

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr. inż. Martynty Roszowskiej-Jarosz

„Wpływ modyfikacji osnowy na wybrane właściwości mechaniczne polimerowych kompozytów warstwowych przeznaczonych do budowy elementów bezzałogowych statków powietrznych”

Recenzję wykonano na podstawie zlecenia Rektora Uniwersytetu Radomskiego prof. dr. hab. Sławomira Bukowskiego oraz „Umowy o dzieło nr PK-042/34/42-2/dr-r/2024 na wykonanie recenzji w rozprawie doktorskiej” zawartej w dniu 08 lipca 2024 r.

I. Uwagi wstępne

Przedstawiona do recenzji praca obejmuje:

- 189 stron oprawionych w książkę formatu A4,
- 86 ponumerowanych rysunków,
- 27 ponumerowanych tabel,
- bibliografię liczącą 299 ponumerowanych pozycji krajowych i zagranicznych (w tym 1 współautorska pozycję Doktorantki).

Zasadnicza część rozprawy zawarta jest w rozdziałach 1-10. Wstęp rozprawy ma formę wprowadzenia do identyfikacji jej tematyki badawczej oraz wstępnie charakteryzuje materiały kompozytowe, przywołując ich definicje i podział oraz nieco szerzej rozwija opis osnów polimerowych i ich modyfikacji. Podstawowa część rozprawy została zwieńczona wnioskami stanowiącymi podsumowanie podjętego wysiłku badawczego Doktorantki.

Rozprawa została, z pewnymi zastrzeżeniami, napisana poprawnym językiem i spełnia standardy stawiane rozprawom doktorskim. Zwraca jednak uwagę znaczna liczba błędów edytorskich w tekście rozprawy. Układ pracy jest przejrzysty, a podział treści rozprawy na rozdziały i podrozdziały nie budzi większych zastrzeżeń. Terminologia i pojęcia stosowane w pracy są zasadniczo poprawnie zdefiniowane, jednak Autorka nie uniknęła błędów wynikających z tłumaczenia, błędów zamiennego stosowania pojęć waga i masa czy nieprecyzyjnego użycia pojęć z obszaru wytrzymałości materiałów. Materiały graficzne oraz tabele zamieszczone w pracy w większości w sposób właściwy i czytelny przedstawiają rozważania Doktorantki dotyczące badania wpływu modyfikacji osnowy na wybrane

właściwości mechaniczne polimerowych kompozytów warstwowych przeznaczonych do budowy elementów bezzałogowych statków powietrznych.

II. Ocena doboru tematu rozprawy

Współczesne statki powietrzne w tym bezzałogowe są budowane w dużej części z materiałów kompozytowych. Głównym materiałem wykorzystywanym w konstrukcji bezzałogowych statków powietrznych jest kompozyt warstwowy na osnowie polimerowej wzmocniany włóknem węglowym. Tego typu materiały występują zasadniczo w dwóch różniących się strukturalnie postaciach: klasycznych laminatów, w których warstwy włókien wzmocniających umieszczone są w osnowie oraz kompozytów z lekkim, przestrzennym rdzeniem, nazywanych w Polsce kompozytami przekładkowymi. Doktorantka w swojej rozprawie zajmuje się kompozytami przekładkowymi, charakteryzując szczegółowo ich właściwości oraz modyfikując ich budowę, mając celu znalezienia zastosowania dla takich zmodyfikowanych materiałów w budowie bezzałogowych statków powietrznych.

Całkowicie zgadzam się ze stwierdzeniem Doktorantki, że z uwagi na dążenie do zmniejszania masy środków transportu, w tym bezzałogowych statków powietrznych coraz powszechniejsze jest stosowanie modyfikowanych materiałów kompozytowych, które ograniczając ciężar pojazdu, obiektu latającego czy pływającego, umożliwiając zachowanie wymaganej wytrzymałości i bezpieczeństwa tej konstrukcji. Z uwagi na ciągłe poszukiwania nowych materiałów warto poddać analizie wybrane modyfikacje materiałowe tego typu kompozytów. Uważam, że w świetle analizy dostępnej literatury Doktorantka podjęła się istotnego zadania polegającego na ilościowym i jakościowym oszacowaniu wpływu modyfikacji osnowy kompozytu przekładkowego na jego wytrzymałość mechaniczną. **Reasumując, uważam, że podjęcie przez mgr. inż. Martynę Roszowską-Jarosz problematyki oceny wpływu modyfikacji osnowy kompozytu przekładkowego poprzez dodatek poliuretanu w celu utworzenia sieci INP należy uznać za uzasadnione, a sformułowanie tematu rozprawy za poprawne.**

