

Prof. dr hab. inż. Jerzy Hoła  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław  
e-mail: [jerzy.hola@pwr.edu.pl](mailto:jerzy.hola@pwr.edu.pl)

Wrocław, 10 maja 2021 r.

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgra inż. Damiana Wojnowskiego**

**pt: „Skuteczność napraw konstrukcji betonowych prowadzonych w warunkach obniżonej temperatury z zastosowaniem zapraw polimerowo-cementowych”.**

### **1. Podstawy formalne opracowania recenzji**

Podstawy formalne opracowania recenzji stanowią: Uchwała nr 3/12/2020 Rady Naukowej Instytutu Techniki Budowlanej z dnia 17 grudnia 2020 roku, pismo z dnia 29 marca 2021 roku znak DZ-04647R:214/EB/18 podpisane przez Przewodniczącego Rady Naukowej ITB Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Garbacza, umowa o dzieło nr GF-1131-0012/2021/UDHO z dnia 29 marca 2021 roku podpisana przez Dyrektora Instytutu Techniki Budowlanej Pana dra inż. Roberta Geryło.

### **2. Przedmiot i zawartość rozprawy**

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgra inż. Damiana Wojnowskiego pt: „Skuteczność napraw konstrukcji betonowych prowadzonych w warunkach obniżonej temperatury z zastosowaniem zapraw polimerowo-cementowych”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz, a promotorem pomocniczym dr inż. Barbara Francke.

Recenzowana rozprawa ma charakter badawczy i liczy łącznie 176 stron, w tym załącznik liczący 47 stron, składa się z 12 rozdziałów i zawiera 63 rysunki oraz 82 tabele (w tym 57 w załączniku). Bibliografia zawiera łącznie 100 pozycji (Autor rozprawy jest współautorem 1 pozycji), w tym 15 pozycji stanowiących dokumenty normalizacyjne/procedury badawcze i 10 stron internetowych.

Rozprawę rozpoczyna streszczenie w językach polskim i angielskim.

Rozdział 1 zawiera krótki wstęp do rozprawy, po którym w rozdziale 2 sformułowano cel, zakres i tezę rozprawy.

W rozdziale 3 zamieszczono przegląd i analizę literatury dotyczącej napraw konstrukcji betonowych oraz wpływu obniżonej temperatury na skuteczność napraw. Wyszczególniono w tym rozdziale podrozdziały dotyczące, w kolejności: strategii napraw z uwzględnieniem trwałości konstrukcji betonowych, uszkodzeń i przyczyn ich powstawania, napraw konstrukcji betonowych i doboru wyrobów naprawczych, kompatybilności układu naprawianego, prowadzenia prac w warunkach obniżonej temperatury.

W rozdziale 4 dokonano analizy właściwości zapraw naprawczych dostępnych na rynku międzynarodowym, a w rozdziale 5 podano metodę doboru i charakterystykę badanych zapraw naprawczych.

W rozdziale 6 przeanalizowano warunki termiczne Polski i dobrano warunki realizacji badań, natomiast w rozdziale 7 zamieszczono opracowane na użytek badań własnych warunki dojrzewania symulujące nagłe nieoczekiwane obniżenie temperatury.

W rozdziale 8 przedstawiono plan eksperymentu.

W rozdziale 9, nazwanym metody badawcze, podano i opisano jakimi metodami i jak prowadzone były badania: wytrzymałości na ściskanie i na zginanie, modułu sprężystości przy ściskaniu, przyczepności, składu fazowego, rozkładu porów, mikrostrukturalne. Rozdział ten zakończono informacją na temat niepewności pomiarów.

W rozdziale 10 przedstawiono wyniki badań własnych, które następnie omówiono w rozdziale 11.

W rozdziale 12 sformułowano podsumowanie i wnioski.

Zasadniczą część rozprawy kończy zestawienie literatury, po którym umieszczono załącznik zawierający zebrane w formie tabelarycznej szczegółowe wyniki badań.

