

PARAMETRY MECHANICZNE PLATFORMY ROBOCZEJ NA PODSTAWIE BADAŃ DMT

Katarzyna Białek, Lech Bałachowski

Politechnika Gdańska, Gdańsk

Streszczenie. Nośność platformy roboczej określana jest w sposób analogiczny do nośności podłoża uwarstwionego, w którym warstwa wierzchnia zbudowana z gruntu niespoistego spoczywa na słabonośnym podłożu z gruntu spoistego. Badanie DMT wykorzystano do wyznaczenia parametrów wytrzymałościowych podłoża (kąta tarcia wewnętrznego warstwy górnej i wytrzymałości na ścinanie bez odpływu podłoża słabonośnego) oraz do wyznaczenia modułu odkształcenia gruntu (M_{DMT}). Wyznaczono wartości charakterystyczne poszczególnych parametrów na podstawie wyników z pięciu badań dylatometrycznych na poletku doświadczalnym. Przeanalizowano różne metody oszacowania wartości charakterystycznej parametrów geotechnicznych.

Słowa kluczowe: wzmacnianie podłoża, wytrzymałość na ścinanie bez odpływu, kąt tarcia wewnętrznego gruntu, wartości charakterystyczne parametrów gruntu

WSTĘP

Projektowanie i odbiór techniczny platform roboczych stanowią wciąż niedoceniany element prawidłowego projektu wzmacniania podłoża, o czym świadczą występujące awarie platform i przewracanie się specjalistycznego sprzętu [Rychlewski 2015]. Rolą platformy roboczej jest umożliwienie bezpiecznego przemieszczania i pracy ciężkich maszyn budowlanych, takich jak: dźwigi gąsienicowe, pompy do betonu, wiertnice i palownice. Maszyny te przekazują na podłoże znaczne obciążenia w postaci sił pionowych działających na dużych mimośrodkach czy dużych momentów wywracających. Niewystarczająca miąższość platformy, nieodpowiedni dobór jej materiału oraz niejednorodność i małe jego zagęszczenie, obecność kawern, przeszkód w gruncie czy lokalnych stref podłoża o zdecydowanie obniżonych parametrach, wysoki poziom wód gruntowych oraz niewłaściwe odwodnienie platformy roboczej są głównymi przyczynami awarii [Du-

Adres do korespondencji – Corresponding author: Lech Bałachowski, Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, ul. G. Narutowicza 11, 80-233 Gdańsk, e-mail: lech.balachowski@pg.gda.pl

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2016

szyńska i Bialek 2010, 2013, Bialek 2011, 2012, 2013]. Platforma robocza wykonana na podłożu słabonośnym może być konstrukcją tymczasową lub na trwale wbudowaną w konstrukcję nasypu [Bolt i Bialek 2011]. Jest ona wykonywana z gruntów naturalnych niespoistych lub spoistych, niekiedy stabilizowanych, lub z gruntów antropogenicznych (materiał rozbiórkowy, destrukta betonowy). Istotną rzeczą jest również odpowiednie odseparowanie geosyntetykiem słabonośnego podłoża i nasypu platformy oraz ewentualne zbrojenie geosyntetyczne samej platformy [Duszyńska i Bialek 2011].

