

Marian BOROWCZYK

## Oznaczanie parametrów fizycznych gruntu w geologii inżynierskiej metodami izotopowymi<sup>1</sup>

### WSTĘP

Badania geologiczno-inżynierskie niezbędne dla projektowania różnych typów obiektów budowlanych zacierają właściwie w dwóch kierunkach:

— pierwszy polega na dążeniu do ustalenia i powiązania własności fizyko-mechanicznych gruntu z jego historią geologiczną i pozwala wysnuć wnioski o jego zachowaniu się w nowych warunkach pracy,

— drugi polega na rozpatrywaniu przyczyny i przebiegu lokalnych zjawisk geologicznych, które zachodzą w następstwie wykonanych budowli lub mogą im zagrażać.

Obraz układu warstw w badanym miejscu pozwalają nakreślić wiercenia badawcze; dają one jednak stosunkowo nieznaczną liczbę parametrów potrzebnych do określenia stanu gruntów. Uzupełnienie stanowią tu badania laboratoryjne próbek gruntu pobranych w czasie wierceń. Otrzymane wyniki podają właściwości małych próbek gruntu i nie pozwalają odtworzyć rzeczywistych warunków pracy gruntu w układzie naturalnym. Od dokładnego rozpoznania podłoża zależy trafność w przewidywaniu zmian zjawisk geologicznych po wybudowaniu obiektu.

Obecnie notuje się szybki rozwój wielu metod sondowań, które ustalają właściwości fizyczne i mechaniczne gruntów w ich naturalnych warunkach występowania. W Polsce powszechnie stosowana jest sonda udarowo-obrotowa typu ITB-ZW (Instytut Techniki Budowlanej, 1963). W krajach zachodnich badania tego rodzaju prowadzi się w oparciu o różne typy sond statycznych i dynamicznych (H. Muhs, 1957). W ostatnich czasach obserwuje się też dążenie do szerokiego wprowadzania różnorodnych sond izotopowych. Stosowanie sond izotopowych rozszerza znacznie możliwości określenia właściwości fizycznych gruntu; niekiedy dostarcza nowych danych nieosiągalnych dotychczasowymi metodami badań.

---

<sup>1</sup> Referat wygłoszony na Sesji Naukowej I.G. w dniu 11 lutego 1964 r.

OKREŚLANIE I ŚLEDZENIE ZMIAN WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH  
GRUNTU METODAMI IZOTOPOWYMI

Zastosowanie metod izotopowych do badań właściwości gruntu dało okazję do śledzenia procesów i zjawisk zachodzących w gruncie pod wpływem oddziaływań zewnętrznych. Obserwacje te mogą być prowadzone bez zakłóceń naturalnych procesów, jak również bez dokonywania jakichkolwiek zmian w strukturze i w fizycznym stanie gruntu. Określanie właściwości fizycznych gruntu, jak i zachodzących procesów opiera się zasadniczo na pomiarze stanu zagęszczenia i wilgotności gruntu. Dla ustalenia ciężaru objętościowego gruntu, określającego zagęszczenie badanego ośrodka stosuje się metody izotopowe, oparte na zjawisku rozpraszania i pochłaniania kwantów gamma podczas przechodzenia ich przez środowisko gruntowe.

Metody oparte na zjawisku spowolnienia i rozproszenia neutronów wykorzystuje się przy określaniu wilgotności gruntu (M. Borowczyk, i in., 1961; B. Dziunikowski i in., 1961; W. Bojanowski i in., 1964). Produkowane w Polsce różne typy sond izotopowych pozwalają określać wilgotność i ciężar objętościowy gruntu na powierzchni terenu, w warstwach przypowierzchniowych, jak i na dowolnej głębokości. Zależność między natężeniami impulsów rejestrowanych przez aparaturę a parametrami badanego ośrodka ustala się przez przeprowadzenie pomiarów modelowych w ośrodkach wzorcowych o dokładnie znanych właściwościach, których skład odpowiada pod względem mineralogicznym gruntowi badanemu później w terenie. Otrzymane w ten sposób krzywe cechowania dają dokładność pomiaru ciężaru objętościowego —  $\pm 0,03 \text{ G/cm}^3$ . Przy określaniu wilgotności dokładność pomiaru wynosi  $0,5 \div 1,5\%$  wilgotności.

