

Kraków, 11.03.2019 r.

Prof. dr hab. inż. Jan Deja  
Al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki

### **Recenzja**

**rozprawy doktorskiej mgra inż. Sebastiana Kaszuby „Kształtowanie składu trwałego betonu z udziałem cementów wieloskładnikowych (CEM II, CEM III) do zastosowania w budownictwie drogowo-mostowym”**

#### **1. Podstawa formalna opracowania recenzji**

Podstawę opracowania recenzji stanowią:

- Pismo Pani prof. dr hab. inż. Joanny Bzówki, Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej z dnia 21.01.2019 roku informujące o powołaniu mnie przez Radę Wydziału na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Sebastiana Kaszuby.
- Rozprawa doktorska Pana mgra inż. Sebastiana Kaszuby „Kształtowanie składu trwałego betonu z udziałem cementów wieloskładnikowych (CEM II, CEM III) do zastosowania w budownictwie drogowo-mostowym”, Politechnika Śląska, Gliwice 2019.

#### **2. Ocena rozprawy doktorskiej**

Od wielu lat beton jest dominującym materiałem w polskich i europejskich konstrukcjach mostowych. Ocenia się, że w Polsce nawet około 70% mostów to konstrukcje żelbetowe, sprężone lub kablobetonowe. Ze zrozumiałych względów od tych obiektów infrastrukturalnych oczekujemy bardzo długiej żywotności, sięgającej stu lat. Praktyka budowlana pokazuje, że zdecydowanie zbyt często nie osiągamy oczekiwanych parametrów w zakresie wieloletniej i bezpiecznej eksploatacji obiektów mostowych.

Biorąc powyższe pod uwagę, z dużym zadowoleniem przyjmuję wysiłki Doktoranta zmierzające do zaproponowania metod pozwalających na podwyższenie trwałości betonów mostowych.

Wpłynęło dnia 13.03.2019r.

Deja

Praca została zrealizowana na Politechnice Śląskiej na Wydziale Budownictwa w Katedrze Inżynierii Materiałów Budowlanych i Procesów Budowlanych pod opieką prof. dra hab. inż. Zbigniewa Giergiczego. Funkcję promotora pomocniczego pełnił dr inż. Damian Dziuk.

Osoba promotora wraz z promotorem pomocniczym to gwarancja bardzo wysokiej jakości prac dotyczących roli dodatków mineralnych w kształtowaniu właściwości cementów i w konsekwencji betonów.

Chciałbym zwrócić uwagę, że przedstawiona do recenzji praca została wydana na bardzo dobrym poziomie edytorskim. Praca liczy 170 stron i jest napisana w klasyczny sposób tzn. podzielona jest na rozdziały, z których pierwszy jest wprowadzeniem w tematykę poruszanego zagadnienia i zakończony jest wyraźnie sformułowanym celem i tezą pracy. Po nim następuje część literaturowa a następnie część doświadczalna zakończona rozdziałem przedstawiającym realizację kilku już istniejących obiektów infrastrukturalnych. Całość domyka rozdział zatytułowany podsumowanie i wnioski oraz licząca 195 pozycji literatura. Część doświadczalna (badania własne) zajmuje około 60% całości pracy, co jest dobrą proporcją charakteryzującą pracę badawczą i świadczy o dużej liczbie przeprowadzonych badań. W pracy zamieszczono 87 tabel oraz 90 wykresów i rysunków.

Ocena merytoryczna pracy:

W recenzowanej pracy Autor porusza problematykę trwałości konstrukcji betonowych powstających w budownictwie mostowo-drogowym. Jeszcze raz należy podkreślić, że są to obiekty o bardzo dużym znaczeniu, obiekty pracujące w zróżnicowanych warunkach otoczenia, obiekty, od których wymaga się spełniania ich funkcji przez kilkadziesiąt lat. Mając na uwadze te wymagania Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad (GDDiK), będąca jednocześnie głównym zamawiającym tego typu obiektów, wprowadziła szereg nakazów i zakazów dotyczących wykonawstwa wyżej wymienionych budowli. W pracy Autor podejmuje polemikę co do słuszności wszystkich zapisów znajdujących się w zalecanych przez GDDiK wytycznych. W części literaturowej jako pierwsze w kolejności analizuje „Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie” powstałe w maju 2000 roku. Autor zwraca uwagę na nienadążające za postępem techniki zapisy tego dokumentu, a jako przykład podaje fakt, iż wyżej wymienione rozporządzenie odwołuje się do nieaktualnych już norm branżowych. Dodatkowo, sugestie w nim zawarte zawężają projektantowi pulę dostępnych cementów i kruszyw, z których dany obiekt może powstać (maksymalny wymiar kruszywa <16 mm). Rozporządzenie „nakazuje” osiągnięcie trwałości i długowieczności budowli poprzez sięgnięcie po „najlepszy” cement CEM I (NA) w ilościach 400-500 kg/m<sup>3</sup>, co

