



Łódź, 20.06.2026

Politechnika Łódzka

Instytut Technologii Polimerów i Barwników

prof. dr hab. inż. Dariusz M. Bieliński

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Mateusza Malusa

pt.: *Addressing the challenges of bitumen modification using functionalized polyolefins*

przygotowanej pod opieką naukową: prof. dr hab. inż. Lidii Jasińskiej-Walc (promotor)
i dr inż. Macieja Sienkiewicza (promotor pomocniczy)

1. Uwagi wstępne.

Podstawą do napisania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Gdańskiej z dn. 04.04.2026, oraz pismo od Przewodniczącego Rady Dyscypliny, dotyczące postępowania związanego z nadaniem stopnia naukowego doktora (L. Dz. 78 WCh/Dz/2026).

Celem recenzji jest ustalenie, czy rozprawa doktorska złożona przez mgr inż. Mateusza Malusa spełnia wymagania zwyczajowe i prawne określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.).

2. Wybór i znaczenie tematyki rozprawy. Cel pracy.

Dostawcy coraz częściej oferują wcześniej przygotowany asfalt modyfikowany polimerami (PMB), dopasowany do wymogów klimatycznych i funkcjonalnych, który może też zawierać mieloną gumę odpadową, oleje pochodzenia naturalnego lub pozyskiwane z odpadów przemysłowych, jak również odzyskiwany asfalt (RAP). W niedalekiej przyszłości oczekuje się, że w ramach dalszego rozwoju dojdzie do włączenia modyfikacji bitumu za pomocą odpadowych polimerów w strategię gospodarki o obiegu zamkniętym, przy jednoczesnym ograniczeniu emisyjności i zużycia surowców.

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Mateusz Malus, zbadał funkcjonalizowane poliolefiny (FPO) i ich kopolimery szczepione z kopolimerem styrenu i bezwodnika maleinowego (SMA), pod kątem ich wykorzystania jako wielofunkcyjnych modyfikatorów bitumu i hybrydowego bitumu (zawierającego mieloną gumę pochodzącą ze zużytych opon samochodowych - ELT), ze szczególnym uwzględnieniem ich roli jako kompatybilizatorów w tego typu układach. Kandydat porównał funkcjonalność i skuteczność działania nowego kompatybilizatora z liniowymi kopolimerami blokowymi styren-butadien-styren (SBS), powszechnie do tej pory stosowanymi. W odróżnieniu od dość precyzyjnego określenia zakresu pracy, raczej nietypowym jest brak jakichkolwiek hipotez badawczych.



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



Znaczenie tematyki podjętej w rozprawie polega na propozycji zarządzania przepływem szybko rosnących ilości odpadów polimerowych, takich jak mielona guma (CR), pochodząca z ELT, czy post konsumenckie odpady poliolefinowe (PO), poprzez ich włączenie do trwałych PMB i układów hybrydowych o stabilnej morfologii, bez znaczącego pogorszenia ich właściwości użytkowych. Wybór, w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym i redukcji tzw. śladu węglowego, należy uznać za trafny, a poza tym również interesujący ze względów poznawczych, i ważny, mając na uwadze kontekst ekonomiczny i środowiskowy.

Kandydat podjął się trudnego zadania, z którym od wielu lat zmagają się centra badawcze na całym świecie, pracujące nad skomplikowanymi systemami wiążącymi typu hybrydowego, zawierającymi trudno poddające się recyklingowi polimery, takie jak CR i PO. Po przeprowadzeniu szczegółowego, krytycznego przeglądu stosowanych w tej dziedzinie rozwiązań, mgr inż. Malus skupił się na syntezie i ocenie terpolimeru propylenu funkcjonalizowanego grupami hydroksylowymi (FPP): poli(propylen-ko-heks-1-en-ko-undek-10-en-1-ol) oraz jego odpowiednika, szczepionego z kopolimerem styrenu z bezwodnikiem maleinowym (FPP-g-SMA), jako modyfikatorów bitumu (patent USA).

Mgr inż. Mateusz Malus zaplanował i przeprowadził porównanie wpływu szczepienia SMA na FPP, stosując ekstrudowanie reaktywne (REX) lub funkcjonalizację w reaktorze (IRF), oraz wyjaśnił, jak wpływa to na morfologię fazową oraz podstawowe i reologiczne właściwości powstałych w ten sposób modyfikowanych asfaltów zawierających CR kompatybilizowany przez inny dopasowany terpolimer na bazie polipropylenu, również funkcjonalizowany grupami hydroksylowymi: poli(propylen-ko-heks-1-en-ko-heks-5-en-1-ol).

