

dr hab. inż. Izabela Polowczyk, profesor uczelni
Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Materiałów
Polimerowych i Węglowych
Wydział Chemiczny
Politechnika Wrocławska
Ul. Norwida 4/6, 50-373 Wrocław

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Mateusza Malusa

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt.: „Addressing the challenges of bitumen modification using functionalized polyolefins/Rozwiązywanie wyzwań z modyfikacją asfaltów z zastosowaniem funkcjonalizowanych poliolefin” została wykonana na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej, w Laboratorium Makromolekularnych Materiałów Stosowanych, pod opieką Pani prof. dr hab. inż. Lidii Jasińskiej-Walc oraz dr inż. Macieja Sienkiewicza jako promotora pomocniczego.

Rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Malusa została napisana w języku angielskim i stanowi zbiór powiązanych tematycznie trzech publikacji naukowych, które zostały opublikowane w czasopismach z listy JCR w latach 2023-2025. Prace ukazały się w następujących czasopismach: publikacja I: *Construction and Building Materials*, publikacja II: *Journal of Cleaner Production* oraz publikacja III: *Materials & Design*. Każde z czasopism jest punktowane na poziomie 140 punktów zgodnie z wykazem ministerialnym. Sumaryczny współczynnik oddziaływania IF tych prac wynosi 26.7. Są to publikacje wieloautorskie, odpowiednio dziewięciu, dwunastu i piętnastu autorów. We wszystkich pracach Doktorant jest pierwszym autorem.

W załączniku A rozprawy umieszczono deklaracje współautorów dotyczące ich udziału w koncepcji badań, realizacji eksperymentów, analizie danych oraz przygotowaniu manuskryptów, a także potwierdzeniu zgody na włączenie publikacji i wyników do niniejszej rozprawy doktorskiej. Deklaracja obejmowała 12 kategorii udziału (na podstawie CRediT): opracowanie pierwotnej wersji manuskryptu, recenzja i redakcja tekstu, przeprowadzenie badań, opracowanie i porządkowanie danych, przygotowanie ilustracji i wizualizacji wyników, opracowanie metodologii badań, sformułowanie koncepcji badawczej, weryfikacja wyników, udostępnienie zasobów badawczych, zarządzanie projektem badawczym, pozyskanie finansowania, nadzór naukowy. Nie ma natomiast w załączniku A deklaracji Doktoranta o jego udziale w powstaniu powyższych publikacji. A to właśnie rola Doktoranta powinna zostać uwypuklona. W oryginalnych publikacjach II i III można znaleźć informację o udziałach każdego z autorów publikacji, w tym Doktoranta. Dla publikacji I brak takiej deklaracji. Zadeklarowany w publikacji II udział Pana mgr inż. Mateusza Malusa obejmował opracowanie danych, przeprowadzenie badań, opracowanie metodologii, wykonanie wizualizacji oraz przygotowanie pierwotnej wersji manuskryptu, natomiast w publikacji III: przygotowanie pierwotnej wersji manuskryptu, przeprowadzenie badań, opracowanie danych, wykonanie wizualizacji oraz opracowanie metodologii. Deklaracje CRediT określają jedynie ogólne kategorie wkładu, bez wskazania, jakie konkretne działania, eksperymenty czy analizy zostały wykonane przez Doktoranta. Zasadne byłoby uzupełnienie tych informacji o bardziej szczegółowy opis jego faktycznego udziału, aby możliwe było jednoznaczne określenie stopnia samodzielności oraz rzeczywistego wkładu merytorycznego w powstanie oryginalnego rozwiązania problemu naukowego stanowiącego

podstawę rozprawy doktorskiej. Jak jednak wcześniej wspomniano, Doktorant jest pierwszym autorem we wszystkich tych publikacjach, należy więc założyć, że jego udział w powstanie każdej z publikacji jest znaczący.

Nie ulega natomiast wątpliwości, że publikacje, o których mowa, to prace wartościowe, opublikowane w wysoko punktowanych czasopismach, oraz że powstały w wyniku współpracy kilku ośrodków badawczych, stąd nie dziwi duża liczba współautorów, zwłaszcza, że zakres i różnorodność realizowanych do każdej z publikacji badań jest ogromny, a podejście do rozważanego zagadnienia – kompleksowe.

