

Warszawa, 19.08.2021 r.

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Koda

Instytut Inżynierii Lądowej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marka Koprasa
pt. „Weryfikacja metod projektowania i obliczeń konstrukcji płyt obudowy
wykopów tymczasowych”

1. Wstęp

Recenzję pracy doktorskiej mgr. inż. Marka Koprasa pt. „*Weryfikacja metod projektowania i obliczeń konstrukcji płyt obudowy wykopów tymczasowych*” opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu z dnia 23-06-2021 r. (pismo L.dz. Nr WI-4000-4/2021), realizującego uchwałę podjętą dnia 17.06.2021 r. przez Radę Naukową Dyscypliny *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka* Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Opiniowana praca zawiera 251 stron druku formatu A4, w tym spis cytowanej literatury oraz wykaz ważniejszych oznaczeń i określeń. Ponadto, do pracy dołączono płytę CD z elektroniczną wersją jej zawartości w pliku .pdf oraz 2 załączniki zawierające zestawienia 100 przypadków obciążeń wykopów i karty badań metali stosowanych do wykonania obudów wykopów.

Celem pracy postawionym przez Autora była: „...*weryfikacja doświadczalna rozkładu i wielkości parcia gruntu działającego na ściany obudowy, a także weryfikacja odkształceń występujących w użytkowanych płytach, w rzeczywistych warunkach.*”

Hipoteza badawcza: „...*że rozkłady parcia gruntu proponowane przez Klennera, Terzaghiego, Lehmana czy Pecka nie mogą być brane pod uwagę przy projektowaniu płyt obudowy składających się z trzech płyt, niestanowiących jednolitej całości na całej wysokości wykopu.*”

Dla osiągnięcia powyższego celu i udowodnienia postawionej hipotezy pracy, Doktorant zaplanował i przeprowadził eksperyment w skali rzeczywistej. Na podstawie wykonanych pomiarów i obliczeń statycznych przeprowadzonych z wykorzystaniem metod numerycznych dla założonych schematów i obliczeń wytrzymałościowych, zweryfikowano dotychczas stosowane rozwiązania, mające na celu ulepszenie konstrukcji i zwiększenia niezawodności produkowanych i stosowanych płyt obudowy wykopów, zarówno w zakresie bezpieczeństwa i redukcji kosztów.

2. Treść i charakterystyka pracy

Praca doktorska mgr. inż. Marka Koprasa składa się ze spisu treści, streszczenia w języku polskim i angielskim, wykazu ważniejszych oznaczeń i określeń, dziewięciu rozdziałów, przy czym ostatni rozdział stanowi spis literatury obejmującej 67 pozycji, w tym 49 publikacji, 1 strona internetowa i 17 norm, oraz dwóch załączników. Praca układa się w logiczną całość łączącą elementy mechaniki gruntów i geotechniki oraz konstrukcji stalowych stanowiących tymczasowe systemowe obudowy wykopów.

Rozdział pierwszy – *Wstęp* (4,5 strony), zawiera uzasadnienie wyboru i wprowadzenie do tematyki pracy, określenie jej celu, przyjętą hipotezę badawczą oraz założenia ukierunkowujące problem badawczy. We wprowadzeniu przedstawiono znaczenie zabezpieczenia ścian tymczasowych wykopów wąskoprzestrzennych, w celu zapewnienia bezpieczeństwa robót ziemnych związanych z budową infrastruktury podziemnej oraz ograniczenia zagrożenia i uciążliwości dla terenów przyległych i osób postronnych. Doktorant wskazuje na problemy związane z budową infrastruktury podziemnej w zróżnicowanych warunkach geotechnicznych, głównie w zakresie zapewnienia stateczności wykopów. Słusznie wskazuje, że często przyczyną awarii są błędy popełniane na etapie projektowania i niewłaściwe prowadzenie robót ziemnych. Omawia też różne sposoby zabezpieczenia wykopów, nie tylko analizowane w rozprawie obudowy systemowe. Następnie wyprowadza cele, zakres i hipotezę pracy, wskazując że stosowanie obudów systemowych znacznie usprawnia prowadzenie robót ziemnych i poprawia ich bezpieczeństwo. Zaplanowane w ramach rozprawy doktorskiej doświadczalne prace badawcze i obliczeniowe miały na celu weryfikację rozkładu parcia gruntu działającego na płyty obudowy wykopów tymczasowych i sprawdzenia dopuszczalnej nośności płyt, wynikającej z obliczeń statyczno-wytrzymałościowych. Tak sformułowane cele i hipoteza wymagały przeprowadzenia badań modelowych na rzeczywistym obiekcie doświadczalnym, z wykorzystaniem różnych technik pomiarowych oraz obliczeń analitycznych i numerycznych.

