



Prace fundamentowe przy podporze nurtowej mostu Północnego w Warszawie

## Sondowanie statyczne CPT

■ Krzysztof Traczyński, Politechnika Warszawska, Michał Grela, Zakład Badań Geotechnicznych Geotest

Sonda CPT daje wyniki zbliżone do rzeczywistych, co pozwala optymalizować wielkość nakładów finansowych na fundamentowanie. Koszty sondowania i wykonania odwiertów są porównywalne, dlatego też tylko od świadomości inwestora i dostępności sprzętu zależy, czy takie badania zostaną wykonane.

### Historia sondowań

Historia sondowań statycznych sięga 1932 r. i rozpoczyna się w Holandii. Początkowo urządzenie miało bardzo prostą konstrukcję, wyposażone było w stożkową końcówkę i zegar wskazujący wartość przyłożonego obciążenia. Stożek był wciskany w grunt przy użyciu siły ludzkich mięśni. Dwóch mężczyzn (operatorów), o średniej wadze 80 kg każdy, mogło spowodować obciążenie do 16 kN. Ze względu na niewielką siłę wciskającą głębokość penetracji pierwszej sondy statycznej CPT była ograniczona do zaledwie kilku metrów, przy czym sondowano wyłącznie w słabonośnych gruntach organicznych.

Już w 1935 r. pojawiło się pierwsze urządzenie mechaniczne, zdolne wciskać stożek z siłą 100 kN (10 t). W latach 50. do użycia weszły sondy hydrauliczne, wyposażone w wydajne pompy, mogące wywierać nacisk na grunt rzędu 150–200 kN (15–20 t). Od tego czasu największą trudnością stało się znalezienie sposobu na zrównoważenie oporu gruntu wywołanego wciskaniem stożka.

Początkowo urządzenia sondujące częściowo zakopywano w gruncie i obciążano dodatkowo kosztami z piaskiem. W późniejszych latach sondy zostały wyposażone w oddzielny układ kotwiący. Wkręcane w grunt (do głębokości kilku metrów i bez zniszczenia jego struktury) świdry ślimakowe umożliwiły badania sondą o nacisku nawet 20 t. Najnowocześniejsze, ale jednocześnie najdroższe urządzenia są montowane na specjalnie dociążonych samochodach ciężarowych, których masa osiąga nawet 40 t. Przy tak dużym ciężarze urządzenia nie ma konieczności jego kotwienia.

Pierwsze sondowania statyczne w Polsce wykonano w latach 70. XX w. Badanie te przeprowadzano wyłącznie dla najważniejszych inwestycji budowlanych w kraju, takich jak Dworzec Centralny w Warszawie czy elektrownia jądrowa Żarnowiec.

### Charakterystyka sondowania

*Cone Penetration Test* (CPT) polega na wciskaniu stożka pomiarowego w grunt ze stałą prędkością 2 cm/s. Zasadniczym parametrem otrzymywanym podczas sondowania jest opór na stożku ( $q_c$ ), obecnie wyrażany w MPa. W zależności od rodzaju zastosowanego stożka można uzyskać różne parametry gruntu. W Polsce najpopularniejszy jest stożek mechaniczny Begamanna (sondowanie CPT), którego zaletą jest stosunkowo niska cena oraz możliwość określenia podstawowych parametrów gruntu, takich jak stopień zagęszczenia lub plastyczności, edometryczny moduł ściśliwości oraz wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odplywu. Zasadne jest użycie tego rodzaju stożka w gruntach skonsolidowanych, występujących w przykładach omówionych poniżej. Dla gruntów słabych stosuje się stożki elektryczne, zdolne zmierzyć ciśnienie wody porowej (CPTU) lub zbadać ośrodek gruntowy przy pomocy wytworzonej fali sejsmicznej (SCPTU).

