

27.08.2025, Katowice

Prof. dr hab. inż. Mateusz Kozioł
Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej
ul. Krasińskiego 8
40-019 Katowice

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Beaty Figieli

pod tytułem

Synteza i właściwości spienionych materiałów geopolimerowych wytworzonych z wykorzystaniem ubocznych produktów wydobycia węgla kamiennego

przygotowanej pod kierunkiem:

dr hab. inż. Kingi Korniejenko prof. Pol. Krak.

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Politechniki Krakowskiej (uchwała z dnia 9 lipca 2025 r).

Podstawa prawna recenzji: 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:

- 1) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie inżynieria materiałowa.
- 2) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktorantkę.
- 3) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

2. Charakterystyka i ocena rozprawy

Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska pani Beaty Figieli dotyczy wytworzenia spienionych geopolimerów opartych o surowce pochodzące z odpadów górniczych. Geopolimery są podgrupą materiałów budowlanych aktywowanych alkalicznie. Stanowią one obecnie przedmiot intensywnych badań i wdrożeń jako potencjalne wielkotonażowe substytuty powszechnie używanych klasycznych cementów. Ich podstawową zaletą i celem stosowania

jest znacząco mniejsza – w porównaniu z cementem – ilość dwutlenku węgla powstającego w procesie wytwórczym. Geopolimery cechują się bardzo szerokim spektrum potencjalnych surowców. Warunkiem jest zawartość określonych ilości odpowiednich rodzajów glinokrzemianów. Jako komponenty dla geopolimerów bardzo dobrze nadają się niektóre mineralne odpady przemysłowe – szczególnie te zawierające glinokrzemiany bezpostaciowe. Jedną z dużych grup takich odpadów są odpady górnicze z wydobycia węgla kamiennego. Okazuje się, że pogórnice skały płonne zawierają relatywnie dużą ilość zarówno tlenu krzemu jak i tlenu glinu, w różnych (ale zazwyczaj odpowiednich dla geopolimerów) konfiguracjach i proporcjach. Geopolimery można poddawać spienianiu. W takiej wersji są one wykorzystywane w izolacjach termicznych i są już stosowane w technice. Często są też wykorzystywane materiały izolacyjne i termotrwale o budowie częściowo analogicznej do geopolimerów, np. cementy pucolanowe. Praca badawcza zarówno nad efektywnym otrzymywaniem geopolimerów, jak i nad jednoczesnym wykorzystaniem jako surowców odpadów przemysłowych, w normalnych warunkach po prostu składowanych, jest jak najbardziej uzasadniona i nie potrzeba szczegółowo przekonywać do jej zasadności. W tym duchu uważam podjęty temat doktoratu za w pełni uzasadniony, a tematykę za aktualną dzisiaj i jeszcze przez wiele lat.

Recenzowana rozprawa stanowi spójne dzieło monograficzne i została napisana w układzie klasycznym. Po stronie tytułowej w pierwszej kolejności następują podziękowania oraz informacja, że rozprawa powstała w ramach projektu LIDER kierowanego przez promotorkę panią prof. Korniejenko. Następnie jest spis treści oraz wykaz skrótów i oznaczeń użytych w rozprawie doktorskiej. Kolejnym elementem jest wstęp, który w mojej opinii nie do końca przekonuje czytelnika do tematu. Mimo podania spektakularnych statystyk i ogólnego wyjaśnienia problematyki czytelnik nie ma wrażenia, że podejmowany temat jest naprawdę ważny. Nie pomaga też zawarty we wstępie opis kolejnych części rozprawy, gdzie jest za dużo informacji (szczególnie zbyt rozbudowany jest opis części teoretycznej). Bardzo dobry jest z kolei ostatni akapit, gdzie Autorka syntetycznie i skutecznie wyjaśnia znaczenie naukowe rozprawy. Zasadnicza część merytoryczna obejmuje dziesięć numerowanych rozdziałów, w tym 19 stron wprowadzenia teoretycznego (jeden rozdział podzielony na 7 podrozdziałów) oraz 130 stron części praktycznej (łącznie z wnioskami dziewięć rozdziałów). Po tej zasadniczej części są streszczenia, spis tabel i spis rysunków, literatura (czyli bibliografia), wykaz dorobku naukowego Autorki. Te dodatki obejmują łącznie 39 stron.

