

Dr hab. inż. Mirosław Graczyk, prof. IBDiM

Warszawa, 09.01.2026r.

Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Ul. Instytutowa 1

03-302 Warszawa

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Przemysława Stałowskiego

pt.

BADANIE ZAGĘSZCZENIA BETONU WYKONYWANEGO W TECHNOLGII WAŁOWANEJ. OPRACOWANIE METODOLOGII ZAGĘSZCZENIA BETONU W WARUNKACH BUDOWY I LABORATORYJNYCH

1. PODSTAWA WYKONANIA RECENZJI

Niniejszą recenzję opracowano na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport” Politechniki Bydgoskiej (Zawiadomienie nr 2/NB.520.7.2025 z dnia 25.11.2025 r.).

2. PODSTAWA MERYTORYCZNA RECENZJI

Podstawą opracowania recenzji była rozprawa doktorska pt. „BADANIE ZAGĘSZCZENIA BETONU WYKONYWANEGO W TECHNOLGII WAŁOWANEJ. OPRACOWANIE METODOLOGII ZAGĘSZCZENIA BETONU W WARUNKACH BUDOWY I LABORATORYJNYCH”, wydana w 2025 roku przez Politechnikę Bydgoską.

3. CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA ROZPRAWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Stałowskiego dotyczy technologii betonu wałowanego w aspekcie opracowania nowej, autorskiej metody zagęszczania betonu w



warunkach budowy i laboratoryjnych z uwzględnieniem warunków projektowania szczególnie w zakresie doboru uziarnienia kruszywa.

Autor postuluje hipotezy badawcze:

- Projektowanie składu kruszywowego dla betonu wałowanego wpływa na jego makroteksturę podczas wbudowywania bezpośrednio w warstwie konstrukcji drogowej
- Weryfikacja receptur betonu wałowanego pod kątem wyników wytrzymałości na ściskanie jest zależna od energii zgęszczania i wilgotności materiału podczas formowania próbek, a dokładność uzyskanych wyników jest związana z zastosowaną metodą zgęszczania
- Możliwość rzetelnego odwzorowania receptur i sprawdzenia mieszanki betonowej w trakcie wbudowywania jest niezbędna w procesie budowy. Rozbieżność w wartościach wyników generuje dodatkowe koszty związane z powtórą weryfikacją betonu, np. wykonania odwiertów.

Do potwierdzenia hipotez badawczych Doktorant przyjął następujące cele oraz zakresy badań:

1. Cele:

- Opracowanie uniwersalnej metody projektowania pod kątem doboru uziarnienia mieszanki betonowej. Miernikiem jest ocena wizualna warstwy stwardniałej mieszanki oraz laboratoryjna parametrów wartości punktu piaskowego dla stosu okruszowego.
- Określenie wpływu wilgotności optymalnej na proces zagęszczania próbek na gęstość i wytrzymałość betonu.
- Przedstawienie doświadczeń z budowy, jako przykład prawidłowego wykonania betonu.
- Opracowanie powtarzalnej i weryfikowalnej w łatwy sposób metody zagęszczania betonu. Jednocześnie wykluczenie czynnika ludzkiego w fazie przygotowania próbek, tj. nacisk, kąt i czas zagęszczania.
- Opracowanie stanowiska badawczego do przygotowania próbek, które umożliwia formowanie w stałym powtarzalnym schemacie i czasie krótszym niż dla metody Proctora.
- Dobranie odpowiednich parametrów stanowiska badawczego, tj. ciężaru zestawu, amplitudy drgań młota wibracyjnego, czasu zagęszczania i ilości warstw. Porównanie energii zagęszczania z metodą Proctora celem wyznaczenia prawidłowych ustawień.

2. Zakresy badań:

- Badanie uziarnienia kruszywa
- Badanie reaktywności alkalicznej kruszywa
- Badanie wilgotności optymalnej i maksymalnej objętości szkieletu kruszywa
- Przygotowanie próbek metodą autorską i metodą młota wibracyjnego
- Badanie wytrzymałości betonu
- Badania makroskopowe próbek betonu zgęszczanych różnymi metodami.

