

OKREŚLANIE CIĘŻARU OBJĘTOŚCIOWEGO GRUNTÓW PRZY UŻYCIU ŹRÓDEŁ PROMIENIOWANIA GAMMA

ZNAJOMOŚĆ fizycznych własności gruntów w warunkach ich naturalnego występowania stanowi podstawę projektowania i wykonawstwa różnego rodzaju robót ziemnych i budowlanych. Wskaźnikami charakteryzującymi środowisko gruntowe są przede wszystkim: wilgotność, stopień zawilgocenia ciężar objętościowy, porowatość i stopień zagęszczenia gruntu. Określenie bezpośrednio w terenie ciężaru objętościowego i wilgotności pozwala na wyliczenie podstawowego parametru gruntu, jakim jest porowatość. Oznaczenie tych własności metodami klasycznymi naraża wiele trudności w przypadku gruntów sypkich i niespoistych. Pobieranie próbek gruntu połączone jest wtedy zwykle z deformacją jego struktury, a więc z wyników laboratoryjnego badania próbek trudno jest odtworzyć parametry gruntu „in situ”. W związku z tym rozwój współczesnej geologii inżynierskiej zmierza w kierunku coraz szerszego stosowania metod geofizycznych, wśród nich również metod geofizyki jądrowej.

Artykuł niniejszy omawia metody radiometryczne, oparte na wykorzystaniu źródeł promieniowania gamma dla oznaczenia ciężaru objętościowego gruntu. Przy jednoczesnej znajomości wilgotności gruntu pozwala to na bezpośrednie obliczenie porowatości. Radiometryczny pomiar wilgotności opiera się na własnościach oddziaływania neutronów z materią środowiska. Zastosowanie tej metody w geologii inżynierskiej opisuje artykuł Andrzeja Zubera w jednym z najbliższych numerów „Przeglądu Geologicznego”.

PODSTAWY FIZYCZNE

Radiometryczny pomiar ciężaru objętościowego wykorzystuje zjawisko oddziaływania promieniowania gamma z materią. Promieniowanie gamma, przechodząc przez dane środowisko, doznaje osłabienia w wyniku trzech procesów: zjawiska fotoelektrycznego, procesu tworzenia par i zjawiska Comptona.

Zjawisko fotoelektryczne polega na pochłonięciu kwantu gamma w atomie, przy czym energia kwantu przekazywana jest jednemu z elektronów. Elektron taki wylatuje więc z atomu z energią padającego kwantu, pomniejszoną o energię wiązania elektronu w atomie. Prawdopodobieństwo zajścia tego procesu zależy bardzo silnie od liczby atomowej z atomów środowiska, zwiększając się wraz ze wzrostem Z jak Z^{4+5} . Jednocześnie efekt ten dominuje w przypadku małych energii kwantów gamma. W zakresie energii do 0,2 MeV prawdopodobieństwo jego zajścia jest odwrotnie proporcjonalne do sześciemu energii kwantu padającego. Efekt fotoelektryczny istotny jest w rezultacie w przypadku niewielkiej energii

promieniowania gamma, zwłaszcza w środowisko zbudowanym z pierwiastków ciężkich.

Drugie z wymienionych zjawisk, to wytwarzanie z kwantu gamma w polu jądra atomowego (ewentualnie elektronu) pary elektronów, dodatniego — pozytonu i ujemnego — negatonu. Proces ten jest możliwy dopiero dla kwantu gamma o energii wyższej od 1,022 MeV, tyle bowiem wynosi podwojona tzw. masa spoczynkowa elektronu. Jest to więc zjawisko zachodzące w przypadku większych energii promieniowania gamma, przy czym jego udział wzrasta też ze wzrostem liczby Z jak Z^2 .

Zjawisko Comptona polega na oddziaływaniu kwantu gamma z elektronem orbitalnym atomu, w wyniku czego kwant gamma zostaje rozproszony pod pewnym kątem, elektron zaś jest odrzucony z energią, równą różnicy energii kwantu padającego i rozproszonego. W interesującym nas zakresie energii kwantów możemy zakładać, że ten rozdział energii kwantu „pierwotnego” na kwant rozproszony i elektron następuje równomiernie. Prawdopodobieństwo takiego rozproszenia kwantu gamma na jednym elektronie jest dla pierwiastków budujących grunt mniej więcej stałe. A zatem prawdopodobieństwo zajścia tego zjawiska w jednostce objętości gruntu zależy od koncentracji elektronów, czyli od liczby elektronów w jednostce objętości środowiska. Liczbę tę można wyliczyć wg wzoru:

$$n_e = N \rho \frac{Z}{A}$$

gdzie:

Z i A — liczba atomowa i masowa pierwiastków budujących środowisko rozpraszające,

ρ — jego gęstość w g/cm^3 ,

N — liczba Avogadra.

