

**STATYSTYCZNE POMIARY ROZKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO
JAKO WSKAŹNIKI ODWZOROWANIA DYNAMIKI SEDYMENTACJI
WODNEJ W CZWARTORZĘDZIE**

UKD 551.312.3.061:551.79:552.123:519.2

Od 1914 r., kiedy J. A. Udden (12) wskazał na istnienie ścisłej korelacji pomiędzy rozkładem uziarnienia w analizie granulometrycznej a środowiskiem sedymentacji, obserwuje się wyraźną ekspansję tego typu podejścia w pracach dotyczących analizy genetyczno-facjalnej. Pomiar rozmiaru ziarn i ich rozkład pozwalają wnioskować o warunkach formowania się osadu, o prędkości prądów itp. Tego typu prostą korelację liniową ujmują chociażby prawo Stokesa. W 1925 r. C. E. Van Orstrand (13) zredukował rozkład uziarnienia do krzywej frekwencji, rekomendując jednocześnie użycie parametrów statystycznych dla charakterystyki cech istotnych rozkładu. Badania późniejsze, trwające do dziś, dotyczą znalezienia takich parametrów statystycznych, które byłyby najwiś- ciusze z dwójki punktu widzenia:

1) opisywałyby, w sposób możliwie całościowy, charakter osadu, pozwalając i umożliwiając wyciągnięcie wniosków na temat środowiska sedymentacji, a więc interpretację w sensie genetycznym oraz

2) spełniałyby rolę diagnostyczną dla danego typu osadu, pozwalając na możliwie jednoznaczny klasyfikację w sensie oddzielenia na ich podstawie osadów z różnych środowisk sedymentacji.

Zakładając merytoryczną słuszność postawionego problemu, zagadnienie sprowadza się do wyboru właściwych parametrów, co z kolei uwarunkowane jest wstępnym rozpoznaniem geologicznym.

Przedstawiciele badania dotyczą gruntów sypkich wieku czwartorzędowego. Dla geologicznej (konceptyjnej) klasyfikacji wstępnej środowisk sedymentacji gruntów sypkich został stworzony model budowy geologicznej wybranego terenu, przy zastosowaniu jako narzędzi pomocniczych: map powierzchni trendowych oraz analizy wyróżniającej (dyskryminującej) (14, 15). Model ten został szczegółowo omówiony w pracy I. Wiatr (15). Stanowił on podstawę wydzielenia 5 środowisk sedymentacji, a więc 5 grup (serii) genetyczno-facjalnych. Za materiał wyjściowy do badań posłużyły krzywe przesiewu wykonane na podstawie badań laboratoryjnych z próbek pobranych z każdego przyjętego do rozważań środowiska w następującym rozdziale ilościowym:

osady tarasów postglacjalnych 72 próbki
osady stanowiące przewarstwienie w glinach zwałowych 39 próbek
osady fluwioglacjalne 153 próbki

osady dolin interglacjalnych i interstadialnych 76 próbek
osady wód stojących lub bardzo słabo płynących 58 próbek

Rozdział ilościowy, jak również lokalizacja poszczególnych próbek w układzie przestrzennym zostały podyktowane koniecznością zachowania zasady reprezentacyjności próbki. Krzywe przesiewu wykonano w notacji milimetrowej; z ostatnich badań G. M. Friedmana (2) wynika, że notacja ϕ w analizie klasyfikacyjnej, przy oddzielaniu środowisk sedymentacji jest słuszną jedynie w przypadku małego przedziału przeciętnej średnicy ziarn, co w rozważanym modelu nie ma miejsca — odwrotnie przedział jest bardzo znaczny.

Na podstawie krzywych przesiewu zostały obliczone następujące parametry statystyczne:

1) średnia średnica, za którą przyjęto średnicę mediany $M_d = d_{50}$

2) współczynnik wysortowania, czyli odchylenie w rozdziale procentowym według wzoru J. C. Griffithsa (3) słusznego dla osadów środowiska wodnego:

$$W = \frac{d_{90} - d_{10}}{2}$$

3) współczynnik równomierności, uziarnienia jako miara alternatywna w stosunku do poprzedniej według wzoru A. Hazena (4):

