

prof. dr hab. inż. Krzysztof Jamroziak  
Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej  
i Biomedycznej  
Politechnika Wroclawska,  
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

Wrocław 10.09.2024 r.

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej**  
**mgr inż. Joanny Masiewicz**  
pod tytułem

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

### **1. Podstawa opracowania**

Podstawę opracowania stanowi pismo JM Rektora PK-042/36/43-1/dr-r/2024 z dnia 8 lipca 2024 r., gdzie na podstawie Uchwały nr 000-9/3/2024 Senatu Uniwersytetu Radomskiego im. Kazimierza Puławskiego z dnia 24 czerwca 2004 r. powołano recenzentów rozprawy doktorskiej. Do pisma dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Marcin Kostrzewa, prof. URad.

### **2. Ocena podjętej tematyki i założonego celu rozprawy**

Rozprawa doktorska odnosi się do doświadczalnych badań nad stworzeniem kompozytowych struktur ochronnych, mających zabezpieczyć w pojazdach elektrycznych źródła energii jakimi są baterie. Powszechnie wiadomo, że bardzo niebezpiecznym elementem podczas użytkowania pojazdów elektrycznych są baterie, które powinny być chronione przed uszkodzeniami, ciepłem i wibracjami wynikającymi z eksploatacji takiego pojazdu w zróżnicowanych warunkach terenowych. Szczególnie niebezpieczne sytuacje są stwarzane w wyniku kolizji drogowych, gdzie następuje gwałtowna deformacja określonych podzespołów pojazdu, w tym też magazynu umieszczonych ogniw litowo-jonowych. Złe zabezpieczenie tego źródła jest przesłanką do deformacji tych baterii a w konsekwencji do powstania zwarcia i zarzewia pożaru. Temat rozprawy doktorskiej stanowi istotę prowadzonych prac badawczych w interdyscyplinarnym ujęciu, gdzie z jednej strony ujmuje obszar inżynierii mechanicznej, a z drugiej strony inżynierii materiałowej. Szczególnie kładzie nacisk na procesy konstrukcyjne kompozytowych struktur ochronnych w elektrycznych

samochodach osobowych spełniających najwyższe standardy bezpieczeństwa. Przede wszystkim ważne jest wzmocnienie magazynów baterii samochodowych osłonami o podwyższonych właściwościach mechanicznych i obniżonej masie, przy wykorzystaniu przestrzennie uformowanych kompozytowych struktur włóknistych np. szklano–epoksydowych ze zmodyfikowaną osnową i cienkim porowatym rdzeniem. Zakres badań prezentowanych przez Autorkę w dysertacji można z powodzeniem odnieść do 2. krajowych inteligentnych specjalizacji. Opisane badania można przypisać do obszaru KIS 6.IV.4 jak i KIS 8.VIII.1.

Tematyka ta jest obecnie jak najbardziej zasadna z różnych względów (poszukiwanie innowacyjnych materiałów, zapobieganie powstawaniu niekontrolowanego pożaru, redukcja śladu węglowego itp.). Jednakże przede wszystkim stanowi rozwój krajowego zaplecza badawczo-rozwojowego w zakresie wyrobów kompozytowych z przeznaczeniem dla przemysłu motoryzacyjnego. Obecnie większość rozwiązań opartych jest na materiałach wykonanych ze stali lub/i aluminium uformowanych w kształcie specjalnej ramy z wieloczęściowymi obudowami. Należy zaznaczyć, że tendencje rozwojowe w budowie innowacyjnych magazynów baterii pojazdu elektrycznego zmierzają w kierunku paneli ochronnych o zróżnicowanych strukturach w układzie wielomateriałowym. Najczęściej będą to jednoczęściowe pokrywy kompozytowe i jednoczęściowe tace kompozytowe ze wzmocnieniami aluminiowymi i stalowymi umieszczonymi w odpowiedniej ramie. Rama ta musi być tak zaprojektowana, aby można było ją wzmocnić odpowiednimi materiałami energochłonnymi, co wpływa pozytywnie na masę i zakres deformacji w wyniku zderzenia pojazdu z przeszkodą.

