



Poznań, 20 luty 2023r.

prof. dr hab. inż. Zbigniew Młynarek

em. prof. zw.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jakoba Machona

pt. *Wpływ roztworów wprowadzonych do gruntów niespoistych
na ich właściwości mechaniczne*

1. Podstawa opracowania recenzji

- Zlecenie prof. dr. hab. inż. Jacka Przepiórskiego Prorektora ds. Nauki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie z dnia 10 listopada 2022r.
- Ustawa z dnia 20 lipca 2018r. – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. poz.1669, art. 14 ust. 1 pkt.1, ust.2 ustawy z dnia 14.03.2003 o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

2.1 Aktualność i pozycja tematyki rozprawy w literaturze krajowej i zagranicznej

Badania nad ulepszeniem gruntu mineralnego licznymi spoiwami do celów drogowych prowadzone są od wielu lat. Fakt ten potwierdza dobry przegląd literatury, który znajduje się w niniejszej rozprawie. Inspiracją do podjęcia tego tematu, pomimo wspomnianej długoletniej historii tych badań było, jak uzasadnia Doktorant we wstępie rozprawy, że „na terenie Niemiec do budowy i rozbudowy sieci drogowej wykorzystuje się tereny budowlane, które nie spełniają wymaganych kryteriów gruntowo-mechanicznych” (str.13). Wprawdzie Doktorant eksponuje istotę problemu badawczego dla inwestycji drogowych w Niemczech, ale problem wzmacniania podłoża oraz realizację inwestycji drogowych w trudnych warunkach gruntowych należy uznać za problem ogólny. Niezwykły rozwój technologii budowy dróg może stanowić uzasadnienie, aby poszukiwać nowe spoiwo dla ulepszenia i wzmacniania podbudowy drogowej. Szkoda jedynie, że we wstępie Doktorant nie wyjaśnił dlaczego zdecydował się na wybór chlorku sodu NaCl, chlorku wapnia CaCl₂ i chlorku glinu AlCl₃. Uzasadnienie to jest konieczne w kontekście powszechnie stosowanym

ulepszeniem podłoża do celów drogowych, między innymi wapnem, cementem i spoiwami hydraulicznymi.

Atrakcyjność podjętego przez Doktoranta tematu badawczego stanowią dwa elementy;

- w ostatnim dwudziestoleciu znacznie zwiększył się potencjał badań laboratoryjnych, który lepiej pozwala rozeznąć procesy, które występują w strukturze modelu ziarno gruntu – warstwa podwójna, na skutek wprowadzenia do gruntu medium, szczególnie roztworu. Ten element analizy znajduje się w przygotowanej przez Doktoranta rozprawie
- problem badawczy rozważany w rozprawie można uznać za uniwersalny. W przypadku bowiem uzyskania negatywnych wyników odnośnie zwiększenia się sztywności i nośności oraz wytrzymałości warstwy podłoża ulepszonego zastosowanym roztworem chlorku, to tego typu informacja będzie bardzo istotna dla projektanta i inwestora. W takiej bowiem sytuacji rekomendacja tej techniki ulepszania podłoża będzie nieuzasadniona. Pozytywny wynik badań będzie natomiast stanowił inspirację dla dalszych badań oraz rozważenia możliwości wykorzystania proponowanej przez Doktoranta metody do ulepszeń podbudowy drogowej, względnie warstwy naturalnego podłoża. Tego typu decyzja powinna uwzględniać aspekt ekonomiczny tego przedsięwzięcia i ewentualne uwarunkowania z zakresu ochrony środowiska. Ten problem nie był w rozprawie analizowany.

W kontekście przedstawionego komentarza można stwierdzić, że podjęty przez Doktoranta temat dobrze lokuje się we współczesnych kierunkach badań z dziedziny drogownictwa, wykorzystując wsparcie z dziedziny geotechniki. Temat rozprawy tylko częściowo informuje o celowości i zakresie badań, bowiem pomija bardzo istotną część badań, która dotyczyła wpływu roztworu chlorków na właściwości fizyczne badanych gruntów niespoistych.

2.2 Struktura rozprawy i koncepcja opracowania redakcyjnego

Rozprawa doktorska została przygotowana w jednolitej strukturze, bez załączników na 126 stronach maszynopisu. Część tekstową uzupełniają; bibliografia; 75 pozycji, wykaz norm 28 pozycji, w tym jedna polska, spisy rysunków, wykresów i tabel. Zgodnie z wymogami ustawy z dnia 20 lipca 2018r. – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. poz.1669, art. 14 ust. 1 pkt.1, ust.2 ustawy z dnia 14.03.2003 o stopniach i tytule naukowym rozprawę poprzedza streszczenie w języku angielskim. Ocenę struktury rozprawy można skomentować stwierdzeniem, że jest dobrze zorganizowana. Trzy główne działy rozprawy stanowią; pierwszy to badania w warunkach in-situ, w których wykonano pomiary odkształcalności uformowanej warstwy nasypu - płytą sztywną. Drugi dział stanowi szeroki program badań laboratoryjnych. Do tych badań wykorzystano grunty różnego pochodzenia i uziarnienia. W warunkach in-situ nasyp był formowany z piasku drobnego z dna zbiornika wodnego w miejscowości Moorburg (rys.5.1) Natomiast w programie badań laboratoryjnych wykorzystano piasek drobny z zatoki Jadebusen (rys.6.1). Mało

czytelna jest informacja o tym, że zastosowano różne grunty w badaniu terenowym i laboratoryjnym (str.6). W streszczeniu nie akcentuje się faktu, że badania płytą sztywną nie wykonano na nasypie przygotowanym z piasku drobnego z miejscowości Jadebusen.

