



**POLITECHNIKA POZNAŃSKA  
WYDZIAŁ BUDOWY MASZYN I ZARZĄDZANIA**



# **MODELOWANIE I SYMULACJA ZAGADNIENÍ BIOMEDYCZYCH**

**PROJEKT**

**Temat:**

**MODELOWANIE I SYMULACJA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH PANEWKI  
PROTEZY BIODROWEJ.**

**Wykonali:**

**Łosińska Julia  
Szorc Krzysztof  
Świtała Hubert**

**Prowadzący:**

**dr hab. inż. Tomasz Stręć, prof. nadzw.**

**Poznań 2016**

## Spis treści

1	Cel i zakres pracy.....	3
2	Wstęp.....	3
2.1	Opis modelu.....	3
2.2	Pojęcie endoprotezy.....	4
2.3	Budowa endoprotezy.....	4
2.4	Panewka.....	5
2.5	Przyczyny stosowania endoprotez.....	6
2.6	Typowy przebieg leczenia operacyjnego.....	6
3	Mechanika stawu biodrowego.....	7
4	Wymagania stawiane materiałom przy projektowaniu protez.....	7
4.1	Materiały metalowe.....	7
4.2	Materiały niemetalowe.....	8
5	Wykonane działania w programie COMSOL Multiphysics.....	8
5.1	Zaimportowanie modelu.....	8
5.2	Dobór materiału.....	10
5.3	Warunki brzegowe.....	10
5.4	Siatka.....	14
5.5	Symulacja.....	15
5.5.1	Wyniki symulacji dla tytanu technicznego.....	15
5.5.2	Wyniki symulacji dla stopu tytanu Ti - 6Al - 4V.....	17
5.5.3	Zobrazowanie odkształcania się panewki dla obu materiałów.....	18
5.5.4	Odkształcenie modelu panewki.....	21
6	Podsumowanie i wnioski.....	22
7	Literatura.....	23

## 1. Cel i zakres pracy.

Celem tego projektu jest zamodelowanie panewki protezy biodrowej, a następnie przeprowadzenie na wykonanym modelu analizy statycznej i częstotliwościowej. Model jest jednym, nierozłącznym elementem. Przeprowadzone badania są oparte na analizie w sytuacji stania na jednej nodze. Symulacje zostaną wykonane w programie COMSOL Multiphysics.

## 2. Wstęp.

### 2.1 Opis modelu.

Wybrany przez nas modelem jest panewka. Jest to część protezy biodrowej bezpośrednio mocowany do kości biodrowej. Został zamodelowany w programie SolidWorks.



*Rys. 1 Model endoprotezy stawu biodrowego.*

## 2.2 Pojęcie endoprotezy.

Endoproteza jest elementem, którego zadaniem jest fizyczne zastąpienie organu lub tkanki. Wszczepiany jest operacyjnie do organizmu w przypadku utraty funkcjonalności narządu, w celu odzyskania lub wspomagania prawidłowego działania. Specjalne materiały stosowane do wykonywania endoprotez są biomateriałami. Charakteryzują się one zdolnością akceptacji przez organizm ludzki. Element wykonany z takiego materiału jest w stanie trwale połączyć się z żywą tkanką.

## 2.3 Budowa endoprotezy.

Endoproteza stawu biodrowego składa się z trzech współdziałających elementów: trzpień, głowa i panewka. Może być ona wszczepiana na dwa sposoby, od których zależy materiał i ich budowa. Endoprotezę wszczepiamy z wykorzystaniem cementu kostnego, lub na zasadzie "wcisku". Proteza mocowana w ten sposób zrasta się z kością, dlatego jej części pokryte są substancjami umożliwiającymi wzajemne połączenie się implantu z kością.

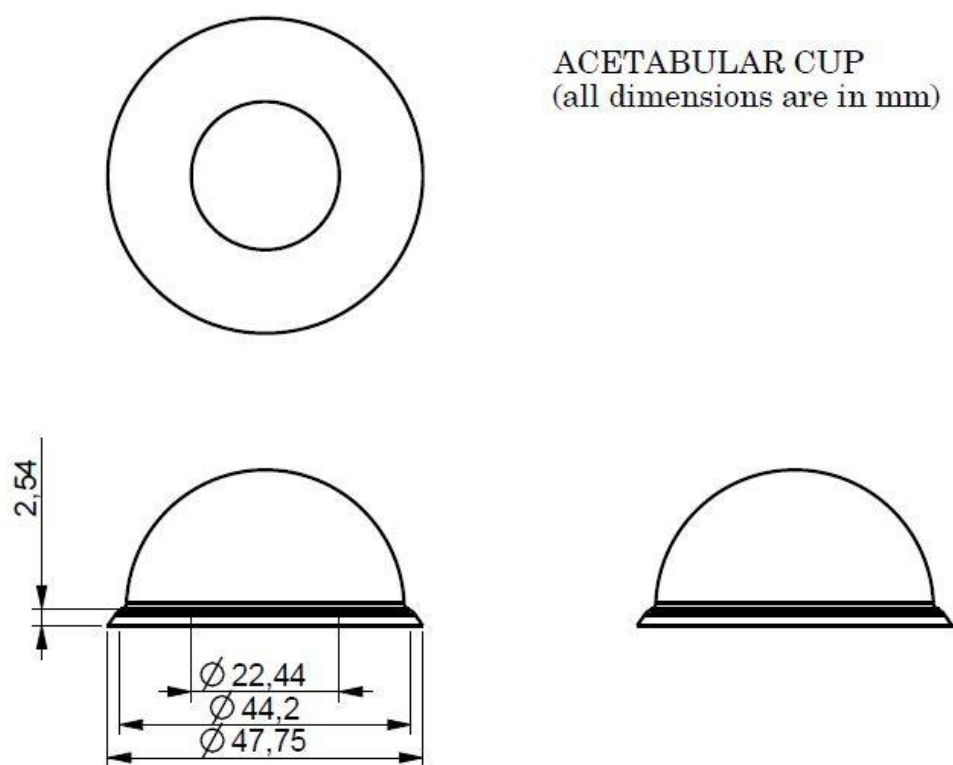


*Rys. 2 Schemat budowy endoprotezy stawu biodrowego.*

Istnieje kilkadziesiąt rodzajów endoprotez, które różnią się od siebie kształtem, sposobem mocowania oraz rodzajem materiału. Projektowanie endoprotez ma na celu uzyskanie implantu, który będzie charakteryzował się biogodnością, biofunkcjonalnością oraz trwałością.

## 2.4 Panewka

Panewka jest sferycznym elementem endoprotezy stawu biodrowego mocowanym do kości miednicy. W endoprotezach bezcementowych panewka mocowana jest na wcisk (press-fit) lub wkręcana do kości (panewki sferyczne lub stożkowe), trzpień mocowany jest do trzonu kości udowej na zasadzie wklonowania. W endoprotezie bezcementowej panewka z reguły składa się z części metalowej i wkładki polietylenowej. Obydwa elementy endoprotezy (trzpień i panewka) są metalowe z porowatą powierzchnią- co powoduje z czasem przyrośnięcie endoprotezy do kości pacjenta. Powierzchnię tę stanowi hydroksyapatyt- specjalny materiał integrujący się z kością lub powierzchnia pokrywana jest tytanem- także zrastającym się z kością pacjenta.



Rys. 3 Konstrukcja i wymiary panewki endoprotezy stawu biodrowego.

W endoprotezach cementowych stanowi ona jeden sferyczny, polietylenowy element osadzany na cemencie kostnym. W endoprotezach bezcementowych składa się z dwóch elementów: części zewnętrznej, metalowej oraz wewnętrznej wkładki polietylenowej. Część metalowa ma kształt sferyczny lub stożkowy i jest wkręcana do kości panewki lub wbijana do przygotowanego łoża ("press-fit") z możliwością dodatkowego przymocowania śrubami. Wewnętrzna część wkładki polietylenowej może być metalowa, co dodatkowo zwiększa wytrzymałość na ścieranie.

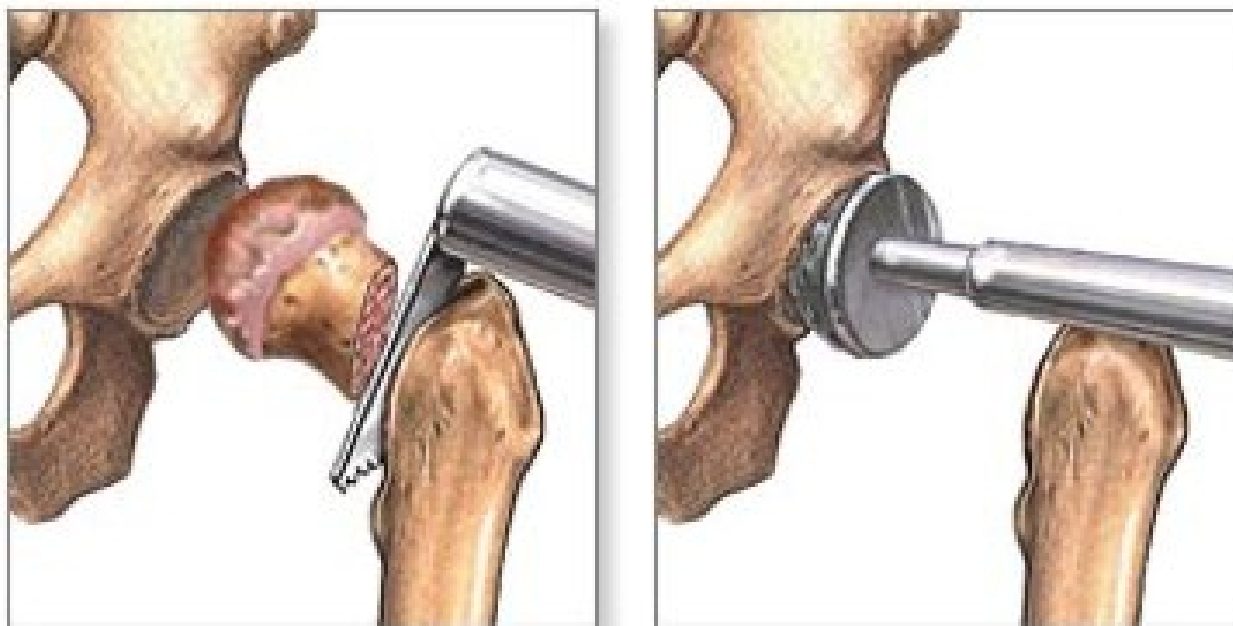
Panewki muszą być dostosowane do użytkownika, dlatego produkuje się zróżnicowane rozmiary, co ułatwia ich zastosowanie.

