



Warszawa 09.05.2024

dr hab. inż. Łukasz Kurpaska, prof. NCBJ
Laboratorium Badań Materiałowych
Narodowe Centrum Badań Jądrowych
ul. Andrzeja Sołtana 7/23,
05-400 Otwock-Świerk
e-mail: Lukasz.Kurpaska@ncbj.gov.pl

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Adriana Nowaka
pt.: „Struktura i właściwości glinokrzemianowych materiałów ceramicznych
modyfikowanych kineskopową stłuczką szklaną”
przygotowanej pod kierunkiem Pana dr. hab. inż. Józefa Iwaszko, prof. PCz (Promotor) oraz
Pani dr inż. Małgorzaty Lubas (Promotor pomocniczy).**

1. Podstawa wykonania recenzji

Podstawą do wykonania recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Adriana Nowaka było pismo Pana dr. hab. inż. Rafała Prusaka, prof. PCz, Kierownika Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Częstochowskiej z dnia 11.03.2024.

Podstawa prawna art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.). Opinia dotycząca przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawiera trzy elementy:

- Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa;
- Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta ubiegającego się o nadanie stopnia doktora;
- Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

2. Charakterystyka pracy

Praca doktorska Pana mgr. inż. Adriana Nowaka poświęcona jest wytworzeniu nowych materiałów na bazie surowców mineralnych (powszechnie dostępnych na terenie Polski) modyfikowanych poprzez dodanie kineskopowej stłuczki szklanej. Do wytworzenia tych materiałów wykorzystano tradycyjną metodę topienia zestawów surowcowych i ich zeszklenia z dodatkiem szkła kineskopowego (*cathode-ray tube - CRT*). Zaprezentowane w pracy podejście z całą pewnością stanowi innowacyjne rozwiązanie, które może przyczynić się do zredukowania kosztów produkcji szkielek oraz materiałów szklano-krystalicznych. Ponadto, wykorzystanie stłuczki szklanej, która zawiera trudno-usuwalne metale ciężkie może przyczynić się do znaczącego zredukowania ilości odpadów elektronicznych deponowanych na składowiskach odpadów. Z tego powodu, w przedmiotowej dysertacji opracowano nowe kompozycje materiałowe, które w przyszłości

mogłyby być wykorzystane w przemyśle ceramicznym lub szklarskim. Pomimo, że oceniana praca ma charakter typowej pracy doktorskiej, oceniam ją bardziej jako pracę wdrożeniową, opisującą potencjalne rozwiązanie przemysłowe (zagospodarowanie szkła z kineskopów CRT), które może przynieść bardzo pozytywne skutki dla gospodarki, przede wszystkim w kontekście ochrony środowiska naturalnego. Podejście tego typu jest niezwykle rzadko spotykane w dzisiejszym świecie i zasługuje na uznanie oraz powinno być pielęgnowane. **W mojej ocenie, tezy recenzowanej pracy doktorskiej zostały trafnie i jasno sformułowane, a otrzymane wyniki zaprezentowane są w klarowny sposób.** Ponadto, zdobyta przez Autora wiedza została wykorzystana w innych obszarach nauki co zaowocowało kilkoma publikacjami. *Warto zauważyć, że czasopisma, w których opublikowane zostały wyniki badań są uznanymi w środowisku naukowym (krajowym i międzynarodowym) źródłami wiedzy, a proces recenzji w tych czasopismach jest rygorystyczny. Świadczy to o wysokim poziomie naukowym Kandydata i wskazuje na jego dużą samodzielność badawczą.*

Należy wskazać, że temat pracy doktorskiej jest również niezwykle istotny ze względu na prowadzone w kraju wysiłki w dziedzinie ochrony środowiska, co w obliczu obecnie występującej transformacji gospodarczej i postępu technicznego społeczeństwa nie zawsze jest najwyższym priorytetem. Zgodnie z wypowiedzią Autora, szkło kineskopowe jest materiałem niedegradowalnym i przyczynia się do zanieczyszczenia środowiska naturalnego, m.in. poprzez uwalnianie jonów metali ciężkich, w tym ołowiu, strontu i baru. Pan mgr inż. Adrian Nowak w rozprawie zaproponował rozwiązanie w postaci jednoczesnej wityfikacji wraz z innymi surowcami szklarskimi. Takie podejście prowadzi do uwięzienia w więźbie szkła metali ciężkich, co skutecznie eliminuje problem uwalniania się ww. szkodliwych jonów. Z tego też powodu, należy wspomnieć i jasno podkreślić, że tematyka rozprawy doktorskiej Autora jest zgodna ze strategicznymi rządowymi dokumentami, w tym:

