

Bydgoszcz, dnia 15 września 2020 roku

dr hab. inż. Magdalena Dobiszewska, prof. uczelni
Katedra Mechaniki Konstrukcji i Materiałów Budowlanych
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy
Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

RECENZJA

pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Bartosza Szostaka
p.t. *„Modyfikowanie właściwości młodego betonu przez zastosowanie dodatku krzemionkowych popiołów lotnych i nanodomieszki C-S-H”*

1. Podstawa opracowania opinii

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport, prof. dr. hab. inż. Wojciecha Franusa z dnia 23 lipca 2020 roku.

Podstawę prawną stanowi ustawa z dnia 14 marca 2003 roku *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789 z późniejszymi zmianami).

2. Ogólna charakterystyka recenzowanej pracy doktorskiej

Przedmiotem recenzji jest praca doktorska Pana mgr. inż. Bartosza Szostaka p.t. *„Modyfikowanie właściwości młodego betonu przez zastosowanie dodatku krzemionkowych popiołów lotnych i nanodomieszki C-S-H”*. Praca napisana została pod kierunkiem Pana prof. dr hab. inż. Grzegorza Golewskiego na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej. Rozprawa doktorska napisana została w języku polskim, stanowi zwarte opracowanie liczące 178 stron i składa się z ośmiu rozdziałów. W skład pracy wchodzi również streszczenie w języku polskim i angielskim oraz spis najważniejszych oznaczeń.

Rozdział pierwszy pracy to wstęp, w którym przedstawiono przedmiot, cel oraz szczegółowy zakres pracy. W zakresie pracy wyszczególniono tematykę, której dotyczy przegląd literatury obejmujący analizowane zagadnienie oraz osobno przedstawiono zakres badań własnych Autora. W rozdziale drugim zatytułowanym *Studium literaturowe* przedstawiono ogólne informacje o betonie i konstrukcjach betonowych, szczegółowo opisano proces hydratacji cementu oraz wskazano na dalsze kierunki rozwoju betonu. W rozdziale tym scharakteryzowano domieszki i dodatki stosowane w betonie oraz przedstawiono ogólne informacje o nanotechnologii w budownictwie. W rozdziale trzecim przedstawiono zakres badań własnych oraz przyjęte założenia do badań. Rozdział czwarty stanowi charakterystykę wykorzystanych w badaniach materiałów. W rozdziale piątym przedstawiono część badawczą pracy, w której szczegółowo opisano wszystkie wykonane badania. Przeprowadzone przez Doktoranta badania naukowe obejmują analizy dotyczące wpływu popiołu lotnego oraz domieszki C-S-H na wiązanie cementu oraz hydratację, zjawisko skurczu, rozwój

mikrostruktury matrycy cementowej oraz właściwości mechaniczne zaczynów i betonów. Analizy wyników badań zamieszczono w rozdziale szóstym, a podsumowanie i wnioski w rozdziale siódmym. Bibliografia, stanowiąca ostatni ósmy rozdział pracy, obejmuje 198 pozycji publikacyjnych i monografii oraz normy przedmiotowe, instrukcje oraz karty techniczne w liczbie 28 pozycji.

3. Ogólna ocena podjętej tematyki badań

Aktualnym problemem na skalę nie tylko naszego kraju, ale i całego świata jest wzrost ilości odpadów przemysłowych, które niekorzystnie wpływają na środowisko. Ich bezpieczna utylizacja stanowi poważny problem, zarówno ze względu na ograniczenia miejsc ich składowania, jak i rygorystyczne normy środowiskowe związane z ilością i jakością wytwarzanych odpadów. Jednocześnie wzrasta zapotrzebowanie na surowce naturalne do produkcji materiałów budowlanych, a ograniczenia wynikające z konieczności ochrony środowiska, znacznie pomniejszają skalę możliwych do wykorzystania złóż surowców naturalnych. Wszystko to doprowadziło do rozwoju badań dotyczących możliwości wykorzystania odpadów przemysłowych do produkcji materiałów budowlanych. W przemyśle cementowym powszechnie stosowane są już różne dodatki mineralne, jako składniki główne cementu. Poszukiwanie kierunków zmniejszenia zużycia energii oraz emisji CO₂ będzie tylko umacniać tę tendencję. Jednym z odpadów przemysłowych, który stosowany jest jako częściowy zamiennik klinkieru portlandzkiego w cemencie lub cementu w betonie jest właśnie krzemionkowy popiół lotny. Dodatek ten wpływa na poprawę właściwości reologicznych mieszanki betonowej, właściwości mechanicznych oraz na zwiększenie trwałości kompozytów cementowych. Jednak równocześnie w pewnym zakresie przyczynia się do wolniejszego przyrostu wytrzymałości betonu, szczególnie w początkowym okresie dojrzewania. Zastosowanie domieszek, które pozytywnie wpływają na kształtowanie się struktury betonu oraz proces twardnienia i eliminują negatywny wpływ różnego rodzaju dodatków na właściwości betonu we wczesnym okresie dojrzewania, ma bardzo duże walory praktyczne, co szczególnie ważne jest np. w prefabrykacji betonowej.