III. Analiza zakresu, celu i treści rozprawy

W przedstawionej do recenzji rozprawie Autorka podjęła się analizy wpływu modyfikacji osnowy polimerowej na wytrzymałość materiałów kompozytowych przekładkowych wielordzeniowych. Z przeprowadzonego przez Doktorantkę przeglądu literatury wynika, że materiały kompozytowe przekładkowe mogą zastąpić klasyczne kompozyty warstwowe wzmocniane włóknem węglowym w budowie bezzałogowych statków powietrznych, jednak niewiele opracowań dotyczy tego typu materiałów z wieloma przekładkami oraz modyfikacjami sieci osnowy. W związku z ciągłym dążeniem do minimalizacji ciężaru statków powietrznych uzasadnione jest poszukiwanie materiałów umożliwiających osiągnięcie tego celu bez

pogorszenia bezpieczeństwa i właściwości eksploatacyjnych samolotów i śmigłowców. We współczesnych konstrukcjach naturalnym wyborem projektantów jest zastąpienie wykorzystywanych materiałów innymi materiałami umożliwiającymi osiągnięcie zamierzonych celów. Problemem zauważonym przez Doktorantkę jest brak informacji na temat możliwości stosowania kompozytów wieloprzekładowych z warstwami pośrednimi i dodatkowo modyfikowaną osnową. Autorka celnie dostrzega, że są to znacznie różniące się od obecnie stosowanych materiałów kompozyty a podstawową różnicę stanowi znacznie niższa masa. Doktorantka jest świadoma, że istnieje dobrze znana grupa kompozytów stosowanych w budowie bezzałogowych statków powietrznych, jednak jak zauważa, istnieje ciągła potrzeba zmniejszania masy tych obiektów latających celem zwiększenia ich możliwości użytkowych i poprawy właściwości eksploatacyjnych.

Ponadto, biorąc za podstawę źródła literaturowe Autorka opisała podstawowe procesy powstawania materiałów kompozytowych warstwowych oraz wpływ czynników związanych z eksploatacją na ich wytrzymałość mechaniczną. Do tych czynników należą m.in. obciążenia udarowe towarzyszące eksploatacji środków transportu, na co Autorka zwróciła szczególną uwagę i w wykonywanych na potrzeby pracy badaniach skupiała się na tym rodzaju obciążeniach. W mojej opinii Autorka przyjęła założenia upraszczające, nie podejmując się analizy wpływu liczby zastosowanych w kompozycie rdzeni na badane właściwości.

Podsumowując, należy stwierdzić, że prawidłowo przeprowadzone przez Autorkę analizy literaturowe wykazały, że materiały kompozytowe przekładowe mogą w niektórych aplikacjach zastępować stosowane dotychczas powszechnie laminaty polimerowe ze wzmocnieniem z włókna węglowego, jednak niezbędna jest szczegółowa wiedza na temat właściwości fizycznych tych materiałów ze szczególnym uwzględnieniem ich właściwości mechanicznych. **Wnioski wynikające z krytycznego przeglądu literatury przeprowadzonego przez Doktorantkę uważam za właściwe.**

Na podstawie analizy stanu zagadnienia Doktorantka sformułowała cel pracy, którym jest, „zaprojektowanie, wytworzenie oraz scharakteryzowanie wybranych właściwości mechanicznych, nowego, polimerowego kompozytu warstwowego, który będzie mógł stanowić alternatywę dla obecnie stosowanych w produkcji BSP materiałów”.

Sformułowany przez Doktorantkę cel badawczy uważam za właściwy.

Zawartość poszczególnych rozdziałów pracy jest powiązana z tytułem rozprawy i stanowi jego rozwinięcie oraz odpowiada sformułowanemu celowi badawczemu.

Wprowadzenie (11 stron) (**Rozdział 1**) stanowi przedstawienie problematyki badawczej podjętej w rozprawie, poprzez prezentację historii materiałów kompozytowych i powodów ich stosowania. Autorka podaje tu definicje kompozytów, wymienia ich podstawowe właściwości oraz prezentuje różne klasyfikacje materiałów kompozytowych. We wprowadzeniu znajdują się również dość szerokie charakterystyki osnowy i wzmocnienia jako dwóch podstawowych

składników kompozytu. Autorka zawiera tu również przesłanki, które skłoniły ją do zajęcia się tematyką materiałów kompozytowych przekładkowych oraz prezentuje założenia przenikających się sieci polimerowych, które zamierza zastosować w nowym materiale kompozytowym. **Obszar badawczy przedstawiony przez Autorkę uważam za aktualny i istotny w kontekście modyfikacji materiałów kompozytowych przekładkowych.**

