

Warszawa dn. 06.09.2024 r.

dr hab. inż. Daniel Pieniak, prof. ucz.

Katedra Techniki Pożarniczej
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa i Ochrony Ludności
Akademia Pożarnicza
01-629 Warszawa
ul. J. Słowackiego 52/54

Centrum Tribologii
Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Eksploatacji
26-600 Radom
ul. K. Pułaskiego 6/10

RECENZJA

rozprawy doktorskiej
mgr inż. Joanny Masiewicz

pt. *Ocena właściwości mechanicznych polimerowych kompozytów warstwowych do wytwarzania struktur ochronnych w samochodach elektrycznych*

1. Uwagi dotyczące tematu rozprawy, celu, tezy i zakresu pracy

Praca obejmuje zagadnienia wytrzymałości, energochłonności i mechanizmów uszkodzeń kompozytów warstwowych. Zawiera studium literaturowe budowy i właściwości kompozytów energochłonnych oraz opis prac technologicznych prowadzących do wytworzenia kompozytowego materiału warstwowego z modyfikowaną chemicznie osnową, która miała w założeniu poprawić zdolność pochłaniania energii uderzenia mechanicznego przez elementy kompozytowe. W tej części pracy zawarto również wiele elementów, które mają charakter autorski. Dalej na materiał dysertacji składają się badania doświadczalne o szerokim zakresie oraz analiza mechanizmów niszczenia badanych kompozytów i oddziaływania komponentów kompozytów pod obciążeniem uderzeniowym.

Tytuł pracy jest zgodny z treścią pracy. Odnosi się do właściwości mechanicznych kompozytów przeznaczonych na struktury ochronne w samochodach elektrycznych. Badania zaprezentowane w pracy są istotne dla konstrukcji i eksploatacji pojazdów samochodowych z napędem elektrycznym. Temat pracy obejmuje zagadnienia, które mieszczą się w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna. Problematyka pracy jest aktualna i ważna z punktu widzenia naukowego i inżynierskiego.

Głównym celem pracy było „zaprojektowanie i wytworzenie oraz analiza mechanizmów uszkodzeń, charakterystyka epoksydowo-szklanego kompozytu warstwowego ze zmodyfikowaną osnową i cienkim, porowatym rdzeniem oraz zaproponowanie bazy do stworzenia procedury badawczej służącej kompleksowej charakterystyce wytrzymałościowej i mechanicznej kompozytu do zastosowania go jako struktura ochronna w samochodach elektrycznych.” Cele szczegółowe obejmowały studium literatury specjalistycznej i naukowej, wytworzenie kompozytów, identyfikację istotnych konstrukcyjnie parametrów w sposób doświadczalny, analizy i opracowanie procedury badawczej tego typu struktur do przewidywanych zastosowań. Tak sformułowany cel pracy spowodował, że zakres rozprawy był szeroki. Autorka wykonała przegląd wyników prac doświadczalnych oraz dokonała analizy technologii i właściwości użytkowych energochłonnych kompozytów konstrukcyjnych. Opracowała i wytworzyła własne materiały kompozytowe do badań. Zaplanowała i zrealizowała szereg zadań doświadczalnych, które są zgodne ze standardem prac doktorskich. Wyniki badań własnych opracowała i zaprezentowała w sposób umożliwiający porównywanie właściwości nowo opracowanych kompozytów. Teza pracy i problem badawczy nie zostały wprost sformułowane. Przyjęty zakres prac był odpowiedni na przewidziane w celu pracy „... zaproponowanie bazy do stworzenia procedury badawczej ...”. Autorka odwołała się do

zastosowań, technologii, metod badań, właściwości konstrukcyjnych i mechanizmów niszczenia kompozytów energochłonnych, próbując na etapie formułowania celu wskazać wszystkie te czynniki, które okazały się właściwymi do opracowania „bazy do stworzenia procedury badawczej”.

2. Struktura i charakterystyka pracy

Praca składa się z sześciu rozdziałów głównych, spisu literatury, spisu skrótów, streszczeń w językach polskim i angielskim. Praca liczy 142 strony. W spisie literatury zawarto 157 pozycji. Źródła stanowią pozycje zwarte, artykuły w periodykach naukowych, normy techniczne i źródła internetowe. Są to głównie pozycje o zasięgu międzynarodowym. Autorka uwzględniła w spisie literatury jedną pracę promotora dwa razy (poz. 42 i 142).

