

dr hab. inż. Mateusz Barczewski, prof. PP

Politechnika Poznańska

Wydział Inżynierii Mechanicznej

Instytut Technologii Materiałów

Zakład Tworzyw Sztucznych

ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. **Jakuba Smolenia**

pt.: „*Odporność laminatów polimer-włókno na działanie promieni
ultrafioletowych*”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą formalną przygotowania niniejszej recenzji rozprawy doktorskiej, realizowanej na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej, jest uchwała o powołaniu na recenzenta przez Radę Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej z dnia 21.01.2025 r. i zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej, Pana prof. dr hab. inż. Adama Grajcara.

2. Tematyka i celowość rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Jakuba Smolenia dotyczy badań nad procesami degradacyjnymi indukowanymi oddziaływaniem promieniowania w zakresie długości fal ultrafioletowych (UV) zachodzącymi w kompozytach o osnowie z polimerów chemoutwardzalnych wzmacnianych włóknami. W ramach zrealizowanych prac doświadczalnych Autor opracował nową procedurę przyspieszonego starzenia materiałów kompozytowych w warunkach jednoczesnego oddziaływania promieniowania UV i zanurzenia w środowisku wodnym. Pomimo wielu dekad badań nad oddziaływaniem środowiska zewnętrznego i warunków eksploatacyjnych na zmiany właściwości polimerów i ich kompozytów, rozważania naukowe w tym zakresie pozostają wciąż aktualne. Zrozumienie procesów wpływających na zjawiska pogorszenia właściwości materiałów o złożonej budowie strukturalnej jakimi są kompozyty, powinno obejmować bowiem nie tylko ocenę zmian właściwości finalnych wyrobów, ale i odnosić się do zmian w strukturze chemicznej osnowy i ocenie oddziaływań międzyfazowych. Ponadto niezwykle ważną rolę odgrywa rozwijanie nowych metod przyspieszonego starzenia wyrobów współprowadzonych z testami porównawczymi realizowanymi w naturalnych warunkach eksploatacyjnych.

W pracy podjęto udaną próbę wytworzenia kompozytów o osnowie z nienasyconej żywicy poliestrowej (UP) i epoksydowej (EP) wzmacnianych ciągłymi włóknami szklanymi i węglowymi w postaci tkanin. Ponadto badania uzupełniono o ocenę efektywności zabezpieczenia kompozytów przed oddziaływaniem promieniowania UV za pomocą powłok ochronnych modyfikowanych czterema komercyjnymi stabilizatorami. Próbkę do badań poddano procesom starzeniowym

realizowanym w warunkach oddziaływania naturalnego środowiska zewnętrznego i przyspieszonego starzenia, w tym metodami znormalizowaną i z użyciem autorskiego stanowiska. Próbkę badawczą oceniano pod kątem zmian jakości powierzchni zewnętrznej kompozytów metodami optycznej i skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), uzupełniając obserwacje o pomiary chropowatości wykonane metodą profilometrii stykowej, analizowano ich strukturę chemiczną (spektroskopia w zakresie fal podczerwonych z transformacją Fouriera - FTIR) oraz przeprowadzono badania mechaniczne. Autor słusznie skupił się w głównej mierze na porównywaniu zmian właściwości indukowanych procesami starzeniowymi prowadzonymi w zróżnicowanych warunkach.

W efekcie zrealizowanych prac badawczych rozszerzono dotychczasową wiedzę o przebiegu procesów degradacyjnych kompozytów o podstawie z UP i EP uwzględniając wpływ oddziaływania promieniowania UV w środowisku wodnym. Rozprawa zatem nosi znamiona pracy interdyscyplinarnej, łącząc w swej tematyce zagadnienia z zakresu inżynierii materiałowej, fizykochemii polimerów oraz wiedzy dotyczącej budowy nowej aparatury badawczej.

3. Układ rozprawy

Prace doświadczalne opisane w rozprawie doktorskiej zostały wykonane w Katedrze Technologii Materiałowych na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej, pod kierunkiem dr hab. inż. Mateusza Koziola, profesora Politechniki Śląskiej. Zakres rozprawy stanowi aktualny temat rozważań naukowych w zakresie inżynierii materiałowej i odnosząc się do badań kompozytów polimerowych, stanowi to kontynuację dotychczas realizowanego kierunku prac zespołu KTM WIM PŚ. Badania miały charakter podstawowy, niemniej dyskusja dotycząca zmian w strukturze chemicznej i powstawania wad powierzchniowych korelowana ze zmianami właściwości użytkowych podejmowana w kontekście prognozowania czasu życia wyrobów umożliwiła nadanie pracy aspektu aplikacyjnego.