Wobec tych wyzwań powstała praca naukowa Doktorantki odnosząca się do metodyki badawczej celem wyselekcjonowania odpowiednich materiałów na struktury laminatowe z możliwością ich wykorzystania w zabudowie do ochrony baterii samochodowych przed niepożądanymi skutkami wpływającymi na bezpieczną eksploatację pojazdu elektrycznego. Zasadniczym celem, jaki przyjęła Autorka było wytworzenie szklano–epoksydowo kompozytu przekładkowego z osnową modyfikowaną poliuretanem i porowatym rdzeniem XPS (pianka z ekstrudowanego polistyrenu, z ang. extruded polystyrene). Następnie opracowanie odpowiedniej metody badawczej mającej na celu zweryfikowanie charakterystyk materiałowych w zakresie parametrów mechanicznych, jak i wytrzymałościowych z naciskiem na określenie wartości wytrzymałości resztkowej ujętej w skali procentowej. Na podstawie przeglądu literatury Doktorantka zaproponowała metodykę badań kompozytów w układzie wielomateriałowym. Założyła, że zasadniczymi badaniami powinny być testy w zakresie badań statycznych oraz testy udarowości ze szczególnym ukierunkowaniem na tzw. badania spadającego ciężaru potocznie określanego, jako tzw. „drop test”. W tym ujęciu jej zasadniczymi testami była metoda łącząca podejście

badań w „drop teście” i zginania trójpunktowego. Tak zaplanowana i opracowana metoda badawcza (BAI – z ang. Bending After Impact) stanowiła punkt wyjścia w ocenie wytrzymałości resztkowej kompozytów przewidzianych do zabudowy baterii samochodu elektrycznego. Drugim wyzwaniem Doktorantki było opracowanie odpowiedniej struktury kompozytowej charakteryzującej się wysokim współczynnikiem wytrzymałości resztkowej. Założyła ona, że materiał powinien spełniać takie zalety jak: niska gęstość, odpowiednie właściwości mechaniczne i wytrzymałościowe, wysoka zdolność pochłaniania energii uderzenia, niska prachochność w procesie wytwarzania oraz niska cena. Kierując się tymi wytycznymi wytypowała dwa rodzaje tkaniny szklanej o gramaturze 250 g/cm<sup>2</sup> - splot płócienny oraz 324 g/cm<sup>2</sup> - splot skośny oraz materiał na osnowę w postaci żywicy epoksydowej w postaci Epidian 5 z utwardzaczem Z1. Powstające laminaty szklano-epoksydowe z takich materiałów są powszechnie wykorzystywane w przemyśle motoryzacyjnym a ich parametry wytrzymałościowe są dobrze opisane w literaturze wobec powyższego Autorka zaproponowała modyfikować osnowę dodatkiem poliuretanowym (PU) o nazwie handlowej DESMOCAP 12. W związku z powyższym, że poszukiwany materiał kompozytowy, jako odpowiedni absorber energii ma być konstrukcją wielomateriałową typu „sandwich”, jako rdzeń zaproponowała ekstrudowany polistyren (XPS), którego zalety są powszechnie znane w różnych gałęziach przemysłu. Na bazie tych materiałów Doktorantka opracowała kilka rodzajów materiałów kompozytowych, gdzie zasadniczym elementem było modyfikowanie osnowy z 5% i 10% dodatkiem PU oraz ilością zastosowanego rdzenia (z pojedynczym rdzeniem i potrójnym rdzeniem). Zgodnie z opracowanym planem eksperymentu dokonała zasadniczych badań mechanicznych i udarnościowych otrzymując odpowiednie charakterystyki materiałowe ujęte parametrami liczbowymi i parametrami jakościowymi odniesionymi do oceny powstającego uszkodzenia.

Cel pracy został w tym przypadku wzorowo osiągnięty, ponieważ Autorka w rękopisie zaprezentowała metodykę otrzymania materiału warstwowego z modyfikowaną chemicznie osnową stanowiącą element nowości, jako czynnik kształtujący właściwości pochłaniania energii uderzenia, ponieważ doskonale poradziła sobie z podejściem do poszukiwania optymalnych konstrukcji kompozytowych przy założonych warunkach brzegowych. Zaprezentowała metodę badawczą oceny wytrzymałości resztkowej opracowanego materiału kompozytowego bazując na powszechnie stosowanych badaniach typu: próby udarnościowe, trójpunktowe zginanie, ściskanie, odporność na przebicie oraz dynamiczna analiza mechaniczna warstwy kompozytowej w zakresie ujemnych i wysokich temperatur. Odzwierciedleniem ujętej metodyki z szeroko opracowanymi wnioskami końcowymi jest układ rękopisu rozprawy doktorskiej.

Opiniowany rękopis pracy doktorskiej jest opracowaniem naukowym,

odpowiadającym tematowi określonego w tytule oraz spełniającym wymagania art. 187.2 Ustawy. Uważam, że cel pracy został sformułowany poprawnie i ma charakter twórczy. Dysertacja wpisuje się w zakres dyscypliny naukowej „Inżynieria mechanika” o dużych walorach poznawczych i aplikacyjnych z ukierunkowaniem na badania materiałowe charakterystyk mechanicznych struktur kompozytów szklano-epoksydowych poddanych obciążeniom udarowym. Zawarta metodyka badawcza może i powinna być pomocna dla kadry inżynierskiej przy projektowaniu określonych struktur ochronnych w samochodach elektrycznych, w szczególności, jako osłony baterii samochodów elektrycznych.

