

RECENZJA

pracy doktorskiej kpt. mgr. inż. Kamila Sobczyka

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

1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania recenzji stanowiło pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Wojskowej Akademii Technicznej płk. prof. dr. hab. inż. Michała Kędzierskiego z dnia 7 lipca 2023 r. Recenzję przygotowano uwzględniając zapisy Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.).

2. Ogólna charakterystyka i ocena układu pracy

Rozprawę doktorską stanowi spójny zbiór pięciu opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych zgodnie z zapisami art. 187 ust. 3 Ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, 2018 (Dz.U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.). Cykl publikacyjny zawiera realizację autorskiego Indywidualnego Planu Badawczego w zakresie dynamicznego zachowania wytypowanego przedstawiciela gruntów wątpliwych – piasku pylastego jako ośrodka trójfazowego.

Recenzowana praca doktorska została przygotowana pod kierunkiem promotora płk. dr. hab. inż. Ryszarda Chmielewskiego, prof. Wojskowej Akademii Technicznej oraz promotora pomocniczego płk. rez. dr. inż. Leopolda Kruszki. Rozprawa została przedstawiona na 169 stronach i podzielona na 6 rozdziałów poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim, spisem treści, wykazem użytych skrótów i głównych symboli, a zakończona wykazem zamieszczonych załączników oraz bibliografią liczącą 59 pozycji.

W rozdziale 1 (*Wprowadzenie i motywacja badań*) Doktorant omówił zagadnienia dotyczące dynamicznych właściwości mechanicznych gruntów, których wybrane rodzaje były i są nadal, w postaci gruntowych warstw ochronnych, wykorzystywane jako materiał pochłaniający energię podczas oddziaływań wybuchowych i uderzeniowych na obiekty budowlane. Na przedmiot swoich badań Autor wybrał piasek pylasty – przykład gruntu wątpliwego – należący do grupy gruntów pomiędzy gruntami wysadzinowymi, a gruntami niewysadzinowymi przy zastosowaniu kryterium wysadzinowości według Wiłuna. Doktorant słusznie zaznaczył, że piasek pylasty jest przykładem gruntu pospolicie występującego

i stosowanego w Polsce w praktyce budowlanej. Ponadto podkreślił, że potrzeba analizy tego zagadnienia wynika z rosnącego znaczenia zjawiska terroryzmu w niestabilnej sytuacji współczesnego świata. Idea wykorzystania piasku pylastego jako dodatkowej warstwy ochronnej stanowiła dla Autora punkt początkowy do opracowania Indywidualnego Planu Badawczego (IPB) realizowanego w trakcie kształcenia w Szkole Doktorskiej WAT.

W rozdziale 2 (*Problem badawczy, teza i cele szczegółowe*) Doktorant przedstawił oryginalne rozwiązanie zdefiniowanego problemu naukowego, który dotyczy wyznaczenia eksperymentalnych zależności w zakresie dynamicznych właściwości mechanicznych gruntów wątpliwych na przykładzie piasku pylastego, jako ośrodka trójfazowego, podczas ściskania z uwzględnieniem w analizie takich czynników jak: odkształcenia, prędkości odkształcenia, wilgotności, zawartości frakcji drobnych i zmiany składu granulometrycznego. W tym celu, Autor przeprowadził fizyczne eksperymenty laboratoryjne na stanowisku badawczym dzielonego pręta Hopkinsona (SHPB). Zastosował również dodatkową aparaturę badawczą, tj. analizator wielkości cząstek stałych metodą dyfrakcji laserowej, w celu rozwinięcia rozwiązania problemu naukowego w zakresie procesu przygotowania próbek gruntu oraz analizy skutków oddziaływania dynamicznego na zmianę struktury próbek gruntu. W oparciu o rozpoznany problem naukowy Doktorant zdefiniował tezę badawczą, a w celu jej udowodnienia postawił główny cel badawczy (C0), tj.: opracowanie i wdrożenie kompleksowej metodyki dotyczącej eksperymentalnego wyznaczenia właściwości mechanicznych piasku pylastego poddanego dynamicznemu ściskaniu na stanowisku badawczym SHPB. Metodyka ta uwzględnia różne wilgotności próbki, zawartości frakcji drobnych oraz prędkości uderzenia pręta obciążającego - pocisku. Mając powyższe na uwadze, Autor sprecyzował sześć celów szczegółowych rozprawy doktorskiej, tj.: C1 – C6.

