

Prof. dr hab. inż. Ryszard Kutylowski
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Politechniki Wrocławskiej
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
e-mail: ryszard.kutylowski@pwr.edu.pl
tel. komórkowy 609 841 803

Wrocław, 24.03.2018

Recenzja

pracy doktorskiej mgr. inż. Mirosława Sadowskiego pt.

Przestrzenne kształtowanie prętów ściskanych
o maksymalnej nośności wyboczeniowej

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została opracowana w oparciu o uchwałę Rady Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego powołującą mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim mgr. inż. Mirosława Sadowskiego, o czym poinformowany zostałem przez Pana Dziekana dr. hab. inż. Andrzeja Greinerta, prof. UZ pismem z dnia 30.01.2018 roku.

2. Ogólna charakterystyka pracy doktorskiej

Przewód doktorski mgr. inż. Mirosława Sadowskiego jest prowadzony na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego. Rozprawa doktorska mgr. inż. Mirosława Sadowskiego powstała w Zakładzie Konstrukcji Instytutu Budownictwa będącego jednostką Wydziału. Wydana została w roku 2017. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Jakub Marcinowski, prof. Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Rozprawa doktorska dotyczy problematyki stateczności w kontekście takiego kształtowania przekroju poprzecznego pręta, aby przy zadanych ograniczeniach uzyskać maksymalną wartość siły krytycznej. Rozważana problematyka jest nowa i aktualna. Doktorant pokazał, że chcąc uzyskać jak największą nośność prętów ściskanych posłużenie się optymalizacją może być bardzo pomocne. Rozprawa składa się z wykazu ważniejszych oznaczeń, a następnie z siedmiu rozdziałów, bibliografii, spisu rysunków, wykazu tabel, dziesięciu załączników oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Opiniowana praca liczy łącznie 242 strony, 139 rysunki (w tym 15 w załącznikach) oraz 39 tablic (w tym 13 w załącznikach). Bibliografia zawiera 137 pozycji.

Bardzo pomocny dla czytelnika jest zamieszczony na dwóch stronach wykaz ważniejszych oznaczeń. We wprowadzeniu, stanowiącym rozdział pierwszy przedstawiono rys historyczny, podano cel i zakres pracy oraz układ pracy, a następnie zapoznano czytelnika z literaturą badanego zagadnienia, przedstawiono tezy pracy, a także opisano procedury wyznaczania optymalnych parametrów geometrycznych prętów ściskanych. Celem pracy było „wyznaczenie optymalnych (najlepszych w świetle założonych kryteriów oceny) kształtów prętów ściskanych”. Doktorant podjął się więc optymalizacji kształtu jak i w pewnym sensie

optymalizacji topologii konstrukcji (przez optymalizację topologii w mechanice ciała stałego rozumie się proces w trakcie którego dokonuje się takiego rozkładu materiału w obszarze projektowym, który realizuje minimum lub maksimum przyjętej funkcji celu przy przyjętych ograniczeniach). Efektem prac Doktoranta był właśnie kształt pręta (na długości i w przekroju) przenoszący maksymalnie dużą siłę krytyczną. Choć badania prowadzono dla pewnej wyodrębnionej klasy przekrojów poprzecznych to i tak są one bardzo obszerne. Zakres pracy obejmował rozważania analityczne, numeryczne, a także przeprowadzenie w pewnym zakresie weryfikujących badań doświadczalnych. W tym miejscu należy zauważyć, że Doktorant w swojej pracy posługuje się pojęciem „nośność wyboczeniowa”, które może być traktowane jako odpowiednik normowego pojęcia nośności, w tym przypadku nośności w kontekście wyboczenia. Przyjęcie i stosowanie takiego pojęcia wydaje się jak najbardziej logiczne i uzasadnione. Recenzent w swej recenzji używa zamiennie pojęcia nośności wyboczeniowej i pojęcia siły krytycznej dla określonych parametrów. W omawianym rozdziale pierwszym sformułowano trzy tezy: pierwszą mówiącą o tym, że poprzez przestrzenne kształtowanie rozważanych prętów niepryzmatycznych można uzyskać znaczne zwiększenie wartości przenoszonej przez taki pręt siły krytycznej. Druga teza mówi, że do około 50% może wzrosnąć wartość przenoszonej przez pręt siły krytycznej w pręcie pełnym jeśli zastosujemy przestrzenne kształtowanie takiego pręta. Z kolei trzecia teza mówi o tym, że siła krytyczna przenoszona przez pręty drażone o stałej grubości ścianki jest kilkukrotnie większa od siły krytycznej przenoszonej przez referencyjny pręt walcowy. Ponadto jeśli zastosujemy zmienną grubość ścianki w pręcie drażonym to wtedy różnica rośnie do wartości kilkunastokrotnej.

