

Prof. dr hab. inż. Antoni Szydło

Wrocław, 2026- 01 - 19

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Politechniki Wrocławskiej

ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27

50-370 Wrocław

e-mail: antoni.szydlo@pwr.edu.pl

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Przemysława Stałowskiego pt: **"Badania zagęszczenia betonu wykonywanego w technologii wałowanej. Opracowanie metodologii zagęszczenia betonu w warunkach budowy i laboratoryjnych"**.

1. Uwagi formalne

Recenzja rozprawy została opracowana na podstawie pisma zlecającego nr 1/NB.520.7.2025 z dnia 25.11.2025 r. z Politechniki Bydgoskiej, podpisanego przez Przewodniczącą Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport dr inż. Justynę Sobczak - Piąstka.

Promotorem rozprawy jest: dr hab. inż. Maciej Dutkiewicz, prof. PBS.

Promotorem pomocniczym jest: dr inż. Tomasz Rudnicki, WAT Warszawa.

2. Tematyka rozprawy

Tematyka rozprawy dotyczy zagadnień związanych z oceną metody zagęszczania w laboratorium próbek betonu wałowanego stosowanego w budownictwie infrastruktury transportowej w szczególności w budownictwie drogowym. W Polsce tematyka ta jest rozwijana i nie ma do końca wypracowanych kryteriów oceny i warunków stosowania tych nawierzchni. Praca ma charakter aplikacyjny wykonana została w ramach doktoratu wdrożeniowego nr DWD /5/0208/2021 i jest umiejscowiona w dyscyplinie Inżynieria Lądowa Geodezja i Transport. Cel i tezy pracy są określone jednoznacznie. Celem pracy jest opracowanie metody przygotowywania próbek do badań laboratoryjnych wybranych właściwości, głównie wytrzymałości na ściskanie, doboru stosu kruszywowego, wilgotności optymalnej betonów wałowanych w zastosowaniu do nawierzchni drogowych. Są to zagadnienia, które są studiowane w administracjach drogowych i instytutach badawczych w



RPW/634/2026 P
Data:2026-02-10

światowej technice drogowej i jak dotąd nie mają jednoznacznego rozstrzygnięcia. Temat pracy moim zdaniem został określony trafnie. Tym bardziej, że w Polsce rozwijana jest budowa obiektów infrastruktury transportowej w tym drogowych nawierzchni betonowych.

3. Treść i zakres rozprawy

Praca składa się z 8 rozdziałów przedstawionych na 137 stronach formatu A5 oraz streszczenie polsko-angielskie. W pracy zestawiono spis wykorzystywanej literatury, zawierającej 110 pozycji. Ponadto do pracy załączono załącznik składający się z 31 załączników zawierających badania kruszyw, betonów na ściskanie oraz receptury betonów.

W rozdziale 1, wstępie, Autor omawia historię zastosowania betonu wałowanego w budowie dróg na świecie oraz zalety nawierzchni betonowych jak również technologię układania nawierzchni betonowych w tym z betonu wałowanego. W rozdziale tym Autor uzasadnia podjęcie tematyki wskazując na następujące elementy: duży rozrzut wyników badań wytrzymałości na ściskanie pobieranych z układanych warstw nawierzchni, nieprawidłowo dobrane uziarnienie, wpływ zawartości wody w mieszance betonu wałowanego.

W rozdziale 2 przedstawił przegląd literatury w kontekście: doboru składników betonu wałowanego w tym popiołów lotnych, domieszek chemicznych, włókien polimerowych, kruszywa z recyklingu. Dokonał przeglądu wykonywania nawierzchni z betonu wałowanego w Polsce i na świecie. Omówił przepisy krajowe dotyczące betonu wałowanego. Porównał koszty wykonania betonu wałowanego i mieszanek mineralno-asfaltowych.

W rozdziale 3 przedstawił Doktorant hipotezy badawcze oraz cel i zakres badań. Sformułował trzy hipotezy badawcze:

- projektowanie składu kruszywowego dla betonu wałowanego ma bezpośredni wpływ na makroteksturę, która ma bezpośrednie przełożenie na trwałość betonu w czasie,
- wytrzymałość na ściskanie jest zależna od energii zagęszczenia oraz i wilgotności podczas formowania próbek,
- możliwość rzetelnego odwzorowania receptury i sprawdzenia mieszanki betonowej w trakcie wbudowania jest niezbędna w procesie budowy.