Badania laboratoryjne, które są drugim działem w rozprawie wykonał Doktorant w Laboratorium Mechaniki Gruntów, Fundamentowania Robót Ziemnych Uniwersytetu Jade w Oldenburgu oraz w Instytucie Gospodarki Wodnej w Brunshwiku. Do badań laboratoryjnych Doktorant przygotował dwa odrębne programy. Jeden dotyczył gruntów z Moorburga, drugi z zatoki Jadebusen. Decyzja wykonania badań laboratoryjnych z zastosowaniem dwóch gruntów została uzasadniona tym, że piasek drobny z Moorburga zawierał nieznaczne ilości frakcji iłowej i pyłowej. Kvarcowe piaski drobne charakteryzują się małą powierzchnią właściwą, stąd procesy w strukturze modelu cząstka gruntu - warstwa podwójna mogły być niejednoznacznie rejestrowane, po wprowadzeniu do gruntu roztworu chlorków. Wydaje się, że z tego powodu Doktorant wykonał drugi pakiet badań laboratoryjnych dla gruntu z Jadebusen, który zawierał 10,5% frakcji pyłowej i 0,6% frakcji iłowej. W ramach badań laboratoryjnych gruntu z Moorburga wykonano oznaczenia uziarnienia piasków, dyfrakcję rentgenowską, straty prażenia, zawartości węglanu wapnia i wskaźnika pH gruntu. Program badań dla gruntu z Jadebusen, oprócz wyżej wymienionych oznaczeń, uzupełniono o wyniki badania wilgotności optymalnej metodą normalną Proctora oraz przy zmiennej energii zagęszczania, badanie wskaźnika wodoprzepuszczalności, badanie edometryczne i badanie wytrzymałości na ścinanie w aparacie bezpośredniego ścinania. Do badań przygotowano próbki zawilgocone wodą destylowaną oraz chlorkami sodu, wapnia i glinu o różnym stężeniu. Wyniki badań próbek z wodą destylowaną stanowiły badanie referencyjne. Ten pakiet badań gruntów uzupełniono pomiarem potencjału elektrokinetycznego zeta. Program badań laboratoryjnych, jak wcześniej wspomniano, należy ocenić jako bardzo wszechstronny do rozstrzygnięcia celu rozprawy.

Trzeci dział rozprawy stanowi analiza stateczności nasypu drogowego z obciążonym naziemem. Założeniem do obliczeń stateczności skarpy nasypu było, że nasyp będzie zbudowany z piasku drobnego, którego parametry wytrzymałościowe zostały wyznaczone w badaniu laboratoryjnym. Alternatywą dla tych obliczeń stanowiło wybudowanie nasypu z tego samego gruntu, ulepszonego trzema roztworami chlorków. Parametry wytrzymałościowe tego materiału wyznaczono także w badaniu laboratoryjnym.

Każdy z wymienionych głównych rozdziałów rozprawy jest podsumowany własnym komentarzem. Jest to wartościowy element rozprawy. Działy główne rozprawy poprzedzone są wstępem, który zawiera istotne elementy, które pozwoliły Doktorantowi sformułować tezę i cel rozprawy. Tym znaczącym elementem w tej części rozprawy jest przegląd literatury. W przeglądzie literatury, który jak wcześniej wspomniano, zawiera 75 pozycji bibliograficznych, omówiono rozwój historyczny

zagadnienia ulepszania i stabilizacji podbudów drogowych i podłoża, a także kwestie metodyczne związane z technologią tych robót.

W celu rozprawy Doktorant eksponuje tytuł rozprawy, a mianowicie celem jest „wykazanie że dodatek roztworów chlorków do gruntu wpływa na zmianę jego parametrów mechanicznych”. W dalszej części do celu badań włączono parametry fizyczne gruntu, którymi są gęstość gruntu i wodoprzepuszczalność (wskaźnik wodoprzepuszczalności). Za ważne stwierdzenie celu badań Doktorant uznał zastosowanie wyników badań do projektowania skarp. Wsparciem dla sformułowanego celu badań jest zdefiniowanie tezy rozprawy doktorskiej, którą jest „możliwość zmiany właściwości mechanicznych gruntów niespoistych dla celów projektowych, poprzez wprowadzenie do szkieletu gruntu odpowiednich roztworów, które powlekając powierzchnię zewnętrzną ziaren wywołują efekty adhezyjne i elektrostatyczne”. W przeglądzie literatury Doktorat wykazał, że teza ta została już udowodniona, stąd zamiast sformułowania odpowiednich roztworów, należałoby wprowadzić roztwory, które są nowym elementem w ulepszaniu właściwości gruntów, a mianowicie roztworów chlorku sodu, wapnia i glinu. Działem, który zamyka rozprawę są wnioski końcowe i program dalszych badań. Wnioski zostały sformułowane w formie opisowej, stąd w pozycjach 8.1 Dyskusja uzyskanych wyników i 8.2 Podsumowanie i wnioski końcowe jest wiele powtórzeń. Wydaje się za celowe przeredagowanie tych działów do jednej pozycji.