29



rzekomo pozwoli na uzyskanie betonu o wysokiej wytrzymałości i szczelności. Jednak jak słusznie zaznacza Autor: „klasa wytrzymałości wskazanego do zastosowania cementu nie stanowi gwarancji uzyskania trwałego betonu.” Ponadto, w rozporządzeniu nie przewidziano, że w obiektach „masywnych” wykonanych z cementów wysokokalorycznych mogą pojawić się problemy z nadmiernym wydzielaniem ciepła, co na skutek naprężeń termicznych może prowadzić do niekontrolowanych spękań betonu. Autor wskazuje także na nieadekwatnie dobrane metody badań betonu (na przykład badanie szczelności wg wymagań zdezaktualizowanej już normy PN-88/B-06250).

Kolejnym dokumentem prawnym omawianym przez Doktoranta jest Ogólna Specyfikacja Techniczna (OST) opublikowana w czerwcu 2018 roku przez GDDiK. Zdaniem Autora OST stanowią znacznie lepiej zintegrowany z aktualnymi wymogami i dokumentami odniesienia zbiór podstawowych zaleceń i wytycznych, dzięki którym projektant ma możliwość wykonania poprawnie szczegółowej specyfikacji technicznej zwłaszcza w obszarze materiałowym. Dzięki tym zaleceniom możliwe jest odejście od betonu recepturowego (zdefiniowany skład) na rzecz betonu projektowanego (zapewniającego trwałość w warunkach pracy). To właśnie OST poprzez swoją otwartość na liczne wyniki badań i zrealizowane obiekty dopuszczają modyfikacje materiałowe mające służyć zwiększeniu trwałości obiektów infrastruktury drogowej. Do największych zalet OST Autor zalicza:

1. Dopuszczenie stosowania CEM II i CEM III.
2. Możliwość stosowania pyłów krzemionkowych.
3. Badanie wnikania wody na głębokość (co jest powiązane ze szczelnością) a nie max. ciśnienie.
4. Stosowanie cementów siarczanoodpornych (tam gdzie to konieczne).
5. Klasyfikację kruszywa pod kątem reaktywności ASR.
6. Rozszerzenie palety kruszyw dopuszczonych do stosowania.
7. Zwiększenie maksymalnego wymiaru ziarna.
8. Badania betonu zależne od rodzaju zastosowanego cementu.
9. Wprowadzenie „czasu równoważnego” dla badań betonów.
10. Konieczność napowietrzenia betonów w klasach ekspozycji XF.
11. Możliwość stosowania betonów o konsystencji S2 i S3.
12. Sprecyzowanie wymagań technologicznych i środowiskowych postępowania na budowie.
13. Podkreślenie wpływu pielęgnacji na trwałość betonów.

Dzięki wyżej wymienionym czynnikom łatwiej będzie zapewnić trwałość realizowanego obiektu. Autor formułuje pochlebne stwierdzenia na temat wytycznych zawartych w OST

Dej-

powołując się na wyniki badań, które dostarczyły konkretnych argumentów za wprowadzeniem powyższych zmian. Pomimo pełnego poparcia dla wprowadzonych przez OST wytycznych, bazując na swoim inżynierskim doświadczeniu, przedstawia kilka dodatkowych sugestii, które powinny się znaleźć w kolejnych wznowieniach, jak choćby doprecyzowanie kwestii jaką metodą (jedno- czy dwupunktowego zginania) należy rozłupywać kostki przeznaczone do badań wytrzymałości na zginanie. Autor bardzo dużą rolę przywiązuje do kwestii pielęgnacji betonów w celu uzyskania pożądanej przez nie mikrostruktury, a co za tym idzie przepuszczalności, która w głównej mierze stanowi o trwałości betonu. Aby zapewnić betonowi odpowiednią trwałość należy w pierwszej kolejności uwzględnić warunki środowiskowe w jakich będzie on pracował i pod tym kątem dobierać wskaźnik wodno-cementowy, skład stosu okruszowego, odpowiedni rodzaj i ilość cementu oraz dodatki mineralne modyfikujące strefę kontaktową zaczyn-kruszywo.

W dalszej części rozdziału poświęconego literaturze następuje wnikliwa analiza typów korozji na jakie mogą być narażone obiekty infrastruktury drogowo-mostowej. Autor omawia zagrożenia związane z karbonatyzacją, korozją chlorkową, korozją siarczanową, reakcją kruszyw z alkaliarni oraz cyklami mrozoodporności. Ta część pracy poparta jest licznymi cytowaniami pozycji literaturowych zarówno krajowych jak i zagranicznych. Przytoczone powyżej różne typy destrukcji betonu (poza korozją ASR) znajdują wspólny mianownik w postaci wysokiej przepuszczalności wykonanego betonu.

Zakończenie części literaturowej stanowi podsumowanie stanu wiedzy na temat żużla wielkopiecowego i jego wpływu na betony. Beton zawierający żużel lub wykonany na bazie cementów CEM II/A,B-S lub CEM III w znacznym stopniu ogranicza niekorzystne efekty wyżej wymienionych typów korozji. Stwardniały zaczyn cementowy pochodzący z hydratacji cementów zawierających w składzie żużel wielkopiecowy jest bardziej zwarty, ma mniejszą porowatość kapilarną, efektem czego jest znacznie niższa przepuszczalność w porównaniu do przepuszczalności uwodnionych zaczynów z cementów portlandzkich CEM I. Nie bez znaczenia pozostaje także fakt, iż w stwardniałych zaczynach cementów żużlowych jest mniej  $\text{Ca(OH)}_2$  a powstająca faza C-S-H charakteryzuje się niższym stosunkiem C/S. Granulowany żużel wielkopiecowy jako materiał świetnie wpisuje się również w ideę zrównoważonego rozwoju, jest ubocznym produktem przy produkcji surowki żelaza, a w technologii materiałów budowlanych może być zastosowany jako składnik zamiaru surowcowego do wypału klinkieru, jako dodatek do cementu a wreszcie także jako dodatek do betonu. Należy również pamiętać, że po odpowiednim zmieleniu i aktywowaniu może występować jako samodzielne spoiwo hydrauliczne.



Część doświadczalna analizowanej pracy obejmuje szeroki zakres badań zaprojektowanych w celu przetestowania betonu pod kątem wymagań trwałościowych narzuconych przez normy jak również przez czynniki środowiskowe, na które będzie on narażony w czasie wieloletniej eksploatacji. Badania prowadzone były na sześciu rodzajach cementów z czego pierwszy to CEM I 42,5N-SR3/NA zalecany przez Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej; pozostałe pięć to cementy komercyjnie dostępne wykonane na bazie klinkieru portlandzkiego o zawartości  $C_3A$  na poziomie 8,3%. Drugi z porównywanych cementów to cement CEM I 42,5R a pozostałe cztery to cementy zawierające w swoim składzie granulowany żużel wielkopiecowy w ilości od 17 do 70%. W pierwszej części badania skupiają się na określeniu właściwości użytkowych cementów takich jak czasy wiązania, wytrzymałości po różnych czasach dojrzewania oraz ciepła hydratacji. Co warto podkreślić, każdy z uzyskanych wyników jest odnoszony do wytycznych zawartych w OST. Takie sprawdzenie przydatności względem kryteriów OST jest konsekwentnie stosowane przez całą część doświadczalną. Porównanie wytrzymałości na ściskanie betonów sporządzonych przy użyciu różnych cementów pozwoliło Autorowi wyciągnąć wniosek o niskich wytrzymałościach wczesnych uzyskiwanych przez betony oparte na cementach zawierających granulowany żużel wielkopiecowy. Wniosek ten nie stanowi jednak problemu z punktu wymagań OST ponieważ wytyczne te nie wymagają wysokich wytrzymałości wczesnych, poza elementami sprężanymi i technologią ślizgu. Na podkreślenie zasługuje przemyślany program badań zastosowany przez Autora podczas realizacji pracy. Modeluje on warunki dojrzewania betonów w taki sposób, aby maksymalnie zbliżyć się do rzeczywistych warunków w jakich konstrukcja może się znaleźć. Doktorant przeprowadza badania wytrzymałości oraz ciepła hydratacji w różnych temperaturach (warunki środowiskowe) oraz badania karbonatyzacji w dwóch wariantach - prawidłowej i niedostatecznej pielęgnacji. Dodatkowo, dokłada starań, aby materiały zastosowane do badań (kruszywo) spełniały wymagania OST, a wyniki służące ocenie danego parametru były uzyskiwane po czasie „równoważnym” przewidzianym przez powyższy dokument.

Ostatni, bardzo ważny w mojej ocenie, dział części doświadczalnej zawiera relacje z realizacji obiektów inżynierii komunikacyjnej z zastosowaniem cementów wieloskładnikowych i cementów hutniczych, co jest najlepszym podsumowaniem badań prezentowanych w recenzowanej pracy. Przedstawiono w niej przykłady bardzo istotnych realizacji infrastrukturalnych takich jak tunele, mosty oraz drogi wykonanych przy użyciu cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy i dowiedziono ich trwałości wynikającej z

D4

zastosowania korzystnej modyfikacji materiałowej poprzez zastosowanie dodatku mineralnego.

Podsumowując, recenzowana praca stanowi doskonałą formę weryfikacji nowych Ogólnych Specyfikacji Technicznych stanowiących zbiór wytycznych mających na celu zapewnienie odpowiedniej trwałości obiektu infrastrukturalnego, z których zobowiązany jest korzystać specyfikujący, projektant, producent, wykonawca i użytkownik danego obiektu. Bazując na bardzo bogatej bazie wyników badań laboratoryjnych jak i aplikacyjnych Autor dowodzi, że cementy zawierające w swoim składzie granulowany żużel wielkopiecowy stanowią doskonały składnik betonów gwarantujący dużą trwałość wykonanych z nich obiektów mostowo-drogowych.

Recenzent bardzo wysoko ocenia dokonania Autora, obszernie zaprezentowane w ocenianej pracy. Doktorant jednoznacznie wykazał, że potrafi zmierzyć się z poważnym wyzwaniem badawczym polegającym na zaplanowaniu i zrealizowaniu programu dającym odpowiedź na wiele ważnych pytań dotyczących kształtowania parametrów trwałościowych betonu.

Oczywistą rolą recenzenta jest jednak również zwrócenie uwagi na zauważone niedociągnięcia w ocenianej pracy:

- Zwraca uwagę pewna niespójność pomiędzy tytułem rozprawy oraz realizowanym programem badawczym. Tytuł sugeruje stosowanie szerszego spektrum cementów, a w rzeczywistości Autor skoncentrował się na badaniach cementów portlandzkich żużlowych i hutniczych. W opinii recenzenta praca zyskałaby na wartości, gdyby dodatkowo zawierała wyniki dotyczące betonów z cementem CEM II/A,B-V.
- Wydaje się, że w przypadku badań dotyczących cementów zawierających dodatek granulowanego żużla wielkopiecowego nie powinno ograniczać się podawania cech wytrzymałościowych jedynie dla okresu dojrzewania od 2 do 90 dni (Tabela 27). Autor z pewnością dysponuje wynikami 180-dniowymi, a nawet rocznymi.
- Autor nie wszędzie podaje odchylenia standardowe prezentowanych wyników oraz niekonsekwentnie oznacza cementy siarczanoodporne (SR i HSR - strony 84 i 85).
- Recenzent zauważył także kilka „literówek”, których należałoby unikać w kolejnych tekstach prezentujących uzyskane wyniki:
  - *brakuje „z” (strona 13, 8 linijka od dołu)*
  - *brak spacji tabela 8 (1 kolumna, 4 wiersz)*
  - *„który” zamiast „którem” (strona 33)*

Dei-



- dodatkowe „w” (strona 37)
- złe justowanie na stronie 53
- „opisaną” zamiast „opisana” (strona 64)
- rys. 41. zły opis osi
- zła jednostka decymetra sześciennego [ $\text{dcm}^3$ ] (strona 84)
- brakuje „w”, strona 109
- rys. 76 tytuł nieadekwatny do treści wykresu

Powyższe uwagi nie umniejszają mojej bardzo pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej.

### **3. Opinia końcowa**

Stwierdzam z pełną odpowiedzialnością, że oceniana rozprawa doktorska ma wysoką wartość poznawczą oraz popularyzującą zapisy nowych dokumentów technicznych z zakresu budownictwa drogowo-mostowego. Nie można przecenić faktu, że recenzowana rozprawa posiada także poważne walory praktyczne wynikające z faktu zweryfikowania wyników badań laboratoryjnych w kilku poważnych obiektach infrastrukturalnych. Autor jednoznacznie wykazał, że dobrze radzi sobie z warsztatem badawczym, z prezentacją i interpretacją uzyskanych wyników badań oraz potrafi zastosować stawiane wnioski w praktyce budowlanej.

Biorąc powyższe pod uwagę, stwierdzam, że praca doktorska Pana mgr inż. Sebastiana Kaszuby „Kształtowanie składu trwałego betonu z udziałem cementów wieloskładnikowych (CEM II, CEM III) do zastosowania w budownictwie drogowo-mostowym” spełnia całkowicie ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej.

Kraków, 11.03.2019 r.

Dg!