

**POLITECHNIKA POZNAŃSKA  
WYDZIAŁ BUDOWY MASZYN I ZARZĄDZANIA**



**MODELOWANIE I SYMULACJA ZAGADNIEŃ BIOMEDYCZNYCH  
JOANNA KUCHARSKA, MALWINA MATELLA  
INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA  
Rok III, semestr VI  
Rok akademicki 2016/17**

# **ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA DŁUTA CHIRURGICZNEGO.**

Praca wykonana pod kierunkiem dr hab. T. Stręka, prof. nadzw.

## Spis treści

<b>1. CEL PROJEKTU .....</b>	<b>3</b>
<b>2. WSTĘP TEORETYCZNY.....</b>	<b>3</b>
2.1. DŁUTO CHIRURGICZNE .....	3
2.2. ZABIEGI Z WYKORZYSTANIEM DŁUTA CHIRURGICZNEGO.....	4
2.3. STAL CHIRURGICZNA - WŁAŚCIWOŚCI.....	4
2.4. ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA.....	6
<b>3. OPIS MODELU I PROBLEMU.....</b>	<b>7</b>
<b>4. ANALIZA MODELU W PROGRAMIE COMSOL.....</b>	<b>8</b>
4.1. SIŁA ŚCISKAJĄCA .....	8
4.2. SIŁA ZGINAJĄCA.....	11
4.3. BADANIE CZĘSTOTLIWOŚCI DRGAŃ WŁASNYCH .....	13
<b>5. WNIOSKI .....</b>	<b>14</b>
<b>6. PIŚMIENNICTWO .....</b>	<b>15</b>

## 1. Cel projektu

Celem wykonanego projektu jest analiza wytrzymałościowa dłuta chirurgicznego, ocena jego odporności na ściskanie oraz zginanie oraz porównanie otrzymanych wyników dla narzędzi wykonanych z dwóch materiałów: stali chirurgicznej 316L oraz stali chirurgicznej 420.

## 2. Wstęp teoretyczny

### 2.1. Dłuto chirurgiczne

Dłuto chirurgiczne, inaczej osteotom, należy do szeroko rozumianego instrumentarium chirurgicznego, czyli do ogółu narzędzi wykorzystywanych przez chirurgów w trakcie operacji oraz zabiegów w chirurgii miękkiej oraz twardej. Są to przede wszystkim narzędzia takie jak nożyczki, pincety, kleszcze, imadła oraz haki, które służą do cięcia, chwytania, przytrzymywania, odciągania oraz szycia tkanek. Wykonywane są przede wszystkim ze stali chirurgicznej, która charakteryzuje się wysoką odpornością na korozję oraz biokompatybilnością.

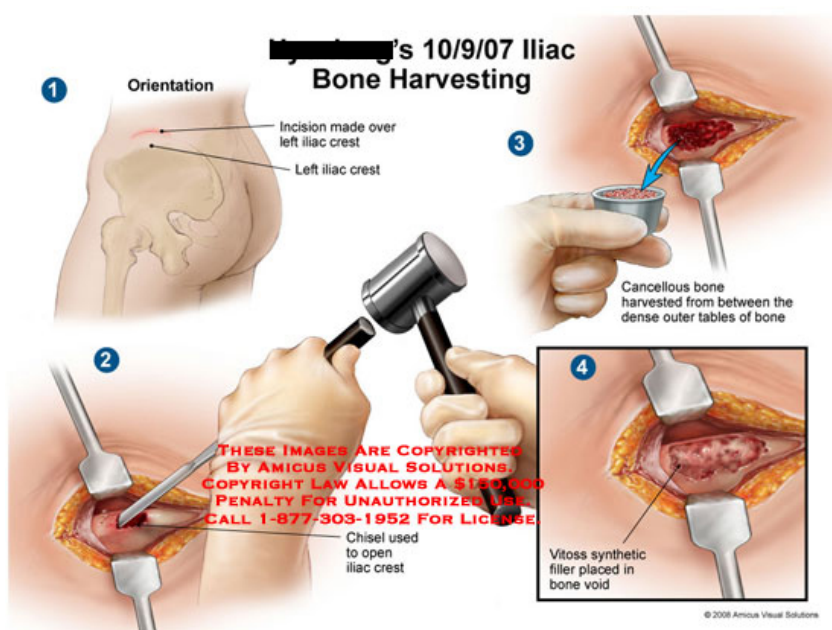
Dłuta kostne stosuje się w chirurgii ortopedycznej oraz w stomatologii. Stosowane są przede wszystkim do preparowania, przycinania oraz obróbki kości, do usuwania materiału kostnego poprzez skrobanie. Wyróżnia się dłuta proste oraz wydrążone. W narzędziu tym można wyróżnić trzy podstawowe części: ostrze, trzonek oraz rączkę. Ostrze i trzonek wykonywane są z metalu, rączka zaś może być metalowa, drewniana lub z tworzywa sztucznego. W dzisiejszych czasach jednak spotykane są dłuta chirurgiczne wykonane całkowicie ze stali chirurgicznej [1]. Wymagania stawiane tego rodzaju narzędziom to wysoka twardość, odporność na stępienie i zużycie oraz możliwość wielokrotnego użytku oraz sterylizacji.



Rys. 1. Przykładowe obecnie stosowane dłuta chirurgiczne [2].

## 2.2. Zabiegi z wykorzystaniem dłuta chirurgicznego

Dłuto kostne to wysokiej klasy specjalistyczne narzędzie chirurgiczne używane w ortopedii, służące do przecinania kości, jak i również jej obróbki. Może być używane w chirurgii czaszkowo-szczękowej, często używane jest także przez ortodontów [7]. W stomatologii może służyć do usuwania połamanych resztek zębów po ekstrakcji zęba. Dłuto kostne ma również zastosowanie przy uzyskiwaniu wiórów kostnych służących do przeszczepów i zabiegów okołoszczękowych. Osteotom najczęściej stosowany jest podczas leczenia operacyjnego np. w przypadku zwyrodnień stawów kolanowych. Dłuta chirurgiczne znajdują swoje wykorzystanie zarówno w chirurgii urazowej, jak i w ortopedii w celu m.in. poprawy kształtu kości, jej skrócenia bądź wydłużenia. W chirurgii plastycznej jest używane podczas zabiegu usunięcia garbu nosa do przecięcia kości grzbietu. Wykorzystuje się je również podczas operacji szczęki do rozszczepiania trzonu żuchwy. Siła działania dłutem na kość mieści się w przedziale 3-10kN.



Rys.2. Zastosowanie dłuta kostnego podczas ekstrakcji istoty gąbczastej z kości biodrowej [8].

