

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Patrycji Bazan
pt. „Kształtowanie właściwości wytrzymałościowych i tribologicznych
kompozytów na osnowie polioksymetylenu”

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Politechniki Krakowskiej z dnia 01 czerwca 2022 r. oraz pisma Przewodniczącego Komisji ds. Przewodu Doktorskiego Pana prof. dr hab. inż. Marka Kozienia. Po zapoznaniu się z treścią przesłanej mi rozprawy stwierdzam, że mogę podjąć się opracowania jej recenzji. Oświadczam, że nie prowadziłam z Doktorantką wspólnych badań naukowych oraz że nie jesteśmy współautorkami żadnej publikacji naukowej.

Zakres rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Patrycji Bazan obejmuje 190 stron. Składa się z 11 rozdziałów, poprzedzonych wykazem oznaczeń stosowanych w rozprawie, spisu literatury, aneksu zawierającego wyniki analizy statystycznej wyników badań oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

W części wstępnej wskazano na rosnące zainteresowanie przemysłu materiałami polimerowymi, a zwłaszcza kompozytami wzmocnionymi włóknami, ze względu na ich zalety, takie jak mały ciężar, duża sztywność, dobre właściwości wytrzymałościowe. Istotną zaletą tych materiałów jest ponadto stosunkowo łatwe przetwarzanie metodami odpowiednimi zarówno do produkcji masowej jak i małoseryjnej.

W rozdziałach 2 i 3 przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie kompozytów polimerowych z napełniaczami włóknistymi. Scharakteryzowano podstawowe właściwości i zastosowanie polioksymetylenu (POM), użytego w badaniach własnych do wytwarzania kompozytów. Na podstawie dostępnej literatury opisano badania kompozytów POM, modyfikowanych dodatkami w postaci włókien oraz cząstek o różnych rozmiarach. Podano przykłady komercyjnych kompozytów produkowanych na osnowie polioksymetylenu. Rozdział 3 został poświęcony omówieniu właściwości włókien najczęściej stosowanych do wzmacniania polimerów: szklanych, węglowych oraz bazaltowych. Zwrócono uwagę na wpływ rodzaju włókna, jego postaci oraz rozmieszczenia w matrycy polimerowej na właściwości kompozytów. Podano

przykłady kompozytów hybrydowych, składających się z osnowy polimerowej oraz dwóch lub więcej rodzajów napelnacza w postaci włókien lub cząstek.

Rozdział 4 zawiera obszerny opis procesów tarcia i zużycia kompozytów polimerowych. Wskazano na sposoby zmniejszania zużycia tych materiałów, możliwość stosowania środków smarujących (zewnątrznych i wewnętrznych). Dokładniej przedstawiono przydatność wybranych środków smarujących (politetrafluoroetyleny, dwusiarczku molibdenu, grafitu) do polepszenia warunków współpracy elementów w węzłach tarcia. Wskazano także na możliwość korzystnego oddziaływania włókien wzmacniających kompozyt na jego właściwości tribologiczne.

W rozdziale piątym Doktorantka sformułowała tezę naukową i cele rozprawy: naukowej i użytecznej. Rozdział szósty zawiera plan badań własnych, składający się z czterech etapów oceny właściwości kompozytów POM:

- z włóknem bazaltowym,
- modyfikowanych dodatkami smarnymi,
- hybrydowych z włóknem bazaltowym i dodatkami smarnymi,
- hybrydowych z kompatybilizatorem.

W rozdziale siódmym opisano sposób prowadzenia badań eksperymentalnych. Scharakteryzowano materiały użyte w badaniach, przedstawiono sposób wytwarzania próbek oraz metody badań.

Rozdział ósmy zatytułowano „Wyniki badań i ich omówienie”. W kolejnych podrozdziałach przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych realizowanych zgodnie z przedstawionym planem badań. Wnioski końcowe z badań własnych oraz kierunki dalszych prac zawiera rozdział dziewiąty.

Rozdział dziesiąty obejmuje spis cytowanej literatury, który zawiera 185 pozycji, w tym 4 publikacje, których autorem bądź współautorem jest Doktorantka. W aneksie, rozdział jedenasty, przedstawiono analizę statystyczną wyników własnych eksperymentów opisanych w poszczególnych rozdziałach.

