

ZNACZENIE POŁOŻENIA ŚRODKA CIĘŻKOŚCI W OTOCZAKACH DLA ICH ORIENTACJI W OSADZIE

UKD552.517.1531.24-3].004.13:552.142/.143(1-191)

Pomiar orientacji żwirów w osadzie pozwala na określenie kierunku transportu kopalnych osadów grubookruchowych, gdyż otoczaki spłaszczone zajmują określoną pozycję względem środowiska ruchu – ich największe przekroje (AB) są nachylone pod prąd. Co do orientacji osi A otoczków płaskich, ułożonych dachówkowato, brak jednakże zgodności poglądów. Część badaczy, jak np. Krumbein (6), reprezentuje pogląd, że wydłużone żwiry są zorientowane równoległe do kierunku prądu, inni jak np. Johansson (4, 5), że zachowują one orientację poprzeczną. Kürsten (7) podaje, że przy nagłym zaniku prędkości przepływu, oś A ustawia się poprzecznie do kierunku ruchu wody ($A \parallel b$), przy powolnym jej opadaniu – równoległe ($A \parallel a$).

Stwierdzono również, że sposób uporządkowania otoczków w osadzie zależy od frakcji żwirów. Według Brinkmanna (1), rozsiew w ułożeniu osi A wzrasta w miarę wyrównania frakcji ziarna. Unrug (9) reprezentuje pogląd, zgodnie z którym ułożenie podłużne mają zazwyczaj otoczaki największe w danym materiale, żwiry średniej wielkości układają się poprzecznie w stosunku do kierunku prądu, natomiast najmniejsze nie wykazują wyraźnej orientacji. Dziedzic (2) stwierdza na podstawie diagramów kolistych, że osie A zajmują obydwie pozycje i że położenie prostopadłe względem prądu zdaje się być bardziej uprzywilejowane. Teisseyre (8) badał wpływ brzegów koryta na ułożenie otoczków, celem wypracowania sposobów interpretacji diagramów, nie tylko dla ustalenia kierunków transportu, lecz także dla badań nad dawnym środowiskiem rzeczonym. Ustalił on m.in., że kierunki przelatywów sugerowanych przez główne maksima na diagramach orientacji otoczków są często odchyłone o pewien kąt (nawet równy prostemu) od rzeczywistych kierunków transportu oraz podał, że w korytach aluwialnych ułożenie żwirów jest

zjawiskiem kontrolowanym m.in. przez wpływ brzegów koryta.

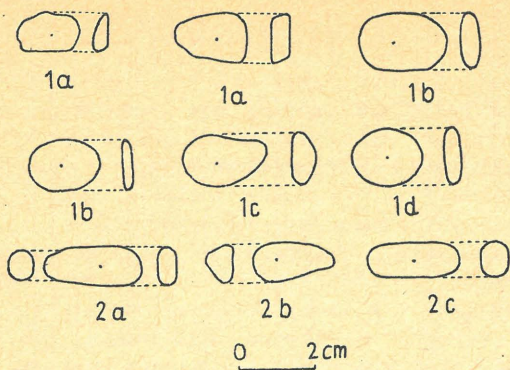
Przedstawione niżej eksperymenty wykazały, że ważnym czynnikiem wpływającym zarówno na przebieg transportu na dnie rzeki, jak i na ostateczną orientację ziarn należących do tej samej klasy kształtu jest położenie ich środka ciężkości.

WARUNKI BADAŃ

Do badań wykorzystano otoczaki piaskowcowe długości 10–25 mm, elipsoidalne i wrzecionowate. Obserwano zachowanie ziarn, których środek ciężkości znajdował się w środku osi A oraz otoczków z jednego końca pogrubionych lub o szerszym przekroju w płaszczyźnie AB (tab. I, ryc. 1). Położenie środka ciężkości określano dla wybranych typów ziarn przez podwieszenie na nitkach przyklejonych w 3 punktach największego obwodu (ryc. 2). Do doświadczeń użyto okruchów o powierzchni pokrytej białą farbą (dla lepszej widoczności na dnie) oraz o powierzchni naturalnej; pomiędzy zachowaniem obydwu grup nie dostrzeżono różnic. Badane otoczaki układano na dnie za pomocą pensety, najdłuższą osią (A) zawsze równoległe do dna oraz poprzecznie do kierunku prądu. Obserwacje wykonano w latach 1973–74 na naturalnym dnie rzeki Raby. Zaobserwowano:

