

Jacek KOŻMA

Dolnokarboński flisz okolic Srebrnej Góry (Góry Bardzkie) – ilościowa analiza sedymentologiczna

Przedstawiono szczegółową charakterystykę zmienności z pozoru monotonnej serii turbidytowej okolic Srebrnej Góry. Obok konwencjonalnej metodyki obserwacji sedymentologicznych zastosowano wybrane metody statystyczne. Wyniki analiz zinterpretowano w kategoriach zmienności warunków sedymentacji na obszarze dystalnego (dolnego) stożka podmorskiego.

WSTĘP

Statystyka matematyczna jako nauka badająca zmienność zjawisk przyrody, wyrażoną w danych liczbowych, znajduje szczególne zastosowanie w badaniach procesów masowych, w tym procesów generujących serie zdarzeń losowych. Niewątpliwe, że proces powstawania serii fliszowej, rozpatrywany statystycznie, stanowi wynik procesu losowego zarówno w kontekście epizodycznej depozycji kolejnych prądów zawiesinowych, jak i w kontekście kolejnych aktów depozycji z pojedynczego prądu zawiesinowego (sekwencja Boumy). Stąd w badaniach serii fliszowej metody statystyczne (ilościowe) są, obok podstawowych metod opisowych (jakościowych), coraz częściej stosowane (np. R.G. Walker, 1967; F. Simpson, 1970; C. Davies, R.G. Walker, 1974). Większość tych prób statystycznego opisu warunków sedymentacji turbidytów dotyczy serii typu proksymalnego. W prezentowanym artykule przedstawiono natomiast wyniki badań statystycznych w odniesieniu do serii dystalnej, gdzie ze względu na subtelność niekiedy zmienność tego rodzaju monotonna serii metoda czysto opisowa z reguły zawodzi.

Artykuł jest fragmentem pracy dyplomowej wykonanej pod kierunkiem dra Wojciecha Nemece na Uniwersytecie Wrocławskim w latach 1982–1983. Autor dziękuje w tym miejscu Opiekunowi za szczegółowe wprowadzenie w teren oraz krytyczne uwagi.

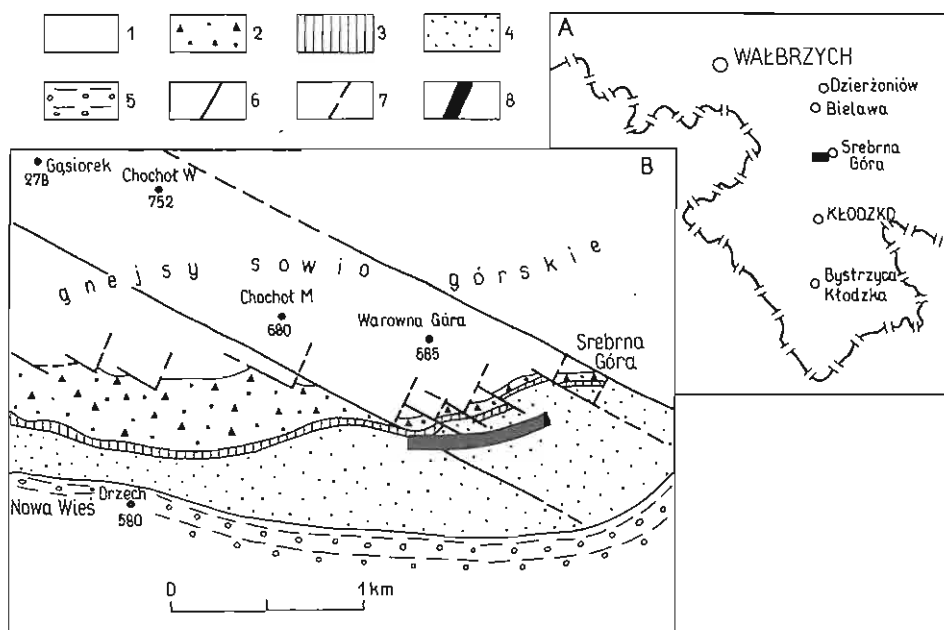


Fig. 1. Lokalizacja (A) i szkic geologiczny (B) rejonu badań (według B. Wajsprycha 1979, uproszczone)
 Localization (A) and geological sketch (B) of studied area (after B. Wejsprych 1979, simplified)
 1 – gnejsy sowiogórskie; 2 – brekcje i zlepionce gnejsowe; 3 – tzw. „dolny wapień muszlowy”; 4 – piaskowce i mułowce serii fliszowej; 5 – olistostroma i olistostromata; 6 – uskoki stwierdzone; 7 – uskoki przypuszczalne; 8 – badany profil
 1 – Sowie Góry Mts gneisses; 2 – gneisses breccia and conglomerates; 3 – so called "Lower Muschelkalk"; 4 – sandstones and siltstones of flysh series; 5 – Olistostroma and Olistostromata; 6 – ascertained faults; 7 – supposed faults; 8 – studied profile

POŁOŻENIE, WIEK, LITOLOGIA I OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SEDYMENTOLOGICZNA BADANYCH UTWORÓW

Badany profil położony jest w NE części Gór Bardzkich w rejonie Srebrnej Przełęcz. Ogólną sytuację geologiczną jego najbliższego otoczenia przedstawia fig. 1. Materiał obserwacyjny zebrał autor w odsłonięciach położonych w północnej skarpie przekopu dawnej kolejki zębatej w Srebrnej Górze. Na jego podstawie zestawiono szczegółowy profil sedymentologiczny o łącznej miąższości stratygraficznej około 160 m (fig. 2). Przybliżony wiek sedymentacji tych utworów na podstawie ich pozycji w stosunku do leżących niżej, oznaczonych faunistycznie, zlepionców i wapieni okolic Srebrnej Góry, Nowej Wsi i Dzikowca określony został na późny wizen – wczesny namur A. Początek osadzania się węglonośnych warstw wałbrzyjskich przyjęto jednocześnie za schyłek sedymentacji opisywanych utworów (B. Wajsprych, 1978; A. Pacholska, 1979; M. Chorowska, K. Radlicz, 1984). Zgodnie z litostratygraficznym podziałem zaproponowanym przez B. Wajsprycha (1978) zostały one określone jako formacja piaskowców ze Srebrnej Góry.

W zdecydowanej przewadze przedstawiony profil zbudowany jest z piaskowców litycznych (waki i arenity) przeławiconych ilowcami i mułowcami (łupkami). Sporadycznie występują w nim lawice drobno- i średnioziarnistych parazlepion-

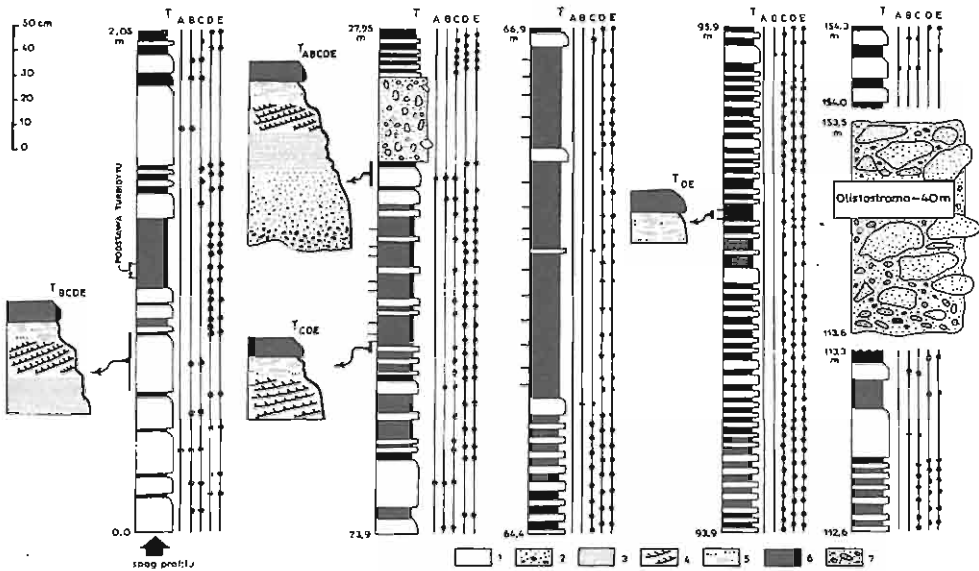


Fig. 2. Wybrane charakterystyczne fragmenty badanej serii turbidytowej wraz z notacją sekwencji Boumy

