

Wrocław, 15 listopad 2024r.

dr hab. inż. Jacek M. Pięłowski
emerytowany prof. zw. Politechniki Wrocławskiej
tel. 601 247 789
jacek.piglowski@pwr.edu.pl
ul. Poziomkowa 30
53-007 Wrocław

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej mgr inż. Leszka Resnera pt.: Opracowanie hydrofobowego układu izolującego do podmorskich kabli elektroenergetycznych średnich i wysokich napięć, na bazie termoplastycznych kopolimerów blokowych

Podstawą formalną niniejszej recenzji jest zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Pani prof. dr hab. inż. Mirosławy El Frey z dnia 16.10.2024 r. Po zapoznaniu się z treścią rozprawy, stwierdzam, że znaczna jej część jest zbieżna z moimi zainteresowaniami naukowymi i badawczymi. Oświadczam też, że nie prowadziłem z Doktorantem żadnych wspólnych badań naukowych oraz, że nie jesteśmy współautorami jakiegokolwiek publikacji naukowej.

Recenzowana rozprawa jest wynikiem realizacji tzw. doktoratu wdrożeniowego, który stanowi alternatywną drogę do uzyskania stopnia doktora dla osób, które chcą rozwijać swoją karierę naukową, nie rezygnując przy tym z pracy zawodowej. Zainaugurowano ją w Polsce w 2017 roku i od tego czasu ze ścieżki tej skorzystało już ponad 2000 doktorantów. W omawianym systemie doktorant pracuje pod opieką dwóch opiekunów – naukowego (promotora) i przemysłowego (opiekuna pomocniczego) i realizuje zadania mające na celu rozwiązanie konkretnego problemu technologicznego. W recenzowanym doktoracie promotorami były dwie Panie: dr hab. inż. Sandra Paszkiewicz prof. ZUT i dr hab. inż. Elżbieta Piesowicz prof. ZUT a opiekunem przemysłowym Pan dr inż. Jakub Siemiński reprezentujący firmę Tele-Fonika Kable S.A., w której część pracy była również realizowana.

Wprowadzenie

Morska energetyka wiatrowa to strategiczny kierunek transformacji energetycznej wzmacniający bezpieczeństwo energetyczne, stanowiący impuls do rozwoju gospodarczego

Polski. W Polityce Energetycznej Polski do 2040 r. wskazano, że moc zainstalowana w morskiej energetyce wiatrowej osiągnie w 2030 r. wartość 5,9 GW, natomiast w 2040 r. – wzrośnie do 11 GW. Na rządowych stronach internetowych łatwo znaleźć szczegółowe informacje o planowanych inwestycjach w tym zakresie, ich lokalizacji, wzroście zatrudnienia przy budowie i eksploatacji morskich farm wiatrowych. Wśród beneficjentów programu rozwoju rządowych programów z pewnością znajdzie się też Grupa TELE-FONIKA Kable S.A. (TFKable), która w światowej czołówce firm branży kablowej, jest wiodącym europejskim producentem kabli i przewodów o znaczącym potencjale rozwojowym. W takim otoczeniu i przy wykorzystaniu potencjału naukowego Zakładu Tworzyw Polimerowych Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego powstała recenzowana praca.

Układ rozprawy jest tradycyjny i przejrzysty. Praca składa się z 7 rozdziałów: wstępu, przeglądu literaturowego, następnie sformułowania celu, tezy i modelu badań, dalej następuje część eksperymentalna, wyniki i dyskusja, rozdział poświęcony produkcji prototypu oraz wnioski. Całość kończy wykaz literatury, spisy tabel, rysunków i równań. Jest też wykaz działalności naukowej Doktoranta. Rozprawa zawiera 198 stron i 173 odnośniki literaturowe, w większości bardzo aktualne, dobrze dobrane w sensie ich korespondowania z zakresem wykonywanych badań.