W rozdziale 3 (*Zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych*) Doktorant zaprezentował zbiór pięciu powiązanych tematycznie artykułów naukowych (P1 – P5), które stanowią rozprawę doktorską w myśl zapisów art. 187 ust. 3 Ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, 2018 (Dz.U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.). Cykl artykułów został opublikowany w polskich i zagranicznych czasopismach naukowych, a sumaryczna liczba uzyskanych punktów, zgodnie z Wykazem czasopism naukowych MEiN, wynosi 450. Natomiast sumaryczny współczynnik wpływu Impact Factor czasopism to 6,461. Należy podkreślić, że we wszystkich przedstawionych publikacjach (P1 – P5) Doktorant jest ich autorem większościowym.

W rozdziale 4 (*Metodyka badań*) Doktorant szczegółowo zaprezentował opracowaną przez siebie kompleksową metodologię dotyczącą eksperymentalnej analizy dynamicznych właściwości mechanicznych piasku pylastego podczas ściskania wraz z autorskimi elementami procesu przygotowania i analizy skutków oddziaływania dynamicznego na badane próbki gruntu. Opracowana przez Autora metodologia obejmuje:

- szczegółową analizę porównawczą tendencji budowy stanowisk badawczych opartych na różnych wariantach techniki pręta Hopkinsona do badania właściwości dynamicznych gruntów z wykorzystaniem stanowiska badawczego SHPB w Instytucie Inżynierii Lądowej Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji WAT;
- badanie podstawowych cech fizycznych badanych piasków pylastych z różną zawartością frakcji drobnych, poprzez określenie ich składu granulometrycznego, wilgotności optymalnej oraz maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego;
- opracowanie zasady przeprowadzenia kalibracji wyrzutni pneumatycznej dla wariantów ciśnienia roboczego wyrzutni pneumatycznej z wykorzystaniem prętów pomiarowych SHPB, tj.: pręt obciążający – pocisk, pomiarowy pręt inicjujący, pomiarowy pręt transmitujący;

- opracowanie algorytmu realizacji wstępnego zagęszczenia gruntu wątpliwego poprzez proces zagęszczenia wibracyjnego w celu eliminacji pustek powietrznych w trójfazowym ośrodku gruntowym;
- wyznaczanie przebiegu wykresów wybranych dynamicznych właściwości mechanicznych piasku pylastego w oparciu o odczytane i skorygowane w oprogramowaniu FlexPro dane sygnałowe, które zostały zarejestrowane z wykorzystaniem zestawu tensometrów pomiarowych stanowiska SHPB;
- opracowanie algorytmu analizy zmiany składu granulometrycznego piasku pylastego porównując strukturę próbek przed rozpoczęciem i po zakończeniu cyklu badawczego na stanowisku SHPB poprzez wykorzystanie analizatora wielkości cząstek metodą dyfrakcji laserowej;
- zdefiniowanie koncepcji praktycznego wykorzystania piasku pylastego jako warstwy obsypki gruntowej na potrzeby wzmocnienia ochrony zarówno balistycznej, jak i wybuchowej dla cywilnych i militarnych obiektów budowlanych, w tym elementów infrastruktury krytycznej.

Doktorant realizował prace badawcze etapami poprzez opracowane w rozdziale 2 cele szczegółowe (C1 – C6).

W rozdziale 5 (*Rezultaty prac i oryginalne rozwiązanie problemu naukowego*) Doktorant zamieścił podsumowanie autorskiego rozwiązania zdefiniowanego problemu naukowego oraz uzyskanych rezultatów w efekcie przeprowadzonych badań w odniesieniu do sformułowanych celów szczegółowych. Wyniki przeprowadzonych analiz badawczych uporządkował w poszczególnych pracach w ramach zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych (P1 – P5).