## 2.5. Przyczyny stosowania endoprotez.

Główną przyczyną, która zmusza pacjenta do podjęcia operacji wszczępienia endoprotezy stawu biodrowego jest choroba zwyrodnieniowa stawu. Wyróżnić możemy dla rodzaje: pierwotną oraz wtórną. Pierwotna choroba - idiopatyczna - ma nieznaną przyczynę. Objawia się zaś tym, że kość udowa w panewce stawowej jest zanurzona zbyt głęboko. Choroba wtórna ma wiele odmian. Pierwszą z nich jest dysplastyczna, czyli wrodzona dysplazja stawów biodrowych. Choroba pourazowa zaś pojawia się po zwichnięciu urazowym biodra, złamaniu szyjki kości udowej, czy centralnym zwichnięciu stawu biodrowego. Ostatnimi są choroby pozapalne. Są skutkiem swoistego i nieswoistego zapalenia stawów.

## 2.6 Typowy przebieg leczenia operacyjnego.

Pierwszym etapem operacji jest odcięcie szyjki kości udowej i frezowanie panewki w miednicy.



*Rys. 4 Operacja usunięcia głowy kości udowej i wszczępienia endoprotezy.*

Kolejnym implantacja panewki endoprotezy, a następnie trzpienia.

Zabieg endoprotezoplastyki stawu biodrowego przeprowadza się najczęściej w znieczuleniu zewnątrzoponowym- bez narkozy. W dniu zabiegu chory otrzymuje osłonę antybiotykową oraz profilaktykę przeciwzakrzepową. Ze względu na utratę krwi w czasie zabiegu oraz w okresie okołoperacyjnym zwykle konieczne jest przetoczenie krwi. Możliwe jest zastosowanie aparatu do autotransfuzji zwrotnej, aby uniknąć przetaczania obcej krwi. Niejednokrotnie w zabiegach endoprotezoplastyki stawów biodrowych wykorzystuje się nawigację komputerową. W pierwszej dobie po zabiegu stosowane są ćwiczenia izometryczne, oddechowe oraz próba pionizacji. Ćwiczenia są stopniowo rozszerzane, tak aby w szóstej, bądź siódmej dobie rozpocząć chodzenie z lekkim obciążaniem operowanej kończyny dolnej.

### **3. Mechanika stawu biodrowego.**

Na staw biodrowy mogą oddziaływać dwa rodzaje sił: zewnętrzne siły pochodzące od podpór, przyciągania ziemskiego i interakcji z innymi ciałami działającymi na człowieka oraz siły wewnętrzne z jakimi poszczególne mięśnie działają na kości człowieka. Określenie wartości tych drugich sił jest utrudnione ze względu na ich dużą liczbę, kierunek działania zależny od wzajemnych położen poszczególnych, współpracujących ze sobą części ciała.

Staw biodrowy wykonuje różne ruchy: w płaszczyźnie strzałkowej - zginanie i prostowanie, w płaszczyźnie czołowej - odwodzenie i przywodzenie, w płaszczyźnie poprzecznej – nawracanie i odwracanie.

### **4. Wymagania stawiane materiałom przy projektowaniu protez.**

#### **4.1 Materiały metalowe**

Metale i stopy przeznaczone na implanty powinny wykazywać odpowiednie właściwości mechaniczne (wytrzymałość na rozciąganie, granica plastyczności, wytrzymałość zmęczeniowa, twardość, odporność na ścieranie, sztywność, plastyczność, ciągliwość), właściwości technologiczne (zapewnienie założonej jakości biomateriału, wymaganej jakości powierzchni i implantu, przydatność materiału i produktu do efektywnej sterylizacji i minimalne koszty wytwarzania) oraz biotolerancję (reakcje z tkankami i płynami ustrojowymi, stabilność własności mechanicznych, fizycznych, chemicznych oraz degradacja związana z uszkodzeniami lokalnymi implantu i systematycznymi efektami korozyjnymi).

## **4.2 Materiały niemetalowe**

W materiałach niemetalowych możemy wyróżnić kilka odmiennych rodzajów wykazujących odpowiednie właściwości dla endoprotez stawu biodrowego.

Ceramika posiada odmienne i nieosiągalne dla tworzyw metalowych właściwości, takie jak porowatość, umożliwiająca zrastanie się tkanki okołowszczepowej, wysoka twardość, odporność ścierna oraz wytrzymałość na ściskanie, odporność korozyjna w środowisku organizmu żywego oraz bardzo dobra biotolerancja. Połączenie jej właściwości oraz właściwości które posiadają tworzywa metalowe powoduje zestawienie najbardziej korzystne dla rozpatrywanych protez.

Największą biotolerancję, którą sprawia aktywność biologiczna zbliżona do kości pod względem składu chemicznego i fazowego, wykazuje hydroksyapatyt. Jego warstwy wytwarza się na powierzchni szkła i dlatego bioszkła wpływają na procesy metaboliczne organizmów żywych, wiążąc się trwale z tkankami.

Tworzywa sztuczne - polietylen - ze względu na swe odmienne od materiałów metalicznych i ceramicznych właściwości mechaniczne oraz fizykochemiczne, znalazły szerokie zastosowanie np. jako panewki endoprotezach stawów, nici chirurgiczne, czy protezy więzadeł. Ich główne cechy to prostota w osiągnięciu jakości materiału podobnej dla różnych partii wyrobów, łatwość formowania bez degradacji tworzywa oraz nieskomplikowane metody sterylizacji.

## **5. Wykonane działania w programie COMSOL Multiphysics.**

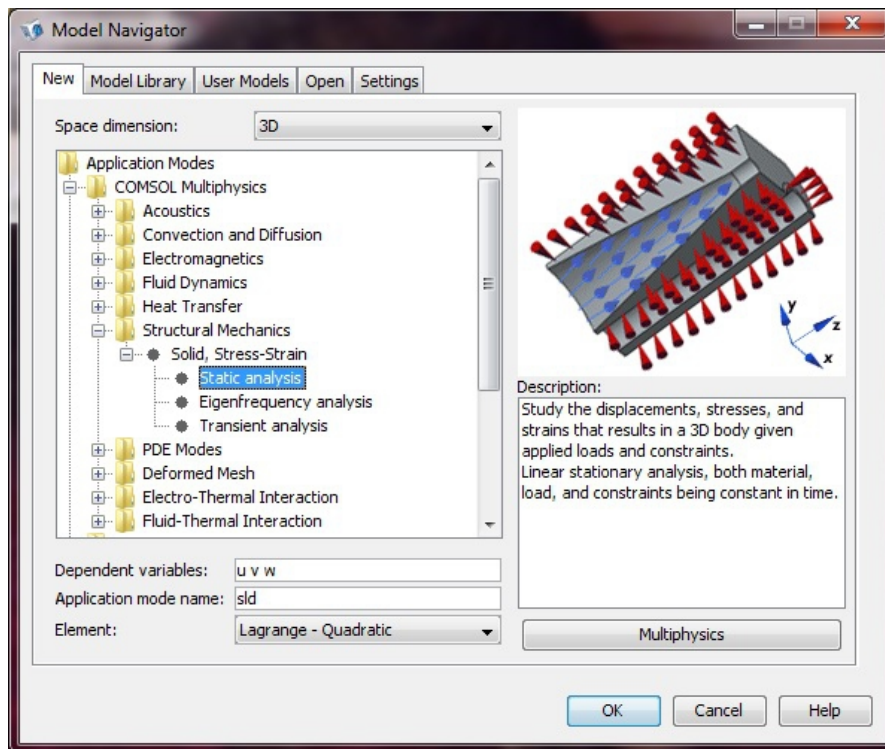
### **5.1 Zaimportowanie modelu.**

W ramach realizowanego projektu wykonano analizę wytrzymałościową panewki za pomocą programu COMSOL Multiphysics.

Na początku został znaleziony model panewki wykonany w środowisku SolidWorks, na którym zostanie przeprowadzona analiza.

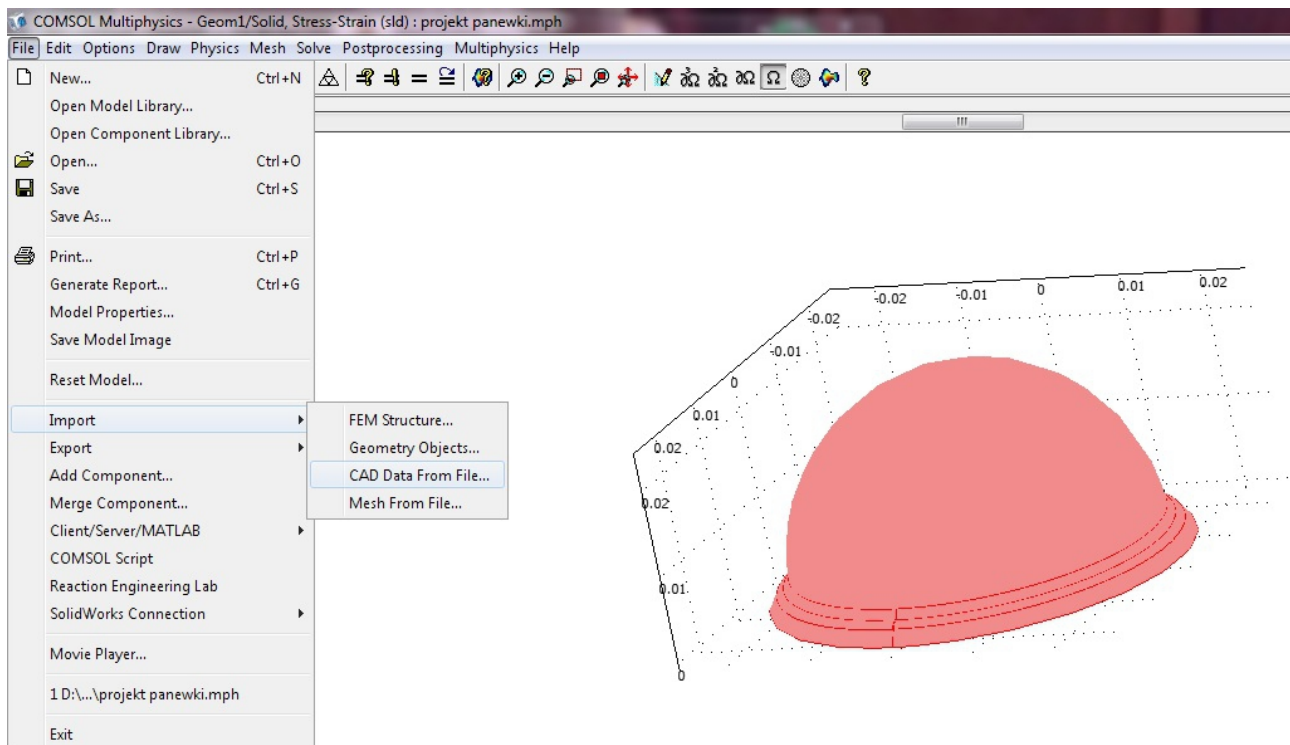
Symulację przeprowadzono na modelu 3D obrano fizykę "Struktural Mechanics" analizowaną pod kątem operacji "Static analysis".





Rys. 5 Wybrany tryb pracy programu.