Po zapoznaniu się z recenzowaną rozprawą stwierdzam, że jej treść jest zgodna z trafnie sformułowanym tytułem. Przyjęty układ rozprawy jest prawidłowy, a uporządkowanie treści jest logiczne i czytelne. Rozprawa napisana jest dobrą polszczyzną, zilustrowano ją wystarczającą liczbą rysunków i tabel. Nie wnoszę krytycznych uwag do doboru i aktualności pozycji bibliograficznych.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

#### **3.1. Ocena doboru tematu i postawionego celu**

Przystępując do oceny doboru tematu rozprawy i postawionego celu rozpocznę od oczywistego stwierdzenia, że konstrukcje z betonu są projektowane na określony czas użytkowania. Nie oznacza to jednak, że w okresie tym nie ujawnią się w nich uszkodzenia wymagające naprawy. Powody powstania uszkodzeń mogą być różne, między innymi: niekorzystne zmiany w oddziaływaniach środowiska podczas użytkowania, nadzwyczajne oddziaływania pogodowe, nagłe zadziaływanie czynników mechanicznych takich jak przeciążenie czy uderzenie, a także pożar. W wielu sytuacjach, na przykład z uwagi na pilność naprawy podyktowaną troską o bezpieczeństwo użytkowania uszkodzonej konstrukcji, albo z

uwagi na rozległość i czasochłonność naprawy, albo też w sytuacji zaskakujących kilkudobowych zmian pogodowych skutkujących nieoczekiwanym obniżeniem temperatury otoczenia, prace naprawcze muszą być kontynuowane również w warunkach obniżonych temperatur.

Do napraw konstrukcji z betonu stosowane są bardzo często, z wielu powodów, wyroby naprawcze produkowane na bazie cementu modyfikowane polimerem. Te polimerowo-cementowe zaprawy, oferowane przez wielu producentów, mogą być stosowane w praktyce w stosunkowo szerokim przedziale temperaturowym, obejmującym również temperatury uznawane za obniżone. W przypadku zdecydowanej większości tych wyrobów dolna wartość graniczna obniżonej temperatury wynosi  $+5^{\circ}\text{C}$ , w nielicznych przypadkach  $+1^{\circ}\text{C}$ . Deklarowane dla tych zapraw przez ich producentów wartości podstawowych parametrów wytrzymałościowych określone są jednak w warunkach laboratoryjnych w wyższej temperaturze dojrzewania, oscylującej w przedziale  $19 - 23^{\circ}\text{C}$ . Dla wyrobów naprawczych wbudowanych w naprawiane konstrukcje i dojrzewających w temperaturach niższych od podanej wyżej, ale mieszczących się w dolnym zakresie dopuszczalnych podanym przez producenta, wartości tych parametrów mogą być znacznie niższe. Mogą też uwidaczniać się różnice w parametrach charakteryzujących strukturę tych wyrobów. Sumarycznie może to mieć znaczenie dla skuteczności dokonanej naprawy.

Aby uzyskać odpowiedź na pytanie o ile wartości ważnych parametrów wytrzymałościowych dla konkretnych zapraw naprawczych określone w konkretnych obniżonych temperaturach będą niższe od wartości deklarowanych przez producenta, a także w celu unaocznienia ewentualnych różnic strukturalnych, niezbędne jest wykonanie badań eksperymentalnych. Badania takie zostały właśnie przez Autora zaprogramowane i wykonane dla czterech wyselekcjonowanych zapraw naprawczych dojrzewających w obniżonej temperaturze, określonej na  $+8^{\circ}\text{C}$  na podstawie analizy wieloletnich danych temperaturowych dla wybranych miast w Polsce, z uwzględnieniem pięciu różnych cykli temperaturowych symulujących nagłe nieoczekiwane obniżenie temperatury otoczenia w różnym czasie dojrzewania, a uzyskane rezultaty niewątpliwie wypełniając lukę w literaturze poszerzają wiedzę dotyczącą tego tematu.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że temat recenzowanej rozprawy doktorskiej jest aktualny, interesujący poznawczo i aplikacyjnie, zasługujący na pozytywną ocenę, mający znaczenie w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Na pozytywną ocenę zasługuje również cel rozprawy, którym jest poznanie nieznanego wpływu obniżonej temperatury panującej w okresie dojrzewania na ważne parametry wyselekcjonowanych przez Autora zapraw naprawczych.

### **3.2. Teza pracy**

W rozprawie, w rozdziale 2 na s. 13, sformułowano następującą tezę: „stosowanie powszechnie dostępnych polimerowo-cementowych zapraw naprawczych w warunkach obniżonej temperatury, mieszczącej się w dolnym zakresie przyjętych zwyczajowo dopuszczalnych granic stosowania, wpływa na ich właściwości, co może obniżyć skuteczność przeprowadzanej naprawy konstrukcji betonowych”. Teza ta jest oryginalna i sformułowana

poprawnie, a zrealizowany zakres badań doświadczalnych i uzyskane rezultaty wraz z krytyczną ich analizą są wystarczające dla jej udowodnienia. Zdaniem recenzenta teza została udowodniona, a odpowiedzi potwierdzające jej prawdziwość zawarte są w rozdziale 12 (podsumowanie i wnioski).

