

Prof. dr hab. inż. Elżbieta Bociąga  
Uniwersytet Śląski  
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych  
Instytut Inżynierii Materiałowej  
41-200 Sosnowiec, ul. Żytnia 10

Częstochowa, 03.07.2020 r.

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Lewandowskiego**  
**pt. „Własności reologiczne kompozytów polimerowych z napełniaczem**  
**drzewnym”**

Recenzja została opracowana na wniosek Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej z dnia 26 maja 2020 r., zgodnie z pismem Przewodniczącej tej Rady Pani prof. dr hab. inż. Marii Sozańskiej. Po zapoznaniu się z treścią przesłanej mi rozprawy stwierdzam, że mogę podjąć się opracowania jej recenzji. Oświadczam, że nie prowadziłam z Doktorantem wspólnych badań naukowych oraz że nie jesteśmy współautorami żadnej publikacji naukowej.

**Zakres rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Lewandowskiego obejmuje 175 stron. Została podzielona na dwie części: teoretyczną i badawczą. Sześć pierwszych rozdziałów stanowi część teoretyczną, a kolejne sześć część badawczą. Rozdziały te zostały poprzedzone spisem symboli i skrótów. W rozprawie zamieszczono ponadto streszczenie w języku polskim i angielskim, spis literatury, indeks tabel oraz indeks rysunków.

Pierwsze pięć rozdziałów poświęcono omówieniu zagadnień dotyczących reologii polimerów. W rozdziale drugim podane zostały podstawowe pojęcia stosowane w reologii. Wskazano charakterystyczne cechy płynów pseudoplastycznych, do których zalicza się ciekłe polimery, oraz modele reologiczne najczęściej wykorzystywane do opisu zachowania się uplastycznionych tworzyw polimerowych, takie jak model potęgowy Ostwalda de Waele, model Carreau, Carreau-Yasudy oraz Kleina.

Rozdział trzeci obejmuje omówienie zagadnień przepływu płynów przez kanały proste, o przekroju kołowym (na przykładzie przepływu Poiseuille'a), mającym duże znaczenie w reometrii kapilarnej. Doktorant wskazał na konieczność uwzględnienia poprawki Rabinowitscha, poprawki Bagleya (efektów wlotowych) oraz poślizgu na

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 03.07.2020.....  
nr 53/D/006 zat. 1  
2019/2020

ściance kapilary przy określaniu właściwości reologicznych płynów z wykorzystaniem reometrii kapilarnej.

W kolejnym 4. rozdziale zwrócono uwagę na złożony opis właściwości reologicznych polimerów napełnionych, zawierających często cząstki niekuliste, o zróżnicowanych rozmiarach. Jako najbardziej odpowiednie równania reologiczne charakteryzujące przepływ takich materiałów, zwłaszcza w przypadku dużej zawartości napełniacza, Doktorant wymienił równania Mooneya, Marona-Pierce'a oraz Gutha.

Rozdział piąty obejmuje klasyfikację i opis budowy reometrów kapilarnych.

Część teoretyczną zakończono charakterystyką kompozytów polimerowo-drzewnych WPC (rozdział 6). Wskazano na trudności w opisie właściwości reologicznych tych kompozytów, związanych głównie ze skomplikowaną charakterystyką napełniacza (cząstki o współczynniku kształtu większym niż 1, duży rozrzut wielkości cząstek, niejednorodny kształt). Stwierdzono, że w literaturze dotychczas nie został przedstawiony opis zależności reologicznych charakteryzujących kompozyty polimerowo-drzewne.

Doktorant sformułował hipotezy badawcze oraz określił cel badawczy i aplikacyjny pracy (rozdział 7). Zakres zrealizowanych prac (rozdział 8) obejmuje badania właściwości reologicznych różnych kompozytów WPC, prowadzonych z wykorzystaniem reometru kapilarnego oraz głowicy reologicznej.

Metodyka badań, opisana w rozdziale 9, obejmuje charakterystykę badanych kompozytów, ich składniki oraz sposób wytwarzania (rozdział 9.1), określanie udziału objętościowego napełniacza w kompozycie na podstawie analizy pV (rozdział 9.2), warunki prowadzenia badań reologicznych przy wykorzystaniu reometru kapilarnego i głowicy reologicznej (rozdziały 9.3 i 9.4) oraz przebieg obliczeń i wyznaczania charakterystyki reologicznej badanych kompozytów (rozdział 9.5).