Wykorzystując opcję "importuj" wprowadzono model 3D do programu COMSOL.

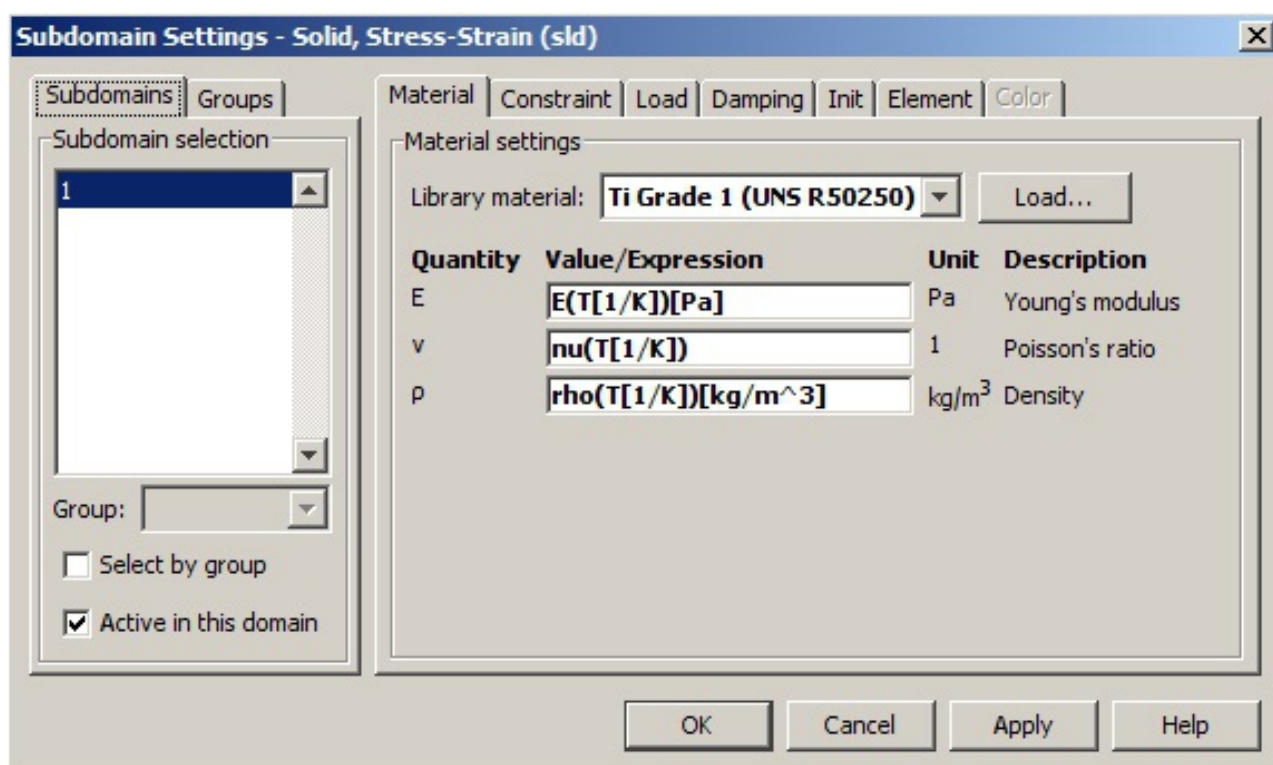


Rys. 6 Zaimportowanie modelu 3D panewki endoprotezy stawu biodrowego.

Wybranie odpowiedniego modelu nie należało do najprostszych zadań, ze względu na konieczność wygenerowania siatki umożliwiającej obliczenia. Pierwotnie zależało nam na przeanalizowaniu całej endoprotezy stawu biodrowego, jednak przez wzgląd na komplikacje związane z geometrią oraz krawędziami, które generowały błędy, dalsze obliczenia stały się niemożliwe.

## 5.2 Dobór materiału.

Dla elementu dobrany został materiał, który jako pierwszy został przeanalizowany: Ti Grade 1 (UNS R50250), czyli tytan techniczny.



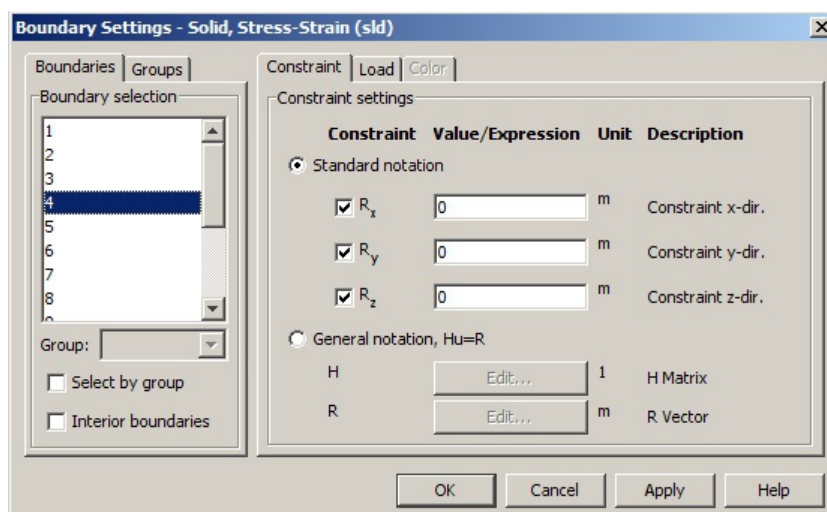
Rys. 7 Wybranie materiału Ti Grade 1.

Tytan jest najczęściej stosowanym materiałem przy wykonywaniu panewki. Posiada on parametry narzucone przez program, zawierają się one w bibliotece materiałów, w której można odczytać dane liczbowe.

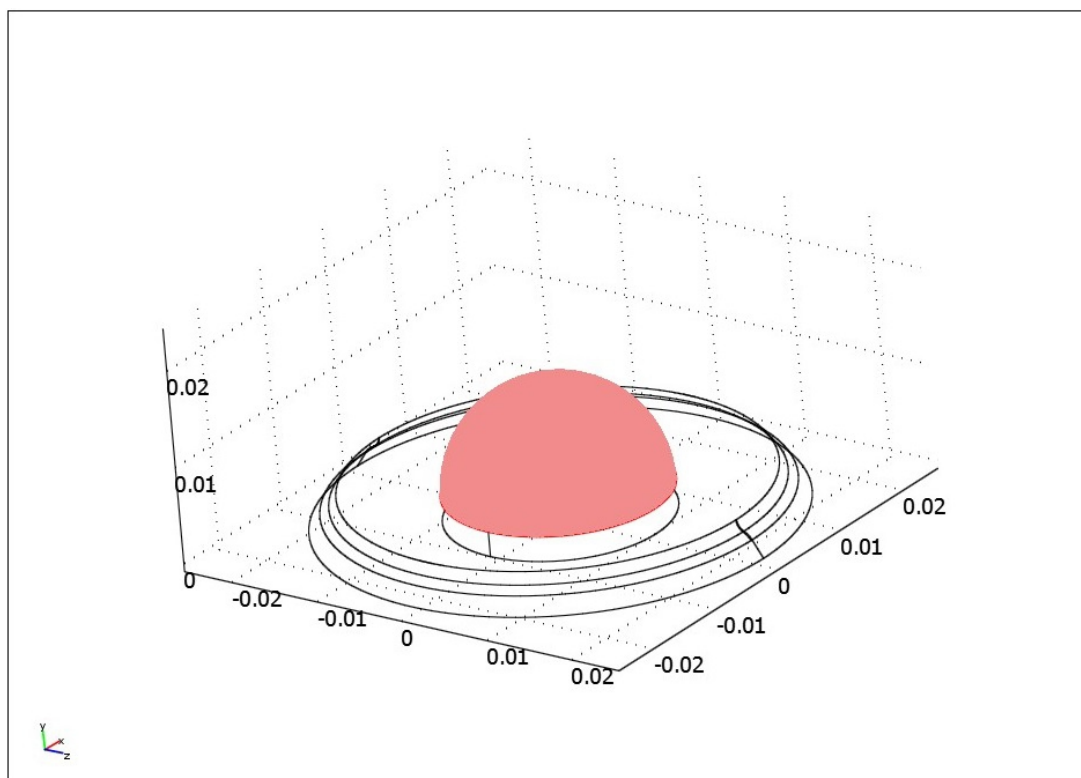
### 5.3 Warunki brzegowe.

Po określeniu właściwości materiału przystąpiono do określenia kierunku sił działających na protezę. Ustalono, iż obciążenie powinno być dostosowane do osoby ważącej więcej niż przeciętnie, czyli ponad 100 kg, co daje nam siłę sięgającą  $400\ 000\ \text{N/m}^2$ .

Zanim ustalone zostały płaszczyzny działania sił, zaczepona została wewnętrzna część panewki ta, która ma bezpośredni kontakt z głową endoprotezy. W tym celu zastosowano funkcję "Boundary Settings - Constraint" i unieruchomiono część w każdej płaszczyźnie.

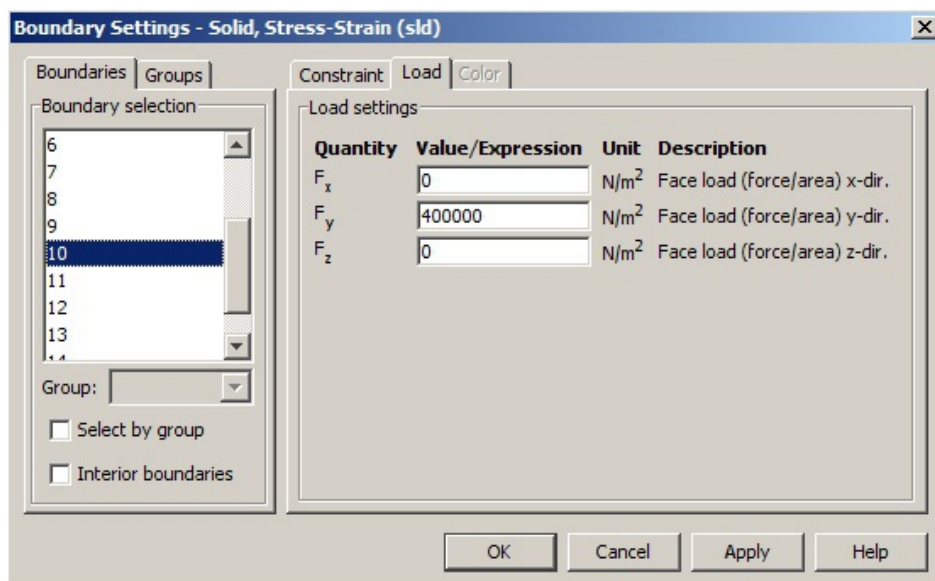


Rys. 8 Unieruchomienie wewnętrznej części panewki.

