

## RECENZJA

### rozprawy doktorskiej mgr inż. Sylwii Szerakowskiej pt. „Ocena parametrów kształtu ziaren i ich wpływu na zagęszczalność gruntów niespoistych”

#### 1. Podstawa opracowania recenzji

Niniejszą recenzję pracy doktorskiej mgr inż. Sylwii Szerakowskiej pt. „Ocena parametrów kształtu ziaren i ich wpływu na zagęszczalność gruntów niespoistych” wykonano na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej – Pana Prof. dr hab. inż. Michała Bołtryka, z dnia 1 sierpnia 2018 roku, zgodnie z decyzją Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej z dnia 4 lipca 2018 roku.

#### 2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Recenzowana praca doktorska liczy 193 strony tekstu podstawowego, 51 stron załączników (Zał. 1 + Zał. 3) oraz 183 pozycje literatury (153 publikacji naukowych i naukowo-technicznych, 25 norm i wytycznych, 3 instrukcje – programy GrainShape, 2 strony internetowe). Spośród 153 pozycji literatury podstawowej, ponad 70% pozycji przypada na lata po roku 2000. 96 pozycji należy do literatury anglojęzycznej, a 57 do literatury polskiej. Spośród 25 norm i wytycznych wyróżniono 7 zagranicznych i 18 polskich. Ponadto, praca doktorska zawiera wykaz ważniejszych oznaczeń stosowanych w rozprawie, streszczenia w języku polskim i języku angielskim.

Praca została podzielona na 8 rozdziałów, a każdy z nich na podrozdziały.

##### 2.1. Aktualny stan wiedzy w zakresie tematyki rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy problemów oceny parametrów kształtu ziaren gruntowych oraz określenia wpływu parametrów kształtu ziaren na zagęszczalność gruntów niespoistych. Kształt ziaren ma wpływ na wiele właściwości ośrodka gruntowego oraz na jego zachowanie. Zagadnienie charakterystyki kształtu ziaren gruntowych nie jest proste. Do tej pory nie zostały jednoznacznie określone i znormalizowane definicje i badania kształtu ziaren oraz parametrów służących do jego opisu.

Zagadnienie wpływu kształtu ziaren na fizyczne i mechaniczne właściwości podłoża gruntowego było tematem wielu badań naukowców, którzy wyszczególnili kształt ziarna, jako jeden z podstawowych parametrów decydujących o zachowaniu się gruntów.

W praktyce inżynierskiej do oceny kształtu ziaren wykorzystuje się klasyfikację bardzo ogólną i najczęściej wizualną. Przy ocenie kształtu wykorzystywane są nieprecyzyjne i subiektywne pojęcia, np.: kształt kulisty, zaokrąglony, nieregularny, cylindryczny, kanciasty. Wadell (1932), jako pierwszy z badaczy zajął się opisem kształtu ziaren. Przyjął, że

kształt ziaren jest pojęciem złożonym i można go opisać dwoma niezależnymi parametrami geometrycznymi: stopniem kulistości i stopniem zaokrąglenia naroży. Opis kształtu ziaren za pomocą dwóch parametrów był wówczas innowacyjnym podejściem. Definicje kształtu ziaren podali również m.in. Cox (1927), Pentland (1927), Heywood (1933), Dobkins i Folk (1970). Większość definicji utożsamianych z kształtem ziarna odnosiła się wyłącznie do jednego z parametrów kształtu.

Definicje i metody określania parametrów kształtu są nieustannie modyfikowane. Obszerną analizę definicji zastosowanych do opisu parametrów kształtu przedstawiono m.in. w pracy Claytona i in. (2009), Zavali (2012).

Tabelaryczne zestawienia obrysów ziaren zostały przygotowane m.in. przez: Krumbeina (1941), Rittenhousea (1943), Powersa (1953), Leesa (1964), Zingga.

Barrett (1980) rozszerzył opis kształtu ziaren o trzeci parametr, którym jest mikrotekstura powierzchni ziarna. Według Barretta, aby scharakteryzować kształt ziarna należy określić trzy niezależne parametry: kulistość, kanciastość i mikroteksturę. Kulistość obrazuje ogólny kształt ziarna w porównaniu do kształtu kuli, kanciastość opisuje zmiany i zaokrąglenia w narożach ziarna, natomiast mikrotekstura powierzchni określa złożoność powierzchni ziarna.

Wyżej wymienione parametry kształtu ziarna w różnych skalach przybliżenia lub odniesienia pozwalają uzyskać pełną informację na temat kształtu.

Ruchin (1962) wprowadził uogólniony współczynnik kształtu ziarna, uwzględniający dwie cechy kształtu: współczynnik będący funkcją ostrości kątów ziarna oraz współczynnik oceniający stopień przybliżenia ziarna do kuli.

Parylak (2000) określił sumaryczne wskaźniki cech kształtu, w których uwzględnił stopień kulistości, stopień zaokrąglenia naroży lub stopień ostrokrawędzistości oraz wskaźnik gładkości powierzchni do opisu szorstkości powierzchni ziarna.

