

POLITECHNIKA POZNAŃSKA
WYDZIAŁ BUDOWY MASZYN I ZARZĄDZANIA



MODELOWANIE I SYMULACJA ZAGADNIENÍ BIOMEDYCZNYCH

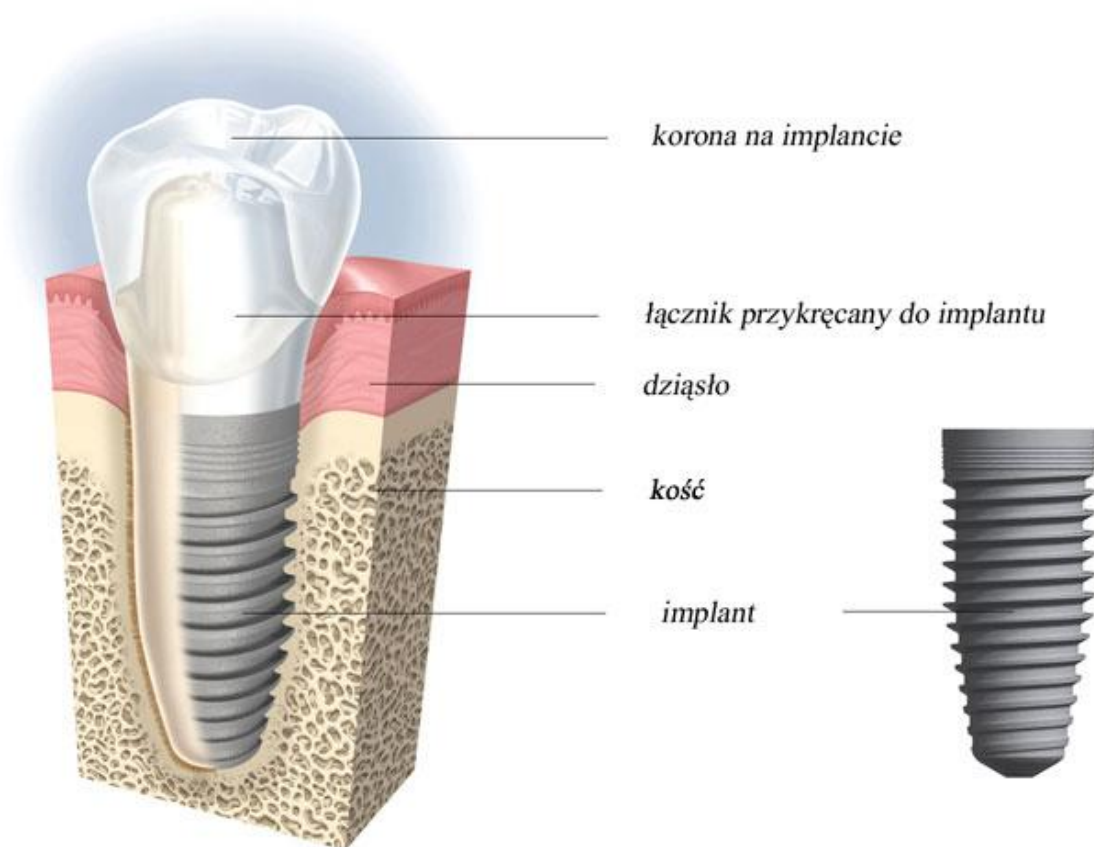
Symulacja naprężeń i przemieszczeń materiału w koronie implantu zęba
podczas zgryzu

Prowadzący:
dr hab. inż. Tomasz Stręć, prof.nadzw.

Wykonali:
Bartosz Gralak
Michał Roszkiewicz
Inżynieria biomedyczna, rok III, semestr VI

1. Implanty stomatologiczne

Implanty stomatologiczne - jest to obecnie najdoskonalsza metoda odbudowy utraconego zęba (wraz z korzeniem). Naśladuje fizjologiczny sposób przenoszenia sił nagryzania. Implant imituje korzeń zęba i odpowiada za utrzymanie części koronowej zęba w odpowiednim miejscu. Jest to uzupełnienie protetyczne zakładane na stałe, nieruchome i nie wyjmowane przez pacjenta. Bardzo wysoka kosmetyka tego rodzaju odbudowy i jej trwałość dają implantom dużą przewagę nad innymi rozwiązaniami. Implant wprowadzamy w kość szczęki lub żuchwy i na jego bazie odbudowujemy koronę zęba.



Rys. 1.1. Schemat budowy implantu stomatologicznego.

