

Bydgoszcz, 7.09.2021 r.

prof. dr hab. inż. Dariusz Boroński
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Inżynierii Biomedycznej
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgra inż. Sebastiana Lipca
nt.: „Eksperymentalno-numeryczna analiza procesu pęknięcia stali konstrukcyjnych”**

Podstawą formalną opracowania recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 30 czerwca 2021 roku i pismo Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna prof. Sławomira Błasiaka z dnia 8.07.2021 roku.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Tematyka opiniowanej pracy doktorskiej związana jest z problemem oceny wytrzymałości elementów konstrukcyjnych z pęknięciami. Jest to zagadnienie, które pomimo wielu lat badań i zaangażowania licznych naukowców w wielu ośrodkach badawczych na świecie, cały czas nastrocza wielu trudności w sformułowaniu uniwersalnych modeli mogących znaleźć zastosowanie dla dowolnych materiałów, warunków obciążenia lub postaci pęknięć. Biorąc pod uwagę, że w wielu przypadkach pęknięcie musi być rozpatrywane jako szczelina o zbliżonym do zera promieniu na jej froncie, trudno nie zauważyć, że o zachowaniu materiału decydować będzie nie tylko jego wytrzymałość na poziomie makroskopowym, ale także jego mikrostruktura oraz stan odkształceń i naprężeń w otoczeniu pęknięcia/szczeliny.

Rozwój wiedzy dotyczącej powyższych zagadnień nierozdzielnie związany jest z rozwojem technik eksperymentalnych. Jednak same obserwacje przebiegu pęknięcia, m.in. z zastosowaniem mikroskopii elektronowej nie są wystarczające do sformułowania opisów, które mogłyby znaleźć bezpośrednie zastosowanie w praktyce inżynierskiej. Ponadto, niewielki rozmiar strefy wokół pęknięcia, w której zachodzą najistotniejsze procesy z punktu widzenia przebiegu pęknięcia, a także występujące w nim niezwykle silne gradienty odkształceń, nie pozwalają na ich prawidłowy pomiar z zastosowaniem typowym metod pomiarowych. Dodatkowo pomiar odkształceń może być prowadzony głównie na powierzchni elementu/próbki, a to nie daje wystarczającej informacji o stanie odkształceń na całej długości frontu pęknięcia. Z tego względu do analizy i opisu procesu pęknięcia bardzo silnie zaangażowane są metody numeryczne, w tym głównie metoda elementów skończonych. Te zaś dla swej skuteczności i wiarygodności wymagają, m.in. stosowania właściwych modeli materiałowych, które ze względu na wyjątkowo silne spiętrzenia odkształceń przy wierzchołku pęknięcia, muszą także opisywać zależność odkształceń i naprężeń dla ich zakresów wykraczających poza dane pozyskiwane w standardowych próbach wytrzymałościowych.

Podobnie jak w przypadku innych mechanizmów niszczenia branych pod uwagę w konstruowaniu maszyn, tak i w przypadku zagadnień opisywanych mechaniką pęknięcia, często oczekuje się możliwości oceny wytrzymałości elementu konstrukcyjnego poprzez odniesienie do wielkości mogących być traktowane jako własności materiałowe. Jak jednak wykazano w wielu pracach, w tym

w ramach badań prowadzonych na Politechnice Świętokrzyskiej w zespole prof. Andrzeja Neimitza, wyznaczone w standardowych badaniach własności materiałowe charakteryzujące odporność na pękanie, takie jak K_{IC} czy J_{IC} , zależą od postaci próbki, a tym samym nie powinny być bezpośrednim odniesieniem dla analizy wytrzymałości elementu konstrukcyjnego, o ile ten nie spełnia odpowiednich kryteriów w zakresie stanu odkształceń i naprężeń w otoczeniu pęknięcia.

Doktorant podjął się w swojej pracy realizacji kilku zadań. Pierwszym z nich było opracowanie hybrydowej, eksperymentalno-numerycznej metody definiowania zależności odkształcenie – naprężenie dla całego zakresu odkształceń z uwzględnieniem ich wartości w strefie rozwijającego się przewężenia w próbie statycznej. Opracowane z jej zastosowaniem modele materiałowe posłużyły do wyznaczenia lokalnych pól naprężeń przed frontem pęknięcia, a ich analiza umożliwiła zaproponowanie kryterium oceny mechanizmów zniszczenia (łupliwy, ciągliwy) na podstawie wartości naprężeń krytycznych oraz wielkość obszaru krytycznego, w którym naprężenia rozwierające są większe od krytycznych. Kolejnym celem było opracowanie metody korygowania charakterystyki odporności na pękanie wyznaczonej na podstawie norm poprzez uwzględnienie stanu naprężeń i odkształceń w elemencie konstrukcyjnym w otoczeniu frontu pęknięcia.

