



Warszawa 30.06.2022

Prof. dr hab. inż. Anna Boczkowska  
Wydział Inżynierii Materiałowej  
Politechniki Warszawskiej

### Recenzja

**Rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Mieczysława Scheibe  
pt. „Analiza zastosowania polimerowych kompozytów wzmacnianych włóknami  
naturalnymi do budowy wybranych jednostek pływających”**

*Recenzję wykonano na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Akademii Morskiej w  
Szczecinie z dnia 16 marca 2022r.*

#### Ocena tematyki pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Mieczysława Scheibe została wykonana w na Wydziale Mechanicznym Akademii Morskiej w Szczecinie, pod kierunkiem promotora Pana Prof. dr hab. inż. Janusza Grabiana oraz promotora pomocniczego Pani dr inż. Katarzyny Bryll.

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy oceny możliwości wyeliminowanie z użycia kompozytów wzmacnianych włóknami szklanymi (GFRP), powszechnie stosowanych do budowy łodzi, jachtów i innych jednostek pływających w przemyśle stoczniowym poprzez zastąpienie włókien szklanych przez ekologiczne roślinne włókna naturalne, w szczególności włókna konopi włóknistych. Kompozyty polimerowe wzmacniane włóknami szklanymi są powszechnie stosowanym lekkim materiałem konstrukcyjnym w wielu gałęziach przemysłu od początku lat 40. ubiegłego wieku. O ich popularności zadecydowały bardzo dobre właściwości wytrzymałościowe przy zachowaniu niskiej masy. Jednakże wprowadzone obecnie wymagania zrównoważonego rozwoju gospodarki narzucają poszukiwanie materiałów spełniających rygorystyczne wymagania środowiska, przy jednoczesnym zachowaniu bardzo



dobrych właściwości wytrzymałościowych i niskiej masy. W świetle obowiązujących przepisów o ochronie środowiska naturalnego konieczne jest zatem zastąpienie włókien szklanych w kompozytach, aby możliwe było spełnienie aktualnych wymogów dotyczących bezpiecznego recyklingu i/lub utylizacji wycofanych z eksploatacji konstrukcji. Jednym z kierunków, badanych już pod koniec lat 80. jest zastąpienie włókien szklanych w osnowach polimerowych przez włókna naturalne, takie jak włókna juty, lnu, konopi, bawełny, abaki, manili i innych. Ten trend był powszechnie obecny zwłaszcza w przemyśle motoryzacyjnym (np. program tzw. „Zielonego Mercedesa”). Zastosowanie włókien naturalnych nie cieszyło się jednak popularnością w przemyśle stoczniowym, a to ze względu na właściwości włókien naturalnych, ich tendencję do pochłaniania wilgoci skutkującą zmianą wymiarów włókien i w konsekwencji obniżeniem ich właściwości. Ponadto kompozyty włókniste na bazie włókien naturalnych cechowały się brakiem pełnej powtarzalności właściwości.

Przyjęte przez Komisję Europejską w grudniu 2015 r. przepisy promujące innowacyjne rozwiązania dla zapewnienia ochrony środowiska, jednoznacznie wskazały na konieczność rozwiązania problemu recyklingu kompozytów polimerowych. Wykorzystanie roślinnych włókien naturalnych, jako wzmocnienia w kompozytach polimerowych, wpisuje się w program realizacji zalecanych i wymaganych przez Unię Europejską działań proekologicznych. Włókna naturalne są odnawialne, tanie i całkowicie podlegają utylizacji na drodze recyklingu lub biodegradacji.

A zatem należy stwierdzić, że zagadnienie badawcze podjęte w rozprawie doktorskiej przez Pana Mieczysława Scheibe, dotyczące koncepcji wprowadzenia do budowy kadłuba oraz wybranych elementów wyposażenia jednostek pływających podatnego na recykling kompozytu jest aktualne, spełnia cechy nowości naukowej i mieści się w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Za cel pracy Pan Scheibe przyjął opracowanie wytycznych do projektowania konstrukcji wybranych jednostek pływających, opartych o kompozyt polimer - włókno naturalne (ze szczególnym uwzględnieniem konopi włóknistych), określonych na podstawie analizy wyników zaplanowanych i przeprowadzonych badań. Wybór włókien konopi jest podyktowany ich naturalnym występowaniem w regionie Europy, stosunkowo taną uprawą (w porównaniu do innych włókien występujących w tym obszarze) oraz dobrymi właściwościami chemicznymi, fizycznymi i mechanicznymi. W dostępnej literaturze brak jest doniesień o możliwości



zastosowania kompozytów wzmacnianych włóknem konopnym do budowy poszyc kadłubów tj. burt i pokładów, nadbudówek oraz innych fragmentów jednostek pływających.