Celem badań jest opracowanie uniwersalnej metody projektowania betonu wałowanego pod kątem doboru uziarnienia mieszanki betonowej, miernikiem jest ocena wizualna stwardniałej mieszanki w warstwie oraz wartości punktu piaskowego w stosie kruszywowym. Ponadto za cel badań Doktorant przyjął:

- określenie wpływu wilgotności optymalnej na proces zagęszczania próbek, gęstość i wytrzymałość betonu,
- opracowanie stanowiska badawczego do przygotowywania próbek betonu wałowanego niezależnych od czynnika ludzkiego (metoda młota wibracyjnego).

Weryfikacja wyników w zależności od wymienionych parametrów mających wpływ na parametry betonu wałowanego odbywała się poprzez: badanie wytrzymałości na ściskanie oraz badania makroskopowe betonu pod kątem sprawdzenia różnic w strukturze betonu przy różnych metodach zagęszczania.

W rozdziale 4 przedstawił Doktorant materiały stosowane do produkcji betonu wałowanego oraz metody ich badań. Do produkcji betonu wałowanego zastosowano następujące materiały: piasek 0/2, kruszywo 2/8, 8/16, kruszywo z recyklingu 2/8, 8/16 oraz cement CEM I 42,5 R, CEM II A-V 42,5R, wodę wodociągową oraz domieszkę napowietrzającą SIKKA LPSA-94. Doktorant wykonał następujące badania: analizę sitową, reaktywność alkaliczną kruszyw metodą przyspieszoną, oznaczenie gęstości i wilgotności optymalnej metodą Proctora. Ponadto wykonał badania zagęszczenia próbek z betonu wałowanego wg metody Proctora, ręcznego młota wibracyjnego oraz autorskiego pomysłu młotem wibracyjnym z określoną amplitudą drgań. Na przygotowanych próbkach wykonywano badania wytrzymałości na ściskanie oraz w badaniach pod mikroskopem obserwowano strukturę betonu po zniszczeniach próbek zagęszczanych różnymi metodami.

W rozdziale 5 Doktorant zaprezentował wyniki badań: analizę sitową kruszyw mineralnych oraz stosu kruszywowego mieszanki pod kątem punktu piaskowego. Doktorant w swoich receptach wykorzystywał kruszywa naturalne typu: piaski, żwiry oraz kruszywo recyklingowe. Jedna recepta miała kruszywa łamane typu bazalt z tym, że była to recepta pochodząca z budowy. Doktorant stosował następujące mieszanki oraz betony. Jako podstawowa recepta to beton C30/37 L dla której analizował dobór stosu kruszywowego, makroteksturę oraz metodologię zagęszczenia. Receptury pomocnicze (C8/10P oraz C12/15P) służyły do weryfikacji metod zagęszczania. Receptura C30/37R służyła do oceny wpływu kruszywa pochodzącego z recyklingu. W przypadku doboru stosu kruszywowego Doktorant analizował punkt piaskowy. W wyniku studiów i analiz ocenił, że punkt piaskowy w zakresie 38% powoduje w efekcie jednorodną wizualnie strukturę betonu wałowanego. W rozdziale przedstawił Doktorant badania wilgotności optymalnej mieszanek betonowych za pomocą metody Proctora. W rozdziale tym przedstawiono wyniki obserwacji mikroskopowych betonu zagęszczanych różnymi metodami oraz wyniki badań wytrzymałości na ściskanie.

