

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. **Katarzyny BALCER**
pt. „Analiza właściwości mechanicznych termoplastycznych laminatów metalowo-
włóknistych zbrojonych tkaniną węglową wytwarzanych metodą prasowania na gorąco”

***Podstawa opracowania: Zawiadomienie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny
Inżynieria Mechaniczna Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Dra hab. inż. Łukasza Muślewskiego, prof. PBS
nr 3/NB.520.5.2025 z dnia 5 listopada 2025r.***

1. Motywacja podjęcia tematu rozprawy doktorskiej i jej zakres

Truizmem jest już stwierdzenie, że lekkie, wysokowytrzymałe konstrukcje kompozytowe o matrycach polimerowych stanowią podstawę współczesnych konstrukcyjnych elementów powłokowych, skutecznie zastępując konstrukcje metaliczne oparte o stopy aluminium czy tytanu. Matryce te, początkowo oparte o materiały żywiczne, epoksydowe czy poliestrowe, zastępowane są aktualnie matrycami termoplastycznymi, szczególnie w przypadku wielowarstwowych laminatów metalowo-włóknistych. Proponowany temat i zakres pracy doktorskiej skupia się na tego typu rozwiązaniu. Opiniowana rozprawa doktorska, jest pracą o typowo doświadczalnym charakterze.

Pracę rozpoczyna wstęp oraz część literaturową, zawierająca wprowadzenie do podjętej tematyki pracy dotyczące analizy aktualnego stanu wiedzy w zakresie kompozytów wzmocnianych włóknami, w szczególności będących przedmiotem rozprawy laminatów metalowo-włóknistych z matrycą termoplastyczną. Następnie w rozdziale 3 Autorka przedstawia cel i zakres swojej rozprawy doktorskiej. Formułuje również tezę naukową rozprawy, co nie zawsze jest standardem w realizowanych aktualnie pracach doktorskich. Najważniejsze merytorycznie dla pracy to rozdziały 4, 5 i 6. W rozdziale 4 Autorka przedstawia program badań własnych bardzo czytelnie zilustrowany załączonym schematem blokowym sekwencyjnych zagadnień badawczych oraz tabelą zawierającą konfiguracje badanych kompozytów. Syntetycznie omawia również: metodykę doboru testów w analizie statystycznej otrzymanych wyników badań, modele konstytutywne wykorzystywane w opisie

przedmiotowych kompozytów i laminatów oraz podstawy modelowania numerycznego w środowisku MES. Rozdział 5 zawiera szczegółową charakterystykę badanych materiałów oraz metodykę przygotowania próbek do badań. Najbardziej istotny dla pracy, a zarazem najbardziej obszerny, to rozdział 6. Rozdział ten zawiera badania gęstości materiałów bazowych, kompozytowych i laminatów oraz badania wytrzymałościowe przy rozciąganiu, trójpunktowym zginaniu, jak również w programie naprzemiennych cyklicznych testów rozciągania z narastającym poziomem odkształcenia oraz następującej po nim próbie rozciągania z odciążaniem celem wyznaczenia zmiany sztywności materiału. Wszystkie wyniki badań zostały poddane złożonym analizom statystycznym, z uwzględnieniem testów istotności, ze względu na rodzaj materiału bazowego, grubość i ukierunkowanie włókien w kompozycie, czy konfigurację warstw i wzmocnienia w laminacie. Następnie przedstawiono analizę teoretyczną dopasowania modeli konstytutywnych badanych kompozytów i laminatów. Rozdział ten kończy analiza mikroskopowa dotycząca mechanizmów uszkodzeń i morfologii otrzymanych przełomów badanych materiałów. Ostatni rozdział 7 zawiera stosowne wnioski z przeprowadzonych eksperymentów oraz wskazuje kierunki dalszych badań.

Autorka swoje opracowanie przedstawiła łącznie na 202 stronach maszynopisu zawierającego tekst, tabele, rysunki oraz wykaz 447 cytowanych pozycji literaturowych.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Katarzyna Balcer udowodniła, że posiada rozległą i ugruntowaną wiedzę z zakresu inżynierii materiałów kompozytowych oraz instrumentalnych metod badań doświadczalnych ich własności. Prawdłowo potrafi ocenić podjęty przez siebie problem naukowy oraz właściwie sformułować tezę naukową i własne cele badawcze, do realizacji których stosuje dobrze sformułowany plan badań oraz zaawansowane narzędzia nowoczesnych metod eksperymentalnych, wsparte modelowaniem konstytutywnym heterogenicznych materiałów kompozytowych.

Do najważniejszych osiągnięć Doktorantki moim zdaniem należy zaliczyć:

- opracowanie własnej oryginalnej technologii wytwarzania termoplastycznych laminatów metalowo-włóknistych wzmocnionych tkaniną węglową metodą prasowania na gorąco z wykorzystaniem folii adhezyjnych,
- wykonanie wielowariantowej porównawczej analizy wytrzymałościowej przedmiotowych laminatów z uwagi na:

