

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Magnucki
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny
ul. Warszawska 181, 61-055 Poznań
E-mail: krzysztof.magnucki@pit.lukasiewicz.gov.pl

Poznań, 14 czerwca 2024 r.

Ocena

rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandra Błachuta
zatytułowanej

„*Wpływ siły naciągu włókna na wytrzymałość struktury zbiornika kompozytowego*”

Ocenę rozprawy sporządzono na podstawie pisma W10/D/35/2024 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego z dnia 26 kwietnia 2024 roku.

Rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandra Błachuta napisana w języku polskim liczy 123 strony. Składa się z ośmiu rozdziałów, bibliografii, która zawiera sto dziewięćdziesiąt jeden prac, w tym dziesięć współautorskich doktoranta. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Jerzy Kaleta a promotorem pomocniczym dr inż. Piotr Krysiak.

1. Treść rozprawy, sformułowanie i rozwiązanie problemu naukowego

Przedmiotem rozprawy są wysokociśnieniowe kompozytowe zbiorniki walcowe z przeznaczeniem do magazynowania wodoru. Tematyka rozprawy jest współczesna i niezwykle istotna z uwagi na ochronę środowiska, tym samym transformację energetyczną i wprowadzenia gospodarki wodorowej. Część badawcza rozprawy zredagowana jest z uwzględnieniem wyników badań przedstawionych w dwóch współautorskich artykułach opublikowanych w specjalistycznym czasopiśmie *Composite Structures*, w 2023 i 2024 r. Wyd. Elsevier i wykazanych w Bibliografii rozprawy następująco:

[122] A. Błachut, T. Wollmann, M. Panek, M. Vater, J. Kaleta, J. Detyna, S. Hoschützky, and M. Gude, “Influence of fiber tension during filament winding on the mechanical properties of composite pressure vessels,” *Composite Structures*, vol. 304, p. 116337, 2023.

[123] A. Błachut, J. Kaleta, J. Detyna, B. Kmiecik, G. Ziętek, M. Panek, and M. Skoczylas, “Multiscale analysis of composite pressure vessel structures wound with different fiber tensile force,” *Composite Structures*, p. 118065, 2024.

Rozprawa składa się z następujących dziewięciu rozdziałów:

R-1. Wprowadzenie, w którym wskazano na proces transformacji energetycznej i surowcowej z udziałem technologii wodorowych oraz przedstawiono pięć typów zbiorników ciśnieniowych. R-2. Obszar badań i stan wiedzy, w którym na podstawie bibliografii przedstawiono w układzie chronologicznym rozwój i zastosowanie kompozytów w budowie różnych konstrukcji. Scharakteryzowano kompozyty polimerowe, włókna węglowe, żywice, oraz materiały i technologie stosowane w procesie wytwarzania kompozytowych rur, a przede wszystkim zbiorników wysokociśnieniowych przeznaczonych do magazynowania wodoru, z zastosowaniem zautomatyzowanego procesu nawijania z kontrolowaną siłą naciągu. Ponadto, zwrócono uwagę na problem przenikania wodoru przez kompozytowe ścianki zbiorników, a

także kontrolę procesu wytwarzania i ich bezpieczeństwa podczas eksploatacji z zastosowaniem monitoringu strukturalnego. R-3. Teza pracy, którą sformułowano następująco: „*Programowanie siły naciągu w procesie nawijania umożliwia lepsze wykorzystanie właściwości wytrzymałościowych włókna węglowego w strukturze kompozytowej zbiornika wysokociśnieniowego do gromadzenia mediów gazowych, w tym wodoru*”, oraz dwa główne cele pracy: **pierwszy – naukowy**, który dotyczy określenia wpływu naciągu włókna na wytrzymałość doraźną zbiornika kompozytowego oraz zaproponowaniu wykorzystania istniejącego oprogramowania symulacyjnego z uwagi na korzystny dobór parametrów procesu wytwórczego, **drugi – eksperymentalny**, który dotyczy wytwarzania zbiorników kompozytowych trzeciej generacji oraz przeprowadzenia niezbędnych testów w celu identyfikacji rezultatów modelowania.

