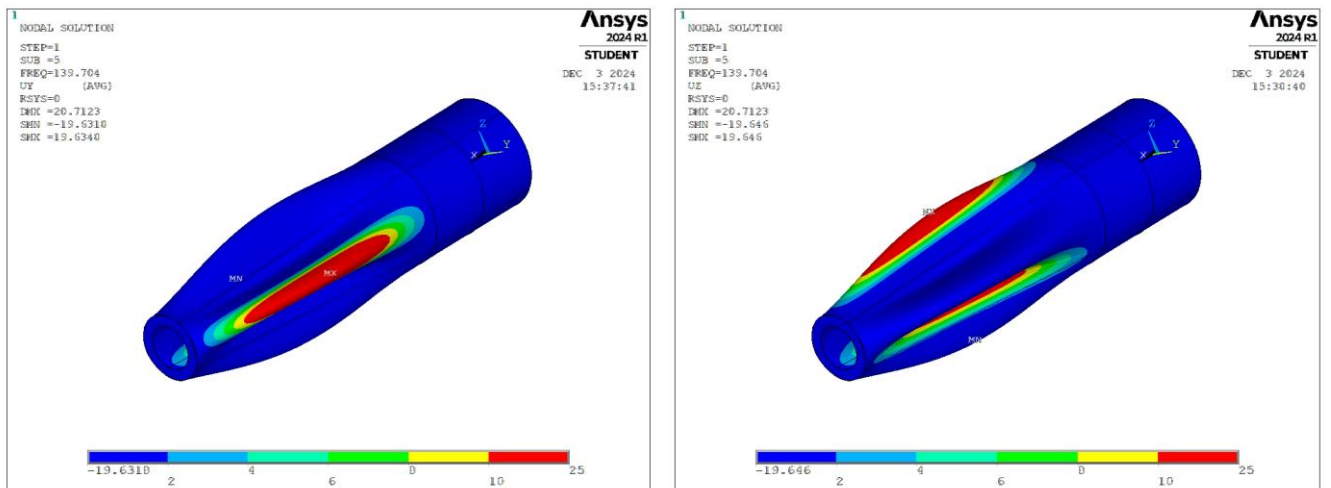
10. Wnioski

Po przeprowadzeniu analiz statycznych, wyznaczeniu obciążeń krytycznych oraz wykonaniu analizy modalnej, konstrukcja dźwigara została zoptymalizowana pod kątem przenoszenia zadanych obciążeń oraz spełnienia kryteriów naprężeniowych. W procesie modyfikacji szczególny nacisk położono na zapewnienie stateczności konstrukcji przy jednoczesnym minimalizowaniu masy. Dokonane zmiany uwzględniały modyfikacje grubości struktury, które pozwoliły na osiągnięcie zbalansowanego kompromisu między wytrzymałością a lekkością konstrukcji.

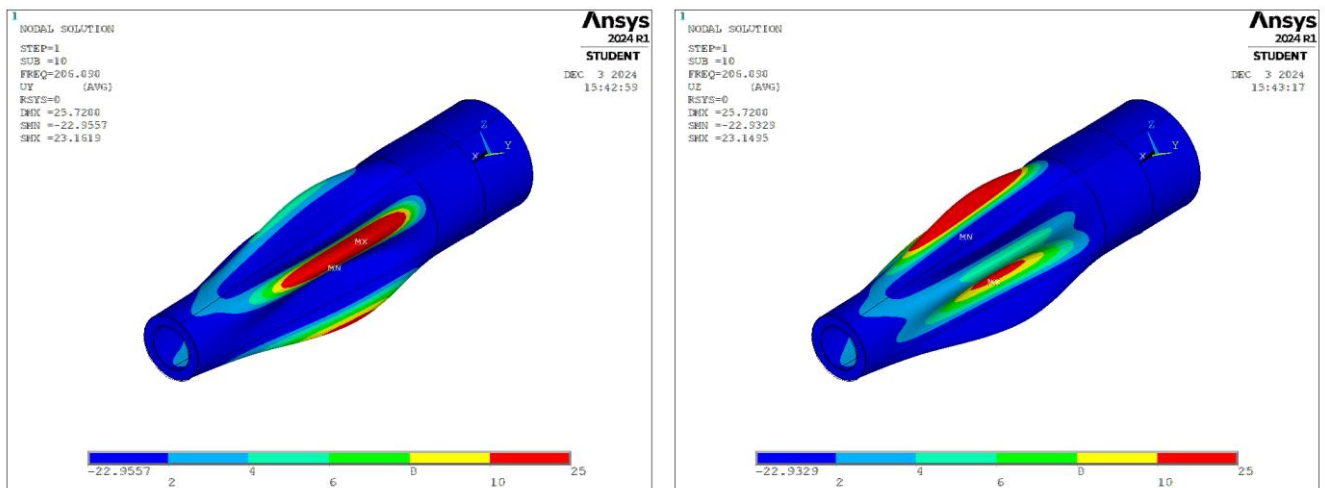
Postacie drgań dźwigara:



Rysunek 18 Deformacje U_x oraz U_z w pierwszej postaci drgań.



Rysunek 19 Deformacje U_y oraz U_z w piątej postaci drgań.



Rysunek 20 Deformacje U_y oraz U_z w dziesiątej postaci drgań.