

Badanie związków korelacyjnych parametrów zagęszczenia nasypu budowlanego w warunkach in situ

Maciej Kordian Kumor¹, Łukasz Aleksander Kumor¹, Joanna Farmas²

¹ Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy; e-mail: mkkumor@utp.edu.pl; lukasz.kumor@engeo.com.pl

² e-mail: joannafarmas@gmail.com;

Streszczenie: Geotechniczna ocena poprawności wykonania korpusu drogowego obejmuje szereg zagadnień, wśród których istotne są dobór i kontrola jakości wykonywanych robót ziemnych.

W artykule przedstawiono wyniki badań in situ nad określeniem zależności korelacyjnych pomiędzy parametrami określonymi przy pomocy badań płytą sztywną VSS – E_1 i E_2 , a uzyskanymi z badania lekką płytą dynamiczną LFG. Badania wskazują, iż określenie związków korelacyjnych pomiędzy parametrami charakteryzującymi uziarnienie (C_c , C_u , D_{10} , D_{20} , D_{30} , D_{60}), a parametrami odkształceniowymi uzyskanymi podczas sprawdzania stanu zagęszczenia piasku średniego równoziarnistego nasypu (\bar{E}_{vd} , E_1 , E_2 , I_0) jest aktualnie praktycznie trudne lub fizycznie złożone.

Słowa kluczowe: zagęszczanie nasypów, moduł dynamiczny, moduł statyczny, wskaźniki zagęszczenia

1. Wprowadzenie

Geotechniczna ocena poprawności wykonania każdego nasypu budowlanego obejmuje szereg zagadnień, wśród których szczególnie istotne są dobór stosowanego materiału oraz kontrola jakości wykonywanych robót ziemnych. Jak wiadomo, materiał gruntowy powinien charakteryzować się odpowiednim składem granulometrycznym i mineralnym, wilgotnością, itp., zapewniających uzyskanie wymaganych właściwości mechanicznych konstrukcji ziemnej. W przypadku nasypu drogowego należy uzyskać wartości liczbowe parametrów geotechnicznych zapewniające zaprojektowaną nośność, odkształcalność, trwałość i bezpieczeństwo konstrukcji [2].

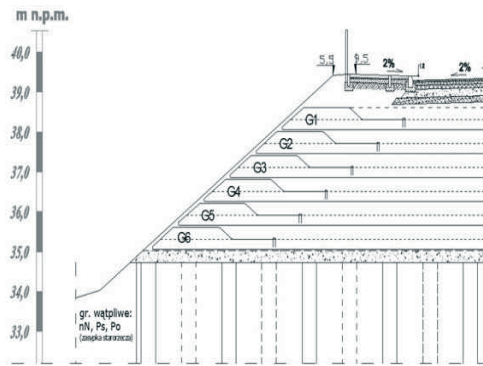
Zgodnie z zaleceniami normy PN-S-02205:1998, podstawowymi parametrami gruntów, umożliwiającymi poprawny dobór i ocenę przydatności materiału są: wskaźnik jednorodności uziarnienia – C_u oraz wskaźnik krzywizny – C_c . Ocenę stanu zagęszczenia dokonuje się zwykle na podstawie wartości umownych parametrów tj. wskaźnika zagęszczenia I_S lub stopnia zagęszczenia I_D . Alternatywnie można oceniać stan gruntów w nasypie na podstawie wartości wskaźnika odkształcenia – I_0 , który jest zdefiniowany jako stosunek modułów: odkształcenia wtórnego – E_2 do pierwotnego – E_1 , otrzymanych podczas badania płytą sztywną VSS [2]. Badanie kontrolne wykonywane płytą statyczną VSS jest stosunkowo czasochłonne i kłopotliwe w praktycznych warunkach utrzymania wysokiego tempa robót ziemnych.

Z praktycznych względów istnieje potrzeba skrócenia czasochłonności, w tym szczególnie oczekiwania na wynik zagęszczenia. Wymaga to przeprowadzenia badań w celu uzyskania oczekiwanego wyniku, najlepiej już w trakcie sprawdzających badań kontrolnych lub zastosowania empirycznych związków korelacyjnych.

