

Poznań, dnia 15.05.2023 r.

Dr hab. Tomasz Stręk, prof. uczelni  
Instytut Mechaniki Stosowanej  
Wydział Inżynierii Mechanicznej  
Politechnika Poznańska

OPINIA OPIEKUNA NAUKOWEGO  
W POSTĘPOWANIU DOKTORSKIM  
MGR. INŻ. JAKUBA MICHALSKIEGO  
(ZŁOŻENIE ROZPRAWY)

Temat rozprawy: Odporność na przebicie płyty warstwowej z rdzeniem auksetycznym.

Mgr inż. Jakub Michalski był doktorantem studiów doktoranckich na Wydziale Inżynierii Mechanicznej (wcześniej Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania) Politechniki Poznańskiej w latach 2018-2023. Doktorant ukończył studia na kierunku inżynieria biomedyczna broniąc swoje prace dyplomowe z tematyki symulacji komputerowych zagadnień biomedycznych z użyciem metod obliczeniowych.

W swojej pracy badawczej w ramach rozprawy doktorskiej zajmuje się modelowaniem właściwości mechanicznych płyt warstwowych z różnego rodzaju rdzeniami porowatymi o właściwościach charakteryzujących się różnymi wartościami współczynnika Poissona. Głównym przedmiotem badań jest analiza współczynnika Poissona materiałów zarówno o dodatnich (np. stal, guma), jak i ujemnych wartościach (auksetyki) tego parametru.

Doktorant opublikował (był współautorem) 6 publikacji: w czasopiśmie - *Physica Status Solidi B* (2019), *Vibrations in Physical Systems* (2018, 2020, 2022), oraz w monografii *Lecture Notes in Mechanical Engineering* (2019, 2022). Uczestniczył również w 13 konferencjach naukowych, m.in: *Auxetics* (2018, 2019), *Vibrations in Physical Systems* (2018, 2020, 2022), *Manufacturing* (2019), *Modelowanie ośrodków z mikrostrukturą* (2018), *Symposium Zmęczenie i Mechanika Pękania* (2021), *CMM-Solmech* (2022), *Manufacturing* (2022) oraz *PoWieFoNa* (2018). Doktorant uczestniczył również w seminariach zakładowych oraz wydziałowych (15.11.2021, 12.05.2023) na których to prezentował wyniki swoich badań.

Opublikowane artykuły i wygłoszone referaty są wynikiem obliczeń komputerowych w tematyce rozprawy doktorskiej. Uczestniczył on również w pracach zespołów prowadzących badania w ramach zadań badawczych DSMK, DSPB, SBAD (lata 2019-2023). Symulacje komputerowe wymagające dużej mocy obliczeniowych realizowane były w ramach grantu w PCSS w Poznaniu.

Praca dotyczy badań odporności na przebicie płyty warstwowej z rdzeniem rdzeniami charakteryzującymi się różnymi współczynnikami Poissona – od ujemnych (materiały auksetyczne) do dodatnich (materiały klasyczne). Badania przeprowadzono z dla różnych wariantów płyty i różnych przypadków uderzeń. W przypadku badań numerycznych zastosowana została metoda elementów skończonych. Symulacje dynamiczne przeprowadzono w programie Abaqus/Explicit (algorytm jawnego całkowania równań ruchu), podczas gdy weryfikację współczynnika Poissona dla różnych geometrii rdzenia i jego redukcję/obniżenie dla wybranej struktury wykonano w programie COMSOL.

Praca składa się z 9 rozdziałów, spisu literatury oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Rozdział drugi zawiera opis płyt warstwowych, z uwzględnieniem ich budowy i typów; podstawy mechaniki tego typu konstrukcji. W trzecim rozdziale opisane zostały materiały i struktury auksetyczne. W rozdziale przedstawiono również wyniki dotychczasowych badań odporności auksetyków na obciążenia dynamiczne, szczególnie wybuchy i uderzenia. Rozdział czwarty obejmuje charakterystykę metod numerycznych użytych

w badaniach: ogólny opis metody elementów skończonych, algorytmy rozwiązywania równań ruchu w dynamice konstrukcji oraz opis modelu materiałowego Johnsona-Cooka, którego autor użył we wszystkich analizach dynamicznych.