Bibliografia zawiera 250 pozycji, na które składają się zarówno artykuły naukowe z renomowanych czasopism, artykuły z materiałów konferencyjnych, ale i np. strony www sklepów internetowych. Te ostatnie są jednak uzasadnione, Autorka wykorzystywała dane ze sklepów do analiz ekonomicznych i analiz LCA.

Ogólnie praca sprawia bardzo dobre wrażenie estetyczne oraz edycyjne, widać w niej porządek i staranność w opracowaniu. Szczegółową ocenę poprzedzoną dokładnym przeczytaniem pracy zamieszczam w dalszej części recenzji.

Znaczenie pracy i zawarta w niej innowacja naukowa

Jak wspomniałem wyżej, recenzowana rozprawa dotyczy tematyki aktualnej i ważnej z przyczyn gospodarczych i ekologicznych. W stosunku do klasycznych cementów geopolimery są bardziej ekologiczne z powodu mniejszej generacji dwutlenku węgla w procesie wytwarzania. Z kolei zaletą geopolimerów w porównaniu z innym konkurentem – polimerobetonami jest... brak polimerów w składzie. Ma to oczywiste konsekwencje ekonomiczne (niższa cena) oraz ekologiczne (brak mikroplastiku). Geopolimery są obecnie prawdopodobnie najbardziej eksploatowaną pod względem naukowym grupą materiałów wschodzących w obrębie budownictwa. Wykorzystanie surowców odpadowych w miejsce surowców naturalnych do wytwarzania materiałów budowlanych i termoizolacyjnych stanowi innowację. Przyczynia się do tworzenia gospodarki o obiegu zamkniętym i zmniejszenia ilości odpadów składowanych na wysypiskach. Nowością naukową zawartą w rozprawie jest wykorzystanie strumieni odpadów pochodzących z polskiego przemysłu wydobywczego jako surowców do produkcji użytecznych materiałów geopolimerowych – w szczególności do zastosowań termoizolacyjnych.

Autorka w podsumowaniu sama stwierdza, że podjęta przez nią tematyka nie jest całkowicie nowa, ale „dotychczas nie była przedmiotem wielu analiz”. Należy jednak jednoznacznie stwierdzić, że zaprezentowane badania są jak najbardziej oryginalne i bardzo dobrze uzupełniają stan wiedzy w przedmiotowym zakresie. Zastosowana przez Autorkę metodyka może globalnie posłużyć jako wzorcowa do badań innych nowych surowców dla geopolimerów. W mojej opinii opracowane treści są w pełni wystarczające na spełnienie wymogów rozprawy doktorskiej.

Co do wartości technicznej uzyskanych wyników, należy podkreślić ich szczególne znaczenie w kontekście podkreślanego przez Autorkę lokalnego dostępu do surowców. Jest to mocno problematyczna kwestia, która praktycznie uniemożliwia masowe i powszechne ujednolicenie technologii geopolimerów w skali świata – jak to ma miejsce np. w przypadku cementu portlandzkiego. Jednakże, programy badań – podobne do prezentowanego w ramach opiniowanej rozprawy – mogą przyczynić się do opracowywania odpowiednich modyfikacji technologii geopolimerów pod kątem lokalnej dostępności surowców i pozwolić efektywnie wykorzystać zasoby uznawane za rozproszone, przyczyniając się do efektu zrównoważonej gospodarki. Realizowana tematyka ma więc duże znaczenie dla wzmocnienia koncepcji i wdrożenia szeroko pojętego zrównoważonego dysponowania zasobami i zrównoważonego rozwoju, wpisuje się ona w założenia *Strategicznego Planu Wdrażania Europejskiego Partnerstwa Innowacyjnego w zakresie Surowców*.

