

WYDZIAŁ BUDOWY
MASZYN I ZARZĄDZANIA
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

PROJEKT
MODELOWANIE I SYMULACJA
ZAGADNIEŃ BIOMEDYCZNYCH

ANALIZA STATYCZNA OBCIĄŻEŃ KRĘGOSŁUPA
W WARUNKACH UDERZENIA GAŚNICĄ
PODCZAS WYPADKU SAMOCHODOWEGO

Inżynieria biomedyczna
Semestr VI, rok trzeci, grupa BE1

Paweł ZAWADZKI
Hubert KURKOWSKI

Spis treści

1. Wprowadzenie.....	3
2. Anatomia funkcjonalna.....	3
2.1. Kręgosłup.....	3
2.2. Kręgi.....	5
2.3. Krążki międzykręgowe.....	6
3. Własności struktur kręgosłupa.....	7
4. Charakterystyka wypadków samochodowych.....	8
5. Model odcinka lędźwiowego kręgosłupa.....	9
6. Metoda analizy naprężeń i odkształceń.....	10
7. Parametry wejściowe.....	12
8. Siatka.....	13
9. Warunki brzegowe.....	14
10. Symulacja.....	17
11. Wnioski.....	19

1. Wprowadzenie.

Diagnostyka oraz dziedzina etiologii urazów i schorzeń kręgosłupa dziś obejmuje bardzo szerokie spektrum badań interdyscyplinarnych. Wykonuje się je za pomocą rozmaitych technik od analizy ruchu i postawy ciała, przez obrazowanie medyczne, aż po symulacje mające na celu wprowadzenie ulepszeń mających poprawić ergonomię na stanowisku pracy, w samochodzie i wielu innych potencjalnych miejscach.

Od pewnego czasu prowadzone są prace nad poprawą bezpieczeństwa pasażera samochodu. Organizacja Euro-NCAP testuje samochody i rozwiązania technologiczne w warunkach różnorodnych kolizji. Testy przeprowadzane są przy udziale specjalnie wykonanych modelach trójwymiarowych.

Zawarte w naszej pracy badania obejmują statyczną analizę lędźwiowego odcinka kręgosłupa podczas działania siły zewnętrznej w postaci, obliczonej przez organizację Euro-NCAP, lecącej gaśnicy uderzającej w tułów pasażera siedzącego na tylnym siedzeniu. Celem pracy było stworzenie uproszczonego modelu odcinka lędźwiowego obejmującego kręgi L1-L4 wykonanego w programie Solidworks, a także przeprowadzenie symulacji prezentującej odkształcenia kręgosłupa podczas różnych możliwości uderzenia.

2. Anatomia funkcjonalna.

2.1. Kręgosłup.

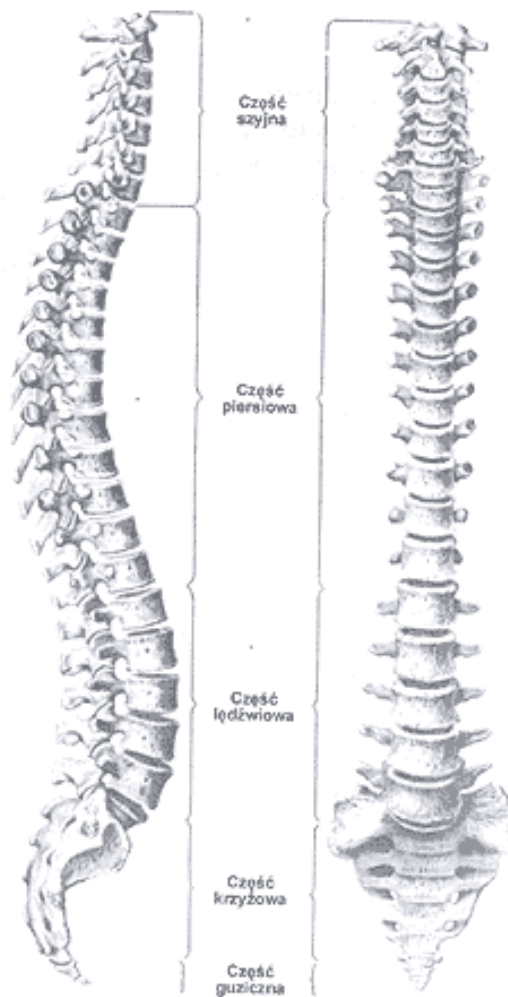
Kręgosłup stanowi główną oś oraz podporę ludzkiego organizmu i zbudowany jest z 33-34 głównych elementów, zwanych kręgami. Rozciąga się on od głowy do końca tułowia. Kręgosłup dzielimy na pięć odcinków, które różnią się między sobą geometrią, wielkością oraz liczbą kręgów z powodu różnych zadań jakie spełniają. Wyróżniamy następujące odcinki:

- szyjny – siedem kręgów oznaczonych odpowiednio jako C1-C7. Kręgi te są najmniejszymi spośród wszystkich odcinków. Pierwsze dwa mają nietypową budowę, umożliwiając wykonywanie ruchów potakujących i przeczących głowy.
- piersiowy – dwanaście kręgów, których oznaczenie zapisujemy Th1-Th12. Ich cechą charakterystyczną jest odpowiednia budowa, umożliwiająca połączenie z żebrami, oraz sposób w jaki nachodzą na siebie nawzajem w sposób dachówkowaty
- lędźwiowy – pięć kręgów o oznaczeniu L1-L5. Ich cechą szczególną jest bardzo masywna budowa oraz duże trzony o kształcie nerkowatym.
- krzyżowy – pięć zrośniętych kręgów krzyżowych, tworzących jedną całość.
- guziczny – cztery lub pięć kręgów zrośniętych ze sobą. Cechą szczególną tego odcinka jest fakt, iż nie spełnia on funkcji dźwigania ciężaru kręgosłupa.

Z biegiem czasu kręgosłup przechodził wiele zmian w układzie motorycznym, budowie oraz charakteru wykonywanej pracy. Aż do dziś, został przystosowany do postawy wyprostowanej. W wyniku takich zmian ukształtował się specyficzny układ krzywizn, który przypomina podwójną literę „S”. Odcinki szyjny i lędźwiowy wygięte są do przodu, co określa

się mianem lordozy, natomiast piersiowy i krzyżowy wygięte są do tyłu, co określa się mianem kyfozy. Kręgosłup ludzki jest odpowiedzialny za przenoszenie obciążeń. Pozwala na niewielki zakres kompresji, rozciągania i zginania we wszystkich kierunkach, oraz rotacji. Ponadto ważną jego funkcją jest amortyzacja górnej części ciała, przede wszystkim głowy. Zadaniem kręgosłupa jest ponadto podpora ciała, ochrona rdzenia kręgowego i nerwów rdzeniowych oraz, pośrednio, spełnianie funkcji przyczepów dla kończyn. Elementami, które w głównym stopniu decydują o zachowaniu się kolumny kręgosłupa są:

- kręgi
- tkanki miękkie łączące kręgi (krażki międzykręgowe, więzadła, stawy)
- mięśnie oddziałujące w sposób bezpośredni bądź pośredni na kręgosłup



Rys. 2.1. Schemat budowy kręgosłupa wraz z zaznaczeniem poszczególnych odcinków.