Treść rozprawy jest zgodna z jej tematem, kolejność rozdziałów została ustalona prawidłowo. Spis cytowanej literatury obejmuje książki dobrane według zakresu rozprawy, krajowe i zagraniczne publikacje naukowe oraz materiały informacyjne zamieszczone na stronach internetowych. Dobór literatury oceniam jako trafny i wyczerpujący pod względem merytorycznym.

Znaczenie tematyki rozprawy

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej obejmuje zagadnienia oceny właściwości fizycznych i budowy strukturalnej kompozytów polimerowych na osnowie polioksymetyleny, napelnionych krótkim włóknem bazaltowym. Kompozyty

modyfikowano środkami smarnymi w celu uzyskania materiału o dobrych właściwościach tribologicznych.

Korzystne cechy konstrukcyjne i użytkowe krótkowłóknistych kompozytów polimerowych, możliwość ich przetwarzania znanymi metodami przetwórstwa, np. wtryskiwaniem, wytłaczaniem, sprzyja coraz szerszemu ich stosowaniu do wytwarzania elementów maszyn i urządzeń narażonych podczas użytkowania na obciążenia mechaniczne, cieplne, działanie środowiska wodnego. Dzięki możliwości modyfikacji właściwości kompozytów mogą niejednokrotnie być one zamiennikiem tradycyjnych materiałów konstrukcyjnych. Napełniacz w postaci włókna wpływa na zwiększenie właściwości wytrzymałościowych kompozytów, natomiast dodanie środków smarnych może umożliwić uzyskanie materiałów samosmarujących, odpowiednich do wytwarzania elementów par trących. Ważnym miejscem wykorzystania takich materiałów są węzły tarcia niedostępne podczas użytkowania. Zastosowanie materiałów samosmarujących eliminuje konieczność dodatkowego doprowadzania smaru do strefy współpracy elementów pary trącej.

Istotnym zagadnieniem w kompozytach zawierających różne napełniacze jest uzyskanie dobrej adhezji pomiędzy ich składnikami, możliwej do oceny m. in. na podstawie obserwacji mikroskopowych. Z tego względu znaczące są badania wpływu kompatybilizatora, uwzględnione w rozprawie, na zwiększenie adhezji i polepszenie właściwości kompozytów.

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy aktualnej i ważnej problematyki związanej z poszukiwaniem napełniaczy kompozytów polimerowych z włóknem krótkim, prowadzących do uzyskania materiału o właściwościach spełniających określone wymagania. Badania eksperymentalne kompozytów w zakresie wyznaczania ich cech fizycznych: gęstości, chłonności wody, właściwości wytrzymałościowych, tribologicznych, cieplnych oraz obserwacje mikroskopowe przełomów próbek wnoszą istotny wkład w rozwój nauki w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Mają również znaczenie użytkowe, stanowią cenną podstawę do dalszego poszerzania oferty materiałów o specyficznych właściwościach.

Teza badawcza i cele rozprawy

Sformułowano następującą tezę naukową rozprawy:

Dodatek włókien bazaltowych do kompozycji na osnowie polioksymetylenu modyfikowanej dodatkowo środkami poślizgowymi powoduje synergiczny wzrost właściwości wytrzymałościowych i tribologicznych.

Tak przedstawioną tezę uważam za merytorycznie poprawną.

Celem naukowym rozprawy była ocena oddziaływań między składnikami kompozytów oraz ich wpływu na zmianę właściwości wytrzymałościowych i tribologicznych.

Celem utylitarnym było opracowanie składu kompozytów polioksymetylenu z krótkim włóknem bazaltowym i dodatkami smarnymi, charakteryzującego się zwiększonymi właściwościami mechanicznymi i mniejszym zużyciem w stosunku do materiału osnowy.

Osiągnięcie celów rozprawy wymagało przeprowadzenia obszernych badań eksperymentalnych oraz wnikliwej analizy ich wyników.

