

WPLYNEŁO
11.07.2023
1011 PWZ 388 / 2023

Przyjęto
13/07/2023



PODPIS ZAUFANY
WALDEMAR
PICHÓR
04.07.2023 12:24:35 [GMT+2]
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

dr hab. inż. Waldemar Pichór, prof. uczelni
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Kraków, 30.06.2023

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Inż. Karola Chilmona
p.t. „Ocena możliwości wykorzystania w kompozytach budowlanych spoiwa żuźlowego
aktywowanego wapnem palonym”**

1. Podstawa wykonania i przedmiot recenzji

Recenzję sporządzono na podstawie Uchwały nr 687/2023 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Lądowej, Geodezji i Transportu Politechniki Warszawskiej z dnia 9.05.2023 w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Karola Chilmona, zgodnie z którą powołano mnie na recenzenta. Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska p.t. „Ocena możliwości wykorzystania w kompozytach budowlanych spoiwa żuźlowego aktywowanego wapnem palonym” przygotowana przez p. Karola Chilmona. Promotorem pracy doktorskiej jest Prof. dr hab. inż. Piotr Woyciechowski, a promotorem pomocniczym dr inż. Beata Jaworska.

2. Tematyka rozprawy i określenie problematyki badawczej

Materiały budowlane zawierające spoiwa mineralne, przede wszystkim cementy powszechnego użytku, są grupą materiałów wykorzystywanych na świecie w największej ilości. Niewątpliwie beton jako podstawowy materiał konstrukcyjny zajmuje pierwsze miejsce w tej grupie, jednak inne kompozyty, w tym przede wszystkim zaprawy budowlane to bardzo ważny i ilościowo istotny materiał budowlany. Podstawowym wykorzystywanym spoiwem w tej grupie jest cement portlandzki. Spoiwo to ma dużo zalet, jednak z uwagi na wysokie zapotrzebowanie na energię do syntezy klinkieru portlandzkiego oraz zmniejszająca się dostępność surowców o wysokiej jakości szuka się rozwiązań zmniejszających jego ślad węglowy, głównie przez stosowanie składników częściowo zastępujących wypalany klinkier. Cementy wieloskładnikowe znane są od lat, a w tej grupie najstarszym przykładem wykorzystania innych niż klinkier portlandzki składników głównych jest cement hutniczy, w którym wykorzystywany jest żużel wielkopiecowy. Żużel wielkopiecowy jest atrakcyjnym składnikiem mineralnym, szczególnie cementów CEM III, w których może stanowić dominującą ilość w stosunku do klinkieru portlandzkiego. Wieloletnie doświadczenia ze stosowania granulowanego mielonego żużla wielkopiecowego jako składnika cementu hutniczego skłaniały i ciągle skłaniają do jego wykorzystania jako samodzielnego spoiwa, wymagającego aktywacji alkalicznej z uwagi na bardzo wolny przebieg reakcji hydratacji. Jest to przykład wręcz modelowego podejścia do technologii wielkoskalowej wpisujący się w model gospodarki o zamkniętym obiegu materiałowym, pozwalającym w całości wykorzystać uboczny produkt powstający w innej technologii lub procesie.

Właściwości alkalicznie aktywowanego granulowanego mielonego żużla wielkopiecowego były przedmiotem wieloletnich badań, a wyniki tych badań są gruntownie udokumentowane. W badaniach, ale również w aplikacjach, w zdecydowanej większości przypadków jako aktywatory stosowane są wodorotlenek sodu i sole sodowe z różnymi anionami, lub ich mieszanina. Również cement portlandzki traktowany jest jako aktywator żużla. Zdecydowanie rzadziej dostępne są wyniki badań, w których wykorzystywane były wodorotlenek lub sole innych kationów np. potasu lub wapnia. W literaturze ugruntowane są również wielokrotnie

zweryfikowane modele przebiegu procesu hydratacji granulowanego mielonego żuźła wielkopieczowego z różnymi aktywatorami, również uwzględniające rolę anionu w tym procesie i stosunek molowy Al_2O_3 do SiO_2 w żuźlu.

