

ZBIGNIEW FRANKOWSKI

Institut Geologiczny

## WSTĘPNE UWAGI NA TEMAT INTERPRETACJI WYNIKÓW SONDOWAŃ DYNAMICZNYCH I STATYCZNYCH

UKD 624.131.21:624.131.431.2:624.131.35:624.131.35+624.131.363/364

Prawidłowa ocena stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych stanowiących podłoże budowlane jest jednym z problemów jak dotychczas otwartych. Znajomość stanu gruntu konieczna jest do właściwego określenia nośności podłoża, projektowania fundamentów i przyjęcia odpowiedniej konstrukcji budowli. W celu wyznaczenia cech fizyczno-mechanicznych podłoża stosowane są metody laboratoryjne i polowe. Pobieranie próbek o nienaruszonej strukturze do badań laboratoryjnych, szczególnie poniżej zwierciadła wody gruntowej nie jest jeszcze wystarczająco rozwiązane. Wpływa na to brak odpowiednich próbników oraz trudności w zabezpieczeniu próbek w czasie transportu i inne względy. Powyższe trudności spowodowały opracowanie wielu metod polowych, pozwalających mniej lub bardziej dokładnie określać cechy gruntów. Do szczególnie rozpowszechnionych metod należy zaliczyć sondowania, które bardzo ogólnie można podzielić na dwie grupy: sondowania dynamiczne i statyczne.

W Polsce powszechnie wykorzystuje się w badaniach terenowych sondowania dynamiczne — sondę udarowo-obrotową typu ITB-ZW oraz sondę cylindryczną. Sondowania statyczne nie znalazły dotychczas w Polsce szerszego zastosowania w rozpoznawaniu podłoża, jedynie sondą statyczną wkręcaną opartą na szwedzkiej sondzie Viktsond przeprowadzono szereg doświadczalnych badań polowych (1).

W badaniach polowych prowadzonych przez Instytut Geologiczny stosowane są m.in. sondowania sondą udarowo-obrotową oraz penetrometrem statycznym typu holenderskiego. Jako polski odpowiednik statycznego penetrometru można przyjąć określenie „sonda wciskana”. W sondzie udarowo-obrotowej wykorzystywane są końcówki: krzyżakowa o średnicy  $d = 64$  mm i wysokości  $h = 90$  mm oraz stożkowa o średnicy  $d = 50$  mm i kącie wierzchołkowym  $\alpha = 60^\circ$  zgodnie z zalecaną instrukcją (5).

Badania gruntów sondą wciskaną przeprowadzane są za granicą już od 40 lat, przy czym szczególnie szerokie zastosowanie znalazły w Holandii i Belgii. Sondowanie polega tu na pogrążeniu w grunt żerdzi (odcinki 1,0 m) o średnicy  $d = 36$  mm, zakończonych stożkiem o powierzchni  $F = 10$  cm<sup>2</sup> i kącie wierzchołkowym  $\alpha = 60^\circ$ . Żerdzie wciskane są w grunt za pomocą układu mechanicznego. Konstrukcja aparatu pozwala na niezależne pomiary oporu wywieranego na stożek i tarcia na pobocznicy wciskanych żerdzi (zastosowany podwójny układ żerdzi). Stosowany w badaniach aparat pozwala na badanie gruntów o oporze na stożku do 250 kg/cm<sup>2</sup> i głębokości sondowania 10—12 m ppt.

Wzory i tabele, na których podstawie można wyznaczyć cechy fizyczno-mechaniczne gruntów sypkich i spoistych, opracowano statystycznie (2, 7). Badania z sondą wciskaną nie były dotychczas w kraju szerzej prowadzone.

