

SKŁAD GRANULOMETRYCZNY SKAŁ OKRUCHOWYCH A ICH POCHODZENIE

UKD 550.85:552.123:552.517:551.35

Klasyfikacja skał według składu granulometrycznego od dawna stanowiła przedmiot zainteresowania petrografów i gruntoznawców, jednak w tej dziedzinie panuje do dziś rozbieżność poglądów. W ciągu ostatnich 65 lat zaproponowano około 100 rozmaitych klasyfikacji, które tylko częściowo pokrywają się ze sobą. Sporna jest zarówno granica frakcji pylastej z ilastą,

jak i z piaszczystą, natomiast granica piasku i żwiru z niewielkimi odchyleniami jest stawiana na 2 mm. Przyczyn tych rozbieżności jest dużo. Granicę frakcji ilastej usiłowano dobrać w ten sposób, aby wszystkie ziarna poniżej wartości granicznej były ziarnami minerałów ilastych, jednak pomiary średnicy różnych minerałów ilastych wskazują na wartości zmienne (ziarna

kaolinitu dochodzą do 0,005 mm, a blaszki montmorylonitu są zawsze mniejsze od 0,001 mm). Również granica frakcji piaszczystej i pylastej bywa przyjmowana rozmaicie, przy czym poszczególne autorzy szukali związku średnicy ziarna z właściwościami fizycznymi obu frakcji.

W petrografii obecnie nie przywiązuje się specjalnego znaczenia do tej klasyfikacji. Podręcznik A. Bolewskiego i M. Turnau-Morawskiej — „Petrografia” (1), jedynie na str. 374 wspomina, że ziarna piasku są mniejsze od 2 mm, a pył (aleuryt) zawarty jest w granicach 0,1—0,01 mm. W petrografii bowiem klasyfikacja skał okruchowych według wielkości ziarna ma znaczenie raczej umowne. Jeśli się bada skład granulometryczny, wykreśla się zwykle krzywą kumulacyjną, z której można odczytać zawartości poszczególnych frakcji, natomiast dla badań geologiczno-inżynierskich, gruntoznawczych i gleboznawczych badania granulometryczne i oparta na nich klasyfikacja mają istotne znaczenie.

Wobec rozbieżności danych piśmiennictwa, w Polsce klasyfikacja ta została ujednolicona normą PN — 54/B-02480, która ustala granice:

$\begin{matrix} >2 \text{ mm} & 0,05 \text{ mm} & <0,02 \text{ mm}> \\ \text{żwir} & \text{piasek} & \text{pył} & \text{il} \end{matrix}$

oraz wyróżnia 16 rodzajów gruntów zależnie od składu granulometrycznego.

Ostatnio analiza granulometryczna uzyskała w petrografii duże znaczenie w związku z próbami interpretacji genetycznej jej wyników. Przygodne obserwacje co do wpływu warunków tworzenia się osadów na ich skład granulometryczny są bardzo dawne.

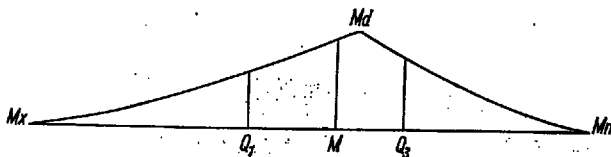
Przeszło 30 lat temu P. D. Trask (17) podał sposób obliczania współczynnika wysortowania S_o i współczynnika asymetrii (skewness) S_k . Współczynniki te miały ilustrować rozmieszczenie wielkości ziarn w histogramie, bądź na wykresie składu granulometrycznego (ryc. 1).

