

Zbigniew ZWOLIŃSKI

## ZASTOSOWANIE STOPNIA WYSORTOWANIA DLA ZRÓŻNICOWANIA OSADÓW O ZBLIŻONYCH WARTOŚCIACH MIAR DYSPERSJI

(3 fig.)

### *Application of the sorting degree index to differentiation of deposits revealing similar dispersion parameters*

(3 Figs.)

Zbigniew Zwoliński: Application of the sorting degree index to differentiation of deposits revealing similar dispersion parameters. *Summary.* Ann. Soc. Geol. Poloniae 54-1/2:227-239, 1984 Kraków.

**Abstract:** Calculation and application of a new grain-size parameter are presented. The proposed index describes the degree of sorting of those deposits which are characterized by high grain-size similarity. It is especially useful in analyzing deposits which were laid down within the same sedimentary environment. Various methodical approaches to the analysis of this index enable numerous interpretations.

**Key words:** sorting degree index, grain-size analysis, sedimentology.

Zbigniew Zwoliński: Instytut Badań Czwartorzędu, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Fredry 10, 61-701 Poznań.

manuscript received: March, 1981

accepted: January, 1982

**Treść:** Przedstawiono konstrukcję i zastosowanie nowego wskaźnika składu mechanicznego osadów klastycznych. Proponowany wskaźnik określa wysortowanie osadów, charakteryzujących się dużym podobieństwem granulometrycznym. Jest on szczególnie przydatny do analizy osadów zdeponowanych w obrębie jednego środowiska sedymentacyjnego. Różne podejścia metodyczne w analizie wskaźnika stwarzają wiele możliwych rozwiązań interpretacyjnych.

### WPROWADZENIE

Badania składu mechanicznego osadów klastycznych są bardzo pomocne przy interpretacji współczesnych procesów morfogenetycznych oraz rekonstrukcji różnych środowisk sedymentacyjnych. Na związek między rozkładem uziarnienia a charakterem środowiska sedymentacyjnego wskazywało wielu autorów. m.in.

Folk, Ward (1957), Friedman (1967), Moss (1962), Sindowski (1957), Udden (1914), Visher (1965). Różnice pomiędzy próbkami osadów najlepiej uwidaczniają graficzne kombinacje rozmaitych parametrów teksturalnych. W ostatnich latach do określenia osadów z odmiennych środowisk sedymentacyjnych stosuje się zwykle wykres zależności między medianą lub średnią średnicą ziarna a odchyleniem standardowym (Chappell, 1967; Folk, Ward, 1957; Friedman, 1961, 1967, 1979; Lindsay i in., 1976; Moiola, Weiser, 1968; Sparks, 1976; Zwoliński, 1980a). Do rzadkości jednak należy, aby na podstawie interpretacji graficznych zależności między wskaźnikami uziarnienia próbowano wydzielić grupy osadów złożone w warunkach jednego środowiska sedymentacyjnego (Zwoliński, 1980a, b, 1981).

Wydzielenie podstawowych litofacji w niektórych środowiskach sedymentacyjnych nie nastręcza większych trudności, np. w środowisku glacialnym: glina morenowa, piaski fluwioglacjalne, mułki zastoiskowe itp. Odmienna sytuacja jest w przypadku takich środowisk sedymentacyjnych, jak np. eoliczne, jeziorne, pelagiczne itp. Charakterystyczną cechą tych środowisk jest występowanie w nich różnych osadów o podobnym rozkładzie uziarnienia, a więc osadów posiadających zbliżone wartości wskaźników uziarnienia. Wydzielenie w obrębie wymienionych środowisk pewnych grup osadów, na podstawie zależności między parametrami składu mechanicznego, stanowi dość dużą trudność. Spowodowane jest to niedoskonałością powszechnie stosowanych dotychczas statystycznych wskaźników składu mechanicznego.

Pewną próbą w tym zakresie jest propozycja Passegi (1957, 1964, 1977), który za pomocą diagramu *CM* wydziela grupy osadów zróżnicowane genetycznie. Powyższy diagram okazuje się szczególnie przydatny przy wydzieleniu osadów różnicujących się typami transportu we fluwialnym środowisku sedymentacyjnym (Bull 1962, Kaniecki 1976, Royse 1970, Zwoliński 1980a).

Pragnę złożyć podziękowanie Doc. dr hab. Andrzejowi Kostrzewskiemu za przejrzenie maszynopisu oraz wnikliwe uwagi i dyskusje w trakcie jego opracowywania. Doc. dr hab. Andrzejowi Radomskiemu dziękuję bardzo za przejrzenie maszynopisu i poczynione uwagi. Dziękuję również Dr Zygmuntowi Młynarczykowi za dyskusję wcześniejszej wersji artykułu. Składam podziękowanie Dr Ryszardowi K. Borówce, Mgr Małgorzacie Dych i Mgr Przemysławowi Gonerze za udostępnienie mi materiałów dokumentacyjnych z obszaru wyspy Wolin.

#### KONSTRUKCJA WSKAŹNIKA

Z używanych najczęściej wskaźników składu mechanicznego stosunkowo najlepsze rezultaty uzyskuje się poprzez stosowanie wielorakich miar dyspersji, na co wskazywali cytowani wyżej autorzy. W tym też kierunku zostały poczynione dalsze kroki. Chodzi mianowicie o taką konstrukcję wskaźnika, która wzmacniałaby oddziaływanie zmian przebiegu końcówek krzywych kumulatywnych na środkowe części tych krzywych. Inaczej ujmując, wskaźnik taki miałby obrazować zintensyfikowany wpływ domieszek frakcyjnych na pozornie jednakowe wysortowanie podstawowej partii materiału (Zwoliński, 1980b). Bowiem głównie do-

mieszki frakcyjne mogą różnicować osady jednego środowiska sedimentacyjnego, cechującego się osadami o podobnym składzie mechanicznym, a tym samym – wysortowaniu.