Selected characteristic fragments of studied turbiditic series together with notation of Bouma sequence
 1 - piaskowce ogólnie; 2 - piaskowce frakcyjnie uziarnione; 3 - piaskowce poziomo laminowane; 4 - piaskowce przekątnie laminowane; 5 - mulowce lub ilowce smużyste cienkolaminowane; 6 - bezstrukturowe mulowce; 7 - drobno- i średnioziarniste parazlepnie bogate w piaszczysto-iłowcowe matrix

1 - sandstones generally; 2 - sandstones fractionally grained; 3 - sandstones horizontally laminated; 4 - sandstones diagonally laminated; 5 - mudstones or claystones streakedly thinly laminated; 6 - structureless siltstones; 7 - fine and middle grained paraconglomerates rich in sandy-clay matrix

ców bogatych w piaszczysto-iłowcowe matrix. Miąższość warstw piaskowców waha się od 2 do 60 cm, natomiast przykrywających je łupków jest zazwyczaj dużo mniej - za i wynosi od 0,1 do 15 cm (fig. 2).

W całym profilu, obok wspomnianej naprzemianległości piaskowców i łupków, typowe są: wewnątrzławicowa sekwencja struktur sedimentacyjnych (tzw. sekwencja Boumy¹), uziarnienie frakcyjne, konwolucja w stropie oraz hieroglify prądowe w spągu ławic. Cechy te dobitnie wskazują, że co najmniej większość ławic w profilu powstała przy udziale prądów zawieszinowych. Jest to zatem typowa seria turbidytowa (sensu S. Dżułyński, A. Smith, 1964). Cienkie uławicenie, drobnoziarnistość osadu, brak rozmyć wewnątrzławicowych, niski stosunek miąższości piaskowca do łupku, powszechność występowania płaskiej i przekątnej laminacji oraz bardzo duży udział ławic typu T_{bcd} i T_{cd} wskazują, że badane osady fliszowe powstały w facji fliszu „dystalnego” (B. Wajsprych, 1978, 1979).

¹ W 1962 r. A. Bouma zaproponował model „idealnej” ławicy turbidytowej (zob. fig. 10, stan A). W modelu tym kompletnie wykształcona depozycyjna jednostka turbidytu złożona jest z pięciu członów, oznaczonych od dołu ku górze literami od a do e. Człon a stanowi najbardziej gruboziarnistą część ławicy; składa się ona najczęściej ze średnio- lub gruboziarnistego piasku o budowie frakcyjnej i nie ma wewnętrznego warstwowania. Człon b, złożony z piasku drobnoziarnistego, charakteryzuje się cieką, płaską laminacją poziomą. Człon c natomiast, zazwyczaj z piasku bardziej drobnoziarnistego niż człon b, cechuje laminacja przekątna występująca w 2-4 centymetrowych zestawach. Człon d i e stanowią elementy odmienne litologicznie; zbudowane są z pyłów ilastych i ilów pylastych o strukturze cienkolaminowanej, smużystej w wypadku członu d i generalnie nielaminowanej, w części górnej czasem poziomo laminowanej, człon e.

W obrębie ławic turbidytowych najwyższej części profilu występuje 40-metrowej miąższości warstwa złożona głównie z dużych fragmentów skalnych. Część dolna tej warstwy jest bogata w piaszczysto-drobnobrekciową, rozproszoną masę detrytyczną tworzącą tło skalne, w obrębie którego znajdują się bloki piaskowców o średnicy do 1 m. Ta masa tła skalnego powstała w efekcie fluidyzacji najwyższej części osadów dna zbiornika. Część górną opisywanej warstwy, stanowiącą blisko 3/4 jej miąższości, tworzą fragmenty ławic oraz sekwencji tych ławic do 3 m grubości i 6–8 m długości. Litologiczny skład tych fragmentów jest mało zróżnicowany, są to prawie wyłącznie piaskowce jednego typu, ale zdecydowanie różniące się składem od piaskowców Srebrnej Góry.

Opisywana warstwa zdeponowana została przez dużej skali ześlizg podmorski i może być określona jako utwór olistostromowy w szerokim znaczeniu tego terminu (sensu Ph.J. Hoedemeker, 1973).

ILOŚCIOWA ANALIZA SEDYMENTOLOGICZNA

METODYKA BADAŃ

W przedstawionym profilu zbadano wszystkie kolejne ławice turbidytowe, notując dla każdej z nich: całkowitą miąższość ławicy, miąższość piaskowca, miąższość przykrywającego go łupku, rodzaj i kolejność wyróżnionych elementów Boumy, wielkość ziarn, zasadniczy typ składu mineralnego (makroskopowo) oraz inne dodatkowe cechy jakościowe, takie jak obecność hieroglifów i geometrie ławic. W tych kategoriach opisu zbadano łącznie 2019 ławic.

Punktem wyjścia do dalszej analizy materiału obserwacyjnego był wykres pionowego następstwa miąższości kolejnych ławic w profilu (fig. 3). Dla skondensowania informacji na podstawie tego wykresu wyróżniono w profilu odcinki, które pod względem miąższości ławic indywidualizowały się w stosunku do odcinków sąsiednich. W ten sposób profil podzielony został na 100 odcinków elementarnych zawierających średnio około 20 ławic. Z kolei dla każdego z tych odcinków ustalono szereg charakterystyk ilościowych, opisujących duży fragment profilu i pozwalających porównać go z fragmentami pozostałymi. Ponadto w niektórych wariantach analizy profil podzielono na pięć większych odcinków zbiorczych, z których każdy zawiera po dwadzieścia wspomnianych wyżej odcinków elementarnych.

ANALIZA ŁAWIC W HYDRODYNAMICZNYCH KATEGORIACH SEKWENCJI BOUMY

Dla całego profilu zestawiono dane ilustrujące procentowy udział ławic zaczynających się różnymi elementami idealnej sekwencji Boumy. Narożnikom trójkąta (fig. 4, diagram lewy) odpowiada udział:

- turbidytów rozpoczynających się strukturami sedymentacyjnymi górnego reżimu przepływu ($T_A + T_B$);
- turbidytów rozpoczynających się ripplemarkową laminacją dolnego reżimu przepływu (T_C);
- turbidytów deponowanych przy bardzo słabym, zanikającym prądzie trakcyjnym ze zmiennym udziałem „pelagicznej” zawiesiny (T_D).

Rozmieszczenie punktów projekcyjnych wskazuje, że blisko 1/3 odcinków profilu wykazuje ponad 50-procentowy udział turbidytów typu T_D , przy szerokim (0–50%) zakresie udziału typów pozostałych. Jeszcze szerszy zakres zmienności udziału tych ostatnich wykazują odcinki, w których ławice typu T_D nie przewyższają 20%. Stosunkowo niewiele odcinków ma pośredni (20–50%) udział ławic T_D .