Układ pracy jest prawidłowy. Kolejność rozdziałów jest właściwa. Podział treści i prezentacja zagadnień są logiczne. Generalnie Autorka pracy posługuje się poprawnym językiem. Pisze jasno i zrozumiale.

W rozdziale pierwszym, Autorka wprowadza odbiorcę pracy do zagadnień związanych z energochłonnymi kompozytami konstrukcyjnymi, wyjaśnia pojęcia i właściwości, opisuje podstawowe wzory i charakterystyki. Stara się kompleksowo scharakteryzować przedmiot badań i analiz. Autorka przedstawiła zagadnienie absorpcji w ujęciu mechanicznym, uwzględniając równania opisujące to zjawisko oraz zależności siłowo-odkształceniowe dla przypadków uderzeń mechanicznych, w tym przypadku uderzeń o niskiej prędkości *LVI* (*Low-Velocity Impact*), które wydają się mieć kluczowe znaczenie w warunkach eksploatacji badanych kompozytów. Przedstawiła szerzej opis przebiegu zniszczenia kompozytów w warunkach zderzeń niesprężystych. Dużą część rozdziału Autorka poświęciła na opis kształtowania właściwości kompozytów w procesach technologicznych. Opisała również kierunki zastosowań energochłonnych kompozytów strukturalnych. Brakuje szerszego opracowania struktur ochronnych baterii samochodów elektrycznych.

W drugim rozdziale rozprawy, Autorka opisała metody badań i oceny właściwości mechanicznych kompozytowych konstrukcji przekładkowych przy podwyższonych prędkościach odkształcenia. Wydaje się, że w tym rozdziale Autorka dokonuje przeglądu wybranych metod badań, które mają stanowić „*elementy procedury badawczej*”, której opracowanie zawarte jest w celu pracy. Opis metod badań, Autorka uzupełniła analizą ich przydatności w badaniach materiałów na „*osłony baterii w samochodach elektrycznych*”. Na końcu rozdziału Autorka opisuje braki w metodyce badań. Na szczególną uwagę zasługuje metoda IK badania odporności mechanicznej wyrobów elektrotechnicznych.

W rozdziale trzecim, Autorka przedstawiła cel główny i cele szczegółowe pracy oraz diagram procedury badań eksperymentalnych, który nawiązuje bezpośrednio do głównego celu pracy.

Rozdział czwarty został poświęcony na opis technologicznych metod wytworzenia kompozytów warstwowych do badań własnych oraz siedmiu metod badań właściwości mechanicznych próbek kompozytów.

Rozdział piąty to wyniki badań doświadczalnych i ich analiza. Badania były podzielone na etapy. W pierwszej części rozdziału Autorka prezentuje wynik badań technologicznych, których celem była weryfikacja składu kompozytu. Wydaje się, że pierwszy akapit na stronie 91 dysertacji mógłby stanowić tezę, która niestety nie została formalnie ujęta w pracy. Wyniki badań właściwości mechanicznych, które zostały uznane za potencjalnie przydatne w procedurze badań osłon baterii pojazdów samochodowych poprzedzającej projektowanie konstrukcyjne Autorka zamieścił na wykresach, które umożliwiają porównywanie pomiędzy seriami próbek materiałów. W rozdziale brakuje dokładnego opisu stanowisk badawczych

i przebiegu badań. Dokumentacja fotograficzna ułatwiłaby ocenę eksperymentów. Wizualna ocena uszkodzeń powinna zawierać materiał ilustracyjny wyższej jakości.

Rozdział szósty to ostatni rozdział pracy. Autorka zawarła w nim wnioski. Na początku tego rozdziału został ponownie przedstawiony główny cel pracy, który odbiega od przedstawionego w rozdziale trzecim. Ale lepiej pasuje do tego co zostało w pracy doktorskiej zaprezentowane. Rozdział zawiera głównie uwagi do wyboru metod badań wytrzymałościowych oraz do struktury nowo opracowanych przez Autorkę kompozytów. Autorka podkreśla korzystny wpływ stosowania pianki *XPS (Extruded Polystyrene)* i sieciowania *IPN (Interpenetrating Polymer Networks)*. Stwierdziła, że badany materiał spełnia wymagania klasyfikacji wytrzymałości mechanicznej IK na poziomie 9. Potwierdziła słuszność postawionych na początku założeń i celów. Brakuje uwag krytycznych oraz szerszego opisu możliwości wykorzystania efektów pracy w przyszłości. Cały rozdział szósty stanowi zbiór interesujących spostrzeżeń i uwag Autorki, które dopełniają pracę doktorską.

