

prof. dr hab. inż. Elżbieta Horszczaruk
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Dyktando 14/09/2023
DZIEKAN
Wydziału Inżynierii Lądowej
prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz
Szczecin, dnia 08.09. 2023 r.

WPRZYNEŁO

13.09.2023
484 2023

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamili Owczarskiej

pt.: „Właściwości betonu poddanego nagrzewaniu elektrooporowemu w konstrukcjach wykonywanych w warunkach obniżonej temperatury”

z dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych; dyscypliny: Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

Promotor: prof. dr hab. inż. Elżbieta Szmigiera

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną do wykonania niniejszej recenzji stanowią:

- Uchwała nr 772/2023 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 04.07. 2023 r.,
- Pismo Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 13.07.2023 r.

2. Charakterystyka ogólna rozprawy

Rozprawa ma charakter naukowo-badawczy i została przedłożona w formie zwartej publikacji Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej liczącej łącznie 276 stron. Praca składa się z 12 rozdziałów poprzedzonych streszczeniami w języku polskim i angielskim. Bibliografia obejmuje 258 pozycji zwartych oraz 33 normy i rozporządzenia. W głównym tekście pracy zamieszono 49 tabel i 85 rysunków.

W rozdziale pierwszym Doktorantka zarysowuje tematykę rozprawy, by w następnym rozdziale sformułować główne cele pracy, które dotyczą projektowania i realizacji procesu elektronagrzewu w konstrukcjach betonowych wykonywanych w warunkach obniżonej temperatury.

Rozdziały 3-7 stanowią część studialną rozprawy i obejmują analizę wpływu obniżonej temperatury na wiązanie i twardnienie mieszanki betonowej, podstawy teoretyczne nagrzewania elektrooporowego, zasady wykonywania i metody pielęgnacji konstrukcji betonowych oraz analizę metod oceny właściwości betonu w konstrukcji w warunkach obniżonej temperatury. W kolejnym ósmym rozdziale Doktorantka na podstawie przeglądu literatury dokonała dyskusji dotyczącej definicji warunków obniżonej temperatury oraz określenia minimalnego czasu pielęgnacji (utwardzania) konstrukcji w tych warunkach. Rozdział dziewiąty rozprawy zawiera badania własne Doktorantki, dotyczące wpływu stosowania obróbki cieplnej betonu metodą elektronagrzewu na zakładane projektowo cechy wytrzymałościowe betonu w konstrukcji. Pracę kończą podsumowanie i wnioski oraz autorskie wytyczne aplikacyjne stosowania technologii nagrzewania elektrooporowego. Ostatnim dwunastym rozdziałem jest bibliografia a pracę zamykają załączniki z wynikami badań w postaci wykresów i tabel (strony od 238 do 276).

Podsumowując stwierdzam, że układ rozprawy, kolejność prezentowanych wyników oraz poprawność językowa nie budzi zastrzeżeń. Bardzo obszerny przegląd literatury jest dobrze dopasowany do tematyki rozprawy.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Dobór tematu rozprawy jest konsekwencją zagadnień, z którymi Doktorantka miała styczność w pracy zawodowej, a dotyczyły one wykonywania konstrukcji betonowych w warunkach obniżonej temperatury. Podczas prowadzenia robót betonowych w obniżonej temperaturze należy stosować zabiegi, mające na celu zapewnienie optymalnych warunków dojrzewania betonu. Jedną z powszechnie stosowanych metod przyspieszających dojrzewanie betonu w konstrukcji jest elektronagrzew. Z doświadczeń własnych Doktorantki i analizy stanu wiedzy wynika, że brak jest aktualnych wytycznych i zaleceń, które umożliwiają prawidłowe zastosowanie tej metody przy wykonywaniu konstrukcji betonowych w warunkach obniżonej temperatury.

Głównym celem naukowym rozprawy było określenie wpływu zastosowania metody nagrzewania elektrooporowego na właściwości betonu dojrzewającego w warunkach obniżonej

temperatury. Doktorantka poddała analizie metody oceny właściwości betonu w konstrukcji, który dojrzewa w warunkach obniżonej temperatury. Szczególną uwagę poświęciła metodzie krzywej dojrzłości. Oprócz analizy stanu wiedzy w tym zakresie, Doktorantka opracowała plan i przeprowadziła badania, dotyczące wpływu stosowania obróbki cieplnej betonu metodą elektronagrzewu, na zakładane projektowo cechy wytrzymałościowe betonu w konstrukcji. Wartościową merytorycznie częścią pracy jest połączenie badań laboratoryjnych betonu z badaniami wykonanymi na elementach próbnych płyt stropowych oraz elementach płyty stropowej i ścianach wielokondygnacyjnego budynku. Opracowany program badań uwzględniał specyfikę i możliwości przeprowadzenia eksperymentu w warunkach placu budowy. W celu rejestracji przebiegu procesu obróbki termicznej oraz analizy rozkładu temperatury, Doktorantka wykorzystwała kamerę termowizyjną a w metodach analitycznych opierała się na metodzie krzywej dojrzłości.