W świetle powyższych stwierdzeń można zatem uznać podjęcie tematu rozprawy za celowe i uzasadnione, a podejmowaną tematykę aktualną zarówno pod względem poznawczym, jak i praktycznym.

Biorąc pod uwagę zakres tematyczny pracy, w tym jej cele i uzyskane efekty, ocenianą rozprawę można jednoznacznie zakwalifikować do dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Rozprawa mgra Sebastiana Lipca została zawarta na 139 stronach. Autor zamieścił w niej 63 rysunki i 16 tabel. Bibliografia załącznikowa obejmuje 167 pozycji literatury, w tym 12 prac z udziałem Doktoranta.

Treść pracy została podzielona na 9 rozdziałów poprzedzonych wykazem ważniejszych oznaczeń. Pracę kończą streszczenia w języku polskim i angielskim. Nietypowym rozwiązaniem jest nadanie numeru rozdziału bibliografii załącznikowej (rozdział 9), czego raczej nie spotyka się w tego typu opracowaniach.

W pierwszym rozdziale pracy Doktorant syntetycznie, aczkolwiek w sposób świadczący o bardzo dobrym rozpoznaniu aktualnego stanu wiedzy, omówił podstawowe kwestie dotyczące podejmowanego zagadnienia badawczego. Przedstawione omówienie kryteriów pęknięcia oraz globalnego i lokalnego podejścia do analizy procesu ma jednak nieco monograficzny charakter i nie zostało podsumowane wnioskami do badań własnych, z którego wynikałoby wprost, że podejmowana przez Doktoranta problematyka nie znalazła jeszcze satysfakcjonującego rozwiązania lub w inny sposób jej podjęcie stanowić będzie wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna.

W drugim rozdziale Autor sformułował tezę i cele pracy, które poprzedził krótkim uzasadnieniem dla zaplanowanego trybu postępowania, opartym na przeprowadzonej analizie literatury.

Postawiona przez Doktoranta teza brzmi następująco: *„Dokładna ocena wytrzymałości elementów wykonanych z metali lub ich stopów, zawierających szczelinopodobne defekty, możliwa jest na podstawie analizy lokalnych pól naprężeń przeprowadzonej w wyniku badań eksperymentalnych i numerycznych”*. Można mieć pewne uwagi do tak postawionej tezy. Po pierwsze pojęcie „dokładna” nie wydaje się być najwłaściwszym dla, jak można się domyślać, oceny skuteczności wyznaczania wytrzymałości. „Dokładność” może bowiem przyjmować różne wartości (być np. „wysoka” lub „niska”) i bez określenia jej miary nie jest określeniem precyzyjnym. Oczywiście można domyślać się, „co Autor miał na myśli”, ale lepiej byłoby, gdyby teza była bardziej jednoznaczna. Ponadto, twierdzenie że ocena wytrzymałości jest możliwa, gdy się do tego celu użyje eksperymentalnej i numerycznej analizy naprężeń w mojej ocenie jest zbyt ogólne i powinno być bardziej skonkretyzowane. Niezależnie jednak od tych uwag można ją przyjąć jako podstawę dla zaproponowanego zakresu badań mających na celu jej potwierdzenie.

W dalszej części rozdziału Autor wypunktował podstawowe cele badawcze i zakres zaplanowanych zadań badawczych. Zazwyczaj w rozprawach doktorskich w rozdziale poświęconym tezie i celom pracy podawany jest także zakres pracy, który może być „przewodnikiem” ułatwiającym zapoznanie się z osiągnięciami Autora. Samo wyszczególnienie przeprowadzonych w pracy badań i analiz często nie jest wystarczające do zinterpretowania ich wzajemnych relacji.

Nie do końca jest dla mnie jasny sens wyodrębnienia w **pracy rozdziału nr 3**, który w jednym akapicie (11 wierszy) w nieco innej formie powtarza cele i zakres badań. Należało je w spójny sposób połączyć z treścią rozdziału nr 2.