Po dokładnym zapoznaniu mogę bez wątpliwości stwierdzić, że **przedstawiona rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.**

Uwagi ogólne do rozprawy

Autorka tworząc dzieło na prawie 200 stron nie mogła ustrzec się pewnych niedociągnięć i błędów. Chcę jednak podkreślić, że całokształt rozprawy robi jak najbardziej dobre wrażenie. Uwagi podzieliłem na ogólne, które będę formułował kolejno wraz z postępem treści. Bardziej szczegółowe uwagi krytyczne zawarłem w kolejnym rozdziale recenzji.

Rozdział 1 rozprawy stanowi wprowadzenie teoretyczne do badań. Autorka pokazuje w nim aktualny stan wiedzy w zakresie geopolimerów zawierających odpady przemysłowe oraz wskazuje aktualne kierunki badań. Jest podzielony na sześć podrozdziałów tematycznych oraz siódmy podrozdział podsumowujący. Autorka syntetycznie i w miarę precyzyjnie przedstawiła podstawy konieczne do zrozumienia jej własnych badań prezentowanych w rozprawie. Przedstawiła czteroetapowy model kinetyki aktywacji alkalicznej glinokrzemianów badany poprzez skorelowanie poszczególnych etapów wiązania z przewodnością elektryczną w czasie. Następnie pokazała bardziej szczegółowy model, konkretnie dla tworzenia geopolimerów. Mimo, że w ramach rozprawy Autorka nie przedstawiła badań elektrycznych, gdyż nie były one potrzebne, ich przywołanie w części wprowadzającej pozwoliło czytelnikowi zrozumieć podstawy problematyki geopolimerów. Wyraźnie oddzielona jest następnie część wywodu dotycząca odpadów przemysłowych stosowanych jako komponenty geopolimerów. Czytelnik dowiaduje się, że – podobnie jak w przypadku cementu portlandzkiego - surowce dla glinokrzemianów również trzeba grzać, żeby je aktywować (kalcynacja). Temperatury i czasy ogrzewania są tu jednak niższe niż dla cementu, a podczas procesu nie wydzielą się w dużych ilościach dwutlenek węgla. Jednakowoż, w porównaniu z innymi materiałami cementopochodnymi geopolimery przynajmniej częściowo tracą jedną z podstawowych przewag jaką jest brak grzania. Na stronie 25 Autorka przywołuje w mojej opinii dość kontrowersyjne tezy o znaczącym wzmocnieniu betonów geopolimerowych po dodaniu do nich włókien naturalnych. Należy podkreślić, że dość solidnie opiera się na źródłowych publikacjach. Podczas gdy nieznaczne wzmocnienie powodowane korzystnym wpływem rozdrobnionych włókien naturalnych na proces utwardzania geopolimerów wydaje się wiarygodne, tak działanie wzmacniające bawełny lub paździerza powodujące kilkakrotny wzrost wytrzymałości geopolimeru wydaje mi się mało prawdopodobne. Uważam, że (w przyszłości) Autorka powinna do takich tez podchodzić z nieco większym krytycyzmem i odpowiednio skomentować ich prawdopodobieństwo.

Jednostronicowy rozdział 2 zawiera uzasadnienie podjęcia tematyki badań. Zamieszczenie takiego rozdziału w tym miejscu rozprawy jest bardzo dobrym posunięciem. Przeczytanie rozdziału pozwala czytelnikowi przyjąć do wiadomości występowanie problemu odpadów wydobywczych oraz zalety techniczne geopolimerów. Takie dwa zagadnienia motywujące Autorkę do podjęcia badań zostały opisane w dwóch odrębnych akapitach. W mojej opinii brakuje tu jednak pewnej jasnej i przejrzystej spójności, „wspólnego mianownika”

łączącego te dwa akapity. Niemniej jednak, uzasadnienie podjęcia realizacji danego programu badań jest wystarczające.

