

Prof. dr hab. inż. Józef Jasiczak
Instytut Konstrukcji Budowlanych
Politechniki Poznańskiej
ul. Piotrowo 6
60-965 Poznań

Poznań, 23.03.2018

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pana mgr inż. Krzysztofa Falkowskiego z Politechniki Białostockiej pt.: Właściwości kompozytów cementowych modyfikowanych emulsją bitumiczną

1. Podstawa opracowania opinii

Podstawę opracowania opinii stanowią

- pismo Pana prof. dr hab. inż. Michała Bołtryka, Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej, z dnia 6.02.2018 zlecające wykonanie opinii rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Falkowskiego pt.: Właściwości kompozytów cementowych modyfikowanych emulsją bitumiczną,
- mowa o dzieło Nr 11/WBiŚ-200/2018 z dnia 6 lutego 2018 zawarta między stronami: Politechnika Białostocka, reprezentowana przez Pana Dziekana prof. Michała Bołtryka a prof. Józefem Jasiczakiem, pracownikiem Politechniki Poznańskiej, na wykonanie ww. opinii.

Przygotowując opinię kierowałem się dostarczonym maszynopisem rozprawy przygotowanym przez mgr inż. Krzysztofa Falkowskiego, obowiązującą Ustawą z dnia z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. Nr 65. poz. 595 z późn. zmianami – szczególnie po 1.10.2014; Dz.U.2014.1198), Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego (Dz. U. Nr 196. Poz. 1165) oraz Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. z dnia 30 września 2016, Nr 0.Poz. 1586).

2. Przedmiot, cel i zakres pracy

Recenzowana praca doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Falkowskiego z Politechniki Białostockiej dotyczy – w szerszym kontekście – trwałości betonu z uwzględnieniem

różnych wpływ środowiskowych , a w węższym – trwałości betonu modyfikowanego emulsją bitumiczną.

Tak więc na tle dość szerokich rozważań określono cel pracy ograniczony do *modyfikacji betonu cementowego domieszkami i dodatkami bitumicznymi oraz skutecznego sposobu zagęszczenia mieszanki betonowej z założeniem, że istnieje możliwość zapewnienia trwałości konstrukcji z betonu w klasie ekspozycji XF i XD przez minimum 50 lat*. Tak też sformułowano podstawową tezę pracy.

Promotorem pracy jest Pan prof. dr hab. inż. Michał Bołtryk , znany w kraju i zagranicą specjalista od budownictwa i modyfikacji właściwości betonu. Tematyka pracy doktorskiej wpisuje się zatem jednoznacznie w naukowe zainteresowania Promotora i wcześniejsze Jego prace, co świadczy o tworzeniu tzw. szkoły naukowej.

Zakres rozprawy jest typowy dla prac doktorskich i zawiera : wykaz oznaczeń, wstęp, przegląd literatury, przyjętą metodykę badań , własne badania laboratoryjne, interpretacje wyników, podsumowanie, bibliografię, streszczenia pracy i załączniki (53) – łącznie 208 stron tekstu A4.

3. Omówienie rozprawy

Rozprawa składa się z 6 zasadniczych rozdziałów , wstępu, wykazu przyjętych oznaczeń, podsumowania i bibliografii.

We wstępie krótko przedstawiono problematykę, której dotyczy praca oraz podano motywację podjęcia tematu badawczego w aspekcie trwałości betonu konstrukcyjnego poddanego oddziaływaniu agresywnego środowiska, a w szczególności procesom niszczenia mrozowego. Z tego powodu pierwszym rozdziale dokonano przeglądu normowych sposobów zapewnienia trwałości w klasach ekspozycji XF i XD, przedstawiono zalecenia dotyczące doboru składników mieszanki betonowej oraz wymagania dotyczące wykonania konstrukcji z betonu. Przedstawiono także wymagania dla betonu nawierzchniowego oraz konstrukcyjnego w drogowym obiekcie inżynierskim zawarte w przepisach krajowych.

Drugi rozdział dotyczy kształtowania mikrostruktury betonu w aspekcie jego mrozoodporności. Przedstawiono w nim mechanizmy destrukcji mrozowej z udziałem środków odladzających, poruszono problemy związane z utrzymaniem konstrukcji z betonu w warunkach cyklicznego zamrażania i rozmrażania. Wykazano, że modyfikacja betonu za

pomocą dodatków bitumicznych stanowi skuteczną ochronę materiałowo-strukturalną przed agresywnym oddziaływaniem środowiska zewnętrznego.

W trzecim rozdziale opisano metodykę badań. Przedstawiono w nim założenia i program badań doświadczalnych, zastosowane materiały oraz specyfikacje badanych betonów. Opisano wykorzystywane metody badań cech fizycznych i wytrzymałościowych oraz badań mikrostruktury i składu fazowego betonu. Określono też metody analizy statystycznej zastosowane do opracowania opisu matematycznego badanych właściwości oraz optymalizacji tego modelu.

