



Politechnika Łódzka
Instytut Technologii Polimerów i Barwników



Łódź, 6 grudnia 2024 roku

Dr hab. inż. Aleksandra Smejda-Krzewicka

Instytut Technologii Polimerów i Barwników

Wydział Chemiczny Politechniki Łódzkiej

ul. Stefanowskiego 16

90-537 Łódź

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

autorstwa mgr. inż. Leszka Resnera zatytułowanej

„Opracowanie hydrofobowego układu izolującego

do podmorskich kabli elektroenergetycznych średnich i wysokich napięć,

na bazie termoplastycznych kopolimerów blokowych”

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo prof. dr hab. inż. Mirosławy El Fray, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, dotyczące uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie nr ZUT/RDIMat/291/2024 z dnia 11.10.2024.

Przedłożona do recenzji praca doktorska mgr. inż. Leszka Resnera została wykonana w Katedrze Technologii Materiałowych na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Promotorem rozprawy była dr hab. inż. Sandra Paszkiewicz, prof. ZUT, a promotorem pomocniczym dr hab. inż. Elżbieta Piesowicz, prof. ZUT. Praca została zrealizowana w ramach III edycji programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Doktorat wdrożeniowy” w latach 2020-2024. Określony w tytule temat pracy dotyczący badań związanych z opracowaniem hydrofobowego układu izolującego wykonanego z termoplastycznych kopolimerów blokowych mieści się w szerokim programie badań, jakie od lat z sukcesami prowadzone są w Katedrze Technologii Materiałowych ZUT. Niniejsza praca zawiera bogaty materiał doświadczalny, a uzyskany efekt wdrożeniowy

ul. Stefanowskiego 16, 90-537 Łódź, **budynek A8**
tel. +48 42 631-32-10, e-mail: w3i33@adm.p.lodz.pl,
www.polimbarw.p.lodz.pl
Adres do korespondencji:
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź



jest całkowicie przekonujący i niewątpliwie stanowi sukces Doktoranta. Przeprowadzenie znaczącej liczby eksperymentów i pomiarów, a także wyprodukowanie prototypu założonego produktu wiązało się bowiem ze starannym zaplanowaniem planu badań i wymagało dużej sumienności, systematyczności i wytrwałości w działaniu.

Doświadczony w ostatnim czasie intensywny postęp cywilizacyjny niesie za sobą uzasadnioną potrzebę poszukiwania innowacyjnych rozwiązań technologicznych i opracowywania nowych materiałów adresowanych do wielostronnych aplikacji w niemal każdym aspekcie życia codziennego. W ten zauważalny postęp techniczny i technologiczny doskonale wpisuje się rozwój inżynierii materiałowej obejmującej planowanie, wytwarzanie i optymalizację materiałów dla różnorodnych zastosowań inżynierskich. Projektowanie materiałowe – główny aspekt inżynierii materiałowej – koncentruje się na doborze najbardziej odpowiedniego materiału do konkretnego zastosowania i obejmuje wiele zadań. Ich realizacja opiera się m.in. na badaniu użyteczności materiałów w odniesieniu do stawianych mu wymagań oraz przewidywaniu zachowania danego produktu w środowisku jego pracy. W te trendy światowe doskonale wpisuje się tematyka badań podjętych przez Pana mgr. inż. Leszka Resnera. Jest ona związana z intensywnym rozwojem pływających morskich farm wiatrowych. Obecnie większość takich konstrukcji, na stałe kotwiczonych na dnie, znajduje się na głębokości kilkudziesięciu metrów. Oczekiwania środowiskowe wymagają jednak znacznie większych głębokości i bardzo dużych odległości od linii brzegowej. To z kolei wymusza rozwój produkcji kabli podmorskich, dla których dotychczasowe rozwiązania, zaczerpnięte nierzadko z konstrukcji kabli lądowych, okazują się, z oczywistych względów, niewystarczające. Podstawowymi czynnikami warunkującymi cykl życia takich kabli są wytrzymałość mechaniczna, odporność na czynniki środowiskowe oraz zjawisko przenikania wody do izolacji i jej absorpcji. W odpowiedzi na tego typu problemy Doktorant podjął się próby opracowania konstrukcji kabli przeznaczonych m.in. do pływających farm wiatrowych bez stosowania metalicznych radialnych barier wodnych.

