

Tomasz ZIELIŃSKI*

FLUWIOGLACJALNE STRUKTURY SEDYMENTACYJNE W BEŁCHATOWIE

(Pl. I—II i 4 fig.)

Fluvioglacial depositional structures in Bełchatów, Central Poland

(Pl. I—II and 4 Figs.)

Treść: W obrębie utworów fluwioglacialnych stwierdzono występowania dużych rozmyć erozyjnych wypełnionych piaskami drobnoziarnistymi zarówno w sposób agradacyjny, jak i przez migrujące formy dna. W artykule podano pełny opis sekwencji struktur sedymentacyjnych w przekroju podłużnym i poprzecznym do osi rozmyć erozyjnych. Przedstawiono interpretację tworzących się form dna i związanych genetycznie z nimi typów warstwowań. Rozmycia erozyjne i sekwencje strukturalne ich wypełnień autor wiąże ze środowiskiem stożków napływowych modelowanych przez silne prądy w zbiorniku wodnym. Rozmycia erozyjne dużej skali z osadami o tej postaci strukturalnej nie były dotychczas opisywane z utworów plejstocenijskich.

WSTĘP

W północnej części wyrobiska Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”, między dwoma poziomami glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego istnieje kompleks piasków drobnoziarnistych o miąższości do kilkunastu metrów (fig. 1). W jego obrębie stwierdzono szereg rozmyć erozyjnych wypełnionych piaskami wykazującymi różnorodne struktury warstwowań nachylonych. Są to: warstwowanie przekątne związane genetycznie z riplemarkami wstępującymi, warstwowanie przekątne rynnowe małej skali oraz nachylona laminacja równoległa. Sporadycznie występuje pozioma laminacja równoległa. W odsłonięciu, na dystansie około 150 m prześledzono osady wypełnień rozmyć erozyjnych w przekrojach podłużnych i poprzecznych względem osi form.

Nomenklaturę struktur sedymentacyjnych autor w większości przyjął według Gradzińskiego et al. (1976).

* Sosnowiec 41-200, Instytut Geologii Uniwersytetu Śląskiego, ul. Mielczarskiego.

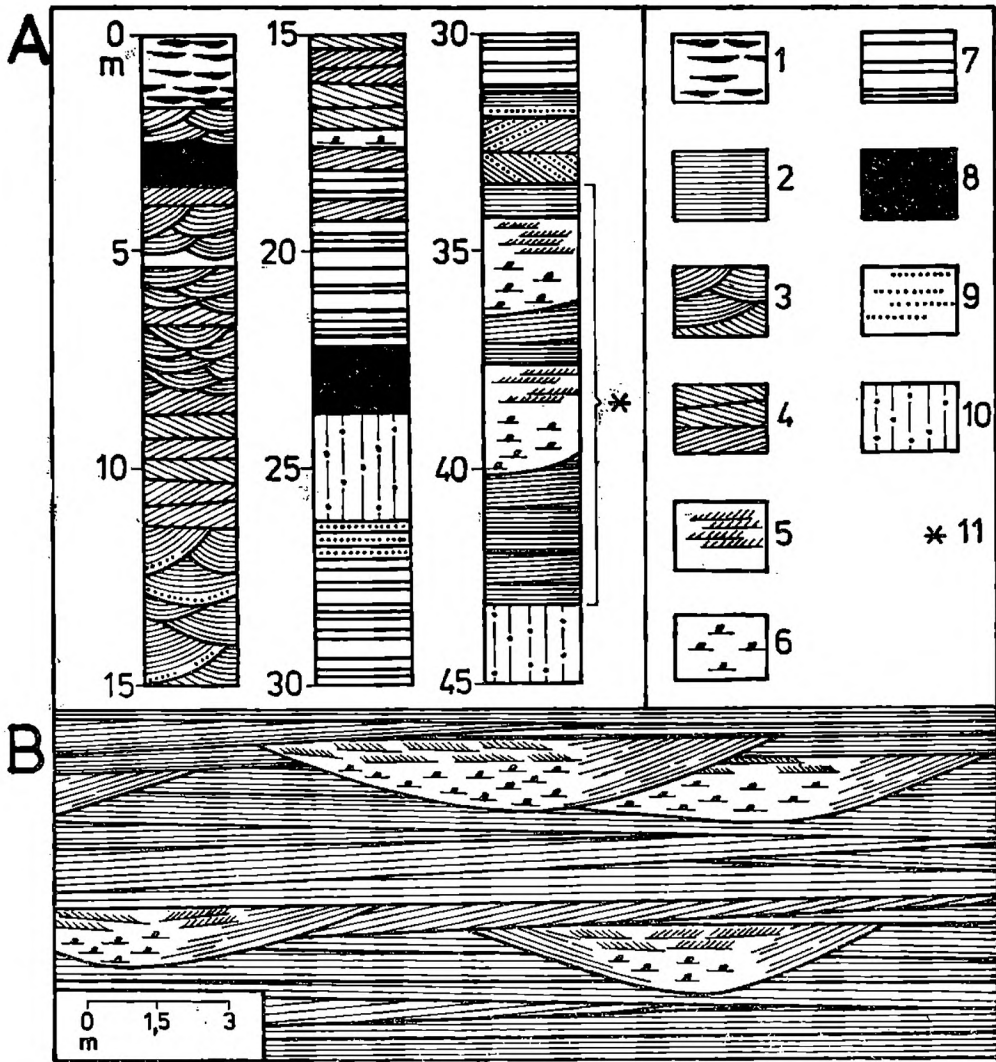


Fig. 1. A — pozycja opisywanych osadów fluwioglacjalnych w profilu litologicznym północnej części wyrobiska kopalni, B — fragment ściany odsłonięcia z rozmyciami erozyjnymi. 1 — warstwowanie soczewkowe w piaskach; 2 — laminacja pozioma w piaskach; 3 — przekątne warstwowania rynnowe w piaskach; 4 — przekątne warstwowania tabularne i klinowe w piaskach; 5 — przekątne warstwowania rynnowe małej skali w piaskach; 6 — przekątne warstwowania wstępujące w piaskach; 7 — piaski i mułki laminowane poziomo; 8 — mułki; 9 żwir; 10 — glina zwałowa; 11 — analizowany kompleks