- **Strategią na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju (SOR)** w ramach punktu VIII „Obszary wpływające na osiągnięcie strategii”, punkt „Środowisko”, podpunkt 4 „Ochrona gleb przed degradacją”;
- **Krajowe Inteligentne Specjalizacje (KIS)** w ramach tematu 7 „Gospodarka w obiegu zamkniętym” podpunkt II „Pozyskanie i wykorzystanie zasobów odnawialnych i nieodnawialnych”.

Ostatnim dokumentem, który nie jest jeszcze szczegółowo opisany, a w którym przedmiotowy temat pracy doktorskiej z pewnością znajdzie swoje miejsce jest Krajowy Plan Odbudowy (KPO), który aktualnie jest reorganizowany i również kładzie duży nacisk na technologie związane z ochroną środowiska i zasobów naturalnych.

Podsumowując, przedstawiona praca jest zgodna ze wszystkimi ww. krajowymi dokumentami oraz opisanymi w nich zadaniami, które mają na celu rozwój rozwiązań z zakresu ochrony środowiska naturalnego. Jednym z takich przykładów jest zahamowanie przedostawania się metali ciężkich do gleby i wody poprzez trwałe ich związanie w innych rodzajach szkieł, które jednocześnie mogą pełnić np. rolę włóknistych materiałów izolacyjnych, płytek wykładzinowych czy wręcz elementów konstrukcyjnych. **Potwierdza to tym samym wybór niezwykle ważnej i oryginalnej tematyki badawczej.** W celu sprawdzenia efektywności procesu wityfikacji, Autor skupił się na przebadaniu kilku rodzajów szkieł, ich właściwości fizykochemicznych oraz wpływu obróbki termicznej na właściwości użytkowe. **W mojej ocenie poprzez tak szerokie podejście badawcze, Autor adresuje problem nie tylko krajowy, lecz globalny, ponieważ problematyka ponownego przetwórstwa materiałów niebezpiecznych i szkodliwych, w kontekście ochrony środowiska i zdrowia społeczeństwa jest wyzwaniem międzynarodowym.**

Pan mgr inż. Adrian Nowak rozpoczął swoje badania od przeglądu literaturowego, gdzie przedstawiona została podstawowa charakterystyka szkieł i ich rodzaje. Opisano zagadnienie krystalizacji w szklach, kinetykę tego procesu oraz wpływ składu chemicznego. W kolejnym kroku Autor sklasyfikował tradycyjne i alternatywne surowce mineralne wykorzystywane do produkcji materiałów izolacyjnych i szklano-

krystalicznych (m.in. bazalty, diabazy, melafiry, ambiolity). Rozdział ten zakończony został opisaniem głównego problemu naukowego rozprawy doktorskiej, to jest recyklingu i utylizacji kineskopowej stłuczki szklanej. Co bardzo interesujące, Autor przedstawił ten problem w odniesieniu do międzynarodowej literatury naukowej, a takie podejście ewidentnie świadczy o postrzeganiu postawionego problemu jako wyzwania globalnego, nad którego rozwiązaniem pracują liczne zespoły badawcze na świecie.