2.2. Kręgi.

Kręgi to podstawowe elementy budujące kręgosłup, charakterystyczne dla wszystkich gatunków kręgowców. Charakter budowy poszczególnych kręgów jest zasadniczo symetryczny względem płaszczyzny strzałkowej. Elementy składowe pojedynczego kręgu to:

- trzon
- łuk kręgu
- siedem wyrostków
- W strukturze kości kręgów należy wyróżnić:
 - od wewnątrz - istotę gąbczastą
 - od zewnątrz - otaczającą ją warstwę kości zbitej

Trzony kręgów tworzą segmentową kolumnę kostną, będącą główną, kostną strukturą nośną oraz osią ruchową. Z tylnej części trzonu wyrasta łuk, który zamyka przestrzeń otworu kręgowego na całej długości kręgosłupa tworząc kanał kręgowy. Od łuku kręgowego odchodzą wyrostki:

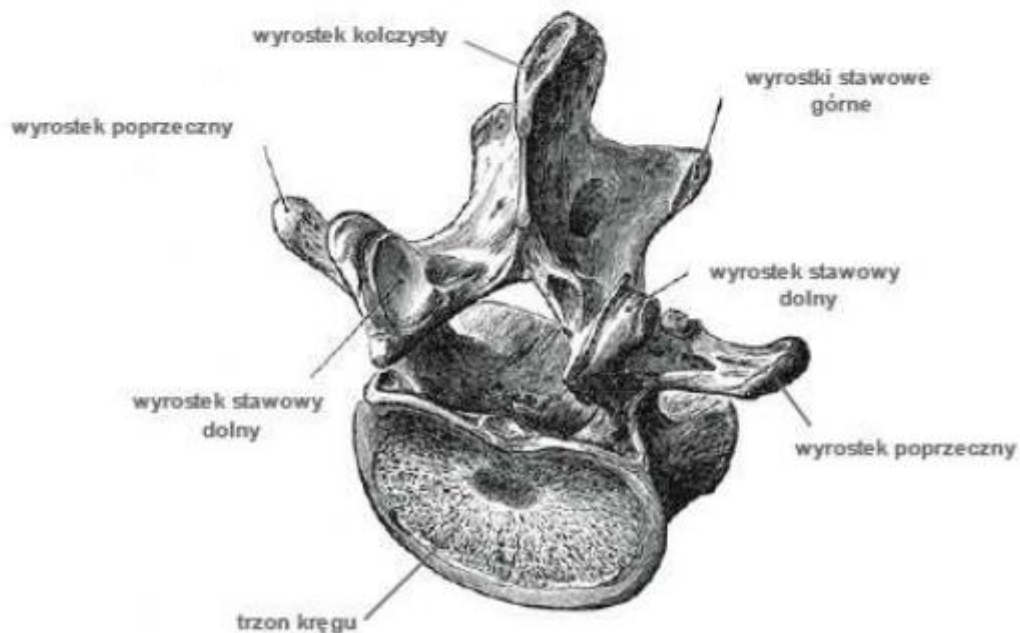
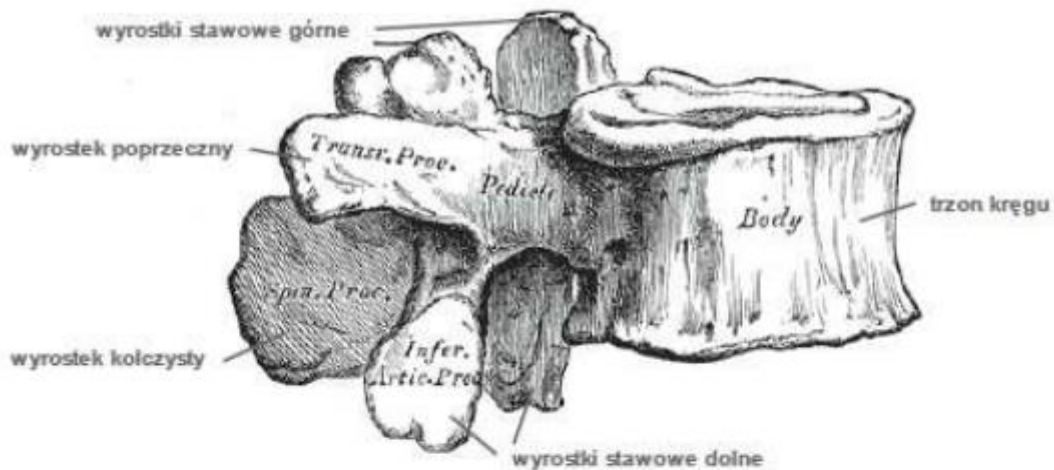
- w płaszczyźnie strzałkowej – pojedynczy wyrostek kolczysty
- w płaszczyźnie czołowej – dwa wyrostki poprzeczne oraz cztery wyrostki stawowe, odpowiednio dwa górne i dolne, które z kolei tworzą powierzchnie stawów międzywyrostkowych.

Wyrostki stanowią punkty przyczepu więzadeł. Kręgi poszczególnych odcinków kręgosłupa różnią się od siebie budową oraz wielkością.

Kręgi lędźwiowe są najbardziej masywne oraz posiadają największą geometrię spośród wszystkich kręgów. Względem siebie natomiast nie różnią się zbyt tak jak ma to miejsce na innych odcinkach kręgosłupa. Z racji większej geometrii charakteryzują się większymi trzonami kręgów, wydłużonymi do tyłu i masywniejszymi wyrostkami kolczystymi i górnymi wyrostkami stawowymi kręgów. Wyrostki kolczyste zachodzą na górny krąg co odzwierciedla się poprzez utrudnienie przy skręcaniu kręgosłupa na odcinku lędźwiowym.

Trzony kręgów piersiowych wchodzą w skład krótszych cylindrów, niż te z kręgów w obszarze lędźwiowym. Charakterystyczną cechą budowy kręgów odcinka piersiowego jest fakt, iż w pobliżu zakończenia wyrostków poprzecznych znajdują się miejsca połączeń z żebrami po obu stronach. Miejsca te noszą nazwę gładkich obszarów stawowych. Wyrostki kolczyste tych kręgów są ostre i skierowane w dół, inaczej jak ma to miejsce w przypadku kręgów lędźwiowych. Pomędzy łukami kręgowymi znajdują się otwory międzykręgowe przez które nerwy kręgowe przechodzą w drodze do ściany klatki piersiowej.

Kręgi szyjne posiadają mniejszą geometrię oraz masę w porównaniu do odcinków piersiowego oraz lędźwiowego. Cechą szczególną kręgów szyjnych są szerokie łuki. Dwa najwyższe kręgi szyjne są przystosowane do łączenia się z czaszką. Kręgi C1 oraz C2 odpowiadają za ruch głowy we wszystkich płaszczyznach.



