



CZESŁAW KRÓLIKOWSKI

Instytut Geologiczny

O METODYCE BADANIA GĘSTOŚCI UTWORÓW KENOZOICZNYCH

UKD 550.83:531:756.023:551.77.022.4:[553.96+553.6+556.3

Intensyfikacja badań geologicznych utworów kenozoiku, zwłaszcza dla poszukiwań złóż węgla brunatnego, surowców budowlanych i rozpoznawania warunków hydrogeologicznych, stwarza zapotrzebowanie na szersze niż dotychczas wykorzystanie metod geofizycznych. Najczęściej dla

tych zagadnień stosuje się metodę grawimetryczną, sejsmiczną i elektrooporową. Przy analizie wyników dwu pierwszych podstawową rolę odgrywa znajomość rozkładu gęstości skał w obszarze badań. Chodzi tu oczywiście o gęstość skał w warunkach ich naturalnego zalegania.

Problemami tymi zajmowało się wielu autorów (8, 9, 6, 7, 3, 4), którzy przede wszystkim analizowali rozkład gęstości i jego znaczenie jako źródła anomalii pola grawitacyjnego. Natomiast sprawy metodyki pomiarów, zwłaszcza luźnych utworów kenozoiku omawiane były tylko bardzo ogólnie. Tymczasem w badaniach, o jakich wspomniano na wstępie, dokładność oznaczeń gęstości nabiera istotnego znaczenia, ponieważ w pracach grawimetrycznych istotne stają się anomalie rzędu $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ (1 mgal).

W celu lepszego zrozumienia dalszych rozważań poniżej podano definicje niektórych pojęć. Wiadomo, że gęstość skały jest stosunkiem masy próbki m do jej objętości V :

$$\sigma = \frac{m}{V} \quad [1]$$

Dla utworów kenozoicznych poniżej zwierciadła wód gruntowych można przyjąć założenie dwufazowości ich budowy, wolno wówczas napisać:

$$\sigma = \frac{m_s + m_w}{V_s + V_w} \quad [2]$$

gdzie m_s , m_w , V_s i V_w – kolejno: masa szkieletu gruntu wysuszonego, masa wody w nim zawartej, objętość szkieletu i objętość wody próbki. Stosunek $m_s/V_s = \sigma_s$ jest gęstością właściwą, $m_s(V_s + V_w) = \sigma_s$ gęstością szkieletu, a $V_w/V = n$ jest porowatością całkowitą próbki. Gęstość szkieletu nazywana jest również gęstością pozorną.

Istnieją dwie grupy metod pomiarów gęstości skał: laboratoryjne i polowe. W Polsce podstawowe znaczenie dla celów geofizyki stosowanej ma (jak dotychczas) pierwsza grupa metod. Uważa się, że pomiary laboratoryjne charakteryzują się większą dokładnością niż polowe. Jeżeli w stosunku do skał litych można się z tym poglądem zgodzić (choćby też z pewnymi zastrzeżeniami), to laboratoryjne pomiary utworów czwarto- i trzeciorzędu wymagają zmian metodycznych po to, aby można było je wykorzystać w badaniach grawimetrycznych.

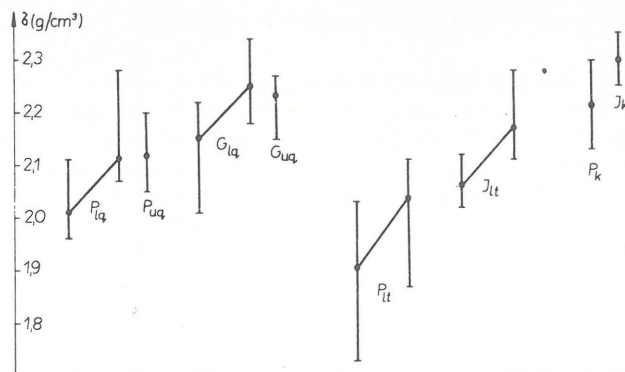
Należy tu dodać, iż metody polowe również nie zapewniają wystarczającej dokładności, ze względu na stan techniczny aparatury geofizyki wiertniczej i pewne braki w metodyce. Wyjątek stanowią tu metody radiometryczne stosowane w geologii inżynierskiej przy pomiarach gęstości i wilgotności gruntów, pozwalające na dokładne pomiary tych parametrów w warunkach naturalnych. Ich zasięg głębokościowy jest jednak zbyt mały (do kilkunastu metrów), aby można było je wykorzystać szerzej w badaniach geofizycznych. A więc konieczne jest opracowanie właściwej metodyki pomiarów gęstości utworów kenozoiku. Temu zagadnieniu poświęcone są poniższe rozważania.

