

Dr hab. inż. Aneta Krzyżak, prof. AMW  
Wydział Mechaniczno-Elektryczny  
Akademia Marynarki Wojennej

### **Recenzja rozprawy doktorskiej**

mgr inż. Patryka Suronia pod tytułem „Kształtowanie właściwości eksploatacyjnych  
hybrydowych nanokompozytów epoksydowych do zastosowań w inżynierii  
mechanicznej”

#### **1. Podstawa opracowania**

Recenzję sporządzono na podstawie zlecenia Rektora Uniwersytetu Radomskiego prof. dr hab. Sławomira Bukowskiego, pismo nr PK-042/18/25-2/dr-r/2026 z dnia 04 maja 2026 r. Na stronie tytułowej rozprawy doktorskiej wskazano dyscyplinę naukową inżynieria mechaniczna. Rozprawa doktorska mgr inż. Patryka Suronia nosi tytuł „Kształtowanie właściwości eksploatacyjnych hybrydowych nanokompozytów epoksydowych do zastosowań w inżynierii mechanicznej” i została wykonana pod opieką promotora dr hab. inż. Anity Białkowskiej, prof. UR.

#### **2. Doświadczenie doktoranta**

Mgr inż. Patryk Suroń tytuł magistra inżyniera uzyskał w dniu 27.04.2018 roku w Wydziale Materiałoznawstwa, Technologii i Wzornictwa Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. K. Pułaskiego w Radomiu. Do tej pory nie ubiegał się o stopień naukowy doktora. Po ukończeniu studiów w zakresie technologii chemicznej, chemia i technologia polimerów, a następnie po uzyskaniu tytułu magistra podjął studia doktoranckie III stopnia w dyscyplinie inżynieria mechaniczna w Uniwersytecie Technologiczno-Humanistycznym im. K. Pułaskiego w Radomiu. Równolegle w tym samym roku podjął pracę w PPHU Bochemia Grzegorz Bąba, gdzie zajmował kolejno stanowiska: laborant działu kontroli jakości, specjalista produkcji półtechnicznej klejów i laminacji, technolog działu R&D. Aktualnie zajmuje się opracowywaniem i doskonaleniem produktów, realizacją projektów badawczo-rozwojowych, wdrażaniem nowych technologii oraz wsparciem procesów produkcyjnych.

Mgr inż. Patryk Suroń, zgodnie z informacjami podanymi w rozprawie doktorskiej, a także w systemach ORCID oraz SCOPUS jest współautorem 4 publikacji, w tym jednej indeksowanej na liście WoS. Był uczestnikiem dwóch konferencji. Liczba cytowań wg SCOPUS wynosi 6, co przy dwóch dokumentach zarejestrowanych w systemie daje indeks Hirscha równy 2.

#### **3. Ocena układu rozprawy doktorskiej**

Rozprawa doktorska zawiera stronę tytułową, podziękowania, streszczenia w języku polskim oraz angielskim, spis treści, wykaz skrótów, dziesięć rozdziałów, w tym wstęp i literaturę, wykaz dorobku naukowego oraz spisy tabel i rysunków, co razem obejmuje 267 stron maszynopisu. W pracy znajduje się 88 ponumerowanych rysunków oraz 20 ponumerowanych tabel. Literatura obejmuje 327 pozycji i w większości zawiera publikacje z ostatnich dwudziestu lat.

Układ rozprawy oceniam jako logiczny, kompletny i zasadniczo zgodny z przyjętymi standardami prac o charakterze eksperymentalnym w obszarze inżynierii mechanicznej. Można wyodrębnić trzy działy zawierające:

- 1) obszerną analizę literatury,
- 2) opis badań eksperymentalnych, podzielonych na badania wstępne oraz badania zasadnicze zakończone podsumowaniem,
- 3) dodatkowe badania zużycia ściernego oraz symulacje numeryczne.