Podstawą do konstrukcji takiego wskaźnika stały się dwa wzory na:

1. odchylenie standardowe  $\delta$  wg McCammona (1962)

$$\delta = \frac{\varphi_{95} + \varphi_{85} - \varphi_{15} - \varphi_5}{5,4} \quad (1)$$

2. szerokość pasma wysortowania  $P_s$  wg Rotnickiego (1970)

$$P_s = \varphi_{90} - \varphi_{10} \quad (2)$$

Z powyższych wzorów większą ilość informacji o krzywej kumulatywnej niesie niewątpliwie odchylenie standardowe. Ponadto ma ono jedną z większych efektywności wśród wskaźników składu mechanicznego (McCammon, 1962). Stąd też wzór ten uznano za podstawowy i uzupełniono go za pomocą matematycznych przekształceń zmodyfikowaną wersją wzoru na szerokość pasma wysortowania. Modyfikacja polega na zastąpieniu parametrów krzywej kumulatywnej składu mechanicznego  $\varphi_{90}$  i  $\varphi_{10}$  parametrami  $\varphi_{95}$  i  $\varphi_5$ . Celowość zmiany parametrów można rozpatrywać w dwóch aspektach. Pierwszy z nich polega na dostosowaniu wzoru Rotnickiego do wzoru podstawowego, jakim jest odchylenie standardowe. Chodzi tu zatem o identyczność użytych parametrów we wzorach. Drugi natomiast aspekt modyfikacji dotyczy istoty wzoru Rotnickiego. Sam autor bowiem stwierdza, że dobór parametrów do wzoru na szerokość pasma wysortowania polegał na wizualnej ocenie największych różnic między analizowanymi krzywymi uziarnienia (Rotnicki, 1970). Wobec tego rozszerzenie zakresu szerokości pasma wysortowania do parametrów  $\varphi_5$  i  $\varphi_{95}$  bynajmniej nie wypacza idei tego wskaźnika, a wręcz pozwala na dokładniejsze uchwycenie różnic w przebiegu nie tylko całej krzywej kumulatywnej składu mechanicznego, ale przede wszystkim jej końcówek, co leży u podstaw konstrukcji proponowanego wskaźnika. Tak więc zmodyfikowana wersja szerokości pasma wysortowania przyjmuje następującą postać:

$$P_{sm} = \varphi_{95} - \varphi_5 \quad (3)$$

Wzór ten został sprawdzony przy różnicowaniu osadów aluwialnych rzeki okresowej na obszarze pustynnym, dając zadowalające rezultaty (Zwoliński, 1980a). Zmodyfikowana wersja szerokości pasma wysortowania okazała się bardziej czuła na zmiany w wysortowaniu osadów niż oryginalna wersja tego wskaźnika.

Przyczyną skojarzenia odchylenia standardowego i zmodyfikowanej szerokości pasma wysortowania w jeden wskaźnik stała się zgodność kierunków proporcjonalnych zmian ich wartości. Proponowany wskaźnik  $\gamma$  – stopień wysortowania – oblicza się w jednostkach  $\phi$  według następującej formuły:

$$\gamma = \frac{1}{2}(\delta + P_{sm}) \quad (4)$$

a zatem

$$\gamma = \frac{3,2(\varphi_{95}) + 0,5(\varphi_{85}) - 0,5(\varphi_{15}) - 3,2(\varphi_5)}{5,4} \quad (5)$$

Wartości przedstawionego wskaźnika są niewiele większe od prostej miary wysortowania  $S_o$ , wg Friedmana (1967, 1979), niemniej jednak znacznie pełniej określają wysortowanie osadów dzięki posiadaniu dodatkowych informacji zawartych we wskaźniku McCammona. Oznacza to, że wskaźnik  $\gamma$  określa nie tylko charakter całej krzywej kumulatywnej, ale także precyzyjniej podkreśla wpływ domieszek grubo- lub/i drobnoziarnistych na całość masy ziarnowej osadu.

Dla badań porównawczych i systematyzacyjnych proponuje się następującą klasyfikację przedziałów wysortowania według wartości przedstawionego wskaźnika (w jednostkach  $\phi$ ):

skrajnie bardzo dobre	poniżej 0,35
bardzo dobre	0,35 – 0,80
dobre	0,81 – 1,50
umiarkowane	1,51 – 3,00
złe	3,01 – 5,90
bardzo złe	5,91 – 11,90
skrajnie bardzo złe	powyżej 11,90.

Kombinacje statystyczne i graficzne proponowanego wskaźnika z innymi wskaźnikami składu mechanicznego pozwalają na lepsze uchwycenie zmian i różnic pomiędzy poszczególnymi próbkami osadów pobranych z jednego środowiska sedymentacyjnego. Wykazane różnice mogą być potwierdzone analizą korelacyjną i weryfikowane testami istotności.

#### ROZPOZIOMOWANIE SERII EOLICZNYCH PIASKÓW POKRYWOWYCH

W odsłonięciu klifu, nacinającego od północy wolińską morenę czołową, stwierdzono w Świętoustiu występowanie trzech serii eolicznych pokryw piaszczystych, rozgraniczonych dwoma datowanymi poziomami gleb kopalnych (Borówka i in., 1982, 1983). Dolny, a zarazem najstarszy poziom pokryw eolicznych (*A*) zbudowany jest z piasków drobnoziarnistych o średnicy 0,088–0,250 mm ( $Mz = 2,65 \phi$ ). Struktura tej warstwy podkreślona jest laminami wzbogaconymi we frakcję pylastą. Drugi, środkowy poziom (*B*) tworzą piaski drobnoziarniste ( $Mz = 2,37 \phi$ ), lecz zaznacza się ku stropowi wzrost ilości ziarna we frakcji 0,250–0,500 mm (od 15 do 40%). Górny, najmłodszy poziom osadów pokrywowych (*C*) budują również piaski drobnoziarniste ( $Mz = 2,24 \phi$ ), ale zawierające od 30 do 50% ziarn o wielkości 0,250–0,500 mm. Piaski omawianych poziomów pokryw eolicznych charakteryzują się dobrym i umiarkowanie dobrym wysortowaniem, na co wskazują wartości odchylenia standardowego obliczonego wg wzoru Folka, Warda (1957). Wartości te wahają się we wszystkich poziomach w granicach od 0,4 do 0,7  $\phi$ .

