

dr hab. inż. Beata Łaźniewska-Piekarczyk, prof. PŚ

Gliwice dn. 02.12.2024 r.

Politechnika Śląska

Wydział Budownictwa

ul. Akademicka 5

44-100 Gliwice



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Benedysiuka pt.:

„Instrumentalne metody oceny jakości napowietrzenia betonu, ze szczególnym uwzględnieniem betonu architektonicznego”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej podjęta na posiedzeniu w dniu 5 listopada 2024 r., na zlecenie Przewodniczącego Rady prof. dr hab. inż. Konrada Lewczuka pismem z dnia 06.11.2024 r.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedmiotem opinii jest rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Benedysiuka pt.: „*Instrumentalne metody oceny jakości napowietrzenia betonu, ze szczególnym uwzględnieniem betonu architektonicznego*”, której promotorem głównym jest prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz, natomiast promotorem pomocniczym jest dr inż. Wioletta Jackiewicz-Rek.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska ma charakter pracy badawczej i liczy 186 stron. Układ pracy jest poprawny. Rozprawa została podzielona na 13 rozdziałów, w tym spis literatury oraz spis tabel i rysunków. Wykaz literatury obejmuje 97 pozycji, z czego zdecydowana większość dotyczy ostatnich 15 lat. Praca zawiera streszczenie w języku polskim

i angielskim.

Rozprawa ma charakter eksperymentalny. Składa się z dwóch zasadniczych części:

- teoretycznej, dotyczącej rozpatrywanej problematyki,

- praktycznej, dotyczącej badań własnych,

poprzedzonych wprowadzeniem, stanowiącym 1 rozdział pracy, w którym scharakteryzowano cel i zakres pracy oraz postawiono tezę rozprawy.

Pierwsza zasadnicza część pracy, teoretyczna, dotyczy analizy stanu wiedzy na temat betonu architektonicznego. W rozdziale 2 scharakteryzowano beton architektoniczny, m.in. ze względu na materiał, miejsce wbudowania, dopuszczalności krycia, specjalne wymagania dotyczące powierzchni i jej obróbki. W kolejnym etapie analizowano cechy powierzchni tego rodzaju betonu, które są istotne w odbiorze wizualnym wraz ze stosowanymi miarami do ich oceny. Jako cechy przyjęto: porowatość, zarysowania, fakturę, płaskość i kolorystykę. W ostatnim podrozdziale rozdziału 2 analizowano wynikowe właściwości betonu architektonicznego w zależności od rodzaju końcowej obróbki powierzchni, kształtu użytego deskowania oraz ze względu na przyjęty skład.

Trzeci rozdział rozprawy związany jest z problematyką oceny powierzchni betonu architektonicznego w ujęciu normowym. Poddano analizie następujące cechy analizowanego betonu, które są najczęściej brane pod uwagę w analizie ilościowej, lub jakościowej: liczba oraz wielkość porów powierzchniowych, faktura i płaskość powierzchni, długość i szerokość rys, różnice w kolorystyce na powierzchni betonu, inne wady powierzchni. Poruszono zagadnienie powierzchni odniesienia – elementu referencyjnego – jako wyznacznik docelowej jakości betonu referencyjnego, architektonicznego. W dalszej części rozdziału porównano kryteria oceny porowatości powierzchni, jej płaskości, zarysowań, różnic kolorystycznych, faktury i ogólnego wyglądu powierzchni. Rozdział kończy podsumowanie wyników analizy porównawczej.

Rozdział 4 dotyczy porównania metod oceny porowatości i kolorystyki powierzchni betonu ze względu na ich zalety, ograniczenia oraz przydatność dla oceny estetyki powierzchni betonowych.

Rozdział 5 związany jest z charakterystyką czynników wpływających na wizualną ocenę kolorystyki betonu, ze względu na budowę ludzkiego oka, przestrzeń barw i metody obliczania różnicy kolorystycznej.

