

prof. dr hab. inż. Adam Stolarski
Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
Wojskowa Akademia Techniczna

Warszawa, dnia 8 lutego 2022 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Nalewajko
pt. Technologia wytwarzania betonów lekkich na bazie surowców odpadowych
energetycznych aktywowanych alkalicznie

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania recenzji jest zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Wydziału Budownictwa i Nauk o Środowisku Politechniki Białostockiej prof. dr hab. inż. Katarzyny Zabielskiej - Adamskiej z dnia 6.12.2021 r., zawierające informację, że Senat Politechniki Białostockiej w dniu 25.11.2021 r. podjął uchwałę o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Nalewajko pt. Technologia wytwarzania betonów lekkich na bazie surowców odpadowych energetycznych aktywowanych alkalicznie.

Podstawę opracowania recenzji stanowiły:

1. Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Art. 13, ust.1. (Dz.U. 2003 poz. 595 z późn. zm.).
2. Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora, § 6.4 (Dz.U. 2018 r., poz. 261).

2. Ogólna charakterystyka rozprawy i ocena celowości podjęcia tematu

Recenzowana rozprawa składa się z pięciu rozdziałów poprzedzonych wstępem oraz zakończonych podsumowaniem i wnioskami końcowymi oraz wskazaniem kierunków dalszych badań. Rozprawa jest napisana na 275 stronach i zawiera 94 rysunki, 80 tabeli. Rozprawę zamyka zestawienie literatury zawierające 135 pozycji bibliograficznych oraz wykaz 21 aktów normalizacyjnych.

W treści rozprawy Autorka przedstawiła przegląd dotychczasowego stanu badań w zakresie analizy właściwości i zastosowań betonów lekkich na bazie popiołów lotnych aktywowanych alkalicznie i na kruszywie popiołoporytowym, uzasadniła i sformułowała tezę i cele pracy, opisała metodykę badań zawierającą charakterystykę właściwości materiałów i procedur badawczych, przedstawiła dwuetapowy program badań, zaprezentowała wyniki

WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I NAUK O ŚRODOWISKU
Politechniki Białostockiej

WPLYNĘŁO dnia 21.02.2022 r.
Podpis

badan i analizę właściwości betonów lekkich zawierających przetworzone, sztuczne, energetyczne surowce odpadowe, aktywowane alkalicznie oraz opracowała technologię wytwarzania geopolimerowego betonu lekkiego.

Tematyka rozprawy dotyczy bardzo ważnego zagadnienia współczesnej inżynierii materiałów budowlanych w odniesieniu do technologii i właściwości betonów lekkich na bazie energetycznych surowców odpadowych, aktywowanych alkalicznie. Duże znaczenie poznawcze i praktyczne pracy podkreśla także opracowanie z udziałem Autorki potencjalnego zgłoszenia patentowego, którego przedmiotem jest „nowy lekki beton geopolimerowy na glino-krzemianowym kruszywie sztucznym i sposób jego wykonania”. Fakty te uzasadniają celowość podjęcia badań służących wyjaśnieniu podstaw zjawisk wpływających na właściwości betonów lekkich z alternatywnymi składnikami nie zawierającymi cementu.

3. Szczegółowa charakterystyka i ocena rozprawy

We **wstępie** rozprawy Autorka określiła zakres tematyczny pracy dotyczący oryginalnej propozycji opracowania technologii wytwarzania betonów lekkich na bazie energetycznych surowców odpadowych aktywowanych alkalicznie wraz z analizą ich właściwości na podstawie badań laboratoryjnych oraz opisała zawartość pracy.

W **pierwszym rozdziale** Autorka przedstawiła przegląd literaturowy z dość umownym podziałem tematycznym na część dotyczącą badań właściwości sztucznego kruszywa popiołoporytowego oraz część dotyczącą badań betonów lekkich, bezcementowych, z wykorzystaniem popiołów lotnych i aktywatora alkalicznego.

Przegląd literatury jest obszerny i zasadniczo powiązany z tematyką pracy. Został napisany merytorycznie na bardzo dobrym poziomie i świadczy o orientacji Autorki w problematyce analizowanych zagadnień. Zawiera odniesienia do dużej liczby pozycji literaturowych opisujących aktualne wyniki badań, zamieszczając nawet bardzo szczegółowe wyniki niektórych badań. Jednak zakończenie przeglądu literatury generalizującym wnioskiem *„że kompozyt geopolimerowy wykazuje znacznie lepsze właściwości fizykomechaniczne niż zwykłe betony na bazie cementów portlandzkich”* nie jest uzasadnione.

