Recenzja spełnia wymogi formalne

prof. dr hab. inż. Lech Czarnecki
Instytut Techniki Budowlanej

Warszawa, dnia 21.09.2023 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej pt. „Analysis of material properties of industrial-based geopolymers for assessment of their usability in construction" autorstwa mgr inż. Natalii Wielgus

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport dr. hab. inż. Marcina Stańka, profesora Politechniki Śląskiej (L.dz. RDILGT.512.59.2023) z dnia 10.07.2023 informujące o uchwale Rady Dyscypliny powierzającej mi obowiązki recenzenta i opracowanie opinii rozprawy doktorskiej jak to sformułowano powyżej. Rozprawa jest przedstawiona w języku angielskim, jednakże poinformowano mnie, że recenzja powinna być opracowana w języku polskim.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiot recenzji stanowi opracowanie pt. „Analysis of material properties of industrial-based geopolymers for assessment of their usability in construction" autorstwa mgr inż. Natalii Wielgus, przedstawione Radzie Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej jako rozprawa doktorska. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Jan Kubica, a promotorem pomocniczym – dr inż. Marcin Górski, profesor Politechniki Śląskiej.

Treść rozprawy została przedstawiona w ośmiu rozdziałach. We *Wprowadzeniu* przestawiono przesłanki podjęcia tej tematyki, a następnie stan wiedzy i techniki dotyczący

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport
wpłynęło dnia 9.10.2023
nr 219 zał. —

Wpłynęło dnia 9.10.2023 r.

geopolimerów (rozdz. 2.2 – 2.4) i szkła kineskopowego (rozdz. 2.5 – 2.6). W rozdziale trzecim przedstawiono schemat postępowania badawczego, z podziałem na badania wstępne (rozdz. 3), badania zasadnicze (rozdz. 4) i uzupełniające (rozdz. 5). Niezależnie od krótkiego skomentowania wyników badań wraz z ich przedstawieniem w poszczególnych rozdziałach, odrębny rozdział 6 poświęcony jest na dyskusję wyników badań. Rozprawę kończy podsumowanie i wnioski (rozdz. 7) oraz zarysowanie kierunków dalszych badań (rozdz. 8).

W rozprawie przytoczono 361 pozycji literatury, w tym łącznie jedenaście pozycji autorstwa lub współautorstwa Doktorantki opublikowanych pod nazwiskiem Paszek ([193],[194],[197],[199],[200],[325],[331],[332],[333]) oraz pod nazwiskiem Wielgus ([201],[202]), także w renomowanych czasopismach (IF 3,9 i IF 5,0). Wraz z oryginałem rozprawy zostało udostępnione liczące dziesięć stron streszczenie pracy w języku polskim.

3. Ocena celowości podjęcia tematu oraz trafności sformułowania tytułu i problemu naukowego

Tematyka dzieła należy do ważnych, rozwijających się kierunków badań, ważkich zarówno ze względu na potencjał naukowy, jak i na możliwość jej wykorzystania w wymiarze inżynierskim. Obecnie tematyka ta w aspekcie badawczym odznacza się dużą dynamiką rozwoju. W ciągu ostatnich trzech lat rocznie ukazuje się około 1500 (źródło: Scopus) publikacji związanych z geopolimerami, potwierdza to również wielka liczba (361) publikacji przytoczonych w rozprawie. Przedmiot badań określony w jej tytule jest znacznie obszerniejszy niż jej treść. W tytule zapowiedziano *industrial waste-based geoplymers* (liczba mnoga). Jednak przedmiotem badań jest jeden rodzaj geopolimeru, a mianowicie geopolimer, w którym jako prekursora (źródło glinosilikatu SiO_2-Al_2O_3) użyto metakaolinu, a jako kruszywo wykorzystano kruszone szkło kineskopowe. To zastosowanie kruszonego szkła kineskopowego stanowi istotną nowość tematyki rozprawy. W drugiej części tytułu rozprawy wskazano cel podjęcia tego studium „*analysis ... for assessment of their usability in construction*", czyli do oceny przydatności w budownictwie. Cel ten został zrealizowany jedynie w kategoriach bardzo ogólnych; w efekcie końcowym uzyskano stwierdzenie, że „może być przydatne", jednakże bez wskazania bliższego obszaru zastosowań. Wybrany zbiór cech kryterialnych jest niewystarczający do wnioskowania przydatności w budownictwie, pozwala jedynie na stwierdzenie, że w badanym zakresie nie występują bariery przydatności.