A zatem wybór tematyki rozprawy, jak i materiałów do badań należy uznać za trafny i uzasadniony w kontekście stanu aktualnej wiedzy na temat materiałów kompozytowych.

### Ocena formalna pracy

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 197 stron, zawiera 94 rysunki i 26 tabel. Spis literatury oparty jest na 183 pozycjach zawierających artykuły naukowe, popularnonaukowe, materiały konferencyjne, normy i dyrektywy oraz 44 pozycjach internetowych z podaną datą dostępu. Nie jest spotykane, aby z pozycji dostępnych w internecie tworzyć osobny spis literatury, najlepiej byłoby umieścić je w spisie literatury w kolejności pojawiania się. Jednakże należy jednoznacznie stwierdzić, że wszystkie pozycje literaturowe są zgodne z tematyką rozprawy. W zdecydowanej większości są to pozycje opublikowane w ostatniej dekadzie, a zatem przytoczony stan zagadnienia jest aktualny i dobrze rozpoznany przez Pana Scheibe.

Zamieszczone w pracy rysunki są w większości czytelne, aczkolwiek można mieć zastrzeżenia co do zasadności pokazywania w pracy doktorskiej zdjęć pojemnika ze środkiem proadhezyjnym (rys. 24), czy wagi elektronicznej (rys. 33), suszarki laboratoryjnej (rys. 34), twardościomierza (rys. 41). Tego typu zdjęcia nic twórczego do pracy nie wnoszą. Wystarczyłoby w tekście podać nazwę i parametry urządzenia. Na niektórych rysunkach brakuje skali, jak np. na rys. 28 – 32, 40, 47, 52 – 55. Nieczytelne tj. słabej jakości są obrazy mikroskopowe pokazane na rys. 57 - 58, 85 - 92 i 94. Na rys. 76 brakuje wartości na osi rzędnych (y). Niezrozumiałe, a wręcz błędne jest zaznaczenie słupków błędów tak, że przechodzą one na wartości niższe od 0, co oznaczałoby, że średnia maksymalna siła zginania statycznego mogłaby mieć wartość mniejszą od 0, jak np. dla próbek K1 i Km1 (rys. 76), podobnie jak średnie maksymalne naprężenie dla większości próbek pokazanych na rys. 78. Na rys. 84 w legendzie podano 3 ośrodki badania, a na wykresie jest 5 słupków. Niektóre tabele są nieczytelne ze względu na zastosowanie zbyt małej czcionki, np. tabele 2, 5, 6, 16.

Układ rozprawy jest klasyczny z podziałem na część literaturową i eksperymentalną, przy czym udział przeglądu literatury w stosunku do części doświadczalnej jest znaczący i wynosi około 40%. Edycja pracy jest akceptowalna. Pewną trudność w czytaniu sprawia zastosowanie dużej liczby skrótów, przy czym niektóre z nich nie są powszechnie stosowane



i powstały na potrzeby niniejszej pracy. Oznacza to, że podczas czytania trzeba w sposób ciągły posiłkować się wykazem stosowanych akronimów i oznaczeń. Pewne zastrzeżenia budzi również fakt przypisania sobie jako opracowanie własne zdjęć pochodzących z internetu, zestawionych na rys. 1, 5 - 8, 13, 15, 22. Rozdziały 4 oraz 4.1 powinny być połączone w jeden rozdział 4.

### Ocena merytoryczna pracy

Pan mgr inż. Mieczysław Scheibe część literaturową podzielił na 3 główne zagadnienia związane z produkcją kompozytowych jednostek pływających (rozdział 1), recyklingiem, ze szczególnym uwzględnieniem recyklingu obecnie produkowanych jednostek pływających w aspekcie zagrożenia środowiskowego (rozdział 2) i zastosowaniem naturalnych włókien roślinnych, w tym włókien konopnych, jako wzmocnienia w kompozytach konstrukcyjnych, w tym w przemyśle stoczniowym (rozdział 3 i 4).

