

## Mikroformy korytowe typu „cluster bedforms” – występowanie i znaczenie

Dorota Giriat\*, Karolina Kosieradzka, Urszula Roszczyda

Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, ul. Krakowskie Przedmieście 30,  
00-927 Warszawa

### Wprowadzenie

Nagromadzenia otoczków zwane *pebble clusters*, *cluster bedforms* lub *microforms* są formami depozycyjnymi występującymi powszechnie w zwirowanych korytach rzek roztokowych i górskich (Dal Chin 1968, Teisseyre 1975, 1977, Brayshaw 1984, Reid i in. 1992, De Jong 1995).

Uważa się, że powstawanie wspomnianych form w obrębie dna koryta jest efektem wzajemnego blokowania się ziaren różnych frakcji i zależy od kształtu, obrotowości, litologii, ilości dostępnego materiału w korycie oraz od warunków hydraulicznych koryta (Teisseyre 1977, Wittenberg 2002). Rozwój form wiązany jest z gwałtownym opadaniem fali wezbraniowej transportującej słabo wysortowany materiał, przy jednoczesnym występowaniu w korycie niemobilnych lub mało mobilnych osadów frakcji gładzowej (Dal Chin 1968). Formy typu *cluster bedforms* występują zwykle w korytach o spadkach w 0,002–0,07 (Gustavson 1974).

Typowe skupisko otoczków określone jako *cluster bedforms* tworzy z reguły kilka ziaren frakcji od 100 do 1200 mm, ułożonych w specyficzny, choć niekoniecznie uporządkowany sposób, np. mikroformy typu *imbrication* lub *complex cluster* (m.in.: Laronne, Carson 1976, Teisseyre 1977, Brayshaw 1984, Billi 1988, Hassan, Reid 1990, Reid i in. 1992, Sear 1992, De Jong 1995, Wittenberg 2002). Cechą charakterystyczną w/w skupień jest również ich dwukrotnie większa od szerokości długość.

Przegradzające dno koryta nagromadzenia otoczków o orientacji najdłuższej osi L poprzecznie do kierunku przepływu nazywane są *ribs* (de Jong 1995, de Jong, Ergenzinger 1995).

*Pebble cluster* w ujęciu Stroma i Papanicolaou (2007) nie oznaczają ogólnie mikroform korytowych (*microforms*), lecz nawiązują do charakterystyki Brayshawa (1984), który określa je jako stabilne pojedyncze otoczeki znacznej frakcji, za którymi imbrykacyjnie ułożone są otoczeki mniejsze.

Formy typu *unclustered bedforms* to ziarna różnych frakcji ułożone swobodnie bez wzajemnego blokowania się, kontaktujące się jedynie swoimi krawędziami. Tworzą one struktury *open bed* (np.: *infill*, *open bed non interlocked* lub *open bed interlocked*) (Billi 1988, Wittenberg 2002).

Występowanie nagromadzeń otoczków we współczesnych korytach rzecznych uważał Teisseyre (1977) za wskaźnikowe dla stwierdzenia warunków przepływu nadkrytycznego. Również inni badacze, tacy jak m.in.: Brayshaw (1984), Hassan, Reid (1990), Church i in. (1998), Radecki-Pawlik (2002) podkreślali wpływ *cluster bedforms* na stabilność koryta, kształtowanie warunków przepływu, proces sortowania osadów oraz włączanie materiału do transportu (*sediment entrainment*, *sediment motion*). Niejednokrotnie podkreślany jest też wpływ *cluster bedforms* na strukturę i morfologię koryta (Montgomery, Buffington 1997, Chin 2003). Kozłowski i Ergenzinger (1999) formy *ring clusters* uważają za odpowiedzialne za wzrost stabilności koryta i przypisują im rolę w kształtowaniu warunków hydrodynamicznych na równi z korytami typu step-pool oraz przeszkodami z rumoszu drzewnego.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie na przykładzie wybranego potoku górskiego zmienności występowania w profilu podłużnym mikroform depozycyjnych typu *cluster bedforms*. Z uwagi na brak, jak do tej pory, odpowiedniej i jednolitej

\* e-mail: dagiriat@uw.edu.pl

polskiej terminologii dotyczącej nagromadzeń otoczków w niniejszym artykule używane będą nazwy angielskie.