Rozdział drugi zawiera teoretyczne wprowadzenie w problem stateczności pręta wraz z krótkim przedstawieniem historii MES oraz zastosowaniem MES do problemu stateczności. Ostatni podrozdział rozdziału drugiego dotyczy podstaw optymalizacji stosowanej w zagadnieniach optymalizacji konstrukcji.

W rozdziale trzecim opisano rozważane pręty: pręty pełne, drażone o stałej i zmiennej grubości ścianki o różnych przekrojach poprzecznych.

W rozdziale czwartym, w oparciu o wyprowadzenia z rozdziału trzeciego wyznaczono nośność wyboczeniową prętów pełnych, drażonych o stałej i zmiennej grubości ścianki, a także przedstawiono problem optymalizacji kształtu określonej klasy drażonych prętów pierścieniowych.

W rozdziale piątym, w pierwszym podrozdziale dla wybranego przypadku, różnymi metodami wyznaczono wartość siły krytycznej. Wyznaczono też doświadczalnie wartość modułu Younga materiału z jakiego przygotowano próbki, które następnie były poddane badaniom doświadczalnym opisanym w rozdziale szóstym. W drugim podrozdziale, korzystając z systemu komputerowego wyznaczono nośność wyboczeniową dla wybranego przypadku wraz z analizą stanu naprężenia pod działaniem siły krytycznej.

W rozdziale szóstym opisano metodykę badań, opisano proces badawczy oraz przedstawiono wyniki badań doświadczalnych wyznaczając dla wybranego przypadku wartość siły krytycznej. Przeprowadzono również analizę otrzymanych wyników.

W rozdziale siódmym syntetycznie przedstawiono otrzymane wyniki.

Zamieszczone po bibliografii, spisie rysunków i wykazie tabel pierwsze cztery załączniki zawierają szczegółowe wyniki obliczeń dla poszczególnych rozpatrywanych przypadków,

natomiast w kolejnych załącznikach zamieszczono kody systemu *Mathematica* służące do realizacji programu badań.

3. Omówienie istotnych elementów rozprawy doktorskiej

Rozpoczynająca dysertację sentencja autorstwa kardynała Josepha Ratzingera (późniejszego papieża Benedykta XVI) opierająca się o myśli wyrażone przez Alberta Einsteina daje recenzentowi wiele do myślenia i bardzo pozytywnie charakteryzuje Doktoranta, który w ten sposób pokazuje swoją rolę w badaniach i jak widać zdaje sobie sprawę ze złożoności praw rządzących opisywaną przez nas rzeczywistością. Doktorant zajął się istotnym z punktu widzenia zarówno naukowego jak i inżynierskiego problemem rozmieszczenia w przestrzeni projektowej materiału jaki mamy do dyspozycji, tak aby element konstrukcyjny po świadomej i celowej redystrybucji materiału przeniósł jak największą siłę ściskającą. Siłę tę nazywamy siłą krytyczną. Doktorant podjął więc temat ciekawy, a zarazem użyteczny. Tytuł rozprawy sugeruje, że Doktorant chciałby tak kształtować pręty ściskane, aby maksymalizować jego nośność wyboczeniową. Zajmuje się więc problemem mechaniki konstrukcji z punktu widzenia optymalizacji topologii tej konstrukcji.