W pracy nie zamieszczono opisu programu badań, a Autor przeszedł bezpośrednio do omówienia w **rozdziale czwartym** metod badawczych i materiałów wybranych do badań. W rozdziale przedstawiono zastosowane w pracy metody eksperymentalne (4.1), opisano założenia modeli numerycznych (4.2), scharakteryzowano analizowane materiały (4.3) oraz omówiono wyniki badań eksperymentalnych (4.4) w zakresie badań własności statycznych i odporności na pękanie. W badaniach stosowano dwa rodzaje próbek (rozciągane walcowe i trójpunktowo zginane typu SENB) wykonanych z czterech typów materiałów (stałe S355 w dwóch stanach obróbki cieplnej i 42CrMo4 oraz żeliwo sferoidalne EN-GJS-1050-6). Badania prowadzono w szerokim zakresie temperatur (od +20°C do -120°C), co w połączeniu z różną strukturą materiałów (szczegółowo opisaną w rozdziale 4.3) umożliwiło Autorowi uzyskanie różnego charakteru pękania: od łupliwego, poprzez mieszane, po ciągliwe. Potwierdziły to analizy przełomów opisane w punkcie 4.4.

Należy zwrócić uwagę, że opisane w rozdziale 4.4 zatytułowanym „Wyniki badań eksperymentalnych” badania eksperymentalne nie są jedynymi, które Autor realizował w pracy. W rozdziale 5.3 Autor omawia badania eksperymentalne przeprowadzone na trzech typach próbek z różnymi karbami w celu kalibracji związku konstytutywnego opracowanego na potrzeby modelowania materiału w analizie numerycznej opisanej w rozdziale 6. Tym samym wydaje się, że rozdział 4.4 mógłby mieć nieco inną nazwę.

Kolejny, piąty rozdział pracy został poświęcony obszernemu omówieniu opracowanej metody tworzenia modeli materiałowych stosowanych w obliczeniach numerycznych. Autor w bardzo szczegółowy sposób przeanalizował najistotniejsze kwestie wpływające na jakość odwzorowania rzeczywistych zależności odkształcenie-naprężenie uzyskiwanych w badaniach eksperymentalnych w symulacjach numerycznych. W celu analiz rzeczywistych krzywych odkształcenie-naprężenie zastosował dodatkowe metody pomiarowe umożliwiające określenie bieżących przekrojów próbek w trakcie próby rozciągania. W efekcie przeprowadzonych prac zaproponował hybrydową, doświadczalno-numeryczną metodę, w której obok wyników eksperymentu uwzględnione są także rozkłady wielkości wyznaczonych numerycznie: składowych naprężeń, odkształceń, parametru trójosiowości naprężeń oraz parametru Lode. Opracowane modele materiałowe, opisujące zależność naprężeń i odkształceń w całym ich zakresie, tj. od zakresu sprężystego, poprzez zakres dużych odkształceń, aż po zniszczenie próbki, Autor poddał z pozytywnym efektem weryfikacji w badaniach eksperymentalnych. Doktorant na zakończenie rozdziału 5 informuje, że „... Metodyki badań przedstawione w niniejszym rozdziale zostały wykorzystane do oceny stanu stali X52 wykorzystywanej do budowy rurociągów transportujących gaz ziemny i ropę do UE z krajów ościennych...” i dalej krótko charakteryzuje uzyskane wyniki badań. Domyślam się, że miało to na celu dodatkowe potwierdzenie skuteczności opracowanych rozwiązań, jednak nie dotyczyło bezpośrednio badań w prowadzonych w ramach pracy doktorskiej i mojej ocenie lepszym miejscem dla tego typu informacji byłoby podsumowanie pracy, tj. rozdział 8.

Szósty rozdział pracy został poświęcony analizie wyników obliczeń numerycznych przeprowadzonych z zastosowaniem modeli materiałowych opracowanych w poprzednim rozdziale. Na ich podstawie Autor zaproponował metodykę określania charakteru pękania elementów z pęknięciami. Bazuje ona na analizie maksymalnych wartości naprężeń rozwierających i naprężeń krytycznych (wyznaczanych jako średnia wartość rozkładu naprężeń rozwierających po grubości próbki w takiej odległości od frontu pęknięcia, w której osiągają najwyższą wartość) oraz analizie zaproponowanej przez Doktoranta wielkości opisanej jako powierzchnia udziału pękania kruchej. Zaproponowane rozwiązania zostały zweryfikowane wynikami badań eksperymentalnych.