W histogramie na osi rzędnych Trask zaznaczył zawartość poszczególnych frakcji w procentach, na osi odciętych — wymiary ziarn w milimetrach. Punkty Q_1 , M i Q_3 odpowiadają średnicy ziarna, stanowiącego 25, 50 i 75% (odczytane z krzywej). Współczynnik wysortowania Trask wyliczył ze wzoru $S_o = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$ natomiast współczynnik asymetrii wyraża się zależnością

$$S_k = \frac{Q_3 - Q_1}{M}$$

Wyniki analiz granulometrycznych przedstawiano graficznie w rozmaity sposób. Stosunkowo najpraktyczniejszy okazał się sposób sporządzania krzywych kumulacyjnych na diagramie, w którym na osi rzędnych odkłada się procentową zawartość frakcji w narastających procentach, poczynając od ziarna najgrubszego, a na osi odciętych — średnice ziarna w skali logarytmicznej. Z takiego wykresu można również odczytać zawartość określonych frakcji lub odpowiednio dla 25 i 75% średnice, jak Q_1 , Q_3 a stąd wyznaczyć współczynnik wysortowania według wzoru podanego przez Traska (ryc. 2).

Niektórzy autorzy (2, 8) sporządzali krzywe kumulacyjne na diagramie, w którym na osi rzędnych przed-



Ryc. 1. Histogram próbki piasku wg Traska (1932 r.)

Fig. 1. Histogram of sand sample according to Trask (1932).

stawiono zawartość procentową frakcji nie liniowo, lecz jako prawdopodobieństwo rozrzutu zgodnie z prawem Gaussa, a na osi odciętych — wymiary ziarn. Można także do zilustrowania składu granulometrycznego stosować diagram, w którym zarówno zawartość frakcji, jak i średnice ziarn zostały odłożone w skali logarytmicznej.

Wartość współczynnika wysortowania S_o odczytanego z krzywej kumulacyjnej bywa rozmaicie interpretowana, jak to wynika z następującego zestawienia:

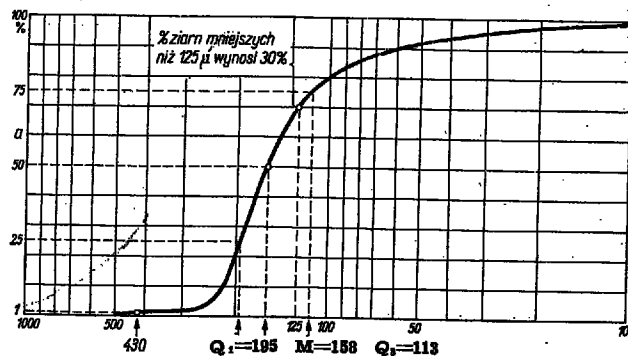
**ZALEŻNOŚĆ STOPNIA WYSORTOWANIA ZIARNA
OD WSPÓŁCZYNNIKA WYSORTOWANIA**

Wysortowanie ziarna	Współczynnik wysortowania S_o obliczony wg Traska			
	Trask 1932	Schneiderhöhn 1953	Folk 1954	Feuchtbauer 1959
szczególnie dobre	—	1,0—1,23	—	—
doskonale	—	1,23—1,32	—	—
bardzo dobre	—	1,32—1,41	1,0—1,165	1,0—1,23
dobre	1,0—2,5	1,41—1,51	1,165—1,26	1,23—1,41
normalne	2,5—4,5	—	—	—
umiarkowane	—	1,51—1,74	1,26—1,60	1,41—1,74
niedostateczne	—	1,74—1,81	—	—
złe	4,5	1,81—2,00	1,60—2,63	1,74—2,0
bardzo złe	—	> 2,00	—	> 2,0

Inman (7) podał wartość normalnego odchylenia średnicy ziarna od średniej wartości, obliczając ją z równania:

$$\delta = \frac{1}{2} (\phi_{84} - \phi_{16})$$

gdzie ϕ_{16} oznacza średnicę ziarna frakcji grubszej w przedziale $15,5 \div 16,5\%$ odczytaną z wykresu. Analogicznie ϕ_{84} oznacza średnicę ziarna frakcji drobniejszej odczytaną również z wykresu. Folk i Ward (5) podali sposób uwzględniający lepiej kształt krzywej kumulacyjnej, zwłaszcza na jej ekstremach odnośnie



Ryc. 2. Krzywa kumulacyjna uziarnienia (średnice ziarna podano w mikronach).

