

Grzegorz Zajfert*

**ZASTOSOWANIE SONDOWANIA STATYCZNEGO
W BADANIACH PROWADZONYCH
W PPIEZRiG PETROBALTIC S.A.**

Do działań poprzedzających posadowienie platformy wiertniczej na dnie morskim oraz zapewniających dalszą bezpieczną eksploatację należą kompleksowe badania podłoża gruntowego ściśle określonego akwenu wodnego. W przedsiębiorstwie Petrobaltic pracują obecnie: platforma Baltic Beta – morska kopalnia ropy na złożu B3, platforma wiertnicza Petrobaltic – przygotowująca eksploatację na złożu B8, bezzałogowa platforma głowicowa PG-1 oraz szereg urządzeń i instalacji stanowiących nawodną oraz podwodną infrastrukturę wydobywczą. Każde posadowienie, instalowanie i stosowanie ww. konstrukcji musi być poprzedzone wydaniem odpowiednich ekspertyz, decyzji i pozwoleń, które zawsze są następstwem i konsekwencją wcześniej przeprowadzonych badań morskich. Szczególnie nieocenioną rolę w takich badaniach odgrywa zastosowanie penetracji statycznej, która jest jednym z etapów procesu badawczego i można ją zakwalifikować do geotechnicznych badań *in situ*.

1. WPROWADZENIE DO BADAŃ GEOTECHNICZNYCH *IN SITU*

Geotechnicznymi badaniami terenowymi *in situ* nazywamy badania umożliwiające wyznaczenie cech mechanicznych gruntów oraz parametrów potrzebnych do obliczania nośności i odkształceń gruntów, a więc modułów ścisłości M_o , modułów odkształcenia E_o , kątów tarcia wewnętrznego Φ i kohezji c w środowisku ich naturalnego zalegania. Pomocniczymi parametrami są gęstości objętościowe ρ , wilgotności naturalne w i współczynniki filtracji k_{10} [7].

Praktyczne oraz wszechstronne zastosowanie badań *in situ* jest dobrze znane, a dalsze rozwijanie technicznych możliwości badań będzie zwiększać ich znaczenie [4]. Obecnie można stwierdzić, że badania *in situ* ze względu na ich bezpośredniość, czyli wykonywanie

* Petrobaltic S.A., Gdańsk

w warunkach naturalnych oddziaływań podłoża gruntowego, dają dokładniejsze (autentyczniejsze) wyniki od badań laboratoryjnych. Rezultaty obliczeń różnią się o ok. 30%, natomiast przy wyznaczaniu cech mechanicznych różnice mogą wynosić ponad 100% [7]. Badanie *in situ* jest niezbędne w ocenie własności gruntów w przypadkach, gdy nie jest możliwe pobranie prób o nienaruszonej strukturze, np. z osadów piaszczystych, uwodnionych, itp.

Jest jeszcze wiele powodów, dla których metody *in situ* stają się częściej stosowane od tradycyjnych metod, opierających się na testach prowadzonych w laboratorium mechaniki gruntów. Ich wymienianie i szczegółowe porównywanie mogłoby stanowić materiał kolejnej publikacji. Jedną z największych zalet, decydującą o wprowadzeniu i stosowaniu metody *in situ* w warunkach *offshore*, jest oszczędność czasu. Dzięki zastosowaniu na morzu metody *in situ* wraz ze specjalnym oprogramowaniem już po kilku minutach od zakończenia pomiaru otrzymujemy informacje na temat parametrów geotechnicznych wglębnej struktury dna. Wykonanie sondowań na zadanym akwenu już po kilkugodzinnym procesie badawczym może stanowić podstawę do wydania odpowiednich ekspertyz i w efekcie decyzji. Wcześniej odbywało się to zupełnie inaczej, statek badawczy musiał powrócić do portu, przekazywano do laboratorium próbki o pseudonienaruszonej strukturze. Analiza laboratoryjna pochłaniała do kilku dni bezcennego czasu. Obecnie dane z badań *in situ*, których rejestracja prowadzona była cyfrowo, można elektronicznie przesłać na ląd.