Rozdział 6 poświęcony jest dyskusji wyników badań. Doktorant stwierdza, że istotną rolę przy kształtowaniu recepty spełnia punkt piaskowy. Punkt piaskowy dla betonów C30/37 powinien być powyżej 38% co sprzyja polepszeniu struktury makroskopowej ale ma wpływ na zwiększenie wilgotności optymalnej. Wyższe wartości punktu piaskowego powinny być przyjęte dla niższych klas betonu. Istotne jest określenie wilgotności optymalnej betonu. Przyjęcie wody większej lub mniejszej od wilgotności optymalnej powoduje problemy przy układaniu betonu albo uplastycznienie przy układaniu betonu lub szybsze przesuszanie i w efekcie łuszczenie betonu. Obserwacje mikroskopowe próbek zagęszczanych różnymi metodami wskazują, że wygląd próbek zagęszczanych wg Proctora i metodami udarowymi jest różny. Próbkę zagęszczaną wg Proctora są bardziej jednorodne niż metodami udarowymi, gdzie obserwuje się niedogęszczone pobocznice. W próbkach zagęszczanych metodą Proctora obserwuje się pękanie kruszywa czego nie obserwuje się stosując metody udarowe w tym autorską. W dalszej części dyskusji wyników Autor omawia wyniki badań wytrzymałości w zależności od metody zagęszczania. Próbkę zagęszczaną wg metody Proctora w wilgotności optymalnej dają oczekiwane wytrzymałości. Próbkę zagęszczaną ręcznie wibracyjnie odbiegają znacznie od założonych wytrzymałości. Natomiast próbki zagęszczane metodą autorską wibracyjnie na statywie po określeniu optymalnego obciążenia oraz ustaleniu liczby udarów na minutę dają zadowalające wyniki badań wytrzymałości na ściskanie. Doktorant pobrał również próbki z budowy i zbadał je w laboratorium określając wytrzymałość na ściskanie. Wyniki nie wykazywały rozrzutu ale projektowany beton C30/37 okazał się betonem C50/60. Optymalizacja recepty pozwoliła na ograniczenie ilości cementu o 15 kg/m³.

W rozdziale 7 Doktorant przedstawił wnioski, które zostały opracowane na podstawie badań i analiz Doktoranta przeprowadzonych w rozprawie. Wnioski zawierają następujące stwierdzenia: Punkt piaskowy w stosie kruszywowym powinien być powyżej 38% co zapewnia jednorodną makrostrukturę. Zawartość frakcji drobnych powinna być na tyle wysoka ażeby zapewnić optymalną wilgotność ażeby można było zagęścić próbki. Struktura mikroskopowa jest różna dla próbek zagęszczanych wg metody Proctora i młotem wibracyjnym. Wg zagęszczania metodą Proctora struktura wewnętrzna jest poszarpana a ziarna pokruszone, czego nie obserwuje się w autorskiej metodzie zagęszczania. Nie jest zalecane zagęszczanie ręczne udarowe z powodu dużych rozrzutów wyników badań wytrzymałości na ściskanie. Autorska metoda zagęszczania z dobranymi parametrami (obciążenie, amplituda drgań, 2 warstwy zagęszczane) pozwala na optymalizację receptur.

Metoda zagęszczania wg Proctora oraz autorska pozwalają na korelację wyników w zakresie energii zagęszczania 0,5869 do 0,5944 MJ/m³.

4. Ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa mgra inż. Przemysława Stałowskiego dotyczy ważnego problemu występującego w drogownictwie nie tylko polskim ale również światowym związanego z oceną właściwości betonów wałowanych w zastosowaniu do budowy obiektów infrastruktury transportowej w tym drogowych nawierzchni betonowych. Doktorant podjął się trudnego i ambitnego zadania badawczego, którego efekty w praktyce mogą być widoczne w nawierzchniach drogowych po kilkuletnim okresie eksploatacji. Praca ta moim zdaniem ma ważne znaczenie poznawcze i techniczne dla rozwoju technologii betonów stosowanych w obiektach infrastruktury transportowej. Problem ma również aspekt ekonomiczny, gdyż przedwczesne degradacje nawierzchni drogowych prowadzą do wzrostu nieprzewidywanych kosztów w zakresie utrzymania.

Doktorant w celu udowodnienia postawionych tez i realizacji celów wykonał obszerny program badań w warunkach laboratoryjnych i częściowo terenowych. Podstawowym celem pracy jest opracowanie autorskiej metody zagęszczania sześciennych próbek z betonu wałowanego w laboratorium za pomocą młota wibracyjnego zamocowanego na statywie z określoną amplitudą drgań. Wyniki uzyskane tą metodą porównywał ze stosowanymi aktualnie tj. metodą zagęszczenia wg metody Proctora oraz ręcznego młota wibracyjnego. Na przygotowanych próbkach wykonywał badania wytrzymałości na ściskanie oraz w badaniach mikroskopem obserwował strukturę betonu po zniszczeniach próbek zagęszczanych różnymi metodami. Oceniał również wizualnie makrotekturę zagęszczonych próbek. Zaprojektował mieszanki z betonu wałowanego wykonując kilka recept. Jako podstawowa recepta to beton C30/37 L dla której analizował dobór stosu kruszywowego, makrotekturę oraz metodologię zagęszczenia. Receptury pomocnicze (C8/10P oraz C12/15P) służyły do weryfikacji metod zagęszczania. Receptura C30/37R służyła do oceny wpływu kruszywa pochodzącego z recyklingu. W przypadku doboru stosu kruszywowego Doktorant analizował punkt piaskowy. W wyniku studiów i analiz ocenił, że punkt piaskowy w zakresie 38% powoduje w efekcie jednorodną wizualnie strukturę betonu wałowanego. Przedstawił Doktorant również badania wilgotności optymalnej mieszanek betonowych za pomocą metody Proctora jak również wyniki obserwacji mikroskopowych betonu zagęszczanych różnymi metodami oraz wyniki badań wytrzymałości na ściskanie. Doktorant metodycznie i systematycznie udowadniał tezy

