

Karolina Gajos, email: kgajos@us.edu.pl,

Uniwersytet Śląski, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach

Marek Kubica, email: mkubica@us.edu.pl, strona: www.mkubica.us.edu.pl

Uniwersytet Śląski, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach

KOMPUTEROWA WIZUALIZACJA PRODUKTÓW NA PRZYKŁADZIE AMORTYZATORA ROWEROWEGO

Streszczenie: Artykuł pokazuje możliwości wykorzystania nowoczesnych programów CAx wspomagających projektowanie, konstruowanie i analizy wytrzymałościowe na przykładzie amortyzatora tylnego. Autorzy wykonali model bryłowy w programie CAD i zbadali rozkład naprężeń, odkształceń i przemieszczeń. Przedstawiono również animację działania urządzenia.

Słowa kluczowe: CAD, CAx, MES, analiza wytrzymałościowa, modelowanie, naprężenia, przemieszczenia, animacja, amortyzator, rower.

COMPUTER VISUALIZATION OF PRODUCTS BASED ON BICYCLE SUSPENSION

Abstract: The paper presents the possibilities of using modern CAx programs which supplies designing, constructing and numerical analysis in example of a dumper suspension. The authors made a CAD model and tested the distribution of stresses, strains and displacements. Also shown an animation which presents work of the device.

Keywords: CAD, CAx, FEA, strength analysis, modeling, stress, displacement, animation, suspension, shock, bike.

1. WSTĘP

Współcześnie konstruktorzy mają w posiadaniu niezwykle zaawansowane narzędzie do wspomagania projektowania – oprogramowanie CAX, dzięki któremu praca nad projektami jest o wiele dokładniejsza i wydajniejsza w porównaniu do tradycyjnych metod inżynierskich. Programy typu CAX pozwalają na szybkie modelowanie bardzo złożonych urządzeń. Poza tym posiadają szereg funkcji usprawniających pracę m.in. narzędzia do wykrywania kolizji w realizowanych projektach. Zawierają generatory części np. przekładni pasowych czy połączeń gwintowych. Obliczenia inżynierskie wspomagające badania wytrzymałości konstrukcji są realizowane dzięki narzędziom wykorzystującym metody numeryczne z metodą elementów skończonych na czele.

Oprogramowanie CAD znalazło swoje zastosowanie również w inżynierii odwrotnej, polegającej na wiernym odwzorowaniu rzeczywistego modelu w przestrzeni 3D, a także odtwarzaniu dokumentacji technicznej istniejących urządzeń. Technika ta została wykorzystana do zaprojektowania komputerowego modelu amortyzatora rowerowego. Poza uzyskaniem wirtualnego modelu urządzenia, programy z grupy CAD pozwalają na modyfikację czy wymianę dowolnej części wchodzącej w skład amortyzatora. Kolejną zaletą jest szybkie przygotowanie dokumentacji technicznej utworzonego modelu czy dokładnej dokumentacji złożeniowej. Jest to bardzo istotne w sytuacji, w której dokumentacja została zgubiona lub nie ma do niej dostępu [1].

Cały wirtualny model amortyzatora został utworzony w programie należącym do firmy Siemens PLM Software – Solid Edge. Program ten pozwolił na zamodelowanie pojedynczych części oraz złożenie ich w jeden zespół. Znajdujące się w programie narzędzia do renderowania oraz animacji pozwalają uzyskać fotorealistyczne obrazy oraz filmy, które można zaprezentować przed wytworzeniem modelu rzeczywistego. Dzięki takim narzędziom możliwe jest wspieranie działań marketingowych jeszcze przed wprowadzeniem produktu na rynek. Komputerowa symulacja ruchu amortyzatora zezwala na prześledzenie jego zachowania podczas użytkowania, jak i przedstawienie potencjalnym klientom jak będzie prezentować się wybrane, zamodelowane urządzenie podczas codziennej eksploatacji.