Rozdział 3 opisuje tezę, cele i zakres przeprowadzonych badań. Umieszczenie rozdziału w tym miejscu uważam za prawidłowe (klasyczny układ rozprawy). W pierwszym akapicie Autorka stwierdza, że jedną z podstaw do sformułowania tezy dla rozprawy była „analiza danych statystycznych”. W mojej opinii brak odpowiednio dobranych i opracowanych danych statystycznych – np. o tonażu dostępnych potencjalnych surowców, zarówno z bieżącej produkcji, jak i ze składowisk – jest jednym z głównych braków w części teoretycznej pracy. Autorka od czasu do czasu (również wcześniej i później w ramach rozprawy) używa określenia „kompozyty” w odniesieniu do produkowanych przez siebie spienionych geopolimerów. W mojej opinii używanie takiego określenia jest dopuszczalne, ale należałoby to uzasadnić i odnieść cechy wytwarzanych materiałów do teorii kompozytów. Wskazać od którego momentu materiał jest kompozytem, które komponenty pełnią określone role. A następnie, w dalszej części wywodu konsekwentnie używać określenia „kompozyt”. Sama teza jest w mojej opinii bardzo dobrze sformułowana. Zawiera bardzo konkretne informacje automatycznie stanowiące cele prowadzonych prac, wskazuje obszar, w którym wyniki badań mogą wnieść innowację i z czym będzie konkurować nowo wytworzony materiał. Można powiedzieć, że teza formułuje użyteczne cele pracy w wymiarze strategicznym. Następnie Autorka sformułowała główny cel pracy, jakim było wytworzenie nowych materiałów i ich ocena pod kątem określonej przydatności. Cel ten został dalej podzielony na cele szczegółowe – naukowe, techniczne/użyteczne oraz społeczno-środowiskowo-gospodarcze. W mojej opinii cele pracy zostały sformułowane dobrze, szczegółowo i przejrzysto. Może nieco za obszernie. Opis celów dość płynnie przechodzi w opis zakresu pracy. Poprzedzony jest on wprowadzającym akapitem, a następnie szczegółowo rozpisany. Ostatnim aktem pracy jest ocena odporności ogniowej prototypowego wyrobu – panelu ze zoptymalizowanego spienionego geopolimeru. Cały rozdział 3 robi bardzo pozytywne wrażenie, dobrze i precyzyjnie przedstawia czytelnikowi całość prac przedstawionych w rozprawie oraz ich znaczenie.

Rozdział 4 przedstawiający plan badań zaczyna się od dość problematycznego pod względem gramatycznym akapitu. Wspierający go rysunek 4.1 wyjaśnia jednak wszystko w sposób prosty i przejrzysty. Program badań jest opisany dobrze. Być może niepotrzebnie zawarto w tym opisie szczegóły techniczne dotyczące tylko niektórych metod, przy opisach innych takich szczegółów nie podając. Wręcz niepokojąco brzmi informację, że spośród kilku kopalń węgla dostarczających surowiec wybrano tylko jedną (później dwie) opierając się na nieopisanej wcześniej w żaden sposób „analizie”. W tym miejscu czytelnik nie wie, czy będzie ona przedstawiona w dalszej części pracy czy też nie. Na szczęście jest przedstawiona wstępnie już w rozdziale 5, a w rozdziale 6 precyzyjnie wyjaśniona. Brakuje jednak zapowiedzi tych uszczegółowień. Finalnie, rozdział 4 spełnia swoje zadanie i czytający wie czego spodziewać się w pracy oraz czemu finalnie służą poszczególne jej etapy.

