

Henryk JURKIEWICZ, Andrzej SZCZERBA

Wstępna analiza parametrów fizycznych osadów (jura—karbon) z profilu Studzianna

WSTĘP

W otworze wiertniczym Studzianna IG-2, usytuowanym w centralnej części antykliny Gielniowa (fig. 1), zbadano profil geologiczny od środkowej jury po górną część dolnego karbonu włącznie. Rdzeniowanie profilu było zróżnicowane: znacznie ograniczone w środkowej i dolnej jurze, zagęszczone w triasie, a szczególnie w obrębie piaskowca pstrego (ok. 90^{0/0}), w permie dolnym (100^{0/0}) i w dolnym karbonie (100^{0/0}). Profil litologiczny, gęstość rdzeniowania i głębokość pobrania próbek do badań fizycznych przedstawia fig. 2.

Profil omawianego otworu może mieć duże znaczenie dla wyjaśnienia zagadnień geologiczno-tektonicznych i złożowych północno-zachodniego i północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich, dlatego też podjęto próbę analizy wyników badań laboratoryjnych własności fizycznych skał metodą statystyczną.

Podstawowym zadaniem analizy było uchwycenie zależności badanych parametrów od głębokości i zmian litologicznych w profilu pionowym.

METODY STATYSTYCZNEGO OPRACOWANIA DANYCH

Rozpatrywano cztery podstawowe parametry fizyczne przewierconych skał: ciężar właściwy (Cw), ciężar objętościowy (Co), porowatość całkowitą (Pc), porowatość efektywną (Pe). Pominięto w rozważaniach przepuszczalność, ponieważ — z wyjątkiem osadów retyku — nie przekraczała ona w zasadzie 1 md. Charakterystykę zmienności tych czterech parametrów podano dla poszczególnych jednostek stratygraficznych, potraktowanych wstępnie jako odrębne populacje. Zawężenie analizy do jednego otworu,

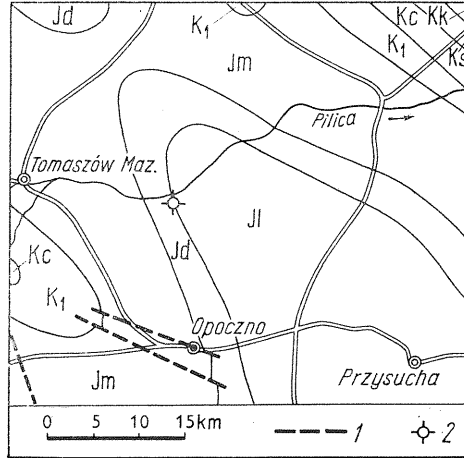


Fig. 1. Sytuacja geologiczna otworu Studzianna IG-2 (wycinek mapy geologicznej Polski wg J. Sokołowskiego)

Geological situation of borehole Studzianna IG-2 (fragment of the Geological Map of Poland by J. Sokołowski)

Kk — kampan; Ks — santon; Kc — cenoman; K₁ — kreda; Jm — jura górna; Jd — jura środkowa; J₁ — jura dolna; 1 — uskoki; 2 — otwór wiertniczy Studzianna IG-2

Kk — Campanian; Ks — Santonian; Kc — Cenomanian; K₁ — Cretaceous; Jm — Upper Jurassic; Jd — Middle Jurassic; J₁ — Lower Jurassic; 1 — faults; 2 — borehole Studzianna IG-2

a przede wszystkim nieduża liczebność próbek, nie pozwoliły na rozczłonkowanie tak rozumianej populacji na poszczególne ogniwa litologiczne w niej zawarte, stąd też opisy, zarówno graficzny, jak też ilościowy, dają ogólną, przybliżoną charakterystykę parametrów fizycznych osadów danej jednostki stratygraficznej.

Interesujące było również sprawdzenie, czy w obrębie wydzielonych jednostek stratygraficznych zaznacza się prawidłowość w zmienności poszczególnych parametrów. W związku z tym przebadano je w funkcji głębokości, celem uchwycenia ewentualnego trendu ich zmienności. Posłużono się współczynnikiem korelacji rangowej Spearmana (r_s).

W obrębie rozpatrywanej jednostki stratygraficznej wartości korelowanych z sobą parametrów zamieniono na rangi, będące szeregiem liczb naturalnych, przy czym wielkość rang była uzależniona od wartości danego parametru (większym wartościom odpowiadały wyższe rangi). W wypadku przyjmowania tej samej wartości przez kilka elementów, każdemu z nich przypisywano wartość średnią rang, jaką uzyskałyby one, gdyby między nimi istniała jakaś różnica (tzw. rangi połączone — A. Jerzmańska, J. Kotlarczyk, A. J. Krawczyk, 1973; G. O. Yule, M. G. Kendall, 1966). Otrzymane rangi zestawiono następnie według próbek jednostkowych (próbek pobranych do analizy laboratoryjnej), po czym utworzono różnice (d_i) wartości rang korelowanych z sobą parametrów, a kwadraty tych różnic zsumowano. Stosowano wzór Spearmana:

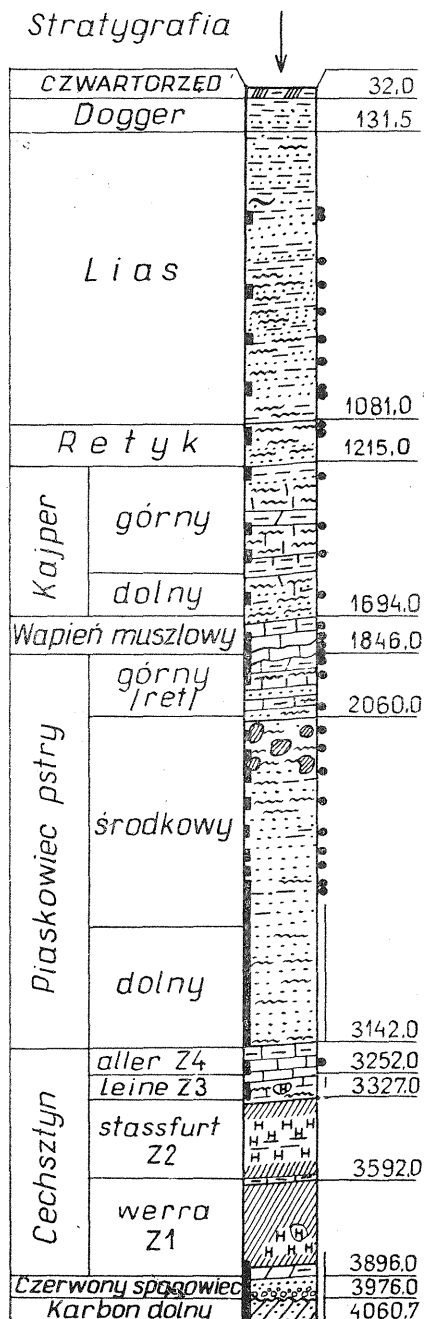
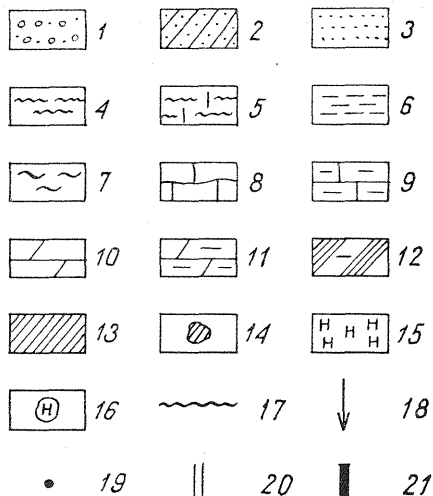