Na krytyczną ocenę części redakcyjnej rozprawy mają wpływ sformułowania stylistyczne i duża liczba braków interpunkcji. Korzystne byłoby uporządkowanie stosowanej terminologii, dotyczącej podstawowych pojęć, stosowanych w Mechanice Gruntów. Parametr z hipotezy Coulomba-Mohra nazywany jest: spójnością, kohezją, kohesją, efektywną spoistością gruntu (str.92) Parametr ten jest jednoznacznie definiowany jako spójność, która może być wyrażona w naprężeniach całkowitych lub efektywnych. Doktorant wprowadził pojęcie „gęstości Proctora”. W badaniu według przyjętej jednej z metod Proctora, wyznacza się zależność pomiędzy gęstością lub ciężarem objętościowym szkieletu gruntowego i wilgotnością. Stosowana terminologia dotycząca geotechniki jest w Polsce od wielu lat uporządkowana i jest zdefiniowana, także w podręcznikach akademickich np. Z. Wiłun Zarys Geotechniki, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, polskie normy oraz normy ISO-14688 a także w Wykazie symboli, jednostek i definicji proponowanych do stosowania przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Mechaniki Gruntów i Fundamentowania – (T. Baranski, W Wolski, NOT 1979). Uporządkowania wymaga także stosowanie różnych jednostek przyporządkowanych parametrom fizycznym i wytrzymałościowym np. gęstość wyrażona jest w g/cm^3 (str. 124) Mg/m^3 (str. 82) naprężenia w N/cm^2 , kPa, MPa, KN/m^2 , barach. Znacznym utrudnieniem w studiowaniu pracy jest odniesienie metodyki badań i nomenklatury do norm stosowanych w Niemczech. Należy liczyć się z tym, że pracą zainteresowani będą polscy geotechnicy i drogowcy, stąd rozprawa powinna być uzupełniona rozdziałem, który komentowałby zgodność lub rozbieżność

polskich norm i niemieckich w kontekście wspomnianej metodyki badań i nazewnictwa.

Sformułowane krytyczne uwagi odnośnie strony redakcyjnej rozprawy nie mają wpływu na ocenę struktury i zakresu badań, które należy uznać za przejrzyste i dobrze dokumentują uzyskane wyniki badań.

3. Ogólna ocena i osiągnięcia rozprawy

Ocenę rozprawy należy poprzedzić stwierdzeniem o dobrej koncepcji interpretacyjnej wyników badań laboratoryjnych i terenowych. Badaniem referencyjnym dla tych badań były bowiem próbki przygotowane w laboratorium o wilgotności zbliżonej do optymalnej i stałej dla tej wilgotności gęstości objętościowej szkieletu gruntowego. W badaniu terenowym referencyjnym polem testowym było pole zwilgocone wodą bez dodatków. Taka koncepcja interpretacyjna pozwoliła Doktorantowi dokonać jakościowego i ilościowego wpływu zastosowanych w badaniach chlorków na zmianę parametrów fizycznych, wytrzymałościowych i odkształceniowych badanych piasków. Koncepcja ta stanowi także, w pewnym sensie, odniesienie do rutynowego sposobu zagęszczania gruntów mineralnych w konstruowaniu budowli ziemnej.

Ogólna ocenę rozprawy i jej osiągnięcia można przyporządkować do kilku grup, a mianowicie: bibliograficznej, poznawczej, metodycznej i aplikacyjnej. Osiągnięcia bibliograficzne, jak wspomniano w pkt. 2 recenzji, stanowią znaczącą pozycję rozprawy, ze względu na obszerne i kompleksowe omówienie procesów w modelu struktury gruntów niespoistych i częściowo niespoistych oraz wymiany między fazą stałą i ciekłą. Szczególną pozycję w przeglądzie literatury zajmuje omówienie i scharakteryzowanie dodatków do ulepszania gruntów, które Doktorant zdefiniował jako tradycyjne i niestandardowe. Wysoką ocenę pozycji bibliograficznej obniża brak literatury, która dokumentuje bardzo liczne i znaczące osiągnięcia w tej tematyce polskich badaczy.

Za osiągnięcia poznawcze rozprawy można uznać:

- Wykazanie zróżnicowanego wpływu roztworów poszczególnych chlorków na wskaźnik wodoprzepuszczalności zastosowanych w badaniach gruntów i przebieg procesu zagęszczenia w badaniu normalnym Proctora oraz przy różnej energii zagęszczania. Ten efekt udokumentowano w skali jakościowej i ilościowej. W ważnym, ogólnym sformułowaniu Doktorant stwierdził, że najniższą wartość współczynnika filtracji uzyskuje się przy filtracji wodą destylowaną próbek o optymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego. Najwyższe wartości współczynnika filtracji udokumentował Doktorant przy filtracji roztworem $AlCl_3$. Wykazane różnice w wartościach parametrów, które definiują wodoprzepuszczalność lub gęstość objętościową szkieletu gruntowego w badaniu Proctora mieściły się w przedziale od 2% do kilkunastu procent, stąd wobec braku analizy statystycznej trudno ocenić czy dla celów praktycznych są one istotne.

- Za istotny rezultat badań, który ma także wymiar aplikacyjny należy uznać wykazanie, że wprowadzone do ośrodka gruntowego roztwory chlorków powodują jednoznaczne obniżenie wartości kąta tarcia wewnętrznego i modułów ścisłości. Fakt ten potwierdza wykonanie badań w laboratorium i w terenie. Poziom tych zmian sięga kilkudziesięciu procent. Potwierdzenie tego wyniku uzyskano w badaniu płytą sztywną w warunkach in-situ. Badanie płytą sztywną i w edometrze realizuje się w trójosiowym stanie naprężenia, lecz w różnych stanach odkształcenia – trójosiowym i jednoosiowym. Udokumentowanie w obydwu badaniach, że najwyższe wartości modułów ścisłości uzyskuje się dla zagęszczenia warstwy przy wilgotności optymalnej z wodą bez dodatku w postaci chlorków, ma istotne znaczenie praktyczne.
- Wykazanie przydatności badania pomiaru potencjału zeta do oceny sił pomiędzy ziarnami gruntu, po wprowadzeniu do struktury gruntu roztworów chlorków. Można zgodzić się ze stwierdzeniem Doktoranta, sformułowanym na str. 124, że pomimo przeprowadzonych badań „dla wyjaśnienia wpływu zastosowanych chlorków na zmiany zagęszczenia i edometrycznego modułu ścisłości i także należy dodać - parametrów wytrzymałości na ścinanie, nadal nie ma jednoznacznej odpowiedzi na przyczynę tego zjawiska”.