W celu określenia istnienia możliwych związków fizycznych pomiędzy parametrami materiałowymi i kontrolowanymi parametrami mechanicznymi zagęszczenia nasypu w celu znalezienia sformalizowanej postaci, wykonano serie badań na poligonie doświadczalnym podczas realizacji dużego nasypu drogowego, rys. 1.



Rys. 1. Widok badanych warstw nasypu drogowego.



Rys. 2. Konstrukcja nasypu drogowego.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań in situ nad poszukiwaniem prostych zależności korelacyjnych pomiędzy podstawowymi parametrami materiałowymi, które w sposób jednoznacznie wiarygodny i prosty pozwoliłyby określić jakość zagęszczenia warstwy gruntu.

2. Charakterystyka wykonanych badań

2.1. Poligon badawczy

Poligonu badawczego stanowił nowo realizowany nasyp obejmujący odcinek ponad 700 metrowy drogi miejskiej. Nasyp korpusu drogowego zaprojektowano jako konstrukcję zbrojoną. Odcinek badawczy składał się z 6 warstw (od G1 do G6) wzmocnionych siatką geosyntetyczną oraz technicznych warstw wyrównujących, rys. 2.

W projekcie nasypu drogowego [5], określono szczegółowe specyfikacje i wytyczne geotechniczne odnośnie do wymaganych wartości liczbowych parametrów zagęszczenia poszczególnych warstw.

W analizowanym nasypie referencyjne wartości liczbowe parametrów geotechnicznych wynosiły:

- platforma robocza 30 cm, na podłożu korpusu drogowego wzmocnionym kolumnami CMC – wymagany wskaźnik zagęszczenia $I_S > 0,98$;
- kolejne warstwy konstrukcyjne korpusu drogowego (G1 - G6) formowane kolejno i zagęszczane, wymagany wskaźnik zagęszczenia $I_S > 1,00$;
- przykrycie geomateraca dwie warstwy po 25 cm, zagęszczane wibracyjnie – wskaźnik zagęszczenia $I_S > 1,03$.

W celu kontroli stanu zagęszczenia poszczególnych warstw gruntów, w projekcie określono minimalne wartości modułów odkształcenia, które stanowiły warunki progowe dla oceny poprawności zagęszczenia płytą sztywną VSS. Parametry progowe uznane za spełniające wymogi projektowe objęte kontrolą jakości to: moduł pierwotny odkształcenia podłoża o wartości $E_1 \geq 60,0$ MPa, moduł wtórny $E_2 \geq 120,0$ MPa, oraz wskaźnik odkształcenia $I_0 \leq 3,0$, [5].

2.2. Charakterystyka materiału zasypowego

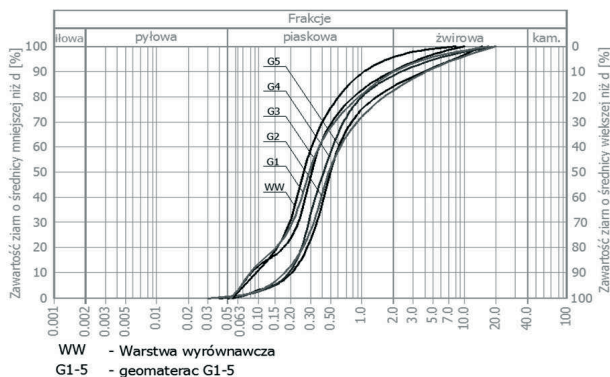
W programie badań przeprowadzono szczegółowe analizy geotechniczne identyfikujące cechy fizyczne i mechaniczne gruntów niespoistych zastosowanych do wbudowania w konstrukcję nasypu.