Fig. 1. A — Stratigraphic position of the fluvioglacial sediments in the lithologic profile of the northern sector of the mine; B — Fragment of the exposed wall with erosional washouts. 1 — Lenticular bedding in sands; 2 — Horizontal lamination in sands; 3 — trough cross-lamination in sands; 4 — Tabular and wedge sets of cross-lamination in sands; 5 — Small-scale trough cross-lamination in sands; 6 — Climbing-ripple cross-lamination in sands; 7 — Horizontally laminated sands and silts; 8 — silts; 9 — gravels; 10 — Till; 11 — the complex under investigation

MORFOLOGIA, ROZMIARY I ROZMIESZCZENIE ROZMYĆ EROZYJNYCH

Analizowane rozmycia erozyjne są rynnowymi obniżeniami o pokroju „łyżkowym”. Ich długości dochodzą do 8 m, maksymalna stwierdzona szerokość wynosi 3,5 m. Maksymalne miąższości osadów wypełniających rozmycia wahają się w przedziale 1,2—1,8 m. Obniżenia erozyjne zgrupowane są na dwóch wyraźnych poziomach hipsometrycznych. W wyż-

szym poziomie zarejestrowano 8 rozmyć, natomiast w dolnym, położonym około 4 m niżej — 4 rozmycia. Częste są sytuacje, gdy rozmycia młodszej generacji wcięte są w osady wypełniające starsze obniżenia (fig. 1 B). Obserwacje, które posłużyły za materiał do niniejszego artykułu, zebrano głównie z całkowicie odsłoniętych trzech przekrojów podłużnych i dwóch poprzecznych przez wypełnienia rozmyć erozyjnych.

NASTĘPSTWO STRUKTUR W PRZEKROJACH PODŁUŻNYCH PRZEZ ROZMYCIA EROZYJNE

Proksymalna, „wlotowa” część rozmycia erozyjnego opada skłonem o nachyleniu do 30° . Na tej powierzchni leżą zgodnie zestawy nachylonej laminacji równoległej (high-angle cross-stratification, avalanche-front cross-stratification — Picard, High 1973, foreset cross-stratification) pl. I, fig. 1, a; pl. II, fig. 2, a. Średnia miąższość zestawów wynosi 5 cm, a ich powierzchnie graniczne są lekko zbieżne względem siebie. Laminy nachylone są równoległe do siebie oraz do dolnej powierzchni granicznej zestawów. Lokalnie wykazują nieciągły charakter. W dolnych partiach wzbogacone są w grubszy materiał, co potwierdza lawinowy charakter depozycji (Allen 1965, 1970b). Powstanie tej struktury agradacyjnej uwarunkowane było sedymentacją wymuszoną poprzez różnice głębokości i prędkości przepływu na krawędzi formy rozmycia, gdzie depozycja zmierzała do osiągnięcia profilu równowagi. Duże kąty upadu lamin sugerują warunki dolnego reżimu przepływu (Jopling, 1966). Nachylone laminy piaszczyste buduje w większości materiał, który dostarczany był trakcyjnie na krawędź skłonu poprzez migrację form dna — małych riplemarków, a następnie zsypywany w dół periodycznymi laminami. Sedymentacja z zawiesiny w przypadku laminacji tego typu zachodzi na małą skalę i jest procesem drugoplanowym (Reineck, 1961).

Nachylona laminacja równoległa przechodzi ku centrum rozmycia erozyjnego w przekątne warstwowanie rynnowe małej skali (pl. I, fig. 1, b). Jego geneza związana jest z riplemarkową konfiguracją dna. Zestawy przekątne o miąższości 1—3 cm znaczą kolejne generacje riplemarków migrujących po dnie. Granice międzyzestawowe (typu reactivation surfaces — Collinson, 1970; McCabe, Jones, 1977; internal discontinuities — Allen 1973 b) mają charakter erozyjny i świadczą o stanie dna zbliżonym do równowagi.

Strefa występowania przekątnych warstwowań rynnowych małej skali jest stosunkowo wąska i przechodzi szybko w kierunku zaprawowym w szeroki pas (wielozestaw) dobrze rozwiniętych warstwowań przekątnych związanych genetycznie z riplemarkami wstępującymi (pl. I, fig. 1, c). Laminy nachylone podkreślone są koncentracją substancji organicznej pochodzącej z rozmytych utworów trzeciorzędowych lub wczesnoczwartorzędowych. Wraz z kierunkiem przepływu, kąty wspinania riple-

marków rosną od kilkunastu stopni (typ B_1 wg Allen 1970 a) w sąsiedztwie wyżej opisanego przekątnego warstwowania rynnowego i osiagają maksymalnie 60° (średnio 35°) w partiach bardziej dystalnych (typ B_2). Tendencji tej towarzyszy konsekwentny wzrost wysokości riplemarków (od 1 do 6 cm). Pomiarzy azymutów kierunków kąta wspinania wykazały bardzo wysoką ich koncentrację — wartość wektora wypadkowego L — 99%, przy azymucie wypadkowym V — 183° (wg Curray, 1956).

