

SUMMARY IN POLISH (STRESZCZENIE W JĘZYKU POLSKIM)

Rozprawa doktorska zatytułowana „*Establishing own correlation between the results of in situ tests and soil parameters which include both CPTU and DMT results*” (pol. „*Ustanowienie własnej korelacji pomiędzy wynikami badań in situ a parametrami gruntu, które obejmują zarówno wyniki CPTU jak i DMT*”) skupia się na zagadnieniach związanych z korelacją parametrów podłoża gruntowego z wynikami badań terenowych CPTU (Cone Penetration Test) i DMT (Dilatometer Test) za pomocą sieci neuronowych typu MLP (Multilayer Perceptron) i LSTM (Long Short-Term Memory). W rozprawie szczegółowo omówiono architekturę, hiperparametry oraz algorytm działania wybranych modeli sieci neuronowych. W pracy zastosowano autorską metodę transformacyjną pozwalającą na uwzględnienie w modelach korelacyjnych naturalnej zmienności parametru geotechnicznego w obrębie warstwy gruntowej. W rozprawie przeprowadzono analizę badań podłoża przeprowadzonych dla 15 lokalizacji na terenie Polski. Dane badawcze stanowiły podstawę do weryfikacji istniejących modeli korelacyjnych jak i pozwoliły na zaprojektowanie własnych.

Rozprawa składa się z 8 rozdziałów i załączników. W rozdziale 1 autor przedstawia wstęp teoretyczny podjętej tematyki, motywację do napisania pracy oraz problematykę i główne cele pracy. Autor skupia się na znaczeniu badań podłoża gruntowego dla projektowania i budowy konstrukcji. Autor zwraca uwagę na skomplikowany charakter gruntu jako materiału oraz na elastyczność obowiązujących przepisów dotyczących zakresu badań geotechnicznych, co często prowadzi do niepełnego i niedokładnego rozpoznania warunków podłoża. Celem pracy doktorskiej jest analiza różnych metod badań terenowych i laboratoryjnych stosowanych w badaniach podłoża gruntowego oraz identyfikacja najlepszych praktyk w tej dziedzinie. Autora skupia się na sondowaniach CPTU i DMT, które uważa za szczególnie skuteczne i efektywne. Autor przedstawia główne cele pracy, do których należy analiza i przygotowanie dużych ilości danych z badań podłoża gruntowego z różnych lokalizacji na terenie Polski, zweryfikowanie istniejących rozwiązań korelacyjnych dla sondowań CPTU i DMT oraz próba stworzenia własnych korelacji z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

Rozdział 2 dotyczy znaczenia i specyfiki badań podłoża gruntowego, w szczególności w kontekście polskich przepisów. Według nich podłoża gruntowe klasyfikowane jest według stopnia skomplikowania, co ma bezpośredni wpływ na kategorie geotechniczne obiektów

budowlanych. To umożliwia ustalenie zakresu badań geotechnicznych wymaganych przez prawo. Badania polegają na zdefiniowaniu warstw podłoża, poziomów wody gruntowej oraz parametrów geotechnicznych. Wyniki tych badań zapewniają dane potrzebne do prawidłowego zaprojektowania obiektu, czyli uwzględniającego stabilność konstrukcyjną, funkcjonalność i ekonomiczność budynku. Dodatkowo, rozdział zawiera omówienie koncepcji stanów granicznych zastosowanej w Eurokodach. Autor zwraca uwagę na skomplikowany charakter gruntu jako materiału. Autor przedstawia źródła niepewności w rozpoznawaniu parametrów podłoża gruntowego i podaje ich miary niepewności na podstawie danych z literatury.

W rozdziale 3 autor przedstawia technikę wykonania sondowania statycznego CPTU i DMT i opisuje poszczególne komponenty tych urządzeń. Autor zwraca uwagę na obowiązujące przepisy dotyczące tych badań i potencjalne zagrożenia wynikające z procedury badań. W rozdziale przedstawione są przykładowe rejestry wyników badań CPTU i DMT. Autor podkreśla powszechność stosowania sondowań CPTU i DMT w badaniach podłoża gruntowego obiektów budowlanych, dzięki swoim przewagom, takim jak automatyczna rejestracja danych, zmechanizowana procedura badania w miejscu załęgania gruntu, wysoka ilość i dokładność pomiarów oraz mała ingerencja w podłoże.