Na końcu dysertacji zamieszczono spis literatury.

3. Ocena i ogólne uwagi do rozprawy

Temat i podejście do jego realizacji zaprezentowane przez Autorkę wpisują się w działania badawcze i naukowe, których celem jest poznanie mechanicznego zachowania kompozytów konstrukcyjnych przewidywanych do zastosowania w konstrukcji osłon baterii samochodów z napędem elektrycznym. Zaproponowana i oceniona doświadczalnie modyfikacja warstw okładzinowych kompozytu ma znaczenie użytkowe. Problematyka jest aktualna i ważna. Rozwój konstrukcji ochronnych i barierowych urządzeń elektrotechnicznych jest jednym z kluczowych zadań badaczy i inżynierów. Badania zmierzające do opracowania procedury testowej tzw. *EACS (Energy Absorbing Composite Structures)* wpłyną korzystnie na bezpieczeństwo eksploatacji.

W pierwszej części pracy Autorka wskazała jako obiekt badań kompozyty konstrukcyjne. Określiła obszary ich zastosowań, kluczowe właściwości oraz możliwości ich dostosowania do przewidywanych w celu pracy aplikacji. We wstępie przedstawiano również zawartość głównych rozdziałów pracy. Autorka w ograniczonym stopniu zarysowała sytuację problemową. We wstępie powinna sformułować podstawowe pytania naukowo-badawcze np. eksploracyjne heurystyczne o właściwości oraz diagnostyczne o stan rzeczy. W fazie rozpoznania problemu powinno zostać ustalone czy problem jest wart zajęcia się nim, jak bardzo rozległy jest problem, czy uda się uniknąć ograniczeń i czy istniejące rozwiązania nie wpłyną na rozwiązanie problemu? Wstępne formułowanie problemu może być tak szerokie, jak tylko pozwalają okoliczności. W tej fazie nie jest wymagany opis dotychczasowego rozwiązania problemu. Może to być ogólne rozpoznanie problemu przed szczegółowym rozpoznanie sytuacji i skonkretyzowaniem. Niewątpliwie Autorka mogła wstępnie formułując problem badawczy stwierdzić, że zamierza zajmować się materiałami *EACS* przeznaczonymi na osłony baterii w samochodach osobowych, które mogą stanowić alternatywę dla metali i ceramiki oraz wymuszeniami dynamicznymi udarowymi działającymi na konstrukcję osłon baterii. Określenie uwarunkowań danego problemu ułatwiłoby wybór słów kluczowych, źródeł literatury i ukierunkowanie studium piśmiennictwa oraz określenie przedmiotu i zakresu badań niezbędnych do rozstrzygnięcia empirycznego. Sformułowanie problemu byłoby niewątpliwie oczekiwane przez odbiorcę pracy.

Wydaje się, że ważnym aspektem, który determinuje zakres pracy, a który nie został uwypuklony, jest ograniczony dostęp do informacji naukowo-technicznej. Obecnie w wielu przypadkach rozwiązania problemów ujawniane są w postaci gotowych konstrukcji lub zmodernizowanych technologii. Nie są opisane np. w periodykach czy materiałach konferencyjnych. Są zabezpieczone różnymi formami ochrony własności intelektualnej

i przemysłowej. Także Autorka krótko wzmiankuje o obudowie baterii z zastrzeżonych materiałów *CSP (Continental Structural Plastics)* na stronie 49. Wydaje się, że im większe nadzieje na praktyczne rozwiązanie nowatorskiego problemu badawczego, tym większa szansa, że został już podjęty, a poziom rozwiązania nie jest nam znany.

Teza pracy nie została formalnie przedstawiona. Nie ma jej na początku pracy ani w rozdziale trzecim, gdzie można było jej się spodziewać. Na stronie 91 na początku podrozdziału 5.1 pt. *Weryfikacja składu kompozytów*. Autorka stwierdza „*Modyfikacja prowadzi do wzmocnienia nie tylko na poziomie fizycznym, w który poliuretan pełni rolę ciekłego napelnacza polimerowego, ale również na poziomie chemicznym, spełniając funkcję promotora adhezji. Wprowadzeniu modyfikatora przypisuje się nie tylko poprawę właściwości wytrzymałościowych warstwy osnowy, ale także polepszenie właściwości adhezyjnych między warstwami kompozytu, zahamowanie propagacji pęknięć w całej warstwie okładziny oraz efektywniejsze zachowanie w aspekcie pochłaniania energii w warunkach różnego rodzaju obciążeń.*” Pomijając niedoskonałości sformułowania, w świetle przedstawionych wyników badań, wydaje się, że ten fragment dysertacji mógłby stanowić tezę.

