

Białystok, 30.09.2023

Prof. dr hab. inż. Maria Jolanta Sulewska
Katedra Geotechniki, Dróg i Geodezji
Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mateusza Jocza na temat:
“Establishing own correlation between the results of in situ tests and soil parameters
which include both CPTU and DMT results”**

**Tytuł w jęz. polskim: „Ustanowienie własnej korelacji pomiędzy wynikami badań
in situ a parametrami gruntu, które obejmują zarówno wyniki CPTU jak i DMT”**

Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Marek Lefik, promotorem pomocniczym jest prof. Daniela Boso (Ph.D. Eng.).

1. Podstawa opracowania

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mateusza Jocza pt. “Establishing own correlation between the results of in situ tests and soil parameters which include both CPTU and DMT results” opracowałam na zlecenie (pismo z 29 sierpnia 2023 r.) Przewodniczącego Rady do spraw Stopni Naukowych w dyscyplinach Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, Architektura i Urbanistyka Politechniki Łódzkiej prof. dr. hab. inż. Dariusza Gawina, zgodnie z uchwałą Nr 1.1/47/2023 Rady z 29 sierpnia 2023 roku.

Recenzję sporządziłam w języku polskim.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji praca ma charakter analityczno-eksperymentalny i dotyczy analizy zależności między parametrami gruntów oraz wynikami badań polowych gruntów za pomocą sondy statycznej (CPTU) oraz dylatometru (DMT). Analizę wyników przeprowadzono za pomocą dwóch rodzajów sztucznych sieci neuronowych (Multi Layer Perceptron MLP) oraz (Long Short-Term Memory LSTM).

Rozprawa doktorska przedstawiona do recenzji liczy ogółem 158 stron. Zawiera 68 rysunków i 30 tabel. Praca składa się ze streszczeń w języku angielskim i polskim, spisu treści, spisów rysunków i tabel, spisu użytych oznaczeń, treści rozprawy zawartej w ośmiu rozdziałach, bibliografii oraz trzech załączników.

Rozprawa została przygotowana w postaci maszynopisu, w języku angielskim.

3. Teza, cel naukowy i zakres pracy



Tezę pracy sformułowano następująco:

„Sztuczne sieci neuronowe są skutecznym narzędziem do wyszukiwania i rejestracji korelacji pomiędzy danymi uzyskanymi w badaniach CPT i DMT a wybranymi parametrami geotechnicznymi gruntu.”

Cel pracy został sformułowany następująco, cyt.:

„Celem pracy było zidentyfikowanie najlepszych praktyk w badaniach gruntu i zaproponowanie rozwiązań poprawiających dokładność szacowania parametrów geotechnicznych”.

Następnie określono główne cele pracy, cyt.:

- 1) Przeanalizowanie i przygotowanie odpowiednio dużej liczby danych z badań gruntowych w Polsce, niezbędnych do zbudowania globalnego powiązania wyników CPTU i DMT z parametrami geotechnicznymi,
- 2) Zapoznanie się z istniejącymi rozwiązaniami korelacji dla sondowań CPTU i DMT oraz weryfikacja ich jakości na podstawie porównania wyników korelacji z pomiarami laboratoryjnymi,
- 3) Próba opracowania własnych korelacji z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych typu MLP i LSTM, obejmująca wnikliwą analizę zasad działania SSN w celu opracowania najkorzystniejszego modelu korelacji.

Zakres ocenianej pracy obejmuje następujące zagadnienia:

Rozdział 1. zawiera opis problemu naukowego i uzasadnienie podjęcia tematu, cele i tezę pracy.

Rozdział 2. Omawia zakres badań gruntu w celu rozpoznania podłoża gruntowego, rodzaje stanów granicznych w projektowaniu posadowień oraz potrzebne parametry geotechniczne i ich niepewności pomiarowe.

Rozdział 3. omawia wybrane metody badań terenowych: sondowanie CPTU oraz badanie DMT.

Rozdział 4. opisuje istniejące w literaturze wybrane interpretacje wyników badań metodami CPTU i DMT.

Rozdział 5. zawiera opisy źródeł pozyskania wyników badań terenowych i laboratoryjnych oraz przyjęty sposób interpretacji wyników.

