

Dr hab. inż. Jerzy Pasłowski, prof. PP

Poznań, dnia 20 stycznia 2022 r.

Zakład Inżynierii Produkcji Budowlanej

Instytut Budownictwa

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

Politechnika Poznańska

60-965 Poznań, ul. Piotrowo 5

Tel. 61 6652113, email: jerzy.paslowski@put.poznan.pl

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Bogdana OSETKA

pt. „Kształtowanie odporności betonu na działanie mrozu

we wczesnej fazie dojrzewania”

1. Podstawa formalna recenzji

Recenzję opracowano na prośbę Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej, Pana Profesora dr. hab. inż. Marcina Stańka datowaną dnia 26 listopada 2021 r, L.dz. RDILT/54/2020/2021.

2. Krótka charakterystyka rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Bogdana Osetka pt. „Kształtowanie odporności betonu na działanie mrozu we wczesnej fazie dojrzewania”. Promotorem rozprawy jest Pan Prof. zw. dr hab. inż. Jacek Gołaszewski z Politechniki Śląskiej w Gliwicach/Katowicach.

Przedstawiona do recenzji rozprawa składa się z 5 rozdziałów, które podzielić można na część wstępną (rozdział 1 i 2), część badawczą (rozdziały 3 i 4), oraz podsumowanie (rozdział 5). Ponadto opiniowana rozprawa obejmuje 160 stron oraz 11 obszernych załączników (A - wyciągi z norm, B - projektowanie receptur mieszanek betonowych do badań, C - analiza warunków klimatycznych, D - wyniki badań wstępnych wytrzymałości na ściskanie, E - pomiary ultradźwiękowe – w wersji elektronicznej, F- rejestracja temperatury i krzywe chłodzenia, G – wyniki badań wodoprzepuszczalności, H – wyniki badania nasiąkliwości, I – masy próbek, wytrzymałość na ściskanie, moduł dynamiczny, współczynnik Poissona, J – uzyskane krzywe z badań ultradźwiękowych, K – analiza statystyczna, tabela danych i wyciągi z analizy). Bibliografia rozprawy liczy 170 pozycji przy znacznym udziale pozycji anglojęzycznych. Rozprawę zakończono wykazem załączników i streszczeniem w języku polskim i angielskim.

20117.512.4.2022

Wykonano dnia 24.01.2022 r. 1

3. Merytoryczne omówienie rozprawy

Rozdział I poświęcono genezie tematu, co pozwoliło Autorowi na wykazanie silnej motywacji do działania wynikającej ze znajomości problemów wynikających z realizacji robót budowlanych (a w szczególności robót betonowych) w okresie jesienno-zimowym, które obejmują:

- Konieczność poniesienia dodatkowych kosztów (podgrzewanie betonu, jego modyfikacja, itp.),
- zwiększonego czasu dzierżawy deskowań (być może zwiększone koszty zastosowania deskowań specjalnych (choćby Autor o tym nie wspomina na tym etapie),
- zmniejszonej wydajności pracowników
- zastosowanie specjalnych rozwiązań (np. namioty grzewcze)
- ryzyko związane z występowaniem uszkodzeń mrozowych (łącznie z wyburzeniem i ponownym wykonaniem) itp.
- ryzyko umowne związane z wystąpieniem opóźnień (wstrzymanie robót, roboty poprawkowe itp.).

Autor zwraca także uwagę na sezonowy charakter produkcji budowlanej i jednocześnie dążenie przedsiębiorstw do utrzymania ciągłości produkcji pomimo spodziewanych utrudnień.

We wstępie za bardzo istotne uznać należy wskazanie na odmienne podejście do przedmiotowych zagadnień betonowania w różnych krajach. W Polsce za dominujące można uznać podejście do realizacji robót betonowych w niesprzyjających warunkach, przy czym dominujące jest w tym wypadku dążenie wykonawcy do realizacji robót, co pociąga za sobą zwiększone ryzyko.

Tymczasem w przypadku niemieckich warunków kontraktowych Autor wskazuje na zapisy i praktykę w budownictwie akceptacji dla postojów zimowych – dominuje podejście do ograniczania ryzyka i kosztów wynikających z realizacji prac w tym niesprzyjającym okresie.

