



MODELOWANIE I SYMULACJA ZAGADNIEŃ BIOMEDYCZNYCH

Analiza i porównanie materiałów stosowanych na stenty

INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA

Agata Augustynowicz

Marta Fąs

Rok akademicki 2016/2017

Spis treści

1. Cel projektu	3
2. Wstęp teoretyczny	3
2.1. Czym jest stent?	3
2.2. Mechanizm działania	3
2.3. Sposób implantacji	4
2.4. Restenoza w stencie	5
2.5. Rodzaje stentów	5
2.6. Materiały stosowane na stenty	6
4. Analiza przeprowadzona w programie	7
4.1 . Warunki początkowe	8
4.2. Warunki brzegowe.....	10
4.3. Analiza stentu wykonanego ze stali 316L.....	11
4.4. Analiza stentu wykonanego z nitinolu (stopu Ti-Ni).....	13
4.5. Analiza stentu wykonanego z tantalu	14
5. Podsumowanie	16
5.1. Podsumowanie wyników.....	16
5.2. Wnioski.....	16
6. Bibliografia.....	17

1. Cel projektu

Celem projektu jest wykorzystanie wiedzy zdobytej na zajęciach laboratoryjnych, aby wykorzystać program COMSOL Multiphysics do przeprowadzenia analizy wytrzymałościowej modelu stentu wykonanego z trzech różnych materiałów oraz porównania ich ze sobą.

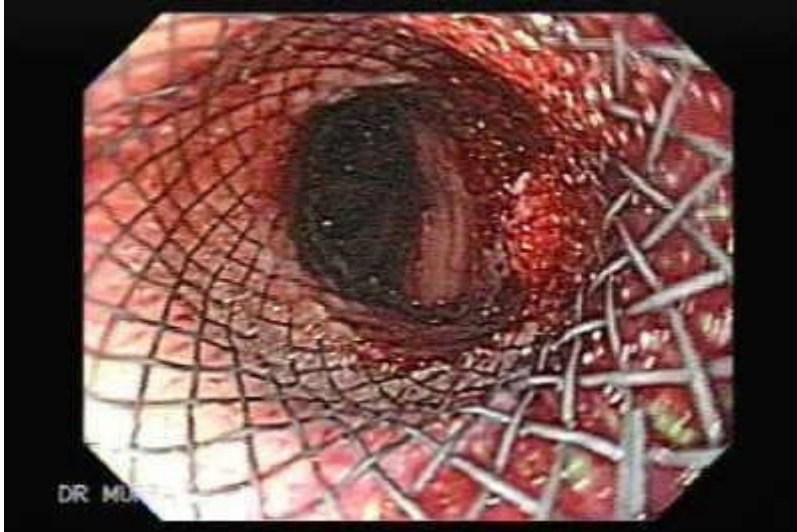
2. Wstęp teoretyczny

2.1. Czym jest stent?

Stent to proteza w kształcie małej sprężynki, która umieszczana jest w zwężonym naczyniu krwionośnym w celu udrożnienia go oraz zapewnienia prawidłowego przepływu krwi. Stenty najczęściej wykonywane są ze stopu chromowo-kobaltowego lub stali. Zabieg wprowadzenia stentu zalecany jest w przypadku takich schorzeń jak na przykład tętniak aorty. W Polsce z implantacją stentu przebiega ponad 80% angioplastyki wieńcowej.

2.2. Mechanizm działania

Stent poszerza światło tętnicy poprzez trwałe rozparcie jej ścian oraz pokrywa i uszczelnia rozwarstwienie.

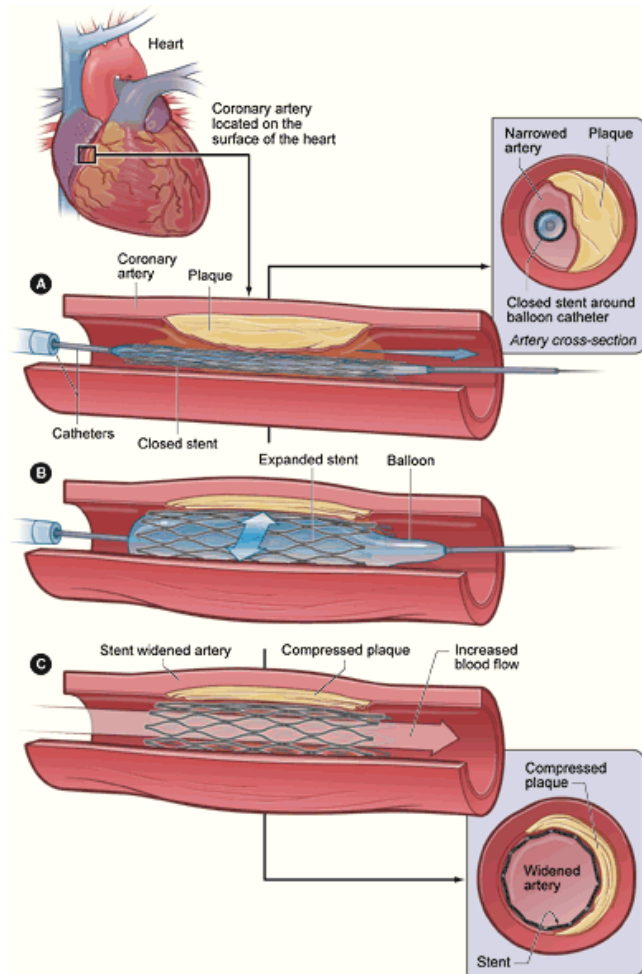


Rysunek 1. Widok na naczynie krwionośne przez stent [5]

2.3. Sposób implantacji

Implantacja stentu przebiega w następujący sposób:

- a) wprowadzenie do tętnicy cewnika zakończonego balonikiem, na który nałożony jest stent,
- b) rozprężanie balonu, poprzez wprowadzenie do niego płynu izotonicznego lub powietrza pod ciśnieniem,
- c) usunięcie cewnika, pozostawiając stent.