Rozdział pierwszy zawiera opis przedmiotu badań. Pełni funkcję przeglądu stanu wiedzy związanej ściśle z tematem pracy doktorskiej. W rozdziale zgromadzono obszerny materiał dotyczący kompozytowych konstrukcji przekładkowych, technologii wytwarzania kompozytów oraz opisy ich właściwości i zastosowania w technice, głównie w pojazdach samochodowych. Pod koniec rozdziału Autorka mogła więcej miejsca poświęcić opisowi kompozytów polimerowych wzmacnianych włóknami szklanymi, ponieważ ten typ kompozytu został wykorzystany w części doświadczalnej dysertacji. Autorka pomija wyjaśnienie kluczowych pojęć np. *mechanizmy międzywarstwowe* (s. 18), *drugi moment powierzchni* (s. 21) albo dwóch rodzajów sztywności na rysunku 1.5. W wielu miejscach brakuje odwołania do źródeł, np. na stronie 43 Autorka wymienia czynniki wyboru technologii produkcji *EACS* i nie podaje źródła, na stronie 47 odwołuje się do pracy autorstwa *McGregor* i *Vazir* i tu również nie daje przypisu. Ponadto pracy tych autorów nie ma w spisie literatury zamieszczonym na końcu dysertacji. W opisie „*techniki układania ręcznego*” na stronie 45 Autorka pisze, że „*Literatura przedmiotu często ukazuje przykłady kompozytów pochłaniających energię wytwarzanych techniką HLU...*”, ale nie ma odwołania do wspomnianych pozycji. Na s. 27, gdzie wymieniono „*...czynniki wtórne, które mają znaczący wpływ na zachowanie kompozytu podczas uderzenia...*”. Nie podano również źródeł wzorów, np. (7) i (8). Ponadto Autorka nadużywa wyrażenia „*pod kątem*”, które może być mylące dla obiorcy pracy, szczególnie w opisie kierunków działania obciążenia czy budowy i właściwości kompozytów, np. na stronie 98 ... *test równoległego uderzenia analizowano pod kątem powstałych uszkodzeń...* Użycie tego wyrażenia wymaga odpowiedniego kontekstu, np. obserwowania czegoś z jakiejś strony lub w jakiś sposób. Nie we wszystkich zdaniach, w których Autorka użyła tego wyrażenia, a było ich wiele, taki kontekst występował. Czytając pierwszy rozdział odnosi się wrażenie, że pewne informacje się powtarzają. Ponadto materiał ilustracyjny w podrozdziale 1.4. w większym stopniu powinien prezentować strukturę konkretnych elementów z kompozytów konstrukcyjnych a nie tylko pojazdy z nich wykonane.

Rozdział drugi rozpoczyna się w połowie strony 55. Nie jest jasne, dlaczego? Inne rozdziały rozpoczynają się od nowej strony. Autorka szeroko opisuje metody badań właściwości mechanicznych kompozytów wielowarstwowych z rdzeniem piankowym, przedstawia wybrane stanowiska badawcze, zasady pomiaru i interpretacji wyników badań. Prezentuje najpierw metody badań udarowych, zaczynając od metody IK, następnie testy Charpy'ego, Izoda i Dynstat, potem złożone konstrukcyjnie urządzenia badawcze, umożliwiające m.in. rejestrację sił i odkształcenia w czasie rzeczywistym oraz filtrowanie widma drgań własnych elementów aparatury pomiarowej od widma pracy próbki kompozytu, kończąc na metodzie *BAI (Bending After Impact)*, która może mieć kluczowe znaczenie w kontekście podjętego tematu