Opracowane dotychczas spoiwa żuźlowo-alkaliczne nie są jednak pozbawione wad, które w istotny sposób ograniczają ich zastosowanie. Do podstawowych czynników ograniczających jest konieczność zapewnienia bezpieczeństwa w czasie stosowania silnie alkalicznych roztworów aktywatorów oraz stosunkowo szybkie wiązanie spoiwa, zbyt szybkie dla wielu aplikacji. I mimo udanych prób stosowania tego rodzaju rozwiązań na szerszą skalę, ograniczenia te zmniejszają zasięg potencjalnego zastąpienia cementu portlandzkiego jako spoiwa praktycznie wyłącznie do prefabrykacji.

Poszukiwanie wariantów materiałowych dzięki którym możliwe będzie rozszerzenie obszaru zastosowań spoiw żuźlowo-alkalicznych np. zastosowanie do zapraw budowlanych, które będą mogły być stosowane podobnie do istniejących zapraw tradycyjnych, przy jednoczesnym znacznym ograniczeniu ich śladu węglowego wpisuje się w aktualne trendy badań naukowych na całym świecie.

Doktorant w swojej pracy sformułował tezę, zgodnie którą na właściwości kompozytów, w których spoiwem jest granulowany mielony żuźel wielkopieczowy, a aktywatorem wapno palone, główny wpływ ma ilość i reaktywność wapna palonego. Wykorzystując wapno palone o różnym stopniu spieczenia, a zatem różnej reaktywności, można zmieniać właściwości takich kompozytów w szerokich granicach, przy czym wpływ, co jest istotnym elementem pracy, dotyczy również kompensacji skurczu zaczynu żuźlowego, a nawet daje możliwość otrzymania spoiw ekspansywnych. Wykorzystanie wapna o różnej reaktywności oprócz wpływu na stałość objętości pociąga za sobą również zmianę wodożądności spoiwa i czasu wiązania mieszanki żuźlowej, co s kolei pociąga zmiany mikrostruktury kompozytów po związaniu i twardnieniu, a te przekładają się na właściwości mechaniczne i trwałość. Doktorant, co zasługuje szczególnie na podkreślenie, podjął się na podstawie badań podstawowych optymalizacji materiałowej formułując uogólnioną funkcję użyteczności dla wariantu wykorzystania opracowanych kompozytów jako zapraw murarskich. Zaproponowane przez Doktoranta rozwiązanie materiałowe, pozwalające na ocenę właściwości zapraw ze spoiwem żuźlowym aktywowanym wapnem palonym stosowanych w sposób podobny do powszechnie wykorzystywanych zapraw murarskich jest oryginalne, ciekawe, i ma duży potencjał aplikacyjny.

Biorąc pod uwagę wybór tematyki pracy doktorskiej, mimo potencjalnego deficytu żuźła wielkopieczowego w przyszłości, wynikającego ze zmian technologii masowych oraz jednocześnie wzrastającego zapotrzebowania na uboczne produkty z innych technologii w produkcji cementu, należy uznać za aktualną, wartościową i po części nowatorską.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Praca jest obszernym z punktu widzenia zakresu badań studium dotyczącym wykorzystania wapna palonego jako aktywatora spoiwa żuźlowego. Tytuł pracy „Ocena możliwości wykorzystania w kompozytach budowlanych spoiwa żuźlowego aktywowanego wapnem palonym” stosunkowo dobrze oddaje zakres pracy. Wprawdzie termin kompozyty budowlane mimowolnie rozbudza apetyt na nieco większy zakres przedmiotowych badań niż skupienie się na zaczynach i zaprawach murarskich, niemniej jednak jest poprawny i właściwie użyty. Układ pracy jest typowy, w której część eksperymentalną poprzedza wnikliwa analiza literaturowa. Należy podkreślić, że autor przeanalizował obszerny zakres prac z tej tematyki, niekiedy prac podstawowych o historycznym wręcz znaczeniu (prace Kuehla, Fereta, Glukhovskiy'ego czy Chatterji) jak również prac najnowszych, opublikowanych zapewne już w czasie