W rozdziale 10 zostały zaprezentowane wyniki badań właściwości reologicznych kompozytów WPC wytworzonych na osnowie dwóch rodzajów polipropylenu. Opisano oddzielnie badania realizowane z wykorzystaniem reometru kapilarnego oraz specjalnej głowicy reologicznej przystosowanej do współpracy z wtryskarką. W końcowej części porównano wyniki badań reologicznych prowadzonych przy zastosowaniu obydwu metod badawczych.

Pracę zakończono podsumowaniem i sformułowaniem wniosków, wynikających z przeprowadzonych badań i ich analizy (rozdziały 11 i 12).

Treść rozprawy jest zgodna z jej tematem, kolejność rozdziałów została ustalona prawidłowo. Praca została opracowana bardzo starannie, zawiera 104 rysunki i 27 tabel. Spis cytowanej literatury zawiera 196 pozycji, z których 16 stanowią współautorskie publikacje Doktoranta. Obejmuje książki dobrane według zakresu

rozprawy, krajowe i zagraniczne publikacje naukowe oraz materiały informacyjne zamieszczone na stronach internetowych, z których znaczna część to najnowsze źródła literaturowe. Oceniam, że dobór literatury jest trafny i wyczerpujący pod względem merytorycznym.

### **Znaczenie tematyki rozprawy**

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej obejmuje zagadnienia oceny właściwości reologicznych kompozytów polimerowych, wytworzonych na bazie polipropylenu modyfikowanego mączką drzewną. Korzystne cechy konstrukcyjne i użytkowe kompozytów polimerowo-drzewnych (WPC), a także estetyczny wygląd wytworów z nich uzyskiwanych sprzyja coraz szerszemu stosowaniu tych materiałów, głównie w budownictwie, architekturze ogrodowej, przemyśle motoryzacyjnym. Dzięki zastosowaniu napelnacza pochodzenia naturalnego, a ponadto możliwości wykorzystania surowców pochodzących z recyklingu, kompozyty WPC są materiałami uważanymi za proekologiczne. Mogą być stosowane jako zamiennik drewna, zwłaszcza do wytwarzania przedmiotów eksploatowanych w trudnych warunkach środowiskowych, przy zmiennych obciążeniach cieplnych, kontakcie z wodą, np. deski do budowy pomostów, tarasów, ławek, deski elewacyjne, itp. Przedmioty te są kształtowane metodami przetwórstwa tworzyw polimerowych, takimi jak wytłaczanie, wtryskiwanie, w których właściwości reologiczne tworzyw decydują o prawidłowym przebiegu procesów i w efekcie uzyskaniu wytworów o cechach spełniających wymagania użytkowników. Projektowanie procesów przetwórstwa kompozytów WPC wymaga uwzględnienia wielu czynników determinujących ich właściwości reologiczne, takich jak rodzaj i zawartość drewna, nierównomierność kształtu i wymiarów cząstek drewna, oddziaływania między osnową i napelniaczem, warunki przepływu tworzywa w kanałach maszyn i narzędzi przetwórczych.

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy aktualnej i ważnej problematyki związanej z oceną właściwości reologicznych kompozytów polimerowo-drzewnych, wyznaczonych z wykorzystaniem reometrii kapilarnej, w różnych warunkach przepływu tworzywa przez kanał, w tym w warunkach zbliżonych do występujących w procesach wtryskiwania. Znajomość pełnej charakterystyki reologicznej kompozytów WPC, opis złożonych zależności reologicznych wnoszą istotny wkład w rozwój nauki w dyscyplinie inżynieria materiałowa, zwłaszcza w zakresie badania przepływów napelnionych tworzyw polimerowych. Mają również znaczenie użytkowe, stanowią cenną podstawę do doskonalenia procesów przetwórstwa kompozytów polimerowo-drzewnych.

## **Hipotezy badawcze i cele rozprawy**

Sformułowano dwie hipotezy badawcze rozprawy:

„1. Udział i wielkość cząstek napełniacza drzewnego ma decydujący wpływ na własności reologiczne kompozytów polimerowo-drzewnych o osnowie polipropylenu, przy czym wpływ ten zmniejsza się wraz ze wzrostem szybkości ścinania.