pracy. Część metod opisana jest w oparciu o rysunki lub fotografie, które schematycznie przedstawiają testy, co ułatwia odbiór treści pracy. W przypadku *BAI* nie ma takiego schematu, zaprezentowano tylko uproszczony opis procedury. Schemat ten można stworzyć np. w oparciu o pracę (<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2023.107578>). Następnie Autorka opisuje badania wytrzymałości na zginanie wg norm technicznych ISO 178 i ISO 14125 oraz metodę *DMA (Dynamic Mechanical Analysis)*. Takie podejście wydaje się słuszne, ponieważ ten rozdział pełni funkcję przeglądową, niewątpliwie jest interesujący i wartościowy dla osób prowadzących prace doświadczalne i zarazem budujących aparaturę pomiarową. Co jest typowe dla reprezentantów dyscypliny Inżynieria Mechaniczna. Na stronie 57 Autorka pisze „*Dzięki znajomości parametru IK oraz jego zależności od wartości energii uderzenia można zweryfikować czy elementy stosowane na osłony będą skutecznie spełniały swoją rolę podczas całego procesu eksploatacji i w warunkach prawidłowego użytkowania.*” Nie ma tam odwołania do źródła bibliograficznego, więc jest to opinia Autorki. Autorka powinna rozwinąć i uzasadnić tę myśl w odniesieniu do tematu i celu pracy?

Zebrany na podstawie opracowań naukowych i branżowych w rozdziałach pierwszym i drugim materiał jest interesujący dla odbiorcy i stanowi syntezę wiedzy o konstrukcyjnych kompozytach warstwowych. Rozdziały mają charakter przeglądowy i popularyzatorski. Został w nich zgromadzony szeroki materiał, zawierający szereg autorskich ilustracji Doktorantki, które doskonale uzupełniają opis zjawisk i wyprowadzone wzory matematyczne. W tych rozdziałach Autorka słusznie skupia się na zagadnieniach i metodach bezpośrednio dot. tematu pracy. Mimo uwag do rozdziałów stanowiących przegląd literatury, tę część pracy oceniam pozytywnie.

Rozdział trzeci zawiera cele pracy. Przedstawiono cel główny pracy i cele cząstkowe. Wytworzone i oceniane eksperymentalnie miały być kompozyty warstwowe epoksydowo-szklane ze zmodyfikowaną osnową i cienkim porowatym rdzeniem.

Celami cząstkowymi były:

- „*Analiza i opracowanie literaturowe na temat kompozytów energochłonnych, materiałów stosowanych do ich wytworzenia, badań wytrzymałościowych oraz kierunków ich zastosowania.*”
- *Otrzymanie materiału warstwowego z modyfikowaną chemicznie osnową stanowiącą element nowości jako czynnik kształtujący właściwości pochłaniania energii uderzenia.*
- *Charakterystyka ilościowego i jakościowego wpływu doboru materiałów i modyfikacji osnowy na właściwości kompozytu w zaproponowanym zestawie badań eksperymentalnych, na które składały się udarność, trójpunktowe zginanie, ściskanie, tolerancja na uszkodzenia, odporność na przebicie i wytrzymałość resztkowa oraz dynamiczna analiza mechaniczna warstwy kompozytowej w zakresie ujemnych i wysokich temperatur.*
- *Analiza mechanizmów uszkodzeń epoksydowo – szklanych kompozytów warstwowych wielowarstwowym z lekkim porowatym rdzeniem oraz wzajemnego oddziaływania komponentów pod wpływem obciążeń występujących podczas zaproponowanych testów eksperymentalnych.*”

Zaproponowane do realizacji celu pracy kompozyty i metoda postępowania doświadczalnego (*zestaw badań eksperymentalnych i schemat procedury badań eksperymentalnych*), są oryginalnym rozwiązaniem Doktorantki.

Rozdział czwarty zawiera opis metodyki badań kompozytów warstwowych. W punkcie 4.1 Autorka przedstawiła syntetycznie przebieg prac badawczych. Niejasny jest opis próby zginania wykonanej wg ISO 14125. Jeśli badania wykonano zgodnie z wymaganiami tej normy, to jakiej klasy próbek użyto? Jaki rozstaw podpór zastosowano jako odpowiedni dla przyjętej klasy próbek? Na początku podrozdziału 4.1.1. pt. *Dobór materiałów*, Autorka podała, że materiały do wytworzenia energochłonnych kompozytów przekładkowych dobrano zgodnie

z kryteriami w podrozdziale 1.4. W podrozdziale 1.4. nie przedstawiono kryteriów doboru składników struktury materiałów. Rozdział ten zawiera opis zastosowania elementów kompozytowych w pojazdach.