Rozdział 5 dotyczy metod badawczych zastosowanych w pracy. Czytając ten rozdział odniosłem wrażenie pewnego chaosu. Rozdział ten zawiera częściowo informacje o metodach przetwarzania surowców, trochę o ich badaniach. Niektóre z zawartych informacji są dość dogłębne, a niektóre powierzchowne. Te powierzchowne zostaną dokładnie opisane w dalszych rozdziałach i w sumie opisy metodyczne w pracy okażą się rzetelne i bogate. Jednak, bez wątpienia należało nieco inaczej skonstruować przedstawienie metodyczne i w niektórych przypadkach nie dzielić go między rozdziałami. Przykładowo, opis na stronie 39 daje znaczącą informację na temat składu węgla pozyskiwanego z poszczególnych kopalń, nie ma jednak nic o materiale odpadowym z tychże kopalń. A to on jest surowcem do prezentowanych badań. Dokładne analizy składu surowców pojawiają się dopiero w rozdziale 6, który jest im poświęcony w całości. Można było ten węgiel też opisać w rozdziale 6 i wyciąć go z rozdziału 5. Autorka na stronach 40-41 szczegółowo i interesująco opisuje proces przetworzenia odpadów pozyskanych na potrzebę pracy. Jednak decyzja o doborze parametrów technologicznych dla procesu jest dość lakoniczna – opiera się na wynikach badań odpadu z jednej kopalni (na dodatek już nie funkcjonującej) oraz danych literaturowych. Uzasadnieniem dla Autorki jest „podobieństwo” pozostałych odpadów do tego badanego, co w opinii czytelnika może budzić wątpliwości. Jednakże, w rozdziale 6 to „podobieństwo” jest przestudiowane bardzo dogłębnie i wątpliwości znikają. I tutaj podział zagadnienia między dwoma rozdziałami jest niepotrzebny. W rozdziale 5 przy opisach metod technologicznych nie podano danych producentów ani modeli użytych urządzeń oraz mocno zaniedbano podanie informacji dotyczących parametrów i warunków czynności prowadzonych z użyciem tych urządzeń. Większość tych kwestii jest opisana dokładnie w rozdziałach 6 i 7, więc być może ta część rozdziału 5 też jest po prostu niepotrzebna. W przeciwieństwie do dalszej części - na stronie 50 i dalej aż do strony 61 pojawiły się precyzyjne opisy metodyczne procedur badawczych wraz z dokładnymi opisami sprzętu oraz warunków wykonania. Opisy są obszerne i dokładne. Być może trochę zbyt obszerne. W wyczerpujący sposób pokazują wykorzystane każdej metody i warunki wszystkich prób. Na stronie 47, w ramach (zwięzłego, ale konkretnego) opisu substratów stosowanych podczas wytwarzania geopolimerów, pojawia się informacja o zastosowaniu odpadów z dwóch kopalń (Staszic oraz Wieczorek II, czyli chyba wcześniej wspomniany Wieczorek – kopalnia ponoć już nieistniejąca). W dalszej części pracy (rozdział 6 i 7) również nie ma wyjaśnienia jaki jest zakres badań dla surowców z poszczególnych kopalń i dlaczego. Mimo zawarcia wyników jasnego i prostego wyjaśnienia nigdzie nie ma.

Rozdział 6 rozprawy dotyczy użytych surowców. Na stronach 62-65 Autorka przedstawiła w końcu precyzyjną i obszerną analizę porównawczą surowców z różnych kopalń. Jak wspomniano wyżej, we wstępnych rozdziałach brakowało jasnego i konkretnego odniesienia do tych opisów i ich zapowiedzi. Do badania składu surowców Autorka użyła kilku niezależnych metod spektroskopowych a także dwóch niezależnych metod termicznych (DSC i TG). Autorka nie ustrzegła się też pewnych niedociągnięć. Na stronie 77 przy opisie porównawczym rysunków 6.16 i 6.17 Autorka stwierdza, że po kalcynacji widoczne jest

zaokrąglenie krawędzi cząstek widocznych na zdjęciach. Ja nie widzę tam zaokrąglenia. Pozostałe opisywane zmiany cech morfologicznych też nie są widoczne na tych zdjęciach. Być może stawiane tezy dałoby się obronić przy większym powiększeniu zdjęć, ale na tych użytych nic szczególnego nie widać. Inną kwestią jest samo określenie „geopolimer”. Powszechnie wiadomo (wspomina o tym również Autorka), że kwestią dość trudną jest jednoznaczne określenie czy uzyskany materiał jest geopolimerem czy też nie. Zakładam, że przedstawione przez Autorkę interpretacje wyników analiz spektroskopowych (głównie XRD) są słuszne i że mamy do czynienia z geopolimerami. Mimo dużej objętości wyводу w rozdziale 6, która nieco utrudnia czytelnikowi ogarnięcie całości, przedstawione analizy i ich wyniki wnoszą bardzo wiele wartościowych i istotnych dla rozprawy informacji. Jest to mocny naukowy akcent tego dzieła.