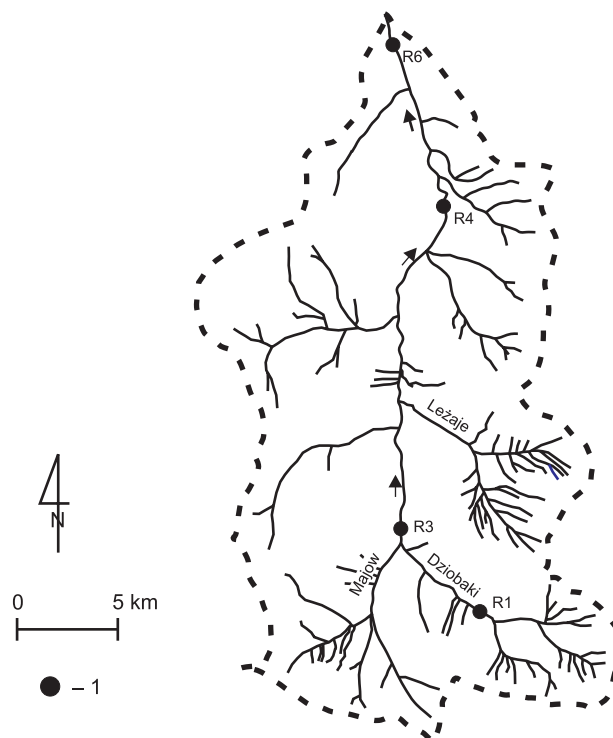
### Obszar i metody badań

Badania przeprowadzono w Beskidzie Żywieckim w korycie Potoku Rycerki (tab. 1). Wybrana do badań zlewnia należy do dorzecza Soły, a źródła potoku położone są w obrębie Pasma Rycerzowej (ryc. 1).

Zlewnię Potoku Rycerki budują głównie eocenijskie piaskowce gruboławicowe, zlepiénce oraz łupki i margle (Rączkowski i in. 1993). Głównym typem morfologicznym dolin są formy wciósowe ostre w górnych odcinkach rzek oraz płaskodenne, skrzynkowe w odcinkach środkowych i dolnych (Kosieradzka 2005). Morfologia koryt rzecznych jest uzależniona silnie m.in. od lokalnych warunków geologicznych, działań antropogenicznych (np.: regulacje, zwózka drzewa) oraz parametrów hydraulicznych koryta. Według typologii koryt Montgomery’ego i Buffingtona (1997) źródłowe odcinki Potoku Rycerki reprezentują typ koryt koluwalnych (*colluvial*), górny – kaskadowo-basenowych (*alluvial, step pool-cascade*), środkowy – wymuszonych, progowo-basenowych (*forced plane bed-step pool*) oraz zwirowych płaskich (*alluvial pool riffle-plane bed*), natomiast w dolnym biegu potoku można stwierdzić układ wymuszony odsypowo-przemiałowy (*forced riffle bar*) (Gariat i in. 2008).

Cechą charakterystyczną rzek na badanym obszarze jest duża zmienność przepływów. Wezbrania występują zazwyczaj dwa razy do roku: na wiosnę oraz latem, zazwyczaj w lipcu, czerwcu i sierpniu (Dynowska 1989, Malarz 2005). Średnie opady w półroczu zimowym osiągają 350–500 mm, natomiast w półroczu letnim – 600–800 mm.

W lipcu i październiku 2006 r. oraz w maju 2007 r. przeprowadzono badania terenowe. Na powierzchni wynurzonych odsypów listwowych i zakolowych, a także w dnie koryta na badanych odcinkach potoków wykonano dokumentację fotograficzną charakterystycznych form depozycyjnych. Do rozpoznania form posłużono się typologiami przedstawianymi w pra-



Ryc. 1. Obszar badań  
1 – odcinki pomiarowe

cach: Teisseyrea (1977), De Jonga i Ergenzingera (1995), Wittenberg (2002) oraz Stroma i Papanicolaou (2007).