Materiał gruntowy zastosowany do wykonania nasypów był wybrany z trzech różnych złóż i charakteryzował się:

- uziarnieniem, rys. 3, umożliwiającym poprawne zagęszczenie i uzyskanie wymaganych właściwości mechanicznych nasypu, przy czym szczególne znaczenie w doborze materiału miały wytrzymałość, odkształcalność, mrozoodporność, wysadzinowość,
- odpowiednią wodoprzepuszczalnością, uniemożliwiającą podpiętrzanie wody

rzecznej w korpusie konstrukcji,

- brakiem zanieczyszczeń chemicznych i związków rozpuszczalnych w wodzie, mających szkodliwy wpływ na długotrwałą wytrzymałość i odkształcalność zbrojenia syntetycznego.



Rys. 3. Przykładowe krzywe granulometryczne gruntów badanego nasypu budowlanego.

Uziarnienie gruntu jest podstawową cechą fizyczną determinującą warunki jego zagęszczenia oraz uzyskanie odpowiednich właściwościach mechanicznych i hydraulicznych nasypu [10]. Oczekiwanym końcowym efektem zagęszczania nasypu jest uzyskanie gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_d , przy stałej wilgotności optymalnej [8] i nieprzekroczenie stanu równowagi dla maksymalnie zagęszczonego materiału w fazie zagęszczenia, przy wymaganej liczbie przejazdów maszyny zagęszczającej.

W poszukiwaniu związków i zależności korelacyjnych wykonano podstawowe analizy obejmujące wyjściowe grunty, tj. oznaczenie składu granulometrycznego oraz wilgotności optymalnej standardową metodą Proctora [7]. Badania powtarzano w trakcie realizacji nasypu dla próbek kontrolnych z każdej nowo wbudowywanej warstwy. Grunt pobierano z różnych, rozproszonych punktów warstwy, tak aby próbę można było uznać jako reprezentatywną. Badaniu poddano warstwę we wszystkich 5 geomateracach (G1-G5) oraz warstwę wyrównującą, rys. 2.

Na podstawie analizy granulometrycznej sporządzono krzywe uziarnienia dla każdej badanej warstwy (Rys. 3) oraz wyznaczono wartości średnic zastępczych i wskaźnika jednorodności uziarnienia – C_u oraz wskaźnika krzywizny – C_c , współczynnika filtracji. Wyniki badań przedstawiono w Tabeli 1.

Wyniki badań geotechnicznych polowych i laboratoryjnych poddano analizie matematycznej. Poszukiwano użytecznej, możliwie prostej formuły w postaci liniowej zależności funkcyjnej, dla potrzeby oceny skuteczności zagęszczenia wbudowywanego materiału gruntowego. Oczekiwaniem badawczym, najbardziej przydatnym z praktycznego punktu widzenia, byłoby ustalenie, zależności korelacyjnej pomiędzy modułem odkształcenia badanym płytą statyczną i modułem dynamicznym określonym przy pomocy płyty dynamicznej. Ponadto, poszukiwano innych związków formalnych pomiędzy zbadanymi parametrami geotechnicznymi gruntu.

Tabela 1. Wyniki (wartości średnie) geotechnicznych badań gruntów poszczególnych warstw nasypu

Warstwa	ρ_{ds}	$V(\rho_{ds})^*$	w_{opt}	$V(w_{opt})$	C_c	$V(C_c)$	C_u	$V(C_u)$
	(Mg/m ³)	(%)	(%)	(%)	(1)	(%)	(1)	(%)
G5	2,059	1,82	9,83	12,74	0,942	2,10	2,815	4,27
G4	2,036	2,85	9,79	3,20	1,031	49,00	3,432	30,83
G3	1,956	0,32	10,27	1,04	1,766	10,37	4,685	1,96
G2	2,019	0,53	9,61	2,71	1,563	34,23	4,660	26,43
G1	1,979	0,44	9,63	4,31	1,042	55,60	4,990	6,80
WW	1,968	0,67	9,88	6,38	1,322	3,00	3,595	6,10