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \text{ jeśli } 0,1 \text{ mm} \leq d_{10} \leq 3 \text{ mm} \\ 1 \leq U \leq 5$$

lub przy innym układzie brzegowych wartości d_{10} i U

$$U = \frac{d_{70}}{d_{10}}$$

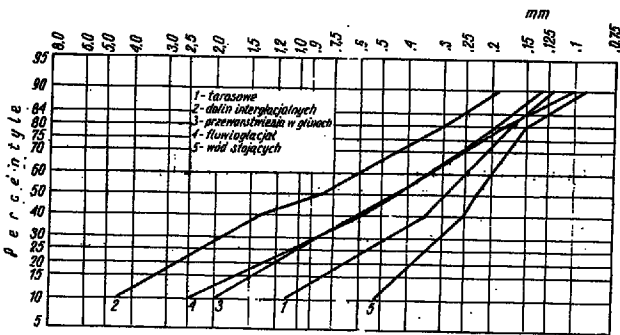
4) wskaźnik asymetrii krzywej uziarnienia wyrażony wzorem W. Kollisa:

$$C_d = \frac{d_{90} \cdot d_{10}}{d_{50}}$$

PARAMETRY STATYSTYCZNE WYRÓŻNIONYCH ŚRODOWISK SEDYMENTACJI

Parametry statystyczne Osady	Tarasów postglacial.	Dolin interglacial. i interstadialnych	Przewarstw. w glinach	Fluwioglacjalne	Wód stojących
d_{50} $\frac{\bar{x}}{V}$	0,29 0,48	0,81 1,58	0,44 1,50	0,44 1,83	0,23 0,32
W $\frac{\bar{x}}{V}$	0,48 1,61	2,24 1,26	0,94 1,61	1,17 1,97	0,22 0,69
U $\frac{\bar{x}}{V}$	2,59 0,34	6,00 1,20	3,74 0,98	3,57 1,55	2,16 0,24
C_d $\frac{\bar{x}}{V}$	1,19 0,84	1,70 0,63	1,24 0,64	1,47 1,07	0,86 0,41
W vs. d_{50} r regresja	0,586 W = 3,2 d_{50} - 0,5	0,874 W = 1,9 d_{50} + 0,7	0,932 W = 2,1 d_{50}	0,864 W = 2,5 d_{50} + 0,1	0,728 W = 1,5 d_{50} - 0,1
U vs. d_{50} r regresja	0,565 U = 3,5 d_{50} + 1,6	0,560 U = 3,1 d_{50} + 3,4	0,926 U = 5,1 d_{50} + 1,5	0,936 U = 6,4 d_{50} + 0,8	0,352
C_d vs. d_{50} r	0,267	-0,222	0,187	nie istotna	0,380
W vs. d_{20} r	0,275	0,722	0,817	0,622	0,504

\bar{x} — wartość średnia V — współczynnik zmienności obliczony jako stosunek odchylenia standardowego do średniej, r — współczynnik korelacji liniowej.



Wykres porównawczy średnich rozkładów frakcji.

- 5) zależność W od d_{50}
- 6) zależność U od d_{50}
- 7) zależność W od d_{20}
- 8) zależność C_d od d_{50}

Wszystkie zależności zostały obliczone według współczynnika korelacji liniowej r, ze sprawdzeniem istotności korelacji testem t-studenta, na podstawie funkcji testowej:

$$t^0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Tabela ujmuje syntetycznie wszystkie wymienione parametry statystyczne zależnie od wyróżnionych typów genetycznofacialnych.

Dane z tabeli oraz wykres porównawczy średnich rozkładów frakcji (ryc.) upoważniają do wyciągnięcia wniosków głównie co do charakterystyki środowiska sedymentacyjnego. I tak:

Osady tarasów postglacialnych występują w strefie przypowierzchniowej. Spotyka się tu wszystkie rodzaje gruntów sypkich — od piasków pylastych do pospólek i żwirów. Wartości wszystkich parametrów statystycznych (tab.) wyraźnie odbiegają od wartości tych samych parametrów dla innych typów genetycznych. Jest to zrozumiałe i wydaje się potwierdzać prawidłowość ocen w przyjętym typie rozważań, warunki bowiem jakie panowały w tym środowisku sedymentacji dalece odbiegały od warunków w pozostałych środowiskach, ze względu na brak bezpośredniego lub pośredniego wpływu czynnika jakim jest lodowiec.