W **rozdziale drugim** Autorka uzasadnia podjęcie tematyki badań biorąc pod uwagę wnioski z przeglądu literatury, dodatkowo jeszcze uzupełnionym o kilka następnych pozycji bibliograficznych dotyczących badań termoizolacyjności betonów lekkich. Wskazała na konieczność uzupełnienia metod badawczych i przedstawienia nowych wyników analizy właściwości betonów lekkich na bazie energetycznych surowców odpadowych, aktywowanych alkalicznie.

To uzasadnienie umożliwiło Autorce sformułowanie w **rozdziale trzecim** następującej tezy pracy:

„Istnieje możliwość monolitycznego połączenia spoiwa mineralnego aktywowanego alkaliem z kruszywem sztucznym popiołoporytowym, co przyczyni się do poprawy właściwości betonów lekkich i wyeliminowania z nich cementów portlandzkich.”

Udowodnienie tej tezy Autorka zamierzała osiągnąć poprzez realizację głównego celu pracy, który określiła jako: „zbadanie właściwości betonów lekkich na bazie surowców odpadowych energetycznych, aktywowanych alkalicznie.”

Teza i cel pracy są sformułowane poprawnie wskazując koncepcję zamiaru badawczego, sposób i zakres jego realizacji. Tezę i cel pracy Autorka wyodrębniła w rozdziale trzecim, na który składają się tylko trzy akapity ważnego tekstu. Rozdział ten mógłby być więc z powodzeniem połączony z rozdziałem drugim, który nie tylko uzasadnia podjęcie tematyki badań, ale również stanowi podbudowę tezy i celu pracy.

W **rozdziale czwartym** Autorka przedstawia metodykę badań, która zawiera charakterystykę materiałów wykorzystywanych do badań, opisy metod badań właściwości kruszyw popiołoporytowych, świeżych mieszanek geopolimerowych i kompozytów geopolimerowych, opis metody badań struktury wewnętrznej betonu lekkiego z wykorzystaniem elektronowej mikroskopii skaningowej oraz program badań własnych.

W odniesieniu do opisu metod występują nieścisłości dotyczące opisu niektórych badań. I tak, w punkcie 4.1.1 brakuje pełnego opisu bibliograficznego „raportu z badań nr 5045/2018”, na którego podstawie opracowano tabelę 4.1, a w tej tabeli znajdują się powołane pozycje „IB_TL_21_07 z dnia 28.05.2013” i „IB_TL_02_04 z dnia 16.04.2018”, które w spisie norm poz. 13 i 15, również nie mają opisu bibliograficznego. W tabeli 4.4 i w punkcie 4.2.1.3 występuje nieścisłość powołania na normę dotyczącą badania wytrzymałości kruszywa na miazdzenie zgodnie z normą PN-78 B-06714, która z inną nazwą występuje w spisie norm, poz. 16. W punktach 4.2.3.3 i 4.2.3.4 są powołania na normy PN-88/B-06250 i PN-B-04500:1985, które w ogóle nie występują w spisie norm.

Opis programu badań własnych, stanowiący najważniejszy fragment rozdziału czwartego, składa się z dwu części: badań wstępnych i badań głównych.

W opisie przebiegu badań wstępnych, Autorka zaplanowała: (1) badanie właściwości kruszywa grubego popiołoporytowego, tj. absorpcji w roztworze alkalicznym (tj. roztworu wodorotlenku sodu i krzemianu sodu) i w roztworze samego wodorotlenku sodu, nasiąkliwości, wytrzymałości na miazdzenie i gęstości metodą piknometryczną kruszywa nieimpregnowanego i impregnowanego roztworem alkalicznym; (2) badanie wpływu stężenia

aktywatora i impregnacji powierzchniowej kruszywa grubego popiołoporytowego na wytrzymałość na ściskanie i gęstość pozorną próbek betonów lekkich dla przygotowanego składu betonu lekkiego; (4) optymalizację składu lekkiego betonu geopolimerowego, który umożliwi uzyskanie najlepszego wyniku wytrzymałości na ściskanie.

W opisie przebiegu badań głównych, Autorka zaplanowała zbadanie wpływu stężenia aktywatora, ilości aktywatora i temperatury wygrzewania na właściwości geopolimerowych betonów lekkich dla składów przygotowanych w etapie badań wstępnych: (1) klasy konsystencji mieszanek geopolimerowych metodą opadu stożka i metodą stolika rozplwowowego; (2) wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu, nasiąkliwości, podciągania kapilarnego, gęstości pozornej kompozytów geopolimerowych, współczynnika przewodzenia ciepła; (3) struktury wewnętrznej z wykorzystaniem elektronowej mikroskopii skaningowej (SEM).

Każdy z etapów badań jest dobrze metodycznie opisany i zawiera szczegółowe opisy czynników wpływających na badany parametr, składników materiałowych, sposobów przygotowania próbek oraz sposobów przeprowadzenia badania. Taki układ programu badania gwarantuje ocenę cech materiałów składowych geopolimerowych betonów lekkich i analizę podstawowych czynników wpływających na ich właściwości.