- rodzaj matrycy polimerowej (politereftalan butylenu vs poliamid 6) i grubość laminatów,
 - konfigurację warstw i wzmocnienia w laminacie oraz ukierunkowanie włókien w węglowej tkaninie zbrojenia,
 - zmianę modułu sprężystości wzdłużnej w testach zmęczeniowych z narastającym poziomem odkształcenia,
 - mechanizmy zniszczenia laminatów,
 - dopasowanie literaturowych modeli konstytutywnych.
- właściwie i adekwatnie sformułowane wnioski z bardzo szerokiego programu badań doświadczalnych potwierdzające zróżnicowany wpływ konfiguracji zbrojonych laminatów termoplastycznych na rozważane decyzyjne parametry wytrzymałościowe oraz morfologię i mechanizmy zniszczenia,
 - udział w zgłoszeniu patentowym do UP RP dotyczącym technologii wytwarzania termoplastycznych laminatów metalowo-włóknistych metodą prasowania na gorąco z wykorzystaniem folii adhezyjnych,
 - bardzo szeroki przegląd literaturowy przedmiotowego dla rozprawy aktualnego piśmiennictwa; po rozszerzeniu i uzupełnieniu, o badania własne, wprowadzenia do rozprawy (pkt.2) opracowanie takie mogłoby stanowić bardzo dobrą pozycję dydaktyczną dla studentów/doktorantów kierunków inżynierii mechanicznej, materiałowej czy biomedycznej.

3. Uwagi krytyczne

Rozprawę cechuje bardzo staranne podejście w realizacji poszczególnych zadań badawczych. Jako recenzent nie widzę w niej istotnych błędów, czy uproszczeń merytorycznych. Praca jest również bardzo poprawna pod względem metodycznym, ujęta logicznie, a zarazem syntetycznie, napisana poprawną polszczyzną, starannie zredagowana graficznie i edycyjnie. Przedstawiam zatem tylko nieliczne uwagi, po części o charakterze polemicznym, które nasunęły mi się po zapoznaniu się z recenzowaną pracą:

- szkoda, że w swojej rozprawie Autorka nie uwzględniła wielkości energetycznych, typu praca czy energia zniszczenia; wielkości te oddają pełniejszą charakterystykę materiału w zakresie jego odkształcalności, a tym samym zdolności do dyssypacji energii,

- czy w badaniach degradacji modułu sprężystości wzdłużnej, w kombinowanej procedurze naprzemiennych cyklicznych testów rozciągania z narastającym poziomem odkształcenia oraz następującej po nim próbie rozciągania z odciążaniem, wartość modułu Younga była wyznaczana na ścieżce obciążania, czy odciążania,
- w zakresie wykorzystania statycznej próby trójpunktowego zginania (pkt. 6.7) Doktorantka stwierdza, iż ... *badania pozwalają na kompleksową ocenę właściwości mechanicznych, identyfikację mechanizmów zniszczenia oraz jakościową ocenę adhezji międzywarstwowej* ...; w mojej opinii jest to nadinterpretacja tego określenia; próba trójpunktowego zginania w stosunku do próby jednoosiowego rozciągania umożliwia tylko ocenę niejednorodności rozkładu naprężeń normalnych od zginania w przekroju poprzecznym próbki, w tym naprężeń ściskających w określonych jej obszarach,
- w poszczególnych etapach badań doświadczalnych Autorka podaje na ogół liczebność szarż badawczych jako 3 próbki (czasami 5 lub 6); stanowi to jednak pewne *minimum minimorum* w badaniach eksperymentalnych; standardem jest tutaj grupa badawcza licząca 8 – 12 próbek, co daje możliwość wiarygodnej analizy statystycznej otrzymanych wyników badań;
- w zakresie redakcyjnym jako uwagi szczegółowe podnoszę tylko trzy aspekty:
 - w przedstawionym wykazie bibliograficznym zdarzają się błędy i nieścisłości: brak autorów, tytułu publikacji, oficyny wydawniczej, czy podwójne wymienianie identyfikatora cyfrowego 'doi' publikacji,
 - fakt niekonsekwencji w przyjęciu/operowaniu jednostkami modułów sprężystości i wielkości wytrzymałościowych; w przyjętym wykazie skrótów, symboli i jednostek Doktorantka podaje je w Pa, a w tekście operuje wielkością MPa; przy przyjętych wartościach wejściowych: dynamicznych (siła w N) i kinematycznych (przemieszczenie w mm), wartością wyjściową (obliczoną) jest MPa,
 - w zakresie stosowalności reguł mieszania Doktorantka używa określenia ułamek objętościowy; trochę dziwnie mi to brzmi, jako prosty językowy anglicyzm (ratio); w technicznej literaturze polskojęzycznej raczej stosuje się określenie udział objętościowy, masowy czy molowy.

4. Wniosek końcowy

Jako recenzent stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska zawiera nowe aspekty praktyczne i poznawcze, a jej podstawowy cel został zrealizowany, tzn. opracowano metodykę technologii wytwarzania termoplastycznych laminatów metalowo-włóknistych wzmocnionych tkaniną węglową metodą prasowania na gorąco z wykorzystaniem folii adhezyjnych oraz przedstawiono wielowątkowa analizę ich własności mechanicznych i technologicznych. Praca jest własnym rozwiązaniem postawionego zadania badawczego i niewątpliwie stanowi autorski przyczynek naukowy mgr inż. Katarzyny Balcer w zakresie mechaniki kompozytów.

Rozprawę doktorską mgr inż. Katarzyny Balcer można sklasyfikować w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Balcer odpowiada wymaganiom stawianym w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. 1571 z 2024 r. z póź. zm.). Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie Autorki do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'K. Balcer'.