

Recenzja spełnia wymagania formalne

Przewodniczący Rady Dyscypliny  
Inżynieria Lądowa i Transport

dr hab. inż. Marcin Stańka, prof. PŚ

Kielce, dnia 19.01.2022 r.

prof. dr hab. inż. Jerzy Wawrzeńczyk  
Politechnika Świętokrzyska  
Wydział Budownictwa i Architektury

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Bogdana Osetka pt.:  
„Kształtowanie odporności betonu na działanie mrozu we wczesnej fazie dojrzewania”

### 1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 25 listopada 2021 roku, na zlecenie Pana Przewodniczącego Rady dr hab. inż. Marcina Stańka, prof. PŚ pismem z dnia 26-11-2021 r.

### 2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedmiotem opinii jest rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Bogdana Osetka pt.: „Kształtowanie odporności betonu na działanie mrozu we wczesnej fazie dojrzewania”, której promotorem jest prof. dr hab. inż. Jacek Gołaszewski.

Rozprawa liczy 156 stron. Podzielona została na 5 rozdziałów, zawiera spis literatury oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Praca zawiera również 12 załączników dotyczących wyników pomiarów i analiz statystycznych. Bibliografia liczy 170 pozycji w tym 31 norm, zaleceń i ustaw.

W Rozdziale 1 (Wprowadzenie) Doktorant przedstawił tematykę dotyczącą oddziaływania ujemnych temperatur na młody beton i pojawiające się problemy z wykonawstwem robót betonowych w okresie zimowym. Przytaczając stan uregulowań prawnych funkcjonujących w różnych krajach zwrócił uwagę na odpowiedzialność kierownika robót za ryzyko wystąpienia wad i uszkodzeń betonu w wyniku jego przemrożenia.

Rozdział 2 liczący 44 strony dotyczy studium literatury i podzielony został na 5 mniejszych rozdziałów. W rozdziale 2.1 Doktorant zdefiniował pojęcie „przemrożenia” młodego betonu jako zjawisko jedno- lub wielokrotnego oddziaływania na niego ujemnej temperatury. Pojęcie to różni się więc od potocznie rozumianej „mrozoodporności” jako odporności dojrzałego betonu, o ukształtowanej strukturze, na cykliczne zamrażanie-rozmrażanie. Z tego punktu widzenia istotny jest skutek oddziaływania mrozu na przebieg i zakres natychmiastowych uszkodzeń betonu ale również późniejsze konsekwencje dla cech decydujących o trwałości elementu lub całego obiektu betonowego.

Doktorant omówił (rozdział 2.2) zagadnienia dotyczące wpływu temperatury na przebieg procesów hydratacji cementu, wpływu domieszek chemicznych pozwalających na przyspieszenie wzrostu wytrzymałości betonu. Następnie omówił procesy tworzenia się lodu w młodym betonie oraz mechanizmy decydujące o zniszczeniu dopiero formującej się struktury betonu.

W Rozdziale 2.3 omówiono metody pozwalające na ograniczenie skutków przemrożenia młodego betonu w tym zabezpieczenie betonu przed zamrażaniem poprzez zastosowanie

Biuro Dziekana

1

wpłynęło dnia 25.01.2022  
RDIT/23/2022  
nr ..... zat. ....

RDIT. 512. 4. 2022  
Wpłynęło dnia 24.01.2022 r.



cementów o wysokim cieple hydratacji, zastosowanie napowietrzenia oraz domieszek chemicznych przyspieszających wiązanie i twardnienie.

W Rozdziale 2.4 przedstawiono metody pozwalające prognozowaniu wytrzymałości betonu w zależności od przebiegu zmian temperatury w czasie wykorzystując m.in. funkcje dojrzałości oparte na pomiarze temperatury wewnątrz betonu. Omówiono również zastosowanie pomiarów ultradźwiękowych i oporności elektrycznej do oceny skutków przemrożenia.

Rozdział 3 poświęcono przedstawieniu celu i zakresu rozprawy doktorskiej, która ma charakter pracy eksperymentalnej.

Badania własne Doktorant przedstawił w Rozdziale 4, który jest najważniejszym rozdziałem rozprawy. Plan badań podzielono na badania wstępne, badania polowe i badania zasadnicze. Etap wstępnych badań poświęcony był określeniu wpływu wybranych czynników (domieszki przyspieszające, napowietrzenie mikrosferami polimerowymi, dodatkiem metakaolinu i zeolitu do mieszanek SCC) na przyrost wytrzymałości betonu poddanego przemrożeniu i ocenę możliwości uzyskania przez niego wytrzymałości wynoszącej minimum 5 MPa po 3 cyklach mrożenia. W podsumowaniu rozdziału stwierdzono, że żaden z analizowanych 8 wariantów nie zapewnił uzyskania zakładanej wytrzymałości a spadek wytrzymałości po 150-210 dniach dojrzewania na poziomie około 50%.