Źródłem promieniowania gamma, używanym zwykle w pomiarach gruntowych, jest sztuczny radioizotop cezu — ^{137}Cs , który emituje promieniowanie gamma o energii 0,661 MeV z okresem połowicznego rozpadu ok. 30 lat. Dla takiej energii promieniowania nie występuje oczywiście zjawisko tworzenia par pozytonowo-negatywowych. W środowisku gruntowym kwanty gamma są rozpraszane przede wszystkim w wyniku zjawiska Comptona. Jak widzimy z podanego wyżej wzoru efektywność tego zjawiska, związana z koncentracją elektronów, zależy od gęstości środowiska z dokładnością, warunkowaną stałością stosunku $\frac{Z}{A}$ dla wszystkich pierwiastków

w gruncie. Idea ta daje podstawy dwóch metod pomiarowych: metody absorpcyjnej i metody gamma-gamma. Obydwie te metody znajdują zastosowanie w określaniu ciężaru objętościowego gruntów,

METODA ABSORPCYJNA

Wyobraźmy sobie, że przepuszczamy przez badany grunt wiązkę promieni gamma, uzyskaną przez odpowiednio kolimujące przesłonięcie źródła promieniowania. Również niech detektor promieniowania gamma ma przesłony, pozwalające na rejestrowanie promieniowania z jednego wybranego kierunku. Wszelkie kwanty, które napotkają na swojej drodze elektrony i doznają na nich rozproszeń, znajdują się poza zasięgiem obserwacji — nie dotrą do naszego detektora. Czyli, że im większa będzie gęstość elektronów w ośrodku między źródłem a detektorem, tym mniejsza część promieniowania emitowanego przez źródło dojdzie do detektora. Pierwotne natężenie promieniowania w wiązce I_0 zostanie osłabione do wartości I (w miejscu detektora), przy czym wielkość tego osłabienia podaje związek

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

gdzie: μ — tzw. liniowy współczynnik absorpcji (w cm^{-1}), który jest proporcjonalny do gęstości elektronów w środowisku (rozpraszanie Comptonowskie),

x — odległość między źródłem a detektorem.

Na przedstawionej wyżej zasadzie, oparte są absorpcyjne gęstościomierze gruntowe. Jak wspomniano wyżej, koncentracja elektronów zależy jedynie od gęstości środowiska w przypadku jednakowej

wartości stosunku $\frac{Z}{A}$ dla wszystkich pierwiastków środowiska. Warunek ten jest spełniony z pewnymi wyjątkami, mianowicie o ile $\frac{Z}{A}$ dla ogółu pierwiast-

ków w gruncie wynosi mniej więcej 0,5 to np. dla wodoru wynosi 1 (bo w przypadku wodoru $Z = A$). Z tego powodu, np. dla wody średnia wartość tego parametru równa się 0,55. Widzimy więc, że absorpcyjny pomiar gęstości czy ciężaru objętościowego gruntu będzie jednoznaczny jedynie w przypadku znajomości wilgotności gruntu. Efekt mierzony możemy wyliczyć w sposób rachunkowy. Wyniki takich obliczeń podane są w poz. 3 lit., przy czym założono tu grunt nasycony całkowicie wodą (ośrodek dwufazowy) oraz odległość między źródłem a detektorem $x = 16 \text{ cm}$.