POMIARY GĘSTOŚCI PRÓBEK SKALNYCH

Stosowana dotychczas metodyka pomiarów polega na: pobraniu próbek (zwykle z rdzenia wiertniczego), zważeniu próbki powietrzno-suchej lub wysuszonej, nasyceniu wodą lub innym płynem poprzez zanurzenie jej przy ciśnieniu atmosferycznym, zważeniu nasyconej próbki w wodzie.

Próbki nie zachowujące swojego kształtu po zanurzeniu w wodzie są przedtem wkładane do specjalnego pudełka i razem z nim zanurzane w wodzie. W wyniku pomiarów wyznaczana jest gęstość próbki nasyconej wodą lub płynem o gęstości 1 g/cm^3 i porowatość efektywna, będąca procentem objętości próbki określonym objętością nasycającej wody. Stosowany sposób ma następujące wady:

1. W odniesieniu do utworów spoiowych (np. ility, gliny)



Ryc. 1. Szkicowe przedstawienie średnich gęstości zmierzonych laboratoryjnie i skorygowanych oraz gęstości wyznaczonych w warunkach naturalnych.

Odcinki pionowe oznaczają przedział zmienności gęstości zmierzonych laboratoryjnie (lewy odcinek) i skorygowanych (prawy odcinek). Linie ukośne łączą na odcinkach punkty oznaczające średnie ważone. P, G, J – utwory piaszczysto-żwirowe, gliny i ility – kolejno: l, u, k – pomiary laboratoryjne, sondą uniwersalną i karotażowe – kolejno: q, t – utwory czwarto- i trzeciorzędu

Fig. 1. Sketch of mean density values measured under laboratory conditions and subsequently corrected and those measured in situ. Vertical sections mark variability interval of densities measured under laboratory conditions (left) and corrected (right section). Oblique lines join points marking weighted mean values at these sections. P, G, J – sandy-gravel deposits, tills and clays, respectively; l, u, k – laboratory measurements and those made with the use of universal sonde and well-log data, respectively; q, t – Quaternary and Tertiary deposits

– znaczna część tych skał w czasie wysychania zmniejsza swoją objętość zmniejszając w efekcie porowatość; ponieważ próbki zazwyczaj pobierane są z magazynów rdzeni ze znacznym opóźnieniem w stosunku do wiercenia, pomiary odbywają się zatem już na próbkach zmienionych; jeśli próbki są przed pomiarem suszone, to ulegają dalszemu (tego samego typu) procesowi kurczenia się; nawet jeżeli próbka w trakcie nasycania wodą zwiększy swoją objętość, to i tak nie wróci do stanu wyjściowego, w jakim znajdowała się w warunkach naturalnych;