Spśród dotychczas oferowanych badań *in situ* sondowania statyczne są najbardziej powszechną i rozwijającą się metodą. Firma Petrobaltic od roku 1985 dysponuje i wykonuje penetrometrem Roson 10 Tf A.P. V.d. Berg produkcji holenderskiej sondowania dna morskiego.

Badania wykonywane są dla różnego typu instalacji podwodnych oraz budowli hydrotechnicznych. Badania geotechniczne, w których istotne znaczenie miał między innymi penetrometr, umożliwiły wielokrotne przeprowadzenie wymienionych poniżej przedsięwzięć:

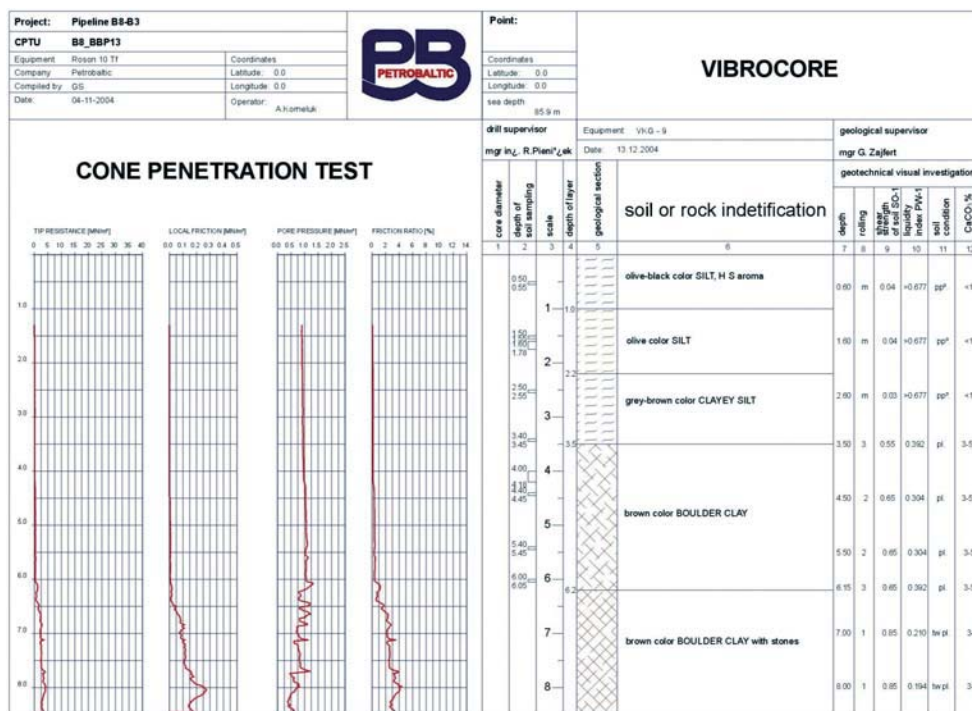
- bezpieczne posadowienie platformy wiertniczej,
- ułożenie oraz zainstalowanie gazociągu podmorskiego,
- trwałe zakotwiczenie boi przelewowo-cumowniczej dla tankowca (urządzenie poddawane największym obciążeniom cyklicznym),
- stabilny montaż bezzałogowej platformy głowicowej PG-1.

Ponadto sondowaniami statycznymi Roson 10 Tf posługiwano się między innymi przy realizacji badań na potrzeby projektowe pirsów i nabrzeży w Porto (Portugalia) dla bezpiecznego przeprowadzenia prac refulacyjno-pogłębiarskich na torze wodnym do portu Ventpils, dla projektu budowy tunelu pod korytem Martwej Wisły. Obecnie trwają prace koncepcyjne umożliwiające zastosowanie sondy w badaniach gruntów dla pełnomorskich elektrowni wiatrowych.

2. ZAGADNIENIA TECHNICZNE I OPERACYJNE

Statyczna sonda stożkowa – penetrometr Roson 10 Tf A.P. V.d. Berg produkcji holenderskiej umożliwia badania gruntu *in situ*. Urządzenie jest zaprojektowane do wykonywania badań na morzu, ale w wersji podstawowej nadaje się do zastosowania w sondowaniach

ładowych lub na małej głębokości wody. Badanie polega na wciskaniu w grunt stożków pomiarowych, z jednoczesną cyfrową rejestracją fizykomechanicznych parametrów osadów. Sonda może być wyposażona w stożki CPT i CPTU oraz w próbnik MOSTAP-65 umożliwiający pobór prób o nienaruszonej strukturze.



