### KONFERENCJA ŚRODOWISKOWA SEKCJI MECHANIKI GRUNTÓW I SKAŁ ORAZ FUNDAMENTOWANIA KOMITETU INŻYNIERII LĄDOWEJ I WODNEJ PAN "GEOTECHNIKA W OŚRODKU GLIWICKIM"

ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ	1995
Seria: BUDOWNICTWO z. 80	Nr kol. 1288

Andrzej SOCZAWA

Katedra Geotechniki Politechnika Ślaska

## ZALEŻNOŚĆ STOPNIA ZAGĘSZCZENIA PIASKU OD OPORU LEKKIEJ SONDY STATYCZNEJ

Streszczenie. W referacie przedstawiono opis, wyniki i analizę rezultatów trzech serii (95 badań) sondowań wzorcowego piasku w komorze kalibracyjnej za pomocą sondy statycznej wciskanej ręcznie typu HANSON-5. W analizie wyników posłużono się średnioważoną wartością oporu stożka sondy. Dla trzech poziomów wilgotności stwierdzono nieliniową zależność stopnia zagęszczenia piasku od wartości oporu sondy. Podano wykresy wyznaczonych funkcji aproksymujących punkty empiryczne tej zależności i wartości obliczonych współczynników regresji. Przedstawiono koncepcję uogólnienia wyników badań dla nasypów o zróżnicowanej budowie i uziarnieniu (np. nasypy piaszczysto-gliniaste bądź gliniaste).

# DEPENDENCE OF DENSITY INDEX OF SAND ON LIGHT STATIC PENETROMETER CONE RESISTANCE

**Summary.** The paper presents realization and results of three series (95) static cone penetration tests of model sand carried out in a calibration chamber. The investigations were performed using the hand operated static cone penetrometer of the HANSON-5 type. The weighted average cone resistance was assumed to be the only characteristic for shallow penetrations. For three levels of sand moisture content nonlinear "cone resistance - index of density" relationships have been found. The approximating curves and values of regression coefficients are given. An idea of generalization of the results of investigations towards fills of diversified structure and granulation (e.g. sandy-clay or clayey ones) is outlined.

# ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ ПЕСКА ОТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЛЕГКОГО СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДА

Резюме. В докладе даются описание, результаты и анализ результатов трех серий (95 исследований) зондирования образиового песка в калибрационной камере при помощи статического зонда, вдавливаемого вручную типа HANSON-5. Для анализа результатов было использовано взвешенное среднее сопротивления конуса зонда. Для трех уровней влажности была установлена нелинейная зависимость плотности песка от сопротивления зонда. В работе даются диаграммы определенных функций, аппроксимирующих эмпирические точки этой зависимости, и значения рассчитанных коэффициентов регрессии. Представлена концепция обобщения результатов исследований для насыпей с неоднородным строением и неодинаковой зернистостью (например, песчано-глинистые или глинистые насыпи).

#### 1. WSTĘP

Często spotykamy się z problemem oceny geotechnicznej przypowierzchniowych, cienkich warstw podłoża gruntowego zbudowanych z gruntów nasypowych. W praktyce są to najczęściej nasypy budowłane z wymaganą kontrolą ich zagęszczenia (np.poduszki piaskowe lub piaskowo-żwirowe) i nasypy niebudowłane (np. zasypki gruntowe wykopów dla infrastruktury miejskiej w postaci instalacji wodociągowo-kanalizacyjnej, gazowej, ciepłowniczej, teletechnicznej itp.). Ich miąższości bywają różne, najczęściej jednak nie przekraczają grubości 1,5 m.

Na podstawie literatury [1], [2], [5] oraz badań własnych [3], [4] wydaje się, że celowe i bardzo przydatne w takich przypadkach są badania "in situ", w których bezpośrednio i w sposób ciągły mierzy się opór stożka sondy wciskanej w grunt.

Ocena geotechniczna cienkich warstw nasypów, szczególnie niebudowlanych, jest trudna z powodu braku zasad interpretacji wyników badań ich jakości. Według ustaleń normy PN-81/B-03020 w interpretacji sondowań dynamicznych nie należy uwzględniać wyników wbijania sondy w zakresie głębokości 1,0÷1,5 m ppt. Brakuje natomiast odpowiednich ustaleń dotyczących interpretacji wyników oporu statycznego sond wciskanych.