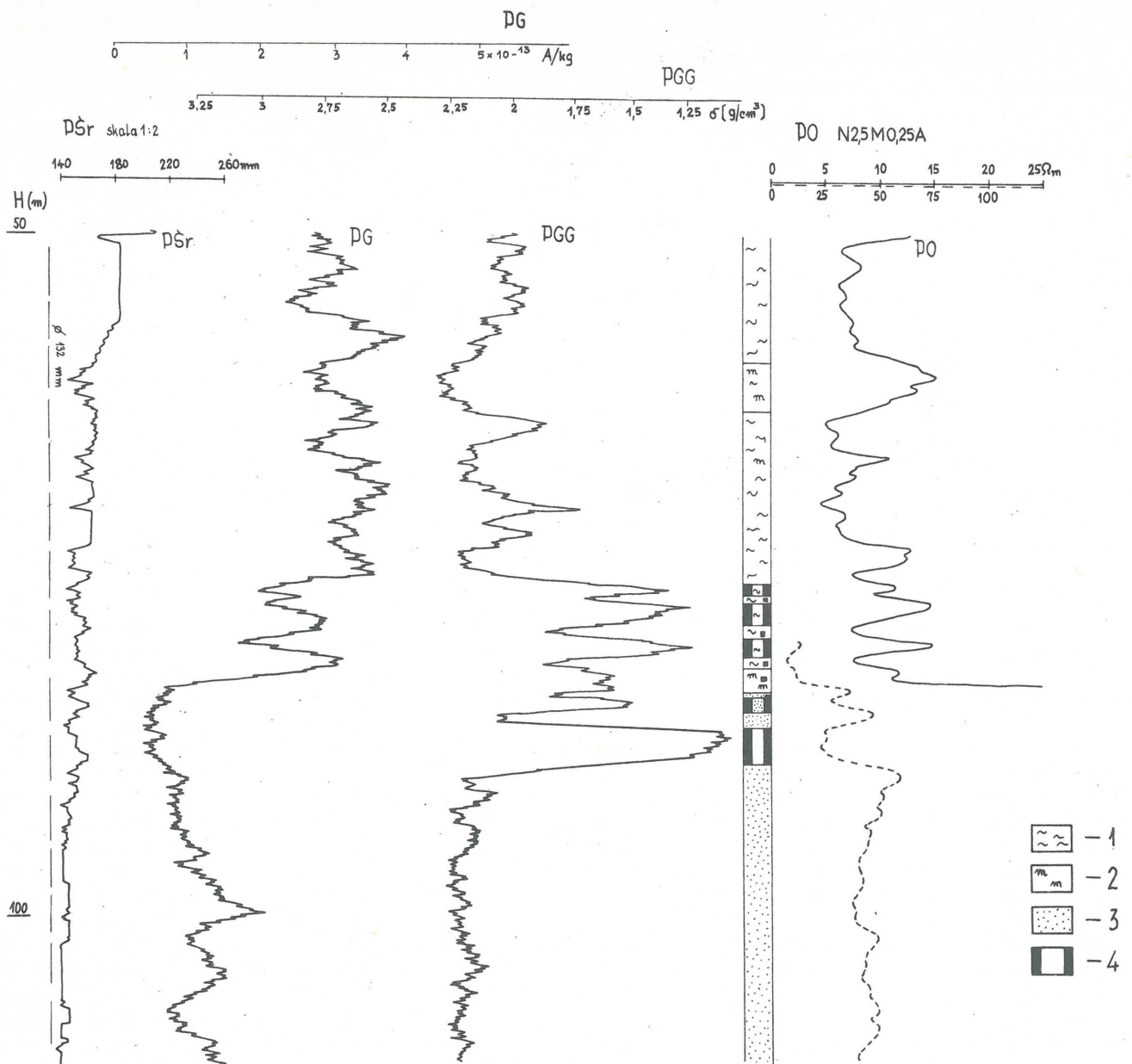
– w wyniku zanurzenia próbki w wodzie pod normalnym ciśnieniem tylko część porów zostanie wypełniona wodą, resztę wypełnia ciągle powietrze; przy zanurzaniu do wody próbki powietrzno-suchej posiada ona jeszcze pewien procent wilgotności naturalnej.

2. W odniesieniu do utworów klastycznych (np. piaski, żwiry)

– nie ma możliwości pobrania próbki bez naruszenia struktury; pomiary wykonywane na próbkach dotyczą utworu o zupełnie innej porowatości, zazwyczaj znacznie zwiększonej,

– również nasycanie wodą nie jest w pełni skuteczne, ponieważ część porów pozostaje wypełniona powietrzem.

Wymienione powyżej fakty z wyjątkiem kurczenia się utworów spoiowych w efekcie powodują zaniżenie wyznaczonej gęstości. Zaniżenie to można w przybliżeniu oszacować dla utworów sypkich. Pierwszy czynnik, to rozluźnienie utworów wskutek pobierania próbek. Pomiary dotyczą gruntu luźnego; stan taki otrzymuje się w wyniku swobodnego nasypiania piasku do pudełka, gdy utwory w warunkach naturalnych na głębokościach większych od 30 m znajdują się w stanie zagęszczonym, a do 30 m w stanie średnio zagęszczonym. Jest to znaczne uproszczenie warunków naturalnych, ale dla szacunkowej oceny należy wprowadzić pewne kryteria. Stan zagęszczenia określa wielkość stopnia zagęszczenia, I_D :