Generalnie w tej części pracy brakuje komentarza dotyczącego badania innych ważnych właściwości mieszanek i kompozytów geopolimerowych betonów lekkich: czasu rozpoczęcia i zakończenia wiązania mieszanki, zmian wytrzymałości na ściskanie w czasie, modułu odkształcenia, skurczu.

Uwagi szczegółowe są nieliczne i wymagają komentarza. Mianowicie, (1) w odniesieniu składu próbek porównawczych lekkiego betonu cementowego przedstawionego w tabeli 4.8, brakuje informacji o uzasadnieniu doboru masy mieszanki popiołoporytowej frakcji 0-9 mm w ilości 1305.5 kg/m^3 ; (2) na str. 97¹¹ występuje nieprecyzyjne określenie dotyczące „*wytwarzania mieszanki geopolimerowej*”, podczas gdy opis dotyczy mieszanki porównawczej na bazie cementu; (3) również na str. 98¹⁰ jest błędny opis dotyczący wykorzystania cementu w mieszance geopolimerowej z aktywatorem alkalicznym; (4) z kolei, w odniesieniu do informacji zawartych w tabeli 4.9 (powołanej w tekście jako tabela 9, str. 99¹¹), celowe byłoby podanie dokładnych ilości mieszanki popiołoporytowej frakcji 0-9 mm dla każdej serii próbek; (5) analiza zawartości tabeli 4.12, wskazuje, że celowe byłoby podanie informacji o dokładnych ilościach składników dla wszystkich serii próbek.

W **rozdziale piątym** Autorka przedstawiła opis i analizę szczegółowych wyników badań usystematyzowanych zgodnie z programem badawczym.

W opisie wyników *badan wstępnych*, Autorka przedstawiła następujące wyniki badań:

(W1) absorpcji kruszywa grubego popiołoporytowego w roztworze alkalicznym o stężeniu 6 M, gdzie: $M = \text{mol/dm}^3$, ustalając do dalszego etapu badań najkrótszy czas namaczania kruszywa 10 s do osiągnięcia ok. 30 % przyrostu masy kruszywa;

(W2) absorpcji kruszywa grubego popiołoporytowego w roztworze wodorotlenku sodu (w tym przypadku bez podania stężenia roztworu), uzyskując podobne wyniki, które jednak pozostawiła bez komentarza do rys. 5.3;

(W3) nasiąkliwości nieimpregnowanego i impregnowanego kruszywa grubego popiołoporytowego w roztworze alkalicznym o stężeniach (2, 4, 6) M, pozostawiając wynik na rys. 5.4 bez komentarza;

(W4) wytrzymałości na miażdżenie nieimpregnowanego i impregnowanego kruszywa grubego popiołoporytowego w roztworze alkalicznym i w roztworze wodorotlenku sodu o stężeniach (2, 4, 6) M, wykazując konieczność rezygnacji w dalszych badaniach z impregnacji kruszywa w roztworze wodorotlenku sodu;

(W5) gęstości metodą piknometryczną kruszywa nieimpregnowanego i impregnowanego roztworem alkalicznym o stężeniach (2, 4, 6) M, przedstawiając wyniki na rys. 5.8 bez komentarza;

(W6) wpływu stężenia aktywatora alkalicznego o wartościach (2, 6, 8, 10) M na wytrzymałość na ściskanie betonu lekkiego z nieimpregnowanym powierzchniowo kruszywem grubym popiołoporytowym, wykazując, że największą średnią wytrzymałość na ściskanie równą 11.34 MPa uzyskuje się przy stężeniu aktywatora 6 M;

(W7) wpływu stężenia aktywatora alkalicznego o wartościach (6, 8, 10) M na gęstość pozorną betonu lekkiego z nieimpregnowanym powierzchniowo kruszywem grubym popiołoporytowym, wykazując, że najmniejszą średnią gęstość pozorną równą 1512.50 g/cm³ uzyskuje się przy stężeniu aktywatora 6 M.