Rozdział 6 obejmuje opis budowy i działania przyjętych rodzajów sztucznych sieci neuronowych: MLP i LSTM.

W rozdziale 7. zamieszczono opisy opracowanych autorskich modeli korelacyjnych.

W rozdziale 8. zamieszczono wnioski.

4. Struktura rozprawy

W tym punkcie recenzji zostaną w skrócie omówione treści poszczególnych rozdziałów rozprawy.

Rozdział 1. (*Wprowadzenie i uzasadnienie podjęcia tematu, 2 strony*) stanowi wstęp, w którym przedstawiono opis analizowanego problemu, którym było dążenie do poprawy dokładności szacowania parametrów geotechnicznych metodami wybranymi przez Aurora: za pomocą sondowań CPTU oraz DMT. Sformułowano tezę i cele pracy.

W rozdziale 2. (*Znaczenie i specyfika badań gruntów, 8 stron*) zawarto informacje na temat kategorii geotechnicznych oraz celu i zakresu badań gruntu, roli badań podłoża w aspekcie projektowania metodą stanów granicznych. Omówiono wartości

charakterystyczne i projektowe parametrów geotechnicznych i niepewności pomiarowe oraz ich miary.

W rozdziale 3. (*Wybrane metody badań terenowych, 9 stron*) zamieszczono opisy terenowych metod badań podłoża gruntowego za pomocą sondowania statycznego CPTU oraz sondowania dylatometrem DMT: budowy systemów pomiarowych obu przyrządów, procedury badawcze, zalety przyrządów, do których należą: mechanizacja procedur badawczych, automatyczna rejestracja wyników, ciągły charakter badań i stosunkowo małe naruszenie struktury podłoża.

W rozdziale 4. (*Interpretacja wyników badań terenowych, 17 stron*) zamieszczono przegląd literatury na temat metod interpretacji wyników badań sondami CPTU i DMT. Wybrano z literatury opracowane przez różnych badaczy korelacje dotyczące wybranych parametrów geotechnicznych, takich jak w przypadku badania CPTU: klasyfikacja gruntów, kąt tarcia wewnętrznego gruntów niespoistych i spoistych, stopień plastyczności, spójność, moduł ściśliwości odpowiadający wtórnemu modułowi ściśliwości M , stopień zagęszczenia, wytrzymałość na ścinanie gruntu z odplywem. Dla badania DMT podano zależności dla: kąta tarcia wewnętrznego, modułu ściśliwości który odpowiada pierwotnemu modułowi ściśliwości M_0 oraz wytrzymałość na ścinanie gruntu z odplywem.

W rozdziale 5. (*Dane z badań, 18 stron*) Autor podał jako źródło danych wyniki badań uzyskane przez pracownię geologiczno-inżynierską z Łodzi, w której pracuje. Autor opisał zakres prac badawczych: wiercenia, kartowanie geologiczno-inżynierskie, badania laboratoryjne oraz punkty badawcze w których wykonywano badania sondami: dynamicznymi DPL, DPM, DPSH, sondą krzyżakową SLVT lub sondą CPTU lub sondą DMT. Do badań wybrano 15 lokalizacji terenów badawczych. Do interpretacji wyników sondowań CPTU można przypuszczać, że wykorzystano jedną z metod grupowania danych w skupienia, ponieważ są tu opisane pozycje literatury [68, 97, 95, 116] na ten temat. Autor pisze: „W większości przypadków liczba i zasięg skupień odpowiada liczbie i zasięgowi utworzonych warstw” – czyli można przypuszczać, że chodzi tu o podział podłoża na warstwy w zależności od rodzaju gruntu. Potwierdza to zdanie: „Dokładnej klasyfikacji skupień dokonano na podstawie analizy składu granulometrycznego próbek pobranych dla każdej wyznaczonej warstwy, według trójkąta krajowego (rys. 5.3) lub tab. 5.2 dla gruntów niespoistych”. Zastosowaną przez Autora rozprawy procedurę wyznaczania parametrów geotechnicznych na podstawie wyników badań CPTU zilustrowano na rys. 5.3, 5.4 i 5.5.

Autor pisze, że wybrał wyniki z 54 sondowań CPTU i 10 sondowań DMT i nic więcej nie pisze tu o przygotowanych zbiorach danych do analizy.

