

Warszawa, 30.09.2023

Dr hab. inż. Wojciech Sas, prof. SGGW  
Centrum Wodne  
SGGW w Warszawie  
02-776 Warszawa  
Ul. Ciszewskiego 6

## **Recenzja**

**Pracy doktorskiej kpt. mgr. inż. Kamila Sobczyka**

pt. *„Eksperymentalna analiza dynamicznych właściwości mechanicznych gruntów wątpliwych na przykładzie piasku pylastego”*

### **1. Podstawa recenzji**

Podstawą recenzji jest pismo płk prof. dr. hab. inż. Michała Kędzierskiego, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport” Wojskowej Akademii Technicznej z dnia 7 lipca 2023 roku, powiadamiające o powołaniu mnie na recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora kpt. mgr. inż. Kamilowi Sobczykowi w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Podstawą prawną recenzji jest ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku – prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018r. poz. 1668 ze zm.).

Promotorem pracy jest płk dr hab. inż. Ryszard Chmielewski, prof. WAT, a promotorem pomocniczym płk rez. dr inż. Leopold Kruszka.

### **2. Tematyka pracy, jej cel oraz zakres**

Tematyka pracy dotyczy dynamicznego zachowania wytypowanego przedstawiciela gruntów wątpliwych – piasku pylastego. Celem pracy było opracowanie i wdrożenie metodyki

eksperymentalnego wyznaczenia właściwości mechanicznych piasku pylastego poddanego dynamicznemu ściskaniu na stanowisku badawczym SHPB. Przedstawiony przez Doktoranta cel w postaci opracowania metodyki dodatkowo uwzględniał różne wilgotności próbki, zawartości frakcji drobnych oraz prędkości uderzenia pręta obciążającego - pocisku.

Motywacją do podjęcia tematu pracy przez Doktoranta było zaobserwowanie braku odpowiednich prac badawczych w kraju i zagranicą dotyczących gruntów nazwanych przez Doktoranta wątpliwymi – piaskiem pylastym, w tematyce wskazanej w tytule rozprawy doktorskiej. Doktorant zaobserwował, że piaski pylaste posiadają właściwości mechaniczne charakterystyczne dla gruntów niespoistych, które w niektórych przypadkach mogą wykazywać cechy gruntów spoistych ze względu na małą wartość współczynnika filtracji gruntu.

Doktorant w celu osiągnięcia celu głównego sprecyzował następujące cele szczegółowe rozprawy doktorskiej:

- C1. opracowanie przeglądu literatury aktualnych badań dynamicznych różnych gruntów prowadzonych w ostatnich latach z wykorzystaniem technik badawczych pręta Hopkinsona;
- C2. opracowanie procedury kalibracyjnej wyrzutni pneumatycznej SHPB dla różnych długości pręta obciążającego – pocisku, poprzedzającej rozpoczęcie dynamicznych badań próbek piasku pylastego w oparciu o eksperymenty fizyczne i obliczenia numeryczne balistyki wewnętrznej prętowego pocisku wyrzutni SHPB za pomocą oprogramowania MatLab (badania walidacyjne wyrzutni pneumatycznej dla różnych ciśnień roboczych i długości pręta obciążającego – pocisku);
- C3. opracowanie algorytmu wstępnego zagęszczenia gruntu wątpliwego na przykładzie piasku pylastego poprzez proces zagęszczenia wibracyjnego próbek gruntu sposobem uderzeniowym (z wykorzystaniem SHPB o małej prędkości uderzenia) i wibracyjnym (za pomocą wstrząsarki wibracyjnej);
- C4. eksperymentalna analiza wyznaczania dynamicznych właściwości mechanicznych badanego gruntu w postaci następujących funkcji czasu trwania ściskającego obciążenia uderzeniowego (długości pręta obciążającego – pocisku): naprężenia ściskającego w próbce  $\sigma(t)$ , odkształcenia w próbce  $\varepsilon(t)$  oraz prędkości odkształcenia próbki  $\dot{\varepsilon}(t)$  wraz z naprężeniem rozciągającym w osłonie pierścieniowej próbki  $\sigma_{\theta}(t)$  w oparciu o sygnał z tensometrów pomiarowych (wraz z korektą w oprogramowaniu FlexPro) dla różnych wilgotności próbki, początkowej

zawartości frakcji pyłowej i iłowej  $f_{Si+Cl}$  oraz prędkości odkształcenia (prędkości uderzenia pręta obciążającego – pocisku w inicjujący pręt pomiarowy SHPB);