W dalszej części rozprawy opisano przeprowadzone badania i uzyskane wyniki. Piąty rozdział przedstawia wstępne analizy przebiecia wykonane na płytach homogenicznych z różnym współczynnikiem Poissona. Stanowią one pierwszy dowód na poparcie tezy o przewodze auksetyków w kwestii odporności na przebiecie. W rozdziale szóstym porównano wyniki symulacji wykonanych na płytach z rdzeniem w postaci struktury anty-tetra-chiralnej z płytami z rdzeniem mającym formę klasycznego plastra miodu. Siódmy rozdział zawiera omówienie analiz przeprowadzonych na płytach z rdzeniem w postaci struktury 4-star. Ósmy rozdział zawiera opis przeprowadzonych testów eksperymentalnych mających na celu dodatkowe potwierdzenie zależności obserwowanych w symulacjach komputerowych. Ostatnią część pracy stanowią wnioski sformułowane na podstawie wyników uzyskanych dla różnych przypadków oraz spis literatury.

Analizowane płyty warstwowe z różnymi strukturami ich rdzeni są potencjalnymi przykładami do zastosowania w lekkich konstrukcjach ochronnych i wzmacniających. Mogą one mieć również szerokie zastosowanie od branży lotniczej i wojskowej, jako elementy osłon balistycznych do inżynierii biomedycznej, jako elementy wzmacniające ochronę tkanek i organizmów.

Biorąc pod uwagę tematykę rozprawy, przeprowadzoną przez doktoranta analizę literatury, badania numeryczne i eksperymentalne analizowanych zagadnień oraz wyciągnięte wnioski potwierdzające tezę rozprawy, osiągnięcia kandydata oceniam bardzo dobrze. Mgr inż. Jakub Michalski poprawnie podszedł do postawionego problemu naukowego. Pozwoliło to na uzyskanie wartościowych wyników opatrzonych odpowiednimi wnioskami. Wyższa (o kilkanaście procent) odporność na przebiecie przy niewielkiej różnicy mas może być kluczową zaletą płyt z rdzeniem auksetycznym w wielu zastosowaniach praktycznych.

Z powodu tego, że autor nie dysponował możliwościami wydrukowania modelu z metalu, prace eksperymentalne, które wykonano zostały zrealizowane dla struktur wydrukowanych z żywicy metodą sterolitografii. Przeprowadzone badania eksperymentalne były kolejnym potwierdzeniem badanych właściwości oraz stanowiły rozszerzenie badań symulacji numerycznej. Należy również zaznaczyć, że w literaturze nie są dostępne parametry modelu Johnsona-Cooka dla materiałów stosowanych w technikach przyrostowych. Będąca na wyposażeniu Instytut Mechaniki Stosowanej drukarka do wydruków z proszków metalowych nie pozwala na uzyskanie precyzyjnych wydruków o złożonych geometriach jakim są niewątpliwie struktury auksetyczne.

Zrealizowane cele oraz potwierdzona teza rozprawy doktorskiej stanowi ważną podstawę do dalszych badań uwzględniających m.in. inne rodzaje materiałów z których mogą być zbudowane analizowane struktury oraz inne prędkości obiektów je przebijających. Dla większych prędkości należy wówczas uwzględnić w konstrukcji materiały metalowe, a przy mniejszych mogą to być materiały mniej wytrzymałe.

Działając na podstawie art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.), art. 14 ust. 5 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) oraz § 3 ust. 1 pkt 1 lit. b) i c), ust. 1 pkt 2 a także § 3 ust. 2 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r. poz. 261) przyjąłem niniejszą rozprawę doktorską oraz zwracam się do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Z poważaniem

Styżk T.