Rys. 1. Przykład skorelowania płytkiego sondowania CPTU z wibrosondą VKG-6

W trakcie badania rejestrowane są następujące parametry (rys. 1):

- opór na stożku,
- tarcie na pobocznicę,
- ciśnienie porowe,
- nacisk całkowity,
- inklinacja i szybkość penetracji.

Jedną z głównych zalet penetrometru Roson jest to, że napęd wykonują moduły kołowe, a nie siłowniki hydrauliczne i nie występują przerwy podczas badania. Dzięki temu otrzymywane są wyniki praktycznie ze 100-procentową dokładnością w porównaniu z 50÷60-procentową dokładnością urządzenia innego typu, które nie ma ciągłego, nieprzerwanego napędu [2]. Penetrometr dodatkowo wyposażono w specjalne stabilizujące platformy i kotwy umożliwiające badania na grząskich, a także pochylonych podłożach.

Poniżej wymieniono dane techniczno-eksploatacyjne penetrometru Roson 10 Tf:

- ciężar: penetrometru 15 ton, wciągarki linowej 9 ton;
- nominalny nacisk na stożek 5 ton, maks. 10 ton;
- maksymalny nacisk całkowity 10 ton;
- maksymalna głębokość morza 100 m;
- maksymalna głębokość sondowania w zależności od warunków geologicznych 10÷25 m;
- szybkość penetracji 2 cm/s = const;
- pomiar pochylenia ramy penetrometru Roson, obserwowanego na monitorze podczas ustawiania oraz w trakcie badania;
- rejestracja danych cyfrowych w zespole akwizycji – program Gorilla.

Urządzenie wyposażono w system kompensacji falowania, który gwarantuje niezakłócony przebieg penetracji do stanu morza 3^oB. Do zadań badawczych na otwartym morzu penetrometr Roson 10 Tf jest instalowany na statku M/V St. Barbara (rys. 2). Jednostka jest typowym pełnomorskim statkiem badawczym, mogącym zapewnić kompleksowe przeprowadzenie badań z zakresu geotechniki, geofizyki i hydrografii. Ponadto statek jest wyposażony w atestowany system nurkowy Mobnur z dzwonem, do głębokich nurkowań z możliwością późniejszej dekompresji w komorze. Mobilność statku zapewniają cztery silniki główne i dwa stery strumieniowe. Stabilność pozycji, mimo działających sił wymuszających (wiatr, prąd i falowanie) zapewnia kotwiczny system utrzymywania pozycji [6]. System jest wykorzystywany podczas prowadzenia poważniejszych stacjonarnych prac badawczych np. wiercenia, sondowania. Dla zapewnienia dokładnej lokalizacji wszystkie prace badawcze wykonywane są pod nadzorem dwóch oddzielnie działających systemów nawigacji radiowej DGPS oraz specjalistycznego oprogramowania nawigacyjnego NORCOM. Do zadań prowadzonych pod powierzchnią wody jednostka posiada system pozycjonowania podwodnego. Prace podwodne cały czas są monitorowane dzięki lokalnej transmisji obrazu z zainstalowanych kamer. Bezpieczne i skuteczne przeprowadzenie prac wymaga zgrania wszelkich działań na różnych znajdujących się na polu naftowym jednostkach morskich.



Rys. 2. M/V St. Barbara

3. METODYKA WYKONYWANIA SONDOWAŃ STATYCZNYCH NA MORZU

Sam proces pomiarowy prowadzony *offshore* nie jest czymś nowym i znacznie odbiegającym od pomiarów lądowych. Badanie typu CPT polega na powolnym wciskaniu w grunt, pionowo, ze stałą prędkością, kolumny żerdzi zakończonych znormalizowaną końcówką składającą się ze stożka i cylindrycznej pobocznic. Podczas zagłębiania dokonuje się pomiaru: oporu stożka i oporu tarcia gruntu o powierzchnię boczną tulei tarciowej. Badanie typu CPTU jest badaniem sondą CPT, uzupełnionym pomiarem ciśnienia wody w porach gruntu podczas zagłębiania, na poziomie podstawy stożka [5]. Ze względu na powszechne występowanie w strefie głębokowodnej w strukturze dna osadów spoistych, korekty wymaga opór stożka, związany z ciśnieniem wody w porach

$$q_t = q_c + u(1-a) \quad [2],$$

gdzie:

q_t – całkowity skorygowany opór stożka,

q_c – opór stożka,

u – ciśnienie wody w porach (stosunkowo większe wartości od lądowych ze względu na głębokość morza),

a – współczynnik powierzchni stożka netto

$$a = A_N/A_C \quad [2],$$

gdzie:

A_N – powierzchnia netto,

A_C – powierzchnia całkowita $A_C = 1000 \text{ mm}^2$.

Pomiar podczas sondowania dna jest krótki i skorelowany z jego głębokością. Wszelkie prace poprzedzające ten etap, takie jak kotwiczenie i pozycjonowanie statku, oraz stawianie ramy Rosona na dnie stanowią najbardziej czasochłonny etap prac, dodatkowo uzależniony od warunków hydrometeorologicznych (rys. 3).



Rys. 3. Opuszczanie konstrukcji Roson 10 Tf na dno

Do badania penetrometrem statek powinien kotwiczyć na trzech lub czterech kotwicach (w zależności od warunków morskich), zapewniających stabilną pozycję rufy statku nad punktem pomiarowym, ponieważ tam opuszczana jest rama Rosona.

4. PROBLEMY TECHNICZNE I PROPOZYCJE ICH ROZWIĄZAŃ

Wykonanie sondowania statycznego w warunkach morskich często wymaga szybkiego rozwiązywania zarówno problemów technicznych, jak i tych, których dostarcza nam sama natura. Idealny proces pomiarowy to ten, w którym przewidziane i uwzględnione zostały wszystkie trudności mogące występować i wpływać na rejestrowane parametry wgłębnej struktury dna. Przedstawione trudności często przypominają te, jakie występują na lądzie, niemniej ich rozwiązywanie może przebiegać w zupełnie odmienny sposób. Czynnikiem normującym wszelkie działania i rozwiązania na morzu jest czas, nieumiejętne lub nieoszczędne jego wykorzystywanie może doprowadzić do tego, że badania nie uda się wykonać.

Pomijając wszelkie wcześniejsze prace przygotowawcze i testowe, można założyć, że proces pomiarowy rozpoczyna się od stabilnego posadowienia konstrukcji Roson 10 Tf na dnie morskim. I na tym etapie mogą się pojawić pierwsze trudności. W trakcie pomiaru konstrukcja powinna stać stabilnie i pionowo, a ewentualny przechył nie powinien przekraczać 10° na burtę. Zdarza się, że wierzchnią strukturę dna budują osady o słabej nośności, wówczas rama pomiarowa przy stawianiu na dno zapada się i przechyla. Kontrola przechyłu następuje poprzez odczyt *on-line* inklinacji z systemu inklinometrów zamontowanych na ramie. Operator i dowodzący akcją mają do wyboru, odczyt wskazań z wyświetlacza cyfrowego lub wizualizację zachowań rami na ekranie monitora. Operację stawiania na dno prowadzi się do momentu uzyskania przechyłu poniżej 10° lub gdy nie jest to możliwe, wyznacza się inne, sąsiednie miejsce. Aby zapobiegać nadmiernemu osiadaniu rami Rosona w grząskich osadach, stosuje się dodatkowe boczne platformy nośne. Rozwiązanie to redukuje zagłębienie konstrukcji w dno morskie oraz dodatkowo stabilizuje Rosona uniemożliwiając przechyły, także podczas rejestracji.

Po stabilnym posadowieniu konstrukcji Roson na dnie morskim niezbędne jest określenie i kontrola zagłębienia rami w osadzie. Aby to rzetelnie ocenić, korzysta się z kilku różnych źródeł informacji, jakimi są:

- kontrolowanie parametrów ciśnienia porowego w stożku podczas opuszczania i stawiania rami i korelacja ze wskazaniami inklinacji;
- szacowanie zagłębienia na podstawie wcześniej przeprowadzonych badań sondą wibracyjną.