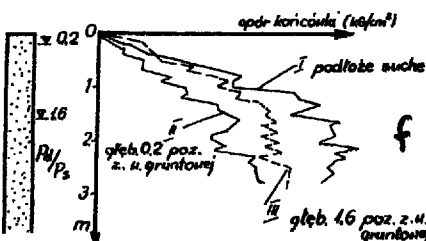
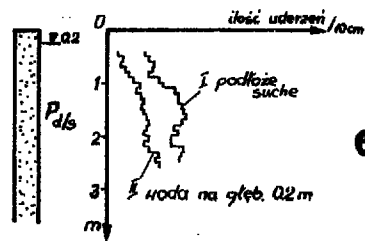
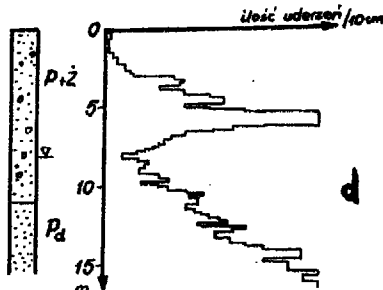
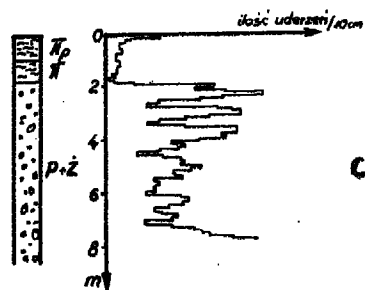
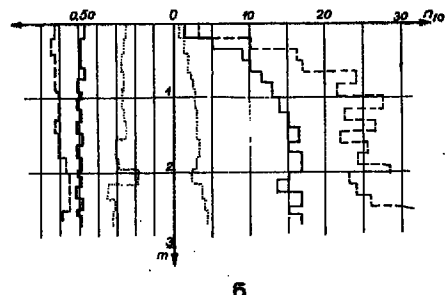
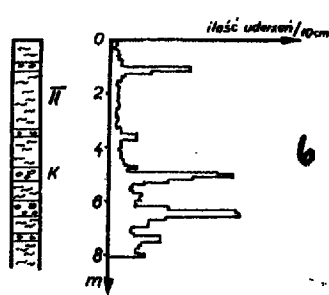
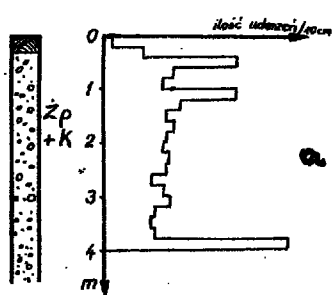
### OCENA WYNIKÓW SONDOWANIA

Równoległe ze wzrostem zastosowania sondowań dynamicznych i statycznych prowadzone są badania nad ujęciem ilościowym czynników wpływających zniekształcająco na mierzone wielkości oporów gruntu. Wielu badaczy (2, 7, 9) podkreśla znaczny wpływ zróżnicowania środowiska geologicznego na wyniki sondowań. I tak, niezależnie od stopnia zagęszczenia gruntów, na wielkość mierzonych oporów ma wpływ:

- rodzaj gruntu (skład granulometryczny, stopień obtoczenia ziarn, współczynnik niejednorodności, domieszki gruntów organicznych),
- układ warstw,
- wilgotność,
- rozkład naprężeń w gruncie,
- istnienie naturalnej cementacji (spoiwa) oraz niedoskonałości w rozwiązaniach konstrukcyjnych aparatury.

Na podstawie normy niemieckiej DIN 4094 przytoczono kilka przykładów ilustrujących wpływ różnych czynników na wyniki sondowań w gruntach niespoistych. Na ryc. 1a i b pokazano wpływ kamieni i wkładek kamienistych na wielkości oporów sondowań. Stwierdzono, że rodzaj gruntu jest jednym z podstawowych czynników mających wpływ na wyniki sondowania. Ryc. 1c przedstawia zmianę w wielkości oporów sondowania spowodowaną różnymi gruntami. Na ryc. 1d pokazano wpływ tarcia na pobocznicy żerdzi na ilość uderzeń na 10 cm pogrążenia sondy. Zamulenie otworu poniżej zwierciadła wody gruntowej spowodowało znaczne tarcie na pobocznicy żerdzi sondy.

Wpływ wilgotności gruntu na wyniki sondowania zestawiono na ryc. 1e i f. Badania wykonano w piaskach suchych, następnie te same grunty zawodniono, powtarzając sondowania przy różnych poziomach zwierciadła wody. Piaski w stanie suchym wykazały znacznie wyższy opór przy sondowaniu niż nawodnione. Wpływ głębokości sondowania został dokładnie udokumentowany badaniami modelowymi (9). Sondowania przeprowadzono w piaskach średnioziarnistych o określonych stopniach zagęszczenia (ryc. 1g), wykazujących, że ilość uderzeń na 10 cm zagłębienia sondy stabilizuje się dopiero od pewnej głębokości.