Kształt ziaren, niezależnie od rodzaju gruntu, jak podaje Pisarczyk (1977), jest ważnym czynnikiem rzutującym na zagęszczalność gruntu. Stąd istotnym jest szczegółowe rozpoznanie kształtu ziaren oraz zależności pomiędzy parametrami kształtu i zagęszczalności. Zadanie to jest interesujące, tym bardziej, iż parametry kształtu ziaren zasadniczo nie są wykorzystywane i uwzględniane w praktyce geotechnicznej, z powodu trudności z ich jednoznaczną oceną ilościową.

Biorąc powyższe pod uwagę, Doktorantka jako główny cel swojej pracy wyznaczyła analizę i wybór metod badań parametrów kształtu: kulistości, kanciastości i mikrotekstury powierzchni ziaren, jak również określenie wpływu parametrów kształtu ziaren na parametry zagęszczalności gruntów niespoistych.

## **2.2. Struktura rozprawy doktorskiej**

Rozprawa doktorska została przez mgr inż. Sylwię Szerakowską przedstawiona w ośmiu rozdziałach oraz w trzech załącznikach:

- W Rozdziale 1 pracy zostały przedstawione tezy, cele i zakres pracy, jak również uzasadnienie podjęcia się tematu pracy. Doktorantka przedstawiła dwie główne tezy w swojej pracy: *„możliwy jest wybór najlepszej metody ilościowej oceny parametrów kształtu ziaren gruntów niespoistych: kulistości, kanciastości i mikrotekstury powierzchni”*, *„istnieje zależność pomiędzy kształtem ziaren a parametrami zagęszczalności gruntów niespoistych”*.

Doktorantka w uzasadnieniu podjęcia tematu rozprawy stwierdziła, że *„analiza wpływu parametrów kształtu ziaren na parametry zagęszczalności mieszanek traktowanych jako grunty niespoiste może mieć walory poznawcze i praktyczne”*.

- Rozdział 2 pracy zawiera opis kształtu ziaren. Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska wyjaśniła znaczenie kształtu ziaren, dokonała przeglądu ogólnych klasyfikacji kształtu ziaren,

jak również klasyfikację kształtu ziaren w ujęciu normowym. Rozdział 2.4 zawiera opis trzech parametrów kształtu ziaren, do których zalicza się: kulistość, kanciastość i mikroteksturę powierzchni, zaś Rozdział 2.5 przedstawia ogólny wskaźnik kształtu ziaren.

- Metody badania parametru kulistości ziaren znalazły miejsce w Rozdziale 3. Kulistość jest uważana przez wielu badaczy za najważniejszą cechę kształtu i często jest utożsamiana z kształtem ziarna. Większość definicji opracowanych przez różnych autorów bazuje na stosunku poszczególnych wielkości geometrycznych, charakteryzujących analizowane ziarno lub rzut ziarna, w przypadku przestrzeni dwuwymiarowej. W tym celu najczęściej badacze wykorzystują takie wielkości, jak: pole, obwód, długości osi ziarna. Definicje kulistości oparte na charakterystycznych wymiarach rzutu ziarna w przestrzeni dwuwymiarowej, jak również definicje kulistości oparte na charakterystycznych wymiarach ziarna w przestrzeni trójwymiarowej zostały przedstawione w Rozdziale 3.1. W Rozdziale 3.2 znalazły swoje miejsce metody analityczne oparte na porównywaniu ziarna do kuli lub rzutu ziarna do okręgu. Jak zauważa Doktorantka, parametr kulistości jest trudny do obliczenia, stąd mnogość opracowanych metod. Z uwagi na nieskomplikowany charakter równań wykorzystywanych w poszczególnych metodach, zalecane jest opracowanie programu komputerowego, który w wyniku przyjęcia odpowiednich algorytmów działania wykluczy subiektywizm oceny osoby dokonującej pomiaru oraz ułatwi i przyspieszy obliczenia.

- Metody badania parametru kanciastości ziaren, w tym metody analityczne oparte na wpisywaniu okręgów w rzut ziarna oraz metody analityczne oparte na charakterystycznych wymiarach ziarna zostały przedstawione przez Panią mgr inż. Sylwię Szerakowską w Rozdziale 4 pracy doktorskiej. Tak jak w poprzednim rozdziale, Autorka doszła do wniosku, że koniecznym jest opracowanie programu komputerowego w celu ułatwienia i przyspieszenia obliczeń kanciastości ziaren gruntu.