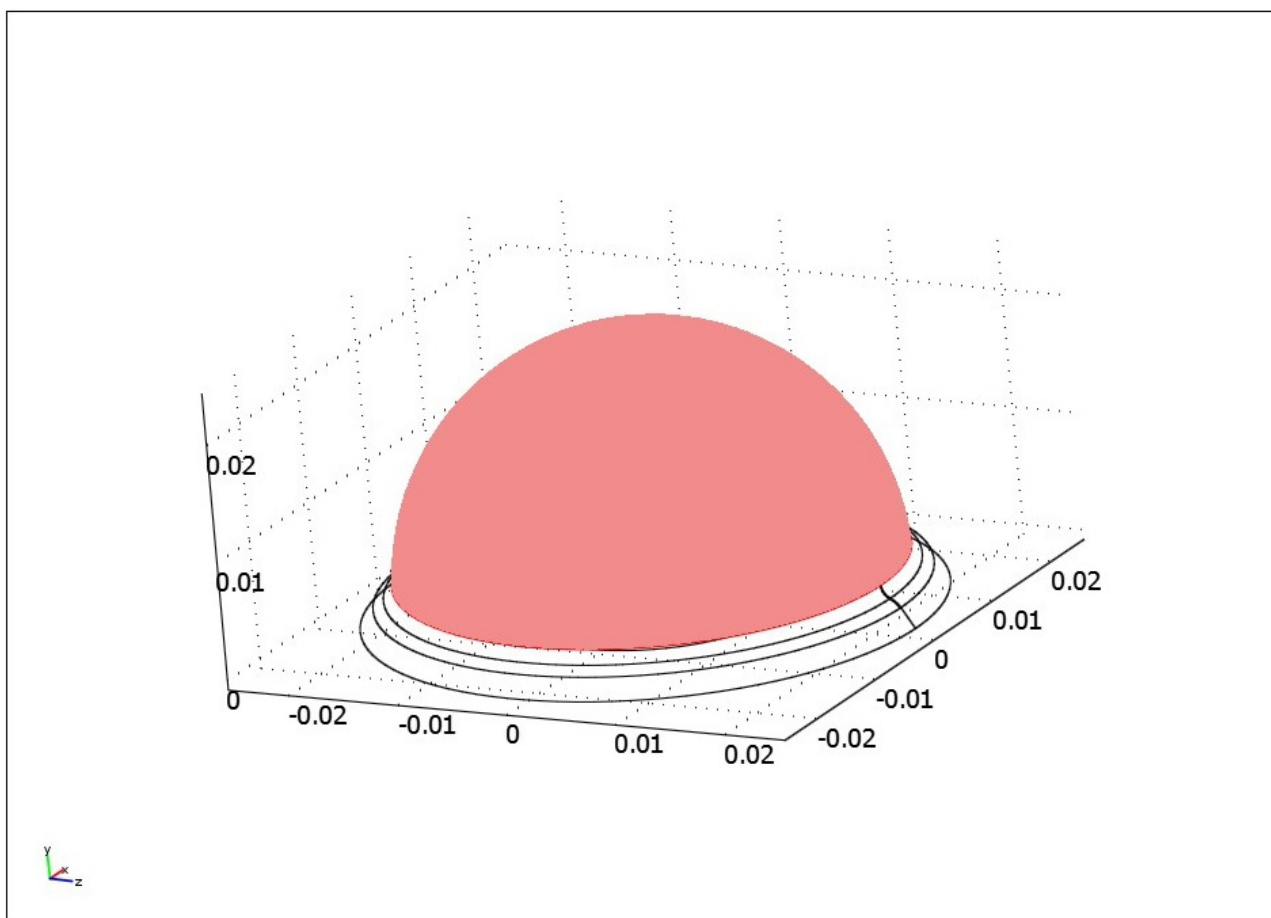


Rys. 9 Na rysunku zaznaczona została unieruchomiona część modelu.

Po zakończeniu tego działania, przystąpiono do wybrania miejsca i kierunku przyłożenia siły. W tym celu należało wybrać kolejno w programie: "Physics" → "Boundary Settings" → "Load" → kliknąć na obszary wygenerowane na powierzchni w miejscu planowanego przyłożenia siły (w tym przypadku oś Y) → wpisać żądaną wartość obciążenia.

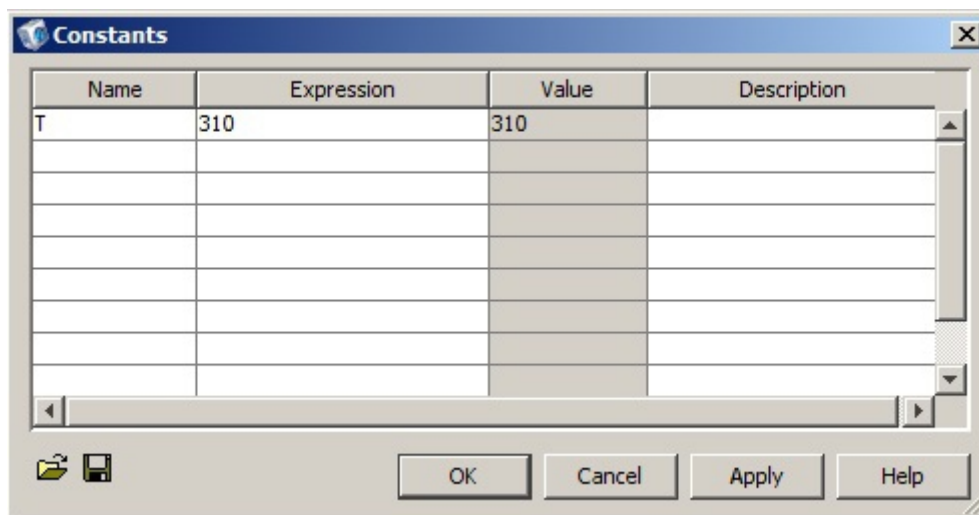


Rys. 10 Wpisanie żądanej wartości obciążenia.



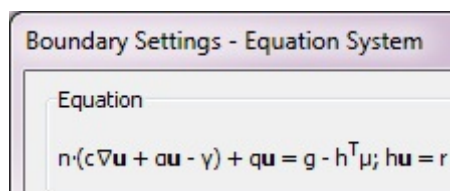
Rys. 11 Na rysunku zaznaczona została obciążona powierzchnia modelu.

Ustalona została również temperatura.



Rys. 12 Ustalenie temperatury.

Równania wykorzystywane do symulacji mają następującą postać:



Rys. 13 Równanie.

Gdzie:

$\nabla$  - operator Nabla

$\sigma$  - naprężenie

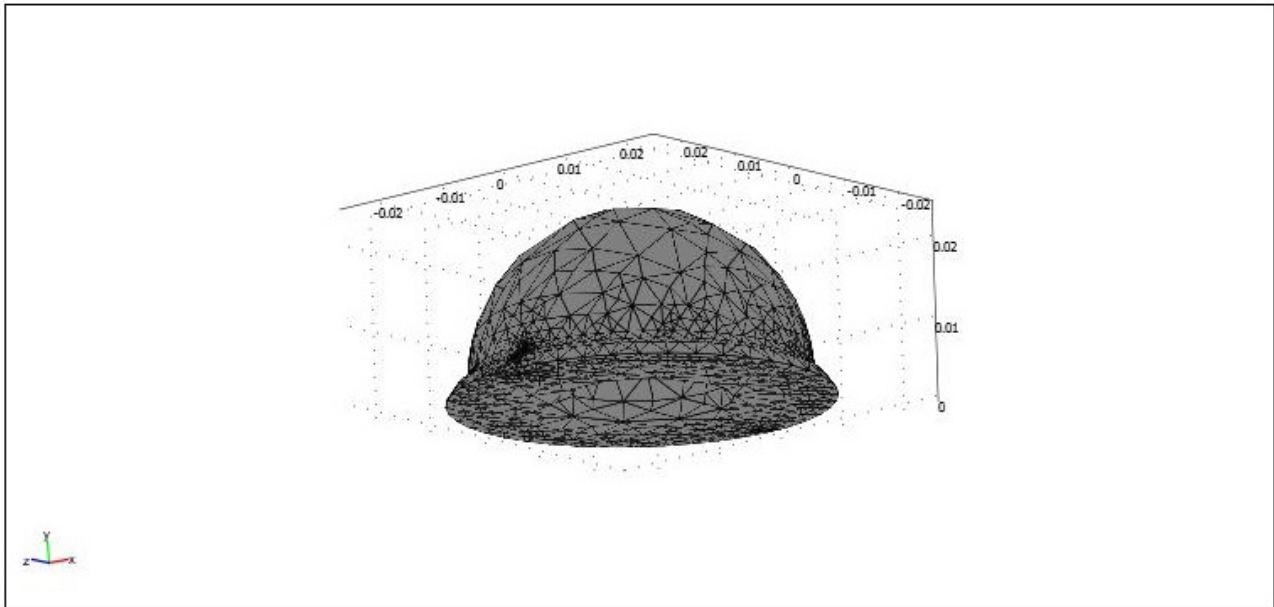
$F$  - siła objętościowa

$\epsilon$  - tensor odkształcenia

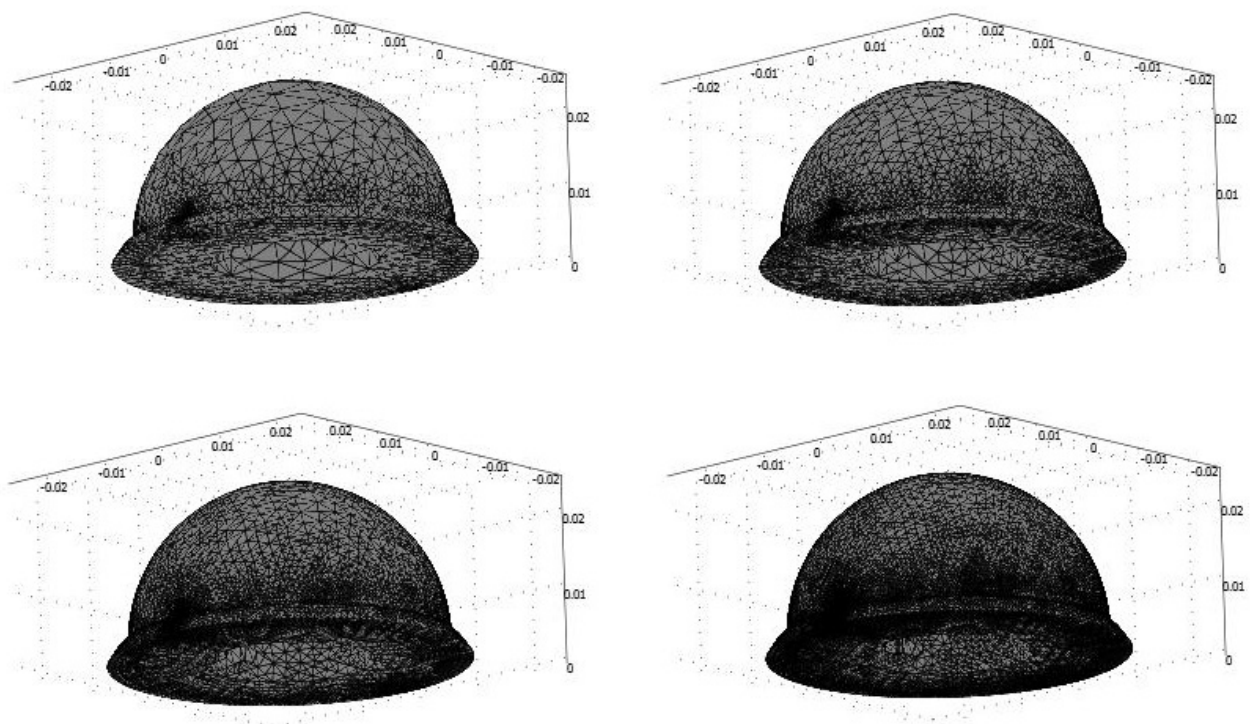
$u$  - pole prędkości

## 5.4 Siatka

Po określeniu działających sił, przystąpiono do generowania siatki wielokątów na powierzchni modelu. W tym celu użyto funkcji "Refine Mesh". Umożliwiło to precyzyjne odzwierciedlenie kształtu modelu. Program bez problemu generuje gęstsza siatkę, jednak obliczenia i analiza zostały przeprowadzone na siatce rzadszej, ze względu na pojawiające się w dalszych symulacjach błędy.