Bardzo przydatna w badaniach geologiczno-inżynierskich okazała się sonda uniwersalna (M. Borowczyk, Cz. Królikowski, 1964), umożliwiająca jednoczesne określanie właściwości fizycznych gruntu różnymi metodami. Sonda uniwersalna stanowi typ sondy o ostrzu stożkowym, która pozwala wyznaczyć opór gruntu stawiany sondzie, elektryczny opór właściwy środowiska gruntowego, oraz jego ciężar objętościowy i wilgotność.

Kompleksowe stosowanie różnych metod badawczych w jednym miejscu daje możliwość właściwej interpretacji parametrów gruntowych. Pozwala również wnosić o ich wzajemnych zależnościach. Profile takich sondowań bardzo dobrze charakteryzują badane podłoże. Można je traktować jako uzupełnienie wierceń badawczych lub jako samodzielne badanie.

W szerokim zakresie prowadzi się obecnie badania metodami izotopowymi nad zmianami właściwości fizycznych gruntu w czasie, wywołanymi oddziaływaniami zewnętrznymi. Okazuje się, że właśnie te metody zdają najlepiej egzamin, gdyż już od początku budowy przy ich pomocy można śledzić zachodzące w gruncie procesy i zjawiska. W określonych punktach obserwacyjnych (reperach) dokonuje się w różnych odstępach czasu pomiaru ciężaru objętościowego i wilgotności gruntu. Znajomość tych dwóch parametrów pozwala wyznaczyć wzorami mechaniki gruntów (B. Rossiński, 1961) bądź to wskaźnik porowatości gruntu, bądź też ciężar objętościowy szkieletu gruntowego. Jak wiadomo bowiem, każdemu określonemu stanowi zagęszczenia odpowiada określona wielkość jego ciężaru

objętościowego. Wartość ta może być w chwili pomiaru bezpośrednio porównana z wielkością założoną w projekcie (kontrola wykonawstwa nasypów, zapór ziemnych itp.), lub też można analizować jej zmianę w czasie. Z uwagi na to, że wykonuje się badanie zmian ciężaru objętościowego i wilgotności gruntu na całej wysokości profilu, otrzymane wyniki określają strefę aktywną środowiska gruntowego, w zależności od rodzajów oddziaływań zewnętrznych. Obserwacje tego typu dają możliwość określenia zmiany zagęszczenia warstwy jednostkowej, wyrażającej się wzorem (N. A. Cytowicz, W. I. Ferronski, 1960):

$$q_t = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1 + \varepsilon_1} \quad (1)$$

gdzie:

- $\varepsilon_1$  — wskaźnik porowatości gruntu na początku pomiaru
- $\varepsilon_2$  — wskaźnik porowatości gruntu na końcu okresu pomiarowego

Dla całej strefy aktywnej można wtedy obliczyć osiadanie gruntu wg wzoru:

$$S_t = \sum_1^h q_i \cdot h_i \quad (2)$$

gdzie:

- $q_i$  — określone zależnością (1)
- $h_i$  — miąższość poszczególnych warstw gruntu
- $h$  — miąższość strefy aktywnej gruntu (współpracującej z wykonywanym obiektem)

Wzory (1) i (2) umożliwiają ocenę procesu zagęszczania budowanych obiektów ziemnych, jak również pozwalają określać w czasie konsolidację podłoża gruntowego w miarę wznoszenia na nim projektowanych obiektów. Zakładając otwory obserwacyjne (repery) pod budowanym obiektem i na zewnątrz jego obrysów, oraz mierząc w nich na różnych głębokościach i w różnych okresach czasu ciężar objętościowy i wilgotność gruntu, można obserwować zmianę zagęszczenia poszczególnych warstw gruntu, jak i samego masywu gruntowego pod całym obiektem.

Metody izotopowe pozwalają więc bez dokonywania jakichkolwiek zmian w strukturze i w fizycznym stanie gruntu (bez pobierania próbek gruntu) śledzić bezpośrednio zachodzące w środowisku gruntowym procesy i zjawiska. Fakt ten ma szczególne znaczenie tam, gdzie mamy do czynienia z gruntami lessowymi i musimy wnioskować o ich zachowaniu się w nowych warunkach pracy.