Fig. 2. Schematyczny profil litostratigraficzny otworu Studzianna IG-2

Schematic litho-stratigraphic columnar section of borehole Studzianna IG-2

1 — zlepienie; 2 — piaskowce zwięzłe; 3 — piaskowce drobno- i średnioziarniste; 4 — mułowce; 5 — mułowce wapniste; 6 — łupki ilaste; 7 — ility plastyczne; 8 — wapień; 9 — margle; 10 — dolomity; 11 — margle dolomityczne; 12 — piaski i gliny (czwartorzęd); 13 — anhydryty; 14 — druzi anhydrytu; 15 — sole kamienne; 16 — druzi soli kamiennej; 17 — nieciągłość sedimentacyjna; 18 — oś otworu; 19 — punkty pobrania próbek; 20 — punkty pobrania próbek w odstępach nie większym niż 2 m; 21 — rdzeniowane odcinki profilu

1 — conglomerates; 2 — compact sandstones; 3 — fine- and medium grained sandstones; 4 — siltstones; 5 — limy siltstones; 6 — clayey shales; 7 — plastic clays; 8 — limestones; 9 — marls; 10 — dolomites; 11 — dolomitic marls; 12 — sands and loams (Quaternary); 13 — anhydrites; 14 — anhydrite druses; 15 — rock salts; 16 — druses of rock salts; 17 — discontinuity of sedimentation; 18 — borehole axis; 19 — point at which samples were collected; 20 — points where samples were collected at intervals of not more than 2 m; 21 — cored parts of column



$$r_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2-1)} \quad [1]$$

gdzie: n — liczebność badanej próby (ilość analiz laboratoryjnych odpowiadających rozpatrywanej jednostce stratygraficznej).

W wypadku prób o wyższych liczebnościach, w których występowały rangi połączone korzystano z modyfikacji wzoru Spearmana:

$$r_s \equiv \frac{\frac{1}{6}(n^3-n) - (T_1 + T_2) - \sum_{i=1}^n d_i^2}{\sqrt{\frac{1}{6}(n^3-n) - 2T_1} \sqrt{\frac{1}{6}(n^3-n) - 2T_2}} \quad [2]$$

gdzie: $d_i = R_{1i} - R_{2i}$, $i=1, 2, \dots, n$, przy czym R_1 i R_2 są rangami i -tego elementu pierwszego i drugiego parametru, a T_1 i T_2 są poprawkami wprowadzonymi ze względu na łączenie rang zarówno dla pierwszego, jak i drugiego parametru; poprawki obliczono ze wzoru:

$$T = \frac{1}{12} \cdot \sum_{j=1}^l (t_j^3 - t_j) \quad [3]$$

gdzie: t_j — ilość elementów łączonych w j -tym połączeniu; l — ilość połączeń rang.

Należy zaznaczyć, że ze względu na stosunkowo niedużą ilość rang łączonych w analizowanym materiale różnice między współczynnikami korelacji rangowej (r_s), wyliczonymi ze wzorów [1] i [2], nie były w zasadzie większe, co do wartości bezwzględnej, od 0,03.

Wartość bezwzględna współczynnika korelacji rangowej (r_s) zmienia się od 0 do 1. Przy wartościach pośrednich na ogół nie wiadomo czy wartość ta jest statystycznie istotna, w związku z czym posłużono się metodą B. L. van der Waerdena (1957) sprawdzania hipotezy, czy współczynnik korelacji rangowej (r_s) jest równy zeru.

W tym celu obliczono wyrażenie:

$$\varrho_D = \frac{\psi(1-q)}{\sqrt{n-1}} \quad [4]$$

gdzie: ϱ_D — wartość krytyczna współczynnika korelacji rangowej; $\psi(1-q)$ — funkcja odwrotna do funkcji rozkładu normalnego; q — poziom istotności; n — ilość badanych elementów (ilość wartości parametrów odpowiadających analizowanej jednostce stratygraficznej).

Jeżeli wartość bezwzględna współczynnika korelacji rangowej (r_s), obliczona ze wzoru [1] bądź [2], jest większa niż wartość wyrażenia ϱ_D , to oznacza to, że zależność jest istotna przy przyjętym poziomie istotności.

Wartości współczynników korelacji rangowej (r_s) obliczone dla posz-

Tabela 1

Zestawienie współczynników korelacji rangowej parametrów fizycznych dla poszczególnych jednostek stratygraficznych

Jednostka stratygraficzna		Współczynnik korelacji rangowej r_s dla relacji				Wartość krytyczna współczynnika korelacji rangowej ρ_D
		$Cw-H$	$Co-H$	$Pc-H$	$Pe-H$	
Lias		+0,43	+0,04	-0,01	-0,22	0,57
Retyk		+0,42	+0,38	-0,13	-0,48	0,59
Wapień muszlowy		-0,69	-0,51	+0,33	+0,21	0,69
Ret		+0,17	+0,35	+0,13	+0,01	0,45
Pstry piaskowiec	środkowy	-0,54	-0,46	-0,61	+0,07	0,35
	dolny	-0,02	-0,51	+0,46	+0,42	0,21
Cechsztyń		-0,03	+0,43	-0,32	-0,44	0,45
Czerwony spągowiec		-0,32	+0,02	-0,35	+0,37	0,54
Karbon		+0,17	-0,06	+0,39	+0,30	0,30
Cały otwór		+0,39	+0,73	-0,91	-0,74	0,65

Objaśnienia: $Cw-H$ — ciężar właściwy — głębokość; $Co-H$ — ciężar objętościowy — głębokość; $Pc-H$ — porowatość całkowita — głębokość; $Pe-H$ — porowatość efektywna — głębokość

czególnych jednostek stratygraficznych zestawiono w tab. 1 wraz z wartościami krytycznymi (ρ_D) wyznaczonymi metodą Van der Waerdena. Wartości r_s odnoszące się do całego profilu otworu, ilustrują obecność trendu liniowego w zmienności badanych parametrów (Cw , Co , Pc , Pe) na głębokości 0—4062 m, tzn. w obrębie całego profilu. W tym wypadku przy wyznaczaniu r_s posłużono się wartościami średnimi z próbek jako charakterystykami — estymatorami — poszczególnych jednostek stratygraficznych (rozumianych jako odrębne populacje). Ograniczenie to podyktowane było stosunkowo dużą ilością danych (ponad 1000) oraz korzystaniem przy obliczeniach ze zwykłego arytmetru elektrycznego. Nie wydaje się jednak, aby ta metoda obliczeń mogła doprowadzić do uzyskania błędnych wniosków. Zastosowanie przy obliczaniu r_s wszystkich danych z poszczególnych próbek zamiast wartości średnich (dla jednostek stratygraficznych) może w efekcie tylko nieco uściślić samą wartość współczynnika korelacji, nie zmieniając jednak charakteru zależności (brak lub obecność trendu).