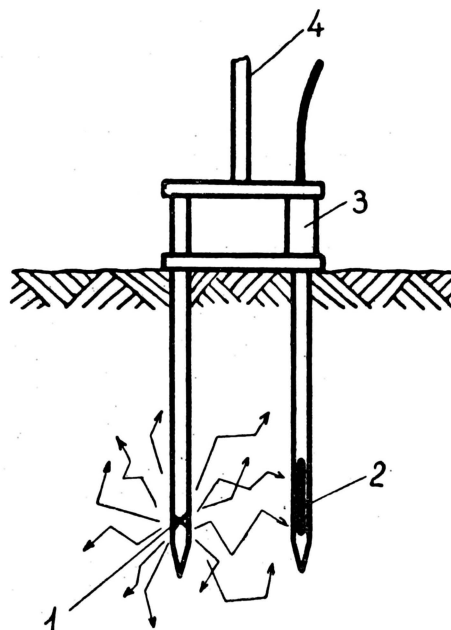
Podana wyżej zależność między I_0 a I spełniona jest w przypadku skolimowanej wiązki promieniowania gamma. W razie braku kolimacji rejestrowane będzie również to promieniowanie, które w wyniku rozproszeń w gruncie zostanie niejako zawrócone do detektora. W takim przypadku wielkość osłabienia promieniowania gamma jest funkcją wielu czynników, jak: energia promieniowania, chemizm środowiska (zachodzi tu również absorpcja fotoelektryczna kwantów wielokrotnie rozproszonych), geometria układu itp. Wyliczenie tej funkcji w sposób rachunkowy przedstawia znaczną trudność, wyznacza się ją doświadczalnie (tzw. cechowanie urządzenia pomiarowego).

APARATURA POMIAROWA

Dla dokonania pomiaru ciężaru objętościowego metodą absorpcyjną należy w badany grunt wprowadzić źródło promieniowania i w pewnej odległości od niego — detektor promieniowania. Pomiar taki można rozwiązać dwoma sposobami. W pierwszym przypadku mamy do czynienia ze zwartą konstrukcją; sonda pomiarowa ma dwa ramiona, jedno mieszczące źródło promieniowania, a drugie licznik. Ramiona te, dla dokonania pomiaru wciska się w ośrodek. Urządzenie to schematycznie przedstawione jest na ryc. 1.

Drugim rozwiązaniem pomiaru metodą absorpcyjną jest badanie gruntu leżącego między dwoma równoległymi otworami, w których przesuwają się źródło — w jednym otworze, a w drugim — detektor promieniowania. Rozwiązanie takie podano w poz. 4 lit.,

Kolimację wiązki promieniowania gamma uzyskać można albo przez stosowanie odpowiednich przesłoniętych ze szczelinami kolimującymi, albo drogą tzw. kolimacji energetycznej. W tym przypadku

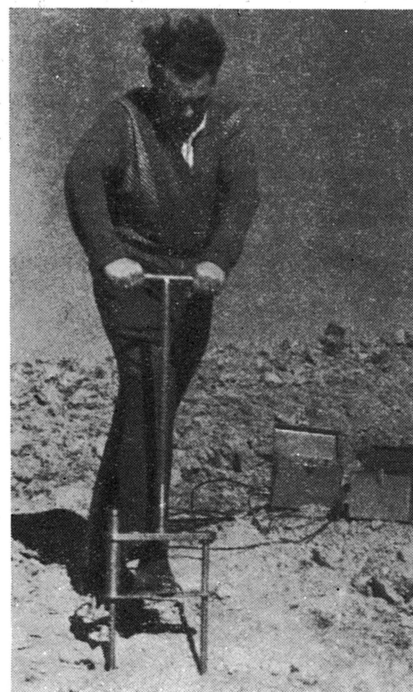


Ryc. 1. Gęstościomierz absorpcyjny.

1 — źródło promieni gamma, 2 — detektor promieniowania, 3 — układ elektryczny, 4 — żerdź pomocnicza.

Fig. 1. Absorption densimeter.

1 — source of gamma rays, 2 — detector of radiation, 3 — electrical system, 4 — auxiliary rod.



Ryc. 2. Wciśnięcie gęstościomierza absorpcyjnego w grunt (widoczna aparatura rejestrująca, przelicznik i źródło zasilania).

Fig. 2. Squeezing the absorption densimeter into the ground (recording apparatus, computer and feeder source are visible).

detektorem promieniowania jest licznik scyntylacyjny, którego zastosowanie umożliwia analizę widma energii rejestrowanego promieniowania. Wybiera się tu jedynie wycinek widma, odpowiadający energii kwantów emitowanych przez źródło. Wszelkie więc kwanty rozproszone, które w poszczególnych aktach rozproszenia straciły część swojej energii, wypadną z wybranego przedziału energii i nie zostaną policzone.

Aparaturę rejestrującą stanowi przelicznik impulsów wraz z dodatkowymi układami (zasilacze, dyskryminatory); odpowiednie osłony i baterijne zasilanie aparatury pozwala na jej zastosowanie w warunkach terenowych.