### 3. Zakres rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Masiewicz została napisana na 142. stronach, wliczając w to wstęp, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis bibliografii, w którym zamieszczono 157 pozycji, z czego 39 pozycji są to strony www, oraz spis rysunków i tabel. Redakcja została wykonana w języku polskim i ujęta została w sześciu rozdziałach. Układ tekstu rozprawy doktorskiej został podzielony na logiczne i przejrzyste rozdziały.

W rozdziale pierwszym Doktoranta skupiła się na ocenie stanu wiedzy z zakresu charakterystyk kompozytów energochłonnych typu EACS (z ang. Energy Absorbing Composite Structures), gdzie wyjaśniła wiele podstawowych pojęć stosowanych do opisu charakteryzujących zdolności absorpcji energii uderzenia w konstrukcjach kompozytowych. Tutaj podkreśliła, że zasadniczymi parametrami przy ocenie energochłonności struktur kompozytowych są wyniki uzyskiwane z badań przy określaniu względnej energii absorpcji (ang. Specific Energy Absorption – SEA), zdolności pochłaniania energii (ang. Energy Absorption – EA) oraz efektywności absorpcji energii (ang. Energy Absorption Efficiency – EAE). W dalszej części analizy stanu wiedzy opisała zasadnicze mechanizmy uszkodzeń kompozytów warstwowych, skupiając uwagę w dużej mierze na konstrukcjach tzw. „sandwich”, mocno akcentując odporność tych konstrukcji na uderzenia (ang. impact resistance). Z punktu realizacji badań w ramach pracy doktorskiej stanowi to zasadniczy problem naukowy do rozwiązania przez Autorkę. Następnie przeszła do oceny możliwości wykorzystania określonej gamy materiałów stosowanych do wytwarzania kompozytów energochłonnych. Wykorzystując odpowiednie techniki badawcze (w pewnym sensie wzorując się na metodzie logicznego przybliżenia, czy metodologii Optimal Design for Six Sigma) syntetycznie dokonała oceny wykorzystania takich materiałów kompozytowych, które będą spełniać kryteria wysokiej wytrzymałości na obciążenia udarowe przy jednoczesnym zachowaniu niskiego spadku wskaźnika wytrzymałości resztkowej. W końcowej części tego rozdziału omówione zostały także techniki wytwarzania w procesie produkcji kompozytów warstwowych oraz kierunki

zastosowań energochłonnych kompozytów strukturalnych, zwracając uwagę na dynamikę ich wykorzystania w przemyśle motoryzacyjnym i transporcie, zwłaszcza przy produkcji samochodów elektrycznych. Także nie zapomniała wspomnieć o szerokim aspekcie zastosowania materiałów kompozytowych w wytwarzaniu konstrukcji energochłonnych w odniesieniu do redukcji kosztów wytwarzania i produkcji oraz stworzenia w miarę taniego rynku tego asortymentu.

*Drugi rozdział* Autorka poświęciła na analizie metod i technik badawczych w wyniku których definiowane są charakterystyki wytrzymałościowe w zakresie badań statycznych, jak i dynamicznych. Opis metodyki badań udarnościowych odniosła do testów wykorzystujących metodę Charpy'ego, metodę Izoda oraz metodę Dynstat przy uwzględnieniu uderzenia krawędziowego, płaszczyznowego, prostopadłego i uderzenia równoległego. Zaznaczyła, że ważną metodą testowania materiału jest stanowisko z wykorzystaniem młota spadowego. Badania na tym stanowisku pozwalają na określenie mechanizmów uszkodzeń i sposobów pochłaniania energii. Zakres prędkości uderzenia jakim możemy operować w „drop teście” (0-20 m/s) pozwala badaczowi na oszacowaniu wpływu prędkości na zakres uszkodzeń występujących w materiale. Jednocześnie możliwość stosowania różnych kształtów geometrycznych bijaka i otrzymane odpowiedzi materiału na pochłanianie energii uderzenia są pomocne w ocenie odporności materiału i charakterystyk definiowanych względną energią absorpcji. Jest to istotne z punktu projektowania bezpiecznych absorberów energii uderzenia. Z punktu widzenia energochłonności uzyskane wyniki w postaci siły/energii w funkcji czasu/przemieszczenia są istotne w modelowaniu optymalnych elementów ochrony istotnych zespołów pojazdu elektrycznego. Autorka podkreśliła wagę badań wytrzymałościowych na zginanie. Akcentując, że zastosowanie kompozytów strukturalnych jest korzystne w przenoszeniu obciążeń zginających i doskonale sprawdzają się w zastosowaniach narażonych na ścinanie międzywarstwowe lub wyboczenie. Istotnym elementem zaprezentowanym przez Doktorantkę były dynamiczne analizy mechaniczne. Tego typu badania polegają na odzwierciedleniu właściwości mechanicznych materiałów w funkcji czasu, częstotliwości i temperatury. Jak podkreśliła Autorka w kontekście zapewnienia prawidłowego procesu wytwarzania i możliwości testowania wybranych fragmentów konstrukcji w warunkach eksploatacji jest istotnym ogniwem diagnostycznym.