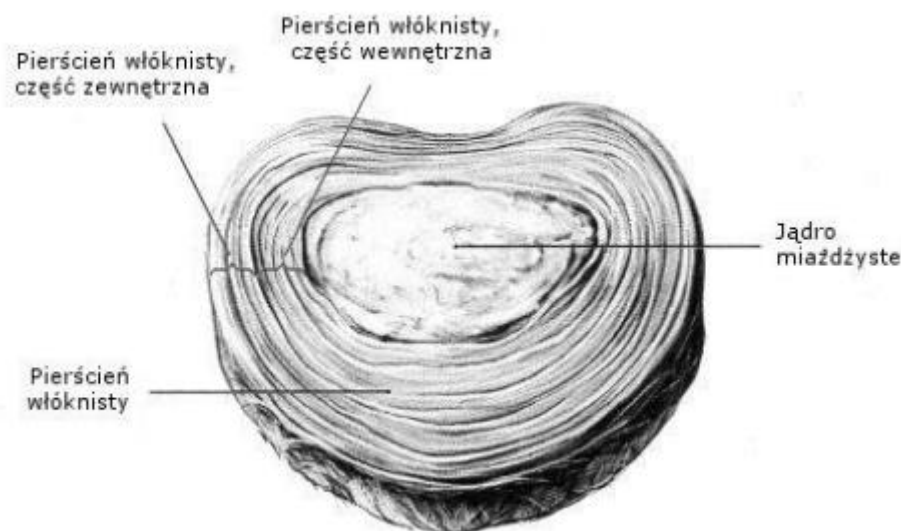
Rys. 2.2. Kręg lędźwiowy z zaznaczonymi strukturami anatomicznymi.

2.3. Krążki międzykręgowe.

Krążek międzykręgowy (potocznie dysk) – struktura kręgosłupa występująca między trzonami kręgów i zbudowana z jądra miazdzystego otoczonego pierścieniem włóknistym. Pierścień włóknisty tworzą przebiegające naprzemiennie skośne włókna kolagenowe i elastynowe. Pierścień ten jest znacznie grubszy w części przedniej, cieńszy zaś w tylnej, gdzie najczęściej ulega uszkodzeniom. Wraz z dwoma sąsiednimi kręgami tworzy segment ruchowy kręgosłupa. Właściwie uwodnione jądro miazdzyste zapewnia segmentowi ruchowemu elastyczność i umożliwia przenoszenie znacznych obciążeń. Pierścień włóknisty natomiast zapobiega jego przemieszczeniom.

Jądro miażdżyste obejmuje jedynie 15% całkowitej masy krążka, lecz jest to wystarczająca ilość płynu aby pozwolić dyskowi działać hydraulicznie – za każdym razem kiedy zmienia się nachylenie jednego z trzonów kręgu względem sąsiedniego kręgu, jądro miażdżyste odpowiednio się odkształca, wybrzusząc elastyczny pierścień włóknisty z jednej strony, a za każdym razem kiedy człowiek się skręca, jądro miażdżyste wyciska pierścień włóknisty na zewnątrz. Twarde elastyczne włókna tkanki łącznej, z których składa się pierścień włóknisty, łączą każdy krążek międzykręgowy z trzonami kręgów powyżej i poniżej. Biegają one nawet od krążka do kości. Dlatego właśnie krążek międzykręgowy nigdy nie „ślizga się”. Może on jedynie przerwać się, wysączać część żelowego jądra miażdżystego przez osłabiony pierścień włóknisty lub ulec zwyrodnieniu.

Tak jak inne rodzaje tkanki łącznej, krążki międzykręgowy również posiadają żywe komórki, które do przetrwania potrzebują substancji odżywczych i wytwarzają zbyteczne produkty przemiany materii, które muszą być usuwane, jednak proces ten nie jest jeszcze do końca poznany. Brak jest w nich natomiast, przynajmniej po przekroczeniu 25 roku życia, komórek krwi. Łożyska włóscinkowe, które obsługują krążki międzykręgowy kiedy jesteśmy młodzi, zostają utracone jako naturalny efekt starzenia.



Rys. 2.3. Krążek międzykręgowy.

3. Własności struktur kręgosłupa.

W celu umożliwienia analizy wytrzymałościowej dokonano dyskretyzacji modelu za pomocą metody elementów skończonych za pomocą programu Comsol Multiphysics. W celu umożliwienia zróżnicowania tkanki kostnej korowej i gąbczastej, oraz tkanek dysków międzykręgowych nadano odpowiednim fragmentom obszaru odmienne własności

materiałowe. Stworzone zostały oddzielne modele dysków, kości korowej oraz kości gąbczastej które następnie zostały połączone w programie Solidworks i pozwoliły na nadanie różnych własności mechanicznych różnym obszarom jednej bryły bazując na stworzonych wcześniej modelach (częściach).

Tab. 3.1. Własności struktur kręgosłupowych.

Rodzaj tkanki kostnej	Gęstość [g/cm ³]	Moduł Younga [MPa]	Współczynnik Poissona
Kość korowa	1,85	10000	0,39
Kość gąbczasta	0,9	100	0,39
Krażek międzykręgowy	1*	200	0,29

* - Wartość gęstości dla krążka międzykręgowego została podana w przybliżeniu jako taka sama jak gęstość wody, ponieważ jest ona jego głównym składnikiem. Niestety w praktyce nie ma jeszcze informacji o gęstości dysków, ponieważ ta struktura nie jest póki co w pełni znana i opisana.

4. Charakterystyka wypadków samochodowych.

Ciało człowieka podczas wypadku przy prędkości zaledwie 50 km/h gromadzi energię kinetyczną porównywalną do uderzenia o ziemię po upadku z trzeciego piętra. Ryzyko zmniejsza zapinanie pasów oraz przewożenie odpowiednio zabezpieczonych przedmiotów i zwierząt.

Nawet podczas kolizji przy niewielkiej prędkości organizmy kierowcy i pasażerów poddawane są dużym przeciążeniom. Już przy prędkości 13 km/h głowa kierowcy samochodu, który został uderzony w tył, przemieszcza się o blisko pół metra w niecałe ćwierć sekundy i waży siedmiokrotnie więcej niż normalnie. Siła uderzenia przy większych prędkościach niejednokrotnie prowadzi do tego, że osoby, które nie mają zapiętych pasów, trafiają innych lub są wręcz wyrzucane poza samochód. Kierowcy zupełnie nie zdają sobie sprawy z zagrożeń dla ich zdrowia i życia, jakie mogą wystąpić nawet podczas pozornie niegroźnych kolizji przy minimalnej prędkości.

Olbrzymim zagrożeniem podczas nagłego hamowania lub zderzenia są także niezabezpieczone przedmioty, które znajdują się wewnątrz auta. Podczas zderzenia przy prędkości 100 km/h książka o wadze zaledwie 250 g leżąca na tylnej półce gromadzi tyle energii kinetycznej co pocisk wystrzelony z pistoletu.

W chwili zderzenia, gdy nadwozie samochodu będzie zwalniać, nasze ciało będzie poruszać się dalej z prędkością sprzed zderzenia. Potem samochód się zatrzyma, a ciało będzie lecieć dalej, aż do spotkania z tablicą rozdzielczą czy kierownicą. Wtedy będzie musiało utracić całą energię na zaledwie kilku centymetrach, co w większości przypadków oznacza gigantyczne przeciążenie i śmierć.

Powyższy opis doskonale sprawdza się także w przypadku przedmiotów przewożonych w bagażniku lub na tylnej półce. Nie stanowią one żadnego zagrożenia, jeśli są sztywno zamocowane - wtedy będą zwalniać stopniowo razem z samochodem. Gorzej jeśli pozwolimy

im na swobodny lot, wtedy strefą zgniotu może zostać kilka centymetrów ciała któregoś z pasażerów.