Ryc. 1. Czynniki wpływające na wynik sondowania.

a — wpływ kamieni na wynik sondowania, b — wpływ wkładek kamienistych, c — wpływ rodzaju gruntu na wynik sondowania, d — wpływ tarcia na pobocznicę przy sondowaniu w piaskach i żwirach poniżej zwierciadła wody gruntowej, e — wpływ wody gruntowej na wynik sondowania, f — wpływ wahań zwierciadła wody gruntowej na opory sondowania, g — wpływ głębokości sondowania na ilość uderzeń na 10 cm pogrążenia sondy.

Fig. 1. Factors influencing the results of sounding.

a — influence of stones on the result of sounding, b — influence of stone intercalations, c — influence of the type of soil, d — influence of side friction on sounding in sands and gravels below the groundwater level, e — influence of groundwater, f — influence of groundwater level fluctuations on the resistances of sounding, g — influence of the depth of sounding on the number of blows required to drive a probe 10 cm further.

Głębokość krytyczna wynosiła 1,0—1,5 m poniżej powierzchni.

Trudności w ilościowym ujmowaniu wszystkich przedstawionych czynników wpłynęły na opracowanie wzorów i zależności dla każdego rodzaju sondy metodami statystycznymi. Interpretacja wyników jest więc właściwa tylko dla gruntu, który został użyty do cechowania sondy, natomiast dla innych gruntów otrzymujemy już niedokładną ich ocenę.

#### INTERPRETACJA WYNIKÓW

Wyniki otrzymane za pomocą sondy udarowo-obrotowej typu ITB-ZW interpretowane są zgodnie z instrukcją (5). Interpretacja przeprowadzana jest na podstawie krzywej cechowania, która nie uwzględnia rodzaju gruntu, wilgotności, głębokości sondowania itd. Oznaczenie stopnia zagęszczenia gruntu uzależnione jest tylko od rodzaju stosowanej końcówki (stożek, krzyżak). Do interpretacji wyników sondowań sondą wciskaną nie ma również jednoznacznych wytycznych. Przedstawione poniżej zależności nie ujmują w pełni wcześniej podanych czynników.

Trofimienkow i in. (8) na podstawie licznych badań dla różnych rodzajów piasków przy uwzględnieniu głębokości sondowania podali następujące zależności między oporem gruntu na stożku a stopniem zagęszczenia (tab. II), natomiast Schultze i Muhs (7)

ustalili zależności między oporem na stożku a stopniem zagęszczenia dla piasków równoziarnistych drobnych i średnich (tab. III). (Praktycznie  $S_z$  jest około 5—10% większe niż  $D$ ).

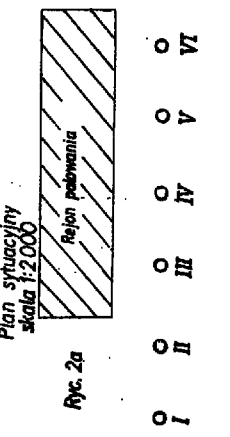
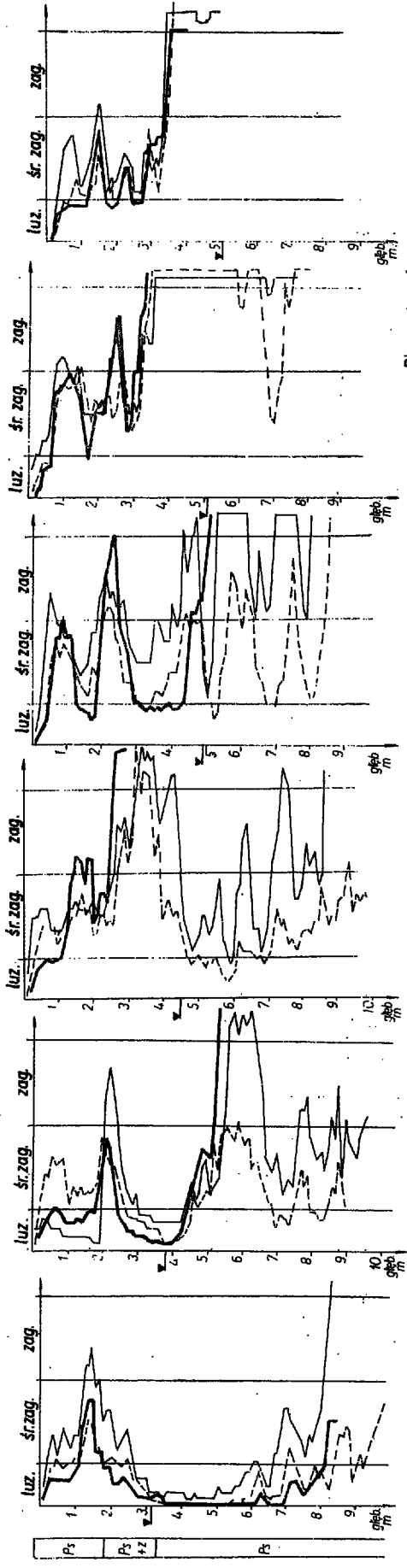
Wielu autorów (2, 7) podkreśla znaczny wpływ zmiany wilgotności gruntu na wielkości mierzonych oporów w sondowaniach, jednak nie precyzują jego wielkości, wg Zwickla (9) opór stawiany sondzie przy tym samym stopniu zagęszczenia jest o połowę mniejszy w gruncie badanym poniżej zwierciadła wody.

#### ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW

Badania przeprowadzone przez Instytut Geologiczny na terenie budowy elektrowni „Dolna Odra” miały na celu określenie stopnia zagęszczenia gruntu. Dokładne rozpoznanie podłoża było konieczne dla właściwego rozwiązania posadowienia ciężkich obiektów energetycznych na gruntach aluwialnych. Biorąc pod uwagę fakt, że koszt takiej inwestycji jest w granicach 7 mld zł, wszelkie niedoceny lub przecenienie nośności podłoża powoduje znaczne straty.

Dla rejonu budowy elektrowni syntetyczny profil geologiczny utworów wypełniających dolinę Odry jest następujący:

Pkt I Pkt II Pkt III Pkt IV Pkt V Pkt VI



Objaśnienia:  
 — sonda wciskana (penetrator)  
 — sonda udarowo-obrotowa (końcówka krzyżakowa)  
 - - - sonda udarowo-obrotowa (końcówka stożkowa)  
 Stan gruntu:  
 luz. luźny  
 śr. zag. średnio zagęszczony  
 zag. zagęszczony

skala 1:500  
 1:100

Ryc. 2. Wykresy stopnia zagęszczenia piasków, wykonane na podstawie badań sondą udarowo-obrotową typu ITB-ZW i sondą wciskaną.

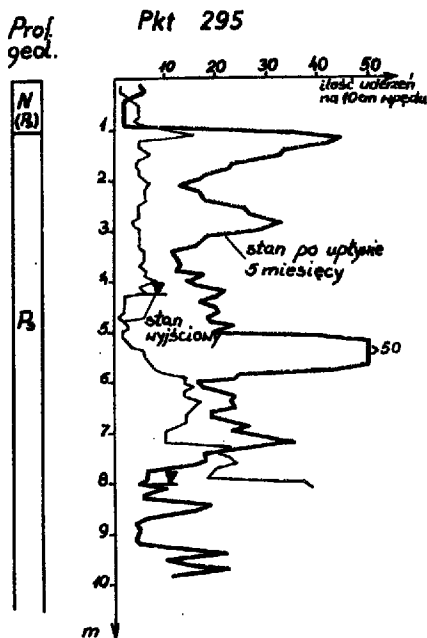
Fig. 2. Diagrams of sand relative density obtained from the results of cone penetrometer (ITB-ZW) and Dutch penetrometer tests.

Tabela I

Liczba uderzeń na 10 cm zagłębienia sondy	Stożek	Stopień zagęszczenia $S_z$	Stan zagęszczenia
1-3	1-4	0,0-0,15	bardzo luźny luźny średnio zagęszczony bardzo zagęszczony
4-6	5-10	0,15-0,33	
7-18	11-30	0,33-0,67	
19-30	31-50	0,67-0,85	
>30	>50	0,85-1,00	

Tabela II

Głębokość sondowania (m)	Opór na stożku (KG/cm <sup>2</sup> )			
	Piasek gruboziarnisty		Piasek średnioziarnisty	
	zagęszczony	średnio zagęszczony	zagęszczony	średnio zagęszczony
5	>160	150-100	>100	100-60
10	>220	220-150	>150	150-90
			>60	30-60
			>90	40-90



Ryc. 3. Wyniki sondowań sondą udarowo-obrotową typu ITB-ZW. Zmiana stanu zagęszczenia podłoża pod wpływem prac budowlanych i odwodnienia.

Fig. 3. Results of cone penetrometer (ITB-ZW) tests. Change in the relative density of the substratum resulting from construction works and drainage.

