

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2018), 27 (2), 175–185
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2018), 27 (2)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2018), 27 (2), 175–185
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2018), 27 (2)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2018.27.2.17

Karolina KOBRZYŃSKA, Piotr KANTY, Kuba JAKUBOWSKI

Menard Polska Sp. z o.o.

Analiza kalibracji wyników sondowań CPT z próbnymi odwiertami kolumn przemieszczeniowych CMC

Analysis of CPT results calibration with CMC test drilling

Słowa kluczowe: ciśnienie hydrauliczne KDK, kalibracja, parametry wiercenia, parametr zastępczy, sondowanie CPT

Key words: hydraulic pressure KDK, calibration, drilling parameters, replacement parameter, CPT probing

Wprowadzenie

Analiza parametrów wiercenia oraz ich kalibracja względem warunków gruntowych stanowią zasadnicze elementy projektowania oraz wykonywania kolumn przemieszczeniowych CMC.

Kolumny przemieszczeniowe CMC (ang. *controlled modulus columns*) to technologia wzmocnienia podłoża gruntowego, która pozwala na wzmocnienie gruntów słabonośnych. Kolumny wykonuje się za pomocą maszyny wiertniczej wyposażonej w głowicę o odpowiednim momencie obrotowym i statycznym nacisku pionowym. W wyniku wprowadzania świdra przemieszcze-

niowego podłoża gruntowe przesuwają się w kierunku poziomym do osi wykonywanego otworu, a grunt wokół wykonywanej kolumny zmniejsza swoją objętość. Po uzyskaniu projektowanej głębokości, rurką iniekcyjną zamontowaną na końcu świdra wprowadza się pod ciśnieniem do kolumny mieszaninę betonową. Materiał do wykonania kolumn przemieszczeniowych dobierany jest tak, aby uzyskać zaprojektowaną sztywność kolumn w stosunku do otaczającego je gruntu.

Pierwszym etapem procesu budowlanego jest projektowanie, podczas którego należy przyjąć wybrane z licznej literatury przedmiotu podejście obliczeniowe. Jednym z najbardziej popularnych jest propozycja Bustamantego i Ganeseliego (1982). Na podstawie przekazanych obciążeń oraz dokumentacji geotechnicznej zostają określone parametry kolumny, takie jak: średnica, długość kolumny oraz zagłębienie w grunty nośne (jeżeli kolumna nie jest zawieszona).

Kontrola zagłębienia kolumny, która pozwala na uzyskanie projektowanej nośności, jest przeprowadzana na budowie na podstawie kalibracji maszyny wiertniczej.

Kalibracją jest próbny odwiert. Przeprowadza się go w bliskiej odległości od wcześniej wykonanego otworu geotechnicznego oraz sondowania CPT/ CPTU, którego celem jest określenie parametrów wiercenia maszyny głównie na głębokości występowania warstwy gruntów nośnych. Wykonuje się ją w celu weryfikacji założeń projektowych, zwłaszcza w kolumnach pracujących częściowo podstawą. Podczas wiercenia rejestrowane są parametry wykonania kolumny, co umożliwia ciągłą, jakościową kontrolę profilu geotechnicznego w danym miejscu. W rezultacie otrzymuje się metrykę kolumny, która jest rejestrowana w funkcji czasu lub głębokości. Liczba otrzymanych parametrów jest uzależniona od rodzaju i liczby czujników zamontowanych na maszynie.

Badania geotechniczne a kalibracja

Rozważając problem badań geotechnicznych i ich związku z zagadnieniem kalibracji maszyny, należy uwzględnić dwie analogie:

- analogię badania i sposobu wzmocnienia podłoża w postaci kolumny,
- analogię metodologii przeprowadzania badania gruntu do sposobu wykonywania kolumny.

Jeżeli chodzi o pierwszy aspekt, to sondowanie CPT wykazuje najwięcej podobieństw do pracy kolumny/pała. Po pierwsze badanie to pozwala określić parametr związany z podstawą elemen-

tu (opór pod podstawą stożka – q_c) oraz jego poboczną (tarcie na tulei ciernej – f_s). Kolumnę/pał również opisuje się nośnością podstawy i poboczniczy. Po drugie w badaniu CPT rejestrowany jest parametr gruntu w stanie granicznym, podobnie jak w trakcie próbnego obciążenia elementu palowego na potrzeby określenia nośności. O analogii tego badania do metodologii pracy kolumny/pała świadczy powszechne stosowanie do wymiarowania kolumny/pała metod bezpośrednio wykorzystujących q_c i f_s (Gwizdała, 2010; Mayne, 2007). W Polsce najbardziej rozpowszechniona jest metoda, w której wykorzystuje się tylko parametr q_c oraz znajomość rodzaju gruntu (Bustamante i Ganaselli, 1982).