Na potrzeby rozwiązania badanego zagadnienia pod kątem występowania maksymalnych naprężeń, odkształceń i przemieszczeń zastosowano do obliczeń metodę elementów skończonych (MES), która jest najpopularniejszą metodą numeryczną stosowaną w różnych środowiskach wspomagających komputerowe

projektowanie i wytwarzanie. Działa ona na zasadzie podziału badanego modelu ciągłego na równoważny układ mniejszych ciał – tak zwanych elementów skończonych, połączonych są ze sobą w punktach wspólnych (węzłach). Wykorzystując hipotezę Hubera-Misesa-Hencky'ego program wykonuje odpowiednie obliczenia w każdym z węzłów.

2. AMORTYZACJA

Amortyzator to urządzenie konstrukcyjne umożliwiające efektywne absorbowanie energii występujących niekorzystnych obciążeń oraz transformację tej energii na inną postać. Występuje m.in. w maszynach sportowych np. rowerach, jak i motoryzacyjnych: samochodach czy motocyklach.

Głównymi funkcjami amortyzatorów są: prawidłowe utrzymanie styczności koła do powierzchni drogi, niwelowanie nierówności nawierzchni, przeciwdziałanie nagłemu rozprężaniu się części sprężystych, zmniejszanie drgań występujących w zawieszeniu, absorbowanie nadmiaru energii występującej w sprężynach. Ich główne zastosowanie to zwiększenie komfortu oraz bezpieczeństwa jazdy. Dzięki nim pojazd przemieszcza się we właściwym kierunku jazdy, a koła nie tracą przyczepności [2,3].

2.1. AMORTYZATORY ROWEROWE

Amortyzatory rowerowe dzielimy na dwie główne grupy: przednie oraz tylne. Oba stosuje się w celu resorowania oraz tłumienia. Resorowanie to wygięcie się elementu sprężynującego pod wpływem nacisku oraz absorpcja energii. Tłumienie to oddanie tej energii, ale z ustaloną prędkością. Tłumik przeciwdziała nagłemu uwolnieniu energii do koła.

Amortyzatory przednie służą przede wszystkim jako łącznik między kierownicą a przednim kołem (a ściślej jego piastą). Posiadają również elementy niezbędne do montażu hamulców, zarówno tarczowych jak i typu V-Brake. Budowa ich składa się na rurę sterową, golenie górne i dolne oraz koronę widelca.

Wyróżniamy różne rodzaje mediów wykorzystywanych w amortyzatorach:

- ze względu na medium ściskane: elastomer, sprężynę, sprężone powietrze;
- ze względu na medium tłumiące: elastomer, sprężone powietrze, olej.

Biorąc pod uwagę rodzaj mediów resorujących oraz tłumiących dzielimy amortyzatory na: sprężynowe, elastomerowe, elastomerowo-sprężynowe, olejowo-sprężynowe, powietrzne oraz olejowo-powietrzne.

Drugi podział przednich amortyzatorów wyróżniamy ze względu na styl jazdy, a także związany z nim skok. W stylu jazdy w którym występują najmniejsze naprężenia – trekkingu – stosuje się amortyzatory o skoku do 60 mm, w cross country – od 80 do 100 mm, w enduro – od 100 do 140 mm, w 4x oraz dircie od 100 do 120 mm, w freeridzie od 140 do 170 mm, a w downhillu powyżej 170mm (rys. 1) [4,5,6]. Amortyzatory o mniejszym skoku mają mocowanie z piastami osi o średnicy 8 mm, te o większym skoku osi o 20 milimetrowej średnicy.



Rys. 1. Przykład amortyzatora dwu-półkowego - Fox 40 [7]

2.1.1. AMORTYZATORY TYLNE

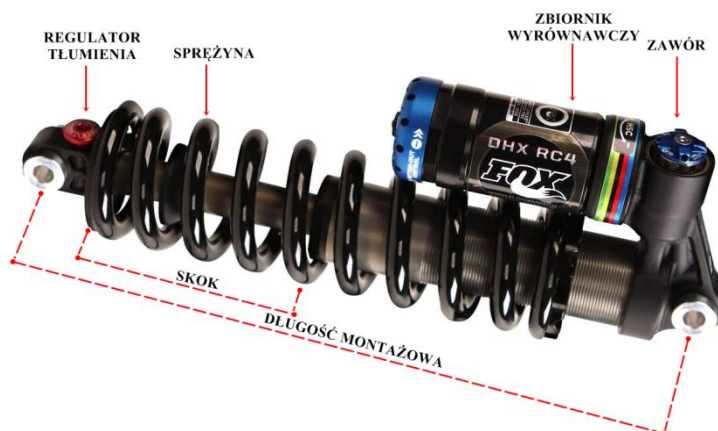
Ze względu na styl jazdy wyróżniamy dwa typy ram rowerowych: hardtrail oraz full suspension. Te drugie wykorzystuje się głównie do enduro, freeride'u oraz downhill'u. Poza specjalistyczną budową wyróżnia je to, że posiadają zarówno amortyzator przedni oraz tylny –zwany damperem (rys. 2). Służy on poza funkcjami resorowania oraz tłumienia jako łącznik między ramą a wahaczami.

