

Warszawa 2 kwietnia 2017 r.

dr hab. Paweł Dobak, prof.UW
ul.Kabacki Dukt 6/81
02-797 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Bartłomieja Olka

Przedstawiona do oceny rozprawa pt: „Identyfikacja fazy konsolidacji quasi – filtracyjnej z zastosowaniem nowych technik interpretacji badań konsolidometrycznych” przygotowana została pod kierunkiem naukowym prof. AGH dr hab. inż. Henryka Woźniaka w Katedrze Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie. Treść pracy podzielona jest na 9 rozdziałów charakteryzujących generalnie trzy podstawowe grupy zagadnień:

- przeglądową analizę rozwojową teorii konsolidacji jednoosiowej gruntów,
- prezentację i rozwinięcie różnorodnych sposobów interpretacji badań konsolidacji zsyntetyzowanych w formie Autorskiego opcjonalnego programu obliczeniowo – graficznego,
- analizę wyników własnych badań past gruntowych ukierunkowaną na porównanie i testowanie miarodajności uzyskiwanych parametrów w nawiązaniu do 9 metod interpretacyjnych.

Ocena przedstawionych analiz i rozwiązań

Wybrany przez Doktoranta przedmiot badań skoncentrowany jest na kluczowym zagadnieniu opisu konsolidacji obejmującym ocenę 3 uwarunkowań procesu: quasi sprężystych, filtracyjnych oraz reologicznych. Rozróżnienie tych czynników podkreślane jest już w pierwszej części rozprawy z powołaniem się na klasyczne publikacje m.in. Christie, Duncan’a, Sridharana i Parkasha, Robinsona, jak i doświadczenia z laboratoriów polskich, w tym własne obserwacje Doktoranta. Część prowadzonych na całym świecie studiów ukierunkowana jest nadal na rozwijanie filtracyjnego modelu Terzaghi’ego z uwagi na fundamentalny walor tego ujęcia, umożliwiającego skalowanie czasu procesu na podstawie długości drogi drenażu (o czym wspomniano w przypisach na stronie 42). Wzbogacany jest teoretyczny opis o kolejne elementy obejmujące nieliniowość odkształcalności,

przepuszczalności, pełzanie szkieletu gruntowego oraz zastosowanie różnych koncepcji układów współrzędnych w zależności od wielkości występujących odkształceń. Wszystkie wymienione wyżej czynniki rzutują na obserwowane rozbieżności pomiędzy doświadczalnie rejestrowanym przebiegiem konsolidacji, a modelowymi rozwiązaniami teoretycznymi, z których wyprowadzany jest sens fizyczny powszechnie stosowanego współczynnika konsolidacji. Autor rozprawy w sposób interesujący wplata te aspekty w syntetyczny przegląd rozwoju poglądów przytaczając m.in. mało znane, dyskusyjne w stosunku do intuicji Terzaghiego, wnioski dotyczące roli lepkości w kształtowaniu czasu pełzania (Leonards i Girauld) lub znaczenia zmian wskaźnika porowatości w określaniu czasu konsolidacji (Richart).

Zawarte w rozdziałach 2 i 3 zapisy dotyczące warunków przepływu w konsolidowanym ośrodku dotyczą, jak można się domyślać, wyabstrahowanego obszaru o znikomych wymiarach (dx, dy, dz), na granicach którego określone są różnice prędkości przepływu fazy ciekłej w funkcji czasu (rys. 2.1, 3.2) Wskazane byłoby natomiast podkreślenie, że w rozpatrywanym polu filtracji przepływ dotyczy tylko wody pochodzącej z przestrzeni porowej (klasyczna konsolidacja), a nie ze źródeł zewnętrznych, czego nie rozstrzyga redakcja rysunków (np. 2.1, 3.1, 3.2).