Sposób wykonania kolumny przemieszczeniowej koresponduje z metodologią badań gruntu, ale nie jest z nią całkowicie zgodny. Sondowanie CPT wykonuje się ze stałą prędkością penetracji $20 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Według konkluzji z artykułu Poulsena, Nielsena oraz Ibse- na (2013) skutkuje to badaniem gruntu w warunkach z odpływem w piaskach, w warunkach bez odpływu w ilach oraz w warunkach częściowego odpływu w gruntach pylastych. W przypadku wykonywania kolumn przemieszczeniowych prędkości penetracji są praktycznie zawsze większe niż teoretycznie, tak więc opór stawiany przez grunty pylaste może być większy. Należy również uwzględnić, że realizacja kolumn jest nie tylko związana z wciskaniem, ale też z wierceniem.

Z praktycznego punktu widzenia należy pamiętać, że każde badanie CPT (CPTU) musi być wykonane z poziomu odpowiedniej (zapisanej) rzędnej oraz w wytyczonym punkcie. Jeżeli kalibracja będzie wykonana w punkcie odda-

lonym nawet o kilka metrów, istnieje ryzyko popełnienia błędu ze względu na zmienność warunków gruntowych. Dodatkowo w celu uszczegółowienia rodzaju gruntów występujących w podłożu należy wykonać otwór wiertniczy w bliskim sąsiedztwie wykonanego sondowania CPT (CPTU).

Parametry wiercenia

Wartości poszczególnych parametrów wiercenia, jakie otrzymuje się w wyniku kalibracji, zależą od rodzaju maszyny wiertniczej i jej opomiarowania. Maszyny mogą przykładowo różnić się od siebie stołami obrotowymi i wciągarkami, których parametry są decydujące. Porównanie podstawowych parametrów stołów obrotowych i wciągarek (typowych dla opisanych palownic) podano w tabeli.

Chcąc zrozumieć znaczenie tych parametrów, należy uzmysłowić sobie, że maksymalna prędkość obrotowa oraz prędkość posuwu są wartościami mierzalnymi, a moment obrotowy i siła posuwu to wielkości obliczane na podstawie innych (mierzonych) parametrów.

Przy wykonywaniu kalibracji maszyny wiertniczej z profilem geotechnicz-

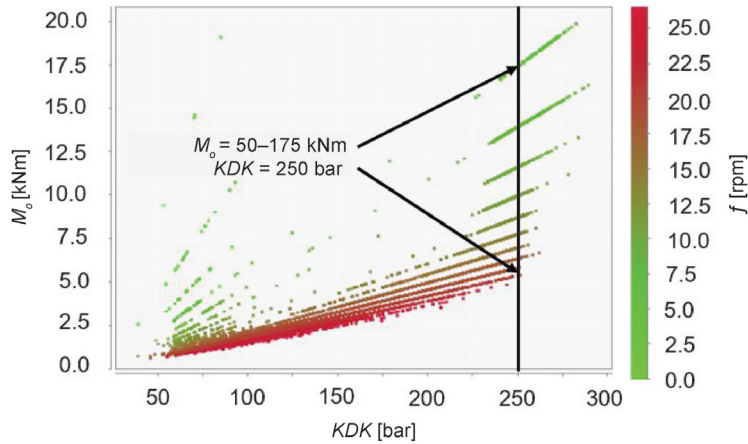
nym ważne jest, aby nie uzależniać jej tylko od jednego z parametrów. Wykonując kalibrację np. tylko na podstawie wartości ciśnienia układu hydraulicznego stołu obrotowego maszyny wiertniczej (KDK), należy mieć na uwadze, że przy jednakowej wartości ciśnienia moment obrotowy maszyny wiertniczej jest zmienny (rys. 1). Dzieje się tak, ponieważ moment jest funkcją nie tylko ciśnienia, ale również prędkości obrotowej. Podobnie charakterystyka pracy silników wciągarek jest taka, że zależność między ciśnieniem w układzie hydraulicznym a siłą nie jest liniowa. Z tego względu, aby uzyskać większą pewność, że maszynę skalibrowano poprawnie, należy do analizy przyjąć większą liczbę wskazanych parametrów.