Po wkręceniu implantu w kość następuje proces jego wgajania i ostatecznie dochodzi do osteointegracji tzn. kość naszej szczęki łączy się w sposób chemiczny i mechaniczny z tytanowym implantem. Dzięki temu po okresie ok. 3-6 mies. implant można w zasadzie nazwać nowym zębem.

Przy znacznym braku uzębienia nie trzeba wszczepiać osobnego implantu dla każdego zęba. Można wykonywać tzw. mosty.



Rys. 1.2. Implanty i mosty zębowe.

Implanty mogą być jedno lub dwuczęściowe:

- Implant jednoczęściowy to śruba, kompletna struktura, która natychmiast po wprowadzeniu w kość szczęk wystaje ponad dziąsło. Na wystającej części wykonywana jest korona protetyczna lub inne uzupełnienie protetyczne.
- Implant dwuczęściowy to śruba, która całkowicie zanurzona jest w kości i pokryta jest dziąsłem. Implant dwuczęściowy potrzebuje dodatkowej części aby można było wyprowadzić jego strukturę ponad dziąsło i zakończyć leczenie.

Implanty wykonuje się z 2 materiałów: tytanu i tlenku cyrkonu

- Implanty tytanowe są bardzo wytrzymałe na siły jakie wytwarzane są w jamie ustnej podczas procesu gryzienia pokarmów. Tlenek tytanu łączy się z komórkami kostnymi i w ten sposób stabilnie zakotwicza się w szczęce lub żuchwie, umożliwiając długotrwałe użytkowanie zęba opartego na tytanowym implancie. Proces połączenia tytanu z kością

może być stymulowany i przyspieszany poprzez modyfikację tytanowej powierzchni implantu. Większość firm produkujących implanty ma swoją metodę tzw. rozwijania powierzchni śrub implantów. Nie ma statystycznych różnic w jakości oddziaływania na komórki kostne jednego typu rozwinięcia powierzchni implantu od drugiego. Faktem jednak jest, że praktycznie nie spotyka się dzisiaj implantów z nierozwiniętą powierzchnią i każdy producent stara się przekonać do swojego patentu na modyfikację powierzchni wszczepu twierdząc, że jego pomysł na stymulację komórek kostnych jest lepszy niż innego producenta.



Rys. 1.3. Implant tytanowy

b) Implanty wykonane z tlenku cyrkonu zachowują takie same właściwości wpływania na komórki kostne jak te wykonane z tytanu. Implanty cyrkonowe mają jedną niezaprzeczną zaletę w stosunku do implantów tytanowych - mają kolor przyszłego zęba. Wszcypy wykonane z tlenku cyrkonu gwarantują to, że nawet po upływie wielu lat użytkowania implantu, kiedy nieuchronnie dochodzi do zaniku kości, nie będzie widoczna ciemna metaliczna śruba jak to mam miejsce w przypadku zastosowania implantów tytanowych, nie będzie też ryzyka przeświecania metalicznej struktury przez tkanki dziąseł, w przypadku kiedy pacjent ma tzw. cienkie dziąsło.



Rys. 1.4. Implant cyrkonowy

Sam implant, który jest wszczepiany można porównać do korzenia zęba, natomiast sam ząb imitować ma korona. Korony jakie nakłada się na implanty można wykonywać z różnych materiałów:

- a) korona metalowa jest wykonana z różnych stopów metali. Niestety, jest mało estetyczna, ponieważ nigdy nie ma naturalnego koloru zęba.
- b) korona akrylowa jest wykonana z akrylu w kolorze naturalnych zębów. Jej wadą jest nietrwałość, w związku z tym stosuje się ją jako uzupełnienie tymczasowe.
- c) korona metalowa licowana akrylem od strony przedniej jest pokryta akrylem w kolorze zębów naturalnych; obecnie jest rzadko stosowana, ponieważ jest mało estetyczna i nietrwała.
- d) korona ceramiczna jest wykonana z porcelany, bardzo estetyczna, ponieważ jej kolor nie odróżnia się od koloru naturalnych zębów. Jej jedyną wadą jest wysoka cena.
- e) korona metalowa licowana porcelaną - korona metalowa w całości jest pokryta porcelaną i bardzo dobrze imituje naturalne zęby. Jest najczęściej stosowaną koroną protetyczną.
- f) korona cyrkonowa - ma bardzo wysoką wytrzymałość i wysoką przenikalność świetlną - uzupełnienia protetyczne zachowują właściwości optyczne naturalnych zębów.

2. Cel projektu

Celem przeprowadzonej przez nas symulacji jest porównanie różnych materiałów stosowanych do wytwarzania koron implantów zębowych pod względem naprężeń oraz przemieszczeń materiału podczas zgryzu.