2. Istnieje możliwość przeprowadzenia sprawnych i rzetelnych pomiarów reologicznych w rzeczywistych warunkach przetwórstwa metodą wtryskiwania z wykorzystaniem kapilarnej głowicy reologicznej o prostej konstrukcji.”

Tak przedstawione hipotezy uważam za merytorycznie poprawne.

Celem badawczym rozprawy było określenie właściwości reologicznych kompozytów polimerowo-drzewnych o osnowie polipropylenu w szerokim zakresie wartości szybkości ścinania, z wykorzystaniem reometrii kapilarnej. Celem badawczym było również określenie wpływu poprawek Rabinowitscha, Bagleya i poślizgu na ścianie kapilary na nieskorygowane wartości własności reologicznych oraz opis matematyczny przepływu kompozytów z wykorzystaniem wybranych modeli reologicznych.

Jako cel aplikacyjny rozprawy przyjęto określenie właściwości reologicznych kompozytów polimerowo-drzewnych przy wysokich wartościach szybkości ścinania, charakterystycznych dla przemysłowych procesów wtryskiwania.

Osiągnięcie tak wyznaczonych celów rozprawy wymagało przeprowadzenia obszernych badań eksperymentalnych, wnikliwej analizy ich wyników oraz wykonania starannych obliczeń wyznaczanych parametrów reologicznych. Zakres i cele rozprawy zostały określone właściwie. Są one sformułowane w sposób jasny i zrozumiały.

## **Ocena merytoryczna rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy aktualnej i ciekawej problematyki wytwarzania i badania kompozytów polimerowo-drzewnych, przetwarzanych najczęściej metodami wytłaczania i wtryskiwania. Efektywność przetwórstwa kompozytów polimerowych zależy w dużej mierze od znajomości ich właściwości reologicznych podczas przepływu w kanałach maszyn i narzędzi przetwórczych. Warunki przepływu tworzywa np. w formie wtryskowej, gdzie występuje intensywne ścinanie tworzywa, decydują o zmianie lepkości tworzywa w poszczególnych fazach cyklu wtryskiwania, jego temperatury i ciśnienia, o orientacji makrocząsteczek polimeru i cząstek napełniacza, co z kolei ma znaczący wpływ na sposób wypełniania gniazd formujących, strukturę, właściwości, stan powierzchni wytwarzanych przedmiotów. Z tego względu prowadzenie badań właściwości przetwórczych kompozytów polimerowych przy zastosowaniu reometrów kapilarnych,

umożliwiających uzyskanie zmiennej, w szerokim zakresie, szybkości ścinania tworzywa można uznać za niezwykle zasadne. Szczególnie interesujące jest użycie głowicy reologicznej przystosowanej do współpracy z wtryskarką przemysłową, pozwalającej na prowadzenie badań przy wartościach szybkości ścinania zbliżonych do występujących w procesach wtryskiwania.

W części wstępnej rozprawy Doktorant wskazał na duże zainteresowanie kompozytami polimerowo-drzewnymi wynikające z ich zalet, m.in. zastosowania biodegradowalnego napełniacza pochodzenia roślinnego, w tym również pochodzącego z recyklingu, stosunkowo łatwe kształtowanie właściwości użytkowych poprzez zmianę rodzaju i udziału napełniacza oraz polimeru stanowiącego osnowę. Na podkreślenie zasługuje możliwość wielokrotnego przetwórstwa tych kompozytów. Stwierdzono, że poznanie pełnej charakterystyki reologicznej kompozytów WPC jest niezbędne do sprawnego projektowania narzędzi przetwórczych: głowic wylączarskich i form wtryskowych.

Starannie opracowane omówienie podstawowych zagadnień reologii polimerów, z uwzględnieniem rozwiązań odnoszących się do złożonych właściwości polimerów napełnionych, przedstawione zostało w części teoretycznej rozprawy. W rozdziałach poświęconych reometrii kapilarnej zamieszczono równania opisujące przepływ płynów w kanale prostym o przekroju kołowym, przy założeniu, że przepływ jest w pełni rozwinięty, ustalony, izotermiczny i laminarny, płyn jest nieściśliwy, a siły grawitacji i bezwładności mogą zostać pominięte. W celu uzyskania pełniejszej charakterystyki reologicznej płynów nienewtonowskich, jakimi są ciekłe tworzywa polimerowe, opisano sposób wyznaczania:

- poprawki Rabinowitscha pozwalającej na skorygowanie pozornej szybkości ścinania i obliczenie rzeczywistej wartości szybkości ścinania na ścianie kapilary,
- poprawki Bagleya uwzględniającej efekty wlotowe,
- szybkości ścinania skorygowanej o poślizg na ścianie kapilary.