Przy określaniu parametrów wiercenia należy zwrócić uwagę na wzrost momentu obrotowego, któremu powinien towarzyszyć spadek prędkości wiercenia oraz wzrost siły nacisku (rys. 2). Często pomija się prędkość obrotową, ponieważ jest ona „ukryta” w wartości momentu obrotowego. Jeżeli chociaż dwie z tych zależności zostały spełnione, zakłada się, że uzyskano zagłębienie w grunty nośne.

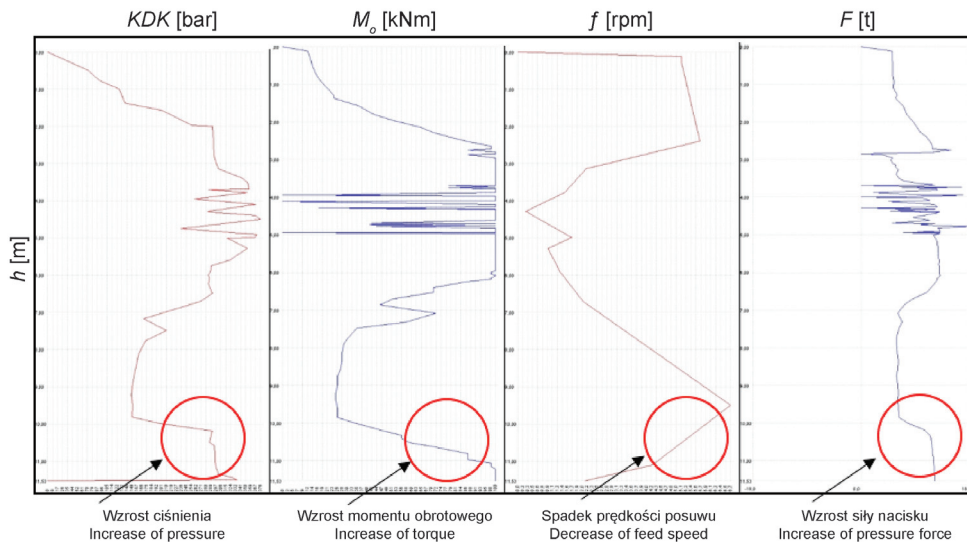
TABELA. Porównanie wybranych maszyn wiertniczych

TABLE. Comparison of selected drilling machines

Główne parametry wiercenia Main drilling parameters	Bauer BG20H	Bauer BG24H	Liebherr 125XL	Liebherr 155	Enteco E6050
Max. moment obrotowy Max torque [kNm]	200	280	120	180	245
Max. prędkość obrotowa Max revolutions [rpm]	58	58	32	22	39
Max. siła posuwu Max feed force [kN]	205	300	200	240	200
Max. prędkość posuwu Max feed speed [m·min ⁻¹]	7	9	33	15	18



RYSUNEK 1. Zależność między parametrami dla przykładowej maszyny wiertniczej
 FIGURE 1. The dependency between the parameters for an example drilling machine



RYSUNEK 2. Przykładowa metryka wykonanej kolumny CMC
 FIGURE 2. An example metric of executed CMC column

Kontrola wykonawstwa według przyjętych założeń projektowych i kalibracyjnych

Projektant wzmocnienia opracowuje projekt na podstawie parametrów obciążenia przekazywanego na konstrukcję,