Wszystko to stanowi o tym, że podjęta przez Doktoranta tematyka badań dotycząca analizy wpływu domieszki C-S-H na właściwości kompozytów cementowych z dodatkiem popiołów lotnych krzemionkowych we wczesnym okresie dojrzewania, jest bardzo ważna i nadal aktualna. Brak kompleksowych badań dotyczących jednoczesnego wykorzystania popiołu lotnego i nanodomieszki sprawia, że prezentowana dysertacja stanowi pewne uzupełnienie wiedzy w tym zakresie.

4. Analiza i ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Ocenę merytoryczną pracy rozpocznę od uwagi dotyczącej formalnej strony pracy, tj. poprawności języka, opanowania techniki pisania pracy i jej edycji. Niestety te elementy pracy oceniam bardzo nisko. W pracy znajduje się zbyt duża liczba tzw. „literówek”, powtórzeń, błędów stylistycznych oraz niestety błędów ortograficznych. Praca w niektórych miejscach napisana jest niezrozumiałym językiem, co znacznie utrudnia jej merytoryczną analizę i ocenę.

Niemniej jednak pod kątem merytorycznym dobrze oceniam przedstawioną do recenzji rozprawę. Za ważne osiągnięcie Doktoranta uważam wykazanie na podstawie przeprowadzonych szeregu badań, że dodatek nanodomieszki C-S-H rekompensuje w pewnym

stopniu niekorzystny wpływ krzemionkowego popiołu lotnego na niektóre właściwości kompozytu cementowego we wczesnym okresie dojrzewania, co ma duże walory praktyczne.

Poniżej przedstawiam uwagi krytyczne dotyczące merytorycznej oceny pracy i proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do nich podczas publicznej obrony:

1. Doktorant podał, że na podstawie przeprowadzonych badań ustalił najbardziej optymalną ilość nanodomieszki C-S-H na poziomie 4% (pkt. 3.1.). Wyników tych badań jednak w pracy doktorskiej nie zamieszczono. Jakże zatem badania i przy jakim dodatku C-S-H przeprowadzono w celu ustalenia najbardziej optymalnej ilości domieszki?
2. Analizowane w pracy betony wykonano z dodatkiem tylko jednej frakcji kruszywa grubego o uziarnieniu 2-8 mm argumentując to koniecznością ograniczenia wpływu kruszywa grubszych frakcji na uzyskane wyniki badań. Jaki wpływ na wyniki przeprowadzonych badań miałyby frakcja kruszywa 8-16 mm? Zważywszy na to, że wyniki badań betonu modyfikowanego odnosi się zawsze do wyników badań betonu referencyjnego oraz to, że w praktyce beton wykonuje się najczęściej właśnie z wykorzystaniem obu tych frakcji, pominięcie frakcji kruszywa 8-16 mm w składzie mieszanki jest dyskusyjne.
3. W punkcie dotyczącym charakterystyki popiołu lotnego krzemionkowego Doktorant stwierdził, że *„Na podstawie przeprowadzonych badań, określono wielkość ziaren wykorzystanych popiołów, do średnicy 1000 μm dla zdecydowanej większości frakcji”*. To zdanie jest kompletnie niezrozumiałe. Proszę o wyjaśnienie. Z przedstawionych rezultatów badań uziarnienia wynika, że frakcja 50-250 μm wynosi 47,08% jest to więc ponad, a nie jak podano w pracy blisko 46%.
4. W pracy podano, że w kompozycji kruszyw stosowanych do betonu dodatkowo wykorzystano (w pracy jest: *„zaobserwowano”*) wypełniacz w postaci drobnych kruszyw o kształtach mniej regularnych. Określanie kruszyw drobnych mianem wypełniacz jest dyskusyjne zważywszy na to, że kruszywa drobne mogą zawierać w swym składzie ziarna o średnicy 4 mm.
5. Doktorant w pkt. 5. podaje, że *„eksperymenty obejmowały analizy prowadzone zarówno w skali makro, jak i mikro a nawet nano”*. Natomiast w pkt. 3.2. *Zakres badań eksperymentalnych*, wyszczególniono tylko badania przeprowadzone w skali makro i mikro. Jakże zatem badania wykonano w skali nano?
6. Oznaczenie czasu wiązania cementu wykonuje się przy dodatku takiej ilości wody, która zapewnia uzyskanie przez zaczyn cementowy tzw. konsystencji normowej. Badanie czasu wiązania wszystkich analizowanych spoiw Doktorant wykonał przy dodatku wody w ilości zapewniającej uzyskanie konsystencji normowej cementu z 20% dodatkiem popiołu krzemionkowego. Czy badano również wodozadržność samego cementu, tj. bez dodatku krzemionkowego popiołu lotnego? A jeśli tak, to dlaczego podjęto decyzję o przyjęciu w dalszych badaniach takiej ilości wody, przy dodatku której konsystencję normową uzyskuje jedynie mieszanka cement + popiół krzemionkowy, a nie np. czysty zaczyn cementowy? W tabelach 5.1 i 5.2. podano czasy początku i końca wiązania wszystkich analizowanych spoiw. Przy jakiej ilości wody ustalono czas wiązania czystego zaczynu cementowego?

7. Czas wiązania cementu, to okres między początkiem, a końcem wiązania. W pkt. 5.1.3. Doktorant błędnie podaje: „Czas wiązania cementu w zaczynach bez domieszek i dodatków [...] średnio wynosił 260 minut. Zastosowanie dodatku w postaci popiołów lotnych w zaczynie zwiększyło średni czas wiązania o 10 minut. Oznacza to, że dodatek popiołów lotnych opóźnia czas wiązania cementu.” Podane informacje dotyczą jedynie początku wiązania, a nie czasu wiązania. Czas wiązania dla wszystkich analizowanych spoiw praktycznie się nie zmienia, co zresztą Doktorant podał w swojej pracy. Uwaga ta dotyczy również analizy czasów wiązania pozostałych spoiw.
8. Szkoda, że Doktorant nie podaje za każdym razem jednoznacznie receptur analizowanych materiałów. Przykładowo pkt. 5.2. *Badanie skurczu reologicznego*. Nie wiadomo, czy badano skurcz zaczynów, zapraw, czy betonu. Doktorant powołuje się wprawdzie na normę dotyczącą oznaczenia zmian objętościowych zapraw, jednak w podsumowaniu badań skurczu mowa jest o zaczynie, a nawet o skurczu badanych betonów. W tabelach 5.4. i 5.5. przedstawiono wyniki badań skurczu mieszanek oznaczonych tak samo, jak oznaczono wcześniej zaczyny, tj. FA-0 CSH-0, FA-20 CSH-0, FA-0 CSH-4, FA-20 CSH-4. Co w takim razie badano? W innych tabelach 5.9. – 5.15. niestety te same oznaczenia stosuje się zarówno dla analizowanych zaczynów, jak i betonów. Jeżeli badano skurcz zapraw cementowych, to czy były to zaprawy o normowym składzie? A jeśli tak, to czy ilość wody była stała, czy zmienna w zależności od dodatku domieszki, tak jak to podano w przypadku badania czasu wiązania zaczynów. Inny przykład, to badanie cech wytrzymałościowych zaczynów (pkt. 5.6.). Doktorant podał, że do przygotowania zaczynów użyto tych samych materiałów, co do przygotowania mieszanek betonowych. W skład mieszanki betonowej oprócz cementu i wody, wchodzi również kruszywo drobne i grube, czyli te materiały okrucowe, które nie znajdują się w składzie zaczynów.
9. Doktorant również niejednoznacznie definiuje próbki referencyjne. Raz jest to próbka wykonana na bazie samego cementu, a innym razem próbka z dodatkiem popiołu krzemionkowego, ale bez dodatku domieszki CSH. Bardzo utrudnia to analizę dysertacji. W jaki sposób zdefiniowano próbkę referencyjną?
10. W opisie badań kalorymetrycznych ciepła hydratacji Doktorant podał: „Po ustabilizowaniu parametrów aparatury do cylindrów wprowadzono wodę tak aby zachowany był odpowiedni współczynnik w/s.” Co to znaczy odpowiedni współczynnik w/s? Czy wyznaczona w badaniach metodą kalorymetryczną szybkość wydzielania ciepła hydratacji oraz ilość wydzielonego ciepła określone zostały w odniesieniu do masy jednostkowej cementu, czy spoiwa? Dodatkowo, w prezentacji wyników badań ciepła hydratacji błędnie podano, że badano betony.
11. Brakuje naukowej dyskusji wyników badań ciepła hydratacji, tj. szybkości wydzielanego ciepła hydratacji oraz całkowitej ilości wydzielonego ciepła. Podane są jedynie zmiany ilościowe badanych parametrów, co sprawia wrażenie raczej raportu z badań, niż naukowej dyskusji otrzymanych rezultatów. Proszę zatem o przedstawienie wniosków z przeprowadzonych badań wraz z ich dyskusją.
12. W podsumowaniu badań ciepła hydratacji cementu Doktorant podaje: „[...] w serii CSH-0, w pierwszych 24 godzinach w próbkach tylko raz przyrasta wytrzymałość aby następnie powoli spadać. W serii CSH-4 kolejny przyrost wytrzymałości występuje zarówno w próbkach popiołowych, jak i bez dodatku popiołów lotnych krzemionkowych.” Proszę to wyjaśnić.

