

Warszawa, 19 sierpnia 2023 r.

Prof. dr hab. inż. Piotr Woyciechowski  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Warszawska  
Al. Armii Ludowej 16  
00-637 Warszawa

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**mgr. inż. Marty Klerni-Hnat**  
**pt. „Koszty kontroli jakości w ocenie betonu”**

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Rzeszowskiej prof. dra hab. Tomasza Siwowskiego, z dn. 14 lipca 2023 r., wynikające z uchwały Rady Dyscypliny z dn. 12 lipca 2023 r., powołującej mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej p. mgr inż. Marty Kierni-Hnat, w postępowaniu prowadzonym wg przepisów Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Rozprawa doktorska p. mgr Kierni-Hnat została przygotowana w Politechnice Rzeszowskiej. Jej promotorem jest dr hab. inż. Izabela Skrzypczak, prof. ucz. a promotorem pomocniczym dr inż. Grzegorz Bajorek, prof. ucz.

**1. Charakterystyka ogólna pracy**

Rozprawa ma charakter analityczno-badawczy, liczy 202 strony i składa się z 9 rozdziałów oraz wykazu literatury obejmującego 266(!) pozycji, a także streszczenia w językach polskim i angielskim. Praca zawiera także krótki wykaz oznaczeń i symboli.

W rozdziale pierwszym pracy Autorka formułuje problem naukowy i cele rozprawy oraz przedstawia strukturę opracowania. Rozdział 2 i 3 zawierają przegląd wiedzy dotyczącej kontroli jakości – przy czym w rozdz. 2 mowa jest o zasadach ogólnych z nawiązaniem do budownictwa, zaś w rozdz. 3 znajduje się uszczegółowienie, odnoszące się do normowych i innych narzędzi oceny jakości

betonu. Rozdziały 4, 5 i 6 zawierają zagadnienia związane z analizą ryzyka wystąpienia kosztów jakości, określeniem czynników wpływających na te koszty oraz sposobami identyfikacji tych kosztów. W rozdziałach tych, na podstawie literatury ale i własnych analiz oraz doświadczeń praktycznych Autorka formułuje własne koncepcje, stanowiące podstawę autorskich rozwiązań, stanowiących główne osiągnięcia pracy (rozd. 7 i 8). Koncepcje autorskie zwarte w rozdz. 4-6, to propozycja sposobu doboru kart kontrolnych (rys 3.5), lista potencjalnych rodzajów kosztów jakości betonu (tab. 4.2) wraz z propozycją metodologii szacowania ryzyka ich wystąpienia oraz analiza znaczenia tzw. błędów kwalifikacji dla kosztów jakości betonu.

Najważniejszymi elementami rozprawy doktorskiej są rozdziały 7 i 8, zawierające oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego w postaci autorskiej metody uwzględnienia niezawodności konstrukcji w projektowaniu mieszanki betonowej z uwzględnieniem kosztów (algorytm na rys. 7.13) oraz autorskiego algorytmu hierarchicznej analizy zmienności produkcji betonu (rys. 8.3).

Pracę kończą syntetyczne podsumowanie oraz wskazanie potrzebnych kierunków dalszych badań (rozd. 9).

## **2. Ocena merytoryczna rozprawy**

### **2.1. Dobór tematu i cel rozprawy**

Kontrola jakości betonu w produkcji jest zagadnieniem złożonym i niezwykle ważnym z punktu widzenia użyteczności i niezawodności obiektów budowlanych. Sposób tej kontroli regulowany jest podstawowo przez zapisy normy PN-EN 206 a łączny koszt działań kontrolnych ma duży udział w sumarycznych kosztach produkcji betonu towarowego, sięgający 1/4 - 1/3 kosztu produkcji, co wpływ znacząco na rynkową cenę betonu. Konkurencyjność rynkowa, sprowadzana często głównie do najniższej ceny sprzedażowej, sprawia, że producenci wybierają najtańsze rozwiązania kontroli jakości, korzystając dodatkowo z faktu, że norma PN-EN 206 w swoich regulacjach uwzględnia wyłącznie ryzyko producenta, pomijając praktycznie ryzyko klienta (wykonawcy robót, inwestora, użytkownika obiektu). Zagadnienie kosztów jakości w produkcji betonu jest w znacznym stopniu niedookreślone w dokumentach odniesienia i w analizach literaturowych, a producenci analizują problem w sposób nieusystematyzowany i bardzo różny w poszczególnych

przedsiębiorstwach. Ponadto zagadnienie kontroli jakości betonu w produkcji nie jest jasno powiązane z kwestią niezawodności konstrukcji.

