Gliwice, 04.09.2020r.

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Giergiczny
Katedra Mechaniki i Mostów
Wydział Budownictwa
Politechnika Śląska w Gliwicach

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mahmouda HSINO *„Zastosowanie materiałów zmiennofazowych do pielęgnacji betonu w warunkach klimatu zwrotnikowego suchego”*

1. Podstawa formalne opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowią:

- pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transportu Politechniki Poznańskiej (RD/d/04/01/2020) z dnia 17.07.2020r. informujące o powołaniu mnie przez Radę Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transportu Politechniki Poznańskiej na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Mahmouda HSINO ***„Zastosowanie materiałów zmiennofazowych do pielęgnacji betonu w warunkach klimatu zwrotnikowego suchego”***.
- rozprawa doktorska pt.: ***„Zastosowanie materiałów zmiennofazowych do pielęgnacji betonu w warunkach klimatu zwrotnikowego suchego”***. Politechnika Poznańska. Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu. Instytut Budownictwa, Poznań 2020.

Opinię opracowałem zakładając, że mgr inż. Mahmounda Hsino stara się o nadanie stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauki techniczne, w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa składa się z logicznie powiązanych ze sobą części zawierających:

- wprowadzenia zawierającego przyjęty cel i tezy rozprawy oraz przyjęte hipotezy badawcze,
- najważniejsze informacje literaturowe na temat przedmiotu podjętych badań tj. roli pielęgnacji betonu z uwzględnieniem warunków atmosferycznych panujących w klimacie gorącym i suchym,
- program badań, charakterystykę zastosowanych składników betonu oraz opis zastosowanych metod badań,
- wyniki badań własnych zamieszczone w rozdziałach 4, 5 i 6 obejmujące swoim zakresem metodykę badań w tym własne ulepszenia proceduralne (rozdział 4), analizę otrzymanych wyników własnych (rozdział 5) oraz ocenę przydatności proponowanej technologii pielęgnacji do zastosowania w warunkach klimatu zwrotnikowego suchego (rozdział 6),

- analizę uzyskanych wyników w postaci wniosków ogólnych oraz szczegółowych wraz z nakreśleniem dalszych obszarów badawczych.

Załączony do rozprawy spis literatury zawarty jest na końcu każdego rozdziału. W końcowej części rozprawy przedstawione są dwa załączniki uzupełniające wyniki badań zamieszczone w rozdziale 5 rozprawy.

3.Ocena rozprawy doktorskiej

Za cel zrealizowanej rozprawy doktorskiej autor przyjął ocenę skuteczności zastosowania substancji zmiennofazowych (PCM) jako efektywnego środka wspomagającego pielęgnację mieszanki betonowej w suchym i gorącym klimacie. Według doktoranta jest to jedna z metod wewnętrznej pielęgnacji betonu.

Doktorant postawił dwie hipotezy badawcze, które zamierzał udowodnić analizą wyników badań własnych.

1. Hipoteza I – zastosowanie substancji zmiennofazowych umożliwia osiągnięcia odporności (właściwej jakości wykonania obiektów, konstrukcji betonowych) przy betonowaniu w klimacie gorącym i suchym (przekroczenie bariery technologicznej).
2. Hipoteza II – do kluczowych cech substancji zmiennofazowych należy temperatura przemiany fazowej oraz ciepło tej przemiany.

Podjęty cel jest bardzo ważny dla właściwej zabudowy oraz wiązania i twardnienia mieszanki betonowej w konstrukcji lub elemencie betonowym. Można nawet postawić tezę, że element, czy konstrukcja betonowa, zawierająca cement wykonana z najwyższej jakości składników staje się praktycznie bezwartościowa, jeśli nie zadba się o jego prawidłową pielęgnację. W pełni zgadzam się z autorem rozprawy, iż niewłaściwie pielęgnowana mieszanka betonowa w konstrukcji (elemencie) betonowej, projektowanej na 50 lat i dłużej, może być trwała tylko przez okres 5 lat lub nawet krócej. Pomimo tego, że problem pielęgnacji wilgotnościowo-termicznej jest szeroko opisany w dostępnej literaturze specjalistycznej, to ciągle jest to jeden z podstawowych problemów na placu budowy. Jednym z czynników tego stanu rzeczy jest koszt wykonania tej operacji technologicznej.