ZASTOSOWANIE METODY

Zastosowanie sondy „widelkowej” (urządzenie przedstawione na ryc. 1) pozwala oznaczać ciężar objętościowy gruntu w warstwie przypowierzchniowej, występującej do głębokości rzędu 0,5 m pod powierzchnią ziemi, lub poniżej dna szybika, otworu wiertniczego o dużej średnicy, czy zbiornika wodnego. Urządzenie tego typu znajduje zastosowanie przy kontroli wykonawstwa takich robót ziemnych, jak walcowanie nasypów, podkładów pod nawierzchnię drogową itp. Ryc. 2 przedstawia sposób wprowadzania sondy w grunt (tj. gęstościomierza widelkowego typu GW-61, produkcji Katedry Fizyki II Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie).

Druga wersja metody absorpcyjnej (pomiar gruntu między dwoma równoległymi otworami) pozwala na określenie ciężaru objętościowego gruntu w profilu pionowym do głębokości kilku metrów. Pozostawiona para otworów badawczych (lub para rurek wcisniętych w grunt) stanowi jakgdyby punkt referencyjny. Wielokrotne powtarzanie pomiaru stwarza możliwość śledzenia zmian ciężaru objętościowego poszczególnych warstw gruntu w czasie.

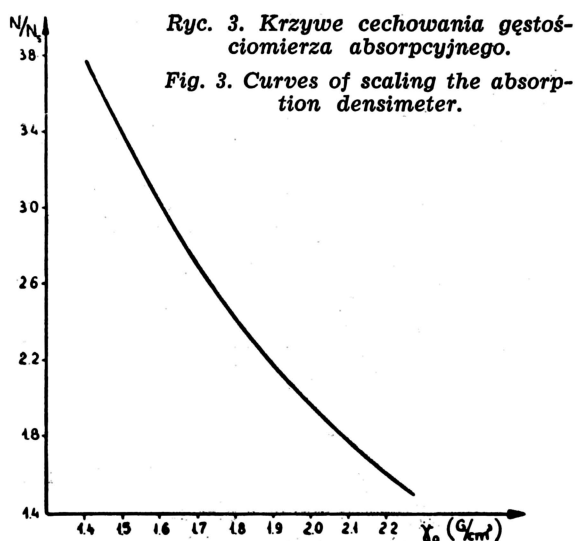
Zastosowanie kolimacji wiązki promieni gamma pozwala badać bardzo cienkie warstewki gruntu. Pomiar taki może mieć niekiedy istotne znaczenie (prace gleboznawcze, melioracyjne itp.).

Interpretacja wyników pomiarów terenowych odbywa się w oparciu o krzywą cechowania urządzenia (kolimacja wiązki umożliwia rachunkowy sposób interpretacji). Uzyskuje się ją drogą pomiarów modelowych na ośrodkach wzorcowych o znanym i kontrolowanym ciężarze objętościowym. Przykładową krzywą cechowania przedstawia ryc. 3 (jest to krzywa cechowania sondy typu GW-61 — ryc. 2). Wskazania sondy przedstawione są tu w jednostkach względnych w stosunku do tzw. pomiaru standardyzacyjnego, tzn. pomocniczego pomiaru z użyciem źródła kontrolnego. Pozwala to na wyeliminowanie wpływu czynników ubocznych (zmiana parametrów aparatury) na interpretację wyników pomiarów terenowych i modelowych.

Ze względu na wpływ wilgotności gruntu na wyniki pomiaru, wilgotność gruntu powinna być znana w przypadku pomiaru modelowego (cechowanie sondy) oraz pomiaru terenowego. Cechowanie urządzenia musi być również wykonywane w tych samych warunkach technicznych, co i pomiar terenowy (ten sam sposób wcisnięcia sondy w grunt, czy wykonywania otworów itp.).