Dysertacja rozpoczyna się od części wstępnej, zawierającej „Streszczenie” pracy w dwóch językach - polskim i angielskim, „Wstęp”, w którym podano uzasadnienie podjęcia przedmiotowej tematyki oraz rozdział 2 „Analiza literatury”. W rozdziale 2 Doktorant przedstawił, na podstawie przeglądu literatury, ogólny opis technologii betonu wałowanego z podaniem doboru wybranych składników tj. popiołów lotnych, domieszek chemicznych, dodatków z recyklingu i włókien polimerowych i innych dodatków stosowanych na świecie w tej technologii. Opisano historię stosowania betonu wałowanego w Polsce, podano tutaj również stosowane obecnie laboratoryjne metod zagęszczania mieszanki betonu wałowanego, z podaniem występujących istotnych problemów z korelacją wyników wytrzymałości na ściskanie między próbkami laboratoryjnymi i z budowy. Na koniec zestawiono przepisy techniczne do stosowania betonu wałowanego w Polsce oraz aspekt ekonomiczny dotyczący tej technologii w porównaniu z technologią nawierzchni asfaltowych.

Następnie w rozdziale 3 pt. „Hipoteza badawcza” zaprezentowane zostały 3 hipotezy badawcze oraz do potwierdzenia hipotez cele i zakres badań (opisane na wstępie tej recenzji).

W obszernym rozdziale 4 pt. „Materiały i metody badań” najpierw Autor opisał kruszywa zastosowane do mieszanki betonowej tj. kruszywa naturalne o frakcji 0/2, 2/8 i 8/16 [mm] z Żwirowni „Sępólno”, kruszywo z recyklingu betonu Aggneo frakcji 2/8, 8/16 [mm] oraz kruszywo łamane bazaltowe 2/8, 8/16 [mm]. Podane zostały dwa wykorzystane cementy: czysto klinkierowy CEM I 42,5R i wieloskładnikowy CEM II A-V 42,5R z zawartością popiołu lotnego krzemionkowego w ilości 13-16%, woda zarobowa wodociągowa i domieszka napowietrzająca LPSA-94. Dalej Doktorant przedstawił metodykę badań z podziałem na trzy etapy: dobranie składników receptury; przygotowanie próbek i badania trwałościowe. W etapie I wykonano analizy sitowe kruszyw do doboru udziału poszczególnych frakcji z oceną różnoziarnistości ($C_u = d_{60\%}/d_{10\%}$), ($C_u > 15$) i krzywizny uziarnienia ($C_c = d_{30}^2/(d_{10} \cdot d_{60})$), ($C_c = 1 -$

3) oraz wyznaczenia punktu piaskowego. Sprawdzono również alkaliczność kruszyw metodą przyspieszoną w roztworze NaOH wg procedury badawczej GDDKiA. W dalszej części tego rozdziału opisano przygotowanie mieszanki betonowej, ze szczególnym podkreśleniem na wykonanie próbek z mieszanki betonowej różnymi metodami zagęszczania tj. metodą Proctora, młotem wibracyjnym ręcznie i młotem wibracyjnym na statywie – metoda autorska. Metoda z wykorzystaniem młota wibracyjnego na statywie umożliwiła skrócenie czasu przygotowania próbek w stosunku do metody Proctora. W autorskiej metodzie zdefiniowano konieczne parametry do uzyskania właściwego zagęszczenia i skrócenia czasu w przygotowaniu próbek tj. ustawienia młota wibracyjnego, obciążenie statywu oraz liczba warstw w zagęszczaniu próbek. Na zakończenie rozdziału opisano badania trwałościowe wykonanych próbek wg. trzech przedstawionych metod zagęszczania. Do badań tych należą: warunki dojrzewania próbek, badania wytrzymałościowe na ściskanie i badania mikroskopowe struktury próbek.