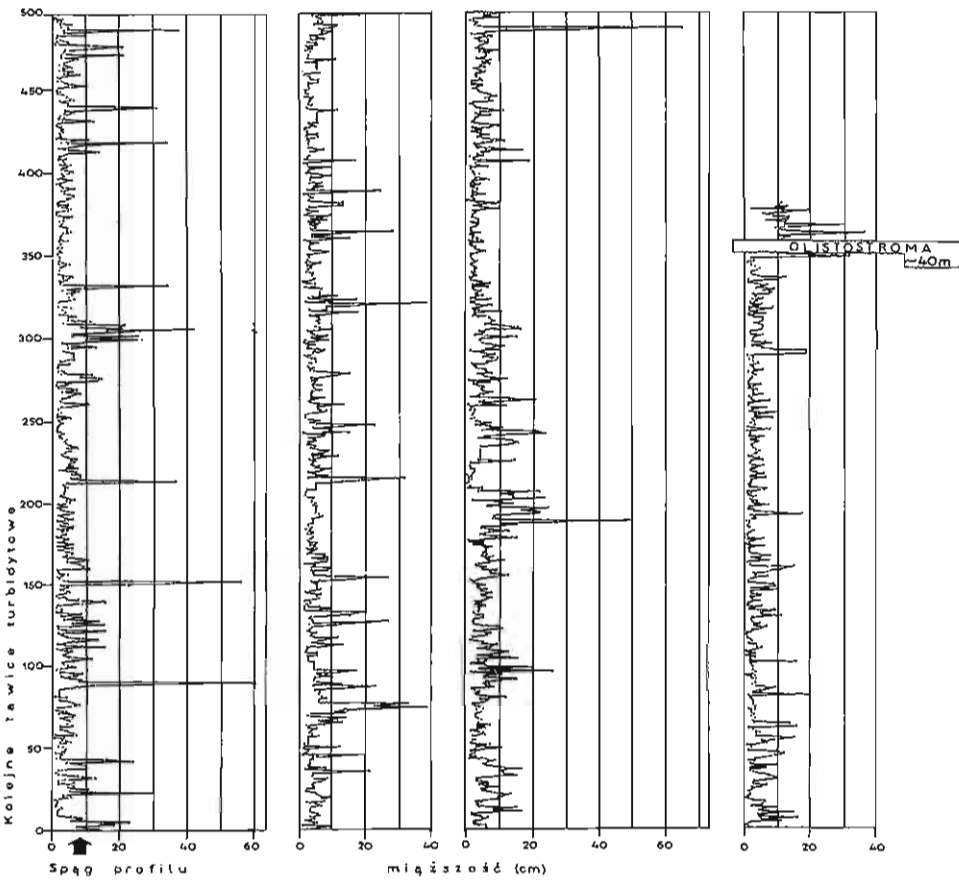


Fig. 3. Wykres zmienności miąższości kolejnych ławic w badanym profilu
Diagram of thickness successive banks thickness variation in the studied profile

i w takich odcinkach procent ławic typu T_C oraz T_{A+B} okazuje się być bardzo wyrównany (40–60%).

Na diagramie wyróżnić zatem można dwa symetrycznie położone pola, w których brak punktów projekcyjnych (pola gęsto zakropkowane).

Podobnych zestawień dokonano dla wyróżnionych odcinków zbiorczych. Różnice obserwowane między tymi odcinkami w ich porządku stratygraficznym zdają się wskazywać na stopniowe przesuwanie się „środków ciężkości” pól punktów projekcyjnych od narożnika T_D , przez proporcje pośrednie w kierunku narożnika T_C (fig. 4, diagram prawy). Zatem w profilu występuje przejście od przewagi turbidytów związanych z prądami zawiesinowymi o bardzo niskiej energii do przewagi turbidytów powstałych w warunkach górnego reżimu przepływu i wreszcie do przewagi turbidytów powstałych w warunkach niższej części dolnego reżimu przepływu.

Podobnego zestawienia dokonano na trójkącie (fig. 5a) skonstruowanym według R.G. Walkera (1967). W narożnikach mamy turbidyty deponowane: z dolnego reżimu przepływu ($T_C + T_D$), z niższej części górnego reżimu przepływu (T_B) oraz nieco wyższej części górnego reżimu przepływu (T_A).

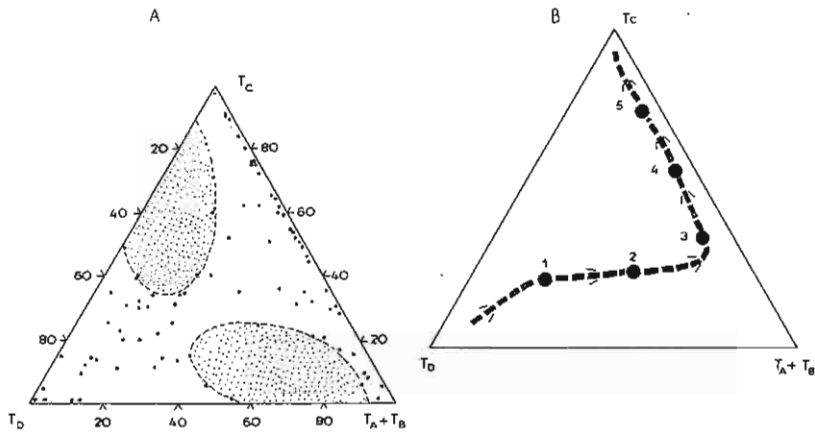


Fig. 4. Diagram przedstawiający rozmieszczenie punktów projekcyjnych w trójkącie $T_D - T_C - T_{A+B}$
Diagram presenting distribution of projection points in the triangle $T_D - T_C - T_{A+B}$

A – udział turbidytów poszczególnych typów w badanym profilu, punkt na diagramie odpowiada wartości z odcinka elementarnego; pola gęsto zakropkowane to miejsca, w których brak punktów projekcyjnych; B – obserwowany trend zmian w zakresie udziału turbidytów poszczególnych typów w profilu – linia przerywana; punkt odpowiada wartości z odcinka zbiorczego

A – participation of particular type turbidites in studied profile, point on the diagram corresponds to the value from elementary section; areas densely pointed, they are places where the projection points are lacking; B – observed variation trend in the range of the particular turbidite types participation in the profile – dashed line; point corresponds to the value of collective section

Diagram ten został dodatkowo podzielony na 4 pola. Granice pól wyznaczone tak, by obejmowały możliwie ciasno obszar zajmowany przez punkty projekcyjne i aby same pola odpowiadały mniej więcej wspomnianym reżimom przepływu (R.G. Walker, 1967, p. 29, fig. 4). Pole 1 reprezentuje depozycję z prądów zawieszinowych, które w momencie depozycji cechował w przewodzie dolny reżim przepływu, a więc prądy, które w związku z pokonywaniem dużego dystansu znacznie już obniżyły swoją energię przepływu (T_C) lub nawet weszły w fazę wygasania (T_D). Pola 2 i 3 odzwierciedlają depozycję z prądów zawieszinowych, które w momencie depozycji cechowała przewaga górnego reżimu przepływu, przy czym polu 2 odpowiada niewielka przewaga niższej części tego reżimu, a polu 3 zdecydowana przewaga nieco wyższej jego części. Pole 4 („pole mieszaniny” R.G. Walkera, 1967, p. 30) reprezentuje bimodalną mieszaninę turbidytów deponowanych przy dolnym i górnym reżimie przepływu, z małym udziałem reżimów pośrednich ($T_B \leq 30\%$). R.G. Walker sugeruje, że polu temu odpowiada mieszana depozycja prądów zawieszinowych pochodzących z dwóch różnych źródeł.

Punkty projekcyjne odcinków profilu w zdecydowanej przewodzie rozmieszczone są w polu 1 (86 na 100 odcinków) i tylko nieliczne punkty wypadają w polu 2 (13 odcinków), podczas gdy żaden nie znalazł się w polu 3 lub 4. Generalny trend stratygraficzny w rozmieszczeniu punktów (odcinków profilu) na diagramie przedstawia czarna gruba linia przerywana (fig. 3). Wzdłuż tej linii obserwuje się przejście od depozycji z domieszką dolnego reżimu przepływu ($T_C + T_D$) do depozycji z przewagą niższej części górnego reżimu i z powrotem do depozycji w warunkach dolnego reżimu przepływu. Procentowy udział punktów w polach 1 i 2 ilustruje diagram na fig. 5b.