W drugim rozdziale rozprawy, który Doktorant rozpoczął od wytłumaczenia tezy i celów pracy, opisane zostały metody badawcze. Na uwagę zasługuje szerokie portfolio wykorzystanych metod m.in., spektroskopia XRF i FTIR, badania dylatometryczne, analiza termiczna DSC/TG, badania twardości czy mikroskopia skaningowa i wysokotemperaturowa. Wykorzystanie tak szerokiego spektrum metod badawczych świadczy o chęci przeprowadzenia przez Autora dogłębnej charakterystyki surowców mineralnych użytych do badań jak i samej stłuczki szklanej. W rozdziale tym opisany jest również proces mielenia/przygotowania materiałów, w tym 16 kompozycji materiałowych oraz sam proces wytopu szkieł. Opisano właściwości strukturalne, mikrostrukturalne i termiczne, nie zapominając o ich lepkości. W końcu przeprowadzono badania kierowanej krystalizacji celem zdobycia wiedzy na temat powstających faz krystalicznych w określonych warunkach czasowo-temperaturowych. W tym miejscu Doktorant trafnie stwierdził, że przeprowadzone badania wypełniają pewną niszę informacyjną, zwłaszcza w kontekście produkcji nowych materiałów. Proces krystalizacji szkieł realizowano poprzez wygrzewanie rozdrobnionych i wytopionych szkieł w szerokim zakresie temperaturowym 700 – 900 °C (z krokiem co 50 °C) przez 48h. Warto zauważyć, że parametry kierowanej krystalizacji określone zostały w oparciu o badania DSC/TG i badania dylatometryczne. Stwierdzono, że temperatura transformacji (T_g) wszystkich analizowanych szkieł jest niższa niż 700 °C. Jest to jeden z przykładów bardzo dobrego i świadomego wykorzystania dostępnych metod badawczych w kontekście prowadzonych badań materiałowych.

Przeprowadzone badania na mikroskopie wysokotemperaturowym pozwoliły jednoznacznie określić temperatury topnienia poszczególnych surowców mineralnych (najniższą temperaturą cechował się bazalt – 1180 °C). Jest to niezwykle ważne z punktu widzenia ekonomii i efektywności samego procesu, ponieważ im niższa temperatura topnienia, tym mniej energii należy dostarczyć, aby rozpocząć ten proces. Zarówno badania SEM-EDS jak i dyfrakcja rentgenowska potwierdziły, że badane surowce mineralne zawierają krzem i tlen (w dominującej ilości). Występują w nich głównie kwarc, pirokseny i plagioklasy.

Przed rozpoczęciem głównych badań w rozprawie (zmieszanych surowców mineralnych z różną ilością stłuczki szklanej), przeprowadzono szczegółowe badania samego dodatku. Autor stwierdził, że pozyskana z ekranu kineskopu CRT stłuczka zawiera szereg typowych pierwiastków jak krzem, glin czy potas, a udział masowy strontu i baru wynosi ok 8% (tab. 17), a materiał ma strukturę amorficzną. W kolejnym kroku, jak wspomniano wcześniej, przygotowano 16 zestawów szklarskich (4 surowce z 3 dodatkami stłuczki w ilości 10, 30 i 50% oraz materiał wyjściowy). Wszystkie materiały zostały stopione w temperaturze 1550 °C przez ok 2.5 h. W rezultacie uzyskano materiały szkliste o ciemnej i czarno-zielonej barwie charakteryzujące się różną lepkością, co związane jest najprawdopodobniej z ilością SiO_2 . Wszystkie materiały cechowały się strukturą amorficzną, co potwierdzone jest brakiem refleksów pochodzących od fazy krystalicznych na zarejestrowanych dyfraktogramach. Dodatkowo Autor zbadał, czy wprowadzenie do struktury szkieł dodatku stłuczki szklanej powoduje przesunięcie pasm absorpcji. Analiza FTIR nie wykazała przesunięć pasm i/lub powstania nowych związanych z depolimeryzacją sieci szkła. Przeprowadzone badania w podczerwieni pozwoliły ponadto potwierdzić, że glin występuje w koordynacji oktaedrycznej i nie tworzy tylko szkieletu więźby szkła, ale pełni również rolę modyfikatora sieci. W kolejnym kroku przeprowadzono zaawansowane badania termiczne. Tak jak wcześniej wspomniałem, badania te posłużyły do określenia temperatury transformacji (T_g). W przypadku szkieł bazaltowych i amfibolitowych Autor stwierdził występowanie dodatkowego efektu termicznego, tzw. egzotermicznego efektu krystalizacji. Otrzymane wyniki jednoznacznie dowodzą, że szkło bazaltowe charakteryzuje się najniższą temperaturą transformacji, a szkło melafirowe najwyższą. Szczególnie interesujące są wyniki badań termicznych dla szkieł z dodatkiem stłuczki

szklanej. Doktorant wykazał, że wraz ze wzrostem udziału procentowego stłuczki szklanej temperatura transformacji przesuwana się w kierunku niższych wartości, czemu towarzyszy obniżenie lepkości układu.