Następnie Autor w tab. 5.5 ocenia zgodność wyników otrzymanych z badań CPTU i DMT do wyników badań laboratoryjnych, co ilustruje na rys. 5.6 i 5.7.

W rozdziale 6. (*Modele sztucznych sieci neuronowych, 20 stron*) zamieszczono ogólny opis budowy i działania sztucznych sieci neuronowych, w szczególności sieci jednokierunkowych MLP oraz sieci złożonych LSTM, będących rodzajem sieci rekurencyjnych. Autor opisuje tu sposób tworzenia zbiorów danych do analiz, ilustrując to rys. 6.4. i 6.5. Jako wartości wejściowe do sieci neuronowych przyjęto: wartości pomiarów CPTU q_c [MPa], f_s [kPa], u_2 [kPa]; wartości pomiarów DMT: A [bar], B [bar] oraz z wierceń: rodzaj gruntu, głębokość badania [cm]. Poszczególnym rodzajom gruntu przypisano wartości liczbowe z zakresu 901-981 (tab. 6.2). Jako wyjścia sieci neuronowych przyjęto wartości parametrów geotechnicznych – rozumiejąc że z badań laboratoryjnych: stopień plastyczności LI [-], kąt tarcia wewnętrznego ϕ [°], spójność c [kPa], wytrzymałość na

ściananie gruntu bez odplywu s_u [kPa], wtórny moduł ściśliwości M [MPa]. Liczba wszystkich danych wynosiła $N = 30\ 898$. Naturalną zmienność wartości parametrów geotechnicznych oraz oporu na stożku q_c w obrębie jednej warstwy Autor uwzględnił, stosując współczynniki zmienności wymienionych wielkości we wzorach autorskich (6.20) i (6.21), które posłużyły do modyfikacji wartości wyjściowych.

W rozdziale 7. (*Modele korelacyjne, 30 stron*) opisano otrzymane modele korelacyjne. Założenia do analizowanych modeli pokazano na rys. 7.1: model 1 – na wejściu podawano wyniki badań CPTU a na wyjściach, jak się wydaje, po jednym parametrze geotechnicznym – rozumiem że z badań laboratoryjnych po przekształceniu według wzorów (6.20) lub (6.21); model 2 – na wejściu podawano wyniki badań CPTU oraz rodzaj gruntu z badań laboratoryjnych (czyli liczby z tab. 6.3) oraz, jak się wydaje, na pojedynczych wyjściach: rodzaj gruntu (grupa gruntów A-H wg tab. 7.2) i poszczególne parametry geotechniczne z badań laboratoryjnych; model 3 – na wejściu podawano wyniki badań CPTU oraz z DMT oraz rodzaj gruntu z badań laboratoryjnych (czyli liczby z tab. 6.3) a na pojedynczych wyjściach rodzaj gruntu (grupa gruntów A-H wg tab. 7.2) i parametry geotechniczne z badań laboratoryjnych. Poszczególne modele sieci MLP miały takie same parametry dla poszczególnych korelacji, podobnie sieci LSTM. Zmieniały się liczby epok uczenia poszczególnych modeli, wielokrotnie inicjowano wagi początkowe. Jakość sieci neuronowych oceniano na podstawie wartości błędu średniokwadratowego MSE oraz średniego błędu średniokwadratowego w losowo wybranym zbiorze testowym o licznosci $N_T = 20\% N = 6180$. Wybrane, najlepsze modele opisano w podrozdziałach 7.1-7.6.

Najpierw analizowano problem klasyfikacyjny, czyli na podstawie danych wyjściowych przewidywano rodzaj gruntu, zakodowany literami od A do H. Predykcję grup gruntów w porównaniu do „grup rzeczywistych” pokazano na rys. 7.2-7.5. Wnioski z rysunków są raczej niezbyt zachęcające.

Stopień plastyczności i pozostałe parametry geotechniczne rozpatrywano jako problemy regresyjne. Okazało się, że wartość stopnia plastyczności można przewidywać na podstawie tylko wyników uzyskanych z CPTU. Sieci neuronowe obu rodzajów dla trzech modeli charakteryzują się podobnymi wartościami błędów MSE i RMSE = 0,0362-0,0392. Porównanie wartości przewidywanych i rzeczywistych I_L pokazano na rysunkach 7.6-7.11 dla przypadków: od numeru 10 000 do numeru 12 500 dla modeli 1 i 2 oraz od numeru 4 800 do numeru ok. 5 800 dla modelu 3.