## POMIARY W TERENIE

Obserwacje na zbiorniku wodnym procesu konsolidacji wału bocznego, usypanego na warstwie torfu, przeprowadzono przy użyciu izotopowej sondy typu GO-62, o średnicy zewnętrznej 20 mm. Sonda ta pozwoliła określić ciężar objętościowy gruntu. Źródłem promieni gamma był cez  $Cs^{137}$ , o aktywności 10 mC. Oddzielony był on grubym filtrem ołowianym od detektora promieni gamma, który stanowił halogenowy licznik Geigera-Müllera o napięciu 400 V. Źródło, ekran ołowiany, jak i licznik Geigera-Müllera łącznie z określonym układem elektronicznym znajdowały się w samej sondzie. Sonda była połączona kablem z urządzeniem

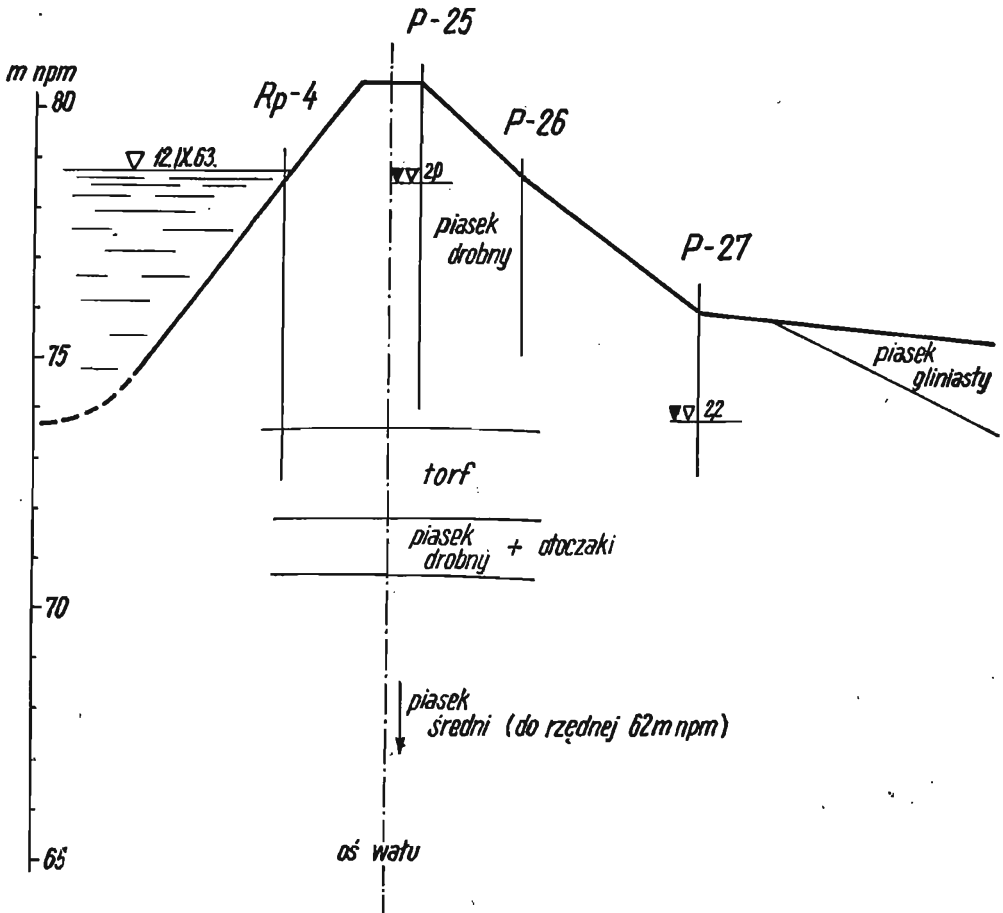


Fig. 1. Poprzeczny przekrój geologiczny wału na km 2 + 080

Geological cross section of embankment at 2 + 080 km

Rp-4 — otwór obserwacyjny (reper) dla badań izotopowych

P-25 — piezometr, zaznaczono nawiercone i ustalone zwierciadło wody

Rp-4 observation hole for isotopic examinations

P-25 piezometer, encountered and established water table is marked

rejestrującym, którym był tranzystorowy przelicznik połowy typu TPP-400. Wymienioną aparaturę izotopową wykonano w Katedrze Fizyki II Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Prototypowy charakter sondy, jak i ograniczony czas na przygotowanie pomiarów nie pozwoliły na wycechowanie sondy i ilościową interpretację wyników.