Reasumując i biorąc pod uwagę inicjalną fazę depozycji ławicy turbidytowej można powiedzieć, że:

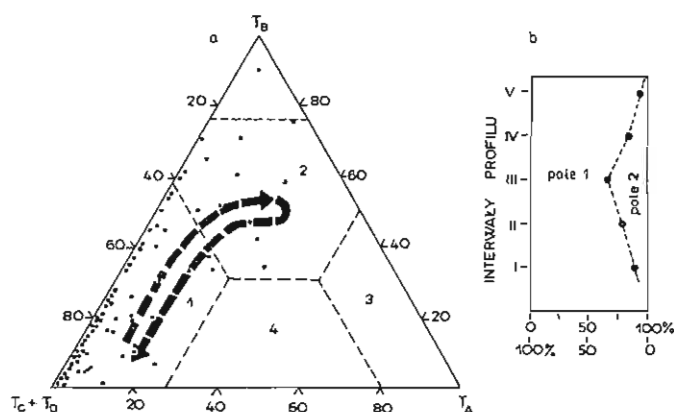


Fig. 5. Trójkąt klasyfikacyjny wg R.G. Walkera (1967) dla badanego profilu
 Classificatory triangle after R.G. Walker (1967) for studied profile

a – generalny trend stratygraficzny ilustrujący przejście od górno- do dolnoreżimowych warunków depozycji kolejnych turbidytów w badanym profilu; 1–4 – pola odpowiadające reżimom przepływu; b – procentowy udział punktów w polu 1 i 2

a – general stratigraphical trend illustrating transition from upper to lower regime deposition conditions of successive turbidites in the studied profile; 1–4 – areas corresponding to the flow regimes; b – proportional representation of points in the areas 1 and 2

1 – w badanym profilu ponad 2/3 ilościowego udziału mają odcinki o przewadze turbidytów powstałych w warunkach dolnego reżimu przepływu, przy stosunkowo niewielkim udziale turbidytów deponowanych w niższej części górnego reżimu przepływu;

2 – brak odcinków, w których przeważałyby turbidyty deponowane gwałtownie z górnego reżimu przepływu (T_A), a więc turbidyty typowo „proksymalne”;

3 – wszystkie badane ławice powstały z prądów pochodzących z jednego obszaru źródłowego, o czym świadczy stopniowe przejście od warunków depozycji pola 1 do warunków depozycji pola 2 oraz zupełny brak punktów projekcyjnych w polu mieszaniny R.G. Walkera (1976).

CECHY TURBIDYTÓW A ODLEGŁOŚĆ OD ŹRÓDŁA PRĄDU

W miarę pokonywania odległości przez prąd zawieszinowy spada jego prędkość i energia. Zatem – w idealnym ujęciu teoretycznym – im dalej od źródła prądu, tym wyższe elementy Boumy rozpoczynają być daną ławicę turbidytową. R.G. Walker (1967) zaproponował ilościowy wskaźnik ABC, który dla danej serii turbidytowej wyraża w pewnym sensie dominujący reżim przepływu prądu w początkowym momencie depozycji i stanowi przybliżoną miarę względnego dystansu pokonywanego przez prądy zawieszinowe. Wskaźnik ten liczony jest wzorem $ABC = T_b + 0,5T_a$, gdzie T_a i T_b oznaczają procenty ławic zaczynających się elementami a i b Boumy; przybiera on wartość od 0 do 100%. Jak łatwo zatem zauważyć, turbidyty deponowane „proksymalnie” będzie charakteryzować wysoka wartość wskaźnika ABC, zaś niska wartość tego wskaźnika odpowiadać będzie wysokiemu udziałowi turbidytów deponowanych „dystalnie” (daleko od źródła prądu).

Charakterystyki odcinków profilu zestawiono z wartościami wskaźnika ABC, co pozwoliło na prześledzenie trendu zmian podstawowych cech ławic turbidytowych.

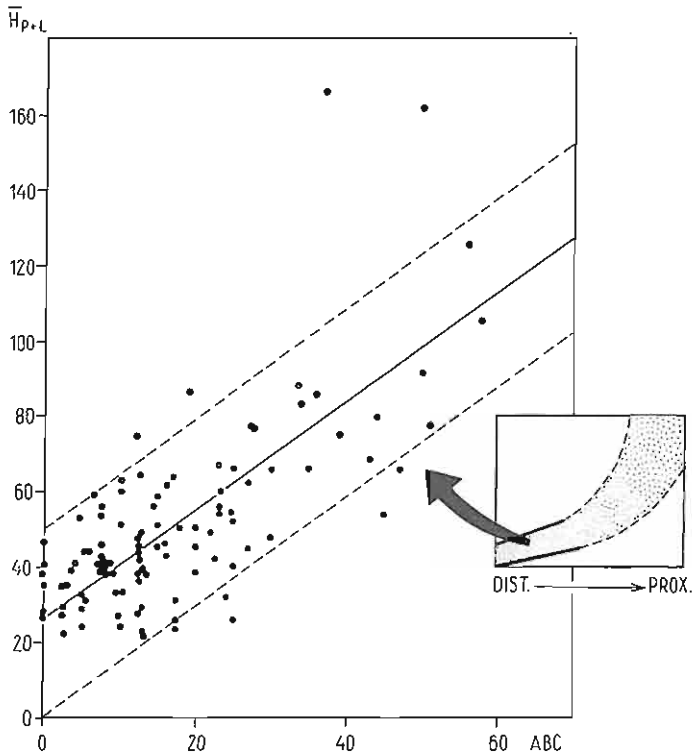


Fig. 6. Zależność średniej miąższości ławic turbidytowych (\bar{H}_{p+1}) od wskaźnika ABC Walkera oraz porównanie z diagramem R.G. Walkera (1967, fig. 11, p. 36)

Dependence of turbiditic banks of average thickness (\bar{H}_{p+1}) on ABC Walker's indicator and comparison with R.G. Walker's diagram (1967, fig. 11, p. 36)

wych wraz z prawdopodobną odległością od źródła prądu. Dla każdego diagramu ustalono równanie regresji liniowej, będące statystycznym opisem wspomnianych zależności.

Obliczone wartości wskaźnika ABC zestawiono kolejno z wartościami następujących charakterystyk odcinka profilu:

1. Średnia miąższość ławic (fig. 6): układ punktów projekcyjnych na diagramie ujawnia korelację dodatnią i wskazuje, że pakiety ławic grubszych deponowane były przez prąd o wyższym reżimie przepływu. Warto zwrócić uwagę, że większość punktów grupuje się w lewym dolnym narożu diagramu (niskie wskaźniki ABC) i że żaden z odcinków profilu nie wykazuje wartości wskaźnika ABC powyżej 80%, co świadczy o wybitnie „dystalnym” charakterze środowiska depozycji badanych turbidytów (zależność ta widoczna jest również na pozostałych diagramach). Analogiczną prawidłowość zaobserwował R.G. Walker (1967, p. 36, fig. 11) z tą jednak różnicą, że dotyczyła ona w przewodzie turbidytów „proksymalnych” o wysokich wartościach wskaźnika ABC. Tutaj natomiast zbadano tę zależność dla turbidytów „dystalnych”, tj. dla niższych wartości wskaźnika ABC, zwłaszcza w przedziale 0–20%.

2. Średnia miąższość piaskowca (fig. 7); zależność jest tutaj generalnie podobna. Wynika z niej, że pakiety ławic cieńszych i uboższych w piasek deponowane były

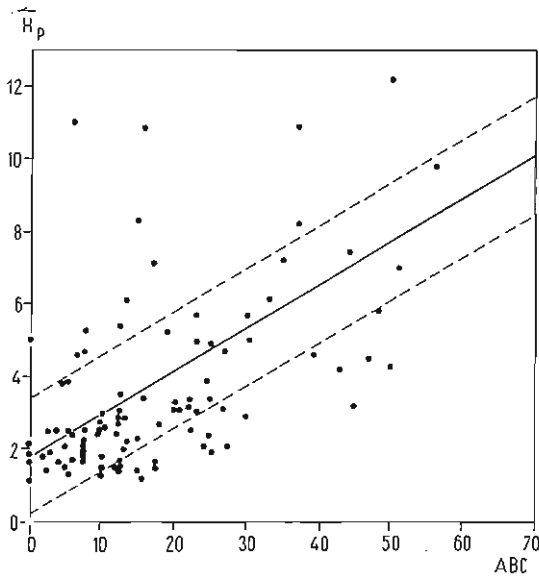


Fig. 7. Zależność średniej miąższości piaskowca (\bar{H}_p) od wskaźnika ABC Walkera
Dependence of average thickness of sandstone (\bar{H}_p) on the Walker's ABC indicator

przez prądy w stadium dolnoreżimowym, zaś pakiety ławic grubszych i bogatszych w piasek — przez prądy o wyższej energii przepływu. Nieliczne punkty leżące powyżej linii regresji mogą reprezentować pakiety ławic, z których część uległa amalgamacji lub zdeponowana została przez prądy o anormalnie dużej objętości (dużej w stosunku do reszty ogólnie cienkich turbidytów).