C5. opracowanie algorytmu badawczego określenia zmiany składu granulometrycznego piasku pylastego  $\Delta f_{Si+Cl}$  poddanego oddziaływaniu dynamicznemu poprzez uderzenie pręta obciążającego – pocisku z wykorzystaniem analizatora wielkości cząstek metodą dyfrakcji laserowej;

C6. opracowanie propozycji wykorzystania dynamicznej charakterystyki piasku pylastego jako warstwy gruntowej obsypki ochronnej w celu zwiększenia odporności militarnych i cywilnych elementów infrastruktury krytycznej na obciążenia dynamiczne.

Zakres pracy obejmował badania laboratoryjne i analizy komputerowe. Doktorant wykonał badania laboratoryjne na stanowisku badawczym dzielonego pręta Hopkinsona (SHPB). Dodatkowo Doktorant wykonał rozpoznanie właściwości gruntów zagęszczanych w zakresie procesu przygotowania próbek gruntu (m. in. aparat Proctora, wstrząsarka wibracyjna) oraz analizę skutków oddziaływania dynamicznego na zmianę struktury próbek gruntu poprzez użycie analizatora wielkości cząstek metodą dyfrakcji laserowej.

Doktorant przedstawił następującą hipotezę:

*„Dynamiczne właściwości mechaniczne trójfazowego gruntu wåtpliwego, na przykładzie piasku pylastego poddanego uderzeniu ściskającemu, mają charakter nieliniowy oraz zależą od wilgotności gruntu, jego składu granulometrycznego i są wrażliwe na prędkość odkształcenia”.*

### **3. Uwagi i pytania do poszczególnych części pracy**

#### ***Tytuł pracy***

Brzmienie tytułu pracy, tj. *„Eksperymentalna analiza dynamicznych właściwości mechanicznych gruntów wåtpliwych na przykładzie piasku pylastego”* wskazuje, że praca powinna dotyczyć zagadnienia gruntu wåtpliwego, jednak w rozdziale 1. „Wprowadzenie i motywacja do badań”, Doktorant wyjaśnia „wåtpliwosć” tego gruntu, jako wynikającą z nazewnictwa w ramach kryterium wysadzinowości wg. Wiłuna. Temat pracy wskazuje na to, że grunt nazywany jest wåtpliwym ze względu na właściwości dynamiczne, co jednak w pracy nie zostało doprecyzowane. Doktorant wprawdzie komentuje, że krajowa i światowa literatura zajmuje się tematyką właściwości dynamicznych gruntów niespoistych i spoistych,

jednak nie definiuje, czy grunt jest wątpliwy pod względem właściwości dynamicznych. Powoduje to, że tytuł pracy nie oddaje w pełni jej treści. Czytelnik pracy może odnieść wrażenie, że badany grunt poddany będzie zamrażaniu w celu badań efektu wysadzinowości na właściwości dynamiczne.

### **1. Wprowadzenie i motywacja do badań**

W rozdziale 1 „Wprowadzeniu i motywacja do badań” przedstawiona jest głównie problematyka dział pneumatycznych, stanowiska badawczego SHPB - zmodyfikowanego (dzielonego) pręta Hopkinsona. W dalszej części rozdziału Doktorant przedstawia charakterystykę oddziaływań dynamicznych, gdzie zaznacza, że takie oddziaływanie „generuje prędkość odkształcenia gruntu rzędu od  $10^2 \text{ s}^{-1}$  do  $10^4 \text{ s}^{-1}$ ”. Zagadnienie oddziaływań dynamicznych na ośrodek gruntowy, poza zakresem prędkości odkształcenia, wymaga dodatkowo uwzględnienia stanu naprężenia jaki przekazywany jest na grunt w wyniku takich oddziaływań. Wymieniane w tym rozdziale przykłady odnoszą się do obciążeń uderzeniowych lub impulsowych, które to są oddziaływaniami dynamicznymi, jednak charakteryzuje je poza wysoką prędkością odkształcenia, również wysoka wartość wywołanego stanu naprężenia. Proszę o komentarz Doktoranta w tej sprawie.