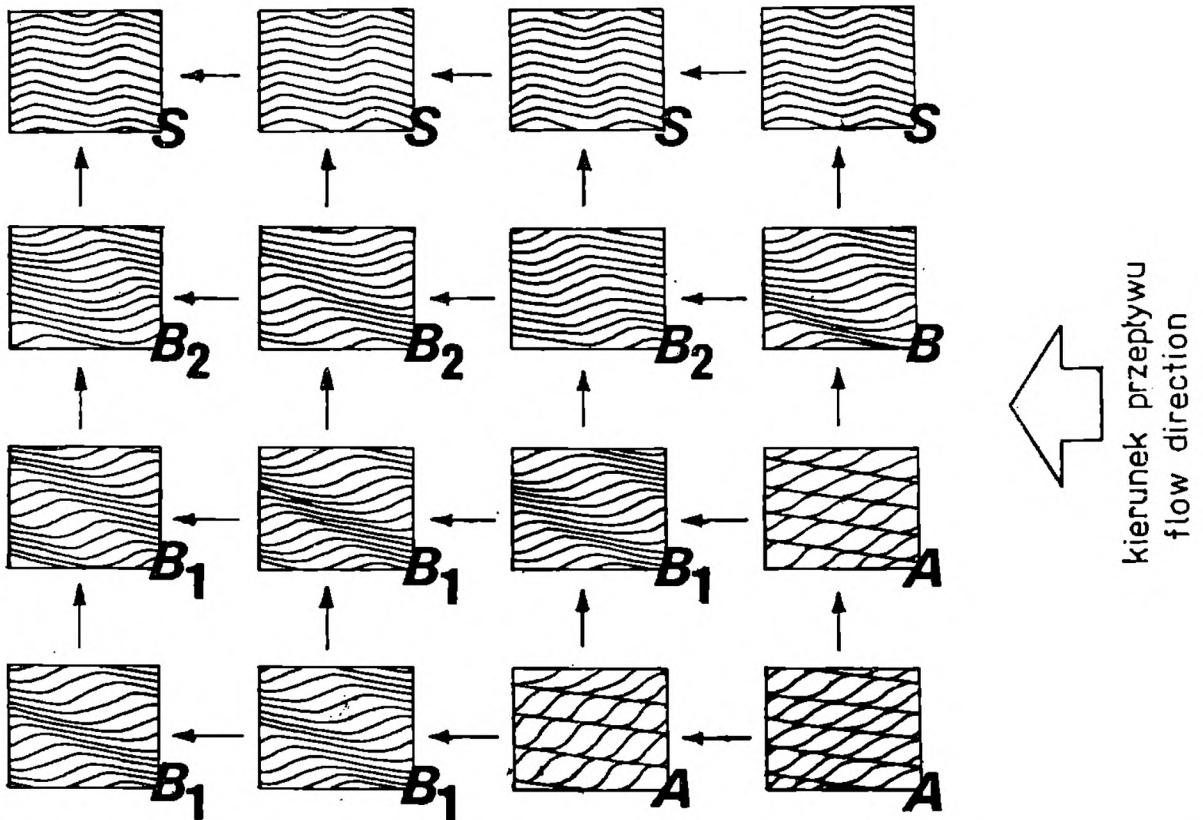


Fig. 2. Schemat sekwencji strukturalnych w centralnej części wypełnienia rozmycia erozyjnego — człon c (przekrój podłużny). Strzałki wskazują kierunek zmian strukturalnych sekwencji

Fig. 2. Structural sequences in the central part of a washout infilling — c — member (longitudinal section). Arrows show the direction of structural changes

Sporadycznie spotyka się cienkie zestawy poziomej laminacji równoległej miąższości do 10 cm. Wienczą one najczęściej sekwencje typu A — B — S (Allen, 1970 a) małej miąższości (pl. II, fig. 1).

Generalny trend zmian strukturalnych osadów zawierających przekątne warstwowania wstępujące przedstawia schemat (fig. 2). Mamy tu do czynienia z konsekwentnym następstwem struktur riplemarkowych odpowiadającym sekwencjom A — B_1 — B_2 — S w profilu pionowym i A — B_1 — B_2 w podłużnym, czyli I. wzorowi wstępowania riplemarków według Allen (1973 a). Zaznaczyć tu należy, że w wielozestawie dominują riplemarki typu B . Czynnikiem kontrolującym wzrost kątów wspinania było malejące ku zeru natężenie transportu trakcyjnego (Środoń, 1974).

Podane wzory riplemarków wstępujących sugerują zmniejszanie prędkości przepływu wzdłuż osi rozmycia erozyjnego w kierunku dystalnym oraz w profilu pionowym — a więc zarówno w przestrzeni, jak i w czasie, w miarę wypełniania obniżenia osadem. W sensie hydrodynamicznym mamy więc do czynienia z przepływem nierównomiernym, nie ustabilizowanym o zmniejszającej się prędkości (unsteady decaying non-uniform decaying flow) — vide Środoń (1974). Przybliżone określenie zmian prędkości przepływu wykonać można na podstawie wartości średnich wielkości ziarn budujących riplemarkę wstępującą (Allen 1971). Różnice prędkości w profilu podłużnym były rzędu do 10 cm/s: średnia prędkość przepływu (\bar{U}) w części proksymalnej rozmycia ≈ 25 cm/s, gdy w partiach dystalnych $\bar{U} \approx 15$ cm/s.

Uziarnienie osadu wykazuje ściśle powiązania z cechami strukturalnymi. Postępując zgodnie z kierunkiem przepływu, średnia wielkość ziarna maleje od $2,59\psi$ (= 0,166 mm) dla przekątnych warstwowań rynnowych małej skali, do $2,88\psi$ (= 0,136 mm) dla przekątnego warstwowania wstępującego typu B₂. Parametry odchylenia standardowego¹ nie wykazują podobnego trendu zmian i określają wysortowanie piasków na dobre. Natomiast wartości skośności i spłaszczenia rosną w kierunku zaprądowym (Sk₁: od 0,10 do 0,24—0,26; K_G: od 1,19 poprzez 1,31 do 1,38). Spowodowane jest to większym udziałem drobniejszego materiału niesionego i deponowanego z zawiesiny przy niższych prędkościach przepływu, jak również procesami sortowania osadu transportowanego trakcyjnie po dnie.