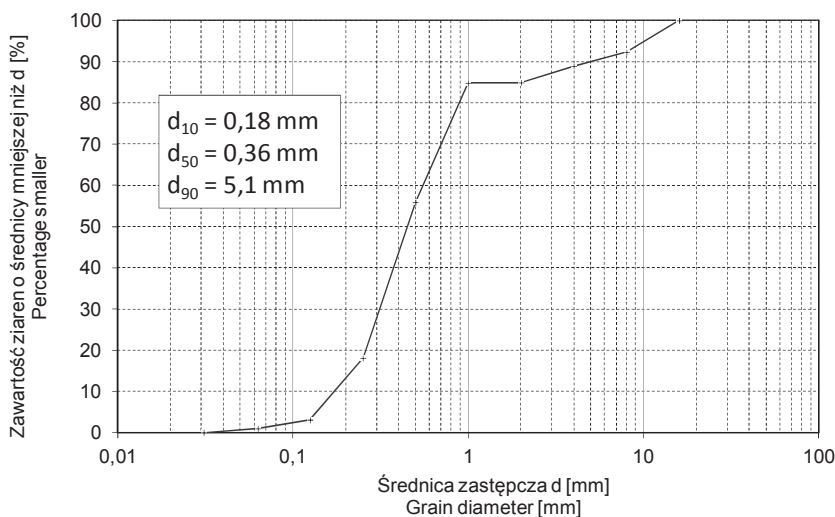
Odbiór techniczny platformy odbywa się najczęściej poprzez badanie modułu odkształcenia w próbnym obciążeniu płytą sztywną VSS lub płytą dynamiczną. Podejście takie pozwala jedynie oszacować odkształcalność wierzchniej warstwy platformy w zakresie do jednej średnicy płyty. Nie daje jednak żadnych informacji odnośnie do parametrów wytrzymałościowych materiału platformy i samego podłoża, które są niezbędne w obliczeniach sprawdzających nośność platformy [Bialek 2013, Bałachowski i Bialek, 2015a]. W badaniach odbiorowych wykorzystuje się również kryteria minimalnego stopnia lub wskaźnika zagęszczenia oraz wskaźnika *CBR*. W drogownictwie podejmowane już były próby wykorzystania badania DMT do kontroli zagęszczenia podbudowy oraz powiązania wyników badań dylatometrycznych ze wskaźnikiem *CBR* lub wskaźnikiem zagęszczenia [Borden i in. 1986, Marchetti 1994]. W niniejszym artykule zaproponowano kolejny krok rozszerzający zastosowania badania DMT do oszacowania parametrów wytrzymałościowych i odkształcenia zarówno materiału platformy, jak i słabonośnego podłoża. Tak uzyskane dane przeanalizowano pod kątem możliwości wyznaczania wartości charakterystycznych parametrów geotechnicznych materiału platformy i podłoża.

METODYKA BADAŃ

Rozpatrzono przypadek platformy pod projektowanym nasypem drogowym na terenie Żuław Wiślanych, wykonanej z piasku średniego na słabonośnym podłożu z namulów. Miąższość platformy wynosi około 60÷80 cm. Platforma robocza wykonana jest z piasku średniego o wskaźniku różnoziarnistości $U = 3,1$ (rys. 1), czyli z gruntu cechującego się odpowiednią zagęszczalnością. Dodatkowo między materiałem platformy a podłożem ułożono warstwę geotkaniny separacyjnej. Badania kontrolne obejmowały badania laboratoryjne materiału platformy oraz badania dylatometryczne. Badania DMT wykonano z poziomu platformy roboczej, z wykorzystaniem urządzenia Rig-220 (rys. 2). Ze względu na nieduże siły potrzebne do zagłębiania dylatomu podczas badań nie stosowano kotwienia urządzenia, co zapobiega uszkodzeniom samej platformy i znacznie przyspiesza przebieg badań. Testy przeprowadzono zgodnie z zaleceniami [Marchetti i in. 2001], ale w materiale platformy pomiary zagęszczono w odstępach co 5 cm, zamiast standardowych 20 cm (patrz prace dotyczące zagęszczalności podbudowy nasypu [Marchetti 1994]). Pozwala to na uzyskanie bardziej szczegółowego profilu parametrów w samej platformie i uwzględnienie wpływu procesu zagęszczania materiału platformy na przyrost jej parametrów mechanicznych. Łącznie wykonano pięć sondowań DMT.