Przedstawiony w rozdziale pierwszym rys historyczny jest dość obszerny i merytorycznie ciekawy. Doktorant mocno (również wizualnie) eksponuje dokonania starożytnych, których intuicje były zbieżne z wynikami obecnych badań. W końcowej części rysu historycznego Doktorant wskazuje na bezpośrednią inspirację swoich badań (poz. [83], gdzie analizowane były pręty, których kształt powstał jako rezultat obrotu krzywych płaskich, dzięki czemu uzyskano wzrost nośności tychże prętów). Ilekroć w dalszej części recenzji mowa będzie o nośności to należy pojąć to rozumieć jako nośność z punktu widzenia stateczności. Należy podkreślić, że tak przedstawiony rys historyczny dotyczący problemu stateczności jest cenny i świadczy o dobrym rozeznaniu Doktoranta w dziedzinie jaką się zajmuje. To samo można powiedzieć o podrozdziale dotyczącym przeglądu literatury z punktu widzenia optymalnego kształtowania prętów ściskanych. Jest on obszerny objętościowo oraz cenny merytorycznie, gdyż stanowi pewne kompendium aktualnej wiedzy w rozważanej tematyce.

Analizując rozdział drugi widać wyraźnie, że Doktoranta cechuje systematyczność i że w swej pracy polega na bardzo dokładnie przygotowanym materiale własnym. W rozdziale drugim znajdujemy znane opisy problemu stateczności, jednak sposób ich przedstawienia wskazuje, że Doktorant samodzielnie i od początku rozpoznał problem, sformułował wszystkie potrzebne zależności, dokonał odpowiednich wyprowadzeń. Jako efekt otrzymał w rozdziale 2.2, wykorzystywane później, wyrażenia na siłę krytyczną Eulera, dwie postacie przybliżonych równań na siłę krytyczną oraz podał postać różniczkowego równania stateczności. Następnie sformułował problem utraty stateczności w ujęciu MES. Forma narracji świadczy o dobrej znajomości idei MES, co w obecnych czasach korzystania z już gotowych rozwiązań należy ocenić tym bardziej pozytywnie. Wreszcie ostatni podrozdział rozdziału drugiego to bardzo krótkie spojrzenie na zagadnienie optymalizacji wraz z przykładem literaturowym rozwiązaniem przy pomocy systemu *Mathematica*, co z całą pewnością wprowadziło Doktoranta w problematykę optymalizacji w sensie ogólnym.

Doktorant zajmuje się prętami, które precyzyjnie opisane są w rozdziale trzecim, w którym wyznaczono wszystkich niezbędne w dalszym postępowaniu wielkości (szerokości boku, pola przekroju poprzecznego, momentu bezwładności). Rozważane są: pręty pełne o przekrojach trójkątnym, kwadratowym i sześciokątnym, przy czym zawsze rozważane w tej pracy pręty mają zmienny przekrój poprzeczny na długości – powierzchnie obrotowe, w które wpisane są pręty

wyznaczone obrotem następujących funkcji: wielomianu drugiego stopnia, sinusoidy i funkcji cosinus hiperboliczny. Ponadto rozważane są takie same pręty drążone o stałej i zmiennej grubości ścianki. Wyodrębnienie prezentacji przedmiotu badań w osobny rozdział jest słuszne, w szczególności ze względu na dużą liczbę rozpatrywanych kombinacji prętów.