Osady wypełniające rozmycie erozyjne wieńczy w stropie jednolita warstwa piasków drobnoziarnistych o miąższości do 0,6 m, która rozciąga się na całej długości formy. Warstwa ta wykształcona jest jako wielozestaw przekątnych warstwowań rynnowych małej skali, zawierający podrzędnie zestawy przekątnych warstwowań wstępujących typu A (pl. I, fig. 1, e). Zgodnie z kierunkiem przepływu miąższość zestawów wzrasta (od 1 cm w części podprądowej wielozestawu, do 4 cm w partiach zaprądowych). Podobnie wzrasta średnia długość zestawów (odpowiednio od 20 do 80 cm). Ukierunkowanie tych struktur wykazuje całkowitą zgodność z azymutami zarejestrowanymi w niżej leżącym wielozestawie przekątnych warstwowań wstępujących (dla członu wyższego $V = 185^\circ$, gdy dla niższego $V = 183^\circ$). Pokrój zestawów wskazuje na to, że formami depozycyjnymi były riplemarkę o nieciąglej lub powyginanej linii grzbietowej (Reineck, Singh, 1973). Współwystępowanie obu typów warstwowań przekątnych sugeruje, iż stan dna znajdował się na granicy równowagi. W opisywanym wielozestawie (e) zarejestrowano zmniejszanie średniej wielkości ziarna w stronę zaprądową — od $2,58\psi$ (= 0,167 mm) do $2,70\psi$ (= 0,154 mm), połączone ze wzrostem wysortowania (σ_1 od 0,76

¹ Parametry teksturalne łącznego graficznego odchylenia standardowego (σ_1), łącznej skośności graficznej (Sk₁), spłaszczenia graficznego (K_G) określono na podstawie wzorów Folk, Ward (1957).

po 0,44). Parametry skośności i spłaszczenia także wykazują wzrost wartości zgodnie z kierunkiem przepływu (Sk_I od 0,00 do 0,18; K_G od 1,22 do 1,38) — analogicznie jak w niższym członie (c).

Na tym samym poziomie, w położeniu zaprądowym do opisanych struktur, odsłonięto w przekroju podłużnym osady wypełniające dystalną część starszego rozmycia, rozcięte erozyjnie przez podprądową partię rozmycia młodszej generacji (pl. II, fig. 2). Piaszczyste osady będące podłożem młodszego rozcięcia stanowią górną część wypełnienia niżejległej rynny. W dolnej partii widoczna jest pozioma laminacja równoległa będąca stropową częścią członu (c) wypełnienia starszego rozmycia. Wyżej, w obrębie laminacji równoległej pojawiają się zestawy przekątnych warstwowań wstępujących (typu A), które z czasem zaczynają dominować, by w stropie stać się wyłącznym rysem strukturalnym starszego wypełnienia. Równocześnie ku górze profilu maleje udział lżejszej materii węglistej, która gromadzona jest na dystalnych stokach riplemarków. Wielozestaw przekątnego warstwowania wstępującego należy do kompleksu wieńczącego sekwencję rozmycia erozyjnego starszej generacji (pl. II, fig. 2, e). Człon ten powstał w warunkach zwiększania prędkości przepływu (przejście ze stanu dolnego płaskiego dna do stanu riplemarkowego).

Powierzchnia erozyjna proksymalnej części młodszego rozmycia posiada pokrój kątowy tak przy podstawie, jak i w części górnej. Powierzchnia ta zapada pod kątem 25° — 30° i pokryta jest zgodnie leżącymi zestawami nachylonej laminacji równoległej (pl. II, fig. 2, a). Wielozestaw w swej stropowej części jest rozmyty, a laminy przybierają lokalnie pokrój lekko falisty. W stronę podprądową od krawędzi stoku rozmycia, nachylone laminy równoległe przechodzą gwałtownie w przekątne warstwowania wstępujące typu A. Zestawy przekątne ukierunkowane są prawie poziomo, zgodnie z powierzchnią dna. Każdy zestaw riplemarków wstępujących, dochodzący do proksymalnej krawędzi rozmycia, przechodzi wyraźnie w dół po stoku w jedną lub kilka nachylonych lamien równoległych. Materiał tworzący laminy na stoku dostarczany był poprzez migrujące do krawędzi rozmycia riplemarki wstępujące (riplemarki „żywiące” stok depozycyjny — feeding ripples wg McCabe, Jones, 1977). Materiał piaszczysty, po przekroczeniu punktu separacji przepływu leżącego na krawędzi rozmycia, ulegał przemieszczeniu i depozycji poprzez zsuwy lawinowe. Człon ten (pl. II, fig. 2, a) ma charakter mikro-deltowy. Formy o analogicznych zależnościach strukturalnych, jak przytoczone powyżej, uzyskano na drodze eksperymentalnej (McCabe, Jones, 1977).

NASTĘPSTWO STRUKTUR W PRZEKROJU POPRZECZNYM

Budowę rozmyć erozyjnych występujących na tym samym poziomie hipsometrycznym, co opisane powyżej, prześledzono w przekrojach poprzecznych i ukośnych, zbliżonych do poprzecznych.

W osi rozmycia występują zestawy przekątnych warstwowań wstępujących miąższości 0,5—3,0 cm. Riplemarki wstępują ku dystalnym partiom rozmycia. Strefa takiego ich ukierunkowania jest wąska, obocznie riplemarki wstępują w kierunkach sobie przeciwnych, na „skłony” obniżenia (fig. 3; pl. III, c). Zestawy znajdujące się w centralnej ekspozycji względem dna rozmycia reprezentują typ B₁ o średnim kącie wspinania 16°, z podrzędnie współwystępującymi zestawami typu A. Natomiast