Ocena merytoryczna rozprawy

W ramach przeglądu literatury Doktorantka scharakteryzowała właściwości polioksymetylenu, wymieniając wady i zalety oraz produkowane odmiany i producentów tego tworzywa. Wskazała na wykorzystanie POM do wytwarzania kompozytów zawierających napelniacze włókniste i w postaci cząstek, jego modyfikację w celu polepszenia właściwości wytrzymałościowych, tribologicznych, cieplnych. Podała przykłady dotychczasowych badań wpływu rodzaju, postaci, zawartości napelniaczy na właściwości kompozytów na osnowie POM.

Ważne jest omówienie mechanizmu wzmacniania materiałów i głównych czynników decydujących o uzyskaniu wymaganych właściwości kompozytów, takich jak: właściwości osnowy, właściwości fazy wzmacniającej, zawartość, kształt, rozmiary i orientacja napelniacza, adhezja pomiędzy składnikami kompozytu oraz warunki procesu wytwarzania.

Porównano właściwości włókien szklanych, węglowych i bazaltowych. Stwierdzono, że włókna bazaltowe cieszące się coraz większym zainteresowaniem badaczy, są stosowane w postaci włókien długich głównie do wzmacniania tworzyw utwardzalnych, natomiast włókna krótkie mogą stanowić napelniacz tworzyw termoplastycznych, przetwarzanych np. metodą wtryskiwania.

Przedstawiono możliwość modyfikacji polimerów poprzez wprowadzenie do matrycy polimerowej dwóch lub więcej napelniaczy i wytwarzanie tzw. hybrydowych kompozytów. Taki sposób modyfikacji polimerów powinien zapewnić wykorzystanie zalet jednego rodzaju napelniacza i ograniczenie jego wad dzięki wprowadzeniu kolejnego dodatku. Warunkiem wytworzenia kompozytu hybrydowego jest jednak zapewnienie dobrej adhezji pomiędzy jego składnikami.

Najważniejsze ustalenia w zakresie badania procesu tarcia i zużycia kompozytów polimerowych oraz sposobów polepszania ich właściwości tribologicznych, opisane w rozdziale czwartym, Doktorantka wykorzystała w analizie wyników badań własnych.

Przegląd literatury, chociaż nie zakończony ogólnym podsumowaniem i określeniem przesłanek, które skłoniły Doktorantkę do podjęcia określonej tematyki rozprawy, posłużył do sformułowania tezy naukowej i celów pracy.

W części badawczej rozprawy przedstawiono wyniki badań właściwości nienapełnionego polioksymetylenu o nazwie handlowej Tarnoform 300 oraz 29 kompozytów polimerowych na osnowie tego tworzywa. Próbki badawcze zostały wykonane metodą wtryskiwania.

W pierwszej części badań oceniano kompozyty POM wzmocnione krótkim włóknem bazaltowym, wprowadzonym w ilości 20 i 40 % wag. Wyznaczone zostały ich właściwości mechaniczne w próbie rozciągania i zginania, chłonność wody i szybkość dyfuzji, pętle histerezy mechanicznej. Właściwości cieplne określano na podstawie pomiarów wykonanych metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej DSC oraz za pomocą analizatora termogravimetrycznego. Dodatkowe informacje o badanych materiałach uzyskano przy zastosowaniu spektrometru w podczerwieni z transformacją Fouriera. W badaniach właściwości tribologicznych wykazano pogorszenie tych właściwości w przypadku kompozytów z włóknem bazaltowym w odniesieniu do nienapełnionego POM.

Następnie badano kompozyty POM z włóknem bazaltowym modyfikowane 5 % zawartością dodatków smarnych, takich jak: silikon o ultra wysokiej masie cząsteczkowej, silikon o ultra wysokiej masie cząsteczkowej modyfikowany cząstkami kredy, silikonowy środek poślizgowy o średniej masie cząsteczkowej, dwusiarczek molibdenu oraz grafit płatkowy. Na podstawie wyników z próby rozciągania i zginania stwierdzono pogorszenie właściwości mechanicznych kompozytów po wprowadzeniu do nich środków smarnych, zwłaszcza w przypadku zastosowania dodatków silikonowych. W badaniach procesów tribologicznych, prowadzonych przy trzech wartościach prędkości poślizgu elementów trących, najmniejszymi wartościami współczynnika tarcia charakteryzowały się kompozyty modyfikowane silikonem o ultra wysokiej masie cząsteczkowej oraz dwusiarczkiem molibdenu. Najmniejszy stopień zużycia próbek uzyskano dla próbek POM z grafitem. Na podstawie tych wyników do dalszych badań wytypowano następujące środki smarujące: grafit w postaci proszkowej i płatkowej oraz dwusiarczek molibdenu.