W rozdziale 6 poddano analizie metody komputerowe analizy i przetwarzania obrazów cyfrowych w aspekcie dokładności uzyskiwanych wyników pomiaru.

Kolejne rozdziały (od 7 do 12) zawierają opis badań własnych.

W Rozdziale 7 scharakteryzowano plan badań mających na celu dowiesć słuszności nakreślonej w pracy tezy, poprzez uzyskanie odpowiedzi na pytania: w jakim stopniu przebarwienia, chropowatość i porowatość wzajemnie wpływają na wynik uzyskiwanego pomiaru danego parametru, tj. przebarwienia na porowatość a porowatość na kolorystykę? Które parametry statystyczne najlepiej charakteryzują porowatość i kolorystykę powierzchni betonu architektonicznego? Jakie są optymalne wartości graniczne tychże parametrów? Uzyskanie odpowiedzi na tak postawione pytania wymagało twórczego podejścia Autora. Określono szczegółowy plan badań i kryteria oceny wyników pomiaru.

Rozdział 8 dotyczy zastosowanych w pracy metod, technik pomiaru oraz ich analizy i przetwarzania. Autor bazując na doświadczeniach nabytych podczas swej pracy magisterskiej podjął się konstrukcji urządzenia badawczego, umożliwiającego analizę fotografii powierzchni betonu, wykonanych w stałych warunkach oświetleniowych, tak by zapewnić niezależność pomiaru od oświetlenia zewnętrznego. Uzyskane zdjęcia poddawano w dalszych etapach badań analizie i przetwarzaniu obrazu, za pomocą oprogramowania, powszechnie wykorzystywanego w tym celu. W dalszej części rozdziału 8 przedstawiono metodykę oceny porowatości powierzchni, w którym przybliżono algorytm i ocenę pomiaru porowatości i kolorystyki powierzchni. Rozdział ten kończy opis testów próbných autorskiego urządzenia pomiarowego.

Rozdział 9 przedstawia badania modelowe, które dotyczą badania porowatości związanego z wyborem ogniskowej i algorytmu progowania lokalnego, dokładnością i precyzją pomiaru porowatości, wpływu przebarwień na wynik pomiaru porowatości i wpływ chropowatości na wynik pomiaru. Dalsza część rozdziału 9 dotyczy metodyki badania kolorystyki powierzchni betonu. Głównym celem badań modelowych kolorystyki było wyłonienie najlepszego algorytmu korekcji kolorystyki otrzymanych zdjęć. W kolejnym podrozdziale opisano analizę wpływu porowatości na wynik pomiaru kolorystyki. Weryfikacje przedstawiono dla wszystkich wariantów algorytmu kalibrowanego. Kolejny podrozdział dotyczy badań modelowych wpływu chropowatości na wynik pomiaru kolorystyki.

Rozdział 10 związany jest z opisem i analizą wyników badań walidacyjnych porowatości i kolorystyki powierzchni betonu, przeprowadzonych na dwóch gmachach użyteczności publicznej.

Rozdział 11 charakteryzuje wynikową, autorską procedurę badawczą oceny porowatości i kolorystyki betonu architektonicznego wraz ze wskazaniem kryteriów ich oceny. Zaproponowane przez Autora kryteria oceny zawierają klasy porowatości i kolorystyki oraz

odpowiadające im graniczne maksymalne wartości.

W rozdziale 12 zestawiono najistotniejsze wnioski rozprawy doktorskiej.