Tekst powierzonej mi do oceny dysertacji liczy 198 stron i został przygotowany w formie maszynopisu o typowym układzie stosowanym w rozprawach doktorskich. Doktorant zaprezentował w niej 23 Tabele i 85 Rysunków. W pracy zastosowano podział na następujące rozdziały: „Wprowadzenie” (5 stron), „Część literaturowa” (46 stron), „Cel, teza pracy, model badań i zakres” (5 stron), „Część eksperymentalna” (24 strony), „Wyniki i dyskusja” (82 stron), „Wnioski” (3 strony), „Bibliografia”. Ponadto dysertacja zawiera streszczenia pracy w języku polskim i angielskim, spis oznaczeń i symboli, spis tabel, rysunków i równań oraz „Wykaz działalności naukowej”. Przedstawione przez Doktoranta elementy pracy są poprawnie ułożone i oznaczone, umożliwiając czytelnikowi właściwą orientację, pomimo obszernego materiału literaturowego i badawczego, zawartego w rozprawie.



W przeglądzie literatury przedmiotowej („Część literaturowa”) Doktorant omawia szeroko zagadnienia związane z rodzajami i budową kabli podmorskich wykorzystywanych do pływających morskich farm wiatrowych. Istotnymi dla tematyki pracy fragmentami przeglądu literatury są rozdziały poświęcone innowacyjnym rozwiązaniom stosowanym w produkcji kabli podmorskich oraz przedstawieniu ich procesu produkcyjnego. Doktorant wyczerpująco opisał rodzaje i funkcje stosowanych kabli podmorskich, szczególną uwagę zwracając na ich budowę oraz wymagania, którym muszą sprostać. Przedstawił również warunki pracy i czynniki eksploatacyjne takich produktów. Szczególnie interesującym wątkiem opisanym przez Autora są kierunki rozwoju w zakresie projektowania bariery wodnej stosowanej w kablach podmorskich. W tej właśnie części warto byłoby bardziej szczegółowo wyjaśnić zjawisko drzewienia wodnego, do którego nader często Doktorant odwołuje się w dalszych częściach dysertacji. Liczba zacytowanych pozycji literaturowych wynosi 183, z czego 40 pozycji jest z ostatnich 5 lat, co stanowi 22% wszystkich odnośników. Tak znacząca liczba odwołań do literatury przedmiotu świadczy o dużym zainteresowaniu materiałami będącymi przedmiotem badań i jest dowodem na to, że Doktorant zajął się tematyką bardzo aktualną i ważną z punktu widzenia konstrukcji i użytkowania kabli podmorskich, a także podjął się rozwiązania konkretnego problemu zarówno naukowego, jak i praktycznego. Cytowane pozycje literaturowe, odzwierciedlające omawiane zagadnienia, pochodzą z różnych źródeł, a więc nie mają charakteru fragmentarycznego. Podobnie, w dalszych częściach dysertacji Doktorant często dokonuje korelacji uzyskanych wyników swoich badań z danymi literaturowymi, co świadczy o krytycznym podejściu do rezultatów swoich badań i poszukiwaniu odpowiedzi na nurtujące zagadnienia w literaturze.