Główną cechą damperów jest długość montażowa, określająca odległość między przelotami do łączenia z ramą oraz skok. Medium ściskany w damperach jest powietrze lub sprężyna, a medium służącym tłumieniu – olej.

Tylne amortyzatory posiadają kilka regulacji:

- tłumienie kompresji – reguluje prędkość ugięcia pod wpływem nacisku;
- tłumienie powrotu – regulacja szybkości powrotu amortyzatora od stanu ugięcia do położenia początkowego;

- naprężenie wstępne – początkowe nastawienie sztywności amortyzatora pod naciskiem obciążenia;
- blokada skoku – blokada pracy dampera powodująca jego sztywność [6, 8].



Rys. 2. Przykład amortyzatora tylnego - Fox Vanilla DHX RC 4 [9]

2.1.2. ROCK SHOX SUPER DELUXE

Rock Shox Super Deluxe (rys.3) jest tylnym amortyzatorem produkowany przez firmę Rock Shox. Jest to hydrauliczny damper z śrubową sprężyną zewnętrzną. Należy do grupy amortyzatorów olejowo-sprężynowych, w których stosuje się różne typy sprężyn: najczęściej ze stali chromowo-molibdenowej lub droższe, ale lżejsze i bardziej odporne na korozję – tytanowe. Hydrauliczne tłumienie odbicia realizowane jest poprzez zmniejszenie prędkości przemieszczającego się medium przez system odpowiednich kanalików oraz zaworków. Wytracenie energii odbywa się poprzez przetłoczenie oleju przez otwory o mniejszej średnicy niż podczas ściskania. Stopień tłumienia oraz sztywność zawieszenia są kontrolowane przez możliwość zmiany gęstości oleju oraz sprężyny na inną o odmiennej sztywności.



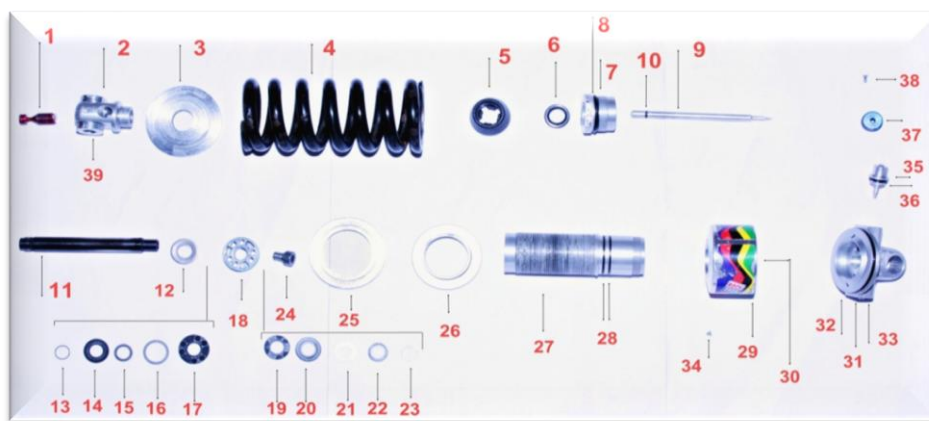
Rys. 3. Rower z zamontowanym damperem Rock Shox Super Deluxe

Damper Super Deluxe posiada różne długości przemieszczenia oraz może mieć rozmaite rodzaje sprężyn. Zawiera regulację tłumienia (pokrętko czerwone) oraz regulacje kompresji (pokrętko niebieskie) (Rys. 2).