3. Ocena rozprawy

Jakość betonu po wbudowaniu powinna być jak najlepsza, by jego parametry mechaniczne oraz trwałość odpowiadały projektowanym założeniom. W przypadku betonu architektonicznego obowiązują dodatkowe wymagania, zwłaszcza względem jego jakości powierzchni. Jakość powierzchni betonu architektonicznego oceniana jest poprzez stałość kolorystyczną założonej barwy oraz dopuszczalną zawartość i wymiary porów powietrznych na jego powierzchni. Obecnie brakuje obiektywnych metod oceny jakości betonu architektonicznego, z uwagi, iż nawet normatywne nie wskazują jednoznacznych granicznych zarówno do porowatości jak i kolorystyki jego powierzchni. Brakuje metody oceny jakości powierzchni betonu niezależnej od obserwatora, szczególnie w kwestii jego kolorystyki. Z tego powodu trudno jest jednoznacznie określić wymagania względem betonu architektonicznego w specyfikacji technicznej i je skutecznie egzekwować po wykonaniu.

Należy zwrócić uwagę, iż wykonanie elementu betonowego o większych wymiarach, o założonej barwie, równomiernej i dopuszczalnej porowatości jest w przypadku betonu architektonicznego dużym wyzwaniem. W związku z tym, pojawiają się niejednorodności na powierzchni betonu, które należy ująć miarą, by obiektywnie móc ocenić końcową jakość betonu architektonicznego, w stosunku do projektowanej. Takie podejście pozwala na weryfikację jakości betonu przez inwestora względem wykonawcy. Brak obiektywnych i stałych kryteriów oceny jakości betonu powoduje pojawianie się szeregu nieporozumień między wymienionymi stronami procesu budowlanego. Dlatego też, problematyka poruszona w rozprawie doktorskiej jest aktualna i słuszna.

Doktorant wykazał się dobrym opanowaniem wiedzy teoretycznej z zakresu tematyki rozprawy doktorskiej. Dobór źródeł uważam za słuszny i wystarczający. Przyjętą przez Autora koncepcję rozwiązania analizowanego problemu uważam za oryginalną i ciekawą. Praca doktorska przedstawiła syntetyczną i przejrzystą analizę bardzo zróżnicowanych informacji w zakresie obowiązujących wytycznych, względem oceny jakości powierzchni betonu architektonicznego, jak i sposobu analizy oraz współczesnego przetwarzania jej fotografii.

Przyjęty cel i zakres badań własnych obejmował opracowanie i wykazanie skuteczności metody ilościowej oceny porowatości i kolorystyki powierzchni gładkiego betonu

architektonicznego, niezależnej od warunków prowadzenia pomiaru, powtarzalnej, a przede wszystkim pozwalającej na jednoznaczną analizę porowatości i kolorystyki powierzchni betonów architektonicznych. Za cel pracy obrano odpowiedź na następujące pytanie: w jakim stopniu cechy powierzchni, szczególnie chropowatość, wpływają na wynik pomiaru kolorystyki i porowatości betonu architektonicznego oraz które parametry statystyczne najlepiej charakteryzują porowatość i kolorystykę tegoż betonu? Założeniem pracy doktorskiej było także ustalenie wartości granicznych dla przyjętych parametrów statystycznych celem przyporządkowania wyników pomiaru porowatości i kolorystyki betonu architektonicznego dla poszczególnych klas.

W rozprawie doktorskiej postawiono następującą tezę: *„Możliwe jest opracowanie metody jednoczesnego ilościowego pomiaru porowatości i kolorystyki gładkiego betonu architektonicznego metodami analizy obrazu, stwarzając powtarzalne warunki oceny powierzchni, pomimo niejednorodnych warunków badania”*.

Weryfikacja słuszności tak postawionej tezy wymagała zaplanowania przez Autora badań doświadczalnych. W doświadczalnej części pracy Autor wykonał obszerny program badawczy dzieląc zadanie na logicznie wyodrębnione etapy, co w efekcie doprowadziło do rozwiązania postawionego problemu badawczego.

Analizowany w tej części pracy problem naukowy, jakiego podjął rozwiązać się w rozprawie doktorskiej Pan mgr inż. Tomasz Benedysiuk, dotyczy słuszności obecnie obowiązujących, szczególnie znormalizowanych metod oceny jakości powierzchni betonu architektonicznego, a także metod analizy i przetwarzania obrazu przy wykorzystaniu odpowiedniego do tego oprogramowania komputerowego.