W publikacji P1 (*Charakterystyka wytrzymałościowa właściwości gruntów przy dużych prędkościach odkształcenia z zastosowaniem techniki Hopkinsona – Przegląd badań eksperymentalnych*) Autor dokonał zestawienia aktualnych trendów badań w obszarze gruntów niespoistych i spoistych poddanych oddziaływaniu dynamicznemu w oparciu o technikę pręta Hopkinsona. Kluczowym parametrem, który dotyczy ograniczenia w stosowaniu techniki Hopkinsona, jest prędkość odkształcenia oczekiwana do osiągnięcia w trakcie badań. Doktorant określił zakres prędkości odkształcenia dla zastosowanego w rozprawie doktorskiej zmodyfikowanego /dzielonego/ pręta Hopkinsona w przedziale od 10^2 s^{-1} do 10^4 s^{-1} . Dynamiczne eksperymenty na próbkach piasku pylastego prowadził na stanowisku badawczym SHPB w Zakładzie Inżynierii i Infrastruktury Wojskowej Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji WAT. Przeprowadzone analizy literaturowe pozwoliły Autorowi uzyskać odpowiedzi na wszystkie sformułowane na tym etapie zagadnienia badawcze oraz umożliwiły osiągnięcie celu szczegółowego C1, co bezpośrednio przyczyniło się do realizacji celu głównego C0.

W publikacji P2 (*Charakterystyka pracy wyrzutni pneumatycznej w technice pręta Hopkinsona*) Doktorant skoncentrował się na metodyce procedury kalibracji wyrzutni pneumatycznej poprzedzającej rozpoczęcie dynamicznych eksperymentów z wykorzystaniem dzielonego pręta Hopkinsona. Wyzначył charakterystykę pracy wyrzutni dla trzech wariantów długości pręta obciążającego – pocisku oraz trzech wartości ciśnienia roboczego. Przeprowadzone analizy literaturowe pozwoliły Autorowi uzyskać odpowiedzi na wszystkie sformułowane na tym etapie zagadnienia badawcze oraz umożliwiły osiągnięcie celu szczegółowego C1, co bezpośrednio przyczyniło się do realizacji celu głównego C0.

W publikacji P3 (*Przygotowanie próbki gruntu niespoistego oraz kalibracja wyrzutni pneumatycznej w dynamicznym badaniu SHPB*) Autor przedstawił proces przygotowania próbki gruntu niespoistego, na przykładzie piasku pylastego, do dynamicznego badania

z wykorzystaniem stanowiska SHPB, a także dokonał analizy zagadnienia wstępnego stanu zagęszczenia gruntu. Ponadto, opracował i zaprezentował kolejne etapy realizacji metodyki zagęszczania próbki piasku pylastego z wykorzystaniem wstrząsarki wibracyjnej. Uzyskane wyniki porównał z metodyką uderzeniową, tj. za pomocą uderzenia prętem obciążającym – pociskiem SHPB z małą prędkością uderzenia. Doktorant uzyskał porównywalne uśrednione wartości gęstości objętościowej próbek piasku pylastego dla obu metod zagęszczania. Dodatkowo, w oparciu o wykorzystany model matematyczny, przeprowadził obliczenia numeryczne w oprogramowaniu MatLab na podstawie układu równań różnicowych bazujących na równaniu stanu gazu w przestrzeni zapociskowej oraz równaniu ruchu w celu wyznaczenia charakterystyki obliczeniowej zmiany prędkości uderzenia pręta obciążającego – pocisku w funkcji ciśnienia roboczego zasilania wyrzutni pneumatycznej. Końcowy efekt porównawczych analiz eksperymentalnych i numerycznych w obszarze charakterystyki pracy wyrzutni pneumatycznej zestawiał w postaci wykresów dla wariantów długości prętów obciążających – pocisków 100 mm, 200 mm i 250 mm. Przeprowadzone analizy literaturowe pozwoliły Autorowi uzyskać odpowiedzi na wszystkie sformułowane na tym etapie zagadnienia badawcze oraz umożliwiły osiągnięcie celów szczegółowych C2 i C3, co bezpośrednio przyczyniło się do realizacji celu głównego C0.