WYNIKI BADAŃ

Skalami zbiornikowymi w obrębie liasu mogą być piaskowce kwarcowe, a nawet łupki z przewarstwieniami i laminami mułowcowo-piaszczystymi.

Rozkłady parametrów fizycznych tych utworów (fig. 3A) są jednorodny, asymetryczne, o wydłużonej lewej (C_o) bądź prawej (P_c , P_e) gałęzi; współczynniki asymetrii są stosunkowo niskie. Jednomodalność jest w głównej mierze wynikiem jednorodności litologicznej osadów. Zróżnicowanie i rozkład wartości parametrów fizycznych są odzwierciedleniem składu mineralnego skał. Najbardziej zróżnicowany ciężar właściwy od 2,63 do 2,69 G/cm^3 mają piaskowce. Utwory te zbudowane są głównie z różnoziarnistego kwarcu, rzadziej skaleni, spojonych lepiszczem ilasto-żelazistym, krzemionkowym i rzadko wapienno-ilastym. Ilość spoiwa oraz jego charakter decydują głównie o zmianie tego parametru. Mułowce wykazują nieznaczne wahania ciężaru właściwego w granicach 2,66—2,67 G/cm^3 . Cechują się one bardziej jednolitym składem mineralnym, a ilość masy wypełniającej, złożonej z pyłu kwarcowego i substancji ilasto-chlorytowej, wpływa tylko nieznacznie na zmiany ciężaru właściwego. Podobne mało zróżnicowane ciężary właściwe (2,63—2,66 G/cm^3) wykazują utwory ilasto-lupkowe, co również jest związane z ich stałym składem mineralnym. Niewielkie wahania ciężarów może powodować nieznaczne zapiaszczenie.

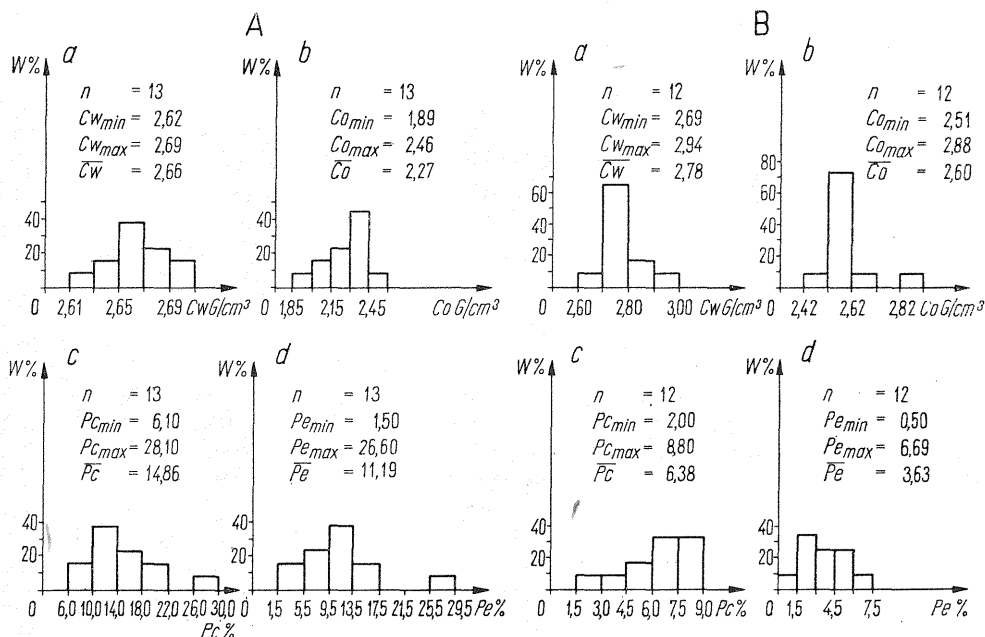


Fig. 3. Histogramy wartości parametrów fizycznych osadów liasu (A) i retyko-kajpru (B)

Histograms showing the values of physical parameters of Liassic (A) and Rhaetian-Keuper (B) deposits

a — ciężar właściwy; b — ciężar objętościowy; c — porowatość całkowita; d — porowatość efektywna; W — częstość; n — ilość oznaczeń; C_{wmin} , C_{omin} , P_{cmin} , P_{emin} — wartość minimalna danego parametru; C_{wmax} , C_{omax} , P_{cmax} , P_{emax} — wartość maksymalna danego parametru; \bar{C}_w , \bar{C}_o , \bar{P}_c , \bar{P}_e — wartość średnia danego parametru
a — specific weight; b — bulk weight; c — total porosity; d — effective porosity; W — frequency; n — number of analyses; C_{wmin} , C_{omin} , P_{cmin} , P_{emin} — minimal value of a given parameter; C_{wmax} , C_{omax} , P_{cmax} , P_{emax} — maximum value of a given parameter; \bar{C}_w , \bar{C}_o , \bar{P}_c , \bar{P}_e — medium value of a given parameter

Ciężary objętościowe wykazują większe zróżnicowanie, wahają się w przedziale 1,89—2,46 G/cm³ (średnia wynosi 2,27 G/cm³). Widoczna jest tu podobna zależność jak w wypadku ciężarów właściwych: najmniejsze zróżnicowanie notuje się w łupkach (2,38—2,46 G/cm³) i mułowcach (2,30—2,46 G/cm³), a największe w piaskowcach (1,89—2,35 G/cm³). Wahania ciężaru objętościowego uzależnione są w głównej mierze od zmian porowatości i częściowo przepuszczalności.

Porowatość wykazuje dużą zmienność: całkowita waha się od 6,1 do 28,1%, natomiast efektywna od 1,5 do 26,6%. Większość badanych próbek ma porowatości mniejsze od 14%. Najniższe wartości cechują skały ilasto-łupkowe, mułowce i piaskowce o spoiwie ilastym, najwyższe zaś równoziarniste piaskowce kwarcowe o dobrze obtoczonym ziarnie i małej ilości spoiwa węglanowego.