Ustawa o stopniach naukowych stwierdza, że rozprawa powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Aby problem mógł być oryginalnie rozwiązany, to należy

go uprzednio sformułować. W rozprawie zamieszczono wyodrębniony punkt (1.2) – *Problem definition*; problem naukowy jednakże nie został zdefiniowany bezpośrednio, a poprzez określenie celu (str. 8) *the possibility of recycling it as an aggregate – this topic is explored in this Thesis. The main goal of this Thesis was to determine if it is possible to use crushed discarded Cathode Ray Tube (CRT) glass as an aggregate in metakolin-based geopolymer matrix*. Szerzej można przyjąć, że problem naukowy definiuje łącznie tytuł rozprawy, cel pracy i przyjęte cztery hipotezy badawcze. Jest to wykazanie przydatności kruszonego szkła kineskopowego jako kruszywa do geopolimeru z wykorzystaniem metakaolinu, a następnie ocena przydatności takiego geopolimeru w budownictwie. Należy jednak zaznaczyć, że towarzyszące pierwszej hipotezie ograniczenie rodzaju kruszonego szkła kineskopowego CTR tylko ***do jednego producenta***, bez sprecyzowania w kategoriach fizykochemicznych, czym szczególnym miałby się wyróżniać produkt tego jednego producenta, odbiera wynikom pracy możliwość naukowego uogólnienia.

Rozpatrując przytoczony zbiór hipotez w kategoriach „oryginalność – oczywistość", można zauważyć, że w świetle współczesnego stanu wiedzy są one blisko oczywistości. Najważniejsza z nich hipoteza pierwsza – „*CRT glass can be recycled in metakaolin based geopolymer as an aggregate without any special pretreatment*" jest obciążona tylko niewielką niepewnością w świetle prac (niecytowane) Ł. Gołka i współpr. (2019), a zwłaszcza wcześniejszej (2018) publikacji M. Ogundiran B. and I. Enakerakpo S., 'Metakaolin clay-derived geopolymer for recycling of waste cathode ray tube glass', *Afr. J. Pure Appl. Chem.* – cytowanej w rozprawie (poz. 105). Pozostałe hipotezy mają charakter zdań oznajmujących i kierunkują (stanowią „limitation") program badań.

4. <u>Ocena poprawności wnioskowania naukowego</u>

Zadaniem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i jego oryginalne w zapisie rozprawy przedstawienie. Należy z zadowoleniem podkreślić, że Autorka w sposób pełny i skondensowany przedstawiła stan wiedzy w zakresie geopolimerów (rozdz. 2.1), odwołując się nawet do doświadczeń sprzed blisko pięciu tysięcy lat (piramidy egipskie). Z satysfakcją należy zauważyć, że w sposób istotny został dostrzeżony udział również polskich uczonych w rozwoju geopolimerów. Podobnie w sposób wyczerpujący przedstawiono zagadnienie kruszonego szkła kineskopowego.

Przytoczony w rozprawie zakres referencji jest bardzo duży – ponad oczekiwanie w pracach doktorskich z zakresu nauk technicznych – podyktowany „dynamiką" rozwoju geopolimerów.

Ogranicza to również recenzenta w obszarze innych uwag niż pochwała. Niemniej pozwalam sobie zauważyć, że gdyby w większym stopniu uwzględniono publikacje przeglądowe, to pozwoliłoby to na większy dystans w przedstawieniu problematyki rozprawy. Przykładowo wymieniam:

- S. Grzeszczyk: The truth about geopolymers. *CWB* 26(2), 101-108, 2021;
- H. Castillo et al.: State of the art of geopolymers. A review. *e-polimery2e*, 108-124, 2022;
- L. Almutairi et al. : Potential applications of geopolymer concrete in construction. A review. *Case studies in construction materials*. 15.e00723.2021.

W przyjętej w rozprawie konwencji stosuje się terminy o znacznie większym zakresie pojęciowym niż pokazywana treść. Dotyczy to już tytułu – jak to wskazano w poprzednim punkcie recenzji – ale nie tylko: przez *mechanical behavior* określa się zbiór jedynie dwóch cech: wytrzymałości na ściskanie i wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu; pojęcie *physiochemical characteristics* ogranicza się jedynie do spektroskopii absorbcyjnej, AAS. Prowadzi to do nieporozumień. Zamierzeniem jest stwierdzenie przydatności dla budownictwa „*determine and describe the potential application of metakaolin-based geopolymer with aggregate in form of crushed discarded CRT glass as an alternative building material*". Ograniczenie zakresu badań tylko do dwóch cech mechanicznych: wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu, f_x[1] i wytrzymałości na ściskanie f_c mierzonych na beleczkach 40x40x160mm uniemożliwia wykonanie tego zadania.