Z dołączonego do rozprawy wykazu osiągnięć i *curriculum vitae* wynika, że całociowy dorobek naukowy mgr inż. Mateusza Malusa, jest znaczny jak na tak młodego naukowca. Oprócz 3 publikacji naukowych, które Doktorant włączył do rozprawy, jest on również współautorem jeszcze jednego artykułu naukowego w wysoko punktowanym czasopiśmie naukowym *Journal of Cleaner Production*. Jest także współautorem jednego przyznanego patentu US oraz trzech zgłoszeń w Europejskim Urzędzie Patentowym. Do tej pory Doktorant zaprezentował wyniki swoich badań w formie jednego wystąpienia ustnego, a także był autorem i współautorem ośmiu posterów na konferencjach międzynarodowych i ogólnopolskich. W trakcie studiów w Szkole doktorskiej Politechniki Gdańskiej Pan mgr inż. Mateusz Malus uczestniczył w projekcie realizowanym wspólnie przez Politechnikę Gdańską, SABIC i Saudi Aramco.

Badania nad wpływem funkcjonalizowanych poliolefin (FPO) na strukturę, kompatybilność i właściwości reologiczne układów asfaltowych wydają się w pełni uzasadnione zarówno z perspektywy naukowej, jak i aplikacyjnej. Z punktu widzenia rozważań teoretycznych praca wpisuje się w aktualny kierunek badań nad fizykochemią koloidów, mechanizmami modyfikacji układów asfaltowych z udziałem polimerów oraz zależnościami struktura–właściwości w wielofazowych lepiszczach asfaltowych opisywanych modelem SARA, obejmującym frakcje nasycone, aromatyczne, żywice i asfalteny. Szczególnie istotne jest tu połączenie chemii polimerów, fizykochemii koloidów, reologii i badań nanomechanicznych, które pozwala na pogłębione zrozumienie interakcji między funkcjonalizowanymi kopolimerami FPO, frakcjami SARA oraz elastomerami pochodzącymi z recyklingu, co ma kluczowe znaczenie dla projektowania nowoczesnych układów PMB (*polymer modified bitumen*) i hybrydowych (HS). Jednocześnie temat ma wyraźny potencjał praktyczny. Opracowanie skutecznych strategii kompatybilizacji lepiszczy asfaltowych z poliolefinami oraz gumą z recyklingu odpowiada na realne potrzeby współczesnej inżynierii drogowej: zwiększenie trwałości nawierzchni, poprawę odporności na deformacje i starzenie, rozszerzenie zakresu temperatur pracy oraz wdrażanie rozwiązań zgodnych z gospodarką o obiegu zamkniętym. Funkcjonalizowane poliolefiny stanowią obiecującą grupę dodatków, które mogą umożliwić stabilne, jednorodne i wysokowydajne układy PMB oraz hybrydowe HS, a tym samym przyczynić się do efektywnego wykorzystania trudnych strumieni odpadowych, takich jak poliolefiny (PO) oraz guma z recyklingu (CR) pochodząca ze zużytych opon. Z tego względu uważam wybór tematu pracy doktorskiej jako w pełni uzasadniony — łączy on aktualne wyzwania naukowe z realnymi potrzebami przemysłu drogowego, a uzyskane wyniki mają potencjał wdrożeniowy i wpisują się w globalne trendy rozwoju trwałych, kompatybilnych i zrównoważonych materiałów asfaltowych.

Jak wcześniej wspomniano, przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest kompilacją trzech opublikowanych i powiązanych tematycznie publikacji naukowych. Całe opracowanie zostało podzielone na trzy rozdziały. W pierwszej kolejności Doktorant przedstawia szerokie tło problemu,

wyzwania technologiczne oraz motywację badawczą. Następnie przechodzi do analiz dotyczących dwóch głównych obszarów modyfikacji asfaltów, a mianowicie poliolefin oraz wykorzystania zużytych opon. Część merytoryczna rozprawy zamyka syntetyczne podsumowanie wyników, wykaz skrótów, podziękowania, CV oraz wcześniej już wspomniany załącznik z deklaracjami współautorów.