Rys. 14 Wygenerowana siatka na modelu 3D panewki.

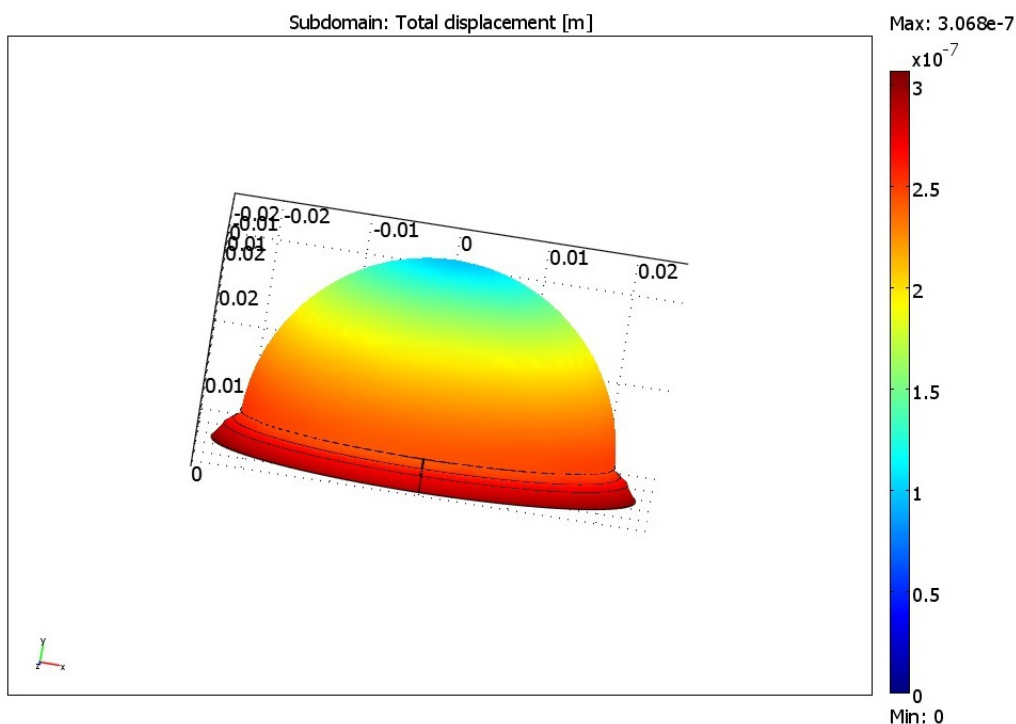


Rys. 15 Kilkakrotne zagęszczenie wygenerowanej siatki.

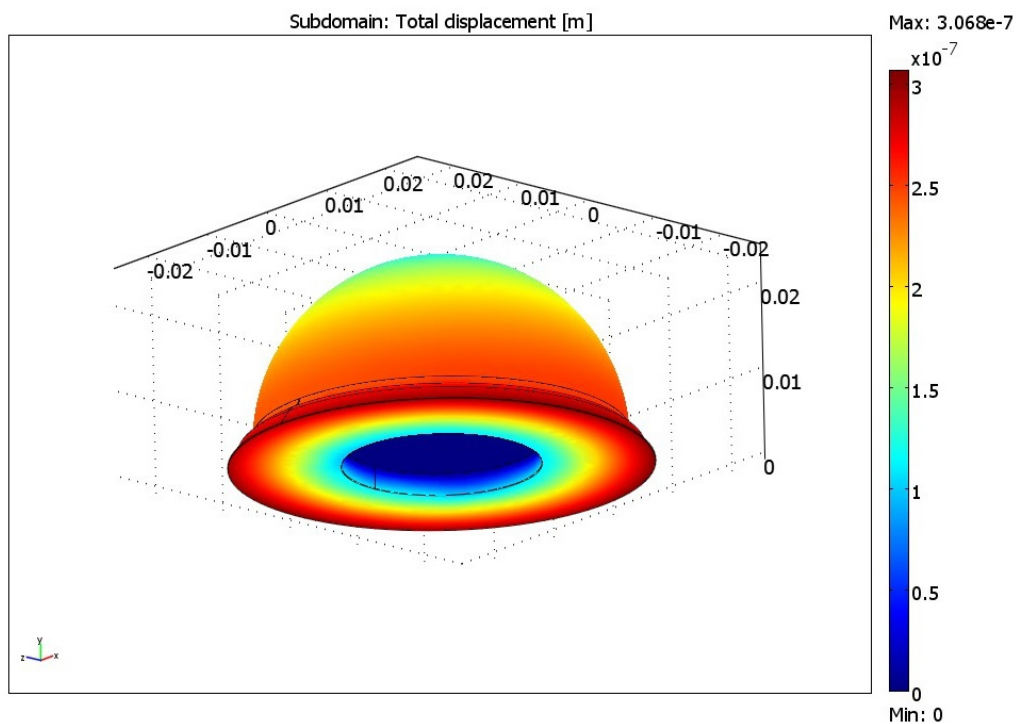
## 5.5 Symulacja

Po zrealizowaniu wszystkich powyższych kroków można rozpocząć symulację stosując funkcję "Solve" i po kolei "Update Model" → "Get Initial Value" → "Solve Problem". Wynikiem jest zobrazowane odkształcenie wraz z naprężeniami.

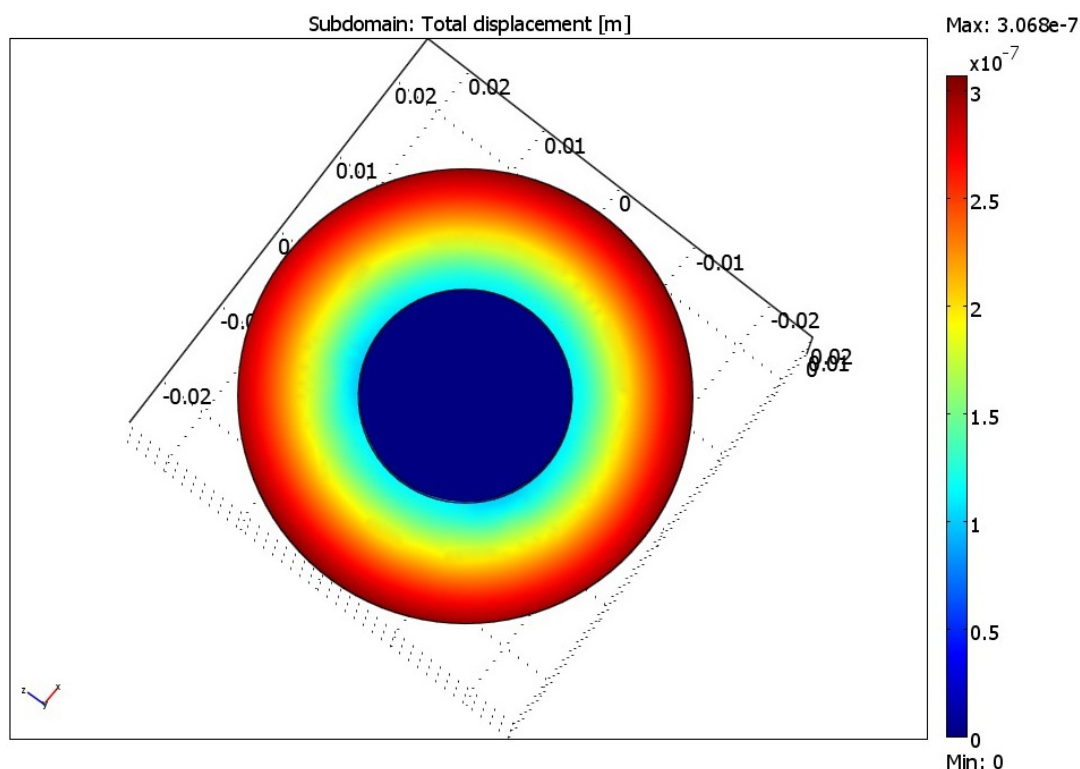
### 5.5.1 Wyniki dla tytanu technicznego



Rys. 16 Zobrazowanie odkształceń dla pierwszego materiału - Ti Grade 1 - rzut 1.



Rys. 17 Zobrazowanie odkształceń dla pierwszego materiału - Ti Grade 1 - rzut 2.