Inne podejście Autor prezentuje na przykładzie standardu wewnętrznego (procedury) realizacji robót betonowych w okresie obniżonej temperatury (rys. 3 - strona 7), gdzie wskazano wyraźnie wymagania dla mieszanki betonowej dostarczonej na budowę (temperatura mieszanki od 16 do 32°C), a następnie – podczas dojrzewania – utrzymywanie temperatury dojrzewającego betonu na poziomie co najmniej 10°C przez 72 godziny od momentu ułożenia (w przypadku betonu na bazie cementu charakteryzującego się wysoką wytrzymałością wczesną okres ten może być skrócony do 24 godzin). W warunkach obniżonej temperatury należy – w myśl prezentowanej procedury – przewidzieć osłony lub izolację młodego betonu i – w razie konieczności – zastosować zewnętrzne źródło ciepła w celu zapewnienia odpowiedniej temperatury pielęgnacji.

Jak słusznie zauważa Autor takie wymagania/założenia nie mają pokrycia w powszechnej praktyce budowlanej. Na rysunku 4 (strona 9) przedstawiono problem odpowiedzialności za przemrożenie młodego betonu z punktu widzenia aktualnego stanu.

Autor słusznie sygnalizuje problem braku uporządkowania wiedzy w zakresie odporności betonu we wczesnej fazie dojrzewania. Autor sygnalizuje, że – pomimo licznych prac w tym zakresie – nie sprecyzowano dotychczas mechanizmów zniszczenia w tych warunkach, a

przede wszystkim nie istnieją choćby proste opisy matematyczne (np. równania regresji) umożliwiające szacowanie skutków uszkodzeń mrozowych (zwłaszcza w odniesieniu do skutków w zakresie trwałości. Autor stwierdza także niską przydatność na budowie dostępnych w literaturze funkcji i wskaźników dojrzałości – zwłaszcza w temperaturze ujemnej. Na zakończenie części wstępnej Autor wskazał na typową z punktu widzenia praktyki budowlanej tendencję do kwestionowania jakości robót betonowych przez inspektora nadzoru, inwestora czy kierownika budowy działającego z ramienia Generalnego Wykonawcy, realizowanych w warunkach obniżonej temperatury.

W związku z tym Autor wskazuje na konieczność usystematyzowania wiedzy w przedmiotowym obszarze nauki, zdefiniowanym jako zagadnienie odporności betonu na działanie mrozu we wczesnej fazie dojrzewania.

Bardzo pomocny w śledzeniu działań Autora zakresie krytycznego przeglądu literatury są rys. 5, 12 i 15. Przegląd stanu wiedzy obejmował szeroki zakres zagadnień związanych z następującymi zagadnieniami:

- mrozoodporność wczesna młodego betonu
- wpływ ujemnej temperatury na procesy dojrzewania betonu
- minimalizowanie wpływu ujemnej temperatury i skutków zamrożenia młodego betonu
- metody oceny mrozoodporności wczesnej

Ideę pomiaru temperatury zewnętrznej i wewnętrznej elementu betonowego przedstawiono na rysunku 15 (strona 54). Na szczególną uwagę zasługuje na tym rysunku wskazany problem sporu formalno-prawno-technicznego, zwłaszcza w przypadku braku dokumentacji i wynikającej z tego bardzo ograniczonej możliwości dochodzenia swoich roszczeń przez wykonawcę, który – w rezultacie – ponosi ryzyko podjętych działań w przedmiotowych warunkach.

Rozdział 2 zakończono cennym graficznym podsumowaniem, które jednoznacznie wskazuje na potrzebę dopracowania istniejących procedur zarówno w zakresie śledzenia rozwoju wytrzymałości w czasie, jak i monitoringu temperatury.