Fig. 2. Cumulative curve of grain size (diameters of grains are given in microns).

do wielkości ziarna frakcji najgrubszej i najdrobniejszej. Wzoruując się na pracach Inmana (7) podali oni formułę normalnego odchylenia tzw. współczynnik dyspersji (standart deviation), wyrażoną wzorem:

$$\delta_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$$

Według Folka i Warda wysortowanie ziarna kształtuje się następująco w zależności od δ :

- $\delta < 0,35$ — bardzo dobrze wysortowane,
- 0,35 — 0,50 — dobrze wysortowane,
- 0,50 — 1,00 — średnio wysortowane,
- 1,00 — 2,00 — źle wysortowane,
- 2,00 — 4,00 — bardzo źle wysortowane,
- $> 4,00$ — wyjątkowo źle wysortowane.

Folk i Ward (5) podają także za Inmanem (7) formułę na oznaczenie współczynnika asymetrii krzywej składu ziarnowego S_k , przy czym wzór:

$$a_\phi = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{\phi_{54} - \phi_{16}}$$

określa asymetrię centralnych partii, a wzór

$$a_{2\phi} = \frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}}$$

określa asymetrię skrajnych frakcji.

Ważnym czynnikiem, określającym cechy krzywej kumulacyjnej jest także współczynnik K_G (kurtosisi tzw. eksces, 18), który Folk i Ward podają według Gaussa

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

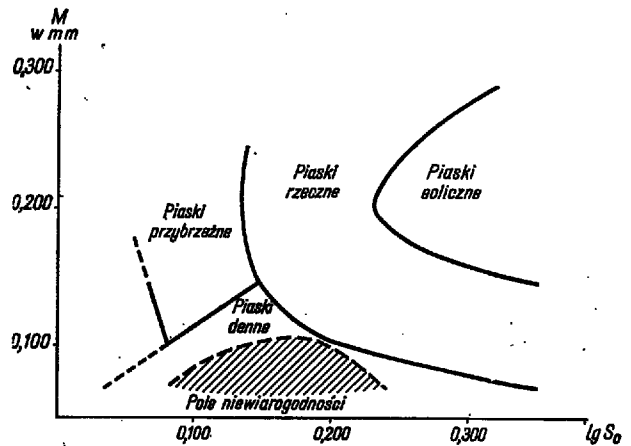
- przy $K_G < 0,65$ — krzywa ma bardzo ostre maksima,
 0,65 ÷ 0,90 — ostre maksima,
 0,90 ÷ 1,11 — wyraźne maksima,
 1,11 ÷ 1,50 — łagodne maksima,
 $> 3,0$ — niewyraźne maksima.

Folk i Ward w pracy nad piaskami rzeki Brazos w Teksasie stwierdzili, że zmienność współczynników S_o , S_k i K_G pozostaje niewątpliwie w związku z warunkami sedimentacji osadu. Prace Folka i Warda kontynuował G. Friedman (6), który przedstawił szereg diagramów zależności S_k od K_G , M od δ , S_o od δ , S_k od δ i wykazał, iż stosując je przy badaniach składu granulometrycznego osadów można odróżnić piaski rzeczne od plażowych.

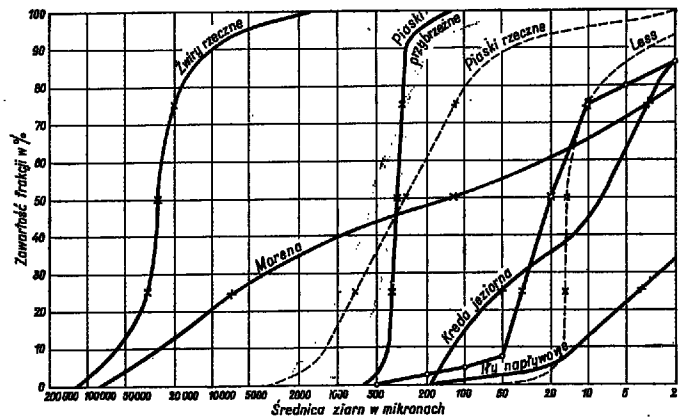
Próby genetycznej klasyfikacji skał piaszczystych reprezentują prace S. Berga (1940), D. Doeglasa (2), C. Herdana (1948). S. Berg (1940, fide Kalinko), na podstawie charakteru krzywych kumulacyjnych odróżnił piaski wydmowe od przybrzeżnych. Doeglas stwierdził, iż krzywe kumulacyjne skał o różnej genezie różnią się od siebie.