Kolejna część rozprawy to „Cel, teza pracy, model badań i zakres”. W rozdziale tym Doktorant podkreślił, że nadrzędnym celem pracy było opracowanie nowego rodzaju materiałów termoplastycznych ograniczających przenikanie wody ze środowiska do wnętrza konstrukcji podmorskich kabli energetycznych średniego i wysokiego napięcia, przeznaczonych m.in. do pływających farm wiatrowych bez stosowania metalicznych barier wodnych. Doktorant – mając sprecyzowany cel badań – postawił przed sobą następujące zagadnienia:

- opracowanie nowego kompozytu polimerowego mogącego zastąpić warstwę ołowiu i taśm aluminiowych stosowanych jako radialna bariera wodna w konstrukcjach kabli podmorskich;
- zastosowanie napełniaczy mineralnych w nowych kompozytach prowadzące do poprawy właściwości materiału w zakresie przenikalności wody, przy jednoczesnym zachowaniu wymaganych właściwości przetwórczych i mechanicznych;
- otrzymanie nowych kompozytów o określonych właściwościach przetwórczych pozwalających na wykorzystanie obecnie stosowanego parku maszynowego.



W tym miejscu warto podkreślić, że precyzyjne zdefiniowanie przez Autora celu badań i tez oraz zobrazowanie obranego modelu badań jest znaczącą wartością dodaną recenzowanej dysertacji i świadczy o dużej dojrzałości naukowej Doktoranta.

W następnej części pracy, zatytułowanej „Część eksperymentalna”, Autor przedstawił zastosowane w pracy materiały, precyzyjnie opisał przygotowanie próbek, a także zaprezentował zastosowane techniki eksperymentalne, metody analizy i charakterystyki fizykochemicznej wytworzonych kompozytów. Rozdział ten jest napisany poprawnie, w sposób umożliwiający łatwe i systematyczne śledzenie postępu prac eksperymentalnych. W tej części wskazane byłoby podanie powierzchni właściwej zastosowanych napełniaczy i zbiorcze zestawienie podstawowych właściwości tychże substancji, umożliwiające ich porównanie. Wielkość i kształt cząstek, rozkład ich wielkości oraz topografia powierzchni powinny mieć bowiem decydujący wpływ na właściwości kompozytów. Wydaje się również, że przemyślana funkcjonalizacja powierzchni zastosowanych napełniaczy pozwoliłaby na ich lepsze, bardziej jednorodne rozproszenie w osnowie polimerowej. W pracy charakterystyka użytych napełniaczy jest przedstawiona niejednakowo, np. dla [REDACTED] Autor podał średnicę cząstek, dla [REDACTED] – uziarnienie, a dla [REDACTED] – wielkość cząstek i powierzchnię właściwą, z tym że dla [REDACTED] jako BET, a dla [REDACTED] [REDACTED]. Warto również zauważyć, że Tabela 10 (str. 79) została podpisana nieprawidłowo, mianowicie „Podstawowe właściwość [REDACTED]”, podczas gdy zawiera informacje dotyczące [REDACTED].

Kolejna część pracy to „Wyniki i dyskusja”, w której Doktorant przedstawił uzyskane rezultaty swoich badań oraz omówił je w odniesieniu do możliwości aplikacji wytworzonych kompozytów polimerowych w układzie powłok kabli podmorskich. Dobrze zaplanowana strategia przeprowadzonych badań obejmowała następujące etapy:

- wytworzenie kompozytów zawierających [REDACTED] polietylen dużej gęstości (HDPE) lub [REDACTED];
- ocenę morfologii zastosowanych napełniaczy oraz nienapełnionych i napełnionych kompozytów,
- charakterystykę właściwości fizykochemicznych, termicznych, mechanicznych i elektrycznych wytworzonych kompozytów;
- ocenę właściwości absorpcyjnych wody zimnej, wrzącej i słonej;
- wytworzenie prototypu w postaci kabla o długości kilkuset metrów i wykonanie podstawowych jego badań.