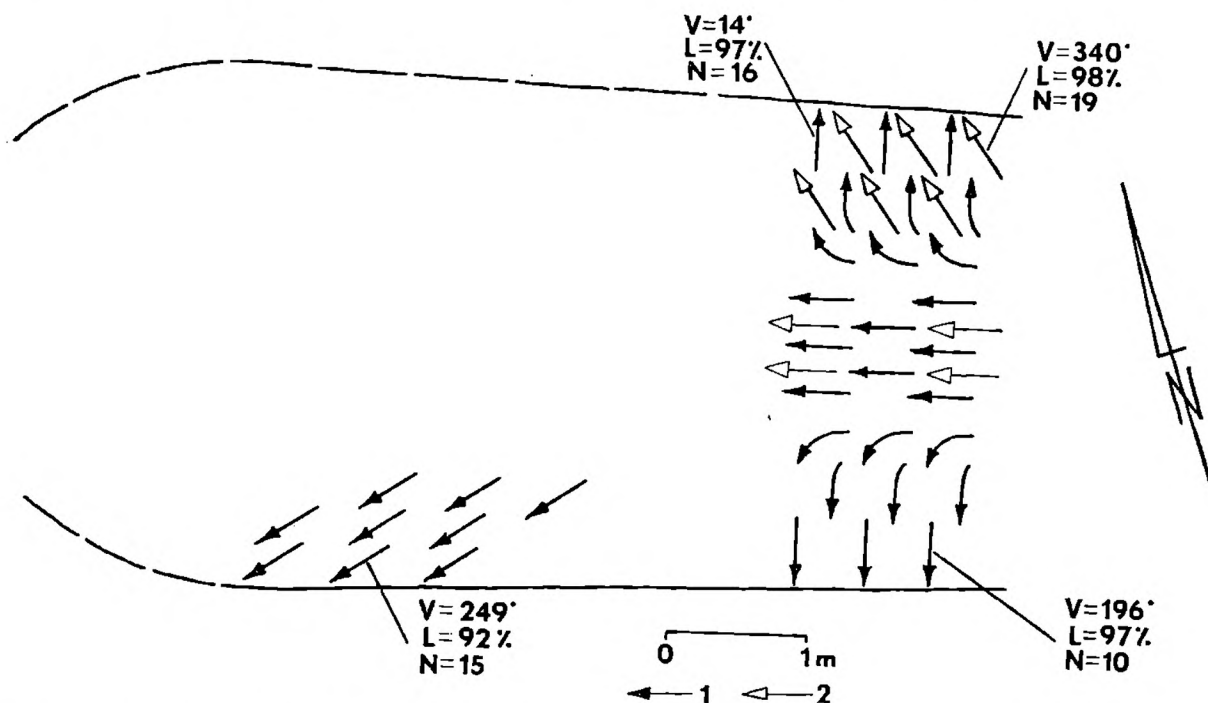


Fig. 3. Rozkład kierunków przepływów w planie rozmycia na podstawie azymutów ukierunkowania struktur depozycyjnych: 1 — kierunki z członów c i d; 2 — kierunki z warstwy wieńczącej sekwencje wypełnienia (człon „e”); V — azymut wypadkowy; L — wielkość azymutu wypadkowego; N — ilość pomiarów

Fig. 3. Current directions based on the orientation of linear depositional structures: 1 — in c and d members; 2 — in crown beds of the infilling (member e); V — mean direction; L — value of mean; N — number of measurements

zestawy w położeniu „na skłonie” obniżenia są typu B₂ i B₁ (średni kąt wspinania 29°).

Postępując w kierunku zaprawowym, nachylenie powierzchni erozyjnych rozmycia zdecydowanie maleje — obniżenie staje się bardziej położe. Zestawy przekątnego warstwowania wstępującego, które znajdują się w tej strefie, mają miąższości do 1,5 cm i wykazują średni kąt wspinania 34°. Zaznaczyć należy, że w miarę zbliżania się ku zewnętrznym partiom rozmycia, kąty wspinania maleją. Ukierunkowanie form dna jest w stosunku do osi obniżenia bardziej ukośne (fig. 3).

W skrajnie zewnętrznych partiach rozmycia przekątne warstwowanie wstępujące przechodzi w nachyloną laminację równoległą (pl. I, fig. 2, d; pl. III, d). W strefie przejściowej jednych struktur sedymentacyjnych w drugie widoczna jest zmiana pokroju riplemarków. Polega ona na

zmniejszaniu kąta wspinania i coraz powszechniejszym występowaniu riplemarków typu A. Sugeruje to jednoznacznie, iż typ struktury zmieniający się od osi rozmycia ku jego brzegom odpowiada warunkom wzrastających prędkości przepływu. Biorąc pod uwagę nachylenie płaszczyzny dna, będącej powierzchnią depozycji, nachylona laminacja równoległa jest w rzeczywistości (w sensie genetycznym) płaską strukturą warstwową. Prędkość przepływu wzrastała na skutek spłynięcia ośrodka wodnego ku brzegom obniżenia erozyjnego. Płaska laminacja odpowiada więc w tym wypadku warunkom górnego reżimu przepływu (stan górnego płaskiego dna).

Osady wypełniające rynnę erozyjną zamyka wielozestaw piasków drobnoziarnistych wykazujących przekątne warstwowanie rynnowe małej skali (pl. III, e). Wielozestaw ten ma analogiczny charakter jak najwyższa warstwa wypełniająca rozmycie opisywane w przekroju podłużnym (pl. I, fig. 1, e). Ten górny człon odzwierciedla sytuację, w której depozycja materiału z transportu trakcyjnego zdecydowanie przeważała nad osadzaniem z zawiesiny (stan dna zbliżony do profilu równowagi).

Rozpatrując pionową sekwencję struktur sedymentacyjnych wypełniających rozmycie erozyjne, widzimy wyraźnie, że w dolnej partii profilu dominują struktury świadczące o szybkiej depozycji (przekątne warstwowania wstępujące członu c). Z czasem, po częściowym wypełnieniu obniżenia osadem, a co za tym idzie — spłynięciu zagłębienia, osiągnięty został stan równowagi przepływu (powstanie przekątnych warstwowań rynnowych małej skali — człon e).

W przekrojach poprzecznych przez rozmycia nie stwierdzono wyraźniejszych różnic w uziarnieniu osadów, tak w profilu poziomym, jak i w pionie, mimo poważnych różnic strukturalnych. Rozmycia erozyjne wypełnione są piaskami drobnoziarnistymi, których średnia wielkość ziarn zawiera się w przedziale 2,64—2,82 ψ (tj. 0,160—0,142 mm). Jest to osad dobrze wysortowany ($0,37 < \sigma_1 < 0,50$), skośny dodatnio ($0,10 < Sk_1 < 0,25$), o rozkładach leptokurtycznych ($1,20 < K_G < 1,37$).