Podsumowując wyniki badań (W6) i (W7) Autorka wyprowadziła uzasadnienie stosowania w badaniach głównych stężenia aktywatora alkalicznego o wartościach (2, 4, 6) M. Niestety, Autorka zapisała też stwierdzenie: „*że próbki kompozytów lekkich geopolimerowych przy wyższych stężeniach mają znacznie wyższe właściwości wytrzymałościowe niż próbki kompozytów lekkich cementowych*”, które nie jest uzasadnione żadnymi wynikami zamieszczonymi w pracy;

(W8) wpływu impregnacji powierzchniowej kruszywa grubego popiołoporytowego na wytrzymałość na ściskanie betonu lekkiego z aktywatorem alkalicznym stężeniach (2, 6, 8, 10) M, wykazując, że impregnacja powierzchniowa kruszywa grubego powoduje

znaczne, około dwukrotne zwiększenie wytrzymałości na ściskanie w odniesieniu do wyników badań (W6), a największą średnią wytrzymałość na ściskanie równą 21.82 MPa uzyskuje się przy stężeniu aktywatora 10 M;

(W9) wpływu impregnacji powierzchniowej kruszywa na gęstość pozorną betonu lekkiego z aktywatorem alkalicznym stężeniach (6, 8, 10) M, wykazując, że impregnacja powierzchniowa kruszywa grubego powoduje nieznaczne, około 9 % zwiększenie gęstości pozornej, a najmniejszą średnią gęstość pozorną równą 1652.5 g/cm³ uzyskuje się przy stężeniu aktywatora 8 M.

Podsumowując wyniki badań (W8) i (W9) Autorka uzasadniła stosowanie impregnacji powierzchniowej kruszywa grubego popiołoporytowego w badaniach głównych;

(W10) optymalizacji składu geopolimerowych betonów lekkich ze względu na wytrzymałość na ściskanie i gęstość pozorną w funkcji masy popiołu lotnego krzemionkowego (od 200 do 700, co 100) kg/m³, przy założeniu zastosowania nieimpregnowanego i impregnowanego powierzchniowo kruszywa grubego popiołoporytowego, aktywatora o stężeniu roztworu alkalicznego 6 M oraz stałej proporcji mas roztworu alkalicznego i popiołu lotnego krzemionkowego równej 0.50, wykazując, że: (a) największe wytrzymałości na ściskanie równe 23.92 MPa i 30.84 MPa, uzyskuje się przy zawartości popiołu lotnego krzemionkowego 600 kg/m³, odpowiednio dla impregnowanego i nieimpregnowanego kruszywa grubego, (b) celowe jest zastosowanie do badań głównych receptury z zawartością popiołu lotnego w ilości (200, 400 i 600) kg/m³, ze wskazaniem, że dla tych receptur wynik gęstości pozornej zawiera się w przedziale kwalifikacji próbek do betonów lekkich.

Błędny opis rys. 5.16 w tekście pracy na str.117₃ oraz rys. 5.19 w tekście na str.120₇ – zamiast „nieimpregnowanego” powinno być „impregnowanego”.

W opisie wyników *badzeń głównych*, Autorka przedstawiła, dobrze zaplanowane i zrealizowane, wyniki badań wraz z analizą statystyczną dotyczące:

(G1) klasy konsystencji metodą opadu stożka mieszanek geopolimerowych o zawartości 600 kg/m³ popiołu lotnego krzemionkowego, wykazując klasę konsystencji S3;

(G2) klasy konsystencji metodą stolika rozplwowego mieszanek geopolimerowych o zawartości 600 kg/m³ popiołu lotnego krzemionkowego, wykazując klasę rozplwyu F1;

(G3) wpływu masy aktywatora w zakresie $X_1=(100, 200, 300)$ kg/m³, stężenia aktywatora w zakresie $X_2=(2, 4, 6)$ M i temperatury wygrzewania w zakresie $X_3=(25, 65, 105)$ °C na wytrzymałość na ściskanie kompozytów geopolimerowych, wykazując, że największą średnią wytrzymałość na ściskanie równą 26.92 MPa, uzyskano przy masie aktywatora 300 kg/m³, stężeniu aktywatora 6 M i temperaturze wygrzewania 105 °C oraz uzyskując stosunkowo

niską wartość wariancji 0.312 (MPa)^2 i bardzo niski poziom współczynnika zmienności 2.0749% .

W odniesieniu do stwierdzenia na str. 128₈₋₆ – proszę o wskazanie jakie: „inne (nieuwzględnione w niniejszym badaniu) czynniki stanowią pozostałe $34,3\%$ wpływu na wytrzymałość na ściskanie”.

Na str. 128₃₋₁ – Brakuje komentarza i wniosku dotyczącego stwierdzenia: „Na tej podstawie trudno stwierdzić, czy model właściwie opisuje wyniki przeprowadzonego badania.”

Wniosek na str. 141¹⁻³ zapisany jest w nieprecyzyjnej formie zawierającej niedookreślone przeskokki myślowe: „Badania wykazują, że próbki przy temperaturze wygrzewania wynoszącej 25°C uzyskują znacząco niższe wyniki od pozostałych temperatur. Dodatkowo sprawiają trudności podczas rozformowania, co może wpływać na ich jakość.”