Uzyskane wyniki z badań oraz przeprowadzona przez Doktorantkę bardzo szczegółowa analiza literatury pozwoliła na opracowanie oryginalnych wytycznych aplikacyjnych, umożliwiających efektywne projektowanie i realizację przebiegu procesu obróbki termicznej za pomocą elektronagrzewu (rozdział 11). Wytyczne te Doktorantka opracowała w oparciu o naukową analizę zjawisk zachodzących w betonie w okresie dojrzewania w warunkach obniżonej temperatury. Wykorzystała do tego celu teoretyczne podstawy opisu zagadnień fizycznych zachodzących w betonie, korzystając z zasad termodynamiki.

Warsztat naukowy Doktorantki zasługuje na bardzo wysoką ocenę. Przeprowadzony przegląd literatury jest niezwykle obszerny, ponad 250 publikacji trafnie wykorzystanych i przywoływanych, głównie w części studialnej rozprawy. Doktorantka analizuje dotychczasowy stan wiedzy, formułując trafnie wnioski z tego przeglądu, które stanowią podstawę własnych badań. Połączenie badań laboratoryjnych z badaniami elementów w warunkach rzeczywistych wskazują na wysoki poziom umiejętności i kompetencji badawczych Doktorantki. Dodatkowo na szczególną uwagę zasługuje fakt, że teoretyczna analiza problemu w połączeniu z uzyskanymi wynikami badań mają szerokie zastosowanie aplikacyjne, o czym świadczą wytyczne stosowania technologii nagrzewania elektrooporowego przedstawione w rozdziale 11 rozprawy. Sposób analizy wyników, ich prezentacja a także autorska klasyfikacja metod termicznych obróbki mieszanki betonowej wskazują na dojrzałość naukową Doktorantki i wysoki poziom jej wiedzy w zakresie w technologii betonu.

Podsumowując tę część recenzji, wiedzę teoretyczną, warsztat naukowo-badawczy Doktorantki i umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Nią badań oceniam wysoce pozytywnie.

4. Uwagi krytyczne i redakcyjne

Poniżej zebrano najistotniejsze uwagi krytyczne i redakcyjne:

- 1) Wyniki badań modułu sprężystości i wytrzymałości na ściskanie podane w tabelach od 9.4 do 9.6 (rozdział 9) powinny zawierać informację, że badania dotyczą właściwości próbek po 28 dniach dojrzewania. W analizie wyników badań wytrzymałości na ściskanie uzyskanych na próbkach pobranych z odwiertów rdzeniowych (tabela 9.4) brakuje przeliczenia wytrzymałości na ściskanie zgodnie z wymogami normy PN-EN 13791:2019-12 oraz analizy uzyskanych wyników z uwzględnieniem założeń tej normy.
- 2) Sformułowanie zawarte we wniosku 4 na str. 210, że w celu określenia wytrzymałości rzeczywistej betonu w konstrukcji należy, cytując: „prowadzić badania niszczące, także na próbkach o wymiarach normowych, ale dojrzewających w warunkach placu budowy” jest nieprecyzyjne. Wymóg pobierania próbek betonu towarowego w celu badania i oceny identyczności narzuca norma PN-EN 206. Próbki są przechowywane w warunkach placu budowy, jednak często nie są to te same warunki atmosferyczne w jakich dojrzewa beton w konstrukcji. Dlatego należało doprecyzować, że chodzi o warunki pogodowe (temperatura, wilgotność powietrza i prędkość wiatru), czyli próbki nie mogą być przechowywane np. w zamkniętym pomieszczeniu. Do określenia rzeczywistej wytrzymałości betonu w konstrukcji najbardziej miarodajne są odwierty rdzeniowe.
- 3) Dyskusyjne jest stwierdzenie Doktorantki we wniosku 8 na str. 211, że „stosowanie metody krzywej dojrzałości na budowie jest zbyt skomplikowane”. Badania własne opisane w rozprawie przez Doktorantkę wykonywane były w latach 2014-2015. Od tego czasu zanotowano znaczny postęp w aparaturze pomiarowej wykorzystywanej w diagnostyce konstrukcji betonowych. Urządzenia pomiarowe umożliwiające monitoring dojrzewania betonu w konstrukcji w połączeniu z badaniami laboratoryjnymi i symulacjami numerycznymi pozwalają na określenie możliwego terminu rozpoczęcia procesu sprężania konstrukcji. Metodę dojrzałości z powodzeniem stosuje się w konstrukcjach mostowych.
- 4) W opisie procedury wyznaczania krzywej dojrzałości według ASTM C 1074-98 na str. 125 Doktorantka pisze, że: „Kolejne próbki poddawane są badaniom niszczącym w 1, 3, 7, 14 i 28 dniu, po dwie sztuki za każdym razem”. Próbki bada się po 1, 3, 7, 14 i 28 dniach.