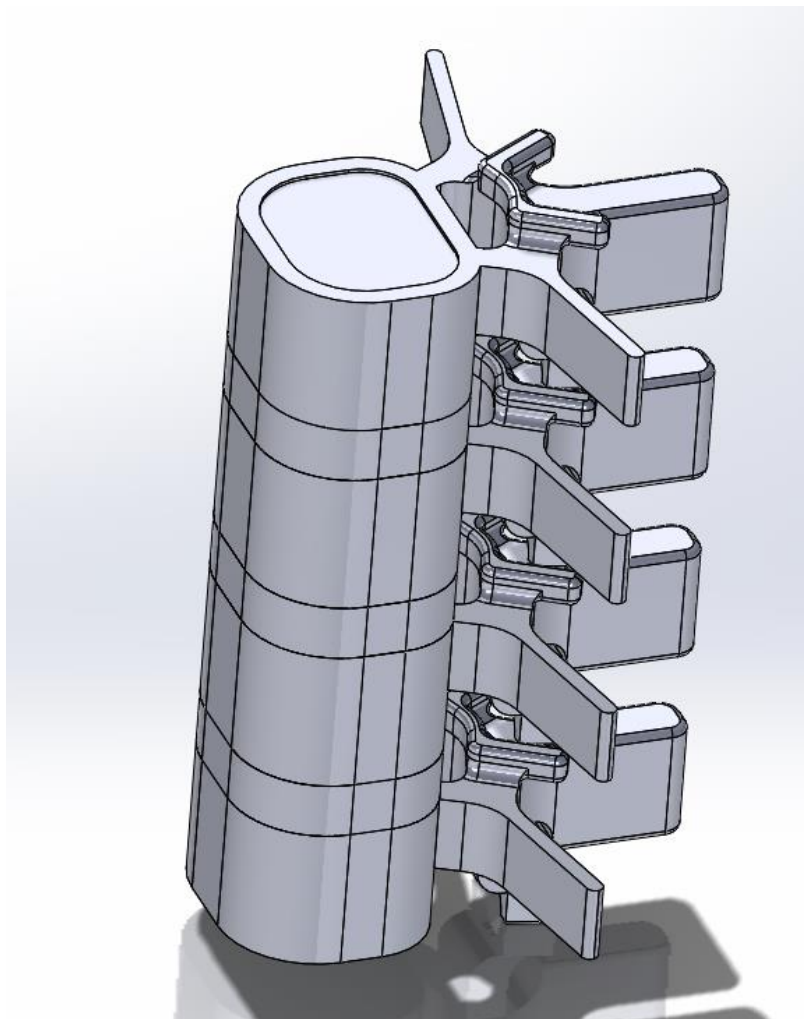
Sytuacja może być groźna już przy hamowaniu. Niech prędkość (równej prędkości sprzed hamowania) jednokilogramowej gaśnicy będzie wyższa o 20km/h od prędkości naszej i samochodu (zmniejszonej na skutek hamowania), a nasze plecy niech się ugną na skutek uderzenia o 3cm. Wtedy gaśnica uderzy nas z siłą ponad 500N i ten przypadek zostanie przedstawiony poniżej.

5. Model odcinka lędźwiowego kręgosłupa.

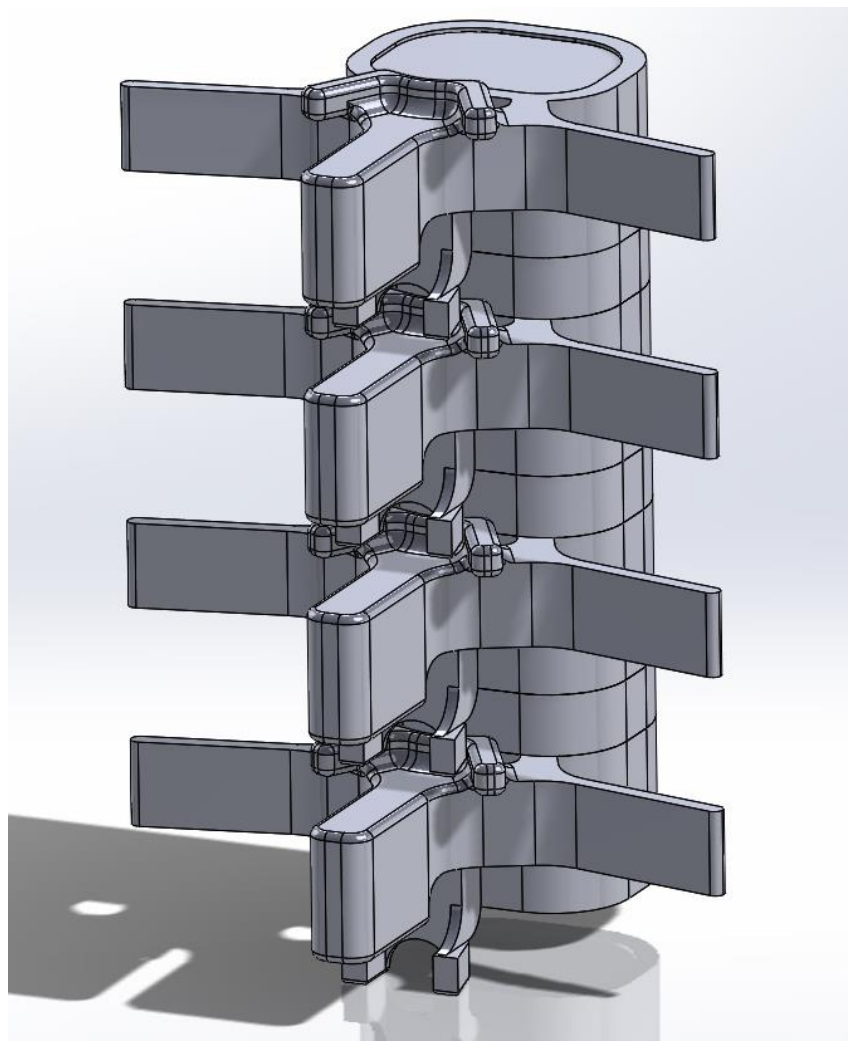
Utworzony uproszczony model odcinka lędźwiowego kręgosłupa został utworzony za pomocą programu Solidworks, czyli oprogramowania typu CAD. Nasza praca polegała na utworzeniu oddzielnie poszczególnych elementów:

- kości korowej kręgu
- kości gąbczastej kręgu
- krążka międzykręgowego

Zabieg ten był celowy, ponieważ umożliwiło nam to rozdzielenie struktur według ich własności mechanicznych.



Rys. 5.1. Widok ogólny modelu (z góry i z lewej).



Rys. 5.2. Widok z tyłu na uproszczony model.

6. Metoda analizy naprężeń i odkształceń

Działanie obciążeń mechanicznych powoduje powstawanie odkształceń materiału. Można założyć, że wyodrębnione, dowolnie małe elementy ciała przemieszczają się względem określonego układu współrzędnych. Składowe wektora przemieszczenia wzdłuż osi x , y , z oznaczamy odpowiednio u , v , w .