przygotowywania manuskryptu tej pracy. Na uwagę szczególnie zasługuje rozdział 3.3 poświęcony analizie wpływu różnych czynników wpływających na właściwości spoiw żużlowo-alkalicznych w zależności od rodzaju aktywatora. Analiza ta nie tylko skupia się na mechanizmie aktywacji, przy okazji świetnie przedstawionej w formie graficznej, zestawiającej wyniki różnych autorów (rys. 20), ale również w formie syntetycznej tabeli (Tab.5) uwzględniającej również, poza innymi materiałowymi aspektami, wpływ rodzaju aktywatora na środowisko. Konstruowanie zestawień materiałowych w szerszym, środowiskowym kontekście świadczy niewątpliwie o dojrzałości autora i rozumieniu roli technologii masowych we współczesnym, dynamicznie zmieniającym się świecie. Na uwagę zasługuje również wyodrębnienie opisu hydratacji żużla wielkopieczowego w obecności tlenu lub wodorotlenku wapnia jako odrębnego rozdziału. Pozwala to czytelnikowi podążać za główną tezą postawioną w pracy, bez niepotrzebnego swoistego wyłuskiwania informacji z szerszego kontekstu. Generalnie, analiza części literaturowej jest napisana klarownie, z właściwym naciskiem na istotne dla pracy wątki, w syntetycznej i treściwej formie. Zadanie to nie było łatwe z uwagi na bardzo obfitą literaturę przedmiotu, siłą rzeczy często przyczynkową, jednak autor doskonale sobie z tym poradził wybierając w mojej ocenie najważniejsze prace w tym zakresie. Pewien niedosyt może być związany jedynie z bardzo pobieżną analizą wpływu uziarnienia, a właściwie powierzchni właściwej żużla na właściwości kompozytów żużlowo-alkalicznych. Analizie poddano właściwie tylko dwie prace (Jeong, 2016 i Burciaga-Diaz, 2019), przy czym autor zauważa, że zgodnie z pracą Burciaga-Diaz wpływ rozwinięcia powierzchni na właściwości kompozytów jest większy niż zawartości aktywatora. W drugiej przytoczonej pracy wprawdzie żużle różniły się powierzchnią jednak pochodziły z różnych źródeł, zatem nie była to jedyna zmienna wpływająca na właściwości kompozytów nimi aktywowanych. Nieuwzględnienie wpływu rozwinięcia powierzchni żużla, szczególnie w kontekście wykorzystania aktywatorów wapniowych wpływających silnie na czas wiązania pomija jedną z efektywnych dróg modyfikacji mikrostruktury kompozytów żużlowo-alkalicznych, a tym samym ich właściwości. Pewnym usprawiedliwieniem zapewne może być fakt, że mielenie żużla jest procesem wysokoenergetycznym, i z punktu widzenia środowiska wybiera się rozwiązania, które nie wymagają dodatkowego wkładu energii.

Praca eksperymentalna podzielona jest na etapy w klasycznym, liniowym modelu badawczym, obejmującym badania wstępne, badania podstawowe i optymalizację materiałową, przeprowadzoną pod kątem wykorzystania opracowanego rozwiązania jako zaprawy murarskiej. Na uwagę zasługuje przemyślany plan badań, uwzględniający wpływ różnych czynników na właściwości użytkowe kompozytów. Wprawdzie przedstawiony na rys. 27 plan badań, jest planem zrealizowanym, uwzględniającym już uzyskane wyniki, niemniej jednak daje to obraz umiejętności planowania prac doświadczalnych przez Doktoranta, bo zapewne na etapie jego formowania niewiadomym były wybory wynikające z otrzymanych rezultatów. Wybór metod badawczych jak również narzędzi do analizy statystycznej jest zasadniczo właściwy do weryfikacji tezy pracy i pomocniczych hipotez badawczych. Pierwszą częścią prac eksperymentalnych było określenie właściwości żużla i wapna. Granulowany mielony żużel wielkopieczowy pochodził z dwóch źródeł: Huty Katowice i niedziałającej już instalacji w hucie im. Sendzimira w Krakowie. Żużel z obu źródeł cechował się zbliżonymi właściwościami. Pewną niedogodnością w analizie jest sposób wyznaczenia powierzchni właściwej żużli, bazujący na obliczeniu jej na podstawie uziarnienia wyznaczonego metodą dyfrakcji laserowej, i założenia kulistości ziaren. Jakkolwiek w przypadku popiołów lotnych podejście takie można uznać za uzasadnione, szczególnie że powierzchnia popiołów może przekraczać zakres pomiarowy powszechnie wykorzystywanej metody Blaine'a, tak