W dalszej części rozdziału, Doktorant przedstawia motywację do podjęcia się badań piasku pylastego. Grunt ten jak wskazuje Doktorant może być „materiałem pochłaniającym energię wybuchu w budownictwie ochronnym”. O ile wybór gruntu jest interesujący, to brakuje w tym elemencie pracy uzasadnienia, dlaczego tak może być. Czy jest to efekt podobieństwa takiego gruntu do gruntów niespoistych, czy do spoistych, czy może jest to efekt tego, że piasek pylasty posiada cechy obu rodzajów gruntu? Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie.

### **2. Problem badawczy, teza i cele szczegółowe**

W rozdziale 2 „Problem badawczy, teza i cele szczegółowe” podana została podstawa prawna do złożenia pracy doktorskiej jako efektu opublikowania zbioru pięciu prac naukowych. Doktorant przedstawia zakres prac badawczych, opisuje metodykę badawczą i badania właściwe wykonane w oparciu o technikę pręta Hopkinsona, gdzie badania wykonał w zakresie czterech wybranych wilgotności gruntu i czterech prędkości uderzenia pręta. Doktorant dodatkowo badał zawartość frakcji drobnych  $\Delta f_{Si+Cl}$  po wykonaniu badań podstawowych. W ramach prac związanych z zagęszczaniem gruntów, Doktorant zaznaczył, że opracował autorską metodę zagęszczania wibracyjnego próbek gruntu. Próbkę przygotowane do badań SHPB mogą mieć inne uziarnienie w przypadku stosowania tych metod, co może mieć wpływ na dalsze pomiary zawartości frakcji drobnych po badaniu

SHBP. Proszę o komentarz doktoranta, która metoda zagęszczania dawała mniejsze kruszenie się ziaren podczas zagęszczania i jak wpłynęło to na wyniki badań?

W dalszej części rozdziału, doktorant przedstawia hipotezę badawczą oraz cel główny i cele szczegółowe pracy. Doktorant określa zmianę składu granulometrycznego przy pomocy analizatora wielkości cząstek metodą dyfrakcji laserowej. Czy Doktorant badał także zmianę kształtu ziaren jak na przykład sferyczność? Proszę o komentarz w tej sprawie.

### **3. Zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych**

W rozdziale 3 „Zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych” przedstawiono zestawienie opublikowanych artykułów wraz z przyporządkowaną im wartością punktów zgodnie z Wykazem czasopism naukowych MEiN oraz współczynnikami wpływu IF (dwie pozycje literaturowe). We wszystkich tych publikacjach doktorant wskazuje, że jest ich autorem większościowym.

### **4. Metodyka badań**

W rozdziale 4 „Metodyka badań” Doktorant przedstawia metodykę badań, która obejmuje omówienie badań podstawowych, jak i uzupełniających. Dodatkowo na podstawie przyjętej metodyki Doktorant przedstawia własną metodykę prowadzenia eksperymentalnej analizy dynamicznego zachowania się piasku pylastego poddanego oddziaływaniu dynamicznemu. Doktorant przedstawia także zestawienie metod rozwiązania poszczególnych celów szczegółowych w odniesieniu do problemu badawczego i opublikowanych artykułów naukowych.

### **5. Rezultaty prac i oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**

W rozdziale 5 „Rezultaty prac i oryginalne rozwiązanie problemu naukowego” Doktorant przedstawia swoje rozwiązanie przedstawionego problemu, gdzie prezentuje stanowisko badawcze oraz kalibruje wyrzutnię pneumatyczną w celu uzyskania charakterystyk prędkości wylotowej pręta z zależności od wartości początkowej ciśnienia powietrza. Kolejnym zagadnieniem poruszonym przez Doktoranta w tym rozdziale jest unormowanie i rozpoznanie wpływu zagęszczenia próbki gruntu niespoistego. Grunt poddano dwóm metodom zagęszczania, metodzie wibracyjnej i metodzie uderzeniowej. Przy porównaniu tych metod zagęszczenia Doktorant posłużył się gęstością objętościową próbki gruntu. Proszę Doktoranta o komentarz, dlaczego w porównaniu nie posłużył się wartością gęstości objętościowej szkieletu gruntowego  $\rho_s$ ? W celu analizy i porównania sposobów zagęszczania różnymi metodami posługuje się wartością energii zagęszczania  $E_z$  na ogół w  $[J/cm^3]$ . Zagęszczanie metodami wstrząsania i uderzeniową, jest co do metody i mechaniki zagęszczania całkowicie odmienne. Rodzi się pytanie o to jaki efekt przekazania energii zagęszczania na te dwa