Problem jest złożony i zależy od rodzaju nasypu. W ocenie jakości nasypu piaszczystego może być wykorzystana znajomość zależności między oporem statycznym sondy i stopniem zagęszczenia piasku wzorcowego. Natomiast w ocenie zasypek gruntowych o zróżnicowanym składzie (najczęściej piaszczysto-gliniastym) można oprzeć się na zależności pomiędzy modułem odkształcenia nasypu i oporem stożka sondy.

W niniejszym referacie przedstawiono realizację pierwszego sposobu opartego na pomyśle średnioważonej wąrtości oporu stożka sondy (q<sub>c</sub><sup>\*</sup>) jako miernika zagęszczenia nasypu piaszczystego.

Rozwiązanie drugiego zagadnienia wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań modelowych zweryfikowanych badaniami polowymi.

Wydaje się możliwe określenie korelacji między wartością oporu sondy  $(q_c^*)$  i modułem odkształcenia nasypu wyznaczonym za pomocą próbnego obciążenia. Przemawiają za tym wyniki rozpoczętych badań porównawczych poduszki piaskowej sondą wciskaną i płytą naciskową aparatury VSS stosowanej w drogownictwie.

#### 2. OPIS I WYNIKI PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

W celu wycechowania sondy oraz określenia wpływu zagęszczenia i wilgotności piasku na opór sondowania statycznego wykonano trzy serie testów penetracyjnych za pomocą lekkiej sondy wciskanej ręcznie o nazwie "HANSON-5" firmy AP v.d.Berg z Holandii (rys. 1).

W pierwszej serii (25 badań) sondowano piasek suchy ( $w_1=0,15\%$ ) o zagęszczeniu wahającym się w przedziale  $I_D=0,11\div0,76$ . W drugiej serii (45 badań) badano piasek wilgotny ( $w_2 = 4,0\div5,1\%$ ) o zagęszczeniu  $I_D=0,075\div0,36$ . Wilgotność piasku w trzeciej serii (25 badań) wynosiła  $w_3=7,2\div9,8$ , a jego zagęszczenie  $I_D=0,20\div0,41$ .

Piasek średni, równoziarnisty ( $\rho_s$ = 2,656 g/cm<sup>3</sup>;  $e_{max}$ =0,758;  $e_{min}$ =0,463; U=3,1) był układany i zagęszczany (metodą wibracyjną lub dynamiczną) warstwami o grubości 0,10÷0,15m w komorze kalibracyjnej (rura z pleksiglasu) o średnicy wewnętrznej D=0,29 m i wysokości H=1,3 m. W komorze tej możliwe było sondowanie nasypu piaszczystego do głębokości h ≤ 1,2m.



Rys. 1. Sonda weiskana Fig. 1. Hand operated cone penetrometer

Poszczególne testy penetracyjne wykonano według schematu rozmieszczenia sondowań, przedstawionego na rys. 2.



Rys.2. Schemat rozmieszczenia sondowań Fig.2. Scheme of penetrations

Stożek sondy wciskano w grunt z prędkością 2 cm/s. Dla każdej serii 5 sondowań (punkty nr 1÷5) określono wilgotność piasku i jego gęstość objętościową, na podstawie których wyznaczono wartości średnie jego stopnia zageszczenia ( $I_D$ ).

Z innych badań modelowych w komorach kalibracyjnych [5] oraz poprzez analogię do zasięgu strefy zagęszczonej w wyniku wciskania w grunt pali wynika, że w zbiorniku o średnicy 290 mm można było wykonać do 5 sondowań stożkiem o powierzchni 1,0 cm<sup>2</sup> (d<sub>1</sub>=11,3 mm), otrzymując poprawne wyniki.

Minimalna odległość między kolejnymi sondowaniami, przy 5 replikacjach, nie przekraczała 6 średnic stożka sondy. Za podstawowe badania uznano doświadczenia, w których stożek sondy wciskano w środku zbiornika (sondowanie w punkcie nr 1). Dla każdego z nich sporządzono wykres wartości oporu stożka ( $q_c$ ) dla kolejnych 10 cm zagłębienia sondy w piasek. Dla sondowań w punktach nr 2÷5 wykonano wykresy zmian wartości średnich ( $q_c$ ) wraz z głębokością sondowania. Przykładowy wykres sondowania przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Wykres sondowania Fig.3. Diagram of penetration

## 3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Przeprowadzone badania wykazały wzrost oporu stożka sondy ( $q_c$ ) wraz ze wzrostem zagęszczenia piasku i głębokości sondowania (rys.3). W analizie rezultatów badań posłużono się wartością średnioważoną oporu stożka ( $q_c^*$ ) określoną według zależności:

$$q_c^* = \frac{\sum q_{cr} \cdot h_r}{\sum h_i} \tag{1}$$

gdzie: qci - wartość oporu stożka sondy w [MPa] dla i-tej warstwy,

hi – miąższość i-tej warstwy równa 10 cm.