W przeglądzie teorii nieliniowych Autor rozprawy sygnalizuje, rozwiązania podane m.in. w pracach McNabba, Bardena, Gibsona oraz innych badaczy, a następnie przedstawia założenia trzech koncepcji układu współrzędnych liniowych wprowadzanych w związku z różnicowaniem rozwiązań na przypadki małych oraz dużych odkształceń. Omawiając rozwiązanie Gibsona i in. (1967) podano zapis równania konsolidacji, w którym nie występuje różniczka względem czasu i powołano się na analogie do dyfuzyjności cieplnej, w której podobnie jak w równaniu konsolidacji czas jest uwzględniony. W dalszej części pracy (str. 25) znajdujemy informację o przyjęciu przez Gibsona i in. (1967) liniowej zmienności współczynnika konsolidacji. Ten aspekt powinien być rozwinięty jako podstawa do zmodyfikowania zapisu równania różniczkowego przy wprowadzeniu zmiennych uwzględniających współczynnik konsolidacji C_F o założonym prostoliniowym zmniejszaniu się jego wartości powiązanych ze zmianami wskaźnika porowatości. Prostoliniową charakterystyka tej zależności o nachyleniu zdefiniowanym przez współczynnik α jest przez Gibsona i in. (1967) dalej wykorzystywana do zmodyfikowanego zdefiniowania bezwymiarowego czynnika czasu T_G .

Wyjaśnienia wymaga konkluzja dotycząca zakresu stosunków $\Delta p/p$ rzutuujących na odstępstwa od teorii Terzagiego w rozwiązaniu Bardena. W rzeczywistości przy wartościach $\Delta p/p > 2$ odstępstwa te są znacząco mniejsze aniżeli w przypadku małych stopni obciążenia o stałej wartości generujących warunki do pełzania szkieletu.

Autor rozprawy słusznie podkreśla współwystępowanie i zmieniający się udział czynników filtracyjnego i reologicznego w przebiegu całego procesu konsolidacji. Efekty te w dalszej części pracy będą traktowane jako przyczyna rozbieżności doświadczalnych charakterystyk w stosunku do rozwiązań teoretycznych. Przyniesione liczne próby uszczegółwiających rozwiązań podejmowane były poczynając od lat trzydziestych XX wieku (Grey, Busissman, Terzaghi, Cassagrande) oraz kontynuowane przez kolejnych badaczy zarówno w aspektach obliczeniowo modelowych jak i wyjaśniania możliwych mechanizmów fizycznych. Doprowadziło to w efekcie do sformułowania idei diagramu izotachowego oraz dwóch konkurencyjnych hipotez zachowania się gruntów. Dość szerokie omówienie tych zagadnień w fenomenologicznym ujęciu rozwoju poszczególnych koncepcji sugeruje bliższe zainteresowania Autora rozprawy tymi zagadnieniami. Wydzielanie fazy konsolidacji filtracyjnej zdominowało jednak dalszą część rozprawy i wspomniany wyżej wątek sygnalizuje jedynie możliwe ukierunkowanie dalszych interpretacji.

Pomimo niektórych dyskusyjnych ujęć sposób tematycznego uporządkowania teoretycznych rozwiązań problemu konsolidacji świadczy o bardzo dobrej orientacji Doktoranta w kolejnych etapach rozwoju tego działu mechaniki gruntów. Na podkreślenie zasługuje włączenie najnowszych publikacji, często rozsianych w różnych wydawnictwach na całym świecie. Jednocześnie, choć aplikacja tych wszystkich rozwiązań nie jest możliwa to Autor starał się wpleść najistotniejsze z punktu widzenia podjętego tematu aspekty do realizacji własnego programu badawczego.

Przy omawianiu przeglądu laboratoryjnych metod badania jednoosiowej konsolidacji (rozdz.. 3.4 oraz 4) zaprezentowano ich rozwój poczynając od pierwszych konstrukcji edometru, aż po systemy obciążeń typu CL (continuous loading) . Warto zauważyć, że przeprowadzone w pracy badania, z uwagi na stosowanie skokowego klasycznego ujęcia przyrostu obciążenia należą do zaawansowanych badań typu IL z pomiarem ciśnienia porowego. Umożliwiają one

równoczesny monitoring jednoosiowego odkształcenia próbki oraz rozpraszania ciśnienia porowego a zatem udokumentowanie czynnika filtracyjnego w przebiegu procesu konsolidacji. Istotne jest spostrzeżenie, że teoretycznie oczekiwanego pełnego rozproszenia ciśnienia porowego praktycznie nie uzyskuje się. Stąd przyjęcie umownego końca fazy konsolidacji filtracyjnej ma charakter nieco arbitralny i musi być określone przy pomocy dodatkowych kryteriów, co jest przedmiotem dalszych analiz. Przyjęty w pracy schemat podwajania kolejnych stopni obciążenia, umożliwi wyrazistsze generowanie udziału czynnika filtracyjnego, którego identyfikacja jest wiodącym motywem rozprawy.