W rozdziale 1 mgr M. Scheibe szczegółowo omówił materiały kompozytowe, wzmocnienia i technologie stosowane do wytwarzania kadłubów statków wodnych oraz również szczegółowo przedstawił przepisy morskich towarzystw klasyfikacyjnych w UE dotyczące budowy jednostek pływających. Przedstawiony przegląd świadczy o doskonałej znajomości historii i stanu obecnego wykorzystania kompozytów do budowy kadłubów jednostek pływających oraz o bardzo dobrej orientacji Pana Scheibe w przepisach UE i w Polsce, w zakresie klasyfikacji i budowy jednostek pływających. Należy podkreślić, że wszelkie obecnie obowiązujące w naszym kraju akty prawne i normy dotyczą wymogów nie tylko bezpiecznego wytwarzania jednostek pływających z kompozytów wzmocnianych włóknami szklanymi, ale w przyszłości możliwości bezpiecznego dla środowiska ich recyklingu bądź utylizacji, co tylko potwierdza aktualność podjętego w pracy problemu.

W rozdziale 2 mgr M. Scheibe dużo miejsca poświęcił opisowi stanu zagadnienia w zakresie działań organizacyjno-prawnych na świecie w aspekcie zagrożenia środowiskowego, ustawodawstwu UE i krajowemu w zakresie recyklingu jednostek pływających wykonanych z kompozytów, przy czym w szczególności omówił różne konwencje, począwszy od 1989 roku. Rozdział ten w opinii recenzenta jest aż nadto rozbudowany. Można pogubić się w gąszczu obowiązujących przepisów. Wydaje się, że omówienie wszystkich przepisów nie wnosi istotnych informacji w zakresie tematyki pracy, natomiast z pewnością ważny jest wniosek



końcowy mówiący o tym, że utylizacja i/lub recykling statków wodnych oraz elementów nadbudowy wykonanych z kompozytów szklanych jest obecnie jednym z istotniejszych do rozwiązania zagadnień gospodarki odpadami tych produktów, z czym oczywiście należy się zgodzić. Równie rozbudowany w tym rozdziale (w opinii recenzenta nadmiernie) jest wątek dotyczący metod recyklingu. Nie jest zasadnym szczegółowe opisywanie wszystkich metod, w tym metod dedykowanych do recyklingu termoplastów (recyklingu chemicznego inaczej surowcowego). Osnowę kompozytów stosowanych do budowy jednostek pływających stanowią duroplasty, zatem należało się skupić na recyklingu kompozytów o osnowie duroplastów. Z pewnością Pan Scheibe posiada ogromną wiedzę w tym temacie, jednakże nie wszystko musi znaleźć się w rozprawie doktorskiej. Cenne jest na przykład porównanie metod utylizacji i recyklingu kompozytów wzmacnianych różnymi rodzajami włókien w aspekcie ekonomicznym i ekologicznym (tabela 2), a także cały rozdział 2.5, w którym znalazło się podsumowanie stanu wiedzy o utylizacji i recyklingu kompozytów w kontekście statków wodnych. Na tej podstawie można stwierdzić, że zasadne jest podjęcie badań nad zastąpieniem włókien szklanych czy węglowych w kompozytach przez włókna naturalne, które można następnie utylizować metodą recyklingu energetycznego z odzyskiem energii, rozszerzonego o współprzetwarzanie popiołu do dalszego wykorzystania.

W rozdziałach 3 i 4 znalazły się najistotniejsze informacje dla tematyki rozprawy. M. Scheibe omówił budowę różnych włókien naturalnych, ich skalę produkcji, dostępność, właściwości chemiczne, fizyczne i mechaniczne oraz metody modyfikacji (chemiczne, fizyczne, biologiczne). W tabeli 5 zestawił prace badawcze prowadzone w XXI wieku nad wybranymi włóknami naturalnymi przez różne ośrodki na świecie. Analiza przeprowadzona w tych rozdziałach pozwoliła na wytypowanie do badań konopi włóknistych, zwanych też konopiami przemysłowymi lub konopiami siewnymi. Konopie włókniste znajdują zastosowanie w dziewięciu sektorach przemysłu, jednakże innych niż przemysł stoczniowy.

Przeгляд stanu zagadnienia pozwolił na postawienie tezy, że istnieje możliwość uzyskania polimerowego kompozytu wzmacnianego włóknami naturalnymi, który będzie stanowić materiał konstrukcyjny przeznaczony do budowy wybranych jednostek pływających, spełniając odpowiednie wymagania wytrzymałościowe, eksploatacyjne i ekonomiczne, a zwłaszcza ekologiczne, poprzez możliwość jego recyklingu.