Rozprawa zawiera rozbudowany przegląd literatury dotyczący materiałów kompozytowych, kompozytów polimerowych i epoksydowych, wybranych właściwości mechanicznych i termicznych oraz metod projektowania eksperymentu. Część eksperymentalna obejmuje opis materiałów użytych do badań, metod wytwarzania kompozytów binarnych i hybrydowych, metod badawczych oraz analizę wyników badań. Wartościowa jest sekwencja badań prowadząca od układów binarnych, poprzez dobór parametrów przygotowania kompozycji, aż po układy hybrydowe, w których oceniano możliwość wystąpienia efektu synergii. **Układ pracy jest spójny z przyjętą koncepcją badawczą.**

#### **4. Ocena zastosowanego piśmiennictwa**

Liczba cytowanych pozycji literaturowych jest obszerna, co zostało umiejętnie przedstawione w opisie stanu wiedzy. **Świadczy to o dobrym rozeznaniu doktoranta w tematyce pracy.** Dość dokładnie omówiono informacje z zakresu: materiałów kompozytowych, żywic epoksydowych, mechaniki pękania, nanokompozytów polimerowych, nanonapełniaczy węglowych, montmorylonitów, układów epoksydowo-poliuretanowych oraz kompozytów hybrydowych. Bibliografia obejmuje również prace poświęcone projektowaniu eksperymentu, co jest istotne w kontekście zastosowania metod statystycznych w rozprawie. Przegląd literatury jest miejscami nadmiernie rozbudowany i ma charakter podręcznikowy. Przykładem jest bardzo obszerne omówienie historii oraz klasyfikacji kompozytów, w tym długie fragmenty dotyczące kompozytów metalowych i ceramicznych, które tylko pośrednio wiążą się z zasadniczym problemem rozprawy dotyczącym nanokompozytów epoksydowych. Doktorant, pomimo szczegółowego opisu światowego stanu wiedzy, nie wskazał w sposób bezpośredni, dlaczego na ich tle, jego badania są ważne i nowatorskie. Analiza literatury nie zawiera podsumowania, które mogłoby jednoznacznie podkreślić inne podejście eksperymentalne, nowe zastosowanie wybranych kompozytów, uszczegółowienie istniejących wyników badań, czy też wskazania podstawy przyjętych wartości czynników zmiennych w planie eksperymentu. Jest tylko ogólne stwierdzenie o ciągłej potrzebie rozwijania badań, co jest oczywiście słuszne w szeroko rozumianym kontekście prowadzenia badań naukowych.

Istnieje silna korelacja pomiędzy omówioną literaturą a przeprowadzonymi badaniami własnymi doktoranta. Dotyczy to zarówno zastosowanych materiałów, jak i technik badawczych. Przykładem jest omówienie kruchości żywic epoksydowych oraz potrzeby poprawy ich odporności na pękanie i udarność, co następnie znajduje bezpośrednie odzwierciedlenie w badaniach współczynnika  $K_{IC}$ , udarności i trójpunktowego zginania. Innym przykładem jest opis roli montmorylonitów i nanorurek węglowych w poprawie stabilności termicznej i przewodnictwa materiałów jest powiązany z częścią doświadczalną dotyczącą Nanomeru I.28E, Cloisite Na<sup>+</sup> i CNT. Taka

silna korelacja pozwala na formułowanie wniosków, z których wyraźnie można by było podkreślić oryginalność uzyskanych wyników, czego mi w rozprawie brakuje.

## 5. Ocena celu rozprawy

W pracy wskazano główny cel pracy jako „przedstawienie sposobu kształtowania właściwości eksploatacyjnych (mechanicznych, termicznych) epoksydowych nanokompozytów hybrydowych poprzez dobór składu i metodyki ich wytwarzania warunkujących uzyskanie pożądaných cech funkcjonalnych, mechanicznych i użytkowych wytworzonych materiałów mających zastosowanie w różnych dziedzinach inżynierii mechanicznej”. Zaś celem naukowym było „określenie mechanizmu oddziaływania integralnych składników kompozycji warunkującego ww. właściwości opracowanych kompozytów”. **Cele zostały sformułowane poprawnie, łączą się ze sobą w zakresie metodyki i zostały osiągnięte**, m.in. poprzez wskazanie modeli matematycznych pozwalających na modelowanie właściwości na etapie projektowania materiału do zastosowania w konkretnej konstrukcji, dla której ważne są takie właściwości jak wytrzymałość na zginanie czy odporność na kruche pękanie.

## 6. Ocena zastosowanych metod badawczych

Zastosowanie sekwencyjności badań jest dobrą strategią realizacji badań eksperymentalnych zmierzających do wybrania najkorzystniejszego rozwiązania. Pozwala na eliminację tych eksperymentów, które wprowadzałyby niepotrzebne szумы i zakłócały interpretację wyników. Sekwencyjność jest tutaj rozumiana jako badania wstępne wskazujące na najkorzystniejsze właściwości kompozytów binarnych użytych dalej do skomponowania kompozytów hybrydowych, jak również wskazanie ważnych czynników technologicznych mających wpływ na właściwości kompozytów, a dopiero dalej przeprowadzenie badań opracowanych wcześniej kompozytów hybrydowych i ocena ich właściwości.

