

prof. dr hab. inż. Paweł Łukowski
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Warszawska

Warszawa, 2020-10-19

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Piotra Brzozowskiego
p.t. „Wpływ ciśnienia hydrostatycznego na właściwości betonów podwodnych w okresie
dojrzewania”**

1. Podstawa formalna recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo nr N/AN/116/2020 z 16 września 2020 r., w którym Prorektor ds. Nauki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, pan prof. dr hab. inż. Jacek Przepiórski, informuje o powołaniu mnie przez Senat ZUT na recenzenta rozprawy doktorskiej jak w tytule.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pod tytułem „Wpływ ciśnienia hydrostatycznego na właściwości betonów podwodnych w okresie dojrzewania”, przygotowana na Wydziale Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie przez P. mgra inż. Piotra Brzozowskiego. Promotorem pracy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Elżbieta Horszczaruk.

Rozprawa liczy 187 stron, w tym 100 rysunków i 36 tablic. Spis cytowanych pozycji bibliograficznych obejmuje 158 pozycji literaturowych oraz 32 normy. Pracę uzupełnia 6 załączników, zawierających szczegółowe wyniki badań prowadzonych w trakcie realizacji pracy doktorskiej.

3. Ocena trafności podjęcia tematu, sformułowania celu oraz układu pracy

Podjęcie zawartej w pracy tematyki oceniam zdecydowanie pozytywnie. Betonowanie pod wodą stanowi dynamicznie rozwijający się obszar technologii betonu. Zarazem jest to zagadnienie trudne, zwłaszcza pod względem materiałowo-technologicznym. Mieszanka betonowa przeznaczona do układania pod wodą powinna bowiem spełniać szczególne wymagania, związane ze stosowaniem w środowisku wodnym; również beton stwardniały jest narażony na działanie specyficznych czynników wpływających na jego właściwości użytkowe i trwałość. Układanie betonu na większych głębokościach stanowi dodatkowe wyzwanie ze

względu na działanie znacznego ciśnienia hydrostatycznego. Z drugiej strony, jak zauważył Autor we Wprowadzeniu, „badania wpływu ciśnienia hydrostatycznego na właściwości betonów cementowych są nieliczne”, co słusznie przypisuje on brakowi odpowiedniej specjalistycznej aparatury, pozwalającej na symulowanie w laboratorium warunków betonowania pod wodą, zwłaszcza pod działaniem znacznego ciśnienia hydrostatycznego. Fakt, że Laboratorium Wydziału Budownictwa i Architektury ZUT dysponuje takim unikatowym wyposażeniem, rodzi uzasadnione oczekiwania prowadzenia w tym ośrodku zaawansowanych badań w zakresie betonowania pod wodą. Oceniana rozprawa doktorska dokumentuje istotny etap owych prac.

Betony przeznaczone do układania pod wodą zalicza się do betonów wysokowartościowych, a ich rozwój, wymuszany praktycznymi potrzebami inżynierskimi, stanowi istotny kierunek we współczesnej inżynierii materiałów budowlanych. Potrzeba prowadzenia w tym obszarze studiów i ich doświadczalnej weryfikacji jest więc niewątpliwa.

Celem pracy było określenie wpływu ciśnienia hydrostatycznego o wartościach od 0 do 0,5 MPa, działającego na beton w okresie jego dojrzewania, na podstawowe właściwości tego betonu, w tym zwłaszcza cechy mechaniczne: wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie przy rozłupywaniu po 7 i 28 dniach dojrzewania, a także przyczepność, szczególnie istotną w przypadku napraw konstrukcji podwodnych. Dokonano także analizy zmian w strukturze wewnętrznej betonów poddanych oddziaływaniu ciśnienia hydrostatycznego

Autor sformułował trzy tezy rozprawy, dotyczące wpływu ciśnienia hydrostatycznego na właściwości betonów układanych pod wodą. Pozwolę sobie zauważyć w tym miejscu, że w istocie można by je uznać za jedną, bardziej rozbudowaną i spójną wewnątrznie tezę, odnoszącą się w szczegółach (kolejnych punktach) do cech fizycznych, struktury porowatości i przyczepności betonów podwodnych. Niezależnie od kwestii redakcyjnych, sformułowane tezy uważam za trafne, a zakres pracy i podjęty w niej problem naukowy za odpowiednie w odniesieniu do rozprawy doktorskiej. Ich oryginalność wykazano przekonująco w przedstawionym w pracy obszernym studium literaturowym.