i realizował cel pracy. W wyniku badań sformułował następujące wnioski. Punkt piaskowy w stosie kruszywowym powinien być powyżej 38% co zapewnia jednorodną makroteksturę. Zawartość frakcji drobnych powinna być na tyle wysoka ażeby zapewnić optymalną wilgotność i można było zagęścić próbki. Struktura mikroskopowa jest różna dla próbek zagęszczanych wg metody Proctora i młotem wibracyjnym. Podczas zagęszczania metodą Proctora struktura wewnętrzna jest poszarpana a ziarna pokruszone, czego nie obserwuje się w autorskiej metodzie zagęszczania. Nie jest zalecane zagęszczanie ręczne udarowe z powodu dużych rozrzutów wyników badań wytrzymałości na ściskanie. Autorska metoda zagęszczania z dobranymi parametrami (obciążenie, amplituda drgań, 2 warstwy zagęszczane) pozwala na optymalizację receptur. Metoda zagęszczania wg Proctora oraz autorska pozwalają na korelację wyników w zakresie energii zagęszczania 0,5869 do 0,5944 MJ/m³. Dodatkowo Doktorant wykonał analizę kosztów wykonania betonu wałowanego i mieszanek mineralno-asfaltowych dla konstrukcji odpowiadającej kategorii ruchu KR2. Z analizy tej wynika, że koszty budowy nawierzchni z betonu wałowanego są znacznie niższe niż nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych..

Doktorant wnioski formułował wykorzystując własne zbiory wyników badań. Przedstawione w zakończeniu pracy wnioski opierają się o rezultaty badań wykonanych w laboratorium i częściowo na rzeczywistych obiektach, stanowiąc ich uogólnienie. Interesująca jest zaproponowana przez Doktoranta metoda zagęszczania próbek jak również spostrzeżenia odnośnie punktu piaskowego oraz wilgotności optymalnej przy doborze składu mieszanki betonu wałowanego. Prezentowana w rozprawie bibliografia odnosi się do zagadnień studiowanych w pracy.

5. Uwagi merytoryczne i pytania do Doktoranta

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy nasuwają się następujące uwagi merytoryczne i pytania do Doktoranta na które oczekuję odpowiedzi podczas obrony:

- 1) W pracy Doktorant wyniki swoich badań odnosił do badań wytrzymałości na ściskanie. W nawierzchniach betonowych stosuje się inne metody badań pozwalające na kompleksową ocenę betonu. Do nich zaliczamy np. wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu bądź rozłupywaniu, odporność na cykliczne zamrażanie i odmrażanie oraz odporność na działanie środków odladzających.

Proszę wyjaśnić dlaczego wyniki odnoszono tylko do badań wytrzymałości na ściskanie a nie w/w badań, które decydują o trwałości nawierzchni betonowych.

- 2) Jak był zagęszczany beton na budowie z którego Doktorant pobierał próby? Czy może była określana energia jaka jest potrzebna do zagęszczenia betonu na budowie i podczas zagęszczania w laboratorium?
- 3) Wytrzymałość betonu pobranego z nawierzchni była określana na podstawie odwiertów walcowych. Przy jakich wymiarach próbek określano wytrzymałość? W laboratorium badano próbki sześciennie. Czy w analizie wyników uwzględniano ten fakt?
- 4) Jaka była rola Doktoranta przy realizacji wskazanych w pracy nawierzchni, gdzie wbudowywany był beton wałowany? Szkoda, że Doktorant nie pokusił się w pracy dokonać oceny stanu tych obiektów, chociażby wizualnej.
- 5) W pracy daje się odczuć brak analiz statystycznych wyników badań, chociażby weryfikacji hipotez statystycznych (np. o równości środków zgrupowania), które pomogłyby na obiektywną ocenę wpływu różnych parametrów. Jak wynika z danych zamieszczonych w pracy Doktorant analizował duże populacje próbek.
- 6) Czy Doktorant zapoznał się z pracą doktorską realizowaną w Wojskowej Akademii Technicznej pt: "Metoda badawcza określania właściwości nawierzchni z betonu wałowanego" autorstwa mgr inż. Patryka Przybylskiego? (2021 rok)
- 7) Jakie jest zdanie Doktoranta odnośnie stosowania szczelin w nawierzchniach z betonu wałowanego?