Sam dobór technik badawczych należy ocenić pozytywnie. Doktorant zastosował zestaw technik adekwatnych do oceny właściwości nanokompozytów epoksydowych, obejmujący badania mechaniczne, analizę termiczną, charakterystykę struktury i morfologii oraz badania uzupełniające. Właściwości mechaniczne oceniano z wykorzystaniem trójpunktowego zginania, udarności metodą Charpy’ego oraz odporności na propagację pęknięcia wyrażanej współczynnikiem  $K_{IC}$ . Metody te są właściwe dla oceny przydatności materiałów polimerowych i kompozytowych w zastosowaniach konstrukcyjnych oraz eksploatacyjnych. Oczywiście katalog właściwości mechanicznych można by rozszerzyć o wytrzymałość na rozciąganie, co z punktu widzenia wytrzymałościowego ważnego w zastosowaniach inżynierskich, znacznie lepiej oddałoby ocenę zmiany modułu Younga i może pozwoliłoby to na uniknięcie wpadek z terminologią, o czym wspomnę dalej w recenzji. Zastosowanie TGA i DSC umożliwiło ocenę stabilności cieplnej oraz temperaturowego zakresu użytkowania materiałów. FTIR i SEM pozwoliły na interpretację mechanizmów oddziaływania modyfikatorów z matrycą epoksydową oraz na powiązanie zmian właściwości z obserwowaną strukturą kompozytów. Dodatkowym atutem jest wykorzystanie planowania eksperymentu oraz analiz numerycznych w środowisku Ansys.

**Metodykę przyjętą w rozprawie oceniam pozytywnie.**

## 7. Ogólna ocena przedstawionych wyników badań

Badania, patrząc całościowo, przeprowadzono uwzględniając czynniki badawcze stałe: rodzaj osnowy epoksydowej oraz rodzaje materiałów na modyfikatory. Matrycę stanowiła żywica epoksydowa Epidian 52, natomiast modyfikatorami były poliuretan, montmorylonity o różnej postaci oraz nanorurki węglowe CNT. Czynnikiem badawczym zmiennym w odniesieniu do kompozytów binarnych były przede wszystkim rodzaj i ilość pojedynczego modyfikatora, jak również parametry technologiczne łączenia żywicy z modyfikatorami, natomiast w przypadku kompozytów hybrydowych kombinacja dwóch modyfikatorów oraz ich wzajemne proporcje. Z kolei najważniejszymi czynnikami badawczymi wynikowymi były wytrzymałość na zginanie, maksymalne naprężenie zginające, odkształcenie i energia zniszczenia w próbie zginania, udarność, odporność na propagację pęknięcia określana współczynnikiem  $K_{IC}$ , stabilność termiczna, temperatura zeszklenia oraz temperaturowy zakres użytkowania. Dane wyjściowe uzupełniono obserwacjami strukturalnymi i morfologicznymi, w tym analizą FTIR i SEM, a także wynikami badań tarcowych oraz symulacji numerycznych. Taki zestaw parametrów pozwalał ocenić zarówno wpływ pojedynczych modyfikatorów, jak i efekt ich jednoczesnego zastosowania w układach hybrydowych. Doktorant zaobserwował, że wpływ modyfikatorów na właściwości kompozytów binarnych nie jest jednoznaczny i zależy zarówno od rodzaju dodatku, jak i od jego ilości oraz sposobu przygotowania materiału. W pracy wykazano m.in. korzystne działanie 1% CNT.

Najważniejszym wnioskiem z badań jest stwierdzenie, że w wybranych układach hybrydowych możliwe jest uzyskanie efektu synergii, rozumianego jako korzystniejsze kształtowanie właściwości materiału niż w przypadku zastosowania pojedynczego modyfikatora. Duże znaczenie przypisano układom CNT/PU oraz CNT/Nanomer I.28E. Pierwszy z nich można interpretować jako materiał o zwiększonej zdolności do absorpcji energii i poprawionej tolerancji uszkodzeń, natomiast drugi jako układ o korzystniejszej stabilności termicznej i większej przydatności do zastosowań wymagających wyższej sztywności lub nośności. Wnioski z badań są spójne z założeniem rozprawy, zgodnie z którym właściwości eksploatacyjne nanokompozytów epoksydowych mogą być kształtowane przez odpowiedni dobór rodzaju, ilości i kombinacji modyfikatorów.