W rozprawie można wyróżnić część studialną (do rozdziału 4 włącznie) i eksperymentalną (od rozdziału 5, który zawiera szczegółowy opis wspomnianego wcześniej stanowiska do badań betonów podwodnych). Całość wieńczy rozdział zawierający uporządkowane wnioski, a także, co warto podkreślić, dalsze zamierzenia badawcze związane z tematyką rozprawy. W części studialnej Autor przedstawił aktualny stan wiedzy i techniki w zakresie betonów podwodnych. Opisał właściwości, metody badań i projektowanie składu mieszanek betonowych układanych pod wodą, w tym ich podstawowe składniki. Szczególną

uwagę, co zrozumiałe, poświęcił cechom, stanowiącym przedmiot badań opisanych w rozprawie, to znaczy cechom mechanicznym – wytrzymałości i przyczepności do podłoża. Ponieważ istotną część pracy doktorskiej poświęcono podwodnym betonom naprawczym, w części studialnej omówiono również trwałość betonów układanych pod wodą i metody napraw konstrukcji betonowych, w tym hydrotechnicznych. Powyższe analizy przekonująco uzasadniają zarówno zakres rozprawy, jak i wybrany przez Autora sposób rozwiązania postawionego problemu naukowego – program badawczy zarysowany we Wstępie.

Część badawcza zawiera opis przeprowadzonych badań w logicznym układzie: plan badawczy – materiały i metody – wyniki i ich analiza – wnioski. Oznaczano zbiór właściwości technicznych – technologicznych i użytkowych, charakteryzujących betony podwodne. Układanie mieszanek betonowych pod ciśnieniem hydrostatycznym o różnej wartości pozwoliło na szczegółową ocenę wpływu tego czynnika na badane cechy tworzywa.

Powyższy układ opracowania uważam za poprawny i logiczny. Odpowiada on przemyślanemu ciągowi działań, zmierzających ku rozwiązaniu podjętego problemu naukowego.

4. Ogólna ocena pracy, w tym metodyki badawczej i poprawności wnioskowania

Autor pracy w sposób kompetentny przeanalizował aktualny stan wiedzy i techniki w zakresie projektowania, wykonywania i układania betonu pod wodą. Wyniki tej analizy pozwoliły na sformułowanie zagadnienia badawczego o dużych walorach naukowych i inżynierskich. Następnie Autor przeprowadził obszerny program badawczy, którego poszczególne etapy ułożyły się w logiczny ciąg. Zastosowane podejście pozwoliło na uzyskanie satysfakcjonujących i użytecznych z praktycznego punktu widzenia rezultatów.

Wykazanie prawdziwości postawionych w rozprawie tez o wpływie ciśnienia hydrostatycznego na właściwości betonów układanych pod wodą uważam za wartościowe osiągnięcie badawcze, posiadające zarazem duży potencjał praktyczny.

Metody i techniki badawcze, zastosowane w trakcie realizacji programu badawczego, obejmowały zarówno typowe oznaczenia właściwości betonu (badanie konsystencji, zdolności do samozagęszczania, wytrzymałości, przyczepności, itp.), jak i narzędzia bardziej zaawansowane, takie jak skaningowa mikroskopia elektronowa czy komputerowa analiza obrazu. Ze szczególnym uznaniem należy podkreślić wykorzystanie unikatowej w skali międzynarodowej aparatury przeznaczonej do badań betonów podwodnych w warunkach

działania ciśnienia hydrostatycznego. Dobór metod uważam za odpowiedni do zadania badawczego.