W tablicy 1 zestawiono wartości liczbowe parametru qe<sup>•</sup> określone dla poszczególnych sondowań wykonanych w punktach nr 1 i nr 2÷5 przy różnym zagęszczeniu i wilgotności piasku.

Stwierdzono istnienie zależności nieliniowej między wartością stopnia zagęszczenia piasku ( $I_D$ ) i wartością średnioważoną oporu stożka sondy ( $q_c^{\circ}$ ) dla poszczególnych poziomów wilgotności ( $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ ). Wstępnie wyznaczone, dla poszczególnych punktów empirycznych, odręczne linie regresji wykazały duże podobieństwo do wykresów funkcji logarytmicznej o postaci:

$$I_D = a \cdot \ln q_c^* + b \tag{2}$$

Współczynniki regresji (a,b) powyższej zależności obliczono według metody najmniejszych kwadratów przy użyciu komputera klasy PC 486 DX i programu do aproksymacji o nazwie EUREKA. Przebiegi funkcji (2) aproksymujących wyniki doświadczeń przedstawiono na rys. 4, na którym podano również wartości obliczonych współczynników regresji (a,b).

Obliczone wartości sum kwadratów odchyleń punktów empirycznych od oszacowań wynikających z ustalonych funkcji regresji (2) wahają się w przedziale  $5,8\cdot10^{-4}\pm1,3\cdot10^{-2}$ . Są one niższe od analogicznych wartości sum kwadratów odchyleń ( $2,2\cdot10^{-3}\pm2,0\cdot10^{-2}$ ) ustalonych dla funkcji liniowych o współczynnikach korelacji mieszczących się w przedziale  $0,684 \pm 0,959$ .

Wilgotność	q.*	qc* [MPa]		
	pkt nr 1	pkt nr 2-5		
	0.11	0.16	0.11	
	0.57	0.49	0.47	
W1	1.08	0.94	0.54	
0.15%	2.59	2.82	0.63	
12.04	3.57	3.76	0.76	
	1.31	1.83	0.075	
	1.76	1.79	0.16	
	2.42	1.79	0.22	
W2	3.06	2.96	0.25	
4,0+5,1%	4.21	4.38	0.28	
	2 68	2.46	0.34	
	5.13	4.89	0.35	
	4.84	5.31	0.36	
	2.10	1.98	0.20	
W <sub>3</sub>	3.33	3.59	0.33	
7,2+9,8%	3.19	3.72	0.36	
1	4.48	4.65	0.39	
	5.25	5.46	0.41	

					Tablica	1
Wartości	średnie o	porów	stożka	(q.)		

Z wykresów na rys.4 i obliczonych wartości sum kwadratów odchyleń wynika, że dla sondowań wykonanych w punkcie nr 1 uzyskano mniejsze rozproszenie punktów empirycznych w stosunku do sondowań w punktach nr 2÷5. Zatem sondowanie w środku komory kalibracyjnej należy uznać za badanie podstawowe.

Zależność  $I_D=f(q_c^*)$  ma charakter nieliniowy. Stopień zagęszczenia piasku zależy od wartości  $q_c^*$  i wilgotności. Dla piasku suchego (w<sub>1</sub>), o podobnym zagęszczeniu uzyskano znacznie mniejsze wartości oporu ( $q_c^*$ ) niż przy sondowaniu piasku wilgotnego (w<sub>2</sub>, w<sub>3</sub>).

Zauważa się rownież, iż opór stożka sondy ( $q_c^*$ ) przy penetracji piasku wilgotnego w stanie luźnym ( $I_D$ =0,15÷0,33) jest porównywalny z oporem stożka w piasku suchym w stanie średniozagęszczonym ( $I_D$ =0,34÷0,67).



Rys.4. Sondowania w punkcie nr 1 oraz 2÷5 Fig.4. Penetrations at points no. 1 and 2÷5

#### 4. PODSUMOWANIE

W ocenie geotechnicznej nasypów piaszczystych istotnym zagadnieniem jest określenie ich stanu zagęszczenia. W przypadku cienkich nasypów, o grubości do 1,5 m, bardzo przydatne są sondowania statyczne lekką sondą wciskaną ręcznie typu HANSON-5.

Z przeprowadzonych badań i analizy ich rezultatów wynika, że:

- opór stożka sondy (q<sub>c</sub>) rośnie wraz ze wzrostem zagęszczenia i głębokości sondowania oraz zależy od wilgotności nasypu piaszczystego,
- stopień zagęszczenia nasypu zależy od wartości średnioważonej oporu sondy ( $q_c^*$ ) i wilgotności. Zależność  $I_D=f(q_c^*)$  ma charakter nieliniowy. Dobrą aproksymację punktów empirycznych tej zależności uzyskano za pomocą funkcji logarytmicznej  $I_D = a \ln q_c^* + b$ ,
- wartości q<sub>c</sub>\* dla piasku suchego są mniejsze od wartości q<sub>c</sub>\* dla piasku wilgotnego o podobnym zagęszczeniu. Wartości tego parametru dla piasku wilgotnego w stanie luźnym (I<sub>D</sub>=0,15+0,33) są porównywalne z rezultatami uzyskanymi dla piasku suchego w stanie średniozagęszczonym (I<sub>D</sub>=0,34+0,67).

Wydaje się możliwe uogólnienie wyników badań poprzez określenie korelacji między wartością oporu sondy (q.\*) i modułem odkształcenia warstw przypowierzchniowych nasypu wyznaczonym za pomocą próbnego obciążenia. Przemawiają za tym rozpoczęte badania porównawcze poduszki piaskowej sondą wciskaną i płytą naciskową aparatury VSS stosowanej w drogownictwie. Nasuwa się hipoteza o możliwości wykorzystania stwierdzonych zalezności do oceny nasypów o zróżnicowanej budowie i róznym uziarnieniu (np. nasypy piaszczysto-gliniaste bądź gliniaste). Wymaga to dodatkowych badań modelowych oraz ich weryfikacji badaniami polowymi.

### LITERATURA

- Młynarek Z., Szymański. A.: Badania "in situ" i ich wykorzystanie w projektowaniu. Ref. gen., X Kraj. Konf. Mech.Grunt.Fund.Warszawa 1995, ss. 1÷12.
- [2] Pogorzelska J.: Wykonywanie i interpretacja badań stożkową sondą wciskaną. Przegląd literatury. Instytut Techniki Budowlanej. Warszawa 1993.

- [3] Soczawa A.: Badania zagęszczenia zasypek gruntowych po ułożeniu kanalizacji teletechnicznej w Gliwicach. Praca naukowo-badawcza NB-74/RB-2/93. Politechnika Ślaska, Zakład Geotechniki. Gliwice 1993.
- [4] Soczawa A.: Badania geotechniczne przypowierzchniowych warstw nasypu lekką sondą statyczną Praca badawcza BW-68/RB-2/94. Politechnika Śląska. Katedra Goetechniki. Gliwice 1994.
- [5] Tschuschke W.: Zastosowanie metody statycznego sondowania do oceny stanu zagęszczenia budowli ziemnych. Dysertacja doktorska, Akademia Rolnicza w Poznaniu. Wydział Melioracji Wodnych.Zakład Geotechniki, Poznań 1988.
- [6] Wiłun Z.: Zarys geotechniki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1987.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Krystyna Skarżyńska

Wpłynęło do Redakcji 5.05.1995 r.

#### Abstract

The paper presents the description and the findings analysis of three series of sand penetration in a calibration chamber by means of a hand - operated static penetrometer type HANSON- 5. In the findings analysis - according to the relation (1) - the weighted average cone resistance value ( $q_e^*$ ) will be used. The location of the penetration points is shown on fig. 2. Fig 3 presents the exemplification of a penetration diagram. Table 1 contains the weighted average cone resistance values for different density ratio and humidity in the tested sand. A non - linear relation between sand density ratio ( $I_D$ ) and the weighted average cone resistance ( $q_e^*$ ) has been stated. Fig. 4 present the curves (functions-approximation of empirical points) with the regression coefficients (a,b) of the functional relation  $I_D = a \ln q_e^* + b$ . A method of generalization of findings for different kinds of embankments (structure and graining) has been proposed, but additional model testing and site investigation are necessary.