Rozpatrywane parametry fizyczne osadów liasu poddano przebadaniu w funkcji głębokości przy pomocy współczynnika korelacji rangowej Spearmana. Przy przyjętym poziomie istotności $q = 0,05$ w rozkładzie wartości parametrów nie stwierdzono prawidłowości, która wiązałaby się z obecnością trendu liniowego, objawiającego się wzrostem lub maleńiem wraz z głębokością badanych parametrów.

Osady retyku i górnego kajpru reprezentowane są przez brunatnowiśniowe i szarozielone iłowce i mułowce laminowane lub z drobnymi wkładkami piaskowców o spoiwie ilasto-żelazistym, rzadziej dolomitycznym. W dolnym kajprze występują iłowce i mułowce ciemne z przewarstwieniami piaskowców drobnoziarnistych o spoiwie ilasto-węglanowym lub krzemionkowym. Rozkłady parametrów fizycznych tych utworów (fig. 3B) są jednomodalne, asymetryczne bądź nawet prawostronnie ścięte (Pc). Zróżnicowanie osadów retyko-kajprowych oraz niewielka liczba oznaczeń (12) nie upoważniają do podawania interpretacji geologicznej stwierdzonej wyżej prawidłowości. Charakter rozkładów (histogramów) może być po części wynikiem przyjętej szerokości przedziałów klasowych.

Ciężary właściwe utworów retyko-kajprowych zmieniają się od 2,69 do 2,80 G/cm³. Anomalna wartość 2,94 G/cm³ odnosi się do pojedynczej próbki łupku wapienistego, a podwyższenie ciężaru spowodowane jest wyraźną impregnacją pirytową.

Ciężary objętościowe zmieniają się od 2,51 do 2,64 G/cm³, a wartość anomalna 2,88 G/cm³ wiąże się tu również z impregnacją pirytową badanej próbki.

Stosunkowo niewielka ilość próbek oraz duża zmienność litologiczna nie pozwalają na przedstawienie charakterystyki parametrów fizycznych w rozbiciu na poszczególne ogniwa litologiczne. Niemniej jednak, zaznacza się tu podwyższenie ciężarów właściwych i objętościowych w stosunku do osadów liasowych. Należy to wiązać z większą diagenezą utworów retyko-kajprowych, większym udziałem w ich profilu węglanów i siarczanów oraz obecnością związków żelaza.

Porowatość całkowita wykazuje nieznaczne zróżnicowanie i mieści się w przedziale 2,0—8,8%. Porowatość efektywna jest znacznie niższa i wynosi 0,5—6,69%. Porowatość anomalnie niska 0,2% odpowiada próbce pobranej z łupku ilastego impregnowanego pirytem.

W rozkładzie parametrów fizycznych osadów retyko-kajprowych nie

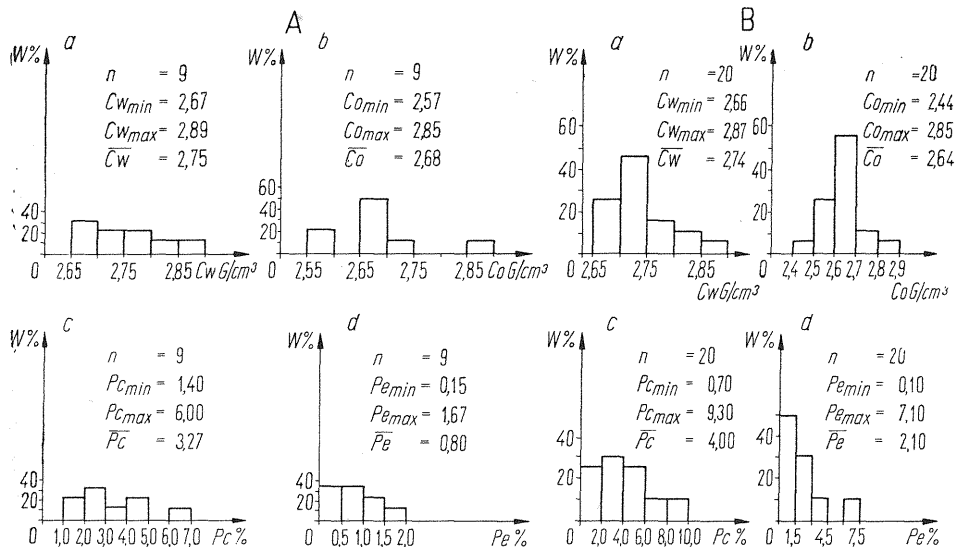


Fig. 4. Histogramy wartości parametrów fizycznych utworów wapienia muszlowego (A) i retu (B)

Histograms showing the values of physical parameters of Muschelkalk (A) and Roethian (B) deposits

Objaśnienia jak na fig. 3

Explanations as in Fig. 3

stwierdzono również żadnej prawidłowości, uzależnionej od wzrostu głębokości, co wskazuje na brak trendu zmienności rozpatrywanych parametrów.

Charakterystykę parametrów fizycznych utworów wapienia muszlowego przedstawia fig. 4A. Słabo zaznaczona modalność rozkładów wynika z niewielkiej liczby próbek, niemniej jednak na histogramach można się dopatrzeć trzech przedziałów modalnych; 2,65—2,70 G/cm³; 2,70—2,80 G/cm³; 2,80—2,90 G/cm³ dla ciężaru właściwego oraz trzech przedziałów: 2,55—2,60 G/cm³; 2,65—2,70 G/cm³; 2,85—2,90 G/cm³ dla ciężaru objętościowego. Osady wapienia muszlowego zbudowane są z margli, wapieni marglistych oraz wapieni zbitych i łupków dolomitycznych. Cechują się one zróżnicowanym ciężarem właściwym (2,67—2,89 G/cm³) i objętościowym (2,57—2,85 G/cm³). Zmienność ta jest uwarunkowana rozwojem litologicznym omawianego ogniwa triasu. Wapienie krystaliczne zbite wykazują znacznie wyższe wartości ciężaru właściwego od utworów marglistych i łupków wapnistych, a także od wapieni o teksturze pylastej.

Porowatość całkowita utworów wapienia muszlowego jest niska i mieści się w przedziale 1,4—6,0%, natomiast porowatość efektywna wynosi 0,15—1,67%. Nie dyskwalifikuje to jednak osadów wapienia muszlowego w aspekcie kolektorskim, ponieważ w utworach wapiennych obok niskiej porowatości występuje prawie zawsze wyraźnie makro- i mikroszczelinowatość.

Krótki 150-metrowy interwał występowania utworów wapienia muszlowego wydaje się być główną przyczyną sprawiającą, że nie zaznaczył się tu trend zmienności któregośkolwiek z parametrów.

Z utworów retu zbadano 20 próbek z interwału 1879,5—2025,5 m. Rozkłady wszystkich parametrów fizycznych tych osadów (fig. 4B) są jednomodalne, asymetryczne, o wydłużonej prawej gałęzi. Wartości modalne ciężarów odpowiadają wapieniom, natomiast mody porowatości wiążą się oczywiście z marglami bądź przewarstwieniami zawierającymi frakcję ilastą. W obrębie utworów retu bardzo często oprócz wapieni, dolomitów i anhydrytu występują utwory margliste, z laminami lub wprysnięciami anhydrytu i dolomitu, oraz wapienie i dolomity zawierające również wprysnięcia ewaporytów. W związku z tym nawet w obrębie niewielkiego interwału miąższościowego można obserwować wyraźne zmiany ciężaru właściwego skał.