Rozdział drugi – *Przegląd literatury dotyczącej zagadnień związanych z analizowaną problematyką* (49,5 stron) obejmuje bardzo obszerny przegląd literatury dotyczącej parametrów geotechnicznych niezbędnych do projektowania obudów wykopów, metodyki badań terenowych na potrzeby rozpoznania warunków gruntowo-wodnych, obliczania parcia i odporu gruntu oraz rodzajów zabezpieczeń ścian wykopów i obliczeń statyczno-wytrzymałościowych tych zabezpieczeń. Tematyka rozdziału jest bardzo zróżnicowana, ale obejmuje kompleksowo zagadnienia istotne przy projektowaniu i obliczeniach konstrukcji płyt obudowy wykopów.

Problematykę omówiono głównie na podstawie klasycznych metod obliczania parć i odniesiono do krajowej literatury monograficznej oraz norm, natomiast nie dokonano przeglądu aktualnej literatury naukowej z czasopism krajowych i zagranicznych, a odniesienia do Eurokodów są jedynie marginalne. Ze względów poznawczych uznaję to za mankament rozprawy. Nie ustrzeżono się w nim też drobnych błędów merytorycznych, np. na str. 18 przypisanie frakcji piaskowej do gruntów spoistych.

Rozdział trzeci – *Badania terenowe na obiekcie doświadczalnym* (62 strony), najbardziej obszerny, dotyczy omówienia metodyki badań wykonanych na obiekcie doświadczalnym na potrzeby rozprawy. Doktorant, wykorzystując 30-letnie doświadczenie związane z realizacją obudów wykopów, wykonał i przeprowadził badania na unikatowym stanowisku do badań terenowych w skali rzeczywistej, tj. wykop do głębokości 6 m zabezpieczony przedmiotową obudową, wyposażoną w czujniki do pomiarów mających na celu weryfikację metod projektowania i konstrukcji płyt obudowy. Wybór miejsca dla obiektu doświadczalnego przeprowadzono na podstawie wyników terenowych badań geotechnicznych (otwory badawcze i sondowanie statyczne CPTU). Pomiar zachowania się obudowy w wykopie (naprężenia, ugięcia) przeprowadzono za pomocą nowoczesnych technik: sonda hydrauliczna, czujniki tensometryczne, skaner laserowy i łata pomiarowa. Pomiar prowadzono w kilku etapach przy różnych obciążeniach naziomu, różnym stanie gruntu (rozluźnienie) i przy zalaniu klina odłamu wodą, imitującą ulewny deszcz. Należy zaznaczyć, że przeprowadzone badania w takiej skali są rzadko wykonywane i uzyskane wyniki mają szczególne znaczenie na potrzeby weryfikacji metod obliczania parć na obudowy i prognozowania ich odkształceń. Można jedynie mieć zastrzeżenie do metodyki wyznaczania parametrów geotechnicznych wg normy PN-81/B-03020, mimo wykorzystania nowoczesnych technik pomiarowych i nie wykorzystania procedur zalecanych w Eurokod 7. Do interpretacji wyników badań geotechnicznych przyjęto standardowe metodyki, co umożliwi porównywanie z dotychczas stosowanych procedur i formułowanie wniosków dotyczących postawionych celów i udowodnienia hipotezy badawczej. Takie założenie można uznać za poprawne. Bardzo cenne są natomiast pomiary parcia gruntu (naprężenia poziome) z wykorzystaniem sondy hydraulicznej oraz pomiary ugięcia obudowy przy wykorzystaniu skanera laserowego. Rozdział jest dobrze zredagowany, chociaż edycyjnie na wielu stronach są duże powierzchnie puste, co sztucznie wpłynęło na objętość pracy.