W latach 1940—1946 L. Ruchin opracował metodę genetycznej interpretacji wyników analizy granulometrycznej piasków. L. Ruchin (13, 14) sporządził dia-

Fig. 5. Granulometrical composition of clastic rocks of various provenance in triangle projection.



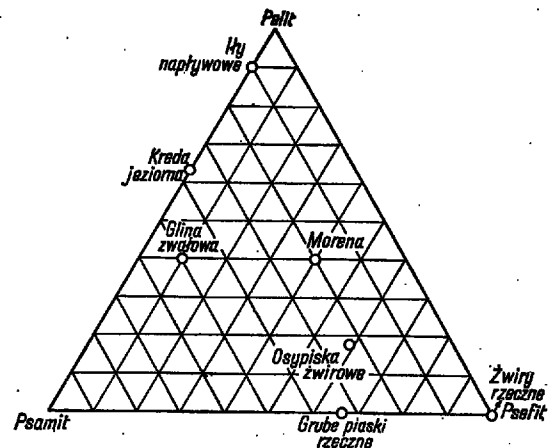
Ryc. 3. Diagram genetyczny piasków wg Ruchina. Fig. 3. Genetic diagram of sands according to Ruchin.



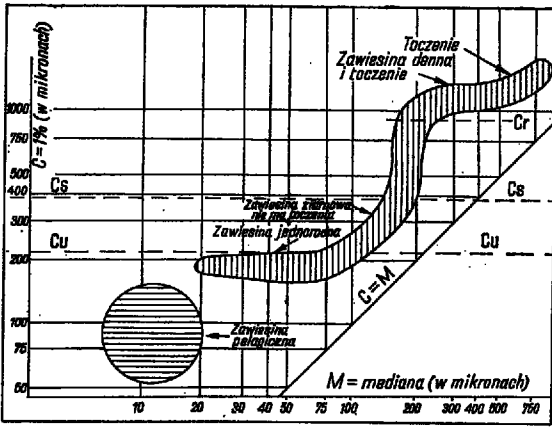
Ryc. 4. Krzywe kumulacyjne uziarnienia różnych skał okruchowych. Krzyżykami oznaczono wartości średnie i ćwiartkowe (25%, 50%, 75%), kółkami oznaczono przykład próbki ze złym wysortowaniem (wg P. Niggliego).

Fig. 4. Cumulative curve of grain size of various clastic rocks.

By means of crosses are marked mean and quartantal values (25%, 50%, 75%); by means of circles are marked samples characterized by bad sorting (according to P. Niggli).



Ryc. 5. Skład granulometryczny skał okruchowych różnego pochodzenia w rzucie trójkątnym.

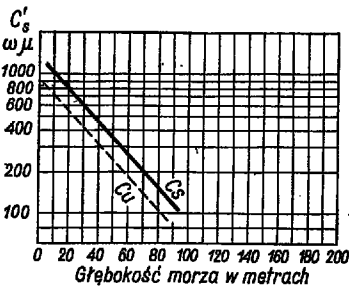


Ryc. 6. Diagram CM dla materiału okruchowego osadzonego przez prądy (wg R. Passega)

Cs — największy wymiar ziarna niesionego jako zawiesina ziarnowa, Cu — największy wymiar ziarna niesionego jako jednorodna zawiesina.

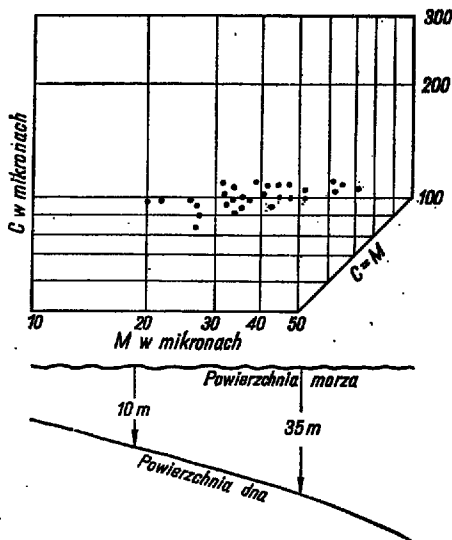
Fig. 6. CM diagram for clastic material laid down by currents (according to R. Passega).