sposoby osiągnięto w obu przypadkach w zakresie kruszenia się ziaren i struktury szkieletu gruntowego a także o to, która metoda lepiej odwzorowuje warunki *in situ*. W pracy doktorskiej brakuje także krzywej zagęszczalności, która pozwoliłaby na porównanie tych metod pod względem charakterystyki zagęszczalności gruntu. Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie.

Analiza wpływu wilgotności gruntu na przyrost zawartości frakcji drobnych  $\Delta f_{Si+Cl}$  wskazuje na wpływ (a) wody porowej na zmniejszenie się tarcia między ziarnami, co pozwala na osiągnięcie większego zagęszczenia przy takiej samej energii zagaszenia, (b) stopnia nasycenia  $S_r$  na ograniczenie efektu zagęszczenia poprzez osiągnięcie pełnego nasycenia po stronie mokrej wykresu zagęszczalności. W przedstawionej analizie zmiany wskaźnika porowatości wraz z procesem zagęszczenia brakuje określenia jak osiągnięta wartość wskaźnika porowatości ma się do wskaźnika porowatości przy pełnym nasyceniu. Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie.

Analiza wpływu uderzenia na zmianę uziarnienia w postaci analizy krzywych uziarnienia wskazuje na kruszenie się ziaren, które jest wynikiem przekazania energii zagęszczania w postaci impulsu (uderzenia). Doktorant zauważył, że sposób kruszenia się gruntu o  $f_{Si+Cl,1} = 15,14\%$  i  $f_{Si+Cl,2} = 20,48\%$ , jest inny pod względem przyrostu zawartości frakcji drobnej. Nie mniej, interesującą obserwacją jest ewolucja krzywych uziarnienia w kierunku uziarnienia fraktalnego. Takiej analizy zabrakło w rozprawie. Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie.

Doktorant zauważył, że grunt nasycony poddany uderzeniu przy pomocy wyrzutni pneumatycznej kruszy się w mniejszym stopniu niż grunt w wilgotności optymalnej. Przyczynę tego stanu rzeczy Doktorant upatruje w „dynamicznej reakcji wody wypełniającej pory gruntowe”. Woda nadaje próbce pewne cechy materiału sprężystego i „amortyzuje” dynamiczne oddziaływanie uderzenia pręta obciążającego – pocisku”. Proszę Doktoranta o skomentowanie, jak taka reakcja gruntu na obciążenie dynamiczne wpłynie na nośność gruntu, a co za tym idzie na stateczność podłoża gruntowego konstrukcji.

## **6. Podsumowanie i wnioski**

W rozdziale 6 „Podsumowanie i wnioski” w przedstawionej pracy doktorskiej, Doktorant uzasadnia osiągnięcie przyjętej hipotezy badawczej oraz potwierdza osiągnięcie celów badawczych.

Doktorant pisze: „Doświadczalnie udowodniłem, że w przypadku gruntów nawodnionych ( $w \geq w_{sat}$ ) pod wpływem obciążeń dynamicznych woda współpracuje ze szkieletem

gruntowym i może w stopniu większym niż szkielet przenosić obciążenia ściskające bezpośrednio na konstrukcje z niewielkim tylko udziałem szkieletu gruntowego. Oznacza to, że nie powinno być sytuacji, w których chroniony obiekt znajduje się w obsypce nawodnionej. W takim wypadku obsypka nie będzie posiadała pożądanych właściwości pochłaniających efekt oddziaływania dynamicznego.” Czy to jest jedyny wniosek z przeprowadzonych badań? Czy na podstawie wyników badań można stworzyć zalecenia zarówno, co do sposobu zagęszczania gruntu na obsypce, jak i do sposobu eksploataowania obsypki w zakresie jej wilgotności, to jest na przykład stosowanie odwodnienia w celu uniknięcia stanu pełnego nasycenia obsypki? Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie.