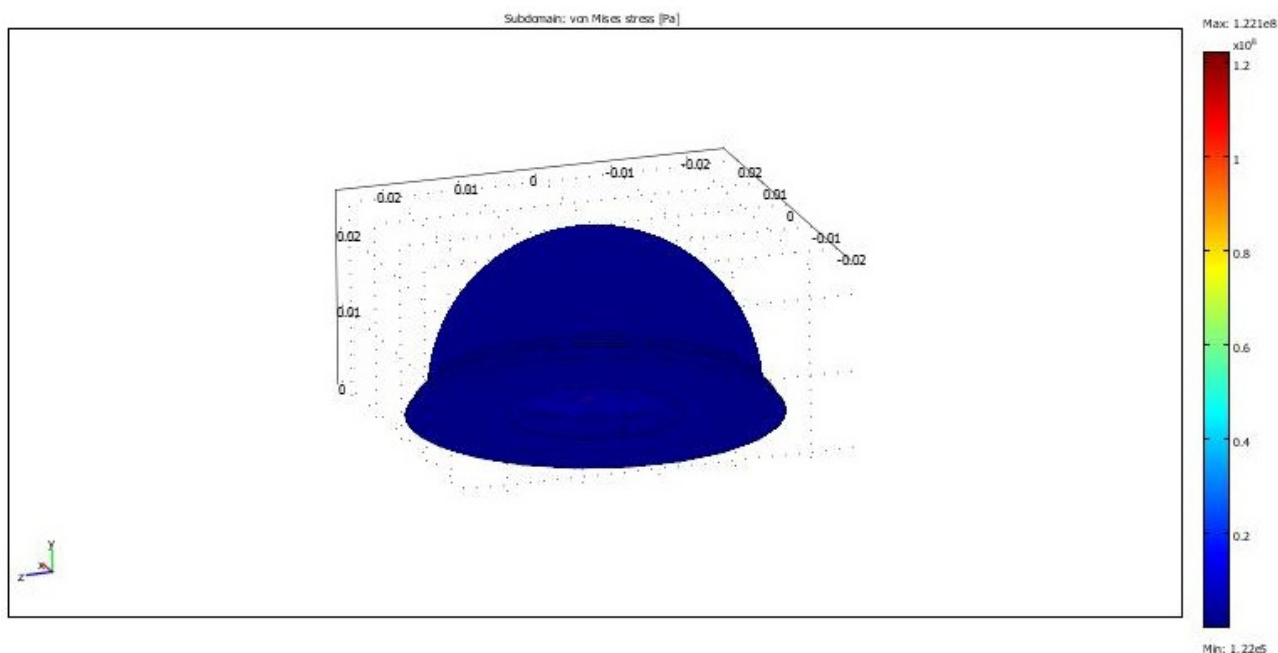
Rys. 18 Zobrazowanie odkształceń dla pierwszego materiału - Ti Grade 1 - rzut 3.

Analizując wyniki symulacji można zaobserwować odkształcenie przede wszystkim w najszerszej części panewki (czerwony pierścień) na rancie, natomiast idąc w górę, ku wierzchołkowi panewki, odkształcenie się zmniejsza. Najmniejsze z kolei odnotowano w wewnętrznej części panewki.

	Wartość odkształcenia [m]
Maksymalne	$3,251425 \cdot 10^{-7}$ [m]
Minimalne	0

Tab. 1 Wartości maksymalnego i minimalnego odkształcenia dla tytanu technicznego.





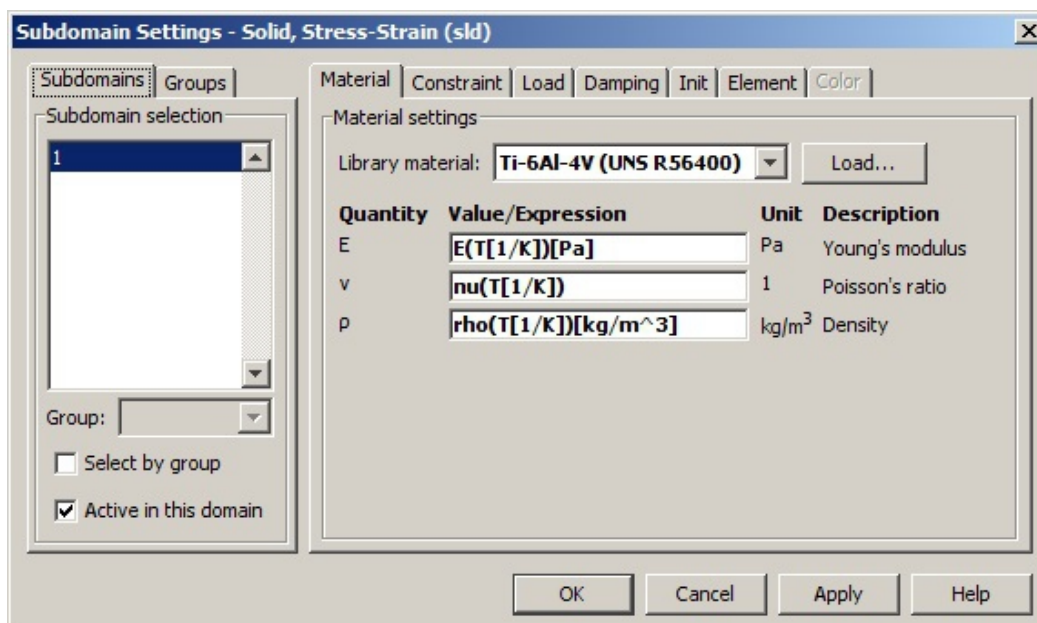
Rys. 19 Zobrazowanie naprężeń dla pierwszego materiału - Ti Grade 1.

	Wartość naprężenia [Pa]
Maksymalne	$7,033549 \cdot 10^7$
Minimalne	$1,277863 \cdot 10^5$

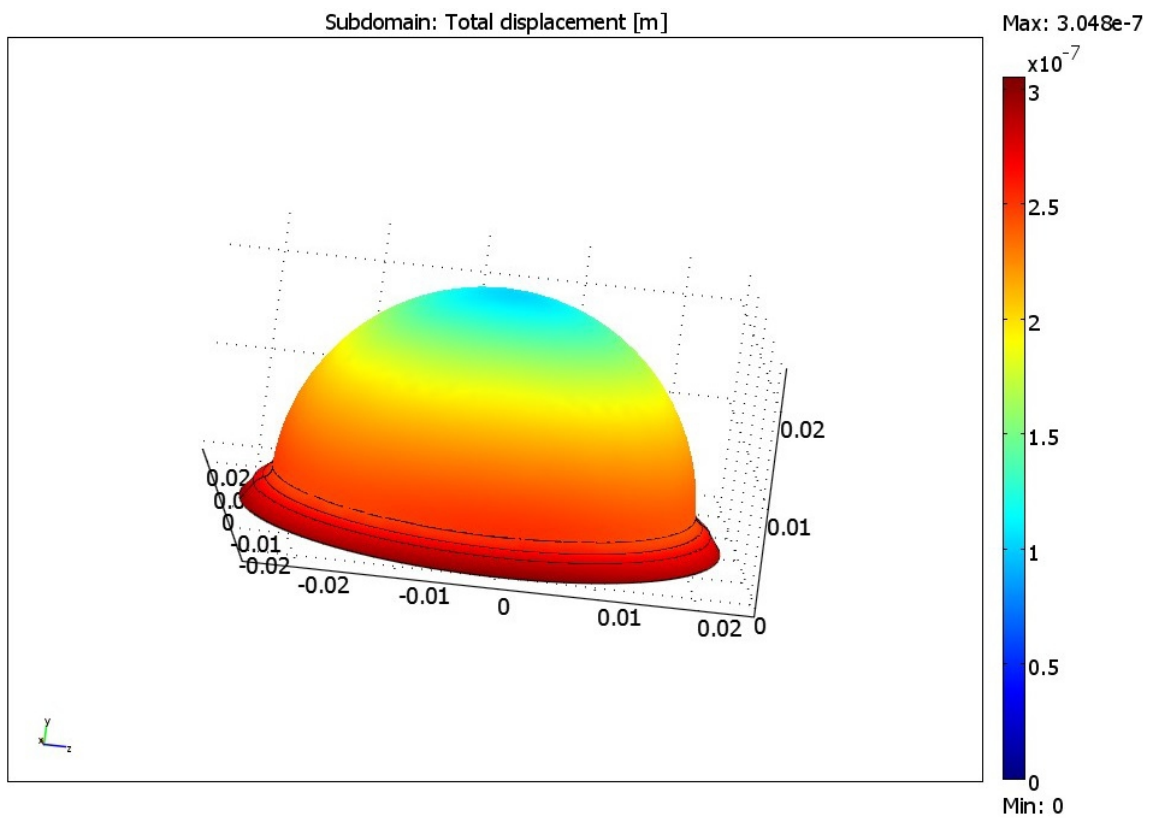
Tab. 2 Wartości maksymalnego i minimalnego naprężenia dla tytanu technicznego.

### 5.5.2 Wyniki dla stopu tytanu Ti - 6Al - 4V

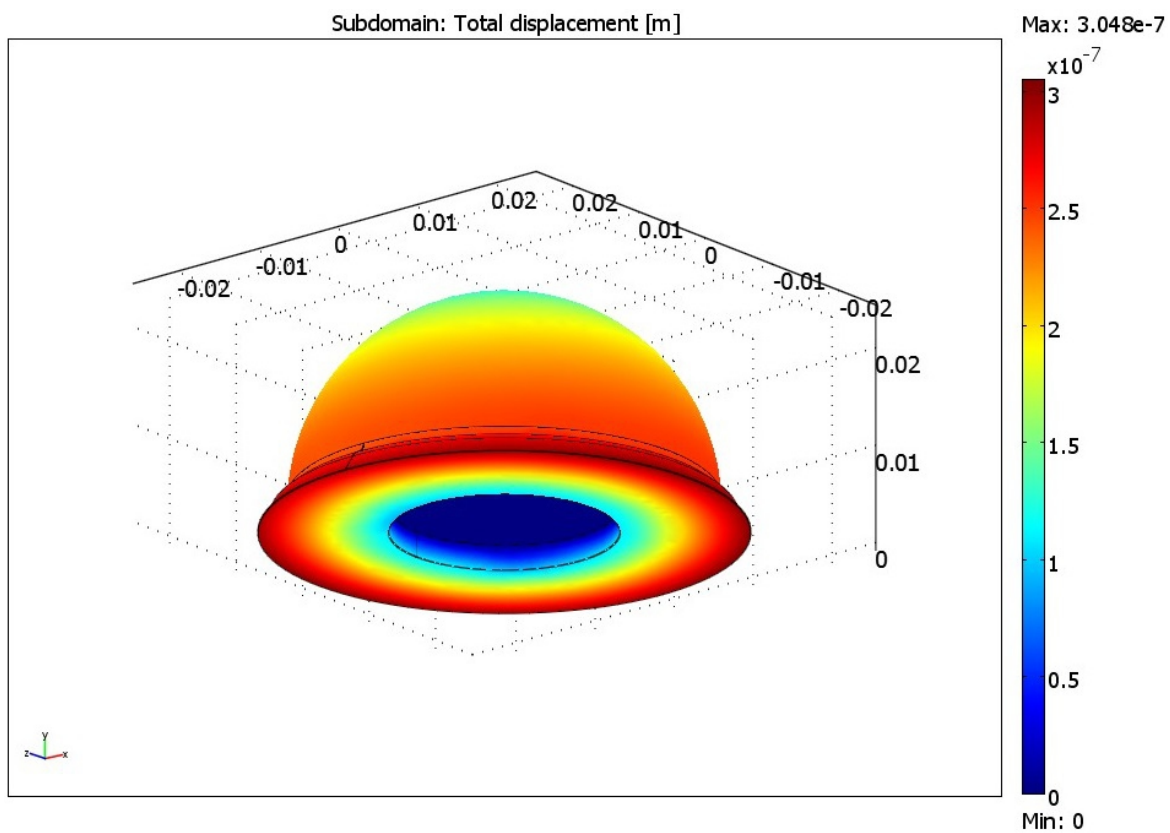
W celu otrzymania wyników, należało na początku zmienić w ustawieniach materiał.