### Przykład 1 – most Północny w Warszawie

W pierwszych dwóch etapach badań geotechnicznych, zrealizowanych z jednostek wpływających, wykonano wiercenia z sondowaniami SPT oraz DPSH. Wyniki tych sondowań wskazywały na znaczne skonsolidowanie badanych gruntów,

ale z fragmentarycznych pomiarów, przeprowadzonych na różnych głębokościach, można było określić parametry gruntu jedynie przez ich uśrednienie, stosując zasadę zaniżania wartości [1], co jest bezpieczniejsze dla celów projektowych. Takie rozwiązanie generuje jednak wzrost kosztów inwestycji tylko z powodu niedoszacowania parametrów gruntu zalegającego w poziomie posadowienia obiektu budowlanego. Aby tego uniknąć, w kolejnym etapie rozpoznania przeprowadzono sondowania statyczne CPT, które w miejscu podpór nurtowych wykonano z powierzchni sztucznie utworzonej wyspy. W trakcie budowy pojawił się problem związany z półzwartymi i zwartymi gruntami spoistymi, charakteryzującymi się oporem na stożku  $q_c = 8\text{--}12\text{ MPa}$ . W omawianym przykładzie wystąpiły trudności zarówno z głębieniem pali, jak i z pograżaniem rury obsadowej.

W przypadku występowania gruntów silnie skonsolidowanych, określonych na podstawie wierceń jako półzwarte, czasem nawet twardoplastyczne, nie zostaje wykorzystana w pełni ich rzeczywista nośność, a ponadto źle oszacowane zostają roboty ziemne. Skrawanie zwartych glin zwałowych powoduje znaczne przedłużenie czasu potrzebnego na wykonanie wykopu i generuje wyższe niż określono w przedmiarze robót koszty. Dlatego też bardzo istotne jest określenie parametrów gruntowych metodami in situ, takimi jak sondowania statyczne CPT czy badania DMT, które są najbardziej wiarygodnymi metodami badawczymi.

### Przykład 2 – południowa obwodnica Warszawy

Wykonane w celu weryfikacji parametrów gruntu sondowania statyczne CPT pod każdym z obiektów inżynierskich zlokalizowanych w ciągu południowej obwodnicy Warszawy, na odcinku węzeł Lotnisko – węzeł Puławska, wykazały bardzo duży stopień skonsolidowania występujących na tym obszarze piasków. W dokumentacji geotechnicznej, wykonanej na potrzeby projektu tej inwestycji, podano uśredniony stopień zagęszczenia utworów piaszczystych  $I_D = 0,80$ , określony na podstawie sondowań dynamicznych, oraz podano informację, że możliwe jest posadowienie bezpośrednio m.in. wiaduktów drogowych. Mimo to wszystkie obiekty inżynierskie posadowione zostały na głębokich palach fundamentowych, a nadużywanie konieczności posadowienia bezpośredniego jest częstą praktyką w naszym kraju [2].

Wyniki sondowań CPT, mających zweryfikować stan podłoża gruntowego przed przystąpieniem do robót palowych, wykazały jeszcze większy stopień zagęszczenia piasków:  $I_D = 0,90\text{--}1,00$ . Uzyskane opory sondowania już na głębokości kilku metrów przekraczały wartość 30 MPa i niejednokrotnie osiągały wartości większe niż 60 MPa. Równie dużym skonsolidowaniem charakteryzowały się występujące w omawianym przykładzie grunty spoiste, które znacznie utrudniły prace związane z robotami fundamentowymi i ziemnymi. Oszacowana według sondowania CPT wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu przekraczała 300 kPa. Jest to wartość na tyle duża, że norma (PN-EN ISO 14688) [3] dopuszcza traktowanie takich utworów jako słabych skał, co zasadniczo zmienia m.in. koszt i czas ich urabiania.