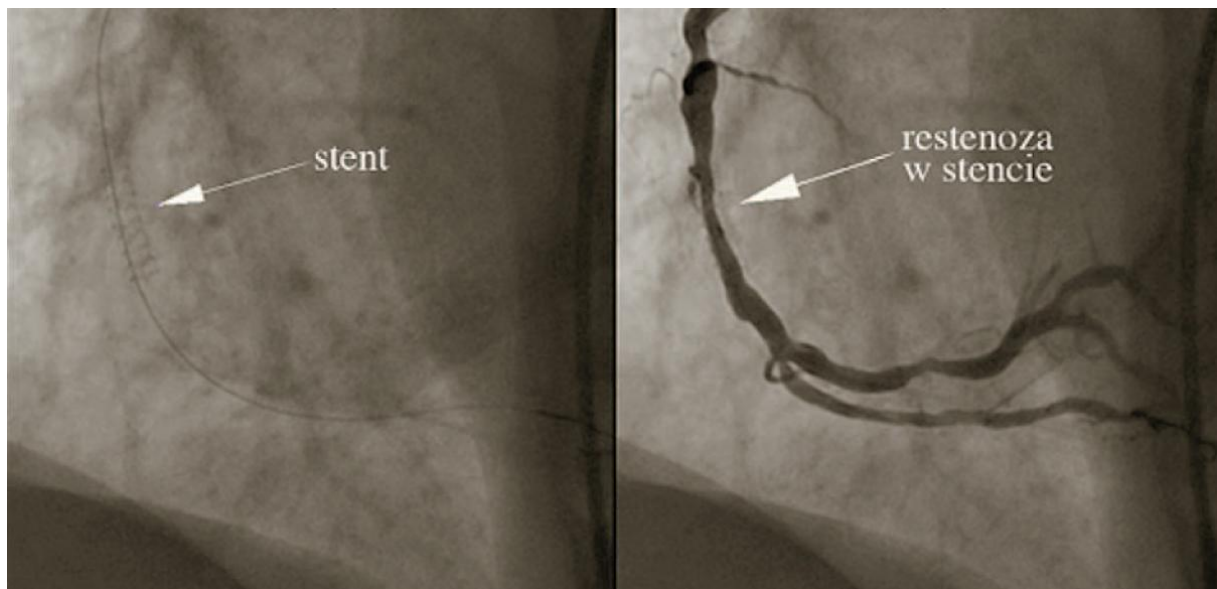


Rysunek 2. Przebieg zabiegu implantacji z wyszczególnionymi etapami [10]

Cały zabieg trwa około 30 minut. Po jego wykonaniu zwężenie tętnicy znika. Podczas zabiegu monitoruje się na bieżąco położenie stentu w naczyniu, aby uniknąć niepowodzenia.

2.4. Restenoza w stencie

Restenozą nazywamy nawrot zwężenia naczynia. Ryzyko jej wystąpienia jest większa u pacjentów z cukrzycą lub w stentach wszczepianych w małe naczynia. Stent jest ciałem obcym, w związku z tym może różnie reagować w kontakcie z ludzką tkanką. Wytwarza się wokół niego neointima, która chroni przepływającą krew przed kontaktem z metalem, ale jej nadmierna ilość powoduje wrastanie do wnętrza naczynia, z powrotem zwężając jego światło.



Rysunek 3. Restenoza w stencie w środkowym odcinku prawej tętnicy wieńcowej [6]

2.5. Rodzaje stentów

a) BMS

Stenty metalowe stosowane w angioplastyce wieńcowej oraz przy ostrym zamknięciu tętnicy wieńcowej.

b) DES (Drug Eluting Stent)

Są to stenty stworzone w celu zapobiegania restenozie- uwalniają one substancje antyproliferacyjne, zmniejszające ryzyko ponownego zamknięcia naczynia. Z racji tego, że obecność tych substancji ma też działania negatywne, w 2006 roku wprowadzono stenty ADES (Absorbable Drug Eluting Stent), w których leki przez nie uwalniane ulegają stopniowemu wchłanianiu.

Three Generations of Stents



Ormiston et al. (2007). Catheterization and Cardiovascular Intervention, 69: 129-131

Rysunek 4. Trzy generacje stentów [7]

Stenty ze względu na postać konstrukcyjną dzielimy również na : siateczkowate (mesh stent), rurowe z nacięciami (slotted tube) , w kształcie zwoju (coil), pierścieniowe (ring) oraz kombinowane.



Rysunek 5. Stent siateczkowy [8]

2.6. Materiały stosowane na stenty

Wymagania :

- wytrzymałość,
- elastyczność,
- kompatybilność.

Materiały:

- nitinol,
- tantal,

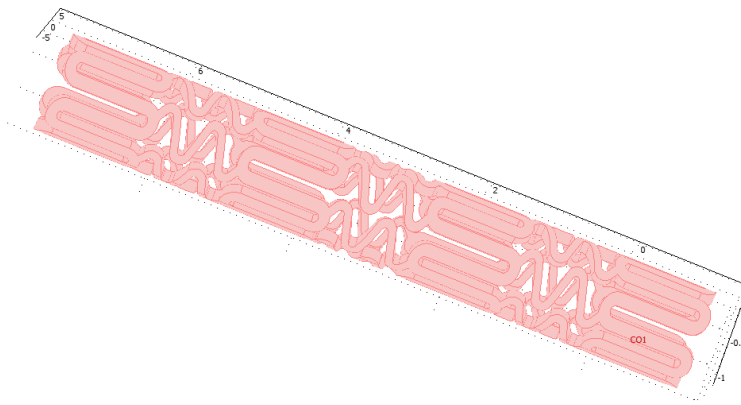
- kobalt,
- tytan,
- złoto,
- stopy kobaltu,
- polimery.