W siódmym rozdziale pracy Doktorant zaproponował i szczegółowo omówił formułę pozwalającą na dostosowanie wartości odporności na pękanie materiału wyznaczonej na próbkach normatywnych do rzeczywistych elementów konstrukcyjnych. Umożliwia ona równoczesne uwzględnienie wpływu względnej długości pęknięcia początkowego w próbce (poprzez parametr Q) oraz grubości próbki (poprzez parametr T_z), co pozwala na określenie odporności na pękanie próbek lub elementów, które nie spełniają wymagań normatywnych dla których wyznaczane są wartości K_{IC} , czy też J_{IC} . Jako nowość w zastosowanym podejściu Autor wskazał zastosowany sposób definiowania parametru Q z

uwzględnieniem parametru T_z określającego poziom trójosiowości naprężeń.

Pracę kończy **rozdział ósmy**, który pomimo swojego tytułu „**Podsumowanie oraz wnioski**”, zawiera głównie syntetycznego omówienia zrealizowanych prac i ich efektów. Brakuje w nim wyraźnie sformułowanych wniosków z badań oraz wskazań do dalszych prac.

Z przedstawionego omówienia wynika, że przedstawiona do oceny rozprawa pomimo kilku uwag krytycznych spełnia pod względem układu i podziału treści oraz kompletności materiału wymagania stawiane tego typu pracom.

Zwraca uwagę obszerność przeprowadzonych badań i analiz, staranność w ich opisie i realizacji, a także bardzo dobra orientacja Doktoranta w złożonej tematyce dotyczącej procesów pękania materiałów konstrukcyjnych.

W mojej ocenie Doktorant w trakcie realizacji pracy wykazał się bardzo wysokimi kompetencjami i umiejętnościami w zakresie planowania i prowadzenia prac eksperymentalnych, interpretacji i formułowania modeli analitycznych, przygotowania i realizacji analiz numerycznych z zastosowaniem zaawansowanych metod modelowania materiałów, a także w zakresie opracowania i analizy otrzymanych wyników badań. Metody i narzędzia badawcze użyte przez Doktoranta są właściwe dla przyjętych celów i zakresu pracy, a sposoby przedstawienia wyników badań i ich analizy zgodne z przyjętymi standardami w tym zakresie.

Powyższe uwagi nie oznaczają jednak, że nie można mieć pewnych krytycznych, w części dyskusyjnych uwag, do poszczególnych zagadnień prezentowanych przez Doktoranta. Ich omówienie zamieszczono w punkcie „ocena rozprawy”.

2. Ocena rozprawy

2.1. Osiągnięcie Doktoranta

Analiza rozprawy doktorskiej mgra inż. Sebastiana Lipca pozwala w mojej ocenie na wyszczególnienie jej trzech głównych osiągnięć, które w dużej mierze są zgodne z postawionymi celami pracy:

1. Opracowanie hybrydowej metody modelowania charakterystyk naprężenie-odkształcenie dla pełnego zakresu odkształceń. Opracowana metoda łączy wyniki próby statycznego rozciągania prowadzonej na standardowych próbkach z jednoczesnym pomiarem chwilowej wartości jej rzeczywistego pola przekroju próbki aż do jej dekohezji oraz numerycznych analiz składowych naprężeń, odkształceń, parametru trójosiowości naprężeń oraz parametru Lode. Przeprowadzenie kalibracji modelu poprzez zastosowanie związku materiałowego członu z osłabieniem materiału umożliwiła uzyskanie uzasadnionego fizycznie rozkładu naprężeń przed frontem pęknięcia.
2. Numeryczna symulacja i późniejsza analiza rozkładów odkształceń, naprężeń i współczynnika trójosiowości naprężeń w płaszczyźnie pękania próbek SENB wykonanych z dwóch gatunków stali i obciążanych dla różnych warunków temperaturowych, która pozwoliła na opracowanie kryteriów oceny mechanizmu pękania elementów ze szczeliną, ze szczególnym uwzględnieniem warunków występowania pękania łupliwego.
3. Opracowanie szczegółowej procedury wyznaczania odporności na pęknięcie elementów konstrukcyjnych poprzez skorygowanie wartości odporności na pęknięcie wyrażonej za pomocą krytycznej wartości całki J_{IC} (wyznaczonej zgodnie z procedurami opisanymi w stosownych normach na znormalizowanych próbkach), uwzględniającej wpływ rzeczywistej geometrii elementu z pęknięciem.