Na początku podrozdziału 4.1.2. pt. *Przygotowanie osnowy* Autorka odwołuje się do wyników badań, z których ma wynikać zakres zawartości *PU (pouliretan)* od 0% do 20% w osnowie kompozytów. Czy to były wyniki badań wstępnych? Dlaczego szerzej nie opisano tych wyników? Następnie Autorka powołuje się na pracę Promotora na podstawie, której zakłada, że osnowa przygotowywanych materiałów ma zawierać 0%, 5% i 10% *PU*. Opis przygotowania materiałów kompozytowych mógł być uzupełniony materiałem ilustracyjnym (np. fotografie), co podniosłoby jakość opracowania. A informacja zawarta w tabeli 4.6. powinna być uzupełniona dokumentacją fotograficzną. Autorka wykonała sześć rodzajów płyt kompozytowych metodą laminowania ręcznego. Z płyt pozyskano próbki. Przyjęto po trzy próbki w seriach badawczych. Autorka nie podaje, dlaczego przyjęto taką liczebność próbek w seriach. Warto wyróżnienia jest opracowanie i wykonanie przez Doktorantkę aż sześciu siedmiowarstwowych kompozytów do badań.

Rozdział 5 zawiera wyniki badań i ich analizę. Na początku tej części pracy Autorka przedstawia elementy nowości w pracy, są nimi modyfikacja chemiczna osnowy oraz wstępna weryfikacja składu kompozytu metodą *DMA*. Opis modyfikacji osnowy ciekłym polimerem poliuretanem oraz jej cel zostały przedstawione starannie. Wydaje się, że z tej części pracy można było wyodrębnić tezę pracy (pierwszy akapit na s. 91). Wyniki testów *DMA* są prezentowane w pierwszej kolejności. Częstotliwość drgań w testach baterii wg standardu Un/DOT 38.3 wynosi od 7 Hz, podobną wartość częstotliwości drgań podwozia podano w pracy (ISBN: 9780750680691). Wydaje się zasadne, aby oprócz testów *DMA* w zmiennej temperaturze i przy stałej częstotliwości drgań 1 Hz wykonać pomiary przy różnych częstotliwości drgań. W testach *DMA* kompozytów wielowarstwowych zaleca się również porównanie ze sobą wyników pomiarów uzyskanych w różnych przypadkach obciążenia (<https://doi.org/10.1002/app.42058>). Wyniki badań udarnośći metodą Charpy'ego są opisane starannie. Szkoda, że Autorka w tak małym stopniu odnosi wyniki badań własnych do uzyskanych przez innych badaczy. Zastanawiające jest stwierdzenie „*Scharakteryzowanie mechanizmów zniszczenia kompozytów jednordzeniowych było niemożliwe do usystematyzowania ze względu na brak powtarzalności wyników.*” W tej części pracy wyniki badań i analizę mechanizmów uszkodzeń można było uzupełnić o mikrofotografie. Opracowanie ilościowe wyników badań jest staranne, ale Autorka mogła zamieścić w pracy oprócz wykresów słupkowych z tzw. „wąsami” średnią i odchylenie standardowe. A np. w tabeli 5.4. nie podano, jakie wielkości statystyczne są prezentowane. Wyniki badań wytrzymałości na zginanie (tab. 5.4) są interesujące. Mając na uwadze potencjalne zastosowanie płyt kompozytowych np. 5PU250GF3XPS w osłonach baterii (rys. 1.19), może warto wykorzystać przedstawione wyniki badań do oszacowania sztywności płytowej i ugięcia płyty (np. wg wzorów zawartych w ISBN 978-83-01-15966-5). Wytrzymałość na ścinanie próbek sześciu materiałów kompozytowych jest podobna. Autorka w analizie wyników stwierdziła, że „*może to wynikać z niedoskonałości technologicznych, które często generuje metoda laminowania ręcznego.*” W analizie amortyzacji poprzecznych obciążeń udarowych Autorka dokonuje obserwacji istotnych zależności. Stwierdza „*Widoczne powstawanie kolejnych pików, niestabilność i spadek siły uderzenia informowały o powstaniu naprężeń w kolejnych warstwach kompozytu i możliwym uszkodzeniu kompozytu.*” Czy dokonano tego na podstawie obserwacji mikroskopowych, których wyniki nie są prezentowane w pracy? Dokładana analiza mechanizmów niszczenia ma utylitarne znaczenie. Dobrą praktyką jest prezentowanie oprócz wykresów pracy próbek pod obciążeniem mikrofotografii ich uszkodzeń. Ponadto Autorka mogła dodać podrozdział podsumowujący cały rozdział piąty. Pomimo uwag, prezentowane w rozdziale piątym opracowanie wyników badań oceniam pozytywnie. W tej

części pracy, z naukowego i inżynierskiego punktu widzenia najbardziej interesujące są wyniki testów porównawczych *BO (Bending Only)* i *BAI*. Za bardzo istotne ze względu na postawiony cel pracy i o znaczeniu utylitarnym uważam wyniki opisane w akapicie drugim na stronie 115.

