



**Politechnika Łódzka**

Instytut Technologii Polimerów i Barwników

Dr hab. inż. Anna Marzec, profesor uczelni  
Instytut Technologii Polimerów i Barwników  
Wydział Chemiczny  
Politechnika Łódzka  
ul. Stefanowskiego 16, 90-537 Łódź

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**mgr inż. Anny Marii Kosińskiej**

zatytułowanej

*„Właściwości mechaniczne i elektryczne polimerów narażonych  
na działanie jonizujące”*

opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa  
Politechniki Warszawskiej, prof. dr hab. inż. Małgorzaty Lewandowskiej,  
pismo z dnia 24 czerwca 2022 r.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pan mgr inż. Anny Marii Kosińskiej została zrealizowana w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku. Pracę wykonano pod kierunkiem Pana profesora dr hab. inż. Jacka Jagielskiego, wybitnego specjalisty w zakresie badań materiałów z wykorzystaniem technik jądrowych, wpływu oddziaływań wysokoenergetycznych jonów na materiały oraz opracowywania materiałów na potrzeby energetyki jądrowej.

Oceniając merytoryczną stronę pracy doktorskiej brano pod uwagę liczne kryteria. Przede wszystkim oryginalność badań i ich nowatorski charakter, trafność wyboru problemu badawczego, metodologię, dobór wykorzystanych metod i technik badawczych, a także poprawność interpretacji wyników oraz ich dyskusji z uwzględnieniem aktualnego stanu wiedzy.

Ważny element oceny stanowiła ponadto poprawność zrealizowanego celu badań, jak również użyteczny charakter pracy. Dodatkowym aspektem oceny, były również osiągnięcia naukowe Pani mgr inż. Anny Marii Kosińskiej.

Wraz z postępem cywilizacyjnym, który w ostatnich latach jest niezwykle intensywny, obserwuje się istotną potrzebę opracowywania nowych materiałów, dedykowanych do różnorodnych zastosowań, w tym m.in. materiałów do izolacji w instalacjach jądrowych oraz

aparaturze działającej w środowisku promieniowania. Jest to spowodowane nowymi wyzwaniami, jakie stawia przed nami otaczający świat. Ponadto, związane jest to z poprawą stylu życia, nieustanną chęcią poszukiwania nowych rozwiązań i technologii czy ogólnym postępem na każdej niemal płaszczyźnie życia codziennego.

Elektrownie jądrowe odgrywają kluczową rolę w dostarczaniu niskoemisyjnej i niedrożej energii elektrycznej na całym świecie. Nowe elektrownie jądrowe muszą charakteryzować się nie tylko wyższą niezawodnością, ale także dłuższym okresem eksploatacji. Z tego powodu konieczne jest zrozumienie i wyjaśnienie zjawiska degradacji, pod wpływem promieniowania jonizującego, występujące w przypadku różnych materiałów używanych do budowy elementów elektrowni jądrowych.

Stąd prowadzone są liczne prace badawcze w wielu ośrodkach akademickich i naukowych, nad opracowywaniem materiałów polimerowych o zwiększonej odporności na działanie promieniowania jonizującego. Temat ten jest również niezwykle istotny, ze względu na rosnący kryzys energetyczny i konieczność poszukiwania nowych źródeł energii, jak również udoskonalania tych obecnie istniejących. Dlatego podjęcie badań wpływu takiego czynnika jak promieniowanie jonizujące na strukturę i właściwości użytkowe polimerów oraz możliwości monitoringu stanu tych materiałów uważam za w pełni uzasadnione.

Oceniana rozprawa doktorska została przedstawiona na 210 stronach maszynopisu w języku polskim. Dodatkowo, Doktorantka w pracy zaprezentowała 2 tabele i 116 rysunków. Pełen tytuł osiągnięcia naukowego zdefiniowanego przez Doktorantkę brzmi: *Właściwości mechaniczne i elektryczne polimerów narażonych na działanie jonizujące*. Został on sformułowany poprawnie i w pełni odnosi się do prezentowanych w rozprawie wyników badań i całego zawartego w niej materiału naukowego.