Wykazane osiągnięcia mogą w mojej opinii bez wątpienia prowadzić do poprawy jakości oceny wytrzymałości elementów konstrukcyjnych z pęknięciami, co ma niezwykle istotne znaczenie z punktu widzenia wielu zagadnień rozpatrywanych w konstruowaniu i eksploatacji maszyn, w tym w kwestiach dotyczących zapewnienia bezpieczeństwa ludzi i środowiska naturalnego.

2.2. Uwagi o charakterze merytorycznym

W trakcie analizy treści rozprawy, poza uwagami zamieszczonymi w „Ogólnej charakterystyce rozprawy”, zwrócono uwagę na kilka zagadnień, które należałoby wyjaśnić lub poddać dyskusji w

trakcie publicznej obrony. Poniżej zestawiono je z podziałem na uwagi o charakterze ogólnym i nieco bardziej szczegółowym.

a. Uwagi ogólne

- Autor używa w pracy określenia: „konstrytuwna zależność materiału” (np. w opisie celów pracy). Prawidłowym z punktu widzenia mechaniki pojęciem jest związek lub równanie konstytutywne, jednak wówczas jest to zapis matematyczny relacji między tensorem naprężenia a tensorem odkształcenia, co w przypadku rozpatrywanym w pracy nie ma miejsca. Należałoby zdefiniować użyte pojęcie lub zastosować bardziej adekwatne sformułowanie.
- Autor w kilku miejscach pracy posługuje się sformułowaniem „plastyczność materiału” nie precyzując jaką konkretną wielkość ma na myśli. Przykładowo na stronie 47 pojawia się sformułowanie „wyżarzanie materiału spowodowało redukcję plastyczności ...”, a na stronie 63 „... porównanie wytrzymałości i poziomu plastyczności analizowanego materiału ...”.
- Jaki był powód wprowadzenie do programu badań żeliwa sferoidalnego ? Pojawia się ono w pracy wyłącznie w zakresie badań własności statycznych i normatywnej analizy odporności na pękanie - w późniejszych analizach nie jest już rozpatrywane.
- W opisie warunków brzegowych analizy numerycznej zamieszczonym na rysunku 4.5 występują więzy uniemożliwiające przemieszczenie zewnętrznej krawędzi niepękniętej części próbki SENB wzdłuż osi Z. W mojej ocenie takie rozwiązanie odbiera możliwość poprzecznych odkształceń próbki w trakcie jej zginania. Czy to jest celowy zabieg, a jeśli tak to jak go uzasadnić ?
- Analizując zależność wydłużenia od temperatury badania pokazaną na rysunku 4.10 można zauważyć, że poszczególne punkty pomiarowe połączono w sposób, co do którego można mieć wątpliwości. Wydaje się, że uzyskano zbyt mało punktów pomiarowych, aby było to uprawnione.
- Porównując wyniki badań pokazane na rysunkach 4.12 i 4.13 można odnieść wrażenie, że zastosowano nieco odmienne warunki odciążania i rejestracji podatności dla obydwu stali. Czy to było zamierzone, a jeśli tak to czym było spowodowane ?
- W jaki sposób synchronizowano wyniki rejestracji wielkości mierzonych na maszynie wytrzymałościowej (siła, odkształcenie) z rejestracją obrazu próbki za pomocą „oprogramowania mikroskopu optycznego marki Olympus” w metodzie opisanej na stronie 70 ?
- Zastosowany w pracy optyczny pomiar przewężenia próbek prowadzono bezpośrednio na zarejestrowanych obrazach próbek. Czy rozważano zastosowanie w tym celu metody cyfrowej korelacji obrazu, która mogłaby poprawić czułość pomiarową ?
- W opisie warunków dla wystąpienia łupliwego mechanizmu pęknięcia pojawiają się sformułowania, które trudno nazwać warunkami:
 - ~ Poziom odkształceń w tym obszarze jest niewysoki, nie przekracza 0,16.
 - ~ Poziom współczynnika trójosiowości naprężeń η na powierzchni obszaru jest wysoki, $\eta > 1,45$, maksymalne wartości $\eta \sim 2,3 \div 2,4$.Należałoby je inaczej sformułować, tak aby nie budziły wątpliwości (np. odkształcenie w tym obszarze nie może przekraczać 0,16 mm/mm i współczynnika trójosiowości naprężeń η na powierzchni obszaru musi być wyższy niż 1,45 i niższy niż 2,3 ÷ 2,4).
- Co oznacza „względnie wysoki” poziom trójosiowości naprężeń w opisie warunków wystąpienia pęknięcia ciągłego zaprezentowanych na stronie 102 ?
- Autor opisując wyniki przeprowadzonych badań na stronie 48 i na rysunku 4.14 odwołuje się do pozycji literaturowej, której nie jest współautorem (Dzioba i in. 2014). Jak należy to interpretować ?