3. Struktura, metodyka i merytoryczna ocena treści rozprawy.

Recenzowana rozprawa mgr inż. Mateusza Malusa, opiera się na serii 3 wieloautorskich, recenzowanych publikacji naukowych, które ukazały się w latach 2023 - 2025 w czasopismach o obiegu światowym (JCR), znajdujących się na liście punktowanych czasopism Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Łączna liczba punktów ministerialnych za artykuły wchodzące w skład serii wynosi 420, a ich sumaryczny IF, liczony według roku publikacji, to 26,7.

Rozprawa została podzielona na trzy rozdziały poświęcone: I. Stanowi aktualnemu, wyzwaniom i motywacji do podjęcia badań, II. Syntezie i ocenie terpolimeru propylenu funkcjonalizowanego grupami hydroksylowymi (FPP) oraz odpowiadającego mu kopolimeru szczepionego na bazie FPP (FPP-g-SMA), jako modyfikatorom bitumu, co zostało opublikowane w (1) in *Constr. Build. Mater.* 2023, 390, 131630, oraz III. Zastosowaniu i działaniu innego FPP, jako modyfikatora bitumu oraz kompatybilizatora granulowanej gumy (CR), opartego o kolejne dwie publikacje: (2) *J. Clean. Prod.* 2024, 436(8), 140615 i (3) *Mater. Des.* 2025, 260, 115114. Zaangażowanie i wiodąca rola kandydata w powstaniu tych prac nie budzi wątpliwości. Pan mgr inż. Mateusz Malus jest pierwszym autorem publikacji i, według oświadczeń współautorów, uczestniczył w badaniach, gromadzeniu danych, wizualizacji, opracowaniu metodologii, weryfikacji oraz pisaniu ich roboczych wersji.

Praca dyplomowa została uzupełniona o wnioski, spis skrótów, podziękowania, CV autora, wykaz jego osiągnięć naukowych oraz oświadczenia współautorów o wkładzie we wspólne publikacje.

Rozdział I opisuje bitumy stosowane w budownictwie drogowym, postęp i aktualne trendy w technologiach modyfikacji bitumu dla zastosowań budowlanych z perspektywy zrównoważonej infrastruktury drogowej i globalnej akumulacji odpadów polimerowych. Na



podstawie analizy 155 źródeł literaturowych (głównie publikacji naukowych), mgr inż. Mateusz Malus wykazał, że dobrze zorganizowane strategie modyfikacji spoiwa, mające na celu rozszerzenie konwencjonalnego zakresu temperatur jego pracy, zwiększenie trwałości oraz poprawa odporności na starzenie w coraz trudniejszych warunkach eksploatacyjnych, nadal pozostają dużym wyzwaniem w inżynierii bitumów.

Rozdział II przedstawia syntezę i ocenę terpolimerów: propylenu funkcjonalizowanego grupami hydroksylowymi (FPP) oraz odpowiadającego mu kopolimeru styrenu z bezwodnikiem maleinowym, szczepionego na bazie FPP (FPP-g-SMA), jako modyfikatorów asfaltu. Zaprezentowane wnioski pokazują zależności między strukturą a właściwościami przy projektowaniu kopolimerów szczepionych na bazie FPP, prezentując wszechstronną rodzinę modyfikatorów termoplastycznych, odpowiednich do tworzenia trwałych, wysokowydajnych nawierzchni asfaltowych, zdolnych do pracy w podwyższonych temperaturach. Opracowane protokoły syntezy i technologia produkcji PMB zostały przygotowane we współpracy z mgr inż. Mateuszem Malusem, który jest współautorem publikacji (1) i patentu: *Modified bitumen comprising a compatibilizer, and its use in asphalt, roofing or road applications*, US12497513B2, zgłoszonego przez firmę SABIC. Rozdział opiera się na solidnym przeglądzie literatury przedmiotu, obejmującym 62 źródła.