Podobnie kształtują się ciężary objętościowe, które zmieniają się od 2,49 do 2,85 G/cm^3 , co wskazuje, że ich zróżnicowanie jest w pierwszej kolejności funkcją składu mineralnego.

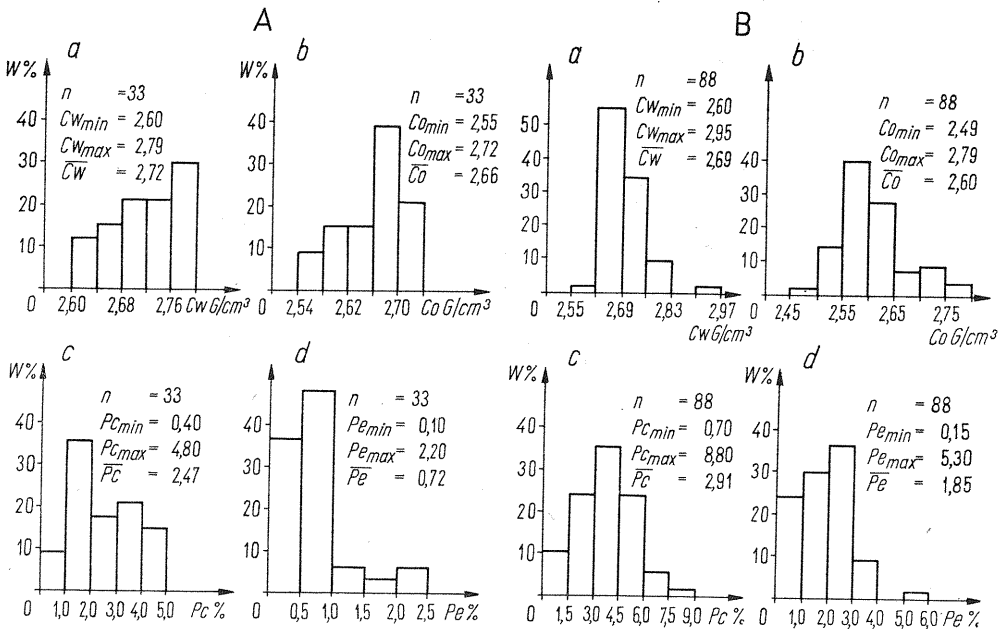


Fig. 5. Histogramy wartości parametrów fizycznych osadów środkowego (A) i dolnego (B) pstręgo piaskowca

Histograms showing the values of physical parameters of Middle Bunter Sandstone (A) and Lower Bunter Sandstone (B) deposits

Objaśnienia jak na fig. 3

Explanations as in Fig. 3

Osady retu charakteryzują się ogólnie niskimi porowatościami. Około 80% zbadanych próbek posiada porowatości niższe od 6%. Porowatość całkowita waha się od 0,7 do 9,3%, a efektywna od 0,1 do 7,1%. Wartości średnie są znacznie niższe i wynoszą odpowiednio 4% i 2,1%. Jest to uwarunkowane zarówno stopniem diagenety, jak i krystalicznością utworów wapienno-dolomityczno-siarczanowych.

Parametry fizyczne utworów retu, zbadane w funkcji głębokości, nie wykazują prawidłowości, która wskazywałaby na istnienie pionowego trendu zmienności. Jest to zrozumiałe, gdyż są one reprezentowane przez skały o bardzo różnym charakterze litologiczno-facjalnym. Z powyższej charakterystyki wynika, że własności zbiornikowe osadów retu są bardzo słabe.

Charakterystykę parametrów fizycznych utworów środkowego piaskowca pstrego przedstawiono na fig. 5A. Rozkłady ciężarów cechują się jednomodalnością i lewostronną asymetrią, odwrotną aniżeli porowatości. Wartości modalne wiążą się z piaskowcami kwarcytowymi. Histogram porowatości całkowitych wykazuje dwa przedziały modalne: 1,0—2,0% oraz 3,0—4,0%. Pierwszy przedział odpowiada piaskowcom kwarcytowym, drugi natomiast piaskowcom kwarcowym o lepszemu żelazisto-ilastym.

Pod względem litologicznym utwory środkowego pstrego piaskowca są to brunatnowiśniowe ilowce, mułowce oraz piaskowce kwarcowe i kwarcyty. Ciężary właściwe tych osadów zmieniają się od 2,6 do 2,79 G/cm³, przy czym wartości najniższe odpowiadają piaskowcom, natomiast podwyższone łupkom ilastym i mułowcom o spoiwie żelazistym. Niewielkie zróżnicowanie ciężarów objętościowych, mieszczące się w granicach 2,55—2,72 G/cm³, uwarunkowane jest niską porowatością, a przede wszystkim nieznaczną jej zmiennością.

Porowatość całkowita wynosi 0,4—4,8%, a efektywna 0,1—2,2%. Większość tych wartości jest jednak skumulowana odpowiednio poniżej 3% i 1%.

Stwierdzono, że parametry fizyczne osadów środkowego piaskowca pstrego, zbadane w funkcji głębokości przy pomocy współczynnika korelacji rangowej Spearmana, wykazują odwrotny trend zmienności. Współczynniki korelacji rangowej wynoszą: $r_{C_w-H} = -0,54$, $r_{C_o-H} = -0,46$, $r_{P_c-H} = -0,61$ i są wyższe, przy przyjętym poziomie istotności $q = 0,05$, od wartości krytycznej równej 0,35. Widzimy zatem, że wraz z głębokością następuje zmniejszenie się zarówno ciężaru właściwego, jak i objętościowego oraz porowatości. Zaobserwowana prawidłowość wiąże się ze zróżnicowaniem litologicznym osadów środkowego pstrego piaskowca. W górnej i środkowej części profilu omawianego ogniwa triasu występują łupki i mułowce żelaziste o dość wysokich wartościach ciężarów, natomiast w dolnej części profilu przeważają piaskowce kwarcowe, kwarcyty i mułowce o niższych, niż w górnej części profilu wartościach omawianych parametrów. Tego typu układ litologiczny odzwierciedla rozkład ciężarów właściwych i objętościowych odwrotnym trendem liniowym.