## 2.3. Stal chirurgiczna - właściwości

Stale wykorzystywane na narzędzia chirurgiczne to wysokostopowe stale odporne na korozję. Ze względu na kryterium struktury w stanie użytkowania wyróżnia się stale martenzytyczne, ferrytyczne i austenityczne. Głównymi domieszkami w tej stali jest chrom, nikiel i mangan. Ponadto jako dodatki stopowe zawierają one molibden, krzem i wanad. Stale chirurgiczne różnią się przede wszystkim zawartością węgla [3]. Swoje zastosowanie w medycynie zawdzięczają przede wszystkim odporności na korozję w wielu środowiskach, co powoduje brak wydzielania szkodliwych substancji podczas kontaktu z organizmem ludzkim oraz pozwala na ich wielokrotną sterylizację.

Ważnymi właściwościami wszystkich materiałów są ich właściwości mechaniczne, które wyraża się przez odkształcenie lub deformacje występujące w materiale po przyłożeniu do niego naprężenia. Naprężenie jest wyrażane jako stosunek siły przyłożonej do elementu do

pola przekroju tego elementu. Próbkę poddawane są zwykle badaniom na naprężenia ściskające, rozciągające, zginające, skręcające i tnące. Powstające odkształcenie definiowane jest jako stosunek zmiany długości do długości początkowej [4].

Zwykle stale austenityczne (gatunki podstawowe) poddaje się obróbce cieplnej, która zapewnia maksymalną odporność na działanie korozji, ale obniża jej wskaźniki mechaniczne. Stale austenityczne mają niską granicę plastyczności i niezbyt dużą wytrzymałość. Można je podwyższyć dodając pierwiastki stabilizujące (Ti, Nb) lub pierwiastki wpływających na umocnienie roztworu stałego austenitu, np. azot. Stale austenityczne posiadają za to dość dobrą ciągliwość, a zwłaszcza udarność i to zarówno w temperaturze pokojowej jak i w temperaturach obniżonych (ujemnych).

W porównaniu z stalami austenitycznymi granica plastyczności ferrytycznych stali chromowych w stanie wyżarzonym jest lepsza, jednak wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie stali ferrytycznych są znacznie gorsze od stali austenitycznych. Najgorsza jest przy stali ferrytycznych udarność, która zależy przede wszystkim od wielkości ziaren i od czystości metalurgicznej stali. W temperaturze otoczenia dla stali o strukturze gruboziarnistej wynosi często zaledwie  $10 \text{ J/cm}^2$  [5].

Stale ferrytyczno-austenityczne mają strukturę złożoną z dwóch podstawowych faz: ferrytu i austenitu. Są to stale wysokostopowe, odporne na korozję. Zawartość austenitu wynosi 40-60 % objętościowych. Własności stali ferrytyczno-austenitycznych są wypadkową własności ferrytu i austenitu. Ferryt nadaje większą wytrzymałość na rozciąganie, granicę plastyczności, twardość i kruchość, a austenit – ciągliwość i udarność. Własności zależą od gatunku stali i warunków przesycania, a granice ich zmian są duże [6]. Stale ferrytyczno-austenityczne mają dużo większą wytrzymałość od stali austenitycznych, np. ich granica plastyczności jest przynajmniej dwukrotnie większa. Z kolei ich udarność i plastyczność są porównywalne lub wyższe niż u stali austenitycznych.

Stale martenzytyczne to stale odporne na korozję, których własności mechaniczne wzrastają, jeśli zastosujemy zabiegi hartowania i odpuszczania. Skład chemiczny stali martenzytycznych, a zwłaszcza zawartość węgla, chromu i innych składników stopowych (np. Mo) jest bardzo zróżnicowany. Dzięki temu można uzyskać stal o optymalnych właściwościach, takich jak wytrzymałość, ciągliwość (zwłaszcza przy obciążeniach dynamicznych) i odporność na korozję. Największą twardość po zahartowaniu uzyskują stale martenzytyczne zawierające oprócz dużej ilości węgla (ok. 1 %), chromu (od ok. 16 do ok. 19 %), molibdenu (od ok. 0,5 do ok. 1,0 %) również wanad. Ich twardość w wyrobach użytkowych wynosi do  $56\div 61 \text{ HRC}$  [5].

Rodzaj stali	Umowna granica plastyczności Rp0,2, MPa	Wytrzymałość na rozciąganie Rm, MPa	Ciągliwość A5, %	Udarność
Stal austenitycz. niestabilizowana, przesycona j.w. stabilizowana	200-230 (niska)	ok. 300 (niska)	500-800 min. 35 (duża)	wysoka
ferrytyczna wyżarzona	250-300	400-650	15-25	niska
Stal martenzyt. ok. 0,2 % C hart. + odpuszcz.	500-600	700-950	ok. 12	
Stal umocniona wydzieleniowo	min. 1000	1070-1270	min. 10	

Tab.1. Ogólne porównanie cech wytrzymałościowych różnych rodzajów stali nierdzewnych [5].

#### 2.4. Analiza wytrzymałościowa

Analiza wytrzymałościowa pozwala na wyznaczenie konkretnych naprężeń wewnątrz materiału, występujących w związku z działaniem różnego rodzaju sił. Wyróżnić możemy naprężenia normalne oraz styczne. Aby poprawnie dokonać analizy wytrzymałościowej oprócz analizy poszczególnych sił oraz naprężeń przez nie powodowanych zaznajomić należy się z niektórymi stałymi opisującymi właściwości wytrzymałościowe materiału. Są to moduł Younga, moduł Poissona, moduł Kirchoffa oraz wytrzymałość na rozciąganie.

- Moduł Younga – jest miarą sprężystości materiału. Wyraża się go jako iloraz naprężenia  $\sigma$  w stosunku do odkształcenia  $\varepsilon$  materiału w zakresie odkształceń sprężystych.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

- Moduł Poissona – jest wyrażony przez iloraz poprzecznego odkształcenia  $\varepsilon_p$  do odkształcenia wzdłużnego  $\varepsilon_w$  przy osiowym stanie naprężeń.

$$\nu = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_w}$$

- Moduł Kirchoffa – jest ilorazem naprężeń ścinających  $\tau$  i odkształceń postaciowych  $\gamma$ .

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

- Wytrzymałość na rozciąganie – jest przedstawiona jako iloraz największej siły przyłożonej przy próbie rozciągania  $F_m$  i do początkowego przekroju poprzecznego próbki  $S_0$ . Przy pomocy tej wielkości można obliczyć wytrzymałość materiału na inne rodzaje obciążeń.

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

### 3. Opis modelu i problemu

Wykorzystany w projekcie model dłuta kostnego został zaimportowany z portalu GrabCAD. Przyjęto, że dłuło zrobione jest w całości z tego samego materiału, które to rozwiązanie jest najczęściej stosowane przy wyrobie tych narzędzi. Dłuło poddano działaniu siły osiowej w wyniku, której było ono ściskane oraz działaniu siły poprzecznej, która powodowała jego zginanie. Siły te symulują odpowiednio uderzenie młotka w uchwyt dłuta oraz siły działające na ostrze osteotomu w momencie, w którym wprowadzane jest ono w kość siłą uderzenia. Sprawdzone dwa materiały, z których osteotom mógłby być wykonany: stal chirurgiczna 316L i stal chirurgiczna 420. Porównano ich właściwości mechaniczne poprzez symulację naprężeń i przemieszczenia w wyniku przyłożenia sił.