Przedstawione w rozprawie wnioski uważam generalnie za poprawne i zdyscyplinowane pod względem logicznym. Wnioski zawarte w końcowym rozdziale rozprawy opierają się na obszernym zbiorze wyników, które Autor uzyskał realizując ambitnie i szeroko zakrojony program badawczy. Należy podkreślić wnikliwość Autora, której dobrą ilustracją jest rozpatrywanie wpływu ciśnienia na właściwości betonu z uwzględnieniem lokalizacji badanej próbki w elemencie próbnym – część dolna lub część górna, co okazało się nadzwyczaj istotne w prowadzonych analizach, podobnie jak uwzględnienie w badaniach różnych sposobów przygotowania podkładu betonowego przed ułożeniem materiału naprawczego. Wnioski zostały sformułowane w sposób przekonujący, dobrze porządkując obfity zbiór wyników i analiz cząstkowych. Co istotne, wnioski te są poparte obszerną i zaawansowaną analizą statystyczną. Chciałbym tu zwłaszcza zwrócić uwagę na bardzo interesującą i zdecydowanie nietrywialną konkluzję dotyczącą obserwacji, że wpływ ciśnienia hydrostatycznego na przyczepność w złączu poziomym jest korzystny, a w pionowym – niekorzystny. Przedstawione wnioski są istotne nie tylko z poznawczego, ale także praktycznego – inżynierskiego punktu widzenia; należy zatem mieć nadzieję, że Autor rozprawy pokusi się w nieodległej przyszłości o takie właśnie, ściśle inżynierskie opracowanie uzyskanych wyników w formie wytycznych dotyczących projektowania mieszanek betonów przeznaczonych do wykonywania i naprawy konstrukcji na różnych głębokościach.

Podsumowując tę część recenzji, stwierdzam, że Autor wykazał się umiejętnością formułowania problemu naukowego, samodzielnego planowania i prowadzenia prac badawczych, analizy wyników prowadzącej do sformułowania przekonujących wniosków oraz prezentacji rezultatów. Ogólnie rozprawę doktorską Pana mgra inż. Piotra Brzozowskiego oceniam więc zdecydowanie pozytywnie. W następnym punkcie przedstawiam natomiast szczegółowe uwagi krytyczne i dyskusyjne, które nasuwają się podczas lektury pracy.

5. Uwagi krytyczne

W rozprawie można znaleźć stwierdzenia, które wymagają odautorskiego komentarza:

- na str. 17 czytamy, że „w większości badań obserwowano pogorszenie strat wypłukania mieszanek UWC” (w obecności popiołu lotnego), ale zaraz potem „zastosowanie popiołu lotnego w składzie betonów podwodnych zwiększa szczelność”. Te dwa stwierdzenia wydają się ze sobą niezgodne;

- na str. 25 wśród przyczyn spadku wytrzymałości na ściskanie betonów modyfikowanych polimerami nietrafnie wymieniono zwiększoną porowatość strefy kontaktowej zaczyn-kruszywo. Strefa ta w kompozytach polimerowo-cementowych jest z reguły zagęszczona i mniej porowata – to jeden z mechanizmów prowadzących do lepszej szczelności oraz poprawy wytrzymałości na rozciąganie i zginanie materiałów PCC;
- na str. 43 Autor zawarł kategorię stwierdzenie, że w ostatnich 20 latach nie powstały w Polsce żadne obiekty hydrotechniczne. Chciałbym jednak zwrócić uwagę, że choćby gazoport w Świnoujściu ukończono w roku 2015, a rozbudowę móla w Międzyzdrojach o 275 m – w roku 2004;
- na str. 80 wymieniono trzy cementy (CEM I 42,5 R; CEM I 42,5 N – HSR/NA; CEM III/A 42,5 N), rozpatrywane jako potencjalne spoiwa w programie badawczym. Wyjaśniono, dlaczego na tym etapie odrzucono CEM I 42,5 R, ale wyjaśnienie, dlaczego odrzucono CEM III nie jest przekonujące – jeśli, jak pisze Autor, chodziło o to, żeby cement nie zawierał dodatków, to dlaczego w ogóle brano ten cement pod uwagę i wykonywano zawierające go zaroby próbne?
- analiza wyników badań przyczepności jest wnikliwa i dogłębna, zawiera jednak pewne luki. Na przykład na str. 138, omawiając rys 9.13 (i podobnie dalej rys 9.14), nie skomentowano interesującej obserwacji, że w przypadku podłoża piaskowanego obserwuje się paraboliczną, nie monotoniczną, zależność przyczepności od ciśnienia, z minimum przy 0,2-0,3 MPa i maksimum przy 0 i 0,5 MPa, przy czym przyczepność przy 0,5 MPa jest właściwie równa tej przy braku ciśnienia hydrostatycznego.