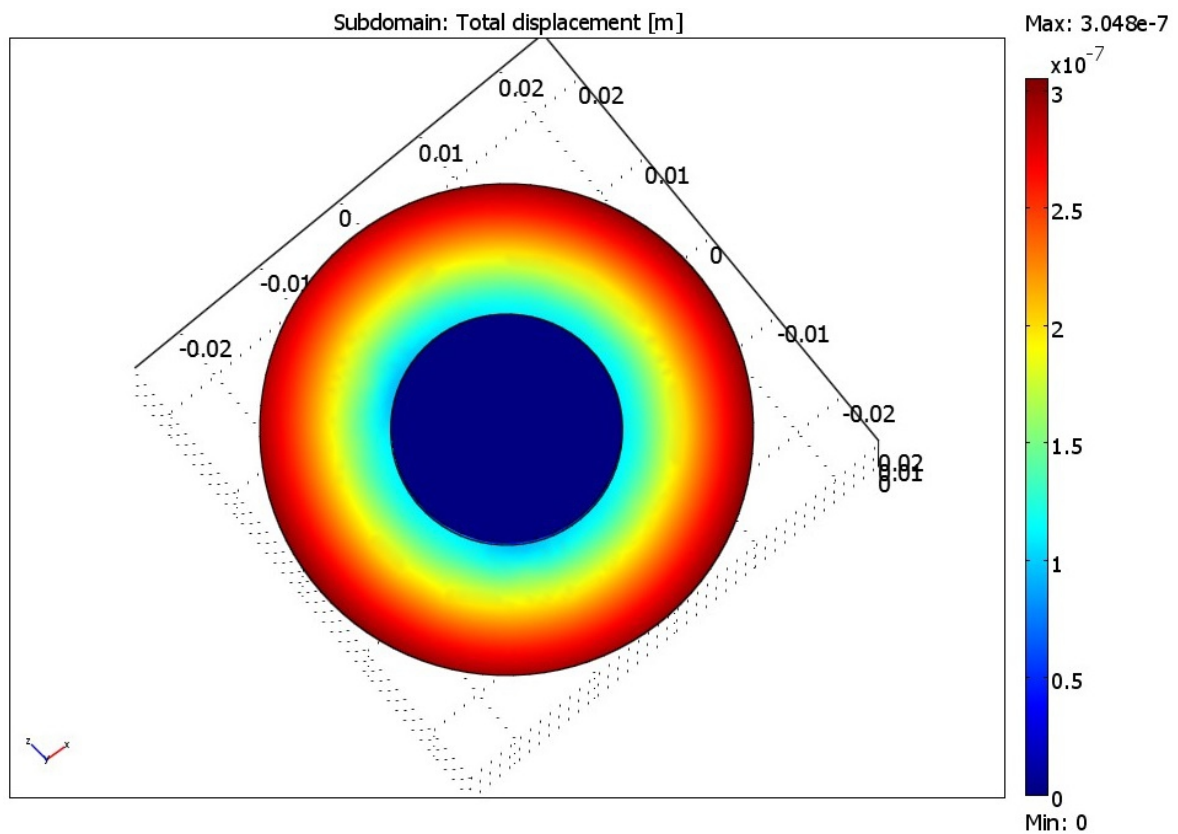
Rys. 20 Wybranie materiału Ti - 6Al - 4V.



Rys. 21 Zobrazowanie odkształceń dla stopu tytanu - rzut 1.



Rys. 22 Zobrazowanie odkształceń dla stopu tytanu - rzut 2.

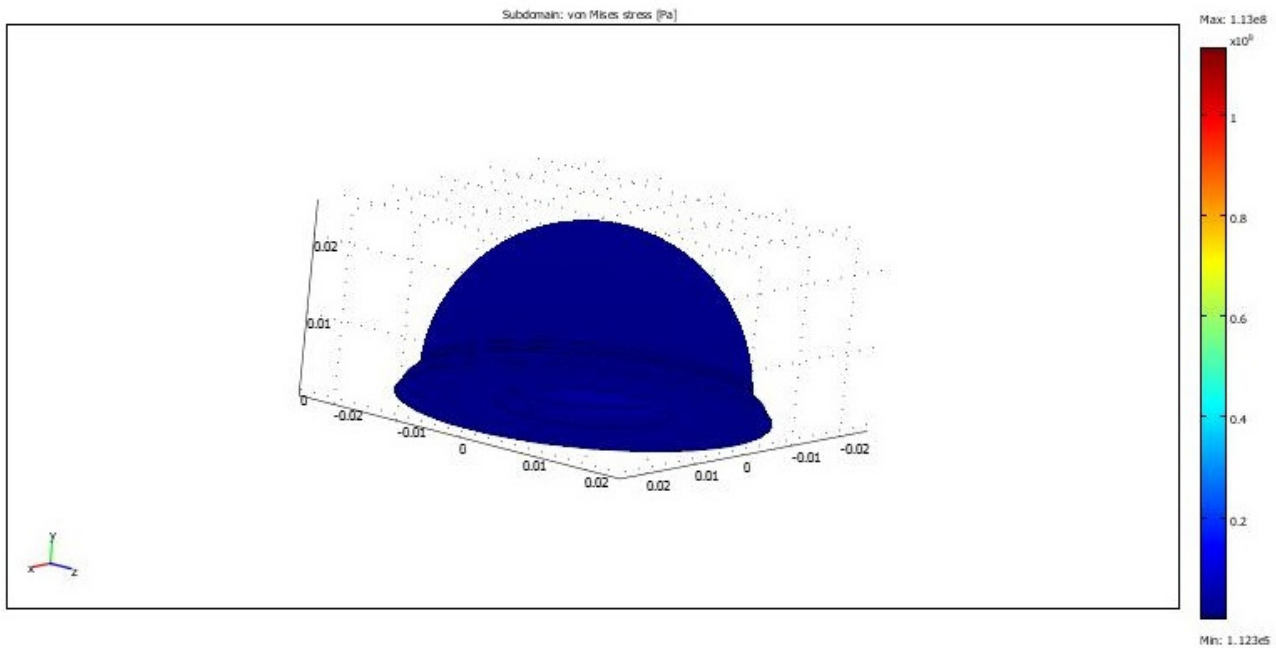


Rys. 23 Zobrazowanie odkształceń dla stopu tytanu - rzut 3.

Analiza wyników symulacji dowiodła, że odkształcenia występujące w modelu ze stopu tytanu są podobne, jak w przypadku tytanu technicznego.

	Wartości odkształcenia [m]
Maksymalne	$3,234265 \cdot 10^{-7}$
Minimalne	0

Tab. 3 Wartości maksymalnego i minimalnego odkształcenia dla Ti - 6Al - 4V.

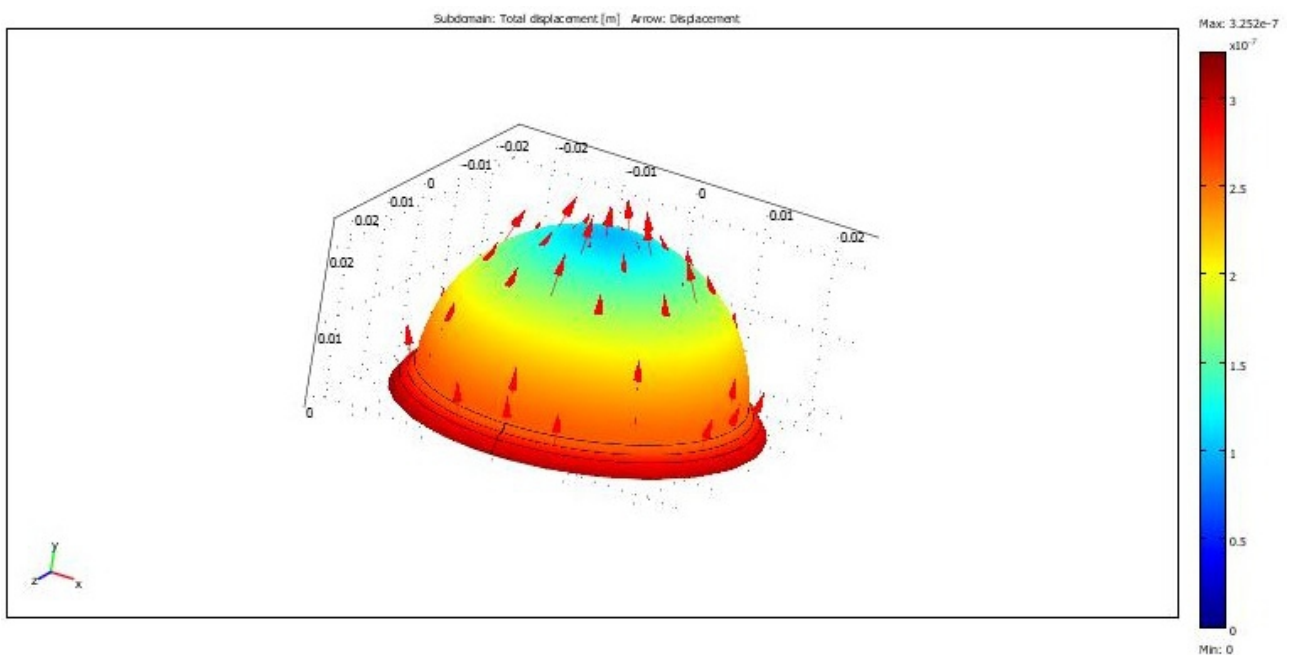


Rys. 24 Zobrazowanie naprężeń dla stopu tytanu.

