

dr hab. inż. Jacek Gołaszewski, prof. nzw. w Pol. Śl.
Politechnika Śląska
Wydział Budownictwa
Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych
Ul. Akademicka 5
44-100 Gliwice

Gliwice, 31.08.2017

**Opinia o rozprawie doktorskiej mgr inż. Julii Marczewskiej
pt.: Interakcja ekspansji siarczanowej i niszczenia mrozowego
napowietrzonych kompozytów cementowych**

1. Wprowadzenie

Opinia została opracowana zgodnie z decyzją Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach z dnia 21.06.2017, na podstawie umowy nr XII-Dec-B/11/2017 z dnia 10.07.2017r.

Przedmiotem opinii jest rozprawa doktorska mgr inż. Julii Marczewskiej pt.: Interakcja ekspansji siarczanowej i niszczenia mrozowego napowietrzonych kompozytów cementowych, której promotorem jest dr hab. inż. Wojciech Piasta, prof. w PŚk., uznany specjalista w zakresie technologii betonu, zwłaszcza jego trwałości.

2. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Julii Marczewskiej dotyczy niezwykle ważnego problemu zapewnienia trwałości betonu, a dokładniej odporności konstrukcji betonowych na oddziaływanie agresywnego środowiska. W szczególności odnosi się ona do zagadnień korozji betonu na skutek oddziaływania siarczanów, cyklicznego zamrażania i rozmrażania oraz kolejnego oddziaływania tych czynników środowiskowych. Każdemu z tych oddziaływań z osobna poświęcono dotychczas wiele badań oraz dostępna jest liczna literatura, pomimo to jest to obszar w którym wiele kwestii pozostaje słabo wyjaśnionych. Odnosi się to zwłaszcza do częstej w praktyce sytuacji w której beton w konstrukcji poddany jest jednoczesnemu oddziaływaniu siarczanów oraz cyklicznemu zamrażaniu i rozmrażaniu. W doktoracie położono nacisk na napowietrzenie kompozytu, jako czynnika mającego wpływ nie tylko na jego odporność mrozową, ale również na jego odporność na agresję siarczanową. Problem ten wymaga systematycznych badań, których brakuje. Tematykę rozprawy doktorskiej należy uznać za ważną, bardzo dobrze wpisującą się w aktualną problematykę i kierunki rozwoju technologii betonu oraz koncepcję zrównoważonego rozwoju. Podjęcie tego tematu odpowiada na potrzeby badawcze, tak w aspekcie poznawczym, jak i praktycznym, co należy ocenić bardzo pozytywnie.

Rozprawa doktorska mgr inż. Julii Marczewskiej ma charakter doświadczalny. Jej układ odpowiada charakterowi pracy i obejmuje: wstęp zawierający również cele pracy i badań, szerokie studium literaturowe zawierające analizę aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematyką pracy, część doświadczalną zawierającą przedstawienie metodyki badań, badania własne i statystyczną analizę ich wyników, dyskusję wyników badań oraz wnioski końcowe. Ogółem rozprawa liczy 156 stron, w tym 126 stron tekstu podstawowego. Składa się z 5 rozdziałów, wykazu cytowanej literatury, streszczeń w języku polskim i angielskim oraz załączników zawierających wybrane wyniki badań. Rozdziały w pracy mają logiczny i konsekwentny układ. Zdaniem recenzenta lepiej jest jednak, gdy cele pracy i zakres badań są przedstawione nie we wprowadzeniu, ale jako osobny rozdział umieszczony po części literaturowej i stanowią konsekwencję analizy literaturowej.

Tytuł rozprawy należy uznać jako adekwatny do jej treści.

We wstępie (rozdział 1 - 2 strony) Doktorantka podała genezę i uzasadnienie celowości podjętego tematu oraz sformułowała cele i zakres pracy. Wprowadzenie do tematu jest właściwie przedstawione, wątpliwości budzi jednak miejsce sformułowania celów i zakresu pracy na co zwrócono uwagę wyżej. Same cele pracy są zasadne i w zasadzie dobrze sformułowane, przy czym cel IV może być różnie interpretowany. Recenzentowi brakuje wyraźnego umocowania i uzasadnienia celów pracy na bazie analizy literaturowej. Autorka we wstępie napisała, że w pracy podjęto próbę wyznaczenia kierunków dalszych badań - takich kierunków jednak nie podano (zwykle podaje się je w podsumowaniu, po wnioskach).