### Mikroformy korytowe

W górnym odcinku badawczym Potoku Rycerki (R1) dominującą formą nagromadzeń były *mega clusters*, *line clusters* oraz formy *open bed non interlocke* (ryc. 1, 2). *Mega clusters* tworzyły pojedyncze otoczki powyżej 300 mm (długość osi L – najdłuższej), o słabym stopniu obtoczenia, ułożone poprzecznie w centralnej lub bocznej części koryta. Długość osi L największego klastu w korycie na tym odcinku wynosiła 500 mm. Nie zaobserwowano natomiast depozycji drobniejszego materiału za lub przed *mega clusters*. Formy *line clusters*, zlokalizowane na brzegach koryta, tworzyło zwykle kilka (5–6) otoczków frakcji powyżej 100 mm i orientacji poprzecznej w sto-

Tabela 1. Charakterystyka fizyczna badanych zlewni i potoków

Rzeka	Powierzchnia zlewni A (km <sup>2</sup> )	Długość zlewni L (km)	Szerokość zlewni B (km)	Forma zlewni C <sub>f</sub>	Wydłużenie zlewni C <sub>w</sub>	Zwartość zlewni C <sub>z</sub>	Wysokość zlewni (m n.p.m.)		Deniwelacja zlewni H (m)	Spadek zlewni R (‰)
							H <sub>maks.</sub>	H <sub>min.</sub>		
Potok Rycerki	21,5	7,09	3,03	0,43	0,74	1,35	1125	550	575	81,1
Rzeka	Krętość rzeki		Średni spadek rzeki (‰)		Długość rzeki (km)					
Potok Rycerki	1,14		71,33		8,06					

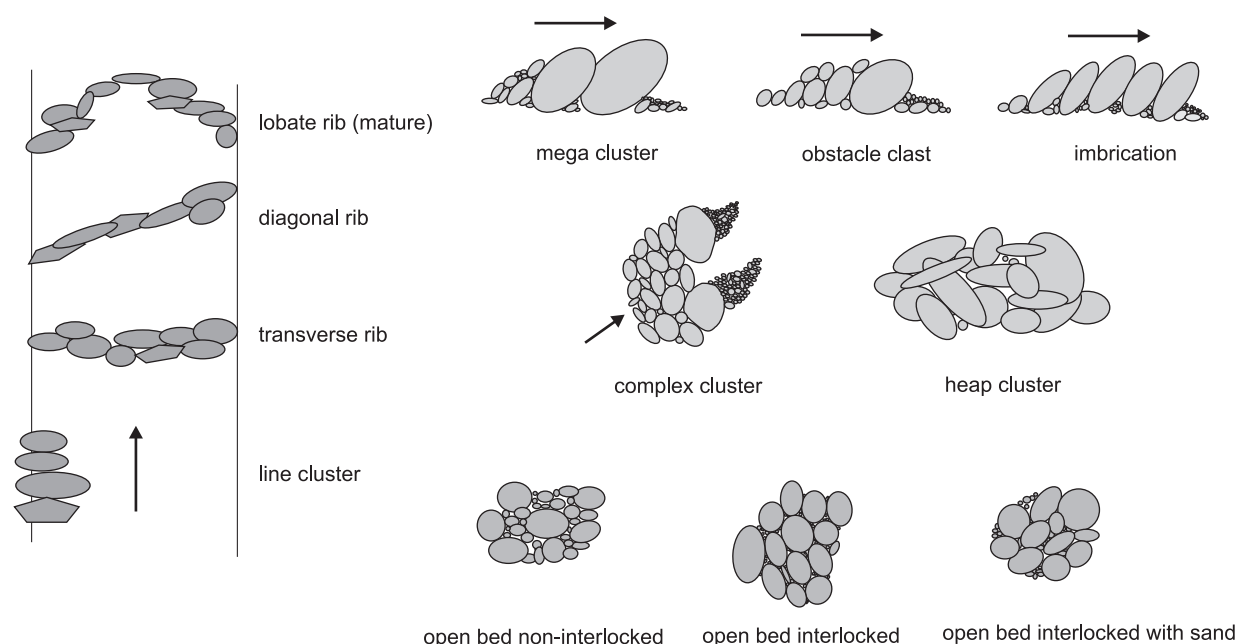
sunku do osi koryta (pochylenie poszczególnych otoczków wynosiło około 20–30°). Na powierzchni niewielkich odsypów listwowych formowanych za przeszkodami (gałęzie, zwalone pnie drzew) utworzyły się nagromadzenia typu *open bed – non interlocked* (Wittenberg 2002). Tworzyły je otoczki o wielkości około 30–70 mm, ułożone płasko, o ukierunkowaniu podłużnym.