We wstępie Doktorant omawia atrakcyjność alternatywy jaką stanowią elektrownie wiatrowe w porównaniu z elektrowniami konwencjonalnymi. Zwraca jednak uwagę, że rozwój morskich farm wiatrowych determinuje konieczność stosowania nowych, niezawodnych oraz innowacyjnych rozwiązań w zakresie przesyłania energii pomiędzy turbinami oraz elektrowniami morskimi a lądem. Szczególnym wyzwaniem jest opracowanie niezawodnych konstrukcji podmorskich kabli energetycznych wysokich napięć, odpornych na szereg dynamicznych czynników mechanicznych w środowisku morskim pod wysokim ciśnieniem. Oczywisty jest też właściwy dobór materiałów do wytwarzania kabli szczególnie pod kątem zapewnienia skutecznej radialnej bariery wodnej.

Część literaturową rozpoczyna przegląd różnych typów budowy kabli podmorskich oraz opis właściwości materiałowych poszczególnych warstw w kablach. Autor przedstawia też skomplikowane warunki procesowe podczas wytwarzania kabla. Dalej przedstawione są różne rozwiązania stosowane do zabezpieczenia przed wnikaniem wody i wilgoci do kabli. Doktorant podkreśla znaczenie badań nad takimi właściwościami jak przepuszczalność wody czy też chłonność oraz opis kinetyki dyfuzji, które mogą doprowadzić do wprowadzenia nowych, innowacyjnych konstrukcji kabli podmorskich. Modyfikacja oraz odpowiedni dobór kombinacji materiałów w połączeniu z opracowaniem optymalnej konstrukcji, może więc stanowić cel badań i być przydatna w rozwoju branży kabli dynamicznych dla morskich farm wiatrowych. W końcowej części przeglądu literaturowego omówiono właściwości różnych polietylenów, termoplastycznych poliuretanów oraz poli(fluorku winylidenu). Analiza danych literaturowych oraz aktualna problematyka badań rozwojowych w firmie Tele-Fonika Kable S.A., w tym zachowania konkurencyjności na rynku, określiły cel pracy doktorskiej. Niezależnie od ważności tematyki rozprawy, 63 strony wprowadzenia uważam za nadto obszernie (to prawie 2/3 rozprawy).

Cel badań i teza rozprawy

Celem pracy, było opracowanie nowego rodzaju układu materiałów termoplastycznych, który mógłby być zastosowany w podmorskich kablach energetycznych średniego i wysokiego

napięcia i który skutecznie ogranicza przenikanie wody ze środowiska do wnętrza kabla. Założeniem było również zastosowanie tegoż układu, zamiennie za warstwy metaliczne w postaci taśm aluminiowych i wytłaczanego ołowiu, które do tej pory są stosowane w kablach podmorskich jako radialna bariera wodna.

Tezy pracy to stwierdzenie możliwości: 1) zastosowania nowego materiału lub układu materiałów na bazie kopolimerów blokowych, które pozwolą na zastąpienie w konstrukcji kabli podmorskich ołowiu i taśm aluminiowych stosowanych obecnie jako radialna bariera wodna, 2) wykazanie, że wprowadzenie do osnowy termoplastycznych kopolimerów blokowych i napełniaczy mineralnych, może prowadzić do znacznej poprawy właściwości powstałego kompozytu w zakresie przenikalności wody, przy zachowaniu wymaganych dla powłok kablowych właściwości dielektrycznych oraz przetwórczych, oraz 3) że właściwości przetwórcze zmodyfikowanych układów pozwolą na ich wykorzystanie, przy zastosowaniu obecnie stosowanego parku maszynowego do wytłaczania takich materiałów jak HDPE, HDPE-SC LSOH, PVC.