*Rozdział trzeci* odnosi się do celu pracy. Doktorantka w swych rozważaniach naukowych za cel w pracy przyjęła zaprojektowanie i wytworzenie oraz analizę mechanizmów uszkodzeń, charakterystyki wytrzymałościowe szklano–epoksydowego kompozytu warstwowego ze zmodyfikowaną osnową i cienkim, porowatym rdzeniem. Istotą tego celu była idea stworzenia procedury badawczej służącej kompleksowej ocenie charakterystyki wytrzymałościowej i mechanicznej kompozytu do zastosowania w strukturach ochronnych w konstruowanych samochodach elektrycznych. Ze

względu na rozbudowany cel pracy Doktorantka w tym układzie zaproponowała cztery cele cząstkowe, co pozwoliło na niezaburzone i płynne przeprowadzenie określonych czynności badawczych pozwalających osiągnąć cel główny. Zaproponowana mapa drogowa w oparciu o schemat przyjętych badań (Rys. 3.1) została ukierunkowana na dwa zasadnicze punkty tj.: metodykę badania kompozytów warstwowych oraz uzyskane wyniki i ich analizę na podstawie badań mechanicznych.

W *rozdziale czwartym* Doktorantka skoncentrowała uwagę na metodykę badawczą kompozytów warstwowych. W części początkowej rozdziału zostały opisane założenia i warunki testów, jakim zostały poddane badane wytworzone próbki z materiałów kompozytowych. W tym zakresie w dużej mierze odniosła się do badań udarnościowych, które prowadziła na kompozytach jedno- i wielowarstwowych. Autorka odniosła się również do badań próbek ze stopniowanym rdzeniem przeprowadzonych metodą BAI, a także trójpunktowego zginania, tolerancji na uszkodzenia i ściskania krawędziowego, które przeprowadziła w temperaturze pokojowej. Dynamiczną analizę mechaniczną okładziny przeprowadziła w zakresie temperatur od  $-120^{\circ}\text{C}$  do  $+140^{\circ}\text{C}$ . W swoich badaniach zastosowała ograniczenia odniesione do techniki BAI dla kompozytów jednorodzeniowych uzasadniając to niepowodzeniem w teście spadającego ciężaru. Należy nadmienić, że technika badawcza BAI składa się z dwóch etapów testu tj. badań w metodzie spadającego ciężaru i próby trójpunktowego zginania. Na podstawie wstępnych badań materiałowych Doktorantka oszacowała i podała wymagania do wytworzenia próbek kompozytu w układzie wielomateriałowym. W części drugiej prezentowanego rozdziału Autorka opisała metodykę przygotowania materiałów do wytworzenia wielowarstwowej konstrukcji laminatu kompozytowego z rdzeniem XPS. Szczegółowo opisała i scharakteryzowała składniki do wytworzenia osnowy w postaci żywicy epoksydowej oraz jej modyfikacji pod kątem poprawy parametrów mechanicznych. Podała krótki opis wzmocnienia i zaproponowała dwa rodzaje tkanin szklanych oraz zaproponowała materiał na rdzeń konstrukcji typu „sandwich”. W ostateczności Autorka zaproponowała dwa warianty układów materiałowych do dalszych badań. Pierwszy układ materiałowy składał się z jednej warstwy rdzenia XPS, a drugi z trzech warstw rdzenia XPS. Warianty te Autorka podzieliła na grupy, co w ostateczności dało część grup w dwu wariantach, a więc zaproponowała dwanaście kombinacji materiałowych, w których istotnym elementem była modyfikacja osnowy z odpowiednim dodatkiem procentowym poliuretanu (bez modyfikacji, jako próbki referencyjne, 5%, 10%).