W rozdziale czwartym dla każdego z rozpatrywanych przypadków wyznaczono wartość siły krytycznej korzystając ze wzoru (2.42), uzyskując wartości przybliżone. Następnie wyznaczono wartości sił krytycznych korzystając z rozwiązania numerycznego równania różniczkowego stateczności. Zawsze w tle Doktorant przypomina o wartości siły krytycznej otrzymanej dla walcowego pręta pełnego jako przykładu referencyjnego. Każdy z podrozdziałów dotyczący konkretnego rodzaju prętów kończy się wnioskami, co należy podkreślić. Oprócz analizy porównawczej otrzymanych wyników Doktorant analizuje stan naprężenia dla otrzymanych sił krytycznych, co należy również zauważyć, bo świadczy to o tym, że Doktorant stara się pamiętać o praktycznym wykorzystaniu wyników badań i przedstawia materiał z jakiego można wykonać pręt. W rozdziale 4.3 wykorzystując system *Mathematica* dla wybranych przypadków (z rozdziału 4.2) Doktorant przeprowadził optymalizację kształtu prętów pierścieniowych. Dokonał tego dla trzech zmiennych decyzyjnych (grubości ścianki w połowie długości pręta, długości promienia zewnętrznej tworzącej bryły pręta na końcu pręta oraz stosunku grubości ścianki na końcach pręta do grubości ścianki w połowie jego długości). Dla przyjętych ograniczeń maksymalizując wartość siły krytycznej wyznaczono kształt pręta. Uzyskano prawie dwudziestokrotny wzrost wartości siły krytycznej w stosunku do wartości siły krytycznej dla pręta walcowego o tej samej masie. Wyniki uzyskane w tym rozdziale, w szczególności związane z optymalizacją są cenne. Pokazują w sposób bezpośredni jakie mogą być wyniki kształtowania pręta w założony sposób i jak znacząco zmienia się wtedy nośność wyboczeniowa pręta.

W rozdziale piątym korzystając z programu COSMOS/M przeliczono wybrane przypadki wyznaczając wartość siły krytycznej. Ponadto po laboratoryjnym wyznaczeniu wartości modułu Younga dla pręta z tworzywa syntetycznego wyliczono różnymi metodami wartość siły krytycznej dla tego pręta oraz przedstawiono pewne szczegóły dotyczące modelowania w systemie COSMOS/M. Cenne jest tu to, że zdecydowano się na podjęcie weryfikacji doświadczalnej prowadzonych badań, a pierwszym etapem przedstawionym w tym miejscu było wyznaczenie wartości modułu Younga. Ciekawa jest również analiza stanu naprężenia dla wyznaczonej siły krytycznej.

W rozdziale szóstym znajdziemy sprawozdanie z doświadczalnego wyznaczenia wartości siły krytycznej modeli wykonanych z tworzyw sztucznych (pręty pełne o trójkątnym, zmiennym polu przekroju poprzecznego opisanego powierzchnią powstałą z obrotu łuku funkcji zawierającej cosinus hiperboliczny). Opisano metodykę badań, przedstawiono dokładnie stanowisko badawcze (wraz z dokumentacją fotograficzną), wreszcie przedstawiono wyniki badań. Ujmując dociekliwość badawczą Doktoranta objawiająca się w szczegółowym opisie procedury produkcyjnej i jakości wykonania prętów, które rzutują na wyniki badań. Cenne jest to, że Doktorant zdaje sobie sprawę z wiarygodności badań opisanych próbek. Co więcej można nawet powiedzieć, że Doktorant zdał egzamin na badacza bo po pierwsze zbadał próbki i po drugie umiejętnie przeanalizował wyniki badań. Widać, że Doktorant wie dlaczego otrzymał takie a nie inne wyniki (Doktorant dokonał analizy otrzymanych wyników i porównał je z wynikami analitycznymi i numerycznymi). Materiał zawarty w tym rozdziale jest klarowny, widać duże zaangażowanie Doktoranta w poszczególne etapy badań i właściwe odnoszenie się do napotkanych trudności.

Rozdział siódmy zawiera ocenę otrzymanych wyników badań, wykaz oryginalnych elementów pracy, co też jest cenne, bo pokazuje jak widzi Doktorant wyniki swych dociekań na tle literatury oraz przedstawia perspektywę dalszych badań. Doktorant ma więc świadomość co warto jeszcze zbadać.