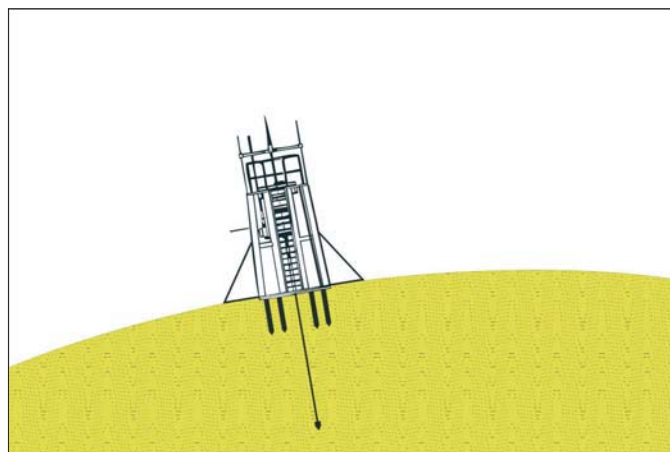
Uzyskane informacje można skorelować już po pomiarze w oparciu o odczyt zagłębienia z listwy czerpakowej, która umieszczona jest na nodze Rosona (rys. 4).

W przypadkach gdy jest to wymagane (np. zalecenie zleceńodawcy), w celu oględzin opuszczany jest pojazd podwodny ROV z kamerą, który obrazuje zagłębienie rami.



Rys. 4. Listwa czerpakowa

Kolejnym niebezpiecznym zjawiskiem, jakie się zdarza podczas penetracji wgłębnej, może być zsuniecie się stojącej ramy ze stoku o niewielkim nachyleniu. Proces inicjuje penetrujący stożek, który natrafia na kolejnym metrze pomiaru na twarde podłoże. Penetracja się nie posuwa, wyginane są przewody, które przytknięte do ściany otworu dają dodatkowy opór, siła nacisku zamienia się w siłę odciążającą ramę i na grząskiej oraz pochylonej powierzchni dna Roson zaczyna się zsuwać. W bardziej dynamicznie rozwijającej się sytuacji może dojść do chwilowego uniesienia ramy oraz zeskoku i w tym momencie dochodzi do ścięcia rurek na poziomie kontaktu ramy z podłożem. Aby zapobiec opisanemu zjawisku, instaluje się w podstawie ramy ponadmetrowej długości zastrzone kotwy, których zadaniem jest wbicie się w podłoże i zwiększenie przyczepności na stoku. Konstrukcja stoi wówczas w przechyle, ale zabezpieczona jest przed zsunieniem (rys. 5).



Rys. 5. Stabilizacja Rosona na nierównościach dna morskiego

Wyboczenie rurek to najczęstsza przyczyna uniemożliwiająca głębokie penetrowanie. Zjawisko zachodzi najczęściej przy głębszych sondowaniach, które prowadzi się początkowo w gruntach niestabilnych i słabo skonsolidowanych. Po przebicciu słabszych warstw gruntowych i dotarciu stożka do podłoża twardszego i skonsolidowanego, które stawia znacznie większy opór, i przy dalszym wydawaniu rurek przez moduły napędowe następuje ich wyboczenie, które w początkowej fazie jest trudne do zaobserwowania na wskazaniach penetracji. Ponadto takie parametry, jak prędkość przesuwu lub czynniki informujące o zachowaniu ramy, także nie sygnalizują początkowego wyboczenia. Zjawisko to można zauważyć dopiero po pewnym czasie i wywnioskować z powiększającej się różnicy nacisków (rośnie nacisk całkowity, a opór na stożku oscyluje wokół stałej wartości). Nacisk całkowity przejmują rurki i przenoszą go na ścianę otworu. Rozwiązanie tego zagadnienia jest przedstawione w pracy [8]. Najczęściej stosowane jest użycie rur osłonowych. Zasięg rur prognozuje się zazwyczaj do głębokości, do której sięga spąg osadów o słabej wytrzymałości lub o przewidywanych, słabych parametrach, nie mieszczących się w zakresie pomiarowym stożka.

Podobnie problem objawia się w głębokiej penetracji, lecz prowadzonej w bardziej wytrzymałych gruntach. W celu wyeliminowania tarcia przewodów o ściany otworu stosuje się obecnie różnego kształtu reduktory tarcia. Jednak przy wymaganych coraz większych głębokościach penetracji rozwiązanie to przynosi mierne rezultaty.