W *rozdziale piątym*, mającym zasadniczy wpływ na osiągnięcie rezultatów założonego celu Autorka zaprezentowała wyniki badań eksperymentalnych opracowanych grup materiałowych. W zakresie oceny komponentów przygotowanych próbek do badań dokonała szczegółowej weryfikacji ich wpływu na globalne parametry mechaniczne. Zaprezentowane wykresy fazowe w dynamicznej analizie mechanicznej

badanych kompozytów pozwoliły na formułowanie wniosków, co do proponowanych rozwiązań układów kompozytowych z przeznaczeniem na osłony energochłonne baterii pojazdów elektrycznych. Autorka zaakcentowała, iż na podstawie tych badań mogła dokonać weryfikacji stosowanego modyfikatora żywicy epoksydowej, w zakresie ujemnych i dodatnich temperatur. Pozostałe wyniki zestawione na wykresach np. udarność w funkcji rodzaju kompozytu dały Doktorantce pogląd wpływu rodzaju tkaniny na ilość zabsorbowanej energii uderzenia. Przeprowadzone wielowariantowe testy udarności były pomocne dla Autorki dysertacji w zakresie opisu zakresu uszkodzenia badanych materiałów w całym jego przekroju. Zanim Doktorantka dokonała ostatecznych testów z wykorzystaniem metody BAI do określenia wytrzymałości resztkowej, jako metody ostatecznej weryfikacji materiałów kompozytowych na konstrukcje ochronne wybranych elementów (magazynów baterii) pojazdów elektrycznych to zaprezentowała szereg pośrednich badań. Jednym z takich badań były testy trójpunktowego zginania. Otrzymane wykresy fazowe pozwoliły na wytypowaniu badanych próbek, które przenoszą największe siły obciążenia w zależności od przemieszczenia. Zakres tych badań dał Autorce wiele interesujących wyników, z których jak np. określanie modułu zginania w zależności od rodzaju badanego układu materiałowego, czy wytrzymałości na zginanie, wytrzymałość na ściskanie krawędziowe, wytrzymałość na ścinanie międzywarstwowe materiału kompozytowego stanowią cenną bibliotekę parametrów w ujęciu ilościowym. Zaprezentowane badania i wyniki tych badań z wykorzystaniem stanowiska „drop test” Doktorantka była w stanie dokonać obszernych analiz wyników w zakresie siła/energia w funkcji przemieszczenia/czasu. Tego typu badania są cenne, gdyż na podstawie tych danych można było w stanie dokonać oceny absorpcji energii (EA) jako jednego z podstawowych elementów związanych z identyfikacją rozpraszania energii uderzenia w innowacyjnych konstrukcjach kompozytowych. Ukoronowaniem badań eksperymentalnych i ostatecznym osiągnięciem celu pracy było zaprezentowanie wyników otrzymanych z metody BAI, która na potrzeby pracy doktorskiej została zaadoptowana i zmodyfikowana przez Autorkę. Tutaj należy podkreślić, że metoda BAI w literaturze przedmiotu jest dobrze opisana i ugruntowana. Wkładem Doktorantki było jej modyfikowanie do potrzeb zaproponowanej autorskiej metodyki oceny wytrzymałości resztkowej kompozytu, kluczowego parametru w klasyfikacji wytrzymałości mechanicznej IK.

*Rozdział szósty* Doktorantka poświęciła na krótkie podsumowanie badań eksperymentalnych opisanych w dysertacji, w wyniku których zaprezentowała autorską metodykę doboru i badania materiałów kompozytowych z przeznaczeniem na absorbery energii uderzenia w strukturach ochronnych pojazdów elektrycznych. Jednoznacznie podkreśliła osiągnięcie przyjętego celu oraz w obszernym ujęciu wyeksponowała wnioski wynikające z niniejszej pracy. Zaznaczyła, że nie zawsze

zwiększanie procentowe modyfikatora osnowy w tym przypadku prepolimerem poliuretanowym z zablokowanymi grupami izocyjanianowymi daje właściwe rezultaty. Określiła ten skład procentowy, który na podstawie autorskiej metodyki został oszacowany na poziomie 5% dodatku.