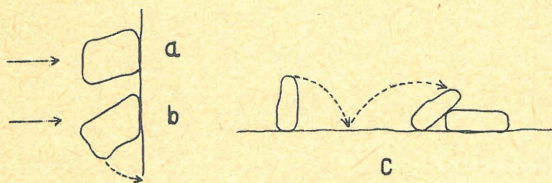
a) płyty skalne o różnym stopniu chropowatości (lokalny spadek = 40‰, głębokość przepływu = 10,12 cm, prędkość prądu = 1,4 m/s);

b) zerodowane bloki piaskowcowe, tworzące na odcinku kilku metrów wyrównany odcinek dna (lokalny spadek = 80–90‰, głębokość = 30–35 cm, prędkość wody = 1,9 m/s).



Ryc. 1. Przykłady rodzajów ziarn wykorzystanych do badań. Oznaczono położenie środka ciężkości (objaśnienia znaków literowych wg tab. I).

Fig. 1. Examples of types of grains covered by the studies. Position of gravity centre is shown (for explanations of letter symbols see Table I).



Ryc. 4. Depozycja ziarn słabo obtoczonych.

a – otoczek odbywający ruch ślizgowy zatrzymuje się przed przeszkodą, brak reorientacji, b – reorientacja osi A do kierunku A||b, c – toczone po dnie okruchy skalny opiera się o przeszkodę na drodze ruchu.

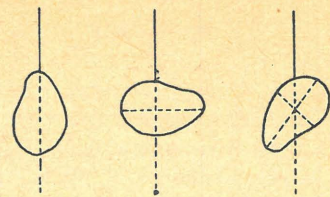
Fig. 4. Deposition of weakly rounded grains.

a – pebble moving by sliding is stopped in front of obstacle, no reorientation, b – reorientation of axis A to direction A||b, c – rock fragment rolling on river bottom is stopped at obstacle situated at its way.

WYNIKI

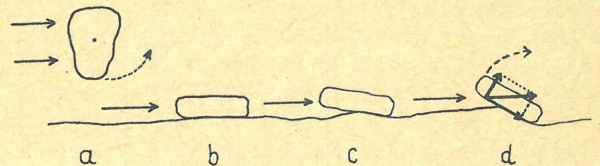
I. Ziarna elipsoidalne o niskim stopniu obtoczenia (tab. I, poz. 1a). Po ich ułożeniu na dnie następuje obrót wokół środka ciężkości (ryc. 3) i niemal równocześnie rozpoczyna się transport. Gdy ziarno przylega całą powierzchnią jednej ze swoich ścian do podłoża ruchu (gładka płyta skalna pokryta warstwą śluzowców), jest to zawsze ruch posuwisty. Na równym podłożu, u tego typu ziarn nie obserwowano przejścia ruchu ślizgowego w toczenie. Podczas ślizgu położenie osi A zmienia się wielokrotnie, zawsze jednak w płaszczyźnie poziomej. Sam ruch odbywa się zgodnie z kierunkiem prądu, w przybliżeniu po linii prostej. Ten sposób transportu jest możliwy tylko na równej powierzchni płyt skalnych.

Wyraźniejsze nierówności w podłożu transportu (skorodowana powierzchnia głazu) powodowały przejście ślizgu w ruch toczący. Odbywało się to wówczas, gdy doprądowa część obserwowanego okrucha została uniesiona ponad dno (ryc. 3c). W doświadczeniach warunkiem zapoczątkowania toczenia było więc powstanie po doprądowej stronie sunącego okrucha przestrzeni pomiędzy dnem a dolną jego powierzchnią. Następuje tam rozkład siły prądu



Ryc. 2. Sposób wyznaczania środka ciężkości u otoczków.