Rozdział 2 (20 stron) zawiera teoretyczne wprowadzenie do tematyki rozprawy doktorskiej. Autorka skupia się w tym rozdziale na opisie materiałów kompozytowych warstwowych ze szczególnym uwzględnieniem kompozytów przekładkowych. Doktorantka szerzej charakteryzuje właściwości struktur przekładkowych, w których niska masa towarzyszy wysokiej sztywności bardzo pożądanej w wielu konstrukcjach. Autorka zwraca uwagę na problemy eksploatacyjne oraz wady kompozytów przekładkowych oraz poprawnie wymienia i opisuje charakterystyczne uszkodzenia tych materiałów i ich skutki dla właściwości całej struktury. Doktorantka poprawnie zauważa, że materiały przekładkowe cechują się właściwościami energochłonnymi, które są niezwykle istotne, jeśli struktura kompozytowa może być narażona na działanie obciążeń udarowych, co może mieć miejsce w przypadku normalnej eksploatacji środków transportu. Autorka poprawnie zwraca uwagę, że w przypadku transportu ludzi wymagania dotyczące właściwości odporności na obciążenia udarowe nabierają jeszcze większego znaczenia. Doktorantka przedstawia także tryby deformacji materiałów kompozytowych w efekcie wystąpienia obciążenia udarowego, charakteryzując ich formy.

Doktorantka na podstawie analizy literatury dokonała również opisu zastosowań materiałów kompozytowych warstwowych, zwracając uwagę na związek aplikacji materiału ze składnikami z jakich został wykonany. Autorka scharakteryzowała wykorzystanie materiałów kompozytowych w motoryzacji, zwracając szczególną uwagę na zastosowania w nowoczesnych autobusach. Wymieniła również przykłady zastosowań materiałów warstwowych w obiektach pływających. Doktorantka szerzej opisała wykorzystanie materiałów kompozytowych w lotnictwie cywilnym, akcentując istotne w tych aplikacjach właściwości kompozytów oraz przedstawiając ich właściwości i korzyści wynikające z ich użycia.

W końcowej części rozdziału Autorka prezentuje podsumowanie analizy literaturowej, które wg mnie jest zbędne, ponieważ sama analiza literatury jest już formą podsumowania stanu wiedzy w poruszonym temacie.

Rozdział 3 (4 strony) zawiera ogólną charakterystykę bezzałogowych statków powietrznych. Autorka przedstawia stosowane w tej tematyce nazewnictwo oraz wymienia obszary wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych jak również ogólnie omawia budowę podstawowych form BSP i ich podział.

Rozdział 4 (6 stron) przedstawia wpływ składników kompozytu przekładkowego na jego właściwości. Autorka stwierdza, że kompozyty przekładkowe są zazwyczaj zbudowane z warstw wierzchnich czyli okładek i rdzenia, przy czym właściwości tych komponentów znacznie się różnią. Trafnie zauważa, że krytycznym miejscem w tego typu materiałach jest miejsce połączenia warstw i zwraca uwagę, że materiał adhezyjny, który tworzy to połączenie ma kluczowe znaczenie dla wytrzymałości całego kompozytu. Doktorantka poddaje ocenie znaczenie okładek i rdzenia dla właściwości wytrzymałościowych kompozytu przekładkowego i stwierdza, że nie można uwypuklić większego znaczenia któregoś ze składników ze względu na ich różne role w przenoszeniu obciążeń. Autorka przedstawia także wielowarstwowe kompozyty przekładkowe i zauważa, że tego typu materiały oferują większą odporność na uderzenia i sztywność niż klasyczne materiały przekładkowe.

Doktorantka przedstawia także krótko opis wpływu metody wytwarzania kompozytu na jego właściwości mechaniczne. Zwraca przy tym trafnie uwagę, że co prawda metody zaawansowane, takie jak metoda autoklawowa umożliwiają uzyskanie lepszych jakościowo kompozytów, ale znacznie podnoszą koszt wytworzenia elementów kompozytowych.

Rozdział 5 (32 strony) zawiera przegląd badań kompozytów warstwowych. Autorka przedstawia testową piramidę eksperymentalną, której celem jest ograniczenie liczby badań elementów konstrukcyjnych oraz wymienia główne badania wykorzystywane do wyznaczania podstawowych właściwości mechanicznych materiałów kompozytowych. W dalszej części rozdziału Doktorantka dokonuje szczegółowego przeglądu metod badawczych, przy czym w mojej opinii opisy są trudne do zrozumienia ze względu na nierozdzielenie badań klasycznych laminatów od materiałów przekładkowych.