Właściwa pielęgnacja polega na kontrolowaniu temperatury i migracji wilgoci zarówno z betonu, jak i do niego. Pielęgnację betonu przeprowadza się w celu: eliminacji skurczu plastycznego, zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości powierzchniowej betonu, zabezpieczenia przed szkodliwym działaniem czynników atmosferycznych (temperatury, wiatru) i zamarzaniem, zabezpieczeniem przed drganiami, uderzeniami lub uszkodzeniami.

Szczególnie betonowanie w okresie wysokich temperatur stwarza wiele problemów z związanych z wysoką temperaturą betonu, jak i z szybkim odparowywaniem wody z zabudowanej mieszanki betonowej. Podwyższona temperatura przyśpiesza proces hydratacji cementu (proces egzotermiczny) efektem czego jest krótszy czas wiązania betonu i szybkość narastania wytrzymałości. Wysoka temperatura dojrzewającego betonu w początkowej fazie dojrzewania może skutkować niższą wytrzymałością normową. Szybsze odparowywanie wody z mieszanki betonowej może stanowić utrudnienie w zachowaniu odpowiedniej konsystencji w

określonym czasie, co komplikuje proces zabudowy mieszanki w konstrukcji. Szybkie parowanie wody z mieszanki betonowej jest zazwyczaj powodem spękań i pęknięć także od skurczu plastycznego. Krytyczna szybkość parowania to 1,0kg/wody z m^2 powierzchni w ciągu godziny. Sytuację pogarsza także wiatr o szybkości powyżej 4,5 m/s.

Należy pamiętać, że temperatura wnętrza betonu nie powinna być wyższa niż 70°C. Sprawa znacznie się komplikuje w warunkach klimatu suchego i gorącego. Do takich warunków należy zaliczyć klimat na obszarze Syrii (średnie temperatury w zakresie 24°C÷45°C). Dlatego podjęty temat rozprawy jest ważny z naukowego i praktycznego punktu widzenia. Wnioski z jego realizacji mogą być także przydatne warunkach klimatycznych naszego kraju w okresie letnim, kiedy to w ostatnich latach obserwujemy występowanie dłuższych okresów wysokich temperatur dochodzących do 32°C÷36°C bez odpadów atmosferycznych.

Syntetyczna część literaturowa rozprawy została zawarta w rozdziale 2 i 3 (ok. 20% objętości rozprawy). W rozdziale 2 uwaga autora koncentruje się na podkreśleniu znaczenia pielęgnacji w kształtowaniu trwałości betonu oraz bardzo szczegółowym scharakteryzowaniu warunków klimatycznych Syrii. Natomiast w rozdziale 3 zostały podane metody pielęgnacji betonu z ukierunkowaniem na klimat suchy i gorący. Szczególnie dużo uwagi zostało poświęcone pielęgnacji wewnętrznej betonu (rzadko stosowany sposób pielęgnacji w kraju) oraz stosowaniu substancji zmiennofazowych w procesie pielęgnacji dojrzewającego betonu. Jest to cenna część rozprawy.

Uwagi recenzenta w tej części dotyczą pewnych skrótów myślowych i interpretacji autora:

- str. 28 – autor pisze o warunkach pełnej hydratacji cementu (100%), zdaniem recenzenta ten poziom jest praktycznie nie do osiągnięcia ze względu na skład mineralny cementu (różna szybkość hydratacji poszczególnych, zwłaszcza składników głównych innych niż klinkier portlandzki), jak i skład ziarnowy cementu,
- str. 31 – jak autor interpretuje pojęcie „właściwa pielęgnacja termiczna betonu",
- str. 42 – jako jedną z metod pielęgnacji betonu podano „zastosowanie domieszek opóźniających proces wiązania i twardnienia"; na czym polega ta metoda pielęgnacji ,
- str.57 – autor pisze, iż *„materiały zmiennofazowe umożliwiają zredukowanie piku termicznego w początkowym okresie dojrzewania występującego na skutek reakcji egzotermicznej.."*. Pytanie recenzenta – reakcji egzotermicznej czego (brak podmiotu) ?.

W tej części rozprawy doktorskiej, zdaniem recenzenta, zbyt mało miejsca poświęcono procesowi hydratacji różnych rodzajów cementu i wpływie tego procesu na kształtowanie się temperatury dojrzewającego betonu, zwłaszcza pod wpływem wysokiej temperatury otoczenia.