Ryc. 2. Przykład pomiarów z zakresu geofizyki wiertniczej w jednym z otworów w poszukiwaniu węgla brunatnego, w rej. Bąkowa PŚr – profilowanie średnicy, PG – profilowanie gamma, PGG – profilowanie gamma-gamma (gęstościowe), PO – profilowanie oporności. 1 – il, 2 – mulek, 3 – piasek, 4 – węgiel brunatny

Fig. 2. Some examples of well logs obtained for a drilling connected with search for brown coal in the Bąkowa region

PŚr – diameter logging, PG – gamma logging, PGG – gamma-gamma (density) logging, PO – resistance logging. 1 – clay, 2 – silt, 3 – sand, 4 – brown coal

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

gdzie $e = \frac{n}{1-n}$ – jest wskaźnikiem porowatości naturalnej, $e_{\max}$ – wskaźnik porowatości przy najluźniejszym ułożeniu ziarn, $e_{\min}$ – wskaźnik porowatości przy najgęstszym ułożeniu ziarn. Wg PN-74/B-02480 (13) grunt jest luźny, gdy $I_D \leq 0,33$, dla $0,33 < I_D \leq 0,67$ średnio zagęszczony, a zagęszczony, gdy $I_D > 0,67$. Na podstawie PN-74/B-03020 (14) można przyjąć, że minimalna różnica między gęstością piasków i żwirów w stanie zagęszczonym oraz luźnym wynosi 0,10 g/cm dla głębokości poniżej 30 m, 0,05 g/cm³ między gęstością dla stanu średnio zagęszczonego i luźnego dla głębokości do 30 m.

Drugi czynnik zmniejszający gęstość pochodzi z niepełnego nasycenia w trakcie pomiarów. Dla oszacowania jego wielkości zestawiono gęstości i porowatości efektywne próbek pochodzących z głębokich otworów wiertniczych.

Zestawienia tego dokonano na podstawie danych zawartych w opracowaniach E. Bronowskiej (3, 4) dla czterech jednostek geologicznych. W tab. I podano średnie gęstości i porowatości efektywne (zmierzone) dla poszczególnych jednostek geologicznych. Pomierzone gęstości skorygowano w sposób następujący. Wyznaczono gęstość szkieletu σ_s jako

$$\sigma_s = \sigma - n_{ef} \sigma_w \quad [3]$$

gdzie σ – gęstość pomierzona, n_{ef} – porowatość efektywna, σ_w – gęstość wody. Tak obliczoną gęstość szkieletu powiększono o 0,05 lub 0,10 g/cm³. Korzystając z wzoru na porowatość całkowitą:

$$n = 1 - \frac{\sigma_s}{\sigma_o} \quad [4]$$

gdzie σ_o jest gęstością właściwą, wyznaczono gęstość przy

ŚREDNIE POMIERZONE I SKORYGOWANE WARTOŚCI GĘSTOŚCI SKAŁ KENOZOICZNYCH

Jednostki geologiczne	Czwartorzęd								Trzeciorzęd							
	Piaski i żwiry				Gliny zwałowe				Piaski i żwiry				Iły, mułki, mułowce			
	σ	n_{ef}	$\frac{\sigma'}{n}$	N	σ	n_{ef}	$\frac{\sigma'}{n}$	N	σ	n_{ef}	$\frac{\sigma'}{n}$	N	σ	n_{ef}	$\frac{\sigma'}{n}$	N
Synklinorium pomorskie	2,02	0,33	$\frac{2,09}{0,34}$	15	2,11	0,24	$\frac{2,18}{0,31}$	4	1,90	0,33	$\frac{2,04}{0,37}$	7	2,05	0,31	$\frac{2,11}{0,36}$	8
Synklinorium warszawskie	2,11	0,13	$\frac{2,31}{0,21}$	1	2,22	0,33	$\frac{2,19}{0,30}$	1	—	—	—	—	2,12	0,29	$\frac{2,15}{0,32}$	4
Antyklinorium kujawskie	2,05	0,18	$\frac{2,23}{0,26}$	4	2,18	0,08	$\frac{2,34}{0,24}$	4	—	—	—	—	2,06	0,08	$\frac{2,28}{0,30}$	3
Monoklina przedsudecka północna	1,96	0,30	$\frac{2,07}{0,35}$	9	2,01	0,12	$\frac{2,19}{0,30}$	3	—	—	—	—	2,02	0,12	$\frac{2,24}{0,34}$	3
Średnie z danych dla otworów	2,01	0,29	$\frac{2,11}{0,33}$	29	2,15	0,17	$\frac{2,25}{0,27}$	12	1,90	0,33	$\frac{2,04}{0,37}$	7	2,06	0,21	$\frac{2,17}{0,32}$	18