Budowa większości stentów opiera się na stali nierdzewnej, jednak nie jest ona w pełni kompatybilna z ciałem ludzkim. Od jakiegoś czasu wiadome jest, że złoto jest biokompatybilne i inercyjne, a także dobrze widoczne. Tantal jest elastyczny i nieprzepuszczalny dla promieni rentgenowskich. Jest bardziej łamliwy niż stal nierdzewna, jednak dość odporny na korozję. Nitinol (55% nikiel, 45% tytan) łączy wszystkie powyższe cechy: biokompatybilność, elastyczność oraz odporność na korozję, a przede wszystkim posiada doskonałą pamięć kształtu. Niestety jest trudny w produkcji.

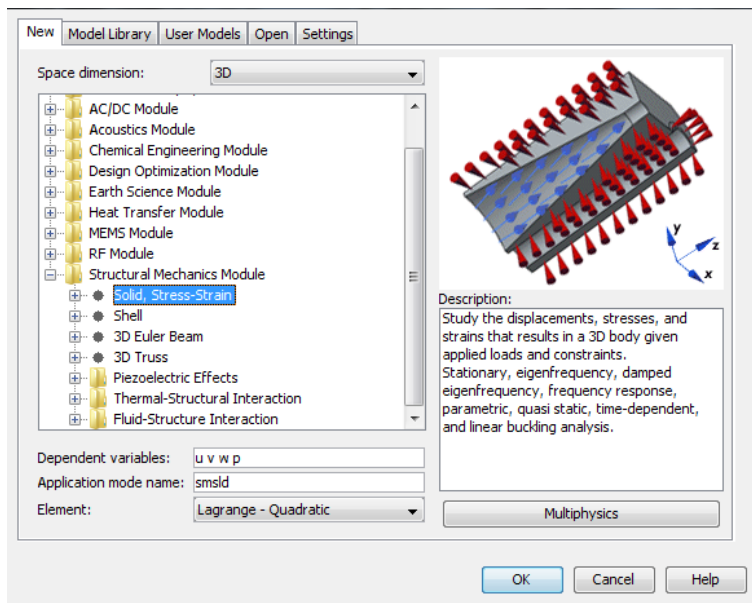
3. Analiza przeprowadzona w programie

Analiza przeprowadzona została w programie COMSOL Multiphysics 3.4

z wykorzystaniem modelu stentu 3D znalezionej na stronie GrabCAD.com. W celu przeprowadzenia badania wybrano tryb 3D Structural Mechanics Module – Solid, Stress-Strain.



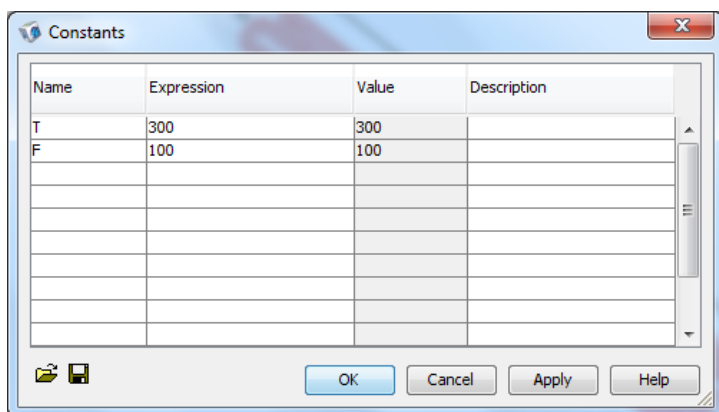
Rysunek 6. Model zaimportowany do środowiska COMSOL Multiphysics 3.4



Rysunek 7. Wybór trybu pracy

3.1 . Warunki początkowe

W zakładce Options znaleziona została opcja Constants umożliwiająca ustawienie stałych parametrów badania. Wybrane zostały wartość siły F równa 100N oraz wartość temperatury wynosząca 300K.

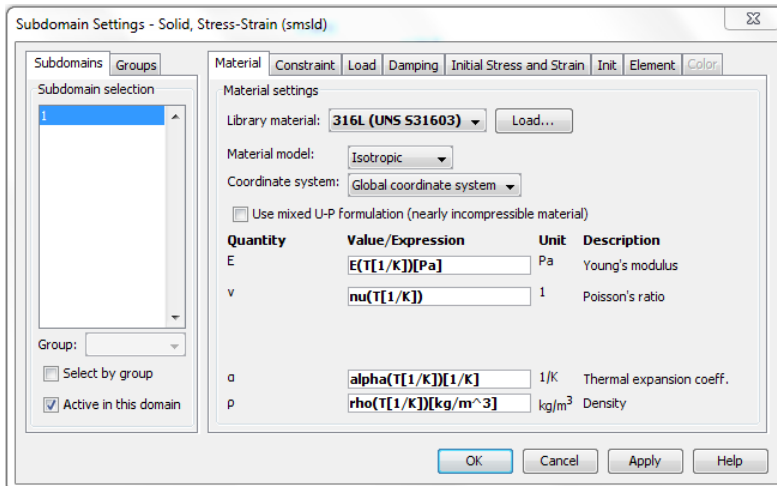


Rysunek 8. Wprowadzone stałe

Wybrane materiały:

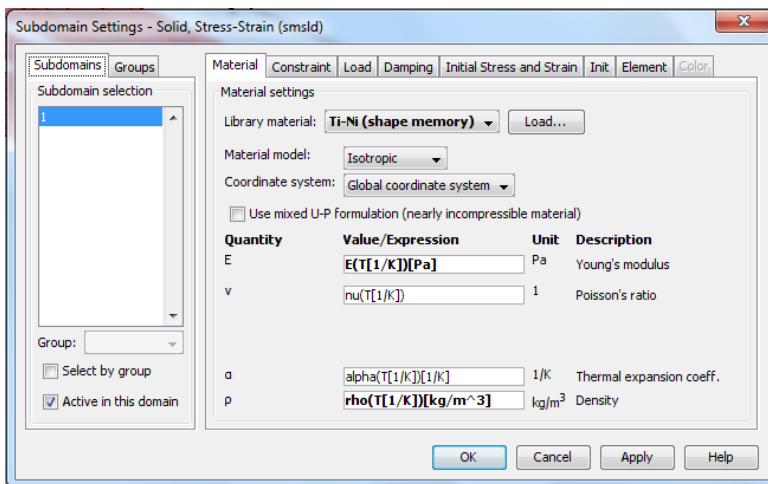
W celu ustawienia materiałów z których wykonany jest stent w zakładce Physics znaleziona została opcja Subdomains Settings. Następnie klikając na ikonę Load weszliśmy do biblioteki w której wybrane zostały następujące materiały:

- Stal 316L



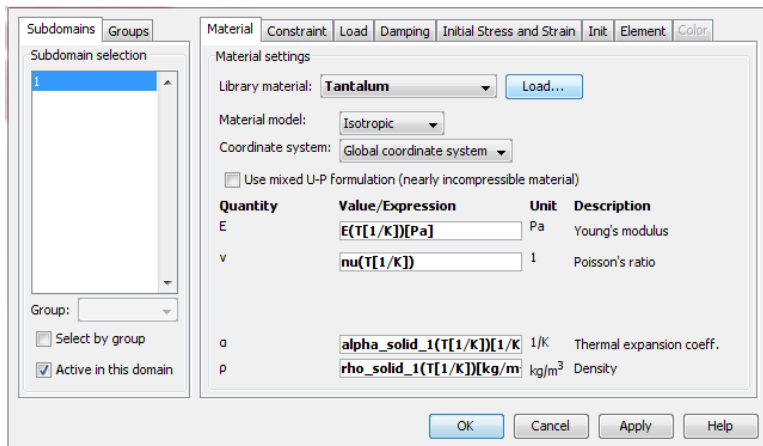
Rysunek 9. Parametry stali 316L

- Nitinol (Ti-Ni)



Rysunek 10. Parametry nitinolu

- Tantal

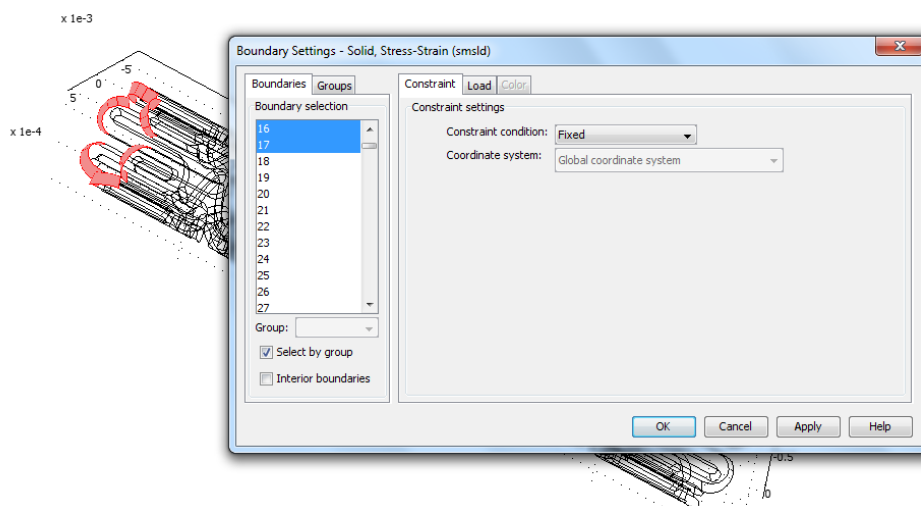


Rysunek 11. Parametry tantalu

3.2. Warunki brzegowe

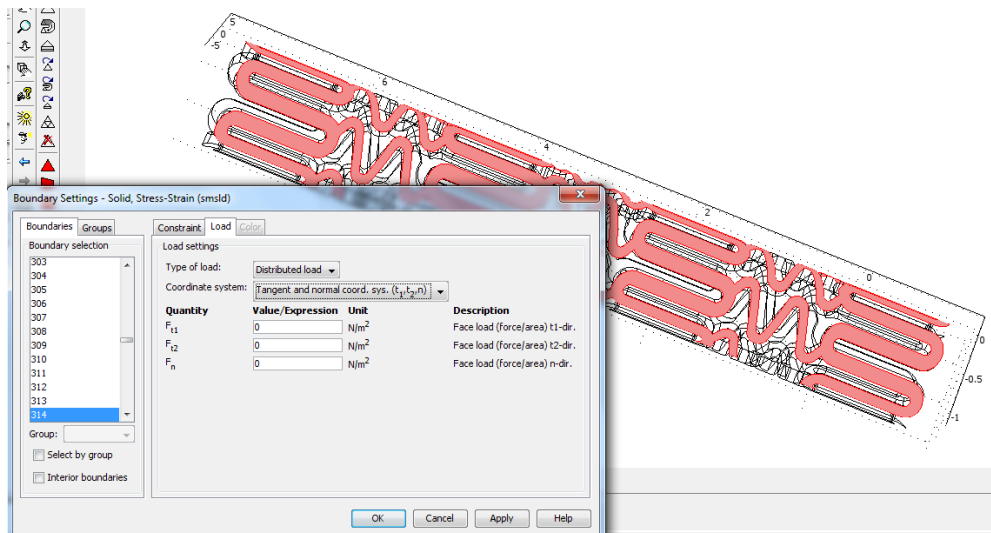
W celu ustalenia warunków brzegowych w zakładce Physics wybrana została opcja Boundary Settings.