Zgodnie z zaleceniem Eurokodu wartości charakterystyczne parametrów geotechnicznych należy traktować jako ostrożne oszacowanie wielkości wpływającej na dany stan graniczny. Jeśli warstwa gruntu jest jednorodna, tj. wykazuje stałe parametry w całej





Rys. 1. Krzywa uziarnienia materiału platformy roboczej

Fig. 1. Granulometric curve of the platform material



Rys. 2. Badania dylatometryczne na platformie roboczej

Fig. 2. Dilatometer tests on working platform

swej miąższości, to zbiór danych geotechnicznych można poddać analizie statystycznej, gdzie każdy pomiar posiada taką samą wagę, i wyznaczyć wartość średnią parametru geotechnicznego (X_m). W artykule skoncentrowano się na stanie granicznym nośności, tj. przeanalizowano sposób wyznaczania wartości charakterystycznych kąta tarcia wewnętrznego materiału platformy i wytrzymałości na ścinanie bez odpływu słabonośnego podłoża. W analizie przyjęto, że obie warstwy są jednorodne.



Wartość charakterystyczną parametru geotechnicznego (X_k) można wyznaczyć następująco [Schneider 1999]:

$$X_k = X_m - 0,5s_x \quad (1)$$

gdzie: s_x jest średnim odchyleniem standardowym, a 0,5 jest arbitramnie przyjętym współczynnikiem.

Równanie (1) można przekształcić [Knappett i Craigh 2012]:

$$(X_k) = X_m (1 - k_n \cdot \text{COV}) \quad (2)$$

gdzie współczynnik k_n zależy od liczebności n zbioru danych do wyznaczenia wartości średniej X_m , a COV jest kowariancją zbioru danych.

Kowariancję można wyznaczyć z zależności:

$$\text{COV} = \frac{S_x}{X_m} \quad (3)$$

Schneider [1999] podaje typowe, bezpieczne wartości kowariancji parametrów geotechnicznych. W przypadku kąta tarcia wewnętrznego i wytrzymałości na ścinanie bez odpływu wynoszą one odpowiednio 0,1 i 0,4. Typowe wartości kowariancji parametrów geotechnicznych w zależności od metody badań, tj. jakości danych uzyskiwanych w badaniach laboratoryjnych lub polowych, przedstawiono w tabeli 1 [Phoon i Kulhavy 2008].

Tabela 1. Typowe wartości kowariancji parametrów geotechnicznych
Table 1. Typical values of coefficient of variation for geotechnical parameters

Parametr geotechniczny Geotechnical parameter	Zmienność parametru Property variability	COV
Efektywny kąt tarcia wewnętrznego Effective angle of internal friction	niska ^a low ^a	0,05–0,1
	średnia ^b medium ^b	0,1–0,15
	wysoka ^c high ^c	0,15–0,2
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu Undrained shear strength	niska ^a low ^a	0,1–0,3
	średnia ^b medium ^b	0,3–0,5
	wysoka ^c high ^c	0,5–0,7

^a Typowe wartości uzyskane bezpośrednio z wysokiej jakości badań laboratoryjnych lub polowych.
Typical of good quality direct lab or field measurements.

^b Typowe wartości z korelacji pośrednich na podstawie dobrej jakości badań polowych, za wyjątkiem SPT.
Typical of indirect correlations with good field data, except for the SPT.

^c Typowe wartości z korelacji pośrednich na podstawie SPT lub zależności empirycznych.
Typical of indirect correlations with SPT and with strictly empirical correlations.