- W Rozdziale 5 pracy zostały scharakteryzowane metody badania parametru mikrotekstury powierzchni ziaren. Sposób określenia mikrotekstury powierzchni ziaren (szorstkości) jest najbardziej skomplikowanym zagadnieniem, ponieważ złożona struktura przestrzenna z trudem poddaje się opisowi za pomocą klasycznych narzędzi geometrii euklidesowej. Mikroteksturę powierzchni ziaren można obserwować przy dużych powiększeniach ziaren, np. w skaningowym mikroskopie elektronowym. Mikroteksturę powierzchni tworzą różne nierówności na powierzchni ziaren, o stosunkowo dużym zakresie wielkości. Na pojedynczym ziarnie różne mikrotekstury występują w różnej liczbie oraz z różną częstością. W Rozdziale 5 Doktorantka przedstawiła analityczne sposoby wyznaczania parametru mikrotekstury powierzchni (Rozdział 5.1), wykorzystanie analizy Fouriera (Rozdział 5.2), jak również wykorzystanie analizy fraktalnej (Rozdział 5.3) do oceny parametru mikrotekstury powierzchni ziaren. Jak stwierdziła Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska, za najbardziej obiecujące metody do oceny parametru mikrostruktury powierzchni ziaren uważa się analizę Fouriera oraz analizę fraktalną.

- Zagadnienie zagęszczalności i parametry zagęszczalności gruntów zostały przedstawione w Rozdziale 6. Właściwe zagęszczenie ma ogromny wpływ na trwałość przyszłych budowli, jak również decyduje o cechach eksploatacyjnych tej budowli. Odpowiednie zagęszczenie nasypu budowlanego warunkuje eliminację długotrwałego osiadania oraz zapewnia najwyższe parametry wytrzymałościowe gruntu. Parametrami zagęszczalności gruntu są: maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego oraz wilgotność optymalna. W odniesieniu do gruntów sypkich naturalnie zagęszczonych miarą zagęszczenia może być stopień zagęszczenia, który z kolei jest miarą aktualnego ułożenia ziaren w odniesieniu do stanu najbardziej luźnego i najbardziej zagęszczonego. Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska w kolejnych podrozdziałach przedstawiła: mechanizmy zagęszczania gruntów spoistych (Rozdział 6.1.1), gruntów niespoistych (Rozdział 6.1.2), jak również metody oznaczania parametrów zagęszczalności: metody ubijania (Rozdział 6.2.1), metody

statyczne (Rozdział 6.2.2), metody wibracyjne (Rozdział 6.2.3). Czynniki wpływające na efektywność zagęszczania gruntów przez wibrację, do których należą: skład granulometryczny, kształt i stopień obtoczenia ziaren, wilgotność gruntu, amplituda drgań, częstotliwość i częstość drgań, przyspieszenie drgań, obciążenie statyczne/powierzchniowe, czas wibracji, energia zagęszczania oraz siła wzbudzająca zostały obszernie opisane w Tablicy 6.2. Po analizie przedmiotu zagęszczenia gruntów, Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska podaje, że wyniki badań prowadzone przez wielu badaczy pokazują, że metody statyczne oraz wibracyjne pozwalają często uzyskać większe zagęszczenia niż metodą ubijania, dlatego celowe jest prowadzenie badań porównawczych przy wykorzystaniu tych metod w celu ustalenia najbardziej skutecznej metody zagęszczania dla badanego rodzaju gruntu.

- Rozdział 7 pracy doktorskiej zawiera badania własne, przeprowadzone przez Autorkę rozprawy w laboratoriach Katedry Geotechniki i Mechaniki Konstrukcji oraz Katedry Budownictwa i Inżynierii Drogowej Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej, Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, firmy Kamika, Katedry Inżynierii Materiałowej i Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej, Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w Warszawie w latach 2014-2017.

Zakres badań Autorka rozprawy przedstawiła w Tablicy 7.1, która zawiera badania wstępne, jak również badania właściwe. Ogólna liczba wykonanych badań wynosi 916. Badania wstępne obejmowały: badania makroskopowe parametrów kształtu ziaren, badania analizatorem AWK 3D, profilometrem stykowym, analizę sitową, gęstość właściwą szkieletu gruntowego, analizę areometryczną, nasiąkliwość, zapylenie frakcji, sita szcelinowe, badanie suwmiarką Schultza, badania wskaźnika przepływu. Spośród analizowanych rodzajów kruszyw, do badań właściwych Autorka rozprawy wybrała: kruszywo łamane granitowe z Kopalni Siedlimowice oraz kruszywo naturalne z Odkrywkowego Zakładu Górniczego DRAHLE VI koło Sokółki, ponieważ ich ziarna reprezentowały dwie wyraźnie różniące się od siebie grupy kształtów. Zakres badań właściwych obejmował: zdjęcia w skaningowym mikroskopie elektronowym oraz w mikroskopie optycznym, badania zagęszczalności metodą Proctora oraz na stole wibracyjnym.

Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska w Rozdziale 7 przedstawiła również algorytm działania programu komputerowego GrainShape, zaprojektowanego i opracowanego specjalnie na potrzeby rozprawy doktorskiej, wykorzystanego do obliczania parametrów kształtu 350 ziaren gruntowych.