W kolejnym odcinku badawczym R3 występowały *transverse ribs*, *line clusters*, *imbrication*, a także *heap clusters* (ryc. 1, 2). W korycie potoku, średnio co 3–4 m, stwierdzono nagromadzenia otoczków frakcji 100–170 mm tworzące *transverse ribs* oraz *diagonal transverse ribs* (nagromadzenia przegradzające koryto pod pewnym kątem) Klasty formujące progi zorientowane były poprzecznie do kierunku przepływu i miały wysokość około 0,1–0,2 m. *Line clusters* frakcji 150–170 mm o orientacji poprzecznej zlokalizowane były na brzegach koryta, podobnie jak na wcześniej opisywanym odcinku R1, oraz na brzegach (odwodnej stronie) odsypów listwowych. Na powierzchni odsypu zakolowego występującego na tym odcinku stwierdzono imbrykację (*imbrication*). Średnie pochylenie osi L, najdłuższej, wynosiło 20°, natomiast w przypadku otoczków ułożonych poprzecznie – 50–60°. Omawiany odsyp rozwinął się za przeszkodą utworzoną przez *heap clusters*, otoczki frakcji powyżej 250 mm ułożone chaotycznie w stos. Drobniejsze frakcje (30–50 mm) występujące na powierzchni odsypu tworzyły formy *open bed interlocked* lub *open bed interlocked with sand*.

W środkowym biegu Potoku Rycerki, na odcinku R4, zaobserwowano *complex clusters*, *lobate destroyed ribs*, *mega clusters* oraz *line clusters* (ryc. 1, 2). W odcinkach koryta wciętego w starsze osady aluwialne

na głębokość 3 m i spadku około 39‰ w brzegach koryta rozwinęły się *line clusters* frakcji 140–170 mm. Koryto przegradzają również progi (*transverse ribs*) zbudowane z frakcji 190–200 mm lub 150–170 mm. Mają one często formę *lobate destroyed ribs*. W odcinku (spadek około 20‰), gdzie rozwinęły się inicjalne odsypy podłużne (długości ok. 17 m i szerokości do 2,5 m), występują *mega clusters*. Nagromadzenia tego typu w części środkowej koryta tworzą frakcje 200–250 mm – największe występujące na tym odcinku. Stabilne, wzajemnie blokujące się otoczki są ułożone poprzecznie lub podłużnie, a ich pochylenie sięgać może 10° lub nawet 40° (w przypadku orientacji poprzecznej). Na powierzchni odsypu (listwowego lub półkieszycowego) formę *imbrication* przyjmowały najczęściej frakcje 150–170 mm i położone są zazwyczaj w jego brzeżnej strefie. W części środkowej i dystalnej można zauważyć natomiast formy typu *open bed interlocked* utworzone przez otoczki frakcji 30–50 mm o orientacji poprzecznej. W części dopływowej wykształciły się mikroformy typu: *obstacle clast* oraz *complex cluster*. Charakteryzują się one występowaniem jednego lub kilku większych otoczków (150–170 mm), za (*wake position, lee side*) lub przed którymi (*stoss position*) zdeponowane są frakcje drobniejsze (70–100 mm i mniejsze).

W odcinku ujściowym (R6) maksymalne frakcje, około 230 mm, budują *obstacle clasts* oraz pojedynczo *complex clusters* (ryc. 1, 2). *Line clusters* frakcji 150–170 mm i 70–100 mm utworzone na brzegach odsypów listwowych (szerokości do około 1,5 m i długości kilku metrów) przyjmują zazwyczaj orientację poprzeczną (około 40–43%), a ich pochylenie sięgać może 20–40°. Z uwagi na to, iż na odcinku tym w dnie koryta występują wychodnie eoceńskich pias-



Ryc. 2. Mikroformy korytowe występujące w Potoku Rycerki (wg De Jong, Ergenzingera 1995, Wittenberg 2002, Stroma, Papanicolaou 2007)

kowców gruboławicowych, nie wykształciły się tu większe formy depozycyjne. Nie stwierdzono również form typu *unclustered bedforms*.

Analiza zmienności mikroform depozycyjnych typu *cluster bedforms* w profilu podłużnym Potoku Rycerki wykazała, że w korycie dominują formy: *mega clusters*, *line clusters transverse ribs*, *imbrication*, *heap clusters complex clusters*, *lobate destroyed ribs*, *obstacle clasts* oraz *unclustered bedforms* (ryc. 2).