W opisie próby zginania Autorka prezentuje wyniki różnych badań zginania trójpodporowego, omawiając ich wyniki oraz przedstawiając mechanizmy i tryby niszczenia materiałów kompozytowych w trakcie badania. Przedstawiane są wyniki badań materiałów z różnymi rdzeniami, zarówno strukturalnymi jak i jednorodnymi. Autorka zauważa, że często zniszczenie jest inicjowane poprzez delaminację warstw kompozytu polegającą na oddzieleniu rdzenia od okładki – delaminacja następnie rozwija się i następuje pęknięcie rdzenia, po którym występuje oddzielenie rdzenia od drugiej okładki. W tytule krótkiego opisu badania wytrzymałości na ścinanie Autorka nie dodaje, że jest to badanie wytrzymałości na ścinanie międzywarstwowe, co może wprowadzać w błąd. Doktorantka dostrzega trzy charakterystyczne etapy badania kompozytów przekładkowych na ścinanie międzywarstwowe oraz wymienia różne, typowe formy uszkodzeń okładki w trakcie badania.

Ważnym tematem poruszonym przez Doktorantkę w tym rozdziale jest odporność na uderzenia kompozytów warstwowych. Niestety interpretację interesujących dociekań

utrudniają nieuporządkowane opisy badań z różnymi strukturalnie materiałami warstwowymi. Autorka trafnie dostrzega, że aby wiarygodnie zdefiniować właściwości udarowe materiałów ważne jest zrozumienie mechanizmów uszkodzeń i pochłaniania energii przez te materiały i charakteryzuje te zjawiska opisując m.in. energię propagacji. Również ciekawe są spostrzeżenia Doktorantki wynikające z badań, w których stwierdza, że obciążenie udarowe powoduje stożkowe odkształcenie tylnej powierzchni kompozytu i wyjaśnia to zjawisko. Mgr inż. Martyna Roszowska Jarosz zauważa, że badania odporności na przebicie mogą być prowadzone z poudarzeniowym wychwytywaniem impaktora oraz bez wychwytywania impaktora. Doktorantka dostrzega również szeroki wachlarz materiałów kompozytowych przekładkowych poddawanych badaniom i zauważa różne mechanizmy niszczenia tych materiałów w badaniach udarności z niskimi energiami w zależności od struktury wewnętrznej i gęstości oraz grubości rdzeni tych kompozytów.

Rozdział 6 (1 strona) zawiera sformułowane w oparciu o analizę stanu zagadnienia cel i zakres pracy. Autorka przedstawiła jeden cel badawczy, który został zbadany w trakcie prowadzenia i analizy wyników badań. **Stwierdzam, że postawiony cel pracy i przyjęta koncepcja badań jest uzasadniona a zaproponowany zakres pracy właściwy.**

Rozdział 7 (8 stron) zawiera program badań oraz założenia doboru materiału badawczego. Doktorantka w tym rozdziale przedstawia algorytm realizacji badań oraz prezentuje uzasadnienie doboru materiałów badawczych. Autorka zaproponowała wytworzenie próbek z następujących materiałów: żywicy epoksydowej Epidian 5 z utwardzaczem Z1, poliuretanu Desmocap12 wykorzystanego jako modyfikator osnowy, tkanin aramidowych o dwóch różnych gramaturach i dwóch różnych splotach oraz pianek PVC Airex o dwóch różnych gęstościach. W rozdziale zaprezentowane są także charakterystyki wybranych do wytworzenia kompozytów materiałów.

Rozdział 8 (12 stron) zawiera opis badań. Doktorantka skupia się w nim na omówieniu wybranych do przeprowadzenia w ramach pracy badań. Zakres wytypowanych badań jest zbieżny z przyjętym zakresem pracy i są to badania:

- gęstości wytworzonych materiałów,
- dynamicznej analizy mechanicznej (DMA),
- lepkości,
- udarności metoda Charpy'ego,
- odporności na przebicie,
- wytrzymałości na zginanie,
- odporności na propagację pęknięć,

- wytrzymałość na ścinanie międzywarstwowe.

Autorka scharakteryzowała krótko każde z wymienionych badań, podała wzory niezbędne do wyznaczenia założonych parametrów oraz przedstawiła schematy badań.

Rozdział 9 (45 stron) zawiera opis przeprowadzonych badań eksperymentalnych i prezentację oraz analizę ich wyników jak również przedstawienie wykorzystanej aparatury.

Doktorantka do badań wybrała kompozyty przekładkowe wielowarstwowe, składające się z trzech rdzeni i przekładek oraz okładek kompozytowych. Osnowę stanowiła kompozycja Epidian5/Z1 niemodyfikowana lub modyfikowana poliuretanem Desmocap12 w ilości wagowej 5, 10, 15 lub 20 %. Jako rdzeń Autorka zastosowała piankę PVC Airex o gęstości 90 i 140 g/m³, natomiast jako wzmocnienie włókniste tkaninę aramidową o splocie płóciennym i gramaturze 220 g/m² i tkaninę aramidową o splocie twill i gramaturze 300 g/m².