W publikacji P4 (*Eksperymentalne badanie dynamicznego zachowania piasku pylastego*) Doktorant udowodnił możliwość prowadzenia badań doświadczalnych na próbkach piasku pylastego o różnych wilgotnościach za pomocą techniki pręta Hopkinsona w celu wyznaczenia dynamicznych właściwości mechanicznych gruntu. Na podstawie sygnałów z zestawów tensometrów pomiarowych oraz poprzez zastosowanie znanego równania metody Kolsky'ego, dokonał weryfikacji eksperymentalnej metodologii wyznaczania dynamicznych właściwości mechanicznych. Autor przedstawił charakterystykę dynamiczną piasku pylastego o różnych wilgotnościach w postaci przebiegu wykresów zmian naprężenia w funkcji odkształcenia $\sigma(\epsilon)$ i zmian prędkości odkształcenia w funkcji odkształcenia $\dot{\epsilon}(\epsilon)$. Omówił i zaprezentował graficznie jak oddziaływanie dynamiczne, poprzez uderzenie prętem obciążającym – pociskiem, wpływa na zmianę struktury wewnętrznej próbek piasku pylastego o różnych wilgotnościach na przykładzie próbek gruntu o zawartości frakcji drobnych $f_{Si+Cl,1} = 20,46\%$ i $f_{Si+Cl,2} = 2,9\%$. Na podstawie uzyskanych wartości wskaźnika porowatości e dla próbek gruntu o wilgotnościach $w_1 \div w_4$ względem wilgotności optymalnej w_{opt} Doktorant sformułował wniosek, że największe zagęszczenie gruntu poddanego obciążeniu dynamicznemu poprzez uderzenie pręta obciążającego – pocisku w badaniu SHPB następuje przy wilgotności równej w przybliżeniu połowie wilgotności optymalnej. Przeprowadzone analizy literaturowe pozwoliły Autorowi uzyskać odpowiedzi na wszystkie sformułowane na tym etapie zagadnienia badawcze oraz umożliwiły osiągnięcie celów szczegółowych C1, C4 i C5, co bezpośrednio przyczyniło się do realizacji celu głównego C0.

W publikacji P5 (*Analiza wpływu wilgotności piasków pylastych oraz prędkości uderzenia na ich zagęszczalność i zmianę składu granulometrycznego*) Autor skupił się na eksperymentach z próbkami piasków pylastych o różnych zawartościach frakcji drobnych (pyłowej i ilowej) równych $f_{Si+Cl,1} = 15,14\%$ i $f_{Si+Cl,2} = 20,48\%$ i dokonał analizy zmian składu granulometrycznego próbek piasku pylastego. Zastosował procedurę porównawczą wartości frakcji pyłowej i ilowej f_{Si+Cl} w strukturze gruntu przed i po eksperymentach SHPB z wykorzystaniem laserowego analizatora wielkości cząstek. Doktorant omówił powtarzalne tendencje w procesie zmiany składu granulometrycznego próbek piasku pylastego w zależności od zmiany wilgotności próbki gruntu ($w_1=0\%$, $w_2=5\%$, $w_3=10\%$ i $w_4=15\%$), a także od prędkości uderzenia pręta obciążającego – pocisku w wyniku oddziaływania roboczego ciśnienia wyrzutni pneumatycznej SHPB, tj.: $p_1=1,2 \text{ bar}$ ($v_1=12,76 \text{ m/s}$), $p_2=1,8 \text{ bar}$ ($v_2=17,69 \text{ m/s}$) i $p_3=2,4 \text{ bar}$ ($v_3=21,32 \text{ m/s}$). Na tej podstawie opracował dane pokazujące jak wartość

frakcji drobnych w piasku pylastym wpływa na jego zmiany składu granulometrycznego, w tym z uwzględnieniem poszczególnych wilgotności $w_1 \div w_4$, w odniesieniu do wilgotności optymalnej w_{opt} . Przeprowadzone analizy literaturowe pozwoliły Autorowi uzyskać odpowiedzi na wszystkie sformułowane na tym etapie zagadnienia badawcze oraz umożliwiły osiągnięcie celów szczegółowych C1, C5 i C6, co bezpośrednio przyczyniło się do realizacji celu głównego C0.