Na figurze 1 przedstawiono przekrój poprzeczny wału na km 2 + 080. Występują tu torfy o miąższości 1,5÷2,0 m, rozciągające się wzdłuż wału na odcinku około 150 m. Profil geologiczny pod wałem oparty jest na materiałach wiertniczych, uzyskanych przed jego usypaniem; miąższość torfu uległa (na pewno) zmniejszeniu. Obserwacje na tym terenie rozpoczęto w dniu zamknięcia zasuw jazu, tj. 8.XI.62 r. Założono wówczas od strony odwodnej, na jednej wysokości wału, 3 repery: Rp-4 na

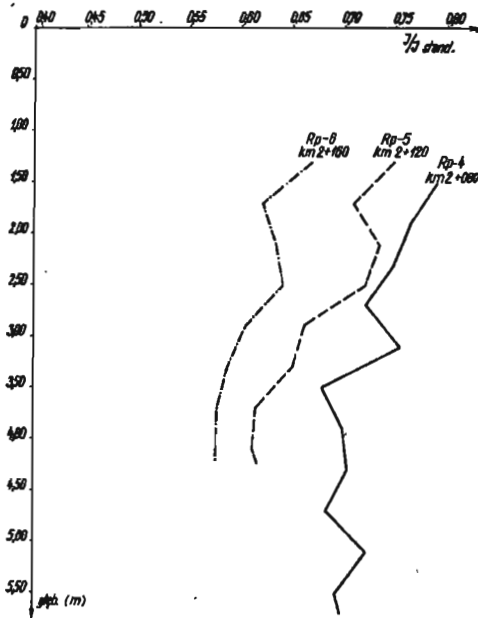


Fig. 2

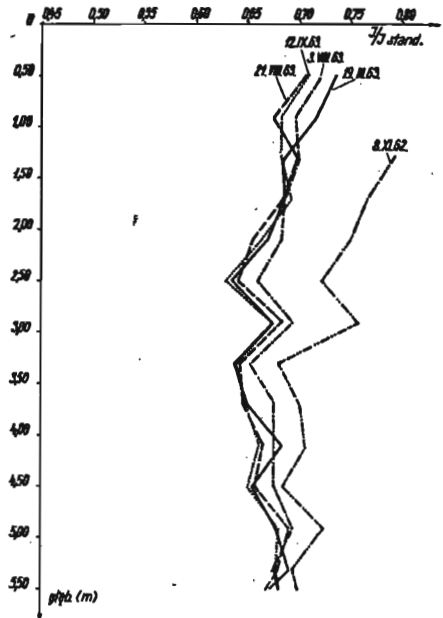


Fig. 3

Fig. 2. Jakościowy profil zmian gęstości gruntu na poszczególnych odcinkach wału w dniu rozpoczęcia piętrzenia w zbiorniku wodnym

Qualitative profile of soil compaction changes within the individual sectors of embankment, at the day of infilling the water basin

I/I stand. — Stosunek ilości impulsów mierzonych na danej głębokości do ilości impulsów policzonych w standaryzatorze

I/I stand. — a ratio of quantity of impulses measured at a given depth to the quantity of impulses computed in standarizer

Fig. 3. Jakościowy profil zmian gęstości gruntu w  $R_p-4$

Qualitative profile of soil compaction changes in  $R_p-4$

krzywa z dnia 8.XI.1962 r. obrazuje stan w dniu rozpoczęcia piętrzenia; krzywa z dnia 19.III.1963 r. obrazuje stan w czasie napełniania zbiornika; krzywe z dnia 3.VIII, 21.VIII i 12.IX.1963 r. obrazują stan po napełnieniu zbiornika;

I/I stand. — Stosunek ilości impulsów mierzonych na danej głębokości do ilości impulsów policzonych w standaryzatorze

curve from 8 Nov. 1962 shows the state at the day of begin of infilling the water basin; curve from 19 March 1963 shows the state during infilling the water basin; curves from 3 Aug., 21 Aug. and 12 Sept. 1963 show the state after infilling the water basin;

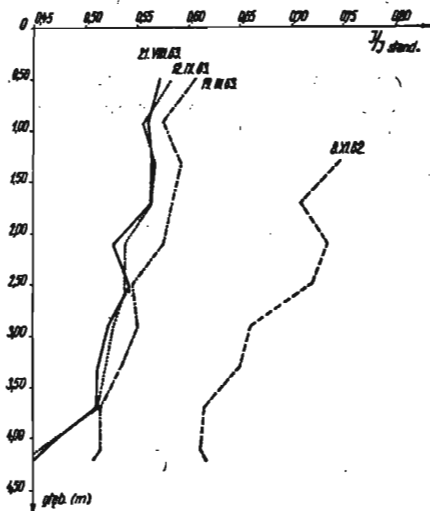
I/I stand. — a ratio of quantity of impulses measured at a given depth to the quantity of impulses computed in standarizer