Średni rozkład frakcji (ryc.) wskazuje na przewagę turbulencji w procesie transportu. A. Lisicyń (8) uważa, że najbardziej ruchliwymi cząsteczkami wśród zawieszonych są te o średnicy 0,18 mm. Z ana-

lizy krzywych przesiewu wynika, iż cząsteczki tej średnicy są pospolicie spotykane w osadach tarasowych. Cecha dominacji, bardzo zróżnicowana, wynosi średnio 1,19. Występowanie jednak wartości większych i mniejszych od jedności, w równej niemal proporcji, świadczy o zróżnicowanej asymetrii zarówno w kierunku frakcji grubszych, jak i drobniejszych od średnicy mediany, co świadczyłoby o bardzo zróżnicowanych prędkościach przepływu wód. Zastanawiająco niski jest współczynnik korelacji między wysortowaniem i średnicą mediany. W zestawieniu z wysortowaniem, które w układzie rozważanych środowisk okazało się najlepsze, wyniki zdawały się budzić wątpliwości. Po wnikliwej analizie materiałów okazało się jednak, iż wysortowanie jest wyraźnie zmienne w profilu poziomym, nasuwa się więc wniosek o dużo szybszej zmianie warunków sedymentacji w poziomie.

Osady przewarstwiałe gliny zwalowe. Specyficzne środowisko sedymentacji, syngenetyczne z tworzeniem się i dynamiką osadzania serii gliny zwalowej zdeterminowało charakterystyczne parametry statystyczne. Bliski jedności współczynnik korelacji między wysortowaniem W a średnicą mediany d_{50} wskazuje na klasycznie log-normalny rozkład uziarnienia, co wyraźnie widać na wykresie porównawczym średnich rozkładów frakcji. Wyraźnie w sensie statystycznym monodispersyjny rozkład frakcji zbliżony do rozkładu frakcji w osadach fluwioglacjalnych wydaje się określać podobną bądź identyczną genezę w sensie hydrodynamiki środowiska.

Średnica mediany, jako wskaźnik reżimu środowiska sedymentacyjnego, w przeważającej większości waha się przeciętnie w granicach 0,12—0,50. Ekstremalnie wysokie wartości, które się tu spotyka — rzędu 3,20, świadczące o wzroście energii utrzymującej stałe tempo transportu, są sporadyczne, o czym świadczy średnica wynosząca 0,44 mm. Podobny przedział wartości wskazuje na liczne zmiany w przejściach z ruchu turbulencyjnego w laminarny, co dla tego typu środowiska wydaje się całkowicie uzasadnione.

Wysortowanie tych osadów charakteryzowane współczynnikiem wysortowania W oraz wskaźnikiem równomierności uziarnienia U jest na ogół dobre, pogarszające się w miarę wzrostu średnicy mediany.

Osady fluwioglacjalne. We wszystkich rozważanych parametrach statystycznych seria ta stanowi najbardziej zmienny, z rozważanych, typ genetyczny. Charakterystyczna dla tych utworów jest większa zależność U od d_{50} niż W od d_{50} , co wskazywałoby, iż w przeważającej większości grunty te mają szeroką i spłaszczoną krzywą rozkładu, a wartości d_{60} czy d_{70} zbiegają się z wartościami d_{50} .

Bardzo interesujący jest tu zakres wartości średnic mediany. Obok warstw o średnicy mediany mniej-

szej od 0,14 mm, według W. C. Ingle (5), hipotetycznie reprezentującej cząstki znajdujące się w stanie zawieszenia, spotyka się warstwy o medianie w zakresie 0,14—1,00 mm, reprezentujące cząstki znajdujące się w stałej zmianie stanu hydrodynamicznego wód fluwioglacjalnych (warstw tych jest najwięcej) oraz warstwy charakteryzujące się medianą większą niż 1 mm, reprezentującą stałą energię przepływu.