σ — średnia z gęstości pomierzonych próbek z otworów danej jednostki geologicznej;

n_{ef} — średnia z porowatości efektywnych pomierzonych próbek;

$\frac{\sigma'}{n}$ — średnia gęstość skorygowana zgodnie z wzorem [5];

n — średnia porowatość całkowita obliczona wzorem [4];

N — średnia ilość otworów.

pełnym nasyceniu wodą i podano w tab. I jako gęstość skorygowaną σ' :

$$\sigma' = \sigma - n_{ef}\sigma_w + (1 - \frac{\sigma - n_{ef}\sigma_w}{\sigma_o})\sigma_w \quad [5]$$

Gęstość właściwa σ_o zmienia się w niewielkim zakresie i przyjmując jej średnią wartość (tab. II) popelnia się znikomy błąd przy wyznaczeniu σ' . Skorygowane wartości gęstości jako średnie dla wszystkich otworów wiertniczych podano również w tab. I. Średnie zaniżenie gęstości dla utworów piaszczysto-żwirowych z powodu niepełnego nasycenia i rozluźnienia wynosi 0,10 g/cm³ dla czwartorzędowych i 0,14 g/cm³ dla trzeciorzędowych. Ze względu na sposób korekty liczby te należy uznać za minimalne zaniżenie gęstości spowodowane stosowaną metodyką pomiarów laboratoryjnych utworów sypkich.

Oceniono również efekty zaniżenia wartości gęstości dla utworów spoistych, stosując podobną procedurę, wynikającą z uwzględnienia niepełnego nasycenia wodą. W rezultacie otrzymano zaniżenie o 0,10 g/cm³ dla czwartorzędowych glin zwałowych i 0,11 g/cm³ dla iłów trzeciorzędowych. Należy tu zaznaczyć, że oceny tej dokonano przy założeniu pełnego nasycenia wodą utworów spoistych w warunkach naturalnych. W przypadku glin zwałowych założenie to może nie zawsze być spełnione. Ponadto nie uwzględniono kurczenia się próbki w czasie wysychania, co zawiąza gęstość szkieletu, ale z kolei zmniejsza porowatość i utrudnia proces nasycenia wodą.

W ostatnich latach, m.in. dla potrzeb poszukiwań złóż węgla brunatnego, w pomiarach geofizycznych w otworach stosowana jest skalowana sonda gamma-gamma. Profil gęstościowy jest tu niestety zakłócony zmieniającą się średnicą otworu, zwłaszcza dla utworów spoistych (ryc. 1). Dla przykładu wyznaczono gęstości utworów czwarto- i trzeciorzędowych dla kilku otworów z rejonu Bąkowa (niecka mogileńsko-lódzka). Brano pod uwagę tylko te odcinki, gdzie wpływ średnicy był do pominięcia. Określono średnie ważone gęstości:

2,21 g/cm³ dla sumarycznej miąższości 135 m utworów piasku i żwiru,

2,30 g/cm³ dla sumarycznej miąższości 58 m iłu.

Wielkości te są również znacznie wyższe od mierzonych w warunkach laboratoryjnych.

Ponadto w celu zorientowania się w gęstościach mierzonych w warunkach *in situ* przytoczono poniżej średnie ważne gęstości warstw przypowierzchniowych w zakresie głębokości od zwierciadła wody do ok. 15 m. Pomiaru wykonano sondą gamma-gamma stosując sondę uniwersalną (2). Obliczone gęstości dla dwu rejonów podano w tab. III. Dane te otrzymano przy dużej dokładności pojedynczego pomiaru (błąd pomiaru $\Delta\sigma = \pm 0,03$ g/cm³ dla gruntów sypkich i $\pm 0,05$ g/cm³ dla spoistych) (1). Wartości te również przewyższają rezultaty otrzymane z pomiarów laboratoryjnych (tab. I), mimo że dotyczą utworów przypowierzchniowych o niewielkiej komprymacji. Różnice te wynoszą dla czwartorzędowej serii piaszczysto-żwirowej ok. 0,10 g/cm³, a dla glin zwałowych 0,07 g/cm³ (ryc. 1).