W rozdziale 6 (*Podsumowanie i wnioski*) Autor dysertacji zaprezentował w zwartej formie najważniejsze osiągnięcia, rezultaty prac zawartych w spójnym zbiorze pięciu powiązanych tematycznie artykułów naukowych oraz spostrzeżenia po zrealizowaniu zaplanowanego procesu badawczego, który dotyczył eksperymentalnej analizy dynamicznych właściwości mechanicznych gruntów wątpliwych na przykładzie piasku pylastego. Efektem wykonanej przez Doktoranta pracy badawczo – analitycznej jest opracowanie i wdrożenie 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 Autora procedura badawcza umożliwia wyznaczanie dynamicznych właściwości mechanicznych badanego gruntu jako trójfazowego materiału sypkiego w zależności od składu granulometrycznego, wilgotności oraz prędkości odkształcenia. Rezultaty pracy stanowią podstawę do dalszego konstytutywnego modelowania zachowania badanego gruntu jako materiału pochłaniającego energię uderzenia lub wybuchu w konstrukcjach ochronnych. Reasumując, Doktorant potwierdził postawioną w pracy tezę dotyczącą dynamicznych właściwości mechanicznych trójfazowego gruntu wątpliwego, na przykładzie piasku pylastego poddanego uderzeniu ściskającemu.

Bibliografia obejmuje liczny zbiór 59 pozycji literaturowych (w tym 5 pozycji dokumentów normatywnych), z których znaczna część jest opracowana w języku angielskim. Z analizy pozycji przedstawionych w bibliografii wynika, że Doktorant jest współautorem sześciu prac (3 w języku angielskim i 3 w języku polskim) cytowanych w rozprawie. Mając powyższe na uwadze, a także wykonany przegląd stanu wiedzy w rozdziale 1 stwierdzam, że Autor dysertacji dokładnie zapoznał się z większością dostępnych pozycji literatury z zakresu tematyki pracy doktorskiej i wykazał się bardzo dobrą znajomością omawianych zagadnień.

Podsumowując uważam, że układ przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej jest poprawny. Stanowi ona cenne opracowanie naukowe obejmujące postawione cele, wyniki badań, ich analizę i podsumowanie. Kolejność prezentowanych treści nie budzi zastrzeżeń, a objętość rozdziałów jest odpowiednia w stosunku do wagi poruszanych problemów.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Tytuł rozprawy i aktualność tematu

Tytuł rozprawy został dobrany adekwatnie i odpowiada treściom zaprezentowanym w rozdziałach pracy. Wszystkie zastosowane narzędzia i metody badawcze oraz analityczne skutecznie i konsekwentnie pozwoliły Autorowi na osiągnięcie założonych celów i weryfikację tezy pracy.

Tematyka pracy doktorskiej jest aktualna i odnosi się do bardzo istotnego problemu zapewnienia bezpieczeństwa, przede wszystkim w aktualnej, niestabilnej sytuacji geopolitycznej współczesnego świata i rosnącego zjawiska terroryzmu. W większości krajów europejskich do obrony cywilnej wykorzystywane są schrony i tymczasowe ukrycia. Również w Polsce, poza utrzymywanymi w bieżącej gotowości obiektami ochronnymi, może powstać konieczność utworzenia dodatkowych ukryć oraz schronów typu „ad hoc” w przypadku zaistnienia określonej sytuacji kryzysowej. W celu zwiększenia poziomu ochrony obiektów

budowlanych przed oddziaływaniem dynamicznym jednym z możliwych rozwiązań jest zastosowanie dodatkowej warstwy obsypki gruntowej.