Uzyskane wyniki nie są ostateczne, co podkreśla doktorant. Bazując zarówno na konkretnych własnych badaniach, jak i możliwościach potencjalnego zastosowania wskazuje na dalsze możliwe kierunki rozwoju swoich badań, co świadczy o dobrym przygotowaniu doktoranta do prowadzenia dalszych badań naukowych. Podsumowując, uzyskane wyniki badań i ich analiza z podziałem na przeprowadzone badania wstępne, zasadnicze i te dodatkowe, pozwalają uznać, że **cele rozprawy zostały zrealizowane**.

## 8. Praktyczne zastosowanie wyników badań

Rozprawa zawiera odniesienia do potencjalnych zastosowań praktycznych opracowanych nanokompozytów. Wskazano, że materiały o podwyższonej odporności na pękanie, udarność i zużycie mogą znaleźć zastosowanie w inżynierii mechanicznej, zwłaszcza w elementach narażonych na obciążenia dynamiczne, tarcie lub umiarkowanie podwyższoną temperaturę. Wskazano propozycje zastosowań w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym, energetycznym oraz w elementach obudów i komponentów maszyn. Badania eksploatacyjne i ich wyniki, do których można zaliczyć przeprowadzone badania wytrzymałości na zginanie, udarności oraz badania tribologiczne wskazują na inżynierskie zastosowania. Na uwagę zasługuje rozróżnienie funkcjonalne dwóch typów

najlepszych materiałów: kompozytu CNT/PU jako materiału o zwiększonej tolerancji uszkodzeń i zdolności do absorpcji energii oraz kompozytu CNT/Nanomer I.28E jako materiału o podwyższonej stabilności termicznej i większej nośności statycznej. Autor słusznie zaznacza, że rzeczywiste wdrożenie tych materiałów wymaga dalszych badań, obejmujących m.in. odporność zmęczeniową i środowiskową, trwałość długoterminową, skalowalność procesu wytwarzania oraz walidację zgodną z wymaganiami branżowymi. Takie ostrożne ujęcie potencjału aplikacyjnego należy uznać za właściwe

## **9. Zauważone nieprawidłowości**

W rozprawie stwierdzam występowanie nieprawidłowości o różnym charakterze. Są to zarówno błędy i nieścisłości, językowe, stylistyczne, edycyjne, terminologiczne, jak i merytoryczne. Przedstawiam tylko część z nich poniżej, a kolejność jest losowa, natomiast obrazują one charakter rozprawy doktorskiej.

1. Zauważalne są tzw. literówki (np. str. 22 „osmowy”, str. 25 „termmoodporność” itd.), błędy interpunkcyjne i błędy gramatyczne. Niekiedy można znaleźć błędy stylistyczne utrudniające rozumienie tekstu np. str. 121 „Projekt eksperymentów jest ustanowienie szczegółowego planu...”. Nie są to jednak błędy na tyle znaczące, żeby bardzo utrudniały rozumienie treści rozprawy, zatem nie będę przytaczać dalszych przykładów.

2. Można znaleźć również niespójności w stosowaniu skrótów, które zostały zdefiniowane na początku rozprawy. Niekonsekwencję widać szczególnie w odniesieniu do skrótu PU zamiennie stosowanego z PUR.

3. Zamiennie stosowano również pojęcie „trybologiczne” oraz „tribologiczne”. W dzisiejszym języku polskim zaciera się wiele definicji, ale w pracy naukowej ważne jest nie tylko utrzymywanie definicji w ryzach, ale również konsekwentne stosowanie przyjętych oznaczeń.

4. Rysunki i tabele nie są przywołane w tekście, co powoduje, że sformułowania typu „jak można zauważyć” nie są właściwe, ponieważ nie wiadomo, czy to się odnosi do rysunku powyżej, czy do tego poniżej. Dopiero wczytanie się w tekst i porównanie z oboma rysunkami wskazuje właściwą grafikę. Przesunęły się podpisy kilku rysunków, co spowodowało, że rysunek jest na innej stronie niż jego podpis.