Część eksperymentalna

Doktorant opisał pochodzenie i właściwości stosowanych materiałów w tym: kopolimer fluorku winylidenu i heksafluoropropylenu, oferowany przez firmę [REDACTED]

[REDACTED] W charakterze modyfikatorów, mogących wpływać na właściwości barierowe opracowywanych kompozycji zastosował [REDACTED]

[REDACTED]

W tej części rozprawy Doktorant łączy (miesza) istotne informacje o budowie chemicznej materiałów i ich producentach, co jest wymagane w każdej pracy doświadczalnej, z omówieniem wyników innych autorów. Na to było miejsce w części literaturowej, która moim zdaniem jest zbyt mocno rozbudowana a jej niektóre fragmenty wprost zbyteczne. Jako przykład, proszę spojrzeć na str. 84 gdzie w półstronicowym opisie [REDACTED] mamy aż 7 odnośników literaturowych oraz opis co kto badał i do jakich doszedł wniosków.

W podrozdziale 4.3 Doktorant przedstawił metody badawcze jakimi posługiwał się w badaniach. Mowa tu o pomiarach w właściwości przetwórczych, pomiarze twardości w skali

Shore'a, pomiary właściwości mechanicznych, termicznych, mikroskopowych badaniach struktury, pomiarach właściwości elektrycznych, w tym rezystywności i wytrzymałości elektrycznej. Na zakończenie opisano laboratoryjny pomiar absorpcji wody, co jest istotne w ocenie realizacji celu pracy.

Rozdział 5. Wyniki i dyskusja

Tę część rozprawy rozpoczyna podrozdział poświęcony analizie zdjęć uzyskanych podczas obserwacji poczynionych za pomocą mikroskopu skaningowego. Zdjęcia obrazują powierzchnię przełomów dla około 50 próbek, zarówno dla wyjściowych polimerów jak i ich kompozycji z napełniaczami. Przygotowanie próbek i obserwacje z pewnością zajęły Autorowi dużo czasu i stanowią odzwierciedlenie jego pracowitości. Nie podejmuję się dyskusji, bo podobnie jak w sztuce, każdy widzi, w tym Autor i recenzent mogą widzieć coś innego i dokonać innej oceny. Zdjęcia, choć jakościowo bardzo dobre, powinny być lepiej oznaczone, np. strzałką wskazującą rurkę haloizytu lub jej pęknięcie, pokazanie [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]. W wielu publikacjach praktykowane jest naniesienie strzałek lub okręgów wskazujących określone szczegóły. Sugeruję Doktorantowi wykonanie zdjęć przy użyciu mikroskopu elektronowego lub pomiarów rozpraszania promieni rentgenowskich (metoda WAXS), gdzie łatwo stwierdzi czy uzyskał nanokompozyt, czyli kompozyt dyspersyjny, w którym jak pisze pod wpływem naprężeń ścinających podczas przetwórstwa polimeru w stanie plastycznym dochodzi do delaminacji. Tylko w takim przypadku można oczekiwać poprawy właściwości barierowych. Że ten efekt nie został osiągnięty może wskazywać rysunek 76, gdzie przy większej zawartości napełniacza [REDACTED] mamy większą nasiąkliwość wodą. A przecież w przypadku pełnej delaminacji napełniacza mamy w matrycy polimerowej więcej pojedynczych barier utrudniających dyfuzję czy to gazu czy cieczy. Przyznać jednak muszę, że Doktorant ma pełną świadomość znaczenia naprężeń ścinających w procesie mieszania napełniacza w stopie polimeru, o czym wspomina w opisie procesu wytłaczania, Pełnej gwarancji że, stopy lamel uległy rozpadowi jednakże nie mamy. Niejasne jest stwierdzenie, że cytuję „ Osiągnięto więc zakładany efekt, ułożenia płytek wzdłuż osi formowania kształtu materiału, co w przypadku wytłaczania powłoki kabla zagwarantuje prostopadły układ dodatku do osi kabla. Wnikająca woda natrafi na płaszczyzny płytek”.