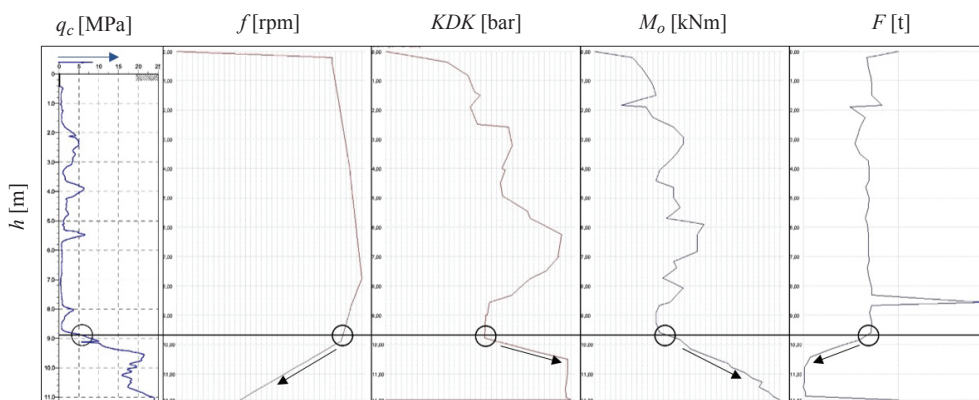
jej geometrii oraz dokumentacji geotechnicznej. W efekcie zostają określone podstawowe parametry kolumny, jakimi są średnica, ewentualne zbrojenie, długość kolumn oraz minimalne zagłębienie w grunty nośne. Na etapie projektowania należy zaplanować dodatkowe uzupeł-

nijące badania geotechniczne w celu potwierdzenia warunków gruntowych.

Wykonanie kalibracji pozwala na przedstawienie konkretnych wytycznych dotyczących sposobu wiercenia w celu weryfikacji założeń projektowych. Jest to bardzo istotne z praktycznego punktu widzenia, ponieważ informacja jest

podłoża. Wykonywanie kolumn zgodnie z wytycznymi gwarantuje uzyskanie zakładanych parametrów nośności zgodnych z założeniami projektowymi.

Przykład poprawnie wykonanej kalibracji pokazano na rysunku 3. Dla tej kolumny CMC zaprojektowane zagłębienie w grunty nośne wynosiło 2 m.



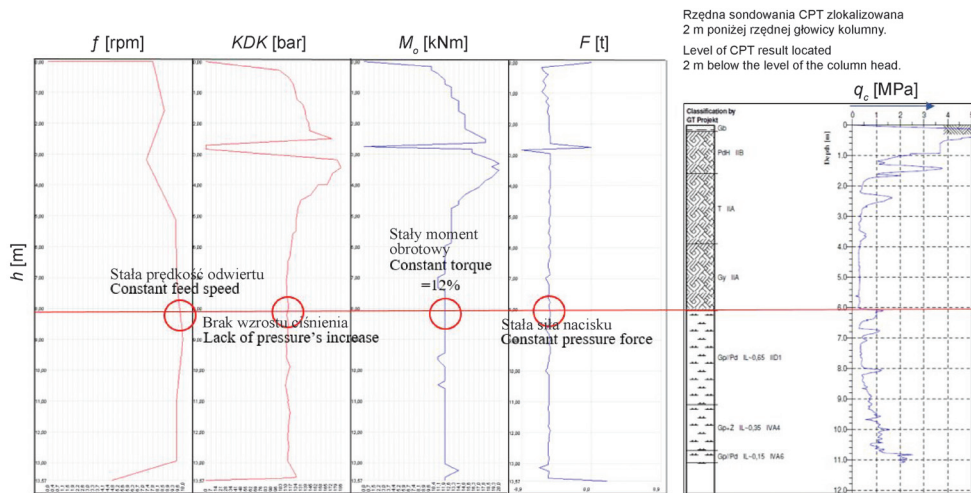
RYSUNEK 3. Przykład kalibracji – zmiana parametrów wiercenia po zagłębieniu w grunty nośne
 FIGURE 3. An example of calibration – change of drilling parameters after execution in load-bearing soils

dostępna od razu, a nie dopiero po wykonaniu próbnego obciążenia. Ze względu na możliwe występowanie zróżnicowanych warunków geotechnicznych należy na bieżąco kontrolować wykresy automatycznego zapisu metryk z maszyny. Jeśli próbne odwierty nie potwierdzają lub znacznie odbiegają od przekrojów geotechnicznych, należy zlecić dodatkowe badania geotechniczne w celu uzyskania uszczegółowienia informacji o budowie geologicznej danego obszaru. Każde znaczące odstępstwo od długości projektowych musi być zgłoszone do projektanta w celu weryfikacji założeń projektowych lub przeprowadzenia ponownej kalibracji w danym obszarze.