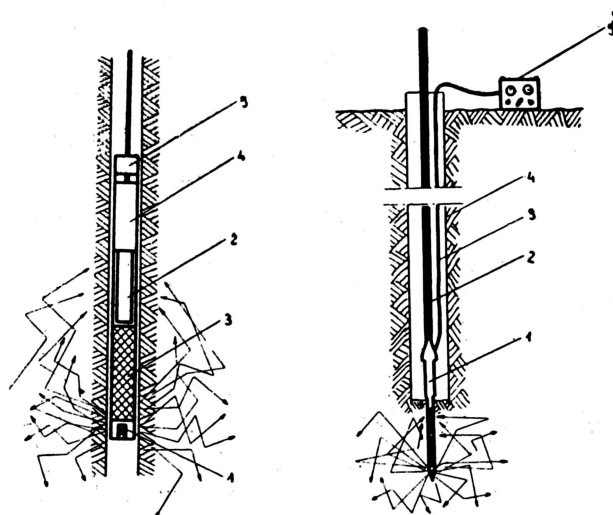
METODA GAMMA-GAMMA

W badany ośrodek wprowadza się źródło promieniowania gamma i detektor w ten sposób, że między nimi znajduje się ekran ołowioowy odpowiedniej grubości, przesłaniający detektor przed promieniowaniem biegnącym bezpośrednio ze źródła. Rejestrowane są więc tylko te kwanty, które wskutek rozproszenia (comptonowskiego) w ośrodku zostaną „zawrócone” do detektora. Zależność natężenia mierzonego promieniowania rozproszonego od gęstości ośrodka ma początkowo charakter rosnący. Wraz



Ryc. 3. Krzywe cechowania gęstościomierza absorpcyjnego.

Fig. 3. Curves of scaling the absorption densimeter.



Ryc. 4. Gęstościomierz odwiertowy.

1 — źródło promieniowania gamma, 2 — detektor promieniowania, 3 — ekran ołowiany, 4 — układ elektryczny, 5 — głowica uszczelniająca.

Fig. 4. Bore-hole densimeter.

1 — source of gamma radiation, 2 — detector of radiation, 3 — lead screen, 4 — electrical system, 5 — sealing head.

Ryc. 5. Pomiar za pomocą gęstościomierza odwiertowego „dennego”.

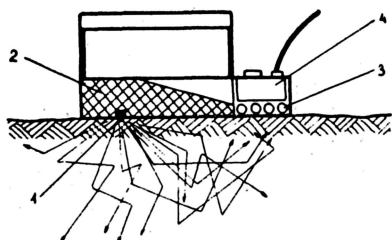
1 — sonda pomiarowa, 2 — przewód wiertniczy, 3 — kabel, 4 — rury okładzinowe, 5 — rejestrator.

Fig. 5. Measurement made by means of bore-hole “bottom” densimeter.

1 — measuring probe, 2 — drilling rod, 3 — cable, 4 — casing pipes, 5 — recorder.

ze wzrostem liczby elektronów w jednostce objętości środowiska wzrasta ilość rozproszeń, a więc początkowo wzrasta ilość kwantów padających na detektor. Przy dalszym zwiększaniu koncentracji elektronów rośnie udział rozpraszania comptonowskiego w procesie pochłaniania promieniowania gamma (generowanego również w wyniku efektu Comptona).

Począwszy od pewnej gęstości, tzw. gęstości krytycznej, trudniej jakgdyby będzie kwantom gamma przeniknąć od źródła do detektora, zwłaszcza iż rośnie również udział procesu konkurencyjnego, tzn. pochłaniania fotoelektrycznego kwantów wielokrotnie rozproszonych. Objawia się to w rezultacie spad-

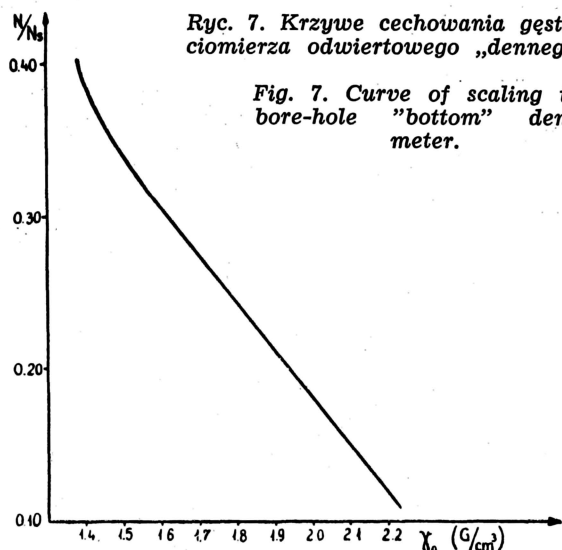


Ryc. 6. Gęstościomierz powierzchniowy.

1 — źródło promieni gamma, 2 — ekran ołowiany, 3 — detektory promieniowania, 4 — układ elektryczny.

Fig. 6. Surface densimeter.

1 — source of gamma rays, 2 — lead screen, 3 — detectors of radiation, 4 — electrical system.