W kolejnym obszernym rozdziale 5 p. „Wyniki badań” Doktorant przedstawił metodykę i następujące etapy badań: analiza sitowa kruszyw z oceną punktu piaskowego; badanie wilgotności optymalnej – dobór odpowiedniej ilości wody i określenie maksymalnej gęstości strukturalnej mieszanki betonowej; badanie wytrzymałości betonu na próbkach przygotowanych różnymi metodami zagęszczania z oceną i wyborem optymalnej metody zagęszczania; analiza mikroskopowa struktury betonu w próbkach. Następnie Autor przedstawił analizy sitowe dla ośmiu rodzajów kruszyw (dwa rodzaje piasków, cztery rodzaje żwirów i dwa rodzaje kruszyw betonowych z recyklingu) do sześciu receptur betonowych. W analizach sitowych kruszyw Doktorant położył szczególny nacisk na ustalenie optymalnego punktu piaskowego w recepturach na betony. Badaniom poddane zostały następujące receptury: C8/10P, C12/15P (receptury pomocnicze do weryfikacji metod zagęszczania), C30/37L (receptura podstawowa - Zał. 15), C30/37B i C30/37Z (receptury sprawdzające i wykonawcze) oraz C30/37R (receptura z kruszywem z recyklingu Aggneo). W podpunkcie 5.1. Autor opisał wyniki badań analiz sitowych w kontekście zagęszczania, utrzymania wilgotności, wysokiego punktu piaskowego oraz „zamknięcia” ułożonej warstwy nawierzchni (ocena poprzez ocenę makroskopową powierzchni). Z badań i doświadczeń z budów Autor ustalił punkt piaskowy na poziomie 39% dla receptury podstawowej (C30/37L). Po weryfikacji uzyskanych rezultatów przez ocenę makroskopową „zamknięcia” powierzchni na budowie wytypowano skorygowaną recepturę podstawową do dalszych badań w celu określenia optymalnej metody zagęszczania. Analogiczne badania przeprowadzono dla pozostałych receptur betonu. Do dalszych badań Doktorant zakwalifikował następujące betony: C30/37L jako podstawowy do weryfikacji i opracowania optymalnej metody zagęszczenia w warunkach laboratoryjnych; C30/37R do

oceny wpływu kruszywa z recyklingu na wytrzymałość betonu oraz C8/10P i C12/15P do weryfikacji ustalonej optymalnej metody zagęszczania. W kolejnym podpunkcie 5.2. opisane zostały wyniki badań wilgotności optymalnej metodą Proctora dla wytypowanych czterech receptur betonu wałowanego, pod kątem uzyskania najlepszej powierzchni warstwy w ocenie makroskopowej. Wilgotności optymalne wyniosły odpowiednio przy recepturach: C30/37L – 4,8% i 4,1%, C30/37R – 5,7%, C8/10P – 6,1%, C12/15P – 6,3%. W podpunkcie 5.3 przedstawiono zdjęcia struktury po przełomie próbek betonowych C30/37L wykonanych mikroskopem elektronowym Vega 3 oraz mikroskopem do badań struktury petrograficznej KEYENCE VHX-XIF. Obserwowano próbki w przełomie wykonane trzema metodami zagęszczania: metodą Proctora, metodą młota wibracyjnego ręcznie i metodą autorską młota wibracyjnego na statywie. W ostatnim podpunkcie tego rozdziału Autor analizował wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek po 7 i 28 dniach dojrzewania w bardzo szerokich badaniach. Głównie analizy wytrzymałości dotyczyły receptury podstawowej C30/37L, dla której to receptury analizowano wpływ ośmiu różnych parametrów wpływających na wytrzymałość tj. ustalona wilgotność optymalna (tab. 6), zmiany wilgotności optymalnej (+0,8, -0,5%) (metoda Proctora) (tab.7), zagęszczanie metodą młota wibracyjnego ręcznie wykonane przez tego samego laboranta (tab. 9), zagęszczanie metodą młota wibracyjnego ręcznie wykonane przez czterech laborantów (tab. 10), zagęszczanie metodą autorską młota wibracyjnego na statywie przy zmiennym obciążeniu statywu (2kg/15s do 5kg/20s) (tab.11), zagęszczanie metodą autorską młota wibracyjnego na statywie przy obciążeniu statywu 4kg/20s w dwóch warstwach przy wilgotności optymalnej (tab. 12) i różnej od wilgotności optymalnej (tab.13), przy różnych ustawieniach młota wibracyjnego w czasie zagęszczania mieszanki (od 1435 uderzeń na minutę – 2 warstwy do 2870 uderzeń na minutę – 3 warstwy i przy czasie zagęszczania od 20 do 30 sekund przy obciążeniu statywu - 4 kg), (tab. 14) dodatkowo dla receptury kruszywem z recyklingu analizowano wytrzymałość próbek przy wilgotności optymalnej (5,7%) zagęszczanych metodą Proctora (tab. 8). Należy podkreślić, że badania wytrzymałościowe zostały wykonane na bardzo dużej populacji próbek.