Stal chirurgicznej 316L to stal austenityczna odporna na korozję. Jej właściwości zestawiono w tabeli poniżej [9]:

Wytrzymałość na rozciąganie	Granica plastyczności $R_{p0,2}$	Wydłużenie (% na 50 mm)	Twardość	Moduł Younga	Wytrzymałość na ściskanie
256-307 MPa	170-310 MPa	40	1700-2200 MPa	190-205 GPa	170-310 MPa

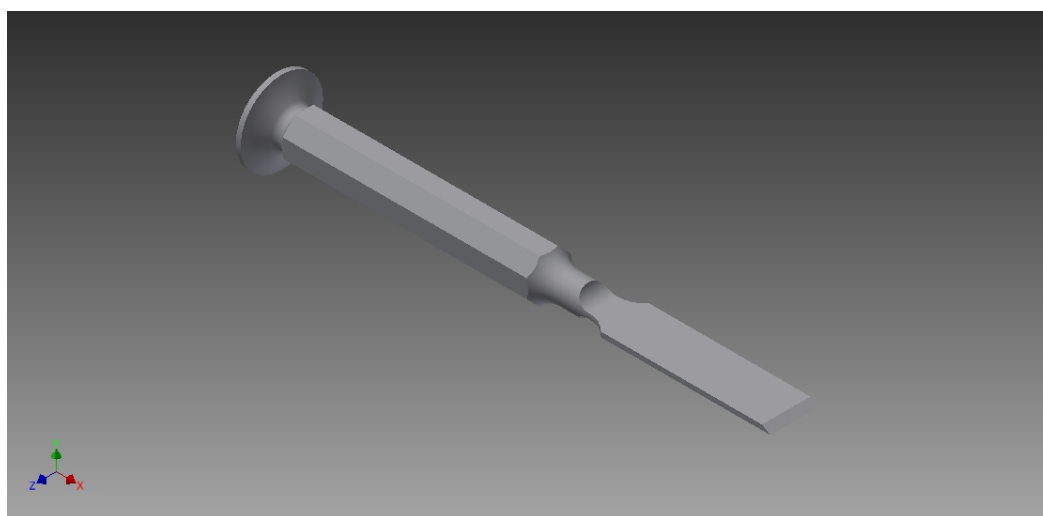
Tab. 2. Właściwości stali 316L.

Stal chirurgiczna 420 to stal martenzytyczna odporna na korozję. Jej właściwości zestawiono w tabeli poniżej [10]:

Wytrzymałość na rozciąganie	Granica plastyczności $R_{p0,2}$	Wydłużenie (% na 50 mm)	Twardość	Moduł Younga	Wytrzymałość na ściskanie
1550-1890 MPa	1330-1630 MPa	12-15	5400-5900 MPa	195-205 GPa	1330-1630 MPa

Tab. 3. Właściwości stali 420.

Symulacje przeprowadzono przy pomocy programu COMSOL 3.4.

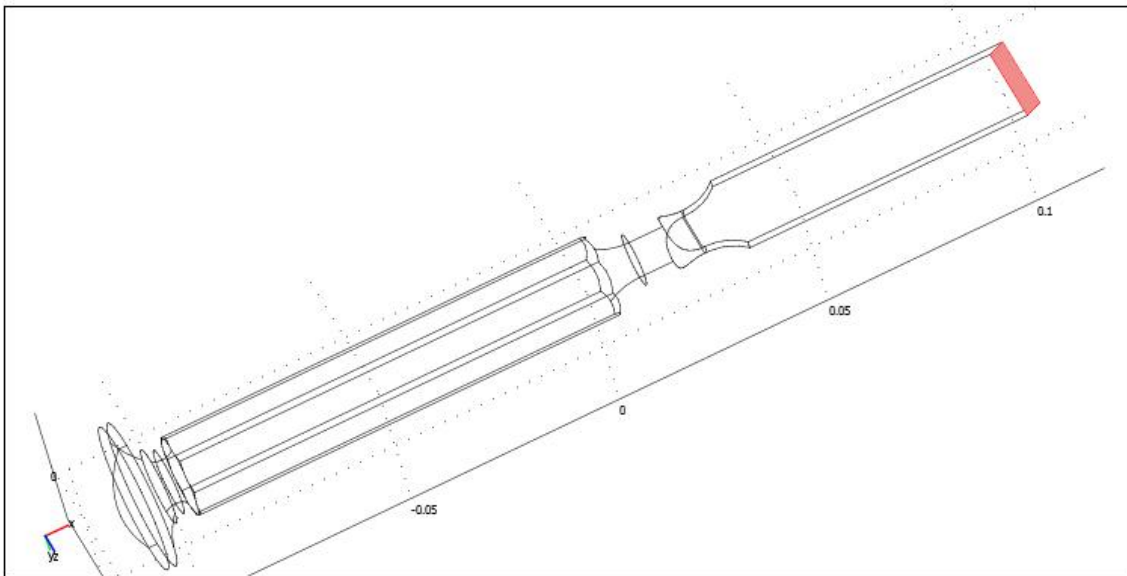


Rys. 3. Model dłuta z programu Inventor.

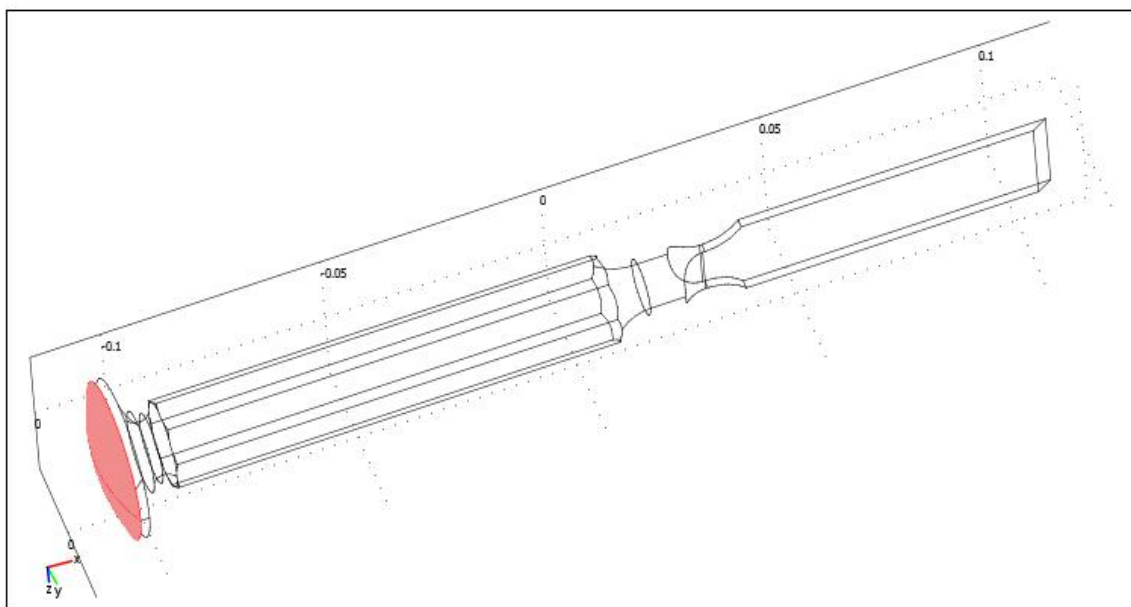
## 4. Analiza modelu w programie COMSOL

### 4.1. Siła ściskająca

W pierwszej kolejności zasymulowano sytuację, w której dłuto ściskane jest w wyniku uderzenia dłuta młotkiem o kość. Jako że przeprowadzono symulację obciążenia statycznego problem uproszczono do sytuacji, gdzie dłuto utwierdzone jest na górnej powierzchni rączki, a siła obciążająca model przyłożona jest do powierzchni dłuta wzdłuż osi x. Przyłożone obciążenie wynosi  $133 \text{ kN/m}^2$ .