Dla pobranych co 0,5 m próbek osadów piaszczystych z opisanego wyżej profilu obliczono wartości stopnia wysortowania  $\gamma$ . Analizowane piaski trzech serii eolicznych, w myśl proponowanej klasyfikacji przedziałów wysortowania, kwalifikują się jako osady dobrze wysortowane. Obliczone wartości wskaźnika przedstawiono graficznie na figurze 1 (linia ciągła). Na wykresie zauważa się charakterystyczny układ wartości stopnia wysortowania w obrębie poszczególnych poziomów.

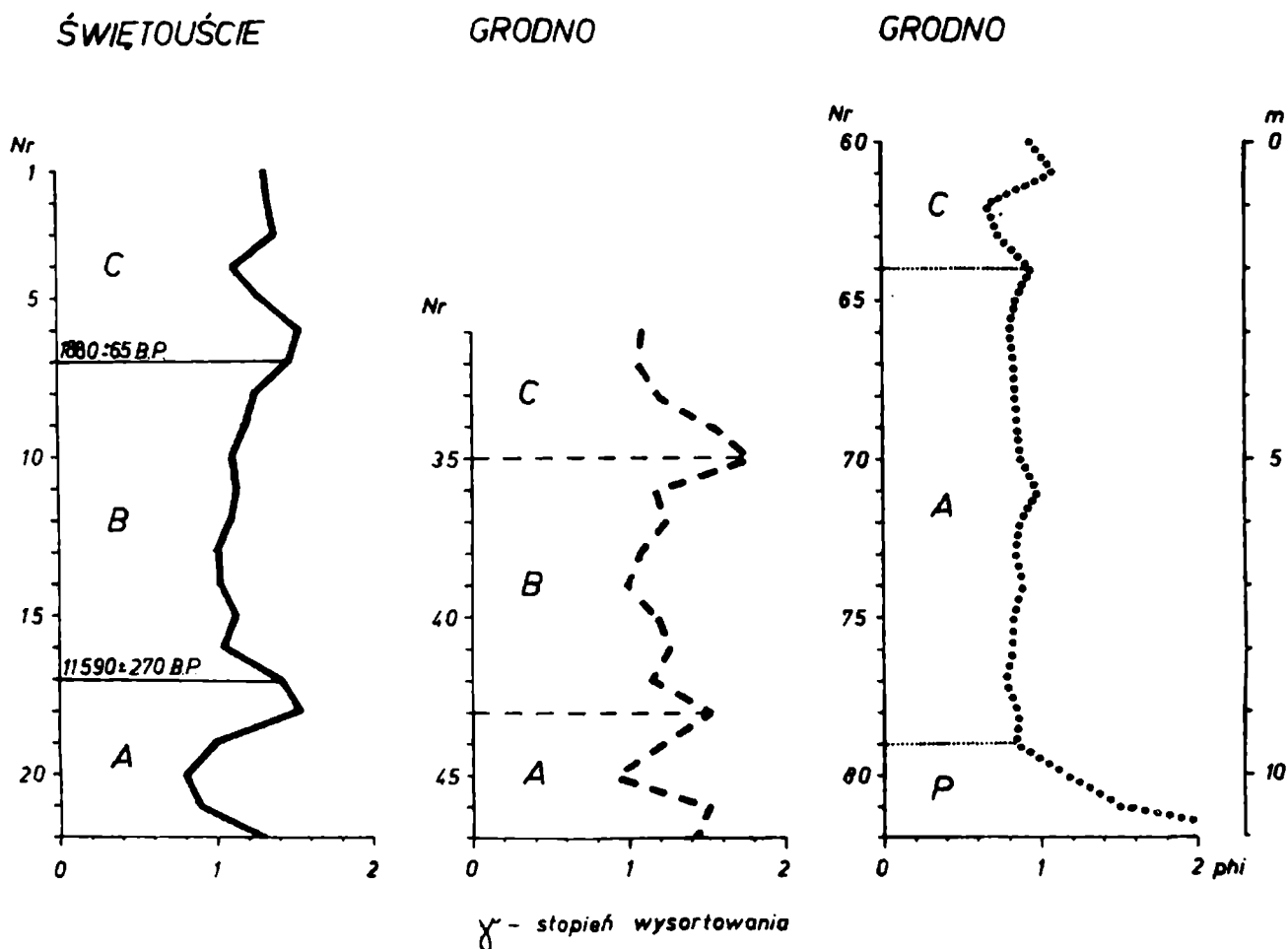


Fig. 1. Przebieg i zmienność stopnia wysortowania wzdłuż profili pionowych przez serie eolicznych piasków pokrywowych na wyspie Wolin

Fig. 1. Course and variability of the sorting degree index along vertical profiles within levels of aeolian cover sands in Wolin Island

Ma on kształt półkolisty, przy czym wartości maksymalne wskaźnika związane są z początkiem i końcem okresu depozycji piasków pokrywowych. Osady związane z początkiem i końcem depozycji charakteryzują się zatem najłagodniejszym wysortowaniem, podczas gdy partie środkowe analizowanych poziomów cechują się bardziej jednorodnym wysortowaniem materiału. Taki rozkład wartości stopnia wysortowania wskazuje, że na początku i końcu okresu depozycji panowały bardziej zmienne warunki klimatyczne, które powodowały włączanie do transportu eolicznego ziarn o zróżnicowanych średnicach, aniżeli w okresie środkowym, kiedy były selektywnie włączane ziarna piaszczyste, zawierające się w mniejszym przedziale zróżnicowania ich średnicy. Mniejszy przedział zmienności średnicy ziarn włączanych do transportu eolicznego może świadczyć o bardziej ustabilizowanych warunkach klimatycznych w środkowym okresie deponowania piasków pokrywowych.