w przypadku materiału jakim jest żużel, i ostrokrawędzistych, nieregularnych ziaren (rys. 39) opis taki jest daleki od rzeczywistości. W konsekwencji trudno jest czytelnikowi porównać charakterystykę żużla z danymi literaturowymi, czy wręcz cementem portlandzkim, gdyż zwykle powierzchnię właściwą określa się przywołaną metodą Blaine'a. Wprawdzie autor wspomina na stronie 105, że powierzchnia właściwa żużli wyznaczoną tą metodą jest około dwukrotnie mniejsza niż dla cementu CEM I 42,5R, ale już na następnej stronie podaje, że średni rozmiar ziaren był zbliżony do cementu (rys. 37 i rys. 38b). Ma to też konsekwencje w porównaniu wymagań dla żużla jako składnika spoiw cementowych i rekomendowanych przedziałów dla żużla wykorzystywanego jako prekursor alkaliczny z otrzymanymi wynikami (Tab. 19). Budzi to wątpliwości, co do zasadności wykorzystania takiej metody wyznaczania powierzchni właściwej w tym przypadku. Na dużą uwagę zasługuje wykorzystanie autorskiej metody badania właściwości reologicznych zaczynów, opracowanej na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, polegającej na sekwencyjnym badaniu reometrem rotacyjnym termostatowanych próbek prowadzącym do wyznaczenia krzywej płynięcia zaczynów. Również zmiany liniowe próbek badane były z wykorzystaniem specjalnie na potrzeby realizacji doktoratu skonstruowanym stanowiskiem badawczym o dokładności pomiaru 1 μm z własnym skryptem do akwizycji danych. Budowa i wykorzystanie autorskich rozwiązań w procesie badawczym świadczą o wysokich kompetencjach i dojrzałości badawczej Doktoranta.

Analiza charakterystyki uziarnienia wapna palonego w badaniach wstępnych jest w mojej ocenie zbyt uproszczona, zaprezentowane na rys. 41 rozkłady ziarnowe są bowiem – poza wapnem ostropalonym – rozkładami dwumodalnymi, zatem posługiwanie się średnim rozmiarem ziaren w celu ich scharakteryzowania jest nieuzasadnione. Szczególnie, że autor wspomina na stronie 109, że wapna palone cechowały się znacząco wyższą powierzchnią właściwą w porównaniu z rozpatrywanymi żużlami wielkopieczowymi, jednak nie zostały zaprezentowane wyniki to potwierdzające. I w tym przypadku to obecność drugiego maksimum w zakresie 0,2-0,5 μm na krzywych uziarnienia na to wskazuje. Szkoda, że autor nie pokusił się jednak o zbadanie powierzchni właściwej wapna palonego, bo w tym przypadku, w przeciwieństwie do żużli, istotnie na nią wpływa porowatość ziaren, która może być znacząco różna w zależności od obróbki termicznej wapna.

Wnioski wyciągnięte na podstawie badań wstępnych są logiczne, poprawne i zostały właściwie wykorzystane do zaplanowania etapu badań podstawowych. Jako zmienne niezależne ustalono reaktywność wapna palonego oraz jego ilość w kompozycji, co jest spójne z tezą pracy. Wartościowym elementem tego etapu badań jest wykorzystanie jako wariantów referencyjnych wapna hydratyzowanego i cementu portlandzkiego CEM I 42,5R, co pozwoliło odnieść uzyskane wyniki do dostępnych publikowanych badań w tym zakresie.

Reaktywność wapna wpływała w istotny sposób na większość badanych właściwości. Wyłącznie w przypadku wapna wysokoreaktywnego wyznaczone wartości wodozadržności były znacząco wyższe od pozostałych. Zaobserwowano natomiast silną zależność stałości objętości zarówno od reaktywności wapna jak i jego ilości. Wszystkie badane zaczyny zawierające wapno palone cechowały się ekspansją, w przeciwieństwie do próbek referencyjnych. Zmiany liniowe były większe niż obserwowane dla cementów powszechnego użytku, jednak w większości przypadków spełniały wymagania PN-EN 196-3:2016-12. Ciekawym wynikiem jest znaczne zróżnicowanie wpływu na czas wiązania spoiw w zależności od reaktywności wapna. W przypadku wapna średnio- i ostropalonego nie zaobserwowano wiązania spoiwa w wodzie w czasie do 24 h, natomiast w powietrzu wszystkie warianty spoiwowe wiązały w czasie z przedziału około 1,5h do 9h. Biorąc pod uwagę najbardziej prawdopodobną aplikację jaką