Wszystkie wymienione przesłanki stanowiły podstawę wyboru tematu rozprawy przez Doktorantkę i pozwoliły Jej sformułować ambitne cele naukowe, odpowiednie do poziomu oczekiwanego w rozprawie doktorskiej oraz teorii niezawodności konstrukcji.

Autorka podjęła złożone zadanie opracowania metod i narzędzi wspomagających proces produkcyjny betonu towarowego, służących określaniu kosztów jakości z wykorzystaniem nowoczesnych metod statystycznych, analizy ryzyka i metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji.

Tematykę i cele rozprawy oceniam wysoce pozytywnie w świetle wymagań stawianych rozprawom doktorskim.

## **2.2. Ocena rozwiązania problemu naukowego zawartego w rozprawie**

Główny problem naukowy sformułowany w rozprawie nie ma charakteru tradycyjnej tezy. Autorka sformułowała problem naukowy, którym jest zbudowanie naukowo uzasadnionych oryginalnych narzędzi zarządzania jakością w produkcji betonu towarowego. W zamyśle autorki narzędzia te mają łączyć w sobie metody projektowania mieszanki betonowej z uwzględnieniem niezawodności konstrukcji, optymalizację kosztową kontroli zgodności i minimalizację ryzyk dotyczących kosztów jakości oraz hierarchicznej oceny poziomu jakościowego wytwórni.

Rozwiązanie postawionego problemu naukowego bazuje na olbrzymim doświadczeniu praktycznym Doktorantki oraz jej biegłości w posługiwaniu się statystyką matematyczną. Podstawą analiz jest duża baza danych, którą Autorka stworzyła na potrzeby rozprawy, analizując dokumentacje kontroli jakości z kilku wytwórni betonu towarowego, z lat 2017-2022, w tym np. ok 5000 wyników badań wytrzymałości na ściskanie.

Autorka przedstawia dwa główne efekty rozwiązania problemu naukowego. Pierwszym jest algorytm pozwalający wzbogacić normowe kryteria zgodności w kontroli betonu o aspekt niezawodnościowy odniesiony do konstrukcji z tego betonu. Jest to podejście oryginalne, ciekawie zilustrowane przykładami i stanowi istotny walor naukowy rozprawy.

Drugim efektem dokumentującym rozwiązanie w rozprawie problemu naukowego jest autorski „hierarchiczny model zmienności betonu”, syntetycznie

przedstawiony w formie grafu (tab. 8.3). Jest to zaawansowane oryginalne narzędzie, które ma nie tylko niezaprzeczalny walor naukowy, ale także może stanowić pomoc w optymalizacji produkcji dla wytwórców betonu. Nie mogę jednak nie zwrócić w tym miejscu uwagi na fakt, że Autorka w swoich analizach ogranicza się wyłącznie do klasy wytrzymałości na ściskanie, pomijając szereg innych cech mieszanki betonowej i betonu, niejednokrotnie kluczowych w wielu konstrukcjach. Tak więc proponowany model trzeba by jednak nazwać nieco precyzyjniej – „hierarchiczny model zmienności wytrzymałości na ściskanie betonu”. Jest to tym bardziej zasadne, że – jak wiadomo – zmienność innych cech betonu (reologicznych, trwałościowych, transportowych) rządzi się często odmiennymi prawami niż cechy mechaniczne.

Wartościowe merytorycznie są także analizy zawarte w rozdziale 3 rozprawy, które prowadzą do sformułowania własnej propozycji schematu decyzyjnego doboru odpowiedniego rodzaju kart kontrolnych do oceny jakości w produkcji betonu (rys. 3.5). Interesującym i wartym zauważenia jest także wątek identyfikacji czynników ryzyka w produkcji betonu związanych z tzw. kosztami jakości (tab.4.2) oraz kwantyfikacja istotności tych czynników (tab. 5.1).