Zakładając normalny rozkład danych, można wyznaczyć wartość współczynnika k_n , odpowiadającą 95% pewności, że wyznaczona wartość średnia X_m znajduje się poniżej rzeczywistej średniej:

$$k_n = 1,64 \sqrt{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

Wzór (2) można stosować szczególnie wtedy, gdy trzeba oszacować wartość charakterystyczną parametru w stanie granicznym użyteczności. Szuka się wówczas wartości parametru zbliżonej do wartości średniej, tak aby w sposób wiarygodny oszacować osiadania. W przypadku stanu granicznego nośności poszukuje się dolnego, bezpiecznego oszacowania parametru geotechnicznego. W takim podejściu wartość charakterystyczna parametru X_k odpowiada fraktalowi 5%, a wartość współczynnika k_n wyznacza się ze wzoru:

$$k_n = 1,64 \sqrt{\frac{1}{n} + 1} \quad (5)$$

Istnieje wówczas jedynie prawdopodobieństwo 5%, że w danej warstwie wystąpi element o wytrzymałości mniejszej niż X_k . Podejście takie zaleca się [Knappett i Craig 2012] w sytuacji dużej zmienności parametrów w obrębie analizowanej warstwy. Gdy zmienność parametrów jest mniejsza, proponuje się przyjmowanie wartości charakterystycznej między tą odpowiadającą fraktalowi 5% a równą 95% wartości średniej.

WYNIKI BADAŃ DMT

Wyniki badań DMT opracowano, wykorzystując typowe zależności korelacyjne [Marchetti 1980, Marchetti i in. 2001]. Wyniki z jednego z punktów badawczych przedstawiono na rysunku 3, gdzie można wyraźnie wyróżnić niespoisty materiał platformy o dużej wartości wskaźnika składowej poziomej naprężenia i modułu ściśliwości wyznaczonego z badania DMT. Wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego ϕ' materiału platformy wyznaczono z zależności:

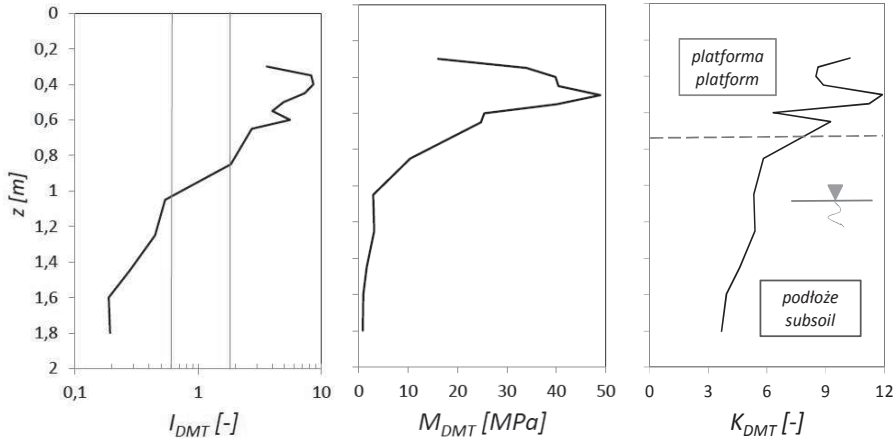
$$\phi_{\text{safe}} = 28 + 14,6 \cdot \log K_{\text{DMT}} - 2,1 \cdot \log^2 K_{\text{DMT}} \quad (6)$$

Wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu (c_u) podłoża określono:

$$c_u = 0,22 \cdot \sigma'_{v0} (0,5 \cdot K_{\text{DMT}})^{1,25} \quad (7)$$

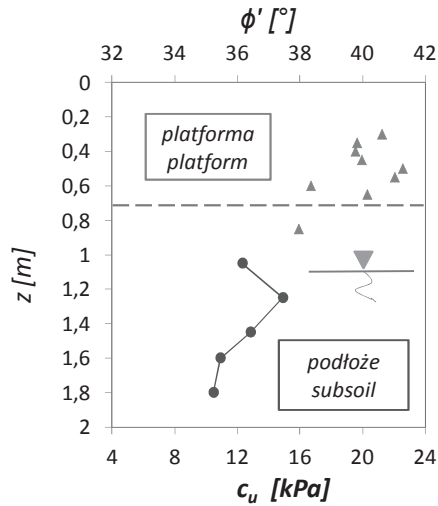
W przypadku bardziej zaawansowanego podejścia należałoby skalibrować wyniki badań dylatometrycznych za pomocą badania VT oraz opracować lokalne korelacje do wyznaczania wytrzymałości gruntu na ścinanie bez odpływu [Młynarek i in. 2015]. W analizowanym węźle badawczym materiał platformy cechuje się efektywnym kątem tarcia wewnętrznego w przedziale od 38 do 42 stopni (rys. 4). Grunt słabonośny w postaci namułu charakteryzuje się małą, rzędu kilkunastu kPa, wytrzymałością na ścinanie bez odpływu. Wartości parametrów wytrzymałościowych materiału platformy i podłoża,