Recenzowana rozprawa doktorska obejmuje 212 stron i ma formę monografii. Częściowo wyniki prac doświadczalnych zostały opublikowane przed złożeniem recenzowanej dysertacji w czasopismach naukowych indeksowanych na liście *Journal Citation Reports* (JCR). Doktorant odpowiednio zacytował je w pracy, zamieszczając również zgody na wykorzystanie wyników badań, co stanowi właściwą praktykę i świadczy o dużej świadomości Autora w zakresie wykorzystania praw autorskich i etyki pracy naukowej.

Praca składa się z dziesięciu rozdziałów. W części teoretycznej, stanowiącej przegląd literatury, w pięciu podrozdziałach przywoływana jest wiedza w zakresie materiałów i technologii formowania laminatów (2.1), procesów degradacyjnych zachodzących w polimerach i ich kompozytach (2.2) ze szczególnym uwzględnieniem oddziaływania promieniowania UV, któremu poświęcono odrębną sekcję (2.3) i badań starzeniowych oraz metod analitycznych stosowanych do oceny właściwości kompozytów polimerowych (2.5). Część teoretyczna kończy się podsumowaniem odnoszącym się do dotychczasowego stanu wiedzy, wskazując na konieczność usystematyzowania raportowanych informacji w zakresie badań starzeniowych, motywowaną dużą rozbieżnością w wynikach prac doświadczalnych. Autor w słuszny sposób zwraca uwagę na brak możliwości porównania zmian właściwości wywołanych tymi samymi procedurami starzeniowymi polimerów nienapełnionych z kompozytami wytworzonymi z ich wykorzystaniem. Opisuje również problem ograniczeń w korelacji zmian strukturalnych wywołanych procedurami znormalizowanymi i warunkami oddziaływania naturalnego środowiska w trakcie ich czasu życia. Nie mogą jednak zgodzić się z dość powszechnie już powielanymi stwierdzeniami dotyczącymi dopiero rosnącej roli kompozytów w zastosowaniach przemysłowych. Obecnie niemal w każdej dziedzinie życia można

spotkać wyroby wytworzone z materiałów syntetycznych wzmacnianych włóknami ciągłymi, a ich produkcja stanowi ważną rolę rozwoju wielu segmentów przemysłu.

Doktorant powołuje się na 352 pozycje literaturowe, w tym większość pochodzących z ostatnich 20 lat, nie pomijając jednak kluczowych publikacji z końca dwudziestego wieku, ważnych dla rozwoju obecnego stanu wiedzy. Potwierdza to duże zaangażowanie w zgłębianie interdyscyplinarnego charakteru pracy i chęć zrozumienia oraz wyjaśnienia badanych zjawisk.

W części eksperymentalnej zdefiniowano cel i zakres pracy oraz przedstawiona została teza badawcza odnosząca się do rozszerzenia dotychczasowych procedur doświadczalnych o metodę starzenia próbek w kąpeli wodnej przy użyciu promieniowania światła w zakresie UV oraz zastosowania jej do opracowania wytycznych do projektowania materiałów o zwiększonej odporności starzeniowej. Następnie Doktorant zdefiniował zastosowane materiały, przedstawił procedurę formowania kompozytów i referencyjnych próbek niemodyfikowanych. W dalszej części opisane zostały procedury starzenia wytworzonych materiałów, w tym opis nienormatywnego autorskiego stanowiska laboratoryjnego i zastosowaną metodykę pomiarów. Zaproponowane metody oceny materiałów polimerowych skupiają się na analizie zmian powierzchniowych (mikroskopia optyczna i SEM oraz profilometria stykowa), struktury chemicznej (FTIR) oraz właściwości mechanicznych oznaczonych w metodami statycznego rozciągania, zginania i ścinania międzywarstwowego (ILSS). Dla wybranych serii materiałowych zrealizowana została ponadto analiza termomechaniczna (DMTA).