Rozdział 7 obejmuje kompleksową analizę wyników przeprowadzonych badań. W opisie wyników przedstawionych na rysunku 7.1 Autorka stwierdza, że wartości są zróżnicowane dla surowców pochodzących z różnych kopalń. Z pokazanych wyników nie wynika istotne zróżnicowanie. Jedynie jedna z czterech populacji wykazuje wyraźnie wyższą wartość, ale przy największym rozrzucie. W mojej opinii byłoby uprawnionym stwierdzić, że wyniki na rysunku 7.1 są porównywalne. Poziom uzyskanych wyników odpowiada betonowi cementowemu dobrej jakości (B30 – B40). Przy wytrzymałości na ściskanie wymóg 25 MPa spełniają w pełni tylko próbki z Wieczorka i Staszica. Wyniki dla pozostałych populacji – biorąc znow pod uwagę duży rozrzut – można uznać za porównywalne z tymi dwoma. Zdjęcia w tabeli 7.1 są już lepsze niż poprzednie (z rozdziału 6), a co za tym idzie analiza jest bardziej wiarygodna. Bardzo dobra jakość cechuje także fotografie zamieszczone w dalszej części rozdziału 7 wykonane z użyciem mikroskopu skaningowego oraz mikroskopu cyfrowego. Z badań odcieku wodnego oraz radiologicznych wynika, że co prawda uzyskane materiały nie stanowią zagrożenia, to np. ich składowanie z dostępem do gruntu jest niedopuszczalne. Chodzi tu głównie o zawartość (mimo ich doraźnego niewymywania) metali toksycznych oraz o wysoki alkaliczny odczyn odcieku. Bardzo atrakcyjne wizualnie, ale jednocześnie wartościowe poznawczo są obrazy uzyskane metodą mikrotomografii komputerowej. Pozwalają przeprowadzić ocenę wizualną i precyzyjną analizę geometrii porów zawartych w otrzymanych materiałach. Biorąc pod uwagę wymiary elementów mikrostruktury tychże materiałów oraz wybitnie kontrastujący charakter ośrodków je tworzących (minerał – gaz) użycie tomografii można uznać za idealny wybór. Może trochę szkoda, że ta analiza nie jest szersza – nawet kosztem innych elementów pracy. Autorka wykazała również pozytywny wpływ dodatku włókien poprocesowych z celulozy (odpad) na właściwości mechaniczne porowatych geopolimerów. Wyniki te są wartościowe, nawet w przypadku ewentualnych problemów z dostępnością i powtarzalnością takich surowców można myśleć nad ewentualnym ich zastąpieniem. Autorka pokazała jednak sensowność pewnego kierunku badań. Całość wyników badań przedstawiona w rozdziale 7 jest obszerna i wartościowa.

Rozdział 8 zawiera uproszczoną analizę cyklu życia (LCA) płyt wykonanych ze spienionych geopolimerów. Mimo nazwy „uproszczona” przedstawiona analiza zawiera wszystkie istotne elementy. Mimo dużego skomplikowania (jak przystało na analizę LCA) jest napisana w sposób przejrzysty i (relatywnie) dobrze się ją czyta. Wyjaśnienie interpretacji wyników oraz syntetyczne podsumowanie stanowią bardzo dobre zakończenie analizy. Wyniki mogą zostać wykorzystane do parametrycznego porównania ekologiczności uzyskanego wyrobu z podobnymi wyrobami mogącymi stanowić dla niego konkurencję.