Wybór do badań iltu krakowieckiego z Chmielowa podyktowany był zapewne znacznym udziałem frakcji ilastej i pylastej. Decyduje to o małej przepuszczalności, a zatem także o wydłużeniu procesu konsolidacji. W tych warunkach możliwa jest staranna rejestracja efektów związanych z filtracją i pelżaniem. W charakteryzowaniu materiału badawczego (rozd. 5) wskazane byłoby podanie składu mineralnego frakcji ilastej. Wskaźnik aktywności koloidalnej szacowany na podstawie zamieszczonych danych pozwala zaliczyć analizowany grunt do przeciętnie aktywnych, a więc takich, w których ekspansywność nie będzie znaczącym czynnikiem modyfikującym odkształcalność. W programie badań uwzględniono ocenę wpływu sztucznie dodanej frakcji piaszczystej na charakterystyki konsolidacyjne. Ujęcie takie, podyktowane motywami poznawczymi, może być także interesujące z punktu widzenia praktycznego, czyli określenia właściwości tzw. mieszanek gruntowych. Dla optymalizacji ich składu w przypadku projektowania sztucznych barier gruntowych niezbędne są natomiast ich parametry gruntoznawcze (m.in. granice Atterberga), które w odniesieniu do mieszanki iltu z piaskiem pominięto w pracy.

Przechodząc do analiz miarodajności parametrów konsolidacji (rozd. 6) Autor pracy sygnalizuje podstawowe cechy, a także niezgodności przebiegu doświadczeń laboratoryjnych z wyidealizowanym teoretycznie modelem. Zagadnienia te omawiane są zarówno w nawiązaniu do wyników własnych doświadczeń, a także reprezentatywnego przeglądu literatury, obejmującego najnowsze publikacje (Joseph, 2013 i 2014). Wyniki badań własnych przykładowo ilustrują przesunięcie piku maksymalnej wartości ciśnienia porowego w początkowym etapie odkształcenia. Wskazane byłoby jednak rozszerzenie tej charakterystyki z wykorzystaniem bezwymiarowego parametru ciśnienia wody w porach i odniesieniem do stanu

zaawansowania odkształcenia. Osobnym problemem jest kluczowe dla tematu pracy kryterium przyjmowania umownego początku oraz zakończenia konsolidacji filtracyjnej. Przeprowadzone badania są podstawą do rozwinięcia opcjonalnych analiz opartych zarówno o własne doświadczenie Doktoranta jak i w nawiązaniu do cytowanych w pracy propozycji Tewatia i in. 2007a. Przedstawiony na rysunku 6.3 przykład z tej publikacji ma charakter ideowy i nie wyjaśnia, jakie kryteria były podstawą do wskazania granic wyróżnionych przez tego badacza faz. Generalnie rozdział 6 ma charakter metodyczny i zamieszczone przykłady ukierunkowane są na ilustrowanie omawianych zagadnień bez wskazywania które z nich pochodzą z własnych badań Autora i jakich próbek one dotyczą.

Kluczowymi pod względem metodycznym są rozdziały 7 i 8 stanowiące praktyczne podsumowanie bogatych studiów Doktoranta poświęconych aplikowaniu różnych metod interpretowania badań konsolidacyjnych. Zaproponowany pakiet obliczeniowo – analityczny pozwala na wielokryterialną analizę procesu osiadania próbek poprzez obliczenia nawiązujące do wybranych punktów lub odcinków na krzywej konsolidacji lub też poprzez porównywanie przebiegu doświadczalnego (odkształcenia lub rozpraszania ciśnienia porowego) z najlepiej dopasowanym rozwiązaniem teoretycznym. To ostatnie podejście Autor słusznie potraktował jako referencyjne, co ilustruje zarówno schemat postępowania przedstawiony na rys. 7.26 jak i wyniki porównań zestawione na rys 7.23. Interesująca, chociaż nieco arbitralna jest propozycja przyjęcia poziomu ufności $\alpha = 0,05$ jako kryterium oceny wiarygodności wyników w oparciu o zbiór testowanych metod wyznaczania współczynnika konsolidacji. Rzeczywisty problem wydaje się jednak leżeć znacznie głębiej. Chodzi tu bowiem o ocenę kryterium stabilizacji c_v na tle stopnia konsolidacji. Średnia geometryczna z wartości c_v wyznaczana dla danych z pełnego zakresu stopnia konsolidacji została porównana (rys. 8.20) z zależnością $\log c_v - U_{\text{skorygowane}}$, gdzie jako początek i koniec procesu przyjęty został zakres fazy filtracyjnej. Uzyskane rezultaty Autor określa roboczo jako „efekt spłaszczenia”. W rzeczywistości w podanych przykładach różnice dochodzą do dwóch rzędów wielkości c_v . Powstaje pytanie czy możliwe jest utrzymanie quasi-stabilizacji wartości $\log c_v$ odnoszonych do skorygowanego stopnia konsolidacji ?