W rozdziale 2 (40 stron) Autorka przedstawiła analizę literatury w zakresie zagadnień związanych z rozprawą obejmującą: charakterystyki środowiska, mikrostrukturę jako podstawowy czynnik wpływający na trwałość kompozytów cementowych, proces niszczenia kompozytów cementowych w warunkach korozji siarczanowej i oddziaływania mrozowego, wpływu rodzaju cementu i napowietrzenia na trwałość kompozytów cementowych. Przegląd literatury Doktorantka opracowała przede wszystkim w oparciu o nowe dane z literatury krajowej i zagranicznej, wykorzystując publikacje w renomowanych czasopismach i materiałach znaczących cyklicznych konferencji. Przegląd literatury został przeprowadzony w zakresie odpowiednim ze względu na cele pracy. Brakuje jednak wyraźnie wyodrębnionego podsumowania literatury - analizy stanu wiedzy wraz z uzasadnieniem konieczności podjęcia dalszych badań i ich zakresu. Doktorantka częściowo zawarła takie podsumowania w poszczególnych częściach analizy literatury, jednak zdaniem recenzenta nie jest to rozwiązanie optymalne. Podsumowując, studium literatury i jego analizę można ocenić pozytywnie. Doktorantka wykazała się dobrym opanowaniem zagadnień związanych z tematyką pracy i wystarczającą umiejętnością krytycznej analizy źródeł literaturowych.

W rozdziale 3 (73 strony) przedstawiono część doświadczalną pracy. Stanowi on, wraz z rozdziałem 4 (11 stron) w którym zawarto dyskusję wyników badań i podsumowanie kluczową, wartościową poznawczo i praktycznie część pracy. W rozdziale 3 przedstawiono kolejno plan badań, materiały i składy kompozytów, metody badań, wyniki badań oraz ich analizę statystyczną. Badania podzielono na trzy etapy - badania podstawowe, uzupełniające i dodatkowe, przyjmując jako podstawowe czynniki zmienne w badaniach rodzaj środowiska (siarczanowe i/lub mrozowe w czterech kombinacjach - siarczanowe, mrozowe, siarczanowo-mrozowe, mrozowo-siarczanowe), rodzaj cementu (cementy CEM I, CEM II, CEM III) oraz napowietrzenie. Zakres zmienności czynników w badaniach pozwala na wyciąganie wniosków o charakterze ogólnym. Dwa pierwsze etapy badań wykonano na zaprawach, trzeci na betonach. Na szczególną uwagę zasługuje fakt poddania kompozytów wpływowi środowiska siarczanowo-mrozowego oraz mrozowo-siarczanowego, co umożliwia określenie synergicznego efektu agresywnego działania tych środowisk - takie badania wykonywane są rzadko. W odczuciu recenzenta pewien niedosyt sprawia jednak brak badania równoczesnego lub naprzemiennego wpływu obu środowisk co bardziej oddawałoby warunki rzeczywiste eksploatacji konstrukcji. Warto ten problem podjąć w kolejnych badaniach. Ogólnie,

przyjęty tok postępowania w badaniach jest logiczny, metodyczny i umożliwia osiągnięcie celów pracy. Program badań, wybór i zakres zmian czynników zmiennych i poziomów czynników stałych w badaniach są adekwatne do celu pracy i ogólnie zostały wystarczająco uzasadnione. Przyjęcie zapraw jako głównego kompozytu w badaniach należy ze względów metodycznych uznać za poprawne. Przyjęty zakres badań jest obszerny i obejmuje badania nasiąkliwości, wytrzymałości, mrozoodporności, odporności na działanie siarczanów oraz badania mikrostruktury i składu fazowego. Jest on wystarczający do osiągnięcia celów pracy. Zastosowane metody badań (przede wszystkim badania normowe, ponadto dyfraktometria rentgenowska XRD i mikroskopia skaningowa SEM-EDS) są właściwe i komplementarne, dzięki czemu pozwalają one na wystarczające zidentyfikowanie mechanizmu oddziaływania środowiska na trwałość kompozytów cementowych. Wyniki badań przedstawiono dla poszczególnych ich etapów, omawiając kolejno wpływ różnych kombinacji środowisk na zmiany wybranych właściwości kompozytów w czasie, wyróżniając przy tym badania odkształcenia liniowego próbek. Odkształcenie liniowe próbek stanowiło również podstawę analiz statystycznych prowadzonych w celu określenia istotności i hierarchizacji istotności wpływu badanych czynników na trwałość kompozytów cementowych. Niedostatkami jest brak całościowego przedstawienia wszystkich wyników badań w formie tabelarycznej (takie wyniki mogłoby się znaleźć w załącznikach). Wyniki badań i ich analiza zawierają szereg istotnych i nowych spostrzeżeń, a uzyskane zależności mogą być przydatne przy doborze składu zapraw i betonów ze względu na kształtowanie ich trwałości w środowiskach siarczanowym i/lub mrozowym. Na podkreślenie zasługuje wykorzystanie metod statystycznych w analizie wyników badań. Rozdział 4 zawiera dyskusję uzyskanych wyników badań i próbę, generalnie zdaniem recenzenta udaną, opisanie mechanizmu wpływu oddziaływania środowiska siarczanowego i mrozowego na nienapowietrzony i napowietrzony kompozyt cementowy wykonane z różnych rodzajów cementu. Dyskusja ta stanowi ważną część pracy, pokazującą umiejętność krytycznej analizy wyników badań własnych i wykorzystania dostępnych danych literaturowych.

Kończący pracę rozdział 5 (2 strony) zawiera wnioski końcowe. Przedstawione wnioski są sformułowane właściwie, oddają rezultaty pracy i wynikają z wykonanych badań i analiz. W tej części pracy brakuje informacji o kierunkach dalszych badań pomimo, że zasygnalizowano ją we wstępie.

Cytowana literatura obejmuje 362 pozycje, w dużej części opublikowane po 2000 roku. Jest dobrana właściwie ze względu na specyfikę i zakres pracy. Rozprawę zamykają załączniki w których przedstawiono wybrane wyniki badań.

Praca jest zredagowana starannie, choć Doktorantka nie ustrzegła się drobnych błędów językowych, stylistycznych i edycyjnych, np.: „świeża mieszanka betonowa”, „próbki niszcą się”, „zaprawa portlandzka” itp. Rozdziały główne pracy powinny zaczynać się na nowej stronie. Omówienie uzyskanych wyników badań jest dość zawiłe i trudne w odbiorze, co może mieć wpływ na rozumienie treści merytorycznych i intencji Autorki. Układ rysunków nie jest intuicyjny - zwykle znajdują się one na innej stronie niż są omawiane, wykresy i zdjęcia struktury różnią się również zakresem skali - utrudnia to odbiór pracy i analizę uzyskanych wyników.

3. Ocena rozprawy i uwagi krytyczne

Praca oceniam jako wykonaną na dobrym poziomie naukowym. Cel badawczy pracy został osiągnięty, a jako ważne elementy oryginalne i osiągnięcia rozprawy uważam:

- Określenie w systematycznych i szerokich badaniach długoterminowego wpływu oddziaływania środowiska siarczanowego i mrozowego (w 4 konfiguracjach - kolejno i osobno) na właściwości nienapowietrzonych i napowietrzonych kompozytów z różnych rodzajów cementu (CEM I, CEM II popiołowe, żuźlowe, z kamieniem wapiennym, CEM III);

- Identyfikację i hierarchizację istotności wpływu rodzaju cementu, napowietrzenia oraz czasu oddziaływania środowiska siarczanowego i/lub mrozowego na trwałość kompozytów cementowych;
- Określenie wpływu ilości i jakości napowietrzenia betonu na jego trwałość w środowisku siarczanowym i mrozowo-siarczanowym;
- Wykazanie, że poprzez odpowiedni dobór cementu oraz napowietrzenie można uzyskać kompozyty cementowe o zwiększonej odporności na agresywne działanie nie tylko środowiska mrozowego ale również siarczanowego;
- Poszerzenie stanu wiedzy w zakresie mechanizmu niszczenia kompozytów cementowych w środowisku siarczanowym i mrozowym ze szczególnym uwzględnieniem wpływu napowietrzenia;
- Wykonanie badań oddziaływania środowisk mrozowego i siarczanowego na trwałość kompozytów cementowych w długim cyklu czasowym;
- Znaczący aplikacyjny potencjał uzyskanych wyników badań.

Analiza rozprawy nasuwa jednak następujące ważniejsze uwagi dyskusyjne, spostrzeżenia i wątpliwości (w kolejności zgodnej z tekstem rozprawy):

- W badaniach przyjęto stosunek w/c zapraw 0,5 a betonów 0,55, czyli generalnie większy niż wymaga norma PN EN 206 dla betonów narażonych na agresywne oddziaływanie środowiska. Jak jest uzasadnienie takiego doboru w/c? Również ilość cementu w betonie nie w pełni odpowiada wymaganiom normowym.
- Czy w badaniach zapraw stosowano piasek normowy? Jeśli nie, to czy kontrolowano wpływ piasku na właściwości zapraw?
- W planie badań zapisano, że badania strukturalne kompozytów będą wykonywane wraz z postępującym zniszczeniem (str. 47), podczas gdy w omówieniu wyników odniesiono się w zasadzie tylko do badań wykonanych po zakończonych cyklach oddziaływania środowiskowego. Czy badania strukturalne wykonywano również w trakcie oddziaływania środowiska? Jeśli tak, to jaki był wpływ środowiska na strukturę kompozytów w czasie?
- Z jakich względów przyjęto napowietrzenie zapraw na poziomie 10%? Jeśli na podstawie badań własnych to szkoda, że ich nie przedstawiono nieco szerzej w pracy.
- W pracy brak kompleksowego zestawienia wszystkich wyników badań, informacji o liczbie pomiarów (próbek) oraz zmienności i dokładności pomiaru. Wyniki takie należało zamieścić w załącznikach. Jaką liczbę obserwacji i pomiarów wykonywano w badaniach strukturalnych?
- Konsystencja badanych napowietrzonych i nienapowietrzonych zapraw różni się dość wyraźnie. Czy ta różnica nie wpływa na właściwości stwardniałych zapraw (trudność w uzyskaniu analogicznego stopnia zagęszczenia)?
- Wytrzymałość na ściskanie prawie wszystkich badanych zapraw była mniejsza od 35 MPa, co przy normowym składzie zapraw oznacza, że nie potwierdzono klasy 32,5 dla stosowanych w

badaniach cementów (a wiele z nich ma nawet klasę 42,5). Jak można wyjaśnić niskie wytrzymałości zapraw?

- Badania zapraw w etapie I i II wykonywano na próbkach o różnych wymiarach. Czy Doktorantka analizowała wpływ wymiarów próbek na uzyskane wyniki badań?
- W badaniach mrozoodporności zapraw i betonów obserwuje się wzrost masy próbek. Proszę o wyjaśnienie tego zjawiska.
- Na wykresach pokazano zmiany w czasie wytrzymałości względnej zapraw i betonów, ale w przypadku zapraw tylko dla wybranych serii badań (zamrażane oraz poddane zamrażaniu po wcześniejszym zanurzeniu w roztworze siarczanu). W podpisach pod rysunkami i na wykresach błędnie przy tym zapisano wytrzymałość, podczas gdy jest to wytrzymałość względna. Wytrzymałości względne zapraw i betonów określono względem wytrzymałości 28 dniowej. Korzystnie byłoby również podać wytrzymałość względną względem próbek nie poddanych działaniu agresywnego środowiska. Jak zmienia się w czasie wytrzymałość na ściskanie zapraw kontrolnych, nie poddanych oddziaływaniu środowiska siarczanowego i/lub mrozowego?
- Jakie były terminy wykonywania badań wytrzymałości na ściskanie zapraw zamrażanych w badaniach oddziaływania środowiska - 28 dni czy 28 dni + 30 miesięcy (np. rys. 3.9, 3.10, 3.11 i inne)? Jeśli w obu przypadkach 28 dni, to trochę mylące jest umieszczenie części tych wyników (dotyczących oddziaływania tylko mrozu) na osi czasu w miejscu odpowiadającym 30 miesiącom. Wykresy zmian wytrzymałości względnej nie powinny być wygładzone, powinny natomiast zawierać punkty odpowiadające uzyskanej wytrzymałości (względnej).
- Czy w analizie wyników nie byłoby korzystniej posługiwać się bezwzględnymi wielkościami wytrzymałości próbek? Przy często dużych różnicach w wytrzymałości badanych zapraw i betonów bazowanie w dyskusji tylko na wytrzymałości względnej może być mylące.
- Dlaczego w poszczególnych etapach badań zmieniono czas ekspozycji próbek na różne warunki środowiska?
- Niewielkie napowietrzenie betonu (beton γ_1) wywołało wzrost jego wytrzymałości. Czym można to wytłumaczyć?
- Jak można wytłumaczyć negatywny wpływ zwiększonego napowietrzenia na mrozoodporność betonu (beton γ_4)? Proszę o skomentowanie wyników charakterystyki struktury porów powietrznych badanych betonów w odniesieniu do ich mrozoodporności. Z wykresów wytrzymałości względnej wynika, że w żadnym przypadku nie jest ona mniejsza o 20% od wytrzymałości 28 dniowej, brakuje jednak informacji o wytrzymałości względem świadków niepoddanych zamrażaniu-rozmrażaniu. Szkoda, że w badaniach nie określono charakterystyki struktury porowatości po poddaniu próbek działaniu środowiska siarczanowego.
- Zastosowane w analizie statystycznej oczekiwanych średnich brzegowych jest dyskusyjne. Może lepiej było porównywać istotność różnic okształceń w poszczególnych terminach i na tej podstawie wnioskować o istotności wpływu różnych czynników.
- Na stronie 128 stwierdzono, że mrozoodporność betonów o zawartości powietrza na poziomie 3,2% zmniejszyła się w wyniku wcześniejszej korozji siarczanowej dwukrotnie. Jak to stwierdzono i co oznacza dwukrotnie mniejsza mrozoodporność? Jeśli stwierdzono to na podstawie zwiększonego odkształcenia tego betonu, to należy zauważyć, że podobnym, jeśli

nie większym zwiększeniem odkształcenia charakteryzują się betony prawidłowo napowietrzane. W ich przypadku stwierdzono jednak, że w wyniku wcześniejszej korozji siarczanowej nie zmienia się ich mrozoodporność (rys. 3.45 i 3.46).

- W badaniach wykorzystano 4 rodzaje cementów CEM I. Warto pokusić się o próbę dyskusji wpływu składu cementu na trwałość kompozytu.

4. Wniosek końcowy

Rozprawa dotyczy oryginalnego rozwiązania naukowego, a uzyskane w niej rezultaty są ważne z naukowego i praktycznego punktu widzenia. Doktorantka mgr inż. Julia Marczevska wystarczająco rozpoznała potrzebny jej obszar wiedzy, właściwie sformułowała cele pracy oraz zrealizowała je w zakładanym stopniu, wykazując przy tym umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Krytyczne uwagi merytoryczne nie pomniejszają własnych i oryginalnych osiągnięć Doktorantki, a pracę oceniam pozytywnie jako wartościowe osiągnięcie w zakresie poznawczym i praktycznym. Biorąc pod uwagę osiągnięcia rozprawy, wyszczególnione w pkt. 3 niniejszej recenzji, stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. oraz Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 września 2011 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. Nr 204 poz. 1200) i stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Julii Marczevskiej do publicznej obrony.