Rzeczywisty model, który posłużył do zamodelowania, posiada 190 mm długości montażowej, wagę 580 g, sprężynę 600x2.0 ze stali chromowo-molibdenowej pokrytą powłoką silikonową chroniącą przed korozją. Oznaczenie sprężyny 600 oznacza, że do ugięcia sprężyny o 1 cal (25,4 mm) należy użyć masy 600 funtów (ok. 272,16 Kg). Wymiar 2.0 informuje o wielkości skoku sprężyny, definiowaną jako sumę odległości pomiędzy zwojami. W tym wypadku wynosi 2 cale, czyli 50,8 mm [6, 10].

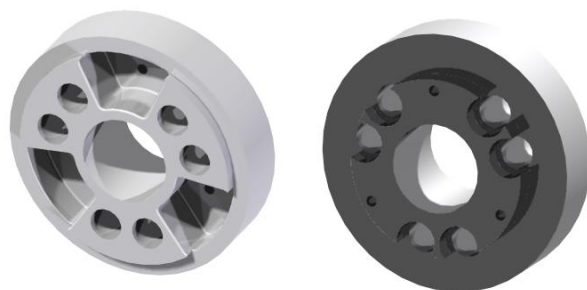
3. INŻYNIERIA ODWROTNA

Wirtualny model tylnego amortyzatora rowerowego został utworzony w parametrycznym, hybrydowym programie Solid Edge. Początkowo należało rozłożyć damper na pojedyncze elementy (rys.4). Zostały one oczyszczone oraz dokładnie zmierzone za pomocą suwmiarki, śruby mikrometrycznej oraz głębokościomierza. Z tak uzyskanych wielkości było możliwe stworzenie modelu 3D urządzenia.



Rys. 4. Części amortyzatora Rock Shox Super Deluxe po demontażu

Program Solid Edge posiada różne moduły wspomagające projektowanie m.in. Część, Zespół oraz Rysunek. Pierwszy z nich dzięki narzędziom do modelowania powierzchniowego i bryłowego pozwala na odtworzenie wyglądu pojedynczych elementów, nawet tych o bardzo skomplikowanych kształtach. Na rysunku 5 przedstawiony został element dampera Super Deluxe – tłok. Dzięki wykorzystaniu narzędzi programu Solid Edge został wiernie odtworzony wygląd jego i pozostałych części amortyzatora.



Rys. 5. Widok przedstawiający przód oraz tył modelu 3D tłoka dampera

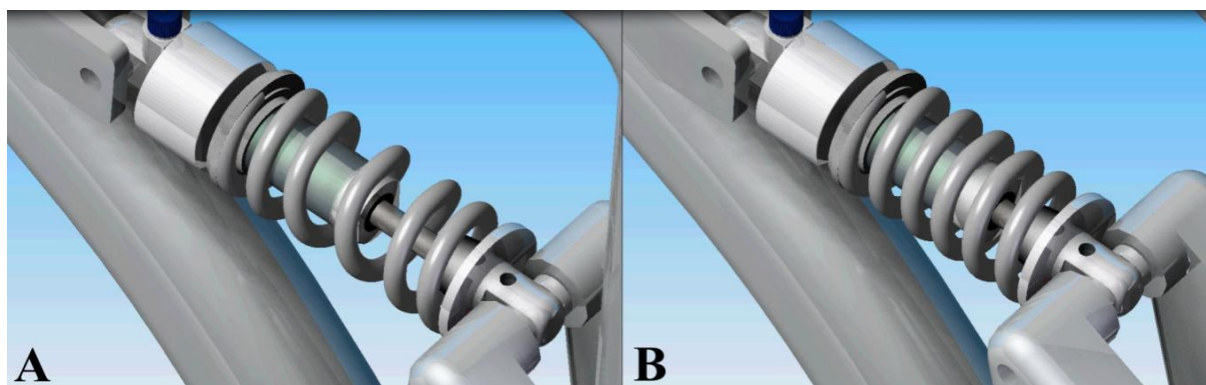
Moduł Zespół pozwala na utworzenie złożenia z uprzednio zamodelowanych części poprzez narzucenie im wzajemnych relacji. Możemy ponadto wymienić dowolne elementy na inne modele np. wytworzone z różnych materiałów. Dzięki temu w oprogramowaniu do sprawdzania wytrzymałości, jest możliwość przetestowania długości ugięcia amortyzatora z sprężynami o różnej sztywności pod jednakowym obciążeniem czy sprawdzenia wyglądu amortyzatora w różnych odcieniach kolorystycznych.