Osiągnięcia metodyczne stanowią na ogół istotny charakter rozprawy. Do badań terenowych i laboratoryjnych wykorzystał Doktorant istniejącą i standardową aparaturę, którą stosuje się w ośrodkach naukowych. Takiego typu aparaturę gwarantowały jednostki badawcze w Niemczech, które wymieniono w pkt. 2 recenzji. Staranność opisu przygotowywania próbek do badań i przebiegu poszczególnych doświadczeń może być z pewnością wykorzystana przez badaczy, którzy będą zajmowali się tą tematyką.

Osiągnięcie aplikacyjne są zawsze oczekiwanym elementem rozprawy doktorskiej. Do tych osiągnięć rozprawy należy zaliczyć;

- obszerny komplet wyników badań właściwości fizycznych badanych gruntów z Moorburga i Jadebusen. Wyniki te mają bardzo istotną wartość dokumentacyjną i będą mogły być wykorzystane w innych badaniach laboratoryjnych oraz w przygotowaniu dokumentacji geotechnicznych.
- osiągnięciem analizowanego problemu stateczności i projektowania skarp jest jedynie to, że Doktorant potwierdził powszechnie uznaną zasadę - im korzystniejsze parametry wytrzymałości na ścinanie gruntu wbudowanego w nasyp (piasek drobny bez ulepszania chlorkami) tym korzystniejsze wartości współczynnika stateczności skarpy nasypu o ustalonej geometrii. Doktorant udokumentował ten fakt pojęciem „rezerwa do awarii”, która w przypadku budowy nasypu z piasku bez ulepszania chlorkami wynosi 47%, z ulepszeniem roztworem NaCl - 42%, roztworem CaCl₂ - 39%, AlCl₃ - 38%. Szczegółowe uwagi związane z rozważaniami przeprowadzonymi w tym rozdziale zamieszczono w pkt. 4 recenzji.

Osiągnięcia rozprawy pozwalają sformułować opinię, że rozprawa znacznie wzbogaca literaturę odnośnie wykorzystania roztworów wybranych chlorków soli do ulepszania gruntów mineralnych.

4. Uwagi szczegółowe

Ze względu na szeroki zakres tematyki związanej z celem rozprawy, niektóre kwestie związane ze stosowaną terminologią, definicje pojęć, a także koncepcja interpretacyjna wyników badań wymaga wyjaśnień.

Uwagi szczegółowe przedstawiam w odniesieniu do kolejnych rozdziałów rozprawy.

- **Streszczenie:**

Intencją streszczenia, które poprzedza działy główne rozprawy było uzasadnienie celu podjęcia badań. Ze względu na istotne znaczenie takiego wprowadzenia do rozprawy, informacje w nim zawarte powinny być kompletne i zrozumiałe dla czytelnika. Na str. 6 w 20d podano, że badany grunt jest “piaskiem drobnym z częściami średnio piaszczystymi, pylastymi i gliniastymi” Należy wyjaśnić nazewnictwo tego gruntu w kontekście obowiązujących norm w Polsce.

- **Rozdział 1. Wstęp**

W tym rozdziale, jak wspomniano w pkt. 2 recenzji Doktorant eksponuje problem konieczności uzdatniania gruntu pod budowę dróg w Niemczech. Wydaje się, że korzystnym byłoby uzupełnienie tego rozdziału przykładami badań na ten temat w Polsce, np. Prace: Sękowski J., Siódmiok A. Parametry wytrzymałościowo-odkształceniowe gruntów spoistych ulepszonych technologią katalityczno-fizyczną Magazyn Autostrady nr 12/2012; Siódmiok A., Sękowski J. The effectiveness of forest road strengthening with catalytic-physical technology. XV Danube – European Conference on Geotechnical Engineering, Wien 2012.

- **Rozdział 2. Cel i zakres rozprawy**

W celu rozprawy Doktorant potwierdza sformułowania ze wstępu. Zaakcentowany został element zastosowania wyników badań do projektowania skarp. Cel ten nie został udokumentowany wnioskami końcowymi w odróżnieniu od jednoznacznie wykazanego wpływu wprowadzenia medium w postaci roztworów chlorków do piasku na jego parametry fizyczne i mechaniczne. Cel badań jest uzupełniony sformułowaniem w rozdz. 4 Metody badań i program badań „Celem pracy jest sprawdzenie czy w warunkach równoziarnistych gruntów niespoistych, w szczególności piasków plażowych i morskich metoda dodawania roztworów może być skuteczna i prowadzi do lepszego zmniejszenia porowatości w porównaniu do zastosowania wody”.

- **Rozdział 2.3 Zakres rozprawy doktorskiej**

str. 16 w.4d - definicja „jednoziarnistych gruntów niespoistych” wymaga wyjaśnienia w kontekście badanych gruntów z obydwu miejscowości.