Istotnym celem kalibracji jest poprawa jakości wykonywania wzmocnienia

Jak można zaobserwować na rysunku 2, zarejestrowano wzrost ciśnienia hydraulicznego (KDK) oraz momentu obrotowego przy jednoczesnym spadku prędkości pogrążania i siły docisku. Oczywiście wydaje się, że sam spadek prędkości pogrążania mógłby być spowodowany ruchami joysticka operatora, ale wówczas nie zanotowano by spadku siły docisku, ale jej wzrost.

Podczas wykonywania kalibracji zdarza się, że bardzo trudno jest określić parametry wiercenia, gdyż na metryce nie jest rejestrowana ich tendencja do spadku lub wzrostu. Wynikać to może ze zmienności warunków gruntowych lub rodzaju gruntu, w których projektowane jest zagłębienie kolumny (rys. 4). Komplikacje pojawiają się szczególnie pod-



RYSUNEK 4. Przykład problemu z kalibracją – brak zgodności parametrów wiercenia z profilem geotechnicznym

FIGURE 4. An example of problem with calibration – lack of compatibility of drilling parameters with the geotechnical profile

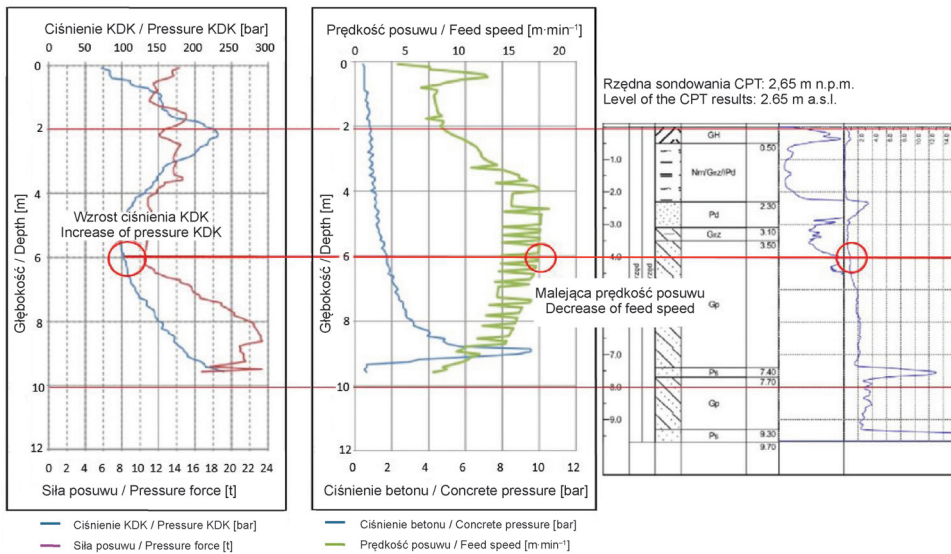
czas wiercenia w plastycznych glinach, pyłach oraz ilach. Problem może stanowić też maszyna o dużej mocy, która będzie wiercić i naciskać z tak dużą siłą, że czujniki nie będą w stanie zarejestrować skoków mierzonych wartości. W takim przypadku każdy odwiert należy rozpatrywać indywidualnie.

Przeprowadzając kalibrację, należy zaznajomić się z danymi technicznymi danej jednostki wierzącej kolumny, aby odpowiednio ustalić wytyczne wiercenia spełniające założenia projektowe. W celu dokładniejszej analizy wykonuje się kilka odwiertów w punktach badań geotechnicznych bądź w ich sąsiedztwie. Jednym z błędów podczas wykonywania kalibracji jest nieodpowiednia korelacja głębokości odwiertu wiertnicy z głębokością badań geotechnicznych. Badania geotechniczne najczęściej są wykonywane z poziomu gruntu rodzimego, w projekcie natomiast rzędna platformy może znacząco odbiegać od rzędnej terenu (rys. 5).

Kolejnym ważnym elementem jest kwestia średnicy świdra przemieszczeniowego. Im większa średnica świdra oraz pole powierzchni buławy rozpychającej, tym większe opory podczas zagłębiania się wiertła w grunt nośny. Jeśli średnica świdra jest zwiększana lub zmniejszana, należy powtórnie przeprowadzić kalibrację dla danej maszyny oraz danych warunków gruntowych.