Podobnie należy interpretować stwierdzony trend w rozkładzie porowatości całkowitych. W górnej partii profilu środkowego piaskowca pstrego obserwuje się porowatość na ogół wyższą od 3%, podczas gdy w dolnej zwykle niższą od 2%. Zastanawiający jest w tym kontekście brak trendu dla porowatości efektywnych. Obliczony współczynnik korelacji Spearmana tych dwóch rozkładów porowatości $r_{P_c, P_e} = +0,26$ okazał się mniejszy od wartości krytycznej $q_D = 0,35$, co oznacza brak zależności między nimi. Fakt ten wyjaśniałby zatem w jakimś stopniu wzmiankowany brak trendu dla porowatości efektywnych.

Dolny piaskowiec pstry został opracowany bardzo szcze-

gólowo, ze względu na znaczną długość pobranego rdzenia. Większość próbek pochodziła z utworów piaszczystych, nieznaczna ilość z mułowców i łupków. Rozkłady parametrów fizycznych osadów dolnego pstrego piaskowca (fig. 5B) są zróżnicowane: rozkład C_w jest jednomodalny, C_o — dwumodalny, przy czym oba rozkłady są asymetryczne, o wyraźnie wydłużonych prawych gałęziach. Rozkład porowatości całkowitych jest zbliżony do normalnego, natomiast efektywnych asymetryczny, o ściętej prawej gałęzi. Przedziały modalne dla ciężarów wynoszą: 2,62—2,69 G/cm³ (C_w) oraz 2,55—2,60 G/cm³ i 2,70—2,75 G/cm³ (C_o). Odpowiadają one piaskowcom polimiktycznym oraz łupkom ilasto-żelazistym. Przedziały modalne dla histogramów porowatości wynoszą 3,0—4,5% (P_c) oraz 2,0—3,0% (P_e) i wiążą się z piaskowcami.

Ciężary właściwe zmieniają się w granicach 2,60—2,95 G/cm³ (znaczną większość wartości kumuluje się w przedziale 2,60—2,76 G/cm³). Wartości ekstremalnie duże związane są z łupkami ilastymi silnie żelazistymi, zaś podwyższone ciężary właściwe wiążą się głównie z silnie zbitymi i żelazistymi mułowcami.

Podobny związek z litologią obserwuje się w rozkładzie ciężaru objętościowego, który zmienia się w granicach 2,49—2,79 G/cm³. Najmniejsze wartości występują wśród piaskowców, a ich cechą charakterystyczną jest stosunkowo duże zróżnicowanie od 2,49 do 2,66 G/cm³. Ta duża zmienność jest głównie związana ze zróżnicowaniem porowatości w ich obrębie. Jednorodny lub nieznacznie zróżnicowany skład mineralny piaskowców i jednorodność spoiwa oraz brak trendu w rozkładzie pionowym ciężarów właściwych byłyby tego potwierdzeniem.

Porowatości efektywne zmieniają się od 0,15 do 5,3%, a całkowite od 0,7 do 8,8%. Należy zaznaczyć, że powyżej 90% analizowanych próbek posiada porowatości całkowite poniżej 6% i efektywne poniżej 3%.

W obrębie dolnego piaskowca pstrego zaznaczył się pewien trend zmienności w rozkładzie pionowym ciężarów objętościowych oraz porowatości. Współczynniki korelacji rangowej Spearmana wynoszą: $r_{C_o-H} = -0,51$; $r_{P_c-H} = +0,46$; $r_{P_e-H} = +0,42$ i są wyższe od wartości krytycznej $\rho_D = 0,21$. Widzimy zatem, że wraz z głębokością wzrasta porowatość (w sensie statystycznym), a ciężar objętościowy zmniejsza się. Fakt ten wskazywałby na nieco lepsze własności zbiornikowe utworów występujących w dolnej części profilu dolnego pstrego piaskowca. Nasuwa się zatem pytanie jak należałoby zinterpretować uchwycone prawidłowości. Wydaje się, że odpowiedzi należy szukać zarówno w pionowym zróżnicowaniu litologicznym, jak też w składzie mineralnym osadów. W górnej części profilu wśród piaskowców kwarcytowych występują wkładki łupków i mułowców o bardzo słabych własnościach kolektorskich. Niższą część profilu budują piaskowce polimiktyczne, szarogłazowe złożone ze słabo obtoczonych okruchów kwarcu, skaleni i muskowitu, z różną ilością spoiwa żelazisto-ilastego lub krzemionkowego. Zmienność piaskowców wyraża się głównie w wielkości ziaren i ich obtoczeniu, jeśli spoiwo posiada w całym profilu prawie jednolity charakter. W dolnej części profilu wzrasta w spoiwie ilość węglanów, co również wpływa na polepszenie własności kolektorskich piaskowców.

Osady cech sztywny zostały zbadane na głęb. 3289—3894,2 m. Pobrano tylko 20 próbek z interwałów rdzeniowych poniżej 3800 m.

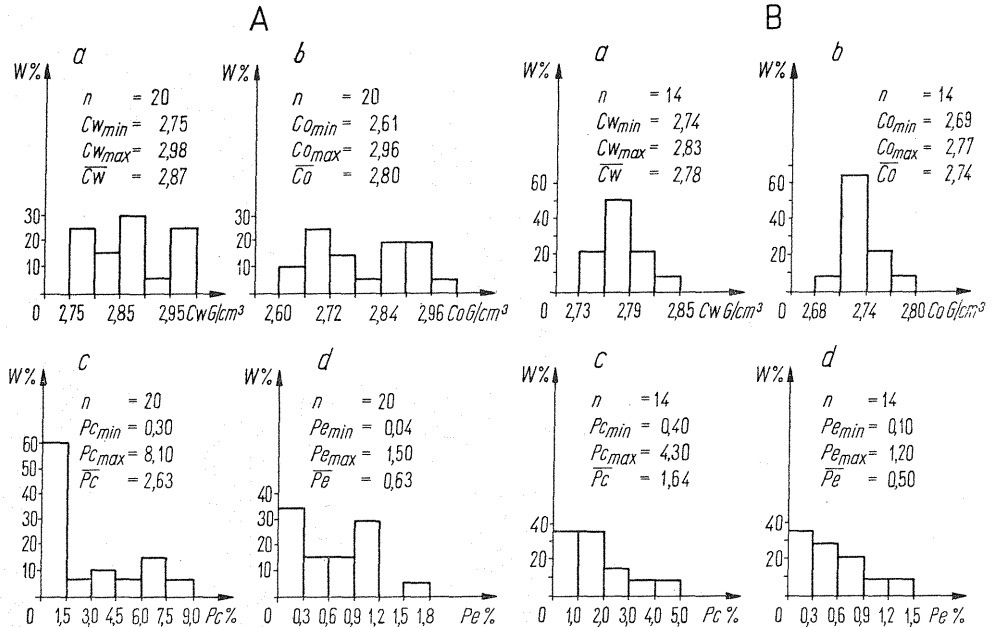


Fig. 6. Histogramy wartości parametrów fizycznych utworów cechsztynu (A) i czerwonego spągowca (B)

Histograms showing the values of physical parameters of Zechstein (A) and Rotliegendes (B) deposits

Objaśnienia jak na fig. 3

Explanations as in Fig. 3

Brak rdzenia z utworów solnych i anhydrytowych, o łącznej miąższości powyżej 500 m (odcinek 3326,7—3848,2 m), spowodował, że rozkład parametrów fizycznych (fig. 6A) nie może być traktowany jako reprezentatywny dla całego cechsztynu. Jest on tylko graficznym odzwierciedleniem zmienności własności fizycznych margli dolomitycznych, dolomitów i anhydrytów oraz piaskowców białego spągowca. Histogramy (rozkłady) poszczególnych parametrów są wielomodalne, a poszczególne maksima związane z określonymi skałami.