- Rozdział 3 Przegląd literatury

str. 17 w. 4g Co należy rozumieć pod pojęciem „grunty spoiste, głównie ilowe i pyłowe o dużej plastyczności”?

Przegląd literatury, jak zaakcentowano w pkt. 2 recenzji, jest bardzo wartościowym elementem rozprawy, informuje bowiem o pracach związanych z tematyką rozprawy. Zwraca jedynie uwagę słabe zaakcentowanie wpływu genezy na kształt i szorstkość ziaren oraz skład mineralogiczny gruntów. Czynniki te mają znaczący wpływ na parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe gruntu. Fakt ten jest dokumentowany i uwzględniany powszechnie w ocenie tych parametrów w warunkach in-situ np. Lunne T., Robertson P., Powell J. (1997) Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. ESPN London

str. 22 w. 4d „w przypadku gruntów spoistych, cienkie płatki, jakie znajdują się w glinach” Co oznacza pojęcie cienkie płatki?

str. 23 w. 2g co oznacza definicja „piasek drobny o słabo spoistych składnikach”

str. 23 w. 4g “udział iłu w laboratorium to 10,5%, udział iłu w gruncie w badaniach laboratoryjnych wynosi 0,6%”. Jaka była ostateczna zawartość frakcji ilowej w badanych próbkach?

- Rozdział 3.7 Rys historyczny zastosowania soli do stabilizacji gruntu

str. 35 w. 13d wyjaśnienia wymaga stwierdzenie „grunty traktowane chlorkiem wapnia mają wyższe wartości przepuszczalności...”

- Rozdział 4.0 Metody badań i program badań

str. 39 w. 12g sformułowanie „różnice to wyższa gęstość, niższy edometryczny moduł ściśliwości, mniejszy kąt tarcia” zdanie to przeczy podstawowym zależnościom pomiędzy modułem ściśliwości lub kątem tarcia wewnętrznego i gęstością (wskaźnikiem porowatości) gruntu niespoistego.

- Rozdział 5.1.1 Klasyfikacja badanego gruntu z Moorburga

Rozdział ten zawiera szczegółowe i ważne informacje odnośnie lokalizacji miejsca badania terenowego oraz właściwości piasku drobnego z którego formowano pola testowe oraz metodykę przygotowania próbek roztworów. Korzystne byłyby dla oceny właściwości piasku podać jego nazwę zgodnie z cytowaną normą ISO 14688-1 i załącznikiem krajowym (polskim), w kontekście podanego przez Doktoranta nazewnictwa „obecny w gruncie piasek to piasek drobnoziarnisty, bardzo średni, lekko pyłowy” (str.44)

- Rozdział 5.2 Badania w naturze płytą statyczną

Wartość i istotne znaczenie badań terenowych w rozprawie skomentowano w rozdziale 3 rozprawy. Podsumowanie uzyskanych wyników z badania płyta sztywną tj. modułów odkształcenia zawiera tab. 5.3 Ze względu na uzyskane wartości modułu ściśliwości z poletek formowanych z piasku z wodą i roztworami,

szczegółowego wyjaśnienia i uzasadnienia wymaga uzyskanie zróżnicowanych wartości liczbowych tych modułów.

Moduły odkształcenia są funkcyjnie związane ze stopniem zagęszczenia (wskaźnikiem porowatości) gruntu niespoistego. Na jakość wyznaczonych modułów w badaniu terenowym płytą sztywną zasadniczy wpływ ma jednorodność, w kontekście efektywnego ciężaru objętościowego i porowatości, uformowanej z piasku drobnego warstwy nasypu. Ogólnie akceptowaną zasadą dla uzyskania jednorodnego zagęszczenia warstwy nasypu jest ustalenie jej grubości w zależności od przyjętego sprzętu do zagęszczenia i liczby przejazdów (K. Czyżewski, W. Wolski, S. Wójcicki, A. Żbikowski. Zapory Ziemne, Arkady 1973). Do zagęszczenia uformowanej warstwy nasypu Doktorant zastosował walec statyczny, jednobębnowy. Liczba przejazdów walcem statycznym dla uzyskania jednorodnego zagęszczenia warstwy o grubości 30 cm powinna wynosić 4-5. W kontekście tej zasady Doktorant ocenił zagęszczenie następująco str. 53 w.9d: „podczas jednego procesu zagęszczania grunt na polach doświadczalnych nie był dokładnie zagęszczony”. Dla kontroli jednorodności zagęszczenia pobrano próbki gruntów (str. 48), nie podano jednak jakiej jakości były to próbki, ich liczbę i lokalizację na poszczególnych poletkach. Za ważną informację dla oceny istotności różnic pomiędzy modułem odkształcenia (tab. 5.3) byłoby obliczenie średniej wartości ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego lub porowatości wraz z półprzedziałami ufności na poszczególnych polach testowych. Nie zbadano także, czy wartości średnie ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego różniły się statystycznie istotnie na przyjętym poziomie istotności np. $\alpha = 0,05$ W związku z tym trudno ocenić, czy pomiary płytą sztywną wykonano w identycznych lub zbliżonych warunkach wyjściowych na poszczególnych poletkach (Z. Młynarek, Quality of in-situ and laboratory tests contribution to risk management, Proc. 14th Danube European Conference on Geotechnical Engineering, Bratislava, 2010, Lee J.K, Soil Mechanics – New Horizons, Chapter 33, Lumb P., Application of Statistics in Soil Mechanics, Newpesi-Balterworth, London, 1974).

- Rozdział 6 Pomiary laboratoryjne parametrów gruntowych.