Problematyka trzech kolejnych rozdziałów, tj. 4, 5 i 6 ma dość nietypowy układ jeśli chodzi o prace doktorskie, stopniuje bowiem zakres badań od bardzo szczegółowych do wdrożenia ich wyników do praktyki na trzecim etapie rozważań.

Czwarty rozdział zawiera zatem wyniki badań podstawowych dla wnioskowania o wpływie emulsji bitumicznej na właściwości fizyczne betonów cementowych takich jak: wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość, wodoszczelność, skurcz, moduł sprężystości i porowatość a także wyniki badania mikrostruktury, składu fazowego i identyfikacji składników krystalicznych w kompozytach cementowych modyfikowanych emulsją bitumiczną. Do oceny wpływu emulsji bitumicznej na mikrostrukturę kompozytów cementowych zastosowano porozymetrię rtęciową, dyfraktometrię rentgenowską, termiczną analizę różnicową i mikroskopię skaningową.

W piątym rozdziale przedstawiono wyniki dalszych badań własnych i ich analizę statystyczną. Do udowodnienia postawionej tezy i realizacji założonych celów zaplanowano doświadczenie trójczynnikowe z wieloma poziomami zmienności i dokonano statystycznej oceny wpływu badanych czynników na właściwości fizyczne mieszanki oraz stwardniałego betonu. Do oceny wpływu badanych czynników na właściwości mieszanki i stwardniałego betonu przyjęto funkcję w postaci wielomianu drugiego stopnia, co pozwoliło na określenie związków między wszystkimi wielkościami wejściowymi a wielkością wyjściową. Wielkościami wyjściowymi w eksperymencie były: konsystencja mieszanki, zawartość powietrza w mieszance, gęstość objętościowa mieszanki, gęstość objętościowa kompozytu cementowego, nasiąkliwość wagowa kompozytu cementowego wodą, wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach, wytrzymałość na ściskanie po 120 dniach, wytrzymałość na ściskanie po 200 cyklach zamrażania i rozmrażania, mrozoodporność po 200 cyklach zamrażania i odmrażania oceniana na podstawie spadku wytrzymałości na ściskanie.

Optymalizowaną cechą była mrozoodporność betonu po 200 cyklach zamrażania i rozmrażania. Analiza statystyczna wyników badań własnych umożliwiła Autorowi opracowanie receptur mieszanek betonowych właściwych do zastosowania na konkretnej budowie.

Rozdział szósty, dość nietypowy dla prac doktorskich, obejmuje wdrożenie do praktyki budowlanej przez Autora własnych koncepcji poprzez Jego udział w projekcie i badania terenowe związane realizacją nawierzchni drogowych oraz nawierzchni placu manewrowego na terenie terminala kontenerowego. Pobrane w trakcie realizacji próbki poddano badaniom wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu, nasiąkliwości, wodoszczelności, mrozoodporności i ścieralności. Porównano wyników badań z wynikami otrzymanymi dla takich samych składów lecz bez emulsji bitumicznej.

W podsumowaniu oceniono stopień realizacji celu badań i sformułowano wnioski.