Rozpatrywano 3 modele do predykcji kąta tarcia wewnętrznego. Dane wyjściowe obejmowały grunty spoiste i grunty organiczne, a badania kąta ϕ i spójności c wykonano w aparacie trójosiowego ściskania w warunkach konsolidacji z odplywem (CD). Najlepsze okazały się modele: 3. dla sieci LSTM i 2. dla sieci MLP przewidujące kąt tarcia wewnętrznego z błędem średnim około 1° (tab. 7.6). Porównanie wartości przewidywanych i rzeczywistych kąta ϕ pokazano na rysunkach 7.13-7.18 dla przypadków: od 12 000 do 15 500 dla modeli 1 i 2 oraz od ok. 6 250 do ok. 7 750 dla modelu 3.

Spójność obliczono dla 3 modeli za pomocą obu rodzajów sztucznych sieci neuronowych (SNN) dla gruntów spoistych i organicznych. Najlepszy model 3. dla sieci LSTM przewidywał spójność ze średnim błędem ok. 2,325 kPa. Porównanie wartości przewidywanych i rzeczywistych spójności c pokazano na rysunkach 7.19-7.24 dla przypadków: od 12 000 do 15 500 dla modeli 1 i 2 oraz od ok. 6 200 do ok. 7 600 dla modelu 3.

Wytrzymałość na ściananie bez odplywu s_u obliczono dla 3. modeli i 2. rodzajów SSN dla gruntów spoistych i organicznych. Jako wartości wyjściowe s_u przyjęto wartości z badań gruntów sondą krzyżakową SLVT. Najlepsze modele: 3. dla sieci LSTM oraz 1. dla sieci MPL przewidywały s_u ze średnim błędem ok. 12 kPa. Porównanie wartości przewidywanych

i rzeczywistych s_u pokazano na rysunkach 7.26-7.30 dla przypadków: od 12 000 do 15 500 dla modeli 1 i 2 oraz od ok. 6 200 do ok. 7 600 dla modelu 3.

Moduł odkształcenia M obliczono dla 2. modeli i 2. rodzajów SSN dla gruntów spoistych i organicznych, w podobny sposób jak poprzednie parametry geotechniczne. Wartości modułu odkształcenia zbadano w edometrze i obliczono w zakresie naprężeń 0-200 kPa. W modelu 3. zmienne wyjściowe stanowiły wyniki badań sondą DMT, dołączono tu grunty niespoiste. Najlepszy okazał się model 1. dla sieci MPL, który przewidywał moduł M ze średnim błędem ok. 2 MPa. Porównanie wartości przewidywanych i rzeczywistych modułów M pokazano na rysunkach 7.31-7.36 dla przypadków: od 12 500 do 15 500 dla modeli 1 i 2 oraz od ok. 8 250 do ok. 10 000 dla zmodyfikowanego modelu 3. Z rysunków wynika, że wszystkie modele (oprócz modelu 3.) mają dobrą jakość.

W rozdziale 8. (*Wnioski i perspektywy przyszłych badań, 3 strony*) zamieszczono podsumowanie wykonanych analiz. Jako najważniejsze wnioski można wybrać następujące stwierdzenia Autora, cyt.:

- Wyniki rozprawy potwierdzają, że dwa badania in situ: CPTU i DMT uzupełniają się.
- Zaproponowane przez autora korelacje charakteryzują się dobrą zdolnością rozpoznawania wybranych parametrów geotechnicznych i mogą być stosowane jako narzędzie interpretacyjne za wyjątkiem wyników wykraczających poza zakres danych uwzględnianych przy uczeniu sieci.
- Zaproponowany sposób budowania korelacji dla 3 różnych modeli jest uzasadniony.
- W rozprawie zaproponowano autorski wzór przekształcenia uwzględniający naturalną zmienność parametru w obrębie warstwy geotechnicznej. Spowodowało to poprawę modeli korelacji, czyli zmniejszenie ich błędu predykcji danych testowych nawet o 50%.
- Korelacje utworzone za pomocą sieci LSTM i MLP dają bardzo podobne wyniki o wysokiej jakości.
- Sieć MLP ma prostszą architekturę niż LSTM, dlatego ustalanie jej optymalnych hiperparametrów jest stosunkowo szybkie.
- Sieć LSTM jest bardziej skomplikowana, co utrudnia znalezienie najlepszego modelu, ale zdaniem autora dają one większe perspektywy, szczególnie po wprowadzeniu automatyzacji wprowadzania zmian parametrów sieci.
- Należy podkreślić, że opracowane korelacje dają interpretację parametrów gruntu dla każdego centymetra wyników sondowań.