Rozdział 3 jest bardzo ważny, zawiera bowiem cel pracy, zdefiniowany jako:

1. Zweryfikowanie możliwości kształtowania odporności młodego betonu poprzez modyfikację jego składu na przemrożenie we wczesnej fazie dojrzewania wraz z oceną efektów tej modyfikacji w przypadku jednokrotnego i wielokrotnego przemrożenia niezabezpieczonego młodego betonu
2. Określenie wpływu przemrożenia betonu w ustalonym zakresie temperatury na wybrane właściwości betonu i ocena skutków przemrożenia
3. Weryfikacja przydatności wybranych funkcji dojrzałości betonu do przewidywania skutków przemrożenia betonu
4. Próba opracowania modelu matematycznego służącego do szacowania pogorszenia właściwości przemrożonego betonu
5. Weryfikacja nieinwazyjnej metody badania właściwości młodego betonu (UPV) w celu oceny skutków przemrożenia i spadku wytrzymałości.

W rozdziale 4 zawarto opis badań własnych (laboratoryjnych i polowych) z podziałem na wstępne i zasadnicze. Do śledzenia tych zagadnień bardzo pomocne są rysunki: 16 (strona 57) i 17 (strona 58). Na rysunku 16 Autor precyzuje rozważany okres oddziaływania obniżonej temperatury jako jesienno-zimowy i zimowo-wiosenny, co jest bardzo wartościowe, gdyż w wielu opisach używano jedynie określenia okres jesienno-zimowy. Być może warto było wskazać istotny element ryzyka pogodowego występującego w obu przypadkach jako problem wynikający przede wszystkim z nagłego spadku temperatury poniżej zera (typowe jesienne czy wiosenne przymrozki), co trudno było przewidzieć i dlatego młody beton został wystawiony na destrukcyjne oddziaływanie mrozu.

Za bardzo istotne uważam określenie celu badań wstępnych jako wskazanie najbardziej obiecujących kombinacji materiałowych betonu (z uwzględnieniem możliwości jego modyfikacji) zakładając uzyskanie wytrzymałości na ściskanie co najmniej 5 MPa (wytrzymałość mrozowa) przy wykonaniu 3 cykli mrożeniowych (strona 60). Przyjęcie od razu ujemnej temperatury (-5°C) w pierwszym cyklu wydaje się dość restrykcyjne przyjmując sprzyjające warunki atmosferyczne układania mieszanki betonowej jako czynnik przemawiający za wyeksponowaniem młodego betonu na oddziaływanie mrozu oraz minimalną początkową temperaturę mieszanki betonowej zgodnie z wymaganiami normowymi. Uzyskane wyniki (rysunek 21 Strona 63) wydają się interesujące, natomiast – być może warto było sprawdzić efekty zastosowania superplastyfikatorów oraz redukcji w/c.

Analizując wyniki badania wytrzymałości betonu na ściskanie dla betonu C35/45 mrożonego i referencyjnego (rysunek 23 strona 64) warto podkreślić przede wszystkim brak danych dotyczących początkowego okresu dojrzewania (osobiste doświadczenia pozwalały na badania po 1,5 doby = 36 h), jednak bardziej istotne jest stwierdzenie uszkodzenia struktury młodego betonu, które prowadzi do znacznego zaniżenia wytrzymałości betonu na ściskanie nie tylko po 7 czy 28 dniach, ale także po 150 dniach czy 210 dniach. Zaprzecza to często spotkanym opiniom, że wytrzymałość na ściskanie będzie rosła po rozmrożeniu i może osiągnąć wartości oczekiwane.

W zakresie badań polowych Autor przedstawił trzy przykłady realizacji robót betonowych z monitoringiem temperatury w okresie jesienno-zimowym w latach 2015/16, 2016/17 oraz 2018/19. Na podstawie danych meteorologicznych dotyczących temperatury dobowej minimalnej i maksymalnej można wyciągnąć wnioski, że uwzględnienie w procedurze badań laboratoryjnych trzykrotnego przemrożenia wydaje się bardzo restrykcyjne (oczywiście w przypadku elementów konstrukcji wystawionych na ekspozycję promieniowania słonecznego czy oddziaływania wody o zmiennym poziomie (np. konstrukcja śluzy) można zakładać

większą ekspozycję na cykle zamrażania/rozmarzania), jednak – z drugiej strony – czas uzyskania wytrzymałości mrozowej powinien być relatywnie szybki (poniżej 2 dób). Porównując wyniki przyrostu wytrzymałości betonu referencyjnego i wystawionego na działanie czynników zewnętrznych (rysunek 31 strona 71) można zauważyć straty w zakresie wytrzymałości na ściskanie betonu „zewnętrznego”, które nie są tak drastyczne, jak w przypadku badań laboratoryjnych (wspomniany już rysunek 23 strona 64).