3. Opis modelu

Model implantu stomatologicznego został pobrany ze strony www.grabcad.com, a następnie zmodyfikowany w programie Autodesk Inventor 2014. Model został zmieniony z implantu dwuczęściowego na jednoczęściowy, oraz w celu uproszczenia symulacji korona została na stałe przytwierdzona do reszty implantu.



Rys. 3.1. Model implantu z koroną.

4. Symulacja

W celu uproszczenia przyjęto, siłę nacisku na koronę implantu zęba jako normalną do powierzchni górnych szkliwa stałą w czasie (układ stacjonarny). Do obliczeń przyjęto górne wartości nacisku na koronę zęba podczas zgryzu $N=30$ MPa (na podstawie badań [1]).

Tabela 4.1. Stałe materiałowe przyjęte dla korony implantu zęba [2]:

Ceramika	Wytrzymałość na zginanie (MPa)	Współczynnik intensywności naprężeń K_{IC} (MPa*m ^{1/2})	Twardość według Vickersa (GPa)	Moduł Younga (GPa)	Gęstość (g/cm ³)
Wzmacniana mikią	71-107	1,66-2,10	3,72-4,46	70	2,56
Wzmacniana leucytem	109 -154	1,30-2,59	6,57-6,67	65-71	2,50
Wzmacniana dwukrzemianem litu	329-400	2,80-3,16	5,30	103	2,47
Wzmacniana trójtlenkiem aluminium (In-Ceram Aluminium)	350-594	3,10-4,60	11,50	267	3,82
Trójtlenku aluminium (Procera AllCeram)	601-687	4,48-6	15,00	287-380	3,96
Dwutlenku cyrkonu	840-1200	9-10	12,17-13,70	210-224	5,56-6,1

W analizie naprężeń oraz przemieszczeń materiału w obrębie korony implantu zęba posłużono się poniższymi równaniami:

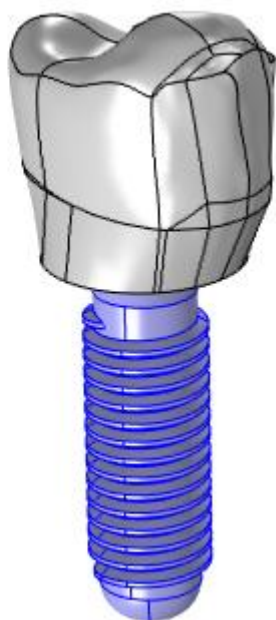
Wypadkowa sił w kierunkach osi x,y,z powoduje odpowiednie naprężenia: $-\nabla s = F_v$

Naprężenia działające na powierzchni korony: $s = s_0 + C: (\varepsilon - \varepsilon_0 - \varepsilon_{inel})$

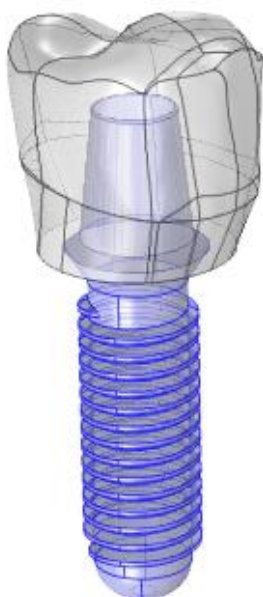
Odształcenie powstałe na skutek działania naprężeń: $\varepsilon = \frac{1}{2} (\nabla u + (\nabla u)^T)$

4.1. Warunki brzegowe

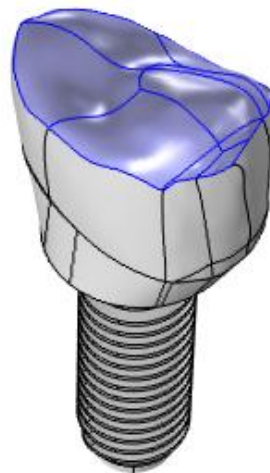
Do analizy wytrzymałościowej implantu zęba, przyjęto nieruchomy komponent – śrubę tytanową, na którym zamocowana jest korona implantu zęba.



Rys. 4.1. Warunki brzegowe modelu przyjęte do obliczeń, nieruchomy element – podświetlony na niebiesko – widok modelu.



Rys 4.2. Warunki brzegowe modelu przyjęte do obliczeń, nieruchomy element – podświetlony na niebiesko – widok transparentny.