Pracę kończy bardzo obszerne podsumowanie zawierające opis wykonanych działań oraz wniosków wyciągniętych na ich podstawie. Po podsumowaniu przedstawiona została bibliografia, dotychczasowy dorobek naukowy i wynalazczy Doktoranta, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz zgody do wykorzystania wyników badań wcześniej już opublikowanych. W mojej ocenie teza pracy została zweryfikowana, niemniej w podsuwaniu podjęty powinien być aspekt dalszego planu badań oraz możliwych modyfikacji eksperymentu zawierającego krytyczne aspekty weryfikacji doświadczalnej nowej procedury starzeniowej. Pozwoliłoby to na doprecyzowanie nie w pełni wyjaśnionych zależności materiałowych oraz zaproponowania sposobu kontroli procesu starzenia wykonywanego przy użyciu nowej metody. Pozostaje mieć nadzieję, że powstawanie niniejszej pracy będzie stanowiło przyczynek do dalszego zgłębiania rozpatrywanych zjawisk w zakresie degradacji polimerów i ich kompozytów oraz rozwoju nowej metodyki badań starzeniowych.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Część eksperymentalna rozprawy została wykonana w sposób właściwy z punktu widzenia realizacji procedury starzeniowej i oceny zmian właściwości badanych materiałów. Zarówno ilość wytworzonych serii badawczych, jak i sposób przygotowania próbek nie budzi większych zastrzeżeń. Zastosowane techniki pomiarowe użyte do oceny zmian właściwości polimerów i ich kompozytów są wystarczające z punktu widzenia osiągnięcia celów pracy oraz wykazania różnic pomiędzy efektami degradacyjnymi inicjowanymi poprzez zróżnicowane warunki procedur starzeniowych. O ile badania w zakresie różnych materiałów poddanych procedurom przyspieszonego starzenia są prowadzone od lat, to wprowadzanie nowych proceduralnych i metodologicznych rozwiązań nie jest częste i stanowi może istotny wkład zarówno w ujęciu naukowym, jak i aplikacyjnym. Podjęcie tej tematyki jest słuszne i stanowi uzupełnienie obecnego stanu wiedzy. Niemniej brak zastosowania uzupełniających metod badawczych do wielokryterialnej oceny i kwantyfikacji obserwowanych zjawisk i efektów, stwarzają pole do dalszej dyskusji. O ile na podstawie obecnego stanu wiedzy

zaproponowane interpretacje zmian właściwości są właściwe, to mając na uwadze ukierunkowanie opisywanych w rozprawie prac na wprowadzenie nowych procedur oceny materiałów należy mieć nadzieję, że prace będą kontynuowane. Podsumowując, zrealizowane badania są oryginalne i stanowią nowość naukową, są one również uzupełnieniem obecnego stanu wiedzy, odpowiadają na postawione tezy i spełniają zdefiniowane przez Doktoranta cele.

5. Dyskusja i uwagi krytyczne

Rozprawa, a w szczególności jej część literaturowa, jest przygotowana w sposób staranny, niemniej nie jest pozbawiona błędów literowych czy też nazewniczych. Jakość obiektów graficznych jest na zróżnicowanym poziomie i niestety sposób prezentacji wyników jest często utrudniony przez rozmieszczenie ich na odrębnych rysunkach. Na podstawie analizy przedstawionej do recenzji pracy pojawia się również szereg pytań i wynikających z nich uwag krytycznych.

Z punktu widzenia realizacji badań starzeniowych, a szczególności prac związanych z wpływem promieniowania UV na materiały polimerowe, ocena zmian barwy i połysku stanowią podstawowe narzędzia kontroli jakości i kryterium porównawcze umożliwiające skwantyfikowanie zmian degradacyjnych zachodzących na powierzchni badanych materiałów. Dziwi fakt niezastosowania powszechnie rekomendowanej i stosowanej metody oceny zmian barwy tj. przestrzeni CIE $L^*a^*b^*$ (ISO/CIE 11664-4:2019), jak również oznaczenia względnej różnicy zmiany barw (ΔE), za pomocą dedykowanych urządzeń. Opisy dotyczące matowienia próbek powinny odnosić się ponadto nie tylko do zmiany ich chropowatości, ale i połysku (ISO 2813). Dzięki zastosowaniu obydwóch wyżej wymienionych miar możliwe byłoby porównanie wyników badań ze sobą opisując w sposób dużo bardziej precyzyjny różnice zarówno w zmianach indukowanych przez różne metody starzenia, jak i w dalszej części pracy efektywności stabilizującej zastosowanych dodatków syntetycznych. W pracy podjęto jednak próby parametrycznej oceny zmian barwy (Rozdział 9.3, Rys. 9.7). Nie jest jednak jasne na podstawie jakich badań oznaczano barwę wyrobów w przestrzeni RGB.