Doktorant wykazał się też znajomością metody spektroskopii dyspersji energii (EDS), która pozwala na wyznaczenie (półilościowego) składu chemicznego badanych preparatów oraz analizę rozmieszczenia pierwiastków na powierzchni. Zlokalizował obecność atomów węgla, tlenu, glinu, krzemu i fluoru, zależnie od rodzaju matrycy i napełniacza.

W pracy jest informacja, że temperatura pracy kabla oscyluje w okolicy 80°C a więc znacznie poniżej temperatur, w których dochodzi do destrukcji lub degradacji polimerów stosowanych w kablownictwie, sugeruje jednakże, że uzyskane w badaniach informacje mogą mieć znaczenie w kontekście ewentualnych awarii czy pożarów turbin wiatrowych. To prawidłowa ocena. W części poświęconej analizie termogravimetrycznej (str.127) Doktorant określił więc co dzieje się z badanymi materiałami w wyższych temperaturach, podczas rozkładu badanych materiałów. Potwierdza też, że zarówno [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] korzystnie wpływają na ich stabilność. Tu wnioski Doktoranta są prawidłowe oraz przekonujące i trudno się z nimi nie zgodzić.

W rozdziale 5.3 Autor omawia właściwości przetwórcze i fizykochemiczne. Nawiązuje w tym miejscu do jednej z tez rozprawy, że mimo dodatku do polimerów napełniaczy, uzyskane właściwości przetwórcze zmodyfikowanych układów, pozwolą na ich wykorzystanie, przy zastosowaniu dostępnego w konsorcjum ZUT – Tele-Fonika Kable S.A. parku maszynowego. Twierdzi też, że potwierdzenie tej tezy można uzyskać, badając między innymi, współczynnik szybkości płynięcia tworzyw, oraz podstawowe właściwości fizyko-chemiczne, jak gęstość i twardość, które pomogą ocenić wpływ dodatków na właściwości przetwórcze badanych kompozytów. Tych wyników jest bardzo dużo więc nie będę ich tutaj szczegółowo omawiał. Ograniczę się do wybranych kwestii.

Wniosek, że modyfikując [REDAKTOWANE] i [REDAKTOWANE] [REDAKTOWANE] pogorszo jego właściwości przetwórcze, obniżając o około połowę wartość współczynnika szybkości płynięcia jest raczej dyskusyjny. To prawda, że zwiększenie lepkości stopu wymaga często zwiększenia temperatury wytłaczania lub zastosowania większej mocy urządzeń napędu, ale w omawianym przypadku może ułatwić przenoszenie naprężeń ścinających do stosu lameli organomontmorylonitu i w konsekwencji prowadzić do jego delaminacji, co jest w omawianym przypadku oczekiwane.

Na koniec chcę się podzielić moimi wątpliwościami odnośnie oceny udarności i metody pomiaru. Na str.147 Doktorant stwierdza, że [REDAKTOWANE] [REDAKTOWANE] [REDAKTOWANE] zaobserwowano poprawę odporności na pęknięcie” i pisze dalej: „Najmniejsze zmiany, ok 10% odnotowano w przypadku kompozytów z dodatkiem [REDAKTOWANE] i [REDAKTOWANE] natomiast dużo większe w przypadku hybryd oraz dodatku [REDAKTOWANE]”, by w następnym zdaniu napisać „dla kompozytu [REDAKTOWANE] i [REDAKTOWANE] udarność wzrosła dwukrotnie”. Czy odporność na pęknięcie i udarność to synonimy?