Doktorant opracował obszerny program badań eksperymentalnych o charakterze sekwencyjnym obejmującym kilka etapów. W pierwszym etapie w części praktycznej pracy Doktorant scharakteryzował Autorskie rozwiązanie urządzenia badawczego, służące do wykonywania w sposób niezależny od otoczenia fotografii powierzchni betonu architektonicznego. Urządzenie badawcze zaprojektowane przez Doktoranta charakteryzuje mobilność oraz powtarzalność wykonywania pomiarów parametrów związanych z oceną jakości powierzchni betonu w zakresie barwy i porowatości oraz innych wizualnych zakłóceń jednorodności powierzchni. Otrzymane zdjęcia powierzchni zostały w dalszym w etapie poddane analizie i przetwarzaniu obrazu, z wykorzystaniem stosownego oprogramowania komputerowego.

Doktorant wykazał się dobrą znajomością rozważanego w pracy doktorskiej problemu

badawczego, zarówno w zakresie aktualnych wytycznych względem oceny jakości powierzchni betonu architektonicznego, jak i współczesnych metod analizy i przetwarzania obrazu.

Na zakończenie należy podkreślić, iż dane literaturowe oraz wyniki własne analizowane w rozprawie doktorskiej, zostały przedstawione w sposób syntetyczny, uporządkowany i przejrzysty, co sprzyja ich analizie porównawczej. Na uwagę zasługuje też opracowanie graficzne pracy doktorskiej.

Uwagi szczegółowe:

Niniejszą pracę doktorską oceniam bardzo dobrze. Niemniej jednak, podczas analizy jej treści nasunęły mi się następujące spostrzeżenia:

1. We wnioskach rozprawy doktorskiej stwierdza się, iż chropowatość powierzchni ma istotny wpływ na wynik oceny porowatości oraz jej kolorystyki. Autor wskazuje istotne ograniczenia klasyfikacji porowatości i kolorystyki, zależne od chropowatości, porównywanej do chropowatości papieru ściernego o danej gramaturze. W kolejnych wnioskach Autor stwierdza, iż „chropowatość powierzchni może mieć wpływ na wynik oceny kolorystyki”. Podobny wniosek wskazano w zakresie wpływu chropowatości na wynik oceny porowatości betonu. Autor ogranicza rzetelność wyniku pomiaru porowatości i kolorystyki względem stopnia chropowatości betonu. Kryteria oceny porowatości i kolorystyki powierzchni betonu (tablice 11.1 i 11.2) dedykowane są dla powierzchni o ograniczonej, maksymalnie dopuszczonej (na podstawie dokonanych przez Autora wyników pomiarów) chropowatości betonu, tj. chropowatości papieru ściernego P120. Chciałabym zapytać czy można wskazać inne wytyczne ograniczenia chropowatości betonu, by jego gładkość ująć zarówno jakościowo i ilościowo?
2. Autor na podstawie przeprowadzonej analizy porowatości powierzchni betonu (str. 125 pracy doktorskiej, w ostatnim akapicie podrozdziału 9.1.5), stwierdza, że parametry które w sposób najbardziej czytelny opisują porowatość powierzchni to mediana rozkładu porowatości oraz procentowy udział powierzchni porów dla fragmentu danej powierzchni o najwyższej porowatości. W konsekwencji, wyniki pomiarów porowatości powierzchni betonu przyporządkowuje tym wielkościom, ale z pominięciem dopuszczalnej wielkości porów. Wiadomym jest, iż tożsama procentowa zawartość porów może odpowiadać zarówno mniejszym porom, jak i większym. Wytyczne

normowe niejednokrotnie wskazują także na ograniczenie wielkości porów, jak o tym wspomina Autor w pracy doktorskiej (tablica 3.3, str. 42). Czy zdaniem Autora, klasy porowatości powierzchni betonu nie powinny ujmować także tego parametru? Czy analiza i przetwarzanie fotografii powierzchni betonu metodyką zaproponowaną w pracy pozwala także na ocenę średnic porów?

