

## Porównanie parametrów stanu nasypu kontrolowanego na podstawie badań płytą dynamiczną i sondą dynamiczną

Ustalenie korelacji między niektórymi parametrami stanu gruntu zależy od stosowanych metod badań i sprzętu pomiarowego. Urządzenia do wyznaczania parametrów stanu gruntu są zazwyczaj przeznaczone do określania jednego, rzadziej kilku parametrów. W wielu przypadkach zachodzi konieczność wykonania oznaczeń ilościowych wielkości za pomocą kilku urządzeń. Jest to spowodowane różnymi wymaganiami odbiorców robót bądź koniecznością pozyskania szczegółowego rozpoznania podłoża gruntowego. Są też sytuacje, gdy badania wykonuje się tylko jednym urządzeniem i wymaga się ustalenia kilku parametrów gruntowych. Dlatego są istotne wzajemne korelacje oznaczanych wielkości.

Utрудnieniem w uzyskaniu poprawnych korelacji między parametrami jest nieprzewidywalna niejednorodność struktury gruntów rodzimych. Z tych względów jest celowe porównanie i korelacja parametrów gruntowych, o przewidywalnych cechach, ustalonych w warunkach laboratoryjnych lub częściowo laboratoryjnych, a następnie ekstrapolowanie korelacji do warunków rzeczywistych. Takim przykładem może być grunt w nasypie kontrolowanym.

Wykonywanie nasypu kontrolowanego zalicza się do podstawowych robót ziemnych. Dotyczy to zarówno formowania nasypów, jak i przygotowania podłoża do posadowienia fundamentów bezpośrednich czy też zasypki fundamentów. Poprawne wykonanie nasypu jest istotnym czynnikiem prawidłowego funkcjonowania i użytkowania budowli, ze szczególnym zwróceniem uwagi na stan graniczny użyteczności, gdyż w przypadku nasypów drogowych bądź np. podłoża pod podłogą hal przemysłowych wymagania dotyczące odkształceń mogą być restrykcyjne.

Jakość podłoża gruntowego, jaką należy uzyskać w przypadku danej konstrukcji, określa się w specyfikacjach technicznych szczegółowych w odniesieniu do konkretnego obiektu lub ogólnych – do pewnej klasy obiektów. Tam też opisuje się parametry ilościowe prawidłowego wykonania nasypu.

Podstawowe wymagania dotyczące wykonywania nasypu kontrolowanego obejmują jakość kruszywa, jego granulację, zagęszczalność, jednorodność i sposób zagęszczania. Taki nasyp należy wykonywać warstwami, z gruntów przydatnych do budowy nasypu, i wznosić równomiernie na całej szerokości. Grubość warstwy nasypu powinna być odpowiednio dobrana w zależności od rodzaju gruntu i sprzętu używanego do zagęszczania. Przystąpienie do układania kolejnej warstwy nasypu może nastąpić po stwierdzeniu prawidłowego wykonania warstwy poprzedniej. Tak wykonany nasyp kontrolowany może służyć do przeprowadzenia korelacyjnych badań parametrów gruntowych.

W zależności od uziarnienia stosowanych materiałów, jakość zagęszczenia warstwy gruntu określa się za pomocą oznaczenia wskaźnika zagęszczania  $I_s$  lub porównania wtórnego i pierwotnego modułu odkształcenia ( $E_{v2}$  i  $E_{v1}$ ), czyli wyznaczając wskaźnik odkształcenia  $I_D$ .

W wielu przypadkach w specyfikacjach dopuszcza się wykorzystanie innych metod kontroli stanu nasypu, np. metodę badania lekką płytą dynamiczną z oznaczeniem dynamicznego (sprężystego) modułu odkształcenia  $E_{vd}$ , a także badanie sondą dynamiczną i wyznaczenie stopnia zagęszczenia  $I_D$ .

### Lekka płyta dynamiczna

Lekka płyta dynamiczna (LWD) jest urządzeniem przenośnym, łatwym w transporcie, które może być obsługiwane przez jedną osobę. Najczęściej jest stosowane urządzenie o całkowitej masie 15 kg, a pomiar trwa nie dłużej niż 1÷2 min. Głównym elementem urządzenia jest stalowa płyta o średnicy 300 mm i grubości 20 mm, wyposażona w akcelerometr połączony z oddzielnym urządzeniem do rejestracji i analizy danych. Prowadnica, umieszczona przegubowo w środku płyty, pozwala na zrzucanie centralnie na płytę obciążnika o masie 10 kg ustalonej w procesie kalibracji tak, aby wartość przekazywanego obciążenia dynamicznego wynosiła 7,07 kN w czasie obciążania wynoszącym 18 ms [1].