W Rozdziale 4.4 przedstawiono wyniki badań polowych na budowach, gdzie Doktorant wykonywał pomiary temperatury powietrza w okresie jesienno-zimowym, temperaturę mieszanek dostarczanych na budowę oraz kontrolował wytrzymałość betonu. Celem było wyznaczenie zakresu zmiany temperatury dobowej. Uzyskane wyniki posłużyły później do zaprogramowania cyklu zmiany temperatury w komorze zamrażalniczej, w której prowadzono badania mrożenia próbek młodego betonu.

Rozdział 4.5 zawiera badania zasadnicze - sformułowano tu cel i zakres badań, charakterystykę składu mieszanek oraz metodykę badań. Biorąc pod uwagę planowane później analizy statystyczne uzyskanych wyników przyjęto jako 3 zmienne wejściowe następujące czynniki: temperaturę dojrzewania +5 i +10 °C, rodzaj cyklu mrożenia: +5/+5 °C; +10/-5 °C; +5/-10 °C, liczbę cykli: 1,3 lub 7. Jako czynniki wyjściowe przyjęto: wytrzymałość na ściskanie i spadek wytrzymałości po 28 i 90 dniach dojrzewania, głębokość penetracji wody pod ciśnieniem, nasiąkliwość. Zastosowano analiza statystyczną ANOVA w celu oceny wpływu badanych czynników na zmienną objaśnianą. Opracowano również szereg modeli liniowej regresji wielorakiej do predykcji cech wyjściowych na podstawie zadanych wartości zmiennych wejściowych. W rozdziale 4.4.8 analizowano możliwość zastosowania pomiarów ultradźwiękowych do oceny skutków przemrożenia betonu.

Rozdział 5 zawiera wnioski otrzymane w analizie wyników badań.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy i uwagi krytyczne**

Rozprawa dotyczy zagadnień związanych z oddziaływaniem ujemnych temperatur na młody beton w kontekście możliwości powstania uszkodzeń struktury. Uszkodzenia te mogą istotnie wpływać na pogorszenie potencjalnej trwałości konstrukcji betonowej w okresie wieloletniej eksploatacji.



Problematyce projektowania betonu z punktu widzenia trwałości poświęcona jest norma PN-EN 206 przyjmując wartości graniczne składu w odniesieniu do przewidywanych warunków oddziaływania środowiska (klas ekspozycji), w tym klas dotyczących mrozoodporności XF. Zalecenia te nie dotyczą oddziaływania mrozu na młody beton. W Polsce istnieją w tym zakresie wytyczne ITB „Wykonywanie robót budowlanych w okresie obniżonych temperatur”. W literaturze światowej i praktyce od lat funkcjonuje pojęcie dojrzałości betonu, ekwiwalentnego czasu dojrzewania, które w zależności od czasu i temperatury dojrzewania pozwalają na predykcję wytrzymałości betonu. Sposób wyznaczania aktywności hydraulicznej danego cementu podano w normie ASTM C 1074-04. Istnieje obszerna literatura na ten temat, z której wynika, że sprawa nie jest taka prosta jak wynika z założeń metody. Współczynniki wyznaczone są zwykle dla temperatur dodatnich w dłuższym okresie dojrzewania.

Ogólnie przyjęta koncepcja rozwiązania problemu polega na wyznaczeniu czasu niezbędnego do uzyskania przez beton wytrzymałości krytycznej np. 5 MPa. Jednak na temat szacowania wytrzymałości betonu dojrzewającego w temperaturze  $+5/-5^{\circ}\text{C}$  informacji nie ma zbyt dużo, a oszacowanie czasu dojrzewania w tych warunkach obciążone jest znacznym błędem. Stosowane metody generalnie nie dotyczą określania zakresu uszkodzeń betonu w wyniku jego przemrożenia. W Instrukcji ITB przyjmowano, że jednokrotne zamrożenie betonu nie może powodować spadku wytrzymałości powyżej 50%. Zwykle nie są rozważane konsekwencje jakie niesie przemrożenie na pogorszenie właściwości betonu w wyniku pogorszenia szczelności i trwałości betonu.