### **3.3 Ocena wartości naukowej rozprawy**

Ocenę wartości naukowej rozprawy rozpoczynam od stwierdzenia, że zrealizowane przez Autora własne badania doświadczalne zostały zaplanowane właściwie, z punktu założonego celu. Metodyka zrealizowanych badań nie budzi w zasadzie większych zastrzeżeń. Metody badawcze i badania zostały wystarczająco opisane w rozdziale 9. Wnoszę jednak w tym miejscu do tych opisów następującą uwagę krytyczną, mianowicie, warto było wzbogacić je schematami albo/i fotografiami stanowisk badawczych dla lepszego udokumentowania i pełniejszego uwiarygodnienia wykonanych badań. Uzyskane rezultaty badań przedstawiono w rozprawie w sposób czytelny w formie graficznej w postaci wystarczającej liczby rysunków oraz tabel. W mojej opinii, przeprowadzona została poprawna interpretacja i krytyczna analiza uzyskanych rezultatów i wyciągnięte zostały poprawne wnioski szczegółowe.

Po analizie rozprawy uważam, że do głównych osiągnięć naukowych Autora można zaliczyć między innymi:

- opracowanie oryginalnego programu badań doświadczalnych i jego konsekwentne zrealizowanie,
- ilościowe wykazanie na drodze eksperymentalnej negatywnego wpływu obniżonej temperatury dojrzewania wynoszącej  $+8^{\circ}\text{C}$  na wytrzymałość na ściskanie i na zginanie dla wszystkich badanych polimerowo-cementowych zapraw naprawczych, w porównaniu z tymi samymi zaprawami dojrzewającymi w temperaturze referencyjnej wynoszącej  $+21^{\circ}\text{C}$ , a także ilościowe wykazanie jak kształtują się te wytrzymałości dla zapraw dojrzewających w różnych zmiennych warunkach temperaturowych,
- ilościowe wykazanie na drodze eksperymentalnej wpływu obniżonej temperatury dojrzewania wynoszącej  $+8^{\circ}\text{C}$  na przyczepność przy odrywaniu dla wszystkich badanych polimerowo-cementowych zapraw naprawczych, w porównaniu z tymi samymi zaprawami dojrzewającymi w temperaturze referencyjnej wynoszącej  $+21^{\circ}\text{C}$ ,
- ilościowe wykazanie na drodze badawczej, że porowatość całkowita badanych polimerowo-cementowych zapraw naprawczych dojrzewających w obniżonej temperaturze wynoszącej  $+8^{\circ}\text{C}$  jest wyższa w porównaniu z porowatością tych samych zapraw, ale dojrzewających w temperaturze referencyjnej wynoszącej  $+21^{\circ}\text{C}$ ,
- opisanie zależnościami matematycznymi korelacji pomiędzy wartościami wytrzymałości na ściskanie i na zginanie dla dwóch z czterech badanych polimerowo-cementowych zapraw naprawczych dojrzewających w obniżonej i w referencyjnej temperaturze.

### **4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne**

Podczas czytania rozprawy nasunęły mi się, w kolejności, następujące uwagi krytyczne i dyskusyjne różnej wagi oraz pytania do Autora.