Rozdział III, będący logiczną kontynuacją pracy rozpoczętej w Rozdziale II, przedstawia badania wcześniej zsyntezowanego funkcjonalizowanego polipropylenu (FPP) oraz jego właściwości jako modyfikatora asfaltu ale i kompatybilizatora asfaltu modyfikowanego miazgą gumowym (CRMB). Rozszerzając wcześniejsze ustalenia dotyczące przydatności funkcjonalizowanych poliolefin dla zastosowań do modyfikacji asfaltu, rozdział składa się z dwóch części i obejmuje zarówno funkcjonalną wydajność, jak i wewnętrzne interakcje fizykochemiczne w hybrydowych systemach asfaltowych (HS) zawierających CR i kompatybilizowanych przez FPP. Przedstawione wyniki badań opierają się na publikacjach (2) i (3) oraz na analizie 61 źródeł literaturowych.

Moim zdaniem, Rozdział III stanowi kwintesencję ocenianego doktoratu. Szkoda, że nie zawarto w nim informacji o możliwości wykorzystania dewulkanizatorów gumy lub sadzy pirolitycznej do modyfikacji bitumu. Niewątpliwie wartością dodaną mogło by być również podjęcie szerszej współpracy z zespołem prof. Formeli, z Katedry Technologii Polimerów na tym samym Wydziale, który zajmuje się zagadnieniem zagospodarowania odpadów gumowych, w tym poprawą przetwarzalności miazgi gumowej (GTR) przez dodanie bitumu, oraz możliwością wiązania cząstek miazgi w mieszance gumowej podczas tzw. reaktywnego przetwórstwa. Przy tej okazji chciałbym również zwrócić uwagę na możliwość łączenia cząstek granulatu gumowego z asfaltem przy wykorzystaniu do tego celu innych polimerów, takich jak trans 1,4-polibutadien (TOR) lub kopolimeru etylenu z octanem winylu (EVA), oraz poprzez wprowadzenie do układu różnego typu i ilości środków sieciujących w postaci siarki lub donorów siarki. Wyniki badań pokazują, jak ważną rolę mogą odgrywać siarkowe środki sieciujące w częściowym rozkładzie węzłów sieci przestrzennej wulkanizatorów, co może umożliwić utworzenie wspólnej sieci z GTR i bitumem. W tym miejscu pozwolę przywołać sobie naszą pracę: *Bitumen Binders Modified with Sulfur/Organic Copolymers*, która ukazała się w *Materials* 2022, 15, 1774, poświęconą nowej możliwości wykorzystania kopolimerów siarkowo-organicznych, uzyskanych w procesie odwrotnej wulkanizacji, jako modyfikatorów dla spoiw bitumicznych, pokazującą wpływ modyfikacji na np. ich znacznie lepszą przyczepność zarówno do szkła, jak i żwiru, w połączeniu z mniejszą tendencją do trwałych odkształceń modyfikowanych asfaltów.



Najważniejsze osiągnięcia naukowe kandydata, które stanowią istotny wkład w rozwój wiedzy na temat modyfikacji bitumu do budowy dróg, w kontekście jego kompatybilizacji z gumą pochodzącą ze zużytych opon samochodowych (ELT), obejmują:

1. opracowanie mechanizmu modyfikacji bitumu przy użyciu funkcjonalizowanych poliolefin (FPO) i ich kopolimerów szczepionych kopolimerem styrenu z bezwodnikiem maleinowym,
2. zastosowanie wybranych FPO jako kompatybilizatorów dla hybrydowych systemów bitumicznych, zawierających miąż gumowy pochodzący ze zużytych opon (ELT), oraz
3. uzyskanie zwiększonej adhezji międzyfazowej pomiędzy składnikami hybrydowych systemów zawierających FPO, co skutkowało zmianami w ich morfologii i właściwościach mechanicznych, w porównaniu z próbkami referencyjnymi, modyfikowanymi komercyjnie dostępnymi kopolimerami blokowymi styren-butadien-styren (SBS).

4. Ocena formalnych aspektów pracy.

Poszczególne rozdziały rozprawy tworzą logiczną sekwencję, rozpoczynającą się od wprowadzenia - na temat materiałów bitumicznych stosowanych w budowie dróg i ich modyfikacji, mających na celu sprostanie współczesnym wyzwaniom (Rozdział I). Przedstawiony przegląd literatury w pełni uzasadnia podjęcie przez kandydata badań nad nowej generacji modyfikatorami bitumu.