Autor używa w tekście naprzemiennie oznaczeń DMTA i DMA, o ile nazwy te odnoszą się do tej samej metody pomiarowej to rekomendowane jest stosowanie tożsamyh oznaczeń w ramach jednej pracy. Ponadto pomimo zrealizowania badań DMTA dla części próbek, dziwi brak graficznego zestawienia krzywych termomechanicznych, a jedynie przedstawienie wartości temperatury zeszklenia (T_G). Mając na uwadze odnoszenie się w interpretacjach do pogorszenia oddziaływań międzyfazowych (polimer-włókno), analiza termomechaniczna pozwoliłaby na pośrednie odniesienie się do tych zmian.

Dość spore zastrzeżenia budzi niepodjęcie próby ilościowego oznaczenia zmian gęstości usieciowania materiałów polimerowych. Autor słusznie zrealizował próby dla materiałów polimerowych nienapełnionych włóknami (UP, EP), jednak dziwi niezrealizowanie innej niż spektroskopowa ocena zmian ich struktury chemicznej. Możliwe i opisywane w literaturze jest oznaczenie gęstości usieciowania metodą rozpuszczalnikową dla obydwóch zastosowanych żywic chemoutwardzalnych. Ponadto w pracy zastosowano analizę termomechaniczną DMTA, a na podstawie zmian wartości modułu zachowawczego możliwe jest oznaczenie gęstości usieciowania nienapełnionych serii UP i EP. Zrealizowanie tych badań dla wytworzonych przez doktoranta serii materiałowych pozwoliłoby o uzupełnienie wnioskowania o wartościowe dane potwierdzające wielokrotnie powtarzane i poniekąd prawdziwe stwierdzenia.

W przypadku próbek poddawanych nienormatywnej i nowej metodzie przyspieszonego starzenia Autor słusznie zauważa intensyfikację zjawisk degradacyjnych towarzyszących

uszkodzeniu zewnętrznej warstwy tworzonej przez osnowę i efektu odsłonięcia włókien wzmacniających. Analizując wyniki i przedstawioną dyskusję rodzi się jednak pytanie dotyczące przygotowania próbek do badań. Czy laminaty, których wymiary były ustalane w wyniku obróbki mechanicznej były zabezpieczone dodatkową warstwą żywicy w miejscu obróbki w celu ograniczenia efektu nasiąkania materiału? O ile powierzchnia krawędzi próbek jest niewielka względem całej próbki, to stanowi ona płaszczyznę prostopadłą do ułożenia włókien, a przez to możliwe jest wystąpienie efektu kapilarnego powodującego objętościowe przesycanie kompozytu wodą i efekt pęcznienia w całej objętości laminatu. Ponadto w pracy nie przedstawiono wyników analizy charakteryzującej porowatość próbek kompozytowych zastosowanych do badań, co wydają się być dość istotną informacją w przypadku realizacji prac badawczych związanych z oceną ich procesów starzeniowych związanych z efektami nasiąkania wodą. Ponadto o ile Autor odnosi się na stronie 113 do zmian masy badanych laminatów (Rys. 6.3., brak słupków błędów), spowodowaną jednoczesnym oddziaływaniem promieniowania UV oraz środowiska wodnego, to nie została zrealizowana powszechnie stosowana metoda badania chłonności wody tych materiałów jako odrębna próba.

W rozprawie słusznie zastosowano analizę spektroskopową do oceny zmian w strukturze chemicznej materiałów poddawanych procesom starzeniowym. W wyczerpujący sposób Doktorant opisał mechanizmy towarzyszące zjawiskom degradacyjnym odnosząc się do źródeł literaturowych. Biorąc pod uwagę jak dużą rolę w interpretacji wyników zajęła analiza spektroskopowa FTIR, dziwi niewłaściwy opis miar uzyskanych danych, np. oś X na wykresach obrazujących widma FTIR w zaproponowanych jednostkach to liczba falowa, a nie długość fali, w takim przypadku powszechną praktyką jest również przedstawienie wartości od największych (4000 cm^{-1}) na początku skali do najmniejszych (400 cm^{-1}). Ponadto niedopuszczalne jest w formie pisemnej stosowania spolszczonego terminu „pik” odnoszącego się do pasm absorpcyjnych występujących przy określonej liczbie falowej. Błąd ten jest obecny zarówno w tekście, jak i w tabelach (np. Tabela 5.3).