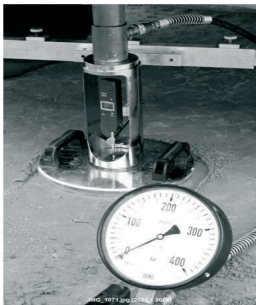
Warstwa	D_{10}	$V(D_{10})$	D_{20}	$V(D_{20})$	D_{30}	$V(D_{30})$	D_{60}	$V(D_{60})$
	mm	(%)	mm	(%)	mm	(%)	mm	(%)
G5	0,215	3,29	0,28	0,00	0,35	0,00	0,605	1,17
G4	0,160	39,73	0,237	28,10	0,290	32,49	0,555	58,58
G3	0,080	0,00	0,170	8,32	0,230	6,15	0,375	1,89
G2	0,117	42,76	0,230	15,97	0,293	14,42	0,517	28,48
G1	0,150	66,00	0,220	38,57	0,305	44,05	0,765	71,17
WW	0,085	8,32	0,145	14,63	0,185	3,82	0,305	2,32

V^* – współczynnik zmienności

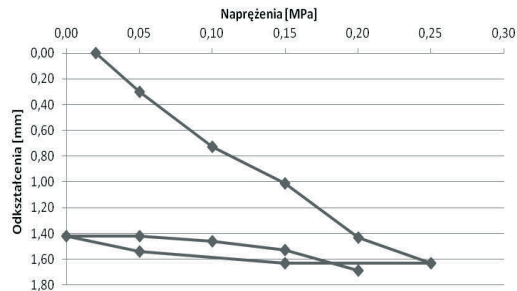
2.3. Wyniki badań polowych parametrów zagęszczenia

2.3.1. Badania modułów płytą VSS

W trakcie zagęszczania warstwy wykonywano, po każdym przejeździe walca, kontrolne badania sprawdzające płytą dynamiczną LFG oraz pobrano próbki typu A1, w celu oznaczenia wskaźnika zagęszczenia. Odbiór końcowy warstwy odbywał się na podstawie pozytywnych wyników badań uzyskanych płytą sztywną VSS, rys. 4.



Rys. 4. Badania modułów odkształcenia podłoża płytą VSS.



Rys. 5. Przykładowy wykres zależności odkształceń od zadanych obciążeń gruntu –VSS, warstwa G1.

Przykładowy wynik badań płytą VSS przedstawiono na rysunku 5.

Badanie stopnia zagęszczenia warstw metodą sondowania dynamicznego DPL, nie było możliwe ze względu na zbrojenie korpusu geosyntetykami. W przypadku, gdy stwierdzono niedostateczny stan, dogęszczano warstwę i ponownie kontrolowano zagęszczenie gruntu.

Badanie płytą sztywną wciskaną statycznie służy do określenia pierwotnego modułu odkształcenia podłoża E_1 oznaczonego w pierwszym obciążeniu warstwy oraz wtórnego modułu odkształcenia podłoża E_2 wyznaczonego analogicznie w powtórnym obciążeniu warstwy, [2].

2.3.2. Badania modułów lekką płytą dynamiczną LFG

Lekka płyta dynamiczna LFG przeznaczona jest do wyznaczenia dynamicznego modułu odkształcenia (wartość E_{vd}) warstwy podłoża gruntowego w budownictwie

drogowym, [7].

Zestawienie wyników końcowych badań zagęszczenia płytą dynamiczną LFG płytą VSS dla poszczególnych testowanych warstw przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Wyniki badań (uśrednionych) parametrów zagęszczenia wybranych warstw.

Wyniki badań płytą VSS:		Wyniki badań płytą dynamiczną LFG:	
WARSTWA III			
$E_1 = 33,09$ MPa	$E_1 = 25,86$ MPa	$E_{vd1} = 53,32$ MPa	
$E_2 = 118,42$ MPa	$E_2 = 132,35$ MPa	$E_{vd2} = 49,45$ MPa	
$I_0 = 3,58$	$I_0 = 5,12$	$E_{vd3} = 49,78$ MPa	
WARSTWA I			
$E_1 = 30,81$ MPa	$E_1 = 31,69$ MPa	$E_{vd1} = 61,48$ MPa	
$E_2 = 150,00$ MPa	$E_2 = 204,55$ MPa	$E_{vd2} = 57,69$ MPa	
$I_0 = 4,87$	$I_0 = 6,45$	$E_{vd3} = 47,97$ MPa	