Zróznicowanie rezultatów analiz przebiegu badań wynika także z opcjonalnego wyboru zależności między bezwymiarowym czynnikiem czasu T a stopniem konsolidacji U . W prezentowanym założeniach jako „słuszna” podawana jest

aproxymacja równaniem (7.4) wg. Parkina i Luna, 1984. Rozwiązanie to wykazuje jednak dużą zgodność z najpowszechniej przyjmowaną klasyczną charakterystyką tylko w przedziale U od 0,2 do 0,6. Później wartości T zaczynają być wyraźnie niedoszacowane zarówno w porównaniu z charakterystyką $T-U$ dla prostokątnego jak i parabolicznego rozkładu ciśnienia porowego w osiowym przekroju warstwy. Z kolei rys. 7.18 pokazuje, że do prezentowanych obliczeń przyjmowana była zależność określona wielomianem piątego stopnia, bardzo zbliżona do rozwiązania klasycznego (rozkład prostokątny, na który powołano się także we wnioskach). Opcja taka w pracach o charakterze porównawczym jest uzasadniona możliwością konfrontowania uzyskiwanych rezultatów z licznymi danymi literaturowymi nawiązującymi do klasycznych metod Taylora i Cassagrande'a i cytowanymi w wielu pracach przeglądowych (np. przez Duncana). Jednocześnie preferowanie tej zależności nie wynika z przekonania o jej najtrafniejszych podstawach fizycznych. Wręcz przeciwnie, rzadko stosowane analizy oparte o paraboliczny rozkład nadwyżki ciśnienia porowego są zdecydowanie bardziej zbliżone do rzeczywistych warunków rozpraszania ciśnienia porowego w jednorodnym ośrodku (na co Autor zwraca uwagę we wnioskach).

Uzyskane z badań Doktoranta charakterystyki przebiegu konsolidacji pokazywane są w pracy przede wszystkim w układzie współrzędnych: $U - \log_{10}(H^2/t)$ zaproponowanym przez Sridharana i in. (1995). Podejście takie jest uzasadnione nawiązaniem do istniejących standardów i ułatwia czytelny odbiór wyników tych analiz przy publikowaniu na forum międzynarodowym.

Niemniej zaznaczone na prezentowanych wykresach początki i końce fazy filtracyjnej nie pokazują uzasadnienia przyjętych kryteriów. Rozwijanie się rozbieżności danych doświadczalnych z krzywą teoretyczną bywa w skali rysunku słabo zaznaczone. Stosowane kryteria powinny być zdefiniowane a następnie zilustrowane przykładowym powiększeniem fragmentu rysunku. Z kolei przy prezentowaniu rodziny krzywych teoretycznych (rys. 7.19, 7.20) należy je przyporządkować wybranym wartościom współczynnika konsolidacji, dla których zostały wygenerowane. Podobne uwagi dotyczą teoretycznej krzywej $U-dU/dT$ (fig.7.11) gdzie zabrakło na rysunku objaśnienia ciągłej i przerywanej linii. Umożliwiłoby to zapewne lepsze zrozumienie nachyleń niezbędnych do wyznaczenia współczynnika konsolidacji metodami opartymi o analizy prędkości odkształcenia.

Program badań past gruntowych podjęty w ramach przygotowania pracy doktorskiej umożliwił ocenę wpływu programu obciążenia oraz składu granulometrycznego materiału gruntowego na udział czynnika filtracyjnego w przebiegu odkształcenia gruntu. Aspekt ten jest ściśle związany z tematem pracy i podstawowe obserwowane w tym zakresie zależności przedstawiono i skomentowano w rozdz. 7 i 8. Rozwinięcia wymagałaby ocena relacji pomiędzy parametrami szacowanymi na podstawie przebiegu odkształcenia oraz dystrybucji ciśnienia porowego. Pokazane wartości wskaźników są bardzo zmienne i niejednoznaczne. Temat ten wymaga korekty i pogłębienia między innymi na drodze planowanego przez Autora przyjmowania zindywidualizowanych zależności T-U, dostosowanych do odrębnych warunków pomiarów odkształcenia oraz ciśnienia porowego. W zakończeniu pracy korelacje między wynikami poszczególnych metod zostały czytelnie pokazane w formie odchyień od przerywanej linii przekątnej obrazującej hipotetyczną równość wartości uzyskiwanych różnymi metodami.