km 2 + 080;  $R_p-5$  na km 2 + 120; i  $R_p-6$  na km 2 + 160. Za repery (otwory obserwacyjne) służyły rury o średnicy zewnętrznej 33 mm i grubości 4 mm, zamknięte od dołu stożkiem, którego podstawa miała średnicę 33 mm, a kąt wierzchołkowy wynosił  $20^\circ$ . Repery o długości 5÷6,5 m wbite w grunt przy pomocy urządzenia podobnego do zastosowanego w sondzie stożkowej (Instytut Techniki Budowlanej, 1963). Następnie do środka otworów obserwacyjnych opuszczono sondę G/O-62 i na obranych głębokościach wykonano pomiar.

Z uwagi na prowadzone jeszcze prace wykończeniowe po tej stronie wału, pierwsze pomiary wykonano na głębokości 1,30 m. Wyniki tych obserwacji podano na fig. 2, która przedstawia jakościowy profil gęstości w poszczególnych punktach wału. Na oś pionową naniesiono głębokość od powierzchni terenu, na poziomą — stosunek ilości impulsów mierzonych na danej głębokości do ilości impulsów policzonych w standaryzatorze. Stosunek ten jest funkcją ciężaru objętościowego: im większa jest jego wartość, tym mniejszy jest ciężar objętościowy gruntu (natężenie rozproszonego promieniowania gamma zależne jest głównie od gęstości gruntu). Ilość impulsów liczono z błędem statystycznym mniejszym niż 1%. Czas pomiaru na jednej głębokości wynosił 2—3 minuty. Sondę w otworach obserwacyjnych zagłębiało się skokami co 20 cm.

Analizując wykresy (fig. 2) można było jednoznacznie zaobserwować różnice w zagęszczeniu wału na poszczególnych odcinkach. Górne warstwy były bardziej luźne niż niżej położone. Słuszność wskazań aparatury izotopowej potwierdziło również wykonawstwo — górne partie wału nie były poddawane specjalnym zabiegom zagęszczającym.

Jak zmieniał się profil zagęszczenia w czasie napełniania zbiornika i po jego napełnieniu dla reperu  $R_p-4$ , wskazuje fig. 3, a dla reperu  $R_p-5$  — fig. 4. Ostatni cykl pomiarów z sierpnia i września 1963 r. wskazuje na to,



że nastąpiła już konsolidacja podłoża i wału, gdyż wskazania aparatury izotopowej powtarzają się. Małe odchylenia zawarte są w granicach błędów pomiarów. Przy prowadzeniu obserwacji tego typu można również oceniać stateczność samego wału. Wystarczyło bowiem założyć takie same otwory obserwacyjne (repery) od strony odpowietrznej i śledzić

Fig. 4. Jakościowy profil zmian gęstości gruntu w  $R_p-5$

Qualitative profile of soil compaction changes in  $R_p-5$

Objaśnienia jak na fig. 3

Explanations as in Fig. 3

w czasie zmiany zagęszczenia. Zmniejszenie ciężaru objętościowego w tych reperach wskazywałoby natychmiast na fakt wymywania gruntu i grożące niebezpieczeństwo zachwiania równowagi wału.

Przedstawione wyniki obserwacji oparto jedynie na jakościowej interpretacji wyników tylko jednej sondy izotopowej. Uzyskane dane pozwoliły jednak jednoznacznie rozwiązać postawiony problem. Wycechowanie sondy umożliwiłoby ponadto ilościową interpretację tych pomiarów i wcześniejsze wyciągnięcie wniosków co do przebiegu procesu konsolidacji. Prowadzone badania wykazały, że wiele procesów i zjawisk zachodzących w gruncie pod wpływem działalności człowieka można rozwiązać przy pomocy jakościowej interpretacji wyników.

## WNIOSKI

Wprowadzenie metod izotopowych do określania właściwości fizycznych gruntu ma następujące zalety:

- daje możliwość prowadzenia pomiarów właściwości fizycznych gruntu i zachodzących w nim zmian od momentu rozpoczęcia realizacji obiektu, jak i podczas jego wykonywania;
- skraca wybitnie czas pomiaru i umożliwia natychmiastowe otrzymywanie wyników;
- umożliwia objęcie badaniami materiału o kilkakrotnie większej objętości niż przy pomiarze metodami tradycyjnymi.