Ryc. 7. Krzywe cechowania gęstościomierza odwiertowego „dennego”.

Fig. 7. Curve of scaling the bore-hole "bottom" densimeter.

kiem mierzonego natężenia promieniowania gamma ze wzrostem gęstości (ściślej mówiąc ze wzrostem koncentracji elektronów w środowisku). Wartość gęstości krytycznej zależy od energii kwantów, chemizmu środowiska i warunków geometrycznych pomiaru. Przy założeniu odległości źródła od detektora rzędu 25 cm i dla źródła ^{137}Cs wynosi ona ok. $0,52 \text{ g/cm}^3$ (6).

Na podanej zasadzie oparty jest tzw. karotaż gamma-gamma, używany w geofizyce przemysłowej jako metoda pomocnicza przy litologicznym rozróżnianiu przewierconych warstw*. Metoda ta znajduje również coraz szersze zastosowanie w geologii inżynierskiej dla oznaczania ciężaru objętościowego gruntów.

APARATURA POMIAROWA

Ogólnie biorąc pomiary metodą gamma-gamma można podzielić na pomiary odwiertowe i powierzchniowe. Gęstościomierze odwiertowe są po prostu zaadaptowaniem sond do karotażu gamma-gamma w warunkach płytkich małodymensyjnych wierceń geologiczno-inżynierskich. Ze względu na duży wpływ warunków technicznych otworu (stan zaru-

* Jego odmiana, znana pod nazwą selektywnego karotażu gamma-gamma polega na wykorzystaniu zależności między absorpcją fotoelektryczną wielokrotnie rozproszonych kwantów gamma, a liczbą atomową Z atomów środowiska. Dla zwiększenia udziału tego zjawiska w całkowitym procesie osłabiania promieniowania gamma, stosuje się tu zwykle źródła emitujące promieniowanie o niskiej energii. Karotaż selektywny gamma-gamma znajduje zastosowanie przede wszystkim w poszukiwaniu złóż rud metali.

rowania) na wyniki pomiaru zastosowanie tej metody wymaga prowadzenia wierceń specjalnych, zarurowanych w sposób standardowy. Mogą to być również zamknięte od dołu rurki, wciskane w grunty sypkie (bez wiercenia) na głębokości kilku metrów. Przeprowadzenie pomiaru w takiej rurce sondą gamma-gamma (połączone z pomiarem wilgotności odpowiednim odwiertowym wilgotnościomierzem neutronowym) wyeliminować może niekiedy w ogóle konieczność prowadzenia wierceń.

Budowę gęstościomierza odwiertowego przedstawia ryc. 4. Źródło promieniowania [1], którym jest zwykle cez-137 o aktywności kilka millicurie, oddzielone jest od detektora [2] ekranem ołowianym [3] o długości kilkumastu centymetrów. Detektorem jest zwykle licznik (lub kilka liczników) Geigera-Müllera. Sonda mieści również układ elektryczny [4]; całość zamknięta jest w sposób wodoszczelny specjalną głowicą [5], która umożliwia wprowadzenie gęstościomierza do otworów wypełnionych wodą.

Użycie gęstościomierzy odwiertowych, przedstawionych wyżej (łącznie z neutronowymi wilgotnościomierzami odwiertowymi) wymaga prowadzenia wierceń specjalnych (średnica, zarurowanie itp.). Z tego powodu interesujące jest rozwiązanie gęstościomierza tzw. „odwiertowego dennego” (2).

Urządzenie tego typu posiada u dołu ostro zakończony odcinek o małej dymensji, który mieści źródło promieniowania, ekran ołowiany i licznik GM. Pomiar odbywa się w ten sposób, że po każdym tzw. „marszu” wiertniczym przykręca się sondę do żerdzi wiertniczych w miejsce świda i wciska w dno otworu właśnie tym dolnym odcinkiem.

Pomiar ciężaru objętościowego w dnie otworu wiertniczego uniezależnia nas od stanu samego otworu, pomiary takie można więc prowadzić w otworach wierconych w sposób tradycyjny (o średnicy powyżej 3 cali). Ryc. 5 przedstawia schematycznie urządzenie pomiarowe w czasie pracy. Sondy takie, opracowane w Polsce (znane jako gęstościomierze typu GOD-61) zostały wypróbowane w różnych warunkach polowych i wykazały swoją dużą przydatność (1, 2).