Podobne sformułowania znajdują się w kilku innych miejscach pracy;

(G4) wpływu masy aktywatora, stężenia aktywatora i temperatury wygrzewania na wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu kompozytów geopolimerowych w zakresach zmienności (X_1 , X_2 , X_3) jak w badaniu (G3), wykazując, że największą średnią wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu równą 3.59 MPa uzyskano przy identycznych wartościach zmiennych (X_1 , X_2 , X_3) jak w badaniu (G3) oraz uzyskując bardzo niską wartość wariancji 0.0511 (MPa)^2 i poziom współczynnika zmienności 6.2967% .

Błędny opis w tekście pracy na str. 156⁵ dotyczący wyników badań gęstości objętościowej zamiast wytrzymałości na rozciąganie.

Proszę o wyjaśnienie co oznacza zerowa wartość wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu niektórych serii próbek kompozytów geopolimerowych biorąc pod uwagę mechanizm zniszczenia próbki jak i dokładność rejestracji wyniku.

Proszę o interpretację wniosku z analizy statystycznej na str. 157¹⁴⁻¹⁷: „Prawdopodobieństwo, że wytrzymałość na rozciąganie betonów lekkich na bazie surowców odpadowych aktywowanych alkalicznie przy określonych warunkach (ilości 300 kg/m^3 , stężeniu aktywatora 6 mol/dm^3 i temperaturze wygrzewania 105°C) będzie niższa niż $3,78 \text{ MPa}$ wynosi $0,7996$.” - zasadniczo nawet zerowa wartość wytrzymałości spełnia ten warunek;

(G5) wpływu masy aktywatora, stężenia aktywatora i temperatury wygrzewania na nasiąkliwość kompozytów geopolimerowych w zakresach zmienności (X_1 , X_2 , X_3) jak w badaniu (G3), wykazując, że najmniejszą średnią nasiąkliwość równą 14.188% , uzyskano przy identycznych wartościach zmiennych (X_1 , X_2 , X_3) jak w badaniu (G3) oraz uzyskując bardzo niską wartość wariancji $0.0714 (\%)^2$ i bardzo niski poziom współczynnika zmienności 1.8829% ;

(G6) wpływu masy aktywatora, stężenia aktywatora i temperatury wygrzewania na podciąganie kapilarne kompozytów geopolimerowych wyrażone przyrostem masy próbek w zakresach zmienności (X_1 , X_2 , X_3) jak w badaniu (G3), wykazując, że próbki serii (14) osiągały najniższe podciąganie kapilarne i przyrost masy oraz wskazując na odwrotnie proporcjonalną zależność wysokości podciągania kapilarnego od zwiększania masy i stężenia aktywatora.

Zidentyfikowanie składu próbek serii (14) jest możliwe na podstawie analizy opisu poprzednich badań, np. tabeli 5.23, z której wynika, że próbki serii (14) uzyskano przy masie aktywatora $X_1=200 \text{ kg/m}^3$, stężeniu aktywatora $X_2=6 \text{ M}$ i temperaturze wygrzewania $X_3=65^\circ\text{C}$.

Ponadto w tabeli 5.34 w kolumnach 5, 7, 9 i 11 opisano masę próbki w % zamiast przyrost masy próbki;

(G7) wpływu masy aktywatora, stężenia aktywatora i temperatury wygrzewania na gęstość pozorną (objętościową) kompozytów geopolimerowych w zakresach zmienności (X_1 , X_2 , X_3) jak w badaniu (G3), wykazując, że najmniejszą średnią gęstość objętościową równą 1355.76 g/dm^3 , uzyskano przy wartościach zmiennych $X_1=100 \text{ kg/m}^3$, $X_2=6 \text{ M}$ i $X_3=25^\circ\text{C}$ oraz uzyskując wartość wariancji $241.5680 \text{ (g/dm}^3)^2$ i bardzo niski poziom współczynnika zmienności 1.1464% .

Na str. 185⁴⁻⁵ - błędny opis jednostki wariancji gęstości objętościowej.

Na str. 185⁶⁻⁸ - błędne opisy wartości zmiennych $X_1=100 \text{ kg/m}^3$, $X_2=6 \text{ M}$ i $X_3=105^\circ\text{C}$ dla średniej gęstości objętościowej równej 1387.60 g/dm^3 – powinno być $X_1=200 \text{ kg/m}^3$, $X_2=3 \text{ M}$ i $X_3=25^\circ\text{C}$, jak w tabeli 5.49.

W kontekście uzyskanych wyników dla serii badań (8) zamieszczonych w tabeli 5.49, proszę o wyjaśnienie i zinterpretowanie dwu wniosków z analizy statystycznej na str. 199¹⁰⁻¹⁷:

„Ustalono również, że wartość oczekiwana gęstości betonów lekkich na bazie surowców odpadowych aktywowanych alkalicznie przy określonych warunkach (ilości 300 kg/m^3 , stężeniu aktywatora 6 mol/dm^3 i temperaturze wygrzewania 105°C) w populacji generalnej jest niższa od $1381,8 \text{ g/dm}^3$, co potwierdził test t-Studenta.”