Przy pracach z izotopami wymagane jest przestrzeganie specjalnych przepisów bhp i przeszkolenie w tym zakresie obsługi.

Zakład Geologii Inżynierskiej I.G.

Nadesłano dnia 6 marca 1964 r.

## PIŚMIENNICTWO

- BOJANOWSKI W., GNUTEK J., ROSSIŃSKI B. (1964) — Zastosowanie metod izotopowych do pomiaru gęstości i wilgotności pewnego gruntu gruboziarnistego. *Gospodarka Wodna*, nr 2, p. 55—57. Warszawa.
- BOROWCZYK M., CZUBEK J., DZIUNIKOWSKI B., JURKIEWICZ Ł., KRZUK J., NIEWODNICZAŃSKI J., ROSSIŃSKI B., ZUBER A. (1961) — Określenie wilgotności i ciężaru objętościowego gruntów sypkich in situ metodami radiometrycznymi. *Archiwum Inżynierii Lądowej*, VII, nr 2, p. 193—218. Warszawa.
- BOROWCZYK M., KRÓLIKOWSKI CZ. (1964) — Sonda uniwersalna do pomiaru właściwości fizycznych gruntu. Materiały seminarium naukowego z zakresu mechaniki gruntów i fundamentowania w Łodzi, Politechnika Łódzka. Łódź.
- CYTOWICZ N. A., FERRONSKI W. I. (1960) — Die Anwendung radioaktiver Strahlen zur Untersuchung von Baugrundeigenschaften. *In Sonderdruck: „Radioaktive Isotope und das Bauwesen“*, Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Bauwesen, Leipzig. Lipsk.
- DZIUNIKOWSKI B., NIEWODNICZAŃSKI J. (1961) — Zastosowanie źródeł promieniowania gamma do określania niektórych własności fizycznych gruntów sypkich. *Archiwum Hydrotechniki*, VII, nr 1, p. 101—127. Warszawa.
- INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ (1963) — Instrukcja wykonywania badań podłoża gruntowego sondą udarowo-obrotową typu ITB-ZW. *Ośr. Inform. Techn. i Ekon. w Budown.* Warszawa.
- MUHS H. (1957) — *Die Prüfung des Baugrundes und der Böden*. Springer Verlag. Heidelberg.
- ROSSIŃSKI B. (1961) — *Fundamentowanie*. Wyd. Arkady. Warszawa.

Мариан БОРОВЧИК

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТА ИЗОТОПНЫМИ МЕТОДАМИ

### Резюме

Растущие потребности в быстром и подробном изучении грунтов для инженерных целей создают необходимость внедрения новых исследовательских методов, использующих современные достижения науки и техники. В статье представляются изотопные методы, позволяющие определить и проследить изменения физических свойств грунта. Подчеркивается насколько важным является применение различных исследовательских методов для соответствующей интерпретации параметров грунта. Доказывается также, что изотопные методы лучше всего позволяют наблюдать явления происходящие в грунтах в результате деятельности человека. Этого рода исследования можно производить как без всяких нарушений естественных процессов, так и без совершения каких-либо изменений в структуре и физическом состоянии (без отбора проб) грунта. Представляются результаты качественной интерпретации данных наблюдений за процессами консолидации земляного вала, усыпанного на слое торфа мощностью 1,5—2,0 м. Измерения произведены с помощью изотопного зонда типа ГО-62 с наружным диаметром 20 мм, позволяющего определять объемный вес грунта.

---

Marian BOROWCZYK

## DETERMINATION OF PHYSICAL PARAMETERS OF SOIL BY ISOTOPIC METHODS IN ENGINEERING GEOLOGY

### S u m m a r y

The increasing requirements of quick and precise reconnaissance of soils for building and engineering purposes force to introduce new research methods based on the last achievements of science and technics. The article presents the isotopic methods which made possible a determination and investigation of changes in physical properties of soils. It is also stressed that using various research methods in proper interpretation of soil parameters is a very important problem. The examinations have also shown that isotopic methods are the best ones to observe phenomena appearing in soil environment, as a result of man activity. The investigation of this type may be carried on in the way not disturbing the natural processes, as well as not changing the structure and physical state of soil, i.e. without taking samples. In the paper there are presented the results of quantitative interpretation of consolidation process observed in an earth embankment heaped up on a peat bed 1,5—2,0 m in thickness. The measurements were made using isotopic probe of GO-62 type (20 mm in outside diameter), which may be used in determining the density of soil.