Rozdział czwarty – *Analiza wyników badań terenowych* (53 strony). W rozdziale tym przedstawiono szczegółową analizę wyników badań terenowych na obiekcie doświadczalnym, przy czym ponad 2/3 rozdziału (p. 4.1) poświęcone jest obliczeniom parcia gruntu na obudowę

wykopu, przy wykorzystaniu różnych metod wyznaczania parametrów, założonych kilku rozkładów parcia gruntu na obudowę oraz zmienianego obciążenia naziomu. Rozdział zawiera dużo wyników obliczeń, których część mogłaby być zamieszczona w załączniku, a w tekście powinny być umieszczone jedynie zbiorcze zestawienie wyników. Podobnie jak w rozdziale trzecim, niedopracowana edycja wpłynęła na zwiększenie objętości rozprawy. Bardzo wartościowe wyniki obliczonych naprężeń w płytach obudowy (p. 4.2) i ugięć badanych płyt (p. 4.3) uzyskano na podstawie analizy pomiarów bezpośrednich na obiekcie doświadczalnym. Mają one podstawowe znaczenie dla celu pracy i udowodnienia hipotezy badawczej. W końcowej części rozdziału zamieszczono podsumowanie wyników badań terenowych w postaci wniosków dotyczących wpływu parametrów geotechnicznych na obliczone wielkości parcia gruntu, wpływu naziomu na wielkość parcia, oraz ugięcia płyt obudowy. Istotnym dla hipotezy rozprawy jest stwierdzenie że „*Pomierzone sondą hydrauliczną wielkości parcia gruntu (tabela 58)... odbiegają od propozycji rozkładu naprężeń na ścianę oporową proponowane przez Terzaghiego czy Lehmana*” (rys. 80, 81, 82)”, które wskazuje na potrzebę weryfikacji stosowanych dotychczas metod projektowania i obliczeń konstrukcji płyt obudowy wykopów tymczasowych.

Rozdział piąty – *Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe płyty obudowy* (50 stron), obejmujące: analityczne dla tradycyjnego schematu belkowego ze sprawdzeniem stanów granicznych (p. 5.1), numeryczne dla schematu płytowego z wykorzystaniem metody różnic skończonych (MRS) przy dowolnym obciążeniu płyty (p. 5.2) oraz obliczenia ugięć płyty obciążonej parciem gruntu (p. 5.3) i momentów zginających w płycie obudowy dla schematu obciążeń wg propozycji Lehmana (p. 5.4.). Przeprowadzone wyniki obliczeń porównywano z wynikami pomiarów na obiekcie doświadczalnym i sformułowano stosowne wnioski. Dodatkowym elementem obliczeń (w p. 5.5) było sprawdzenie nośności płyty obudowy przy obciążeniu maksymalnym, jakie miało miejsce w okresie wieloletniej działalności firmy Koprass. Doktorant w tym celu przeanalizował 100 przypadków realizacji obudów wykopów o głębokości 6 m, z terenu całej Polski, wybrał największe obciążenie parciem gruntu przekraczające 190 kN/m i przeprowadził obliczenia nośności płyty ze stali S355JR, formułując wniosek dotyczący konstrukcji płyt. Uzyskane wyniki stanowią bardzo cenny obszerny materiał badawczy dotyczący projektowania i obliczania obudów wykopów tymczasowych, którego zgromadzenie wymagało od Doktoranta wieloletniego systematycznego zaangażowania w przeprowadzenie tak szerokiego zakresu badań, uzupełnionego badaniami modelowymi na potrzeby rozprawy doktorskiej. Uznaje to za najważniejszą wartość ocenianej rozprawy doktorskiej.

Rozdział 6 – *Badania statystyczne na potrzeby przyszłego projektowania części składowych elementów obudowy do wykopów* (13 stron), w którym przeprowadzono analizę statystyczną

wyników wykonanych badań oraz dla losowej próby 100 przypadków obudów wykonanych przez firmę Koprzas na terenie całego kraju, z których wybrano 50 badań o największym parciu na płytę dolną obudowy. Analiza głównych składowych (principal component analysis, PCA) została przeprowadzona w pracy metodą analizy czynnikowej dla zbioru danych $N=50$, z których każda obejmuje $K=4$ zmiennych (tj. parcie na płytę górną, parcie na płytę dolną, wielkość wypadkowej i lokalizację wypadkowej). Z przeanalizowanych danych statystycznych wynika, że „...wartość wypadkowej jest silniej skorelowana z wartością parcia na płytę dolną, a lokalizacja wypadkowej jest silnie skorelowana z wartością parcia na płytę górną. Natomiast nie istnieje korelacja pomiędzy lokalizacją wypadkowej a wartością parcia na płytę dolną. Analiza ta pozwoliła na wytypowanie stanowisk lokalizacji o podobnych właściwościach”. Przeprowadzone badania, obliczenia i analizy statystyczne wskazują na aplikacyjną wartość rozprawy, na potrzeby producentów obudów wykopów tymczasowych. Wyniki badań mogą być wykorzystane do projektowania elementów obudowy wykopów, takich jak: rozpory, słupy, płyty, czy konstrukcje skrzynkowe o różnych wymiarach i gatunków stali.