Mam też duże trudności w zaproponowanej przez Autora interpretacji wyników odporności na uderzenie, potocznie zwanej udarnością. Jest sprawą bezdyskusyjną, że materiały elastyczne jak np. guma, termoplastyczne elastomery mają wyjątkowo dużą odporność na obciążenia dynamiczne. Sama nazwa termoplastycznego [REDAKTOWANE] i nakazuje oczekiwać, że materiał jest elastyczny, stąd moja ciekawość jak metodą Charpy’ego określono udarność tego materiału. Zajrzałem do opisu przygotowania próbek i jest tam informacja że pomiary przeprowadzono na próbkach o kształcie prostopadłościanu wg normy PN-68/C-89028. Nie ma żadnej wzmianki o temperaturze pomiaru, bo przez chwilę podejrzewałem, że próbki były zamrożone poniżej temperatury zeszklenia. Szukając ratunku odszukałem tzw. [REDAKTOWANE] [REDAKTOWANE] [REDAKTOWANE] [REDAKTOWANE] [REDAKTOWANE] [REDAKTOWANE] Tam niestety znalazłem tylko takie dane: Charpy notched impact strength, +23°C, N, kJ/m², ISO 179/1eA oraz Charpy notched impact strength, -30°C, N, kJ/m², ISO 179/1eA. Przez N (No) rozumiem, że brak jest tu danych, bo nie można ich określić. Oczekuję tu od Autora wyjaśnień. Również na str.148, przy opisie związku niejednorodności struktury i odporności na uderzenie znajduję wyraźnie błędną sugestię wpływu dodatków na relaksację struktury.

Podsumowując rozdział poświęcony właściwościom przetwórczym i fizykochemicznym, Doktorant, na podstawie analizy wyników jakie uzyskał w różnorodnych, własnych badaniach, stwierdza, że niektóre zmiany we właściwościach kompozytów są pożądane, jak np. zwiększenie wytrzymałości elektrycznej lub obniżenie temperatury zeszklenia, inne zaś jak obniżenie udarności czy wytrzymałości mechanicznej wpływają negatywnie na ich funkcjonalność. Z racji, że w niniejszej pracy badano dwa potencjalne modele rozwiązania: zastąpienie powłoki zewnętrznej oraz zastosowanie układu dwupowłokowego, [REDAKTOWANE] [REDAKTOWANE] [REDAKTOWANE] musi być rozpatrywane w różnych kategoriach. Kompozytowa powłoka na bazie [REDAKTOWANE] powinna charakteryzować się

blokowych” spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o wyższym i nauce” (Dz. U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.). Wnoszę zatem o dopuszczenie mgr. inż. Leszka Rosnera do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jeżeli Pięć

Poniżej przedstawiam załącznik z uwagami, co jest obowiązkiem recenzenta. Jest ich dość dużo co wynika zapewne z objętości rozprawy i pośpiechu w jej przygotowaniu. Nie mogą one jednak podważyć merytorycznej oceny pracy. Być może znajdzie się czas podczas obrony pracy, by niektóre uwagi, te bardziej merytoryczne wspólnie przedyskutować.

- Na początku rozprawy znajduje się „Spis oznaczeń i symboli”. To ważna część każdego elaboratu gdy posługujemy się skrótami, zwłaszcza gdy pochodzą z innego języka. W mojej ocenie prezentowany wykaz jest niekonsekwentny. Skoro skróty pochodzą z języka angielskiego to objaśnienie powinno być również w języku angielskim, w dalszej kolejności zaś w języku polskim. Wiele objaśnień do powszechnie znanych skrótów jak: DSC, HDPE, PA, PET, PS, ASTM, delta H, C_p i temu podobne jest zbytecznych. Autor często nadużywa skrótów, ze szkodą dla jasności języka. Dla przykładu na str. 38 znajdujemy zdanie: „Spawanie odbywa się dwiema metodami: TIG (*Tungsten Inert Gas*) zwane również GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) oraz spawania laserowego”. Czyż nie lepiej czyta się zdanie: spawanie odbywa się dwiema metodami: spawaniem łukiem elektrycznym w osłonie gazów obojętnych z użyciem elektrody wolframowej lub za pomocą spawania laserowego. Podobnie jest na str.51 ze skrótami CD, SD i SscD. Skrót MFW nieco mnie zdezinformował. Myślę że większości czytelnikom kojarzy się raczej z Międzynarodowym Funduszem Walutowym, ale dla Autora oznacza on morską farmę wiatrową. W tekście pracy skrót MFW występuje tylko 5 razy, czyż nie lepiej napisać szelf kontynentalny opada nagle i stromo, co znacznie utrudnia instalację infrastruktury na morskich farmach wiatrowych zamiast MFW (str.16) lub podłączone do zainstalowanych na stałe za pomocą fundamentów elementów MFW, turbin czy stacji transformatorowych (str.17). Nie poświęcałbym zagadnieniom skrótów tyle uwagi gdyby nie „ponadnormatywna” objętość rozprawy, w której rozrzucenie dużej liczby skrótów na prawie 200 stronach nie ułatwia lektury treści.
- Podobny problem ze skrótami, tym razem językowy napotykamy w zdaniach typu: „Wyniki badań MVTR czyli przenikalności pary wodnej ujawniły również, że bariera z laminowanej taśmy aluminiowej nie jest tak dobrym rozwiązaniem jak się tego oczekuje...”. Przecież nie badamy zbioru liter MVTR, tylko oceniamy proces przenikania pary wodnej przez membranę, barierę lub warstwę.
- W pracy jest dużo błędów określanych jako „literówki”, przykładowo na str.40 w tytule podpunktu 2.4.3. „Innowacyjne rozwiązania polimerowej” (zapewne chodzi o