#### 4. Ocena merytoryczna i uwagi

Strona merytoryczna układu pracy została zredagowana prawidłowo. Zaprezentowane badania przez mgr inż. Joannę Masiewicz cechują się dużym ładunkiem nakładu pracy. Opracowanie naukowe jest typowym przedsięwzięciem eksperymentalnym. Doktorantka wybrała „ścieżkę” najbardziej pracochłonną z punktu widzenia identyfikacji parametrów materiałowych odpowiedzialnych za energochłonność nowobudowanych konstrukcji typu „sandwich” w zastosowaniach przemysłu motoryzacyjnego. Autorka słusznie założyła, że opracowanie odpowiednich struktur kompozytowych w układzie wielomateriałowym z przeznaczeniem na elementy obudowy baterii pojazdów elektrycznych muszą spełniać wiele funkcji. Zasadniczą funkcją jest możliwość niedopuszczenia do uszkodzenia baterii w wyniku kolizji drogowej pojazdu elektrycznego, co jest groźne z dużym prawdopodobieństwem eksplozji baterii i powstania pożaru. Inną ważną funkcją jest stworzenie odpowiedniej izolacji termicznej. Również ważne ze względu na eksploatację pojazdu w wysokich temperaturach klimatycznych, co też może prowadzić do zarzewia niekontrolowanego pożaru. Opisana idea opracowania odpowiednich struktur ochronnych na magazyny baterii pojazdów elektrycznych i zaproponowana kompleksowa metodyka badawcza ułatwi przyszłym inżynierom na wytworzenie w miarę bezpiecznych i nisko energochłonnych nakładów w procesie produkcyjnym osłon z dostępnych materiałów kompozytowych. Tutaj Doktorantka „celnie” określiła układ rozprawy doktorskiej rozpoczynając od oceny stanu techniki, przeglądu materiałów kompozytowych i metod badawczych. Jednocześnie przeanalizowała rynek użytkowania pojazdów elektrycznych oraz zagrożenia wynikające z użytkowaniem takiego pojazdu proponując nowatorski i na czasie temat rozprawy doktorskiej. Obszerne analizy badań charakterystyk materiałowych i metod definiujących odporność udarową takich układów materiałowych pozwoliło Doktorantce na wprowadzenie wiele korekt a także na opracowanie autorskiej metodyki badawczej do oceny kompozytów pełniących funkcję materiałów pochłaniających energię uderzenia oraz innych obciążeń działających na obiekt z wielowymiarowym odzwierciedleniem warunków eksploatacyjnych pojazdów elektrycznych.

Zaprezentowana metodyka badawcza pozwoliła Autorce na zrealizowanie celu głównego rozprawy oraz istotnych osiągnięć, do których należy zaliczyć:

- 1) Istotny dobór tematu i kierunek badań, którego potrzeba została wygenerowana przez czynniki zewnętrzne wpływające na jej zainteresowania.



- 2) Opracowanie autorskiej oryginalnej metodyki badań materiałowych kompozytów w wielomateriałowym układzie.
- 3) Zaprojektowanie i wytworzenie odpowiednich laminatów szklano-epoksydowych z rdzeniem XPS.
- 4) Opracowanie planu eksperymentu w ramach badań statycznych i dynamicznych przy uwzględnieniu możliwości zaplecza badawczego jednostki naukowej.
- 5) Dostosowanie stanowisk badawczych i ich adaptacja na potrzeby pracy naukowej ze szczególnym uwzględnieniem modyfikowania narzędzi badawczych do przeprowadzenia testów metodą BAI.
- 6) Przedmiotową i merytoryczną identyfikację parametrów właściwości mechanicznych, wytrzymałościowych w zróżnicowanym środowisku temperaturowym oraz charakterystykę dynamicznych badanych próbek materiałowych typu „sandwich”.
- 7) Umiejętne optymalizowanie składów chemicznych modyfikowania osnowy zasadniczego składnika laminatu kompozytowego i optymalizacja geometryczna proponowanej konstrukcji kompozytowej funkcji jej gęstości.
- 8) Umiejętne posługiwanie się przez Doktorantkę narzędziami i metodami projektowymi do wytwarzania wielowarstwowych struktur kompozytowych charakteryzujących się dużą energochłonnością i odpowiednim współczynnikiem wytrzymałości resztkowej.
- 9) Bogaty dobór rysunków i zestawień uzyskanych wyników w postaci odpowiednich wykresów i tabel w ujęciu jakościowym i ilościowym.
- 10) Aplikacyjność uzyskanych wyników pracy w odniesieniu do potrzeb poszukiwania efektywnych struktur ochronnych wybranych elementów pojazdów elektrycznych (np. magazyny baterii litowo–niklowo–kobaltowych).

Opisane w rozprawie doktorskiej oryginalne badania naukowe, wskazują na właściwą znajomość problematyki związanej z zagadnieniami projektowania, modyfikowania i wytwarzania kompozytów warstwowych. Modelowania i ich właściwości mechaniczne poprzez modyfikowanie wybranych komponentów oraz opracowanie odpowiednich metod są punktem wyjścia do opracowania metodyki badań materiałów kompozytowych w zastosowaniach ich jako struktury ochronne w pojazdach elektrycznych.