Osady dolin interglacjalnych i interstadialnych. Wyraźnie najwyższa jest tu średnica mediany d_{50} , która jest funkcją prędkości prądu i określa reżim środowiska. Wyszortowanie tych osadów, najgorsze (średnio 2,24) w zestawieniu z największą średnicą mediany, wydaje się wskazywać na bardzo duże wahania prędkości prądu i zmienność hydrodynamiczną warunków depozycji. Obok warstw charakteryzujących się medianą o średnicach większych od 1 mm, które zostały prawdopodobnie osadzone w warunkach energii utrzymującej stałą prędkość transportu, obserwuje się warstwy o średnicy mediany mniejszej od 1 mm, o większym przedziale frakcji, a więc dużo gorzej wysortowane. Układ ten wydaje się być zeterminowany zmiennością procesów interglacjalnych i interstadialnych, a więc powtarzalnością faz erozji i akumulacji.

Osady wód stojących. Pod względem parametrów statystycznych stanowią one, podobnie jak osady tarasów postglacjalnych, wyróżniający się typ genetyczny. Jest to związane z odmienną od innych typów dynamiką sedymentacji. Ich wykształcenie litologiczne jest stosunkowo mało zróżnicowane: główną masę stanowią piaski drobne i pyliste, ze sporadycznie pojawiającymi się przewarstwieniami piasków średnich. Średnica mediany, stosunkowo mało zmienna, wynosi 0,23. Wyszortowanie zależy od składu granulometrycznego i dynamicznego wpływu ośrodka transportującego, którym w tym przypadku jest woda. Oba te czynniki są dla tego typu środowiska sedymentacji charakterystyczne i odbiegające od pozostałych typów. Wyszortowanie to jest tu więc bardzo wysokie. Osady te cechują się również najniższymi współczynnikami korelacji i to w innym zupełnie układzie „wagowym”.

Jak należy w świetle przeprowadzonych badań ocenić przydatność stosowalności statystycznych parametrów rozkładu w aspekcie:

1) weryfikacji założonego modelu geologicznego oraz

2) rozpoznania genetycznofacjalnego, a więc jako narzędzia pomocniczego w pierwszej fazie budowy modelu środowiska sedymentacyjnego?

Z testowania na prezentowanym przykładzie wynika, że tego typu podejście weryfikacyjne wydaje się słuszne. Układ liczbowy parametrów i ujęte wykresami średnie rozkłady frakcji potwierdziły przyjęty rozdział na typy genetycznofacjalne. Całość rozważań poparta wieloma badaniami innych autorów pozwala na wyciągnięcie już pewnych wniosków natury ogólnometodycznej:

I. Jednym z najlepszych i najbardziej środowiskowo czułych parametrów dla osadów klastycznych wieku czwartorzędowego jest współczynnik korelacji ujmujący zależność między średnicą i wysortowaniem danego osadu. Oba parametry fizyczne kontrolowane są przez te same czynniki, a jako mało zmienne w czasie, przez analize stosunków między nimi można wyciągnąć wnioski, dotyczące rodzaju środowiska sedymentacyjnego, hydrodynamiki transportu wód itp. Na tej jedynie podstawie możliwe jest wyjaśnienie różnic w strukturach granulometrycznych pomiędzy różnymi stratygraficznie i genetycznie osadami. Można więc go uwać za ceche diagnostyczne. Potwierdziły to, z autorów polski, badania F. Pieczki (10).

II. Bardzo zmienne korelacje między d_{50} i wskaźnikiem równozmiarności wydają się wskazywać, iż lepszym wskaźnikiem stopnia wysortowania od U jest współczynnik odchylenia w rozdziale procentowym W . U nie stanowi jednoznacznie generalnej miary.

III. Cecha dominacji zdefiniowana przez W. Kollisa (6) jako C_d powinna jako pojęcie statystyczne odpowiadać modzie. Stąd powinna istnieć a priori ścisła korelacja między medianą a modą. Otrzymane bardzo słabe lub wręcz nieistotne zależności między C_d i d_{50} wskazują na zachowanie ostrożności w stosowaniu tego wskaźnika.

IV. Bardzo silna korelacja między d_{50} i wskaźnikiem w rozdziale procentowym W dla wszystkich typów genetycznofacjalnych potwierdza przyjęty przez W. C. Krumbeina (7) i innych teoretyczny rozkład logarytmicznie normalny dla osadów klastycznych. W związku z tym wyłania się celowość stosowania siatki log-normalnej dla krzywej uziarnienia (11). Pozwala to również na wyprowadzenie wniosku praktycznego o względnej niezależności wyników analizy sitowej od zestawu sit, co być może w przyszłości pozwoli na zredukowanie ich ilości.