5. W pracy zwraca uwagę niekonsekwentne stosowanie terminologii właściwej dla różnych rodzajów badań mechanicznych. Jeżeli badanie dotyczy trójpunktowego zginania, bardziej poprawne jest posługiwanie się określeniami takimi jak „naprężenie zginające”, „maksymalne naprężenie przy zginaniu”, „wytrzymałość na zginanie”, „odkształcenie przy zginaniu”, „ugięcie”, „strzałka ugięcia” lub „energia zniszczenia w próbie zginania”. Sformułowania „naprężenie przy zerwaniu”, „energia zerwania” i „wydłużenie” używane niemal konsekwentnie na wielu stronach rozprawy przy omawianiu wytrzymałości na zginanie są typowe dla próby rozciągania, zatem jednoosiowego działania sił. Podczas zginania trójpunktowego mamy do czynienia z trzema siłami nie znajdującymi się w jednej linii, co powoduje zupełnie innego rodzaju odkształcenie. Co prawda podczas klasycznego zginania trójpunktowego występuje rozciąganie, lecz występuje ono tylko w tej części próbki, która znajduje się po jednej ze stron warstwy obojętnej. Po drugiej jest ściskanie. W mojej ocenie jest to znaczący błąd terminologiczny, który może mieć przełożenie na rozumienie mechanizmów zachodzących zjawisk. Na tym tle inny charakter informacyjny niesie wartość modułu E. Moduł E wyznaczany podczas próby zginania nie jest współczynnikiem jasno charakteryzującym materiał, szczególnie taki, który jest materiałem kruchym, i który

wykazuje zazwyczaj większą wytrzymałość na ściskanie niż na rozciąganie, a takie materiały są analizowane w rozprawie. Nieprawidłowe używanie tej terminologii, mocno utrudniało zrozumienie tekstu. Jednak w dalszej części rozprawy sytuacja się nieco poprawiła i zaczęły pojawiać się właściwe określenia.

6. Na stronie 126 podano konkretne wartości ilości użytych modyfikatorów. Dlaczego takie, a nie inne są te wartości? Czy jest jakieś uzasadnienie naukowe? Wcześniejsze badania, o których nie wspomniano, analiza literatury, własne przemyślenia?

7. Na stronach 72-75 w odniesieniu do średnicy kulek szklanych użyto zapewne błędnej jednostki, bowiem określono ją w „mm”. Według mnie powinno tam być „ $\mu\text{m}$ ”.

8. W kilku miejscach np. na stronie 191 i 192 nie do końca w sposób właściwy użyto pojęcie „istotności”, co zresztą wprowadziło błędne rozumowanie. Jeśli wykazano, że jakiś czynnik nie jest istotny, to dlaczego później jest to w ogóle przedmiotem rozważań w kierunku ustalenia najkorzystniejszego składu kompozycji? Na tych przykładowych konkretnych stronach napisano „...oddziaływanie między czasem mieszania, a ilością modyfikatora nie jest statystycznie istotny dla współczynnika Kc.”. Zaś dwa zdania dalej „Wyniki pozostałych przebadanych właściwości, czyli energia zerwania Kc, naprężenia i energii podczas zniszczenia dla trójpunktowego zginania również nie wykazują istotnych statystycznie wyników.”. Tak przedstawione rozumowanie generuje między innymi takie pytania:

- a) Jakiego rodzaju czynniki badawcze były poddane ocenie istotności statystycznej, czy chodziło o czynniki zmienne, czy wynikowe? Pierwsze przytoczone zdanie sugeruje czynniki zmienne, drugie wynikowe, skąd zatem to porównanie, na co wskazuje łącznik „również”? Tych czynników nie można zrównywać w analizie, ponieważ zmiennymi „dyrygujemy” zmieniając ich wartości i oczekujemy na odpowiedź układu, o czym nas informują te drugie, czyli czynniki wynikowe.
- b) Jaka w związku z tym jest zasadność prowadzenia w ogóle badań udarności i zginania trójpunktowego, skoro nie jest to statystycznie istotne? W mojej ocenie oznaczenie istotności prowadzi się głównie po to, żeby z modelu matematycznego wyeliminować szumy, czyli takie czynniki zmienne, które mają znikomy wpływ na badany układ.
- c) dlaczego nie zastosowano metod analizy wariancji, co pozwoliłoby jednoznacznie wskazać istotność czynników badawczych zmiennych?