W poniższej analizie wykorzystywane jest powszechnie znane prawo Hooke'a:

$$\sigma = E * \varepsilon$$

σ – naprężenia normalne w przekroju poprzecznym [MPa],

E – moduł Younga,

ε – odkształcenie względne

Należy jednak podkreślić fakt, że przeprowadzone badanie odbywa się w stanie trójosiowym, wykorzystując prawo Hooke'a dla stanu jednoosiowego z wykorzystaniem współczynnika Poissona. Uogólnione prawo Hooke'a dla trójwymiarowego stanu naprężeń wygląda następująco:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

G – moduł Kirchoffa

ν – współczynnik Poissona

Dla liniowej zależności między naprężeniami i odkształceniami stosuje się równanie ruchu:

$$\rho_s \frac{\delta^2 u}{\delta t^2}$$

Do ostatecznego wyznaczenia przemieszczeń wykorzystuje się równanie Naviera, które pozwala na zapisanie całkowitej energii potencjalnej układu, po wyrażeniu energii potencjalnej odkształcenia do przemieszczenia.

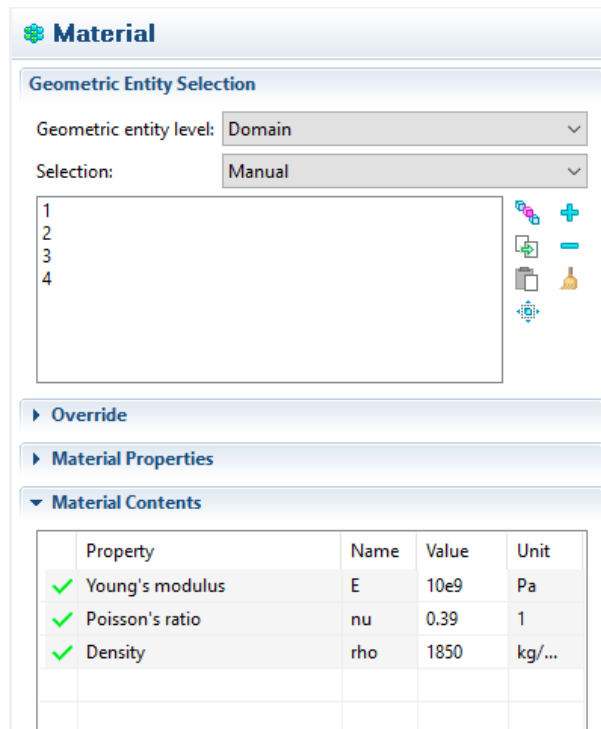
$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \mu \nabla^2 u + (\lambda + \mu) \nabla(\nabla u) + F$$

gdzie:

ρ – współczynnik zależny od gęstości,

F – wartość obciążenia.

7. Parametry wejściowe

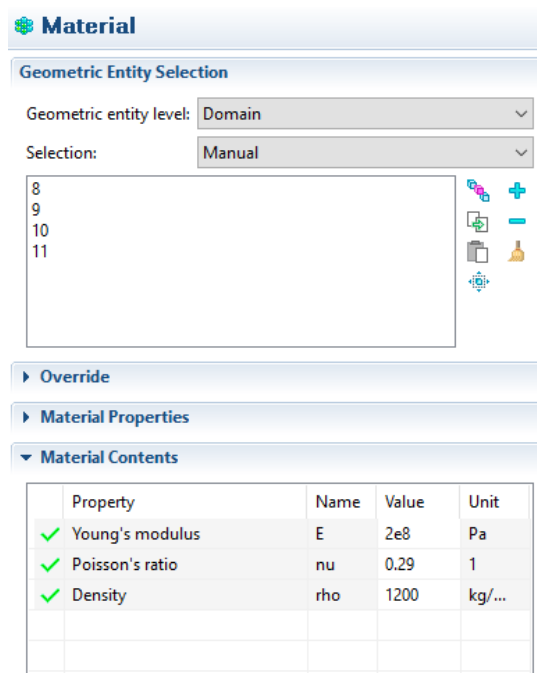


The screenshot shows the 'Material' dialog box with the following settings:

- Geometric entity level: Domain
- Selection: Manual
- Geometric Entity Selection list: 1, 2, 3, 4
- Material Contents table:

Property	Name	Value	Unit
✓ Young's modulus	E	10e9	Pa
✓ Poisson's ratio	nu	0.39	1
✓ Density	rho	1850	kg/...

Rys. 7.1. Parametry wyjściowe zadane kości korowej kręgów lędźwiowych: moduł Younga, współczynnik Poisson'a oraz gęstość.

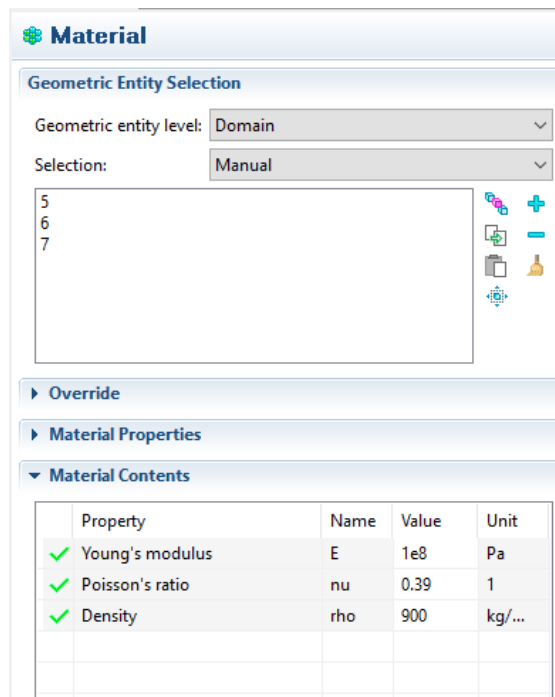


The screenshot shows the 'Material' dialog box with the following settings:

- Geometric entity level: Domain
- Selection: Manual
- Geometric Entity Selection list: 8, 9, 10, 11
- Material Contents table:

Property	Name	Value	Unit
✓ Young's modulus	E	2e8	Pa
✓ Poisson's ratio	nu	0.29	1
✓ Density	rho	1200	kg/...

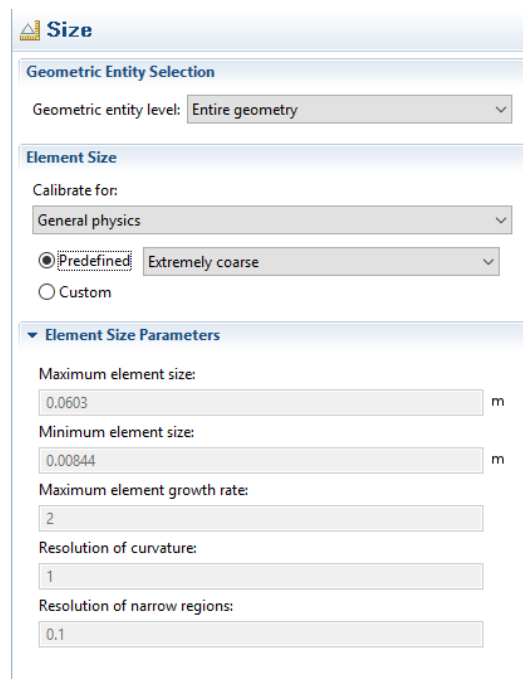
Rys. 7.2. Parametry wyjściowe zadane kości gąbczastej kręgów lędźwiowych: moduł Younga, współczynnik Poisson'a oraz gęstość.