Doktorant pisze: „Kolejnym aplikacyjnym rezultatem przeprowadzonych analiz jest określenie, że piasek pylasty stanowiący obsypkę obiektu powinien być o wilgotności zbliżonej do połowy wilgotności optymalnej.” Na podstawie analizy zmiany uziarnienia gruntu można zaobserwować, że nie tylko zmiana zawartości frakcji drobnych jest wyznacznikiem zdolności gruntu do pochłaniania energii uderzenia. Widać to szczególnie w przypadku gruntu o  $f_{Si+Cl,2} = 20,48\%$ . Czy skład uziarnienia i zawartość frakcji drobnych obok zaleceń co do wilgotności gruntów może stanowić o zdolności gruntu do pochłaniania energii uderzenia? Proszę doktoranta o komentarz w tej sprawie.

#### 4. Ocena pracy

Zgodnie z ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.) opinia dotycząca danej rozprawy doktorskiej powinna zawierać następujące elementy:

- 1) ocenę wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w określonej dyscyplinie albo dyscyplinach;
- 2) ocenę wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora;
- 3) ocenę wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązania problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.

### **Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę tegoroczną Doktoranta**

Pozytywnie oceniam teoretyczną wiedzę Doktoranta przedstawioną w recenzowanej rozprawie doktorskiej. Doktorant wykazał się wiedzą w zakresie geotechniki, a w szczególności znajomością właściwości dynamicznych gruntów, w tym metod określania analizy wpływu uderzenia dynamicznego przy pomocy zmodyfikowanego (dzielonego) pręta Hopkinsona .

Z rozprawy doktorskiej wynika także, że Doktorant ma znaczącą wiedzę teoretyczną obejmującą zagadnienia dynamiki gruntu.

### **Ocena, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność Doktoranta do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**

Tak, rozprawa doktorska wykazała, że Doktorant posiada umiejętności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Po przeprowadzeniu przeglądu literatury Doktorant postawił hipotezę główną i w celu sprawdzenia hipotezy przygotował program badawczy, opracował metodykę kalibracji aparatury i przygotowania próbek gruntu oraz przeprowadził badania laboratoryjne. Następnie przeanalizował uzyskane wyniki i udowodniła hipotezę główną.

### **Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**

Tak, rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Oryginalność polega na opracowaniu i wdrożenia metodyki przygotowania, przeprowadzenia i analizy rezultatów dynamicznych eksperymentów fizycznych na próbkach piasku pylastego z wykorzystaniem stanowiska badawczego zmodyfikowanego /dzielonego/ pręta Hopkinsona na ściskanie (SHPB). Zaproponowana przez Doktoranta procedura badawcza umożliwia wyznaczanie dynamicznych właściwości mechanicznych badanego gruntu w zależności od składu granulometrycznego, wilgotności oraz prędkości odkształcenia.

## **5. Wniosek**

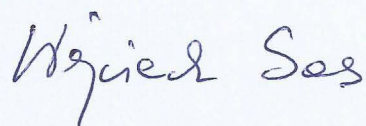
Opiniowaną rozprawę doktorską oceniam pozytywnie, mimo moich uwag, które częściowo mają charakter dyskusyjny.

Podsumowując stwierdzam, że opiniowana praca doktorska kpt. mgr. inż. Kamila Sobczyka pt. „*Eksperymentalna analiza dynamicznych właściwości mechanicznych gruntów wątpliwych na przykładzie piasku pylastego*”, której promotorem jest płk dr hab. inż. Ryszard Chmielewski, prof. WAT, a promotorem pomocniczym płk rez. dr inż. Leopold Kruszka, spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim, które podane są w ustawie z 20 lipca 2018 roku – prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018r. poz. 1668 ze zm.)



Rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta oraz jego umiejętność do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a także stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Wnoszę o dopuszczenie kpt. mgr. inż. Kamila Sobczyka do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

A handwritten signature in black ink, reading "Wojciech Sas". The signature is written in a cursive style with a distinct loop at the end of the last name.

Wojciech Sas