W pracy Autor zastosował różne napełniacze [REDACTED], [REDACTED] lub układy napełniaczy [REDACTED]). Niestety, zabrakło wyjaśnienia, dlaczego Doktorant zdecydował się na wybór takich właśnie napełniaczy. Dlaczego do badań zastosowano napełniacze [REDACTED] albo w wersji dualistycznej w proporcji masowej [REDACTED]? Czy były



wykonywane wcześniej, nieujęte w dysertacji, badania uzasadniające takie rodzaje i ilości substancji napełniających materiały polimerowe? Czy taka wiedza została zaczerpnięta z literatury? Proszę o przedstawienie wyjaśnień w tym zakresie.

W podrozdziale 5.1. Doktorant przedstawił i opisał morfologię wytworzonych kompozytów [REDACTED] zarówno nienapełnionych i napełnionych zastosowanymi w pracy napełniaczami (lub układem napełniaczy), dokonując na ogół trafnej i wyczerpującej analizy otrzymanych obrazów skaningowej mikroskopii elektronowej. Jednakże Autor wielokrotnie pisze o „dyspersji napełniacza (a nawet „wypełniacza”) lub o „dyspersji dodatku” (str. 90, 94). W tym kontekście jest to sformułowanie potoczne, gdyż słowo „dyspersja” raczej dotyczy mieszaniny gazów. W przypadku kompozytów polimerowych zdecydowanie trafniejszym wyrażeniem, określającym rozmieszczenie napełniacza w osnowie polimerowej, jest „zdyspergowanie napełniacza”. W tym kontekście szczególnie niefortunne jest sformułowanie „[REDACTED] charakteryzuje się dobrą dyspersją”. Proszę o ustosunkowanie się do tej uwagi.

Właściwości termiczne wytworzonych kompozytów – oparte na różnicowej kalorymetrii skaningowej oraz analizie termogravimetrycznej – Doktorant zaprezentował w podrozdziale 5.2. Uzyskane wyniki zostały przedstawione poprawnie, a interpretację rezultatów przeprowadzono wyczerpująco, wskazując, że wprowadzone do badanych polimerów napełniacze w różnoraki sposób wpływają na ich właściwości termiczne. Pewne zastrzeżenia dotyczą opisanych w podrozdziale 5.3. właściwości przetwórczych i fizykochemicznych badanych kompozytów. Doktorant napisał, że „we wszystkich przypadkach odnotowano wzrost gęstości kompozytów w stosunku do polimeru bazowego” (str. 132). I dalej: „Tak jak się spodziewano gęstość wzrastała wraz ze wzrostem stężenia dodatków”. Czy rzeczywiście można było wysnuć aż tak dalece idące wnioski, skoro podane wartości gęstości dla kompozytów [REDACTED] (od 1,744 g/cm³ do 1,812 g/cm³, przy średniej gęstości wynoszącej 1,773 g/cm³) tak naprawdę mieszczą się w granicach błędu statystycznego? Analogiczne uwagi dotyczą interpretacji wyników gęstości dla kompozytów HDPE (Rysunek 56, str. 133) [REDACTED] (Rysunek 57, str. 134) oraz wyników twardości (Rysunek 58, str. 135). W tej części dużą uwagę Doktorant poświęcił również wynikom współczynnika szybkości płynięcia. Autor w podsumowaniu tego rozdziału (str. 137) pisze, że „interesującym jest wpływ kompozycji hybrydowych na szybkość płynięcia [REDACTED] gdzie przy zastosowaniu obydwu dodatków razem [REDACTED] [REDACTED], MFR rośnie, ale o połowę mniej niż w przypadku samego [REDACTED]”. Proszę o wyjaśnienie, dlaczego tak się dzieje.

Właściwości mechaniczne wytworzonych kompozytów zostały opisane w podrozdziałach 5.4 oraz 5.5. Przedstawione wyniki pokazują, że zastosowane różne układy napełniaczy odmiennie wpływają na wytrzymałość mechaniczną produktów finalnych, co może wydawać się dość zaskakujące. Proszę o komentarz odnośnie uzyskanych rezultatów i podanie przyczyn odmiennych zachowań napełniaczy i ich ilości w różnych polimerach. Czy można powiązać to z morfologią tychże materiałów?