W celu oceny metod obliczania analizowanych parametrów kształtu ziaren, Doktorantka przeprowadziła analizę statystyczną wyników badań poszczególnych parametrów kształtu. Ostatecznie, Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska wybrała najlepsze metody obliczeń parametrów kształtu ziaren wybranych gruntów. Została również wykonana analiza statystyczna wyników badań zagęszczalności mieszanek z uwzględnieniem kształtu ziaren. Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska określiła, a następnie opracowała metody predykcyjne, które opisują zależności pomiędzy parametrami kształtu ziaren a parametrami zagęszczalności. W swoich analizach statystycznych Doktorantka wykorzystwała regresję liniową, regresję wieloraką oraz wnioskowanie statystyczne.

- Podsumowanie i wnioski rozprawy doktorskiej zostały umieszczone w Rozdziale 8 pracy. Autorka rozprawy po osiągnięciu celu naukowego, jakim było opracowanie modeli parametrów zagęszczalności uwzględniających parametry kształtu ziaren dla poszczególnych metod zagęszczania analizowanych rodzajów mieszanek, przedstawiła wnioski ogólne i bardziej szczegółowe. W Rozdziale 8.4 zostały również przedstawione kierunki dalszych prac.

- Praca zawiera również spis literatury, spis załączników: Zał. 1 – Zdjęcia ziaren kruszyw poszczególnych frakcji, Zał. 2 – Wyniki badań zagęszczalności, Zał. 3 – Badania składu granulometrycznego mieszanek po procesie zagęszczenia.

Strukturę i układ pracy doktorskiej można uznać za logiczny i przejrzysty.

### 3. Ocena dorobku rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się w prace badawcze laboratoryjne, poświęcone opisowi kształtu ziaren, a następnie określeniu zależności pomiędzy kształtem ziaren i właściwościami gruntów, w tym przede wszystkim zagęszczalnością gruntów niespoistych.

Podjęty przez Panią mgr inż. Sylwię Szerakowską temat pracy doktorskiej miał za cel analizę metod badań parametrów kształtu, tj. kulistość, kanciastość i mikroteksturę powierzchni ziarna, a następnie określenie wpływu wyznaczonych parametrów kształtu ziaren na parametry zagęszczalności gruntów niespoistych. Cele pracy zostały osiągnięte, a tezy pracy dzięki obszernemu studium literatury przedmiotu i własnym badaniom, udowodnione.

Niewątpliwie na wyróżnienie zasługuje ciekawy i obszerny program własnych badań, który obejmował badania wstępne wykonane na grupie kruszyw w celu wyboru odpowiednich materiałów do badań o możliwie skrajnie różnych kształtach ziaren. Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska przeprowadziła makroskopową ocenę kształtów ziaren, obserwację kształtu i powierzchni ziaren pod mikroskopem optycznym, pomiar kształtów za pomocą analizatora optyczno-elektronicznego AWK 3D, oznaczenie kształtu ziaren za pomocą wskaźnika płaskości, określiła wskaźnik kształtu za pomocą suwmiarki Schultza oraz wskaźnik przepływu w celu wstępnego określenia mikrotekstury powierzchni. Badaniami zostały objęte kruszywa naturalne (kruszywa żwirowo-piaskowe: Sokółka, Świridy oraz morskie: Ustka), kruszywa łamane (granit: Siedlimowice, melafir: Czarny Bór, marmur: Biała Marianna, bazalt: Wilków, gnejs: Doboszowice) oraz kruszywa sztuczne (odpad hutniczy: Gliwice, kulki szklane: produkcja czeska). Spośród analizowanych rodzajów kruszyw, Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska do badań właściwych wybrała: kruszywo łamane granitowe z Kopalni Siedlimowice oraz kruszywo naturalne z Odkrywkowego Zakładu Górniczego DRAHLE VI koło Sokółki.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że na potrzeby rozprawy doktorskiej, według pomysłu i przy współudziale Autorki pracy, został opracowany program GrainShape przez firmę ProgressioDesign Macin Gryniewicz. Program GrainShape (2016, 2017) to narzędzie służące do analizy kształtu ziaren gruntowych na podstawie ich fotografii cyfrowych. Program wykorzystuje zaawansowane techniki przetwarzania obrazów do wykrycia konturu ziarna. Ma wbudowane algorytmy obliczające wskaźniki kształtu oraz procedury pozwalające na kompleksowy eksport wyników w wybranej formie.

Podstawowe parametry konturu wyznaczone przez program są następujące: obwód, pole, średnica koła wpisanego i opisanego, wymiary osi elipsy, pole powierzchni wypukłej, itd. Zaawansowane parametry kształtu ziaren dotyczą określania kulistości, kanciastości i mikrotekstury bazując na wzorach analitycznych z dostępnych źródeł literaturowych lub na podstawie analiz zaimplementowanych w programie. Dodatkowy moduł obliczeniowy FRACTAL+ pozwala na obliczenie wymiaru fraktalnego metodami pudełkową oraz cyrklową, natomiast drugi moduł obliczeniowy FOURIER+ służy do obliczenia deskryptorów Fouriera kształtu ziarna na podstawie aproksymacji funkcjami trygonometrycznymi jednowymiarowego rozwinięcia jego konturu.