Ciężary właściwe utworów cechsztynu zmieniają się od 2,75 do 2,98 G/cm³, a odpowiadający im histogram posiada trzy przedziały modalne: 2,75—2,80 G/cm³, 2,85—2,90 G/cm³ i 2,95—3,0 G/cm³. Pierwszy z nich wiąże się z piaskowcami dolomitycznymi białego spągowca, drugi z dolomitami i marglami dolomitycznymi członu podstawowego cyklotemu werra, trzeci natomiast z anhydrytami. Duży rozrzut wartości dla margli dolomitycznych wiąże się z różnym udziałem kryształków dolomitu i anhydrytu oraz zmienną mineralizacją siarczkową.

Ciężary objętościowe wahają się od 2,61 do 2,96 G/cm³, a histogram zawiera dwa przedziały modalne: 2,61—2,74 G/cm³ i 2,84—2,96 G/cm³. Pierwszy z nich odpowiada głównie piaskowcom i częściowo margłom dolomitycznym, drugi natomiast dolomitom i anhydrytom.

Własności zbiornikowe omawianego kompleksu osadów, oceniane na

podstawie porowatości, są bardzo niskie. Około 60% zbadanych próbek posiada porowatości całkowite niższe od 1,5%, a powyżej 90% próbek porowatości efektywne niższe od 1,2%. Interesujące pod względem kolektorskim mogą być jedynie margle dolomityczne, z wkładkami i prze-warstwieniami dolomitów o wyraźnej wtórnej porowatości do 8%, występujące na głęb. ok. 3326—3330,0 m.

Brak pełnego profilu osadów cechsztyńskich, stosunkowo niewielka ilość zbadanych próbek a zarazem duże zróżnicowanie litologiczne sprawiły zapewne, że nie zaznaczył się żaden trend w głębokościowym rozkładzie parametrów fizycznych analizowanych utworów.

Ocenę własności fizycznych osadów czerwonego spągowca przeprowadzono na podstawie wyników analiz 14 próbek pobranych z interwału 3896,2—3962,7 m. Rozkłady parametrów fizycznych utworów czerwonego spągowca (fig. 6B) są jednomodalne: ciężary mają rozkład zbliżony do normalnego, natomiast rozkład porowatości jest wyraźnie asymetryczny, o ściętych lewych i wydłużonych prawych gałęziach. Czerwony spągowiec reprezentują w górnej części mułowce i piaskowce szarogłazowe, brunatnowiśniowe, a w dolnej części grubookruchowe wapienno-dolomityczne zlepieńce typu zlepieńców zygmuntownskich. Zarówno ciężary objętościowe, jak i właściwe są słabo zróżnicowane i wynoszą odpowiednio 2,69—2,77 G/cm³ i 2,74—2,83 G/cm³. W obrębie czerwonego spągowca obserwuje się nieco wyższe ciężary właściwe niż w piaskowcach młodszych ogniw stratygraficznych. Jest to spowodowane na pewno znacznie większą zawartością związków żelaza w spoiwie utworów dolnego permu.

Porowatości całkowite wynoszą 0,4—4,3%, a efektywne 0,1—1,2%. Około 70% zbadanych próbek posiadało porowatości całkowite niższe od 2% i efektywne niższe od 0,6%. Małymi porowatościami charakteryzują się zlepieńce, natomiast mułowce i piaskowce, budujące górną część profilu czerwonego spągowca, posiadają te wartości bardziej zróżnicowane, ale ogólnie niskie. Stosunkowo niewielka miąższość (ok. 70 m) czerwonego spągowca jest zapewne przyczyną braku trendu zmienności omawianych parametrów fizycznych w rozkładzie pionowym.

Najniższym zbadanym ogniwem stratygraficznym jest karbon dolny, reprezentowany przez piaskowce szarogłazowe, różnoziarniste, na ogół źle sortowane, zbite, o spoiwie krzemionkowo-żelazistym i żelazisto-ilastym, przewarstwione mułowcami szarogłazowymi i cienkimi wkładkami czarnych, muskowitowych łupków ilastych.

Ciężary właściwe tych utworów zmieniają się od 2,70 do 2,82 G/cm³, ciężary objętościowe od 2,62 do 2,70 G/cm³, a ich wartości średnie wynoszą odpowiednio 2,75 G/cm³ i 2,70 G/cm³ (fig. 7). Wartości najwyższe wiążą się z mułowcami. Piaskowce natomiast są bardziej zróżnicowane i przyjmują wszystkie wartości z wyżej wymienionych przedziałów.

Własności zbiornikowe utworów dolnego karbonu, rozpatrywane na podstawie wyników badań porowatości, są bardzo słabe. Porowatości całkowite zmieniają się od 0,7 do 4,4%, a efektywne od 0,2 do 2,3%, przy czym porowatości całkowite skumulowane są w przedziale 1,0—2,0%, a efektywne w przedziale 0,5—1%. Najniższe wartości wiążą się z łupkami i mułowcami, natomiast piaskowce są pod tym względem wyraźnie zróżnicowane.

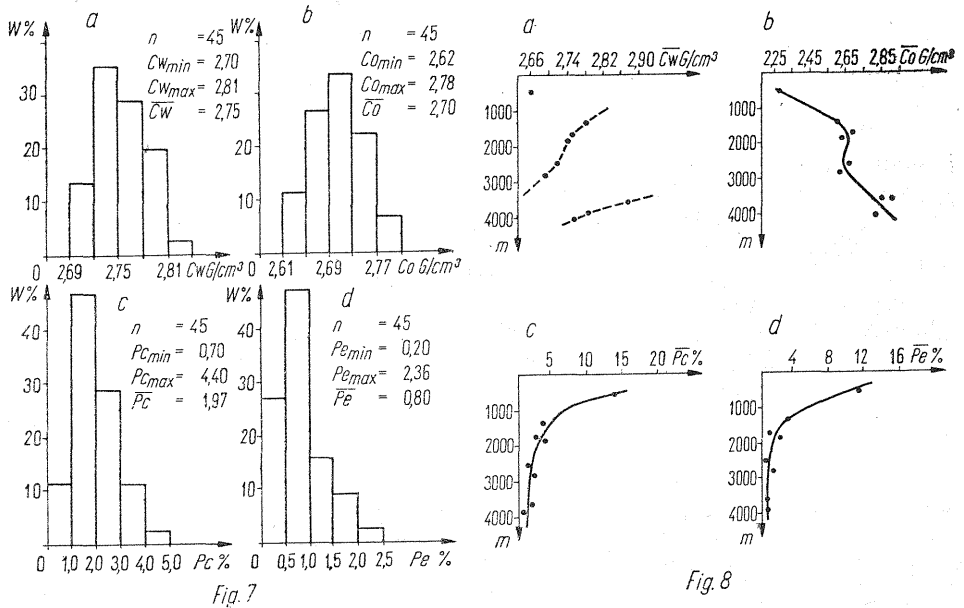


Fig. 7. Histogramy wartości parametrów fizycznych utworów karbonu dolnego
Histograms showing the values of physical parameters of Lower Carboniferous deposits