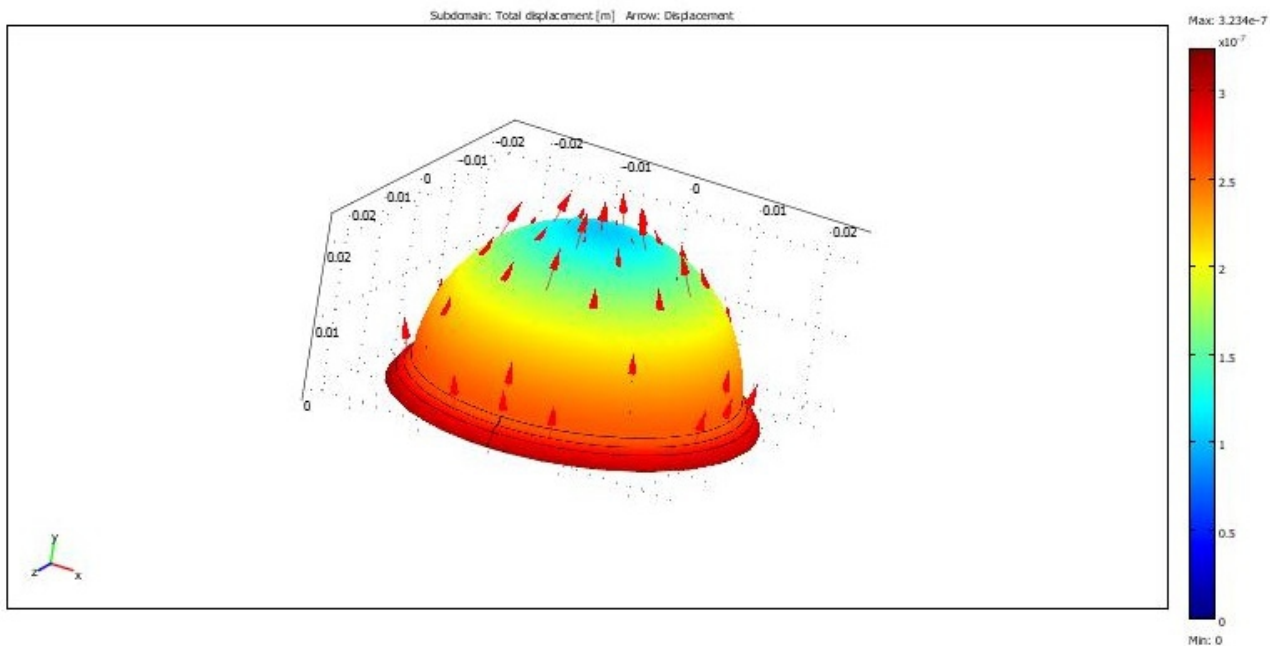
	Wartości naprężenia [Pa]
Maksymalne	$6,541533 \cdot 10^7$
Minimalne	$1,204383 \cdot 10^5$

Tab. 4 Wartości maksymalnego i minimalnego naprężenia dla Ti - 6Al - 4V.

### 5.5.3 Zobrazowanie odkształcania się panewki dla obu materiałów.

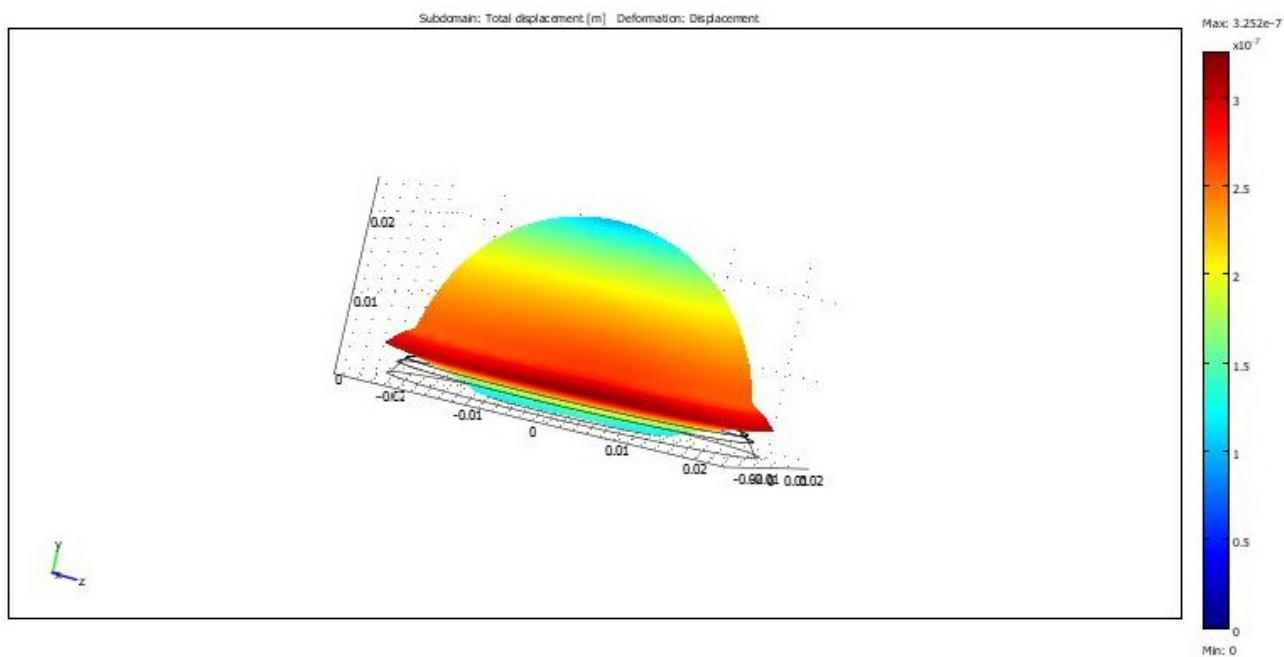


Rys. 25 Tytan techniczny (Ti Grade 1)

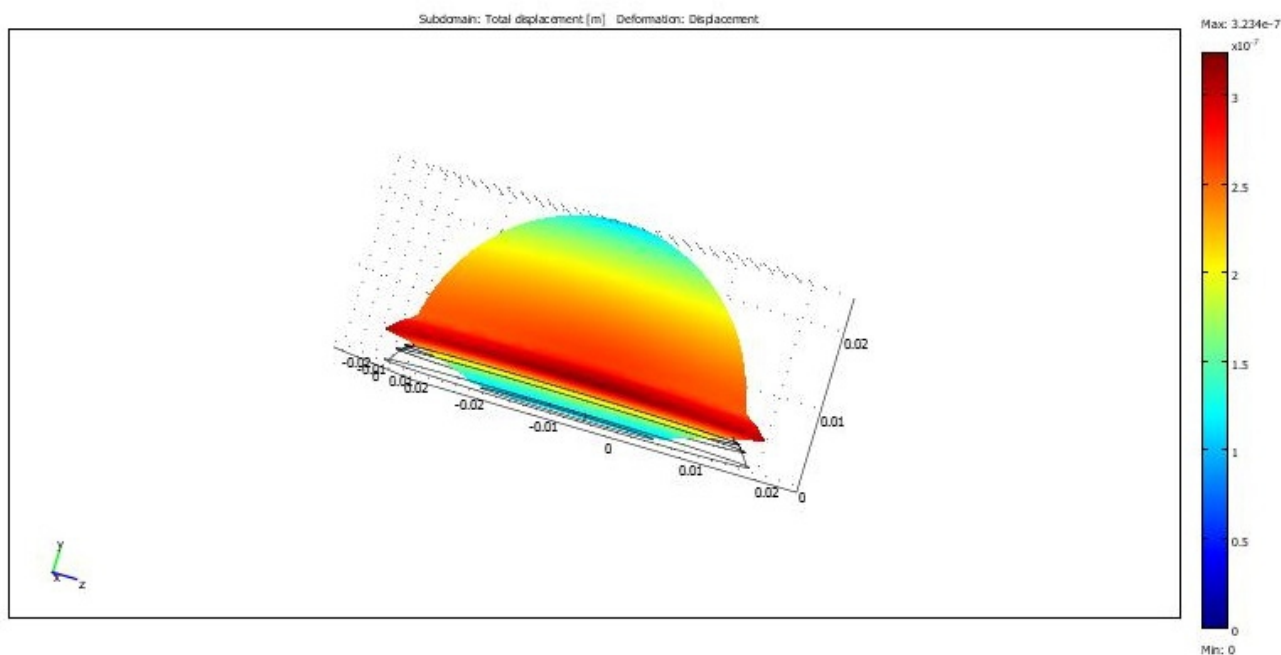


Rys. 26 Stop tytanu (Ti - 6Al - 4V).

#### 5.5.4 Odkształcenie modelu panewki.



Rys. 27 Tytan techniczny (Ti Grade 1).



Rys. 28 Stop tytanu (Ti - 6Al - 4V)

## 6. Podsumowanie i wnioski.

Wpisana wartość temperatury odzwierciedla warunki panujące w ciele człowieka, w skutek czego analiza odwzorowała właściwości wytrzymałościowe endoprotezy stawu biodrowego w okolicznościach jej funkcjonowania, czyli po zaimplantowaniu.

Wizualizacja odkształceń modelu pod wpływem działającej siły wykazała, że mniejsze odkształcenia występują w przypadku, gdy panewka jest wykonana z tytanu technicznego. Natomiast stosując stopy tytanu narażamy element endoprotezy stawu biodrowego na większe odkształcenia. Wynika z tego, że lepszym rozwiązaniem jest stosowanie tytanu technicznego przy produkcji panewki endoprotezy stawu biodrowego, jednakże właściwości stopu tytanu Ti - 6Al - 4V również są bardzo dobre i można go wykorzystywać do projektowania tych elementów.

Obciążenie zostało przez nas wybrane na podstawie masy człowieka, ale bez jednej nogi, ponieważ na niej osoba ma stać. Masa człowieka wynosiła 126 kg. Nogi to około 1/3 masy całego ciała, w takim razie jedna noga to około 1/6 masy. Wykonując odpowiednie obliczenia wychodzi, że obciążenie kierowane na panewkę, przy przeniesieniu ciężaru na jedną nogę, będzie wynosiło około 105 kg.

Należy dodać, że wyniki różnią się od wyników rzeczywistych, ponieważ model którego użyliśmy jest modelem cienkościennym, czyli obciążenia przenoszą tutaj same ściany modelu a nie sam model i najbardziej to widać na grafikach przedstawiających odkształcenia (Rys. 16, 17, 18, 21, 22, 23). Są one niemożliwe dla wagi pacjenta równej około 130 kg.

Obciążenia zostały przyłożone do części górnej panewki, która jest utwierdzona w kości biodrowej człowieka i odbiera obciążenia na endoprotezę.

Część dolną endoprotezy unieruchomiliśmy, ponieważ ma ona cały czas kontakt z głową oraz jest powierzchnią, która przenosi na nią obciążenia.

Problematyczne jest jednoznaczne wykazanie, który z materiałów lepiej sprawdzi się przy konstruowaniu panewki endoprotezy stawu biodrowego. W praktyce oba materiały są stosowane bardzo często. Statystyki wykazują jednak, że najczęściej do wyrobu elementu wykorzystuje się polietylen (cementowa) oraz metal, pokryty porowatym tytanem, hydroksyapatytem lub w nowszych konstrukcjach mieszanką tytanu i hydroksyapatytu (bezcementowa).

## **7. Literatura.**

- [1] B. Świczko- Żurek, A. Zieliński, A. Ossowska, „Skrypt do przedmiotu: Biotereriały”, Gdańsk 2011
- [2] L.A. Dobrzański, Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, WNT, Wydanie II zmienione i uzupełnione, Warszawa, 2006.
- [3] [http://www.gornicki.pl/uploads/att/37/7/37/Alloplastyka\\_stawu\\_biodrowego\\_r5\\_small.pdf](http://www.gornicki.pl/uploads/att/37/7/37/Alloplastyka_stawu_biodrowego_r5_small.pdf)
- [4] <http://bori2.republika.pl/html/endobiodra.html>
- [5] <https://sites.google.com/site/ziolaporadydomowe/home/gociec/degeneracja--stawu--biodrowego/endoproteza--stawu--biodrowego>
- [6] [www.strek.strefa.pl](http://www.strek.strefa.pl)