Fig. 2. The method of reckoning centre of gravity in pebbles.



Ryc. 3. Transport ziarn słabo obtoczonych (strzałki oznaczają kierunek prądu).

a – obrót wokół środka ciężkości poprzedzający transport, b – ziarno przylega całą ścianą do podłoża – ruch ślizgowy, c – warunek przejścia ślizgu w toczenie: uniesienie doprądowej części otoczaka, d – rozkład siły prądu umożliwiający odwrócenie doprądowej części kamienia i przejścia do ruchu toczącego.

Fig. 3. Transport of weakly rounded grains (arrows show direction of flow).

a – transport preceding rotation around centre of gravity, b – grain adjoins river bottom with its whole surface – motion by sliding, c – prerequisite for passage from sliding to rolling: upstream part of pebble is uplifted, d – resolution of current forces which makes possible reorientation of upstream part of pebble and passage to motion by rolling.

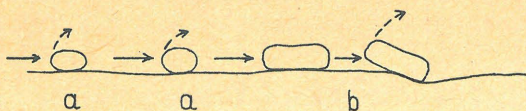


Ryc. 5. Wielkość nachylenia płaszczyzny AB pod prąd zależy od „fazy” ruchu toczącego.

Fig. 5. Magnitude of inclination of the plane AB in relation to flow direction, depending on „phase” of movement by rolling.

działającej równoległe do dna na dwie składowe; jedna z nich umożliwia odwrócenie doprądowej części okrucha (ryc. 3d), a tym samym zapoczątkowuje toczenie. Przebiega ono nieregularnie nawet na wyrównanej powierzchni, gdyż w toku transportu bezładnie zmienia się położenie osi A – chwilami przyjmuje ona nawet pozycję pionową.

W naturalnym korycie rzeki żwiru podczas swojego ruchu natrafiają na przeszkody – są to inne kamienie tworzące dno, których przy określonej prędkości nurtu nie potrafią przekroczyć. W celach doświadczalnych nagromadzono na obserwowanych odcinkach wyrównanego dna, poprzecznie do kierunku prądu, otoczaki zbliżone wielkością do użytych w eksperymencie, oparte z kolei o większe kamienie, stabilne przy danej prędkości przepływu. Po natrafieniu na przeszkodę okruchy odbywające ruch ślizgowy nie zmieniały swojego położenia lub ustawiły się osi A równoległe do przeszkody; nasunięcia na przeszkodę nie obserwowano (ryc. 4). Zatrzymanie toczącego się ziarna powodowało niemal zawsze jego imbrakację. Wielkość nachylenia płaszczyzny AB pod prąd, u tego samego okrucha użytego wielokrotnie do doświad-

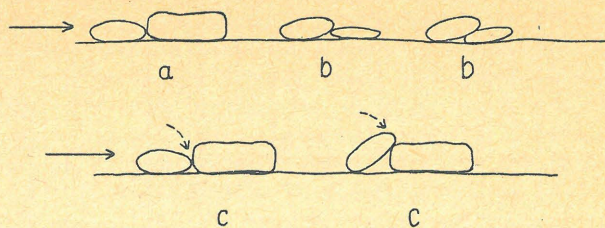


Ryc. 6. Transport ziarn dobrze obtoczonych.

a – toczenie drobnych ziarn, b – przejście większych ziarn z ruchu ślizgowego w toczenie przy tej samej prędkości.

Fig. 6. Transport of well-rounded grains.

a – rolling of fine grains, b – passage of coarse grains from movement by sliding to rolling when velocity remains the same.



Ryc. 7. Depozycja ziarn dobrze obtoczonych.

a – dosunięcie do wysokiej przeszkody, b – nasunięcie ziarna na niską przeszkodę – wielkość nachylenia pod prąd zależy od prędkości przepływu, c – ziarno toczone po dnie pozostaje przed przeszkodą lub opiera się na niej – wielkość nachylenia zależy od „fazy” obrotu.