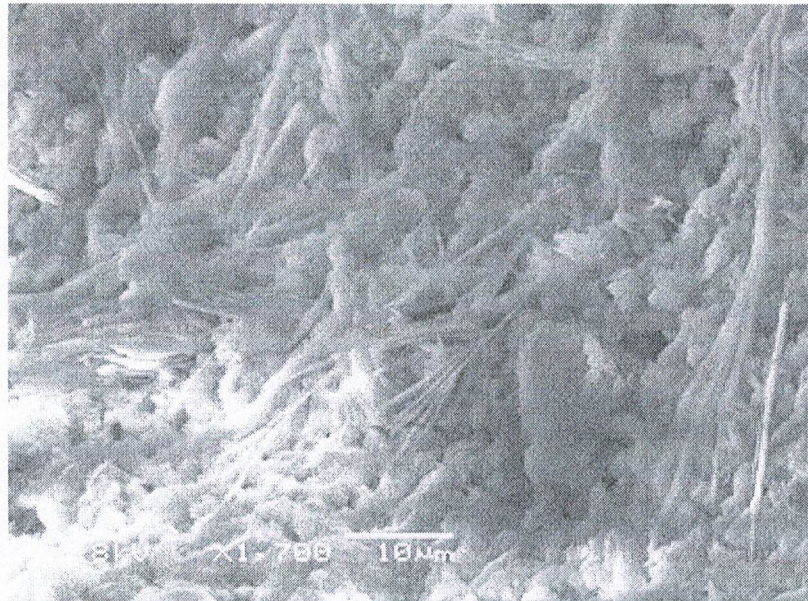
4. Uwagi ogólne i dyskusyjne

4.1. Aspektom uzyskiwania mrozoodporności betonu Autor poświęca wiele uwagi, gdyż zamierza udowodnić wyższość modyfikacji betonu za pomocą emulsji bitumicznej w stosunku do zabiegów tradycyjnych (szczelność, napowietrzanie). Jednakże badania i analizy zawarte w rozprawie dotyczą w zasadzie laboratoryjnej oceny i prognozy mrozoodporności betonu i w tym zakresie Autor przeanalizował wszystkie znane dotąd z literatury lub praktyki sytuacje . Podejście do diagnozowania może się jednak zmienić, o ile praktyka inżynierska wskaże na konieczność wyjaśnienia niestandardowych przypadków, związanych z określonymi realizacjami. Z sytuacją taką mieliśmy ostatnio do czynienia w Polsce z racji wybudowania w krótkim przedziale czasu ponad 1500 wiaduktów drogowych. W wielu z nich stwierdzono niedotrzymanie warunku mrozoodporności F150 mimo spełnienia warunku napowietrzenia betonu. Pan Prof. Jerzy Wawrzeniuk w swojej monografii („Metody badania i prognozowania mrozoodporności betonu” , Wyd. PŚ, 2017) pisze w związku z tym, że zawsze rozpatrywać należy całokształt zjawisk kształtujących mrozoodporność w następstwie różnego rodzaju naprężeń wewnętrznych występujących na poszczególnych poziomach struktury. Rysy i mikrospeknięcia mogą występować w strefie kontaktowej kruszywo-zaczyn, wewnątrz zaprawy i wewnątrz ziaren kruszywa. Niedoceniana dotąd rola mikrozarysowań betonu obniżających mrozoodporność była przedmiotem dyskusji i publikacji profesorów: Lech Czarnecki, Wiesław Kurdowski, Jan

Deja, Jan Małolepszy, Kazimierz Flaga, Wojciech Radomski, Jacek Śliwiński i Józef Jasiczak. W latach 2012 – 2016 autor tej recenzji wykonał także ekspertyzy kilkunastu wiaduktów drogowych betonowanych w zimie w rejonie Gniezna, Rawicza, Łodzi i Rzeszowa. We wszystkich przypadkach uzyskano podobne wyniki : znaczący spadek wytrzymałości betonu po 150 cyklach zamrażania, przyrost masy, liczne zarysowania próbek wypełnione białymi związkami. Zjawisko dotyczyło zarówno próbek uformowanych podczas betonowania jak i próbek rdzeniowych pobranych z konstrukcji. Wymieniony wyżej Zespół dokonał analizy takich przypadków publikując artykuł „Mrozoodporność betonu w konstrukcjach mostowych ” (BTA, 1/2015, przedruk Builder 2016). Sformułowano tam pogląd, że podczas betonowania w okresie zimowym masywów wiaduktów drogowych i stosowaniu wysokokalorycznych cementów występuje wysoki gradient temperatury powodujący nie tylko wyraźne zarysowania konstrukcji ale także mikrozarysowania matrycy cementowej. W normowym teście mrozoodporności przy pełnym nasyceniu próbek wodą następuje cykliczne wypełnianie mikrorys wodą na przemian ze zjawiskiem powstawania soczewek lodowych , by po około 80 cyklach zamrażania-rozmrażania (czyli pewnego mikropompowania) występuje destrukcja próbki betonowej (patrz monografia J. Wawrzeńczyka: s. 98, ”micro ice lence pump”) . Rozpuszczają się także zawarte w kamieniu cementowym związki wapnia , które kumulują się w mikrorysach, powodując ich białe zabarwienie. Z powodu rozluźnienia struktury betonu następuje spadek jego wytrzymałości.

Stąd pytanie do Pana mgr inż. Krzysztofa Falkowskiego : czy w sytuacji uprzednio opisanej dodawanie emulsji bitumicznej pozwoliłoby uzyskać mrozoodporność betonów wiaduktów drogowych betonowanych w zimie ?

4.2. Dla poparcia tezy o istotnym wpływie emulsji bitumicznej na właściwości betonu potrzebne byłyby obrazy tegoż betonu uzyskane za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego. Obrazy takie pokazano w maszynopisie rozprawy na rys. 4.14 do 4.17. Niestety nie widać na nich śladów i wpływów dotyczących emulsji bitumicznej. Nie zadawałbym tego pytania , gdybym w innym znanym mi przypadku nie uzyskał wyraźnego obrazu emulsji polimerowej w postaci „igiełek” wbudowanych w strukturę betonu (moi doktoranci : dr M. Januszewski, dr M. Kucz). Zdjęcie z mikroskopu skaningowego poniżej. Dodanie emulsji polimerowej w pewnym sensie uelastyczyło beton , co w badanych betonach drenażowych po zakończeniu obciążeń cyklicznych dało większą wytrzymałość w stosunku do wytrzymałości 28-dniowej oraz do wytrzymałości po zamrażaniu a także do betonów zwykłych. Wytrzymałość ta nieznacznie zmniejszała się przy większej liczbie zadanych cykli obciążeń, lecz nadal jej wartość była większa od wartości przed obciążeniem. Stwierdzono, że wytrzymałość



próbek uległa zwiększeniu na skutek przemieszczeń kruszywa ale bez naruszenia przyczepności do zaczynu otaczającego ziarna. Ziarna kruszywa zmieniły swe położenie pod wpływem działającej siły, co przyczyniło się do zagęszczenia struktury. Efekt ten wywołała włóknisto - sprężysta matryca betonu z dodatkiem dyspersji. Korzystny okazał się także wpływ dodatku emulsji polimerowej na przyczepność stalowych prętów zbrojeniowych do betonu, które w teście pull-out wykazywały większe przemieszczenia bez utraty przyczepności.

Powstaje więc pytanie o możliwość uzyskania bezpośrednich obrazów emulsji bitumicznej w betonie w odróżnieniu od otrzymanych metodami porównawczymi.

5. Ocena pracy

Przedmiot pracy ukierunkowano na opracowanie i wdrożenie technologii modyfikacji strukturalnej betonów cementowych emulsją bitumiczną. Czynniki zmiennymi w badaniach były : zawartość anionowej emulsji bitumicznej w stosunku do masy cementu ($x_1 - 0,00 \div 4,00\%$), zawartość upłynniacza na bazie eterów polikarboksyłanowych w stosunku do masy cementu ($x_2 - 0,00 \div 1,10\%$) i współczynnik wodno-cementowy w/c ($x_3 - 0,30 \div 0,44$). Przyjęto 17 kombinacji czynników x_1 , x_2 i x_3 i wyznaczono dla nich doświadczalnie wartości konsystencji, zawartości powietrza w mieszance, gęstości objętościowe mieszanki, gęstości objętościowe kompozytu cementowego, porowatości kompozytu cementowego, nasiąkliwości wagowe kompozytu cementowego, wytrzymałości na ściskanie po 28 i 120 dniach dojrzewania, wytrzymałości na ściskanie po 200 cyklach zamrażania (wg uzyskanej wytrzymałości i spadku wytrzymałości) a po przeprowadzonych obszernych badaniach laboratoryjnych opracowano opisy matematyczne tych zależności, które poddano weryfikacji statystycznej. Uzyskano liczne wykresy zależności dwóch

zmiennych by ostatecznie odpowiedzieć obliczeniowo na następujące pytanie : jakie muszą być wartości trzech rozpatrywanych zmiennych by mrozoodporność betonu, mierzona spadkiem wytrzymałości po procesie cyklicznego zamarzania była najkorzystniejsza dla jego trwałości. Uzyskano wynik : dla $\Delta y_{\min} = 4,43\%$ wartości zmiennych niezależnych kształtują się następująco : $x_1 = 3,25\%$, $x_2 = 0,88\%$, $x_3 = 0,345$.

Uzyskanie tak jednoznacznego wyniku w efekcie dobrze zaprojektowanego eksperymentu uważam za główne osiągnięcie doktoranta. Osiągnięcie to bezpośrednio rzutuje na w pełni pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej.

6. Wniosek końcowy

Oceniana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Falkowskiego ma dobre podstawy naukowe i szerokie możliwości aplikacyjne, co udowodniono w 6 rozdziale pracy. Stanowi samodzielnie wykonane opracowanie naukowe pod kierunkiem promotora będące oryginalnym rozwiązaniem problemu . Problematyka ta dotyczy możliwości i zakresu modyfikacji emulsją bitumiczną seryjnie produkowanego betonu.

O posiadaniu przez Kandydata ogólnej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie naukowej budownictwo świadczy umiejętność przygotowania planu i zrealizowania badań w stosunku do potrzeb przemysłu budowlanego oraz umiejętność wskazania (obliczenia) granic zastosowań modyfikacji. Kandydat posiadał także umiejętność samodzielnego prowadzenia badań laboratoryjnych i aplikacyjnych w ramach podjętej pracy naukowej.

Oceniając pozytywnie całość dokonań Pana mgr inż. Krzysztofa Falkowskiego oraz biorąc pod uwagę wymagania art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. Nr 65. poz. 595 z uwzględnieniem późniejszych zmian) stwierdzam, iż Rada Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej może skierować pracę do publicznej obrony.

Po pozytywnym przebiegu obrony pracy doktorskiej przed Komisją zamierzam złożyć na piśmie wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana Krzysztofa Falkowskiego.