Przyjęty dla realizacji celu pracy zakres badań należy uznać za właściwy. Obejmował on wytworzenie kompozytów z włóknami konopi z tkanin niemodyfikowanych i modyfikowanych chemicznie wodorotlenkiem sodu, wykonanie badań właściwości fizycznych, mechanicznych i środowiskowych dla nowych kompozytów wzmacnianych niemodyfikowanymi i modyfikowanymi włóknami konopi i porównanie ich z właściwościami kompozytu referencyjnego na bazie włókien szklanych. Ponadto zakres prac obejmował określenie wpływu metod chemicznej modyfikacji włókien konopi i wpływu kompatybilizatora na adhezję włókien wzmocnienia do osnowy polimerowej oraz wyznaczenie konstrukcyjnego współczynnika korelacji dla kompozytów wzmacnianych włóknami konopi w odniesieniu do kompozytów z włóknami szklanymi. Wykonane badania palności za pomocą kalorymetru stożkowego miały za zadanie sprawdzenie możliwości utylizacji kompozytów z włóknami konopi metodą recyklingu energetycznego.

Zakres pracy został opisany w kilku rozdziałach, co jest dość trudne do prześledzenia. W rozdziale 5.1 podano go w sposób syntetyczny, w rozdziale 5.2 przedstawiono schemat blokowy realizowanych zadań i badań, w rozdziale 5.3 omówiono warunki realizacji zadań badawczych, w rozdziale 5.4 przedstawiono plan zadań badawczych, a w rozdziale 5.5. w tabeli zestawiono oznaczenia wykonanych próbek do badań, podając jednocześnie liczbę warstw wzmocnienia. W sumie do badań wykonano 13 różnych wariantów kompozytów: referencyjny z 6 warstw tkaniny szklanej oraz z konopi niemodyfikowany i modyfikowanych zawierających odpowiednio 3, 5, 7, 9, 11 i 13 warstw wzmocnienia.

W całym rozdziale 5 najistotniejszy wydaje się być schemat blokowy pokazany na rys. 23, gdyż pozwala on prześledzić wszystkie wykonane prace i badania oraz tabela 10 z oznaczeniami próbek, co pozwala na syntetyczne spojrzenie jakie warianty próbek zostały wykonane do badań. Natomiast w rozdziale 5.4 powielonych jest wiele informacji, które znalazły się w pozostałych rozdziałach. W opinii recenzenta cały rozdział 5 można było skrócić i przedstawić w sposób bardziej zrozumiały.

W kolejnym bardzo obszernym rozdziale 6. Pan Scheibe przedstawił metodologię przeprowadzenia eksperymentu w pracy badawczej. W rozdziale tym znalazły się opisy materiałów zastosowanych do wytworzenia kompozytów, wykonania laminatów i próbek do badań. Następnie opisane zostały metody badawcze. Mgr M. Scheibe w swojej pracy wykorzystał szereg metod badawczych, takich jak badania gęstości, absorpcji wody, palności,



twardości, wytrzymałości na rozciąganie, zginanie, udarność wg Charpy'ego. Próbkę badaną były przed i po ekspozycji na działanie środowiska wody demineralizowanej, wody słodkiej z jeziora Miedwie – Kluczewo, wody o zasoleniu 7,8‰ z Bałtyku, wody o zasoleniu 38‰ z Adriatyku. Przeprowadził również szereg obserwacji makro i mikroskopowych, wykorzystując mikroskop stereoskopowy i skaningowy mikroskop elektronowy. Na szczególną uwagę w tym rozdziale zasługuje opis modyfikacji chemicznej formatek tkanin konopnych, wykonany metodą alkalizacji, z wykorzystaniem do tego celu wodorotlenku sodu.

Wyniki badań przedstawione są na blisko 50 stronach. Do najważniejszych wyników pracy zaliczyć można:

- uzyskano materiał o wyraźnie niższej gęstości, większej elastyczności, zdolności do pochłaniania energii i odporności na pęknięcie w porównaniu do kompozytów wzmacnianych włóknami szklanymi,

- modyfikacja chemiczna poprzez alkalizację włókien konopi wpływa na pogorszenia adhezji na granicy włókno/osnowa, a zatem nie jest to zabieg rekomendowany,

- zdecydowanie mniejsza pozostałość po spalaniu i wyższa wartość energetyczna w trakcie spalania kompozytów z włóknami konopi w porównaniu do kompozytów z włóknami szklanymi otwiera możliwości utylizacji i recyklingu takich kompozytów poprzez spalanie z odzyskiem energii,

- stwierdzono, że pomimo chłonności wody występującej dla poszczególnych serii próbek, nie jest to działanie wykluczające zastosowanie włókien naturalnych w przemyśle stoczniowym,

- wykazano zasadność zastąpienia polimerowych kompozytów konstrukcyjnych wzmocnionych włóknami szklanymi, nowym materiałem kompozytowym wzmocnionym włóknami konopi w budowie lekkich jednostek pływających.