Jakie praktycznie znaczenie mają takie niedokładności w laboratoryjnych pomiarach gęstości? Otóż w grawimetrycznych badaniach utworów czwarto- i trzeciorzędowych istotne są już anomalie pola grawitacyjnego rzędu $1 \cdot 10^{-5}$ m/s² (1 mgal). Takie anomalie stwierdzono przy poszukiwaniu złóż węgla brunatnego w rejonie Więcborka np. nad rowem trzeciorzędowym o podłożu zbudowanym z utworów jurajskich. Tymczasem różnica w gęstości $\Delta\sigma = 0,15$ g/cm³ dla warstwy o miąższości 50 m daje efekt grawitacyjny (płyta płasko równoległa) $0,31 \cdot 10^{-5}$ m/s² (0,31 mgal). A więc taki błąd można popelnąć przyjmując, że utwory piaszczysto-żwirowe trzeciorzędowe wypełniające row w podłożu jurajskim o gęstości 2,27 g/cm³ posiadają gęstość 1,93 g/cm³ (jak to przyjęto w interpretacji danych z rejonu Więcborka) zamiast rzeczywistej gęstości 2,08 g/cm³ lub nawet wyższej.

WNIOSKI I ZALECENIA METODYCZNE

Z powyższych rozważań wynika wniosek o konieczności udoskonalenia pomiarów gęstości skał kenozyicznych:

A. W pomiarach laboratoryjnych.

W przypadku utworów spoistych należy pobierać próbki o nienaruszonej strukturze w czasie wiercenia zaraz po wyjęciu rdzenia i najlepiej dokonywać pomiaru gęstości na miejscu i natychmiast. Jeżeli pomiar w terenie jest niemożliwy próbki należy zabezpieczyć przed wysychaniem i pomiaru dokonać w laboratorium możliwie jak naj-

Tabela II

GĘSTOŚĆ WŁAŚCIWA UTWORÓW MINERALNYCH
NA PODSTAWIE W.N. KOBRANOWEJ (12)
„Fizyczne swoje własności” (10, 11) Z. Wituna (15)

Rodzaj utworu	Gęstość właściwa g/cm ³	
	najczęściej spotykane wartości	wartość średnia
Piaski i żwiry	2,63–2,68	2,65
Gliny i pyły	2,66–2,73	2,70
Iły	2,70–2,75	2,72

szybciej. Ponieważ niektóre utwory spójne, charakteryzujące się zwiększoną przepuszczalnością, tracą część zawartej w nich wody już w czasie wydobywania rdzenia należy prowadzić równolegle pomiar gęstości drogą określania gęstości szkieletu i na podstawie wzoru [4] wyliczania porowatości całkowitej. W tym celu konieczne jest całkowite wysuszenie próbki z uwzględnieniem zmian jej objętości. Szukana gęstość będzie sumą gęstości szkieletu i masy wody, która wypełniłaby wszystkie pory.

Z pomiarów wykonanych dwoma sposobami należy przyjąć za rezultat końcowy wartość większą. Zalecenia te odnoszą się do utworów zalegających poniżej zwierciadła wód gruntowych.

Jeżeli wymagane jest określenie porowatości efektywnej, próbki powinny być suszone w ustalonych warunkach termicznych (np. w 105°C), a następnie nasycane w warunkach próżni. Przy obliczeniach należy wówczas uwzględnić zmiany objętości wskutek suszenia.

Dla utworów sypkich nie ma sposobu pobrania próbek o nienaruszonej strukturze. Pomiar gęstości próbek o nienaruszonej strukturze są obciążone zbyt dużym błędem i powinny być zaniechane. Ponieważ pomiary gęstości utworów spójnych, zgodnie z powyższymi zaleceniami stają się bardziej złożone, nie mogą być wykonywane masowo, lecz tylko dla celów porównawczych. A zatem podstawowego znaczenia nabierają pomiary radiometryczne w otworach wiertniczych.