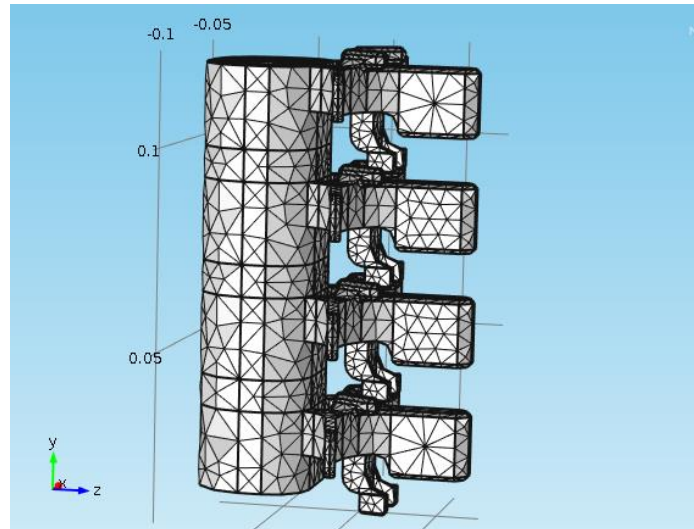
Rys. 7.3. Parametry wyjściowe zadane krążkom międzykręgowym: moduł Younga, współczynnik Poisson'a oraz gęstość.

8. Siatka

Podczas generowania siatki przyjęto następujące ustawienia:



Rys. 8.1. Parametry generowania siatki.



Rys. 8.2. Wygenerowana siatka – uzyskano 14301 elementów.

9. Warunki brzegowe

W celu dokonania szczegółowej analizy problemu, dokonaliśmy czterech symulacji. Poniżej zaprezentowane są warunki jakim poddana została każda z nich:

Boundary Load

Boundary Selection

Selection: Manual

481
484

Override and Contribution

Equation

Coordinate System Selection

Coordinate system:
Global coordinate system

Force

Load type:
Load defined as force per unit area

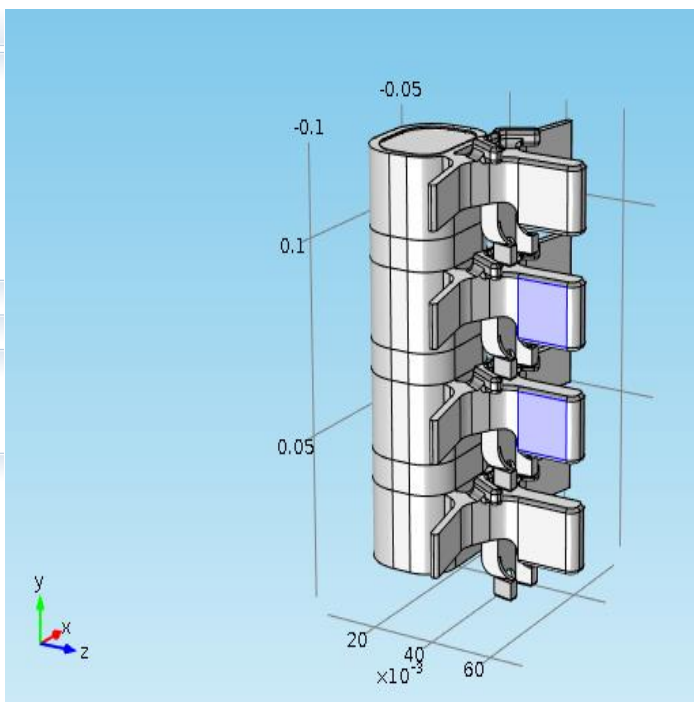
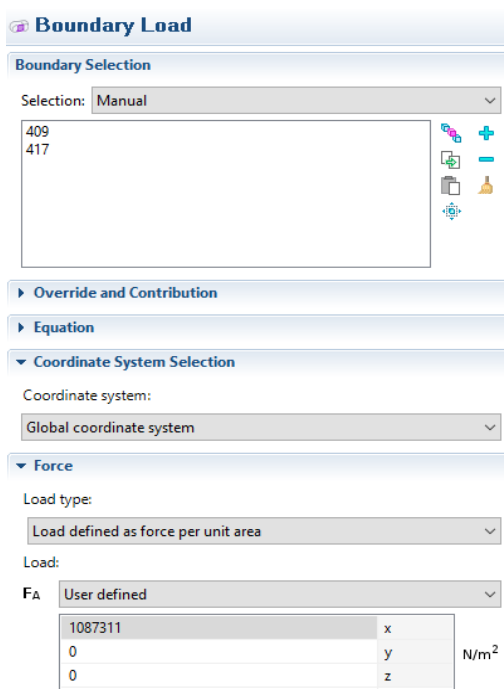
Load:

FA User defined

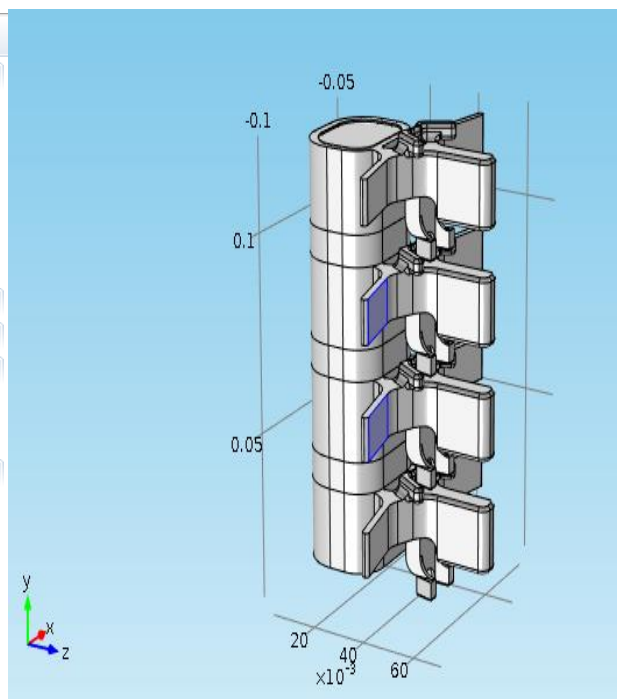
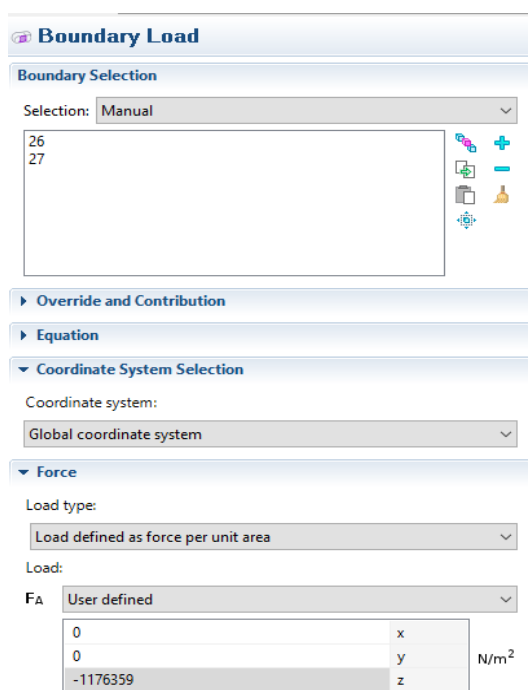
0	x
0	y
-7507507	z