5. Aktualność tematyki badawczej

Rozprawa doktorska mgr. inż. Mateusza Joczka porusza istotny problem interpretacji wyników badań parametrów geotechnicznych in situ za pomocą sondy statycznej CPTU oraz dylatometru DMT. Metoda sondowania statycznego jest rozwijana od początków XX wieku, a metodę DMT opracował i udoskonalał Marchetti od 1980 roku. Te metody badań terenowych mają duże zalety, z których wynika ich popularność: ich wykonanie jest zautomatyzowane, mają ciągłą i automatyczną rejestrację wyników pomiarów do głębokości nawet do 20-30 m p.p.t. Ponieważ metody te mają duże możliwości interpretacyjne wyników pomiarów oraz znaczny potencjał rozwojowy, istnieje bardzo obszerna literatura na temat metod i sposobów interpretacji pomiarów. Schnaid (2005) zaproponował podział metod interpretacji wyników CPTU na 4 klasy rozwiązań: ściśle analityczne, przybliżone, analityczne, czysto empiryczne (w: Tamawski (red.) (2023): *Badanie podłoża budowli. Metody polowe*. PWN SA Warszawa). Niniejsza rozprawa doktorska odpowiada klasie rozwiązań czysto empirycznych, czyli bada korelacje między wynikami badań in situ i wynikami badań laboratoryjnych.



Badania nad interpretacją i zastosowaniem pomiarów uzyskanych sondami CPTU i DMT są niezmiennie aktualne, wyniki badań są ciągle analizowane, a analizy są wznawiane w różnych aspektach. W szczególności analizy te mają na celu uściślenie interpretacji wyników badań warstw podłoża zbudowanych z różnych gruntów.

Wraz z rozwojem technologii w budownictwie oraz z rozwojem i wykorzystaniem nowych metod do badania parametrów geotechnicznych, otwierają się nowe możliwości dotyczące pomiarów ważnych cech gruntów oraz nowych interpretacji wyników badań. Tematyka niniejszej rozprawy dobrze wpisuje się w ten kierunek rozwoju nauki i praktyki, wobec czego ma aspekty naukowe i użyteczne.

6. Ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa ma charakter analityczno-eksperymentalny i dotyczy interpretacji wyników badań in situ parametrów geotechnicznych popularnymi metodami CPTU i DMT.

Autor wykazał się umiejętnością wyboru tematu, aktualnego i leżącego w zakresie Jego zainteresowań. Do analiz wyników badań zastosował nowoczesne i interesujące narzędzie matematyczne, jakim są sztuczne sieci neuronowe. Narzędzie to jest adekwatne do rozpatrywanego problemu regresyjnego, biorąc pod uwagę zmienność gruntów i ich parametrów oraz nieuniknione niepewności pomiarowe – głównie losowe. Temat rozprawy jest przyszłościowy – tematyka pracy może być dalej rozszerzana i rozwijana, w bardziej szczegółowym zakresie lub w innym aspekcie.

Autor zgromadził materiał do swoich analiz, korzystając z wyników badań gruntów przeprowadzonych w terenie przez profesjonalną pracownię geologiczno-inżynierską. Spośród 136 dokumentacji tematów badawczych wybrał 15 lokalizacji badań z terenu całej Polski, z których zaczerpnął wyniki do analiz. Pragnę podkreślić ogrom pracy, którą Autor musiał włożyć w ustalenie kryteriów wyboru danych i przygotowanie bazy danych.

Osiągnięcia i dorobek rozprawy doktorskiej mogą stanowić inspirację i podstawę tematyczną do prowadzenia dalszych badań i pomyślnego rozwoju naukowego mgr. inż. Mateusza Jocza.