Dla poziomu najstarszego A wartości stopnia wysortowania, odpowiadające początkowi i końcowi okresu depozycji, wahają się w zakresie od 1,0 do 1,6 phi, natomiast wartości wskaźnika korelujące ze środkową partią tego poziomu oscylują między 0,8 a 1,0 phi. Analogicznie dla poziomu środkowego B wartości stopnia wysortowania zawierają się w granicach od 1,2 do 1,4 phi oraz od 1,0 do 1,2 phi. W przypadku poziomu najmłodszego C wartości wskaźnika są bardziej zróżnico-

wane, co należy wiązać ze zmiennymi warunkami klimatycznymi w czasie sedymentacji współczesnych nasp przyklifowych (Prusinkiewicz, 1971).

W celu wykorzystania powyższej interpretacji do studiów porównawczo-rekonstrukcyjnych pobrano także próbki osadów piaszczystych z dwóch profili pokryw eolicznych koło Grodna na wyspie Wolin (Borówka i in., 1982). Trzeba podkreślić, że w profilach tych brak jest rozdzielenia poszczególnych serii pokryw eolicznych poziomami gleb kopalnych. W profilu pierwszym (numery próbek 31 – 47, linia przerywana na fig. 1) stwierdzono analogiczną sytuację jak w profilu eolicznych pokryw piaszczystych w Świętoustciu. W przypadku profilu drugiego (numery próbek 60 – 82, linia kropkowana na fig. 1) na podłożu fluwioglacjalnym moreny czołowej (*P*) leży dyskordantnie najstarszy poziom piasków pokrywowych *A*. Kryterium, wyróżniającym ten poziom, stały się wartości stopnia wysortowania wahające się od 0,8 do 1,0 phi. Wartości te korespondują z wartościami stwierdzonymi w środkowej części analogicznego poziomu *A* w Świętoustciu. Bezpośrednio na poziomie najstarszym leży seria najmłodszych piasków pokrywowych *C* (nasp przyklifowych) o zróżnicowanych wartościach stopnia wysortowania. Brak zapisu sedymentacyjnego początku i końca okresu depozycji w poziomie *A* oraz całego poziomu *B* wynika z lokalnej sytuacji morfologicznej. Powyższy profil bowiem zlokalizowany jest w obrębie kopalnego rozcięcia podłoża.

#### ROZDZIELENIE PROFILU GLINY MORENOWEJ

W odsłonięciu klifu koło Grodna występuje mięszszy pokład gliny morenowej budującej trzon wolińskiej moreny czołowej. Niemal 38-metrowej wysokości profil reprezentowany jest od spągu przez glinę szarą o miąższości 26 m, na niej spoczywa 7,5 m grubości warstwa gliny brązowej, a strop stanowią pokrywy piasków eolicznych. Głównym problemem dyskutowanym w literaturze jest pozycja stratygraficzna dwóch wyżej wymienionych poziomów gliny: szarej i brązowej (Kopczyńska-Żandarska, 1970; Kostrzewski, Krygowski, 1967; Stankowska, 1979).

Z opisanego powyżej profilu co 20 cm pobrano 179 próbek, w tej liczbie 37 w obrębie warstwy gliny brązowej i 130 – gliny szarej. W oparciu o analizy składu mechanicznego rozpoznano dwie grupy próbek pobranych osadów: gliny i gliny pylastej (PN 54/B-02480). Okazało się, że do pierwszej grupy (gliny) należy zaliczyć 116 próbek pobranych w obrębie gliny szarej, natomiast w grupie drugiej (gliny pylaste) stwierdzono 36 próbek z gliny brązowej. Reszta próbek osadów przedstawiała się różnymi granulometrycznie przewarstwieniami i wkładkami w pokładach badanych glin. Rozpatrywane zatem próbki osadów można podzielić na dwie grupy, stosując bądź kryterium barwy, bądź kryterium zróżnicowania frakcyjnego osadu. Osady z obu grup cechują się bardzo złym, a tylko w kilku przypadkach złym stopniem wysortowania  $\gamma$ .

Zasadność dokonanego podziału glin sprawdzono graficzną zależnością wskaźników składu mechanicznego, a mianowicie między wskaźnikiem uziarnienia *U* (wg Krygowskiego, 1956) a stopniem wysortowania  $\gamma$  (fig. 2). Badane zależności dla wyróżnionych populacji próbek osadów poddano analizie korelacji i regresji.

Wynika z niej, iż dla obu grup osadów zachodzą wzajemne powiązania między analizowanymi wskaźnikami. Istniejące związki ujęto w postaci równań prostych regresji:

a) glina pylasta  $y = 25,16x + 6,08$   $r = 0,87$   $r^2 = 0,7569$ ,

b) glina  $y = 14,40x + 5,75$   $r = 0,68$   $r^2 = 0,4624$ .

Otrzymane współczynniki korelacji wskazują na istnienie dodatniej korelacji liniowej oraz dość znaczących różnic w wartościach współczynników, bowiem dla gliny  $r = 0,68$ , a dla gliny pylastej  $r = 0,87$ . Istotność współczynników korelacji poddano testowi  $t$  Studenta. Okazuje się, że są one istotne nawet na poziomie