Zaawansowane techniki renderingu, które pozwalają na odpowiedni dobór perspektywy, materiału i światła umożliwiają przedstawienie modeli 3D z fotorealistycznym wyglądem. Porównanie zdjęcia modelu rzeczywistego z wyrenderowanym modelem 3D przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Amortyzator Rock Shox Super Deluxe: A) zdjęcie modelu rzeczywistego, B) modelu 3D utworzony w programie typu CAD

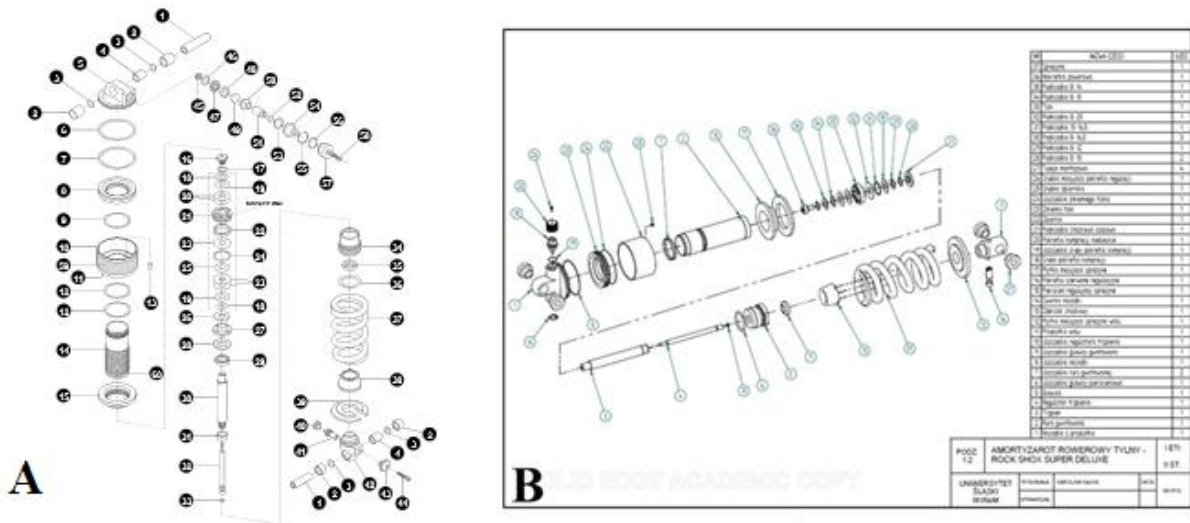
Moduł Zespół umożliwia nadanie silników, które prezentują rzeczywistą pracę tworzonych maszyn czy urządzeń. Dla amortyzatora zostały utworzone silniki liniowe, które imitują jego ruchy pod wpływem zewnętrznych nacisków. Na rysunku 7 pokazano widok amortyzatora, na którego nie działają żadne zewnętrzne siły (A) oraz widok przy pełnym ugięciu przy dużej sile nacisku (B). Działanie amortyzatora obrazuje również animacja którą można znaleźć pod adresem internetowym: http://www.youtube.com/watch?v=aTThEoFW_LA.



Rys. 7. Symulacja pracy amortyzatora: A) bez ugięcia, B) z całkowitym ugięciem

Do tworzenia rysunków wykonawczych, montażowych itp. służy moduł Rysunek. Umożliwia on tradycyjne wykonywanie rysunków dzięki funkcjom rysowania (np. linia, okrąg, oś symetrii), jak i automatyczne generowanie rzutów, czy to utworzonych elementów w module Część, czy złożeń z modułu Zespół. Dzięki wbudowanym narzędziom istnieje możliwość wykonania przekrojów, a także tworzenia rysunków

montażowych dzięki funkcji Rozstrzel. Porównanie rysunku serwisowego firmy Rock Shox, z utworzonym w programie Solid Edge zaprezentowano na rysunku 8.