Istotną część rozwiązywanego zagadnienia naukowego, sformułowanego w tezie rozprawy, stanowią badania kompozytów hybrydowych polioksymetylenu z włóknem bazaltowym zawierających dodatkowo środki smarne. Kompozyty POM z 7,5 i 12,5 % wag. zawartością włókien bazaltowych modyfikowano grafitem w postaci proszku, grafitem płatkowym, cząstkami PTFE, dwusiarczkiem molibdenu oraz monokrystalicznymi włóknami węgla krzemu (SC). W próbach jednoosiowego rozciągania uzyskano największe wartości wytrzymałości na rozciąganie w przypadku kompozytu modyfikowanego dwusiarczkiem molibdenu. Dobre właściwości wytrzymałościowe charakteryzują też kompozyty z włóknami SC. Moduł Younga miał wyższe wartości dla niemal wszystkich kompozytów w porównaniu z wartościami wyznaczonymi dla niemodyfikowanego POM. Korzystne właściwości

wytrzymałościowe wszystkich kompozytów stwierdzono w próbie zginania. Próby przeprowadzone w zmiennej temperaturze (-21, 21 i 80 °C) wykazały spadek właściwości wytrzymałościowych ze wzrostem temperatury.

W tym etapie pracy oceniono ponadto oddziaływanie środowiska wodnego na właściwości wytrzymałościowe kompozytów. Najmniejszą chłonnością wody charakteryzował się kompozyt zawierający 7,5 % włókien bazaltowych oraz kompozyty modyfikowane dwusiarczkiem molibdenu.

W testach cyklicznego obciążania-odciążania próbek wyznaczono pętle histerezy dla badanych kompozytów. Stwierdzono znaczące zmniejszenie wartości energii dyssypacji w pierwszej i pięćdziesiątej pętli histerezy w kompozytach, tłumacząc to blokowaniem ruchu makrocząsteczek polimeru przez wprowadzone do niego dodatki. Brakuje odniesienia wyników tych badań do właściwości wytrzymałościowych i tribologicznych kompozytów.

Obserwacje mikroskopowe przełomów próbek ułatwiły określenie wpływu napełniaczy na strukturę kompozytu, a zwłaszcza ocenę równomierności rozłożenia włókien bazaltowych w polimerowej matrycy oraz zjawiska adhezji pomiędzy składnikami badanych materiałów.

Na podstawie wyników badań tribologicznych, prowadzonych przy trzech wartościach prędkości poślizgu, stwierdzono, że dodanie do POM włókna bazaltowego oraz środków smarnych skutkuje zmniejszeniem współczynnika tarcia w odniesieniu do wartości uzyskanych dla niemodyfikowanego POM. Natomiast stopień zużycia próbek dla większości kompozytów miał stosunkowo duże wartości. W podsumowaniu stwierdzono, że dodanie cząstek grafitu, PTFE i dwusiarczku molibdenu do polimeru z włóknem bazaltowym korzystnie wpływa na ich właściwości tribologiczne.

Ostatni etap badań obejmował ocenę wpływu kompatybilizatora na właściwości mechaniczne kompozytów. Zastosowano kompatybilizator na bazie polietylenu (LLDPE) funkcjonalizowany bezwodnikiem maleinowym. Stwierdzono niewielki wzrost wytrzymałości na rozciąganie, modułu Younga oraz odkształcenia przy zerwaniu jedynie w przypadku kompozytów POM z włóknem bazaltowym oraz kompozytów modyfikowanych włóknami SC. Dla pozostałych materiałów uzyskano gorsze wyniki po zastosowaniu kompatybilizatora. Czy może to wskazywać na kompatybilizator nieodpowiednio dobrany do kompozytów POM?