Kolejne badania dotyczyły kierowanej krystalizacji szkielek i Autor wykazał, że dodatek kineskopowej stłuczki szklanej wpływa na zwiększenie zdolności układu do krystalizacji, co spowodowane jest wprowadzeniem topników i obniżeniem lepkości szkła. Z kolei za pomocą badań XRD Autor dowiódł, że w zależności od rodzaju i składu chemicznego badanego surowca mineralnego, wytworzone próbki szkielek charakteryzują się obecnością różnych faz krystalicznych. Szczegółowa analiza została opisana w ocenianej pracy i wykazane zostało jednoznacznie, że ilość i rodzaj faz zmienia się wraz ze wzrostem temperatury wygrzewania. Podobne rezultaty zostały uzyskane dzięki przeprowadzeniu badań i analizie FTIR, która pozwoliła na obserwację szerokości połówkowej pasm (zaobserwowano ich zmniejszanie wraz ze wzrostem temperatury).

W kolejnym etapie rozprawy Doktorant przeprowadził badania funkcjonalne wytworzonych materiałów, w tym badania lepkości, modułu kwasowości oraz twardości. Parametry te są ważne ze względu na technologię wytwarzania materiałów szklanych. Podsumowując te badania Autor stwierdził, że materiał bazowy (każdy z otrzymanych) charakteryzuje się wyższą lepkością, niż materiał z dodatkiem CRT. Z kolei moduł kwasowości wzrasta wraz ze wzrostem dodatku CRT, co związane jest ze wzrostem ilości krzemionki. Moduł kwasowości jest istotnym parametrem w kontekście wytwarzania włóknistych materiałów izolacyjnych, a najwyższą wartością wskazanego parametru charakteryzowały się szkła melafirowe z 30% oraz 50% dodatkiem CRT. W końcu Autor przeprowadził badania twardości wytworzonych materiałów i trafnie zauważył, że parametr twardości jest ściśle związany z obecnością faz krystalicznych w materiale. Najwyższe wartości twardości zarejestrowano dla szkielek bazaltowych i amfibolitowych, a więc tych, których zdolność do krystalizacji była największa.

Podsumowując przeprowadzone badania, zwłaszcza w kontekście aplikacyjności opracowanego rozwiązania, Autor zestawiał wszystkie wyniki w formie tabeli (tab. 29). Jest to bardzo pomocne w ocenie pracy i pozwala stwierdzić, że:

- Temperatura transformacji obniża się ze wzrostem udziału % CRT;
- Dodatek CRT korzystnie wpływa na obniżenie lepkości badanych układów (najlepsze wyniki otrzymano dla szkła melafirowego z 50% CRT);
- Związki baru zostały trwale uwiecznione w więźbie szkła;
- Wzrost dodatku CRT skutkuje wzrostem lejukości oraz zdolność do krystalizacji (co najprawdopodobniej powoduje wzrost kruchości – parametr niekoniecznie korzystny, jeżeli wytworzony materiał musi być odporny na uderzenia).