W kolejnym rozdziale 6 pt. „Dyskusja wyników” Doktorant omawia uzyskane wyniki z analiz sitowych kruszywa, obserwacji makroskopowych i mikroskopowych betonu (w powiększeniach 500x i 2000x) oraz obserwacji petrograficznych. W wyniku obserwacji zauważono, że określenie optymalnego punktu piaskowego wpływa na możliwość podwyższenia poziomu wilgotności optymalnej i ułatwia zagęszczanie mieszanki betonowej oraz, że przy zagęszczaniu metodą Proctora może dochodzić do przełamań i rozdrobnienia kruszywa, co nie występuje w metodzie autorskiej z użyciem młota pneumatycznego na

statywie. W dalszej części tego rozdziału Autor omawia wyniki badań wytrzymałości na ścislenie próbek wskazując na istotne parametry do uzyskania właściwych wyników: tj punkt piaskowy ($> 38\%$) stosu okruszowego; wilgotność optymalna i odchylenia od niej mieszanki, metoda zagęszczania młotem wibracyjnym ręcznie (duży rozrzut wyników), ciężar statywu i czas zagęszczania w metodzie autorskiej, ustawienia młota pneumatycznego. W końcowej części tego rozdziału Doktorant omówił wyniki badań wytrzymałości betonu wałowanego otrzymanych na budowie MOP przy drodze S7 jako podbudowy zasadniczej w konstrukcji nawierzchni. Próbki przygotowywano metodą młota wibracyjnego ręcznie przy punkcie piaskowym stosu okruszowego 41% i zaprojektowany beton klasy C30/37 osiągnął w rzeczywistości klasę C50/60. Receptę zoptymalizowano wykorzystując metodę autorską zagęszczania próbek, zmniejszono ilość cementu o ok 10-15kg na metr sześcienny mieszanki betonowej i uzyskując wytrzymałości 28 dniowe na poziomie 50 MPa a z wykonanych badań na próbkach odwierconych z wykonanej warstwy betonu wałowanego uzyskano wytrzymałości powyżej 42 MPa. Z oceny gęstości próbek odwierconych wynika, że zagęszczenie betonu na budowie było prawidłowe i zauważono, że energia zagęszczania betonu na budowie jest na wyższym poziomie niż w przypadku przygotowania próbek w laboratorium.

Rozdział kończący pracę numerowany jest jako 7, nosi tytuł „Wnioski” Doktorant dokonuje w nim podsumowania dysertacji w 10 wnioskach, ze szczególnym podkreśleniem zasadności stosowania autorskiej metody zagęszczania próbek mieszanki betonowej w technologii betonu wałowanego.

Pracę kończy rozdział 8 pt. „Literatura” z 110 pozycjami i 9 pt. „Spis załączników” z licznymi załącznikami (31).

Praca mieści się na 180 stronach. W pracy zamieszczono 78 rysunków, 15 wykresów i 17 tabel oraz 31 załączników.

Rozprawa ma charakter technologiczny i wdrożeniowy.

4. OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Technologia wykonania konstrukcji z betonu wałowanego różni się w kilku istotnych aspektach od częściej stosowanej technologii betonu cementowego. Różnice te polegają przede wszystkim na zminimalizowaniu ilości wody w mieszance betonowej i sposobie zagęszczania betonu. Natomiast beton wałowany jest np. używany jako podbudowa w konstrukcji nawierzchni drogowych i lotniskowych. Niewątpliwą zaletą tej technologii jest obniżenie

kosztów wykonania i możliwość szybkiego przekazania do eksploatacji wykonanej konstrukcji betonowej.

Podjęta przez Doktoranta tematyka pracy jest bardzo istotna i ważna, przede wszystkim ze względu na konieczność wzmacniania i przebudowy dróg samorządowych w Polsce. Dotyczy to głównie dróg gminnych i powiatowych ale też wojewódzkich.

Rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Stałowskiego pt. „Badanie zagęszczenia betonu wykonywanego w technologii wałowanej. Opracowanie metodologii zagęszczenia betonu w warunkach budowy i laboratoryjnych” obejmuje generalnie rozwiązanie problemu odwzorowania warunków wbudowywania betonu wałowanego w badaniach laboratoryjnych. Podstawowym elementem pracy było opracowanie przez Doktoranta metody badawczej zagęszczania betonu wałowanego na próbkach laboratoryjnych metodą młota pneumatycznego na statywie, która odzwierciedla rzeczywiste warunki tej technologii na budowie. Zaproponowana metoda ma umożliwiać zachowanie na wysokim poziomie powtarzalności i odtwarzalności procesu zięszczenia mieszanki w próbkach laboratoryjnych

Godne podkreślenia, że Doktorant wykonał bardzo obszerną pracę badawczą ukierunkowaną na uzyskanie optymalnych parametrów do zaproponowanej autorskiej metody zięszczenia próbek mieszanki betonu wałowanego. W badaniach wytrzymałości wykorzystanych zostało 360 próbek betonowych.

Należy zauważyć, że obecnie nie ma dobrej metody wykonywania próbek z betonu wałowanego w laboratorium, która to w sposób właściwy odzwierciedlałaby wykonywanie tego typu konstrukcji na budowie.

Docenić trzeba cenną inicjatywę podjętą przez Doktoranta wykonania pracy badawczej odnoszącej się do istotnego problemu betonu wałowanego, który może z powodzeniem być stosowany do budowy nawierzchni dróg.

Doktorant w pracy we właściwy sposób przedstawił ogólny opis technologii betonu wałowanego z podaniem doboru wybranych składników i podał obecnie stosowane laboratoryjne metod zięszczenia mieszanki betonu wałowanego, z podaniem występujących istotnych problemów. Zestawił również przepisy techniczne do stosowania betonu wałowanego w Polsce oraz aspekt ekonomiczny dotyczący tej technologii w porównaniu z technologią nawierzchni asfaltowych.

W części merytorycznej Doktorant umiejętnie opisał materiały zastosowane w procesie wykonania betonu wałowanego tj. kruszywa naturalne, kruszywo z recyklingu betonu, kruszywo łamane, dwa rodzaje cementów i domieszka napowietrzająca. W przeprowadzonych analizach sitowych kruszyw oceniono różnoziarnistości i krzywizny uziarnienia oraz

podkreślono istotność wyznaczenia właściwego punktu piaskowego. Sprawdzono również alkaliczność kruszyw metodą przyspieszoną. Autor przedstawił metodykę badań z podziałem na trzy etapy: dobranie składników receptury; przygotowanie próbek i badania trwałościowe. Następnie opisano przygotowanie mieszanki betonowej, ze szczególnym podkreśleniem na wykonanie próbek z mieszanki betonowej różnymi metodami zagęszczania tj. metodą Proctora, młotem wibracyjnym ręcznie i młotem wibracyjnym na statywie – metoda autorska. W metodzie autorskiej dobrze określono konieczne parametry do uzyskania właściwego zagęszczenia w zakresie ustawień młota wibracyjnego, obciążenie statywu oraz liczbę warstw w zagęszczaniu próbek. Autor wykonał serie próbek trzema metodami zagęszczania do badań wytrzymałościowych i ocen mikroskopowych.

Doktorant przedstawił metodykę i etapy badań: analiza sitowa kruszyw z oceną punktu piaskowego; badanie wilgotności optymalnej – dobór odpowiedniej ilości wody i określenie maksymalnej gęstości strukturalnej mieszanki betonowej; badanie wytrzymałości betonu na próbkach przygotowanych różnymi metodami zagęszczania z oceną i wyborem optymalnej metody zagęszczania; analiza mikroskopowa struktury betonu w próbkach. Dalej Autor przedstawił analizy sitowe dla ośmiu rodzajów kruszyw do sześciu receptur betonowych. W analizach sitowych kruszyw Doktorant położył szczególny nacisk na ustalenie optymalnego punktu piaskowy w recepturach na betony.