Rozprawę doktorską otwiera jednostronicowe *Streszczenie* w języku polskim, kolejno Autorka zamieściła *Abstract* tj. streszczenie w języku angielskim. Dalsza część pracy została podzielona na dziewięć części. W pierwszej części, Doktorantka przedstawiła krótkie *Wprowadzenie*, następnie bardzo rzetelnie przygotowany *Przegląd literatury*. Dalsze rozdziały to: *Cel pracy i zakres badań*, *Tezy badawcze*, *Część doświadczalna*, *Wyniki eksperymentalne i dyskusja*, *Podsumowanie i wnioski*, *Perspektywy*. Kolejno Pani mgr inż. Anna Kosińska przedstawiła bardzo dobrze i przejrzysto przygotowany spis *Dorobku naukowego*. Pracę domyka *Bibliografia* (piśmiennictwo stanowi 192, w większości aktualnych danych publikacyjnych i monograficznych).

Przedstawione przez Panią mgr inż. Annę Kosińską elementy pracy są poprawnie ułożone i oznaczone, umożliwiając czytelnikowi właściwą orientację oraz



przebrnięcie przez ogrom materiału badawczego w niej zawartego. Chciałabym w tym miejscu wyraźnie podkreślić, że recenzowana dysertacja jest bardzo estetycznie zredagowana, a każdy element szczegółowo dopracowany.

W części literaturowej dysertacji doktorskiej, Pani mgr inż. Anna Kosińska zaprezentowała pięć głównych rozdziałów: *Rodzaje promieniowania, Zmiany strukturalne w polimerach, Materiały stosowane w technologiach jądrowych i wpływ promieniowania jonizującego na ich właściwości, Zmiany właściwości funkcjonalnych oraz Problemy związane ze stosowaniem polimerów w elektrowni jądrowej*. Autorka w ramach przeglądu literaturowego, dokonała wnikliwej i rzetelnej analizy dostępnej bibliografii, powołując się na 192, w zdecydowanej większości, aktualne pozycje bibliograficzne, opublikowane w uznanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Ta część pracy stanowi bardzo dobrze przygotowany materiał będący wprowadzeniem do części badawczej i należy ją uznać za poprawnie skonstruowaną i rzetelnie opracowaną.

Dokonana analiza literaturowa była główną podstawą do zdefiniowania celu naukowego pracy. W ramach rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Anna Kosińska podjęła próbę zbadania wpływu wiązki promieniowania jonizującego na właściwości elektryczne, mechaniczne i strukturalne osłon izolacji kabli, a także uzyskania informacji o właściwościach strukturalnych i funkcjonalnych polimerów poddanych działaniu wiązek jonów o wysokiej energii.

Główne tezy wysunięte przez Doktorantkę w pracy:

- możliwość skorelowania zmian strukturalnych i funkcjonalnych materiału polimerowego, wywołanych promieniowaniem jonizującym oraz modelowanie procesów degradacji za pomocą naświetlania wiązką jonów,
- zastosowanie pomiarów twardości jako alternatywną metodę oceny stanu izolacji, bez konieczności odłączania kabla,
- określenie korelacji pomiędzy twardością, a opornością pozwala na dobór optymalnego materiału na izolację stosowaną w warunkach promieniowania,
- zmiany strukturalne wywołane działaniem promieniowania jonizującego, mogą mieć wyraźne odzwierciedlenie we właściwościach mechanicznych polimerów jak twardość, czy tarcie.

Analizując szczegółowo pracę można wnioskować, że jej Autorka zmierzała dokonać analizy stopnia degradacji izolacji kabli w elektrowniach jądrowych i wyjaśnić zachodzące tam zjawiska w kontekście zaproponowania odpowiednich metod diagnostycznych.



Ponadto, Autorka oczekiwała, iż uzyskane wyniki mogą być pomocne nowych materiałów polimerowych do zastosowań w przemyśle. Niezwykle ambitne cele, co wnioskuje z dysertacji i ogromu zrealizowanych badań, Doktorantka w pełni osiągnęła.

W ramach bardzo dobrze i sumiennie zaplanowanych badań Doktorantka wykonała mieszanki polimerowe. W swojej pracy Autorka, położyła szczególny nacisk na opracowanie kompozytów na bazie kauczuku butadienowo-akrylonitrylowego (NBR), kauczuku naturalnego (NR), kauczuku butadienowo-styrenowego (SBR). Jak zauważyła Autorka, materiały te są powszechnie dostępne i mogą stanowić interesującą alternatywę dla dotychczas stosowanych polimerów. Zastosowanie wspomnianych kompozytów elastomerowych jako materiałów pracujących w środowisku promieniowania jonizującego, nie było dotychczas opinane w literaturze, co stanowi ważny element nowości naukowej dysertacji. Otrzymane wyniki Doktorantka porównała z właściwościami kompozytów polimerowych, szeroko stosowanych w środowisku promieniowania jonizującego jak polichlorek winylu (PCW), kauczuk etylenowo-propylenowo-dienowy (EPDM), czy politetrafluoroetylen (PTFE).

