

Prof. dr hab. inż. Jacek Gołaszewski
Politechnika Śląska
Wydział Budownictwa
Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych
Ul. Akademicka 5
44-100 Gliwice

10.10.2018

**Opinia o rozprawie doktorskiej mgr inż. Wioletty Kozak
pt.: Analiza struktury porów powietrznych z uwzględnieniem układu
kruszywo-zaczyn-powietrze**

1. Wprowadzenie

Opinia została opracowana zgodnie z decyzją Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach z dnia 4.07.2018, na podstawie umowy nr XII-Dec-B/24/2018 z dnia 11.07.2018 r.

Przedmiotem opinii jest rozprawa doktorska mgr inż. Wioletty Kozak pt.: „Analiza struktury porów powietrznych z uwzględnieniem układu kruszywo-zaczyn-powietrze”. Jej promotorem jest dr hab. inż. Jerzy Wawrzeńczyk, prof. PŚk, specjalista w zakresie technologii betonu, a zwłaszcza problematyki jego mrozoodporności. Promotorem pomocniczym pracy jest dr inż. Agnieszka Molendowska.

2. Charakterystyka rozprawy

Obecnie szczególnie ważnym zagadnieniem w technologii betonu jest kształtowanie trwałości betonu w warunkach oddziaływania szkodliwego środowiska, w tym zwłaszcza dużo uwagi poświęca się mrozoodporności betonu. W celu zapewnienia trwałości betonu w warunkach oddziaływania mrozu (i soli odladzających) stosuje się jego napowietrzenie. Beton napowietrzony definiuje się jako beton wykonany z domieszką napowietrzającą, zastosowaną w celu wprowadzenia w sposób kontrolowany drobnych pęcherzyków powietrza do mieszanki. Jak wiadomo, kluczowym dla uzyskania betonu mrozoodpornego jest uzyskanie odpowiedniej struktury wielkości i rozmieszczenia tych porów w betonie. Problematyka ta jest od dawna przedmiotem intensywnych prac badawczych o charakterze podstawowym i stosowanym, jednak wciąż pozostaje do rozwiązania wiele problemów. Pomimo licznych badań, ich wyniki pozostają bowiem bardzo niejednoznaczne. Na plan pierwszy wysuwają się tutaj kwestie związane ze zdefiniowaniem parametrów dobrze charakteryzujących strukturę napowietrzenia w aspekcie odporności betonu na działanie mrozu, weryfikacją adekwatności tych parametrów do oceny mrozoodporności betonu oraz samą metodyką badania struktury napowietrzenia betonu (w tym pozornie drugorzędnymi kwestiami technicznymi przy wykonywaniu badań). W ten nurt badań, oceny mrozoodporności betonu poprzez analizę struktury jego porowatości wpisuje się oceniana

rozprawa mgr inż. Violetty Kozak. W pracy odniesiono się przede wszystkim do kwestii (1) określenia i weryfikacji parametrów charakteryzujących strukturę porowatości betonu ze względu na możliwość jak najlepszej oceny jego mrozoodporności oraz (2) opracowania efektywnej metodyki wyznaczania struktury porów powietrznych w betonie. Przedmiot ocenianej rozprawy doktorskiej jest aktualny i ważny z punktu widzenia współczesnej technologii betonu. Uważam podjęcie tego tematu za zasadne tak ze względów poznawczych, jak i, a nawet przede wszystkim ze względów praktycznych.

Tytuł rozprawy można uznać jako adekwatny do jej treści, choć jest zbyt szeroki w stosunku do jej faktycznego zakresu.

Rozprawa ma charakter doświadczalny, co warunkuje jej układ, w zasadzie typowy dla prac o takim charakterze. Składa się ona z dwóch zasadniczych części – analizy literatury o badanym problemie i badań własnych. Są one poprzedzone wprowadzeniem a zakończone podsumowaniem i wnioskami oraz kierunkami dalszy badań. Pracę uzupełniają obszerne załączniki w których przedstawiono dane do analiz i wybrane wyniki badań oraz zestawienie zastosowanych oznaczeń i wykaz cytowanej literatury. W pracy nie zamieszczono streszczenia w języku polskim i angielskim. Ogółem rozprawa liczy 156 stron, w tym 105 stron tekstu podstawowego.

We wprowadzeniu Autorka podała genezę podjętego tematu oraz scharakteryzowała układ pracy. Nie przedstawiono tutaj w sposób wyraźny celu pracy i podjętych badań. Część I rozprawy dotyczy analizy literatury w zakresie objętym tematyką pracy i podzielona została na 6 rozdziałów. W rozdziale 1 (1,5 strony), zatytułowanym „Geneza problemu” przedstawiono rozważania na temat destrukcyjnego działania zamarzającej w betonie wody w różnych środowiskach eksploatacji konstrukcji. Tytuł tego rozdziału jest mylący - można sądzić, że dotyczy on wyjaśnienia problemów podjętych w pracy. W rozdziale 2 (3 strony) Autorka charakteryzuje rodzaje porów w betonie i ich znaczenie dla trwałości betonu. W rozdziale 3 (3 strony) Autorka omówiła skrótowo podstawowy hipotezy dotyczące mechanizmów destrukcji mrozowej w odniesieniu do struktury betonu. Rozdział 4 (20 stron) dotyczy problematyki zabezpieczania betonu przed wpływem zamarzającej w nim wody, a faktycznie wpływu różnych czynników związanych ze składem i składnikami betonu na jego mrozoodporność. Rozdział ten związany jest luźno z zasadniczym tematem pracy i przedstawionymi w niej badaniami, a w odczuciu recenzenta można było go pominąć lub więcej uwagi zwrócić na rolę poszczególnych czynników w kształtowanie struktury betonu. Szereg przedstawionych w nim informacji jest przy tym dyskusyjnych (np. rola dodatków mineralnych). Rozdział 5 (32 strony) dotyczy metod określania mrozoodporności betonu. W rozdziale tym obok metod badania mrozoodporności omówione zostały również metody badania efektów działania domieszek napowietrzających, które można było pominąć. W kontekście tematyki pracy więcej uwagi można było natomiast poświęcić kwestii koncepcji zaczynu chronionego i kryteriom oceny mrozoodporności betonu uwzględniających strukturę jego porowatości. Warto również było wyraźnie rozdzielić problematykę zależności struktury porów i odporności mrozowej od technicznych problemów związanych z metodami pomiaru (określenia) tej struktury. Na marginesie i na przyszłość: ciekawą byłaby również analiza pojawiających się dość powszechnie w literaturze wyników badań wskazujących na nieadekwatność normowego wskaźnika rozmieszczenia porów powietrznych do oceny mrozoodporności. Ogólnie jednak oceniam analizę stanu wiedzy pozytywnie, jako

przeprowadzoną w oparciu o odpowiednio dobrane publikacje krajowe i zagraniczne i wystarczająco wnikliwą i krytyczną do wskazania i uzasadnienia konieczności dalszych badań w zakresie związków struktury porowatości i mrozoodporności oraz optymalizacji procedur określania struktury porów w betonie. Doktorantka wykazała się dobrym opanowaniem zagadnień związanych z tematyką pracy i wystarczającą umiejętnością krytycznej analizy źródeł literaturowych.

Część II, najważniejsza w rozprawie, dotyczy badań własnych i składa się z 4 rozdziałów. Autorka przedstawiła w niej cel i zakres badań własnych, tezy pracy, model numeryczny struktury betonu i oraz 3 etapy badań własnych (łącznie 34 strony). Z rozdziałem tym ściśle wiążą się załączniki pracy do których Autorka często się odwołuje. Wątpliwości budzi sposób przedstawienia tez pracy, ukrytych w części dotyczącej badań własnych oraz umieszczonych już po przedstawieniu celu i zakresu badań własnych. Po pierwsze, cel i zakres badań wynika z celów i tez pracy, a więc kolejność musi być odwrotna. Po drugie, tezy pracy powinny być przedstawione jako osobny, wyraźnie wyeksponowany rozdział. Same tezy pracy nie budzą istotnych wątpliwości, choć wydaje się że ich „waga” jest odwrotna do przedstawianej - druga z tez ma charakter zdecydowanie bardziej ogólny. Badania własne podzielono na trzy części, jednak w tekście nie dość wyraźnie odnoszono się do tego podziału, używając przy tym, obok numeracji etapów nazw serii betonów w nich realizowanych: „numeryczna”, „modelowa”, „zwykła”. Brakuje jasno przedstawionego planu badań i celów dla poszczególnych etapów badań, co recenzentowi utrudniło analizę wyników badań i toku rozumowania Doktorantki. Niefortunne jest kilkukrotne powoływanie się na badania wstępne, bez ich przedstawienia - kwestię badań wstępnych i problemów w ramach nich rozwiązanych należało krótko omówić dokładniej przed omawianiem badań zasadniczych lub całkowicie pominąć. Reasumując, przyjęty tok postępowania w badaniach można uznać za logiczny, metodyczny i umożliwiający osiągnięcie założonych celów pracy. Nie został on jednak przedstawiony w sposób czytelny, co w efekcie utrudnia śledzenie toku postępowania Doktorantki.

Badania własne przedstawiano i dyskutowano w kolejnych etapach, wykorzystując ustalenia z poprzedniego w następnych. Pierwszy etap dotyczył modelowania struktury betonu i porównaniu zmienności różnych parametrów mogących charakteryzować strukturę porowatości w aspekcie mrozoodporności. W przypadku modeli numerycznych zdecydowanie zbyt dużo uwagi poświęcono nieudanej próbie zbudowania modelu 3D. Etapy drugi i trzeci miały charakter doświadczalny i dotyczyły dwóch serii betonów na których testowano różne sposoby analizy obrazowej oraz określano związki parametrów charakteryzujących strukturę porowatości betonu z jego odpornością mrozową. W badaniach i ich analizie skoncentrowano się na strukturze porowatości i mrozoodporności betonu określanej wg ASTM 666A, co można uznać za wystarczające. Zastosowane w tym zakresie metody badań nie budzą zastrzeżeń. Jednak dla lepszej analizy wyników badań korzystnym byłoby określenie podstawowych cech betonu, np. jego wytrzymałości na ściskanie czy wodoszczelności. Informacji o tych cechach brakuje; dlaczego takich badań nie wykonano? Niejasne jest pominięcie w analizie części wykonanych badań (etap II i III). Zdaniem recenzenta nie wykorzystano w pełni uzyskanego materiału badawczego i możliwości tkwiących w analizie statystycznej uzyskanych zależności. Założone przez Doktorantkę ogólne cele badań należy jednak uznać za osiągnięte, a dyskusja uzyskanych

wyników badań pokazuje jej umiejętność krytycznej analizy wyników badań własnych i wykorzystania dostępnych danych literaturowych.

Kończące zasadniczą część pracy rozdziały IV i V (3 strony) zawierają podsumowanie całości rozprawy i wnioski oraz kierunki dalszych badań. Przedstawione wnioski są sformułowane właściwie, oddają rezultaty pracy i wynikają z wykonanych badań i analiz. Zdecydowanie niefortunny jest tytuł IV rozdziału - Zakończenie pracy- zamiast - Podsumowanie i wnioski.

Literatura obejmuje 147 pozycji, w tym ponad 50 angielskojęzycznych i ok. 25 norm i instrukcji, w większości opublikowanych po 2000 roku. Oceniam cytowaną literaturę za wystarczającą do przeprowadzenia analizy stanu wiedzy w zakresie adekwatnym do tematyki rozprawy. Autorka powinna mieć jednak świadomość postępujących możliwości w zakresie określania struktury betonu i coraz bogatszej literatury w tym zakresie, również w aspekcie oceny mrozoodporności.

Praca ma generalnie logiczny układ, jednak brak w nim wyodrębnionego rozdziału w którym jednoznacznie sprecyzowano by istotę problemu, cel i tezy pracy, cel i zakres podjętych badań. Informacje te znajdują się w pracy, są jednak rozproszone i umieszczone w niezbyt oczywistych miejscach. Praca jest napisana poprawnym językiem, choć miejscami narracja jest dość zawiła i trudna w odbiorze, co może mieć wpływ na rozumienie treści merytorycznych i intencji Autorki. W kilku miejscach pojawiają się niepotrzebne powtórzenia tych samych informacji, Autorka nie uniknęła określeń nieprecyzyjnych, a także drobnych błędów językowych, stylistycznych i redakcyjnych. Prezentowane tablice i rysunki są generalnie czytelne i łatwe do interpretacji.

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:

- Zaplanowanie i przeprowadzenie systematycznych badań doświadczalnych umożliwiających porównanie różnych parametrów charakteryzujących strukturę napowietrzenia w aspekcie jego mrozoodporności.
- Wykorzystanie koncepcji zaczynu chronionego do opisu struktury porów w betonie i na tej podstawie oceny jego mrozoodporności.
- Wykazanie potrzeby stosowania metod 2D (a docelowo 3D) do analizy struktury porów w betonie.
- Wykazanie, że współczynnik PPV określany w wyniku analizy 2D umożliwia bardziej wiarygodną ocenę mrozoodporności betonu (a zwłaszcza wskaźnik rozmieszczenia porów L). Wyjaśnienie, że współczynnik PPV lepiej niż inne współczynniki charakteryzuje strukturę porowatości, gdyż uwzględnia obecność kruszywa w betonie i niejednorodność rozmieszczenia porów powietrznych. Należy jednak zaznaczyć, że wprowadzenie kryteriów mrozoodporności dla współczynnika PPV wymaga badań przeprowadzonych w dużo większym zakresie.
- Doświadczalne potwierdzenie, że wskaźnik rozmieszczenia porów L nie charakteryzuje dobrze odporności mrozowej betonu, a stawiane względem niego wymagania są

dyskusyjne (wskaźnik $L > 0,2$ mm nie musi automatycznie oznaczać, że beton nie jest mrozoodporny i na odwrót).

- Zaproponowanie i pozytywne zweryfikowanie autorskiej metody wyznaczania wskaźnika PPV. Należy przy tym zaznaczyć, że wyznaczanie wskaźnika PPV jest skomplikowane i podatne na błędy wynikające z trudności odróżnienia kruszywa i zaczynu. W tym zakresie konieczne są dalsze badania.
- Poszerzenie stanu wiedzy w zakresie mechanizmu niszczenia kompozytów cementowych w środowisku mrozowym ze szczególnym uwzględnieniem wpływu ilości i jakości napowietrzenia betonu.
- Znaczący aplikacyjny potencjał uzyskanych wyników badań.

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

- W kilku miejscach pojawia się określenie mrozoodporność mieszanki betonowej. Co Autorka rozumie pod tym pojęciem?
- W kilku miejscach Autorka odnosi się do normy PN EN 206-1, obecnie aktualną jest norma PN EN 206.
- Str. 30 - co Autorka rozumie pod pojęciem - silnie spolaryzowane właściwości chemiczne?
- Str. 34 - cementy napowietrzające beton trudno nazwać alternatywnym do domieszek napowietrzających sposobem napowietrzania betonu. Jest to inny sposób wprowadzenia domieszki napowietrzającej do betonu (domieszka jest w cemencie). SAP nie jest sposobem intencjonalnego napowietrzania betonu a pielęgnacji wewnętrznej.
- Str. 36, 72 - badanie całkowitej zawartości powietrza w mieszance i wytrzymałości na ściskanie betonu nigdy nie były wystarczającymi do oceny jego mrozoodporności, fakt stosowania domieszek, nowych cementów, dodatków mineralnych i ich kombinacji nie ma tu znaczenia.
- Str. 36 - „oszacować potencjalną trwałość betonu (lub mieszanki betonowej)” - o jaką trwałość mieszanki betonowej Autorce chodzi? W pracy często używane jest określenie „oszacować”. Czy nie lepiej brzmi „określić”?
- Str. 37 - warto pamiętać, że metoda pośrednia określania mrozoodporności spełni swój cel, jeśli będzie powiązana z faktyczną mrozoodpornością betonu w konstrukcji. W tym aspekcie pośrednie metody określania mrozoodporności betonu nie różnią się istotnie od metod bezpośrednich.
- Str. 44 - co Autorka rozumie pod określeniem „ogólne przyjęte kryteria...”?
- Brak krytycznej analizy stosowanych kryteriów oceny mrozoodporności.
- Str. 47 - metody wskaźnika piany i trwałości piany są metodami badania kompatybilności domieszki napowietrzającej i spoiwa w zakresie efektu jej działania napowietrzającego. Na ich podstawie nie można wnioskować o mrozoodporności betonu.
- Str. 57 - wpływ plastyfikatorów i superplastyfikatorów na efekty działania domieszek napowietrzających, napowietrzenia i mrozoodporność betonu jest bardziej

zróznicowany i złożony niż podaje Autorka. Zwykle nie jest on też tak jednoznacznie negatywny, raczej w szczególnych przypadkach.

- Czym jest współczynnik dopasowania r^2 ? Czy jest to współczynnik determinacji R^2 ?
- Str. 80 - czy rzeczywiście rozkład logarytmiczno - normalny jest dobry do opisu rozkładu wielkości porów? Może jest lepszy (choć współczynnik r^2 nie jest znacząco większy) ale na pewno nie dobry (w najlepszym wypadku można go uznać za słaby).
- Do czego się odnosi współczynnik r^2 w tabl. 13 i 15?
- Str. 90 - przeprowadzone dla trzech serii porównanie parametrów struktury napowietrzenia betonów „numerycznych” i próbek betonowych to zbyt mało aby wyciągać wnioski, tym bardziej, że parametry określano wg innych założeń. Określenie „podobne” nie jest określeniem ścisłym, a warto zwrócić uwagę, że faktyczne różnice parametrów pomiędzy modelem a rzeczywistością przekraczają nieraz 100%
- Dość dużo uwagi w pracy poświęcono omówieniu metod badania mrozoodporności. Proszę o uzasadnienie wyboru zastosowanej w badaniach metody wg ASTM 666 A.
- Brak informacji o właściwościach badanych betonów. Proszę, jeśli to możliwe o uzupełnienie tych informacji w trakcie obrony.
- W badaniach do napowietrzenia betonu wykorzystano domieszkę napowietrzającą i mikrosfery. W dyskusji wyników praktycznie pominięto ten fakt, a mikrosfery są postrzegane jako alternatywa dla stosowania domieszek. Proszę o rozwinięcie tego tematu w trakcie obrony pracy.

4. Wniosek końcowy

Rozprawa dotyczy oryginalnego rozwiązania naukowego, a uzyskane w niej rezultaty są ważne z naukowego i praktycznego punktu widzenia. Doktorantka mgr inż. Wioletta Kozak 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. Wioletty Kozak do publicznej obrony.