Podejście Doktoranta polega na ocenie skutków przemrożenia betonu- możliwość powstawania uszkodzeń, ich zakresu i konsekwencji utraty trwałości betonu konstrukcyjnego w okresie późniejszej eksploatacji. Takie podejście uważam za nowe i oryginalne. Doktorant jednoznacznie wykazał, że przemrożenie powoduje nie tylko spadek wytrzymałości ale również przepuszczalności i nasiąkliwości, które mogą być uważane jako wskaźniki pogorszenia trwałości betonu. Przemrożenie młodego betonu powodują uszkodzenia o nieodwracalnym charakterze- jeżeli wystąpią po jednym cyklu to są widoczne nie tylko po 24 godz. ale również po 28 i 90 dniach. Beton nie jest w stanie zregenerować się nawet przy dobrej pielęgnacji.

Tematyka pracy jest ściśle związana z aktywnością zawodową Doktoranta, który jest inżynierem z wieloletnim doświadczeniem realizującym liczne, bardzo odpowiedzialne obiekty betonowe z zakresu budownictwa przemysłowego. Bez wątplenia starał się połączyć swoje doświadczenia z zainteresowaniami naukowymi. Część badań to badania polowe wykonane na placu budowy. Takie podejście uważam za jak najbardziej pożądane. Przedstawił swój pogląd na formalną stronę procesu budowlanego w okresie jesienno-zimowym oraz odpowiedzialność kierownika robót za ryzyko ewentualnego niepowodzenia.

Doktorant podjął się próby opracowania zależności pozwalających na szacowanie wytrzymałości oraz strat wytrzymałości na ściskanie betonu przemrożonego. Poszukiwał związków funkcyjnych zależnych od temperatury dojrzewania, liczby i rodzaju cykli mrożenia na efekty przemrożenia dla 4 wariantów składu betonu.



Uzyskane zależności w postaci funkcji regresji wielokrotnej wykazują dosyć znaczne rozrzuty wyników. Czy zdaniem Doktoranta są one wynikiem jakichś błędów i niedokładności pomiarów, czy też wynikają z natury zamrażanego betonu?

Rozwiązanie problemu naukowego wymagało opracowaniu odpowiedniego programu:

- doktorant przeprowadził badania polowe gdzie wyznaczył tempo i zakres zmiany temperatury- na tej podstawie zaprogramował cykl zmiany temperatury w komorze zamrażalniczej,
- dobrym pomysłem było przyjęcie początkowej temperatury betonu na poziomie 5-10 °C, (spadek temperatury nie zaczyna się od 20 °C, która zwykle jest w laboratorium),
- Doktorant podjął próbę oceny istotności czynników wejściowych (metody napowietrzenia, dodatki) na skutki przemrożenia dla późniejsze właściwości istotne dla trwałości betonu stosując metody statystycznej analizy danych..

Wytrzymałość na ściskanie betonu nie jest najlepszym wskaźnikiem zachodzących zmian i uszkodzeń mrozowych. Z badań mrozoodporności (dojrzałego betonu), przeprowadzonych w latach 60-tych, wynikało, że do miarodajnej oceny potrzeba co najmniej 9 próbek.

Trudno jest jednoznacznie ocenić wpływ poszczególnych czynników metodą analizy regresji liniowej (wielorakiej) podobnie jest przy analizie nasiąkliwości i przepuszczalności. W analizie liniowej regresji zakłada się, że pomiędzy czynnikami występuje zależność proporcjonalności. Niski współczynnik korelacji nie wyklucza sytuacji, że w danym przypadku mogą występować zależności o charakterze krzywoliniowym. Czy Doktorant brał to pod uwagę?

### Uwagi szczegółowe

Str. 110- w5g „w oparciu o losowe parametry temperatury dojrzewania, mrożenia i ilości cykli” – co Autor miał na myśli mówiąc o losowości tych parametrów skoro w badaniach własnych były one ściśle zdeterminowane.

Autor wielokrotnie używa określenia „ilość cykli” – cykle są policzalne więc poprawne jest „liczba cykli”.

Czy Doktorant rozważał zastosowanie metody UPV do szybkiej oceny skutków uszkodzenia betonu tuż po jego przemożeniu? (90 dni to termin dosyć odległy od momentu powstania uszkodzeń).

Str. 138 –błędne sformułowanie tytuł rozdziału -„Pomiary rejestracji temperaturowej ... ”- Punkt 4.4.9 dotyczy spraw technicznych związanych z charakterystyką komory chłodniczej więc powinien być umieszczony wcześniej w sekcji „Metodyka badań” w nawiązaniu do wyników badań polowych. Autor podkreśla dobrą zgodność charakteru zmian temperatury w komorze w stosunku do warunków naturalnych. Próbki zamrażane były w formach metalowych lub plastikowych- jaki to miało wpływ na szybkość zamrażania betonu w obu przypadkach?