Otrzymane kompozyty zostały poddane naświetlaniu jonami  $\text{He}^+$ , gdzie zakres fluencji wynosił od  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  do  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ . Doktorantka prowadziła także badania w Zakładzie Aparatury Jądrowej HITEC, gdzie naświetlała wspomniane wcześniej kompozyty fotonami. Na uwagę zasługuje fakt, iż Pani Anna Kosińska podjęła próbę porównania właściwości kompozytów polimerowych otrzymanych w wyniku przyspieszonych procesów degradacji (wiązka jonów  $\text{He}^+$ ) do polimerów ulegających procesom starzenia w czasie rzeczywistym. Wyniki te uważam za bardzo wartościowe, ponieważ mogą pomóc w korelacji zmian strukturalnych i funkcjonalnych materiałów polimerowych, wywołanych promieniowaniem w warunkach przyspieszonej degradacji oraz zachodzących w czasie rzeczywistego użytkowania materiałów.

W przedłożonej do recenzji pracy doktorskiej Pan mgr inż. Anna Kosińska dokonała bardzo rzetelnej charakterystyki otrzymanych kompozytów polimerowych, w tym celu wykorzystwała cały szereg metod badawczych i technik pomiarowych: spektroskopię w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR), spektroskopię Ramana, analizę rentgenograficzną (XRD), skaningową mikroskopię elektronową (SEM), różnicową kalorymetrię skaningową (DSC), nanoindentację, rezystancję elektryczną, wytrzymałość mechaniczną czy badania tribologiczne.

Ilość metod i technik użytych przez Doktorantkę jest w pełni wystarczająca do potwierdzenia tez stawianych w dysertacji. Z pewnością posiada Ona odpowiednią i profesjonalną wiedzę w zakresie wszystkich użytych analiz, co stanowi



wartość dodaną do wiedzy Doktorantki i będzie procentować w Jej przyszłej karierze, czy to naukowej, czy w przemyśle.

Przechodząc do oceny badań własnych Doktoranta, zaprezentowanych w rozdziale 6, chciałabym podkreślić dużą dojrzałość naukową Autorki, która wynika z analizy zaprezentowanego materiału. Całość tak bogatego materiału badawczego została przedstawiona bardzo przystępnie i z dużą starannością. Część merytoryczna opisu z jednoczesną konfrontacją wyników własnych z dostępną literaturą przedmiotu została przedstawiona zgodnie z tym, czego wymaga się od rozpraw doktorskich na wysokim poziomie.

Na pochwałę zasługuje ponadto duża staranność w przygotowaniu części graficznej, to sprawia, że całość pracy właściwie ze sobą współgra i zachęca czytelnika do lektury.

Pani mgr. inż. Anna Kosińska wykonała szereg analiz materiałów polimerowych poddanych działaniu energetycznych wiązek jonów  $\text{He}^+$  i fotonów, a następnie oceniła ich stopień degradacji porównując ich właściwości zarówno powierzchniowe jak i mechaniczne do kompozytów wyjściowych. Badaniom poddała grupę sześciu polimerów (PCW, EPDM, PTFE, NBR, SBR, NR), które uznała za najbardziej obiecujące do tego typu zastosowań. Całość bardzo szczegółowo scharakteryzowała i wyciągnęła interesujące konkluzje pod kątem struktury, stabilności oraz właściwości użytkowych proponowanych kompozytów polimerowych. Na podstawie otrzymanych rezultatów Pani mgr inż. Anna Kosińska wyciągnęła następujące wnioski (wskażę jedynie najistotniejsze w mojej opinii):

- podczas naświetlania jony wynikają do polimeru, tracąc energię w wyniku interakcji z jądrami i elektronami bombardowanego materiału,
- zmiany właściwości mechanicznych, fizycznych i chemicznych polimerów pod wpływem promieniowania są w znacznym stopniu determinowane procesami sieciowania i degradacji,
- procesy jonizacji przyczyniają się intensywnego procesu uwalniania wodoru z próbki, co powoduje powstanie bogatej w węgiel warstwy, charakteryzującej się dużą twardością i zmniejszonymi współczynnikami tarcia w porównaniu z próbkami wyjściowymi,
- zmiany rezystancji elektrycznej są ściśle skorelowane ze zmianami twardości, dlatego pomiary twardości mogą służyć jako wskaźnik pogorszenia właściwości izolacyjnych materiałów organicznych stosowanych jako izolacja w instalacjach jądrowych.