„Prawdopodobieństwo, że gęstość objętościowa betonów lekkich na bazie surowców odpadowych aktywowanych alkalicznie przy określonych warunkach (ilości 300 kg/m^3 , stężeniu aktywatora 6 mol/dm^3 i temperaturze wygrzewania 105°C) będzie niższa niż $1381,8 \text{ g/dm}^3$ wynosi $0,9535$.”

W odniesieniu do wyników badań (G3) – (G7) nasuwają się uwagi generalne. Mianowicie, (1) występuje brak zgodności większości numerów serii badań przedstawionych w tabelach:

5.1, 5.12, 5.23, 5.49 z numerami liczb porządkowych zestawienia zmiennych (X_1 , X_2 , X_3) w tabelach: 5.2, 5.13, 5.24, 5.50,

(2) w tabelach: 5.1, 5.12, 5.23, 5.49 nie zostały podane jednostki miar wielkości statystycznych w kolumnach: średnia arytmetyczna, odchylenie standardowe, wariancja,

(3) wszystkie rysunki (5.21 5.22, 5.23), (5.27, 5.28, 5.29), (5.33, 5.34, 5.35), (5.39, 5.40, 5.41) nie zostały przywołane i odpowiednio skomentowane w tekście pracy, a ponadto rysunki te posiadają absolutnie nieczytelne opisy współrzędnych na wykresach,

(4) na wszystkich rysunkach (5.24, 5.25, 5.26), (5.30, 5.31, 5.32), (5.36, 5.37, 5.38), (5.42, 5.43, 5.44) brakuje pełnego opisu zmiennych na poziomej osi współrzędnych oraz opisu jednostek na osiach współrzędnych;

(G8) współczynnika przewodzenia ciepła na próbkach geopolimerowego betonu lekkiego wykonanych z wykorzystaniem popiołu bądź mieszanki żużlowo-popiołowej, kruszywa popiołoporytowej frakcji 0-2 mm, 1-4 mm oraz kruszywa frakcji 4-9 mm impregnowanego alkalicznie roztworem o stężeniu (8, 10, 12) M.

Niestety opis wyników nie jest satysfakcjonujący. Mianowicie, brakuje opisu składu mieszanek, z których wykonane są próbki geopolimerowego betonu lekkiego. Ponadto, na rys. 5.45 pokazano błędnie zmianę gęstości kruszywa w g/cm^3 dla geopolimerów zawierających w składzie popiół lotny lub mieszankę żużlowo - popiołową, w funkcji poziomu stężenia roztworu wodorotlenku sodu impregnującego kruszywo popiołoporytowe grubej frakcji, ale sam rysunek został przedstawiony bez żadnego komentarza;

(G9) struktury wewnętrznej z wykorzystaniem elektronowej mikroskopii skaningowej na przykładzie 12 próbek geopolimerowych betonów lekkich przy różnych wartościach zmiennych (X_1 , X_2 , X_3), rejestrując obserwacje obrazów struktury w różnych powiększeniach dotyczące: ilości produktów geopolimeryzacji, ilości porów, jakości połączenia GP (geopolimeru) z kruszywem, stopnia przereagowania popiołu lotnego oraz kwalifikując strukturę drobnoziarnistą lub średnioziarnistą jako korzystną, a strukturę gruboziarnistą – niekorzystną.

Komentarz Autorki jest miejscami mało precyzyjny i bardzo ogólny. Przykładowo, brakuje wyjaśnienia dotyczącego sposobu oceny „połączenia GP z kruszywem”, określenia definicji struktury jako „korzystną” lub „niekorzystną”. Brakuje również wyspecyfikowania i oznaczenia cech obserwowanej struktury oraz umieszczenia tych oznaczeń na prezentowanych obrazach, co znacznie ułatwiłoby identyfikację cech.

Fragmentem rozdziału piątego jest część technologiczna będąca tytułowym zagadnieniem rozprawy. Z tego powodu ta część zasługuje raczej na wyodrębnienie w nowym rozdziale.

W części technologicznej rozprawy Autorka przedstawiła optymalny skład lekkiego betonu geopolimerowego, który ma bardzo dobre właściwości wytrzymałościowe na ściskanie i rozciąganie oraz wykazuje niską nasiąkliwość, a jego struktura charakteryzuje się małą ilością spękań, bardzo dobrym połączeniem geopolimeru z kruszywem i wysokim stopniem przereagowania popiołu lotnego.