Na podstawie kilkuletniej już praktyki w badaniach penetrometrem Roson 10 Tf można stwierdzić, że maksymalne penetracje w wybranych utworach geologicznych Morza Bałtyckiego w przybliżeniu wynoszą:

- 25÷30 m – osady muliste i ilaste,
- 15÷20 m – miękkoplastyczne gliny ilaste,
- 10÷15 m – glina zwałowa,
- < 10 m – skonsolidowane piaski.

Przedstawione powyżej wyniki penetracji byłyby reprezentatywne i wystarczające. Jednak są to tylko przykłady, ponieważ grunty te zazwyczaj nie występują tak wyselekcjonowane i nie budują jednolitej struktury dna. Najczęściej stanowią różnego rodzaju kombinacje warstw, i to nie tylko tych czterech wskazanych dla przykładu; mogą tworzyć wielowarstwowy przekrój geologiczny złożony z osadów o różnych parametrach i własnościach. W przypadku skomplikowanej budowy geologicznej osiągnięcie wymaganej głębokości uzyskuje się poprzez jednoczesne zastosowanie dwóch technik, tzn. systemu rur osłonowych wraz z reduktorem tarcia. Rewelacyjnym rozwiązaniem dla głębokich penetracji, których wymagają założenia projektowe współczesnych budowli hydrotechnicznych, byłoby zastosowanie penetracji otworowej polegającej na sondowaniu w dnie kolejnymi etapami nawiercanego otworu. Najnowsze tego typu urządzenia wyposażone są w uniwersalną końcówkę wierząco-penetrującą, która umożliwia stosowanie penetracji i wiercenia naprzemiennie bez konieczności wykonywania dodatkowych prac w otworze i na pokładzie.

Ostatnim zagadnieniem istotnym i wartym zaprezentowania jest zjawisko zachodzące podczas stosunkowo płytkiej penetracji, do około 10 m, w trakcie której natrafia się na bardzo twarde podłoże. Może nim być strop podłoża krystalicznego, gład lub po prostu współczesny obiekt antropogeniczny, który z jakichś względów (najczęściej działalności człowieka) znalazł się na dnie morskim. W takim przypadku mamy do czynienia z błyskawicznym

i jednoczesnym wzrostem dwóch parametrów: oporu na stożku i nacisku całkowitego. W tym samym momencie włącza się alarm sygnalizujący przekroczenie wartości wytrzymałościowych stożka, nominalnych, a następnie maksymalnych. W takim przypadku nie pozostaje nic innego, jak natychmiast przerwać penetrację. Ta decyzja musi zapaść bardzo szybko, ponieważ dalsza penetracja doprowadza do zmiżdżenia końcówki pomiarowej. Jedynym niekorzystnym efektem tej decyzji jest niezarejestrowanie przez system akwizycji danych nacisku. System rejestruje parametry co 2 cm przesuwu, czyli co sekundę, niestety operator musi szybciej podjąć decyzję i przerwać badanie, bo w przeciwnym wypadku uszkodzona zostanie końcówka (rys. 6). Niezarejestrowanych wyników w żaden sposób nie wolno dopisywać. Co najwyżej dostarcza się wydruk rejestracji analogowej nacisku całkowitego z odpowiednim opisem badania i potwierdzeniami alarmów.



Rys. 6. Uszkodzona końcówka pomiarowa CPTU

5. PRZEWIDYWANY ROZWÓJ I UNOWOCZEŚNIENIE

O dynamicznym rozwoju sondowań świadczy wszechstronne zastosowanie stożka do badań z różnych dziedzin nauki. Ten znaczny postęp spowodowany został poprzez unowocześnianie zwykłej końcówki pomiarowej dodatkowymi czujnikami, sensorami itp. W efekcie penetracyjne badania *in situ* mogą dostarczać informacji w zakresie: nacisku boczego, efektu presjometycznego, pomiaru elektrooporowego, pomiaru temperatury, oraz detekcji źródeł radioaktywnych. W oparciu o specjalnie wyposażone stożki pomiarowe prowadzone są badania sejsmiczne i akustyczne, które dotychczas stosowane były jako metody bezinwazyjne [1]. Sondowanie statyczne jest najbardziej efektywne, jeśli podczas penetracji wykorzystuje się inspekcję telewizyjną [3].

