

CECHY TEKSTURALNE ŻWIROWYCH OSADÓW KORYTOWYCH JAKO ODZWIERCIEDLENIE DYNAMIKI PRZEPŁYWU WODY I TRANSPORTU RUMOWISKA W CIEKACH Z RÓŻNYCH STREF KLIMATYCZNYCH

TEXTURAL PATTERNS OF RIVER GRAVELS AS A REFLECTION OF WATER AND SEDIMENT
DYNAMICS IN WATERCOURSES FROM VARIOUS CLIMATIC ZONES

Bartłomiej Wyżga

Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków; wyzga@iop.krakow.pl

Abstrakt. Obserwacje upakowania i wysortowania żwirowych osadów korytowych oraz stopnia rozwoju bruków korytowych w ciekach stałych oraz w ciekach okresowych i epizodycznych, w połączeniu z wynikami doświadczeń w korytach eksperymentalnych oraz pomiarami natężenia transportu rumowiska wleczonego w różnych typach cieków umożliwiają powiązanie cech teksturalnych żwirów rzecznych z dynamiką przepływu wody i transportu rumowiska w ciekach. Na podstawie tych przesłanek przedstawiono interpretację środowiskowych uwarunkowań formowania się cech teksturalnych żwirowych osadów korytowych z różnych stref klimatycznych. Przedstawiono przykłady wykorzystania analizy cech teksturalnych osadów korytowych dawnych rzek karpackich do interpretacji dynamiki tych rzek.

Abstract. Packing and sorting of gravelly channel sediments as well as the degree of bed armour development markedly differ between gravel-bed rivers from different climatic zones. Based on results from flume experiments and on measurements performed in experimental ephemeral, seasonal and perennial streams, these features of channel sediments can be seen as reflecting water and bedload flux dynamics in gravel-bed rivers. The paper presents environmental conditions leading to the development of different textural patterns of river gravels originating in the watercourses from semiarid and arid, humid temperate, and cold climatic zones. Examples from the Polish Carpathian rivers illustrate how differences in the appearance of channel gravels from different periods can be interpreted in terms of environmental changes in the catchments caused by human activity or climate change.

1. Wstęp

Cechy teksturalne osadów korytowych rzek żwirodennych mogą stanowić cenne źródło informacji o dynamice przepływu wody i transportu rumowiska. Właściwe rozpoznanie tej dynamiki jest podstawą paleogeograficznych rekonstrukcji systemów rzecznych i może umożliwiać odtwarzanie warunków środowiskowych w zlewniach. W przypadku rzek, których dno utworzone jest z materiału piaszczystego, zmiany dostawy rumowiska oraz natężenia jego transportu w rzece, wywołane zmianami środowiskowymi w zlewni nie będą powodować istotnych zmian cech teksturalnych osadów korytowych. Z odmienną sytuacją mamy natomiast do czynienia w rzekach żwirodennych, gdzie zmiany udziału poszczególnych frakcji osadów korytowych, wynikające ze zmian dostawy i natężenia transportu rumowiska w rzece, będą znajdować wyraźne odzwierciedlenie w wysortowaniu i upakowaniu żwirów.

2. Cechy teksturalne żwirów w ciekach z różnych stref morfoklimatycznych

Można wymienić trzy źródła informacji wskazujących na możliwość wykorzystania cech teksturalnych żwirów rzecznych do oceny dynamiki przepływu wody i transportu rumowiska w dawnych systemach rzecznych oraz do interpretacji paleogeograficznych uwarunkowań zmian tej dynamiki. Pierwszym z nich są obserwacje wskazujące na różnice tych cech pomiędzy osadami

korytowymi wyścielającymi dno cieków w różnych strefach klimatycznych. Dobitnie ukazuje to porównanie osadów korytowych formowanych w stałych ciekach ze strefy umiarkowanej wilgotnej oraz w epizodycznych ciekach ze strefy półsuchej (Reid i in., 1999).



Fot. 1. Gruboziarnista warstwa bruku korytowego tworząca powierzchnię łachy w stałym cieku (przedni plan). Po usunięciu bruku korytowego widoczny drobniejszy materiał denny z podpowierzchniowej warstwy (środkowa część fotografii). Raba, polskie Karpaty.

Photo 1. Coarse-grained armouring of a gravel bar in the perennial Raba River, Polish Carpathians, visible in the foreground, and finer subarmour material exposed in the vicinity of the rod.



Fot. 2. Dno koryta okresowego cieku pokryte niewysortowanym materiałem żwirowym. Południowa Hiszpania, obszar o klimacie śródziemnomorskim. W głębi zdjęcia profesor Kazimierz Klimek.

Photo 2. Channel of a seasonal stream in Southern Spain supporting very poorly sorted gravels on the bed surface. Professor Kazimierz Klimek visible in the background.