Z praktycznego punktu widzenia wyznaczenie zbyt dużej liczby parametrów do kalibracji również nie jest poprawne, ponieważ operator, który wykonuje kolumny, nie będzie w stanie skupić się na wszystkich parametrach w jednym czasie. W efekcie jego praca nie będzie odpowiednio wydajna. Z tego powodu tworzy się parametry zastępcze, które wiążą w jedną wartość kilka parametrów mierzonych bądź obliczanych.

Rzędna głowicy kolumny: 4,65 m n.p.m.
Level of the column head: 4.65 m a.s.l.



RYSunEK 5. Przykład kalibracji przy różnych rzędnych głowicy kolumny kalibracyjnej i sondowania CPT

FIGURE 5. An example of calibration at different levels of column's head and probing CPT

Metody jednego zastępczego parametru zastępczego

W literaturze opisano różne parametry zastępcze (Teale, 1964; NeSmith, 2003; NeSmith Jr i NeSmith, 2008), przy czym różnice te zazwyczaj sprowadzają się do pominięcia któregoś z parametrów mierzonych lub do stworzenia empirycznej korelacji między parametrami mierzonymi. W dalszej części rozdziału przedstawiono trzy przykłady parametrów zastępczych, które stosuje się w polskiej praktyce inżynierskiej.

Energia wiercenia

Przykład zależności między parametrami wiercenia został opisany przez Teale'a (1964) jako energia wiercenia, która jest sumą energii nacisku oraz energii obrotowej:

$$E_{\text{wiercenia}} = E_{\text{nacisku}} + E_{\text{obrotowa}} = \frac{F}{A} + \frac{2\Pi}{A} \cdot \frac{f \cdot M_o}{V_f} \quad [\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}]$$

gdzie:

V_f – prędkość posuwu [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$],

M_o – moment obrotowy [kNm],

f – prędkość obrotowa [rpm],

F – efektywna siła nacisku uwzględniająca ciężar osprzętu maszyny oraz siły wciągarki [t],

A – pole przekroju otworu wiercenia [m^2].

Energia wiercenia to w skrócie energia potrzebna na wywiercenie 1 m^3 gruntu. Energia nacisku jest równoznaczna z ciśnieniem wywołanym przez nacisk na powierzchnię przekroju otworu. Dla zadanego przekroju wiertniczego pole przekroju jest stałe, a tym samym war-

tość energii nacisku jest wprost proporcjonalna do efektywnej siły nacisku. Dla zadanych wartości A oraz f wartość $E_{obrotowa}$ jest proporcjonalna do M_o/V_f . Wartość energii nacisku jest z reguły niewielka w porównaniu do energii obrotowej, czasami wręcz nieistotna. Parametr ten jest zaimplementowany w systemie Emparex produkowanym przez francuską firmę ABAC. Stosując ten system, operator nie musi śledzić wielu parametrów na raz, jedynie obserwuje zmiany energii wiercenia.

Siła pogrążania

W kolejnej metodzie jednego parametru zastępczego określa się siłę pogrążania – IE (ang. *installation effort*). Po raz pierwszy zależność ta została opisana przez NeSmitha (2003). Od tego czasu zagadnienie to ulegało zmianom oraz udoskonaleniom, takim jak: określenie potrzebnych parametrów wymaganych do obliczenia siły pogrążania, bieżące monitorowanie parametru w trakcie wykonywania kolumny, modyfikacje obliczania siły pogrążania oraz udoskonalenie zależności między całkowitą siłą pogrążania (ang. *cumulative IE*) a nośnością kolumny.

Siła pogrążania przedstawiona jako funkcja zależna od prędkości pogrążania oraz momentu obrotowego może być prostym wskaźnikiem warunków gruntowych oraz nośności kolumny (NeSmith Jr. i NeSmith, 2008):

$$IE = PRI \cdot TI = \frac{1}{(PR / PR_{base})^{0,5}} \cdot 2,78 \left(\frac{t_{fp}}{T_{base}} \right)^{1,36}$$

gdzie:

PRI – wskaźnik prędkości pogrążania [$m \cdot min^{-1}$],

TI – wskaźnik momentu obrotowego [kNm],

PR – prędkość pogrążania [$m \cdot min^{-1}$],

PR_{base} – założona bazowa prędkość pogrążania [$m \cdot min^{-1}$],

t_{fp} – ciśnienie hydrauliczne KDK [bar],

T_{base} – przyjęty bazowy moment obrotowy [kNm].