Rezultaty zamieszczone w tym rozdziale są oryginalne i mają istotne znaczenie poznawcze oraz cechują się nowością w dyscyplinie. Ponadto materiał zgromadzony w tym rozdziale jest ważny ze względu na zastosowanie inżynierskie. Na podkreślenie zasługuje dobra znajomość specyfiki badań doświadczalnych.

Rozdział szósty to końcowy rozdział pracy. Zawiera podsumowanie i wnioski. Zgadzam się z Autorką, że realizacja założonych zadań cząstkowych, pozwala na zaproponowanie algorytmu doświadczalnej oceny charakterystyk wytrzymałościowych kompozytów do zastosowań jako struktura ochronna w samochodach elektrycznych. Autorka doprowadziła do osiągnięcia przyjętego w rozdziale trzecim głównego celu pracy. Warte podkreślenia są wnioski technologiczne przedstawione przez Autorkę. Wymaga doprecyzowania i szerszego wyjaśnienia wniosków „*Otrzymany materiał kompozytowy spełnił wymagania klasyfikacji wytrzymałości mechanicznej IK na poziomie 9, które kwalifikują go do zastosowania jako osłona baterii w samochodach elektrycznych.*”

4. Uwagi szczegółowe do rozprawy

Pomimo pozytywnej oceny treści rozprawy Autorka nie ustrzegła się wielu drobnych błędów, część z nich wymieniono poniżej:

- a. Jakość materiału ilustracyjnego i tabel jest dobra. Ale fotografie postaci zniszczenia powinny być wyższej jakości. Rysunki są wykonane starannie, ich opis w większości przypadków jest prawidłowy. Rysunki na stronie 19 są niepodpisane. Wykres na rysunku 1.3 to nie jest „wykres Ashby’ego”.
- b. Układ redakcyjny pracy nie jest jednolity. Obecnie preferowany jest podział na rozdziały i podrozdziały. W rozdziale pierwszym, po „1. Energochłonne kompozyty konstrukcyjne”, następuje od razu tekst zasadniczy a dopiero na kolejnej stronie podrozdział „1.1 Zależności charakteryzujące ...”. Ponadto część podrozdziałów nie jest numerowana.
- c. Dokonano sprawdzenia pracy pod względem językowym. Pomimo ogólnej pozytywnej oceny treści rozprawy, Autorka nie ustrzegła się drobnych błędów. Niektóre zauważone błędy to:
 - błędy interpunkcyjne, np. str. 19. Niekiedy brak przecinków między zdaniem nadrzędnym a podrzędnym, znajdującym się wewnątrz zdania nadrzędnego,
 - str. 20 w. 3 zamiast *wyrażony* powinno być: *wyrażona*,
 - str. 21 w. 5 zamiast *drugi moment powierzchni* powinno być: *geometryczny moment bezwładności*,
 - str. 22 w. 8 nieprawidłowa forma czasownika, osobowa zamiast bezosobowej, *możemy mówić*, w innych miejscach również ten sam błąd,
 - str. 23 w. 7 zamiast *ścinnania* powinno być: *ścinania*,
 - str. 25 w. 1 *gwałtownej i szybkiej*, to synonimy w opisywanym kontekście,
 - str. 25 w. 17 zamiast *żadnej zmiany objętości* powinno być *wyraźnej zmiany objętości*,
 - str. 25 w. 24 niewłaściwe użycie spacji,
 - str. 27 w. 3 *właściwości i wytrzymałość osnowy*, wytrzymałość to też właściwość,
 - str. 29 w. 4 zamiast *świadczą o pękaniu* powinno być: *świadczą o pękaniu*,
 - str. 29 w. 7 zamiast *możemy* powinno być: *można*,
 - str. 30 w. 1 zamiast *uzyskujemy* powinno być: *uzyskano*,
 - str. 36 w. 11 zamiast *możemy* powinno być: *można*,