- Pierwszym krokiem było jednostronne zamocowanie stenta w tym celu przy funkcji Constraints condition wybrana została opcja Fixed



Rysunek 12. Utwierdzenie modelu

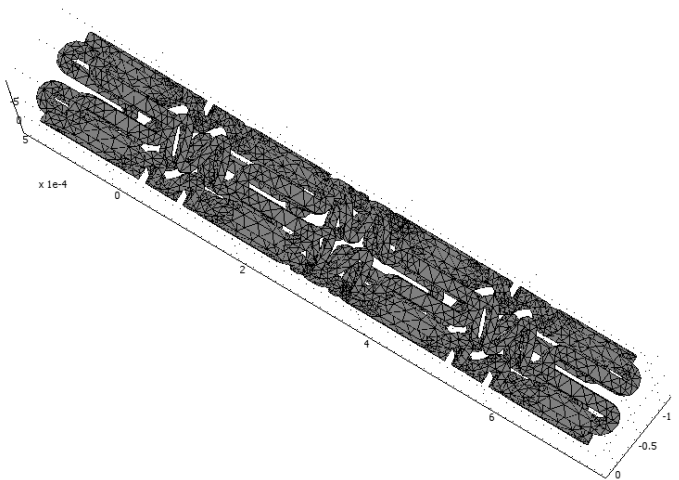
- Po zamocowaniu modelu przystąpiono do wprowadzenia obciążeń. W tym celu również wykorzystana została opcja Boundary Settings. W zakładce Load wprowadzono wartość F_z równą -F



Rysunek 13. Ustawienie obciążeń modelu

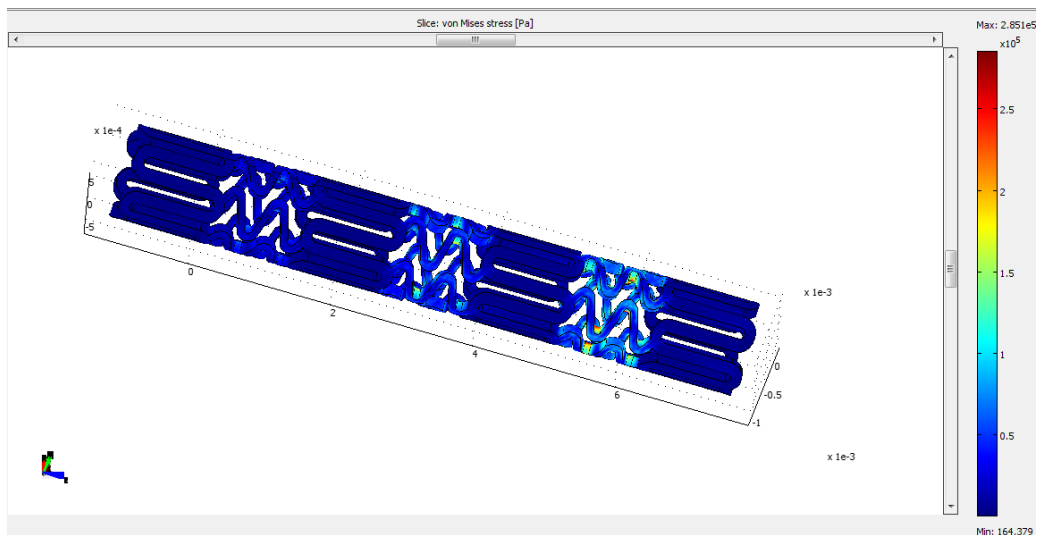
3.3. Analiza stentu wykonanego ze stali 316L

- Przed przystąpieniem do analizy konieczne jest wygenerowanie siatki w celu podzielenia modelu na czworościany.



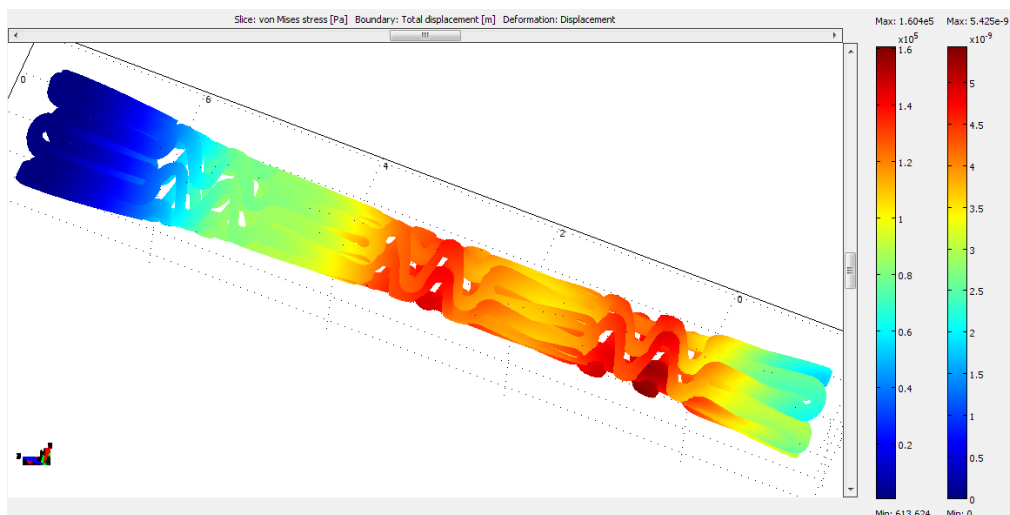
Rysunek 14. Siatka MESH

- Analiza naprężeń
W wyniku analizy otrzymane zostały wartość minimalna naprężeń równa 164,379 Pa oraz wartość maksymalna równa $2,851 \times 10^5$ Pa