Na uznanie zasługuje również rozdział 9, czyli wyodrębniona dyskusja całości wyników z obecnym stanem zagadnienia prezentowanym w literaturze. Jest to fundament całej rozprawy i w wykonaniu Autorki jest bardzo solidny. Przegląd uzyskanych wyników i ich systematyczne porównywanie z zewnętrznymi źródłami jest absolutnie do przyjęcia i doskonale podsumowuje oraz umieszcza pracę w globalnych ramach.

Rozdział 10 stanowiący wnioski z badań jest dość obszerny – liczy 5,5 strony. Wnioski powinny być krótsze, szczególnie w przypadku umieszczenia podsumowującej dyskusji w rozdziale wcześniejszym. Duża objętość wniosków wynika jednak z dużej objętości sformułowanych celów doktoratu. Odniesienie się we wnioskach do każdego celu cząstkowego spowodowało znaczne rozbudowanie tego rozdziału. Zgodnie z deklaracjami Autorki cele naukowe doktoratu należy, w mojej opinii, uznać za osiągnięte. Zwieńczeniem wniosków jest bardzo dobry akapit stanowiący laurkę dla geopolimerów i wychwalający je. Biorąc pod uwagę m.in. wyniki uzyskane w doktoracie postulaty Autorki o zwiększenie zainteresowania tą grupą materiałów brzmią przekonująco. Na końcu rozdziału Autorka zwięźle i jasno precyzuje potencjał i potrzebę dalszych badań nad uzyskanymi materiałami, które pozwolą lepiej określić ich stosowalność.

Bibliografia zawiera 250 pozycji, o czym wspomniano wcześniej. Wszystkie typy publikacji zostały bardzo dobrze wykorzystane w rozprawie, nie zaobserwowałem niezgodności lub błędów w numeracji itp.

Autorka zamieściła w ramach rozprawy wykaz swojego dorobku naukowego. Robi on imponujące wrażenie. Pani Beata jest współautorką kilkadziesiątu publikacji, z których znaczna część jest związana z wynikami zawartymi w rozprawie. W przypadku kilku prac jest pierwszą autorką, w tym w publikacji wycenianej przez MNiSW na 140 pkt. Udział w kilkunastu konferencjach, kilku projektach badawczych oraz w zespołach (kierowanych przez panią prof. Korniejenko), które uzyskały dwie prestiżowe nagrody potwierdza bardzo dużą aktywność pani Beaty jak na doktorantkę.

Podsumowując, mimo dobrego układu pracy (teoria – cele – część praktyczna) Autorka wprowadziła nieco chaosu np. kilkakrotnie opisując surowce – najpierw wstępnie, potem szerzej, a potem dokładnie. Lepiej byłoby zrobić to w jednym miejscu od początku do końca – np. tylko w rozdziale 6. Podobnie jest z opisem metod, który też jest rozłożony częściowo przed opisem surowców (przetworzenie surowców), częściowo po (badania). Nie jest to wszystko najszcześliwiej ułożone i sprawia nieco trudności czytającemu. Jest to jednak praktycznie

jedyne niedociągnięcie warte wzmianki. Trzeba zaznaczyć, że wszystkie opisy analityczne wyników są obszerne (może w niektórych przypadkach trochę za bardzo), rzetelne i wyczerpujące. Zawierają dużą ilość wartościowych interpretacji oraz po kolei budują wywód stanowiący fundament rozprawy. Zarówno opisy metodyki badawczej jak i analizę wyników należy w mojej opinii ocenić bardzo dobrze. Autorka bardzo sprawnie i kompetentnie posługuje się w swoich analizach wynikami badań spektroskopowych, szczególnie FTIR. Skutecznie wykorzystuje je do uzasadniania zaobserwowanych zachowań materiałów lub wyników badań cech użytkowych (wytrzymałość, przewodność cieplna). Trzeba też stwierdzić, że badane materiały wykazują dość dużą stochastykę pod względem właściwości fizycznych – widać to w wynikach wytrzymałości na zginanie i ściskanie oraz m.in. w wynikach przewodnictwa cieplnego (dość mocno zaburzona zależność przewodności cieplnej od gęstości). Autorka w większości przypadków występowania anomalii zwraca na nie uwagę i podejmuje się prób ich wyjaśnienia.