Rys. 3. Wyniki badania DMT

Fig. 3. DMT test results



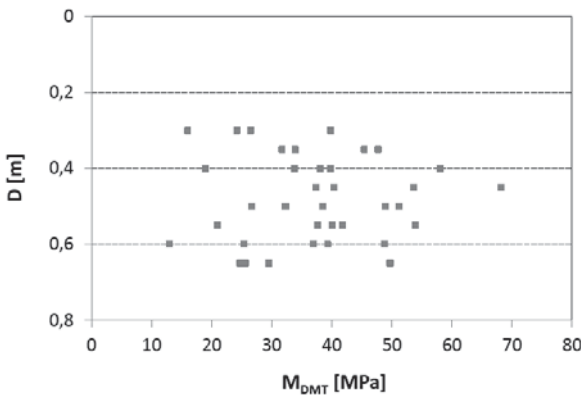
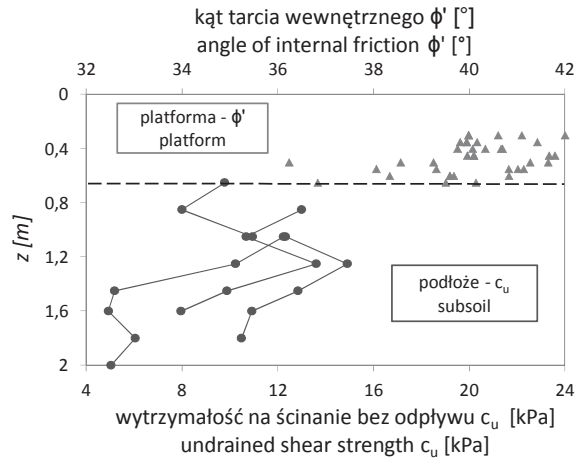
Rys. 4. Parametry wytrzymałościowe wyznaczone z badania DMT

Fig. 4. Strength parameters based on DMT

wyznaczonych na podstawie badań dylatometrycznych w pięciu węzłach sondowań, zestawiono na rysunku 5. Wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego materiału platformy zawarte są w przedziale od 36 do 42 stopni, a wartości wytrzymałości na ścinanie bez odpływu słabonośnego podłoża – od 5 do 15 kPa.

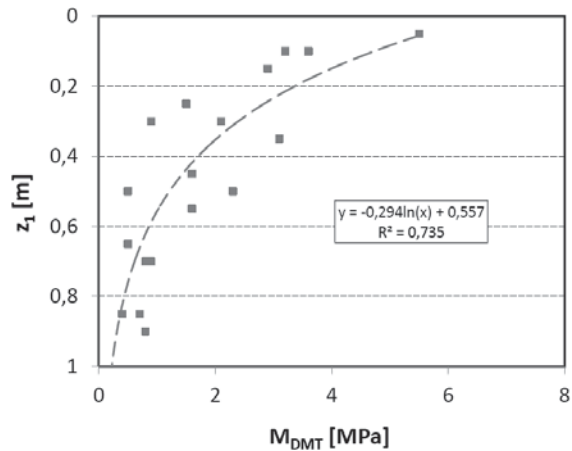
Moduł ściśliwości z badania DMT w warstwie platformy przedstawiono na rysunku 6. Oszacowane wartości M_{DMT} zawierają się w szerokim przedziale – od 13 do 69 MPa, co wynika z nierównomiernego zagęszczenia materiału platformy oraz zróżnicowania składowej poziomej naprężenia w tej warstwie. Wartości M_{DMT} w podłożu słabonośnym maleją wyraźnie wraz z głębokością (rys. 7), co może świadczyć o prekonsolidacji warstwy namulów.