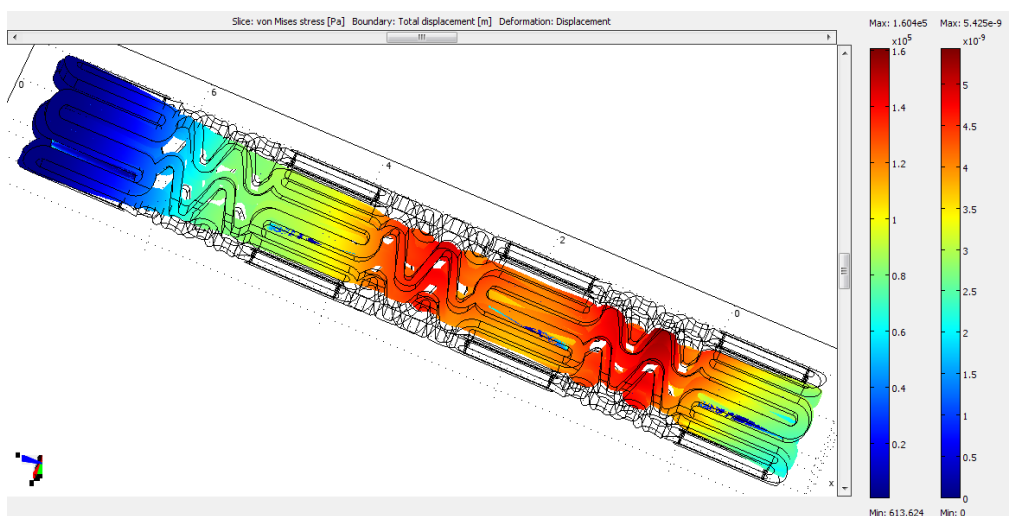


Rysunek 15. Wizualizacja naprężeń działających na stent ze stali 316L

- Analiza odkształceń



Rysunek 16. Odkształcenia stentu wykonanego ze stali 316L

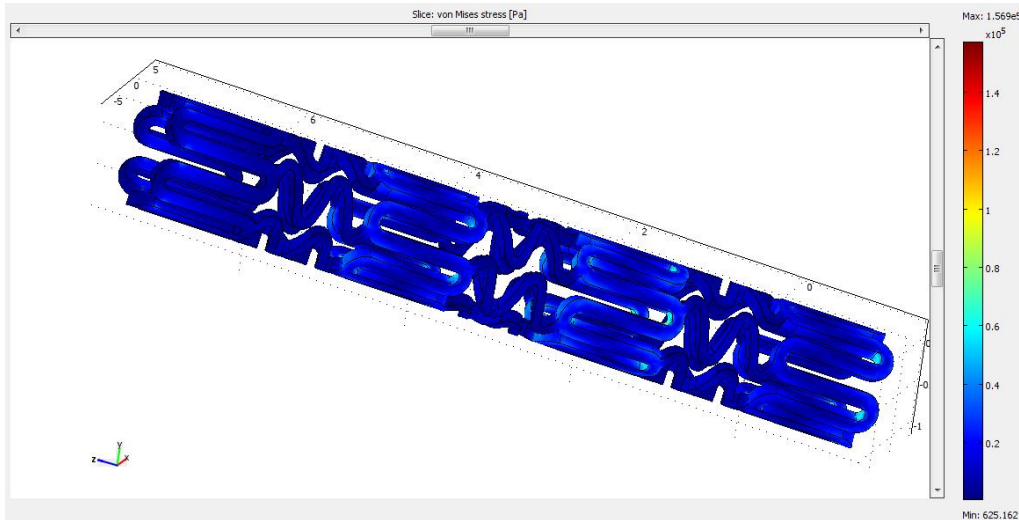


Rysunek 17. Porównanie kształtu stentu wykonanego ze stali 316L przed i po dodaniu obciążeń

3.4. Analiza stentu wykonanego z nitinolu (stopu Ti-Ni)

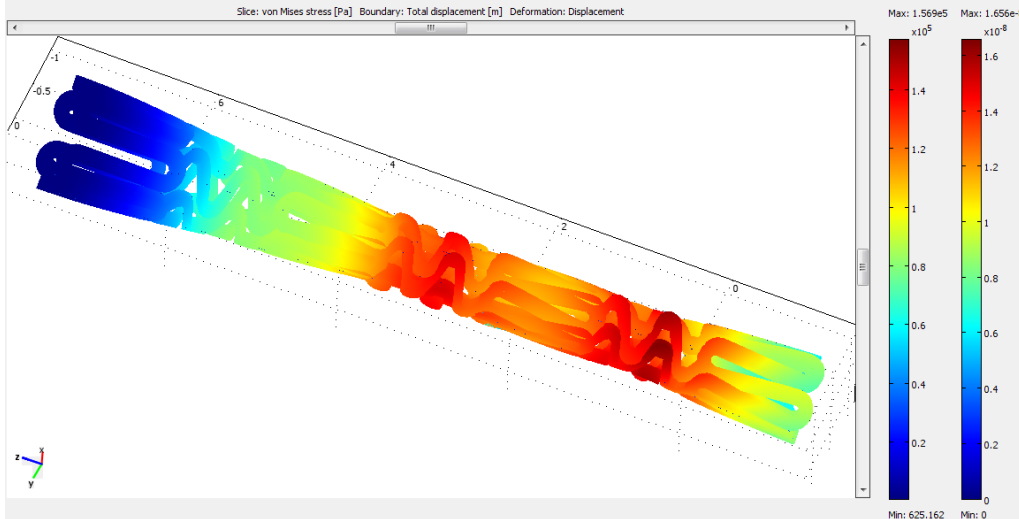
- Analiza naprężeń

W wyniku analizy otrzymane zostały wartości minimalna naprężeń równa 625,162 Pa oraz wartość maksymalna równa $1,569 \times 10^5$ Pa.