Formy *mega clusters* występują w odcinku górnym oraz środkowym badanego potoku, gdzie spadek sięga nawet 70%. Frakcje tworzące je są zwykle największymi w korycie i odzwierciedlają główny kierunek nurtu podczas przepływów nadkrytycznych. Uruchamiane są jednak rzadko, co 11, 65 lub nawet 100 lat, a ich transport odbywa się na niewielkie odległości (Grant i in. 1990, Chin 2003). Sprawia to, że formy te to bardzo stabilne przeszkody wpływające na znaczne podwyższenie szorstkości w korycie i powstanie koryta typu kaskadowego (Montgomery, Buffington 1997). Formy *line clusters* zlokalizowane były na brzegach koryta, odsypów środkokorytowych lub odwodnej stronie odsypów bocznych. Podczas stanów wysokich na granicach stref o różnej szorstkości i głębokości wymuszana jest gwałtowna depozycja materiału i zachowane zostaje ułożenie poprzeczne z fazy transportu. Odwrotnie, *imbrication*, obserwowana na powierzchni odsypów, w kanałach przelewowych jest wskaźnikiem przebiegu trasy niskoenergetycznego nurtu podczas opadania wezbrania. *Heap clusters* oraz *complex clusters* odnajdywane są w zakolach o dużej krzywiznie lub w dolnym biegu rzeki, przy czym spadek koryta nadal jest wysoki i może sięgać 40%. *Transverse ribs*, czyli progi, występują w odcinkach o małej krętości, najczęściej depozycyjnych. W płytkich i wąskich korytach tworzą charakterystyczny układ *step-pool*. Różnice pomiędzy poszczególnymi typami progów (*diagonal ribs* lub *lobate ribs*) wynikają z krzywizny koryta. Przed zakolami formują się zwykle progi przekątne (*diagonal*), natomiast w odcinkach prostych, głęboko wciętych – językowe (*lobate ribs*). *Obstacle clasts*, czyli pojedyncze większe otoczaki, przed którymi akumulowane są mniejsze frakcje, a w ich części zaprądowej najdrobniejsze, znajdowane były we wszystkich badanych odcinkach koryta. Podczas opadania fali wezbraniowej unieruchomiony większy klast wymusza depozycje mniejszych otoczek.

## Wnioski

Dna potoków górskich kształtowane są przez przepływy o różnym natężeniu. Wraz ze wzrostem kompetencji przepływu mobilne klasty mogą tworzyć charakterystyczne, bardziej stabilne skupiska. Wpływają one w konsekwencji na rozkład linii nurtu podczas opadania fali wezbraniowej oraz niższych

stanów wody. Badania w Potoku Rycerki mikroform korytowych typu *cluster bedforms* wykazały powszechność występowania tego rodzaju form w korycie. Zaobserwowane typy zajmować mogą nawet do 20% koryta, a do ich formowania potrzebny jest materiał o słabym wysortowaniu (Reid i in. 1992). Przyczyniają się więc do powstania obrukowania, wzrostu stabilności koryta, wzrostu szorstkości, wartości liczby Frouda. Rozwój *obstacle clasts* wymusza depozycje mniejszych frakcji, a podczas narastania wezbrania powoduje separację nurtu i rozwój lokalnych stref erozyjnych w korycie.

Niektóre z badanych mikroform są charakterystyczne dla odcinków erozyjnych koryta (np. *multile obstacle clasts*), inne dla depozycyjnych (*transverse ribs*). Niewątpliwie również ich występowanie wpływa na wykształcenie różnych typów koryta na danym odcinku (np. *mega clusters-cascade channels*, *transverse ribs-step-pool channel*).

Rozwój i znacznie większa częstość występowania niektórych mikroform w badanym potoku (np. *line clusters* lub *transverse ribs*) uwarunkowana jest nie tylko warunkami hydrodynamicznymi, lecz także przewagą w korycie otoczek piaskowcowych o kształcie dysku lub klingi.