Zakłada się, że płyta jest wystarczająco sztywna, aby przemieszczać się wraz z gruntem, a impuls uderzenia ma stałą wartość. Odkształcenie gruntu jest obliczane na podstawie odczytów z akcelerometru umieszczonego centralnie w płycie obciążającej.

Pomiar rozpoczyna się od fazy wstępnej, w której obciążnik jest zrzucany trzy razy w celu zapewnienia dobrego przylegania płyty do gruntu. Właściwy pomiar składa się z trzech odczytów, na podstawie których określa się trzy wartości modułu dynamicznego  $E_{vd}$ . Gdy odczyty różnią się więcej niż 10%, to pomiar jest uznawany za niemiernodajny, a grunt za słabo zagęszczony.

Poprawne wyniki uzyskuje się w przypadku gruntów dobrze zagęszczonych. Pomiar modułu odkształcenia określony z wykorzystaniem tej metody ma duży zakres dokładności oznaczania, tzn. pozwala na wyznaczenie nawet małych zmian zagęszczenia. Badanie tym urządzeniem dotyczy tylko powierzchniowej warstwy gruntu, a więc zasięg głębokości pomiarowej jest mały. Z tych względów jest niemożliwe ustalenie uwarstwienia gruntu.

### Lekka sonda dynamiczna

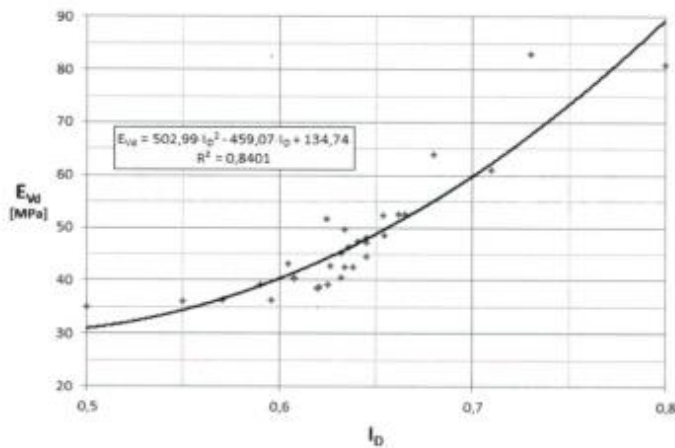
Lekka sonda dynamiczna (DPL) należy do urządzeń powszechnie stosowanych do badania gruntów nasypowych i rodzimych. Opis techniczny sondy DPL i metodę badawczą przedstawiono w normach [2, 3]. Urządzenie składa się z zestawu żerdzi o masie 3,0 kg/m. Pierwsza żerdź jest zakończona stożkową końcówką z kątem wierzchołkowym wynoszącym 90°. Żerdzie są wbijane w grunt za pomocą swobodnie spadającego młota o masie 10 kg. Urządzenie służy do wyznaczenia stopnia zagęszczenia gruntu niespoistego na podstawie zależności korelacyjnych i jakościowego oszacowania zmienności uwarstwienia podłoża. Podczas badania określa się liczbę uderzeń młota przypadającą na każde 10 cm wępu żerdzi ( $N_{10}$ ). W odniesieniu do warstwy powierzchniowej gruntu, do głębokości krytycznej, instrukcja [8] przewiduje korekcję liczby uderzeń na wstęp. Na podstawie skorygowanej wielkości określa się stopień zagęszczenia  $I_D$ .

Sonda dynamiczna ze względu na swoją budowę i metodę badawczą, przy wzrokowym odczytywaniu danych pomiarowych, nie jest urządzeniem dokładnym w przypadku badania powierzchniowych warstw gruntu. Zgodnie z [8] zaleca się rozpocząć interpretację wyników sondowania poniżej tzw.