Brakuje jednak komentarza dotyczącego związku zaproponowanego optymalnego składu lekkiego betonu geopolimerowego z tymi składami, dla których faktycznie uzyskiwano w badaniach najkorzystniejsze parametry opisujące właściwości. W jakim stopniu optymalny skład jest zatem kompromisowym wynikiem wielokryterialnej analizy badań doświadczalnych?

Proszę o wyjaśnienie związku opisu procedury przygotowania roztworu alkalicznego w odniesieniu do stwierdzenia na str. 234¹⁰⁻¹¹, że „*Aktywatorem był roztwór szkła wodnego R-145 firmy ANSER.*” oraz o wyjaśnienie różnicy tego opisu z opisem zawartym w punkcie 4.1.3.

Proszę również o wyjaśnienie, w jaki sposób masa roztworu alkalicznego użytego do powierzchniowej impregnacji kruszywa grubego popiołoporytowego była uwzględniana w zastosowanej proporcji a/p?

W opisie techniki wytwarzania i dozowania aktywatora alkalicznego do procesu produkcji betonu geopolimerowego brakuje powołania na rys. 5.58 i rys. 5.59 oraz powiązania poszczególnych procesów technologicznych z częściami składowymi prezentowanej instalacji. Poza tym, rysunki te są całkowicie nieczytelne.

Część technologiczna rozprawy zawiera również opis przygotowanego do zgłoszenia patentowego rozwiązania technologicznego dotyczącego nowego lekkiego betonu geopolimerowego na glino-krzemianowym kruszywie sztucznym i sposobu jego wykonania. Rozdział ten zawiera opis bardzo szerokiego zakresu wyników badań fizyko – mechanicznych i strukturalnych właściwości geopolimerowych betonów lekkich. Wyniki są prawidłowo udokumentowane, opisane i skomentowane, z zastrzeżeniem szczegółowych uwag sformułowanych przez Recenzenta.

Rozprawę kończą wynikające z treści rozprawy, poprawnie sformułowane **podsumowanie i wnioski** oraz wytyczenie planów dalszych zadań badawczych Autorki. Zwraca jednak uwagę zupełnie niepotrzebnie przekopiowanie od str.244¹⁰ do str.248⁶ treści dotyczących szczegółowych wniosków z badań głównych, podczas gdy syntetyczne wnioskowanie zawarte w pozostałej części rozdziału jest w pełni wystarczające.

4. Ocena rozprawy jako osiągnięcia naukowego

Oceniając rozprawę doktorską jako osiągnięcie naukowe, w porównaniu z dostępnymi wynikami badań, stwierdzam, że rozprawa zawiera następujące elementy oryginalnego rozwiązania problemu naukowego, na które składają się:

1. opracowanie optymalnego składu i technologii wykonania geopolimerowego betonu lekkiego, z wykorzystaniem energetycznych surowców odpadowych, bez stosowania spoiwa cementowego,
2. rozwinięcie koncepcji stosowania powierzchniowej impregnacji grubych frakcji kruszywa popiołoporytowego w celu polepszenia właściwości wewnętrznej struktury geopolimerowego betonu lekkiego,
3. wykazanie w toku wielokryterialnych procedur badawczych i analiz statystycznych, że właściwości proponowanego kompozytu geopolimerowego spełniają wysokie wymagania fizykomechaniczne w odniesieniu do betonów lekkich,
4. analiza porównawcza wewnętrznej struktury kompozytów geopolimerowych z wykorzystaniem elektronowej mikroskopii skaningowej, umożliwiająca zidentyfikowanie właściwości trwałego, monolitycznego połączenia składników geopolimerowego betonu lekkiego.

Wyniki badań uzyskanych w sekwencji zrealizowanych etapów badawczych, wskazują na osiągnięcie celu pracy i udowodnienie tezy pracy. Mianowicie, Autorka wykazała, że możliwe jest monolityczne połączenie spoiwa mineralnego aktywowanego alkaliem z kruszywem sztucznym popiołoporytowym w celu poprawy właściwości betonów lekkich i wyeliminowania z nich cementów portlandzkich

5. Pozostałe uwagi o rozprawie

Analiza tekstu rozprawy skłania do sformułowania uwag o charakterze ogólnym i edytorskim.

1. Praca jest napisana poprawnie, ale występują błędy edytorskie wykazane w szczegółach oceny poszczególnych zagadnień rozprawy.
2. Opisy tytułów podrozdziałów w rozdziale 5 są identyczne jak opisy tytułów podpunktów w rozdziale 4.
3. Sposoby powoływania się na pozycje literatury i opisu bibliograficznego wywołują wiele uwag.

– Sposób powoływania się na pozycje literatury jest niespójny i rozprasza uwagę czytelnika; już na pierwszych czterech stronach obserwujemy siedem różnych stylów cytowania.