### **2.3 Ocena warsztatu naukowego Kandydatki, Jej wiedzy teoretycznej w zakresie dyscypliny i umiejętności samodzielnego prowadzenia badań**

Autorka jest wybitnym, rozpoznawalnym w skali krajowej, specjalistą z zakresu technologii betonu i ma wieloletnie doświadczenie naukowe, praktyczne i dydaktyczne w tym zakresie. Wiedza p. mgr Kierni-Hnat w zakresie funkcjonowania wytwórni betonu, systemów jakości i zakładowych kontroli produkcji w tych wytwórniach jest bardzo duża, o czym świadczy swoboda i biegłość z jaką Autorka radzi sobie z olbrzymimi i często skomplikowanymi dokumentacjami z wytwórni, wyciągając z nich w sposób syntetyczny to, co potrzebne do realizacji tez badawczych postawionych w rozprawie. Zgromadzenie olbrzymiej bazy danych, jej uporządkowanie i umiejętność analizowania z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi statystycznych, duża biegłość w zakresie procedur normowych ale i podstaw teoretycznych, które pozwoliły te regulacje stworzyć, dowodzą umiejętności samodzielnego, świadomego planowania i prowadzenia badań. Warsztat naukowy Doktorantki wzbogacony jest o szeroką wiedzę z zakresu statystyki, teorii niezawodności, zagadnień optymalizacji ale także o umiejętność łączenia teorii i realiami wytwórni betonu. Doktorantka prezentuje pełen wachlarz walorów

naukowych typowych dla przedstawicieli szkoły naukowej, którą od lat tworzy Promotorka rozprawy – prof. Izabela Skrzypczak.

Reasumując tę część recenzji, wiedzę teoretyczną, warsztat naukowo-badawczy Autorki i umiejętność samodzielnego prowadzenia badań oceniam jednoznacznie pozytywnie.

### **3. Uwagi krytyczne**

#### **3.1 Konstrukcja rozprawy**

Rozprawa jest zasadniczo skonstruowana zgodnie z zasadami sztuki, aczkolwiek nie jest łatwe w przyjętej konwencji klarowne „wyłuskanie” z rozprawy elementów czysto autorskich, własnych oraz elementów analiz literaturowych. Na przykład w rozdziale trzecim znajduje się ciekawa autorska analiza zakończona własną propozycją doboru rodzaju karty kontrolnej w procesie oceny jakości betonu. Nie wynika to jednak ani z tytułu rozdziału ani ze spisu treści. Podobne wrażenie pojawia się w kilku innych miejscach pracy. W mojej opinii Autorka nie w pełni zapanowała nad pewnym chaosem, wynikającym z wielości wątków poruszonych w rozprawie, a także zbyt często odwoływała się do literatury przedmiotu, tam gdzie oczekiwane było jasne przedstawienie własnych dokonań naukowych. Mimo tych uwag krytycznych, całość opracowania oceniam wysoko.

#### **3.2 Uwagi szczegółowe**

- Rozprawa jest napisana dość starannie, dobrą polszczyzną, nie jest jednak wolna od sporej liczby literówek, których nie będę przytaczał, poddając pod rozwagę staranną korektę pracy, w przypadku korzystania z niej w przyszłych publikacjach;
- jest zrozumiałe, że rozprawa koncentruje się wokół wytrzymałości na ściskanie betonu ale – jak wiadomo – ocena zgodności obejmuje znacznie szerszy zakres działań niż tylko kontrola wytrzymałości. W rozprawie zabrakło szerszego spojrzenia na jakość betonu w formule od ogółu do szczegółu, tak aby u ewentualnego czytelnika nie pozostało odczucie, że „jakość = wytrzymałość”. Warto tu na przykład zauważyć, że jednostkowy (na 1 próbkę) koszt kontroli (badania) większości innych cech betonu jest dużo wyższy niż w przypadku ściskania normowej „kostki-piętnastki”;
- rys. 20 – na rysunku pokazano osiem sfer „domu jakości” oznaczonych cyframi rzymskimi – niestety nigdzie nie podano co oznaczają poszczególne cyfry i jaki jest sens ułożenia sfer w formę „domku” w kratkę lub w prążki; co więcej wydaje się, że

jedna ze sfer rysunku (wąski pasek między VI i VII) nie ma numeru... wprowadzenie tego rodzaju nieopisanego „obrazka” do rozprawy naukowej nie służy powadze dzieła;

- rozdz. 7 str. 100 – autorka pisze, że cyt.: „Wszystkie sposoby projektowania mieszanki betonowej opierają się na kryteriach związanych wyłącznie ze statystycznym charakterem procesu produkcji betonu i są ograniczone do określenia średniej wytrzymałości betonu na ściskanie.” Nie jest to stwierdzenie trafne a nawet wręcz nieprawdziwe. Znanych jest szereg metod projektowania, w których to nie wytrzymałość jest determinantą a inne cechy betonu (np. gęstość betonu lekkiego lub ciężkiego, samozagęszczalność SCC), zaś wytrzymałość jest jednak w jakimś stopniu wielkością wynikową, służebną wobec innych cech kompozytu;