Przedstawiony teren i obszar badań jest interesujący poznawczo i ważny ze względu na możliwość wykorzystania rezultatów pracy w praktyce. Obszerność opracowania naukowego świadczy o dużej dojrzałości naukowej Autorki, jej samodzielności w generowaniu problemu i celu naukowego oraz rozwiązywaniu w sposób logiczny i kompleksowy, aż do wyciągania konstruktywnych wniosków z proponowaniem określonego rozwiązania.

Po zapoznaniu się z treścią dysertacji przedłożonej do recenzji, należy zwrócić

uwagę na wątpliwości i kwestie dyskusyjne, do których Doktorantka powinna się ustosunkować:

- 1) Autorka na s. 17 i 112 w wyjaśnieniu składowych równania (2) i (10)  $dI$  określa, jako przemieszczenie. Tutaj ten składnik powinien być inaczej określony. Proszę o komentarz.
- 2) Doktorantka na s. 21 sztywność przy zginaniu opisuje parametrem  $EI$ . Podaje, że  $I$  to drugi moment powierzchni. W mechanice/wytrzymałości materiałów takim oznaczeniem jest moment bezwładności. Opis tutaj jest niezrozumiały.
- 3) Na s. 26 w akapicie Wzory (5-8) są zapisami (...) jest enigmatyczny. Co Autorka tutaj miał na myśli?
- 4) Na s. 32 w drugim akapicie zostało użyte stwierdzenie (...) na maksymalnym obniżeniu ciężaru kompozytu oraz dążeniu (...). Proszę o ustosunkowanie się do tego stwierdzenia.
- 5) Na s. 65 w akapicie absorpcji energii o ok. 7,1%, jednak kompozyt musi uwzględniać wymagania (...). Proszę o rozwinięcie tej sentencji.
- 6) Zaprezentowany rysunek pogładowy (Rys. 2.9) s.71, w którym wprowadzono oznaczenia nie koreluje z formułą (9). Wypada dokonać modyfikacji tej formuły do oznaczeń schematu. Co o tym sądzi Autorka?
- 7) Na s. 76 Doktorantka w akapicie opisuje (...) badania DMA do pomiarów zdolności tłumienia ( $\tan \delta$ ) oraz (...). Nie bardzo wiadomo o co tutaj chodzi.
- 8) Zaprezentowane wykresy słupkowe z „wąsami” jako rozstęp kwartylny powinny mieć w legendach zadeklarowane odchylenie standardowe.
- 9) Na Rys. 5.7 Autorka użyła sformułowania siła standardowa. Proszę o komentarz. Tutaj także zwracam uwagę na podpis osi poziomej, gdzie nie powinno być jednostki tylko [-].
- 10) Według Autorki: czy wskazane byłoby dołożyć linie trendu do niektórych wykresów słupkowych (Rys. 5.9, 5.10 i 5.11)?
- 11) Na s. 109 Doktorantka w akapicie (...) kompozytu 5PU250GF3XPS wskazuje na sprężyste zachowanie kompozytu podczas uderzenia impaktora (...). Proszę o komentarz.
- 12) Na s. 117 w akapicie (...) potwierdzając wnioski innych badań, że 10% udział poliuretanu jest za duży i przyczynia się do pogorszenia właściwości. Z jakich innych badań?
- 13) Na s. 124 w akapicie (..) ślad punktowego uderzenia impaktora i liniowe pęknięcia promieniujące w dwóch kierunkach. Co na myśli miała Doktorantka?
- 14) Na s. 124 w akapicie (...) wyniosła wartość 69 N przy odkształceniu przewyższającym trzykrotnie grubość (...). Proszę wyjaśnić sens tego zdania.
- 15) Dlaczego Doktorantka wybrała modyfikację osnowy z 5% i 10%, skoro odwołuje się do zakresu tej modyfikacji w przedziale 0-20% ?

- 16) Czym Autorka kierowała się do wytypowania określonych grubości rdzenia skoro na s. 81 przytacza odwołania do innych prac definiujących ten parametr? W pracy brak jest uzasadnienia.