Rozwój przedsiębiorstwa Petrobaltic w zakresie badań struktury dna morskiego poprzez sondowania statyczne zmierza do wdrożenia zastosowań umożliwiających zwiększenie penetracji stożka oraz całkowitą automatyzację procesu badawczego, która pozytywnie wpłynie na jakość, dokładność badań, a także na oszczędność czasu pochłanianego głównie przez prace przed- i powykonawcze. Takie działania są podyktowane wymaganiami projektowymi nowoczesnych budowli hydrotechnicznych. Coraz częściej działania gospodarcze państw zmierzają do korzystania z tych rejonów mórz, które pod względem przydatności są coraz trudniejsze do zbadania i ewentualnego zagospodarowania. W rezultacie projektuje się budowle znacznych rozmiarów i o specjalnych konstrukcjach, umożliwiając

cych bezpieczne funkcjonowanie w okresie kilkunastu lat, bez względu na warunki hydro-meteorologiczne. Konstrukcje te wymagają fundamentowania lub posadowienia na jeszcze bardziej wytrzymałych gruntach nośnych, które zalegają w głębokiej strukturze dna. Do przeprowadzenia tak głębokiego sondowania jest niezbędne użycie systemu penetracji otworowej, którego zastosowanie jest w stanie sprostać założeniom i wymaganiom stawianym w obecnych projektach, planach i założeniach do budowy obiektów hydrotechnicznych.

6. PODSUMOWANIE

Zastosowanie morskich badań *in situ* prowadzonych metodą sondowań statycznych jest niezbędne podczas tworzenia opracowania uzgadniającego warunki posadowienia lub fundamentowania obiektu hydrotechnicznego. Metoda ta zyskała sobie dużą aprobatę zarówno wśród praktyków, jak i przedstawicieli nauki, jako bardzo efektywna. Do tej pory powstało wiele różnych typów modeli stożków pomiarowych umożliwiających wielokierunkowe badanie dna morskiego. Należy zauważyć, że sama metodyka badań jest stosunkowo łatwa w zastosowaniu i skuteczna. Natomiast trudności powstają, gdy zmienia się środowisko badań (łąd, morze lub na skraju tych środowisk, np. tereny zalewowe). Wówczas zastosowania wymaga sprzęt oraz jego nośnik (statek, barka, ponton lub pojazd gąsienicowy), który został specjalnie zaprojektowany do tego typu warunków. Praca badawcza w warunkach morskich wymaga szczególnej rozwagi, skupienia, a przede wszystkim respektu przed żywiołem. Idealnie przeprowadzony proces badawczy na morzu to nie ten, w którym nie występują żadne trudności, bo takiego niczym niezakłóconego badania na morzu nie ma, lecz taki, w którym udało się przewidzieć wszystkie czynniki ujemnie wpływające na pomiar i zapobiec negatywnym efektom ich oddziaływania na pomiar. Profesjonalne podejście do zagadnień badawczych oraz skoordynowana praca zespołu badawczego w połączeniu z niezawodnością sprzętu są gwarancją poprawnie i szybko wykonanych badań.

LITERATURA

- [1] Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M.: *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. Padstow, Cornwall, Spon Press 2002
- [2] Manual: Manufacturing static cone penetrometer equipment: A.P. V.d. Berg ingenieursburo b.v., Heerenveen, Holland, 1985
- [3] *Materiały szkoleniowe z kursu Geotechnical Soil Investigation*. Holland-Delft 2004
- [4] Młynarek Z.: *Współczesne tendencje wyznaczania parametrów geotechnicznych metodami in-situ*. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 6, 2003
- [5] PN-B-04452:2002: *Geotechnika. Badania polowe*
- [6] Szelangiewicz T.: *Podstawy teorii projektowania kotwicznych systemów utrzymywania pozycji jednostek pływających*. Gdańsk, Okrętownictwo i Żegluga 2003
- [7] Wiłun Z.: *Zarys geotechniki*. Warszawa, WKŁ 2001
- [8] Wojnar K.: *Wiertnictwo poszukiwawcze*. Kraków, PWN 1957