Program GrainShape oblicza parametry kształtu z wykorzystaniem łącznie 39 metod, w tym: 12 metod obliczania parametru kulistości, 21 metod obliczania kanciastości, 6 metod obliczania mikrotekstury powierzchni.

Na podstawie analiz wyników obliczeń kulistości dwunastoma metodami, Autorka rozprawy wysunęła wniosek, że metodą, która najwyraźniej spełnia kryterium największego różnicowania analizowanych ziaren, uwzględniając rodzaje kruszywa oraz wielkości ziaren, jest metoda opracowana przez Coxa (1927), i później wykorzystana przez Janoo (1998). Kulistość ziaren zależy od rodzaju kruszywa i wielkości frakcji.

Na podstawie analiz wyników obliczeń kanciastości dwudziestu jeden metod, Autorka oceniła, że metodą, która najwyraźniej spełnia kryterium największego różnicowania analizowanych ziaren, uwzględniając rodzaje kruszywa oraz wielkości ziaren, jest metoda opracowana przez Leesa (1964). Wartość kanciastości zależy od rodzaju kruszywa i wielkości frakcji.

Na podstawie analiz wyników obliczeń mikrotekstury powierzchni ziaren sześcioma metodami, Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska stwierdziła, że metodą, która najwyraźniej spełnia kryterium największego różnicowania analizowanych ziaren, uwzględniając rodzaje kruszywa oraz wielkości ziaren jest metoda analizy Fouriera wykorzystująca drugi deskryptor częstotliwości D2. Metoda ta nie określa jednak jednoznacznie i wyraźnie różnic mikrotekstury ziaren kruszywa łamanego i naturalnego, które są zauważalne makroskopowo.

Z innych prac Autorki rozprawy wynika jednak, że lepszą metodą oceny mikrotekstury powierzchni jest analiza fraktalna przy wykorzystaniu transformacji Fouriera. Metoda ta jednak nie została dotychczas zaimplementowana do programu GrainShape.

Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska po przeprowadzeniu badań zagęszczalności mieszanek metodą Proctora, jak również na stole vibracyjnym przedstawiła wnioski wpływające z badań. Kształt ziaren ma znaczenie w procesie zagęszczania gruntów, ponieważ w każdej z zastosowanych metod zagęszczania mieszanki gruntowe z kruszyw naturalnych (z ziarnami bardziej obtoczonymi) osiągały wyższe wartości gęstości objętościowej szkieletu gruntowego niż odpowiadające mieszanki gruntowe z kruszyw łamanego o takim samym uziarnieniu. Mieszanki z kruszyw naturalnych zagęszczały się lepiej od mieszanek odpowiadających im uziarnieniem z kruszyw łamanych, niezależnie od metody zagęszczania. To wskazuje na istotny wpływ kształtu ziaren na zagęszczalność gruntów.

W rozprawie doktorskiej Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska określiła wpływ parametrów kształtu na zagęszczalność gruntów niespoistych. Odrębnie został przeanalizowany wpływ kształtu ziaren na parametry zagęszczalności (wilgotność optymalną, maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego, wskaźnik porowatości gruntu w stanie najbardziej zagęszczonym) mieszanek gruntowych zagęszczanych metodą Proctora oraz na stole vibracyjnym. Ocenę korelacji parametrów kształtu Doktorantka przeprowadziła za pomocą modeli regresji liniowej oraz regresji wielorakiej. Zostały opracowane zależności regresyjne parametrów zagęszczalności od parametrów kształtu dla poszczególnych metod badania zagęszczalności.

Autorka rozprawy oprócz podania wniosków ogólnych i szczegółowych w swojej pracy, przedstawiła perspektywę dalszych badań i analiz, w których zostały ujęte dalsze poszukiwania metod badania mikrotekstury powierzchni, kontynuacja badań kształtu ziaren innych rodzajów kruszyw oraz kontynuacja badań zagęszczania kruszyw i gruntów o różnych kształtach ziaren, uogólnienie modeli empirycznych dla szerszej grupy kruszyw i gruntów, jak również rozszerzenie programu GrainShape o dodatkowe metody obliczania parametrów kształtu ziaren.

#### **4. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne**

Recenzowana praca doktorska została napisana przez Panią mgr inż. Sylwię Szerakowską w sposób czytelny, logiczny i przejrzysty. Doktorantka podała na wstępie

podstawowe oznaczenia stosowane w rozprawie doktorskiej, jasno określiła cele i zakres pracy, jak również precyzyjnie sformułowała dwie tezy pracy, które zostały udowodnione.