Analizując wyniki zamieszczone na rysunku 35 (strona 72) można przede wszystkim zastanowić się nad wpływem współczynnika w/c (wynoszącego w tym wypadku 0,58) na efekty przemrożenia młodego betonu.

Za istotne uznać można następujące wnioski z tych badań:

- temperatura mieszanki betonowej dostarczonej na budowę wynosiła od 9 do 12°C,
- pomimo zastosowania domieszek przyspieszających wiązanie/twardnienie na dokumentach dostaw widnieje pieczęć o treści „chronić beton przed mrozem”, co potwierdza istotne znaczenie badanego zagrożenia,
- cykliczność zamrażania przy założeniu przejścia od -10°C do +10°C uznano za dobre odzwierciedlenie w laboratorium warunków panujących na budowie,
- niezwykle istotne jest badanie betonu poddanego oddziaływaniu otoczenia (na budowie) oraz w warunkach laboratoryjnych – badane próbki wykazują zredukowaną wytrzymałość w stosunku do betonu referencyjnego.

Naturalnie, w przypadku elementów masywnych problem przemrożenia może dotyczyć ewentualnie fragmentów elementu wystawionych na ekstremalne oddziaływanie środowiska.

Za wyjątkowo istotne należy uznać wykorzystanie wyników badań wstępnych w zakresie np. przyjęcia liczby cykli zamrażania w granicach od 1 do 7 – program badań zasadniczych zamieszczono w tabeli 11 – strona 77. Z punktu widzenia moich osobistych doświadczeń (w latach 1980-tych wykonywałem badania temperatury w dojrzewającym młodym betonie i jego otoczeniu przy wykorzystaniu mikrokomputera ATARI 800XL z przetwornikami analogowo-cyfrowymi i czujnikami własnej konstrukcji) na uwagę zasługuje zestaw do monitoringu przedstawiony na rys. 42 (strona 80) wraz z czujnikami DS18B20. Jak wynika z wyników badań (załącznik F) przemrożenie następowało z reguły po 720-840 minutach od rozpoczęcia obserwacji, co odpowiada 12-14 godzinom dojrzewania.

Docenić należy także trud podjętych badań ultradźwiękowych, co wymagało np. nakładania środka sprzęgającego, który musiał być nakładany na suchą powierzchnię (co w przypadku próbek wyjętych z komory zamrażarki generuje ryzyko zakłócenia pomiaru). Na zakończenie warto dodać, że badania obejmowały nie tylko wytrzymałość betonu na ściskanie, ale także: wodoprzepuszczalność betonu i jego nasiąkliwość. Istotnym było przeanalizowanie uzyskanych wyników, co ilustruje rysunek 52 (strona 92). W tym wypadku zastosowano metody ANOVA, MANOVA i analizę regresji wielorakiej, równanie regresji liniowej wraz z predykcją modelu.

W rozdziale 5 zestawiono interesujące wnioski:

- potwierdzono negatywny wpływ zamrożenia betonu we wczesnej fazie dojrzewania – przy czym negatywne efekty są widoczne nie tylko w odniesieniu do wytrzymałości betonu na ściskanie, ale także dotyczą wodoprzepuszczalności i nasiąkliwości badanego betonu, co wskazuje na trwałe uszkodzenie struktury betonu
- zastosowanie domieszek (ogólnie: modyfikacji materiałowych) pozwala na ograniczenie skutków przemrożenia betonu, lecz nie może zapobiegać uszkodzeniu betonu
- jednokrotne zamrożenie betonu powoduje jego uszkodzenie, niezależnie od modyfikacji
- obniżenie temperatury mrożenia nie wpłynęło na zakres uszkodzeń
- napowietrzenie betonu zmniejsza podatność betonu na przemrożenie, jednak obniża wytrzymałość betonu na ściskanie
- napowietrzenie nie zapobiega jednak pogorszeniu wodoszczelności betonu
- podobnie w przypadku napowietrzenia betonu mikrosferami: ogranicza to spadek wytrzymałości na ściskanie, jednak nie zapobiega pogorszeniu wodoszczelności betonu
- szczególnie istotne wydaje się negatywne oddziaływanie zamrożenia betonu na jego wodoszczelność. Zaistniałe trwałe uszkodzenie struktury betonu może się nie ujawniać na podstawie wyników badań wytrzymałości na ściskanie. Podobnie nasiąkliwość zwiększa się niezależnie od pogorszonej wytrzymałości
- Zastosowanie funkcji temperaturowych w przypadku betonów ekspozowanych na mroź ma ograniczenia i nie obrazuje w żadnym stopniu ewentualnych skutków