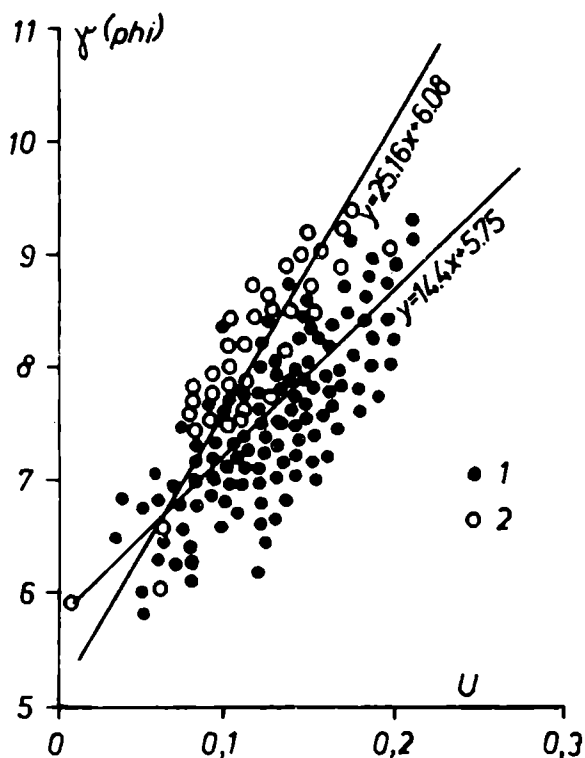


Fig. 2. Wykres współzależności między wskaźnikiem uziarnienia  $U$  a stopniem wysortowania  $\gamma$  dla próbek gliny szarej (1) i brązowej gliny pylastej (2), pobranych z odsłonięcia klifu w wolińskiej morenie czołowej koło Grodna

Fig. 2. Plot of interrelationship between the grain-index  $U$  and the sorting degree index  $\gamma$  for samples of grey till (1) and brown silty till (2), taken from the cliff outcrop of the Wolin end moraine near Grodna

istotności  $\alpha = 0,001$ . Większe różnice natomiast zachodzą między współczynnikami determinacji  $r^2$  poszczególnych grup osadów. Dla gliny zmiany wskaźnika  $U$  objaśniają zmiany stopnia wysortowania  $\gamma$  w 46%, podczas gdy w przypadku gliny pylastej zmiany te są wyjaśniane aż w 76%. Tendencje ilościowe zmian analizowanych wskaźników mają ten sam kierunek, a jedynie natężenie tych zmian jest niejednakowe. Wyrażone jest to w różnych wartościach współczynników regresji (14,40 i 25,16).

Dokonana analiza statystyczna wskaźników składu mechanicznego potwierdza zatem słuszność rozpozniowania w badanym odsłonięciu klifowym moreny czołowej osadów gliny szarej i brązowej gliny pylastej jako odrębnych utworów pod względem genetycznym.

#### WYODRĘBNIANIE FACJI ALUWIALNYCH RZEKI OKRESOWEJ

Na obszarach pustynnych klimatu suchego rzeki okresowe transportują materiał pochodzący głównie ze środowiska eolicznego (Glennie, 1970; Williams,

1971; Zwoliński, 1980a). Powoduje to wyraźną jednorodność granulometryczną aluwiów złożonych w korytach rzecznych. W jednym z suchych koryt rzeki okresowej, należącej do zlewni Cooper Creek (Pustynia Simpson, Australia), pobrano z powierzchni dna i z głębokości 10 cm wzdłuż profilów poprzecznych i podłużnych koryta próbki zdeponowanych osadów piaszczystych (Zwoliński, 1980a).

W celu rozróżnienia facjalnego pobranych osadów skonstruowano bilogarytmiczne diagramy  $M-\gamma$  i  $C-\gamma$  ( $M$  – mediana,  $C$  – pierwszy, najgrubszy percentyl). Oddzielając próbki osadów pobranych z powierzchni ( $A$ ) od próbek po-