W tym miejscu należy podsumować cały dorobek naukowy Pana mgr. inż. Adriana Nowaka, który składa się na pięć oryginalnych prac naukowych, w których w sposób kompleksowy opisano proces wytwarzania materiałów szklanych modyfikowanych różną ilością kineskopowej stłuczki szklanej, celem związania w więźbie szkła metali ciężkich. Publikacje te opisują metodologię wytwarzania nowych materiałów, które mogą mieć zastosowanie w przemyśle ceramicznym jako materiały izolacyjne. Dodatkowo, do osiągnięcia tego celu wykorzystywane są krajowe surowce mineralne, a CRT może pochodzić ze składowisk odpadów otwierając drogę do nowej formy recyklingu materiałów szkodliwych dla zdrowia. Na tej podstawie można jednoznacznie stwierdzić, że postawiona teza pracy „*modyfikacja glinokrzemianowych materiałów ceramicznych za pomocą CRT jest skuteczną formą recyklingu*” została jednoznacznie potwierdzona. Jony metali ciężkich, dzięki zastosowaniu procesu witrafikacji są skutecznie zamknięte w strukturze amorficznej szkła i tym samym trwale unieszkodliwione. **W ujęciu tym, można z całą pewnością podsumować, że Autor trafnie i jasno zdefiniował problem naukowy i co bardzo ważne poprawnie ocenił potencjał komercyjny swojego rozwiązania.** Taki efekt synergii w pracach doktorskich jest niezwykle rzadko spotykany, dlatego też zaprezentowane aplikacyjne podejście badawcze w rozprawie zasługuje na duże uznanie recenzenta.

Ocenianą rozprawę doktorską pod względem organizacyjnym należy zaliczyć do dysertacji typowych, jeżeli chodzi o standardy prac doktorskich. Układ pracy jest klasyczny i składa się z 4 głównych części tj. wprowadzenia i przeglądu literaturowego, opisu badań wraz z celem i tezą pracy oraz zakończeniem stanowiącym analizę wyników i wnioski z przeprowadzonych badań. Doktorant bardzo skrupulatnie przygotował część bibliograficzną oraz przedstawił na końcu spis tabel i rysunków. W trakcie recenzji pracy rzuca się w oczy skrupulatność w przedstawianiu poszczególnych informacji na każdym etapie rozprawy doktorskiej. Widać, to szczególnie w opisie celu badań jakie zostały przeprowadzone w pracy. Pan mgr inż. Adrian Nowak ewidentnie rozumie postawiony przed nim problem naukowy, a pozyskana w ramach realizacji pracy wiedza i doświadczenie badawcze zostały wykorzystane w celu osiągnięcia konkretnego wyniku i zbadaniu określonego zjawiska mając ciągle na uwadze późniejsze wdrożenie wyników do warunków przemysłowych. Świadczy to nie tylko o wysokiej kulturze pracy Doktoranta, która jest cechą niezwykle rzadko spotykaną przy opracowywaniu prac doktorskich w obecnym czasie, ale również bliskiej współpracy z Promotorem i innymi członkami grupy badawczej. Drobnym niedociągnięciem w kontekście prezentacji dorobku naukowego Doktoranta, jest brak informacji związanych z mobilnością naukową Autora – lista wystąpień konferencyjnych i prezentacji naukowych w odniesieniu do pracy doktorskiej. Ponadto praca posiada wysoki potencjał aplikacyjny, a brak jest opisu dotyczącego możliwości ewentualnego opatentowania czy już finalnie wdrożenia rozwiązania do warunków przemysłowych. W swojej pracy Doktorant odwołuje się do prac naukowych swoich Promotorów (m. in. opublikowanych w bardzo dobrym czasopiśmie *Journal of Molecular Structure*), co ponownie bardzo dobrze świadczy o koordynacji całego procesu naukowego i odniesieniu tego etapu badań do szerszego zagadnienia, ale Autor niezbyt odważnie odwołuje się do swoich oryginalnych opracowań. Powinno to być bardziej uwypuklone, ponieważ stanowi to ewidentnie osiągnięcie Autora i Zespołu badawczego. Wyżej wymienione drobne niedociągnięcia organizacyjne nie wpływają jednak w jakikolwiek sposób na wysoką ocenę jakości pracy doktorskiej, zwłaszcza w kontekście jej potencjału aplikacyjnego.