- a) Moim zdaniem na początku rozprawy warto było umieścić spis ważniejszych oznaczeń, który przyczynił by się do uporządkowania przyjętych w tekście symboli oznaczeń.
- b) Rozdz. 3.3.2 powinien brzmieć: Rodzaje wyrobów naprawczych do napraw konstrukcji betonowych.  
W tym miejscu mam pytanie do Autora, co rozumie przez wyrób, a co przez materiał bo odniosłem wrażenie, że nazewnictwo to stosuje w rozprawie jako tożsame.
- c) Rysunki 23a i 23b powinny mieć numerację 23 i 24. Wg recenzenta na rys. 23 (obecnie 23a) warto było zamieścić podziały a) ÷ d), a pozostałe podziały należało zamieścić na rys. 24 (obecnie 23b).
- d) Charakterystykę badanych zapraw naprawczych M1 ÷ M4 podaną na s. 57–58 warto było przedstawić w tabeli, w układzie porównawczym, dla lepszej czytelności.
- e) W rozdz. 8 na s. 63 ostatnie zdanie drugiego akapitu nie jest dokończone i powinno brzmieć np. tak; ...poddano trzydniowemu wygrzewaniu w temperaturze +60°C, po którym także zbadano wytrzymałość na ściskanie i na zginanie.  
Ponadto, mam w tym miejscu pytanie do Autora odnoszące się do przyjętego wariantu dojrzewania zaprawy naprawczej w obniżonej temperaturze w połączeniu z kilkudniowym jej wygrzewaniem w stosunkowo wysokiej temperaturze wynoszącej +60°C. Czy wg Autora „wariant wygrzewania” w tak wysokiej temperaturze może mieć zastosowanie w praktyce budowlanej? Jeżeli tak, to proszę o podanie jakiegoś przykładu.
- f) W rozdz. 9.3 nie podano wymiarów próbek użytych do badań modułu sprężystości, a w rozdz. 9.4 nie podano wymiarów i liczby próbek użytych do badania przyczepności przy odrywaniu.
- g) Rozdz. 9.4 powinien brzmieć: Przyczepność przy odrywaniu, i to nazewnictwo powinno być stosowane w całej rozprawie. Ponadto użyte na s. 69 w 17wd określenie „reper” nie jest właściwe w kontekście badania przyczepności przy odrywaniu. Proszę też, żeby Autor podczas obrony rozprawy zaprezentował schemat i dokumentację fotograficzną z wykonanych badań przyczepności przy odrywaniu.
- h) W pkt. 10.1 kolejność podanych temperatur +21°C i +8°C powinna być odwrotna (temp. +21°C jest referencyjna)
- i) Dlaczego nie podano w rozprawie (w pkt. 10.1.2) wyników badań wytrzymałości na zginanie dla zapraw naprawczych M3 i M4, dla których podane zostały wyniki badań na ściskanie (pkt. 10.1.1, w tab.9). Przecież do badań tych użyto próbki beleczkowe o wymiarach 40x40x160 mm, które zanim poddane zostały badaniom na ściskanie musiały najpierw „przejść” próbę zginania.
- j) W tytule rozdz. 11.1 zapowiedziano przedstawienie zależności między wytrzymałością na ściskanie i na zginanie dla zapraw M1 i M2, natomiast rysunek 54 zamieszczony w tym rozdziale prezentuje zależność odwrotną. Ponadto na rys. 54 przyjęto nie stosowane obecnie oznaczenia wytrzymałości na zginanie i na ściskanie,  $R_f$  i  $R_c$ . Należało zastosować oznaczenia  $f_b$  i  $f_c$  (patrz poz. lit. 24). Identyczna uwaga dotyczy rys. 55 i ponadto rysunków 56 - 61.
- k) W zakończeniu rozprawy warto było sformułować perspektywy dalszych badań.

## 5. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Damiana Wojnowskiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego skuteczności napraw konstrukcji betonowych prowadzonych w warunkach obniżonej temperatury z zastosowaniem zapraw polimerowo-cementowych.

Temat recenzowanej rozprawy jest aktualny i interesujący poznawczo i aplikacyjnie, a sformułowany cel i teza są zasadne i oryginalne. Cel został osiągnięty, a teza udowodniona.

Autor rozprawy wykazał się wystarczającą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem mieszczącym się w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport, umiejętnością planowania eksperymentu i prowadzenia badań doświadczalnych. Zrealizował założony zakres badań, otrzymał oryginalne wyniki, przeanalizował je, krytycznie ocenił i sformułował poprawne wnioski. Świadczy to o Jego dobrym przygotowaniu, a także o umiejętności samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych.

Uwagi krytyczne zawarte w punkcie 4 recenzji nie obniżają wartości merytorycznej i ogólnej pozytywnej oceny rozprawy. Mają one charakter dyskusyjny i porządkowy i powinny być też użyteczne dla Autora przy przygotowywaniu artykułów do czasopism naukowych.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa ma znaczenie poznawcze i aplikacyjne i wnosi w przedmiotowym temacie twórczy wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa i transport.

**Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, iż recenzowana rozprawa spełnia w stopniu wystarczającym wymagania ustawowe stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie o tytule i stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku i może być dopuszczona do publicznej obrony, o co wnioskuję.**