Przy założonym zakresie prowadzonych obliczeń dobrym rozwiązaniem jest umieszczenie wyników wielu z nich w załącznikach, gdyż w ten sposób uzyskuje się większą czytelność samej pracy. Cenne jest również zamieszczenie kodów systemu *Mathematica* przeznaczonych do wykonywania pewnych obliczeń. Oczywistym jest, że powinny być one i są zamieszczone w załącznikach. Dzięki ich zamieszczeniu uzyskano możliwość ewentualnej niezależnej weryfikacji przeprowadzonych obliczeń, a także udokumentowano swoją pracę dając czytelnikowi, który chciałby się zająć badaniami w rozważanej dziedzinie gotowe, możliwe do rozbudowy narzędzie numeryczne.

4. Uwagi merytoryczne do rozprawy doktorskiej

4.1. Ogólne uwagi merytoryczne:

1. Autor rozprawy doktorskiej podjął temat istotny z punktu widzenia czysto poznawczego jak i utylitarnego. W szczególności obecnie, kiedy projektowanie jest coraz dokładniejsze, a materiały (w tym stal) są coraz wytrzymalsze i rysują się możliwości wykonywania konstrukcji o skomplikowanych kształtach podjęcie tematu należy uznać jako zasadne.
2. Jasno i precyzyjnie sformułowano cel pracy oraz zakres pracy.
3. Na str. 22 sformułowano tezy pracy. W rozprawach doktorskich z obszaru nauk technicznych nie jest to konieczne. Zaprezentowane tezy tej dysertacji wymagają komentarza. Pierwsza z tez jest oczywista bez wykonywania jakichkolwiek prac badawczych, każdy student to powinien wiedzieć: „T1: *Przestrzenne kształtowanie prętów niepryzmatycznych o kołowym i wielokątnych przekrojach poprzecznych (pełnych oraz drążonych o stałej i zmiennej grubości ścianki), poddanych ścisnaniu osiowemu, pozwala znacząco zwiększyć ich nośność wyboczeniową.*”

Druga teza chyba została sformułowana po wykonaniu pewnych obliczeń pewnej klasy prętów, bo skąd bez obliczeń wiadomo, że nośność może się zwiększyć o rząd 50%: „T2: *Wzrost nośności wyboczeniowej prętów pełnych, uzyskany poprzez ich przestrzenne kształtowanie, w pewnych przypadkach może osiągać połowę nośności walcowego pręta referencyjnego o takiej samej masie i tej samej długości.*”

To samo dotyczy tezy trzeciej: „T3: *Nośność wyboczeniowa prętów drążonych o stałej grubości ścianki jest kilkakrotni większa od nośności wyboczeniowej walcowego pręta referencyjnego, natomiast w przypadku prętów o zmiennej grubości ścianki, może osiągać wartość kilkunastokrotnie wyższą.*”

4. W rozprawie widoczna jest systematyczność i dokładność w prowadzeniu prac badawczych. Widać ogrom pracy włożonej na każdym etapie. Każdy krok jest dobrze udokumentowany. W ten sposób ukształtowany został warsztat badawczy Doktoranta.
5. Układ rozprawy jest prawidłowy, rozdziały są w logicznym porządku i są właściwie zredagowane. Zdarzają się drobne odstępstwa np. w postaci rozdziału 5.1.3, którego tytuł (Opis algorytmu...) nie odpowiada treści, bo w rozdziale tym nie opisano algorytmu,

m.in. opisano stosowane elementy skończone. Rozdział 5.1.3 mógłby się raczej znaleźć na początku rozdziału 5, jako wstęp.