3. Autor we wnioskach pracy doktorskiej na podstawie wyników pomiaru kolorystyki stwierdza, iż porowatość może mieć wpływ na wynik przyporządkowania powierzchni betonu do danej klasy. Zrozumiałe jest, że trudno jest powiązać wyniki dwóch parametrów, jak porowatość i kolorystyka powierzchni betonu. Oznaczanie wartości wymienionych parametrów jest od siebie zależne. Czy zatem wynik oznaczania klasy kolorystyki powierzchni betonu można ograniczyć dla danego udziału porów o dopuszczalnej wielkości?
4. Autor wnioskuje, iż parametry, które najlepiej opisują kolorystykę danej powierzchni to różnica $\Delta E(\text{Lab})$ między dominującym kolorem danej powierzchni obliczonym na podstawie mediany wyników pomiarów a przyjętym wzorcem oraz różnica $\Delta E(\text{Lab})$ między dominującym kolorem badanej powierzchni a kolorem największego przebarwienia. Zdaniem recenzenta, należy w tym miejscu jeszcze raz doprecyzować, co rozumie się przez wzorec kolorystyczny dla wyników pomiaru.

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Autor sformułował oryginalny problem naukowy, do którego rozwiązania zaproponował ciekawy program badań. Ocena jakości wykonania betonu architektonicznego pod względem wyglądu powierzchni, w dotychczasowym ujęciu budziła ryzyko braku obiektywności w ocenie, zarówno przez wykonawcę betonu, jak i inwestora. Zaproponowana przez Doktoranta w sposób obiektywny ocena jakości powierzchni betonu architektonicznego wraz z zaproponowanymi kryteriami, stanowią istotny wkład w rozwój metodyki pomiarowej w tym zakresie. Należy też podkreślić, iż Autor wykazał się oryginalnym i twórczym podejściem do zaprojektowania mobilnego urządzenia pomiarowego, umożliwiającego analizę powierzchni betonu, szczególnie architektonicznego. Prowadzenie i analiza pomiaru porowatości i kolorystyki wymagają dokładności i precyzji, ale mają też ograniczenia, głównie związane z chropowatością

i kształtem powierzchni, co słusznie podkreśla Autor. Rezultaty badań przedstawione w rozprawie doktorskiej stanowią istotny i oryginalny wkład w poszerzenie wiedzy z zakresu instrumentalnych metod oceny analizy jakości powierzchni betonu, nie tylko architektonicznego.

Pan mgr inż. Tomasz Benedysiuk wykazał się oryginalnym podejściem do rozwiązania postawionych zadań badawczych oraz umiejętnością ich realizacji z wykorzystaniem nowoczesnych technik pomiarowych. Sposób rozwiązania problemu badawczego, świadczy o dobrej znajomości wiedzy teoretycznej z zakresu problematyki dotyczącej tematu rozprawy, umiejętności planowania eksperymentu i prowadzenia skomplikowanych analiz z wykorzystaniem nowoczesnego sprzętu, oprogramowania, analizowania wyników i wyciągania właściwych wniosków. Biorąc pod uwagę wszystkie aspekty oceny rozprawy doktorskiej i uzyskane wyniki analiz stwierdzam, że Doktorant przedstawił oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Teza postawiona przez Autora została udowodniona.

Mając powyższe na uwadze stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Benedysiuka spełnia warunki określone w Ustawie "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.). Stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy pt. „*Instrumentalne metody oceny jakości powierzchni betonu, ze szczególnym uwzględnieniem betonu architektonicznego*” i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej.

Beda Ładomir - Pickarugk