13. Identyfikacja produktów hydratacji jest bardzo utrudniona z uwagi na brak jednoznacznego określenia punktów, w których wykonano analizy EDS (na obrazach SEM nie oznaczono punktów, w których wykonano analizę EDS). Skład pierwiastkowy w danym obszarze oraz analiza obrazu SEM tego właśnie obszaru pozwala na przybliżoną identyfikację poszczególnych faz klinkieru portlandzkiego oraz produktów hydratacji cementu. Doktorant ustalił (pkt. 5.5.4.), że w próbkach badanych zaczynów z dodatkiem domieszki C-S-H znajdują się większe ilości pierwiastków żelaza a mniejsze glinu w porównaniu z zaczynem referencyjnym. Proszę podjąć próbę wyjaśnienia tego. O powstaniu którego produktu hydratacji może świadczyć zaobserwowana przez Doktoranta zwiększona ilość siarki?
14. Analizując mikrostrukturę zaczynów po 8 godzinach dojrzewania stwierdzono „*lepsze uwadnianie faz pucolanowych*” (pkt. 5.5.4.). Proszę to wyjaśnić.
15. Doktorant podaje, że na zdjęciach SEM widoczne są powstające płytki portlandytu. Szkoda, że nie potwierdzono tego w badaniach EDS (pkt. 5.5.5.). Opis rys. 5.33. jest dyskusyjny. Co to oznacza, że zaobserwowano znaczną ilość żelu na powierzchni próbki?
16. Dlaczego badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie zaczynów cementowych przeprowadzono według normy PN-EN 12390-3 oraz PN-EN 12390-5, które dotyczą określania wytrzymałości betonu?
17. W podsumowaniu badań wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu Doktorant stwierdził, że: „*Po 8 godzinach badania, z uwagi na jego specyfikę wartości wytrzymałości na rozciąganie były bardzo niskie.*” Wytrzymałość absolutnie nie może zależeć od metody badania! Proszę o wyjaśnienie.
18. Wytrzymałość betonu z dodatkiem zarówno popiołu krzemionkowego, jak i domieszki C-S-H po 14 dniach dojrzewania była mniejsza od wytrzymałości betonu referencyjnego, czyli betonu bez dodatku popiołu i domieszki. Natomiast po 28 dniach dojrzewania zaobserwowano tendencję odwrotną. Zaskakujące jest to, że w tym okresie największą wytrzymałość osiągnął beton z domieszką C-S-H. Proszę o wyjaśnienie tego.
19. Z przedstawionych w pkt. 5.8.2. rezultatów badań wynika, że wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu betonu bez dodatku popiołu lotnego po 72 godzinach dojrzewania wyniosła około 3 MPa, zarówno w przypadku betonu bez domieszki C-S-H, jak i z domieszką. Dodatek popiołu lotnego przyczynił się do spadku tej wytrzymałości, która osiągnęła wartość ok. 2 MPa. Tymczasem w podsumowaniu przeprowadzonych badań Doktorant podaje, że betony popiołowe charakteryzowały się blisko o połowę większą wytrzymałością. Proszę o wyjaśnienie tej rozbieżności. Błędnie zatytułowano również punkt stanowiący podsumowanie tych badań. Zamiast wytrzymałości na rozłupywanie przy ścisaniu powinno być wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu.
20. Kompletnie brakuje podsumowania badań dotyczących analizy odporności betonu na pękanie. W punkcie 5.9.4. zatytułowanym: „*Podsumowanie badania odporności na pękanie betonów*” zamieszczono podsumowanie badania wytrzymałości betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu (skopiowano pkt. 5.8.4.). Dopisano jedynie akapit, w którym przedstawiono tylko procentowe zmiany współczynnika intensywności naprężeń!