Oceniając rozprawę doktorską Pana mgr inż. Adriana Nowaka należy jednoznacznie stwierdzić, że prezentuje ona obszerne, oryginalne i przemyślane podejście do projektowania, wytwarzania i badania nowych rodzajów materiałów. Sposób wytworzenia materiałów w oparciu o dogłębną analizę literaturową, przeprowadzenia eksperymentów, przedstawienia wyników i ich interpretacji wskazują na **bardzo dobre przygotowanie Doktoranta zarówno w zakresie zagadnień Inżynierii Materiałowej, jak również Chemii i Fizyki ciała stałego. Tematyka rozwiązywanego problemu naukowego świadczy również o znajomości współczesnych wyzwań związanych z ochroną środowiska i specjalistycznej literatury związanej z dyscypliną naukową (nie tylko międzynarodowej, ale również krajowej literatury technicznej).** Autor w sposób logiczny zaproponował nowe rodzaje materiałów na bazie surowców mineralnych z dodatkiem stłuczki szklanej o określonej stechiometrii, wytworzył je i przebadał, łącząc ze sobą wiele wysoce specjalistycznych technik badawczych. O jakości recenzowanej pracy świadczy fakt, że po szczegółowym zapoznaniu się z jej treścią, zidentyfikowałem tylko nieliczne drobne błędy gramatyczne oraz edytorskie, stanowiące przede wszystkim tzw. literówki, i w jakikolwiek sposób nie wpływające negatywnie na całokształt pracy i jej wysoką ocenę. Natomiast jeżeli chodzi o uwagi merytoryczne w pracy to do najważniejszych należy zaliczyć:

- Rys. 20, str. 52 jest bardzo dobrym pomysłem na zwizualizowanie kolejnych kroków badawczych, gdyby towarzyszyło temu podsumowanie wyników (w formie np. słów kluczy na poszczególnych etapach opisanej pracy), które pomogłoby w zrozumieniu ich efektu;
- Str. 62, brak informacji o wielkości surowca mineralnego;
- Rys. 29 – 32 są mało czytelne, wybranie mniejszego zakresu kąтового ułatwiłoby interpretację danych;

- Zastosowanie mikroskopu wysokotemperaturowego jest oryginalne i wnosi ważne informacje, ale na zdjęciach brak jest markera skali i nie wskazano również wielkości stosowanych w trakcie obserwacji powiększeń, na jakiej wielkości obiekt patrzy zatem czytelnik?
- W przypadku badań SEM-EDS należy wyjaśnić jaki jest błąd pomiarowy tej techniki, często otrzymane dane należy traktować jakościowo;
- Opisane podwyższenie tła w danych XRD wymaga komentarza. Moim zdaniem nie zaobserwowano tego efektu dla wszystkich badanych materiałów;
- Co oznaczają białe punkty na zdjęciach mikrostrukturalnych, str. 87-89? Czy są to pory? Jeżeli tak, to czy można oszacować ich udział w materiale?
- Czy Doktorant mógłby jednoznacznie wskazać, które z tlenków najbardziej wpływają na obniżenie lepkości otrzymanych materiałów?
- Czy krystalizacja wpływa na parametry użytkowe badanych materiałów? Nie jest do końca jasne w rozprawie czy jest to proces pożądany;
- Przeprowadzone badania SEM pokazują różne rodzaje mikrostruktury: dendrytyczną lub drobnoziarnistą. Autor dowiódł, że można skutecznie związać w strukturze materiału Sr i Ba, ale który rodzaj mikrostruktury jest bardziej preferowany ze względu na właściwości funkcjonalne?
- Podobna uwaga dotyczy przeprowadzonych badań metodą XRD, która pozwala na zrozumienie jakie fazy krystaliczne pojawiają się w materiale, ale należałoby wskazać które z tych faz są preferowane ze względu na dalsze zastosowanie wytworzonych materiałów?
- Autor stwierdził, że wzrost udziału % CRT korzystnie wpływa na właściwości użytkowe. O jakie właściwości dokładnie chodzi (str. 154)?
- Tabele 29 i 30 są niezwykle cenne, ale brakuje krótkiego podsumowania mówiącego, który materiał charakteryzuje się najlepszym balansem pomiędzy opisanymi właściwościami.