Rozdział I stanowi kompleksowe wprowadzenie do problematyki modyfikacji asfaltów. Autor przedstawia rolę asfaltu w budownictwie drogowym, opisuje kluczowe właściwości decydujące o jego zachowaniu eksploatacyjnym (odporność na deformacje trwałe, pękanie niskotemperaturowe, podatność na starzenie, stabilność strukturalna). Omawia również nowoczesne technologie modyfikacji asfaltów, w tym modyfikacje polimerowe, oraz przedstawia międzynarodowe klasyfikacje lepiszczy. W dalszej części analizuje globalne czynniki wpływające na rozwój rynku PMB, takie jak presja środowiskowa związana z narastającą ilością odpadów polimerowych oraz potrzeba zrównoważonej infrastruktury drogowej. Autor zwraca uwagę na problem mikroplastiku generowanego przez materiały asfaltowe, co stanowi istotny aspekt środowiskowy. Rozdział kończy się jasnym przedstawieniem struktury rozprawy i uzasadnieniem wyboru tematu.

Rozdział II koncentruje się na poliolefinach jako modyfikatorach asfaltu. Autor przedstawia ich właściwości, opisuje trudności związane z kompatybilnością poliolefin z asfaltami oraz wskazuje potencjał poliolefin funkcjonalizowanych jako bardziej efektywnych dodatków. Omawia szczegółowo różne metody funkcjonalizacji poliolefin (reaktywna ekstruzja, procesy wysokociśnieniowe, funkcjonalizacja katalityczna) oraz ich wpływ na strukturę i zachowanie materiału. W części omawiającej publikację I rozdział zawiera pełną prezentację badań dotyczących kompatybilizatorów opartych na kopolimerach PP–hex–undec–ol szczepionych kopolimerem styren–bezwodnik maleinowy (SMA). Autor przedstawia materiały, metody, wyniki oraz ich interpretację, koncentrując się na poprawie stabilności układu asfalt–polimer, właściwościach reologicznych oraz odporności na starzenie. Rozdział kończy się wnioskami wynikającymi z badań.

Rozdział III dotyczy zastosowania gumy z zużytych opon jako zrównoważonego modyfikatora asfaltu. Autor przedstawia globalne wyzwania związane z zagospodarowaniem opon, omawia technologie ich recyklingu (piroliza, dewulkanizacja) oraz analizuje rolę miazgi gumowej (CR) w hybrydowych układach asfaltowych. W tym rozdziale zaprezentowane są dwie publikacje dotyczące kompatybilizatorów PP–hex–ol w układach hybrydowych asfalt–guma. Publikacja II obejmuje kompleksową ocenę właściwości fizykochemicznych, reologicznych oraz stabilności lepiszcza CRMB zawierającego kompatybilizatory PP–hex–ol, koncentrując się na dyspersji miazgi gumowej, adhezji międzyfazowej, morfologii oraz zmianach struktury podczas starzenia. Publikacja III koncentruje się na interakcjach strukturalnych w układach asfalt–guma–FPP, analizując zachowanie lepiszcza CRMB podczas starzenia, zmiany morfologii, właściwości nanomechaniczne oraz wpływ kompatybilizatora na stabilność granicy międzyfazowej. Obie publikacje zawierają pełne zestawy wyników laboratoryjnych dotyczących lepiszcza CRMB, ich interpretację oraz wnioski odnoszące się do efektywności proponowanych kompatybilizatorów PP–hex–ol w układach asfalt–guma.

Przegląd literatury zaprezentowany w Rozdziale I, ale także wprowadzenia do Rozdziału II i III pozwala stwierdzić, że rozprawa doktorska potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w temacie modyfikacji asfaltów funkcjonalizowanymi poliolefinami. Wykorzystana w rozprawie doktorskiej bibliografia jest obszerna lecz nie została umieszczona, jak zazwyczaj jest to praktykowane, na końcu rozprawy doktorskiej, ale podzielona została pomiędzy rozdziały. Pisząc Rozdział I wprowadzający do tematyki badawczej, Autor wykorzystał 155 pozycji literaturowych, w Rozdziale II – 62 publikacje, a w

Rozdziale III – 42 publikacje. Takie rozbieżności literatury w różnych częściach rozprawy sprawia, że niektóre pozycje wymieniane są wielokrotnie. Należy pamiętać, że każda z opisanych publikacji ma także swoją bibliografię, a dodatkowo w Rozdziale III pojawia się literatura wykorzystana w suplementach do publikacji III. Dobór literaturowych oraz sam przegląd literatury, jaki został przedstawiony w opracowaniu, świadczą o wysokim poziomie wiedzy i umiejętności Doktoranta z zakresu omawianych zagadnień.