W rozdziale 4 doktorant bardzo szczegółowo i detalicznie opisuje przedmiot swoich własnych badań doświadczalnych i zastosowane metody badawcze. Szczególną uwagę

doktorant zwrócił na reżim pracy komór użytych do oceny skuteczności pielęgnacji wewnętrznej z użyciem substancji zmiennofazowych. Zapytania recenzenta dotyczą:

- czy kierowano się przy doborze rodzaju cementu do badań ?,
- dlaczego do oceny wpływu substancji zmiennofazowych na właściwości stwardniałego betonu, jedną z przyjętych cech do oceny właściwości stwardniałego betonu, była ścieralność ?,
- czy w prowadzonych badania symulowanego szybkość wiatru, jak podano na str. 77 ?,
- dlaczego nie podano na rys. 4.7, w mm, rozmieszczenia czujników pomiarowych ?,
- dlaczego w ocenie szczelności betonu nie zastosowano metodyki badań zawartej w aktualnej normie PN-EN 12390-8 *Badanie betonu. Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem* ?

Wyniki własnych badań eksperymentalnych autor zamieścił w rozdziałach 5 i 6. Bardzo obszerny rozdział 5 (74 strony) autor podzielił na 2 części:

- część I – Badania i analizy dotyczące wymiany ciepła w komorze wykonane z udziałem i bez udziału substancji zmiennofazowych (miały charakter badań wstępnych i zasadniczych),
- część II – Oznaczenie cech fizycznych i mechanicznych betonu. Zakres badań obejmował właściwości stwardniałego betonu: wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość, wodoszczelność i odporność na ścieranie.

Należy podkreślić, iż zawarta w rozdziale 5 część eksperymentalna została wykonana bardzo starannie, wszystkie zasady postępowania zostały bardzo dokładnie opisane i skomentowane. Autor opracował i zastosował własną metodę badań łącznie z zaprojektowaniem i wykonaniem własnej komory klimatycznej, która pozwalała na oddanie warunków klimatu syryjskiego. Uzyskane wyniki zostały skrupulatnie przeanalizowane i zinterpretowane. Szczególnie cenna jest graficzna interpretacja pewnych zależności wynikających z uzyskanych rezultatów badań, a zmierzających do udowodnienia postawionych tez. W odczuciu recenzenta widoczna jest duża determinacja autora do osiągnięcia postawionego celu.

Podkreślić należy, że program badań własnych w pracy był bardzo szeroki i pracochłonny. Dyskusyjny jest dobór wielkości próbek betonowych do oceny wpływu wprowadzonych substancji zmiennofazowych na zmiany temperatury w dojrzewającym betonie. Zdaniem recenzenta większa grubość badanych matryc dawałaby bardziej mierzalne efekty. Natomiast analizując treść nie można było odróżnić różnicy pomiędzy mieszanką betonową (postać plastyczna i urabialna według definicji zawartej w PN-EN 206), a stwardniałym betonie. W literaturze dotyczącej problematyki betonu masywnego okres przejściowy pomiędzy mieszanką betonową a dojrzałym stwardniałym betonem nazywany jest „młodym betonem". Jest to okres, kiedy twardniejący beton charakteryzuje się jednocześnie najmniejszymi odkształceniami granicznymi, niewielką wytrzymałością mechaniczną oraz maksymalną

szybkością wydzielania ciepła hydratacji. Jest to szczególnie groźne dla rozwoju właściwości twardniejącego betonu. I właśnie właściwa pielęgnacja betonu w tym okresie jest ważna dla dalszej trwałości konstrukcji budowlanej.

W części II rozdziału 5 zostały zaprezentowane i omówione wyniki badań wybranych właściwości stwardniałego betonu. Jak i w poprzednim rozdziale zwraca uwagę duża dokładność i rzetelność a analizie uzyskanych wyników. Jak już wcześniej wspomniano, wyjaśnienia wymaga przyjęty zakres badań, a zwłaszcza zwrócenie uwagi na ścieralność betonu. Zdaniem recenzenta zamieszczone na str. 150 w tabeli 5.19 wyniki badań nasiąkliwości są niemożliwe do uzyskania przy tej klasie wytrzymałości na ściskanie betonu i wymagają powtórnego przeanalizowania lub powtórnej weryfikacji doświadczalnej.

Końcowa części rozdziału 5 zawiera zdjęcia z mikroskopu skaningowego, które nie zostały skomentowane przez autora pracy.