Po zapoznaniu się z treścią pracy nasuwają się pytania:

- w uzasadnieniu wyboru tematu pracy, Autorka stwierdziła, że „*Analiza wpływu parametrów kształtu ziaren na parametry zagęszczalności mieszanek traktowanych jako grunty niespoiste może mieć walory poznawcze i praktyczne*”. W jaki sposób można wdrożyć w praktykę inżynierską wnioski wypływające z rozprawy doktorskiej, w szczególności korelacje pomiędzy parametrami kształtu ziaren i parametrami zagęszczalności?
- w Rozdziale 5.3.1 *Metody szacowania wymiaru fraktalnego* został podany m.in. wzór (5.29) na dyskretną transformatę Fouriera. Co oznacza symbol  $I(x, y)$  w tym wzorze?
- w Rozdziale 6.1.2 *Mechanizm zagęszczania gruntów niespoistych* została za Czyżewskim i in. (1973) przytoczona informacja, że „*wpływ wilgotności na zagęszczanie gruntów sypkich jest znacznie mniejszy niż w gruntach spoistych, a w gruntach pozbawionych cząstek pylastych i ilastych nie ma wyraźnej wilgotności optymalnej, przy której uzyskuje się największe zagęszczenie*”. Czy to twierdzenie można uzasadnić i udowodnić wynikami badań?
- w Rozdziale 6.2.3 *Metody vibracyjne* można znaleźć zapis, że „*Informacje dotyczące wpływu poszczególnych czynników na proces zagęszczania przez vibrację są często sprzeczne*”. Z czego to wynika? Czy jest to spowodowane błędami badaczy czy też zbyt dużą liczbą czynników wpływających na efekt zagęszczania?
- w Rozdziale 7.4.4 na str. 160, w punkcie dotyczącym Zastosowania modeli do predykcji, Autorka rozprawy w celu sprawdzenia opracowanych modeli do predykcji zmiennych zależnych na podstawie danych z literatury, z pracy Parylaka (2000) przeprowadziła analizę wyników badań parametrów kształtu dla dwóch drobnoziarnistych gruntów niespoistych (pyłów piaszczystych z Krakowian i Granicznej), kulek szklanych i popiołu lotnego. Doktorantka podała również ich parametry zagęszczalności uzyskane metodą vibracji w stanie powietrzno-suchym. Autorka rozprawy, na podstawie modeli 46, 48, 53 i 55 obliczyła parametry zagęszczalności, bez podania uzasadnienia wyboru wymienionych wyżej modeli. Co było powodem wyboru tych właśnie modeli?
- w podsumowaniu Rozdziału 7 na str. 163 zostały podane najlepsze modele regresji wielorakiej mieszanek zagęszczanych na stole vibracyjnym, w tym model na minimalny wskaźnik porowatości. Z wcześniejszych analiz nie wynika, że taki model był analizowany. Na jakiej podstawie został wyprowadzony model regresji wielorakiej:  
$$e_{\min} = 8,697 - 41,072I_a + 2,488w_{opt} \pm 0,63 \quad \text{przy } R^2 = 0,982; p = 0,004 < 0,05 ?$$
- w Rozdziale 7.4 *Określenie wpływu parametrów kształtu na zagęszczalność gruntów niespoistych* Autorka analizuje dwa rodzaje kruszywa łamane i naturalne. W zakresie danych ZBIÓR 5÷ZBIÓR 8 zostały podane parametry, osobno dla kruszywa łamanego (3 przypadki danych) i osobno dla kruszywa naturalnego (3 przypadki danych). W tablicach przedstawiających macierze współczynników korelacji liniowej i współczynników regresji wielorakiej zostały zebrane dane bez rozróżniania rodzaju kruszywa. Na rysunkach porównania wartości maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego za pomocą odpowiednich modeli pokazano łącznie 6 przypadków danych, bez rozróżniania rodzaju kruszywa. Zasadnym wydaje się, że należało przedstawić dane w zależności od rodzaju kruszywa, gdyż wszystkie dotychczas opisane w pracy wyniki badań i analiz zostały przedstawione w zależności od rodzaju kruszywa. Ponieważ Autorka rozprawy jednoznacznie stwierdziła, że parametry kształtu ziaren mają istotny wpływ na parametry zagęszczalności gruntów, ponadto są silnie ze sobą skorelowane a mieszanki z kruszyw naturalnych zagęszczały się lepiej od odpowiadających mieszanek z kruszyw łamanymi, niezależnie od metody zagęszczania,

właściwszym wydaje się odrębne analizowanie wpływu kształtu ziaren na zagęszczalność kruszyw naturalnych i kruszyw łamanych. Jaka jest opinia Autorki rozprawy na ten temat?

- w Rozdziale 7.4 Autorka rozprawy obliczała wartość błędu względnego próbek wg wzoru (7.9), a następnie oceniała przewidywania wartości parametrów zagęszczalności na podstawie uzyskanych wartości błędu względnego. We wnioskowaniu pojawia się stwierdzenie, że: (str. 141): „*Modele 4 i 9 opisane równaniami (7.18) i (7.19) przewidują wartości  $\rho_{ds}$  z dokładnością około  $\pm 2\%$* ”, gdyż wartość błędu względnego wynosi  $RE = \pm 2\%$ . Podobne stwierdzenia można znaleźć przy pozostałych analizach statystycznych. Zdaniem Recenzenta powyższe zdanie powinno brzmieć: „*Modele 4 i 9 opisane równaniami (7.18) i (7.19) przewidują wartości  $\rho_{ds}$ . Wartość błędu względnego wyznaczona dla tych modeli wynosi  $\pm 2\%$* ”.