Wymienione przeze mnie drobne uwagi w żaden sposób nie umniejszają mojej wysokiej ocenie recenzowanej pracy Pana mgr. inż. Adriana Nowaka. Należy podkreślić, że niezwykle rzadko podejmowany jest wysiłek kompleksowego odniesienia uzyskanych wyników naukowych do warunków przemysłowych. W tym wypadku ma to miejsce, co w mojej ocenie jest unikatowym podejściem do realizacji prac doktorskich (nie realizowanych w ramach programu doktoratów wdrożeniowych), które powinno być promowane, a oceniona rozprawa stawiana jako jeden z przykładów prac naukowych ukierunkowanych na wdrożenie w dziedzinie Inżynieria Materiałowa, w specjalnościach dotyczących Szkielek i Materiałów szklano-krystalicznych. Ponadto, należy podkreślić znaczący dorobek naukowy Pana mgr. inż. Adriana Nowaka na który składa się 5 publikacji opublikowanych w czasopismach naukowych, m.in. *Materials*, *Materiały Ceramiczne*, czy *Journal of Cleaner Production*. W trzech pracach, Doktorant jest pierwszym autorem, a jego wkład w powstanie poszczególnych artykułów był z całą pewnością wiodący. Na uwagę zasługuje również fakt, że jedna z prac Pana mgr. inż. Adriana Nowaka (wchodząca w zakres badawczy przedmiotowej pracy doktorskiej) została opublikowana w czasopiśmie charakteryzującym się tzw. współczynnikiem wpływu (Impact Factor) równym 11. Co prawda Pan mgr inż. Nowak jest tylko jednym ze współautorów tej pracy, ale sam fakt bycia w tego typu gremium, świadczy o wysokiej jakości naukowej, które na wstępie musiały być zapewniona, a później w trakcie przygotowania pracy została doceniona, co ma swoje odzwierciedlenie we współautorstwie. Osiągnięcie takiego wyniku (5 publikacji naukowych) na tak wczesnym etapie kariery naukowej dobitnie świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu merytorycznym Doktoranta, poprawnie realizowanych badaniach we współpracy z pozostałymi Członkami grupy badawczej oraz doskonałej koordynacji ze strony Promotorów.

3. Wniosek końcowy

Praca doktorska Pana mgr. inż. Adriana Nowaka posiada duże walory naukowo-badawcze, praktyczne i wdrożeniowe, wynikające z opracowanej technologii wytwarzania materiałów szklano-krystalicznych z możliwościami ich dalszego przetwarzania i zastosowania w przemyśle materiałów izolacyjnych. Uzyskane przez Doktoranta wyniki badań wzbogacają dotychczasową, niezbyt obszerną wiedzę o właściwościach ww. materiałów, w tym szczególnie w kontekście ich wytwarzania z dodatkami szkieł kineskopowych CRT, w procesach topienia i kontrolowanej krystalizacji. Doktorant realizując w pracy bardzo obszerny zakres badawczy, wykazał nie tylko dużą dojrzałość badawczą i bardzo dobrą znajomość zagadnień związanych z problematyką rozprawy, ale również umiejętność zaplanowania badań i realizacji technologii możliwych do transferu i aplikacji w warunkach przemysłowych. Należy podkreślić, że wyniki uzyskane w rozprawie mogą w perspektywie posłużyć jako wytyczne do zaprojektowania i wdrożenia przemysłowej technologii wytwarzania nowych materiałów szklano-krystalicznych, z przeznaczeniem do zastosowań np. w materiałach izolacyjnych o bardzo dobrych właściwościach funkcjonalnych. Daje to tym samym podstawę do stwierdzenia, że niniejsza rozprawa doktorska stanowi istotny wkład wiedzy naukowo-badawczej, w tematyce otrzymywania materiałów szklano-krystalicznych w kontekście przemysłowych procesów wytrzymałościowych oraz recyklingu szkodliwych materiałów, oraz poprawy ochrony środowiska. Realizacja zaplanowanych przez Doktoranta prac, w szerokim zakresie udowodniła postawioną w rozprawie tezę badawczą oraz umożliwiła rozwiązanie ważnych problemów naukowych, materiałowych i technologicznych w obszarze badań nad produkcją oraz przetwórstwem nowych materiałów ceramicznych.

Recenzowana rozprawa Pana mgr. inż. Adriana Nowaka spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki określonej w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn.zm.) i wnioskuje o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa przed Radą Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Częstochowskiej.

Lukasz Kuropiel