Rys. 109 – różnice w temperaturze próbek-kostek o boku 15 i 10 cm (na wykresie serie w kolorze niebieskim i czerwonym) wykazują różnice rzędu 2,5 °C – z jakiego powodu?

Str. 128 w6g – „z każdym cyklem nasiąkliwość spada” – chyba raczej zawartość wilgoci zmniejsza się.

Ogólnie można stwierdzić, że rozprawa napisana jest poprawnym językiem, chociaż spotyka się pewne niezręczne określenia i błędy literowe. Niektóre fragmenty tekstu dotyczące analizy wyników są dosyć skomplikowane i trudne w czytaniu.

Rozprawę doktorską mgr inż. Wojciecha Osetka oceniam pozytywnie.

Tytuł pracy „*Kształtowanie odporności betonu na działanie mrozu we wczesnej fazie dojrzewania*”, ma charakter ogólny i odpowiada wielowątkowej zawartości rozprawy.

Przedstawiony przegląd literatury jest wnikliwy i obejmuje szerokie spektrum zagadnień związanych bezpośrednio z tematyką pracy: wpływu temperatury na przebieg procesu hydratacji cementu, formowanie struktury, hipotezy dotyczące przebiegu procesów niszczenia struktury betonu na skutek zamrażania wody, metody ograniczenia skutków przemrożenia oraz metody szacowania wytrzymałości betonu na podstawie pomiarów temperatury w czasie.

Za najbardziej wartościowe elementy rozprawy doktorskiej wynikające z badań własnych Doktoranta uważam:

- Doktorant poprawnie zaprogramował swoje badania laboratoryjne- ustalił cykl zmiany temperatury w komorze zamrażalniczej na podstawie wyników badań polowe gdzie wyznaczył tempo i zakres zmiany temperatury,
- Autor wykazał, że uzyskanie w przeciągu kilkunastu godzin zakładanego warunku wytrzymałości 5 MPa jest trudne do uzyskania niezależnie od przyjętego wariantu modyfikacji składu betonu- wymagać będzie stosowania dodatkowych metod ochrony betonu przed działaniem mrozu. Korzystnie wpływa tu dłuższy okres dojrzewania betonu w wyższej temperaturze (+10 °C).
- jednoznacznie stwierdził, że przemrożenie powoduje nie tylko spadek wytrzymałości betonu, ale również przepuszczalności i nasiąkliwości, które mogą być uważane jako wskaźniki pogorszenia jego trwałości,
- przemrożenie młodego betonu powoduje uszkodzenia o nieodwracalnym charakterze- jeżeli wystąpią po jednym cyklu to są widoczne nie tylko po 24 godz., ale również po 28 i 90 dniach. Beton nie jest w stanie zregenerować się nawet warunkach dobrej pielęgnacji.
- wykorzystanie funkcji dojrzałości do predykcji wytrzymałości przemrożonego betonu jest mało skuteczną metodą, obarczoną znacznym błędem,
- analiza statystyczna wyników badań, chociaż w ograniczonym zakresie, daje pewne możliwości opisanie spadku wytrzymałości i pogorszenia nasiąkliwości i przepuszczalności betonu.

#### **4. Podsumowanie i wnioski końcowe**

Oryginalnym osiągnięciem Pana mgr inż. Wojciecha Osetka jest zaprogramowanie i wykonanie obszernego planu badań eksperymentalnych laboratoryjnych i polowych, które miały na celu wyjaśnienie i opisanie skomplikowanych zależności decydujących o zmianie właściwości betonu przemrożonego we wczesnej fazie dojrzewania oraz konsekwencje



przemrożenia dla późniejszej trwałości betonu w konstrukcji. Zamierzony cel naukowy pracy został w dużym stopniu osiągnięty.

Doktorant wykazał się dobrą znajomością wiedzy teoretycznej z zakresu dyscypliny objętej tematem rozprawy, umiejętnością planowania eksperymentu, analizowania wyników i wyciągania wniosków co jest warunkiem niezbędnym do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Sformułowane w recenzji uwagi nie obniżają w istotny sposób wartości pracy, a przedstawione komentarze mogą być przydatne w dalszej pracy naukowej Doktoranta.

Mając powyższe na uwadze stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Osetka spełnia warunki określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 r., Nr 65, poz. 595: z późniejszymi zmianami). Stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy pt. *„Kształtowanie odporności betonu na działanie mrozu we wczesnej fazie dojrzewania”* i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej.