## Literatura

- Billi P. 1988. A note on cluster bedform behaviour in a gravel bed rivers. *Catena*, 15, 5: 473–481.
- Brayshaw A.C. 1984. The characteristic and origin of cluster bedforms in coarse-grained alluvial channels. [W:] C.H. Koster, R.H. Steel (red.), *Sedimentary of Gravels and Conglomerates*. Canadian Society of Petroleum Geologists, s. 77–85.
- Chin A. 2003. The geomorphic significance of step-pools in mountain streams. *Geomorphology*, 55: 125–137.
- Church M., Hassan M.A., Wolcott J.F. 1998. Stabilizing self-organized structures in gravel bed stream channels: Field and experimental.
- Dal Cin R. 1968. Pebble clusters, their origin and utilization in the study of paleo-currents. *Sedimentary Geology*, 2: 233–242.
- De Jong C. 1995. Temporal and spatial interactions between river bed roughness, geometry, bedload transport and flow hydraulics in mountain streams – examples from Squaw Creek, Montana (USA) and Schmiedlaine/Lainbach (Upper Germany). *Berl. Geogr. Abh.*, 59: 229.
- De Jong C., Ergenzinger P. 1995. The interrelations between mountain valley form and river-bed arrangement. [W:] E.J. Hickin (red.), *River Geomorphology*. John Wiley & Sons, Chichester, s. 55–91.
- Dynowska I. 1989. Przestrzenna zmienność przepływów rzek polskich. *Przegl. Geogr.*, LXI, 3.



- Giriat D., Kosieradzka K., Roszczyda U. 2008. Morfologia koryta a ułożenie otoczków w Potoku Rycerki (Beskid Żywiecki). [W:] E. Smolska, D. Giriat (red.), Rekonstrukcja dynamiki procesów geomorfologicznych – formy rzeźby i osady. Warszawa, s. 177–187.
- Grant G.E., Swanson F.J., Wolman M.G. 1990. Pattern and origin of stepped-bed morphology in high-gradient streams, Western Cascades. Oregon: GSA Bulletin, 102: 340–352.
- Gustavson T.C. 1974. Sedimentation on gravel outwash fans, Malaspina Foreland, Alaska. Journal of Sedimentary Petrology, 44: 374–389.
- Hassan M.A., Reid I. 1990. The influence of microform bed roughness elements on flow and sediment transport in gravel bed rivers. Earth Surf. Proc. Land., 15: 739–750.
- Kosieradzka K. 2005. Typy morfologiczne dolin rzecznych w Beskidzie Żywieckim. Praca licencjacka WGiSR UW.
- Kozłowski B., Ergenzinger P. 1999. Ring structures – a specific new cluster type in steep mountain torrents. XXVII IAHR Congress Proceedings, Graz, Germany, s. 410.
- Laronne J.B., Carson M.A. 1976. Interrelationships between bed morphology and bed-material transport for a small, gravel-bed channel. Sedimentology, 23: 67–85.
- Malarz R. 2005. Effects of flood abrasion of the Carpathian alluvial gravels. Catena, 64: 1–26.
- Montgomery D.R., Buffington J.M. 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. GSA Bulletin, 109(5): 596–611. Observations. Water Resources Research, 34(11): 3169–3179.
- Radecki-Pawlik A. 2002. Wybrane zagadnienia kształtowania się form korytowych potoku górskiego i form dennych rzeki nizinnej. Zeszyty Naukowe, Rozprawy Akad. Rol., 281: 1–142.
- Rączkowski W., Ryłko W., Wójcik A., Żytko K. 1993. Mapa geologiczna w skali 1:50 000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, arkusz 1046.
- Reid I., Frostick L.E., Brayshaw A.C. 1992. Microform roughness elements and the selective entrainment and entrapment of particles in gravel-bed rivers. [W:] P. Billi, R.D. Hey, C.R. Thorne, P. Tacconi (red.), Dynamics of Gravel-Bed Rivers. Wiley, Chichester, s. 253–276.
- Sear D.A. 1992. Impact of hydroelectric power release on sediment transport processes in pool-riffle sequences. [W:] P. Billi, R.D. Hey, C.R. Thorne, P. Tacconi (red.), Dynamics of Gravel-Bed Rivers. Wiley, Chichester, s. 629–650.
- Strom K.B., Papanicolaou A.N. 2007. Morphological characterization of cluster microforms. Sedimentology. Online Early Articles, doi:10.1111/j.1365-3091.2007.00895.x
- Teisseyre A.K. 1975. Pebble fabric in braided stream deposits with examples from Recent and „frozen” Carboniferous channels (Intrasudetic Basin, Central Sudets). Geologia Sudetica, X, 1: 7–56.
- Teisseyre A.K. 1977. Pebble cluster as a directional structure in fluvial gravels: modern and ancient examples. Geologia Sudetica, XII, 2: 79–97.
- Wittenberg L. 2002. Structural patterns in coarse gravel river beds: typology, survey and assessment of the role of grain size and river regime. Geogr. Annaler, 84A(1): 25–37.