Podsumowanie

Prezentowana praca doktorska ma **charakter studialno-metodyczny**. Stąd efekty przeprowadzonych badań zaprezentowane zostały jako ilustracja tez metodycznych, nie zaś w formie usystematyzowanego raportu z realizacji programu badań laboratoryjnych. Potwierdzeniem studialnego charakteru pracy jest szeroko potraktowany przegląd literatury przedmiotu. Dokumentuje on wnikliwość i staranność Doktoranta w poszukiwaniu najistotniejszych źródeł metodycznych. Zaowocowało to odniesieniem prowadzonych analiz zarówno do ugruntowanych klasycznych jak i najnowszych standardów. Pomimo tak szerokiego tła literatury przedmiotu zrealizowany program analiz ma **wyraźnie zaznaczony Autorski i nowatorski charakter**. Umożliwia on nie tylko porównanie i waloryzację istniejących metod, lecz także prowadzi do **zapropionowania oryginalnych procedur analitycznych** odnoszących się do pełnego zapisu procesu konsolidacji, a nie tylko do wybranych, uznawanych za reprezentatywne punktów lub odcinków na krzywej konsolidacji

Narzędziem służącym do realizacji tych celów są powiązane, wielomodułowe arkusze **obliczeniowe zaprojektowane przez Doktoranta** w oparciu o zaawansowane funkcje i możliwości edycyjne programu Excell. Przy ich stosowaniu należy zalecać bieżące porównywanie uzyskiwanych wyników obliczeń z

rozbudowanym w arkuszach systemem wykresów, tak by nie dopuszczać do akceptowania wartości liczbowych nie zweryfikowanych analizą fizycznego sensu. Rozwinięciem proponowanych procedur jest możliwość ich reambulacji przy zmienionych warunkach początkowych, jak to przedstawiono w przypadku obliczeń $\log c_v$ dla $U_{\text{skorygowanego}}$.

Przy tak szerokim zakresie prezentowanego materiału nieuniknione są sformułowania i ujęcia dyskusyjne, usterki redakcyjne, a także niekiedy uproszczenia lub nieprecyzyjne oznaczenia symboli. Najistotniejsze merytorycznie i problemowo uwagi krytyczne zasygnalizowano wyżej przy omawianiu treści pracy, a listę pozostałych zauważonych usterek, wymagających ewentualnej korekty redakcyjnej w przygotowywaniu publikacji, przekażę Autorowi.

Wielowątkowość podjętej problematyki sugeruje różne kierunki kontynuacji podjętych analiz, co niekiedy zaznaczano w niniejszej ocenie. Możliwość ich realizacji wykraczała jednak poza przyjęte czasowe ramy przeznaczone na przygotowanie dysertacji doktorskiej. Jednocześnie rysujące się możliwości rozwijania wielu ścieżek analitycznych wskazują na podjęcie i **nakreślenie perspektywicznej przyszłościowo tematyki badawczej.**

Przedstawiona **dysertacja doktorska świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu. Autora do stawiania istotnych problemów badawczych, projektowania programów oraz kreatywnego prowadzenia analiz i poszukiwania rozwiązań.** Zgodnie z wymaganiami zawartymi w „Ustawie z dn. 14. III. 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) stwierdzam, że przedstawiona rozprawa **dokumentuje umiejętność prowadzenia badań naukowych oraz pogłębioną, szeroką wiedzę teoretyczną kandydata w zakresie mechaniki gruntów i geologii inżynierskiej.** Tezy pracy są dobrze powiązane z aktualnych trendami badań realizowanych na świecie, a proponowane **ujęcie metodyczne ma innowacyjny naukowo oraz aplikacyjny charakter.** Wnioskuje o dopuszczenie pana mgr inż. Bartłomieja Olka do dalszych etapów przewodu doktorskiego oraz publicznej obrony prezentowanych tez.