Badania rozpoczęto od badań wstępnych mających na celu określenie właściwości kompozycji żywicy, utwardzacza i poliuretanu w funkcji ilości poliuretanu, celem przyjęcia dwóch najbardziej obiecujących zawartości poliuretanu do badań właściwych. Po przygotowaniu kompozycji, przeprowadzano pomiar jej lepkości, następnie badano czas żelowania a potem odlewano próbki do silikonowych form celem uzyskania próbek do badań odporności na kruche pękanie, udarności i wytrzymałości na zginanie. Po wykonaniu badań, Doktorantka stwierdziła, że najwyższe wartości badanych parametrów uzyskano dla kompozycji żywicznej z dodatkiem 5 i 10 % poliuretanu i takie kompozycje przyjęto jako osnowę kompozytów w badaniach właściwych.

Do badań właściwych Autorka przygotowała 12 różnych, zgodnych z założeniami, płyt kompozytowych metodą laminowania ręcznego z dociskiem za pomocą prasy. Po wykonaniu płyt kompozytowych wycięto próbki (niestety nie wiadomo jaką metodą) do przeprowadzenia badań właściwych.

Doktorantka rozpoczęła badania od dynamicznej analizy mechanicznej próbek kompozytu okładzinowego z wykorzystaniem urządzenia DMA Q800 Ta Instruments. Następnie przeprowadzono badania gęstości wytworzonych kompozytów, a po nich badania właściwości mechanicznych, rozpoczynając od badań udarności metodą Charpy'ego, którym poddawano próbki bez nacięć wykorzystując młot wahadłowy Galdabini Impact 25 z wahadłem o maksymalnej energii wynoszącej 15 J. W następnej kolejności kompozyty poddano badaniom wytrzymałości na zginanie oraz ścinanie międzywarstwowe w schemacie zginania trójpodporowego oraz badaniom odporności na przebicie. Po badaniach właściwości mechanicznych Doktorantka przeprowadziła badania zniszczeń poudarowych z wykorzystaniem profilometru optycznego Microproof300.

Doktorantka zauważyła, że 10% dodatek poliuretanu do osnowy powoduje zwiększenie modułu zachowawczego wyznaczonego metodą DMA, ale tylko przy wzmocnieniu tkaniną o

splocie płóciennym, przy wzmocnieniu tkaniną o splocie twill wartość tego modułu spada. Na podstawie wyników pomiaru gęstości Autorka stwierdziła, że dodatek poliuretanu nie wpływa znacząco na ten parametr, a odnosząc jego wartość do kompozytów wykorzystywanych w produkcji BSP (niestety Doktorantka nie napisała jakich, ani nie podała źródła) stwierdziła że jest ona 4 do 7 razy mniejsza. Z kolei na podstawie wyników badań udarności Autorka sformułowała wniosek, że dodatek poliuretanu w osnowie nie wpływa na jej wartość. Poza tym zauważyła, że kompozyty w których zastosowano tkaninę o splocie płóciennym wykazują się wyższą udarnością. Wynik prób zginania trójpodporowego wskazują według Doktorantki na istotny wpływ dodatku poliuretanu na wytrzymałość na zginanie badanych kompozytów – im większa zawartość poliuretanu tym wyższa wytrzymałość na zginanie. Poddając analizie wizualnej próbki po badaniach wytrzymałości na ścinanie międzywarstwowe Autorka zauważa, że ich sposób zniszczenia to rozwarstwienie pomiędzy okładziną a rdzeniem, przy czym nie było to zniszczenie adhezyjne a kohezyjne rozdzielanie pianki PVC. Z kolei analizując wyniki badań Doktorantka stwierdza, że dodatek poliuretanu zwiększa w większości przypadków wytrzymałość na ścinanie międzywarstwowe badanych kompozytów.

Analizę wyników badań odporności kompozytów na przebicie Autorka wzbogaca o obrazy próbek po badaniach, opisując powstałe zniszczenia oraz grupuje powstałe uszkodzenia łącząc je z zakresami energii obciążenia. W dalszej części analizy Doktorantka formułuje założenie o wartości energii niszczącej (22,5 J) materiał z jakiego jest wykonany BSP i dokładniej analizuje zniszczenia badanych kompozytów obciążonych z energią o zbliżonej wartości (30 J) porównując pola powierzchni zniszczenia. Z porównania wyciąga wniosek, że dodatek poliuretanu poprawia zdolność pochłaniania energii przez badany materiał. Ponadto Doktorantka zauważa, że istotne znaczenie dla odporności materiału na przebicie ma również jego rdzeń, którego większa gęstość skutkuje lepszymi właściwościami. Chcąc (tak myślę, bo Autorka nie wyjaśnia tego jasno) rozszerzyć analizę o BVID Autorka obciążyła udarowo wszystkie badane kompozyty z energią 7 J, ponieważ użyte wcześniej wartości energii powodowały uszkodzenia widzialne okiem nieuzbrojonym. Wszystkie obciążone kompozyty Doktorantka poddała analizie wizualnej z wykorzystaniem profilometru a uzyskane obrazy zamieściła w pracy z komentarzem, który jednak niewiele wyjaśnia w kontekście wpływu tego obciążenia na uzyskane wyniki.