Ogólna ocena pracy może być wyłącznie pozytywna. Poza opisową krytyką zawartą w niniejszej części recenzji, kilka szczegółowych uwag zawarłem poniżej.

Szczegółowe uwagi krytyczne

Szczegółowe uwagi podzieliłem na trzy części, uwagi zawarte w części drugiej wymagają komentarza ze strony Autorki – korzystnie przed obroną.

Szczegółowe uwagi merytoryczne nie wymagające komentarza Autorki:

- Strona 39 – Autorka używa określenia „etap I”, a w programie badań nie określono numeracji etapów.
- Strona 39 - niska zawartość chloru w węglu kamiennym jest raczej pożądana – czyli na pewno nie przyczynia się do niskiej jakości węgla.
- Rysunek 5.1 – ten powiększony fragment należało zrobić większy i w lepszej jakości. Należało też dodać znacznik odległości – żeby pokazać wielkość lokalnej skali obszaru pozyskania surowców.
- Strona 45: nie podano danych fabrycznych stosowanych urządzeń (mieszalnik planetarny, stół wibracyjny) ani warunków prowadzonych czynności (np. prędkość mieszania, częstotliwość i czas wibrowania zagęszczającego).

Szczegółowe uwagi merytoryczne wymagające wyjaśnienia ze strony Autorki:

- Jak autorka widzi problem pozyskania surowców po zakończeniu wydobycia węgla przez kopalnię? W sumie aktualnie jest ono prognozowane do ok. 2050 roku. Czy jest możliwe sięgnięcie do zasobów składowanych – rozkopywanie hałd? Czy byłoby to technicznie sensowne (czy składowane zasoby nie uległy degradacji) oraz czy i ew. w jakich okolicznościach mogłoby mieć sens ekonomiczny? Domyślnie, taka możliwość jest wzmiankowana w rozdziale 2 („rewaloryzacja” wysypisk).
- Proszę o komentarz do tabeli 1.2: czy obecność w porach spienionych geopolimerów takich aktywnych gazów jak tlen, wodór lub chlor może mieć wpływ na otoczenie, w którym są stosowane i/lub na trwałość samych geopolimerów?
- Strona 45: dlaczego do przygotowania roztworów użyto wody „wodociągowej”, a nie destylowanej/demineralizowanej?
- Strona 45: „w stosunku ciecz do ciała stałego – 0,5” – chodzi o stosunek wagowy czy objętościowy? Dlaczego nie wyjaśniono tego w tekście?
- Strona 70 – proszę o wyjaśnienie w jaki sposób oraz na jakiej podstawie określano i pozyskiwano reprezentatywne próbki odpadowych skał płonnych do analiz TG oraz DSC.

Szczegółowe uwagi edycyjne/typograficzne (nie wymagające komentarza Autorki):

- Strona 8: „a więc w dużej mierze beużytecznym produkcie przemysłu wydobywczego” – zapis niegramatyczny.
- Strona 10: „dodatkami wprowadzanymi do matrycy, między innymi: włókien, nanocząstek” – zapis niegramatyczny.
- Strona 17: „Polimeryzacja [...], znane jako polikondensacja” – zapis niegramatyczny.
- Strona 22: „do mieszanki geopolimerowe”.
- Strona 24: „umożliwia częściowe relaksowanie [...] i ograniczają propagację mikropęknięć” – zapis niegramatyczny.
- Strony 73 i 74 są puste!! :()

- Rysunek 7.1 i 7.2 – niejasny opis; na pewno powinno być „wytrzymałość” zamiast „nacisk”. I jakoś inaczej powinno być to oznaczone.

Podsumowanie oceny rozprawy

Uważam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa jest dziełem samodzielnym, zwartym i o dużej wartości naukowej. Pewna ilość wykrytych nieścisłości i błędów o niefundamentalnym charakterze nie umniejsza tejże wartości. Nie mam też wątpliwości, że przedstawiona rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie inżynieria materiałowa oraz wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktorantkę.

3. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn. zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.



.....
(podpis recenzenta)