Opisano budowę i działanie wybranych reometrów kapilarnych, w których pomiar jest wykonywany niezależnie od urządzeń przetwórczych (typu off-line) oraz reometry przystosowane do pracy z maszynami przetwórczymi (typu on-line). Reometry takie wykorzystano w badaniach eksperymentalnych.

Na podstawie analizy dostępnych danych literaturowych dotyczących właściwości reologicznych kompozytów WPC stwierdzono brak kompleksowego ich opisu, uwzględniającego zmienne czynniki, takie jak udział napełniacza, jego wymiary, oddziaływania na granicy faz składników kompozytu, warunki przepływu tworzywa.

W części badawczej rozprawy przedstawione zostały wyniki badań reologicznych kompozytów polimerowo-drzewnych, prowadzonych przy użyciu reometru kapilarnego oraz specjalnej głowicy reologicznej przystosowanej do pracy

z wtryskarką. Badano kompozyty na osnowie dwóch odmian polipropylenu, przeznaczonych do przetwórstwa metodą wtryskiwania, różniących się znacznie wartością masowego wskaźnika szybkości płynięcia (27, 72 g/10 min i 2,49 g/10 min). Jako napelniaz zastosowano dwa rodzaje frakcjonowanej mączki drzewnej, o rozmiarach cząstek w zakresach 0,12-0,2 mm oraz 0,6-0,8 mm i współczynniku kształtu odpowiednio 3,31 i 2,92. Kompozyty wytworzono metodą wytłaczania dwuślimakowego, dodając napelniaz w ilości 10, 30 lub 50 % (udział masowy). Należy zwrócić uwagę na bardzo staranną charakterystykę badanych materiałów. Przed wprowadzeniem cząstek drewna do kompozytu analizowano ich rozmiary przy użyciu mikroskopu optycznego, a następnie zmianę ich cech geometrycznych w wyniku przetwórstwa, po procesie granulowania, sprawdzono w badaniach mikroskopowych cienkich błonek sporządzonych metodą prasowania 3g próbek granulatu kompozytu. Wykazano, że podczas wytłaczania kompozytu istotnie zmniejszyły się rozmiary oraz współczynnik kształtu napelniaza. Otrzymane kompozyty zawierały mączkę o różnej wielkości cząstek drewna i zbliżonym współczynnikiem kształtu. Dodatkowo wyznaczono udział objętościowy napelniaza w kompozytach metodą pV, w stałej temperaturze i zmiennym ciśnieniu, przy użyciu reometru kapilarnego oraz głowicy reologicznej.

Rozdziały 10.2, 10.3 i 10.4 obejmują istotną część rozwiązywanego zagadnienia naukowego, sformułowanego w tezach rozprawy. Badania zasadnicze obejmowały określenie, a następnie porównanie właściwości reologicznych 12 kompozytów WPC, wyznaczonych dwiema metodami, przy zastosowaniu reometru kapilarnego oraz specjalnej głowicy reologicznej, zaprojektowanej i wykonanej przy współudziale doktoranta (patent nr PL68201 Y1). Reometr kapilarny umożliwił prowadzenie badań przy niższych wartościach szybkości ścinania (poniżej  $1000 \text{ s}^{-1}$ ), natomiast w głowicy reologicznej uzyskano warunki ścinania zbliżone do występujących w procesach wtryskiwania ( $\dot{\gamma} = 19098\div 101859 \text{ s}^{-1}$ ). W badaniach realizowanych obydwoma sposobami analizowano wpływ rodzaju i zawartości mączki drzewnej, odmiany polipropylenu, wartości szybkości ścinania na właściwości reologiczne określane na podstawie krzywych lepkości pozornej i krzywych płynięcia. Krzywe te opisano za pomocą równania Ostwalda de Waele'a, uwzględniając w równaniach nieskorygowaną szybkość ścinania, co w przypadku płynów pseudoplastycznych wprowadza do obliczeń pewien błąd. Uwzględniono zatem w dalszych analizach poprawkę Rabinowitscha i wyznaczono rzeczywistą (skorygowaną) wartość szybkości ścinania, wartości wykładnika płynięcia  $n$  i współczynnika konsystencji  $k$ . W badaniach prowadzonych z zastosowaniem reometrów kapilarnych konieczne było ponadto uwzględnienie efektów wlotowych i wyznaczenie poprawki Bagleya oraz poślizgu na ścianie kapilary, metodą Mooneya.