W pracy można znaleźć następujące usterki redakcyjne:

- brak cytowań w tekście rozprawy następujących pozycji literatury: Allen (2012); Benn i Ballantyne (1993); Bradski (2000); Glinicka (2006); Kabai (1968); Kokusho i in. (2004) Kwan i in. (1999); Liu i in. (2011); Miyajima i in. (2001); Młynarczyk (1985); Mycielska-Dowgiałło i in. (2001); Mycielska-Dowgiałło i Woronko (1998); Oakey i in. (2005); Oda (1977); Oda i in. (1980); Zięba (2011); PN-EN 933-3:1999; PN-EN 13242:2010; PN-EN 13286-2:2005,
- brak w spisie literatury następujących pozycji: Pisarczyk (1977); PN-59/B-04491; PN-75/B-04481, Bradski i Kaehler (2000),
- w tekście pracy można znaleźć drobne błędy przy cytowaniu literatury:
  - str. 15: Mamok (2004); powinno być Mamok (2006),
  - str. 79, 80, 82: Tonnard (1693); powinno być Tonnard (1963),
  - str. 88, 89, 116: Cox (1926); powinno być Cox (1927),
- brak jednostek na rysunkach: Rys. 6.2; 7.48; 7.49; 7.52; 7.53; 7.56; 7.57; 7.58; 7.60; 7.61,
- brak jednostek w tablicach: Tab. 7.38; 7.39; 7.41; 7.42; 7.44; 7.45; 7.47; 7.48,
- str. 137: „*Wyniki badań zebrano w ZBIORZE 5, który składał się z 6. przypadków opisanych 12 zmiennymi (tab. 7.38)*”; powinno być: „*Wyniki badań zebrano w ZBIORZE 5, który składał się z 6. przypadków opisanych 10 zmiennymi (tab. 7.38)*”,
- str. 142: Modele 16 i 17 przewidują wartości  $e_{min}$ , a nie wartości  $\rho_{ds}$  jak zostało napisane w tekście pracy,
- str. 146 i 147: Rys. 7.54: równanie regresji zostało błędnie podane (por. wzór ze str. 146 i wartości współczynników z tab. 7.43,
- str. 147: „*Modele 27 i 28 zweryfikowano pod względem stochastycznym ...*”; powinno być: „*Modele 28 i 29 zweryfikowano pod względem stochastycznym ...*”,
- str. 149: wzór na  $\rho_{ds}$  zawiera błędny współczynnik (por. model 4 w tab. 7.40 oraz Rys. 7.48),
- str. 151: „*Weryfikacja modeli określonych równaniami (7.21)-(7.24) potwierdza ich prawidłowość*”; powinno być: „*Weryfikacja modeli określonych równaniami (7.26)-(7.28) potwierdza ich prawidłowość*”,
- str. 154: Rys. 7.58: błędnie podana wartość  $R^2$  (por. model 40 w tab. 7.46),
- str. 159: błędnie podane wartości współczynników we wzorze (7.36) i na Rys. 7.62 (por. model 54 w tab. 7.49),
- str. 161: błędnie podane wartości współczynników we wzorach (7.40)-(7.41); (por. modele w tab. 7.49). Ponadto błędna numeracja wzorów i błędna numeracja tablicy na str. 161,

- str. 163: błędne wartości współczynników we wzorach  $w_{opt}$ ,  $\rho_{ds}$ ,  $\rho_d$  (przy  $w \approx 0\%$ ) i  $e$  (przy  $w \approx 0\%$ ); (por. modele 33, 40, 47 i 54 w tab. 7.46 i 7.49. We wzorze na  $e_{min}$  powinny być inne wartości współczynników (model 42 – tab. 7.46),
- str. 166: we wzorach zostały podane błędne wartości współczynników,
- w tekście pracy można napotkać drobne błędy językowe, które zostaną przekazane bezpośrednio Autorce rozprawy doktorskiej.

## 5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Sformułowane w recenzji drobne uwagi w żaden sposób nie obniżają wartości merytorycznej pracy doktorskiej.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że Autorka rozprawy przed przystąpieniem do własnych badań i analiz, w swojej pracy doktorskiej dokonała wglębnego przeglądu literatury, w szczególności literatury związanej z kształtem ziaren gruntowych, ich klasyfikacją, z metodami badań parametrów kulistości, kanciastości i mikrotekstury powierzchni ziaren. Dużą wagę Autorka rozprawy położyła na rozpoznanie mechanizmów zagęszczania gruntów, metod oznaczania parametrów zagęszczalności, w tym metod ubijania, statycznych i wibracyjnych.

Najwięcej uwagi, Autorka rozprawy doktorskiej badaniom, które dotyczyły wyznaczeniu parametrów kształtu ziaren, parametrów zagęszczalności oraz określenia wpływu kształtu ziaren na zagęszczalność gruntów niespoistych.