Zgodnie z opisem metodyki badań (4.2.2), Autor zastosował metodę skaningowej mikroskopii elektronowej do oceny powierzchni zewnętrznej kompozytów. Przedstawione w pracy obrazy powierzchni laminatów po procesie starzenia wykonane są jednak w większości przypadków prawdopodobnie metodą mikroskopii optycznej i w jakości uniemożliwiającej jednoznaczne wyróżnienie opisywanego w tekście zjawiska odsłaniania włókien wzmacniających, powstającego w wyniku wykruszeń osnowy polimerowej. Wykonanie analiz SEM w trybie BSE, powinno umożliwić nie tylko wykonanie map 3D obrazujących powierzchnię laminatów (zamieszczonych w pracy), ale również pozwolić na zróżnicowanie obrazu uzyskiwanego dla materiałów o różnej gęstości, a zatem zwiększenia widoczności włókien na prezentowanych obrazach SEM.

W przypadku stosowanej żywicy epoksydowej należy podać nazwę użytego utwardzacza. Opis, który znaleźć można w tekście, tj. „*aminy cykloalifatyczne*” jest niewystarczający i wymaga uszczegółowienia.

Pomimo bardzo dużej ilości wykonanych badań, sposób ich prezentacji dość istotnie wpływa na odbiór pracy i utrudnia porównanie zestawionych w odrębnych rozdziałach wyników badań. Często w przypadku zestawień wykonywanych dla próbek poddanych procesom starzeniowym (np. Rys. 8.1, Rys. 8.2) nie zaprezentowano wyników bądź też obrazu przedstawiającego próbkę referencyjną. W przypadku wykresów słupkowych, celowym byłoby naniesienie linii bazowej lub dodanie odrębnej serii badawczej odnoszącej się do próbki przed procesem starzenia (np. Rys. 8.3). Stwarza to bowiem konieczność wielokrotnego poszukiwania wartości referencyjnych we wcześniejszych częściach pracy. Metoda prezentacji wyników w rozdziałach 5.1 i 5.2 polegająca na



dwukrotnym przedstawieniu wyników badań dla próbek nienapełnionych oraz kompozytowych, o ile może wydawać się logiczna, również utrudnia porównanie różnicy zmian indukowanych procesami starzeniowymi w obydwóch grupach materiałowych. Zestawienie na zbiorczych wykresach pozwoliłoby na skrócenie zarówno dość obszernego opisu, jak i zwiększenie przejrzystości prezentacji wyników.

Każdorazowe opracowanie nowej metody bądź procedury badawczej, związane z wytworzeniem dedykowanego stanowiska, stwarza konieczność wnikliwej analizy czynników mogących wpływać na uzyskiwane wyniki. W przypadku nowo opracowanego stanowiska do realizacji procesu starzeniowego w kąpeli wodnej próbek kompozytowych pojawia się szereg pytań do Doktoranta wymagających odpowiedzi. (i) Zastosowane zbiorniki wodne mają relatywnie niewielką objętość, a woda w nich znajdująca się nie cyrkuluje. Wiadomym jest, że samo promieniowanie UV nie zmieni pH wody, niemniej mając na uwadze fakt, że w wyniku opisywanych procesów degradacyjnych do środowiska wodnego uwalniają się związki małowczątkowe, pojawia się pytanie czy w trakcie trwania pomiarów realizowana była procedura monitorowania pH środowiska wodnego oraz czy jego zmiana może być powodem intensyfikowania zmian w strukturze starzonych materiałów. (ii) Autor wspomina o 20% pomniejszeniu energii promieniowania w wyniku odbicia światła od powierzchni wody i następnie dodatkowym jej pomniejszeniu w środowisku wodnym na drodze optycznej 1 i 10 mm. Mając na uwadze, że zastosowane odległości odpowiadają standardowym wymiarom kuwet stosowanych w spektroskopii UV-Vis pojawia się pytanie czy zbadany był wpływ zmiany absorpcji promieniowania UV środowiska wodnego w wydłużającym się czasie ekspozycji zanurzonych w nim laminatów ulegających degradacji. Rodzi to następne pytanie czy Autor przeliczył skumulowaną wartość energii pochłoniętej przez próbki badane nową metodą uwzględniając straty energii spowodowane prawdopodobną zmianą absorpcji promieniowania UV na zdefiniowanej drodze optycznej w środowisku wodnym?