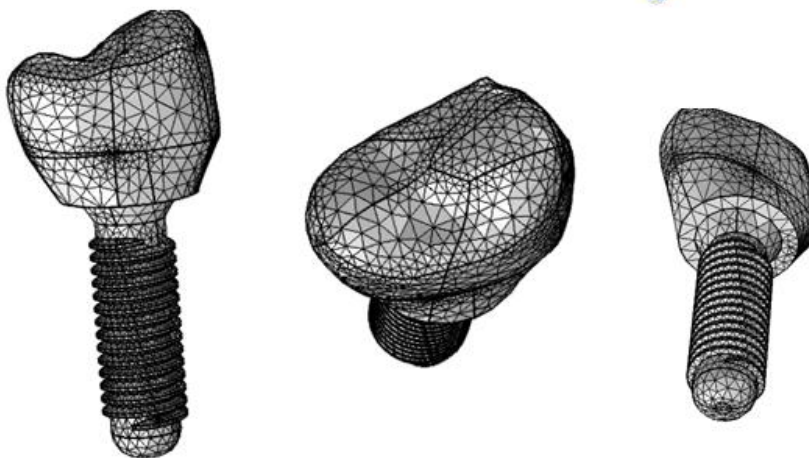


Rys. 4.3. Powierzchnie poddane naciskowi N, przyjęte do symulacji.

4.2. Siatka

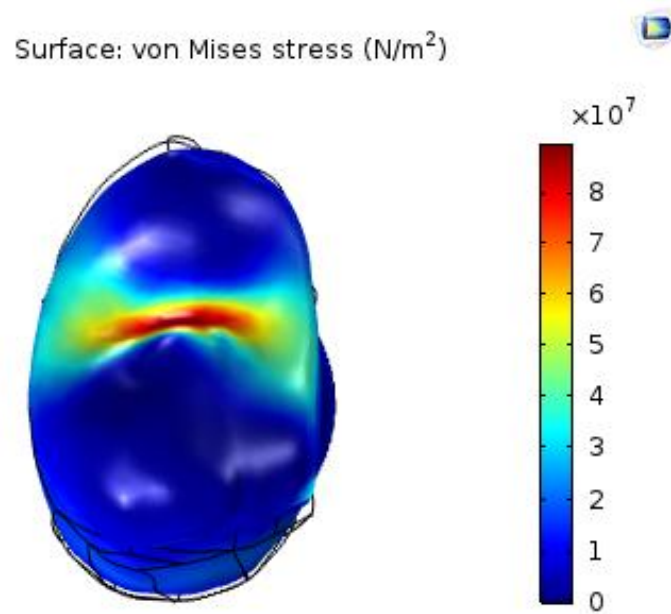
Siatka została wygenerowana w programie COMSOL Multiphysics na podstawie Metody Elementów Skończonych.

- ilość domen: 28597
- ilość elementów granicznych: 7204
- ilość elementów brzegowych: 2464

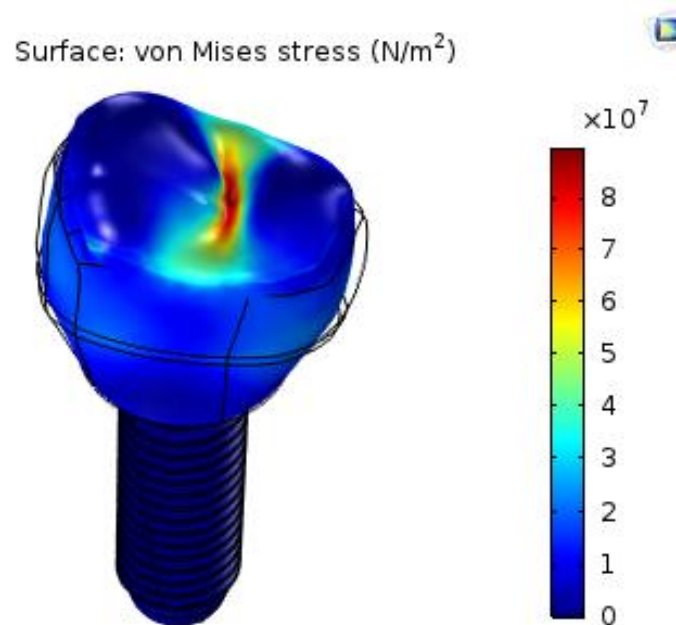


Rys. 4.4. Widok wygenerowanej siatki w programie COMSOL Multiphysics.