Fig. 7. Deposition of well-rounded grains.

a – pushing up to high obstacle, b – thrusting grain over low obstacle – magnitude of inclination in relation to current direction depends on velocity of flow, c – grain rolled on the bottom is stopped in front of obstacle or pushed up to it – magnitude of inclination depends on „phase” of rotation.

Tabela I

RODZAJE ZIARN WYKORZYSTANYCH DO BADAŃ

Symbol	Kształt	Obtczenie wg wizualnego wzorca Krumbeina	$\frac{A+B}{2C}$	A : B
1a	elipsoidalny	0,4	3–3,2	1,3–1,7
1b	„	0,7–0,8	3,8–5	1,4–1,5
1c	„	0,7	2,8–3	1,5–1,6
1d	„	0,9	3,3	2,3
2a	wrzecionowaty	0,6	1,9–2,3	2,8
2b	„	0,6	1,8	2,4
2c	„	0,9	2,6	2,4

Tabela II

ORIENTACJA OSI A OTOCZAKÓW W WARUNKACH DOŚWIADCZALNYCH

Kształt	Symbol ziarna wg tabeli I	Przeważający sposób orientacji osi A	Uwagi
elipsoidalny	1a	brak prawidłowości	
„	1b	A b	
„	1c	A a	
„	1c	brak prawidłowości	wymuszona pozycja ziarna
„	1d	A b	
wrzecionowaty	2a	A b	
„	2b	A a	
„	2b	brak prawidłowości	wymuszona pozycja ziarna
„	2c	A b	

czeń, była w analogicznych warunkach eksperymentu różna, zależnie od „fazy” toczenia w chwili zetknięcia z przeszkodą (ryc. 5). W położeniu osi A nie dostrzeżono prawidłowości. Dla końcowej orientacji okruchów z nieznacznie przesuniętym środkiem ciężkości (ryc. 1, poz. 1a) istotne znaczenie miała pozycja osi A w momencie unieruchomienia ziarna; zwykle pozostawało ono w położeniu w jakim zetknęło się z przeszkodą. Reorientację zgodnie z kierunkiem ruchu wody obserwowano w 15% przypadków.

II. Dobrze obtoczone ziarna elipsoidalne. Obtoczenie drobnoziarnistych żwirów piaskowcowych (10–25 mm) jest dość równomierne i w związku z tym ich środek ciężkości jest zwykle tylko nieznacznie przesunięty w stronę jednego z biegunów osi A (tab. I, poz. 1b). Do tej grupy należy 60–70% drobnych okruchów skalnych znajdujących na dnie rzeki. Transport ich odbywa się od pierwszej chwili przez toczenie, nawet na wyrównanym podłożu (ryc. 6a). Tylko wówczas, gdy zaokrąglenie naróży jest nieznaczne a otoczek użyty do doświadczeń duży (około 25 mm długości) początkowo następuje sunięcie i dopiero przy podniesieniu strony doprądowej ruch ten przechodzi w toczenie (ryc. 6b). Podczas toczenia na wyrównanym dnie oś A tylko w nieznacznym stopniu odchyła się od położenia poziomego, gdy na podłożu po którym odbywa się transport występują wyraźniejsze nierówności, ruch przechodzi w nieregularny. Otoczki o wysokim stopniu spłaszczenia ($\frac{A+B}{2C} > 3$) poruszają się na przemian przez poślizg i toczenie; przeważa to ostatnie.

Przy transporcie ślizgowym występowały dwa sposoby zamierania ruchu: dosunięcie do wysokiej przeszkody (ryc. 7a) lub nasunięcie na niską (ryc. 7b), przy czym im mniejszy był obserwowany otoczek, tym samym wyraźniejsze przy tej samej prędkości prądu nasunięcie na leżący na dnie płaski kamień. Przy ruchu posuwistym dla wielkości nachylenia płaszczyzny AB istotne znaczenie miała więc

prędkość prądu. W tym przypadku imbrykacja była następstwem wzrastającego oporu na drodze sunącego po dnie ziarna. Ten rosnący opór prowadzi ostatecznie do zamarcia ruchu i ziarno pozostaje w pozycji nachylonej, płaszczyzną największego przekroju pod prąd.