W rozdziale 4 autor omawia istniejące w literaturze metody interpretacji wyników sondowań CPTU i DMT, pozwalające obliczyć parametry geotechniczne podłoża. Metody te są oparte na różnych korelacjach, które wymagają potwierdzenia z wynikami wiercenia i wynikami laboratoryjnymi pobranych próbek, zgodnie z zaleceniem Eurokodu 7. W korelacjach wykorzystano podstawowe parametry sondowań CPTU, które są stosowane do klasyfikacji rodzaju gruntu i ustalania parametrów geotechnicznych podłoża. W rozdziale podkreślono również przydatność sondowań CPTU do wyznaczania wybranych parametrów wytrzymałościowych podłoża, takich jak kąt tarcia, spójność, wytrzymałość na ścinanie bez odpływu, moduł ściśliwości i parametrów materiałowych jakim są stopień plastyczności i stopień zagęszczenia. Autor przedstawił również istotne modele interpretacji wyników badania DMT. Autor podkreśla, że wybór odpowiedniej metody interpretacyjnej to wymagające zadanie, które wymaga weryfikacji z wynikami lokalnych doświadczeń.

W rozdziale 5 autor skupia się na analizie danych badawczych uzyskanych z projektów infrastrukturalnych, które autor współtworzył, wraz z Pracownią Geologiczno-Inżynierską

z Łodzi. Dane dotyczą budowy infrastruktury drogowej i kolejowej, zabudowy wielorodzinnej oraz usługowo-handlowej. Informacje pozyskano z przekrojów geotechnicznych, map dokumentacyjnych, kart z wynikami badań terenowych i laboratoryjnych. Zakres prac wykonanych na potrzeby udokumentowania warunków podłoża obejmowały wykonywanie wierceń w celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich, kartowanie dla identyfikacji zagrożeń geologicznych, oraz przeprowadzanie badań terenowych i laboratoryjnych na pobranych próbkach. Prace były prowadzone w punktach badawczych. Autor spośród 136 zrealizowanych tematów badań, wybrał 15 dla zrealizowania celów rozprawy doktorskiej. Kryterium wyboru była odpowiednia ilość przeprowadzonych dla tematu badań. W rozdziale autor przedstawia lokalizację wybranych tematów na mapie Polski i zakres wykonanych prac dla każdego z tematów. Oprócz tego autor w rozdziale prezentuje zastosowane metody interpretacji wyników sondowań CPTU i DMT, które bazują na modelach ustalonych przez specjalistów dziedziny. Na koniec rozdziału autor porównuje wyniki zinterpretowanych parametrów podłoża korelacjami przedstawionymi w rozdziale 4 z wynikami tych samych parametrów, ale dla przeprowadzonych równoległych badań laboratoryjnych.

W rozdziale 6 autor omawia temat sztucznych sieci neuronowych (SSN), będących częścią sztucznej inteligencji. SSN są wszechstronnym systemem aproksymacyjnym zdolnym do modelowania wielowymiarowych problemów z różnych dziedzin nauki. Proces uczenia sieci neuronowych polega na minimalizacji funkcji kosztów w wyniku algorytmu optymalizacji wag połączeń między neuronami. Autor wyróżnia i omawia typy sieci neuronowych. Autor skupia się na klasycznych sieciach typu MLP i rozbudowanych sieciach typu LSTM. Autor podkreśla zalety sieci LSTM, które uwzględniają czynnik czasowy w analizie danych i dzięki zastosowanemu systemowi bramkowania eliminują problem zanikającego i eksplodującego gradientu występującego w sieciach MLP. Autor omawia hiperparametry sieci, które mają znaczący wpływ na skuteczność predykcji modelu. Ponadto w rozdziale została omówiona procedura budowy korelacji wyników sondowań z parametrami podłoża gruntowego, wykorzystując sztuczną sieć neuronową. Wybierano punkty badawcze z największym nasyceniem danych, zawierające m.in. badania CPTU, DMT, otwory wiertnicze i próbki gruntu. Wytypowano punkty dla 10 różnych rodzajów gruntu, dla których starano się wytypować dane o jak największym zakresie wartości parametrów geotechnicznych. W rozdziale odnotowano problem nierzeczywistego, stałego rozkładu parametrów geotechnicznych w obrębie warstwy