4.3. Wyniki symulacji

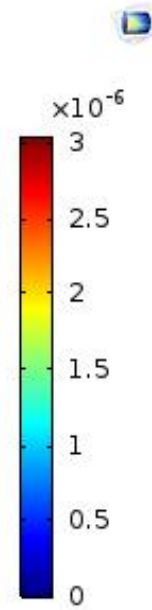
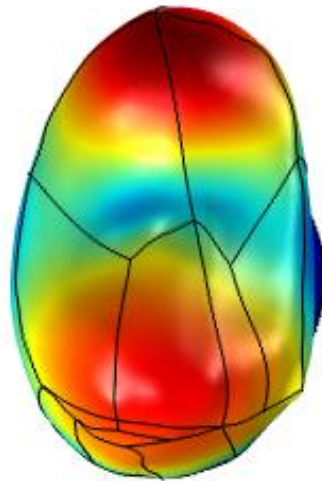


Rys. 4.5. Rozkład naprężeń dla wykonanego modelu przy dla N=30 MPa – widok z góry.



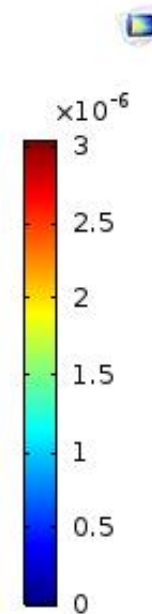
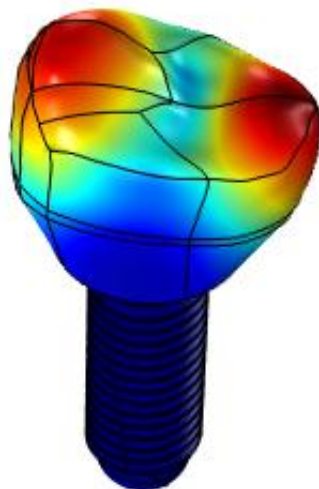
Rys. 4.6. Rozkład naprężeń dla wykonanego modelu przy N=30 MPa – widok izometryczny.

Surface: Total displacement (m)

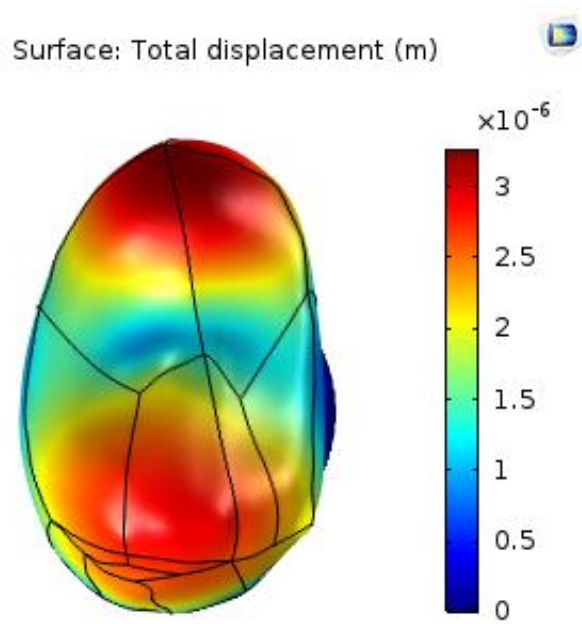


Rys. 4.7. Analiza przemieszczeń dla korony wykonanej z ceramiki wzmacnianej miką – widok z góry.

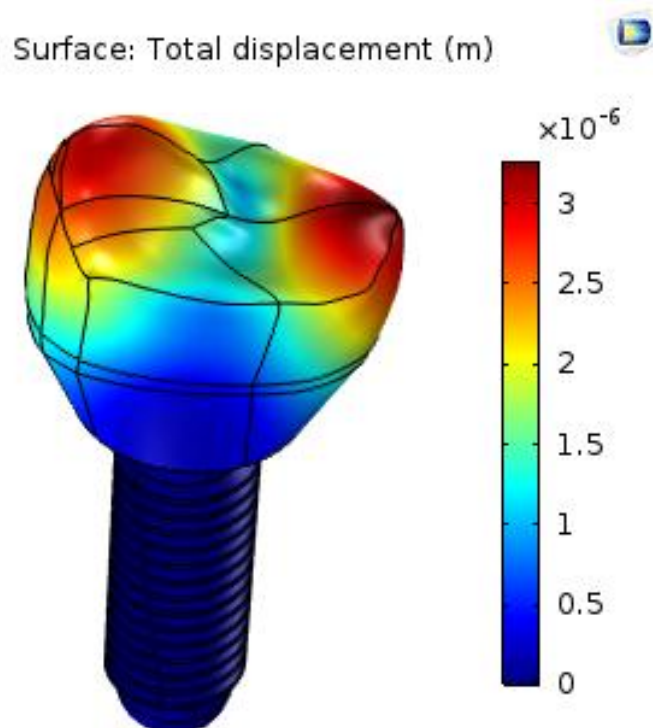
Surface: Total displacement (m)



Rys. 4.8. Analiza przemieszczeń dla korony wykonanej z ceramiki wzmacnianej miką – widok izometryczny.