Objaśnienia jak na fig. 3
Explanations as in Fig. 3

Fig. 8. Wykresy zależności wartości średnich parametrów fizycznych od głębokości
Diagrams showing the relationship between the mean values of physical parameters and depth of sediments

Objaśnienia jak na fig. 3
Explanations as in Fig. 3

Z parametrów fizycznych zbadanych w funkcji głębokości tylko porowatości wykazują nieznaczny trend. Współczynniki korelacji rangowej Spearmana wynoszą $r_{Pc-H} = +0,39$; $r_{Pe-H} = +0,30$ i są wyższe od wartości krytycznej $\rho_D = 0,30$. Oznaczałoby to, że wraz z głębokością następuje, generalnie biorąc, pewien niewielki wzrost porowatości, a zatem i poprawa własności zbiornikowych. Wiązać się to może ze zróżnicowaniem wraz z głębokością piaskowców, co znajduje odzwierciedlenie w rozwoju litofacjalnym tych osadów. W dolnej części profilu dolnego karbonu występują drobnoziarniste piaskowce szarogłazowe, z przewarstwieniem mułowców, które ku górze przechodzą w piaskowce drobno- i różnoziarniste, źle sortowane, o spoiwie krzemionkowo-żelazistym, a nawet krzemionkowym.

WNIOSKI

Na podstawie analizy własności fizycznych utworów geologicznych z profilu otworu Studzianna IG-2 stwierdzono:

1. Otrzymane dane ilościowe rozkładów parametrów fizycznych skał

w obrębie poszczególnych jednostek stratygraficznych (liasu, retyko-kajpru i wapienia muszlowego), ze względu na stosunkowo niedużą ilość przeanalizowanych próbek, mają charakter wstępny, orientacyjny.

2. Zastosowanie przy badaniu własności fizycznych skał współczynnika korelacji rangowej Spearmana pozwoliło stwierdzić obecność trendu pionowego w rozkładzie ciężaru objętościowego oraz porowatości całkowitej i efektywnej osadów środkowego i dolnego pstręgo piaskowca oraz karbonu dolnego.

3. Parametry te (ciężar objętościowy, porowatość całkowita i efektywna) przebadane łącznie dla całego otworu wykazują, podobnie jak i w innych rejonach Polski (Z. Fajkiewicz, 1965), wyraźny, odwrotny trend, wyrażający się zmniejszeniem ich wartości wraz głębokością (fig. 8). Dla parametrów tych nie wyznaczono jednak równań regresji, gdyż mają one wartość użytkową dopiero przy analizie danych z większej liczby otworów, wykonanych w danym rejonie, i przy zawężeniu rozważań do poszczególnych ogniw litologicznych.

4. Zastosowanie w niniejszym opracowaniu pewnych najprostszycch elementów statystyki matematycznej, jako metody badawczej, ma charakter próbny. Wydaje się, że pełniejsza analiza z szerszym wdrożeniem statystyki będzie celowa jedynie przy wykorzystaniu do badań danych z większej ilości otworów. Przy zastosowaniu oceny analizy statystycznej będzie wówczas możliwa przestrzenna korelacja otrzymanych wyników, a tym samym ocena własności zbiornikowych skał.

Oddział Świętokrzyski
Instytutu Geologicznego
Kielce, ul. Zgoda 21

Nadesłano dnia 28 września 1974 r.

PIŚMIENNICTWO

- FAJKLEWICZ Z. (1965) — Zależność ciężaru objętościowego skał od głębokości zalegania, typu skał i wieku utworów geologicznych. *Tech. Poszuk.*, 4, p. 9—16, nr 15—16. Warszawa.
- JERZMAŃSKA A., KOTLARCZYK J., KRAWCZYK A. J. (1973) — Wstęp do badań ilościowych nad zmiennością ichtiofauny paleogenu Karpat. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 43, p. 83—117, nr 1. Kraków.
- YULE G. O., KENDALL M. G. (1966) — Wstęp do teorii statystyki. Warszawa.
- VAN DER WAERDEN B. L. (1957) — *Mathematische Statistik*. Berlin.

Henryk ЮРКЕВИЧ, Анджей ЩЕРБА

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОТЛОЖЕНИЙ
(ЮРА — КАРБОН) РАЗРЕЗА СТУДЗИАННА**

Резюме

В статье представлены результаты анализа физических свойств пород разреза скважины Студзианна ИГ-2. Рассмотрено четыре параметра: удельный вес, объемный вес, общая и эффективная пористость, с приведением границ их изменчивости для отдельных стратиграфических звеньев. Эти параметры изучены в функции глубины при помощи коэффициента корреляции ряда натуральных чисел Спермана с целью улавливания возможного наличия тренда их изменчивости. Такой тренд проявился объемный вес и пористость отложений нижнего и среднего пестрого песчаника, а также нижних каменноугольных отложений. Такой же характер тренда, выражающийся в увеличении объемного веса и уменьшении пористости с глубиной, установлен по всему разрезу скважины (0—4062 м) при суммарном рассмотрении данных без обращения к отдельным стратиграфическим звеньям.

Henryk JURKIÉWICZ, Andrzej SZCZERBA

**A PRELIMINARY ANALYSIS OF THE PHYSICAL PARAMETERS OF DEPOSITS
(JURASSIC — CARBONIFEROUS) IN THE COLUMNAR SECTION
AT STUDZIANNA**

Summary

The authors present the results of their analysis of the physical properties of sediments in the columnar section of borehole Studzianna IG-2. The following four parameters were taken into consideration: specific weight, bulk weight, total porosity, and effective porosity. Changes in these parameters throughout the particular stratigraphic units are also presented. The relationship between these parameters and the depth was examined by means of Spearman's coefficient of rank correlation. The purpose of this examination was to determine whether changes in physical parameters followed any trend. This was found to be true in the case of bulk weight and porosity of sediments of the Lower and Middle Bunter Sandstone and of the Lower Carboniferous. The same trend, namely the increase of bulk weight and the decrease of porosity with the depth, was found in the columnar section of the whole borehole (0—4 062 m) in general, regardless of subdivision into the particular stratigraphic units.