WARUNKI DEPOZYCJI OSADÓW WYPEŁNIAJĄCYCH ROZMYCIA

Opisywane rynnowe rozmycia erozyjne wypełnione są dobrze wysortowanymi piaskami drobnoziarnistymi. Regułą jest występowanie w podprądowych partiach rozmyć nachylonej laminacji równoległej, reprezentującej struktury o charakterze mikrodeltowym — człon a sekwencji (fig. 4A).

Osady stanowiące zasadniczo trzon wypełnień wykazują przekątne warstwowania wstępujące — człon c (fig. 4A, B). Postępując zgodnie z kierunkiem przepływu, rozwija się sekwencja riplemarków wstępujących: A—B₁—B₂. Natomiast w profilu pionowym zarejestrowano następowanie: A—B₁—B₂—S. Takie sekwencje strukturalne świadczą o zmniejszaniu

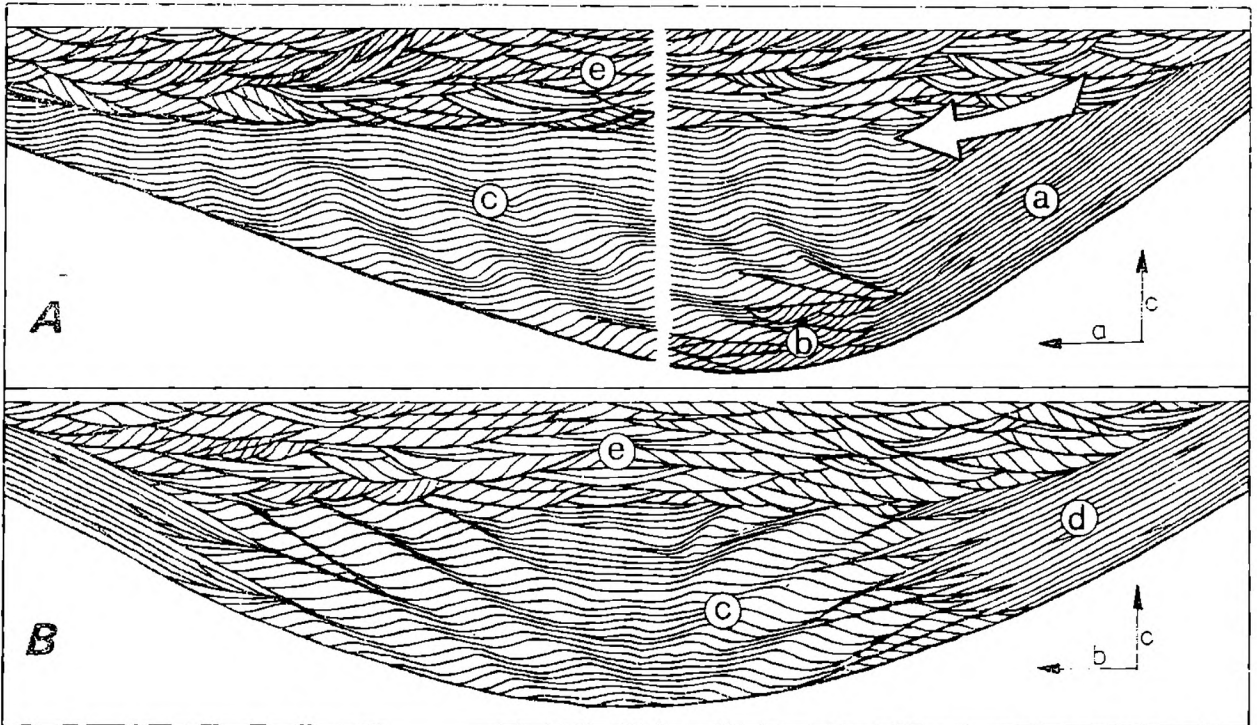


Fig. 4. Zbiorczy schemat struktur osadów wypełniających rozmycia erozyjne. Skala 1 : 25. A — w przekroju podłużnym; B — w przekroju poprzecznym. Opis w tekście
Fig. 4. Compiled structural scheme of sediments infilling erosional washouts. Scale 1 : 25. A — in longitudinal section; B — transverse-section. Description in text

szaniu prędkości przepływu i wzroście udziału depozycji z zawiesiny wraz z odległością od proksymalnej kawędzi rozmycia, jak i z czasem trwania depozycji. Odmienne zróżnicowania przepływów notowano w przekrojach poprzecznych. Prądy skierowane na zewnątrz, ku brzegom obniżzeń, wykazywały wzrost prędkości, czego dowodzi występowanie sekwencji strukturalnej: B—A-laminacja równoległa (przejście od członu c do d) — fig. 4B. Zachodziło to na skutek zmniejszającej się głębokości ośrodka wodnego w brzeżnych partiach rozmyć erozyjnych.

Po zasadniczym etapie akumulacji osadów zapelniających rozmycia do 3/4 ich głębokości, nastąpiło osadzenie odmiennego pod względem strukturalnym członu e. Są to piaski wykazujące przekątne warstwowanie rynnowe małej skali. O ile w poprzednich etapach depozycji powstawały struktury wyraźnie agradacyjne, zdążające do uzyskania stanu równowagi dna, to okres tworzenia tej części wypełnienia związany już był ze stanem równowagi. Sytuacja ta powodowana była zmniejszaniem głębokości ośrodka wodnego.

Parametry teksturalne piasków wypełniających rozmycia prześledzono w świetle zależności pierwszego percentilu C od mediany M (Passegga, 1957, 1964). Dane wykazały silną koncentrację w obrębie pola przejściowego między depozycją z zawiesiny jednorodnej i frakcjonalnej, bez wyraźniejszych różnic, które uwarunkowane byłyby odmiennymi postaciami strukturalnymi osadów.

Rozkład kierunków lokalnych prądów w obrębie rozmyć był zmienny i uzależniony od morfologii wypełnianych osadem obniżień. Zgodność między ukierunkowaniem struktur depozycyjnych i osi rynien zachodzi tylko w ich partiach środkowych. Na brzegach rozmyć rozbieżności kierunków w stosunku do osi form dochodzą do 90°. Stąd płynie konkluzja, że przy wnioskowaniu o kierunkach paleoprzepływów należy zachować daleko idącą ostrożność.