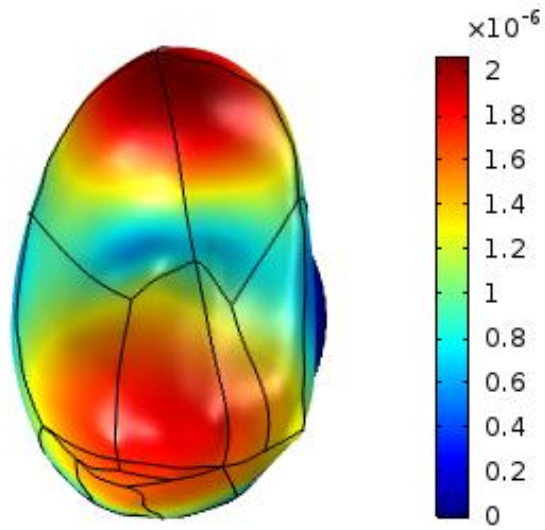


Rys. 4.9. Analiza przemieszczeń dla korony wykonanej z ceramiki wzmocnionej leucytem – widok z góry.



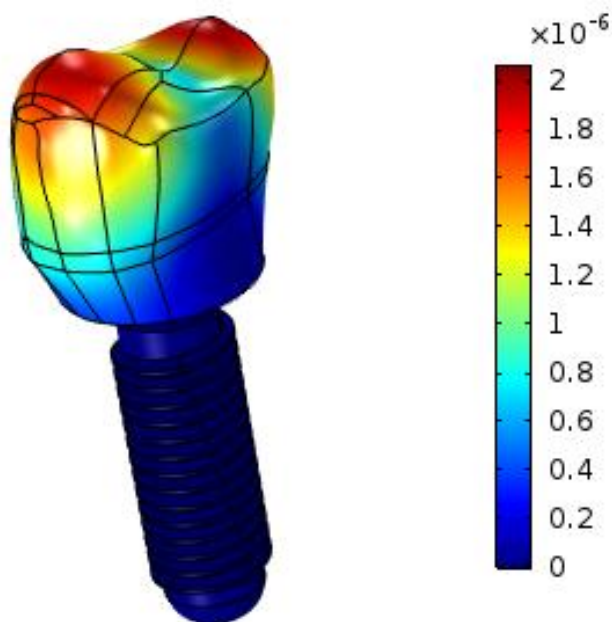
Rys. 4.10. Analiza przemieszczeń dla korony wykonanej z ceramiki wzmocnionej leucytem – widok izometryczny.

Surface: Total displacement (m)

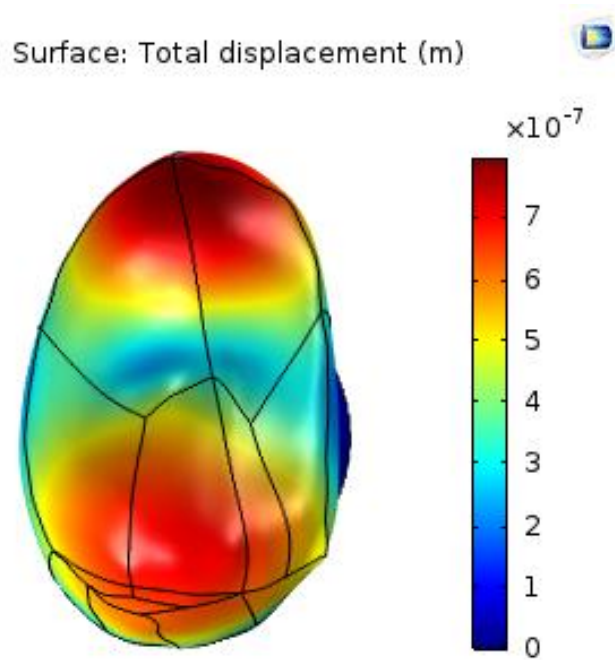


Rys. 4.11. Analiza przemieszczeń dla korony wykonanej z ceramiki wzmocnionej dwukrzemianem litu – widok z góry.