Osiągnięcia naukowe rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mateusza Jocza w zakresie analizy wyników badań in situ oceniam pozytywnie. Do osiągnięć własnych Autora można zaliczyć:

1. Wybór ciągle aktualnej tematyki pracy o walorach naukowych i jednocześnie użytecznych,
2. Wybór i zebranie wyników badań gruntów metodami polowymi CPTU i DMT oraz badań laboratoryjnych próbek pobranych z wierceń.
3. Ustalenie sposobu analizy wyników badań przez zastosowanie nowoczesnej metody przy użyciu sztucznych sieci neuronowych,
4. Uwzględnienie w analizie niejednorodności i zmienności wyników badań parametrów geotechnicznych poprzez zastosowanie autorskich wzorów uwzględniających współczynniki zmienności.
5. Opanowanie warsztatu sztucznych sieci neuronowych do analizy wyników w potrzebnym zakresie, co również stanowi przejaw rozwoju naukowego Autora.

Do słabszych stron rozprawy doktorskiej, moim zdaniem, można zaliczyć:

1. Zbyt pobieżny przegląd literatury na temat badań metodami CPTU i DMT w zakresie przeglądu zależności i korelacji uzyskanych przez innych badaczy zagranicznych i, szczególnie – polskich oraz dotyczących doniesień w literaturze na temat zastosowań sztucznych sieci neuronowych do analizy wyników badań gruntów metodą CPTU.

2. Zbyt ogólny opis modeli sztucznych sieci neuronowych opracowanych przez Autora.

Odpowiedzi Autora na uwagi i pytania recenzenta zamieszczone w punkcie 7. niniejszej recenzji pozwolą wyjaśnić powyższe kwestie.

7. Uwagi szczegółowe i dyskusja

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską zgłaszam następujące uwagi i pytania do Autora, uszeregowane zgodnie z kolejnością rozdziałów.

Objaśnienia symboli

- 1) Jest: dilatometric modulus – powinno być: dilatometer modulus (str. 8, 10, 18, 26 i dalej w całej pracy).
- 2) Jest dwa razy to samo oznaczenie η dwóch różnych pojęć: learning rate i the conversion factor (str. 20).

Rozdz. 2.

- 1) W punkcie 2.2 jako parametr geotechniczny jest wymieniona 3 razy „density” – jaką gęstość gruntu Autor miał na myśli?
- 2) W spisie bibliografii brak pozycji z tab. 2.2.

Rozdz. 3.-4.

- 1) W punktach 3.1 i 3.2 nie podano, na podstawie jakiej literatury opisano konstrukcje, procedury badawcze, sposoby interpretacji wyników CPTU i DMT.
- 2) Skąd zaczerpnięto: rys. 4.1 (w spisie literatury nie ma pozycji Robertson 2010)?
- 3) Brak jest komentarzy autorskich pod rysunkami w rozdziałach 4.1.1-4.1.7.
- 4) Nie przeprowadzono krytycznej analizy bardzo obszernej literatury na temat wzorów do interpretacji wyników. Na temat badań metodą CPTU wybrano wzory i informacje tylko z następujących opatrzonych numerem pozycji ze spisu bibliografii [1, 7, 12, 91] oraz 3 norm: Eurokod 7 i PN-EN ISO 22476-1:2023-06 (obie bez numerów) oraz [119]. Na temat badań DMT wybrano wzory i informacje tylko z następujących pozycji: [86, 96, 98].
Nie wyjaśniono, dlaczego do dalszych analiz wybrano jedynie zależności wymienionych autorów.
- 5) Na str. 59 jest: $p_2 = u_0$ – powinno być: $p_2 = u$.
- 6) W treści wielokrotnie cytowane są same nazwiska autorów bez numerów i dat wydania artykułów, co uniemożliwiło identyfikację artykułu, np. na str. 39, 45, na rys. 4.2, na str. 54, 57, lub też nie ma takich pozycji w spisie literatury
- 7) W analizie literatury nie uwzględniono artykułów, dorobku i propozycji polskich badaczy, oprócz pozycji [96].

Rozdz. 5.