Rys. 5. Zestawienie parametrów wytrzymałościowych wyznaczonych z badań DMT
 Fig. 5. Overview of strength parameters determined with DMT



Rys. 6. Moduł ściśliwości z badania DMT warstwy platformy
 Fig. 6. Constrained modulus from DMT in platform layer

Rys. 7. Moduł ściśliwości z badania DMT warstwy słabonośnej
 Fig. 7. Constrained modulus from DMT in weak subsoil



DYSKUSJA WYNIKÓW

Wyniki analizy statystycznej danych dotyczących efektywnego kąta tarcia wewnętrznego, wytrzymałości na ścinanie bez odpływu oraz modułu ściśliwości materiału platformy przedstawiono w tabeli 2, gdzie podano wartości średnie (X_m), odchylenie standardowe (s_x), kowariancję (COV) oraz liczebność próby (n). Dodatkowo przeanalizowano sytuację odrzucenia 4 najsłabszych wyników wytrzymałości na ścinanie bez odpływu w jednym z węzłów sondowań. Odrzucone wyniki znacznie odbiegały od pozostałych, a ponadto zostały one wyznaczone w dolnej strefie analizowanej warstwy namulów, poza zakresem aktywnego oddziaływania fundamentu. Należy zauważyć, że wyliczone kowariancje (tab. 2) są mniejsze od ostrożnego, bezpiecznego oszacowania według Schneidera [1999] oraz odpowiadają małej zmienności parametrów (tab. 1).

Tabela 2. Analiza statystyczna parametrów geotechnicznych
Table 2. Statistical analysis of geotechnical parameters

Miara Measure	Parametr Parameter			
	ϕ'	c_u	c_u (bez najsłabszych namulów) c_u (without the weakest muds)	M_{DMT} platformy M_{DMT} of platform material
X_m	39,97°	9,95 kPa	11,19 kPa	37,71 MPa
s_x	1,34	3,02	1,97	11,55
COV	0,034	0,304	0,176	0,306
n	41	19	15	41

W przypadku licznej próby danych wartości X_k uzyskane z równań (1) i (2) będą zbliżone (patrz wartości charakterystyczne kąta tarcia wewnętrznego w tab. 3, w. 1 i 3). Gdy liczba n jest niewielka, to oszacowanie wartości X_k równaniem (1) będzie gorsze (patrz wartości charakterystyczne wytrzymałości na ścinanie bez odpływu w tab. 3, w. 1 i 3).

Biorąc pod uwagę małą zmienność kąta tarcia wewnętrznego materiału platformy, sposób wyznaczania tego parametru na podstawie wysokiej jakości badań polowych oraz wykorzystywania korelacji będącej dolnym oszacowaniem wartości kąta tarcia

Tabela 3. Wartości charakterystyczne parametrów geotechnicznych
Table 3. Characteristic values of geotechnical parameters

Miara Measure	Parametr Parameter			
	ϕ'	c_u	c_u (bez najsłabszych namulów) c_u (without the weakest muds)	M_{DMT} platformy M_{DMT} of platform material
X_k wz. (1)	39,97°	9,95 kPa	11,19 kPa	37,71 MPa
k_n (95%) wz. (4)	0,256	0,376	0,423	0,27
X_k (95%) wz. (2)	39,62°	8,81 kPa	10,36 kPa	34,6 MPa
k_n (5%) wz. (5)	1,660	1,683	1,694	1,662
X_k (5%) wz. (2)	37,74°	4,86 kPa	7,86 kPa	18,51 MPa