Prezentowane w tym rozdziale wyniki badań dotyczą gruntu z miejscowości Jadebusen. Celowe byłoby uzupełnić nazwę tego gruntu: „piasek drobnoziarnisty, piasek bardzo średni, lekko mulisty” nazwą z normy PN-EN ISO 14688 (Załącznik krajowy NA)

str. 54 w.13, 14 zdanie „Badania znane w geotechnice mogą pokazać, w jakim stopniu dodatek środków powierzchniowo-czynnych wpływa na badane parametry w każdym przypadku. Jednak nie stanowią one bezpośredniej przyczyny zachodzących zmian” jest niezrozumiałe

str. 54 w.9d Zdanie: „proporcje $< 0,063\text{mm}$ zapewniają większą powierzchnię właściwą”. Należy wyjaśnić jakie to są proporcje i w stosunku do czego? Jest to ważna sentencja, bowiem definiuje wielkość powierzchni właściwej ziarna i jest wykorzystywana w interpretacji wyników.

- Rozdział 6.3 Badanie zagęszczenia materiału gruntowego w aparacie Proctora

W rozdziale tym Doktorant wprowadza, jak podkreślono w rozdziale 3 recenzji, dwa pojęcia dla badania według metody Proctora, a mianowicie gęstość Proctora str. 63 i na wielu innych stronach oraz poprawnej terminologii „gęstość objętościowa szkieletu gruntowego i wilgotności optymalnej z testu Proctora”. Niezrozumiałe jest także wprowadzenie na wykresach (np. rys. 64) nazewnictwa „gęstość próbki suchej oś Y, oraz zawartości wody w postaci bezwymiarowej. Wskazane byłoby, aby w rozprawie stosowano wszędzie jedną, poprawną definicję. str. 69 w.19 - co oznacza pojęcie „gęstość ziarna”?

- Rozdział 6.3.4 Wyniki testu zagęszczenia w aparacie Proctora przy wilgotności optymalnej

Rozdział ten należy uznać za bardzo wartościowy, bowiem może stanowić inspirację do sformułowania praktycznych wniosków do budowania nasypów z piasku z dodatkiem i bez dodatku roztworów chlorków NaCl, CaCl₂, AlCl₃. Bardzo dobrze uzyskane wyniki przedstawia rys. 6.5 Z tego rysunku wynika, że gęstość objętościowa szkieletu gruntowego dla próbek z wodą destylowaną wynosi 1.67g/cm³, natomiast dodatki chlorków zwiększają ją nieznacznie, maksymalnie do 1,694g/cm³ (chlorek AlCl₃). Celowe byłoby, aby Doktorant skomentował uzyskane wyniki w kontekście wykorzystania ich dla celów projektowych.

- Rozdział 6.4 Zagęszczanie w aparacie Proctora przy zmiennej energii zagęszczania

Wyniki badań są w tym rozdziale dobrze udokumentowane na rys. 6.7, 6.8, 6.9, 6.10. Wyniki te stanowią uzupełnienie badań z rozdziału 6.3 tym bardziej, że sformułowane wnioski potwierdzają wnioski z rozdziału 6.3. Na str. 76 w. 8g należy podać liczbę replikacji, jeśli do konstrukcji zależności pomiędzy gęstością objętościową szkieletu gruntowego i energią zagęszczania wykorzystana została wartość średnia gęstości objętościowej szkieletu gruntowego.

Ilościowo wpływ zmiany energii zagęszczania na gęstość objętościową szkieletu gruntowego próbek nawilżanych wodą destylowaną do wilgotności optymalnej i roztworami chlorków dobrze ilustruje rys. 6.9. Zwracają uwagę dwa elementy tej zależności, a mianowicie: rodzaj funkcji, która opisuje te zmiany dla każdego typu próbek jest identyczny. Jest to funkcja logarytmiczna. Drugim elementem jest to, że zmiany energii zagęszczania powodują nieznaczne zwiększenie wartości gęstości objętościowej szkieletu gruntowego, która nie przekracza kilku procent.

- Rozdział 6.5 Badania edometryczne materiału gruntowego.

Wyniki istotnych dla celu rozprawy badań edometrycznych zostały poprzedzone szczegółowym opisem techniki wykonania poszczególnych doświadczeń. Referencyjnym badaniem dla próbek przygotowanych z poszczególnymi roztworami chlorków było badanie z próbką przygotowaną w badaniu Proctora, przy wilgotności optymalnej. Ten element, jak wyjaśniono w rozdziale 3 recenzji

jest korzystny dla interpretacji wyników. Opis badania zawiera kilka nieścisłości, a mianowicie;

str. 78 w. 10d „okrągła próbka jest badana jednoosiowo pionowo, w kierunku poziomym zmiany kształtu są pomijane” Odkształcenia próbki w kierunku poziomym nie są pomijane, lecz nie występują. Ten stan odkształcenia potwierdza Doktorant na str. 82 w. 12d.

str. 82 w. 10d „edometryczny moduł ściśliwości jest modułem w przypadku osłabienia rozszerzalności bocznej, odpowiada to w przybliżeniu warunkom występującym w naturalnym podłożu, gdzie odkształcenie boczne pod wpływem obciążenia pionowego są również znacznie utrudnione” . Sentencja tych zdań jest niezrozumiała. Stan odkształcenia w podłożu zależy od stanu naprężenia.