Na uwagę zasługują przyszłe plany badawcze, które Autorka umieściła w rozdziale *Perspektywy*. Planowane eksperymenty będą miały na celu przygotowanie Narodowego Centrum Badań Jądrowych do pełnienia funkcji Technology Support Organization w ramach Polskiego Programu Energetyki Jądrowej, co jest niezwykle istotne w obliczu nasilającego się kryzysu energetycznego.

Po analizie treści rozprawy nasuwają się następujące uwagi oraz pytania:

- na jakiej zasadzie zostały dobrane składy mieszanek przedstawione w pracy (Tabela 5.1) ?
- ile prób zostało zerwanych w ramach badania jednego kompozytu ? jaki jest błąd pomiarowy dla wyników otrzymanych z badań statycznych prób rozciągania (TS, EB)?
- jakie dodatkowe czynniki powodujące degradację mogą zachodzić w trakcie użytkowania osłon kabli w elektrowniach jądrowych ?
- jaką metodę badawczą Autorka mogłaby zaproponować do określenia zmian gęstości usieciowana w elastomerach podczas procesów starzenia?

Rozprawa doktorska zawiera pewne błędy edytorskie czy stylistyczne (brak znaków interpunkcyjnych, brak ujednoczenia literówki, podwójne spacje np. str. 53 polimeryzacja masowa, str. 82 zdjęcie poglądowe), których znaczenie można pominąć.

Na koniec, chciałabym pokrótce podsumować dotychczasową aktywność naukową Pani mgr inż. Anny Marii Kosińskiej. Dorobek naukowy wyrażony jest w postaci aż 17 artykułów naukowych, które opublikowane zostały w następujących czasopismach: *Surface and Coating Technology*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, *Materials and Design*, *Journal of Molecular Structure*, *Vacuum*, *Archeometry*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* oraz *Acta Physica Polonica A*. Doktoranta brała również udział w 5 konferencjach naukowych o zasięgu międzynarodowym.

Podsumowując, chciałabym zaznaczyć, iż sposób zaplanowania eksperymentów, zrealizowania badań, jak i forma przedstawienia wyników oraz ich wnikliwa i rzeczowa analiza, świadczą o niekwestionowanych, wysokich kompetencjach naukowo-badawczych Doktorantki i są dowodem Jej przygotowania do prowadzenia badań naukowych czy pracy w przemyśle.



## Opinia końcowa

Przedstawione przeze mnie uwagi i komentarze nie wpływają na jakość pracy badawczej Autorki. Uwagi te odnoszą się do wybranych sformułowań oraz sposobu przedstawienia niektórych wyników badań. Mają one charakter informacyjny, czy też dyskusyjny z intencją zainspirowania Autorki do dalszego rozwoju naukowego oraz nie zmieniają pozytywnej oceny całości rozprawy.

Na podstawie oceny pracy doktorskiej Pani mgr inż. Anny Marii Kosińskiej zatytułowanej „*Właściwości mechaniczne i elektryczne polimerów narażonych na działanie jonizujące*” stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim przez Ustawę o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule z Zakresu Sztuki z dnia 14.03.2003r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595) z późniejszymi zmianami.

W związku z powyższym wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr inż. Anny Marii Kosińskiej do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

Biorąc pod uwagę istotny wkład w rozwój uprawianej przez Doktorantkę dyscypliny, a nade wszystko Jej dużą biegłość w posługiwaniu się nowoczesną aparaturą badawczą i umiejętności wykorzystania wyników przeprowadzonych badań stawiam wniosek o wyróżnienie dysertacji. Ponadto, kluczowe wyniki, stanowiące odniesienie do celu i zakresu pracy, zostały opublikowane w uznanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Dodatkowo, sama praca doktorska stanowi kompendium wiedzy o wysokich walorach poznawczych i praktycznych. Wszystkie te przesłanki skłaniają jednoznacznie recenzenta do podjęcia decyzji o wyróżnieniu pracy.

Anna Marzec