Rys. 8. Rysunek: A) serwisowy firmy Rock Shox [10], B) utworzony w programie SE

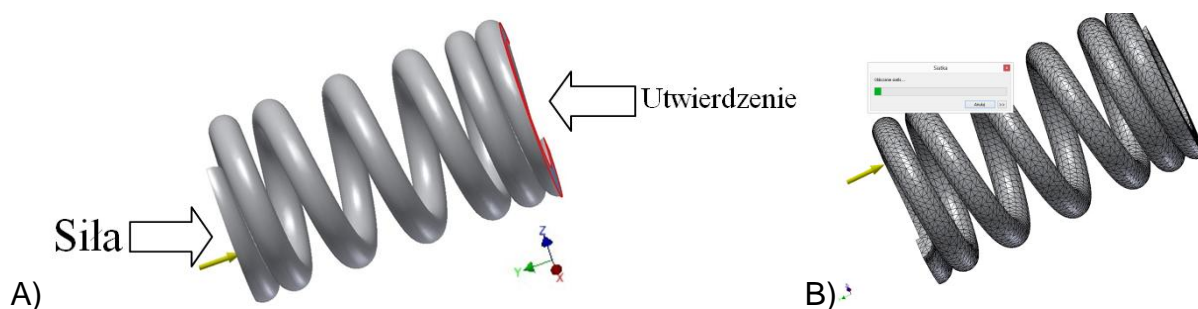
4. ANALIZA MES

Wykonano analizy numeryczne symulujące zachowanie się sprężyny stosowanej w amortyzatorze rowerowym Rock Shox Super Deluxe. Badania zostały przeprowadzone w programie Autodesk Inventor Professional – wersja studencka. Przeprowadzono analizy dla materiałów: tytan i stal miękka o właściwościach zaprezentowanych w tabeli 1.

Tabela. 1. Własności materiałów zastosowanych w analizie numerycznej

Nazwa	Stal, miękka	Tytan
Gęstość masy	7,86 g/cm ³	4,5 g/cm ³
Granica plastyczności	207 MPa	735 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie	345 MPa	950 MPa
Moduł Younga	220 GPa	300 GPa
Współczynnik Poissona	0,275	0,34
Moduł sprężystości	86 GPa	100 GPa

Do sprężyny została przyłożona siła o wymiarze 5300N, a model został odpowiednio utwierdzony symulując zachowanie rzeczywistego obiektu (Rys. 9A.). Na bryłę nałożona została siatka elementów skończonych złożona z 86903 elementów i 137172 węzłów (Rys. 9B.)