Gęstościomierze powierzchniowe w zasadzie swej nie różnią się od przyrządów odwiertowych, różna konstrukcja wynika z odmiennej geometrii pomiaru. Ryc. 6 przedstawia schematycznie sondę pomiarową gęstościomierza. Źródło promieniowania [1] osłonięte jest ekranami ołowianymi [2] oddzielającymi je od detektora [3] i służącymi jednocześnie do ochrony obektu pomiaru przed promieniowaniem. Detektory promieniowania, to zwykle kilka liczników GM, układ elektryczny [4] nie odbiega od układów w gęstościomierzach odwiertowych. Pomiar przeprowadza się po ustawieniu sondy na badanym gruncie.

Aparaturą rejestrującą jest terenowy przelicznik impulsów, wspomniany już jako przyrząd współpracujący z sondami absorpcyjnymi.

Dodatkowe wyposażenie aparatury stanowi pojemnik na źródło (w przypadku gęstościomierza powierzchniowego źródło nie jest wyjmowane z sondy; zwykle skrzyneczka mieszcząca sondę posiada w dnie osłaniający źródło blok ołowiany) oraz źródelko kontrolne do standaryzacji aparatury pomiarowej.

ZASTOSOWANIE METODY

Pomiar ciężaru objętościowego gruntów metodą „gamma-gamma” znajduje bardzo szerokie zastosowanie w geologii inżynierskiej. Wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia z gruntami sypkimi (zwłaszcza poniżej zwierciadła wody gruntowej), pomiar za pomocą gęstościomierza odwiertowego jest praktycznie jedyną drogą rozpoznania gruntu. W przypadku ośrodka dwufazowego (tzn. piasek + woda lub piasek + powietrze) wynik pomiaru pozwala na wyinterpretowanie wprost porowatości gruntu. Dla

gruntów trójfazowych konieczny jest jednoczesny pomiar wilgotności (wilgotnościomierze neutronowe).

Sposób przeprowadzania pomiaru związany jest z konstrukcją użytego przyrządu. Stosowanie gęstościomierzy „odwiertowych dennych” możliwe jest w otworach wierconych techniką tradycyjną. Pomiar taki jednak prowadzić można w odstępach równych „marszowi” wiercenia, nie mniejszych niż ok. 50 cm. Gęstościomierze przystosowane do profilowania otworów specjalnych pozwalają na pomiar ciężaru objętościowego, co ok. 15–30 cm.

Gęstościomierze powierzchniowe, zwane często ze względu na swój kształt „żelazkami gamma-gamma” mają bardzo szerokie zastosowanie. Służą nie tylko do pomiaru ciężaru objętościowego gruntów (w przypadku kontroli zagęszczania wałowanych nasypów itp.), lecz również do badania innych materiałów, jak: betony, nawierzchnie drogowe itd. W połączeniu z pomiarem wilgotności ośrodka analogicznym urządzeniem neutronowym można tą drogą uzyskać pełne informacje metodą całkowicie nieniszcząca. Zasięg metody wynosi tu ok. 10–20 cm w głąb badanego ośrodka.

Interpretacja wyników pomiarów terenowych odbywa się podobnie jak w metodzie absorpcyjnej, tzn. na podstawie krzywej cechowania uzyskanej drogą prac modelowych na ośrodkach wzorcowych. Warunki techniczne pomiaru modelowego powinny być te same, co w przypadku pomiaru terenowego (warunki otworu, sposób ewentualnego wciśnięcia sondy itp.). Ryc. 7 podaje przykład krzywej cechowania gęstościomierza typu GOD-61. Wskazania sondy podane są w wielkościach względnych w stosunku do pomiaru standaryzacyjnego.

WNIOSKI

Radiometryczny pomiar ciężaru objętościowego pozwala na badanie gruntów w stanie nienaruszonym w ich naturalnych warunkach występowania. W połączeniu z radiometrycznym pomiarem wilgotności (co jest zbyt trudne w przypadku ośrodka dwufazowego) otrzymuje się bezpośrednio w terenie porównalność gruntu.

Wynik pomiaru ciężaru objętościowego obarczony jest błędem, którego wielkość waha się zależnie od konstrukcji użytego przyrządu i zakresu mierzonego ciężaru objętości w granicach od $\pm 0,01$ do $\pm 0,03$ G/cm³. Objętość oznaczonego gruntu zależy od rodzaju sondy; np. dla sondy typu odwiertowego jest to cylinder, występujący wokół sondy, o wysokości rzędu 30 cm i o promieniu do 20 cm od ścianek odwiertu.

