

Poznań, dnia 27.09.2024

dr hab. inż. Tomasz Garbowski, prof. UPP
Katedra Inżynierii Biosystemów
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu



Recenzja pracy doktorskiej pt.

"Analiza właściwości mechanicznych struktur auksetycznych przy obciążeniach dynamicznych"

Autor: mgr inż. Bartłomiej Burlaga
Promotor: dr hab. Tomasz Stręć, prof. PP
Promotor pomocniczy: dr inż. Paweł Fritzkowski

1. PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA RECENZJI

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 1 lipca 2024r. nr 11/iii/07/2024 oraz pismo Pana Dziekana dra hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP - Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna tejże Uczelni, a także umowa o dzieło numer 0600/2024/145.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Praca Bartłomieja Burlagi dotyczy analizy dynamicznych właściwości struktur auksetycznych, które w ostatnich latach stają się przedmiotem rosnącego zainteresowania badaczy w dziedzinach takich jak inżynieria materiałowa, lotnictwo, motoryzacja i bioinżynieria. Głównym celem rozprawy było zbadanie odpowiedzi struktur auksetycznych na różne rodzaje obciążeń dynamicznych, takie jak siła pionowa, siła wzdłużna, moment obrotowy oraz uderzenie. Problem badawczy jest dobrze uzasadniony – struktury auksetyczne, dzięki swoim wyjątkowym właściwościom, mogą znaleźć szerokie zastosowanie w nowoczesnych aplikacjach inżynierskich, zwłaszcza tam, gdzie istotna jest zdolność do tłumienia drgań i absorpcji energii.

Przedstawiony w pracy problem badawczy jest wyraźnie sformułowany, a autor podjął się analizy strukturalnej i dynamicznej struktur o ujemnym współczynniku Poissona przy użyciu metody elementów skończonych (MES). Cel pracy jest jasno określony i wynika z aktualnych potrzeb badawczych w zakresie rozwoju i zastosowań materiałów o specyficznych właściwościach mechanicznych.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Bartłomieja Burlagi. Promotorem pracy jest dr hab. Tomasz Stręć, prof. PP, a promotorem pomocniczym dr inż. Paweł Fritzkowski. Rozprawa ma charakter teoretyczno-obliczeniowy i liczy 89 stron, co stanowi zasadniczą część pracy. Na końcu pracy zamieszczono streszczenie w języku polskim oraz abstract w języku angielskim. Praca składa się z 9 rozdziałów, wykazu ilustracji i tabel oraz obszernej listy bibliograficznej. Zawiera liczne rysunki, tabele oraz wiele równań matematycznych.

Praca rozpoczyna się spisem treści z przejrzystym formatowaniem, co ułatwia nawigację po strukturze opracowania i szybkie odnalezienie poszczególnych rozdziałów i podrozdziałów. Przyjęty układ pracy oraz sposób uporządkowania treści jest logiczny i spójny, zgodny z charakterem badawczym rozprawy. Praca jest szczegółowa i dobrze zorganizowana, co ułatwia czytelnikowi zrozumienie poruszanych zagadnień związanych z dynamicznymi właściwościami struktur auksetycznych.

Rozprawa została napisana w większości poprawną polszczyzną, autor nie ustrzegł się jednak błędów, od drobnych literówek, których jest wiele, do błędów gramatycznych i ortograficznych. Co niestety pozostawia pewien niesmak, pomimo że praca jest ogólnie starannie zredagowana i nie budzi zastrzeżeń od strony estetycznej, czy graficznej. Wspomniane usterki redakcyjne nie mają jednakże istotnego wpływu na całościową ocenę pracy.

Dobór literatury jest odpowiedni, choć tematyka niektórych cytowanych prac mogłaby zostać rozwinięta, aby lepiej odzwierciedlić bezpośredni zakres badań nad materiałami auksetycznymi. Autor przytoczył aż 188 pozycji bibliograficznych, co świadczy o szerokim rozeznaniu w literaturze związanej z analizą dynamicznych właściwości materiałów, a także o zrozumieniu szerszego kontekstu naukowego.

Praca mgr inż. Bartłomieja Burlagi opiera się na nowoczesnych metodach numerycznych, takich jak metoda elementów skończonych (MES), w celu analizy dynamicznych właściwości struktur auksetycznych. Struktury te, charakteryzujące się ujemnym współczynnikiem Poissona, stanowią interesujący obiekt badań, ze względu na ich unikalne właściwości mechaniczne, które mogą być przydatne w zastosowaniach wymagających tłumienia drgań, absorpcji energii oraz podwyższonej odporności na pękanie.

Praca składa się z dziewięciu logicznie powiązanych rozdziałów. Wstęp zawiera dobrze zarysowaną motywację badawczą oraz jasno określony cel pracy, którym jest ocena odpowiedzi struktur auksetycznych na różne dynamiczne obciążenia, takie jak siła pionowa, siła wzdłużna, moment obrotowy oraz uderzenia. W rozdziale drugim omówiono charakterystykę materiałów auksetycznych, a w szczególności ich unikalne właściwości, takie jak ujemny współczynnik Poissona. Trzeci i czwarty rozdział skupiają się na zastosowanych metodach obliczeniowych oraz modelach numerycznych, przy czym szczególną uwagę poświęcono symulacjom z wykorzystaniem MES w programie ANSYS Mechanical.

Rozdziały od piątego do ósmego poświęcone są szczegółowym analizom dynamicznych obciążeń, a każdy z nich przedstawia konkretne scenariusze symulacyjne oraz ich wyniki. Rozdział piąty dotyczy analizy siły pionowej, natomiast w kolejnych rozdziałach analizowane są wpływy siły wzdłużnej, momentu obrotowego oraz uderzenia pocisku. Ostatecznie praca kończy się podsumowaniem i wnioskami, w których autor syntetyzuje uzyskane wyniki oraz proponuje dalsze kierunki badań nad strukturami auksetycznymi.

3. OCENA PRACY

Opiniowana rozprawa dotyczy ważnych i aktualnych zagadnień z zakresu mechaniki materiałów, a w szczególności badania dynamicznych właściwości struktur auksetycznych, które w ostatnich latach zyskują coraz większe znaczenie w wielu dziedzinach inżynierii. Autor skupił się na analizie tych struktur pod kątem ich reakcji na różne rodzaje obciążeń dynamicznych, co pozwoliło mu sprawdzić, jak efektywnie takie struktury mogą absorbować energię i tłumić drgania, wskazując przy tym na ich potencjalne zastosowania, wady i zalety.

Autor precyzyjnie zaplanował swoje badania i analizy, co widać już na etapie spisu treści. Świadczy to o solidnym przygotowaniu do realizacji złożonych badań naukowych. W pierwszych rozdziałach pracy mgr inż. Burlaga definiuje cel pracy, przedstawiając szeroki przegląd literatury na temat auksetyków oraz ich właściwości. Następnie opisuje metodologię badawczą, w tym szczegółowe modele obliczeniowe, metody analizy modalnej oraz użycie narzędzi numerycznych takich jak metoda elementów skończonych (MES). Autor szczegółowo przedstawia zarówno zalety, jak i ograniczenia wybranych metod, co pozwala na krytyczną ocenę ich skuteczności w kontekście badania struktur auksetycznych.

Najważniejszą częścią pracy są rozdziały poświęcone analizie dynamicznej, w których Autor przeprowadza szereg symulacji komputerowych. Przeanalizował on wpływ sił pionowych, wzdłużnych, momentów obrotowych oraz uderzeń na zachowanie struktur auksetycznych. Wykorzystując modele numeryczne w programie ANSYS, Autor uzyskał wartości charakteryzujące reakcję struktur na wymuszenia dynamiczne. Wyniki symulacji zostały dobrze udokumentowane i zilustrowane licznymi wykresami oraz schematami, co ułatwia zrozumienie skomplikowanych procesów zachodzących w badanych strukturach.

Przeprowadzone przez Autora badania wykazały, że struktury auksetyczne charakteryzują się podwyższoną odpornością na dynamiczne obciążenia, jednak pewne ograniczenia w ich zachowaniu pojawiają się przy niewielkich zmianach parametrów obciążeń. Mimo że wyniki uzyskane za pomocą analizy modalnej są obiecujące, to wykazano, że wykrywanie bardzo małych zmian w strukturze może być trudne bez dalszego dopracowania metod badawczych.

Rozdział podsumowujący pracę zawiera szczegółową analizę wyników oraz wnioski na temat efektywności badanych struktur. Autor słusznie zauważył, że istnieje potrzeba dalszych badań eksperymentalnych w celu pełnej walidacji wyników uzyskanych za pomocą symulacji numerycznych. Przeprowadzone studia literaturowe oraz szeroka analiza numeryczna pozwoliły Autorowi na realizację ambitnych celów badawczych, co świadczy o jego dobrym przygotowaniu do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Podsumowując, tytuł rozprawy dobrze odzwierciedla jej treść, a realizacja założonych celów badawczych przebiegła skutecznie i konsekwentnie. Badania i analizy przeprowadzone przez Autora są oryginalne i zostały zaprogramowane w sposób właściwy, co znajduje odzwierciedlenie w uzyskanych wynikach oraz ich interpretacji. Praca mgr inż. Bartłomieja Burlagi stanowi cenny wkład w rozwój badań nad strukturami auksetycznymi i ich zastosowaniami w inżynierii mechanicznej.

4. UWAGI KRYTYCZNE I DYSKUSYJNE

4.1. Strona merytoryczna

W trakcie lektury rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartłomieja Burlagi nie zauważyłem znaczących uchybień merytorycznych, które mogłyby wpłynąć na ogólną ocenę pracy. Autor rozwiązał postawione sobie zadania naukowe, polegające na analizie dynamicznych właściwości struktur auksetycznych pod różnymi rodzajami obciążeń. Wykazał się dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w tej dziedzinie oraz umiejętnością wykorzystania zaawansowanych narzędzi numerycznych do rozwiązywania problemów teoretycznych.

Praca jest interesującym i wartościowym wkładem w rozwój badań nad strukturami auksetycznymi, zwłaszcza w kontekście ich zastosowania w inżynierii mechanicznej. Autor skutecznie zaprezentował różne scenariusze obciążeń dynamicznych i ich wpływ na analizowane struktury, wskazując przy tym na ich wady oraz potencjalne ograniczenia. Niemniej jednak, zabrakło w pracy szerszej dyskusji na temat możliwości wykorzystania alternatywnych konfiguracji modeli oraz rozszerzenia analiz poza ograniczone przypadki laboratoryjne.

Warto również zwrócić uwagę na pewne nieścisłości dotyczące opisu materiału struktury auksetycznej, szczególnie w tabeli 4.3, gdzie Autor wskazuje możliwość wyboru różnych wartości współczynnika Poissona. Jednakże na żadnym z rysunków ani schematów nie zostało wyraźnie pokazane, że model numeryczny jest lub powinien być w tym przypadku modelem z pełnym (nie strukturalnym) rdzeniem. Gdyby Autor zdecydował się na użycie

modelu ze strukturalnym rdzeniem, współczynnik Poissona powinien być stały i odpowiednio dostosowany do materiału użytego w symulacji. Wykorzystanie zmiennego współczynnika w takim przypadku rodzi pewne wątpliwości co do spójności założeń w modelowaniu.

Ponadto, nie znalazłem w pracy jednoznacznego uzasadnienia dla wyboru heksagonalnych elementów skończonych. Zastanawiające jest, dlaczego Autor nie zdecydował się na zastosowanie elementów strukturalnych, takich jak elementy powłokowe („shell”), co wydawałoby się bardziej oczywistym wyborem, szczególnie w przypadku cienkościennej struktury rdzenia. Wybór heksagonalnych elementów, w połączeniu z zastosowaniem jedynie dwóch elementów na grubość każdego żeberka, rodzi wątpliwości co do dokładności odwzorowania zachowania modelu, zwłaszcza w przypadku zginania. Ponadto, w pracy brakuje informacji na temat sformułowania elementu skończonego (tj. jego rzędu lub metody całkowania), co jest istotnym elementem modelowania numerycznego. Dodatkowo, brak całościowego zestawienia wyników sprawia, że odbiorca może odczuwać pewien niedosyt. Rozszerzenie tych aspektów z pewnością podniosłoby aplikacyjną wartość wyników badań.

Podsumowując, mimo pewnych ograniczeń i nieściśłości, rozprawa mgr inż. Bartłomieja Burlagi stanowi oryginalny wkład w badania nad dynamicznymi właściwościami struktur auksetycznych i wskazuje na dużą biegłość Autora w wykorzystaniu narzędzi numerycznych do rozwiązywania skomplikowanych problemów inżynierskich.

4.2. Strona redakcyjna

W trakcie lektury analizowanej rozprawy doktorskiej zauważyłem drobne usterki redakcyjne, które przedstawiam poniżej.

a) 1.1. Wprowadzenie,

- str.1 – „...Gibson i inni [Gibson i inni, 1982] zaproponowała...” – liczba mnoga;
- str.1 – „...[Lakes, 1987] lub płaskich lub przestrzennych” – powtórzenie;
- str.2 – „...Hur i Kim [Hur i Kim, 2023] zaproponował” – liczba mnoga;
- str.2 – „...opony i strukturę którą...” – brak przecinka, takich interpunkcyjnych omyłek jest bardzo wiele w pracy;
- str.2 – „...dotyczące zastosowania płaskich dysków w zastosowaniu...” – powtórzenie

b) 1.3. Cel pracy

- str.4 – „...jest poznanie odpowiedzi struktur pierścieniowej...”;
- str.4 – „...komórkami typu re-entrant z ich analogami...”;

c) 1.4. Teza pracy, str.5 – “...wynika, że możliwym byłby jest...”;

d) 1.5. Układ pracy

- str.6 – “...oraz sposobu jej generacji dla...”;
- str.6 – „...tego samego podejścia do rozwiązania zagadnienia podobnego...” – podobnego do czego?;

- str.7 – „...Przedstawiono prototypy struktur wytworzone...” – przedstawiono po co? Skoro nie były badane ani wykorzystane do walidacji modeli numerycznych;
- e) 2.1. Charakterystyka współczynnika Poissona
- str. 10 – „...zjawiskiem pocienienia materiału przy jego elongacji zajął się...” – pocienienia i elongacji? - nie brzmi to profesjonalnie;
 - str. 11 – „...stałych jako $1 < \nu < 0.5$...” – brakuje minusa;
- f) 2.2 Charakterystyka materiałów auksetycznych
- str. 13 – „...wartość będzie ν bliska...” – kolejność;
 - str. 13 – „...wykazali, że pianki auksetyczne wykazują...” – powtórzenie;
 - str. 14 – „...Yang i inni [Yang i inni, 2018], który...” – liczba mnoga;
 - str. 14 – „...wykonali symulacje oraz wydruki przestrzenne struktur i poddał je badaniu...” – liczba mnoga;
 - str.14, rys.2.5. – brak opisu a) oraz b);
 - str.14 – „...Przy wartościach co raz bliższych zeru, charakter ugięcia co staje się co raz bardziej...” – dwa błędy!
- g) „2.3..1 Struktury re-reentrant”, str.16 – dwie kropki;
- str.18 – „...metodę EMUDA (ang. mpirical modelling using dummy atoms) do analizy...” – brakuje “E”;
 - str.18 – „...nowe kształty komórek elementarnych o kształcie zbliżonym...” – powtórzenie;
 - str.18 – „...Postały...” – chyba powstały?
- h) „2.3..2 Struktury chrialne”, str.19 – dwie kropki;
- str.20 – „...Takie podejście pozwalało jeszcze większe możliwości modyfikacji...”;
- i) „2.3..3 Struktury rotujące”, str.21 – dwie kropki;
- str.22 – „...Attard i inni [Attard i inni, 2009] zaproponował...” – liczba mnoga;
- j) „2.3..4 Struktury powstałe przez modyfikację płaskich arkuszy”, str.22 – dwie kropki;
- str.23 – „...komórkę elementarną z charakterystycznymi wymiarami...”;
 - str.23 – „...wzbudza co raz szersze...” – coraz!
- k) „2.3..5 Pozostałe struktury”, str.25 – dwie kropki;
- str.25 – „...Aldersona i Evansa [Alderson i Evans, 1997] zaproponował...” – liczba mnoga;
 - str.26 – „...odkształceniach wykazuje ona nu mniejsze od zera...”;
 - str.27 – „...Kompozyty w postaci płyt warstwowych...” – płyt;

- str.27 – „...przez Stręka i inni...” – odmiana;

l) 2.4. Zastosowania

- str.28 – „...konwencjonalne, co raz częściej...” – coraz!;
- str.28 – „...Geng i inni [Geng i inni, 2019] wykorzystają...” – liczba mnoga;
- str.30 – „...struktury były wypełniane medium...” – wypełniane;
- str.30 – „...służąca do wylatywania odłamków...” – wylatywania?;
- str.30 – „...badaniom przy obciążeniach dynamicznych...”;

m) Rozdział 3

- str.31 – „...częściowymi równaniami różniczkowymi...” – częściowymi?;
- str.33 – „...W postaci macierzowej, naprężenia można zapisać w postaci równania...” – nie rozumiem tego zdania;
- str.34, równanie 3.10 – nieszczęśliwe zastosowanie zmiennych N_i oraz N ;
- str.34 – „...węzłowych d z wektorem naprężeń ϵ .” – na pewno naprężeń? – takie zapisy Autora niepotrzebnie budzą moją wątpliwość dot. zrozumienia mechaniki obliczeniowej;
- str.34 – „Po znalezieniu wartości macierzy \mathbf{B} ...” – po co Autor ich szuka? Czy ta macierz nie jest przypadkiem zdefiniowana dla konkretnego typu elementu skończonego?;
- str.34, równanie 3.12 i 3.13 – co to jest \mathbf{E} ?;
- str.35 – „...W rzeczywistych problemach, czysto problemy liniowe występują rzadko.” – nie wiem jak to skomentować;
- str.36, równanie 3.21 – czy t jest skalarem, wektorem czy macierzą?;
- str.36, równanie 3.22 – mam nadzieję, że przy \mathbf{N} ma być transpozycja (\mathbf{N}^T), a nie kwadrat (\mathbf{N}^2)?;
- str.37, równanie 3.32 – czy indeks dolny (i) jest poprawnie przy każdej zmiennej?;
- str.38 – „Rozwiązanie dla \mathbf{z} ...” – dlaczego \mathbf{z} jest pogrubione?;
- str.38 – „...współrzędnych neutralnych \mathbf{z} ...” – jakie to są współrzędne?;
- str.38 – „...rozwiązania równania 3.33 oblicza się...”;
- str.40, równanie 3.43 – proszę sprawdzić poprawność zapisu równania;

n) Rozdział 4

- str.47 – „...pozwala w efektywnie generować...”;
- str.48 – „szescienne o 8 węzłach...” – dlaczego nie elementy powłokowe?;
- str.49, Tabela 4.3 – brak rysunku dla jednorodnego wypełnienia;
- str.51 – „...gdzie G i K to odpowiednio początkowy Kirchhoffa i Hemholtza

dla materiału...”;

o) Rozdział 5

- str.54, rysunek 5.2. – błąd w opisie osi;
- str.55, rysunek 5.3. – nieczytelne opisy;
- str.55, rysunek 5.4. – nieczytelne opisy;
- mało czytelne rysunki 5.13 i 5.14;

p) Rozdział 6

- str.62 – „...była znacząco niższa...” – to znaczy ile niższa?;
- mało czytelne rysunki 6.12 i 6.13;

q) Rozdział 7

- str.70 – „...poza założonym zakresem...” – dlaczego Autor nie pokazał tych wartości?;
- str.73 – „przedstawiono na rysunkach Tak...” – jakich rysunkach?;
- zbyt duża czcionka na rysunkach 7.8 i 7.9;

r) Rozdział 8

- str.75, rysunek 8.1. – czy walec musi zawsze trafić w środek?;
- str.75 – „...jednego-godnego z kierunkiem...”;
- str.76 – „...na wielokrotnie wyższą sztywność walca...” – to nie jest prawda, przecież liniijkę wyżej Autor opisał, że walec wykonany jest z aluminium;
- str.77 – 8.2. Wyniki symulacji – dlaczego Kandydat nie wybrał „Elastic Strain Energy” – energii odkształcenia sprężystego do porównania obu struktur?;

s) Rozdział 9

- str.79 – „...Dowodzono, że zmiana kształtu komórki elementarnej na re-entrant powoduje obniżenie amplitud drgań oraz redukuje czas wygaszenia drgań.” – to chyba nie jest prawda, proszę sprawdzić swoje wnioski w rozdziale 7;
- str.79 – „...jednak zauważalne było poniesienie częstości własnej...”;
- str.79 – „...Analizy przejściowe wykazała, że struktury z komórkami re-entrant wykazują...”;
- str.79 – „...symulacje na za modelowanych strukturach...”;
- str.80 – „... wciąż w pełni nie poznanych...”;
- str.81 – „...przy okazji redukując poziom ciśnienia akustycznego generowanego przez nie dźwięku.” – skąd taki wniosek?;
- co do pracy wnoszą rysunki 9.1. i 9.2?;

- str.82 – „...a docelowo nawet całkowicie zastąpić koła pojazdów.” – skąd taki wniosek?

Powyższe krytyczne uwagi oraz kwestie dyskusyjne nie wpływają znacząco na ogólnie pozytywną ocenę recenzowanej rozprawy. Przedstawiam je z nadzieją, że Autor, planując publikację wybranych fragmentów pracy, zechce wziąć je pod uwagę, co mogłoby dodatkowo podnieść wartość naukową publikowanych wyników.

5. WNIOSKI KDŃCOWE

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Bartłomieja Burlagi udanie rozwiązuje oryginalny problem naukowy, mający istotne walory praktyczne, dotyczący analizy dynamicznych właściwości struktur auksetycznych. Cele wytyczone w pracy zostały osiągnięte, a wyciągnięte wnioski są trafne i dobrze uzasadnione. Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie badań nad auksetykami oraz umiejętnością przeprowadzania zaawansowanych analiz numerycznych. Uzyskane wyniki są oryginalne, a ich krytyczna ocena świadczy o predyspozycjach Autora do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Chociaż w trakcie opracowywania postawionego problemu naukowego Autor nie ustrzegł się pewnych niedociągnięć, które zostały przedstawione w uwagach krytycznych, praca ta nadal wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w dziedzinie inżynierii mechanicznej i materiałowej. Oprócz znaczenia naukowego, rozprawa ma również praktyczne znaczenie dla przyszłych zastosowań inżynierskich.

Biorąc powyższe pod uwagę, stwierdzam, iż recenzowana rozprawa spełnia wymogi dotyczące prac doktorskich, zgodnie z obowiązującą Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz Rozporządzeniem w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim. W związku z tym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Bznał 27.09.2024
Bogna Orobacz