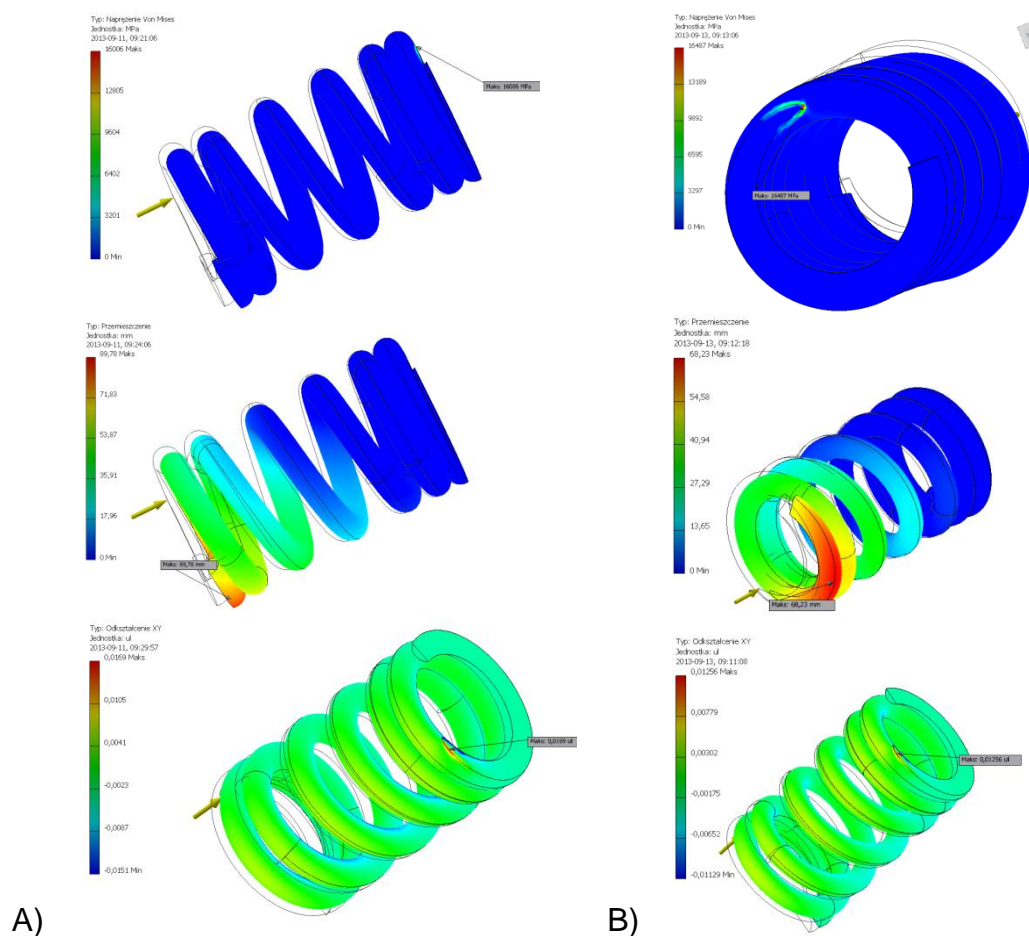
Rys. 9. Warunki analizy MES: A) Przyłożona siła i utwierdzenie celem symulacji pracy sprężyny, B) Siatka elementów skończonych nałożona na badany element

5. WYNIKI

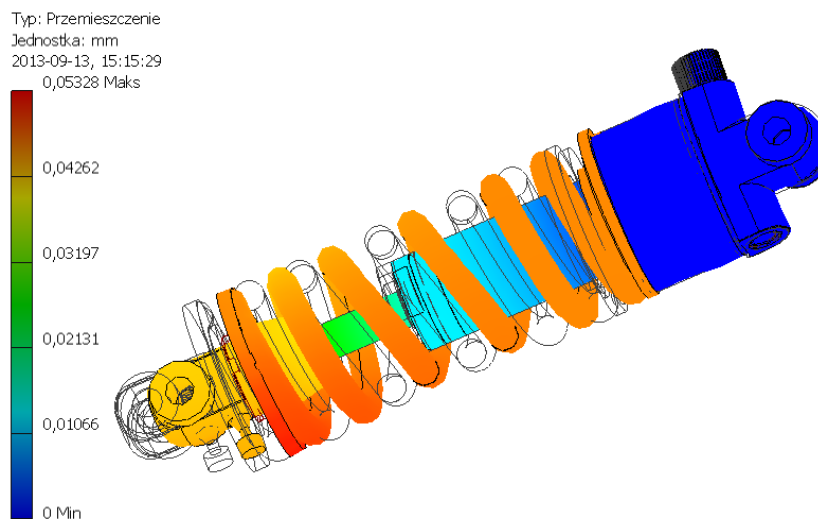
Wykonana analiza numeryczna metodą elementów skończonych w programie Autodesk Inventor dla zmiennych nacisków i materiałów dała wyniki maksymalnych naprężeń, odkształceń i przemieszczeń. Na rysunku 10 zaprezentowano niektóre z wyników badań numerycznych dla stali (Rys. 10A) i tytanu (Rys. 10B). Należy zauważyć, że rozwiązania graficzne dla obu sprężyn są zbliżone. Zestawienie wartości wyników maksymalnych zaprezentowano w tabeli 2.