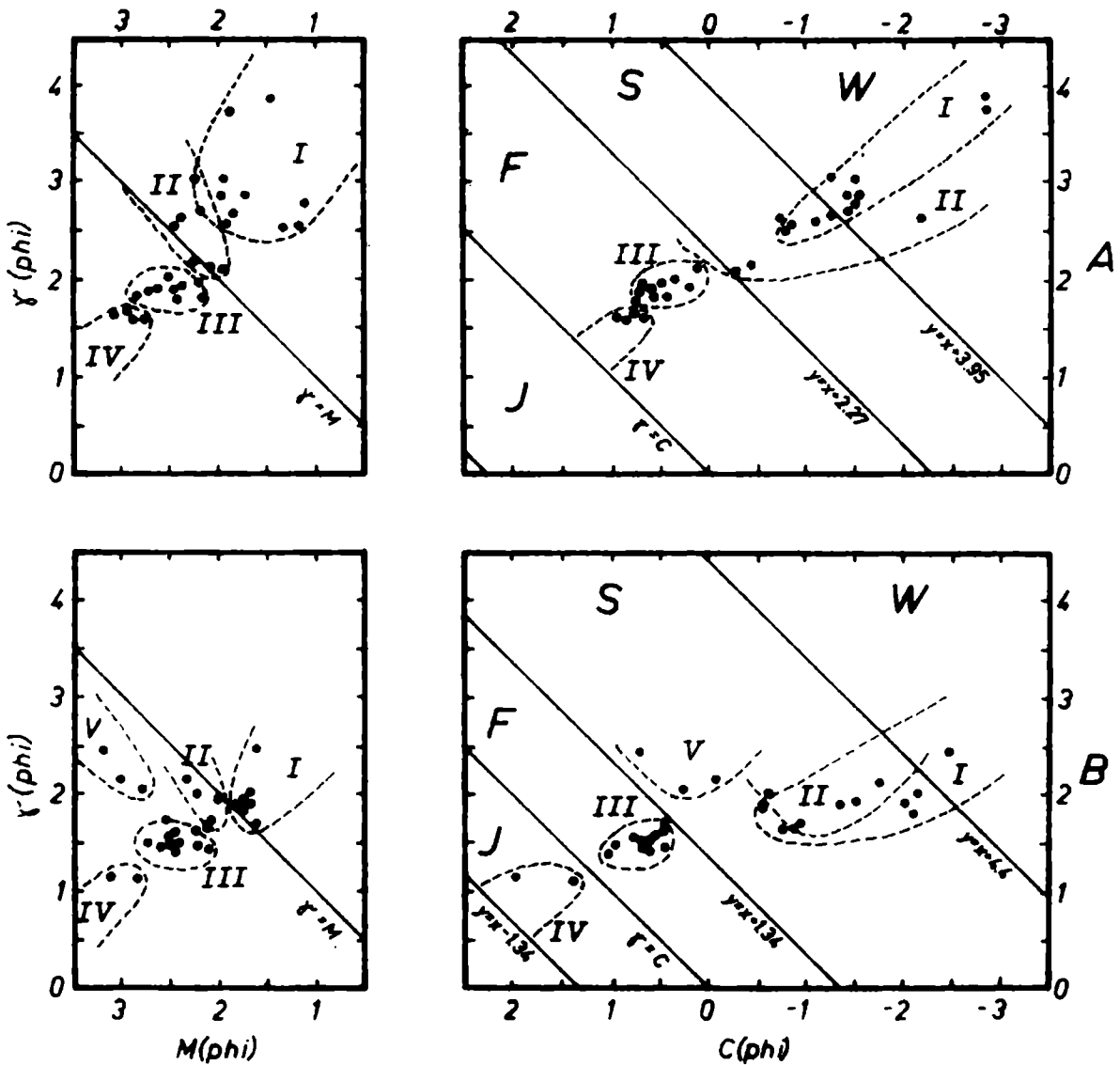


Fig. 3. Bilogarytmiczne diagramy  $M-\gamma$  i  $C-\gamma$  dla próbek osadów pobranych z powierzchni dna ( $A$ ) i z głębokości 10 cm ( $B$ ) wzdłuż profilu poprzecznego koryta rzeki okresowej na pustyni Simpson.  $I$  – facja nurtowa,  $II$  – facja koryt przelewowych,  $III$  – facja łach,  $IV$  – facja wałów przykorytowych,  $V$  – facja koryt opuszczonych,  $W$  – wleczenie.  $S$  – saltacja,  $F$  – suspensja frakcyjna,  $J$  – suspensja jednorodna

Fig. 3. Bilogarithmic diagrams  $M-\gamma$  and  $C-\gamma$  constructed for samples of deposits taken along the cross-section of a creek channel on the Simpson Desert.  $A$  – samples from the bed surface,  $B$  – samples from the depth of 10 cm,  $I$  – channel-lag facies,  $II$  – chute facies,  $III$  – channel bar facies,  $IV$  – natural levee facies,  $V$  – abandoned channel facies,  $W$  – traction,  $S$  – saltation,  $F$  – graded suspension,  $J$  – uniform suspension



branych z głębokości 10 cm ( $B$ ) na figurze 3 przedstawiono powyższe diagramy dla jednego z profilów poprzecznych koryta badanej rzeki okresowej. Na zasadzie paralelnie analizowanych diagramów wydzielono pięć facji osadów aluwialnych (Zwoliński, 1980a, 1981).

1. Facja nurtowa (obszar I) charakteryzuje się piaskiem średnim z równym udziałem domieszek piasku drobnego i grubego; ma najmniejsze wartości  $M$  i  $C$  oraz najgorsze wysortowanie; średnia wartość stopnia wysortowania dla wszystkich próbek w obrębie tego pola wynosi  $\bar{\gamma} = 2,49$  phi; wysokie wartości tego wskaźnika związane są z chaotycznym zrzućaniem rumowiska rzecznoego w okresie nagłego spadku prędkości spływu wody podczas jej zanikania w korycie.

2. W facji łąch (obszar III) dominują piaski drobne i średnie; wartości poszczególnych parametrów składu mechanicznego są najmniej zróżnicowane i niezależne od miejsca poboru próbki w korycie; średnia wartość stopnia wysortowania wynosi  $\bar{\gamma} = 1,59$  phi.

3. Osady facji koryt przelewowych (obszar II) mają podobny skład mechaniczny do osadów facji łąch (por.  $M$ ), zawierają jednocześnie wyraźną domieszkę piasku grubego i drobnego żwiru (por.  $C$ ); taki rozkład uziarnienia powoduje pośrednią pozycję wartości stopnia wysortowania pomiędzy osadami facji łąch a facji nurtowej ( $\bar{\gamma} = 2,08$  phi); wynika to z powiązań genetycznych osadów tej facji z dwoma wymienionymi powyżej.

4. Facja wałów przykorytowych (obszar IV) składa się głównie z piasku drobnego; osady tej facji mają największe wartości  $M$  i  $C$  oraz najlepsze wysortowanie w całej badanej populacji próbek osadów; średnia wartość stopnia wysortowania wynosi w przypadku omawianej facji  $\bar{\gamma} = 1,39$  phi.

5. Osady facji koryt opuszczonych (obszar V) cechują się polymodalnym rozkładem uziarnienia; obecność ziarn najdrobniejszych (por.  $M$ ) i najgrubszych (por.  $C$ ) wskazuje na złożony proces formowania się tych koryt i akumulacji w nich osadów; stąd cechą wyróżniającą te osady jest słabe wysortowanie w porównaniu z innymi facjami aluwioów, gdyż stopień wysortowania  $\bar{\gamma} = 2,21$  phi.

Pierwsze dwie facje osadów wykazują dobre związki z sytuacją morfologiczną koryta, natomiast trzy pozostałe facje nie są zbyt ściśle skorelowane z morfologią dna suchego koryta badanej rzeki okresowej.