Zaletą przedstawionych metod jest prostota i krótki czas (kilka minut) przeprowadzanych pomiarów. Niewielkie gabaryty sond pomiarowych, rejestratora i zasilacza napięcia, ułatwiają stosowanie aparatury w pracach polowych.

Duże zapotrzebowanie ze strony przemysłu na tego rodzaju urządzenia spowodowało powstanie wielu rozwiązań gęstościomierzy gruntowych na całym świecie. W Polsce radiometryczne metody określania wilgotności i ciężaru objętościowego gruntów są od kilku lat tematem prac zespołu pracowników Katedry Fizyki II Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, kierowanego przez prof. dr L. Jurkiewicza, przy współpracy Katedry Mechaniki Gruntów i Fundamentowania Politechniki Łódzkiej (doc. B. Rossiński), Pracowni Gruntoznawstwa Zakładu Geologii Inżynierskiej Instytutu Geologicznego w Warszawie (mgr M. Borowczyk) i zainteresowanych przedsiębiorstw przemysłowych (np. PGBW „HYDROGEO” w Warszawie).

W wyniku tych prac rozwiązano szereg gęstościomierzy, opartych na przedstawionych wyżej zasadach (5).

LITERATURA

1. Borowczyk M., Czubek J., Dudzikowski B., Jurkiewicz L., Krzuc J., Niewodniczański J., Zuber A. — Określanie wilgotności i ciężaru objętościowego gruntów sypkich in situ metodami radiometrycznymi. Archiwum Inżynierii Lądowej, 1961, t. VII, z. 2.
2. Dziunikowski B., Niewodniczański J. — Sonda do pomiaru ciężaru objętościowego gruntów sypkich. Opis patentowy Urzędu Patentowego PRL Nr 45565, Kl. 42 I, 3/51.
3. Dziunikowski B., Niewodniczański J. — Zastosowanie źródeł promieniotwórczości gamma do określania niektórych własności fizycznych gruntów sypkich. Archiwum Hydrotechniki, 1960, t. VII, z. 1.
4. Dziunikowski B., Niewodniczański J., Rossiński B. — Zastosowanie promieniotwórczości gamma do kontroli wykonywania robót ziemnych. Inżynieria i Budownictwo, 1961, nr 7.
5. Dziunikowski B., Niewodniczański J. — Urządzenia dla określania ciężaru objętościowego gruntów przy użyciu źródeł promieniotwórczości gamma. Materiały Konferencji Geofizyków Jądrowych. Kraków 24–30 września 1962 r. Wyd. Ośrodka Informacji Biura Pełnomocnika Rządu d/s Wykorzystania Energii Jądrowej. Warszawa 1963.
6. Jemielianow W.A. — Gamma лучи и нейтроны в поливых почвенно-мелиоративных исследованиях. Gosatomizdat, Moskwa 1962.

SUMMARY

The knowledge of physical properties of grounds under conditions of their natural occurrence is basis to project and to conduct various ground works and building constructions. Among most important coefficients characteristic of ground environment there are: humidity, moisture content, volumetric weight, porosity and degree of compactness. Determination of these properties using classical methods is very difficult.

The article deals with the radiometrical methods of determining the volumetric weight of ground. The methods are based on the existing gamma radiation sources. It is possible when knowing the humidity of ground, to compute the porosity immediately. The radiometrical measurement of humidity is based on the phenomena of mutual relations of neutrons and environment substances. The application of these methods in the engineering geology will be presented in the article by A. Zuber in one of the next numbers of „Przegląd Geologiczny”.

РЕЗЮМЕ

Изучение физических свойств грунтов в естественных условиях их залегания является основой проектирования и проведения различного рода горных и строительных мероприятий. К показателям, определяющим грунтовую среду, относятся, прежде всего: увлажнение, степень обводнения, объемный вес, пористость и степень уплотнения грунта. Определение этих свойств классическими методами связано с многочисленными трудностями.

В статье рассматриваются радиометрические методы определения объемного веса грунта, основывающиеся на использовании источников гамма-излучения. При известном увлажнении грунта этот метод позволяет непосредственно определять и пористость. Радиометрический метод измерения увлажнения основывается на свойствах взаимодействия нейтронов с материей среды. Применение этих методов в инженерно-геологических исследованиях описывается в статье А. Зубера, которая будет помещена в одном из последующих номеров настоящего журнала.