wewnętrznego [Marchetti i in. 2001], autorzy proponują przyjęcie wartości charakterystycznej efektywnego kąta tarcia wewnętrznego, równej 39° . Ze względu na większą zmienność wytrzymałości na ścinanie bez odpływu w warstwie namułów oraz niewielką liczebność próby autorzy proponują przyjęcie wartości charakterystycznej tego parametru na poziomie 5 kPa w przypadku uwzględnienia wszystkich wartości lub 8 kPa, gdy pominie się najmniejsze wyznaczone wartości c_u w namułach. Ostatnie podejście wydaje się być bardziej uzasadnione. Należy podkreślić, że w niniejszych rozważaniach założono stałą wartość c_u w obrębie analizowanej warstwy, co jest istotnym uproszczeniem. Dysponowanie liczniejszą próbą danych mogłoby pozwolić na bardziej szczegółowe analizy z uwzględnieniem hipotezy malejącej wytrzymałości na ścinanie bez odpływu wraz z głębokością. Taki scenariusz, bliższy rzeczywistości, w którym c_u maleje wraz z głębokością od początkowej wartości 10 kPa, rozważano w analizie granicznej nośności platformy roboczej poddanej obciążeniom od maszyny [Bałachowski i Białek 2015b].

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono metodę wyznaczania parametrów geotechnicznych podłoża uwarstwionego na podstawie wyników badań dylatometrycznych. Zaproponowana procedura może być wykorzystywana do kontroli jakości platform roboczych. Wyznaczone parametry geotechniczne cechują się małą wartością kowariancji. Przeanalizowano różne metody określania wartości charakterystycznej parametrów geotechnicznych na podstawie analizy statystycznej, koncentrując się na wyznaczeniu parametrów wytrzymałościowych podłoża. Przyjęty sposób wyznaczania wartości charakterystycznych zależy od rozpatrywanego stanu granicznego, tj. w przypadku stanu granicznego nośności najbardziej miarodajne jest oszacowanie dolne, w stanie granicznym użyteczności będzie to ostrożne oszacowanie wartości średniej. Dużą rolę odgrywa również ocena jakości uzyskanych danych oraz wiarygodność stosowanych metod, co daje oceniającemu możliwość pewnego szacowania wyników w przedziale wartości charakterystycznych uzyskanych różnymi metodami analizy statystycznej. Inwestycja w dobrej jakości badania polowe oraz liczny zbiór danych pozwala na zmniejszenie wartości kowariancji oraz zawężenie przedziału zmienności wartości charakterystycznych parametrów geotechnicznych. Liczniejsza populacja danych stwarza również możliwość przyjęcia bardziej zaawansowanych hipotez odnośnie do przestrzennego rozkładu danej cechy w obrębie warstwy. Wartości charakterystyczne parametrów geotechnicznych wyznaczono w badaniach polowych w strefie przypowierzchniowej przy bardzo małej wartości składowej poziomej naprężenia w gruncie. Zastosowanie badania dylatometrycznego, z jego ścieżką obciążenia, pozwala na pełniejsze uwzględnienie zmian składowej poziomej naprężenia w materiale platformy wskutek jej zagęszczania, co stanowi dodatkową zaletę w stosunku do badań CPTU. Parametry geotechniczne materiału platformy, wyznaczone z badania DMT, należy odpowiednio skorygować w zależności od przewidywanego poziomu naprężenia w gruncie w rozpatrywanym projekcie.