W rozdziale 3 i następnym ten zakres rozpatrywanych cech dodatkowo poszerzono o wynikową wartość – sztywności f_x/f_c. Dla wybranego składu zbadano ponadto porowatość i w wyniku pomiaru *atomic absorption spectroscopy*, AAS, wnioskowano o zdolności do stabilizacji metali ciężkich toksycznych dla organizmów żywych. Należy stwierdzić, że wybrany zakres cech kryterialnych f_x i f_c – nawet poszerzony o porowatość i AAS – jest niewystarczający do stwierdzenia jaki *alternative building material* mógłby stanowić będący przedmiotem badania kompozyt. W efekcie prowadzi to do „subtelnej", lecz znaczącej redefinicji celu pracy, który na str. 9 zgodnie z tytułem pracy brzmi zdecydowanie w formie ogólnej i stanowiącej: „*The main purpose of the following Thesis was to determine and describe the potential application of metakaolin-based geopolymer with aggregate in form of crushed discarded CRT glass as an alternative building material*", zaś na str. 125 przybiera formę znacznie słabszą: „*The main goal of this Thesis was to evaluate if discarded crushed CRT glass*

[1] f_x – oznacza stosowane w rozprawie, zwykle używane są symbole f_f

can be applied as an aggregate in metakaolin-based geopolymer and to asses if metakaolin-based geopolymer with CRT glass can be potentially used as a building material considering chosen aspects (mostly the mechanical behavior)", występuje „*can be*" i ogranicza się do „*chosen aspects*".

Jako zasadnicze ograniczenie, jednakże, uważam wspomniane już (pkt 3 recenzji) ograniczenie CRT do jednego producenta, jako odbierające walor uogólnienia naukowego.

Z innych uwag związanych z wnioskowaniem naukowym, należy zwrócić uwagę, że zarówno zakres badanych składów, jak i kroki zmienności zostały przyjęte arbitralnie. Racjonalność tych decyzji nie budzi jednakże wątpliwości i należy to przypisać intuicji badacza, wypracowanej w wyniku wnikliwych studiów literaturowych Autorki. W programach badawczych dotyczących doboru składu Autorka przyjęła domyślnie jako kryterium optymalizacji maksymalizację cech wytrzymałościowych. Zabrakło natomiast wyjaśnienia jaką rolę we wnioskowaniu optymalizacyjnym spełnia kruchość, f_x/f_c.

Liczba powtórzeń poszczególnych pomiarów nie przekraczała 6, a często (f_x) dotyczyła 3 próbek. Zważywszy, że współczynnik zmienności sięgał 14% to może powstać wątpliwość, czy taka liczba powtórzeń była wystarczająca dla wiarygodności wyniku pomiaru. Nie przeprowadzono analizy koniecznej liczby powtórzeń.

W rozdziale 6 zatytułowanym *Discussion* Autorka trafnie skonfrontowała wyniki własne z danymi literaturowymi, wykazując się przy tym znajomością przedmiotu i odpowiednią wiedzą teoretyczną. Kandydatka wykazała się również umiejętnością prowadzenia programu badawczego o wielowarstwowej strukturze, przeprowadzania podstawowych pomiarów, dokumentacji wyników i ich przekonywującego przedstawiania. Świadczy to o umiejętności prowadzenia pracy badawczej.

Na marginesie tych rozważań należy zaznaczyć, że na niektórych fotografiach próbek (np. rys. 4.1.3) występują liczne spękania, które mogą świadczyć o nadmiernym skurczu. Zagadnienie to nie było zauważone. Ponadto wyniki pomiarów porowatości (rozdz. 5.1.2) dowodzą, że całkowita porowatość to pory otwarte (pory zamknięte nie występują). Oczekiwany byłby tu komentarz od autorski. Podkreśla to konieczność dalszych badań, w które Kandydatka deklaruje swoje zaangażowanie i zarysowuje ich kierunki rozwoju (rozdz. 8: *Directions for further research*).

Praca jest bardzo starannie zredagowania i jedyna uwaga redakcyjna dotyczy jednostki (str. 92) – jest: *mol/L* powinno być: mol/dm^3.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

W rozdziale 8 rozprawy zatytułowanym *Summary and Conclusions* przedstawiono analizę osiągniętych celów i odczytanie hipotez badawczych. Rozdział ten przynosi pozytywne zestawienie przeprowadzonych działań i uzyskanych wyników. Podsumowanie to zostało przedstawione w sposób rzeczowy, nie ukrywając niepełności rezultatów, a więc pośrednio uwzględniając ograniczenia wynikające z uwag krytycznych podniesionych w niniejszej recenzji. W tym kontekście jedno z najważniejszych zdań *Summary* to *„the essential further analysis"*. Zgłoszone przeze mnie uwagi krytyczne nie wzruszają spełnienia podstawowych wymagań ustawowych rozprawy doktorskiej. Celem tych uwag jest uzyskanie większej wartości dodanej przez rozprawę do stanu wiedzy.

Zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami, rozprawa doktorska powinna stanowić ***oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata, a także umiejętności prowadzenia pracy naukowej*** – stwierdzam, że wszystkie te warunki w odniesieniu do rozprawy mgr inż. Natalii Wielgus zostały spełnione w stopniu wystarczającym.

Recenzję podpisał
Lech Czarnecki

* wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz. U. z 2026 r. poz. 1764)

Marzena Gaura