9. Przy wielu badaniach nie wskazano jak liczna była próba, z której wyliczono wartości średnie. Im większa próba, tym większe prawdopodobieństwo, że wyniki są miarodajne i możliwe do oceny statystycznej. Nie sprawdzono również, czy wyniki mieszczą się w rozkładzie normalnym, co determinowałoby zastosowanie konkretnych metod statystycznych.

10. Na stronie 158 pojawiła się nowa ilość modyfikatora Nanomeru I.28E, tj. 0,5%. Dlaczego została wprowadzona taka wartość, i dlaczego wcześniej nie była rozpatrywana?

11. Nie do końca są jasne przesłanki wyboru, jako najlepszej, CNT w ilości 1% (str. 179). Dlaczego nie 0,5%? Kompozyty z mniejszą ilością CNT, zgodnie z przedstawionymi danymi charakteryzują się większą udarnością i większą wytrzymałością na zginanie.

12. Opis planu eksperymentu zawarty w rozdziale 6.1 jest trudny do zrozumienia. Oczywiście jest, że doktorant doskonale wiedział, co wykonał i dlaczego w tej, a nie innej kolejności. Nie mniej jednak, sposób opisu, niezręczności stylistyczne, przeskoki myślowe, przywoływanie przyszłości (tego, co jest opisane później) a na tym etapie zupełnie nie znane, wspomnianie o czymś, co jak się później okazało nie zostało

wykonane (np. proces utwardzania kompozytu kojarzony z czasem żelowania, temperaturą itd.), raz rozpatrywanie np. wilgotności, jako czynnika wpływającego na wyniki, a później jego marginalizowanie, to wszystko powoduje, że jest znaczący problem z wytonieniem logicznego ciągu. Po analizie tego rozdziału miałam inne wyobrażenie o przeprowadzanych badaniach, niż to później wynikało z opisu badań. Na korzyść przemawia fakt, że późniejszy opis wyników badań, jako całość, był już logiczny i spójny.

13. Nazwy rozdziału 6 „Metodyka badań kompozytów epoksydowych” oraz podrozdziału 6.3. „Metodyka badań” są tożsame.

14. MPa nie jest jednostką siły (str. 132). W tym samym miejscu: moduł zginania nie ma prędkości. Te dwa błędy wynikają zapewne z dosłownego przeniesienia nomenklatury z oprogramowania maszyny wytrzymałościowej. Jeśli tak, to przy „prędkości modułu” należy podać również zakres obciążenia lub odkształcenia w jakim moduł był wyznaczany.

15. Podrozdział 6.4. Opis otrzymywania kompozytów nie jest zbyt czytelny. Po pierwsze, podobnie, jak przy planie eksperymentu, i tutaj są liczne tzw. przeskoki myślowe. Po drugie, brakuje czasami jednoznacznych informacji o parametrach technologicznych, np. prędkości obrotowej mieszadła. Dopiero dalej się okazuje, że to mieszanie ręczne. Inne przykłady: 1) dlaczego 8 godzin trwa mieszanie ultradźwiękowe? 2) o jaki rodzaj udziału procentowego poliuretanu od 0 do 15% chodzi? Masowy czy objętościowy? 3) Dlaczego maksymalna amplituda mieszania 270  $\mu\text{m}$  a nie np. 260  $\mu\text{m}$ ? 4) Jaką miała temperaturę mieszanina, skoro musiano ją chłodzić i jak to wykonano?

16. Na stronach 126, 130 oraz 137 powtórzono ten sam akapit.

17. Wielokrotnie użyto słowa „optymalny” w różnych odmianach gramatycznych. W inżynierii mechanicznej stosuje się je po wykonaniu odpowiednich analiz opartych, w ogólnym rozumieniu, na wyznaczeniu funkcji celu i ostatecznym ustaleniu konkretnych wartości czynników zmiennych wskazujących na najbardziej korzystne wartości wynikowe w zadanych warunkach. Proszę w przyszłości wykazać większą wrażliwość na stosowanie tego słowa.

18. Niestandardowo, rozdział 9 zawierający badania procesu tarcia i symulację zginania i procesu propagacji pęknięć, umieszczono już za wnioskami końcowymi. Korzystniejsze byłoby umieszczenie tego rozdziału w ciągu wydarzeń, przed wnioskami, co byłoby też zgodne z opisem planu eksperymentu.