## 5. Ocena redakcyjna

Język pracy jest w miarę poprawny, niemniej czasami prosty w swych sformułowaniach do tego stopnia, że niektóre określenia stanowią tzw. kolokwializmy, które w tym przypadku raczej wpływają na pozytywny przekaz zawartych informacji. Zastosowane skróty myślowe lub górnolotne sformułowania, podobieństwa oraz pewne fragmenty zapisów hermetycznych utrudniają właściwy odbiór treści. Recenzent stwierdza, że w pracy zabrakło podsumowań niektórych rozdziałów. W tym przypadku zasadnym byłoby po ocenie przeglądu literatury zamieścić krótki podrozdział podsumowujący stan wiedzy. Szczególnie zasadnym byłoby ująć takie podrozdziały w rozdziałach czwartym i piątym. Rozdział trzeci winien być rozszerzony w tytule także o zakres pracy, gdyż Doktorantka w ujęciu określonego schematu ujmuje zakres postępowania do zrealizowania zamierzonego celu rozprawy. Recenzent także nie rozumie dlaczego Autorka ostatni rozdział zatytułowała tylko jako wnioski. Wiadomo, że praca składa się z wstępu i zakończenia oraz zasadniczych rozdziałów. W metodologii jasno jest sprecyzowana konstrukcja takiego zakończenia. Podsumowując drobne uwagi i błędy redakcyjne zostały zaznaczone w tekście pracy i przekazane Autorce, natomiast uwagi dyskusyjne zostały przytoczone poniżej:

- 1) Zapis wzorów matematycznych (np. równanie 5) powinien być zgodny z ogólnymi wymaganiami określonymi w normie ISO.
- 2) Użycie pojęcie (...) kewlarowym (s.45). Kewlar jest nazwą handlową i należało tutaj użyć słowa włókien aramidowych.
- 3) Na s. 81 w akapicie (...) temperaturze pokojowej. Analizy tej nie zastosowano dla (...). Zasadnym było użyć słowa Wprowadzono ograniczenia (...).
- 4) Wskazane byłoby wprowadzenie skali na rysunkach (Rys. 5.21, 5.22) celem możliwości oszacowania zaznaczonego regionu uszkodzenia na warstwie kompozytu przez Autorkę.

## 6. Ocena końcowa

W końcowej ocenie wartości poznawczej i aplikacyjnej recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny Masiewicz pt. ***Ocena właściwości mechanicznych polimerowych kompozytów warstwowych do wytwarzania struktur ochronnych w samochodach elektrycznych*** uważam, że jej treść wpisuje się w czynności związane z techniką wytwarzania i niezawodności wybranych elementów konstrukcyjnych poddanych różnym formom obciążeń mechanicznych w zakresie badań wytrzymałości kompozytów konstrukcyjnych. Autorka zaprezentowała obszerny

materiał z analiz doboru materiałów na wielomateriałowy kompozyt typu „sandwich”. Opisała przebieg badań eksperymentalnych z „bogatymi” wykresami, rysunkami i tabelami z zakresu autorskiej metodyki otrzymania materiału warstwowego z modyfikowaną chemicznie osnową stanowiącą element nowości, jako czynnik kształtujący właściwości pochłaniania energii uderzenia w ujęciu metody badawczej opartej na ocenie wytrzymałości resztkowej tego materiału.

Doktorantka wykazała się umiejętnością właściwego doboru materiału, metod i narzędzi badawczych, oraz umiejętnością krytycznej analizy i dyskusji uzyskanych wyników. Mimo drobnych potknięć zawartych w ocenie redakcyjnej, które mają jedynie charakter korektorski oraz pewnych uwag w ocenie merytorycznej stanowiących podstawę do dyskusji na obronie, nie pomniejsza to mojej wysokiej oceny osiągnięć Autorki opracowania.

Reasumując Doktorantka udowodniła swoją dojrzałość naukową i jako młody naukowiec jest w stanie podjąć się wyzwań, które według mojej opinii będą kończyć się sukcesami. Oceniając sylwetkę Autorki dysertacji podkreślam, że jest ona osobą aktywną. Podczas studiów doktoranckich była współautorem 9. publikacji naukowych, z czego 2 artykuły są rejestrowane w bazie JCR o łącznym IF 4.748 w roku publikacji. Ponadto legitymuje się 4. wystąpieniami na konferencjach naukowych o zasięgu międzynarodowym i udziałem w 4. konferencjach z udziałem posterowym o zasięgu krajowym. Autorka dysertacji wykazała również aktywność w realizacji uczelnianych prac badawczych Uniwersytetu Techniczno-Humanistycznego im. Kazimierza Puławskiego (członek zespołu) oraz Lotniczej Akademii Wojskowej (kierownik i członek zespołu). Ze wstępnego rozeznania tematyki tych prac wynika, że ich realizacja była pomocna przy przygotowaniu rękopisu pracy doktorskiej. W tym zakresie Doktorantka spełnia wymagania ustawowe (art. 186.1 pkt 3 lit. a Ustawy).

Biorąc powyższe pod uwagę, Recenzent stwierdza, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Joanny Masiewicz spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2021 poz. 478 ze zm.) i wnioskuje do Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” w Uniwersytecie Radomskim im. Kazimierza Puławskiego o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