N/m²

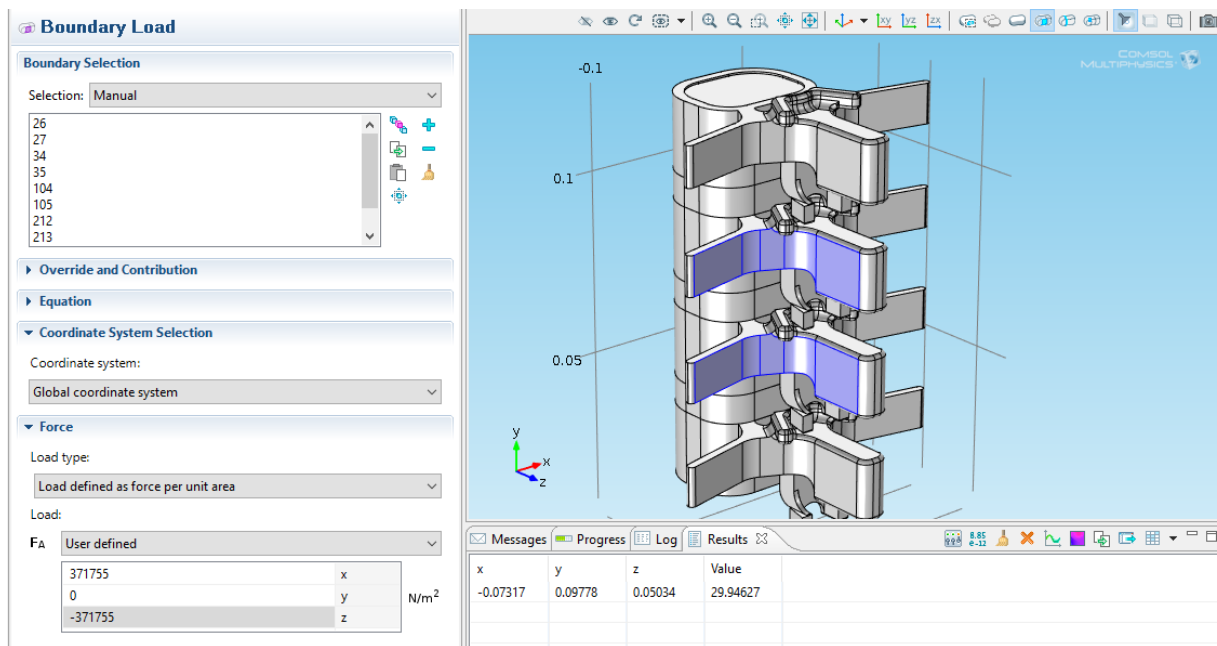
Symulacja I – uderzenie gaśnicy przypadało na fragmenty wyrostków kolczystych dwóch kręgów łożwiowych w kierunku płaszczyzny czołowej, wzdłuż osi Z, dla wartości siły obliczonej przy uwzględnieniu powierzchni fragmentów przyjmujących uderzenie.



Symulacja II – uderzenie gaśnicy przypadło na fragmenty wyrostków kolczystych dwóch kręgów łożdźwionych w kierunku płaszczyzny strzałkowej, wzdłuż osi X, dla wartości siły obliczonej przy uwzględnieniu powierzchni fragmentów przyjmujących uderzenie.



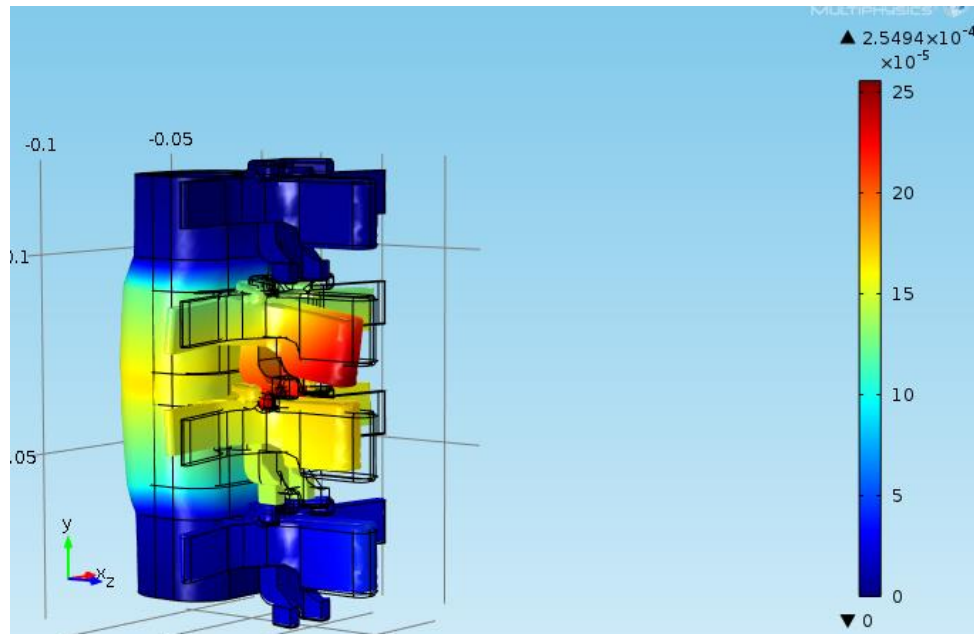
Symulacja III – uderzenie gaśnicy przypadło na fragmenty wyrostków poprzecznych dwóch kręgów łożdźwionych w kierunku płaszczyzny czołowej, wzdłuż osi Z, dla wartości siły obliczonej przy uwzględnieniu powierzchni fragmentów przyjmujących uderzenie.



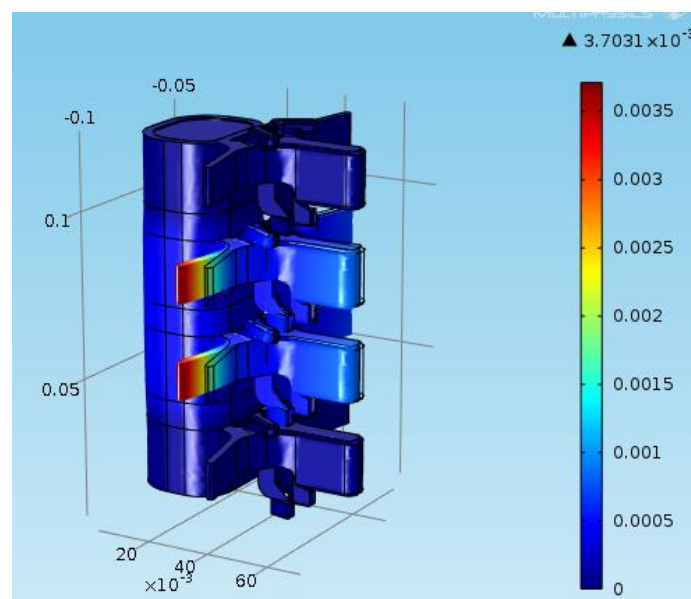
Symulacja IV – uderzenie gaśnicy przypadło na fragmenty wyrostków poprzecznych oraz kolczystych dwóch kręgów łądźwiowych w kierunku płaszczyzny czołowej i strzałkowej, wzdłuż osi Z i X, dla wartości siły obliczonej przy uwzględnieniu powierzchni fragmentów przyjmujących uderzenie.