Najważniejszą częścią pracy Doktoranta było opracowanie laboratoryjnej metody wykonywania próbek z betonu wałowanego z wykorzystaniem młota wibracyjnego, która umożliwia wykonanie próbek w sposób powtarzalny i odtwarzalny, poprzez zaprojektowanie i wykonanie specjalnego stanowiska do wykonania próbek.

Co istotne opracowana autorska metoda zagęszczania młotem wibracyjnym jest porównywalna w sensie odtwarzalności i powtarzalności do metody wg Proctora, która to metoda ma odniesienie do opisu normowego.

Godny zauważenia jest fakt, że Doktorant uczestniczył w wykonywaniu konstrukcji nawierzchni z betonu wałowanego. Autor dokonał ciekawej analizy porównawczej wyników badań z próbek laboratoryjnych i próbek wyciętych z rzeczywistej nawierzchni, a wykonanych według tej samej recepty na beton wałowany.

Z przeprowadzonej analizy na podstawie oceny gęstości betonu zauważono, że energia zagęszczania betonu na budowie jest na wyższym poziomie niż w przypadku przygotowania próbek w laboratorium.

Doktorant w przeprowadzanej pracy udowodnił stawiane hipotezy tzn.:

- Projektowanie składu kruszywowego dla betonu wałowanego wpływa na jego makroteksturę podczas wbudowywania bezpośrednio w warstwie konstrukcji drogowej
- Weryfikacja receptur betonu wałowanego pod kątem wyników wytrzymałości na ścislenie jest zależna od energii zagęszczania i wilgotności materiału podczas formowania próbek, a dokładność uzyskanych wyników jest związana z zastosowaną metodą zagęszczania
- Możliwość rzetelnego odwzorowania receptur i sprawdzenia mieszanki betonowej w trakcie wbudowywania jest niezbędna w procesie budowy. Rozbieżność w wartościach wyników generuje dodatkowe koszty związane z powtórą weryfikacją betonu, np. wykonania odwiertów.

Według Doktoranta dysertacja potwierdza, że zaproponowana autorska metoda badań laboratoryjnych próbek z wykorzystaniem młota udarowego na statywie właściwie odwzorowuje zagęszczanie betonu wałowanego w warunkach budowy.

5. Dyskusyjne uwagi do rozprawy

Analiza rozprawy pozwala także na przedstawienie uwag dyskusyjnych i krytycznych, takich jak:

1. W pracy przedstawiono przegląd literatury w zakresie stanu wiedzy w przedmiocie tematyki dysertacji. Brak w niej jednak dość istotnej pozycji, która jest bardzo zbieżna z tematyką przedstawioną przez Doktoranta tj. pracy doktorskiej Patryka Przybylskiego „Metoda badawcza określania właściwości nawierzchni z betonu wałowanego” z 2021 r z WAT.
2. Autor nie sprecyzował jednoznacznych kryteriów do oceny wizualnej powierzchni wykonanej warstwy z betonu wałowanego.
3. W pracy brakuje oceny równości wykonanej warstwy z betonu wałowanego, której uzyskanie na właściwym poziomie jest częstym problemem w technologii betonu wałowanego. Przy zagęszczaniu walcami uzyskanie zadowalającej równości powierzchni jest dość trudne m.in. ze względu na wahania wilgotności zagęszczanej mieszanki

betonowej. W pracy znajduje się jedynie ogólna uwaga o pofalowaniu nierównościach powierzchni przy przekroczeniu wilgotności optymalnej.