Analizując ogólną sytuację opisywanych osadów, autor przypuszcza, że depozycja piasków zachodziła w środowisku podwodnych stożków fluwioglacjalnych. Wskazuje na to jednolite wykształcenie litologiczne utworów drobnoziarnistych, ich znaczna miąższość, występowanie dużych rozmyć erozyjnych, a zwłaszcza specyficzny charakter sekwencji strukturalnych w osadach wypełnień. Opisywane rozmycia erozyjne tworzyły się lokalnie na skutek sporadycznie działających, intensywnych prądów podwodnych. Tego typu procesy stwierdzone były na podstawie odsłonień naturalnych, jak i eksperymentalnie (McKee, 1957; Harms, Fahnestock, 1965; Theakstone, 1976). Na uwagę zasługuje wielkoskalowość rozmyć wyraźnie kontrastująca z charakterem wypełnień. Étap powstawania dużych rozmyć erozyjnych musiał wiązać się z gwałtownymi, ponadkrytycznymi przepływami. Takie skrajnie wysokoenergetyczne przepływy są łatwo wytłumaczalne w środowiskach fluwioglacjalnych. Dynamika wód ablacyjnych jest wyjątkowo zmienna, silnie uzależniona od niewielkich nawet wahań termicznych otoczenia lądolodu. Maksima „fal powodziowych” współczesnych odpływów fluwioglacjalnych przewyższające 10-krotnie średnie stany wód (Bradley et al., 1972) mogą być paralelizowane z plejstocenijskimi warunkami hydrodynamicznymi. Struktury depozycyjne osadów wypełniających rozmycia sugerują wyraźnie niskoenergetyczne warunki akumulacji. Ta gwałtowna zmiana mobilności ośrodka wodnego wskazywać również może na zbiornikowe środowisko sedymentacji.

Podkreślić należy, że rynnowe rozmycia erozyjne dużej skali z wypełnieniami o opisywanej postaci strukturalnej nie były dotychczas znane z osadów plejstocenijskich.

Warunki zbiornikowej sedymentacji osadów fluwioglacjalnych stanowiąc mogą poszlakę wskazującą na wpływ subsydencji neotektonicznej w regionie Bełchatowa podczas zlodowacenia środkowopolskiego. Potwierdzałoby to tezę Biernata (1968) o plejstocenijskiej aktywności neotektonicznej rejonu rowu Kleszczowa.

Autor dziękuje dr K. Malik oraz doc. dr. R. Więckowskiemu za szereg pomocnych uwag udzielonych w trakcie pracy nad niniejszym artykułem.

WYKAZ LITERATURY — REFERENCES

- Allen J. R. L. 1965. Sedimentation to the lee of small underwater sand waves: an experimental study. *J. Geol.* 73, 1: 95—116.
- Allen J. R. L. 1971. A theoretical and experimental study of climbing-ripple cross-laminated deposits. *Sedimentology* 14: 5—26.
- Allen J. R. L. 1970 b. The avalanching of granular solids on dune and similar slopes. *J. Geol.* 78: 326—351.
- Allen J. R. L. 1971. A theoretical and experimental study of climbing-ripple cross-lamination, with a field application to the Uppsala esker. *Geogr. Annaler*, 53A, 3—4: 157—187.
- Allen J. R. L. 1973a. A classification of climbing-ripple cross-lamination. *J. Geol. Soc. London*, 129: 537—541.
- Allen J. R. L. 1973 b. Features of cross-stratified units due to random and other changes in bed forms. *Sedimentology* 20: 189—202.
- Biernat S. 1968. Problemy tektoniki i morfologii stropu mezozoiku między Bełchatowem a Działoszynem. Tectonical and morphological problems of the Mesozoic top between Bełchatów and Działoszyn. *Kwart. geol.* 12, 2: 296—307. Warszawa.
- Bradley W. C., Fahnestock R. K., Rowekamp E. T. 1972. Coarse sediment transport by flood flows on Knik River, Alaska. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 83: 1261—1284.
- Collinson J. D. 1970. Bedforms of the Tana River, Norway, *Geogr. Annaler* 52A, 1: 31—55.
- Curray J. R. 1956. The analysis of two-dimensional orientation data. *J. Geol.* 64, 2: 117—131.
- Folk R. L., Ward W. C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.* 27: 3—26.
- Gradziński R., KostECKA A., Radomski A., Unrug R. 1976. Sedymentologia. S. 614. Wyd. Geol. Warszawa.
- Harms J. C., Fahnestock R. K. 1965. Stratification, bed forms, and flow phenomena (with an example from the Rio Grande). (w: Primary Sedimentary Structures and Their Hydrodynamic Interpretation, ed. Middleton C. V.). *SEPM Spec. Publ.* 12: 84—115.
- Jopling A. V. 1966. Some principles and technique used in reconstructing the hydraulic parameters of a paleo-flow regime. *J. Sediment. Petrol.* 36, 1: 5—49.
- McCabe P. J., Jones C. M. 1977. Formation of reactivation surfaces within superimposed deltas and bedforms. *J. Sediment. Petrol.* 47, 2: 707—715.
- McKee E. D. 1957. Flume experiments on the production of stratification and cross-stratification. *J. Sediment. Petrol.* 27: 129—134.
- Passega R. 1957. Texture as characteristic of clastic deposition. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.* 41: 1952—1984.
- Passega R. 1964. Grain size representation by CM patterns as a geological tool. *J. Sediment. Petrol.* 34: 830—847.
- Picard M. D., High L. R. jr. 1973. Sedimentary structures of ephemeral streams. *Developments in Sedimentology*, 17: 1—223. Elsevier, Amsterdam.
- Reineck H.-E. 1961. Sedimentbewegungen an Kleinrippeln im Watt. *Senckenbergiana Lethaea* 42: 51—61.
- Reineck H.-E., Singh I. B. 1973. Depositional Sedimentary Environments.: 1—439. Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg—New York.
- Srodoń J. 1974. An interpretation of climbing-ripple cross-lamination. *Roczn. Pol. Tow. Geol.* 44, 4: 449—474. Kraków.
- Theakstone W. H. 1976. Glacial lake sedimentation, Austerdalsisen, Norway. *Sedimentology*, 23: 671—688.