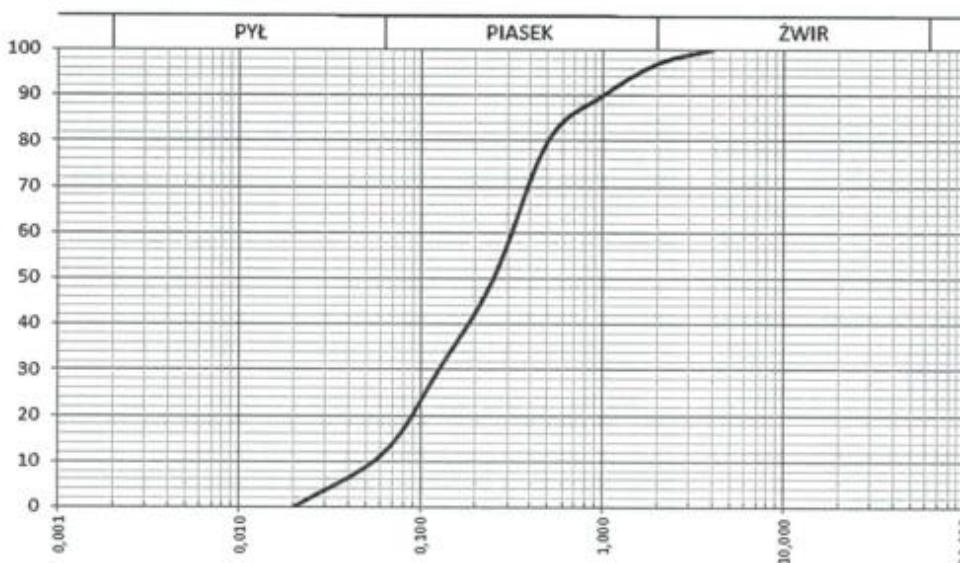
głębokości krytycznej, natomiast do głębokości krytycznej, gdy liczba uderzeń młota na jednostkę wępu  $N_{10} > 3$ , należy przyjmować skorygowaną liczbę uderzeń [8]. W omawianych badaniach nie korygowano jednak tej wielkości, założywszy, że podczas badania występuje pełna kontrola jakości zagęszczanego nasypu, a także brak powierzchniowego rozluźnienia lub niejednorodności stanu gruntu. Odczytywana liczba uderzeń na głębokości 60 cm poniżej powierzchni badań nie wskazywała na konieczność przeprowadzenia procedury korekcji. Stopień zagęszczenia  $I_D$  ustalono jako średnią z liczby uderzeń  $N_{10}$  na głębokości 60 cm.

### Metoda porównawcza i uzyskane wyniki badań

Badaniami objęto nasyp kontrolowany pod fundamenty i podłogę magazynu o wymiarach 100×150 m. Wykonano ponad 70 badań porównawczych nasypu gruntowego. Do analizy wybrano różnych 30 par pomiarów. Część pomiarów odrzucono, ze względu na uzyskanie jednakowych wyników. Jest to spowodowane specyfiką zagęszczania podłoża walcem drogowym i trudnością uzyskiwania stanu podłoża o niewielkich skokach wartości zagęszczenia. Z wykresu na rys. 1 wynika, że w przypadku  $I_D = 0,50 \div 0,58$  i  $0,68 \div 0,80$  zanotowano niewielką liczbę pomiarów. Po jednym przejeździe walca zaobserwowano stosunkowo równomiernie stałe zagęszczenie gruntu na całej powierzchni nasypu i w kilkunastu przeprowadzonych badaniach w różnych miejscach wyniki pomiarów były



Rys. 1. Wykres rozrzutu wartości modułu dynamicznego odkształcenia w zależności od stopnia zagęszczenia



Rys. 2. Wykres reprezentatywnej krzywej uziarnienia gruntu wykorzystanego do wykonania nasypu

mało zróżnicowane. Po następnym przejeździe walca rozrzut wyników był większy. Po czwartym przejeździe ponownie wyniki pomiarów wykazywały niewielkie zróżnicowanie.

Grunt pod nasypem, o miąższości około 6 m, stanowiły piaski przewarstwione gruntem organicznym (namulami piaszczystymi), wzmocnione metodą zagęszczania dynamicznego. Było to podłoże wystarczająco sztywne do wznoszenia nasypu kontrolowanego i nie wykazywało istotnego wpływu na układanie i zagęszczanie nasypu.

Grunt nasypowy układano warstwami na całej powierzchni, zraszano wodą w celu doprowadzenia do stanu bliskiego wilgotności optymalnej, a następnie warstwę o miąższości około 40 cm zagęszczano lekkimi walcami gładkimi. Zagęszczanie zawierało cykl czterech przejazdów lekkiego walca drogowego. Po każdym przejeździe wykonywano w bezpośredniej bliskości parę badań płytą LWD i sondą DPL. Badania prowadzono zgodnie z procedurą podaną w [7, 8].

Materiałem nasypowym była mieszanina piasków z domieszką pyłu grubego [4] (pospółka gliniasta). Przeprowadzone badania uziarnienia [5] na wybranych czterech próbkach gruntu nie wykazały istotnych różnic w składzie granulometrycznym (rys. 2).

Obliczona wartość wskaźnika różnoziarnistości wyniosła  $C_U = 6$ , a wskaźnika krzywizny uziarnienia  $C_C = 1$ . Wartości te ustalono na podstawie [6].