Uzyskane wyniki badań dobrze ilustrują rys. 6.13, 6.14. Bardzo istotnym wnioskiem z badań edometrycznych jest wykazanie, że najwyższe wartości modułów edometrycznych na poziomie poszczególnych obciążeń uzyskano dla próbek z wodą destylowaną. Wprowadzenie do próbek roztworów chlorku soli powoduje obniżenie wartości liczbowych modułów nawet do 30%. Sukcesem tego badania, jak podkreślono kilkakrotnie w recenzji, jest potwierdzenie wyników badań terenowych z płytą sztywną.

- Rozdział 6.6 Badanie wytrzymałości na ścinanie materiału gruntowego

Opis przygotowania próbek do badań w aparacie bezpośredniego ścinania i sposobu wykonania badań poprzedzono wstępem. Niezrozumiałe są sformułowania, które opisują proces badania, a mianowicie: „Aby określić wytrzymałość na ścinanie do próbki w laboratorium przykłada się naprężenie ścinające aż do jej deformowania. Na opór próbki gruntu na powierzchni ślizgającej się lub łamiącej składa się siła tarcia i kohezja” (str.87 r.4g) Za ważne podejście metodyczne do badań należy uznać to, że podobnie jak w badaniach edometrycznych, wykonano badania referencyjne z próbkami bez roztworu chlorków, które zagęszczono przy wilgotności optymalnej.

Do interpretacji wyników badań Doktorant wykorzystał hipotezę Coulomba-Mohra (wzór 15 str. 92) Definicja parametru „c” w tej hipotezie została zapisana jako „efektywna spoistość gruntu” jest błędna. Do oceny spoistości gruntu wykorzystuje się wskaźnik plastyczności. Podstawą obliczenia wskaźnika plastyczności i klasyfikacji gruntów ze względu na spoistość są granice Atterberga, a nie badanie wytrzymałości na ścinanie. Pojęcie kohezji, które Doktorant również wykorzystuje do definicji parametru „c” jest dobrze wyjaśnione w wielu publikacjach między innymi E. Paszyc-Stępkowska, Próba fizyko-chemicznej interpretacji procesu ścinania gruntów łąkowych, Archiwum Hydrotechniki t.XIII z.3-4, 1966

str. 93 w 8d Należy wyjaśnić dla jakiej zmiennej losowej obliczono odchylenie standardowe. Jaka była liczba replikacji do obliczenia odchylenia standardowego? Tab od 6.15 do 6.18 dobrze dokumentują, że najwyższe wartości kąta tarcia wewnętrznego uzyskano dla próbek przygotowanych z wodą destylowaną. Doktorant wykazał, że wprowadzenie roztworów o różnym stężeniu do próbek

gruntu powoduje obniżenie wartości kąta tarcia wewnętrznego. Zmiany kąta tarcia nie przekraczają kilku procent, stąd Doktorant ocenił, że „nie ma to praktycznego znaczenia” (str. 98 w. 5d). Wydaje się jednak, że wykazana tendencja zmian parametrów wytrzymałościowych na ścinanie po wprowadzeniu roztworów do próbek stanowi istotny element poznawczy. W przypadku bowiem piasków zmiana procesu zagęszczenia nie powoduje zmiany ich makrostruktury, w odróżnieniu od wpływu tego procesu na parametry wytrzymałości na ścinanie w gruntach spoistych (Z. Młynarek, Parametry ścinania gliny piaszczystej zagęszczanej statycznie i dynamicznie. II Konferencja Naukowa Wydziału Budownictwa Lądowego, 1973). Wykazane zmiany kąta tarcia wewnętrznego są więc spowodowane między innymi efektem, który Doktorant nazwał „efektem smarowania”.

- Rozdział 6.7 Badania wodoprzepuszczalności materiału gruntowego.

Ważną kwestią metodyczną w tych starannie przeprowadzonych badaniach było to, że „wszystkie próbki przygotowano jednakowo, miały gęstość $1,658(\text{g}/\text{cm}^3)$ i zawartość wody $14,5(\%)$. W ten sposób wyeliminowano podstawową zmienną, która ma wpływ na wartość współczynnika filtracji tj. wskaźnik porowatości. Wyniki badań przedstawione na rys.6.21 i w tab. 6.20 pozwoliły sformułować wniosek, że „wpływ ten został stwierdzony, lecz wnioski mogą być tylko wnioskami jakościowymi”. Szkoda, że Doktorant wyników swoich badań nie skomentował w kontekście wyników z pracy Z. Zięba, Wpływ kształtu cząsteczek drobnoziarnistych gruntów niespoistych na ich wodoprzepuszczalność. Rozprawa doktorska, Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach, 2003.

- Rozdział 6.8 Pomiary potencjału elektrokinetycznego zeta.

Cel oryginalnych badań, które udokumentowano w tym rozdziale, sformułował Doktorant na str. 105 pisząc, że „badania potencjału elektrokinetycznego zeta mają wyjaśnić przyczyny zmian parametrów geotechnicznych gruntów przez wprowadzenie roztworów o różnym stężeniu do gruntu”.

Rozdział ten zawiera staranny opis przygotowania próbek do badań i przebiegu doświadczenia. Badania pozwoliły sformułować wniosek końcowy, że wzrost stężenia roztworów zmniejsza potencjał elektryczny zeta.