Następnie Doktorantka podjęła się porównania właściwości wytworzonych kompozytów z komercyjnie stosowanymi w strukturach BSP. W mojej opinii część materiałów, które Autorka wzięła pod uwagę w porównaniu w ogóle nie ma zastosowania (lub ma znikome) w budowie BSP jak np. kwas polimlekowy.

Biorąc pod uwagę spektrum przeprowadzonych i zaprezentowanych przez Autorkę badań, rozdział 9 uważam za najbardziej wartościowy w całej rozprawie.

Rozdział 10 (6 stron) przedstawia wyniki analizy statystycznej.

Autorka przygotowała plan badań doświadczalnych, na podstawie którego, w celu oceny wpływu składników kompozytów sporządziła macierz pełnoczynnikową ortogonalną pierwszego rzędu, typu 2^3 . Do oceny wpływu poszczególnych składników kompozytu Doktorantka wykorzystwała 4 parametry uzyskane w trakcie badań: wytrzymałość na zginanie, wytrzymałość na ścinanie międzywarstwowe, pole powierzchni uszkodzenia po obciążeniu udarowym o wartości 7 J oraz odporność na przebicie przy obciążeniu o wartości 30 J. Na podstawie wyników analizy statystycznej Autorka stwierdziła, że największy wpływ na właściwości wytrzymałościowe badanego kompozytu ma rodzaj zastosowanego rdzenia, natomiast najmniejszy wpływ na badane właściwości mechaniczne ma rodzaj wzmocnienia.

Wnioski końcowe (rozdział 11) (4 strony) zawiera podsumowanie rozprawy i wnioski wynikające z jej realizacji. Doktorantka właściwie wnioskuje, iż w oparciu o analizę wyników przeprowadzonych badań można stwierdzić istnienie zależności pomiędzy składem kompozytu wielordzeniowego z przekładkami wewnętrznymi a jego wytrzymałością mechaniczną. Ponadto Autorka również stwierdza, że dodatek poliuretanu do osnowy polimerowej pozytywnie wpływa na właściwości badanego kompozytu. Oprócz ogólnych wniosków Doktorantka przedstawiła kilka wyodrębnionych rezultatów poznawczych a także propozycji wykorzystania badanych materiałów.

Ostatnimi elementami pracy są: bibliografia (299 pozycji), spis tabel oraz spis rysunków.

IV. Ocena rozprawy

Uważam, że zasadniczym i najważniejszym dorobkiem mgr. inż. Martynty Roszowskiej-Jarosz jest określenie wpływu składników kompozytu wieloprzekładowego typu „sandwich”, na odporność tego typu materiałów na przebicie i inne właściwości mechaniczne. Uzyskane przez Doktorantkę wyniki wskazują, że przy wyborze składników takich kompozytów należy brać pod uwagę modyfikację osnowy polimerowej. Dorobek ten stanowi wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

Dokonując oceny układu rozprawy należy zaznaczyć, że jej ogólna formuła i zakres wynikają z realizacji celu rozprawy. Przyjęta koncepcja badań jest wystarczająco uzasadniona a zastosowane narzędzia i przyjęte metody badawcze są do niej adekwatne. Interpretacja wyników jest jednak utrudniona z powodu dość lakonicznych opisów poudarowych zniszczeń próbek i obrazów uzyskanych z profilometru i próby powiązania tych obserwacji z wynikami badań statycznych. Ponadto brakuje mi w rozważaniach próby podjęcia głębszej dyskusji na temat związku przenikających się sieci polimerowymi osnowy ze zmianą właściwości mechanicznych badanych kompozytów.

Uważam, że zarówno struktura rozprawy mgr. inż. Martynty Roszowskiej-Jarosz jak i sposób opracowania materiału, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań pozwalają stwierdzić, że cel rozprawy został osiągnięty.

W mojej opinii zarówno materiał literaturowy jak i badawczy zostały przez Doktorantkę wykorzystane właściwie. Autorka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w obszarze materiałów kompozytowych przekładkowych (choć nie zgadzam się ze stosowanym w niektórych przypadkach nazewnictwem), znajomością przedmiotu badań, umiejętnością właściwego ujęcia rozpatrywanego problemu i jego rozwiązania. Wybrana forma rozprawy oraz sposób opracowania materiału empirycznego a także sposób przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań są poprawne dla tego rodzaju prac.

V. Uwagi szczegółowe

Zawartość merytoryczną rozprawy oceniam pozytywnie, jednak mimo takiej oceny, podczas czytania tekstu pracy nasunęły mi się pewne pytania i uwagi krytyczne.