- warstwa piasków próchnicznych miąższości 30 cm,
- kompleks utworów piaszczysto-żwirowych, miąższości 25—26 m (plejstocen),
- niżej piaszczyste gliny zwałowe, których miąższość nie została wierceniami określona (plejstocen).

Do holocenu zaliczono tylko warstwę piasków próchnicznych. Liczne wiercenia wykazały, iż kompleks utworów sypkich charakteryzuje się dużą zmiennością granulometryczną. Stwierdzono, że ogólnie ze wzrostem głębokości występuje coraz grubszy materiał — od piasków średnich do żwirów, pospółek i zwałów otoczków (bruk rzeczny). Sondowaniami i badaniami laboratoryjnymi scharakteryzowano kompleks utworów piaszczysto-żwirowych miąższości 10—12 m. Analiza granulometryczna wielu próbek aluwii pobranych do głębokości 10 m wykazała zupełny brak frakcji pylastej. Świadczy to o dość dużych prędkościach przepływu wody w rzece w okresie akumulacji osadów.

Na ryc. 2 zestawiono rezultaty badań sondą udarowo-obrotową z końcówkami krzyżakową i stożkową oraz sondą wciskaną, której mały zasięg głębokościowy tłumaczy się jego niewielkim udźwigniem 2,5 T. Analiza uzyskanych krzywych wskazuje na ogólnie dobrą korelację między wynikami otrzymanymi z sondowań dynamicznych i statycznych z wyjątkiem strefy głębokościowej 0—1,5 m. W tej strefie zniekształcająco wpływa wiele czynników już wcześniej omówionych.

Wyniki sondowań sondą udarowo-obrotową z końcówką krzyżakową i stożkową wskazują również na brak uzasadnienia dla dotychczasowych różnic w interpretacji danych dla gruntów piaszczystych, gdyż obserwuje się, że w tych gruntach niezawodnionych ilość uderzeń na 10 cm wpeđu sondy zakończonej krzyżakiem i stożkiem jest zbliżona. Natomiast poniżej zwierciadła wody przy zachowaniu pozostałych warunków gruntowych wzrasta ilość uderzeń na 10 cm pogażenia sondy z końcówką krzyżakową w stosunku do sondowania z końcówką stożkową przy bezwzględny obniżeniu ilości uderzeń dla obu sond.

Opór na stożku (KG/cm <sup>2</sup> )	Wskaźnik zagęszczenia: $D = \frac{n_{max} - n}{n_{max} - n_{min}}$	Stan gruntu
> 25	≤ 0,15	bardzo luźny
25—50	0,15—0,25	luźny
50—100	0,25—0,35	luźny (śred. zagęszczony)
100—150	0,35—0,50	średnio zagęszczony
> 150	≥ 0,5	zagęszcz. i b. zagęszczony

$$\text{gdzie } S_z = D \frac{1 - n_{min}}{1 - n} \quad n - \text{porowatość}$$

Charakterystyczne jest także zmniejszanie się wielkości oporu stawianego przez grunt sondom dynamicznym i statycznym w momencie ich zbliżenia się do poziomu występowania zwierciadła wody gruntowej.

Wyniki sondowań (ryc. 2) rozpatrywane pod kątem zmian stopnia zagęszczenia gruntu pozwoliły stwierdzić wyraźny wzrost zagęszczenia piasków pod wpływem pracy kafarów wykonujących pale Franki, jak i czynnego odwodnienia terenu. Rejon palowania był oddalony od linii sondowań o około 24 m (ryc. 2a).

Inny przykład wskazujący na znaczny wpływ prac budowlanych w czasie na wzrost zagęszczenia gruntu pokazano na ryc. 3. Badanie wykonane przez Przedsiębiorstwo Hydrogeologiczne w Poznaniu sondą udarowo-obrotową z końcówką krzyżakową przed rozpoczęciem robót na terenie budowy wykazało, że stopień zagęszczenia piasków jest do głębokości 6 m ppt luźny, zaś niżej średnio zagęszczony. Sondowanie powtórzone w tym samym punkcie przez Instytut Geologiczny po upływie 5 miesięcy również sondą krzyżakową określiło stan gruntu jako średnio zagęszczony z warstwami zagęszczonymi.

Przedstawione wyniki badań wskazują na dużą czułość sond dynamicznych i statycznych na wpływ różnych czynników. Sumując, dane z sondowań powinny być interpretowane bardziej jakościowo niż ilościowo. Ilościowa analiza wyników sondowań jest prawidłowa jedynie w przypadku, gdy badany grunt odpowiada warunkom cechowania stosowanej sondy.