- str. 39 w. 22 zamiast *Analizie poddawano jest także* powinno być: *Analizie poddawano także,*
- str. 41 w. 16 zamiast *pozwoiliło* powinno być: *pozwoiliła,*
- str. 45 w. 9 zamiast *bardzo mocnych* powinno być: *bardzo wytrzymałych,*
- str. 45 w. 12 zamiast *napełniacz* powinno być: *napełniaczy,*
- str. 47 w. 23 fragment zdania ... *otrzymanie kompozytu znacznie bardziej skomplikowanych struktur kompozytowych ...* powinien być inaczej sformułowany,
- str. 48 w. 3 zamiast *wadze* powinno być: *masie,* to samo str. 49 w.1, str. 50 w.2
- str. 54 w. 8 zamiast *że do w* powinno być: *że do,*
- str. 59 w. 5 zamiast *80 x 10 x 4 mm* powinno być: *80 mm x 10 mm x 4 mm,*
- str. 62 w. 10 zamiast *bezpośrednio mechanizmami* powinno być: *bezpośrednio z mechanizmami,*
- str. 62 w. 12-15 *Zarówno wielkość obciążenia jak i uszkodzenia oraz jego charakter powinny odzwierciedlać warunki eksploatacji a szczególnie uszkodzenia móc być zlokalizowane i ocenione za pomocą określonej metody w oparciu o jednoznaczne parametry,* zdanie niezrozumiałe,
- str. 88 w. 1 błąd stylistyczny ... *Skład ilościowy składników ...,*
- str. 98 w. 14-15 niefortunne sformułowanie ...*test równoległego uderzenia krawędziowego analizowano pod kątem powstałych uszkodzeń kompozytów....,*
- str. 110 zamiast *uzyskujemy* powinno być: *uzyskano,*
- str. 116 w. 7 zamiast *uzyskane z teście* powinno być: *uzyskane w teście,*
- str. 123 w. 29-31 W tym samym zdaniu ... *prostopadłego uderzenia płaszczyznowego ... spowodowanym obciążeniami prostopadłymi do powierzchni,*
- str. 126 w. 2 zamiast *wymogi stosowane kompozytom* powinno być: *wymogi stawiane kompozytom,*
- str. 126 w. 13 zamiast *reszkową* powinna być: *reszkowa.*

5. Ocena końcowa

Po analizie treści i wyników badań zamieszczonych w rozprawie doktorskiej stwierdzam, że oceniana praca mieści się w dyscyplinie naukowej Inżyniera Mechaniczna. Problem badawczy niesformułowany wprost, ale wynikający z ogólnej treści pracy jest aktualny i ma znaczenie użytkowe. Autorka zrealizowała postawione zadania badawcze prawidłowo, wykazała się przy tym wiedzą oraz praktycznymi umiejętnościami wykorzystania narzędzi inżynierskich i naukowych. Założone sposoby tworzenia materiałów *EACS* i metody badań, pomimo niedoskonałości, pozwalają stwierdzić, że przyjęte podejście do realizacji celu pracy było słuszne. Wyniki badań doświadczalnych i analizy bazujące na własnych nowo opracowanych materiałach kompozytowych zostały zaprezentowane w sposób umożliwiający porównanie ilościowe i w pewnym stopniu jakościowe. Rozwiązując problem badawczy, Autorka wykazała się dobrą znajomością zagadnień dynamiki ciała stałego oraz umiejętnością modelowania i analizy właściwości konstrukcyjnych kompozytów polimerowych w szczególnych warunkach obciążeń udarowych. To pozwoliło jej ostatecznie rozwiązać zadania naukowe i osiągnąć cel pracy.

Autorka wykazała się znajomością problematyki, z której wywodzi się temat rozprawy oraz samodzielnością rozwiązania oryginalnych problemów naukowych.

Pod względem metodologicznym praca jest prawidłowa. Brak formalnego sformułowania problemu badawczego i tezy nie dyskwalifikują pracy. Oceniając całość pracy, można stwierdzić, że Autorka wykazała przygotowanie w zakresie znajomości wymagań formalnych i metod badań naukowych, co wobec rozwiązania oryginalnego zadania badawczego, potwierdza przygotowanie Autorki do pracy naukowej.

Stwierdzam, że przedstawiona do zaopiniowania rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Masiewicz pt. *Ocena właściwości mechanicznych polimerowych kompozytów warstwowych do wytwarzania struktur ochronnych w samochodach elektrycznych* spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (j.t. Dz. U. z 2020 r. poz. 85, z późniejszymi zmianami). Zatem wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Joanny Masiewicz do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Warszawa 06.09.2024 r.

dr hab. inż. Daniel Pieniak