W rozdziale 6 rozprawy autor ocenił przydatność proponowanych metod pielęgnacji według metody AHP (Analityc Hierarchy Process). Treść rozdziału ma charakter filozoficzno-techniczny, ale zakończona jest wartościowymi tablicami od 6.18 do 6.20, które zawierają zalecenia odnośnie pielęgnacji betonu w zależności od panujących warunków atmosferycznych (temperatury zewnętrznej). Zawarte w nich wskazówki są cenne i mogą być do wykorzystania nie tylko w warunkach atmosferycznych Syrii, ale także w warunkach krajowych. W tej części rozprawy, zdaniem recenzenta, należało, obok niepodważalnej potrzeby pielęgnacji betonu, zwrócić uwagę na aspekt ekonomiczny tego procesu budowlanego. Właściwa pielęgnacja świeżo zabudowanej mieszanki betonowej jest kosztowna i powinna być wyspecyfikowana w kalkulacji robót budowlanych.

Rozprawa jest zakończona wnioskami ogólnymi, wnioskami szczegółowymi oraz nakreśleniem programu dalszych badań.

W treści wniosków ogólnych brakło informacji o negatywnym wpływie zastosowanych substancji zmiennofazowych na właściwości stwardniałego betonu, co można odebrać jako fakt marginalny. Treść wniosku 4 jest, zdaniem recenzenta, zbyt daleko idąca. Zastosowanie w prowadzonych badaniach substancje zmiennofazowe przyczyniają się do ograniczenia naprężeń termicznych powstających podczas twardnienia betonu, ale w jakim stopniu wpływa to na ograniczenie gradientu (różnic) temperatury w twardniejącym betonie, na podstawie przedstawionych wyników badań, trudne jest do oszacowania. W warunkach placu budowy, zwłaszcza przy wykonywaniu betonowych konstrukcji masywnych, właściwa pielęgnacja termiczno-wilgotnościowa oparta jest na wynikach bieżącego monitoringu rozkładu temperatury dojrzewającego betonu w konstrukcji.

Zdaniem recenzenta, prowadzenie procesu budowlanego w zmiennych warunkach temperaturowych, wymaga analizy i uwzględniania, obok czynników materiałowych, także czynników realizacyjnych (temperatura otoczenia, sposób zabudowy, przerwy między kolejnymi etapami betonowania, rodzaj deskowania, stosowanie izolacji termicznej, rodzaj zbrojenia, właściwa pielęgnacja betonu). Bardzo często w warunkach wysokich temperatur

składniki mieszanki betonowej mieszane są na sucho na węźle betoniarskim, a woda dodawana jest na placu budowy. Ogranicza to w znacznie temperaturę zabudowywanej mieszanki betonowej.

Wykonywanie betonowych konstrukcji w warunkach wysokich temperatur zewnętrznych wymaga także uwzględnienia wpływu temperatury otoczenia na szybkość hydratacji cementu (spoiwa) już na etapie projektowania składu betonu, co pozwala na właściwy dobór początkowych warunków pielęgnacji. O ile jest to możliwe należy stosować cementy o niskim cieple hydratacji lub przygotowywać spoiwa mieszane o niższym cieple hydratacji (w warunkach krajowych takim składnikiem są popioły lotne ze spalania pyłu węglowego w kotłach energetycznych).

W zamieszczonym we wnioskach komentarzu autor podkreśla hybrydowe działanie substancji zmiennofazowych z uwzględnieniem ich roli w pielęgnacji wewnętrznej betonu, zwłaszcza w redukcji skurczu autogenicznego. Jednak rozwiązania wymaga problem negatywnego wpływu dodatku tego rodzaju substancji na właściwości wytrzymałościowe (trwałościowe) betonu. Nie ma tego w zakresie proponowanych badaniach przyszłościowych.

4. Wniosek końcowy

Oceniania rozprawa doktorska, w mojej ocenie, stanowi interesujące rozwiązanie postawionego problemu naukowo-badawczego z obszaru budownictwa. Autor rozprawy posiada odpowiednie przygotowanie teoretyczne i doświadczenie naukowe w realizowanej tematyce, a przedstawiona rozprawa doktorska pokazuje także, że umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy badawczej nie jest mu obca. Wyniki badań zamieszczone w ocenianej rozprawie mają wartość poznawczą i aplikacyjną, zaproponowana metodyka badań jest interesująca, ale dyskusyjna.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Mahmouda Hsino spełnia ustawowe wymagania określone w ustawie stopniach naukowych i tytule naukowym i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Mahmouda Hsino do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Poznańskiej.