4. W dysertacji w tabelach 11,13 i 14 przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie, które odznaczają się dość istotnymi różnicami np. w tabeli 13 zakres różnic wynosi od 28 MPa do 51,8 MPa. W tym przypadku wyraźnie widać, że najmniejsze wytrzymałości uzyskano przy zmniejszonej ilości wody o 1% w stosunku do wilgotności optymalnej 4,8%. W tym aspekcie ważne są odpowiedzi na pytania, czy przy tak małej ilości wody zarobowej - woda została jednorodnie rozprowadzona w mieszance betonowej i czy nie została przekroczona lokalnie w masie mieszanki granica możliwej hydratacji cementu przy bardzo niskim w/c ($w/c \leq 0,38$ (np. A .N. Nevill))? Tym bardziej sytuacja jest ciekawa, bowiem w przypadku najniższej wytrzymałości (28 MPa) uzyskano gęstość w próbce równą maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu ($2,257 \text{ g/cm}^3$).
5. W mieszankach betonów wałowanych generalnie występują bardzo niskie wskaźniki wodno-cementowe ($0,28 - 0,35$) - co podane zostało przez Doktoranta w „Analizie Literatury”. Autor również stosował receptury o bardzo niskim w/c (np. w tablicy 4 skład mieszanki betonowej, ma $w/c = 0,35$ a w załączniku nr 31 na str. 179 receptura RCC30/37Z ma tylko $w/c = 0,30$). Czy zastosowanie tak niskiego w/c może gwarantować jednorodność mieszanki betonowej, czy jest możliwe jednorodne rozprowadzenie stosunkowo niewielkiej ilości wody w mieszance betonowej? Sądząc na podstawie pobieżnej oceny wizualnej rysunku 30 obrazującego wygląd mieszanki, można mieć wątpliwości, że mieszanka jest jednorodna.
6. W pkt 5.3. Brak opisu, komentarzy i oceny do uzyskanych wyników badań (rys od 53 do 58) mikroskopowych próbek. Takie opisy i oceny założy się dopiero w pkt 6.2. Co sprawia wrażenie pewnej chaotyczności pracy.
7. W aspekcie stwierdzenia, że następuje szybka utrata wody z powierzchni zagęszczonej należy rozważyć możliwość prowadzenia długiej pielęgnacji wodnej ułożonej warstwy betonu wałowanego.
8. Wybrane uwagi redakcyjne:
 - W wykazie skrótów i symboli w Układzie SI nie stopień Celsjusza $^{\circ}\text{C}$ a kelwin, oznaczenie K, jest to jednostka SI temperatury termodynamicznej. Skala Kelvina opiera się na skali Celsjusza, lecz jest skalą termodynamiczną (0 K to zero bezwzględne).
 - Na str. 60 przedstawione dane o młocie wibracyjnym wykorzystanym do sporządzania próbek podano m. in., że amplituda drgań wynosi 2870 uderzeń/minutę. Natomiast liczbą uderzeń w czasie określa się częstotliwość a nie amplitudę. Jednostką amplitudy

przy drganiach mechanicznych może być metr, jednostka gęstości lub ciśnienia. Na stronie 119 pod Wykresem 11 Autor podaje prawidłowo „częstotliwość” uderzeń młota 2870 uderzeń/min. Natomiast w kilku miejscach m.in. we wniosku nr 6 na str. 127 ponownie pojawia się nieprawidłowe określenie „amplituda”.

- Autor stosuje tzw. skróty myślowe np. str. 114 „Próbki z zawartością recyklingu....”, które wprowadzają brak jasności opisu.
- Na wykresie 9 widać powtarzające się wielkości obciążeń i czasu zgęszczania prawdopodobnie powinny być zróżnicowane czasy tj. 15 s i 20 s.
- W kilku miejscach występują też zapisy w postaci Mpa, a powinno być MPa.

Reasumując, uważam, że przedstawiona rozprawa doktorska jest osiągnięciem badawczym Autora, a stwierdzone niedociągnięcia nie wpływają istotnie na jej poziom merytoryczny.

6. WNIOSEK KOŃCOWY

Doktorant zrealizował postawione w celach pracy problemy badawcze, wykorzystał do tego właściwe metody badań i analiz, wnosząc ciekawe i wartościowe nowe elementy wdrożeniowe. Praca jest ważna ze względu na jej znaczące walory użyteczne. Uzyskane rezultaty dają możliwość bezpośredniego wdrożenia uzyskanych w dysertacji rozwiązań.

Oceniana przez mnie rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Stałowskiego pt. „Badanie zagęszczenia betonu wykonywanego w technologii wałowanej. Opracowanie metodologii zagęszczenia betonu w warunkach budowy i laboratoryjnych” spełnia warunki stawiane pracom doktorskim określone w art. 187 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z 20 lipca 2018 roku (Dz. U z 2024 r. poz. 1571, z późniejszymi zmianami)”.

Wnoszę o przyjęcie pracy i dopuszczenie Autora do jej publicznej obrony.