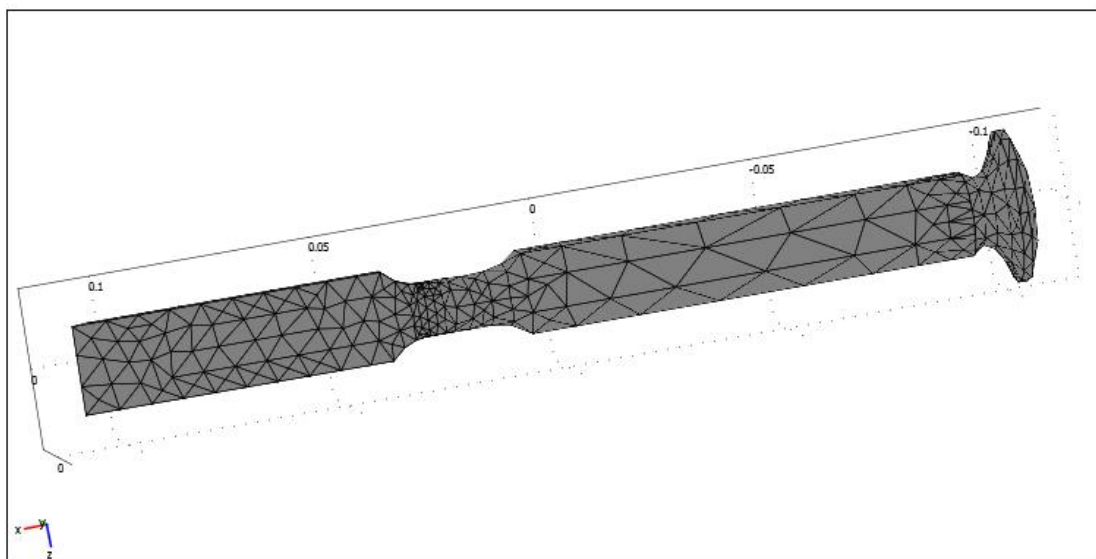
Rys. 4. Powierzchnia przyłożenia obciążenia  $133 \text{ MN/m}^2$ .



Rys. 5. Powierzchnia utwierdzenia modelu.

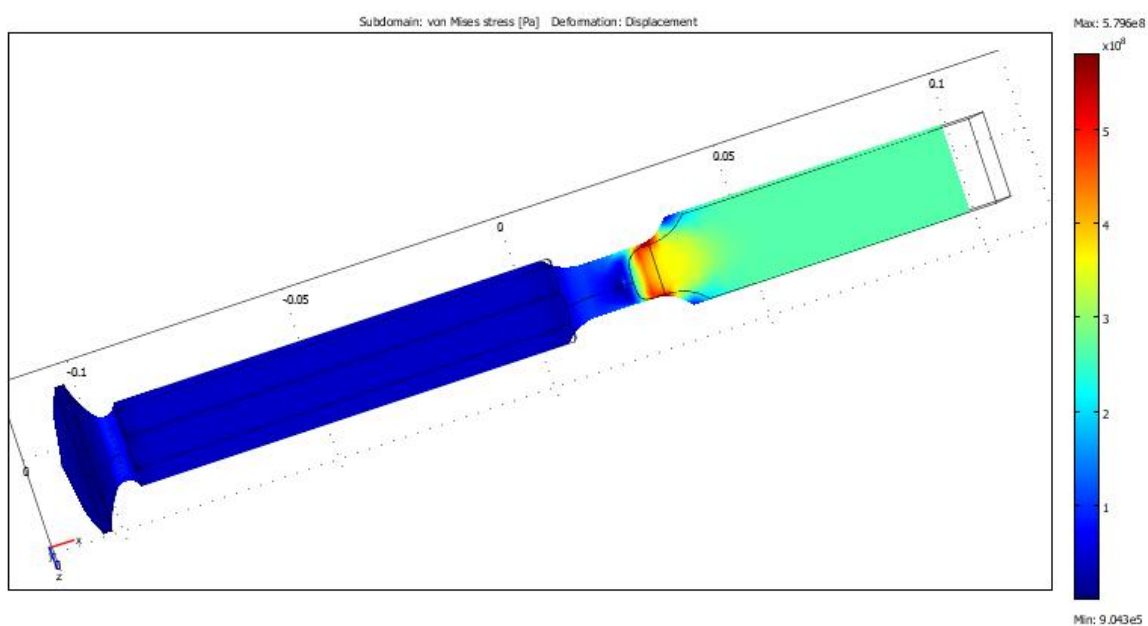
Ustawiono odpowiednie stałe dla obu materiałów wybierając odpowiedni materiał w ustawieniach. Ustalono również temperaturę  $T$  na  $300\text{K}$ . Następnie nałożono siatkę typu Coarse.