Cs — the greatest dimension of a grain carried as grain suspension, Cu — the greatest dimension of a grain carried as a uniform suspension.



Ryc. 7. Wykres pomocniczy zależności głębokości osadzenia próbki od uziarnienia skały (wg R. Passega).

Fig. 7. Auxiliary diagram of interrelation between the depth of sedimentation and the grain size of rock (according to R. Passega).



Ryc. 8. Diagram CM osadów Adriatyku i wyznaczone głębokości ich sedimentacji (wg R. Passega).

gram, w którym na osi rzędnych odkłada się średnią wielkość ziarna M , a na osi odciętych $\lg S_0$. Na diagramie Ruchin wyznaczył pola charakterystyczne dla piasków, tworzących się w określonym środowisku morskim bądź lądowym (ryc. 3). N. Strachow (16) stwierdził, że niekiedy tego rodzaju interpretacja genetyczna wyników analiz granulometrycznych może nie odpowiadać prawdzie. W wyniku różnych zjawisk fizyczno-chemicznych zachodzących w środowisku sedymentacji (strącanie węglanów bądź Fe_2O_3 , działanie wiatru, wulkanizm) obraz stopnia wysortowania materiału może być zafalszowany. Z tego względu wyniki interpretacji genetycznej analiz granulometrycznych powinny być potwierdzone na innej drodze (16).

W wyniku poszukiwań związku cech fizycznych skały z jej pochodzeniem P. Niggli (9) przedstawił diagram prostokątny zależności genezy piasku od wymiarów ziarn. Po odwzorowaniu na diagramie krzywych kumulacyjnych skał o znanej genezie, autor otrzymał szereg krzywych charakterystycznych dla utworów morenowych, rzecznych, morskich bądź eolicznych (ryc. 4). Przy tej samej wartości przeciętnej średnicy ziarna M krzywe piasków różnego pochodzenia mogą wykazywać zupełnie inny przebieg. Następnie zestawiając w rzucie trójkątnym zawartość ziarn pelitowych, psamitowych i psefitowych Niggli stwierdził, że piaski morenowe, rzeczne i morskie grupują się w odrębnych częściach trójkąta (ryc. 5).

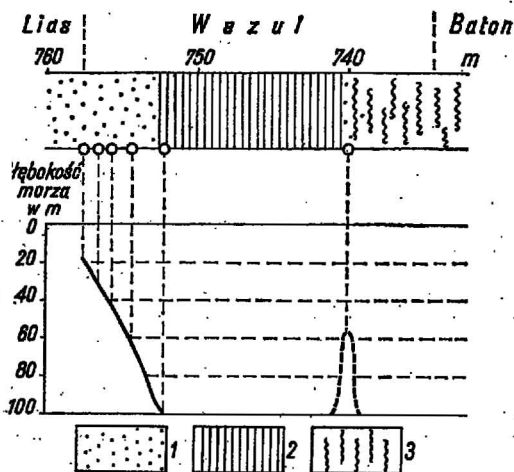
Oryginalną próbę wyjaśnienia związku genezy skały z jej strukturą podjął R. Passega (10, 11, 12). Skonstruował on diagram CM (w skali logarytmicznej), w którym na osi rzędnych odkłada się maksymalny wymiar C ziarna danej skały, a na osi odciętych wartości średniej wielkości ziarna M . C jest wartością przeliczoną dla zawartości 1% z krzywej kumulacyjnej (ryc. 2). Na diagramie CM badane próbki określone są przez punkty, układające się zależnie od ich pochodzenia w charakterystyczne grupy (ryc. 6). Diagram CM pozwala odróżnić osady morskie z jednorodnej zawiesiny, z zawiesiny zróżnicowanej, zawiesiny dennej i transportu przez toczenie. Pozwala to odtworzyć warunki tworzenia się osadu, a nawet skonstruować mapy paleobatymetryczne, wskazujące głębokość dawnych mórz w określonej serii stratygraficznej.