jest zaprawa murarska uzyskano możliwość wpływu na użyteczny czas wiązania w szerokich granicach. Zaproponowany model zależności początku czasu wiązania spoiw od zawartości wapna palonego charakteryzował się bardzo dobrym dopasowaniem do danych oraz dostateczną dokładnością prognozy. Zaobserwowano również istotny wpływ rodzaju wapna i jego ilości na właściwości reologiczne zaczynów, szczególnie w przypadku wapna wysokoreaktywnego. Zmiany liniowe zapraw po wyeliminowaniu wpływu skurczu wysychania podzielono na trzy grupy z uwagi na wielkość zmian, wyodrębniając spoiwa o dużej ekspansji, o obniżony skurczu i porównywalnym skurczu do spoiw referencyjnych. Zaproponowano wyjaśnienie różnic w wielkości zmian liniowych w każdej grupie, ze szczególnym uwzględnieniem etapu drugiego, w którym proces ekspansji związany z hydratacją wapna i wzrastającym ciśnieniem wywoływanym wzrostem kryształów portlandytu konkurował ze skurczem związanym z hydratacją żużla. Jest to istotny fragment pracy, a prezentowane wyniki mają znamiona nowości. Rozwój wytrzymałości na ściskanie zaczynów w czasie przybiera podobny charakter, i wynosił około 10 MPa po 7 dniach dojrzewania. Wytrzymałość ta wzrastała proporcjonalnie w funkcji czasu, osiągając po 2 latach wartość rzędu 30 MPa. Nie udało się określić stałej tendencji wpływu reaktywności i ilości aktywatora na wytrzymałość na ściskanie, przy czym różnice między bezwzględnymi wartościami były stosunkowo niewielkie, co znacznie utrudniało dobranie odpowiedniego modelu predykcyjnego. Biorąc pod uwagę, że badana wytrzymałość na ściskanie zaczynów jest wielkością makroskopową, na którą wpływ ma wiele innych czynników poza rozpatrywanymi, nie jest to zaskoczeniem. Badania mikrostruktury stwardniałych zaczynów z wykorzystaniem mikroskopu elektronowego zasadniczo potwierdzają obecność C-S-H będącej wynikiem hydratacji żużla w obecności aktywatora, a niewielkie obserwowane zmiany składu w mikroobszarach i stosunków między pierwiastkami wyznaczonymi techniką EDS wskazują na duże podobieństwa i nie wnoszą dodatkowych istotnych informacji. Wiązanie zapraw żużlowych z aktywatorem w postaci wapna palonego przebiegało zgodnie z modelem zaproponowanym przez Shi i Daya, a rejestrowane ciepło reakcji związane jest przede wszystkim z egzotermicznym procesem hydratacji wapna palonego, i w znacznie mniejszym stopniu widoczne są efekty wynikające z hydratacji żużla. Ilość wydzielanego ciepła zależy przede wszystkim od reaktywności i ilości wapna. W miarę spadku reaktywności wapna uwidacznia się drugi efekt egzotermiczny związany z hydratacją żużla, jednak ilość ciepła związana z tym procesem jest znacznie mniejsza.

Wytrzymałość na ściskanie zapraw osiągała wartości spełniające wymagania dla klasy M5 zapraw murarskich oraz CS IV zapraw tynkarskich. Nie udało się określić uogólnionych zależności wskazujących na wpływ reaktywności i zawartości aktywatora na właściwości zapraw. Głębokość karbonatyzacji zapraw zależy przede wszystkim od porowatości otwartej, i w proponowanych wariantach materiałowych silnie zaznacza się efekt uszczelnienia powierzchni próbek przez powstające kryształy węgla wapnia. Szkoda, że doktorant nie pokusił się o bezpośredni pomiar porowatości np. metodą porozymetrii rtęciowej. Wprawdzie pewnym przybliżeniem całkowitej porowatości otwartej może być wyznaczona wartość absorpcji kapilarnej, jednak jest to badanie makroskopowe nie mówiące nic o rozkładzie wielkości porów, szczególnie w funkcji czasu karbonatyzacji.