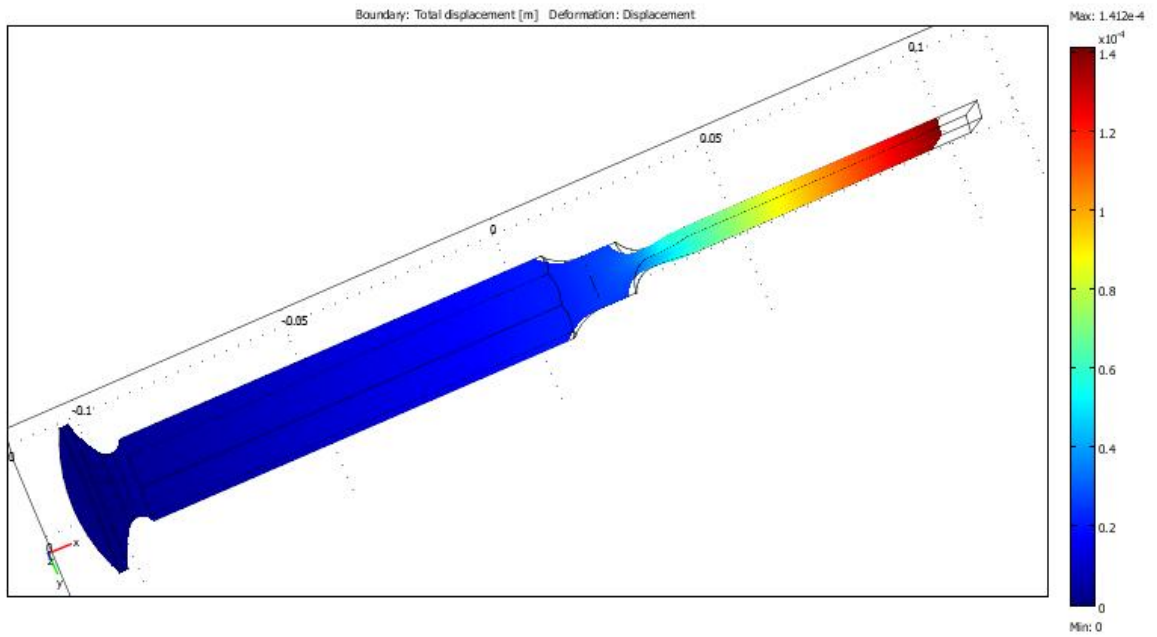


Rys. 6. Model z nałożoną siatką.

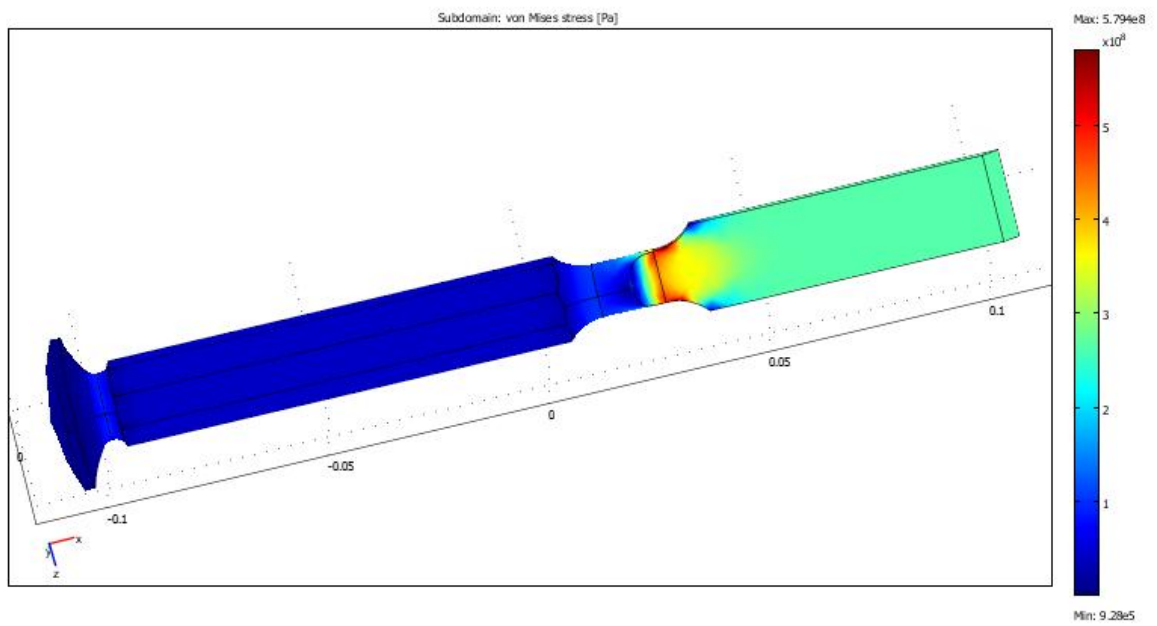
Skutecznie przeprowadzono symulację dla dłuta wykonanego ze stali 316L oraz 420. Otrzymane wyniki analizy naprężeń oraz odkształceń uwidaczniają rysunki Rys. 7-10.



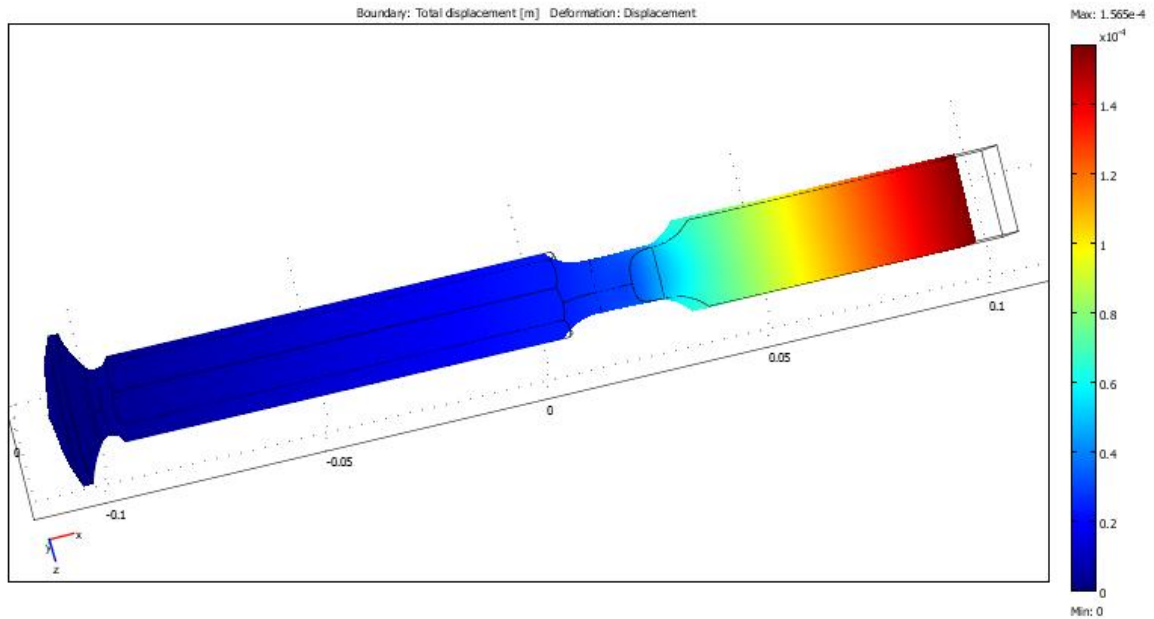
Rys. 7. Naprężenia dla dłuta ze stali 420.



Rys. 8. Odształcenia dla dłuta ze stali 420.