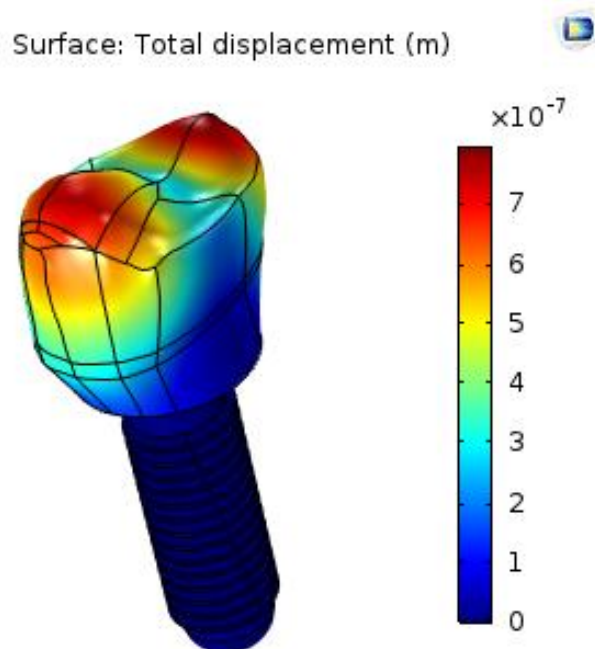
Surface: Total displacement (m)



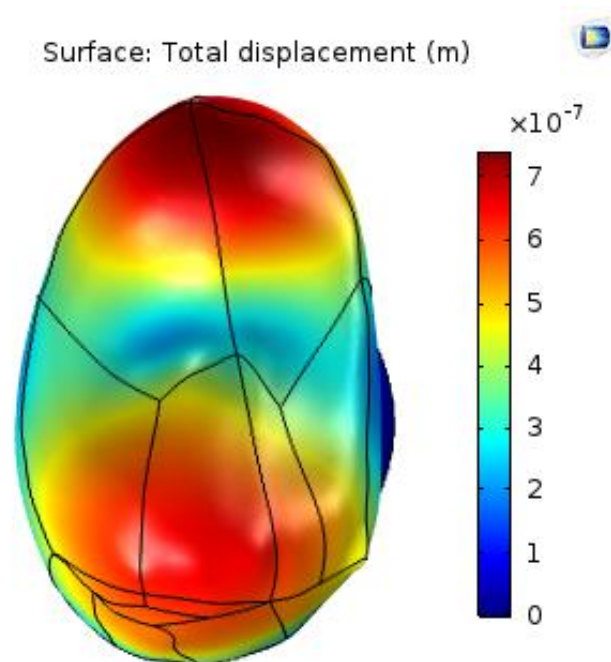
Rys. 4.12. Analiza przemieszczeń dla korony wykonanej z ceramiki wzmocnionej dwukrzemianem litu – widok izometryczny.



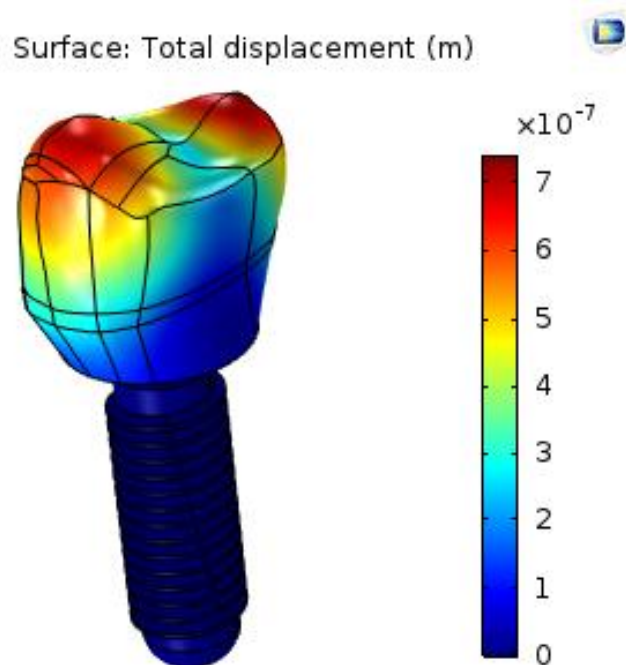
Rys. 4.13. Analiza przemieszczeń dla korony wykonanej z ceramiki wzmocnionej trójtlenkiem aluminium (In-Ceram Aluminium) – widok z góry.