6. Uwagi redakcyjne

Podczas studiowania pracy dostrzegłem usterki redakcyjne z których wybrane cytuję poniżej:

- 1) Co Doktorant rozumie pod pojęciem makrotekstura? Nadmieniam, że w drogownictwie pojęcie to jest zdefiniowane w WRD – 64 – „Wytyczne określania cech powierzchniowych nawierzchni jezdni i innych części dróg”.
- 2) W pracy używane jest pojęcie masa bitumiczna, winno być mieszanka mineralno-asfaltowa.
- 3) Na rys. 14 ilustrującym porównanie kosztów: *pozycja wykonanie i wypełnienie szczelin* jest podane w m² chyba poprawniejszą jednostką byłoby wyrażenie w „m”.

- 4) Doktorant w pracy raz używa pojęcie stos okruszowy a raz kruszywowy. Przy dalszej publikacji pracy należałoby to ujednolicić.
- 5) Ponadto zauważono w pracy szereg innych omyłek redakcyjnych, wynikających może z pośpiesznej korekty pracy.

Mam nadzieję, że przy ewentualnej publikacji wyników badań Autor wyeliminuje w/w uwagi redakcyjne.

7. Osiągnięcia zawarte w rozprawie

Biorąc pod uwagę całość przedstawionej rozprawy stwierdzam, że dotyczy ona ważnego zagadnienia związanego z oceną technologii projektowania betonów wałowanych używanych w budownictwie drogowym. Badania Doktoranta pozwoliły na opracowanie autorskiej metody zagęszczania sześciennych próbek z betonu wałowanego w laboratorium za pomocą młota wibracyjnego zamocowanego na statywie z określoną amplitudą drgań. Autorska metoda zagęszczania z dobranymi parametrami (obciążenie, amplituda drgań, 2 warstwy zagęszczane) pozwala na optymalizację receptur. W wyniku dalszych badań z wykorzystaniem zaproponowanej metody Doktorant sformułował kryteria doboru stosu kruszywowego określającego następujące warunki: punkt piaskowy w stosie kruszywowym powinien być powyżej 38% co zapewnia jednorodną makroteksturę. Zawartość frakcji drobnych powinna być na tyle wysoka ażeby zapewnić optymalną wilgotność ażeby można było zagęścić próbki. Opracowana metoda pozwala na zwiększenie trwałości betonu wałowanego.

Autor do realizacji celów pracy i udowodnienia postawionych tez wykonał obszerny program badań, zbierając dane empiryczne w warunkach laboratoryjnych oraz częściowych obserwacjach *in situ*.

W sposób czytelny metodami naukowymi, na podstawie wyników badań zebranych w laboratorium oraz obserwacjach *in situ*, Doktorant rozwiązał zadanie naukowe. Zaproponował metodę zagęszczania w laboratorium próbek do badań właściwości wytrzymałościowych betonów wałowanych oraz doboru stosu kruszywowego i wilgotności optymalnej. Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia prac badawczych i rozwiązywania problemów naukowych.

Podane powyżej uwagi nie umniejszają wartości rozprawy jako całości i mam nadzieję, że zostaną wyjaśnione podczas obrony pracy.

8. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Stałowskiego pt: "Badania zagęszczenia betonu wykonywanego w technologii wałowanej. Opracowanie metodologii zagęszczenia betonu w warunkach budowy i laboratoryjnych", stanowi rozwiązanie problemu naukowego i wskazuje na dobry poziom wiedzy Doktoranta z dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, a także na umiejętność prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata. Stwierdzam, że opiniowana rozprawa spełnia wszystkie wymagania określone przez ustawę wg której procedowana jest recenzowana praca doktorska.

Przedkładam Senatowi Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich niniejszą recenzję z wnioskiem o przyjęcie pracy jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.