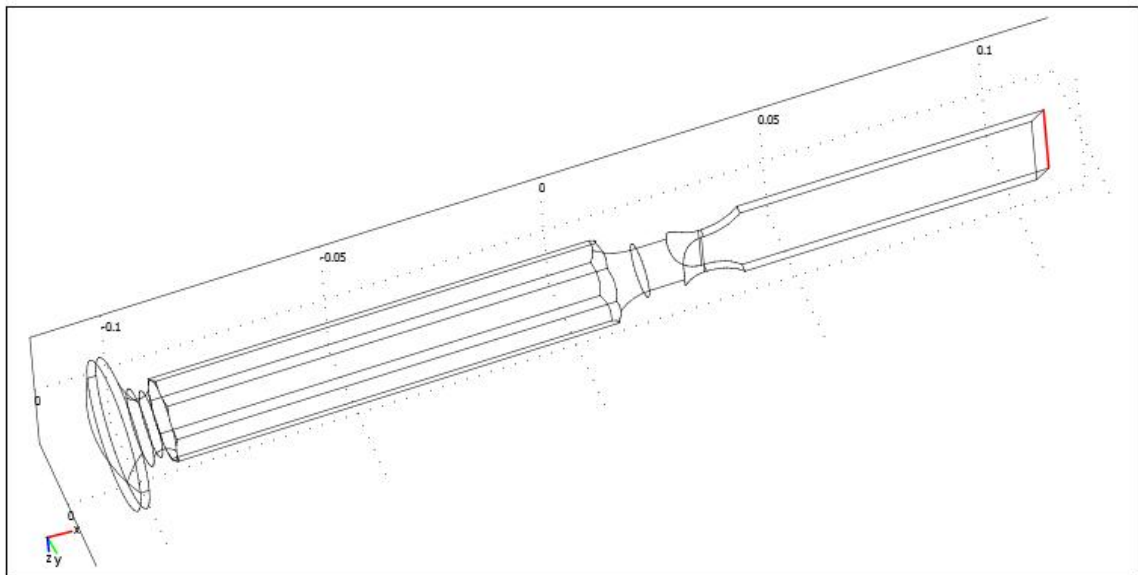
Rys.9. Naprężenia dla dłuta ze stali 316L.



Rys. 10. Odształcenia dla dłuta ze stali 316L.

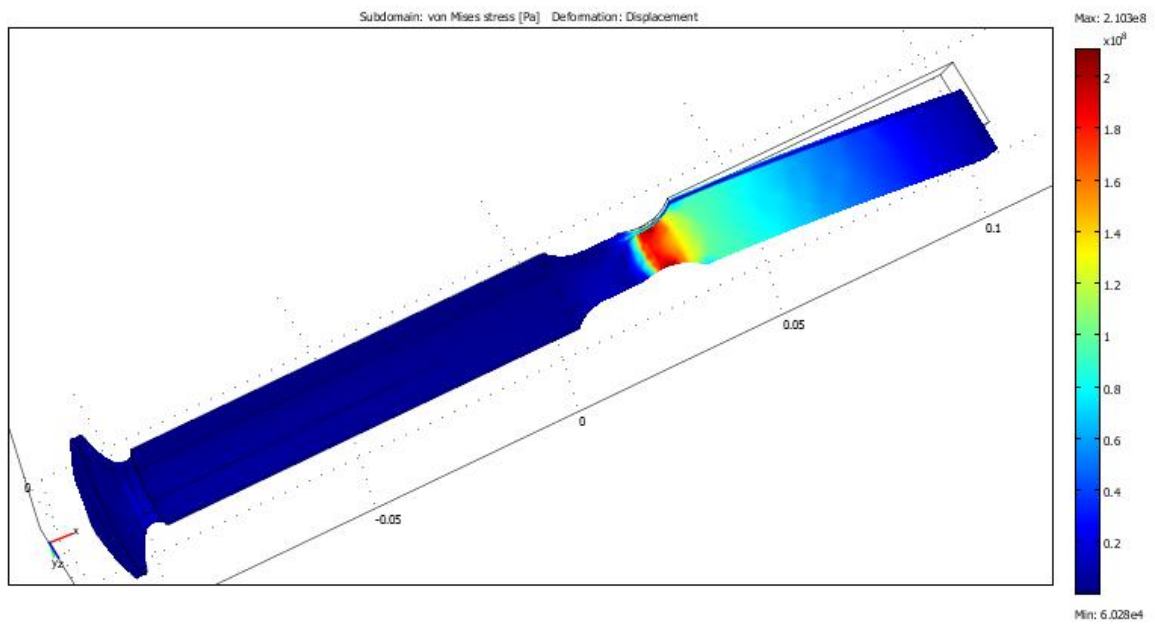
#### 4.2. Siła zginająca

W tej części symulowana jest sytuacja, kiedy kość skrobana jest przy pomocy dłuta. W tym celu przyjęto, że na dłuto działa obciążenie 1000 N/m wzdłuż osi y na krawędź ostrza.

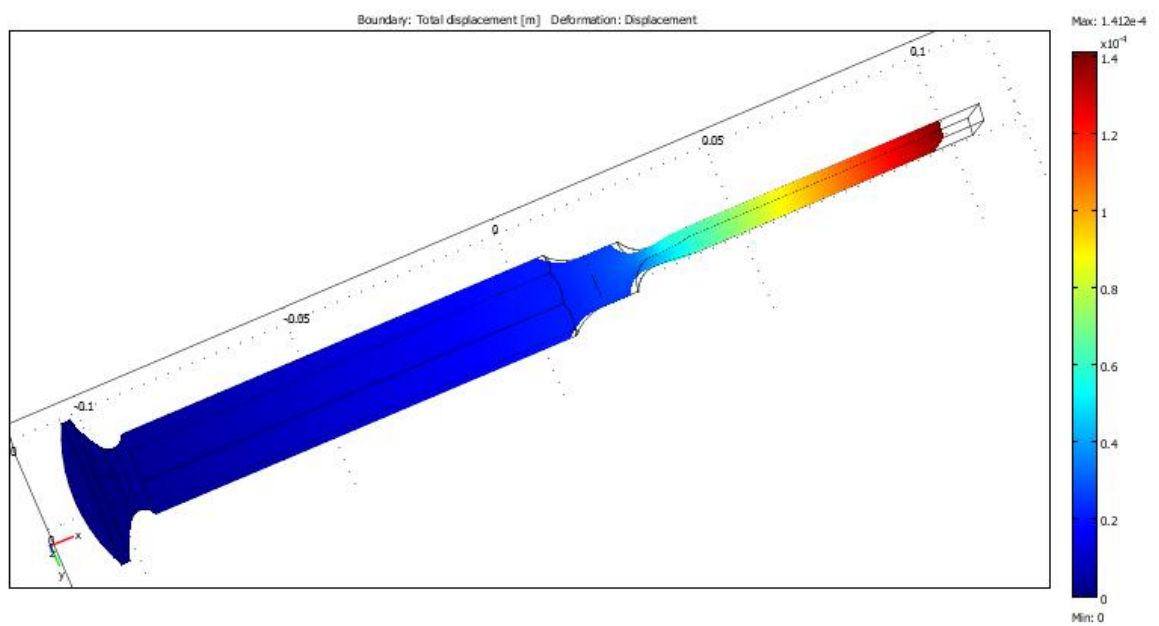


Rys. 11. Krawędź przyłożenia obciążenia 1000 N/m.