B. W pomiarach radiometrycznych sondą gamma-gamma.

Pomiary radiometryczne posiadają tę ważną zaletę, iż odnoszą się do warunków naturalnego zalegania ośrodka skalnego, którego gęstość chcemy mierzyć, a ponadto dają ciągłe informacje o zmianach gęstości zależnie od głębokości. Istnieje jednak niepożądany wpływ na wskazania sondy gęstościowej zmian średnicy, gęstości płuczki oraz osadu płuczkowego na ściankach otworu. Są wprowadzane sposoby redukowania wpływu tych czynników poprzez odpowiednie konstrukcje sond (5), to jednak przy stosowanych obecnie sondach wpływy te trzeba brać pod uwagę i uwzględniać je w możliwie najszerszym zakresie. Pozwala na to równoczesny zwykle pomiar średnicy otworu, a także inne pomiary elektryczne lub radiometryczne, umożliwiające przybliżone określenie profilu litologicznego. Z praktyki wiercen w osadach czwartorzęd i trzeciorzęd (ryc. 2) wiadomo, że największe zmiany średnicy następują w utworach spójnych, gdzie ścianki otworu w czasie wiercenia ulegają rozmyciu w stopniu zależnym od rodzaju utworu, jego zawartości i przepuszczalności. Dlatego w tych przypadkach trudno jest określić gęstość z wystarczającą dokładnością. Można jednak z wymaganą dokładnością wyznaczyć ten parametr na próbkach, o czym wspomniano wyżej.

W przypadku utworów sypkich zmiany średnicy są znacznie mniejsze (ryc. 2), mamy natomiast do czynienia z osadem ilastym, którego grubość nie jest znana i dla stosowanych sond nie ma opracowanego sposobu uwzględ-

Tabela III

ŚREDNIE GĘSTOŚCI OTRZYMANE Z POMIARÓW
SONDĄ UNIWERSALNĄ

Rejon	Rodzaj utworów	Ilość pomiarów Ilość sondowań	Średnia gęstość (g/cm ³)
Zarnowiec woj. gdańskie	piaski i żwiry	$\frac{269}{14}$	2.11
	gliny żwałowe	$\frac{109}{7}$	2.22
Warszawa i okolice	piaski i żwiry	$\frac{267}{8}$	2.13
	gliny żwałowe	$\frac{377}{9}$	2.25

niania jego wpływu. Wprawdzie oszacowane gęstości tego typu utworów na podstawie pomiarów sondą gamma-gamma wydają się być realne, co wskazywałoby na niewielki wpływ korka ilowego, niemniej istnieje pilna potrzeba podjęcia prac metodycznych nad badaniem jego wpływu na pomiar gęstości.

Dlatego dużego znaczenia nabiera dokładność pomiaru średnicy, zwłaszcza solidne cechowanie i sprawność działania przyrządów pomiarowych.

Innym ważnym czynnikiem jest cechowanie i standaryzacja sond. Od strony metodycznej wyczerpujące przedstawienie tych zagadnień zawiera cytowana już praca J.A. Czubka (5), natomiast dla sond gęstościowych obecnie używanych do pomiarów w otworach płytkich niezwykle ważne i pilne jest zakończenie konstrukcji odpowiedniego dla tych celów standaryzatora, a także przedłużenie krzywej cechowania w kierunku mniejszych gęstości.

Z powyższych rozważań wynika, że obie metody pomiarów gęstości: na próbkach i w otworach wiertniczych należy traktować jako wzajemnie się uzupełniające, z tym że dla utworów spójnych podstawowe znaczenie będą mieć pomiary na próbkach, a dla utworów sypkich trzeba będzie się opierać na profilowaniu radiometrycznym w otworach wiertniczych. Obie metody wymagają jednak udoskonaleń.