W rzecie o dnie kamienistym ruch ślizgowy drobnych fragmentów skalnych należy do wyjątków, transport odbywa się przez toczenie. Zależnie od jego fazy otoczek pozostaje przed przeszkodą lub oparty na niej (ryc. 7c). Imbrykacja jest w tym przypadku rezultatem nagłego zamarcia ruchu toczącego na przeszkodzie, której przy określonej prędkości wody otoczek nie potrafi przekroczyć. Wielkość nachylenia płaszczyzny AB pod prąd zależała przede wszystkim od fazy obrotu w jakiej znajdował się otoczek w chwili, gdy nastąpiło ustanie jego transportu. W tej grupie doświadczeń nie dostrzeżono związku między prędkością przepływu a kątem nachylenia płaszczyzny AB. W kilku przypadkach obserwowano ziarna, których ruch został powstrzymany w momencie, gdy oparły się o przeszkodę w położeniu bardzo stromym, bliskim pionowego. Pojedyncze żwiry używane do eksperymentów nie utrzymywały się jednak w tej pozycji. Jej utrwalenie jest możliwe tylko przy szybkiej depozycji kolejnych okruchów. Orientacja osi A była zróżnicowana zależnie

od położenia środka ciężkości. Gdy ten ostatni był nieznacznie odsunięty od punktu centralnego (ryc. 1, poz. 1b), przeważało położenie $A||b$. U ziarn o asymetrycznym rozłożeniu masy (ryc. 1, poz. 1c) reorientacja jest zjawiskiem powszechnym: oparty na przeszkodzie otoczek zajmuje położenie zgodne z kierunkiem prądu ($A||a$).

III. Otoczki elipsoidalne o środku ciężkości położonym w centralnym punkcie osi A . Brak obrotu w chwili zapoczątkowania ruchu. Podczas toczenia na gładkiej powierzchni płyty skalnej oś A utrzymuje położenie w przybliżeniu równoległe do podłoża i prostopadłe do kierunku prądu, ruch przebiega po linii prostej. Wyraźniejsze nierówności dna powodują nieregularne toczenie z odchyleniami od tej linii. Po nagłym ustaniu transportu na skutek oparcia na przeszkodzie, ziarno tego typu pozostaje zwykle w pozycji jaką zajmowało w momencie zamierania ruchu. W grupie tej brak reorientacji do położenia $A||a$.

IV. Otoczki wrzecionowate. W warunkach naturalnych nie natrafiono w przedziale wielkości 10–25 mm na żwiru o symetrycznym rozkładzie masy. Ponieważ środek ciężkości jest u nich zawsze przesunięty w kierunku jednego z biegunów osi A , toteż transport nawet na gładkiej płycie skalnej przebiega nieregularnie. Gdy przesunięcie środka ciężkości jest znaczne (ryc. 1, poz. 2b), oś A przyjmuje podczas toczenia okrucha wszelkie możliwe pozycje w przestrzeni. Obydwa typy ziarn (ryc. 1, poz. 2a i 2b) różnią się istotnie pod względem sposobu orientacji osi A . W pierwszym przypadku przeważa kierunek $A||b$, w drugim $A||a$.

Dla celów porównawczych obserwowano okruchy margli (ścierane dla uzyskania pożądanego kształtu), o środku ciężkości położonym w połowie osi A (ryc. 1, poz. 2c). Ich ruch odbywa się po równym podłożu poprzez toczenie przebiegające w linii prostej. Z przeszkodą na swojej drodze spotykają się w położeniu prostopadłym do niej lub tylko nieznacznie odchylonym od tego położenia. Reorientację do kierunku zgodnego z prądem obserwowano w 10–15% przypadków. Pozostałe otoczki zachowywały położenie równoległe do przeszkody, która zablokowała ruch.