Tabela. 2. Zestawienie wyników maksymalnych dla stali i tytanu

Nazwa	Stal	Tytan
Masa sprężyny	0,30408 Kg	0,17409 Kg
Naprężenie Von Mises	16006 MPa	16487MPa
Pierwsze naprężenie główne	16008 MPa	18027MPa
Trzecie naprężenie główne	3026 MPa	4588MPa
Przemieszczenie	89,78 mm	68 mm
Równoważne naprężenie	0,06379	0,05024
Pierwsze główne odkształcenie	0,07250	0,05649
Trzecie główne odkształcenie	0,000110237	0,0000246567



Rys. 10. Wyniki analiza MES: A) dla stali, B) dla tytanu



Rys. 11. Analiza przemieszczeń i ugięcia sprężyny dla kompletnego modelu amortyzatora typu Damper

6. PODSUMOWANIE

Oprogramowanie typu CAD pozwala na stworzenie wirtualnego modelu już istniejącego produktu. Takie odwzorowanie jest niezwykle precyzyjne oraz pozwala na wiele dodatkowych działań. Model 3D umożliwia odtworzenie dokumentacji technicznej, w tym dokumentacji montażowej. Daje możliwość wymiany dowolnych części wchodzących w skład urządzenia np. dla amortyzatora rowerowego możemy zamodelować tłumik o innym kształcie czy zastosować sprężynę o większej sztywności ugięcia. Pozwala to na zwiększenie zakresu przeprowadzanej analizy wytrzymałościowej. W dodatku programy typu CAD umożliwiają odtworzenie rzeczywistego wyglądu zamodelowanych przedmiotów. Stosując zaawansowane techniki renderingu można przedstawiać fotorealistyczny wygląd modeli, którym nadano określoną teksturę czy narzucono konkretny materiał, z którego element wykonano. Narzędzia do tworzenia animacji również pozwalają przedstawić działanie modelu 3D w rzeczywistych warunkach jego pracy.

Wyniki analizy MES wykazały, że parametry wytrzymałościowe sprężyny wykonanej z tytanu, a także jej dużo mniejszy ciężar przemawiają na korzyść stosowania tego materiału. Biorąc jednak pod uwagę aspekt ekonomiczny należy zauważyć, że ceny sprężyn tytanowych przekraczają kilkakrotnie ceny układów z zastosowanym elementem stalowym. Dla przykładu sprężyna kompatybilna z damperem Rock Shox VIVID o średnicy wewnętrznej 39 mm wykonana ze stali kosztuje 138,99zł (dla sztywności i skoku sprężyny 300Lbs x 3" i 500Lbs x 3") i odpowiednio 735,00zł i 855,00zł dla sprężyny tytanowej [11].

Przykład amortyzatora rowerowego pokazuje jak zaawansowane oraz przydatne w wielu dziedzinach życia są aplikacje typu CAx. Zaczynając od prototypowania, przez projektowanie, kończąc na marketingu. Oprogramowanie CAx wspomaga, wzbogaca oraz przyspiesza wszelkie działania dając możliwość zarządzania całym cyklem życia produktu.

LITERATURA

- [1]Jakubowski J., Mutwil J.: Projektowanie odwrotne jako narzędzie podwyższające jakość i konkurencyjność wyrobów, Archiwum Odlewnictwa 21, 2006.
- [2]Buchacz A.: Wspomaganie konstruowania układów redukcji drgań i hałasu maszyn, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.
- [3]http://www.castrolprofessionalacademy.pl/upload/files/strefa_wiedzy/samochod/uklad_zawieszenia/zawieszenie.pdf 12.09.2013.
- [4]Zinn L.: Zinn i sztuka serwisowania roweru górskiego, Buk Rower, Zielonka 2006.
- [5]<http://katalog.bikeboard.pl/artykuly,katalog-amortyzacja,amortyzatory-przednie-to-trzeba-wiedziec> 12.09.2013
- [6]<http://www.wrower.pl/sprzet/amortyzator,2255.html> 12.09.2013.
- [7]<http://www.bikerumor.com/2010/04/20/2011-fox-suspension-new-terralogic-fork-platform-talas-options-and-vanilla-shock/> 12.09.2013
- [8]<http://katalog.bikeboard.pl/artykuly,katalog-amortyzacja,amortyzatory-tylne-dampery-to-trzeba-wiedziec> 12.09.2013
- [9]http://bike-box.info/de/dept_389.html 12.09.2013
- [10]<http://dabigbreakerstyle.online.fr/SHARP/PDFs/couperdeluxerear97.pdf> 12.09.2013
- [11]<http://rowerowy.com/sklep/czesci/dampery> 12.09.2013