Rozdział 7 – *Wnioski wynikające z przeprowadzonych badań i obliczeń* (2 strony). Doktorant sformułował 11 wniosków z przeprowadzonych badań i obliczeń, dotyczące przyjmowanych rozkładów parć gruntu na płyty obudowy, naprężeń w płytach w zależności od przyjmowanego schematu obciążenia i konstrukcji obudowy, wpływu metody określania parametrów geotechnicznych, wielkości parcia w zależności od zmiany obciążenia naziomu, współczynników bezpieczeństwa stosowanych w różnych normach, celowości badań na obiektach doświadczalnych oraz modyfikacji konstrukcji płyt stosowanych do obudowy wykopów. Sformułowane wnioski są poparte wynikami analiz i badań przeprowadzonych i opisanych w treści pracy. Wnioski są poprawne i cenne, wskazują na udowodnienie postawionej na wstępie hipotezy i osiągnięcie celów rozprawy, niemniej w moim odczuciu powinny być poparte szerszą dyskusją, również w nawiązaniu do podobnych wyników publikowanych w zagranicznych czasopismach naukowych i w aspekcie możliwości ich wykorzystania w praktyce projektowej.

Rozdział 8 – *Podsumowanie i wnioski końcowe* (1 strona). Doktorant bardzo ogólnie podsumował w kilku akapitach efekty swoich badań, obliczeń i analiz o charakterze eksperymentalnym. Pewien niedosyt może budzić brak szczegółowych wniosków dotyczących wskazań zmian w procedurach projektowych oraz kierunków dalszych badań, szczególnie do projektowania obudów wykopów w zmiennych warunkach wodno-gruntowych, również produkowanych przez innych producentów.

Rozdział 9 – *Literatura* (5 stron), obejmująca 67 pozycji, głównie krajowych, w tym 49 publikacji i książek, 1 strona internetowa i 17 norm. Zdaniem oceniającego brakuje

zagranicznej literatury anglojęzycznej i zbyt mało jest pozycji z ostatnich 10 lat. Wiele cytowanych norm jest już nieobowiązujących, proszę o komentarz, dlaczego Doktorant odnosił się do nich w rozprawie?

W końcowej części pracy zamieszczono dwa załączniki: 1 – stanowiący zestawienie analizowanych 100 przypadków obciążeń parciem gruntu odnotowanej w działalności firmy Kopras (3 strony), oraz 2 – wyniki badań laboratoryjnych właściwości mechanicznych stali stosowanych do produkcji obudów (4 strony – raporty z badań w akredytowanym laboratorium).

Do pracy dołączono płytę CD z elektroniczną wersją rozprawy w pliku .pdf.

Strukturę i układ pracy uznaję za prawidłową, zawierającą dobrze sformułowane cele i hipotezę badawczą, ułożenie problematyki w literaturze polskiej, chociaż brakuje odniesienia do wyników badań i doświadczeń z literatury zagranicznej, szczególnie z ostatnich 10 lat. Można odczuć też niewielki zakres badań laboratoryjnych dotyczących parametrów mechanicznych gruntów. Na wyróżnienie zasługuje dobrze opanowana przez Doktoranta metodyka projektowania i obliczania obudów wykopów, oraz uzyskany bardzo bogaty materiał badawczy z obiektu doświadczalnego i innych zrealizowanych przez firmę Kopras, którą kieruje Doktorant.

Praca spełnia kryteria solidnego opracowania naukowego o charakterze eksperymentalnym.

3. Ocena pracy

Problematyka zabezpieczenia wykopów tymczasowych jest stale podnoszona w wielu artykułach w czasopismach specjalistycznych krajowych i zagranicznych, jest również podejmowana na konferencjach tematycznych poświęconych realizacji infrastruktury podziemnej, technologii i organizacji robót budowlanych oraz geotechniki. Z bieżących informacji wiemy również o wielu przypadkach lekceważenia przez wykonawców tych zabezpieczeń, kończących się nieraz awariami lub katastrofami budowlanymi, w których nieraz giną ludzie. Odpowiednio zaprojektowane obudowy wpływają na usprawnienie procesu technologicznego realizacji budowy i bezpieczeństwo robotników. Doktorant posiada bardzo duże doświadczenie w tym zakresie i wybór tematu rozprawy jest właściwy.