Głównym celem rozprawy doktorskiej było opracowanie, charakterystyka i ocena funkcjonalizowanych poliolefin (FPO) jako wielofunkcyjnych dodatków do lepiszczy asfaltowych, ze szczególnym uwzględnieniem ich roli jako kompatybilizatorów w układach polimerowo-modyfikowanych oraz hybrydowych zawierających gumę z recyklingu. Autor skoncentrował się na analizie wpływu struktury i stopnia funkcjonalizacji tych poliolefin na ich zdolność do oddziaływania z frakcjami SARA i stabilizowania morfologii lepiszczy PMB, a także na ocenie efektywności FPP i FPP-g-SMA jako dodatków poprawiających kompatybilność, procesowalność, stabilność przechowywania i właściwości reologiczne układów asfaltowych. Istotnym elementem pracy było również opracowanie hybrydowych systemów asfaltowych zawierających gumę z recyklingu, w których FPP pełni funkcję kompatybilizatora umożliwiającego zwiększenie udziału CR bez pogorszenia właściwości użytkowych. Ponadto rozprawa obejmowała analizę zależności między morfologią i nanomechaniką badanych układów a ich właściwościami funkcjonalnymi, w tym odpornością na starzenie, deformacje trwałe i wysokotemperaturowe obciążenia eksploatacyjne. W ujęciu ogólnym celem pracy było zaproponowanie i zweryfikowanie nowej koncepcji kompatybilizacji lepiszczy asfaltowych, umożliwiającej efektywne wykorzystanie strumieni odpadowych w trwałych, stabilnych i wysokowydajnych układach PMB i HS.

Tak określone wyzwania związane z modyfikacją asfaltów wymagały szerokiej współpracy krajowej i zagranicznej. Autor rozwiązywał je skutecznie w ramach pracy doktorskiej, obejmującej zarówno szczegółowe analizy strukturalne i reologiczne modyfikowanych lepiszczy asfaltowych, jak i zaawansowane badania morfologii oraz kompatybilizacji układów hybrydowych z gumą CR. W rozprawie sformułowano kilka istotnych wniosków dotyczących zachowania funkcjonalizowanych terpolimerów propylenu w asfaltach. Po pierwsze dowiedziono, że pochodne IRF-PO oraz ich kopolimery szczepione SMA mogą pełnić jednocześnie rolę elastomerów i reaktywnych kompatybilizatorów, co umożliwia uzyskanie trwałych, dobrze przetwarzalnych i stabilnych podczas magazynowania lepiszczy PMB. Dodatkowo wykazano, że ich topologia, masa cząsteczkowa, zawartość grup funkcyjnych oraz sposób przygotowania decydują o morfologii i właściwościach użytkowych modyfikowanych asfaltów, pozwalając na precyzyjne dostrajanie ich zachowania. Po drugie udowodniono, że odpowiednio zaprojektowane IRF-PO umożliwiają skuteczną kompatybilizację układów hybrydowych zawierających wysokie ilości gumy CR, prowadząc do jednorodnej i stabilnej dyspersji faz polimerowo-asfaltowych. Warto podkreślić, że opracowane rozwiązanie kompatybilizacji układów asfalt–guma CR zostało objęte europejskim zgłoszeniem patentowym (EP4619475A1), co potwierdza jego innowacyjność oraz potencjał aplikacyjny. Z kolei badania wpływu procesu odpopielenia na właściwości terpolimerów ujawniły istotną rolę uwolnionych grup hydroksylowych i powstających skupisk, które wzmacniają oddziaływania między makrocząsteczkami i poprawiają kompatybilność układów hybrydowych. Zaproponowano również mechanizm odpowiedzialny za synergiczne oddziaływania między IRF-PO a gumą CR, potwierdzony badaniami ATR-FTIR, AFM i DSR, który wyjaśnia przewagę opracowanych kompatybilizatorów nad komercyjnym SBS.