b. Uwagi szczegółowe

- Strona 20³⁻⁶. Niejasne zdanie: „... Ograniczenia na wymiary grubości wynikające z założeń wyznaczania krytycznej wartości całki J – JIC, pozwalają wykorzystać cieńsze próbki, niż dla wyznaczenia krytycznej wartości WIN – KIC ...”.
- Strona 31₁₂. Należałoby nieco ostrożniej posługiwać się sformułowaniem „Powszechnie znanym

...”.

- Na stronie 52 pokazano wykresy opisujące krzywe przejścia krucho-plastycznego (rys.4.15), jednak ich nie omówiono.
- Strona 52. „Zgłady do badań pobrano ...” – do badań fraktograficznych nie przygotowuje się zgładów.
- Na rysunku 5.2 nie widać odcisków z badania twardości zadeklarowanych w opisie na stronie 64, „... widok zgładu próbki wraz z odciskami przedstawiono na rysunku 5.2 ...”.
- Strona 62-63. Granicą stosowania liniowej relacji pomiędzy naprężeniem i odkształceniem określonej modułem Younga jest raczej granica proporcjonalności niż granica plastyczności.
- Strona 72₈₋₉. Niejasne zdanie: „...Podczas jednoosiowego rozciągania wraz ze wzrostem obciążenia zwiększa się zmiana potencjału prądu ...”.
- Strona 88₁₀. Co to jest „... oś numeryczna próbki ...” ?
- Tabela 6.1. Co oznaczają poziome linie w przedostatniej kolumnie ?

c. Uwagi redakcyjne

Autor pracy dołożył niezbędnych starań, aby jej strona redakcyjna nie budziła zastrzeżeń. Poza nielicznymi usterkami językowymi i stylistycznymi praca jest zredagowana bardzo starannie. Dotyczy to zarówno formatowania tekstu, rysunków, tabel jak i licznych równań i zależności matematycznych. Chciałbym jednak zwrócić uwagę na dwie kwestie, które mogą być przydatne w kolejnych opracowaniach Doktoranta:

- Należy unikać zapisywania jednostek w nawiasach kwadratowych np. [MPa]. Zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów (także w zaktualizowanej wersji z dnia 5 czerwca 2020 r.) w sprawie legalnych jednostek miar, „...§ 10. Do nazw i oznaczeń jednostek nie należy dołączać żadnych dodatkowych wyrazów, wskaźników ani liter, poza określonymi w rozporządzeniu ...”. Tym samym zarówno na wykresie, jak i w tekście zamiast zapisu np. S [MPa] stosuje się S, MPa, a w przypadku wartości: 1000 MPa.
- W przyszłości należałoby także zwrócić uwagę na większą spójność w sposobie prezentowania wyników badań. Przykładem może być odmienny podział treści w rozdziałach 5. i 6. Obydwa rozdziały kończą się podsumowaniami, jednak w przypadku rozdziału nr 5 zawarte jest ono w treści jego ostatniego podrozdziału (5.3), a w rozdziale nr 6 wyodrębniono dodatkowy podrozdział nr 6.3. Zakłóca to nieco odbiór pracy, jednak oczywiście nie wpływa na jej wartość merytoryczną. Innym przykładem może być ostatni akapit rozdziału 5.2, który powinien być w mojej ocenie przeniesiony na początek rozdziału 5.3, gdzie stanowiłby bardzo dobre wprowadzenie do jego treści.

Powyższe uwagi nie wpływają jednak na ogólnie bardzo pozytywny obraz formalnej strony pracy.

3. Wniosek końcowy

Na podstawie oceny przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej można stwierdzić, że podjęte w niej zamierzenie badawcze zostało osiągnięte a postawiona teza potwierdzona. Rozprawa zawiera oryginalne osiągnięcia poznawcze i utylitarne mogące znaleźć bezpośrednie zastosowanie w praktyce, a jej Autor wykazał się stosownymi kompetencjami w zakresie prowadzonych prac badawczych.

Można zatem stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr inż. Sebastiana Lipca spełnia wymogi określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* i może być dopuszczona do dalszych czynności związanych z nadaniem stopnia doktora przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej.