

dr hab. prof. Tomasz Klekiel, prof. UZ
Instytut Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej
Wydział Mechaniczny
Uniwersytet Zielonogórski
ul. Licealna 9
65-419 Zielona Góra



Zielona Góra, 3.09.2023

Recenzja

rozprawy doktorskiej

Pana mgr inż. Jakuba Michalskiego

**pt. „ODPORNOŚĆ NA PRZEBICIE PŁYTY WARSTWOWEJ Z RDZENIEM
AUKSETYCZNYM”**

Uwagi ogólne

Rozprawa doktorska mgr inż. Jakuba Michalskiego poświęcona jest istotnemu zagadnieniu odporności dynamicznej płyt warstwowych z rdzeniem auksetycznym w kontekście odporności na przebicie.

Praca powstała w Zakładzie Mechaniki Technicznej, Instytutu Mechaniki Stosowanej, Wydziału Inżynierii Mechanicznej, Politechniki Poznańskiej. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Tomasz Stręk.

Zakres rozprawy

Praca składa się z 9 rozdziałów. Zawiera wstęp, teorię dotyczącą płyt warstwowych, scharakteryzowano auksetyki, opisano zastosowane metody obliczeniowe, przedstawiono wyniki analiz przebicia płyt homogenicznych i auksetycznym w tym z rdzeniem ANTY-TETRA-CHIRALNYM i typu „4-STAR”. Wyniki obliczeń numerycznych porównano z testami fizycznymi wykonanymi na płytach wykonanych na drukarce 3d. Na końcu sformułowano podsumowanie i wnioski.

We wstępie Autor powołuje się na publikacje, których jest współautorem, a w których wykazano przewagę struktur objętych tematyką rozprawy w zakresie zmęczenia i obciążenia wybuchem. Jest to dobry punkt wyjścia do badań z zakresu odporności płyt i pozwolił na trafne sformułowanie problemu badawczego. Sformułowano 4 cele pracy:

- „...*pierwszym celem pracy było zbadanie odporności na przebicie płyt warstwowych z rdzeniem auksetycznym, biorąc pod uwagę różne rodzaje struktur, które dotychczas nie były badane pod kątem zastosowania w płytach warstwowych w celu zwiększenia odporności na uderzenie z przebicciem*”.
- Drugim celem pracy było „*porównanie wyników uzyskanych dla wybranych typów rdzeni auksetycznych z wynikami uzyskanymi dla ich najbliższych nieauksetycznych odpowiedników*”.
- Trzecim celem pracy był „*dobór parametrów geometrycznych wybranego typu struktury auksetycznej tworzącej rdzeń płyty warstwowej celem zwiększenia odporności na przebicie*.”
- Czwartym celem było „*...potwierdzenie uzyskanych zależności przy pomocy uproszczonych testów fizycznych. ...*”

Sformułowano również tezę w postaci: „*Płyty warstwowe z rdzeniem w postaci struktury auksetycznej mają zwiększoną odporność na uderzenia z przebicciem w stosunku do płyt z rdzeniem nieauksetycznymi. Czyni to je potencjalnymi kandydatami do zastosowania w lekkich konstrukcjach ochronnych i wzmacniających. Mogą one być wykorzystywane w inżynierii mechanicznej, między innymi jako elementy osłon balistycznych w konstrukcjach z branży wojskowej i lotniczej. Ponadto, zmieniając efektywny współczynnik Poissona poprzez odpowiedni dobór parametrów geometrycznych struktur, można uzyskać większą poprawę odporności płyty warstwowej na przebicie.*”

Rozdział drugi zawiera opis płyt warstwowych. Uwzględniono ich budowę i podstawowe rodzaje, koncentrując się głównie na podstawach mechaniki tego typu konstrukcji, wymieniono obszary ich zastosowań i scharakteryzowano metody wytwarzania.

W trzecim rozdziale opisane zostały materiały i struktury auksetyczne. Omówiono właściwości mechaniczne auksetyków. Uwzględniono w opisie najczęściej spotykane formy struktur auksetycznych jak również ich główne zastosowania. Na końcu rozdziału przedstawiono wyniki dotychczasowych badań odporności auksetyków na obciążenia dynamiczne, szczególnie wybuchy i uderzenia wskazując kumulację materiału wokół miejsca odkształcenia jako mechanizmu, który skutecznie zwiększa sztywność konstrukcji.

Rozdział czwarty obejmuje charakterystykę metod numerycznych użytych w badaniach w tym teoretycznych podstaw metody elementów skończonych oraz zastosowany na potrzeby obliczeń dynamicznych algorytm jawnego całkowania równań ruchu po czasie. Opisano również model materiałowy Johnsona-Cooka, użyty w obliczeniach.

Piąty rozdział przedstawia wyniki obliczeń dla płyt homogenicznych z różnym współczynnikiem Poissona. Przedstawiono wyniki w postaci przebiegów czasowych prędkości i przemieszczenia pocisku oraz zmiany energii dyssypacji plastycznej dla różnych wartości współczynnika Poissona.

W rozdziale szóstym analizowano płytę z rdzeniem w postaci struktury anty-tetra-chiralnej. Wyniki tych analiz porównano z obliczeniami dla rdzenia mającego formę klasycznego plastra miodu. Sprawdzone zostały różne wielkości pojedynczego elementu tej struktury.

Siódmy rozdział zawiera omówienie analiz przeprowadzonych na płytach z rdzeniem w postaci struktury 4-star. Dobrano parametry geometryczne struktury 4-star w celu redukcji współczynnika Poissona.

Przeprowadzono również symulację jednego z testów fizycznych opisanych w kolejnym rozdziale, ale dla materiału innego niż użyty w eksperymentach.

Rozdział ósmy zawiera opis wyników przeprowadzonych testów fizycznych na próbkach z żywicy. Testy fizyczne przedstawione w tym rozdziale posłużyły do weryfikacji symulacji dynamicznych, a w szczególności weryfikacji zależności zaobserwowanych w obliczeniach numerycznych.

Głównym założeniem wynikającym przede wszystkim z tytułu są badania odporności na przebicie płyty warstwowej z rdzeniem auksetycznym. Przedstawione w pracy badania zmierzają do określenia tej właściwości dla różnych wariantów analizowanych płyt i różnych przypadków uderzeń. W obliczeniach zastosowano metodę elementów skończonych. Na szczególną uwagę zasługują następujące, przedstawione w pracy osiągnięcia:

- Badania przedstawione w rozdziale 5 miały na celu ustalenie jak wartość ujemnego współczynnika Poissona wpływa na odporność płyt homogenicznych na przebicie. Wykazano, że ujemny współczynnik Poissona i tym samym szczególne zachowanie się materiału znacząco wpływa na prędkość pocisku zmniejszając ją. Wyniki te stanowią dowód na to, że materiały auksetyczne charakteryzują się większą odpornością na przebicie.
- Badania przedstawione w rozdziale 6 dotyczące płyt z rdzeniem w postaci struktury anty-tetra-chiralnej miały na celu wykazanie ich przewagi nad płytami z rdzeniem w postaci rdzenia klasycznego plastra miodu. Sprawdzone różne warianty struktur oraz wzięto pod uwagę różne warunki przebicia wykazując znaczące różnice w odporności obu rodzajów płyt z przewagą płyt auksetycznych.
- Badania przedstawione w rozdziale 7 płyty z rdzeniem o strukturze 4-star wykazując że można wpływać na właściwości płyt i wartość współczynnika Poissona poprzez parametry geometryczne struktury 4-star, redukując współczynnik Poissona.
- Badania przedstawione w rozdziale 8 zawierają opis przeprowadzonych testów fizycznych na próbkach uzyskanych techniką przyrostową z żywicy, przebieg eksperymentu zasymulowano.

Całość podjętej tematyki badań Autor ujął na 110 stronach maszynopisu. Recenzowana rozprawa mieści się w szeroko pojętej dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna, a w szczególności można ją zaliczyć do nurtu rozwoju współczesnej mechaniki komputerowej.

Ocena merytoryczna

W pracy sformułowano cztery główne cele badawcze:

- *„...pierwszym celem pracy było zbadanie odporności na przebicie płyt warstwowych z rdzeniem auksetycznym, biorąc pod uwagę różne rodzaje struktur, które dotychczas nie były badane pod kątem zastosowania w płytach warstwowych w celu zwiększenia odporności na uderzenie z przebicciem”.*
- *Drugim celem pracy było „ porównanie wyników uzyskanych dla wybranych typów rdzeni auksetycznych z wynikami uzyskanymi dla ich najbliższych nieauksetycznych odpowiedników”.*
- *Trzecim celem pracy był „dobór parametrów geometrycznych wybranego typu struktury auksetycznej tworzącej rdzeń płyty warstwowej celem zwiększenia odporności na przebicie.”*
- *Czwartym celem było „ ...potwierdzenie uzyskanych zależności przy pomocy uproszczonych testów fizycznych. ...”*

Pierwszy cel osiągnięto analizując dwie struktury płyt z rdzeniem auksetycznym. Zarówno w rozdziale 6 jak i 7 przeprowadzone analizy pozwalają ocenić odporność tych struktur na przebicie. W pracy wykazano również przewagę płyt z rdzeniami auksetycznymi przy porównaniu ze strukturami zbliżonymi lecz nie wykazującymi cech auksetycznych. To porównanie daje możliwość uznania, że drugi spośród sformułowanych celów pracy został osiągnięty. Wykazano także w rozdziale 7, że odpowiedni dobór wymiarów geometrycznych struktur wpływa na poprawę odporności danej struktury na przebicie. Również za pomocą testów fizycznych udało się wykazać, że wnioski płynące z analizy wyników obliczeń numerycznych znajdują swoje potwierdzenie w eksperymentach.

Zatem wszystkie sformułowane cele pracy zostały osiągnięte. Doktorant wykazał się sporymi umiejętnościami w zakresie modelowania numerycznego. Jak wiadomo zagadnienia dynamiczne i prawidłowe ich rozwiązanie wymaga olbrzymiego kunsztu i doświadczenia. Duża liczebność eksperymentów wskazuje, że doktorant zdobył potrzebne doświadczenie.

Metodologia przyjęta w trakcie planowania eksperymentu budzi pewne wątpliwości. Przykładowo w rozdziale piątym przedstawiono wyniki odporności płyty homogenicznej dla różnych współczynników Poissona jednak zabrakło konsekwencji w kolejnych rozdziałach, czy analizowane struktury potwierdzają tę samą tendencję. Z drugiej strony nie przedstawiono metody określania podobieństwa struktur auksetycznej i nieauksetycznej lub sposobu doboru parametrów materiałowych użytych w obliczeniach. Nie dokonano wystarczającej analizy jak własności materiałowe wpływają na zdolności analizowanych

struktur do pochłaniania czy dyssypacji energii. Nie przedstawiono także kryteriów według których przyjmowane były wartości wymiarów geometrycznych poszczególnych struktur.

Uwagi krytyczne

Na podstawie szczegółowej analizy ocenianej rozprawy sformułowano następujące uwagi krytyczne oraz pytania:

- Teza pracy w części wskazującej przewagę materiałów auksetycznych jest oczywista, gdyż z uwagi na szczególne cechy tych struktur teza ta jest prawdziwa bez konieczności prowadzenia badań. Czy w związku z tym jej udowodnienie było konieczne?

- Nie wykazano wprost, że postawiona teza we fragmencie „...*Mogą one być wykorzystywane w inżynierii mechanicznej, między innymi jako elementy osłon balistycznych w konstrukcjach z branży wojskowej i lotniczej.*” została udowodniona, nie sprecyzowano w jakim zakresie taka osłona byłaby skuteczna.

- W tezie użyto także sformułowania „... *można uzyskać większą poprawę...*”, choć tej poprawy wprost nie wykazano.

- Nie opisano sposobu wyznaczania współczynnika Poissona dla analizowanych struktur. Nie dokonano analizy dokładności wyznaczenia tego współczynnika.

- Wyników nie przeanalizowano pod kątem kumulacji materiału w otoczeniu miejsca przebicia. Czy w przeprowadzonych analizach nie występowały żadne artefakty w postaci nakładających się objętości elementów na siebie?

- Modele materiałowe z rozdziału 5 nie dotyczą materiałów zastosowanych w testach fizycznych. Jaki był powód, że nie przeprowadzono obu testów numerycznego i fizycznego dla tych samych warunków?

- Jakie znaczenie w rozdziale 5 miało wprowadzenie modelu J-C? Nie przedstawiono wprost dla którego obiektu stosowano ten materiał.

- Na przedstawionych rycinach z symulacji nie widać co się dzieje z pociskiem. W zagadnieniach dotyczących konstrukcji osłon balistycznych ważna jest nie tylko zmiana jego prędkości, ale także odkształcenie i zmiana kształtu pocisku, a sama deformacja pocisku może wskazywać na to czy obliczenia są poprawne.

- W rozdziale 6 analizowano różną gęstość struktury. Nie podano żadnych danych dotyczących grubości ścianek czy wielkości geometrycznych charakteryzujących pojedyncze oczko. Brak odniesienia tych konstrukcji do. np. efektywnego współczynnika Poissona. Nie przedstawiono metodyki i planu badawczego dla tych obliczeń.

- W strukturach analizowanych w pracy należy spodziewać się znacznych deformacji. Czy w związku z tym wielkości siatki elementów skończonych wpływają na wyniki modelu?
- W rozdziale 6 nie przedstawiono dla jakiego/jakich efektywnych współczynnik Poissona dokonano analizy.
- Nie dokonano analizy porównawczej płyt analizowanych w rozdziale 6 i 7. W ten sposób można by wykazać lub nie, że nie tylko parametr w postaci efektywnego współczynnika Poissona, ale również kształt struktury ma wpływ na właściwości struktury auksetycznej.
- Nie opisano jak obliczono współczynnik dyssypacji (np. Rys. 5.2.4).
- Rys. 5.2.3 niczego nie wnosi, a zmiany w położeniu pocisku wynikają z różnic prędkości.
- W rozdziałach 5,6,7,8 nie przedstawiono jasnego planu badawczego, który pozwolił by w łatwy sposób ustalić czy przyjęta metodyka badawcza jest właściwa. Nie uargumentowano takich wyborów jak np. parametry geometryczne, czy właściwości materiałów. Przedstawione dane nie pozwalają na odtworzenie tych eksperymentów.
- Nie podano kryteriów według których zdecydowano się na wymiary geometryczne płyt w tym ilość warstw.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pomimo przedstawionych uwag, jest wartościowym i jest oryginalnym opracowaniem naukowym. Przyjęta metodyka badawcza jak i przedstawione wyniki pozwalają stwierdzić, że Doktorant biegle porusza się w swojej tematyce badawczej. Nie wszystkie podjęte decyzje w trakcie realizacji pracy doktorskiej należy uznać za właściwe. Podczas wyboru planu badawczego czy opracowywania modeli numerycznych analizowanych struktur lub prezentacji wyników można dostrzec wiele niedokładności. Nie wpływa to jednak na wartość merytoryczną pracy a dowodzi jedynie braku doświadczenia i dużej samodzielności realizacji pracy przez doktoranta.

W dorobku publikacyjnym doktoranta (baza Scopus) znaleziono 6 prac, które mają bezpośredni związek z ocenianą rozprawą. W dorobku tym znajduje się 5 pozycji, których głównym autorem jest doktorant.

Zgodnie z obowiązującą ustawą o szkolnictwie wyższym, wymogiem formalnym do ubiegania się o tytuł doktora nauk technicznych jest minimum jedna publikacja lub monografia i doktorant spełnia to kryterium. Podsumowując, należy uznać na podstawie oceny rozprawy oraz dotychczasowego dorobku, że doktorant prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedmiotem niniejszej rozprawy

doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w tym oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej i społecznej.

Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Jakuba Michalskiego pt: „Odporność na przebicie płyty warstwowej z rdzeniem auksetycznym” spełnia warunki ujęte w art. 13. Ust 1 ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. z 2017r poz. 1789) oraz art. 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. poz. 1669). Na podstawie dokonanej oceny, wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana Jakuba Michalskiego do dalszych etapów postępowania przewidzianych dla przewodów doktorskich oraz dopuszczenia ocenionej pracy do publicznej obrony.