PIŚMIENNICTWO

- Bałachowski, L., Białek, K. (2015a). Bearing capacity of the working platform with kinematic method. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 37, 1, 3–8.
- Bałachowski, L., Białek, K. (2015b). Bearing capacity of working platforms using distinct layout optimization method. *Proceedings Int. Conference on Geotechnical Risk and Safety*. Rotterdam, October, 473–478.
- Białek, K. (2011). Projektowanie platform roboczych z zastosowaniem geosyntetyków. Badania i analizy wybranych zagadnień z budownictwa. XI Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa w Szczyrku, 12–13 maja, 41–48.
- Białek, K. (2012). Projektowanie konstrukcji tymczasowych służących wsparciu ciężkiego sprzętu do modyfikacji podłoża gruntowego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Inżynieria Lądowa i Wodna*, 1, 13–22.
- Białek, K. (2013). Analysis of the punching failure mechanism in working platforms. *Proceedings of the 5th International Young Geotechnical Engineers' Conference*, 399–402.
- Bolt, A., Białek, K. (2011). Wykorzystanie platform roboczych w konstrukcjach trwałych na przykładzie podbudowy pod zbiorniki na olej napędowy. VI Krakowska Konferencja Młodych Uczonych, 29 września – 1 października. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, 209–218.
- Borden, R.H., Aziz, C.N., Lowder, W.M., Khosla, N.P. (1986). Evaluation of Pavement Subgrade Support Characteristics by Dilatometer Test. *Proc. 64th Annual Meeting of the Transportation Res. Board*, June, TR Record 1022.
- Duszyńska, A., Białek, K. (2010). Wykonawstwo platform roboczych pod ciężki sprzęt budowlany. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 6, 732–737.
- Duszyńska, A., Białek, K. (2011). Projektowanie platform roboczych z zastosowaniem geosyntetyków. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 4, 265–271.
- Duszyńska, A., Białek, K. (2013). Problemy związane z wymiarowaniem platform roboczych. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 4, 3, 199–204.
- Knappett, J.A., Craig, R.F. (2012). *Craig's soil mechanics*. Spon Press.
- Marchetti, S. (1980). In Situ Tests by Flat Dilatometer. *Journal of Geotechnical Engineering Division ASCE*, 106, GT3, 299–321.
- Marchetti, S. (1994). An example of use of DMT as a help for evaluating compaction of subgrade and underlying embankment. *Internal Technical Note, Draft*.
- Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G., Calabrese, M. (2001). The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations. A Report by the ISSMGE Committee TC16. *Proc. IN SITU, Int. Conf. on in situ Measurement of Soil Properties*, Bali, Indonesia, May, 41.
- Młynarek, Z., Wierzbicki, J., Bogucki, M. (2015). Geotechnical characterization of peat and gytja by means of different in-situ tests. *Proc. of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*. Edinburgh, September, 3097–3102.
- Phoon, K.K., Kulhavy, F.H. (2008). *Reliability-based Design in Geotechnical Engineering: Computations and Applications*. Taylor & Francis, UK, 344–383.
- Rychlewski, P. (2015). Przygotowanie placu budowy do robót geotechnicznych. *Geoinżynieria. Drogi, Mosty, Tunele* 4, 28–32.
- Schneider, H.R. (1999). Determination of characteristic soil properties. *Proceedings of the 12th European Conference on SMFE*. Balkema, Rotterdam, 1, 273–281.

MECHANICAL PARAMETERS OF WORKING PLATFORM BASED ON DMT

Abstract. Bearing capacity of working platform is determined in a similar way as for layered subsoil, where the upper layer from cohesionless soil is resting on soft cohesive strata.

DMT test was used to estimate soil strength parameters (angle of internal friction for the upper layer and undrained shear strength of soft subsoil) and constrained modulus M_{DMT} . The characteristic soil parameters were determined with five dilatometer tests on trial field. Different estimation methods of characteristic value of soil parameters were considered.

Key words: soil improvement, undrained shear strength, angle of internal friction, characteristic soil parameters

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 26.07.2016

Cytowanie: Biaek, K., Bałachowski, L. (2016). Parametry mechaniczne platformy roboczej na podstawie badań DMT. Acta Sci. Pol. Architectura, 15 (3), 31–41.