W mojej opinii wnioski, do których Doktorant doszedł w trakcie realizacji pracy doktorskiej, są istotne i mają znaczenie zarówno dla rozwoju nauki o materiałach asfaltowych, jak i dla potencjalnych zastosowań przemysłowych. Po analizie zarówno rozprawy, jak i publikacji wchodzących w skład cyklu, uważam, że najważniejszym osiągnięciem naukowym pracy doktorskiej Pana mgr inż. Mateusza Malusa jest opracowanie i udokumentowanie mechanizmu kompatybilizacji układów asfalt–guma CR z wykorzystaniem funkcjonalizowanych terpolimerów propylenu, który pozwala na uzyskanie stabilnych, jednorodnych i wysokowydajnych układów PMB oraz HS, przewyższających właściwości komercyjnych modyfikatorów SBS.

Problem badawczy rozprawy doktorskiej został umiejętnie sformułowany, odpowiednio dobierano materiał badawczy i wykorzystano właściwe metody rozwiązania tego problemu. Wybrana metodyka była trafna i pozwoliła na osiągnięcie założonych celów pracy. Pragnę jednoznacznie podkreślić, że Pan mgr inż. Mateusz Malus w trakcie realizowania pracy doktorskiej opanował liczne nowoczesne i wymagające techniki badawcze, a ich nadzwyczajna ilość wymaga wskazania w trakcie obrony, które eksperymenty/pomiary wykonywał własnoręcznie. Doktorant opanował również złożone zadanie poprawnej interpretacji uzyskanych wyników badań.

Rozprawa doktorska została starannie przygotowana pod względem edytorskim, jednak Autor nie uniknął pewnych usterek. Z obowiązku recenzenta poniżej podaję kilka z nich:

1. W spisie treści zabrakło podrozdziału 3.2. Scope of the Chapter.
2. W trzecim wymienionym w osiągnięciach Doktoranta zgłoszeniu patentowym (Diluted functionalized polyolefins as adhesion promoters in asphalt) pod przypisanym numerem WO2025002628A1 znajduje się zgłoszenie o innym tytule.
3. Pomimo, że jest używany wielokrotnie w pracy skrót na funkcjonalne poliolefiny (FPO), to brak go w wykazie skrótów zamieszczonym na końcu opracowania. Podobna uwaga dotyczy szeregu innych skrótów używanych w rozprawie.
4. Tłumaczenie na język polski tytułu rozprawy lepiej by brzmiało w postaci: „Rozwiązywanie wyzwań w modyfikacji asfaltów z zastosowaniem funkcjonalizowanych poliolefin”.

W trakcie zapoznawania się z treścią rozprawy pojawiły się pewne pytania i wątpliwości dotyczące wybranych aspektów przedstawionych badań oraz sposobu interpretacji części wyników w przewodniku i publikacjach towarzyszących. Mają one charakter dyskusyjny i nie podważają wartości merytorycznej ocenianej pracy doktorskiej. Stanowią jedynie wskazanie obszarów, które w mojej ocenie wymagają doprecyzowania lub rozwinięcia. Prosiłabym, aby Doktorant odniósł się do tych uwag podczas publicznej obrony rozprawy.

1. W rozprawie wskazano, że choć FPO należy do tej samej klasy elastomerów co SBS, jego działanie w lepiszczu asfaltowym jest znacznie bardziej złożone. SBS wzmacnia asfalt poprzez mechanizm fizyczny, tworząc sieć poprawiającą elastyczność i odporność na deformację, lecz nie wchodzi w oddziaływania chemiczne ani z frakcjami asfaltu, ani z miazgą gumową. FPO — szczególnie w odmianie szczepionej kopolimerem styren–bez-wodnik maleinowy (FPO-g-SMA) — oprócz funkcji elastomeru pełni również rolę kompatybilizatora. Grupy MAH/SMA umożliwiają tworzenie oddziaływań chemicznych z frakcjami polarno-aromatycznymi asfaltu oraz z powierzchnią miazgi gumowej, co poprawia zwilżanie, zwiększa adhezję międzyfazową i sprzyja stabilnej dyspersji CR. Wprowadzenie FPO wzmacnia także właściwości strukturalne lepiszcza: zwiększa jego elastyczność, poprawia odporność na