- 1) Na str. 63 przywołano 2 dokumenty z wytycznymi nie zamieszczonymi w spisie literatury.
- 2) Nie napisano, według których norm przeprowadzano badania laboratoryjne parametrów geotechnicznych.
- 3) Jest: oedometric module – powinno być: oedometer module (str. 64).
- 4) Jest: Figure 4.1 oraz 5.3 oraz Tab. 5.2 – powinno być: Figure 5.1 oraz 5.2 oraz Tab. 5.4.
- 5) Zauważono błąd we wzorze (5.3).

- 6) Trójkąt na podstawie którego odczytywano rodzaj gruntu jest od dawna nieaktualny. Pochodzi on z Załącznika krajowego zamieszczonego w PN-EN ISO 14688-2:2006, który został całkowicie wycofany poprawką PN-EN ISO 14688-2/Ap2:2012, w której wprowadzono trójkąt całkowicie zmieniony (Rys. NA.1). W obowiązującej aktualnie normie PN-EN ISO 14688-2:2018-05 nie ma już wcale trójkąta do oznaczania nazwy gruntu na podstawie uziarnienia.
- 7) Komentarza wymaga tablica 5.5, w której zamieszczono porównanie wyników obliczonych z badań CPTU i DMT z wynikami badań laboratoryjnych w postaci opisowej, np.: średnia zgodność, wyniki mocno zawyżone, wyniki zawyżone, wyniki bardzo zawyżone, wyniki bardzo zaniżone, średnia zgodność, dobra zgodność. Na podstawie jakich wskaźników oceniono zgodność wyników?
- 8) Nie podano, ile było porównywanych przypadków (w szt.), nie pokazano fragmentów tabel z danymi.
- 9) Jak można się domyślać, porównania (osobno dla CPTU i osobno dla DMT) zamieszczono na rys. 5.6 i 5.7. Utrudnieniem są różne skale na osiach x i y. Nie zaznaczono na osi y, z których korelacji korzystano do obliczeń poszczególnych parametrów geotechnicznych. Na rys. 5.6 a) (oś y) i c) są złe jednostki, na rys. 5.7 a) oraz b) są złe opisy osi, albo pomyłone są rysunki: brak jest komentarza do rysunków.

Rozdz. 6.

- 1) Nie przeprowadzono analizy literatury na temat dotychczasowych zastosowań sztucznych sieci neuronowych do interpretacji wyników badań CPTU i DMT. Wymienione zostały tylko różne artykuły na temat SSN w jednym zdaniu, cyt.: „Sieci neuronowe znalazły zastosowanie w geotechnice, co opisano w artykułach [38, 50, 64, 69, 82, 100, 101, 103, 105]”.
- 2) Nie podano, według jakich pozycji literatury opisano sztuczne sieci neuronowe w rozdziałach 6.2 i 6.3.
- 3) Brak jest objaśnień do wzorów (6.6)–(6.9).
- 4) W tab. 6.2 pokazano zmienne wejściowe SSN – przy czym zmienne podawano w różnych jednostkach: q_c [MPa], f_s i u_2 [kPa], A i B [bar], a z [cm]. Czy różnorodność i niespójność jednostek „podobnych” zmiennych nie ma znaczenia?
- 5) Wysoko należy ocenić pomysł uwzględnienia współczynników zmienności parametrów geotechnicznych za pomocą wzorów (6.20) i (6.21).

Rozdz. 7.

- 1) W tekście przywołane są wzory (5.5) i (5.6) – powinno być (6.20) i (6.21).
- 2) Nie zamieszczono fragmentu baz lub bazy danych, służących do analiz neuronowych, ani nie podano jej/ich liczebności. Czy liczebność baz danych była jednakowa w przypadku modelowania każdego parametru? Liczebność danych jest podawana w metrażu badanych warstw (np. na str. 107: 12491 cm) a nie w szt. przypadków – dlaczego?
- 3) Nie jest nigdzie wyraźnie powiedziane, że 2 rodzaje SSN modelowały po 3 zależności, w których były różne liczby wejść oraz jedno wyjście, którym był jeden parametr geotechniczny.
- 4) Ile było warstw ukrytych po 150 neuronów w sieci MPL i w związku z tym ile było niewiadomych parametrów sieci (wag)? Czy wszystkie sieci MPL miały tyle samo warstw ukrytych i tyle samo neuronów w każdej warstwie ukrytej? Dobrze byłoby pokazywać architektury sieci dla poszczególnych zależności.
- 5) Dlaczego jako zmiennej wejściowej nie używano zmiennej u_2 (tab. 7.1), wymienionej na rys. 6.7?