21. Brakuje wniosków i naukowej próby analizy otrzymanych rezultatów badań właściwości mechanicznych. Podano jedynie względne zmiany badanych parametrów bez próby naukowej analizy zaobserwowanych zmian. Doktorant wprawdzie podaje w niektórych miejscach pewne wyjaśnienia dotyczące rezultatów badań, jednak przytoczone sformułowania sprawiają pewien niedosyt. Przykładowo:
- str. 154. „*Większy przyrost wytrzymałości dla próbek serii FA-20 może być spowodowany tym, że w próbkach referencyjnych wartości wytrzymałości były bardzo niskie.*”
 - str. 155. „*Po 7 dniach zanotowano przyrost wytrzymałości, jednak związane to może być z niejednorodnością strukturalną materiału jakim są kompozyty cementowe.*”

Pozostałe uwagi:

1. Styl pisania pracy bardzo utrudnia jej merytoryczną analizę. Przykładowo, na str. 129 Doktorant pisze: „*Po 12 godzinach badania stwierdzono znaczny przyrost wytrzymałości dla wszystkich badanych próbek. Kolejne 4 godziny dojrzewania pozwoliły na zwiększenie wytrzymałości wszystkich próbek prawie 2-krotnie.*” Komentarz: Z powyższego wynika, że badanie przeprowadzono po 16 godzinach (12+4), a tymczasem było ono przeprowadzone po 24 godzinach. Wytrzymałość na ściskanie zaczynów po 24 godzinach dojrzewania była około 3-6-cio krotnie większa od wytrzymałości po 12 godzinach dojrzewania, a nie tak jak podano blisko 2-krotnie większa. Dalej, str. 156. „*Odnotowanie przyrostu wytrzymałości po 4 godzinach badania, było praktycznie możliwe tylko w przypadku próbek oznaczonych jako FA-0 CSH-4. Serii FA-20 CSH-0 nie udało się rozformować, więc serii betonu popiołowego modyfikowanego nanodomieszką nie można był (powinno być: było) porównać. Próbkę tą (powinno być: tę) jednak udało się zbadać, co świadczy o zdecydowanie lepszych jej parametrach.*” Trudno zrozumieć, które próbki udało się zbadać, a które nie. Udało się przeprowadzić badania, czy też nie? Ta sama strona dysertacji: „*Największe przyrosty wytrzymałości, podobnie jak w przypadku badania zaczynów uzyskano dla betonów popiołowych. Po 4 godzinach nanomodyfikowaną próbkę można było już przebadać, a po 8 godzinach przyrost wytrzymałości wyniósł 389%*”. Po 4 godzinach nie można było rozformować próbki i zbadać jej wytrzymałości, co wynika m.in. z danych zamieszczonych na rys. 6.5.
2. Brakuje powołań na większość zamieszczonych w pracy tabel i rysunków. Stąd nasuwa się pytanie o zasadność ich zamieszczenia.
3. W pracy jest dużo błędów językowych oraz potknięć dotyczących sformułowań naukowych:
 - 3.1. Absorpcja to proces wnikania jednej substancji do innej substancji lub ciała. W opisie domieszek uplastyczniających (pkt. 2.2.3.) zamiast terminu absorpcja, powinien być termin adsorpcja, jako opis zjawiska powierzchniowego, czyli adsorpcji cząstek na powierzchni ziaren spoiwa.
 - 3.2. Zamiast „*ilość modyfikacji*”, powinna być „*liczba modyfikacji*”. To samo dotyczy „*liczby próbek*”, a nie tak jak w pracy podano „*ilości próbek*”. Zarówno modyfikacje, jak i próbki są rzeczownikami policzalnymi.
 - 3.3. Proces dojrzewania powinien odnosić się raczej do betonu, a nie do mieszanki.
 - 3.4. Określając metodą Vebe czas konieczny do rozpląnięcia mieszanki do określonego stopnia, błędnie użyto określeń najwyższy i najniższy czas. Prawdłowo powinno być najdłuższy i najkrótszy czas. Niezrozumiałym jest dlaczego wykonując to badanie powołano się na normę PN-EN 206 „Beton. Wymagania, właściwości, produkcja

i zgodność”, podczas gdy opis tego badania przedstawiony jest w normie PN-EN 12350-3 „Badania mieszanki betonowej – Część 3: Badanie konsystencji metodą Vebe”.

- 3.5. W wielu miejscach w pracy używano terminu „czas wiązania matrycy cementowej”, zamiast „czas wiązania cementu”.
- 3.6. W pkt. 5.3. zamiast „ilości widzialnego ciepła” powinno być „ilość wydzielonego ciepła”.
- 3.7. Podpis rys. 5.17. jest co najmniej dyskusyjny; próbka suszona przy użyciu temperatury?
- 3.8. W niektórych miejscach określając czas wykonania badań próbki, Doktorant podaje czas od momentu jej zaformowania. Bardziej właściwym byłoby po prostu podawanie czasu dojrzewania próbki.
- 3.9. Popiół lotny wpływa na obniżenie wydzielanego ciepła hydratacji, a nie jak podano w pracy na obniżenie wydzielanej temperatury (pkt. 7.).
- 3.10. Zamieszczanie fotografii przedstawiających np. worek cementu użytego w badaniach, aparat Vicata i Graf-Kaufmana, czy też mieszadło ręczne i betoniarkę uważam za zbędne w dysertacji doktorskiej.
- 3.11. Na rys. 4.5. oraz w tabeli 4.5. przedstawiono te same dane dotyczące uziarnienia zastosowanych w badaniach popiołów krzemionkowych. Wydaje się zbędne prezentowanie takich samych danych zarówno na rysunku, jak i w tabeli. Ta sama uwaga dotyczy prezentowania takich samych wyników badania skurczu zarówno w tabeli, jak i na wykresie.

5. Wnioski końcowe

Praca doktorska mgr. inż. Bartosza Szostaka p.t. „*Modyfikowanie właściwości młodego betonu przez zastosowanie dodatku krzemionkowych popiołów lotnych i nanodomieszki C-S-H*” wykonana pod opieką promotorską prof. dr. hab. inż. Grzegorza Golewskiego stanowi oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu badawczego i ma duże walory praktyczne. Pan mgr inż. Bartosz Szostak zajął się w swojej pracy ważnym i aktualnym zagadnieniem dotyczącym wpływu nanodomieszki C-S-H na właściwości kompozytów cementowych z dodatkiem lotnych popiołów krzemionkowych we wczesnym okresie dojrzewania. Na podstawie przeprowadzonych kompleksowych badań wykazał, że nanodomieszka C-S-H eliminuje niekorzystny wpływ dodatku lotnego popiołu krzemionkowego na niektóre cechy betonu we wczesnym okresie dojrzewania, a w szczególności na jego właściwości mechaniczne. Sformułowany przez Doktoranta cel naukowy został osiągnięty. Zamieszczone w niniejszej recenzji dyskusyjne uwagi krytyczne nie pomniejszają merytorycznej oceny wykonanej pracy doktorskiej.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymagania ustawy z dnia 14 marca 2003 roku *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789 z późniejszymi zmianami). W związku z tym wnoszę o przyjęcie przedmiotowej rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Magdalena Dobińska