na podstawie wyników badań laboratoryjnych. W rozdziale zaprezentowano autorską metodę transformacyjną pozwalającą na uwzględnienie w modelach korelacyjnych naturalnej zmienności parametru geotechnicznego. Przygotowane w sposób omówiony w rozdziale baza danych stanowić ma wysokiej jakości, reprezentatywną podstawę do stworzenia własnych korelacji.

W rozdziale 7 autor przedstawił modele korelacyjne wyników sondowań CPTU i DMT z parametrami podłoża gruntowego za pomocą sieci neuronowych typu MLP i LSTM. Zaproponowano trzy modele różniące się zakresem danych wejściowych. Pierwszy model korzysta tylko z wyników sondowania CPTU, drugi uwzględnia dodatkowo rodzaj gruntu, a trzeci dodatkowo wykorzystuje wyniki badań DMT. Dla każdego modelu warstwą wyjściową był parametr geotechniczny po zastosowaniu autorskiej metody transformacyjnej. Dzięki temu osiągnięto zwiększenie skuteczności predykcji sieci nawet do 50%. Wyjątkiem była korelacja dla stopienia plastyczności, dla którego transformacja nie przyniosła rezultatów. Hiperparametry sieci były jednakowe dla wszystkich korelacji, a liczba epoch dostosowywana indywidualnie. Wyniki predykcji sieci zostały przedstawione na zbiorze testowym, a proces uczenia się trwał do osiągnięcia najmniejszego błędu dla tego zbioru. Tym samym jakość uzyskanych wyników została porównana z parametrami podłoża z różnych rejonów Polski. Ogólnie, zaproponowane modele korelacyjne mają dobrą jakość w przewidywaniu rodzaju gruntu, stopnia plastyczności, kąta tarcia, spójności, wytrzymałości na ścinanie bez odpływu i modułu ściśliwości na podstawie wyników sondowań CPTU i DMT. Skuteczność predykcji różniła się w zależności od modelu korelacyjnego, natomiast najkorzystniejsze wyniki były podobne dla obu typów sieci neuronowej.

W rozdziale 8 podsumowano wyniki rozprawy doktorskiej i przedstawiono perspektywy przyszłych badań. Autor zwraca uwagę, że wyniki w łatwy sposób można zweryfikować lub uaktualnić dodatkowymi badaniami. Perspektywą może być stworzenie nowych modeli, które uwzględniają na wejście sieci dodatkowe dane z innych badań podłoża. Można również spróbować zinterpretować inne parametry geotechniczne za pomocą zaproponowanych modeli. Autor zwraca uwagę, że automatyzacja pewnych procesów budowania sieci może pozwolić na odnalezienie bardziej dopasowanych predykcji sieci. Miałoby to szczególnie duży wpływ na poprawę ostatecznych wyników sieci LSTM, ze względu na jej bardzo rozbudowaną

strukturę. Inną perspektywą sieci LSTM jest możliwość zastosowania jej w przewidywaniu parametrów geotechnicznych dla niezbadanych obszarów.

Na końcu pracy zamieszczono załączniki, którymi są pełne wyniki działania zaprojektowanych sieci, uwzględniające zarówno zbiory danych treningowych jak i testowych, wykresy procesu uczenia się tych zbiorów dla kolejnych epok (iteracji) oraz zestawienie warstw wybranych do tworzenia korelacji.

Mateusz Jozz