Zależność między wskaźnikiem prędkości pogrążania a momentem obrotowym została sformułowana z uwagi na to, że ani moment obrotowy, ani prędkość pogrążania nie są liniowo zależne od wytrzymałości gruntu. Zasadniczym mankamentem tej metody jest to, że wykorzystuje wartość ciśnienia hydraulicznego KDK (która jak wykazano, może być stała, podczas gdy moment obrotowy znacząco się zmieni), a także wartość prędkości pogrążania (która może być manualnie zmieniona przez operatora).

Opór przenikania

Jest to parametr zastępczy zaimplementowany w systemach firmy Bauer, bardzo powszechnych w Polsce. Programowanie B-Report pozwala wyświetlać jego wartość w trakcie wykonywania kolumny. Niestety w literaturze nie podano, na podstawie jakiej zależności jest on wyznaczany. Niemniej jednak jego wartość zależy od momentu obrotowego (lub ciśnienia hydraulicznego KDK), prędkości posuwu oraz siły nacisku.

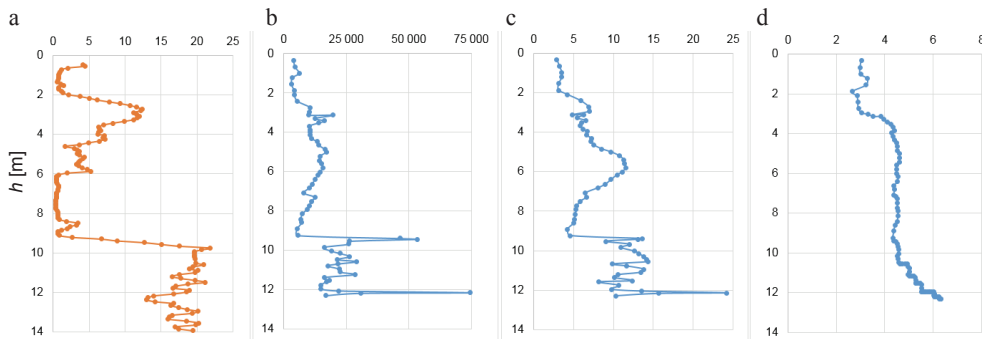
Studium przypadku

W celu ilustracji oszacowania użyteczności poszczególnych parametrów zastępczych przedstawiono przykład opracowany dla jednej kolumny wyko-

nanej na Żuławach. Warunki geotechniczne w tym rejonie to naprzemiennie występujące grunty organiczne oraz grunty piaszczyste. Można to zaobserwować na wykresie q_c (rys. 6, na którym od 9 m występuje warstwa nośna o $q_c > 20$ MPa, a powyżej niej dostrzegalne jest przewarstwienie piasków o q_c sięgającym 12 MPa). Warstwy te wyraźnie wyróżniają się pośród gruntów organicznych o znikomym oporze pod stożkiem. Zastosowanie każdego z omówionych wcześniej parametrów skutkuje wyraźnie różnymi wykresami parametrów zastępczych.

energia wiercenia, jak i siła pogrążania odzwierciedlają lokalną zmianę sztywności na głębokości 3 m oraz warstwy nośnej na głębokości 9 m. Na rysunku 6b widoczne są lokalne ekstrema energii (pojedyncze punkty), które nie powinny być brane pod uwagę.

Podsumowując, należy podkreślić, że poszukiwana na wykresach zgodność ma jedynie charakter jakościowy. Niemniej jednak zastosowanie energii wiercenia jako parametru zastępczego może dać satysfakcjonujące rezultaty.



RYSUNEK 6. Przykład analizy z użyciem parametrów zastępczych: a – opór pod podstawą stożka [MPa], b – energia wiercenia [$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$], c – siła pogrążania [t], d – opór przenikania [kPa]
 FIGURE 6. An example of analysis with use of replacement parameters: a – cone resistance [MPa], b – drilling energy [$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$], c – penetration force [t], d – penetration resistance [kPa]

Najmniej adekwatny wydaje się opór przenikania, którego wartość jest stała na głębokości 4–10 m, na której wyniki sondowania statycznego wykazały znaczące zmiany oporów. W przypadku siły pogrążania widoczny jest duży wpływ ciśnienia hydraulicznego KDK. Większe wartości IE na głębokości 6 m są spowodowane wysokim KDK na tej głębokości. W przypadku energii wiercenia wpływ KDK jest minimalizowany innymi parametrami wiercenia. Zarówno