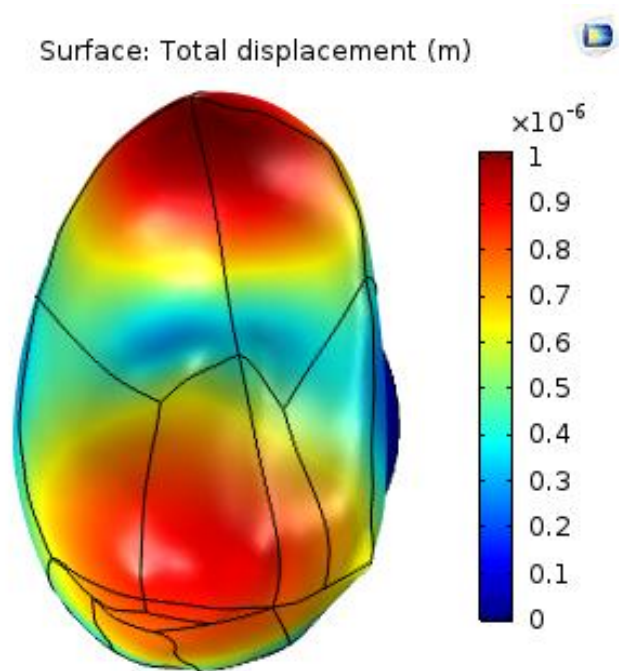
Rys. 4.14. Analiza przemieszczeń dla korony wykonanej z ceramiki wzmocnionej trójtlenkiem aluminium (In-Ceram Aluminium) – widok izometryczny.



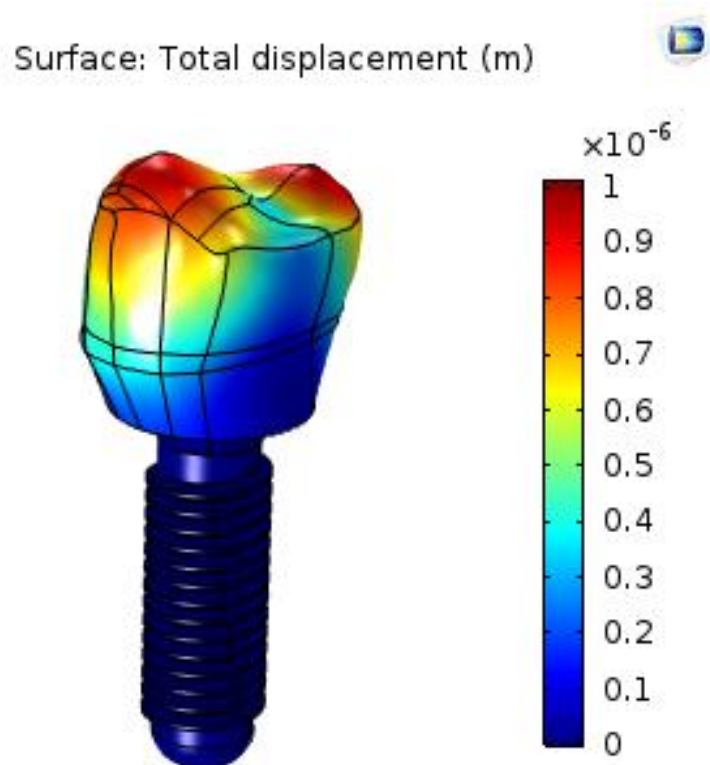
Rys. 4.15. Analiza przemieszczeń dla korony wykonanej z ceramiki Trójtlenku
Aluminium (Procera AllCeram) – widok z góry.



Rys. 4.16. Analiza przemieszczeń dla korony wykonanej z ceramiki Trójtlenku
Aluminium (Procera AllCeram) – widok izometryczny.



Rys. 4.16. Analiza przemieszczeń dla korony wykonanej z ceramiki Dwutlenku cyrkonu – widok z góry.



Rys. 4.16. Analiza przemieszczeń dla korony wykonanej z ceramiki Dwutlenku cyrkonu – widok izometryczny.

5. Podsumowanie

Symulacja, którą przeprowadziliśmy pozwala przeanalizować zjawisko jedynie w przybliżonym stopniu ze względu na mocno uproszczony model implantu oraz rzeczywistą losowość zgryzu człowieka. Maksymalne naprężenia jakie otrzymaliśmy w symulacji wynoszą ok. 10 MPa. Jest to wartość kilku a nawet kilkudziesięciokrotnie mniejsza od naprężeń dopuszczalnych dla badanych materiałów. Wynik ten jak najbardziej pokrywa się z przewidywaniami, ponieważ implanty zębów oraz ich korony należą do protetyki stałej, czyli takiej, która służyć ma co najmniej kilkadziesiąt lat, a często nigdy nie wymaga wymiany. Analizując wyniki symulacji stwierdzono, że najwytrzymalszym z badanych materiałów okazała się ceramika wzmocniana trójtlenkiem aluminium. Badania zostały ograniczone do materiałów ceramicznych, ze względu na ich estetykę, niezawodność oraz trwałość w uzupełnieniach stomatologicznych.

6. Bibliografia

- 6.1. <http://prot.stomat.net/upload/articles/8/737.pdf>
- 6.2. <http://prot.stomat.net/upload/articles/7/634.pdf>
- 6.3. <http://www.dobreimplanty.eu/implanty/co-to-jest-implant>