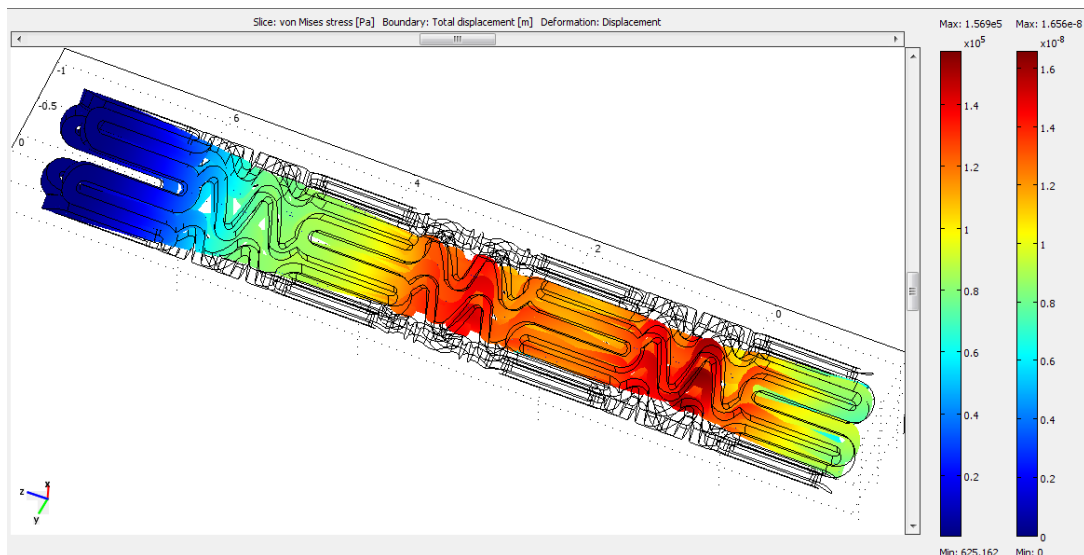


Rysunek 18. Wizualizacja naprężeń stentu wykonanego ze stopu Ti-Ni

- Analiza odkształceń



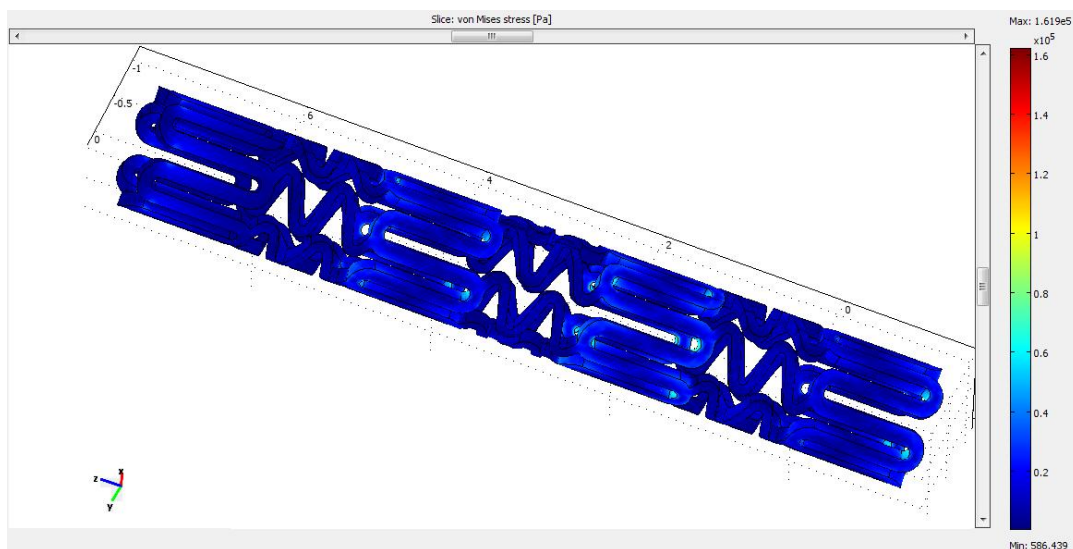
Rysunek 19. Odkształcenie stentu wykonanego ze stopu Ti-Ni



Rysunek 20. Porównanie kształtu stentu wykonanego ze stopu Ti-Ni przed i po dodaniu obciążeń

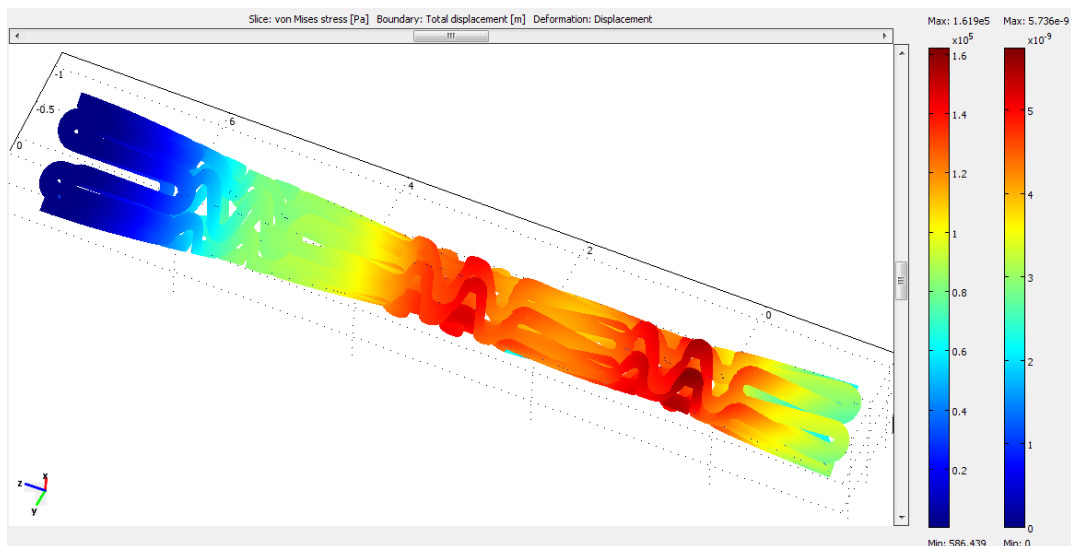
3.5. Analiza stentu wykonanego z tantalu

- Analiza naprężeń
W wyniku analizy otrzymane zostały wartość minimalna naprężeń równa 586,439 Pa oraz wartość maksymalna równa $1,619 \times 10^5$ Pa.