1. Znaczna liczba błędów edycyjnych i składniowych utrudnia odbiór zawartych w rozprawie treści i interpretację jej wyników.
2. W pracy wielokrotnie używane jest niepoprawnie pojęcie waga w znaczeniu masy.
3. W pracy używane są wg mnie niefortunnie lub błędnie słownictwo takie jak: matryca zamiast osnowa, odporność zamiast wytrzymałość, ilość zamiast liczba, rozciągającej zamiast rozciąganej, ścinanie zamiast ścinanie międzywarstwowe, itp.
4. W mojej opinii niepoprawnie w pracy używane jest określenie kompozyt warstwowy na określenie wyłącznie kompozytów przekładkowych. W kontekście stosowanych nazw okładzin kompozytu przekładkowego również są używane określenia niestosowane w języku polskim, takie jak: skóra czołowa, blacha licowa, błona, otulina, itp.
5. W opisie kompozytów na stronie 19 podano, że charakteryzują się one łatwością przetwarzania – proszę o wyjaśnienie.
6. W mojej opinii, jeśli rozprawa jest napisana w języku polskim, rysunki również powinny mieć opisy w naszym języku ojczystym.
7. Jednostki miary podawane przy wielkościach, których dotyczą (tabele) powinny być umieszczane w nawiasach kwadratowych. W ułamkach dziesiętnych powinny być stosowane przecinki a nie kropki.
8. Na stronie 27 znajduje się informacja „rdzeń wymaga szczególnej uwagi, ponieważ wartości dopuszczalne są bardzo niskie” – proszę o wyjaśnienie co ma oznaczać ten zapis?

9. W komentarzu do rysunku 15 podana jest informacja, że grupą materiałową o bardzo wysokiej wytrzymałości specyficznej są materiały kompozytowe, podczas gdy na rysunku 15 w ogóle nie ma materiałów kompozytowych.
10. W opisie BSP (rozdział 3) występuje znaczne nieuporządkowanie treści.
11. W tabeli 4 oprócz wielu skrótów niewyjaśnionych w wykazie, można znaleźć rodzaje napędu takie jak gaz czy nitro – co to za rodzaje napędów?
12. W mojej opinii rysunki 23 czy 24 (i inne) przedstawiające widok maszyny badawczej są zbędne, ponieważ nie wnoszą niczego do rozprawy.
13. Proszę o wyjaśnienie treści ze strony 51: „opracowali model MES, który demonstruje wpływ modułu sprężystości włókien na ugięcie panelu centralnego oraz udział objętościowy włókien na rozpraszanie energii z powodu różnych trybów awarii”?
14. Wydaje mi się, że informacja dotycząca gramatury wymienionych na stronie 51 tkanin szklanych (4,88 i 7,23 kg/m²) jest błędna.
15. Proszę o wyjaśnienie znaczenia zdania ze strony 52: „Większość energii padającej jest... i odkształceniem plastycznym”.
16. Na stronie 52 podano, że dobór składników odbył się na podstawie przeglądu literatury – proszę o wskazanie miejsca tego przeglądu w pracy?
17. Wypełniacz ulowy jest błędnie nazywany plastrem miodu w opisie badań na stronach 58 i 59.
18. W pracy używane są określenia „włókna pierwotne” i „włókna wtórne” – proszę o wyjaśnienie ich znaczenia?
19. Bardzo słaba jest jakość niektórych rysunków, np. 8, 42.
20. Brak rozdzielenia opisu badań odporności na przebicie w podrozdziale 5.3 utrudnia analizę treści.
21. W jakim celu umieszczono w pracy podrozdział 5.4 dotyczący badania odporności urządzeń elektrycznych na obciążenia mechaniczne – proszę o wyjaśnienie.
22. Proszę o informację co to są metody F-RD i HS?
23. Na stronie 99 podany jest wzór na udarność – dlaczego tylko dla próbek z karbem, jeśli badano przede wszystkim próbki bez karbu?
24. Proszę uzasadnić powód zmiany ilości żywicy i utwardzacza (tabela 13).
25. Proszę o podanie informacji ile próbek użyto do pomiaru lepkości i pomiaru czasu żelowania i uzasadnienie takiego wyboru?
26. Na stronie 114 podano, że „dodatek poliuretanu poprawia ... wartość Kc” – proszę o wyjaśnienie?
27. W mojej opinii w rozprawie brakuje próby wyjaśnienia wpływu przenikającego się usieciowania osnowy na badane właściwości materiałów kompozytowych.