Wpływ zawartości napelniaza na właściwości reologiczne kompozytów określano na podstawie analizy lepkości zredukowanej, wyrażonej stosunkiem

lepkości polimeru osnowy do lepkości kompozytu. Zależność lepkości zredukowanej od udziału objętościowego napełniacza opisano za pomocą równania Kriegera-Dougherty'ego. W badaniach prowadzonych przy użyciu reometru kapilarnego stwierdzono, że przebieg zmian lepkości zredukowanej od udziału objętościowego napełniacza zależy głównie od rodzaju osnowy polimerowej kompozytu, natomiast w mniejszym stopniu od wielkości cząstek mączki drzewnej. Wyznaczono również wartości maksymalnego objętościowego upakowania napełniacza w kompozycie, wynoszące około 0,5 dla obydwu rodzajów polipropylenu i mączki drzewnej.

W rozdziale 10.4 porównano wyniki badań reologicznych uzyskanych przy zastosowaniu obydwu reometrów, w szerokim zakresie szybkości ścinania. Na podstawie analizy krzywych lepkości pozornej i pozornych krzywych płynięcia badanych kompozytów, opisanych za pomocą równania Ostawlda de Waele'a lub równania Kleina, stwierdzono, że lepkości uplastycznionych tworzyw polimerowych nie można oszacować w zadowalający sposób w znacznie różniących się warunkach przepływu. Doktorant zwrócił uwagę na częste wykorzystywanie pomiarów wartości wskaźnika szybkości płynięcia do wyznaczania krzywych lepkości i oceny właściwości reologicznych wytłaczanych lub wtryskiwanych tworzyw, co nie jest wystarczające, ani poprawne, z uwagi duże różnice w warunkach przepływu tworzywa w plastometrze i w kanałach narzędzi przetwórczych, zwłaszcza różnice w szybkości ścinania.

Zaprezentowane wyniki badań eksperymentalnych, przeprowadzone obliczenia, ich szeroka analiza były podstawą do sformułowania podsumowania oraz wniosków końcowych, potwierdzających słuszność przyjętego celu pracy i stanowiących wyczerpującą weryfikację tezy rozprawy.

Uzyskane wyniki badań są oryginalne i stanowią znaczący wkład w rozwój inżynierii materiałowej, a w szczególności wiedzy o tworzywach polimerowych, ich modyfikowaniu i ocenie właściwości reologicznych. W dostępnej literaturze brak jest przedstawienia złożonych zależności opisujących właściwości reologiczne kompozytów polimerowo-drzewnych w szerokim zakresie szybkości ścinania. Jest to praca o bardzo dużej wartości poznawczej. Ma również znaczenie użytkowe, zawiera cenne wskazówki odnośnie do możliwości wykorzystania pomiarów reologicznych do projektowania procesów przetwórstwa tworzyw polimerowych i ich kompozytów. Doktorant wykazał się umiejętnością planowania i prowadzenia eksperymentu oraz bardzo dobrą znajomością zagadnień teoretycznych niezbędną do realizacji założonych celów, co świadczy o Jego dojrzałości naukowej i dobrym przygotowaniu do samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

Doktorant wspomniał o możliwości prowadzenia dalszych prac naukowych w zakresie badania właściwości reologicznych kompozytów polimerowych,

rozszerzając analizy o np. efekty cieplne, zmieniające się ciśnienie tworzywa podczas przepływu w kanałach przyrządów i narzędzi przetwórczych.

### Uwagi szczegółowe

Rozprawa jest przedstawiona w sposób jasny i przejrzysty, napisana poprawnym językiem, rysunki są wykonane starannie. Nasuwa się jednak kilka uwag:

- Str. 12, pierwsze zdanie wstępu: „ Od początku lat 50. XIX wieku obserwuje się lawinowy wzrost produkcji tworzyw polimerowych...”, chyba był to już wiek XX.
- Na rysunkach zamieszczonych w części teoretycznej brak jest odnośników do literatury.
- Brakuje podsumowania przeglądu literatury, określenia przesłanek, które skłoniły Doktoranta do podjęcia określonej tematyki rozprawy.
- Str. 69, wiersz 1g: „Wraz ze wzrostem udziału... zwiększa się znacząco gęstość kompozytów”, wiersz 3g: „Nieco mniejszą gęstością...”, wiersz 7g: „... nieco niższą gęstość mączki ...”