- Rozdział 7 Wpływ dodatków soli na projektowanie skarp

Analizę stateczności skarpy przeprowadził Doktorant na przykładzie nasypu drogowego z obciążonym naziemem i ustalonej geometrii (rys. 7.2 i inne). Wysokość nasypu wynosiła $8,0\text{m}$, pochylenie skarp $1,2$. Nasyp wspiera się na podłożu, które stanowią warstwy pyłu i iłu. Parametry wytrzymałościowe tych osadów przyjął Doktorant jako wartości przykładowe. Analizę przeprowadzono dla czterech modeli obliczeniowych, a mianowicie; nasyp zbudowany z piasku drobnego zagęszczonego przy wilgotności optymalnej bez dodatku roztworów i nasyp z piasku drobnego z roztworami NaCl , CaCl_2 , AlCl_3 . Parametry wytrzymałościowe piasku drobnego z roztworami zostały przyjęte z wykonanych badań w aparacie bezpośredniego ścinania. Do obliczeń stateczności wykorzystał

Doktorant program Plaxis 20, w którym zastosowano metodę Krey-Bishopa Przeprowadzone obliczenia wymagają kilku wyjaśnień, a mianowicie;

str. 113 w. 6d - uzasadnienia wymaga ewentualne wykorzystanie do obliczeń pionowej składowej obciążenia od warstwy pyłu i łu oraz prawdopodobnie piasku w nasypie - ciężaru właściwego. Zarówno piasek w nasypie nawilżony wodą oraz łu i pył w podłożu reprezentują ustroje trójfazowe (A. Kezdi, Handbuch der Bodenmechanik, Akademia Kiado, 1969) Przyjęcie ciężaru właściwego zamiast objętościowego do obliczeń jest nieuzasadnione (K. Czyżewski i inni, Zapory ziemne, Arkady, 1973)

str. 113 w.5d i 6d oraz rys.7.2, 7.3, 7.4, 7.5 – jednostki ciężaru właściwego kN/m^2 są błędne

str. 114 w.6g wymaga uzasadnienia, dlaczego przyjęto, że „punkt bazowy koła poślizgu jest stałe z początkiem pochylenia skarpy”. Czy pokazane na rys.7.2, 7.3, 7.4, 7.5 koła poślizgu reprezentują powierzchnię poślizgu o niekorzystniejszym współczynniku pewności (stateczności). Należałoby podać jaką metodę wykorzystano w programie obliczeniowym do wyznaczenia położenia i promienia koła poślizgu (np. K. Czyżewski i inni, Zapory ziemne, rozdział 7,3.6, Arkady, 1973)

Do oceny stateczności skarpy Doktorant wykorzystał współczynnik E_d/R_d . Brak jest wyjaśnienia tych indeksów, poza zapisem promienia koła poślizgu indeksem za pomocą R. Za pomocą współczynnika E_d/R_d Doktorant wyznaczył tzw. rezerwę do awarii str. 117 i inne. Współczynnik ten został także nazywany „stopniem wykorzystania” (str. 119)

str. 120 w.5g zdanie „jeśli chlorki dostaną się do gruntu w fazie użytkowania, może nastąpić dalsze osadzanie, natomiast jeśli zostaną one wprowadzone przed zagęszczeniem, można spodziewać się lepszego zagęszczenia gruntu”. Wydaje się, że ta sentencja nie dotyczy przeprowadzonych obliczeń stateczności.

Ewentualna rekomendacja Doktoranta dotycząca budowy nasypu drogowego z gruntu ulepszanego roztworami chlorków, powinna uwzględniać eksploatację nasypu w warunkach naturalnych. Badania A. Siódmiok (Modelowe badanie sztywności gruntu spoistego, stabilizowanego techniką katalityczno-fizyczną. Wprowadzenie do wybranych zagadnień z inżynierii lądowej, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2017) wykazały, że symulowane, długotrwałe opady atmosferyczne w warunkach laboratoryjnych powodują niekorzystne zmiany modułów ścisłości i parametrów wytrzymałościowych stabilizowanego gruntu. Potencjalny wpływ skarpy nasypu może stanowić ponadto istotny problem ekologiczny.

- Rozdział 8 Wnioski i program dalszych badań.

Rozdział ten składa się z dwóch podrozdziałów, a mianowicie 8.1 Dyskusja uzyskanych wyników i 8.2 Podsumowanie i wnioski końcowe. Rozdziały te w formie opisowej podsumowują wnioski częściowe z poszczególnych badań. Za istotne do celów praktycznych należy uznać stwierdzenie, że „najwyższy

edometryczny moduł ściśliwości uzyskany jest dla próbek z wodą destylowaną”. Fakt ten oznacza, że warstwy podbudowy drogowej lub podłoża formowane tradycyjnie z piasku bez dodatków chlorków charakteryzują się wyższą sztywnością i nośnością.

- Rozdział 6.3 Program dalszych badań.

Doktorant sformułował w tym rozdziale rekomendacje, aby dalszymi badaniami objąć grunty niespoiste o różnej genezie. Problem ten, jak wcześniej wspomniano w recenzji, uważa się współcześnie jako niezwykle istotny dla prawidłowej oceny wyników z nowoczesnych badań podłoża w warunkach in-situ i z badań laboratoryjnych.

Przedstawione uwagi szczegółowe mają charakter dyskusyjny i w zależności od decyzji Doktoranta mogą być uwzględnione w przygotowaniu publikacji z materiału rozprawy

- Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr. Jakoba Machona udokumentowana jest oryginalnymi osiągnięciami poznawczymi, metodycznymi oraz stanowi znaczącą pozycję dokumentacyjną.

We wniosku końcowym stwierdzam, że rozprawa spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w zakresie inwencji badawczej, kompendium literaturowego i metodyki badań, które są sformułowane w ustawie z dnia 20 lipca 2018r. - Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. poz.1669, art. 14 ust. 1 pkt.1, ust.2) oraz Ustawy z dnia 14.03.2003 o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. 22017 poz. 1789)

Wnoszę więc o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Nigara Mijane