V. Znaczne różnice między rozmiarem transportowanego ziarna i wielkością żwiru tworzącego podłoże transportu. Na dnie grubookruchowym akumulacja drobnych ziarn następuje często na granicy dużych kamieni, gdzie zawsze występują zagłębienia i nierówności. Eksperymentom poddano otoczki wrzecionowate i dyskoidalne o asymetrycznym rozkładzie masy, które w poprzednich doświadczeniach podlegały reorientacji do pozycji $A||a$. Zamieranie ruchu na dnie grubookruchowym następowało zawsze w sposób nagły. Otoczek zostawał wtłoczony w zagłębienia między dużymi kamieniami przy prędkości przepływu przekraczającej 1,5–2,5 razy prędkość transportową podawaną dla danej średnicy (3). Okruch użyty do doświadczeń był każdorazowo przechwytywany na granicy dużych brył tworzących dno a więc deponowany w położeniu wymuszonym. Nie obserwowano zmiany położenia osi A już po ustaniu toczenia. Przyczyną był prawdopodobnie brak dostatecznej przestrzeni dla wykonania przez drobne okruchy obrotu wokół środka ciężkości. Ułożenie otoczek było dostosowane do wymuszonych warunków depozycji, toteż nie obserwowano prawidłowości w ich orientacji. Dokładniejszy pomiar osi A drobnych żwirów na dnie rzeki w warunkach szybkiego przepływu nie był możliwy. Stwierdzono jedynie, że kierunek $A||a$ z odchyleniem około 3° w każdą stronę, zajmowało w przybliżeniu 10% otoczek użytych do doświadczeń.

Wielkość wydłużenia, położenie środka ciężkości oraz siła prądu nie miały znaczenia w tym eksperymencie.

LITERATURA

1. Brinkmann R. — Gerichtete Gefüge in klastischen Sedimenten. Geologische Rundschau 1955 Bd. 43.
2. Dzedzic K. — Orientacja otoczek i jej geologiczne znaczenie. Geol. Sudetica 1964 vol. 1.
3. Hjultström F. — Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris. Bull. of the geol. Inst. of Univ. Uppsala 1935 vol. XXV.
4. Johansson C. E. — Orientation of pebbles in running water. A laboratory study. Geogr. Ann. 1963 vol. 45.
5. Johansson C. E. — Structural studies of sedimentary deposits. Geol. Förening i Stockh. Förhandl. 1965 vol. 87.
6. Krumbain W. C. — Flood gravel of San Gabriel Canyon, California. Bull. Geol. Soc. America 1940 vol. 51.
7. Kürsten M. — Zur Frage der Geröllorientierung in Flussläufen. Geologische Rundschau 1960 Bd. 49.
8. Teisseyre A. K. — Pebble fabric in braided stream deposits with examples from recent and „frozen” Carboniferous channels (Intrasudetic Basin, Central Sudetes). Geol. Sudetica 1975 vol. X.
9. Unrug R. — Współczesny transport i sedymentacja żwirów w dolinie Dunajca. Acta Geol. Pol. 1957 vol. VII.

SUMMARY

The position of centre of gravity in a pebble bears a marked influence on mode of its movement on river bottom. When the position is asymmetrical, the axis A is subjected to repeated changes of orientation in space during transport. Such mode of movement, in turn, influences orientation of the axis A when rolling is suddenly stopped. The change in orientation of the axis A to that consistent with direction of flow ($A||a$) takes place in gravels with gravity centre markedly translocated towards one of poles of the axis. Other pebbles usually retain their orientation from the time when their transport was stopped. Grains similar in size and of the same class of shape behave in different ways during deposition, depending on position of centre of gravity.

РЕЗЮМЕ

Положение центра тяжести гальки имеет основное значение для способа её движения на дне реки. При асимметричном положении центра тяжести ось A во время транспорта многократно изменяет своё положение в пространстве. Такой способ движения оказывает влияние на ориентацию оси A при внезапном прекращении катания. Изменение положения оси A в позицию согласную с направлением течения ($A||a$) имеет место в таких гравиях, в которых центр тяжести перемещен в сторону одного из полюсов оси A . Другая галька чаще всего занимает позицию, которую она имела в моменте прекращения транспорта. Зерна имеющие подобную величину и принадлежащие к тому же классу формы ведут себя при депозиции разнообразно, в зависимости от положения их центра тяжести.