W podrozdziale 5.6. Doktorant przedstawił bardzo ciekawe wyniki chłonności materiałów w wodzie zimnej i wrzącej. Proszę o wytłumaczenie (z powodu ciekawości



Recenzenta), z jakich powodów badana była chłonność wody wrzącej i czy było to uzasadnione z punktu widzenia założeń pracy. Jak długo trwała nasiąkliwość taką wodą?

Niezwykle inspirującą częścią dysertacji jest, oczywiście, rozdział 6. zatytułowany „Produkcja prototypu”. Na podstawie wnikliwej analizy wyników badań Doktorant wybrał najbardziej rokujące rozwiązanie technologiczne i przetestował je w skali produkcyjnej. Próba ta pozwoliła bowiem na zweryfikowanie możliwości implementacji rozwiązania i wykonywalności w skali przemysłowej. Do prób technologicznych Doktorant wytypował jedno rozwiązanie oparte na [REDAKOWANE]

[REDAKOWANE] Model z układem dwóch powłok – standardowo jak dotąd stosowanej powłoki pierwszej, wykonanej z HDPE, i drugiej powłoki absorbującej wilgoć i znajdującej się pod powłoką pierwszą. Pełen bilans materiałowo-kosztowy został zawarty w karcie wyrobu i umieszczony w pracy, co z całą pewnością świadczy o dużym zaawansowaniu Doktoranta w tenże projekt i stanowi bardzo istotny element dysertacji.

Pracę doktorską mgr. inż. Leszka Resnera przeczytałam z dużym zainteresowaniem. Pomimo znaczącej wartości rozprawy podczas jej redakcji Doktorantowi nie udało się ustrzec błędów czy usterek edycyjnych. Nieprawidłowości, które dostrzegłam wymieniam poniżej:

- Co to jest „fluorowany etylen propylenu” (str. 67)?
- Na str. 70 pojawiło się niefortunne wyrażenie „polimer fluoropolimerowy”.
- Tabele powinny być zamieszczone na jednej stronie (uwaga dotyczy tabel na str. 20-21, 73-74, 139-140), poza tym ze względów wizualnych byłoby wskazane przedstawienie tabel w jednej grafice, a nie jak zamieszczono w pracy jako różne projekty.
- Na str. 28 Autor opisał „własności chemiczne” zamiast „właściwości chemiczne”.
- W pracy pojawiają się liczne niewłaściwe sformułowania, np. „o niskiej masie cząsteczkowej” (str. 37) zamiast „o małej masie cząsteczkowej”, „wysoka gęstość” (str. 40, 53, 54) zamiast „duża lub znaczna gęstość”, „wysoka wytrzymałość” (str. 43, 54) zamiast „duża wytrzymałość”, „wysoka sprężystość” (str. 43) zamiast „duża sprężystość”, „niska przenikalność” (str. 45, 54) zamiast „małej przenikalności”, „wysoka odporność” (str. 57, 66) zamiast „duża odporność”, „niska nasiąkliwość (str. 67) zamiast „niewielka nasiąkliwość”, „wysoki stopień rozproszenia” (str. 79) zamiast „znaczący stopień rozproszenia”, „niski kąt zwilżania” (str. 162) zamiast „niewielki kat zwilżania”.
- Niefortunnym jest sformułowanie „niski punkt rosy”, które to wyrażenie pojawia się na str. 49.
- Niewłaściwym określeniem jest również „spadek współczynnika” (str. 128) czy „spadek udarności” (str. 146) zamiast, odpowiednio, „zmniejszenie współczynnika” czy „zmniejszenie/pogorszenie udarności”.
-