6. Formalizmy matematyczne są przedstawione bardzo precyzyjnie i czytelnie. Mogą być one użyteczne dla czytelnika, który chciałby zająć się omawianą problematyką, choć w pewnych przypadkach są one wręcz podstawowe.
7. Cenne jest, że w przypadku wystąpienia problemów czy to z rozwiązaniem określonej klasy równań różniczkowych (rozdział 4), czy z całkowaniem w programie *Mathematica* (rozdział 5 str. 117 – przypis) to Doktorant zawsze znajdzie rozwiązanie problemu.
8. Cenne są też podsumowania po tych rozdziałach, w których przedstawiano wyniki obliczeń.
9. Wszelkie obliczenia systemami komputerowymi należy traktować jako weryfikację ich prawidłowego działania w określonym zakresie, czyli w pewnym sensie jest to walidacja tych systemów w stosunku do rozwiązania analitycznego (tutaj rzecz dotyczyła systemu COSMOS/M). Z całą pewnością wykonując obliczenia numeryczne Doktorant nabrał pewnego doświadczenia w modelowaniu numerycznym, dokonał pewnego rozeznania w przydatności poszczególnych elementów skończonych, co z pewnością będzie użyteczne w dalszej pracy. Jednym słowem udoskonalił swój warsztat badawczy.
10. Analizy dotyczące stanu naprężenia i spełnienia warunku optymalnego kształtowania są wartościowe. Okazuje się, że mamy tu często do czynienia z przypadkami kiedy to nośność wyboczeniowa jest dużo wyższa niż nośność w sensie naprężeniowym. Wtedy, w przypadku projektowania pręta trzeba podjąć decyzję co do kierunku dalszego postępowania. Doktorant daje propozycje rozwiązania problemu i to też jest warte zauważenia (rozdział 5.2.3).
11. Uwzględnianie rozwiązań przybliżonych i to tych cechujących się przybliżeniem z góry jest formalnie poprawne, jednak trzeba sobie zdawać sprawę z faktu, że zastosowane metody dają zawyżone wartości siły krytycznej, co oznacza, że nie można ich traktować jako nośność wyboczeniowa prętów. Dobrze, że Doktorant przeanalizował te rozwiązania, w szczególności dla swoich przypadków i potwierdził, że i w tych specjalnych rozpatrywanych przez Doktoranta przypadkach ta relacja nie zmienia się.
12. W rozdziale 2.4 Doktorant rozwiązał typowy problem optymalizacji przygotowując się do tego, aby w rozdziale 4.3 optymalizować kształt pierścieniowych prętów drążonych dla trzech niezależnych zmiennych decyzyjnych. Zadanie rozwiązano w sposób typowy korzystając z systemu *Mathematica*. Warto tu zwrócić uwagę (co jest oczywiste), że zastosowanie optymalizacji prowadzi do znacznego zwiększenia nośności wyboczeniowej prętów. Otrzymuje się wtedy ciekawe z punktu widzenia architektonicznego kształty prętów. Można sądzić, że mogą być one interesujące dla architektów.
13. Podsumowując, w swej pracy Doktorant otrzymał optymalny kształt przekroju poprzecznego oraz optymalny kształt pręta na długości.

4.2. Szczegółowe uwagi merytoryczne:

1. Do wzoru (2.29) funkcja ugięcia jest oznaczana literą „y”, a od wzoru (2.30) bez jakiegokolwiek wytłumaczenia literą „w”. Dlaczego?

2. Wobec trudności jakie napotkano przy rozwiązywaniu równania różniczkowego pręta niepryzmatycznego zastosowano ciekawą i skuteczną metodologię postępowania (str. 81 wiersz 3 od dołu).
3. Na str. 83 wiersz 5 od góry napisano, że dokonano analizy błędów. Przedstawienie procentowych różnic w tabeli nie jest rachunkiem błędów.
4. Cenne jest, że Doktorant stara się sprawdzać i weryfikować swoje obliczenia, np. na str. 119 sprawdza czy otrzyma taką samą siłę krytyczną dla połowy pręta wspornikowego jak dla całego pręta obustronnie zamocowanego przegubowo.
5. Obliczenia w rozdziale 5.1.2 poza doświadczalnym wyznaczeniem wartości modułu Younga są praktycznie powtórzeniem obliczeń z rozdziału 5.1.1 dla innej wartości modułu Younga, można było je zastąpić tylko przeliczeniem związanym ze zmianą wartości modułu sprężystości.
6. Na str.132 w tytule rozdziału 5.2.2 użyto słowa „algorytmu” i w wierszu 2 od dołu użyto słowa „algorytm”. Na tej stronie nie ma podanego algorytmu.