Na podstawie analiz 10 000 próbek pobranych z dna zbiorników wodnych na określonych głębokościach Passega stwierdził, że wielkość ziarna jest ściśle związana z głębokością sedymentacji. Autor przedstawił wykres pomocniczy tego rodzaju zależności, przy czym na osi rzędnych odmierza się wartość C_s , prowadzi linię do przecięcia prostej C_s i rzutując otrzymany punkt przecięcia prostych na oś odciętych odczytuje się głębokość osadzenia próbki (ryc. 7). Wspomniany wykres stosuje się głównie w badaniach psamitów i aleurytów. W przypadku badań jednorodnej zawiesiny, kiedy nie określono wartości C_s , prosta C_u na wykresie zastępuje prostą C_s . Przykładem może służyć diagram CM, skonstruowany przez Passega dla próbek pobranych z dna Adriatyku (ryc. 8), których rzeczywista głębokość osadzenia została oznaczona na podstawie stwierdzonych zespołów otworów.

Metoda określania głębokości osadzenia próbki w zbiorniku sedymentacji ma zastosowanie zarówno w terenowych pracach geologicznych, jak i w badaniach rdzeni wiertniczych. Niewątpliwą jej zaletą jest łatwość sporządzania wykresów i krótki czas, konieczny do wyznaczenia głębokości.

Z otworu Gorzów Wlkp. zbadano tą metodą kilka próbek. Okazało się, że najstarsza z wybranych próbek została osadzona na głębokości ok. 28 m, następna kolejno na głębokościach 30, 40, 60 i 100 m. W przypadku wspomnianych próbek była to ilustracja transgresji morza wezułskiego (ryc. 9). Jeszcze szybszą transgre-

Fig. 8. CM diagram of the Adriatic Sea deposits and determined depths of their sedimentation (according to R. Passega).



Ryc. 9. Zmiany głębokości dna morskiego w wezulu (otwór Gorzów Wlkp.).

1 — piaskowce, 2 — ilowce, 3 — mułowce.

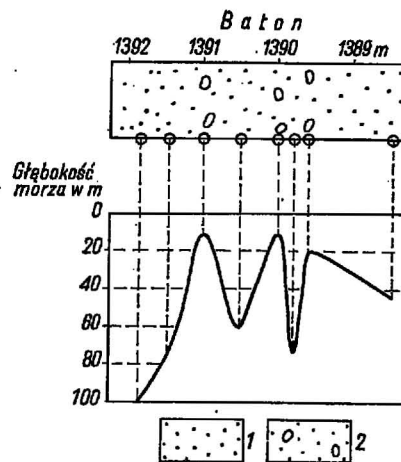
Fig. 9. Changes of sea bottom depth at the Vesulian time (bore hole Gorzów Wielkopolski).

1 — sandstones, 2 — claystones, 3 — mudstones.

sję morza wezulskiego obrazują próbki z dolnego wezulu w otworze Piekary. Dwie próbki w obrębie 1 m zostały osadzone kolejno na głębokości 15 i 100 m. Odmianą sytuację obserwuje się, badając metodą Passega piaskowce doggeru z wiercenia Bąkowa. Skąły te, o zmieniającej się wciąż grubości ziarn, wskazują na szybkie pogłębianie i spływanie zbiornika morskiego.