10. Symulacja

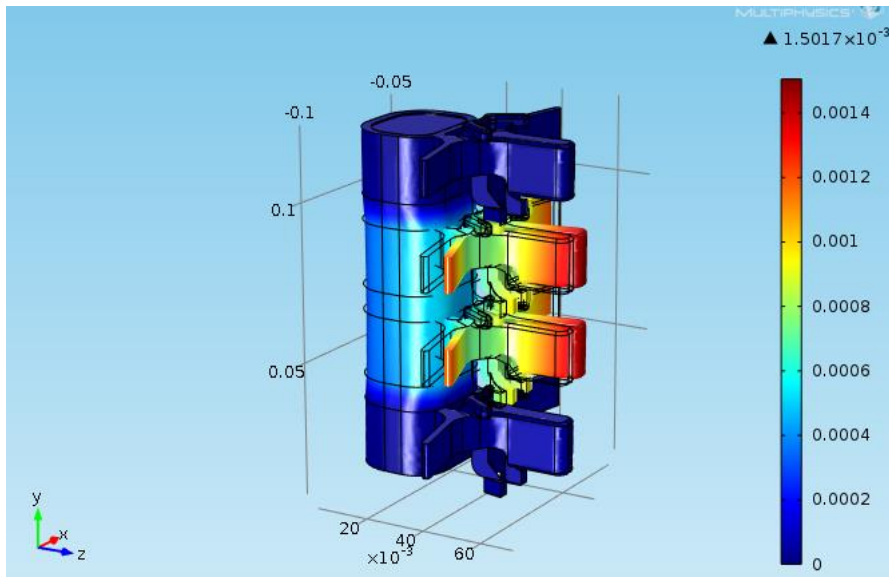
Zadaniem symulacji było określenie całkowitego przemieszczenia odcinka lędźwiowego w momencie uderzenia gaśnicy samochodowej. Model został stworzony w programie Solidworks (.igs), a następnie importowany do programu COMSOL. Poniższe wykresy prezentują uzyskane wyniki dla każdej z symulacji. Zastosowaną jednostką przemieszczenia jest metr – [m].



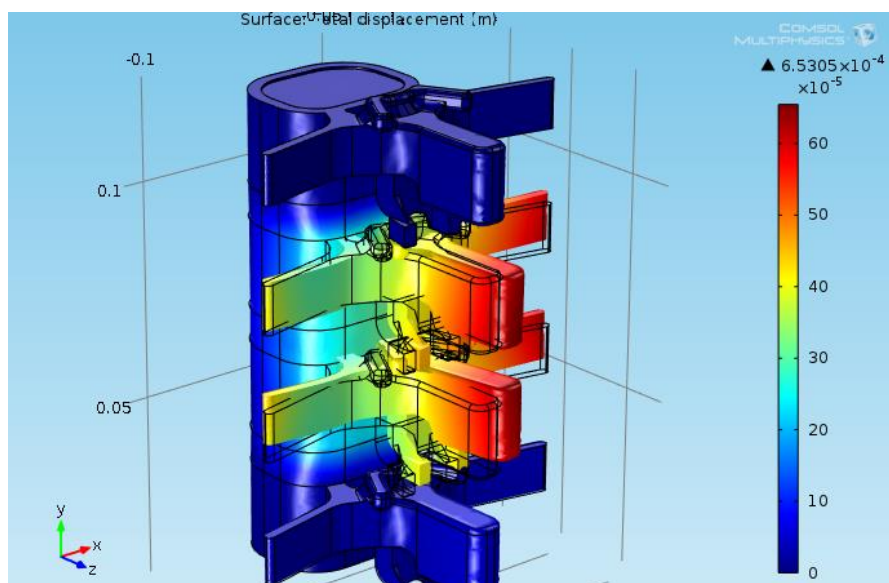
Rys. 10.1. Wykres prezentujący całkowite przemieszczenie odcinka lędźwiowego po uderzeniu gaśnicy bezpośrednio w środkowe wyrostki kolczyste - prostopadle do płaszczyzny czołowej.



Rys. 10.2. Wykres prezentujący całkowite przemieszczenie odcinka lędźwiowego po uderzeniu gaśnicy bezpośrednio w środkowe wyrostki poprzeczne - prostopadle do płaszczyzny czołowej.



Rys. 10.3. Wykres prezentujący całkowite przemieszczenie odcinka łędźwiowego po uderzeniu gaśnicy w środkowe wyrostki kolczyste - prostopadle do płaszczyzny strzałkowej.



Rys. 10.4. Wykres prezentujący całkowite przemieszczenie odcinka łędźwiowego po uderzeniu gaśnicy bezpośrednio w środkowe wyrostki poprzeczne oraz kolczyste - prostopadle do płaszczyzny czołowej i strzałkowej.

11. Wnioski

Przeprowadzenie powyższych symulacji pozwoliło wysunąć wnioski dotyczące urazów kręgosłupa spowodowanych uderzeniem gaśnicy podczas wypadku samochodowego. Poprzez zastosowanie czterech różnych symulacji wyniki badania uległy zróżnicowaniu. Po dokładnej analizie warto zauważyć, że maksymalne przemieszczenie kręgów wynosiło ponad 3mm. Tak wysokie przesunięcie kręgów względem siebie może powodować szereg powikłań związanych z pracą układu nerwowego, a także mięśni i kości.

W obrębie kanału kręgowego poza rdzeniem kręgowym znajdują się włókna czuciowe oraz ruchowe, których uszkodzenie podczas przemieszczania się kręgu, może doprowadzić do nadmiernej percepcji bodźców czuciowych lub całkowitego jej zaniku, m.in. utraty czucia bólu (analgesia), utraty czucia dotyku (abaestehsia) czy osłabienia czucia temperatury (thermohypoaesthesia). W przypadku uszkodzenia nerwów ruchowym spotykamy się najczęściej z neuropatią.

Po za powyższymi powikłaniami mogą występować uszkodzenia kości w postaci złamań wyrostków kolczystych bądź poprzecznych, a nawet ukruszeń lub pęknięć trzonów kręgów. Dodatkowo każdemu uderzeniu towarzyszą silne stłuczenia mięśni.

Przeprowadzone badania mogą zostać wykorzystane podczas symulacji wypadków – w celu analizy skutków nieoczekiwanych uderzeń.

12. Bibliografia

1. Będziński R. "Biomechanika inżynierska", Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1997
2. Gzik M. "Biomechanika kręgosłupa człowieka", Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2007
3. Kiwerski J., Kowalski M., Krasuski M., Szymanik W. "Schorzenia i urazy kręgosłupa" Warszawa, PZWL, 2001
4. Panzer B., "Numerical Modelling of the Human Cervical Spine in Frontal Impact", Canada, 2006
5. Tejszerska D., Wolański W., "Badania numeryczne przedniej stabilizacji kręgosłupa szyjnego", Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska
6. <http://www.euroncap.com/en>