Jak wiadomo, badanie płytą sztywną VSS wymaga każdorazowo kłopotliwego montażu urządzenia pomiarowego na nowym miejscu. W warunkach placu budowy jest więc badaniem czasochłonnym. Należy zapewnić odpowiednią przeciwwagę przez co niewykonalne są badania w wykopach. Utrudnieniem znaczącym w postępie prac jest praktyczna konieczność zatrzymania zagęszczenia dynamicznego odcinka na czas pomiaru. Istnieje wysokie ryzyko popełnienia w warunkach rzeczywistych szeregu błędów podczas badania, takich jak np.: błąd odczytu z czujników zegarowych lub błędy obliczeń, odczytu i zapisu wyników ciśnienia. Wymienione utrudnienia skłaniają nadzór budowlany w kierunku mniej uciążliwego oznaczania zagęszczenia gruntów, między innymi z wykorzystaniem płyty dynamicznej.

Badanie płytą LFG jest badaniem względnie szybkim w odniesieniu do badania VSS. Wyniki otrzymuje się bezpośrednio po pomiarze płytą LFG i można je zapisać wygodnie w rejestratorze współpracującym z płytą. Ponadto badanie można wykonać w niemal każdych warunkach, np. w wąskich głębokich wykopach, gdzie ustawienie pojazdu obciążającego płytę VSS byłoby niemożliwe.

W związku z rzeczywistą potrzebą podjęto próbę poszukania korelacji w warunkach realizacji in situ sześciowarstwowego nasypu pod korpus drogowy. Na podstawie otrzymanych wyników badań wykonano analizę matematyczną parametrów zagęszczenia otrzymanych lekką płytą dynamiczną i płytą statyczną z innymi parametrami fizycznymi charakteryzującymi materiał gruntowy.

2.4. Analiza statystyczna

W analizie uwzględniono łączne wyniki badań parametrów zagęszczenia 6 warstw nasypu, które określono w punktach pomiarowych oddalonych od siebie o około 1,0 m. Najpierw wykonywano badanie płytą LFG, następnie badanie płytą VSS. Dla każdej badanej warstwy nasypu wykonano po 5 badań VSS i 20 badań LFG. Łącznie dysponowano wystarczającą z punktu widzenia statystycznego licznością populacji charakteryzującą zagęszczenie, w tym dla płyty LFG 100 wyników i 55 wyników VSS. Wyniki poddano analizie matematycznej, szukając związków korelacyjnych pomiędzy parametrami odkształceniowymi uzyskanymi metodą VSS a modulem dynamicznym z badania płytą dynamiczną LFG, i charakteryzującymi cechy fizyczne (uziarnienie).

Wynikiem analizy statystycznej było uzyskanie informacji o funkcjach odpowiedzi, które można zapisać ogólnie następującymi wyrażeniami:

- zależności pomiędzy cechami fizycznymi a parametrami odkształceniowymi w nasypie:

$$E_{vd} = E_{vd}(w_{opt}, \rho_{ds}, C_u, C_c, D_{10}, D_{20}, D_{30}, D_{60}) \quad (1)$$

$$E_1 = E_1(w_{opt}, \rho_{ds}, C_u, C_c, D_{10}, D_{20}, D_{30}, D_{60}) \quad (2)$$

$$E_2 = E_2(w_{opt}, \rho_{ds}, C_u, C_c, D_{10}, D_{20}, D_{30}, D_{60}) \quad (3)$$

$$I_0 = I_0(w_{opt}, \rho_{ds}, C_u, C_c, D_{10}, D_{20}, D_{30}, D_{60}) \quad (4)$$

$$I_S = I_S(w_{opt}, \rho_{ds}, C_u, C_c, D_{10}, D_{20}, D_{30}, D_{60}) \quad (5)$$