przemrożenia – nadaje się natomiast do szacowania wytrzymałości mrozowej/bezpiecznej

- Opracowano modele matematyczne umożliwiające oszacowanie utraty wytrzymałości na ściskanie, wodoszczelności betonu w zależności od warunków dojrzewania młodego betonu.
- Interesujące wyniki otrzymano przy pomiarach temperatury przemiany fazowej - określono ją na $-3,6^{\circ}\text{C}$ dla betonu z cementem siarczanowo-glinowym – jest ona znacząco niższa niż dla pozostałych betonów oraz informacji zaczerpniętych z literatury ($-1,0^{\circ}\text{C}$)
- Pomiary ultradźwiękowe UPV pozwalają na stwierdzenie wystąpienia uszkodzeń struktury młodego betonu, jednak procedura wymaga wcześniejszego oszacowania/określenia krzywej wzorcowej, co znacznie utrudnia praktyczne zastosowania.

4. Ocena celowości podjęcia tematu

Rozprawa spełnia wymagania zarówno pod względem ważności tematyki, jak i jej aktualności. Na szczególną uwagę zasługuje praktyczne podejście Autora, który motywację do realizacji tej rozprawy czerpał zarówno z literatury, jak i wykonanej w roku 2011 własnej pracy dyplomowej dotyczącej trwałości mrozowej betonu mostowego. Podkreślenia wymaga także wyjątkowo rozległa praktyka Autora w zakresie budownictwa betonowego i to zarówno w Polsce, jak i w Niemczech. Prawidłowe podejście do betonowania w warunkach obniżonej temperatury wymaga nie tylko podjęcia prawidłowej decyzji odnośnie rozwiązań materiałowych i technologicznych wynikających z aktualnej i prognozowanej sytuacji meteorologicznej (pogodowej), ale przede wszystkim musi umożliwiać śledzenie procesu dojrzewania betonu (ze szczególnym uwzględnieniem momentu osiągnięcia odporności mrozowej) oraz monitoringu temperatury otoczenia i przedmiotowego elementu betonowego.

Prawidłowa realizacja robót betonowych w warunkach obniżonej temperatury jest zagadnieniem istotnym z punktu widzenia nie tylko pojedynczej osoby (kierownika budowy) czy organizacji (podwykonawcy i generalnego wykonawcy), lecz przede wszystkim dla społeczeństwa z perspektywy trwałości budowanych obiektów budowlanych – np. dróg, mostów, kanałów melioracyjnych, placów składowych, zbiorników (np. paliw), elementów turbosopłów itp. Tradycyjne podejście opiera się na założeniu potwierdzenia uzyskania odpowiedniej wytrzymałości na ściskanie w przedmiotowym elemencie, a zagadnienie innych cech, np. trwałościowych wymagane jest w przypadku wyjątkowych obiektów (np. droga startowa itp.). Pomysł badania wpływu przemrożenia betonu o różnym składzie zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i polowych przy uwzględnieniu ujemnej temperatury (wraz z jej amplitudą i cyklicznością zmian) jako czynnika zmiennego determinującego destrukcję mrozową oraz modyfikacji materiału jako czynnika zmiennego zabezpieczającego lub minimalizującego skutki zniszczenia mrozowego uważam za bardzo cenną inicjatywę, a

budowę modeli matematycznych zależności utraty wytrzymałości na ściskanie i wodoszczelności betonu od warunków dojrzewania młodego betonu uznają za wyjątkowe osiągnięcie Autora.