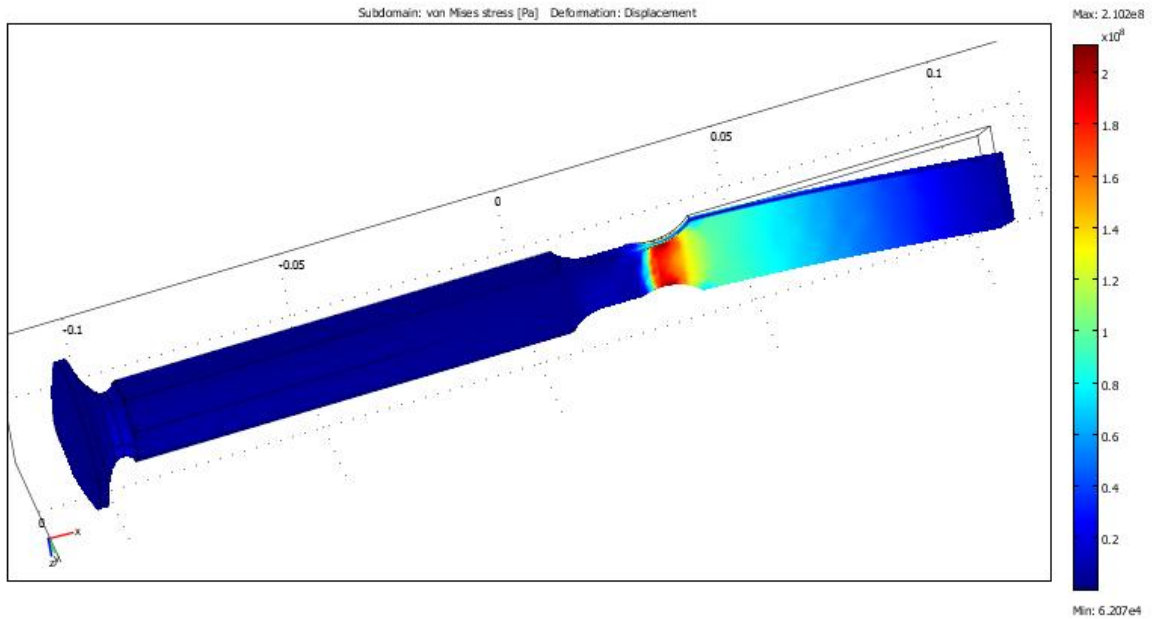
Tak jak w poprzedniej części, dłuto unieruchomiono na górnej powierzchni rączki oraz wprowadzono do programu te same stałe materiałowe oraz temperaturę. Wyniki symulacji przedstawiaj Rys. 12-15.



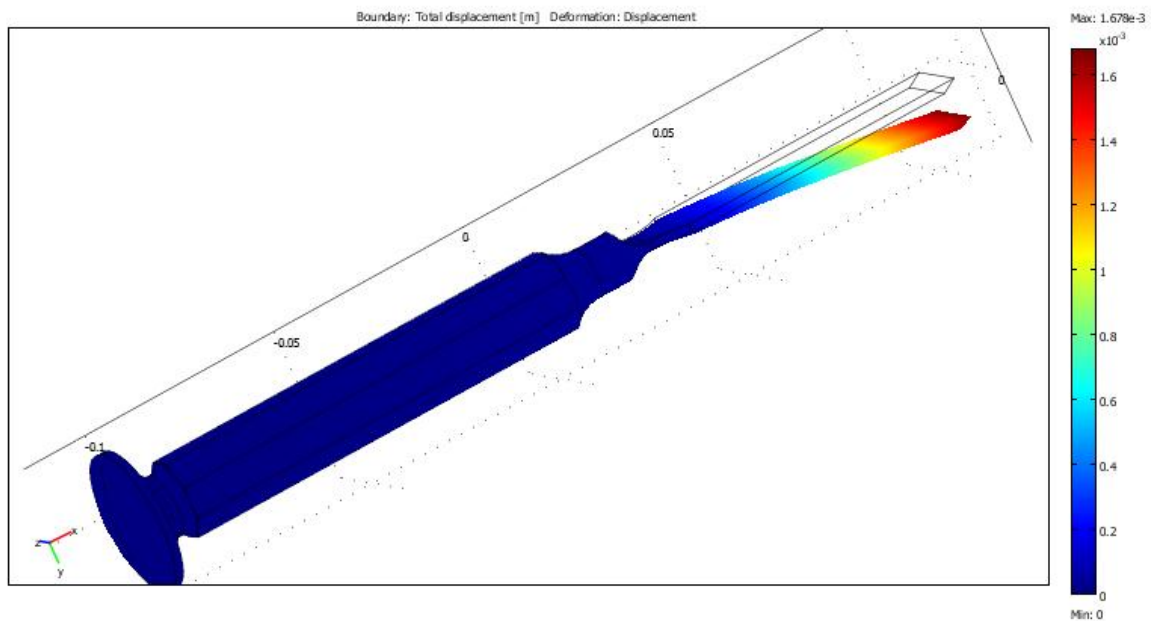
Rys. 12. Naprężenia dla dłuta ze stali 420.



Rys. 13. Odkształcenia dla dłuta ze stali 420.



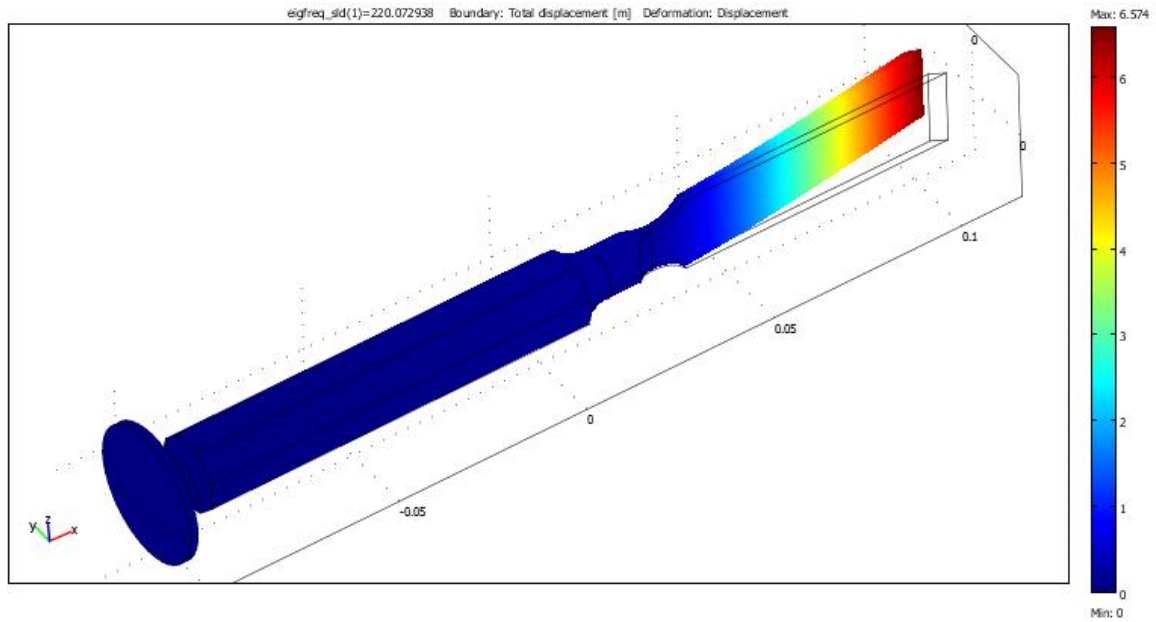
Rys. 14. Naprężenia dla dłuta ze stali 316L.