W przypadku diagramu  $C - \gamma$  oprócz interpretacji sedimentologicznej istnieje również możliwość zastosowania interpretacji hydrodynamicznej. Podstawą do takiej analizy stały się empiryczne równania liniowe:

$$1a. y = x + (\gamma_{\max.} - \gamma_{\min.}) \text{ oraz } 1b. y = x + (C_{\max.} - C_{\min.}),$$

$$2. y = x,$$

$$3a. y = x + (\gamma_{\min.} - \gamma_{\max.}) \text{ oraz } 3b. y = x + (C_{\min.} - C_{\max.}).$$

Obliczone równania dla próbek osadów pobranych z uprzednio wspomnianego profilu poprzecznego koryta mają następującą postać:

– dla osadów powierzchniowych ( $A$ ):

$$1a. y = x + 2,27 \quad \text{oraz} \quad 1b. y = x + 3,95,$$

$$3a. y = x - 2,27 \quad \text{oraz} \quad 3b. y = x - 3,95.$$

– dla osadów z głębokości 10 cm (*B*):

$$1a. y = x + 1,34 \quad \text{oraz} \quad 1b. y = x + 4,40$$

$$3a. y = x - 1,34 \quad \text{oraz} \quad 3b. y = x - 4,40.$$

Powyższe równania przedstawiono graficznie na figurze 3. Diagramy ukazują linie graniczne między poszczególnymi typami transportu fluwialnego (nomenklatura wg Passegi, 1957, 1964). Identyfikacja pozycji próbek kolejnych pól facji osadów z typami transportu wykazuje, że osady z głębokości 10 cm (*B*) były transportowane przez saltację w przypadku facji nurtowej, koryt przelewowych i opuszczonych, w suspensji frakcjonalnej – facji łąch, a w suspensji jednorodnej osady facji wałów przykorytowych. Natomiast dla osadów powierzchniowych (*A*) osady facji nurtowej i koryt przelewowych transportowane były przez saltację i wleczenie oraz osady facji łąch i wałów przykorytowych – w suspensji frakcjonalnej.

Zmiany zakresów kolejnych typów transportu zależne są od zróżnicowanych warunków hydrodynamicznych przepływu wody i odmiennej mechaniki transportu w czasie następujących po sobie etapów zanikania wody w korycie rzeki okresowej. Funkcją tych uwarunkowań są w konkretnym przypadku parametry teksturalne badanych osadów.

#### UWAGI KOŃCOWE

Proponowany wskaźnik składu mechanicznego osadów klastycznych – stopień wysortowania  $\gamma$  – znajduje zastosowanie w badaniu osadów, cechujących się zbliżonymi wartościami współczynników dyspersji, obliczanych według dotychczas stosowanych formuł. Poprzez precyzyjniejsze określenie stosunku skrajnych domieszek frakcyjnych do podstawowej populacji ziarnowej w próbce przedstawiany wskaźnik wyraźnie rozszerza zakres zróżnicowania wysortowania osadów w porównaniu do innych używanych miar rozproszenia. W powyższym aspekcie, oprócz możliwości stosowania tego wskaźnika dla różnych środowisk sedymentacyjnych, szczególnie przydatny okazuje się on przy wyznaczaniu grup osadów (facji, litofacji itp.) w obrębie jednego środowiska sedymentacyjnego.

Zastosowanie zależności graficznych i statystycznych z innymi wskaźnikami uziarnienia daje dodatkowe szanse w interpretacji sedymentologicznej i genetycznej osadów. Analiza stopnia wysortowania na tle czynników procesów depozycji osadów umożliwi rekonstrukcję warunków sedymentacji kopalnych środowisk sedymentacyjnych oraz interpretację uwarunkowań współczesnych procesów morfogenetycznych. Przedstawione przykłady podejść metodycznych w analizie stopnia wysortowania wskazują na jego wielokierunkowe możliwości wykorzystania nie tylko w sedymentologii.

#### WYKAZ LITERATURY – REFERENCES

- Borówka R.K., Gonera P., Kostrzewski A., Zwoliński Zb. (1982), Origin age and paleogeographic significance of cover sand in the Wolin end moraine area, North-West Poland, *Quaestiones Geographicae*, 8: 19–36, Poznań.
- Borówka R.K., Gonera P., Kostrzewski A., Zwoliński Zb. (1983). Geneza

- i wiek pokryw piaszczystych w obrębie Wolińskiej Moreny Czołowej. *Spraw. Pozn. Tow. Przyj. Nauk nr 97–99 za 1979–1981*: 135–137. Poznań.
- Bull W.B. (1962), Relation of textural (CM) patterns to depositional environments of alluvial-fan deposits. *Jour. Sed. Petrol.*, 32: 211–216. Tulsa.
- Chappell J. (1967), Recognizing fossil strand-lines from grain-size analysis. *Jour. Sed. Petrol.*, 37: 157–165. Tulsa.
- Folk R.L., Ward W.C. (1957), Brazos River bar: a study in the significance of grain-size parameters. *Jour. Sed. Petrol.*, 27: 3–26. Tulsa.
- Friedman G.M. (1961), Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. *Jour. Sed. Petrol.*, 31: 514–529. Tulsa.
- Friedman G.M. (1967), Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Jour. Sed. Petrol.*, 37: 327–354. Tulsa.
- Friedman G.M. (1979), Address of the retiring President of the International Association of Sedimentologists: Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology*, 26: 3–32. Oxford.
- Glennie K.W. (1970), Desert sedimentary environments. *Developments in Sedimentology*, 14: 1–222. Amsterdam.
- Kaniecki A. (1976), Dynamika rzeki w świetle osadów trzech wybranych odcinków Prosną. *Pr. Kom. Geogr.-Geol. Pozn. Tow. Przyj. Nauk*, 17: 1–100. Poznań.
- Kopczyńska-Zandarska K. (1970), Stratygrafia starszego i środkowego plejstocenu północno-zachodniego Pomorza na tle rozwoju paleogeomorfologicznego. *Studia Geol. Pol.*, 33: 1–112. Warszawa.
- Kostrzewski A., Krygowski B. (1967), Zmienność glin morenowych Polski Północno-Zachodniej w zakresie uziarnienia i obróbki. *Zesz. Nauk. UAM, Geogr.*, 7: 51–58. Poznań.
- Krygowski B. (1956), Z badań granulometrycznych nad utworami plejstoceniowymi w Polsce Zachodniej. *Biul. Inst. Geol.*, 100, Z badań czwartorzędu w Polsce, 7: 503–608. Warszawa.
- Lindsay J.F., Criswell D.R., Criswell T.L., Criswell B.S. (1976), Sound-producing dune and beach sands. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 87: 463–473. Boulder.
- McCammon R.B. (1962), Efficiencies of percentile measures for describing the mean size and sorting sedimentary particles. *Jour. Geol.*, 70: 453–465. Chicago.
- Moiola R.J., Weiser D. (1968), Textural parameters: an evaluation. *Jour. Sed. Petrol.*, 38: 45–53. Tulsa.
- Moss A.J. (1962), The physical nature of common sandy and pebbly deposits. Part I. *Am. Jour. Sci.*, 260: 337–373. New Haven.
- Passaga R. (1957), Texture as characteristic of clastic deposition. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 41: 1952–1984. Tulsa.
- Passaga R. (1964), Grain size representation by CM patterns as a geological tool. *Jour. Sed. Petrol.*, 34: 830–847. Tulsa.
- Passaga R. (1977), Significance of CM diagrams of sediments deposited by suspensions. *Sedimentology*, 24: 723–733. Oxford.
- Prusinkiewicz Z. (1971), Nasy przyklifowe – nowy typ gleb morskiego pobrzeża. *Zesz. Nauk. UMK, Geogr.*, 26: 133–157. Toruń.
- Rotnicki K. (1970), Główne problemy wydmy śródlądowych w Polsce w świetle badań wydmy w Węglewicach. *Pr. Kom. Geogr.-Geol. Pozn. Tow. Przyj. Nauk*, 11: 1–147. Poznań.
- Royse Ch.F. (1970), A sedimentologic analysis of the Tongue River – Sentinel Butte interval (Paleocene) of the Williston Basin, western North Dakota. *Sedimentary Geol.*, 4: 19–80, Amsterdam.
- Sindowski K.H. (1957), Die synoptische Methode des Kornkurven-Vergleiches zur Ausdeutung fossiler Sedimentationsträume. *Geol. Jahrb.*, 73: 235–275. Hannover.
- Sparks R.S.J. (1976), Grain size variations in ignimbrites and implications for the transport of pyroclastic flows. *Sedimentology*, 23: 147–188. Oxford.
- Stankowska A. (1979), Stratygraficzne i regionalne zróżnicowanie glin morenowych na terenie Polski w świetle badań minerałów ilastych. *UAM, Ser. Geogr.*, 17: 1–225. Poznań.