3. Stosunek miąższości piaskowca do miąższości łupku w ławicy (fig. 8); dla każdego odcinka elementarnego policzono wartość średnią z wyników dla poszczególnych ławic. Dodatnia korelacja wskazuje tutaj na spadek udziału „trakcyjnego” piaskowca i wzrost udziału „pelagicznego” łupku w ławicach w miarę zwiększenia odległości od źródła prądu zawiesinowego.

4. Wariancja miąższości ławic (fig. 9); wariancja miąższości ławic tworzących dany odcinek profilu jest miarą zróżnicowania objętości prądów zawiesinowych, jakie w danym odcinku czasu docierały do danego miejsca w basenie. Niska wariancja oznacza, że kolejne prądy w danym interwale czasu miały podobną objętość (ilość niesionego materiału), zaś duża wariancja mówi o bardzo zróżnicowanej objętości.

Zestawienie wariancji miąższości ławic ze wskaźnikiem ABC (fig. 9) pozwala wnioskować, że im bardziej „dystalny” charakter danego odcinka profilu, tym bardziej wyrównana objętość deponujących go prądów zawiesinowych.

CYKLIČNOŚĆ SEDYMENTACJI

Cykliczność sedymentacji badanej serii fliszowej zbadano za pomocą analizy sekwencji stanów przy użyciu metody łańcuchów Markowa; analizy entropii sekwencji stanów oraz analizy trendu stratygraficznego trzech wybranych charakterystyk zestawionych dla kolejnych 20-ławicowych odcinków profilu.

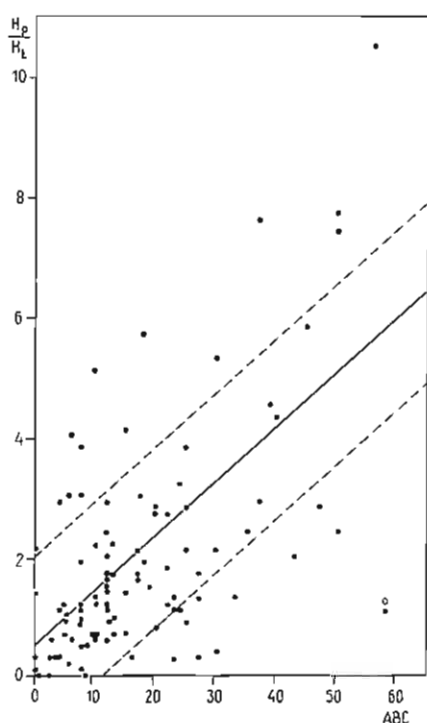


Fig. 8

Fig. 8. Zależność stosunku miąższości piaskowca do miąższości łupku ($H_p:H_l$) od wskaźnika ABC Walkera

Dependence of sandstone thickness relation to the shale thickness ($H_p:H_l$) on the Walker's ABC indicator

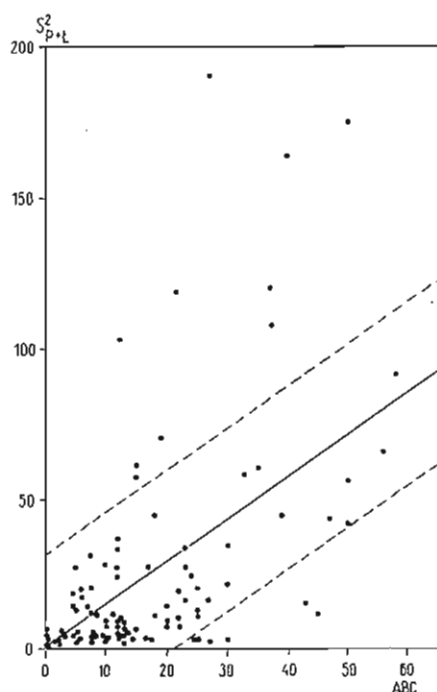


Fig. 9

Fig. 9. Zależność wartości wariancji ławic turbidytowych (S^2_{p+l}) od wskaźnika ABC Walkera

Dependence of the turbiditic banks variation (S^2_{p+l}) on the ABC Walker's indicator

NASTĘPSTWO STANÓW I CYKL PEŁNY

Jako stany procesu stochastycznego, oznaczone od A do E, przyjęto tutaj typy ławic turbidytowych. Podstawą do przypisania danej ławicy nazwy stanu był rodzaj wewnątrzławicowej sekwencji struktur sedimentacyjnych – sekwencja Boumy. W ten sposób za stan A przyjęto uważać ławicę opisywaną w klasycznej notacji Boumy jako T_{a-e} , za stan B ławicę typu T_{b-e} , itd. Pionowe przejścia między tak zdefiniowanymi „stanami” zestawiono w macierz (fig. 10), którą odniesiono do złożonego modelu łańcucha Markowa (M.F. Dacey, W.C. Krumbein, 1970).

Ustalono następstwo tak zdefiniowanych stanów zweryfikowano pod względem istotności statystycznej za pomocą testu chi-kwadrat, przy czym sprawdzono zarówno istotność statystyczną całego cyklu przejść pomiędzy stanami, jak i pojedynczych przejść w jego obrębie (D.K. Hobday i in., 1975). Otrzymane wyniki (wartość $\chi^2_{obs} = 2684,26$ wyraźnie wyższa przy 11 stopniach swobody od wartości tabelarycznej $\chi^2_{0,05} = 26,757$) pozwalają sądzić, że ustalone następstwo stanów jest efektem mechanizmów sedimentacji typu procesu Markowa. Oznacza to więc, że zdeponowanie ławicy określonego typu miało wpływ na to, która z ławic zostanie zdeponowana jako następna w kolejności. Pełny cykl ustalony dla badanego

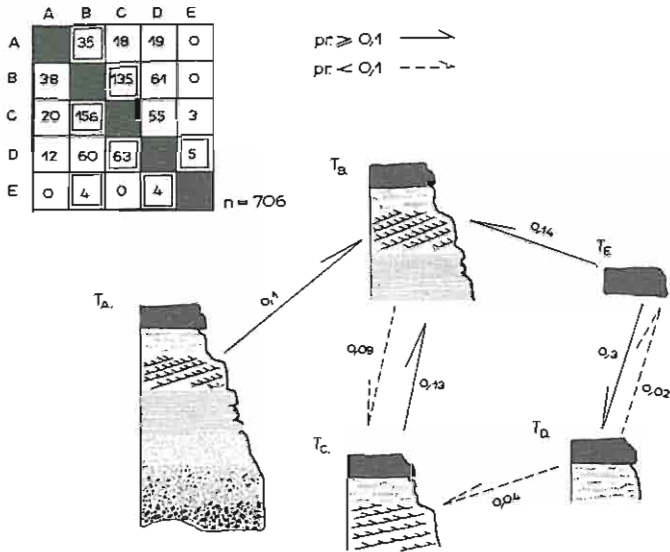


Fig. 10. Modalne przejścia między wyróżnionymi w profilu stanami ławic turbidytych oraz macierz przejść zliczonych

Modal transitions between distinguished in the profile conditions of turbiditic bands and matrix of computed passages

pr – prawdopodobieństwo przejść między stanami

pr – probability of transitions amongst the states

profilu przedstawia fig. 10. Diagram (cykl pełny) zdaje się ujawniać dwie następujące główne tendencje. Pierwsza tendencja $T_D \rightarrow T_C \rightarrow T_B$ może odpowiadać stopniowemu narastaniu niestabilności (lokalnej lub regionalnej) skłonu i generowaniu coraz silniejszych i większych objętościowo prądów zawieszinowych; przy czym cykl ten ma największą szansę zaczynać się stanem C, co wskazywać może na inicjowanie procesu niestabilności skłonu od pojawienia się prądów wyraźnie silniejszych (por. diagramy poprzednie). Podobnie świadczyć może o tym tendencja do przejścia $T_B \rightarrow T_B$; nagłe wtargnięcie silniejszych prądów, np. w wyniku wstrząsu sejsmicznego. Druga tendencja, $T_A \rightarrow T_B \rightarrow T_C$, odpowiada malejącej „skali” (energetycznej i objętościowej) następujących po sobie prądów, zaś fakt, że T_A nie wykazuje skłonności do pojawiania się po jakimś określonym stanie innym ($? \rightarrow T_A$), świadczy o względnej „niezależności” tego pierwszego (wynik impulsów pozasystemowych, np. wstrząsów sejsmicznych związanych z tektoniką synsedymacyjną).