- 5) Rys. 9.13 na str. 161 przedstawia próbki wykonane z odwiertów rdzeniowych, a nie jak opisano w tytule rysunku „Odwierty z elementów próbnych”.
- 6) Rys. 9.14 na str. 161 przedstawia próbki wykonane z odwiertów rdzeniowych a nie jak opisano w tytule rysunku „Odwierty z elementów próbnych przygotowane do badań niszczących”. Sam tytuł rysunku nie jest właściwy w odniesieniu do zdjęcia prawego, które przedstawia próbki już po badaniu niszczącym.
- 7) Podpisy pod rysunkami od 9.25 do 9.39 nie są sformułowane prawidłowo, stanowią bowiem część opisu wyników i ich analizę. np. podpis pod rys. 9.27 „W miejscach rozmieszczenia elementów konstrukcyjnych - ścian (tarcz) widać wychładzanie betonu poprzez elementy o znacznie niższej temperaturze, z prawej krawędź stropu”.
- 8) Str. 188 – „określenie zależności wytrzymałość na ściskanie - dojrzałość, dla danej mieszanki betonowej”. Tę zależność określa się dla betonu.
- 9) Na str. 212 Doktorantka zaleca cytując: „zmniejszenie odległości od krawędzi otworów, krawędzi stropu oraz przerw technologicznych”. W tym stwierdzeniu chodzi o odległość grzałek, co należy doprecyzować.
- 10) W całym tekście występują trzy pisownie w odniesieniu do równania Arrheniusa: Arrheniusa, Arrhenius’a i Arrheniusza. Ta ostatnia jest błędna. Doktorantka nie ustrzegła się zastosowania w tekście rozprawy redundantnych sformułowań takich jak „świeża mieszanka” (str. 139) czy „skład mieszanki betonowej na 1 m³ zarobu” (str. 156).
- 11) Spis publikacji jest opracowany prawidłowo, z pełnymi opisami. Natomiast zestawienie norm i aktów prawnych jest wykonane niezgodnie z przyjętymi w takich publikacjach zasadami.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Obróbka termiczna za pomocą metody elektronagrzewu daje możliwość przyspieszenia wiązania i twardnienia betonu, a więc pozwala stworzyć optymalne warunki dojrzewania betonu w obniżonej temperaturze. Powyższe zalety sprawiają, że metoda elektronagrzewu jest coraz częściej stosowana na budowach, jako podstawowy zabieg pielęgnacji betonu, w okresie jesienno-zimowym. Metoda ta była stosowana powszechnie w zakładach prefabrykacji w ubiegłym wieku do uzyskania możliwie szybko wysokiej wytrzymałości wczesnej pozwalającej na rozformowanie prefabrykatów. Wtedy też zostały opracowane w Polsce wytyczne jej stosowania.

Podjęta w rozprawie doktorskiej Pani mgr inż. Kamili Owczarskiej tematyka badań jest bardzo aktualna nie tylko w ujęciu naukowym, ale także aplikacyjnym. Metoda nagrzewania

elektrooporowego stosowana do pielęgnacji betonu w konstrukcji narażonej na działanie niskiej temperatury, jak wykazała Doktorantka wymaga odmiennego podejścia przy jej zastosowaniu niż to wynika z dotychczasowych starych wytycznych. Opracowanie zasad projektowania i przeprowadzania procesu nagrzewania elektrooporowego, z uwzględnieniem warunków prowadzenia robót w obniżonej temperaturze jest dużym osiągnięciem Doktorantki. W badaniach własnych do oceny jakościowej metody elektronagrzewu wykorzystwała metody termowizyjne. Do opisu zjawisk zachodzących w betonie przy zastosowaniu metody nagrzewania elektrooporowego Doktorantka wykorzystwała zasady termodynamiki.

Doktorantka zrealizowała obszerny zakres doświadczalnych badań własnych obejmujących badania laboratoryjne i poligonowe, stosując nie budzącą zastrzeżeń metodykę badań, a przedstawione w rozprawie wyniki badań i ich analiza są na wysokim poziomie. W moim przekonaniu wykazała się obszerną znajomością stanu wiedzy dotyczącą tematyki rozprawy oraz potwierdziła, iż posiada dobrą umiejętność planowania badań doświadczalnych i ich realizacji. Ponadto potrafi dokonać prawidłowej analizy dostępnej literatury i wyników z badań i na tej podstawie formułować trafne wnioski. Dowodzi to o dobrym przygotowaniu Doktorantki do samodzielnego prowadzenia prac badawczych.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Kamili Owczarskiej pt.: „Właściwości betonu poddanego nagrzewaniu elektrooporowemu w konstrukcjach wykonywanych w warunkach obniżonej temperatury” spełnia wszystkie warunki rozprawy doktorskiej, określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 ze zm.), wnoszę więc o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Z uwagi na aktualność podjętej w rozprawie tematyki, ponad przeciętny zakres analizy literatury oraz oryginalny plan i zakres zrealizowanych badań, a także wysoką jakość analiz i trafność formułowanych wniosków, wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Kamili Owczarskiej.