5. Uwagi szczegółowe

Podczas lektury tej ciekawej rozprawy doktorskiej nasunęło się szereg spostrzeżeń i uwag. Pomijając drobne błędy (literówki itp.) skoncentrowano się na kilku najważniejszych zagadnieniach formułując 7 następujących pytań:

1. Często w rozprawie pojawia się hasło warunków jesienno-zimowych. Zakładam, że podobny problem pojawia się w okresie zimowo-wiosennym, kiedy nie występują typowe warunki zimowe (utrzymująca się temperatura otoczenia poniżej zera – 0°C). Czy Autor zechce skomentować swoje podejście w tym zakresie?
2. Czy Autor mógł wykorzystać swoje doświadczenia z obserwacji procesów betonowania w obniżonej temperaturze w latach 2009/10? – wydaje się, że charakteryzując warunki klimatyczne należy uwzględniać wystarczająco długi okres czasu (np. reprezentatywne 30-lecie). Czy Autor zechce skomentować cykliczne zmiany klimatyczne (wynikające z aktywności słonecznej) oraz wskazywaną tendencję do zmiany klimatu w Polsce oraz przedstawić swoją opinię na temat planowania robót betonowych z uwzględnieniem dynamicznie zmiennej sytuacji pogodowej?
3. Czy Autor w swojej praktyce budowlanej spotkał się (lub sam stosował) deskowania z możliwością zastosowania nagrzewu (lub inne tego typu rozwiązania)?
4. Jak Autor ocenia możliwości zastosowania elektronagrzewu betonu w praktyce budowlanej?
5. Jakimi kryteriami kierują się menedżerowie na budowie? Czy świadomie podejmują ryzyko betonowania w warunkach obniżonej temperatury nie dysponując zestawem do monitorowania temperatury zewnętrznej i wewnątrz betonowanej konstrukcji? Czy Autor może potwierdzić zwiększające się systematycznie zastosowanie monitoringu temperatury na budowie?
6. Co Autor sądzi o możliwości zastosowania materiałów zmiennofazowych, zwłaszcza w kontekście danych z rysunków 109 (strona 139) i 110 (strona 140)?
7. Czy Autor może podać praktyczne korzyści – najlepiej na podstawie konkretnego przykładu – zastosowania proponowanego podejścia na budowie. Osobiście jestem przekonany, że najprostsze rozwiązania są najlepsze – co Autor uważa za niezbędne dla sprawnego prowadzenia robót betonowych w warunkach obniżonej temperatury na budowie?

6. Wniosek końcowy

Przedstawiona przez Pana magistra inżyniera Wojciecha Bogdana Osetka rozprawa doktorska pt. „Kształtowanie odporności betonu na działanie mrozu we wczesnej fazie dojrzewania”

stanowi znaczące, wartościowe osiągnięcie Autora i wnosi oryginalny wkład do rozwoju wiedzy w dziedzinie technologii betonu.

Przedstawione w recenzji komentarze i pytania miały na celu polemikę i inspirację Doktoranta do dalszej aktywności badawczej. W recenzowanej rozprawie przedstawiono szereg interesujących, nowych i ważnych dla nauki obserwacji. Wszystkie zostały rzeczowo przedyskutowane w oparciu o bardzo dobrą znajomość licznych pozycji literaturowych oraz wyniki własnych badań laboratoryjnych i poligonowych. Po zapoznaniu się z treścią rozprawy jestem w pełni przekonany, że Doktorant jest dojrzałym naukowcem-praktykiem, zdolnym do planowania i prowadzenia eksperymentów, a także wnikliwej i prawidłowej interpretacji uzyskanych wyników. Na podkreślenie – moim zdaniem – zasługuje aktywność zagraniczna Doktoranta. Dzięki temu Doktorant znacznie poszerzył horyzonty swojej koncepcji – chciałbym podkreślić moje uznanie dla profesjonalizmu rozwiązań naszych Przyjaciół zza Odry (i współpracującego Doktoranta – TU Dresden oraz TH Deggendorf).

Rozprawa spełnia w moim przekonaniu wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawartym *art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789)*. Wobec tego wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Poznań, 20 stycznia 2022