W myśl tej interpretacji mamy zatem do czynienia z dwoma prawdopodobnymi źródłami obserwowanego, cyklicznego następstwa stanów: 1 – „pozasystemowym”, impulsywnym źródłem typu wstrząsów sejsmicznych oraz 2 – „wewnątrzsystemowym” źródłem związanym ze stopniowym, narastającym usuwaniem materiału z niestabilnego skłonu (wynik zwykłego przeciążenia skłonu materiałem i zjawisko prowadzące do powstawania osuwisk jako kulminacji).

ENTROPIA SEKWENCJI STANÓW

Na podstawie analizy metodą łańcuchów Markowa stwierdzono, że pięć wyróżnionych typów ławic tworzy w profilu pewne cykle depozycyjne. Teoretycznie

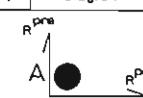
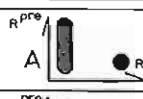
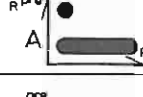
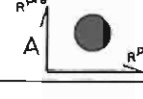


Typ cyklu (symbol)	Diagram	Interpretacja
Cykle asymetryczne	A-1	 <p>cykle „kompletne”, nieznacznie tylko modyfikowane zmiennością mechanizmu depozycji</p>
	A-2	 <p>cykle o „rwanym” stopnie</p>
	A-3	 <p>cykle o „rwanej” podstawie</p>
	A-4	 <p>profil jest mieszaniną cyklu o „rwanym” stopnie i „rwanej” podstawie</p>
Cykle symetryczne	B	 <p>cykl symetryczny ewentualnie nieznacznie modyfikowany</p>
	C	 <p>cykliczność słońca modyfikowana w środowisku depozycji</p>

Fig. 11. Zestawienie teoretycznych trendów w rozmieszczeniu punktów na diagramie R_{pre}/R_{post} i ich interpretacja (wg I. Hattori, 1976)

Presentation of theoretical trends in distribution of points on the diagram R_{pre}/R_{post} and their interpretation (after I. Hattori, 1976)

cykle takie mogą być asymetryczne (typu ABCDEABCDEABCDE... itd.) lub symetryczne (typu ABCDEDCBABCDEDBA... itd.). Badanie entropii danego następstwa stanów pozwala to ustalić, tzn. poznać tendencję, jaką miał w tym względzie rozpatrywany system depozycyjny (C. Allegre, 1964; J. Hattori, 1967).

Dla każdego stanu w poszczególnych odcinkach zbiorczych profilu policzono oddzielnie wartości entropii „postdepozycyjnej” i „predepozycyjnej” (fig. 13). Entropia postdepozycyjna (E_{post}) jest entropią, jaką dana sekwencja stanów (odcinek profilu) ma po depozycji określonego stanu. Gdy dla danego stanu $E_{post} = 0$ oznacza to, że depozycja tego stanu miała zasadnicze znaczenie dla faktu, jaki stan pojawia się tuż po nim. Gdy natomiast E_{post} jest wysoka, wówczas wnioskujemy, że wpływ danego stanu na to co utworzy się po nim, był niewielki (wiele różnych stanów mogło pojawić się po nim). Podobnie obliczona wartość entropii predepozycyjnej (E_{pre}) jest miarą entropii, jaką dana sekwencja posiadała przed depozycją danego stanu. Wartość $E_{pre} = 0$ świadczy, że dany stan poprzedzany był przez jakiś określony stan (tzn. dany stan był „wybierany” spośród pozostałych możliwych). Wysoka wartość E_{pre} mówi o czymś wprost przeciwnym – dany stan mógł być wybierany przez wiele różnych stanów (tzn. pojawił się po różnych stanach niemal jednakowo często).

Porównując E_{pre} i E_{post} otrzymujemy zatem następujące zależności:

a – gdy $E_{pre} = E_{post} = 0$ wówczas dany stan był determinowany przez jeden określony stan bezpośrednio go poprzedzający i sam z kolei determinował pojawienie się określonego stanu jako bezpośrednio następnego;

b – gdy E_{pre} i $E_{post} > 0$ wówczas dany stan był uzależniony od kilku stanów i sam też uzależniał kilka różnych stanów;

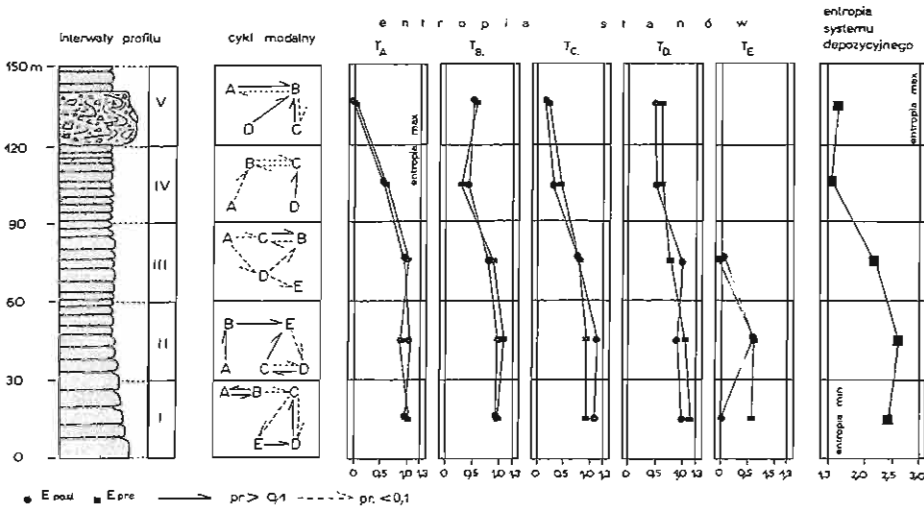


Fig. 12. Zmiany entropii sekwencji stanów dla poszczególnych odcinków zbiorczych profilu wraz z charakterystycznymi cyklami modalnymi

Variation of entropy of states sequence for particular summary sections of the profile together with characteristic model cycles

pr – jak na fig. 10

pr – as given in Fig. 10

c – gdy $E_{pre} > E_{post}$ wówczas dany stan był słabiej determinowany przez inne poprzedzające go stany, niż sam determinował stany następujące po nim.

Poza entropią dla poszczególnych stanów policzono również wartość entropii systemu depozycyjnego, która jest miarą ogólnego uporządkowania w następstwie stanów.

J. Hattori (1976) proponuje również zestawienie entropii stanów na diagramie w układzie prostokątnym, którego celem jest wizualne określenie trendu w rozmieszczeniu na nim punktów projekcyjnych. Porównanie z trendami teoretycznymi (fig. 11) pozwala na określenie typu cykliczności. W praktyce na osiach diagramu odkłada się wartości $R_{pre} = E_{pre}/E_{max}$ i wartości $R_{post} = E_{post}/E_{max}$, gdzie $E_{max} = -\log 1/(n-1)$ i oznacza maksymalną entropię („chaos”) możliwą dla układu złożonego z „n” stanów.

Przeprowadzona analiza entropii sekwencji stanów wykazała, co następuje (fig. 12):

1. Widoczny jest wyraźny spadek entropii (zarówno entropii systemu, jak i E_{pre} i E_{post} poszczególnych stanów) w górę badanego profilu, co należy wiązać z generalnym wzrostem systematyczności w następstwie turbidytów różnego typu (różnego poziomu energetycznej inicjalnej fazy depozycyjnej).