Zaprezentowane wyniki badań eksperymentalnych, ich szeroka analiza były podstawą do sformułowania wniosków końcowych, potwierdzających słuszność przyjętego celu naukowego pracy i stanowiących wyczerpującą weryfikację tezy rozprawy. Nie wskazano jednak wyraźnie, który z materiałów w najlepszym stopniu

spełnia wymagania odnośnie do właściwości wytrzymałościowych i tribologicznych elementów z nich wykonanych – taki był cel użyteczny rozprawy.

Jako kierunek dalszych badań Doktorantka wskazała wytwarzanie i badanie kompozytów polioksymetyleny z włóknem bazaltowym długim, w celu uzyskania większego wzmocnienia materiału oraz badania kompozytów z innymi kompatybilizatorami, zapewniającymi lepszą adhezję pomiędzy składnikami kompozytu. Dotychczasowe doświadczenia Doktorantki uzyskane podczas niezwykle obszernych, czasochłonnych badań eksperymentalnych z pewnością będą bardzo cenne przy realizacji dalszych prac.

Uzyskane wyniki badań są oryginalne i stanowią znaczący wkład w rozwój wiedzy o kompozytach na podstawie termoplastycznych tworzyw polimerowych. Wyniki badań są cennym materiałem rozszerzającym dotychczasowe doświadczenia w zakresie projektowania materiałów kompozytowych o specyficznych właściwościach. Doktorantka wykazała się umiejętnością planowania i prowadzenia eksperymentu, wykorzystaniem nowoczesnej aparatury i metod badawczych, co świadczy o Jej dojrzałości naukowej i dobrym przygotowaniu do samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

Uwagi szczegółowe

Rozprawa jest zredagowana w sposób przejrzysty. Należy docenić dobre zaplanowanie kolejnych etapów badań. Nasuwają się jednak uwagi dotyczące poprawności językowej. Poniżej podano kilka przykładów niepoprawnie sformułowanych zdań:

- Str. 9, w. 2-3 g: „Wytworzone materiały poddano kształtowaniu właściwości wytrzymałościowych oraz tribologicznych.” Właściwości się nie kształtuje, tylko uzyskuje w wyniku np. modyfikacji.
- Str. 15, w. 6 d: „Nastąpił jednak wyraźny spadek właściwości tribologicznych ze względu na obecność włókna bazaltowego na granicy zużycia.” Co to jest „granica zużycia”?
- Str. 18, w 6 i inne: „...wyższa granica plastyczności ogranicza szybkość zużycia.” To nie granica plastyczności coś ogranicza, tylko materiały o wyższej granicy plastyczności są bardziej odporne na zużycie.
- Str. 26, w. 14 d: „Warunkiem prawidłowej pracy kompozytu...” Kompozyt nie wykonuje pracy.
- Str. 28, w. 4-5 g: „...naprężeń generowanych przez geometrię włókna.” Raczej „powstawanie naprężeń zależnych od geometrii włókna”.

- Str. 44, w. 10-11 g: „Styk cierny ulega cyklicznemu naprężeniu przy ślizganiu i wzajemnemu przesuwaniu.” Co to jest „styk cierny”? Naprężenia powstają w materiale na skutek obciążenia.
- Str. 66, w. 14-15 d: „Absorpcja wody zależy od makro- i mikrostruktury materiału, a więc również od wewnętrznej powierzchni badanej próbki ...” Co to jest wewnętrzna powierzchnia próbki?