LITERATURA

1. Borowczyk M. — Określanie błęd pomiaru ciężaru objętościowego i wilgotności gruntów przy zastosowaniu sondy uniwersalnej. Arch. IG 1971.
2. Borowczyk M., Królikowski C. — Universal probe for determination of physical properties of soils. Proc. of the Sem. on Soil Mechanics and Found. Engin. Łódź 1964.
3. Bronowska E. — Zestawienie i analiza gęstości skał obniżenia wielkopolskiego (rejon synklinorium pomorskiego i warszawskiego). Arch. IG 1975.
4. Bronowska E. — Zestawienie i analiza gęstości skał obniżenia wielkopolskiego (rejon monokliny przedsudeckiej północnej i antyklinorium kujawskiego). Ibidem 1976.
5. Czubek J.A. — Analiza i ocena opracowanych wzorców i standaryzatorów do cechowania i standaryzacji sond radiometrycznych. Mat. Inst. Fizyki Jądrowej. Kraków 1973.
6. Dąbrowski A. — Przyczyny geologiczne anomalii siły ciężkości na obszarze Polski w świetle analizy ciężaru objętościowego. Pr. Inst. Geol. 1974 t. 73.
7. Dąbrowski A., Kaczkowska Z. — Mapa średnich gęstości warstwowych utworów występują-

- cych w Polsce nad poziomem morza. Kwart. Geol. 1965 nr 1.
8. Fajkiewicz Z. — Mapy ciężarów objętościowych skał. Tech. Poszuk. 1965 z. 14.
 9. Fajkiewicz Z., Rejman T. — Analiza wpływu urzeźbienia terenu i niejednorodności nakładu czwartorzędowego na wyniki pomiarów grawimetrycznych. Ibidem 1964 z. 11.
 10. Fiziczeskije swojstwa porod bałtijskoj sinieklizy. Izd. Zinatnie. Riga 1974.
 11. Fiziczeskije swojstwa gornych porod i poleznych iskopajemych. Izd. Nedra, Moskwa 1976.
 12. Kobranowa W. N. — Fiziczeskije swojstwa gornych porod. Gostoptiechizdat. Moskwa 1962.
 13. Polska Norma PN-74/B-02480. Grunty budowlane. Podział, nazwy, symbole i określenia. Wyd. Normal. Warszawa 1975.
 14. Polska Norma PN-74/B-03020. Projektowanie i obliczenia statyczne posadowień bezpośrednich. Ibidem 1975.
 15. Wiłun Z. — Zarys geotechniki. Wyd. Komun. i Łączn. 1976.

SUMMARY

The paper presents a critical review of methods used in laboratory measurements of density of Cenozoic rocks. Attention is paid to elements which are the source of errors in density measurements, i.e. neglect of shrinkage of samples of cohesive rocks, changes in structure of non-cohesive rocks, and incomplete saturation with water in time of measurement. Laboratory measurements made for 4 geological units were corrected, showing that the density values are lowered about 0.10 to 0.15 g/cm³ at the average.

The obtained values were subsequently compared with those of density measurements made with the use of radiometric method in boreholes as well as those obtained with

the use of universal sonde. Practical significance of inaccuracy of laboratory density measurements for interpretation of gravity anomalies is explained. The paper ends with conclusions precisising necessary changes in methods of density measurements and the need of supplementary methodological works on wider use of radiometric density measurements of Cenozoic deposits. The latter are highly important in search for brown coal deposits as well as solving various hydrogeological and geological-engineering problems.

РЕЗЮМЕ

В статье проведен критический анализ методики лабораторных измерений плотности кайнозойских отложений. Обращено внимание на элементы, которые являются источниками ошибок при определении плотности, а именно: неучётывание усадки образцов связанных отложений, изменения структуры сыпких отложений и неполное насыщение водой во время измерений. Проведенная корректура лабораторных определений для четырёх геологических единиц, выказала, что понижение плотности равняется в среднем 0,10—0,15 г/см³.

Эти данные были составлены с результатами измерений плотности, проведенных радиометрическим методом в буровых скважинах и проведенных в рамках измерений универсальным зондом. Выяснено также практическое значение неточности лабораторных измерений плотности для интерпретации гравиметрических аномалий. В заключении статьи приведены предложения в области необходимых изменений в методике измерения плотности и потребности дополнительных методических работ по более широком применении радиометрических измерений плотности кайнозойских отложений. Это имеет большое значение в поисках месторождений бурого угля, а также в решении гидрогеологических и геолого-инженерных вопросов.