### Świadomość projektantów i inwestorów

Można wnioskować, że projektanci nie zawsze ufają zapisom umieszczanym w dokumentacji geotechnicznej lub geologiczno-inżynierskiej i przyjmują jeszcze bezpieczniejsze rozwiązania. Jednak charakterystyka sondowania jest na tyle czytelna, że od

razu można ocenić stopień skonsolidowania, np. tak znaczny, jak w omówionym przykładzie 2.

Jednak najbardziej przydatne informacje z sondowania CPT otrzymujemy w gruntach słabonośnych. Bardzo często zrealizowane sondowania decydują o sposobie posadowienia obiektu. Niekiedy uzyskane wartości z sondowania CPT są na tyle wysokie, że rezygnuje się z konieczności zastosowania kosztownych pali fundamentowych. Są oczywiście przykłady odwrotne, kiedy wyniki sondowania precyzyjnie określają wytrzymałość gruntu i aby bezpiecznie posadowić obiekt, należy zmienić sposób posadowienia lub powiększyć fundamenty. Trzeba również pamiętać o tym, że bardzo ważnym elementem jest właściwa interpretacja wyników sondowania, oparta na lokalnym doświadczeniu, a nie na losowym przyjmowaniu takich czy innych wzorów. Zdarzają się również dokumentacje geotechniczne, w których przedstawiono wyniki sondowania statycznego bez ich interpretacji lub podane parametry gruntów nie uwzględniają danych uzyskanych z badań CPT.

### Wnioski końcowe

Sondowania statyczne – zarówno CPT, jak i CPTU oraz SCPTU – są stosowane na świecie od lat i wciąż się cieszą zaufaniem geologów i projektantów. Sonda CPT daje wyniki zbliżone do rzeczywistych, co z kolei pozwala optymalizować koszty związane z fundamentowaniem. Należy pamiętać, że koszt sondowania jest porównywalny z ceną odwiertów, dlatego też tylko od świadomości inwestora i dostępności sprzętu zależy, czy badania takie zostaną wykonane. W Polsce zaledwie 10% wszystkich przeprowadzanych badań geotechnicznych stanowi sondowania statyczne, mimo że ich wyniki są najbardziej miarodajne. Jednakże w ostatnich latach obserwuje się wyraźny wzrost liczby sondowań statycznych. Przybywa także firm dysponujących tym sprzętem.

### Literatura

1. Wysokiński L.: *Błędy systematyczne w rozpoznawaniu geotechnicznym i ich wpływ na projektowanie budowlane*. XXIII Konferencja naukowo-techniczna *Awarie budowlane 2007*. Szczecin–Międzyzdroje, 23–26 maja 2007. Materiały konferencyjne.
2. Radomski W.: *Fundamenty obiektów mostowych – kilka spraw wartych refleksji*. Wprowadzenie do seminarium *Fundamenty mostów*. Warszawa, 21 stycznia 2010.
3. PN-EN ISO 14688-1. *Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów*. Cz. 1. *Oznaczenia i opis*. Warszawa 2006.



Układanie podbudowy pod nawierzchnie południowej obwodnicy Warszawy



**ZAPEWNIAMY INNOWACYJNE,  
PROFESJONALNE  
I PRZYJAZNE  
DLA OTOCZENIA  
TECHNOLOGIE**

**www.gollwitzer.pl**



**ZABEZPIECZANIE GŁĘBOICH WYKOPÓW:**

- Ścianki szczelne
- Ścianki berlińskie
- Palisady z pali żelbetowych
- Kotwy gruntowe

**FUNDAMENTOWANIE POŚREDNIE**

- Pale wiercone CFA
- Pale wiercone w rurze obsadowej
- Pale wbijane



**Gollwitzer Polska Sp. z o.o.**

ul. Jaworska 6, 53-612 Wrocław  
tel. +48 71 787 97 57, +48 71 792 30 58  
fax: +48 71 787 97 58  
e-mail: [biuro@gollwitzer.pl](mailto:biuro@gollwitzer.pl)