Proces zagęszczania był kontrolowany, tj. na bieżąco sprawdzano grubość warstwy przeznaczony do zagęszczania i zraszano powierzchnię wodą, aby wyrównać poziom wilgotności. Powierzchniowe warstwy badanego gruntu nasypowego nie ulegały w trakcie badania rozluźnieniu. Z tych względów uznano je za miarodajne i jednorodne na całej głębokości badawczej.

Określono stopień zagęszczenia  $I_D$  nasypu miąższości 60 cm, a następnie porównano z uzyskanym modulem dynamicznym  $E_{Vd}$ . Badania i określenie parametrów przeprowadzono zgodnie z opisanymi zasadami dotyczącymi lekkiej płyty dynamicznej i sondy dynamicznej [2].

Zależność korelacyjną między stopniem zagęszczenia i dynamicznym modulem odkształcenia przedstawiono na rys. 2.

Dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{Vd}$  w zależności od stopnia zagęszczenia  $I_D$  można opisać zależnością w funkcji wielomianowej

$$E_{Vd} = 502,99I_D^2 - 459,07I_D + 134,74,$$

ze współczynnikiem determinacji  $R^2 = 0,8401$ .

Oznacza to, że stopień zagęszczenia  $I_D$  w 84% objaśnia zmienność nośności gruntu wyrażoną modulem dynamicznym  $E_{Vd}$ , a w 16% zmiana wartości  $I_D$  jest spowodowana czynnikami innymi niż zmianą zagęszczenia gruntu, np. rodzajem gruntu, wilgotnością, niedokładnością odczytu  $N_{10}$ .

Współczynnik korelacji na poziomie  $R = 0,91$  oznacza bardzo silną korelację między analizowanymi zmiennymi.

### Podsumowanie

Lekka płyta dynamiczna LWD i lekka sonda dynamiczna DPL są urządzeniami, których dokładność pomiarowa na głębokości badanych warstw gruntu nie jest zbieżna.

LWD jest przeznaczona do badania powierzchniowych warstw gruntu przy niewielkich głębokościach nieprzekraczających 60 cm.

Sonda DPL w powierzchniowych warstwach, do głębokości krytycznej, jest uznawana za urządzenie nieprecyzyjne. Lepsze efekty pomiarowe wykazuje na większych głębokościach, tj. poniżej 1 m pod poziomem badanego terenu. Stąd wynikają trudności porównawcze wyników badań uzyskanych tymi urządzeniami. Te trudności można wyeliminować, wykorzystując do badań grunt zagęszczany w sposób kontrolowany, tj. dbając o niezmienność rodzaju gruntu, równomierność ułożenia, stałą wilgotność warstw gruntu przed rozpoczęciem zagęszczania. Cechy te wystarczy kontrolować makroskopowo na sposób jakościowy.

Kluczowym elementem w badaniach było utrzymanie jednorodności nasypu, w szczególności w warstwach powierzchniowych, podczas oznaczania parametrów gruntu omawianymi urządzeniami. Dbalność w tym zakresie o warunki badań pozwoliła na rezygnację z korygowania liczby uderzeń na wpęd do głębokości krytycznej w badaniach sondą DPL.

Celem przeprowadzonych analiz było uzyskanie miarodajnych korelacji między wybranymi parametrami opisującymi stan zagęszczenia powierzchniowych warstw gruntu. Jest to istotne, gdy prowadzi się roboty ziemne i jest wymagane prze-

prowadzenie szybkich pomiarów stanu gruntu oraz określenie jakości każdej wykonanej warstwy nasypu.

Uzyskane w badaniach własnych wyniki należy traktować jako miarodajne dla określonej grupy gruntów, tj. mieszaniny piasków i pyłu grubego o wilgotności bliskiej wilgotności optymalnej przy stopniu zagęszczenia powyżej  $I_D = 0.5$ . Z danych literaturowych wynika, że korelacje tych parametrów w przypadku alternatywnych rodzajów gruntu mogą być inne [7].

#### PIŚMIENNICTWO I WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] Zorn 2005. Operating Manual for Light Drop Weight Tester ZFG 2000. Maschinenbauingenieur Bernd Zorn, Germany, Stendal 2005.
- [2] EN ISO 22476-2:2005 Geotechnical engineering – Field testing – Part 2: Dynamic probing.
- [3] PN-EN 1997-2:2009 Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- [4] PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczanie i opis.
- [5] PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego.
- [6] PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.
- [7] Badanie i ustalenie zależności korelacyjnych dla oceny stanu zagęszczenia i nośności gruntów niespoistych płytą dynamiczną. IBDiM, Warszawa listopad 2005.
- [8] Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych. Część 2: Załącznik. GDDP, Warszawa 1998.