Pozostałe uwagi:

- Str. 62, tabela 7.1.: jednostką gęstości w układzie SI jest kg/m^3 , udarności J/m^2 ; zamiast „indeksu płynięcia” powinien być „wskaźnik szybkości płynięcia”.
- Str. 62-63, p. 7.1. Materiały: Jaką metodą wytwarzano kompozyty?
- Str. 63, tabela 7.2: Materiały oznaczone 7B i 12 B mają taki sam skład; podobnie materiały 7BTS i 12BTS.
- Str. 64, p. 7.2.: Czy próbki z wszystkich materiałów wytworzono przy takich samych parametrach wtryskiwania? Kompozyty z dużą zawartością napelniaczy charakteryzują się inną wartością wskaźnika szybkości płynięcia niż nienapełniony POM, nie mogą być przetwarzane w takich samych warunkach.
- Str. 65: Brak wyjaśnień znaczenia symboli M_1 , M_2 , t_1 , t_2 we wzorze (5).
- Str. 68, p. 7.3.6., w. 7-8: „Próbki do testu DSC przygotowano w taki sam sposób jak próbki do badań wytrzymałościowych.” Do badań wytrzymałościowych stosuje się inne próbki niż do testu DSC. Skąd pobierano próbki o masie 10 mg do badań DSC? Jakie były warunki ochładzania próbek?
- Str. 70, tabela 8.3: Skąd zaczerpnięto wartości parametrów do obliczeń modułu sprężystości? Czy były to wartości wyznaczone w badaniach eksperymentalnych Doktorantki, czy z literatury (brak cytowania)?
- Str. 72, rys. 8.2 i str. 75, rys. 8.3: Wyniki pomiarów chłonności wody trzech badanych materiałów, przedstawione na tych rysunkach, znacznie się różnią.
- Str. 80 i 81, rys. 8.6 i 8.7: Niepoprawny opis wyników badań wykonanych metodą DSC. Podczas nagrzewania próbki zachodzi proces topnienia (endotermiczny), a podczas chłodzenia krystalizacja (proces egzotermiczny).
- Str. 83, rys. 8.8.: Na wykresie DTG, na osi rzędnych, powinna być szybkość zmiany masy próbki w czasie.
- Str. 89, w. 2-3 d: „Warstwa transferowa formowana jest naprzeciw powierzchni. Szybkość tworzenia filmu transferowego zależy od materiału, a także od warunków poślizgu.” Czym jest warstwa transferowa podczas procesu tarcia?

Doktorantka przeprowadziła szerokie badania aż 30 rodzajów materiałów. Bardzo duża ilość wyników badań mogła być przyczyną trudności w ich opisie

i uniknięcia wspomnianych niedoskonałości językowych czy nieprecyzyjnych określeń. Przedstawione uwagi nie obniżają jednak merytorycznej wartości rozprawy.

Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska odznacza się szeregiem wartościowych osiągnięć poznawczych z zakresu projektowania i badania właściwości kompozytów polimerowych. Oryginalnym dorobkiem Doktorantki jest podjęcie próby ustalenia takiego składu kompozytów na podstawie polioksymetylenu napełnionego włóknem bazaltowym, który pozwala na uzyskanie materiału charakteryzującego się nie tylko dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi, ale również tribologicznymi. Kompozyty włókniste najczęściej spełniają wymagania odnośnie do ich właściwości wytrzymałościowych, natomiast wprowadzenie do takiego kompozytu dodatkowo środków smarnych umożliwia uzyskanie materiałów samosmarujących, mających istotne znaczenie np. w budowie maszyn i urządzeń.

Rozprawa została zrealizowana i przedstawiona zgodnie z metodologią wykonywania prac naukowych. Uzyskane wyniki badań potwierdzają słuszność przyjętych celów rozprawy oraz stanowią wyczerpującą weryfikację tezy badawczej. Uzyskane wyniki badań są oryginalne i stanowią znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa, a w szczególności wiedzy o włóknistych kompozytach polimerowych na osnowie tworzyw termoplastycznych.

Mgr inż. Patrycja Bazan wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz dobrą znajomością niezbędnej do realizacji tematyki rozprawy wiedzy teoretycznej, którą wykorzystała podczas analizy i interpretacji wyników badań oraz prowadzenia eksperymentów w warunkach laboratoryjnych. Wyniki badań stanowią cenny materiał źródłowy do dalszego doskonalenia procesów modyfikowania i projektowania kompozytów polimerowych.

Uważam, że recenzowana praca mgr inż. Patrycji Bazan pt. „Kształtowanie właściwości wytrzymałościowych i tribologicznych kompozytów na osnowie polioksymetylenu” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Stawiam wniosek do Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Politechniki Krakowskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

E. Bouizzo