- 6) Czy jako wartości zmiennej „rodzaj gruntu” na wejściu sieci neuronowych modelujących parametry geotechniczne przyjmowano liczby z tab. 6.3 i dlaczego przyjęto takie liczby?
- 7) Brak przywołania w tekście rys. 7.2-7.4. Na str. 101 wyjaśniono, że zbiór testowy miał liczebność 6 180, a na rys. 7.2-7.4 pokazano porównania dla 20 000 lub 10 000 przypadków – z jakiego zbioru pochodziły te przypadki?
- 8) Na rys. 7.6-7.11, 7.15-7.18, 7.19-7.24, 7.25-7.30, 7.31-7.36 pokazywano porównania danych rzeczywistych i danych przewidywanych przez sieć dla przypadków w zakresach numerów, np. od 10 000 do 12 500 – bez wyjaśnienia i komentarza.
- 9) Jakie błędy względne w % popełniano przy predykcji poszczególnych parametrów za pomocą poszczególnych modeli SSN – na tej podstawie możliwe by było liczbowe porównanie jakości wszystkich modeli między sobą.

Rozdz. 8.

- 1) Wnioski są bardzo ogólne.
- 2) Zgodnie z celem pracy, którym było zidentyfikowanie najlepszych praktyk w badaniach gruntu i zaproponowanie rozwiązań poprawiających dokładność szacowania parametrów geotechnicznych, we wnioskach powinny znaleźć się konkretne liczby, które by udowodniły, że cel pracy został osiągnięty.

Literatura

- 1) W treści pracy znaleziono tylko 33 pozycje literatury przywołane i opatrzone numerem zgodnie ze spisem literatury, w którym to spisie było sumarycznie 137 pozycji.
- 2) Wszystkie wyrazy w tytułach czasopism należy pisać wielką literą (pozycje [33, 34, 55, 65, 68]).

8. Uwagi redakcyjne

Układ pracy jest właściwy, podział treści jest adekwatny. Recenzentka nie czuje się powołana do oceny prawidłowości języka angielskiego, w którym praca jest napisana. Pod względem redakcyjnym praca jest przygotowana starannie. Szczególnie cenne są kolorowe rysunki przygotowane przez Autora.

Ważniejsze uwagi redakcyjne są następujące:

- 1) Zauważono w tekście pewną liczbę błędów literowych (str. 31, 41, 63, 75).
- 2) W tekście pracy przywołano tabele lub rysunki bez numerów (str. 44, 51).
- 3) Pozostałe uwagi redakcyjne dotyczące pomyłek w numeracjach wzorów, tabel, rysunków zapisano w uwagach do poszczególnych rozdziałów.

9. Ocena końcowa

Opiniowana rozprawa należy do prac analityczno-doświadczalnych z zakresu geotechniki.

Mgr inż. Mateusz Jocz w swojej rozprawie doktorskiej podjął temat interesujący naukowców. W szczególności temat ten jest bardzo ważny dla badaczy i wykonawców badań polowych za pomocą nowoczesnych sond CPTU i DMT. Temat jest rozwinięciem badań nad kalibracją tych sond na gruntach polskich i próbą zastosowania do tego celu nowoczesnego narzędzia analitycznego, którym są sztuczne sieci neuronowe.

Doktorant samodzielnie rozwiązał postawione w pracy problemy naukowe w ramach zakładanych celów. Posługując się prawidłową metodyką zebrał wyniki badań do analiz

WS

założonym zakresie zagadnień i zgromadził bazę danych, przeprowadził analizę wyników badań i wyciągnął wnioski o charakterze poznawczym. Rozprawa zawiera oryginalne aspekty i propozycje rozwiązania problemu naukowego. Wobec powyższego rozprawa wnosi nowe wartości w dziedzinie geotechniki oraz potwierdza poziom wiedzy Kandydata dostateczny do samodzielnego rozwiązywania problemów naukowych.

W związku z tym, we wniosku końcowym stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Mateusza Joczka spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim, zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule z zakresu sztuki (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789 z późn. zm.) oraz art. 192 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Maria Jolanta Sulewska