Ciekawą propozycją jest włączenie do opracowanej użyteczności materiałowej badanych spoiw oprócz kryteriów procesowych (urabialność K2), użytkowych (właściwości mechaniczne K3 i trwałość K4) również ekologiczności (kryterium K1), które zawiera temperaturę wypału wapna i potencjał sekwestracji. Takie podejście świadczy o rozumieniu roli technologii masowych we współczesnej gospodarce przez Doktoranta. Proces optymalizacji składu

zawarty w rozdziale 7 jest szczególnie cenny i nakierowany na aplikacje, uwzględniając zasadniczo dwie zmienne, które w takim ujęciu są kluczowe, tj. współczynnik w/s oraz zawartość wapna palonego. Jako punkt wyjścia przyjęto założenia produktowe zaprawy spełniającej kryteria dla zaprawy murarskiej ogólnego przeznaczenia do murowania ścian narażonych na średnie i słabe działanie warunków zewnętrznych. Oczywiście jak w każdej próbie definiowania funkcji użyteczności wagi cech kryterialnych zostały przyjęte arbitralnie, jednak z dużym wyważeniem wskazującym na gruntownie przeprowadzoną analizę czynnikową. Na podstawie opracowanej funkcji użyteczności określono najwyższą wartość wskaźnika dla zawartości wapna palonego około 6% i współczynnika w/s równego 0,5.

Podsumowanie badań oraz wnioski końcowe są opracowane rzetelnie, logicznie i w warstwie interpretacyjnej nie budzą wątpliwości. Przedstawione wyniki potwierdzają tezę sformułowaną w pracy, dowodząc zasadności stosowania odpowiednio dobranego pod kątem reaktywności i ilości aktywatora spoiwa żużlowego w postaci wapna palonego.

4. Ocena redakcji

Rozprawa doktorska jest w formie monografii obejmującej ogółem 277 stron, w tym 189 rysunków ilustrujących treść oraz 44 tabel. Spis cytowanych w pracy pozycji bibliograficznych obejmuje 205 publikacji oraz 27 norm przedmiotowych. Praca jest napisana dobrym językiem, jest czytelna i spójna. Jednak jak większość prac nie jest pozbawiona drobnych braków czy błędów redakcyjnych. Poniżej zamieszczam kilka przykładów zauważonych uchybień lub pomyłek, jednak z góry zaznaczając, że nie umniejszają one mojej wysokiej oceny redakcji pracy a ich wskazanie ma na celu wyłącznie zwrócenie uwagi na staranność przygotowania do druku przyszłych publikacji. Główną uwagą redakcyjną jest zwrócenie uwagi na czytelność wykresów, w większości przypadków opisy, szczególnie uszczegóławiające wykresy są bardzo małe przez co nieczytelne (np. rys. 51, 54, 75, 82). Również opis źródeł bibliograficznych jest czasem skąpy, często utrudniający odszukanie cytowanej pracy (np. poz. [25], [29], [39], [70], [87]) a w cytowaniach norm w tekście manuskryptu pominięto rok wydania, co przy często zmieniających się wymaganiach w nich zawartych może prowadzić do niejasności. Jakkolwiek zdarzają się zwykłe błędy edycyjne np. w Tabeli 10 błędny numer normy w poz. 23 lub tzw. literówki i zwykle nie warto nawet o tym wspominać, to błąd w nazwisku cytowanego autora wymaga już zwrócenia uwagi (poz. [54] – Glukhovsky). Mimo tych drobnych błędów na podkreślenie zasługuje duża staranność przygotowania manuskryptu.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że praca doktorska pana mgr inż. Karola Chilmona jest oryginalnym dziełem na temat opracowania kompozytów żużlowych aktywowanych wapnem palonym o różnej reaktywności. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą w dziedzinie Inżynieria lądowa, geodezja i transport, umiejętnością planowania badań, prowadzenia prac badawczych oraz prawidłową analizą uzyskanych wyników prowadzącą do rozwiązania problemu naukowego. Otrzymane przez Doktoranta wyniki badań wnoszą istotne elementy nowości w tematykę spoiw żużlowo-alkalicznych, i jednocześnie mają duży potencjał aplikacyjny. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska w mojej ocenie spełnia wymagania art. 187 Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 roku z późn. zm., w związku z czym wnoszę o dopuszczenie pana mgr inż. Karola Chilmona do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.