2. Pierwsze trzy interwały profilu charakteryzują się w stosunku do pozostałych wysoką wartością E_{pre} , E_{post} i entropii systemu (wartości liczbowe zbliżone i bliskie ogólnemu maksimum). Oznacza to, że w tej partii profilu uporządkowanie następowania stanów było stosunkowo niskie, tzn. na pojawienie się określonego stanu miało potencjalnie wpływ wiele spośród pozostałych stanów, a jego pojawienie się pociągało za sobą pojawienie się także stanów potencjalnie różnych. Wyjątek stanowi tutaj stan E (odcinek I i II). W odcinku I pojawienie się stanu E silnie determinuje pojawienie się jednego konkretnego stanu jako kolejno następnego:

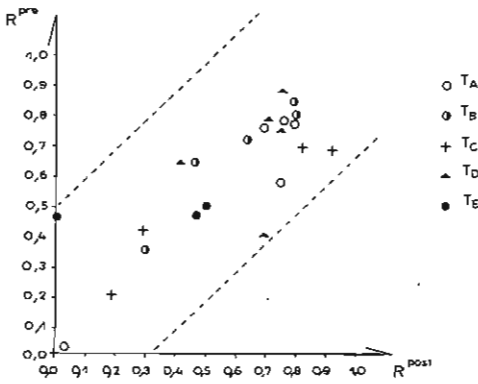


Fig. 13. Rozmieszczenie punktów projekcyjnych na diagramie R_{pre}/R_{post} dla badanego profilu
Distribution of the projection points on the diagram R_{pre}/R_{post} for the studied profile

tym stanem jest stan D. Natomiast w odcinku II stan E był uzależniony i sam uzależniał kilka różnych stanów.

3. Najbardziej zbliżone wartości E_{pre} i E_{post} oraz pionowy trend zmian entropii mają stany B i C. Zatem uwarunkowanie tych dwóch stanów w odniesieniu do stanów pozostałych było niemal identyczne.

4. Odcinek IV i V charakteryzuje niska, bliska zeru, wartość entropii systemu depozycyjnego. Oznacza to, że część profilu obejmująca te interwały powstała w warunkach wyraźnej stabilizacji następstwa stanów.

5. Rozmieszczenie punktów projekcyjnych na diagramie E_{pre}/R_{post} (fig. 11, 13) zdaje się być zbliżone do teoretycznego diagramu charakterystycznego dla cykli symetrycznych nieznacznie modyfikowanych (J. Hattori, 1976).

BADANIA CYKLICZNOŚCI SEDYMENTACYJNEJ

Na fig. 14 zestawiono dla całego profilu następujące wartości (obliczone dla 20-ławicowych odcinków): średnią miąższość ławic w odcinku; wskaźnik ABC Walkera dla odcinka oraz procentowy udział piaskowca w odcinku.

Na podstawie zmian tych wielkości wyróżniono cykle i megacykle. Pod podjęciem cyklu rozumie się periodyczny wzrost lub spadek wartości określonej charakterystyki lub charakterystyk; tak rozumiany cykl jest zatem czymś innym niż powszechnie wyróżnione „cyklotemy” litologiczne.

Śledząc profil od dołu ku górze można wyróżnić w nim pięć megacykli, złożonych z kilku mniejszych cykli obejmujących szereg 20-ławicowych odcinków profilu (tab. 1; fig. 14).

Ostatnie dwa mniejsze cykle, obejmujące dziesięć odcinków profilu, nie zostały wyróżnione jako megacykle. Jest to cykl typu S o miąższości 5,0 m i cykl typu W o miąższości 3,3 m.

Biorąc pod uwagę ogólnie dystalny charakter badanej serii turbidytowej, wspomniane cykle i megacykle można interpretować następująco:

- kolejne megacykle są zapewne wynikiem bocznego przesuwania się płatów (lobów) depozycyjnych na stożku środkowym i związanych z tym zmian w dostawie materiału w rozpatrywane miejsca na obszarze stożka dolnego (dystalnego);

- ich składowe cykle są wynikiem bocznego przenoszenia się koryt rozprzeczających na powierzchni danego płata w wyniku agregacji dna i awulacji (tzn. opuszczania jednych koryt przez grądy i pojawiania się koryt nowych); jeżeli ujście nowopowstałego koryta utworzyło się bliżej rozpatrywanego miejsca na

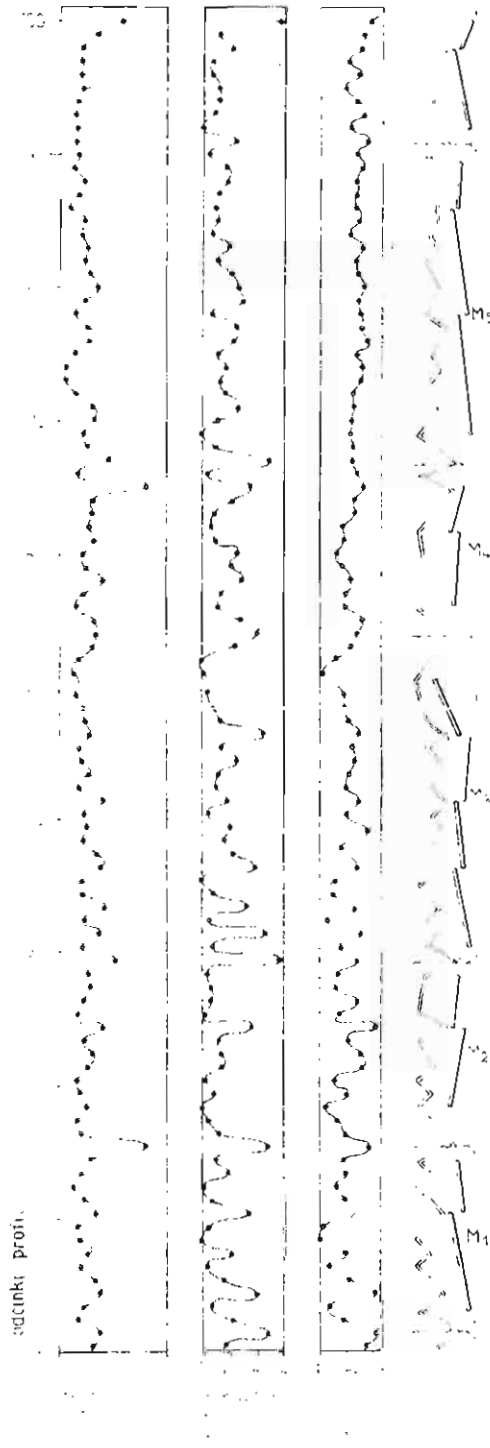


Fig. 14. Rodzaje cykli i megacykli wyróżnionych w profilu na podstawie wzrostu lub spadku wartości trzech charakterystyk

Kinds of cycles and megacycles distinguished in the profile on the basis of increase or decrease of the value of three characteristics

$M_1 - M_5$ - wyróżnione megacyklotemy

$M_1 - M_5$ - distinguished megacyclothem

Zestawienie wyróżnionych megacykli

Megacykle (symbol)	Typ megacyklu	Liczba cykli mniejszych	Mięższość megacyklu w m
M1	S	2	17,3
M2	W	2	11,2
M3	S	4	27,8
M4	W	2	19,0
M5	S	3	8,8

S – spadek wartości ku górze profilu; W – wzrost wartości ku górze profilu (chodzi o wartości liczbowe charakterystyk)

stożku dolnym, wówczas w miejscu tym zachodziła zmiana facji od bardziej dystalnej do mniej dystalnej (względne proksymalnienie facji, cykl typu W), jeżeli natomiast koryto przerzucane było dalej od rozpatrywanego miejsca, to trend zmian był przeciwny (cykl typu S).

UWAGI KOŃCOWE

Na gruncie ilościowej analizy sedymentologicznej potwierdzono wcześniej przedstawiony pogląd o fliszowym, turbidytowym charakterze badanym utworów (J. Oberc, 1957, 1977; B. Wajsprych, 1978). Główny nacisk położono na analizę pionowej zmienności profilu, a więc na zmiany zachodzące w warunkach sedymentacji turbidytyw. Uogólniając interpretację tych zmian, na uwagę zasługują następujące wnioski:

1. Zdecydowana większość ławic powstała daleko od źródła prądu, o czym świadczą m.in. niskie wartości wskaźnika ABC Walkera oraz dominacja turbidytyw zaczynających się elementami C i D Boumy.

2. Badane turbidyty powstały z prądów pochodzących z jednego obszaru źródłowego.

3. W badanym profilu cykliczne następstwo stanów trubidytowych (typów ławic) jest efektem sedymentacji o charakterze procesu Markowa i przejawia tendencję do tworzenia cykli symetrycznych.