- Udden J.A. (1914), Mechanical composition of clastic sediments. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 25: 655–744. Boulder.
- Visher G.S. (1965), Fluvial processes as interpreted from ancient and recent fluvial deposits. W: G.V. Middleton (Ed.), Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation, *Soc. Econ. Paleont. Miner., Spec. Publ.* 12: 116–132. Tulsa.
- Williams G.E. (1971), Flood deposits of the sandbed ephemeral streams of Central Australia. *Sedimentology*, 17: 1–40. Oxford.
- Zwoliński Zb. (1980a). A reconstruction of the morphodynamics of a creek channel on the basis of the grading of alluvia, Cooper Creek Basin, Australia. *Quaestiones Geographicae*, 6: 115–146. Poznań.
- Zwoliński Zb. (1980b), Zastosowanie stopnia wysortowania dla różnicowania osadów o zbliżonych wartościach miar dyspersji. *Konf. Nauk.: Współczesne i kopalne środowiska sedymentacji skal okruchowych*, Str. ref., cz. 1: 19–21. Warszawa.
- Zwoliński Zb. (1981), Distinguishing facies of alluvial deposits in a dry creek channel, Simpson Desert, Australia. 2nd Inter. Fluv. Conf. – *Modern and Ancient Fluvial Systems: Sedimentology and Processes*, Abstracts: 129. Keele.

#### SUMMARY

The investigations of grain-size composition are very helpful in interpretation and reconstruction of various sedimentary environments. Correlation between grain-size distribution and environmental properties has been pointed out by many authors. Differences between various types of deposits are best underlined by diagrams comparing various textural parameters. During past years the diagram of relationship between median or mean size and standard deviation has been used to characterize deposits laid down in different sedimentary environments. It is not common, however, to distinguish among deposits of the same environment by using graphical relationships.

There are environments such as aeolian, lacustrine, pelagic, etc. which are characterized by deposits revealing similar grain-size distributions. This causes difficulties in distinguishing particular groups of these deposits. The most commonly used and most useful grain-size indices are dispersion measures, describing the sorting of deposits. The development of these techniques shows their increasing sensitivity and effectiveness.

The author proposes such a construction of the sorting degree index which increases the impact of tails of cumulative size frequency curves on their central parts. In other words, such an index contains intensified influence of fraction admixtures upon relatively uniform sorting of the basic grain material. Fraction admixtures have predominant influence on differentiation of deposits laid down within the same sedimentary environment. The basis of construction of this index was the formula (1) of McCammon (1962), defining standard deviation  $\delta$ . This formula has been modified by the formula (3), describing the width of sorting belt  $P_s$  (Rotnicki, 1970). The proposed sorting degree index  $\gamma$  is calculated according to the formula (5), in phi units. For comparative studies a classification of sorting intervals is proposed:

extremely good    beneath 0.35

very good	0.35 – 0.80
good	0.81 – 1.50
moderate	1.51 – 3.00
poor	3.01 – 5.90
very poor	5.91 – 11.90
extremely poor	above 11.90 phi.

The proposed index could be used in analysing deposits characterized by similar dispersion parameters. In comparison with the hitherto published formulae this index widens the extent of sorting differentiation due to more precise estimation of the ratio between extreme fractional admixtures and basic grain-size population within a sample. This index is especially useful in distinguishing groups of deposits (facies, lithofacies, etc.) within one sedimentary environment. Moreover, the common application of both graphical and statistical relationships gives an opportunity of interpretation of present-day morphogenetic processes, as well as of paleogeographic reconstructions.

Four examples of application of the sorting degree index are presented. They concern the distinguishing of three series of aeolian cover sands and two layers of till, as well as the delimitation of five alluvial facies of a creek channel.