- W pracy znajdują się liczne błędy natury redakcyjnej i edytorskiej, a także gramatycznej, np. na str. 45 widnieje zdanie „W konstrukcji podmorskich kablach, które...” zamiast „W konstrukcji podmorskich kabli ...”. Na str. 67/68 pojawiło się sformułowanie „postanowiono wytypowano” zamiast „postanowiono wytypować” lub po prostu „wytypowano”.
- Na str. 18 widniej zapis „na Rysunek 3” zamiast „Na Rysunku 3”. Analogiczny błąd pojawił się również na str. 25, 84 i 100 (w odniesieniu do innych Rysunków).
- Niedokończone zdanie (a raczej równoważnik zdania) w ciągłym tekście na str. 53: „Bezpieczeństwo pożarowe w samych turbinach wiatrowych”.
- W dwóch miejscach pracy (str. 64, 88) wkradł się – napisany pogrubioną czcionką – zapewne chochlik edytorski o frapującym brzmieniu: „Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania”.
- Niefortunne jest też zdanie: „Zdjęcie przedstawione (...) przedstawia (...)”.
- Tytuł podrozdziału 2.4.3.brzmi „Innowacyjne rozwiązania polimerowej” (str. 8 w Spisie treści, str. 40) zamiast: „Innowacyjne rozwiązania polimerowe”.

Wymienione mankamenty nie umniejszają jednak wartości merytorycznej rozprawy, w której Pan mgr inż. Leszek Rosner zaprezentował bardzo wartościowe wyniki, o niezwykle istotnym znaczeniu praktycznym.

W podsumowaniu chciałabym podkreślić, iż podjęta tematyka jest niezwykle interesująca i aktualna. Praca ma logiczny układ i tworzy spójną całość. Koncepcja pracy jest dojrzała i przemyślana. Pan mgr inż. Leszek Resner wykonał bardzo obszerne badania w celu wykonania prototypu kabla podmorskiego o potencjalnym wykorzystaniu w skomplikowanych konstrukcjach pływających farm wiatrowych bez stosowania metalicznych radialnych barier wodnych, przeprowadził szczegółową i staranną analizę otrzymanych kompozytów, wyciągając poprawnie sformułowane wnioski. Doktorant wykazał dużą umiejętność w posługiwaniu się zastosowanymi technikami pomiarowymi.

Dorobek naukowy Doktoranta obejmuje 2 publikacje w czasopismach z listy JCR (w obu jest pierwszym autorem). Ponadto wyniki swoich prac prezentował na 6 konferencjach o zasięgu krajowym (3) i międzynarodowym (3). Warto również podkreślić, iż Doktorant – prezentując projekt pt. „Vision of a super-efficient offshore wind farms, using comprehensive PCAE concept” – zajął drugie miejsce w międzynarodowym konkursie MEWY 2023, II Edycja „Trendy i wizje rozwojowe morskich elektrowni wiatrowych”, co zasługuje na szczególną pochwałę.



Reasumując, pragnę stwierdzić, praca doktorska Pana mgr. inż. Leszka Resnera pt. „**Opracowanie hydrofobowego układu izolującego do podmorskich kabli elektroenergetycznych średnich i wysokich napięć, na bazie termoplastycznych kopolimerów blokowych**” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, prawidłowo zaplanowanego i właściwie rozwiązanego. Nie mam wątpliwości, że recenzowana rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668 z późn. zm.) i **stawiam wniosek o przyjęcie recenzowanej rozprawy i dopuszczenie Pana mgr. inż. Leszka Resnera do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Z wyrazami szacunku,

Aleksandra Smejda-Krzewicka

Dr hab. inż. Aleksandra Smejda-Krzewicka



ul. Stefanowskiego 16, 90-537 Łódź, **budynek A8**
tel. +48 42 631-32-10, e-mail: w3i33@adm.p.lodz.pl,
www.polimbarw.p.lodz.pl
Adres do korespondencji:
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź