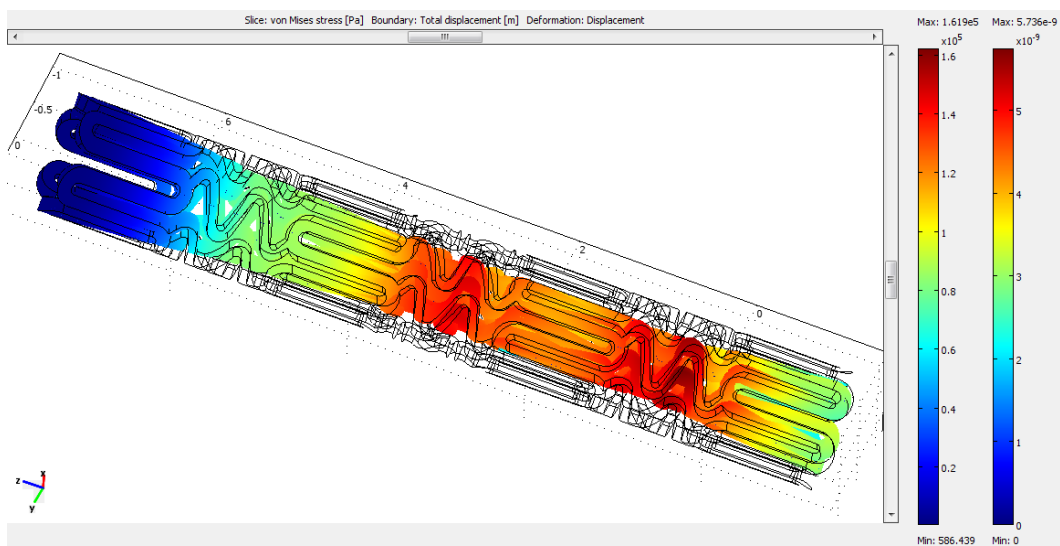


Rysunek 21. Wizualizacja naprężeń stentu wykonanego z tantalu

- Analiza odkształceń



Rysunek 22. Odształcenie stentu wykonanego z tantalu



Rysunek 23. Porównanie kształtu stentu wykonanego z tantalu przed i po dodaniu obciążeń

4. Podsumowanie

4.1. Podsumowanie wyników

	Stal 316L	Nitinol	Tantal
Napężenie maksymalne [Pa]	2,851x10 ⁵	1,569x10 ⁵	1,619x10 ⁵
Odkształcenie maksymalne [m]	5,425x10 ⁻⁹	1,656x10 ⁻⁸	5,736x10 ⁻⁹

4.2. Wnioski

Pierwsze co wnioskujemy z analizy to, że najmniejsze naprężenia występują w stencie wykonanym z nitinolu, zaś największe w tym wykonanym ze stali 316L. Jednak najmniejszą wartość odkształcenia osiąga właśnie stal 316L, choć jest to wartość niewiele mniejsza od wartości odkształcenia tantalu. Mniejsze odkształcenie oznacza, że jego średnica jest większa, w związku z czym krew przepływać będzie płynniej. Mimo tych wyników stenty nitinolowe są lżejsze, ze względu na mniejszą gęstość stopu nitinolu. Wszystkie trzy materiały uznane są za biogodne, nie wywołują stanów zapalnych ani innych niepożądanych reakcji.

Obciążenie miało symulować nacisk ścian naczyń krwionośnych. Wszystkie sprawdzone materiały przetrwały tę próbę. Wyróżnienie jednego z nich jest ciężkim zadaniem z powodu różnorodności ich właściwości. Tantal jest bardziej kruchy od pozostałych, jednak jest często stosowany ze względu na łatwość implementacji. Pamięć kształtu nitinolu również działa na jego korzyść. Wszystko zależy od tego co planujemy osiągnąć- odpowiednią średnicę czy zaimplementowanie stentu w trudno dostępnym naczyniu krwionośnym.

Zabiegi wewnątrznacyniowe są jedną z podstawowych metod stosowanych przez kardiologów, stanowią one alternatywę dla operacji na otwartym sercu. Wynalezienie stentów wieńcowych prawdziwie zrewolucjonizowało tę dziedzinę i ułatwiło radzenie sobie z takimi schorzeniami jak choroba wieńcowa. Coraz nowsze generacje pozwalają na osiągnięcie coraz lepszych rezultatów.

5. Bibliografia

1. <http://www.kardiolo.pl/stent.htm>
2. <http://www.forumkardiologiczne.pl/wiadomosc/czym-sa-stenty/15151>
3. <http://www.wssn.com.pl/pages/slajdy/Wyk%C5%82ad.4.pdf>
4. <https://portal.abczdrowie.pl/zastosowanie-rozpuszczalnych-stentow-w-leczeniu-choroby-wiencowej>
5. http://www.gastrointestinalatlas.com/english/esophageal_stent.html
6. <http://www.phmd.pl/fulltxhtml.php?ICID=849242>
7. <https://www.slideshare.net/quizzito/bioabsorbable-drugeluting-cardiac-stent-analysis>
8. <http://www.medwarn.org/stents.html>
9. <https://blog.mediligence.com/2009/06/11/materials-used-in-stent-construction/>
10. https://pl.wikipedia.org/wiki/Stent#/media/File:PTCA_stent_NIH.gif