O ile zrozumiałe jest stosowanie jednostek spoza układu SI w przypadku przedstawiania powszechnie stosowanych w technice wartości ciśnienia (bar), to należy podkreślić, że wartość ta nie może być ujemna, a jej wskazanie na elemencie pomiarowym pompy próżniowej powinno być odpowiednio przeliczone („-0,99 bar”, str. 78).

W pracy napotkać można wiele błędów nazewniczych, jak również stosowanie języka nietechnicznego i zaczerpniętego z mowy potocznej. W przypadku wielu zdań odnaleźć można niecodzienne konstrukcje stylistyczne, takie jak „*wewnętrzne warstwy kompozytu zachowują potencjał właściwości mechanicznych*”, „*zmiany właściwości, manifestowane zmniejszeniem wytrzymałości mechanicznej*”, czy stosowanie określenia „*spadania*” w odniesieniu do odczytanych mniejszych wartości ocenianych właściwości. Obecność wybranych stwierdzeń i terminów nie ogranicza czytelności pracy i możliwości jej zrozumienia, niemniej świadczy o konieczności bardziej skrupulatnego doboru słów i sformułowań w przypadku przygotowania tekstów naukowych polskojęzycznych przez Autora.

Mając na uwadze powyżej przedstawione komentarze należy podkreślić, że pomimo ich krytycznego charakteru, nie negują one wartości merytorycznej zrealizowanych prac badawczych w zaproponowanym zakresie. Wskazują jednak na konieczność uwzględnienia w przyszłych pracach badawczych przez Doktoranta dodatkowych metod analitycznych i uzupełnianie dyskusji o wyniki badań własnych potwierdzających zmiany w strukturze materiałów. Pomimo szeregu w/w uwag krytycznych założenia dysertacji o przeprowadzeniu prac eksperymentalnych w zakresie oceny zmian struktury i właściwości kompozytów polimer-włókno wynikających z oddziaływania promieniowania UV metodami znormalizowanymi i autorskimi, zostały zrealizowane.



Doktorant wykonał i opisał wyniki prac doświadczalnych w bardzo obszerny sposób, a następnie podsumował całość zrealizowanych działań. Największą wartością niniejszej pracy jest opracowanie nowej procedury badawczej (nienormatywnego starzenia w środowisku wodnym) i porównanie właściwości materiałów kompozytowych poddanych różnym metodom starzenia, które można mieć nadzieję zostaną udostępnione w otwartych repozytoriach.

6. Podsumowanie

Cel pracy w zdefiniowanym zakresie i przedstawiony w recenzowanej rozprawie został w pełni osiągnięty przez Doktoranta. Jego realizacja wiązała się z koniecznością wykazania wiedzy z różnych obszarów nauki, zarówno inżynierii materiałowej, inżynierii mechanicznej, jak i zagadnień w zakresie procesów degradacyjnych i chemii polimerów. Osiągnięcie ambitnych celów wiązało się z koniecznością zrealizowania dużej liczby badań materiałowych i zastosowania oraz opracowania nowych metod przyspieszonego starzenia polimerów i ich kompozytów. Mając na uwadze zakres zrealizowanych prac badawczych, pomimo krytycznych uwag dotyczących badań materiałowych oraz kontroli procesu starzenia nowo opracowaną metodą, możliwe było przygotowanie przez Doktoranta niniejszej rozprawy na wysokim poziomie.

Na podstawie wszystkich składowych recenzowanej rozprawy, w tym uwzględniając przedstawiony znaczący dorobek publikacyjny, stwierdzam, że Doktorant wykazuje dużą dojrzałość naukową, posiada szeroką wiedzę z zakresu dyscypliny inżynieria materiałowa, jak również przygotowany jest do samodzielnego prowadzenia badań naukowych na dalszych etapach kariery.

Podsumowując stwierdzam, że będąca przedmiotem niniejszej recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Jakuba Smolenia pt. „*Odporność laminatów polimer-włókno na działanie promieni ultrafioletowych*” **w pełni spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim** wynikające z Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. Ustaw z 2018 r. poz. 1668 ze zm.) oraz Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. Ustaw z 2018 r. poz. 1668 ze zm.). W związku z powyższym wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Pana mgr inż. Jakuba Smolenia do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w tym publicznej jej obrony.

dr hab. inż. Mateusz Barczewski, prof. PP