Str. 70, zakończenie rozdziału 10.1: W analizie wyników badań użyto określeń: „ Zmiana wartości udziału... jest bardzo niewielka”, „Nieznacznie niższe wartości udziału ... wynikają z nieco niższej gęstości...”

Zamiast takich określeń lepiej pisać np. o zmniejszeniu gęstości o 1 %, itp.

- Str. 96, ostatni akapit: „Wpływ mączki drzewnej na zdolność do płynięcia kompozytów w określonych warunkach pomiaru można scharakteryzować za pomocą współczynnika pseudoplastyczności ( $X$ ) zgodnie z równaniem (53).

W analizie wyników badań (str. 98) nie stwierdzono, które wartości ( $X$ ) są najkorzystniejsze ze względu na zdolność do płynięcia.

- Str. 113, tabela 21: Liniowa prędkość przepływu w osi kanału jest prawie taka sama lub nawet większa w przypadku kompozytów PP1 z WF1 i WF2, niezależnie od zawartości napelnacza. Czym można wytłumaczyć brak wpływu tak dużej zawartości napelnacza na prędkość przepływu? Inaczej jest w przypadku tworzywa PP2 (tabela 22).
- Str. 127, wiersze 10-14 d: „Po przekroczeniu pewnej krytycznej wartości  $\dot{\gamma}_s$  nie obserwuje się istotnej różnicy w lepkości pomiędzy WPC a nienapełnionym tworzywem polimerowym stanowiącym osnowę tych kompozytów. Obserwacje te można zinterpretować jako zakres warunków przepływu, w którym nie występuje już orientacja cząstek napelnacza w kierunku przepływu.”



Czy jest możliwe, aby przy przepływie, nawet przy bardzo dużej szybkości ścinania, nie występowała orientacja cząstek w kierunku przepływu? Czy dominującym czynnikiem, decydującym o wartości lepkości, nie jest raczej wzrost temperatury w wyniku intensywnego ścinania i zmiana warunków tarcia pomiędzy cząstkami napełniacza i polimerem?

Przedstawione uwagi nie obniżają jednak merytorycznej wartości rozprawy, którą oceniam bardzo wysoko.

### **Wniosek końcowy**

Opiniowana rozprawa doktorska ma charakter oryginalnej pracy naukowej, odznacza się szeregiem wartościowych osiągnięć poznawczych z zakresu badania właściwości reologicznych kompozytów polimerowo-drzewnych. Sformułowane w niej wnioski mają również istotne znaczenie praktyczne dla przetwórców kompozytów polimerowo-drzewnych. Zrealizowana i przedstawiona jest zgodnie z metodologią wykonywania prac naukowych. Uzyskane wyniki badań potwierdzają słuszność przyjętego celu rozprawy oraz stanowią wyczerpującą weryfikację tez badawczych.

Mgr inż. Krzysztof Lewandowski wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz bardzo dobrą znajomością niezbędnej do realizacji tematyki rozprawy wiedzy teoretycznej, którą wykorzystał podczas analizy i interpretacji wyników badań oraz prowadzenia eksperymentów w warunkach laboratoryjnych. Wyniki badań stanowią cenny materiał źródłowy do dalszego doskonalenia procesów wytwarzania i przetwarzania kompozytów polimerowych. Staranny opis metodyki badawczej, dogłębna analiza i umiejętne interpretacja wyników badań świadczą o dużym zaangażowaniu Doktoranta i zrozumieniu znaczenia uzyskanych wyników badań. Na uwagę zasługuje dotychczasowy duży dorobek publikacyjny Doktoranta oraz udział w powstaniu patentu. Z tych względów wnoszę o wyróżnienie Jego rozprawy doktorskiej.

Uważam, że recenzowana praca mgr inż. Krzysztofa Lewandowskiego pt. „Własności reologiczne kompozytów polimerowych z napełniaczem drzewnym” spełnia wszystkie warunki stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym. Tak więc, stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

*E. Bouge*