R-4. Testowane obiekty i stanowisko pomiarowe, w którym szczegółowo opisano trzy serie zbiorników (SA), (SB) i (SC) umożliwiające wyznaczenie wpływu warstwy kompozytowej oraz naciągu włókna na właściwości mechaniczne zbiornika kompozytowego, scharakteryzowano i uzasadniono dobór linerów-wkładek stalowych, czyli wewnętrznej warstwy stalowej tych zbiorników, następnie przedstawiono wytwarzanie powłok kompozytowych w zbiornikach serii B i C, wskazano miejsca przyklejenia tensometrów na powierzchni stalowej linera (seria A) oraz na powłoce kompozytowej (seria B i C), opisano również specjalnie zaprojektowane stanowisko badawcze do przeprowadzenia badań, w którym rozmieszczono czujniki do pomiaru emisji akustycznej z uwagi na pęknięcia – utratę ciągłości struktury. R-5. Dwie procedury badania oraz modelowania siły naciągu włókna, w którym zamieszczono krótkie wprowadzenie do przedmiotowych badań. R-6. Procedura pierwsza doboru siły naciągu włókna, szczegółowo opisana, która jest uproszczona z zastosowaniem homogenizacji i uwzględnienia jedynie udziału masowe włókna i żywicy w kompozycie. R-7. Procedura druga doboru siły naciągu włókna, również szczegółowo opisana, która jest dokładniejsza i uwzględnia informacje dotyczące niejednorodności struktury uzyskane ze statycznej analizy mikroskopowej składowych kompozytu. R-8. Podsumowanie i sugestie w zakresie dalszych badań. R-9. Podziękowania.

2. Ocena wartości naukowej rozprawy

Mgr. inż. Aleksander Błachut podjął istotną tematykę badań dotyczącą efektywnego wytwarzania struktury ciśnieniowych zbiorników kompozytowych z uwagi na współczesną transformację energetyczną i wprowadzenie gospodarki wodorowej dotyczącej ochrony środowiska. Oryginalnie sformułował i poprawnie rozwiązał złożony problem kontroli siły naciągu włókna w procesie nawijania z uwzględnieniem wytrzymałości, co umożliwia zmniejszenie masy i kosztów wytwarzania zbiornika. Przedstawione szczegółowo dwie procedury doboru siły naciągu włókna i zrealizowane doświadczalnie, a także numerycznie MES (program ANSYS), są niezwykle istotne w poznaniu zjawisk występujących podczas obciążania ciśnieniem wewnętrznym zbiornika z uwagi na ich wytrzymałość i proces wytwarzania. Zestawiono z sobą dwa przypadki konstrukcji zbiornika o tych samych parametrach dla linera stalowego – warstwy wewnętrznej i takiej samej liczbie nawijanych warstw. W pierwszym przypadku oznaczonym „3N 80N” 20 warstw nawiniętych jest siłą naciągu 3N, a następne 15 warstw nawiniętych jest siłą naciągu 80N. Natomiast, w drugim przypadku oznaczonym „80N 3N” 15 warstw nawiniętych jest siłą naciągu 80N, a następne 20 warstw nawiniętych jest siłą 3N. Na podstawie analizy wyników tych badań stwierdzono, że korzystniejszą strukturą jest pierwszy przypadek oznaczony „3N 80N”, gdyż zbiornik taki może być obciążony bezpiecznie większym ciśnieniem.

Przedstawiony problem w rozprawie jest aktualny, bardzo złożony i poprawnie rozwiązany. Wartość naukowa rozprawy jest bardzo dobra, teza została udowodniona i zrealizowano jej cele, a podjęta w niej tematyka badawcza niewątpliwie może być kontynuowana.

3. Ocena redakcyjna rozprawy

Rozprawa zredagowana jest starannie, a zwłaszcza bardzo szczegółowo i interesująco przedstawione są wyniki badań. Kolejność prezentowanych zagadnień stanowi pewien układ logiczny. Literatura dobrana jest właściwie do tematyki rozprawy. Występujące pewne niezręczności redakcyjne, związane z językiem angielskim nie umniejszają jej pozytywnej oceny.

4. Wniosek końcowy

Przedstawione i rozwiązane zagadnienia w rozprawie doktorskiej mgr inż. Aleksandra Błachuta, pozwalają stwierdzić, że Doktorant wykazał się bardzo dobrą wiedzą w dyscyplinie mechanika – inżynieria mechaniczna, a w szczególności w zakresie mechaniki ciała stałego, zwłaszcza wytwarzania współczesnych materiałów kompozytowych i ich wytrzymałości, a także znajomością metod komputerowych i umiejętnością wykonania badań naukowych. Rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandra Błachuta spełnia warunki określone Ustawą (Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Art. 187, Dz.U.2023.742), oceniam ją bardzo pozytywnie i wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do obrony.

K. Magnucki
.....
Krzysztof Magnucki