Praca podejmuje aktualną problematykę badawczą związaną z weryfikacją stosowanych w Polsce metod projektowania i obliczeń systemowych obudów wykopów tymczasowych, w szczególności doboru odpowiedniego rozkładu obciążeń (parć gruntu) na te obudowy. Doktorant omówił stosowane w Polsce obudowy, przeanalizował parametry geotechniczne do obliczania parcia gruntu na obudowy oraz założenia i metody obliczania tych parć. Szczególnie cennym elementem pracy są badania terenowe przeprowadzone na obiekcie doświadczalnym w skali rzeczywistej, oraz obliczenia statyczno-wytrzymałościowe dla obudowy doświadczalnej

z wykorzystaniem rozkładów klasycznych i numerycznej metody różnic skończonych (MRS). Do analizy statystycznej materiał badawczy rozszerzył o dane zebrane ze 100 realizacji obudów zrealizowanych przez firmę Koprzas na terenie Polski, co znacząco zwiększa wartość tej analizy. Podsumowanie i wnioski z pracy mają charakter poznawczy i aplikacyjny, chociaż nie poparty dyskusją o charakterze naukowym w nawiązaniu do aktualnych badań publikowanych w czasopismach zagranicznych. Największymi osiągnięciami Doktoranta było przeprowadzenie wnikliwej analizy wyników bardzo szerokiego zakresu badań o charakterze aplikacyjnym.

Uzyskane z badań wyniki stanowią bardzo cenny materiał eksperymentalny, bardzo rzadko przeprowadzany w tak szerokim zakresie. Zebrane dane pozwoliły na analizę wpływu wielu czynników mających znaczenie przy projektowaniu i obliczaniu obudów. Doktorant udowadnia w rozprawie znaczenie poszczególnych czynników dla podjętej problematyki.

Oceniana praca doktorska ma zarówno charakter poznawczy jak i aplikacyjny, szczególnie istotny z uwagi na intensywną działalność inwestycyjną w ostatnich 20. latach przebudowy Kraju. Przeprowadzone badania powinny być zweryfikowane dla innych rodzajów gruntów i różnych konstrukcji obudów, na co wskazuje też Doktorant, aby mogły być jeszcze szerzej stosowane w praktyce. Najkorzystniej by było, aby dalsze badania były prowadzone przy realizacji określonych zadań inwestycyjnych.

Praca ma również charakter metodyczny. Autor podaje w niej szczegółową metodykę badań, zarówno dla rozpoznania warunków wodno-gruntowych i wyznaczania parametrów geotechnicznych niezbędnych do obliczania parć gruntu, wyboru odpowiednich typów obudów, doboru rozkładu parć na obudowy oraz obliczeń statyczno-wytrzymałościowych i pomiarów kontrolnych wykonanych obudów. Zwraca uwagę i analizuje wpływ różnych czynników zewnętrznych na wielkość i rozkład parcia gruntu na obudowę wykopu. W każdym z rozdziałów Doktorant wprowadził własne analizy dotyczące przedmiotu rozprawy, również w rozdziałach dotyczących przeglądu literatury i danych archiwalnych, chociaż brakuje tutaj wspomnianego wcześniej odniesienia do najnowszych wyników badań światowych i literatury angielskojęzycznej.

Postawiony cel rozprawy został osiągnięty, a hipoteza rozprawy udowodniona przeprowadzoną analizą, wynikami badań i obliczeń oraz ich interpretacją.

Mankamentem jest brak w przeglądzie literatury publikacji z ostatnich lat. Można tłumaczyć to jednak typowo eksperymentalnym charakterem pracy, ukierunkowanej na weryfikację stosowanych w Polsce metod projektowania obudów wykopów tymczasowych. Nie umniejsza to merytorycznej wartości rozprawy.

4. Uwagi krytyczne i pytania

Przy czytaniu pracy zauważono zbyt ogólne opisy niektórych zagadnień, nieuporządkowaną terminologię specjalistyczną oraz błędy edytorskie. Przedstawiam też drobne uwagi o charakterze merytorycznym. Mimo że nie umniejszają one wartości pracy, proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do niektórych z nich:

- dlaczego obliczenia oparto na parametrach mechanicznych gruntu wyznaczanych na podstawie normy PN-81/B-03020 metodą B i pośrednio z sondowań CPTU, a nie przeprowadzono badań laboratoryjnych? Kilukrotnie (np. w Tab. 22, rozdz. 2.3.3, Rys. 44) wspomniano o badaniach DMT, jednak w pracy nie zamieszczono wyników tych badań(?)
- w Streszczeniu zestawienie sondy hydraulicznej z otworami badawczymi i sondowaniem CPTU jako metodami badań terenowych, może wprowadzać czytelnika w błąd, że jest metoda badań geotechnicznych na potrzeby rozpoznania podłoża; Sonda hydrauliczna, wykonana w zakładzie Koprzas wg pomysłu dr S. Gogolika, szczegółowo opisana w rozdz. 3.4.1.3, została wykorzystana do pomiarów parcia gruntu i stanowi jedno z najcenniejszych badań na potrzeby rozprawy doktorskiej;
- na str. 18 (7 wiersz od dołu) niefortunnie zaliczono frakcję piaskową do gruntów spoistych; a na rys. 123 w podpisie użyto określenia „profilu glebowych” zamiast „profilu gruntowych”;
- właściwości fizyczne gruntu (rozdz. 2.2) i badania terenowe gruntów (rozdz. 2.3) opisano w sposób dość trywialny, głównie na podstawie podręczników akademickich, nie wnosi to istotnych wartości do rozprawy;
- niektóre rysunki i tabele są nieodpowiedniej jakości (Rys. 4, 14, 16, 29, 39, 44, 73, 78, 106, 122 i 124, oraz Tab. 12);
- na wielu stronach zostawiono puste miejsca, nawet więcej niż pół strony, redakcyjnie praca jest niedopracowana, wydrukowana jednostronnie, co sztucznie zwiększyło jej objętość;
- czy na podstawie przeprowadzonych analiz Doktorant byłby w stanie podać własne zalecenia dotyczące metodyki badań na potrzeby projektowania obudowy wykopu dla konkretnego zadania inwestycyjnego?

Ponadto, w recenzowanym egzemplarzu pracy zaznaczono szczegółowe uwagi i sugestie natury gramatycznej, stylistycznej i nazewnictwa, które mogą być uwzględnione przez Doktoranta w przygotowaniu pracy lub jej części do publikacji.

Powyższe uwagi mają charakter redakcyjny i dyskusyjny i nie umniejszają wartości naukowej opiniowanej rozprawy doktorskiej, którą uznaję za znaczącą dla rozwoju metodyki projektowania i obliczania obudów wykopów tymczasowych, decydujących o usprawnieniu procesu technologicznego realizacji budowy i bezpieczeństwie robotników

5. Podsumowanie

Podsumowując recenzję pracy doktorskiej mgr. inż. Marka Koprasa stwierdzam, że:

- Doktorant przedstawił kompleksową metodykę badań i obliczania obudów wykopów tymczasowych,
- Doktorant oparł swoją metodykę na analizie stosowanych dotychczas metod obliczania parcia gruntu na obudowy wykopów oraz obliczeń statyczno-wytrzymałościowych płyt obudowy, w tym z wykorzystaniem metody różnic skończonych,
- Przygotował unikalne stanowisko badawcze w skali rzeczywistej i przeprowadził na nim szeroki zakres badań obejmujących parametry geotechniczne, pomiary naprężeń i ugięć obudowy z wykorzystaniem nowoczesnych technik pomiarowych oraz obliczenia parcia gruntu i statyczno-wytrzymałościowe obudowy na tym obiekcie, uzyskując bardzo bogaty materiał eksperymentalny,
- Doktorant przedstawił metodyczną interpretację uzyskanych wyników badań, z uwzględnieniem czynników mogących wpływać na uzyskane wielkości parcia gruntu i ugięć obudowy,
- Wykazał dużą wiedzę z zakresu geotechniki, oraz dobrze opanowaną metodykę interpretacji i analizy statystycznej uzyskanych wyników badań,
- Napisał pracę doktorską spójnie i metodycznie,
- Udowodnił swoimi analizami, szczególnie w zakresie interpretacji wyników badań terenowych i przeprowadzonych obliczeń, postawioną hipotezę rozprawy doktorskiej i osiągnął zamierzone jej cele.

Praca mgr. inż. Marka Koprasa spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późniejszymi zmianami)*. Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dziedzinie nauk *inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia eksperymentalnej pracy naukowej. Stworzenie unikatowego stanowiska badawczego i przeprowadzenie na nim badań terenowych z użyciem nowoczesnych technik pomiarowych oraz możliwości aplikacyjne uzyskanych wyników badań, moim zdaniem zasługują na wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marka Koprasa.

Wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Marka Koprasa przez Radę Naukową Dyscypliny *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka* Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu i dopuszczenie do publicznej obrony.

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Koda