Kolejne rozdziały poświęcone zostały odpowiednio: modyfikacji bituminu za pomocą funkcjonalizowanych poliolefin (FPO) lub ich kopolimerów szczepionych z kopolimerem styrenu z bezwodnikiem maleinowym (Rozdział II), oraz zastosowaniu wybranych FPO jako kompatybilizatorów dla hybrydowych systemów bitumicznych, zawierających miąż gumowy pochodzący ze zużytych opon samochodowych (Rozdział III). Chociaż cytowana literatura obejmuje zgłoszenia patentowe, nie jest całkowicie jasne, czy kandydat przeprowadził analizę patentową w szeroko rozumianym obszarze modyfikacji bitumu, z uwagi na fakt, że tematyka rozprawy ma ewidentnie aspekt użyteczny.

Praca mgr inż. Mateusza Malusa pokazuje jego wysoki poziom dojrzałości naukowej. Kandydat wykorzystał w swoich badaniach liczne zaawansowane techniki eksperymentalne, wykazując się umiejętnością interpretacji uzyskanych wyników. Niemniej jednak, nie zostały one przedstawione w sposób przyjazny dla czytelnika. Według recenzenta, zdecydowanie lepszym rozwiązaniem byłoby, po analizie aktualnego stanu wiedzy w obszarze tematyki rozprawy, przedstawienie kolejnych rozdziałów jako omówienie poszczególnych artykułów, wchodzących w skład rozprawy, wraz z ich kopiami.

Z formalnego punktu widzenia stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Malusa generalnie nie zawiera żadnych znaczących błędów ani braków. Wyjątkiem potwierdzającym regułę jest niespójne nazewnictwo zsyntezowanych modyfikatorów. Chociaż tekst ma pewne problemy językowe, takie jak długie i wielokrotnie złożone zdania oraz tzw. „literówki”, to tak naprawdę nie zasługują one na szczególną uwagę.

5. Pytania i tematy do dyskusji.

Zasadnicza część rozprawy została opublikowana w dobrych międzynarodowych czasopiśmie naukowych, o międzynarodowym obiegu, przechodząc proces recenzji naukowej. Przeczytałem wszystkie publikacje i nie mam zamiaru kwestionować ani uzyskanych wyników, ani wyciągniętych na ich podstawie wniosków. Jednak, choć wysoko oceniam pracę, zwrócić



moją uwagę następujące kwestie, które mam nadzieję, kandydat wyjaśni lub omówi podczas publicznej obrony, a mianowicie:

1. Dlaczego, stosując miał gumowy (CR) do modyfikacji bitumu, nie rozważano również możliwości użycia innych produktów pochodzących z recyklingu zużytych opon samochodowych (ELT), takich jak sadza pirolityczna czy dewulkanizowana guma?
2. Czy CR użyty do modyfikacji bitumu był w jakikolwiek sposób scharakteryzowany?
 - Jak duże mogły by być różnice, gdyby do modyfikacji użyto zmielonej gumy z opon samochodów osobowych, w porównaniu z przemiałem pochodzącym z opon pojazdów ciężarowych?
 - Czy sposób mielenia gumy ma znaczenie? Sądząc po przedstawionych zdjęciach, użyto gumy mielonej w temperaturze otoczenia. Chciałbym omówić tę kwestię z kandydatem podczas publicznej obrony.
 - Jaka była zawartość siarki w wykorzystanym do modyfikacji bitumu miałe gumowym?
3. Poproszę o wyjaśnienie, czy efekt plastyfikujący bitumu w stosunku do CR może mieć jakikolwiek wpływ na kompatybilność takiego układu?
4. W jaki sposób poszczególne modyfikatory były dodawane do bitumu (od strony technologicznej) i w jakiej kolejności? Czy zauważono wzrost temperatury podczas tworzenia hybrydowego systemu – tj. bitumu modyfikowanego polimerem, napełnionego CR?
5. Jak, zdaniem doktoranta, powyższa modyfikacja wpłynie na starzenie się bitumu?

6. Wniosek końcowy.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Malusa, zatytułowana: *Addressing the challenges of bitumen modification using functionalized polyolefins* - przygotowana pod opieką naukową pani prof. Lidii Jasińskiej-Walc (promotor) i pana dr inż. Macieja Sienkiewicza (promotor pomocniczy), spełnia wszystkie kryteria zwyczajowe i wymagania stawiane pracom doktorskim, określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.).

W związku z powyższym wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Gdańskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Dariusz M. Bieliński



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