- rozdz. 7 szumnie zapowiada, że zawiera informacje o „projektowaniu mieszanki opartym na niezawodności i kosztach betonu” – ale w treści rozdziału nie ma nic o faktycznym projektowaniu mieszanki (tzn o projektowaniu składu - w/c, zawartość cementu itp.) – bardzo brakuje tu w treści rozprawy faktycznego odniesienia do projektowania mieszanki;

- str. 99 – metody Paszkowskiego, Bukowskiego, Kluza i Eymana – to klasyka historycznego projektowania betonu. Warto jednak zauważyć, że obecnie dominują metody empiryczne, w tym przede wszystkim tzw. metoda zaczynu i jej rozmaite warianty. Metody oparte na trzech równaniach – a więc wymagające wiedzy o wodożądności składników oraz współczynnikach materiałowych A we wzorze Bolomeya – są obarczone dużym błędem, a ponadto w zasadzie nie pozwalają uwzględnić roli domieszek. Nie zgadzam się zatem z Autorką, co do tego jak dziś projektują się betony w wytwórniach...;

- str. 147 – rys 7.11 – nie jest zrozumiałe co właściwie przedstawia ów rysunek – na osi pionowej jest „współczynnik zmienności dla **nośności**” (wg podpisu pod rysunkiem) gdy tymczasem opis w tekście (ponad rysunkiem) sugeruje inny sens zmiennej i zawiera inne oznaczenia niż na rysunku. Analiza przedstawionej zależności obejmuje jedno zdanie na str. 148. W efekcie czytelnik pozostaje z głębokim niedosytem. Bardzo proszę o komentarz w ramach dyskusji na obronie, dotyczący związku pomiędzy równaniem (7.8) i funkcjami na rysunku 7.11 (jak wyznaczono punkty na wykresie?) oraz szerszej interpretacji przedstawionej zależności;

- str. 151 – interesująca jest postać funkcji kosztu na rys. 7.14 – z kontekstu wynika, że jest to równanie teoretyczne, wymyślone na potrzeby przykładu. A jak w warunkach rzeczywistych stworzyć taką funkcję? O ile powstanie funkcji z rys 7.13 (koszt vs fcm) jest dość oczywiste, o tyle nie potrafię wyobrazić sobie eksperymentu lub analizy, która umożliwiła by mi jako producentowi stworzenie funkcji jak na rys. 7.14. Bardzo proszę o komentarz w ramach dyskusji na obronie.

#### 4. Wniosek końcowy

Zagadnienie kosztów jakości, w tym kosztów kontroli jakości w produkcji betonu jest istotne zarówno z powodów technicznych – inżynierskich, w tym niezawodnościowych, jak i w kontekście ekonomicznym. Autorka rozprawy, poruszając się biegle zarówno w teorii kontroli betonu jak i w praktyce realizacji tej kontroli przez producentów, podjęła trudne zadanie powiązania kolejnych elementów kontroli produkcyjnej z zapewnieniem niezawodności konstrukcji, proponując autorskie podejście do zagadnienia. Badania i analizy, które przeprowadziła pozwoliły stworzyć oryginalne narzędzia oparte o zasady statystyki i teorię niezawodności ale jednocześnie bazujące na podstawach normowych z zakresu wytwarzania betonu. Wartość merytoryczna i naukowa proponowanych rozwiązań jest wysoka i, w mojej opinii, mogą one stanowić nie tylko podstawę postępowania doktorskiego, ale mają także potencjał aplikacyjny.

Jak wykazano w recenzji, rozprawa doktorska p. mgr inż. Marty Kierni-Hnat spełnia wymagania Ustawy w zakresie oryginalnego rozwiązania problemu naukowego, wykazania ogólnej wiedzy teoretycznej Kandydatki w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport oraz wykazania umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktorantkę. W związku z tym, w oparciu o przepisy Ustawy i Rozporządzenia, **pozytywnie opiniuję przedłożoną rozprawę doktorską i wnoszę o dopuszczenie p. mgr inż. Marty Kierni-Hnat do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.**

P. Kocyłowski