5. Uwagi redakcyjne

Rozprawa wydana jest w twardej oprawie. Jej poziom edytorski jest wysoki. Napisana jest zwięzłym i precyzyjnym językiem, choć zdarzają się niekiedy wyrażenia lub pojęcia nie zawsze adekwatne do sytuacji. Stosowanie przypisów jest rzadko stosowane w naukach technicznych. Tutaj w wielu miejscach przypisy bardzo ułatwiają czytanie, wiele wyjaśniając.

Szczegółowe uwagi redakcyjne są następujące:

1. Na str. 17 w wierszu 8 od góry i w dalszej części pracy (np. na str. 17 w 4 wierszu rozdziału 1.2.3, w Tezie 1, itd.) używane jest słowo „pozwalające” zamiast „umożliwiające”. Co innego znaczy pozwolić lub zakazać, a co innego umożliwić. W tym konkretnym przypadku (wiersz 8 od góry) zdanie to raczej należałoby zmienić na: „Przyjęto następujące założenia:”
2. Na str. 17 pierwszy akapit rozdziału 1.2.3 jest pisany w trzeciej osobie, a drugi bezosobowo. Należałoby to ujednoczyć.
3. W tezie 3 jest literówka „kilkakrotni”
4. Na str. 21 w wierszu 3 od dołu oraz w kilku jeszcze miejscach zamiast „ilość” powinno być „liczba”.
5. Na str. 33 w wyrażeniu na $t g \alpha$ (poniżej wzoru (2.19)) i na str. 33 występuje dx' .
6. Na str. 38 w przypisie 12 zamiast „[122]” powinno być „[123]”.
7. Niektóre sformułowania są niezręczne np. na str. 85 koniec punktu b): „co jest pozytywnym skutkiem”, można zapytać czego skutkiem. Należałoby nieco inaczej sformułować to zdanie.
8. Na str. 94 w wierszu 11 od dołu użyto sformułowania „naprężenia dopuszczalne” – jak należy to rozumieć?
9. Str. 116, w tytule rozdziału 5.1.1 słowo „test” jest niewłaściwe, bo nie oddaje zaprezentowanej treści.

10. Str. 153, pierwsza litera pierwszego słowa rozdziału 6.3 powinna być pisana dużą literą.
11. W załączniku 3.3 numeracja rysunków nie jest zgodna z konwencją numeracji rysunków w pozostałych rozdziałach pracy.

6. Podsumowanie

1. Cel pracy został osiągnięty.
2. Jednoznacznie można stwierdzić, że w recenzowanym przypadku metodami naukowymi został rozwiązany problem naukowy.
3. Doktorant w sposób bardzo rzetelny wyprowadził odpowiednie zależności, wykonał obliczenia oraz przeprowadził badania doświadczalne. Jeżeli z tej perspektywy spojrzeć się na sylwetkę Doktoranta to można powiedzieć, że jest osobą, która może samodzielnie prowadzić dalsze badania naukowe (ma odpowiednią wiedzę i kompetencje oraz cechy rzetelnego badacza).
4. Recenzowana rozprawa zawiera następujące oryginalne elementy:
 - Bazując na literaturze opracowanie koncepcji badań w tym zaproponowanie funkcji zastosowanych do opisu geometrii pręta.
 - Wyznaczenie różnymi metodami wartości siły krytycznej dla szerokiej gamy rozpatrywanych przypadków.
 - Opracowanie oryginalnych kodów systemu *Mathematica*, dzięki którym możliwe było przeprowadzenie obliczeń.
 - Opracowanie metodyki badań doświadczalnych i wykonanie badań pewnej klasy prętów niepryzmatycznych.
 - Przeprowadzenie analiz porównawczych otrzymanych wyników badań.

W konkluzji stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska pt. „Przestrzenne kształtowanie prętów ściskanych o maksymalnej nośności wyboczeniowej” w pełni spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku (wraz z późniejszymi jej zmianami), Ustawy zatytułowanej „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” i wnoszę o dopuszczenie mgr. inż. Mirosława Sadowskiego do publicznej obrony swojej rozprawy doktorskiej.



Ryszard Kutylowski