– Niektóre współautorskie pozycje literaturowe są niewłaściwie opisane bez podania nazwisk wszystkich autorów: poz. 2-4, 8-10, 14, 15, 32, 34, 37, 42-44, 49, 54, 55, 60, 70-72, 77, 86, 87, 90, 98, 102, 103, 107, 108, 110, 123, 124, 126, 127, 130, 131, 133, 135.

- Brak pełnych informacji bibliograficznych: poz.89.
- Inna kolejność nazwisk współautorów w powołaniu na str. 65 i brak jednego współautora w poz. 95.
- Błędna kolejność nazwisk współautorów w poz. 101 spisu literatury.
- W rozdziale 2 na str. 77 jest powołanie na pozycję autora „Benazzouk 2008”, które nie występuje w spisie literatury; nazwisko tego autora występuje jako trzeci w kolejności współautor w cztero-autorskiej poz. 1, która w ogóle nie jest powołana w tekście pracy.
- W rozdziale 1 na str. 27 - 28, 37 oraz 49 brak rozróżnienia powołania na dwie prace tych samych autorów z tego samego roku: poz. 53, 53, poz. 42, 43 oraz poz. 8, 9.
- W rozdziale 1 na str. 75 błędne powołanie na poz.[101] zamiast poz. [105] oraz zmieniona kolejność nazwisk autorów pracy [119].
- W rozdziale 1 na str. 59 i 74 błędny zapis nazwiska współautorki: powinno być A. Szcześniak.
- W rozdziale 1 na str. 36 błędne powołanie na rok wydania publikacji poz. 22, a w spisie literatury pozycja ta nie ma pełnego opisu bibliograficznego.
- Poz. 41 Haleem K. Hussain, Gui Wei Liu, Yu Wen Yong (2014) w ogóle nie jest powołana w tekście rozprawy, jakkolwiek w rozdziale 2 na str. 77 powołana jest publikacja „Yong 2014”, która nie występuje w spisie literatury.
- W rozdziale 1 na str. 37 powołana jest praca „z 2003 roku Djwantoro Hardjito, Steenie E. Wallah i inni”, która nie jest w spisie literatury, jakkolwiek w poz. 116 jest zapisana praca „Wallah S. E., Hardjito D., Sumajouw D. M. J., Rangan B. V. (2003)”, która z kolei nie jest powołana w tekście rozprawy.
- W rozdziale 1 na str. 75 powołana jest praca „z 2020 roku Rui He, Nan Dai i Zhenjun Wang”, która nie jest w spisie literatury, jakkolwiek w poz. 119 jest zapisana praca „Wang Z., He R., Dai N.(2020)”, która jest powołana dalej w tekście rozprawy, ale z błędnym numerem jako poz. 117.
- Poz. 46 Kabay N., Tufekci M.M., Kizilkanat A.B., Oktay D. (2015) w ogóle nie jest powołana w tekście rozprawy, jakkolwiek w rozdziale 2 na str. 77 powołana jest dwukrotnie publikacja „Oktay 2015”, która nie występuje w spisie literatury.
- W rozdziale 2 wszystkie powołania 13. pozycji literaturowych są opisane innym stylem niż w rozdziale 1, ale tylko 2. pozycje są powołane edycyjnie prawidłowo.
- Brak w spisie literatury pozycji wymienionych w tekście pracy: [Krysicki i in., 2003], str. 125⁶, [Luszniewicz i in., 2001], str. 126².
- Brak bibliograficznego opisu potencjalnego zgłoszenia patentowego.

6. Wnioski

Na podstawie oceny rozprawy doktorskiej stwierdzam, że materiał zawarty w rozprawie świadczy o bardzo wysokim poziomie przygotowania Autorki do samodzielnego rozwiązywania problemów naukowych w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport, w zakresie budownictwa, w specjalności inżynieria materiałów budowlanych – technologia kompozytów geopolimerowych.

Praca zawiera elementy oryginalnych rozwiązań na tle wyników badań doświadczalnych znanych z literatury. Ważną cechą rozprawy jest bezpośrednie przełożenie bardzo wartościowych wyników badań na praktyczne ich zastosowanie, szczególnie w zakresie obejmującym przygotowane zgłoszenie patentowe, którego współautorką jest Doktorantka.

Przedstawione w recenzji uwagi i komentarze mają w zakresie merytorycznym charakter dyskusyjny, a w zakresie edytorskim mają na celu możliwość udoskonalenia przyszłej pracy naukowej Doktorantki i nie wpływają niekorzystnie na bardzo wysoką ocenę rozprawy.

Przedstawione fakty upoważniają mnie do stwierdzenia, że rozprawa spełnia wymagania stawiane w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Rozprawa stanowi podstawę do nadania mgr inż. Marty Nalewajko stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport.

Wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