LITERATURA

1. Bolewski A., Turnau-Morawska M. — Petrografia, Wyd. Geol. 1963.
2. Døeglas D. — Interpretation of the results of mechanical analyses. Journal of Sedimentary Petrology, 1946, v. 16, nr 1, Tulsa, Oklahoma.
3. Feuchtbauer H. — Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine. Erdöl und Kohle, 1959, v. 12, nr 8.
4. Folk R. — The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. The Journal of Geology, 1954, v. 62, nr 4.
5. Folk R., Ward W. — Brazos River bar: a study in the significance of grain, size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, vol. 27, nr 1, Tulsa, Oklahoma.
6. Friedman G. — On sorting, sorting coefficients, and the lognormality of grain size distributions of sandstones. Journal of Geology, 1962, vol. 70, nr 6.
7. Inman O. — Measures for describing the size distribution of sediments. Journal of Sedimentary Petrology, 1952, vol. 22, Tulsa, Oklahoma.
8. Kalinko M. K. — Pieszczyne porody. Sprawozdanie rukowodstwo po petrografii osadoczych porod. T. 2. Leningrad 1958.
9. Niggli P. — Gesteine und Mineralagerstätten, I, Basel, 1948.
10. Passega R. — Texture as characteristic of clastic desposition. Bull. of the Amer. Ass. of Petr. geolog. 1957, vol. 41, nr 9, Tulsa, Oklahoma.
11. Passega R. — Analyses granulométriques, outil géologique pratique. Revue de l'Institut Français du Pétrole, 1963, vol. 18, nr 11.
12. Passega R. — Grain size representation by CM patterns as a geological tool. Journal of Sedimentary Petrology, vol. 34, Menasha, Wisconsin 1964.
13. Ruchin L. — Osnovy litologii. Moskwa—Leningrad 1947.



Ryc. 10. Zmiany głębokości dna morskiego w batonie (otwór Bąkowa).

1 — piaskowce, 2 — piaskowce zlepnicowate.

Fig. 10. Changes of sea bottom depth at the Bathonian time (bore hole Bąkowa).

1 — sandstones, 2 — conglomerate sandstones.

14. Ruchin L. — O klasyfikacji obłomoczych porod i składających imi porod. Wiest. LGU, nr 24, Leningrad 1956.
15. Schneiderhoehn P. — Untersuchungen zur Siebanalyse von Sanden und zur Darstellung ihrer Ergebnisse. Neues Jb. Miner. Abh. Bd. 85, H.2, Stuttgart 1953.
16. Strachow N. — O granulometrycznym metodzie izuczenia pieskow prof. L. B. Ruchina. Izv. AN SSSR, sur. geol. nr 3. Moskwa 1948.
17. Trask P. — Origin and environment of source sediments of petroleum, Houston, Texas 1932.
18. Unrug R., Calikowski A. — Sedimentacja i petrografia warstw połomskich. Roczn. PTG, 1960, t. 30, z. 2.

SUMMARY

There is a great divergence in classifications of rocks according to granulometrical composition. Controversial are both the boundary between the individual fractions and the interpretation of the results of granulometric analyses. In 1932, Trask presented a technique of calculating the sorting coefficient of sand and the asymmetry coefficient, and illustrated the results of granulometric analyses on histograms. It has commonly been accepted to present the granulometric composition of rocks in the form of cumulative curves, the shape and course of which are connected with the origin of deposit (Niggli, 1952). Basing on the sorting coefficient of sand and on the cumulative curves, Ruchin presented a diagram (1953), on which he distinguished the fields of fluvial, near-shore, bottom and eolian sands. On the basis of 10 000 samples studied, Passega (1957, 1963) gave a method of determining the depth, at which the rocks in study had been deposited.

In addition, the paper gives also some technique of genetical interpretation of granulometrical composition of clastic rocks, and the examples of using the Passega's method in examination of the Dogger rocks from bore-holes Gorzów Wlkp. and Bąkowa.

РЕЗЮМЕ

Относительно классификации пород по гранулометрическому составу существует большое разнообразие мнений. Спорными являются как пределы отдельных фракций, так и объяснение данных гранулометрического анализа. В 1932 году Траск предложил способ определения коэффициента сортировки и коэффициента асимметрии. Данные гранулометрического анализа он изображал в виде гистограмм. Однако общепринятыми стали кумулятивные кривые гранулометрического состава, форма которых зависит от условий образования осадка (П. Ниттли, 1952). На основании коэффи-

циента сортировки песков и кумулятивных кривых их гранулометрического состава Л.Б. Ружин (1953) опубликовал генетический график, позволяющий определять условия отложения рассматриваемых осадков. Р. Пассега (1957, 1963), основываясь на изучении 10 000 образцов осадочных пород, условия образования которых были известны, предложил метод определения глубины осадконакопления в водоеме изучаемых пород.

В статье дан обзор способов генетической интерпретации гранулометрического состава обломочных пород и приведены примеры по буровым опорным скважинам Гожув и Бонкова.