## **10. Opinia o oryginalności rozwiązania problemu naukowego**

Jak wspomniano w ocenie analizy literatury, w rozprawie nie ma jasnego wyводу wskazującego na nowatorskość przyjętego rozwiązania bądź wyników.

Dodatkowo analizując dorobek naukowy doktoranta, można zauważyć, że opublikowano już znaczną część wyników badań znajdujących się w rozprawie. W dwóch artykułach znajdujących się w bazie SCOPUS przedstawiono wyniki badań udarności, wytrzymałości na zginanie oraz struktury kompozytów, przy czym w jednym dotyczy to kompozytu hybrydowego 0,5% Nanomer/1% CNT + PU a w drugim kompozytów hybrydowych z PU ale z innymi kompozytami bazowymi, tj, z żywicą epoksydową i nanoglinkami Cloisite Na<sup>+</sup> oraz Nanomer I.28E. Wszystkie te materiały są omówione w rozprawie. Nie mniej jednak w rozprawie jest więcej rodzajów kompozytów i więcej badań, szczególnie tych w zakresie właściwości tribologicznych oraz modelowania matematycznego właściwości. Niestety ponieważ artykuły są wieloautorskie, a doktorant jest głównym współautorem jednego z nich, pojawia się pytanie o szacowaną wielkość

wkładu własnego doktoranta, a szczególnie zakresu merytorycznego. Ponieważ są one silnie powiązane z przedstawioną rozprawą doktorską przyjmuję, że doktorant jest głównym wiodącym badaczem i w jego gestii leżało opracowanie metodyki, przeprowadzenie większości badań oraz analiza otrzymanych wyników badań. Można uznać, że wskazane publikacje stanowią częściowe upowszechnienie wyników badań objętych rozprawą doktorską albo wyników bezpośrednio z nią związanych. Jest to okoliczność pozytywna, ponieważ potwierdza, że zasadnicze rezultaty badań zostały poddane zewnętrznej ocenie recenzenckiej i zostały ocenione pozytywnie, co pozwoliło na ich opublikowanie w czasopiśmie naukowych. Należy jednak zaznaczyć, że zbieżność tematyczna artykułów z rozprawą wskazuje na obowiązek jasnego wykazania w pracy doktorskiej, które wyniki są oryginalnym wkładem doktoranta, które zostały już opublikowane, a które stanowią rozwinięcie lub uzupełnienie wcześniejszych publikacji współautorskich. Nie mniej jednak, w związku z powyższym **oceniam, że rozprawa doktorska zawiera elementy nowości wystarczające do pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej**. Oryginalność rozprawy polega przede wszystkim na szerszym, całościowym i systematycznym ujęciu problemu: zestawieniu wyników dla kompozytów binarnych i hybrydowych, porównaniu różnych modyfikatorów w tej samej matrycy epoksydowej, analizie wpływu składu i sposobu ich przygotowania na właściwości wytworzonych kompozytów oraz próbie identyfikacji efektów synergicznych w wybranych układach.

## 11. Konkluzja

Rozprawa doktorska mgr. inż. Patryka Suronia stanowi obszerne opracowanie w zakresie kształtowania właściwości hybrydowych nanokompozytów epoksydowych. Doktorant wykazał się znajomością problematyki materiałów kompozytowych oraz umiejętnością zaplanowania i przeprowadzenia szerokiego programu badań eksperymentalnych z użyciem metod planowania doświadczeń i opartych na ogólnie rozumianych właściwościach determinujących zastosowanie tych kompozytów w konstrukcjach mechanicznych. Rozprawa jest wymiernym wkładem w rozwój kompozytów hybrydowych stosowanych w inżynierii mechanicznej w kontekście modelowania ich właściwości pod kątem zastosowania z uwzględnieniem oczekiwanych właściwości mechanicznych.

**Stwierdzam, że rozprawa doktorska reprezentuje ogólną wiedzę teoretyczną doktoranta w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Doktorant wykazał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.**

W mojej ocenie przedstawiona do recenzji rozprawa mgr inż. Patryka Suronia pod tytułem „Kształtowanie właściwości eksploatacyjnych hybrydowych nanokompozytów epoksydowych do zastosowań w inżynierii mechanicznej” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

**Rozprawa doktorska spełnia wymagania przewidziane w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024 r poz. 1571 z późn zm.).**

Wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Patryka Suronia do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.