- zależności pomiędzy parametrami zagęszczenia badanymi metodą VSS a modulem dynamicznym otrzymanym płytą dynamiczną LFG:

$$E_{vd} = E_{vd}(E_1, E_2, I_o, I_S) \quad (6)$$

$$E_1 = E_1(E_2, I_o, E_{vd}, I_S) \quad (7)$$

$$E_2 = E_2(E_1, I_o, E_{vd}, I_S) \quad (8)$$

$$I_o = I_o(E_1, E_2, E_{vd}, I_S) \quad (9)$$

gdzie: w_{opt} – wilgotność optymalna [%],

ρ_{ds} – maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego [Mg/m³],

C_u – wskaźnik różnoziarnistości gruntu [1],

C_c – wskaźnik krzywizny uziarnienia [1],

E_{vd} – dynamiczny moduł odkształcenia,

E_1 – pierwotny moduł odkształcenia [MPa],

E_2 – wtórny moduł odkształcenia [MPa],

I_o – wskaźnik odkształcenia [1],

$D_{10}, D_{20}, D_{30}, D_{60}$ – średnice zastępcze [mm],

oraz określenie, czy pomiędzy rozważanymi zmiennymi istnieje istotna, w sensie statystycznym, zależność korelacyjna. Analizowano wykresy rozrzutu. W prostokątnym układzie współrzędnych na osi odciętych zaznaczono wartości zmiennej niezależnej (zmiennej objaśniającej), a na osi rzędnych wartości zmiennej zależnej (zmiennej objaśnianej).

Pomiędzy badanymi zmiennymi poszukiwano w pierwszym przybliżeniu zależności liniowej w postaci funkcji, jako najbardziej użytecznej:

$$y = a + bx \quad (10)$$

gdzie: y – zmienna zależna, x – zmienna niezależna.

Zależność uznano za znaczącą w sensie statystycznym, gdy współczynnik determinacji przyjął wartość $r_{xy}^2 \geq 0,5$ lub współczynnik korelacji przyjął wartość $r_{xy} \geq 0,7$.

Otrzymane postaci funkcji rozrzutu oraz wartość współczynnika korelacji dla badanych funkcji przedstawiono w Tablicy 3 oraz na wybranych wykresach, rys.6.

Tablica 3. Parametry charakteryzujące korelacyjne wykresy rozrzutu dla zależności pomiędzy cechami fizycznymi a parametrami odkształceniowymi.

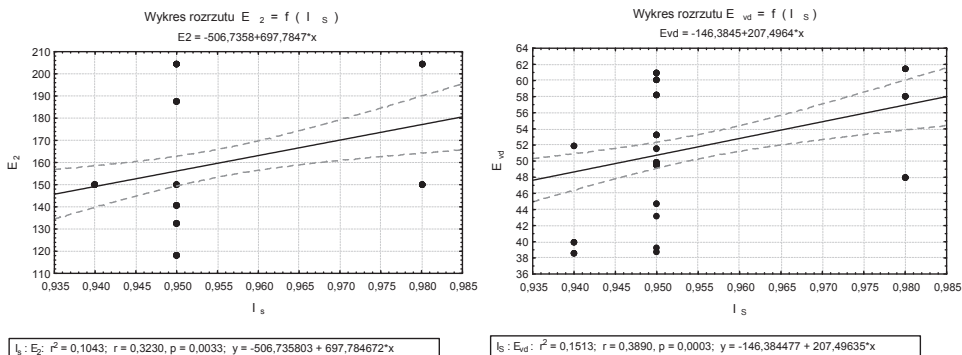
Lp.	Badana zależność	Postać funkcji liniowej	r_{xy}
1.	$E_{vd} = f(\rho_{ds})$	$E_{vd} = 267,288 - 108,295 * (\rho_{ds})$	- 0,7512
2.	$E_1 = f(\rho_{ds})$	$E_1 = -130,895 + 83,541 * (\rho_{ds})$	0,6908
3.	$E_1 = f(C_u)$	$E_1 = 49,943 - 3,263 * (C_u)$	- 0,7126
4.	$E_1 = f(I_S)$	$y = 246,731 - 220,169 * (I_S)$	- 0,6998
5.	$I_o = f(E_{vd})$	$y = 1,652 + 0,057 * (E_{vd})$	0,4201
6.	$I_o = f(I_S)$	$y = -39,519 + 46,184 * (I_S)$	0,6939