3.2. Plan oraz zakres wykonanych badań i ich analiz

Plan oraz zakres wykonanych badań i ich analiz Doktorant przedstawił w rozdziale 4 rozprawy, w którym szczegółowo zaprezentował opracowaną przez siebie kompleksową metodologię dotyczącą eksperymentalnej analizy dynamicznych właściwości mechanicznych piasku pylastego podczas ściskania wraz z autorskimi elementami procesu przygotowania i analizy skutków oddziaływania dynamicznego na badane próbki gruntu. Doświadczalnie wykazał, że zachowanie piasku pylastego jest wrażliwe na takie czynniki, jak: odkształcenia, prędkości odkształcenia, wilgotności, zawartości frakcji drobnych i zmiany składu granulometrycznego. W rezultacie przeprowadzonych laboratoryjnych eksperymentów fizycznych Autor wyznaczył przebiegi, w zależności od czasu trwania ściskającego obciążenia uderzeniowego, następujących funkcji w badanym piasku pylastym:

- naprężenie ściskające $\sigma(t)$;
- odkształcenie $\varepsilon(t)$;
- prędkość odkształcenia $\dot{\varepsilon}(t)$.

Badania uwzględniały również różne wilgotności w oraz różną początkową zawartość frakcji drobnych, tj. pyłowej i ilowej f_{Si+Cl} . Przeprowadzone przez Doktoranta eksperymenty fizyczne pozwoliły na określenie doświadczalnej zależności na potrzeby modelowania konstytutywnego piasku pylastego.

Tak przyjętą koncepcję pracy, opracowany i zrealizowany plan badań oraz wykonane analizy oceniam pozytywnie, gdyż doprowadziło to do osiągnięcia założonych celów badawczych rozprawy doktorskiej.

3.3. Teza i cele pracy

Tezę pracy zapisano w rozprawie w następującym brzmieniu:

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

Podany zapis tezy można uznać za właściwy z punktu widzenia treści zawartych w rozprawie doktorskiej. Jej słuszność została udowodniona w pracy poprzez poprawnie zaprojektowany plan oraz zakres badań. Dla sprawdzenia przyjętej tezy Doktorant sformułował następujący główny cel badawczy (C0): *Opracowanie i wdrożenie kompleksowej metodyki dotyczącej eksperymentalnego wyznaczenia właściwości mechanicznych piasku pylastego poddanego dynamicznemu ściskaniu na stanowisku badawczym SHPB. Metodyka ta uwzględnia różne wilgotności próbki, zawartości frakcji drobnych oraz prędkości uderzenia pręta obciążającego – pocisku. W oparciu o powyższy cel główny Autor sprecyzował następujące cele szczegółowe rozprawy doktorskiej:*

- opracowanie przeglądu literatury aktualnych badań dynamicznych różnych gruntów prowadzonych w ostatnich latach z wykorzystaniem technik badawczych pręta Hopkinsona – C1;
- 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) – C2;
- 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) – C3;
- eksperymentalna analiza wyznaczania dynamicznych właściwości mechanicznych badanego gruntu w postaci 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 dla różnych wilgotności próbki, początkowej zawartości frakcji pyłowej i ilowej f_{Si+Cl} oraz prędkości odkształcenia – C4;
- opracowanie algorytmu badawczego określenia zmiany składu granulometrycznego piasku pylastego Δf_{Si+Cl} poddanego oddziaływaniu dynamicznemu poprzez uderzenie pręta obciążającego – pocisku z wykorzystaniem analizatora wielkości cząstek metodą dyfrakcji laserowej – C5;
- 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 – C6.

Przedstawione wyniki badań i przeprowadzone analizy pozwalają stwierdzić, że Autor udowodnił postawioną tezę, a założony główny cel badawczy (C0) oraz cele szczegółowe pracy (C1 – C6) zostały osiągnięte.

3.4. Najważniejsze osiągnięcia naukowe i ocena kierunków dalszych badań

W wyniku realizacji rozprawy doktorskiej Autor dysertacji opracował i wdrożył metodykę prowadzenia eksperymentalnej analizy dynamicznego zachowania się piasku pylastego poddanego oddziaływaniu dynamicznemu. Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta z naukowego punktu widzenia należy zaliczyć:

- opracowanie autorskiej metodyki przygotowania próbki gruntu, tj. badanego piasku pylastego do analiz doświadczalnych na stanowisku SHPB z uwzględnieniem różnych wartości wilgotności gruntu;
- opracowanie własnego rozwiązania dla procesu wstępnego zagęszczenia gruntu poprzez procedurę zagęszczenia wibracyjnego oraz sposób kalibracji wyrzutni pneumatycznej SHPB dla stosowanego typu pręta obciążającego – pocisku;
- opracowanie algorytmu analizy zmiany składu granulometrycznego piasku pylastego poprzez wykorzystanie analizatora wielkości cząstek metodą dyfrakcji laserowej;
- wdrożenie procedury kompleksowej analizy skutków oddziaływania dynamicznego na piasek pylasty z uwzględnieniem zmian składu granulometrycznego tego gruntu w zależności od: zawartości frakcji drobnych (pyłowej i ilowej), przyjętej konfiguracji wariantów początkowego ciśnienia wyrzutni działającego na pręt obciążający – pocisk oraz wilgotności próbek gruntu;
- zdefiniowanie koncepcji praktycznego wykorzystania piasku pylastego jako warstwy obsypki gruntowej na potrzeby wzmocnienia ochrony zarówno balistycznej, jak i wybuchowej dla cywilnych i militarnych obiektów budowlanych, w tym elementów infrastruktury krytycznej.

Przedmiotowe opracowania stanowią kompleksową metodologię dotyczącą eksperymentalnej analizy dynamicznych właściwości mechanicznych piasku pylastego podczas ściskania wraz

z autorskimi elementami przygotowania i analizy skutków oddziaływania dynamicznego na badane próbki gruntu, a także wartość dodaną do obszaru inżynierii uderzeniowej w zakresie dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Zrealizowana przez Autora dysertacji praca badawczo – analityczna potwierdziła, że:

- uzyskane dynamiczne charakterystyki wytrzymałościowe gruntu wątpliwego w postaci zmian naprężenia w funkcji odkształcenia oraz zmian prędkości odkształcenia w funkcji odkształcenia dla różnych wilgotności oraz zawartości frakcji pyłowej i ilowej, stanowią podstawę budowy modeli konstytutywnych gruntów na potrzeby modelowania współpracy obiektu budowlanego z otaczającym ośrodkiem gruntowym;
- w gruntach nawodnionych, pod wpływem obciążeń dynamicznych woda współpracuje ze szkieletem gruntowym i może w stopniu większym niż szkielet przenosić obciążenia ściskające bezpośrednio na konstrukcję z niewielkim tylko udziałem szkieletu gruntowego;
- gruntowy materiał ochronny w postaci piasku pylastego, stanowiący obsypkę obiektu, powinien posiadać wilgotność zbliżoną do połowy wilgotności optymalnej, gdyż wówczas pochłania część energii uderzenia.

Rezultaty badań umożliwiają określenie parametrów pochłaniania energii obciążenia dynamicznego poprzez warstwę ochronną gruntu, dzięki czemu możliwe jest określenie poziomu ochrony zarówno balistycznej oraz przeciwwybuchowej dla ukryć i schronów w zależności od rodzaju gruntu, jego wilgotności i grubości warstwy ochronnej. Wyniki analiz eksperymentalnych odpowiedzi badanych piasków pylastych na obciążenia o dużej prędkości odkształcenia mogą być podstawą do zaprojektowania konstrukcji ochronnych o zwiększonej odporności na oddziaływania dynamiczne. Efekty eksperymentu mogą znaleźć zastosowanie, między innymi w wytypowaniu i badaniu gruntów wątpliwych do użycia jako gruntowa warstwa ochronna, która umożliwi absorpcję części energii pochodzącej od detonacji ładunku materiału wybuchowego. W konsekwencji, taki efekt pochłaniania w ośrodku gruntowym wpływa pozytywnie na wzrost odporności wybuchowej różnych, połowych obiektów militarnych oraz dedykowanych konstrukcji na potrzeby ochrony ludności cywilnej, między innymi schronów, ukryć, przesłon, schronohangarów i piwnic. Inne zastosowania wyników badań obejmują możliwość ich wykorzystania podczas modelowania zjawisk katastrof naturalnych oraz modelowania zachowania ośrodka gruntowego przy realizacji robót budowlanych powiązanych z oddziaływaniami dynamicznymi.