V. Struktura korelacji między wysortowaniem a średnicą d_{20} wydaje się wskazywać na słuszność przyjmowania do obliczeń dla tego typu osadów wzoru „amerykańskiego”: $k = 0,36 d_{20}^{2,0}$ cm/s zalecanego przez A. Kleczkowskiego (1) i T. Macioszczyka (9). Dopełnienie odpowiedniego typu korelacji nieliniowej powiększyłoby, być może, znacznie współczynniki korelacji w ich wartości liczbowej.

LITERATURA

1. Biały Z., Kleczkowski A. — O przydatności niektórych wzorów empirycznych dla określenia współczynnika filtracji. Arch. Hydrotech., 1970, vol. 17, nr 3.
2. Buller A. T., Mc Manus J. — Simple metric sedimentary statistics used to recognize different environments. Sedimentology, 1972, 18, Amsterdam.
3. Griffiths J. C. — Scientific method in analysis of sediments. Mc Graw-Hill Book Company. New York-London, 1967.
4. Hazen A. — Properties of sands and gravels with special reference to their use in filtration. Massachusetts Pub. 34. 1892.
5. Ingle I. C. — The movement of beach sand. Developments in Sedimentology, 1966, vol. 5.
6. Kollis W. — Wpływ metody wyznaczania współczynnika przepuszczalności na dokładność wyników w warunkach aluwiiów dennych Wisły. Arch. Hydrotech., 1961, vol. 8, nr 1.
7. Krumbein W. C., Graybill F. A. — An introduction to statistical models in geology. Mc Graw-Hill Book Company. New York-London, 1965.
8. Lisicyn A. P. — Procesy współczesnego osadkoformowania w Berdingowom morze. Izd. Mir. 1967.
9. Macioszczyk T. — Obliczenia hydrogeologiczne ujęć wód podziemnych. Wyd. Prezesa ZSL. 1969.
10. Pieczka F. — Wskaźniki liczbowe i graficzne struktury osadów okruchowych oraz reżimu hydrodynamicznego morskiego środowiska sedymentacyjnego. Bud. wod. nr 13, Zesz. Nauk. Pol. Gdańskiej. 1969.
11. Stochlak J. — Statystyczne wskaźniki uziarnienia gruntów sypkich. Prz. geol. 1968, nr 3.
12. Udden J. A. — Mechanical composition of clastic sediments. Bull. Geol. Soc. Amer. 1914, vol. 25.
13. Van Orstrand C. E. — Note on the representation of the distribution of grains in sands. Natl. Res. Council Res. Sedimentation, 1925.
14. Wiatr I., Stenzel P. — Metodyka zastosowania matematycznego modelu liniowego do analizy map geologicznych. Prz. geol. 1973, nr 8—9.
15. Wiatr I. — Model statystyczny wybranych cech środowiska inżyniersko-geologicznego kopalnych dolin Przykonw i Małgorzaty w okolicy Turka. Biul. geol. 1974, t. 15.

SUMMARY

A model of geological structure was made with the use of trend surface maps and discriminant function. Analysis of that model made it possible to assume existence of five environments of sedimentation of non-cohesive soils in the area studied. This subdivision into five sedimentary environments was subsequently verified with the use of statistical techniques involving correlation and regression analysis of statistical indices of distribution of fractions. On that basis there were distinguished environmentally-sensitive statistical parameters (in that scheme of analysis) which made possible preliminary approximation of the dynamics of sedimentation of the environments analysed. Moreover, a hypothesis was put forward that it is possible to use statistical-mathematic analysis in lithological-facies identification of non-cohesive soils. However, it is a working hypothesis requiring further multiple tests.

РЕЗЮМЕ

На основании анализа построенной геологической модели выдвигается гипотеза о наличии пяти типов условий осадконакопления рыхлых грунтов на исследованной площади. Это заключение было проверено методами математической статистики, с помощью корреляционного и регрессивного анализа статистических характеристик распределения фракций. На этом основании были определены характерные статистические параметры среды, с помощью которых удалось предварительно аппроксимировать динамику осадконакопления в рассматриваемых условиях. Выдвигается гипотеза о возможности применения статистико-математического анализа при литолого-фациальном изучении рыхлых грунтов. Гипотеза требует еще многократной проверки.