pękanie i deformacje w wysokich temperaturach oraz zmniejsza podatność na starzenie (RTFO, PAV). Obserwacje mikroskopowe i pomiary nanomechaniczne przedstawione w rozprawie wskazują na bardziej jednorodną strukturę i większą spójność układów zawierających FPO niż w próbkach modyfikowanych SBS. Warto jednak podkreślić, że skuteczność modyfikacji asfaltów w skali technicznej zależy nie tylko od chemii układu i adhezji międzyfazowej, lecz także od szeregu czynników technologicznych: warunków mieszania, właściwości kruszywa, charakterystyki miazgi gumowej oraz rzeczywistego składu lepiszcza asfaltowego. Są to zagadnienia typowe dla technologii polimerów i inżynierii kompozytów, które w niniejszej pracy zostały ujęte w ograniczonym zakresie. Autor koncentruje się przede wszystkim na analizie chemicznej i mikroskopowej lepiszcza, natomiast aspekty technologiczne i aplikacyjne — kluczowe dla wdrożenia modyfikatorów w praktyce drogowej — mogłyby zostać szerzej omówione podczas obrony.

2. Czy w publikacji II *elastic recovery rate* (R) i *elastic recovery* (R) oznaczają to samo i mają te same jednostki?
3. Autor podaje dawki stosowanych dodatków (CR, FPP, FPP-d), jednak nie wyjaśnia, dlaczego wybrano akurat takie wartości — czy wynikają one z wcześniejszych badań, ograniczeń technologicznych, czy optymalizacji właściwości? Brak uzasadnienia utrudnia ocenę zasadności przyjętych parametrów.
4. W związku z tym, że tematem rozprawy jest rozwiązywanie wyzwań w modyfikacji asfaltów z zastosowaniem funkcjonalizowanych poliolefin, proszę Doktoranta o wskazanie podczas obrony, które z tych wyzwań uznaje za najtrudniejsze oraz najbardziej istotne z punktu widzenia opracowania efektywnego kompatybilizatora FPO dla układów bitumicznych.
5. Wśród tak licznych badań fizykochemicznych, które były wykorzystane w rozprawie, które są ustandaryzowane i stosowane w dotychczasowych badaniach lepiszczy asfaltowych, a które są inicjatywą Doktoranta, żeby włączyć je w metodykę badań?
6. W rozdziale I rozprawy, Autor zwraca uwagę na problem generowania mikroplastiku podczas użytkowania nawierzchni asfaltowych. Czy nowe, modyfikowane lepiszcze w ocenie Doktoranta jest lepsze w tym istotnym aspekcie środowiskowym od dotychczas stosowanych?

Recenzja pracy doktorskiej powinna odnosić się do trzech zasadniczych kwestii: zakresu i poziomu wiedzy teoretycznej Doktoranta, jego umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz oryginalności przedstawionego rozwiązania problemu badawczego. Rozprawa doktorska ma na celu przedstawienie wyników samodzielnie przeprowadzonych, oryginalnych badań oraz potwierdzenie kompetencji doktoranta w zakresie prowadzenia pracy naukowej w danej dyscyplinie. W mojej opinii rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Malusa spełnia ten cel.

Uwagi i komentarze (punkty 1-6) przedstawione powyżej mają charakter dyskusyjny i służą jedynie pogłębieniu refleksji nad wybranymi aspektami rozprawy i nie podważają one mojej wysokiej oceny wartości merytorycznej pracy doktorskiej. Jestem zdania, że Doktorant w pełni zrealizował założone cele badawcze, obejmujące ocenę funkcjonalizowanych poliolefin jako dodatków i kompatybilizatorów w układach asfaltowych oraz analizę ich wpływu na strukturę, morfologię, reologię i stabilność polimerowo modyfikowanych i hybrydowych lepiszczy zawierających gumę z recyklingu. Uzyskane wyniki w przekonujący sposób pokazują, że przyjęty kierunek badań pozwolił na pogłębione zrozumienie zależności między morfologią i nanomechaniką układów asfaltowych a ich właściwościami użytkowymi, w tym odpornością na starzenie i deformacje trwałe.

W mojej ocenie rozprawa doktorska podejmuje i rozwiązuje ważny, aktualny problem naukowy, prezentuje wysoki poziom wiedzy teoretycznej Doktoranta, potwierdza jego umiejętność samodzielnego prowadzenia badań oraz wnosi oryginalny wkład w rozwój dyscypliny, spełniając tym samym wszystkie wymagania stawiane w postępowaniach o nadanie stopnia doktora.

W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Mateusza Malusa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późniejszymi zmianami) oraz wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów procedury postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, dyscyplina nauki chemiczne.