Podsumowanie

W artykule przedstawiono proces kalibracji maszyny wierzącej kolumny CMC do sondowania statycznego CPT. Znajomość parametrów mechanicznych głowicy obrotowej i wciągarki jest kluczowa dla poprawnego przeprowadzenia kalibracji. Kalibracja jest zasadniczo łatwiejsza do poprawnego wykonania w badaniach gruntów odkształcalnych i wyraźnej warstwy nośnej, kiedy pod-

stawowym jej celem jest określenie prawidłowego zakotwienia. Jak wykazano na przykładzie, trudności można napotkać w gruntach spoistych. Kalibracje można prowadzić, analizując moment obrotowy (ewentualnie ciśnienie w układzie hydraulicznym KDK i prędkość obrotową), prędkość posuwu oraz siłę posuwu. Istnieją parametry zastępcze, które łączą te wielkości (lub niektóre z nich), dzięki którym operuje się jednym parametrem wprowadzonym do bazy danych w oprogramowaniu komputera maszyny wiercącej. Ze wstępnych analiz autorów wynika, że zastosowanie energii wiercenia (Teale, 1964) jako parametru zastępczego może dać satysfakcjonujące rezultaty.

Literatura

- Bustamante, M. i Gianceselli, L. (1982). Pile bearing capacity prediction by means of static penetrometer CPT. W *Proceedings of the 2nd European symposium on penetration testing* (strony 493-500). Boca Raton: CRC Press.
- Gwizdała, K. (2010). *Fundamenty palowe: technologie i obliczenia*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Mayne, P.W. (2007). *Cone penetration testing*. Washington: Transportation Research Board.
- NeSmith, W.M. (2003). Installation effort as an indicator of displacement screw pile capacity. W *Proceedings of the 4th International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles*, Ghent (strony 177-181). Amsterdam: IOS Press.
- NeSmith Jr., W.M. i NeSmith, W.M. (2008). Installation effort, current calculation methods and uses in design and construction in the US. In *Proceedings of the 5th International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles*, Ghent (strony 317-321). Amsterdam: IOS Press.
- Poulsen, R., Nielsen, B.N. i Ibsen, L.B. (2013). Correlation between cone penetration rate and measured cone penetration parameters in silty soils. W *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (strony 603-606). Paris: French Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (CFMS).
- Teale, R. (1965). The concept of specific energy in rock drilling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 2(1), 57-73.

Streszczenie

Analiza kalibracji wyników sondowań CPT z próbnymi odwiertami kolumn przemieszczeniowych CMC. Kalibracja sondowań CPT z próbnymi odwiertami kolumn CMC (ang. *controlled modulus columns*) ma w Polsce szerokie zastosowanie w geotechnice ze względu na występujące analogie parametrów wiercenia maszyn wiertniczych do tego rodzaju badań geotechnicznych. Wartości oraz rodzaje parametrów wiercenia służące do poprawnego wykonania kalibracji zależą od rodzaju maszyny wykonującej kolumny przemieszczeniowe. Zagadnieniu kalibracji towarzyszą problemy oraz szczególności techniczne, które mogą decydować o jej prawidłowym wykonaniu. Przedstawienie trzech podejść teoretycznych do poszukiwania jednego parametru odpowiadającego wykresowi oporu stożka z badania CPT opracowano na podstawie literatury oraz wieloletniego doświadczenia Menard Polska w realizacji wzmocnienia podłoża w technologii CMC.

Summary

Analysis of CPT results calibration with CMC test drilling. The issue of calibration of the CPT results with test drillings of controlled modulus columns (CMC) columns is widely used in Poland, due to the analogy of drilling parameters for this type of geotechnical research. The values and types of drilling parameters used to correct

perform of the calibration depend on the type of the machine executing displacement columns. The issue of calibration is accompanied by problems and technical details that may determine its proper performance. Presentation of three theoretical approaches to searching for one parameter corresponding to the cone resistance chart from the CPT test was developed based on literature and many years' experience of Menard Polska executing ground improvement in CMC columns technology.

Authors' address:

Karolina Kobjzyńska
Menard Polska Sp. z o.o.
80-175 Gdańsk, ul. Orzechowa 5
Poland
e-mail: kkobjzynska@menard.pl