Należy podkreślić, że przyjęty przez Mgr M. Scheibe zakres badań był obszerny i pozwolił na realizację celu pracy. Dobór technik badawczych należy uznać za wystarczający dla udowodnienia postawionej tezy i osiągnięcia celu pracy. Pan Mieczysław Scheibe wykazał się dobrą znajomością zastosowanych technik badawczych i umiejętnością interpretacji uzyskanych wyników. Przeprowadzone badania stanowią oryginalny wkład w rozwój wiedzy o kompozytach wzmacnianych włóknami konopi, przeznaczonych do konstrukcji poszycia kadłuba jednostek pływających. Podjęte w pracy badania wyszły naprzeciw oczekiwaniom



dotyczącym opracowania proekologicznego, w pełni podlegającego utylizacji i/lub recyklingowi, taniego oraz spełniającego wymagania wytrzymałościowe nowego materiału konstrukcyjnego dla jednostek pływających.

### Uwagi i pytania do pracy

W trakcie recenzji pracy nasunęły się następujące pytania i uwagi:

1. Po zapoznaniu się z tezą pracy nasuwa się pytanie, co należy rozumieć przez "odpowiednie" wymagania wytrzymałościowe, eksploatacyjne i ekonomiczne, jakie spełniają mają kompozyty przeznaczone do budowy wybranych jednostek pływających. Jest to mało precyzyjne określenie i może należało podać minimalne wartości jakie powinny osiągnąć opracowane kompozyty lub zacytować przepisy jakie powinny spełniać.
2. Dlaczego do badania twardości kompozytów zastosowano twardościomierz Shore'a, a nie Barcola, który jest najczęściej stosowany do badań twardości kompozytów włóknistych, ze względu na kształt i rozmiar wgłębnika.
3. Dlaczego w tabeli 11 pojawia się kompozyt wykonany z 8 warstw tkaniny szklanej, podczas gdy w tabeli 10 jako jedyny referencyjny kompozyt z włóknem szklanym jest taki, który ma 6 warstw tkaniny szklanej.
4. Co należy rozumieć przez skalę „super mikro” (rys. 57 i 58).
5. Na rys. 59 przedstawiona jest gęstość kompozytów la wszystkich wytworzonych serii. Dlaczego nie widać zmian gęstości wraz ze wzrostem zawartości warstw wzmocnienia?
6. W jaki sposób był określany poziom intensywności adhezji w pracy. Sformułowanie takie przewija się w pracy mi.in. na str. 165.
7. Na stronie 123 znajduje się stwierdzenie, że „dotykowo wyczuwalne temperatury ich wiązania chemicznego były o kilka (2-4)°C niższe w odniesieniu do tych ostatnich tkanin”. Wątpliwość budzi możliwość wyczucia za pomocą dotyku zmian temperatury na poziomie (2-4)°C bez możliwości pomiaru temperatury.

### Ocena końcowa

Pan mgr inż. Mieczysław Scheibe wykazał się dużą wiedzą w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i dojrzałością naukową, o czym świadczą wyniki przedstawione w niniejszej rozprawie doktorskiej. Zrealizował cel i potwierdził tezy pracy. Uzyskane wyniki pozwoliły na





wykazanie, że możliwe jest wytworzenie nowych kompozytów polimerowych wzmocnianych włóknami konopi o dobrych parametrach wytrzymałościowych, mogących znaleźć szerokie zastosowanie w szkodnictwie i okrętownictwie.

Uzyskane w pracy wyniki są oryginalne, a praca ma wyraźny aspekt aplikacyjny. Rozprawa doktorska Pana Mieczysława Scheibe przedstawia wartościowe wyniki eksperymentalne, a zamieszczone w recenzji uwagi nie umniejszają wartości przedstawionej do oceny rozprawy.

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska wykonana przez Pana mgr. inż. Mieczysława Scheibe spełnia w mojej opinii warunki stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna przez obowiązujące przepisy określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021r., poz. 478 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

*ABocalski*