Badaniami zostały objęte dwie grupy kruszyw: naturalne i łamane. Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska przeprowadziła również badania dla 3 mieszanek gruntów, które zostały opisane w pracy jako: Żwir, Pospółka 1, Pospółka 2.

Na wyróżnienie zasługuje fakt, że w swojej pracy doktorskiej Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska przeprowadziła ponad 900 badań wstępnych i właściwych, wykonała obliczenia parametrów kształtu każdego z 350 ziaren, których wymiary zawierały się w zakresach dziesięciu frakcji, identycznych dla każdego kruszywa. Autorka rozprawy obliczyła średnie wartości parametrów kształtu poszczególnych frakcji; uzyskała 4400 wyników badań kulistości, 7477 wyników badań kanciastości oraz 2106 wyników badań mikrotekstury powierzchni. Na podstawie analizy statystycznej wyników badań Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska wybrała metody, które najlepiej określają: kulistość (metody Coxa, 1927 oraz Janoo, 1998), kanciastość (metoda Leesa, 1964) i mikroteksturę powierzchni ziaren (metoda wykorzystująca drugi deskryptor częstotliwości Fouriera).

Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska badała parametry zagęszczalności na mieszanekach przygotowanych z frakcji kruszywa łamanego (3 mieszanki) i naturalnego (3 mieszanki). Uziarnienia każdej mieszanki z kruszywa łamanego odpowiadały uziarnieniu odpowiednich mieszanek z kruszywa naturalnego. Parametry zagęszczalności mieszanek zostały zbadane dwoma metodami. Badaniom poddano następujące parametry zagęszczalności: maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego, wilgotność optymalną, minimalny wskaźnik porowatości przy maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego, jak również gęstość objętościową szkieletu gruntowego i wskaźnik porowatości przy wilgotności  $w \approx 0\%$  (w metodzie Proctora i na stole wibracyjnym).

Wpływ parametrów kształtu na parametry zagęszczalności Autorka rozprawy oceniła na podstawie analizy regresji liniowej, wielorakiej oraz wnioskowania statystycznego.

Na podstawie wykonanych badań i analiz, Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska udowodniła tezy pracy, że istnieje możliwość wyboru najodpowiedniejszej metody oceny parametrów kształtu, które mają istotny wpływ na wartości parametrów zagęszczalności gruntów.

Niewątpliwie, oryginalną częścią rozprawy doktorskiej jest współudział Autorki w koncepcji, a następnie w tworzeniu programu GrainShape, który znacznie ułatwia i automatyzuje obliczenia parametrów kształtu ziaren.

Przeprowadzone badania i analizy pozwoliły Pani mgr inż. Sylwii Szerakowskiej wyciągnąć szczegółowe wnioski, w których zawarła m.in. następujące informacje:

- parametry kształtu ziaren mają istotny wpływ na parametry zagęszczalności gruntów. Są one silnie ze sobą skorelowane; im większa wartość kulistości, tym większa jest wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego, co oznacza, że im ziarna są bardziej kuliste, tym grunty łatwiej się zagęszczają,

- im jest większa wartość kanciastości, tym mniejsza jest wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego, co oznacza, że im ziarna są bardziej kanciaste, tym bardziej utrudnione jest zagęszczenie gruntów,

- im jest większa wartość mikrotekstury powierzchni, tym mniejsza jest wartość maksymalnej gęstości objętościowej, co oznacza, że im ziarna są bardziej szorstkie, tym bardziej jest utrudnione zagęszczenie gruntów,

- im jest większa wartość wskaźnika kształtu, tym jest mniejsza wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego, co oznacza, że im kształt jest bardziej złożony, tym bardziej utrudnione jest zagęszczenie gruntów,

- im mniejsze są wartości kulistości i większe wartości kanciastości, mikrotekstury powierzchni i wskaźnika kształtu, tym wartości wskaźnika porowatości przy największym zagęszczeniu są większe.

Autorka rozprawy zdaje sobie sprawę, że uzyskane przez nią wyniki badań nie wyczerpują rozwiązania postawionego zadania. Pani mgr inż. Sylwia Szerakowska w swojej pracy podała propozycje kontynuacji swoich badań i analiz, w tym m.in. rozszerzenia programu GrainShape o dodatkowe metody obliczania parametrów kształtu ziaren.

Reasumując, stwierdzam, że praca doktorska Pani mgr inż. Sylwii Szerakowskiej pt. *„Ocena parametrów kształtu ziaren i ich wpływu na zagęszczalność gruntów niespoistych”* spełnia warunki i wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, ze zm. w Dz. U. z 2005 r. Nr 164, poz. 1365 oraz w Dz. U. z 2011 r. Nr 84, poz. 455).

Wnioskuje o przyjęcie rozprawy doktorskiej przez Radę Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej oraz dopuszczenie Panią mgr inż. Sylwię Szerakowską do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