- bardziej widoczne są powstające duże aglomeraty [REDAKTED] [REDAKTED] [REDAKTED] [REDAKTED] h [REDAKTED] [REDAKTED]', chyba z hybrydowym układem napełniaczy.
- Str. 100, cyt.: „Franciszczak i inni również zaobserwował”, raczej zaobserwowali był to bowiem zespół z owymi innymi.
 - W pracy pomyłono układ stron, po stronie 110 jest strona 115, na str. 110 jest zdanie: „[REDAKTED] [REDAKTED], najbardziej wpłynęły na strukturę powierzchni [REDAKTED], generując liczne nieregularności oraz przestrzenie.”. Gdzie Doktorant uczył się języka polskiego?
 - Trudno mi zaakceptować, bądź co bądź w rozprawie doktorskiej, żargon typu: str.11, „Najwyższą wartość T_m odnotowano dla kompozycji [REDAKTED] i wynosi ona 173,0°C. T_m dla kompozycji [REDAKTED] plasuje się pomiędzy wynikami w porównaniu do czystego [REDAKTED] i w przypadku dodatku samego [REDAKTED], po wymieszaniu obydwa dodatki uśredniają wartość”. Jeśli już, to dla kompozycji 2,5 [REDAKTED]
 - Str. 113, kolejny przykład niestarannej korekty: „Polimer z dodatkiem tego modyfikatora, wykazuje przemianę fazową związaną z topnieniem fazy krystalicznej (Rysunek 48)”.
 - Str. 120, niepoprawny zapis [REDAKTED] i [REDAKTED])
 - Str. 121, u dołu strony znajduje się tytuł tabeli 18 a sama tabela umieszczona jest na następnej stronie, należałoby to przeredagować.
 - Na stronie 119 i 124 występuje raz określenie degradacja materiałów i raz degradacja wiązania chemicznego, chciałbym dowiedzieć się od Doktoranta jak rozumie takie terminy jak degradacja, destrukcja i depolimeryzacja, powszechnie stosowane w nauce o polimerach.
 - Str. 119, nie rozumiem jak po [REDAKTED] i [REDAKTED] ubytek masy może być związany z absorpcją ?
 - Str. 126 znów przypadek rozdzielania tabeli od istotnych dla jej zrozumienia przypisów, przy starannej redakcji np. zmieniając wielkość czcionki można to łatwo zmienić.
 - Str.157, wiersz 13 od dołu, zamiast zaimka jego powinien być użyty zaimek ich, mowa jest bowiem nie o kompozycie tylko kompozytach
 - Str. 169, piąty wiersz od dołu zamiast punkt jest punk

Jan Pięć