W rozprawie znalazły się również pewne nieścisłości terminologiczne, na przykład:

- w tabl. 2.1 na str. 16 występuje określenie „dyfuzja temperatury”. Dyfuzja to proces samorzutnego rozprzestrzeniania się cząstek lub energii w danym ośrodku. Temperatura nie jest cząstką ani energią, lecz parametrem termodynamicznym, zatem nie podlega dyfuzji;
- na str. 52 występuje „emulsja lateksowa” – jest to termin wewnętrznie sprzeczny. Polimer może występować w postaci emulsji (zawiesiny kropelek cieczy w innej cieczy) albo lateksu (zawiesiny cząstek ciała stałego w cieczy).

Niektóre fragmenty rozprawy zdradzają pośpiech w przygotowaniu, prowadzący do niewystarczająco starannej redakcji:

- na str. 21 występuje odnośnik literaturowy oznaczony niewystępującym w spisie literatury symbolem [LX];
- rys. 3.2 na str. 41 ma nietrafny podpis. Rysunek ten odnosi się do betonu jako takiego, nie do betonu w konstrukcjach hydrotechnicznych;

- na str. 53 występuje błędne cytowanie – mowa jest o Normie Europejskiej EN 1504, a przywołany jest dokument Amerykańskiego Instytutu Betonu [3];

Wreszcie, nadmierne zawierzenie autokorekcie wykonywanej przez edytor tekstu prowadzi w kilku miejscach do efektów niezamierzenie zabawnych, na przykład:

- na str. 40 występuje „przedawniono” zamiast przedstawiono;
- na str. 157 czytamy o próbce „regencyjnej” zamiast referencyjnej;
- na str. 165 wyznaczono „portery” zamiast parametrów.

Wskazanie występujących w pracy niedoskonałości jest obowiązkiem recenzenta. Nie zmieniają one mojej generalnie pozytywnej opinii o rozprawie doktorskiej P. mgra inż. Piotra Brzozowskiego. Główną intencją jest tu pomoc w doskonaleniu warsztatu naukowego i publikacyjnego Autora, którego dalsza ścieżka kariery zawodowej będzie, jak mam nadzieję, związana z podjętą w rozprawie tematyką.

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska P. mgra inż. Piotra Brzozowskiego pt. „Wpływ ciśnienia hydrostatycznego na właściwości betonów podwodnych w okresie dojrzewania” stanowi, moim zdaniem, wartościowe osiągnięcie naukowo-badawcze w dziedzinie inżynierii materiałów budowlanych, o istotnym i wyraźnie zaakcentowanym znaczeniu praktycznym.

Autor sformułował oryginalny problem naukowy i przedstawił jego rozwiązanie. Wykazał się odpowiednią wiedzą teoretyczną z zakresu inżynierii materiałów budowlanych, a także umiejętnością samodzielnego planowania i prowadzenia badań naukowych. Przeprowadzona analiza wyników badań jest prawidłowa i przekonująca, a wyciągnięte na jej podstawie wnioski zostały sformułowane poprawnie i potwierdzają osiągnięcie sformułowanego w pracy celu i tez rozprawy.

Zgodnie z Ustawą o tytule i stopniach naukowych z 14 marca 2003 r. (art. 13.1) rozprawa doktorska powinna **stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**, oraz **wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną** kandydata w danej dyscyplinie naukowej, a także **umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**. Stwierdzam, że w rozpatrywanym przypadku wymagania Ustawy zostały spełnione i wnoszę o dopuszczenie P. mgra inż. Piotra Brzozowskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