28. Proszę o wyjaśnienie dlaczego nie podano stosunku żywicy do utwardzacza w osnowie i skąd pozyskano informację ile kompozycji żywicznej (str. 117) należy przygotować do wykonania płyty kompozytowej.
29. Sposób wymiarowania na rysunku 67 jest niezgodny z zasadami wymiarowania rysunków technicznych.
30. W pracy brak jest informacji na temat metody użytej do wycięcia próbek.
31. Proszę o podanie i uzasadnienie liczby próbek do badań właściwości mechanicznych.
32. Wyniki badań DMA zostały poddane pobieżnej analizie, podczas gdy głębsza analiza mogłaby dostarczyć informacji istotnych dla zachowania się badanych materiałów przy różnych obciążeniach.
33. Zwracam uwagę, że sposób zniszczenia próbek w teście zginania trójpodporowego jest typowy, czyli próbka nie ulega całkowitemu rozdzieleniu a tylko odkształca się i rozdziela częściowo.
34. Skąd wiadomo, że materiały prezentowane na rysunku 74 mają zastosowanie w budowie BSP jak to jest zasugerowane w tekście pracy?
35. Proszę o wyjaśnienie, co oznacza sformułowanie „wytrzymałość statków powietrznych” (strona 131).
36. W mojej opinii niektóre wnioski są formułowane bez głębszej analizy – przykładowo: „warto zauważyć, że kompozyt podczas badania nie uległ całkowitemu zniszczeniu... co sugeruje... materiał ten może wykazywać pewne pozytywne właściwości takie jak odporność na pęknięcie”, czy „pomimo, że otrzymany materiał może mieć niższą SEA w porównaniu do większości komercyjnych materiałów, jego unikalne właściwości (ale jakie unikalne – przypis recenzenta) mogą czynić go atrakcyjnym dla niektórych zastosowań w przemyśle lotniczym”, itp.
37. W analizie badań na ścinanie międzywarstwowe zamieszczono informację, że wyniki tych badań świadczą o adhezji w połączeniu pomiędzy warstwami, podczas gdy wcześniej w tym samym opisie stwierdzono, że zniszczenie połączenia pomiędzy warstwami nie polegało na ich rozdzieleniu a na rozdzieleniu materiału rdzenia. Zatem w mojej opinii jest to zniszczenie kohezyjne, o czym zresztą jest wspomniane w treści.
38. Skąd (analizując rysunek o nazwie Wykres 8) wiadomo, że „zewnątrzna warstwa odgrywa najważniejszą rolę w pochłanianiu energii podczas uderzenia” – proszę o wyjaśnienie.
39. Co oznacza stwierdzenie: „Rodzaj użytego wzmocnienia wpływa na zmienność wytrzymałości kompozytów podczas badania”?
40. Na stronie 141 zamieszczono informację, że „podczas badania odporności na przebicie, zanim nastąpi zerwanie włókien w tkaninie następuje absorbcja energii w

postaci pęknięcia i rozwarstwienia osnowy” – mam wątpliwości co do takiego stwierdzenia, ponieważ w pracy nie zamieszczono żadnych analiz w tym kierunku.

41. W mojej opinii obrazy uzyskane w trakcie badań z wykorzystaniem profilometru zostały przeanalizowane zbyt ogólnie. W jaki sposób obrazy z profilometru obrazują różnice w wytrzymałości, jak to zapisano na stronie 146?
42. Proszę o informację, gdzie w budowie BSP stosuje się kwas polimlekowy?
43. W mojej opinii, fakt, że materiał ma niską masę nie może być wystarczającym powodem, aby zastępować nim inny materiał.
44. Spis literatury nie jest jednolicie sformatowany i w niektórych pozycjach literaturowych brakuje istotnych informacji.

VI. Wniosek końcowy oceny rozprawy

Przedstawioną do recenzji pracę doktorską oceniam pozytywnie i stwierdzam, że została przygotowana na zadowalającym poziomie merytorycznym. Zawarte w pracy treści dotyczą problemów związanych z materiałami kompozytowymi wieloprzekładowymi do zastosowań w BSP. Treści merytoryczne i poziom przeprowadzonych badań świadczą o wystarczającej dojrzałości naukowej, wiedzy i umiejętnościach Doktorantki.

Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań stanowią oryginalny dorobek naukowy Doktorantki, a rezultaty pracy mogą z powodzeniem zostać wykorzystane w praktyce.

Uwagi krytyczne nie umniejszają wartości merytorycznej pracy. Na taką ocenę ma wpływ fakt realizacji zakładanego celu badawczego.

Reasumując, stwierdzam, że rozprawa przedstawiona do recenzji **stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną Kandydatki w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Mechaniczna wraz z umiejętnościami samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**. Spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022 r., poz. 574 z późn. zmianami).

Stawiam zatem wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji jako rozprawy doktorskiej mgr inż. Martyny Roszowskiej-Jarosz na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i dopuszczenia jej do publicznej obrony.