4. Wydzielone cykle i megacykle sedymentacyjne są najprawdopodobniej wynikiem zmian (głównie „autocyklicznych”) warunków depozycji zachodzących na stożku środkowym, z bezpośrednim efektem na stożku dystalnym.

5. Mięjsza warstwa osadu (olistostroma) leżąca w górnej części profilu (fig. 2, 12) wydaje się stanowić wynik losowego zjawiska „katastroficznego” i generalnie nie jest ona związana z badaną serią turbidytową, gdyż zgodnie z następstwem stratygraficznym warstw obserwuje się wyraźny spadek entropii następstwa stanów turbidytowych, co wiązać należy ze wzrostem operacyjnej stabilizacji systemu depozycyjnego. Potwierdzeniem tej interpretacji jest m.in. udział klastów skał węglanowych w masie spływu w porównaniu z serią turbidytową.

PIŚMIENICTWO

- ALLEGRE C. (1964) – Vers une logique mathématique des séries sédimentaires. Bull. Soc. Geol. France, p. 214–218.
- CHOROWSKA M., RADLICH K. (1984) – Karbońskie wapienie i zlepieńce struktury bardzkiej. Kwart. Geol., 28, p. 251–290, nr 2.
- DACEY M.F., KRUMBEIN W.C. (1970) – Markovian models in stratigraphic analysis. Mathem. Geol., 2, p. 175–191.
- DAVIES C., WALKER R.G. (1974) – Transport and deposition of resedimented conglomerates. The Cap Enrage Formation, Cambroordovician. Jour. Sedim. Petrol., 44, p. 1200–1216.
- DŻUŁYŃSKI S., SMITH A. (1964) – Flysch facies. Roczn. Pol. Tow. Geol., 34, p. 245–266, z. 1–2.
- HATTORI I. (1976) – Entropy in Markov chains and discrimination of cyclic patterns in lithologic successions. Jour. Inter. Assoc. Mathem. Geol., 8, p. 477–479.
- HODBAY D.K., TAVANER-SMITH R., MATHEW D. (1975) – Markov analysis and the recognition of paleoenvironments in the Eccra Group near Vryheid, Natal. Trans. Geol. Soc. S. Afr., 78, p. 75–82.
- HOEDEMEKER Ph.J. (1973) – Olisthostromes and other delapsional deposits and their occurrence in the region of Martalla (Prov. of Murcia, Spain). Scripta Geol., 19, p. 207.
- OBERC J. (1957) – Region Gór Bardzkich (Sudety). Przew. dla geologów. Wyd. Geol. Warszawa.
- OBERC J. (1977) – The Caledonian and Variscan epoch in the Variscan orogen of South-West Poland. In: The Caledonian and Variscan Tectonic Epochs. Geology of Poland, 4, p. 254–344.
- PACHOLSKA A. (1979) – Brekcje tektoniczne południowego brzegu bloku sowiogórskiego i ich stosunek do dolnokarbońskich brekcji osadowych Gór Bardzkich. Arch. PAN. Warszawa.
- SIMPSON F. (1970) – O sedymentacji środkowego eocenu serii magurskiej w polskich Karpatach zachodnich. Roczn. Pol. Tow., 40, p. 209–286, z. 2.
- WAJSPRYCH B. (1978) – Allochtoniczne skały paleozoiczne w osadach wizeńskich Gór Bardzkich. Roczn. Pol. Tow. Geol., 48, p. 99–127, z. 1.
- WAJSPRYCH B. (1979) – Sedymentacja osadów dolnego karbonu północnej części Gór Bardzkich i jej tektoniczna interpretacja. Arch. ZNG PAN. Wrocław.
- WALKER R.G. (1967) – Turbidite sedimentary structures and their relationship to proximal and distal depositional environments. Jour. Sedim. Petrol., 37, p. 25–34.

Яцек КОЗЬМА

**НИЖНЕКАРБОНСКИЙ ФЛИШ В ОКРЕСТНОСТЯХ СРЕБРНОЙ ГУРЫ
(БАРДСКИЕ ГОРЫ) – КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ СЕДИМЕНТОЛОГИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗ**

Резюме

Статья посвящена детальной характеристике условий дистального осадконакопления турбидитовой серии в окрестностях Серебряной горы. Наряду с традиционным методом изучения процесса осадконакопления были использованы некоторые статистические методы.

Изучаемый разрез сложен литическими песчаниками, переслаиваемыми алевролитами и аргиллитом. Спорадически в нем присутствуют мелко и среднезернистые параконгломераты. Толщина песчаных слоев 0,02–0,6 м., а покрывающих их сланцев 0,01–0,15 м. В самых верхих разреза, в пределах флишевых пластов, залегает мощный 40-метровый слой олистостромовых отложений. В стратиграфическом разрезе мощность описываемых пород составляет около 160 м.

В разрезе измерены поочередно все турбидитовые спои, а именно их полная мощность, мощность песчаника, мощность сланца, а также род и очередность элементов Баумы (Boumy).

По графику изменения мощности слоев в разрезе выделено 100 интервалов, для которых определены следующие характерные данные: средняя мощность турбидитовых слоев; средняя мощность песчаника; отношение мощности песчаника к мощности сланца; вариации мощности турбидитовых слоев; процентное участие слоев, начинающихся с очередных элементов Баумы; показатель ABC Волкера (Walkera), рассчитываемый по формуле $ABC = T_A + 0,5 T_B$, где T_A и T_B означают процент слоев, начинающихся с элемента А и В Баумы; энтропия до и после осаждения, а также энтропия депозиционной системы.

Их величины представлены на различных графиках и диаграммах, позволяющих проследить тенденцию изменений по разрезу в процессе осаждения изучаемой турбидитовой серии. Полученные данные позволяют утверждать, что:

- решительное большинство слоев образовалась вдали от источника мутьевого потока;
- все изученные турбидитовые спои своим образованием обязаны потокам, рождавшимся в одной области;
- цикличность выделенных турбидитовых образований является следствием осадконакопления типа Маркова;
- в верхах разреза явственно увеличивается систематичность появления турбидитов различного типа;
- выделенные седиментационные циклы и негациклы вероятнее всего являются результатом изменений условий осаждения на срединном конусе.

Jacek KOŹMA

LOWER CARBONIFEROUS FLYSCH FROM THE SREBRNA GÓRA REGION (GÓRY BARDZKIE MTS) – QUANTITATIVE SEDIMENTOLOGICAL ANALYSIS

Summary

In this paper detailed characteristic of the sedimentation conditions of the distal turbiditic series of the Srebrna Góra region were presented. Aside of the conventional sedimentological selected statistical methods were applied.

Studied profile of lital sandstones interbedded with mudstones and claystones is composed. Sporadically occur here finegrained and middlegrained para-conglomerates. Thickness of the sandstones layers is from 0.02 to 0.6 m and covering them shales from 0.01 to 0.15 m. In the uppermost part of the profile in the limits flysch banks occurs 40 m thick layer of olistostromic formations. Stratigraphical thickness of described formations reaches about 160 m.

In the profile all successful turbiditic banks were measured indicating for each of them: total thickness, thickness of the sandstone, thickness of the shale and type and sequence of Boumy elements. On the basis of the diagram of variations of the banks thickness 100 m profile sections were determined: average thickness of turbiditic banks; average thickness of sandstone; relation of the sandstone thickness to the thickness of the shale; variation of the turbiditic banks thickness; percentage of participation of banks starting with successive Boumy elements; Walker's ABC indicator computed with formula $ABC = T_A + 0,5 T_B$, where T_A and T_B means percentage of bank starting with Boumy elements A and B; pre- and post depositional entropy of the sedimentary system.

Their values were arranged in different kinds of graphs and diagrams allowing trace vertical trend of changes in conditions of deposition of studied turbiditic series.

On the basis of obtained results among others has been proved that:

- the most of banks originated far from source of stream;
- all studied turbiditic banks owe their genesis to the streams originated from one source region;
- cyclical sequence of distinguished turbiditic conditions resulted from sedimentation of Markov process type;
- upward of the profile occurs clear increase in regularity of sequence of different types of turbidities;
- distinguished sedimentary cycles and megacycles are the most probable results of depositional changes on the central cone.