Z przeprowadzonej analizy statystycznej rezultatów badań zagęszczenia nasypu budowlanego wykonanego z równoziarnistych piasków średnich ($C_u = 2,8$ do 4,9) otrzymano zależności pomiędzy badanymi parametrami o słabej korelacji (Bobrowski 1980) lub dla części związków nie uzyskano spodziewanej zależności. Wyniki analizy statystycznej wskazują, że poszukiwane związki sformalizowane, przydatne praktycznie, nie potwierdzone zostały wynikami z badań na rzeczywistym obiekcie.

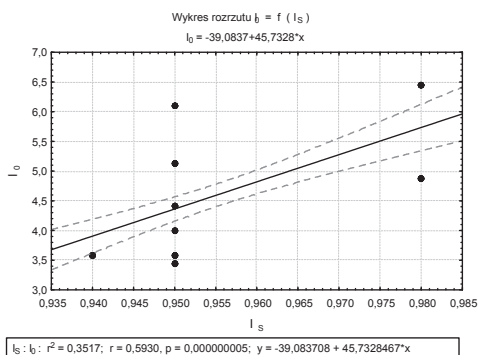
Wyjątek stanowi oczywista zależność między modułami odkształcenia pierwotnym i wtórnym a wskaźnikiem odkształcenia. Poza tymi zależnościami najwyższą wartość współczynnika r_{xy} otrzymano dla I_o w funkcji wskaźnika zagęszczenia I_S , gdzie współczynnik korelacji liniowej wynosi 0,6939, co i tak nie jest wartością, jaką można uznać za ścisłą. Zwłaszcza, że wielkość wskaźnika zagęszczenia otrzymano na podstawie badania laboratoryjnego z użyciem cylindra, które może być obciążone szeregiem błędów

Pośród sporządzonych wykresów rozrzutu szczególną uwagę zwrócono na dane

otrzymane dla poszukiwanych zależności pomiędzy statycznymi parametrami zagęszczenia badanymi metodą VSS a modulem dynamicznym otrzymanym płytą LFG.



Rys. 6. Przykładowe wykresy rozrzutu wybranych zależności.



Rys. 7. Przykładowe wykresy rozrzutu wybranych zależności.

Współczynnik korelacji osiągał w tym przypadku niskie wartości $r_{xy} < 0,5$, co można uznać za nieistotną praktycznie zależność lub obarczoną dużym błędem identyfikacji.

3. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazują, iż określenie związków korelacyjnych pomiędzy parametrami charakteryzującymi uziarnienie ($C_c, C_u, D_{10}, D_{20}, D_{30}, D_{60}$), a parametrami odkształceniowymi uzyskanymi podczas sprawdzania stanu zagęszczenia piasku średniego równoziarnistego nasypu (E_{vd}, E_1, E_2, I_0) jest w warunkach rzeczywistych praktycznie trudne lub fizycznie bardziej złożone. Ma to miejsce także w przypadku poszukiwania zależności pomiędzy parametrami zagęszczenia otrzymanymi metodą VSS (E_1, E_2, I_0), a modulem dynamicznym (E_{vd}) z badania płytą dynamiczną LFG, rys. 6. W przypadku poszukiwania związków korelacyjnych pomiędzy parametrami odkształceniowymi, modułami statycznymi i dynamicznymi, dodatkowo należałoby uwzględnić zależność i złożoność związków fizycznych pomiędzy różnymi warunkami pomiaru oraz rodzaj gruntu.

Wartości parametrów charakteryzujących skład granulometryczny gruntu są zróżnicowane, obarczone szeregiem addytywnych błędów, trudnych do wyeliminowania, współczynnik zmienności określony dla tych parametrów jest bardzo wysoki, tablica 1. Potwierdzają te wnioski stwierdzone fakty podczas ostatecznej kontroli i odbioru nasypu (Farmas i Wernitz, 2010; Kumor i in., 2008), gdzie uzyskano wymagane wartości parametrów zagęszczenia dla każdej z warstw, mimo, iż parametry C_u i C_c nie osiągały referencyjnych wartości liczbowych. Podobne wyniki uzyskano w praktyce dla niesortu wapiennego (Kumor, 2006).