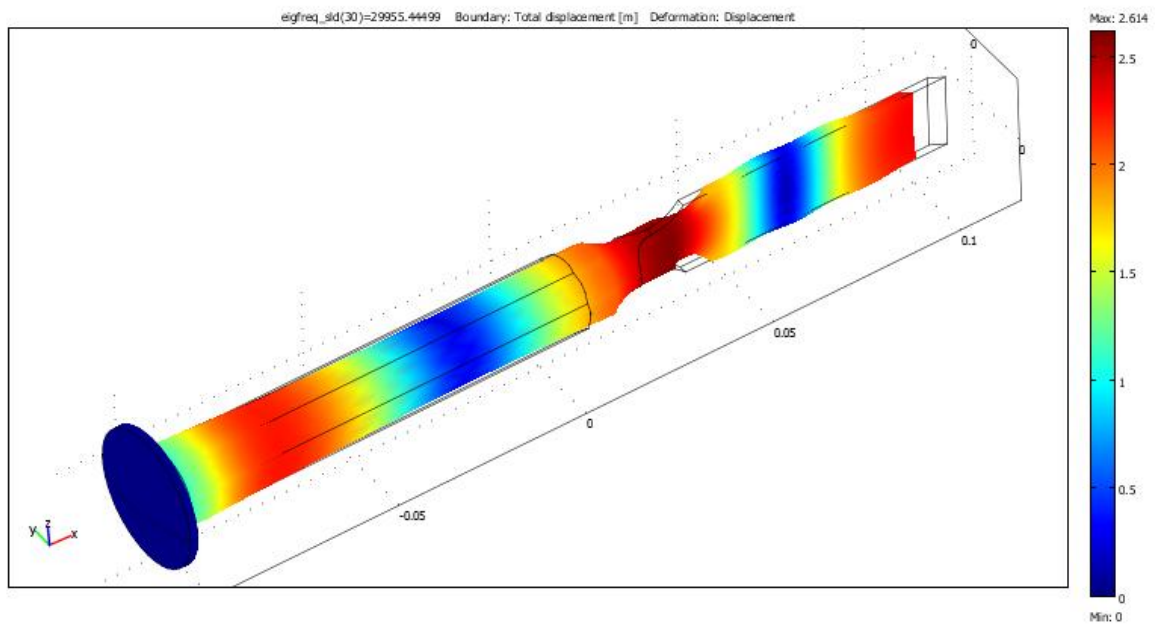
Rys. 15. Odształcenia dla dłuta ze stali 316L.

#### 4.3. Badanie częstotliwości drgań własnych

Ostatnia symulacja miała na celu wyznaczenie oraz zbadanie wartości częstotliwości drgań własnych dla dłuta z materiału 316L, przy których. Wyznaczono 30 różnych częstotliwości. Najmniejszą i największą wartość przedstawiają Rys. 16-17.



Rys. 16. Najmniejsza zbadana częstotliwość drgań własnych 220 Hz.



Rys. 17. Największa zbadana częstotliwość drgań własnych 29955,4 Hz.

## 5. Wnioski

Celem projektu była analiza wytrzymałościowa dłuta chirurgicznego wykonanego ze stali 316L oraz 420. Wykonane symulacje pozwoliły zaobserwować miejsce, które najbardziej będzie narażone na zniszczenie. Jest to przewężenie pomiędzy trzonem, a ostrzem. W tym miejscu we wszystkich przeprowadzonych symulacjach ściskania i zginania, bez względu na materiał, zaobserwować można było największe naprężenia. Dla ściskania dłuta ze stali 420

uzyskano wynik maksymalnego naprężenia 579,6 MPa, dla zginania dla tej samej stali – 210,3 MPa, dla stali 316L przy ściskaniu – 597,4 MPa i przy zginaniu – 210,2 MPa. Wartości tych naprężeń nie przekraczają maksymalnych wartości naprężeń dopuszczalnych jedynie dla stali 420. Naprężenia uzyskane w symulacji dla stali 316L są za wysokie w porównaniu do jej wytrzymałości na ściskanie. Oznacza to, że jako dłuta chirurgiczne lepiej stosować narzędzia ze stali 420. Lub jeśli używane jest dłut ze stali 316L należy w jego eksploatacji używać mniejszej siły. Wartości naprężeń zginających są porównywalne. Największe odkształcenia uzyskano przy zginaniu stali 316L. Wartość ta jest rzędu 1 mm. Odkształcenie takiej wielkości jest tolerowane przy narzędziach tego typu.

Wyznaczenie częstotliwości drgań własnych miało na celu wyznaczenie częstotliwości, przy których niewielka siła wymuszająca może doprowadzić do zniszczenia narzędzia z powodu zjawiska rezonansu.

## 6. Piśmiennictwo

[1].[http://sterylizacja.org.pl/pliki/Reprocesowanie\\_Wyrobow\\_Medycznych/ROZDZIAL\\_7\\_PO\\_DSTAWY\\_INSTRUMENTOWANIA.pdf](http://sterylizacja.org.pl/pliki/Reprocesowanie_Wyrobow_Medycznych/ROZDZIAL_7_PO_DSTAWY_INSTRUMENTOWANIA.pdf);

[2]. <http://www.medipment.pl/produkty/Dluta-chirurgiczne-3271>;

[3] dr inż. Beata Świeczko-Żurek, „Instrukcja do ćwiczenia z Biomateriałów pt: Dobór gatunku stali i zespołu własności mechanicznych na wytypowane narzędzia chirurgiczne”, Katedra Inżynierii Materiałowej, Gdańsk 2009;

[4] Gail K. Smith, “Orthopaedic biomaterials”, rozdział 13 w “Textbook of small animal orthopaedics” Charles D.Newton, David N. Nunamaker;

[5] Edmund Kaliszewski, Stanisław Czyżowicz „Podstawowe wiadomości o stalach odpornych na korozję”;

[6] M.J.Matthews, The Metallurgist & Material Technologies, 1982, tom 14, nr 5, str. 205-210;

[7] <http://www.elite.info.pl/chirurgia/>;

[8][http://www.medicalexhibits.com/details.php?return=exhibits&exhibit=08063\\_02A&type=exhibit&searchfor=CA](http://www.medicalexhibits.com/details.php?return=exhibits&exhibit=08063_02A&type=exhibit&searchfor=CA);

[9] <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=863>;

[10] <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=972>.