#### UWAGI KOŃCOWE

1. Uzyskano ogólnie dobrą korelację wyników sondowań dynamicznych i statycznych.
2. Pełne wykorzystanie sond wciskanych będzie możliwe po wprowadzeniu do badań aparatu o nacisku około 10 T.
3. Różnice w interpretacji wyników sondowań otrzymanych sondą udarowo-obrotową przy stosowaniu końcówek stożkowej i krzyżakowej nie zostały dla gruntów aluwialnych potwierdzone.
4. Przedstawionymi sondami trudno prawidłowo określić stopień zagęszczenia gruntów niespoistych występujących do głęb. 1—2 m ppt.
5. Dla piasków aluwialnych można tymczasowo uwzględnić następujące uwagi:

- dla utworów leżących powyżej zwierciadła wody gruntowej stosować dotychczasowe wytyczne;
- dla utworów występujących w strefie wahań zwierciadła wody gruntowej, mimo obniżenia ilości uderzeń na 10 cm pogażenia sondy, należy przyjmować stopień zagęszczenia odpowiadający warstwom nadległym;
- dla piasków występujących poniżej zwierciadła wody gruntowej ilość uderzeń jest za niska, jednak określenie tej wielkości wymaga jeszcze badań.

## LITERATURA

1. Badania geotechniczne gruntów „in situ”. Konferencja naukowo-techniczna SITG. Polski Komitet Geotechniki, 1971.
2. Bondarik G. K., Komarow I. G. Ferronsky B. J. — Polewyje metody inżynierno-geoologicznych issledowanij. Niedra, Moskwa, 1967.
3. Deutsche Normen DIN 4094 „Baugrund-Ramm- und Drucksondergerate”. Hinweise für die Anwendung, 1965.
4. Erwig H. — Modern penetrometer testing for soil investigation and foundation design. Civil Engineering and Public Works Review 1970, no. 9.
5. Instrukcja wykonywania badań podłoża gruntowego sondą udarowo-obrotową typu ITB-ZW. Ośrod. Inf. Tech. i Ekon. w Bud. Warszawa, 1963.
6. Ruiter J. — Electric penetrometer for site investigations. Jour. Soil. Mech. and Found. Div. ASCE, 1971, no. 2.
7. Schultze E., Muhs H. — Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten. Springer-Verlag, Berlin — Heidelberg — New York, 1967.
8. Trofimienkow I. G., Worobkow L. N., Smirnicij A. I., Benediktow A. A. — Polewyje metody issledowanij stroitielnych swoistw gruntow, Moskwa, 1964.
9. Zweck H. — Baugrunduntersuchungen durch Sonden. Bauingenieur — Praxis, 1969, H. 71.

## SUMMARY

The relative density of non-cohesive soils in situ may be obtained by means of dynamic and static sounding. In Poland dynamic sounding is more commonly used, especially the cone penetrometer (ITB-ZW) and the standard penetration test, whereas described Dutch penetrometer test was performed for the first time.

Factors influencing interpretation of the results of both dynamic and static sounding are given. The most important of these include: type of soil, depth of sounding, and soil moisture. The principles of interpretation of the results of two sounding techniques are discussed. The paper presents the results of sounding obtained for alluvial soils from the area of construction of a power plant. The sounding were carried out by means of cone penetrometer (ITB-ZW) and Dutch penetrometer. The analysis of the results was carried out by taking into account the above factors influencing the interpretation. Moreover, the changes in substratum, resulting from the construction of plant foundations and from drainage of waters are discussed.

## РЕЗЮМЕ

К методам полевого определения степени уплотнения несвязных грунтов относится статическое и динамическое зондирование, которое нашло широкое применение в Польше. Чаще всего применяется ударно-вращательный и цилиндрический зонды. Впервые проводились работы с помощью вдавливаемого зонда (голландский пенетромтр).

Рассматривается ряд факторов, которые влияют на интерпретацию данных динамического и статического зондирования. К основным из них относятся: тип грунта, глубина зондирования и влажность. Анализируются также принципы интерпретации в применении к разным методам зондирования.

В работе представлены результаты зондирования в аллювиальных грунтах, производимых ударно-вращательным и вдавливаемым зондами на участке строительства электростанции. Полученные данные анализируются с учетом перечисленных факторов. Рассматриваются изменения в основании, вызванные закладкой фундамента и активным осушением.