Na tej podstawie można wysnuć wniosek, iż poszukiwanie niektórych zależności między parametrami charakteryzującymi skład granulometryczny gruntu, a parametrami charakteryzującymi jego zagęszczenie, jak wykazały analizy, funkcje od 3 do 11, tablica 3 i 4, należy uznać za nieistotne, rys. 7, również dyskusyjne z punktu widzenia związków fizycznych.

W świetle przeprowadzonych badań wstępnych na obiektach rzeczywistych (Farmas i Wernitz, 2010; Kumor, 2006; Kumor i in., 2008), powstało wiele nowych wątpliwości natury merytorycznej, (Meyer 2012, Sulewska 2009) związanych z brakiem wiarygodnego modelu fizycznego przy poszukiwaniu teoretycznego uzasadnienia szukanych związków.

Literatura

- 1 PN-B-04452:2002 Geotechnika. Badania polowe.
- 2 PN-S-02205: styczeń 1998 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- 3 Bobrowski D.: Probabilistyka w zastosowaniach technicznych, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 1980.
- 4 Farmas, J., Wernitz K. Geotechniczna ocena budowy korpusu drogowego wciągu ulicy..., Praca magisterska pod kierunkiem M. K. Kumor UTP, Bydgoszcz 2010.
- 5 Kumor Ł. A. Badanie zagęszczalności wybranych kruszyw dla potrzeb budowy poduszki kompensacyjnej fundamentu silosu. Pracownia Inżynieryjno-Geologiczna, Bydgoszcz, 2006, materiał niepublikowany.
- 6 Kumor, M.K., Kumor Ł.A., Wierzycka, E. Przebudowa ulicy wraz z mostem na rzece .. Pracownia Inżynieryjno-Geologiczna, Bydgoszcz. 2008 s. 150. Praca niepublikowana.
- 7 Meyer Zygmunt, Obliczenia inżynierskie osiadania fundamentów. Zapol Szczecin 2012.
- 8 Pisarczyk, S. Badania laboratoryjne i polowe gruntów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993a.
- 9 Pisarczyk, S. Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badań. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993b.
- 10 Sulewska M. J.: Sztuczne sieci neuronowe w ocenie parametrów zagęszczenia gruntów niespoistych. Studia z Zakresu Inżynierii, nr 64, IPPT PAN Warszawa-Białystok 2009.
- 11 Wiłun Z. Zarys Geotechniki. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Wydanie 7, Warszawa 2007.
- 12 Wysokiński L., Kotlicki W. Projektowanie konstrukcji oporowych, stromych skarp i nasypów z gruntu zbrojonego geosyntetykami. Nr 429/2007 ITB, Warszawa 2007.

The analysis on the correlation parameters of the embankment compaction under in situ conditions

Maciej Kordian Kumor¹, Łukasz Aleksander Kumor¹, Joanna Farmas²

¹ *Geotechnical Department, Faculty of Civil Engineering Architecture and Environment Engineering University Technology and Life Science, e-mail: mkkumor@utp.edu.pl, lukasz.kumor@engeo.com.pl*

² *e-mail: joannafarmas@gmail.com;*

Abstract: Geotechnical assessment of the implementation correctness of a road embankment wide range of issues, among which important selection and control of the quality of the earthworks are extremely significant.

The article presents results of in situ tests determining correlations between the depending parameters defined by a static plate – VSS test – E_1 and E_2 , and obtained from the study LFG Dynamic Load Plate. Studies indicate that the determination of the correlation between the parameters characterizing the particle size distribution (C_c , C_u , D_{10} , D_{20} , D_{30} , D_{60}), and the compaction parameters obtained by examining the compaction of sand embankment (E_{vd} , E_1 , E_2 , I_0) is physically complex and hence extremely difficult.

Keywords: embankment, compaction parameters, correlation