3.5. Uwagi szczegółowe

3.5.1. Uwagi redakcyjne

Strukturę pracy należy uznać za właściwą. Praca została zredagowana poprawnie, napisana językiem technicznym, z wyjątkowo niewielką liczbą uwag edytorskich i językowych. Błędy redakcyjne miały znikomy wpływ na ogólny ogląd pracy. Kilka z nich podano poniżej:

- str. 15, w trzecim akapicie – zapisany zwrot „... określenie zakresu niszczeniu struktury ...” jest niepoprawny i powinien mieć formę „... określenie zakresu niszczenia struktury ...”;
- str. 40, w drugim akapicie – zapisany zwrot „... oddziaływanie dynamicznie poprzez uderzenie prętem ...” jest niepoprawny i powinien mieć formę „... oddziaływanie dynamiczne poprzez uderzenie prętem ...”.

Część graficzna pracy zawarta w prezentowanych publikacjach P1 – P5 jest estetyczna, rysunki wykonane z dużą starannością, w sposób czytelny i przejrzysty.

3.5.2. Uwagi merytoryczne

1. W prowadzonych pracach badawczych w ramach publikacji P1 – P5 Doktorant wykorzystywał próbki gruntu o czterech różnych wilgotnościach, tj.: 0%, 5%, 10% i 15%. Uzasadnienie tego wyboru nie zostało w pełni omówione w dysertacji. Dlaczego zostały wytypowane te wartości? Proszę o komentarz.
2. W rozdziale 1 (str. 11) Doktorant przedstawił, że analizowany piasek pylasty jest przykładem gruntu wątpliwego przy zastosowaniu kryterium wysadzinowości według Wiłuna. Jaka jest zatem definicja gruntu wątpliwego? Czy Doktorant zna podział gruntów według kryterium Wiłuna wraz z przykładami? Proszę o odpowiedź.
3. W podrozdziale 5.3 (str. 31) Doktorant wskazał, że brak przeprowadzenia procesu zagęszczenia próbki gruntu będzie skutkować niepoprawnymi rezultatami eksperymentu fizycznego. Część energii uderzenia pręta obciążającego – pocisku jest wtedy wykorzystana do zmniejszania objętości pustek powietrznych. W jaki sposób Doktorant kontrolował w trakcie eksperymentu czy próbka faktycznie nie zawierała pustek powietrznych? Proszę o komentarz.
4. W literaturze nie zamieszczono dokumentu normatywnego dotyczącego prowadzenia badań z wykorzystaniem stanowiska dzielonego pręta Hopkinsona. Jaki jest powód takiego braku pozycji literaturowej? Czy Doktorant zna polski lub zagraniczny dokument normatywny dotyczący SHPB? Proszę o odpowiedź.

Powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i nie zmniejszają merytorycznej wartości pracy, którą uważam za dobrą.

4. Podsumowanie

Przedłożoną do recenzji rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Dotyczy to zarówno jej strony naukowej, jak i formalnej. Obie nie wzbudzają większych wątpliwości. Na szczególną uwagę zasługuje duży nakład pracy Autora podczas wykonania wielu pracochłonnych badań laboratoryjnych i analiz. Praca doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego dyscypliny inżyniera lądowa, geodezja i transport. Doktorant potwierdził znajomość wiedzy teoretycznej w zakresie dyscypliny naukowej oraz przygotowanie do samodzielnego wykonywania prac naukowych, analizy wyników i formułowania wniosków. Wskazane niedociągnięcia redakcyjne i nieścisłości w zapisach nie obniżają w istotny sposób pracy doktorskiej z merytorycznego punktu widzenia.

Uwzględniając zapisy określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.) stwierdzam, że sformułowana teza pracy została udowodniona, a cele osiągnięte.

W związku z powyższym, przedkładałam Radzie Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Wojskowej Akademii Technicznej wniosek o dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy doktorskiej pt.: *„Eksperymentalna analiza dynamicznych właściwości mechanicznych gruntów wątpliwych na przykładzie piasku pylastego”*, przygotowanej przez kpt. mgr inż. Kamila Sobczyka.

Mariusz Wesolowski

Dr hab. inż. Mariusz Wesolowski, prof. WITPiS