SUMMARY

Abstract. In the paper there is described a sequence of depositional structures in a wash-out infilling found in fluvio-glacial sands.

In the brown coal bearing deposits in Bełchatów, Central Poland, numerous erosional washouts have been observed. These occur within a series of fine-grained Pleistocene fluvio-glacial sands (Fig. 1) and have dimensions of up to 7 m in length, 3.5 m width, and 1.8 m in depth, and are infilled with well-sorted, fine-grained sands. In the upcurrent direction of the washouts inclined parallel-laminated sets are found to occur, — the so-called *a* -member (Fig. 4A; Pl. 1, Fig. 1; Pl. II, Fig. 2). These are derived from the avalanche-like sedimentation of material transported to the edge of the washout by migrating ripples. In the downcurrent direction, this type of lamination grades into small-scale trough cross lamination — the *b* -member, and climbing-ripple cross lamination, named the *c* -member. (Fig. 4A; Pl. 1, Fig. 1). In the *c* -member the following sequences have been observed; Horizontally, in the direction of flow, A—B₁—B₂ (Allen 1970a) and vertically, A—B₁—B₂—S (Fig. 2). In both cases intensity of the traction transport and flow velocity decreased. In transverse section, paleohydrodynamic conditions were different. Currents were locally directed out towards the periphery of the depression (Fig. 3), where the decreasing depth of flow caused an increase in its velocity. This is shown by the sequences occurring in the transverse sections from the center to the edges of the washout, or from the *c* -member to the *d* -member: B—A-parallel lamination (Fig. 4B; Pl. I, Fig. 2).

Sediments of the *a* — *d* -members form the basic core of the infillings and attain three-fourths of its thickness. These are dominated by aggradational structures (deltaic inclined parallel lamination — *a*, and climbing ripple cross-lamination — *c*) which correspond to stream states approaching bottom equilibrium profile.

Crown sets filling the depressions display small-scale trough cross-lamination — member *e* (Fig. 4; Pl. I; Fig. 1). The existence of erosional boundaries between the sets points to an equilibrium state of the bottom, caused by the shallowing of the flow.

The orientations of the described sediments in relation to other deposits in the confines of the mine, their fine-grained character, lithologic homogeneity, the wide range in dimensions of the washouts and the character of their infillings all point to the fact that the sands were deposited in a pond or depression. Erosional washouts occurred as a result of strong currents within the sedimentary basin. In the case of fluvio-glacial environments, a sudden change in the mobility of the medium can be explained by the specific hydrodynamics of ablational wa-

ters, which cause rivers to swell very rapidly. The low energy character of sediments filling the washouts clearly contrast with the wide range of erosional forms. The deposition of these sediments must be correlated with the time of low energy of fluvio-glacial currents, when fine-grained material, mainly from suspension, was deposited in the sedimentary basin.

Translated by Michael A. Kamiński

OBJAŚNIENIE PLANSZ — EXPLANATION OF PLATES

Plansza — Plate I

- Fig. 1. Przekrój podłużny przez proksymalną partię rozmycia erozyjnego. Od prawej nachylona laminacja równoległa (człon *a*) przechodząca ku lewej w zestawy riplemarków wstępujących (człony *b* i *c*). W górze przekątne warstwowanie rynnowe małej skali (człon *e*) zamykające wypełnienie. Strzałka wskazuje kierunek paleoprzepływu.
- Fig. 1. Longitudinal section through the proximal part of an erosional washout. From right to left — inclined parallel lamination (*a*-member) grading into a set of climbing ripples (*b* and *c*-members). Toward the top—small scale trough cross-lamination (*e*-member) topping of the infilling. Arrow shows the paleocurrent direction.
- Fig. 2. Przekrój poprzeczny przez marginalną część rozmycia erozyjnego. Szpachla stoi na powierzchni rozmycia. Ku brzegowi obniżenia przekątne warstwowanie wstępujące (*c*) przechodzi w laminację równoległą (*d*). Strzałka wskazuje kierunek paleoprzepływu.
- Fig. 2. Cross-section through the marginal part of an erosional washout. The spatula lies on the surface of the washout. Toward the edge of the depression climbing-ripple cross-lamination (*c*), grades into parallel lamination (*d*). Arrow shows paleocurrent direction.

Plansza — Plate II

- Fig. 1. Główny trzon wypełnienia rozmycia erozyjnego (*c*). Małoskalowa sekwencja: przekątne warstwowanie wstępujące typu A—B — laminacja pozioma. Skala 30 cm.
- Fig. 1. Main core of the erosional infilling (*c*). Small scale sequence: climbing-ripple cross-lamination A—B types — horizontal lamination. Scale 30 cm.
- Fig. 2. Osady starszego rozmycia (laminacja pozioma oraz przekątne warstwowanie wstępujące (*e*) rozcięte proksymalną partią młodszego rozmycia (*a* — nachylona laminacja równoległa). Przekrój podłużny. Skala 30 cm. Strzałka wskazuje kierunek paleoprzepływu.
- Fig. 2. Older washout deposits (horizontal lamination and climbing-ripple cross-lamination *e*) intersected by the proximal part of a younger washout (*a* — inclined parallel lamination). Longitudinal section. Scale 30 cm. Arrow shows paleocurrent direction.

- Fig. 3. Przekrój poprzeczny przez skłon rozmycia. W kierunku brzegu rozmycia przekątne warstwowanie wstępujące (c) przechodzi w nachyloną laminację równoległą (d). W górze wielozestaw przekątnego warstwowania wstępującego typu A (e) zamykający wypełnienie obniżenia. Skala 30 cm.
- Fig. 3. Cross section through the slope of a washout. In the peripheral direction, climbing-ripple cross-lamination grades into inclined parallel lamination (d). Toward the top a set of type A (e) climbing-ripple cross-lamination filling up the depression. Scale 30 cm.