Większość stałych cieków żwirowych charakteryzuje się obecnością powierzchniowej, gruboziarnistej warstwy bruku korytowego przykrywającej drobniejszy materiał denny (Reid i in., 1999) (fot. 1). Miąższość warstwy bruku korytowego odpowiada zazwyczaj 1-2 średnicom otoczków tworzących szkielet ziarnowy żwirów w podpowierzchniowej warstwie materiału dennego. Bruki takie powstają w wyniku wymywania drobniejszych ziarn z przypowierzchniowej warstwy osadu oraz mniejszej częstotliwości uruchamiania i wolniejszego transportu ziarn grubszych. Ponadto, formowane w tych ciekach żwiry cechuje zazwyczaj ciasne upakowanie i dachówkowate ułożenie (imbrykacja) otoczków tworzących szkielet ziarnowy. Widoczna na histogramach uziarnienia wyraźna przewaga frakcji żwirowej nad piaszczystą, a niekiedy wręcz unimodalny charakter osadu odzwierciedla stosunkowo dobre wysortowanie tych żwirów. Cieki epizodyczne strefy pól suchej i suchej cechuje natomiast brak lub słaby rozwój bruków korytowych (Laronne i in., 1994; Reid i in., 1999) (fot. 2). Formowane tu żwiry są zazwyczaj luźno upakowane, z tworzącymi szkielet ziarnowy otoczkami rozproszonymi w piaszczystej masie wypełniającej. Żwiry takie wykazują bimodalny rozkład uziarnienia i bardzo złe wysortowanie. Podobny charakter mają także osady korytowe rzek wypływających z lodowców. W rzekach tych powierzchnia osadów korytowych również nie jest pokryta brukiem korytowym i osady te cechuje luźne upakowanie i bardzo złe wysortowanie.

3. Doświadczenia w sztucznych korytach eksperymentalnych

Powiązanie cech teksturalnych żwirów rzecznych z dynamiką procesów fluwialnych umożliwiły także doświadczenia przeprowadzane w sztucznych korytach eksperymentalnych. Dietrich i współautorzy (1989) przedstawili zmiany charakteru osadu na powierzchni dna eksperymentalnego koryta, zachodzące wraz ze zmianą natężenia dostawy różnoziarnistego, żwirowo-piaszczystego materiału, przy czym zarówno przepływ wody, jak i rozkład uziarnienia dostarczanego materiału pozostawał niezmienny. Przy dużym natężeniu dostawy materiału uziarnienie osadu na powierzchni dna było takie samo, jak w dostarczonym materiale. W obrębie koryta zdecydowanie przeważały wówczas obszary o gładkim dnie, utworzone z drobnoziarnistego, źle wysortowanego osadu, ponad którymi opór przepływu był niewielki i stosunkowo duża część całkowitej energii przepływu mogła być wydatkowana na uruchamianie i transport ziarn. W rezultacie, zarówno ziarna piasku, jak i otoczki były tu szybko transportowane. Wraz ze zmniejszaniem się dostawy materiału, w brzeżnych częściach koryta doszło do uformowania się nieaktywnych stref dna wyścielonych gruboziarnistym, dobrze wysortowanym osadem, w których transport denny był niewielki lub nie występował w ogóle, natomiast intensywny transport denny został ograniczony do wąskiej strefy dna pokrytej drobnoziarnistym, słabiej wysortowanym osadem.

Wyniki tego eksperymentu zaprzeczyły rozpowszechnionemu pogładowi, iż transport denny różnoziarnistego materiału żwirowego nieuchronnie prowadzi do formowania bruków korytowych. Pokazały one, że do rozwoju obrukowania dna dochodzi wówczas, gdy lokalna dostawa obciążenia dennego z wyższego odcinka jest mniejsza od zdolności rzeki do transportu tego obciążenia. Stwarza to możliwość powiązania zmian stopnia rozwoju bruków korytowych ze zmianami dostawy rumowiska do rzeki, będącymi efektem zmian środowiskowych w jej zlewni.

4. Ilościowe badania transportu dennego w naturalnych ciekach

Trzecie źródło informacji umożliwiających powiązanie cech teksturalnych żwirów rzecznych z dynamiką procesów fluwialnych stanowią ilościowe badania transportu dennego w naturalnych ciekach. Na uwagę zasługują zwłaszcza badania z wykorzystaniem oprzyrządowania umożliwiającego ciągły i długotrwały pomiar natężenia transportu dennego w danym przekroju, prowadzone w ciekach stałych, okresowych i epizodycznych (Reid i in., 1999). Oprzyrządowanie wykorzystywane w stacjach badawczych na tych ciekach jest oparte albo na działaniu śrubowych przenośników transportujących

docierające do przekroju pomiarowego rumowisko wleczone poza obręb koryta, gdzie jest ono w ciągły sposób ważone, albo też wykorzystuje szereg przegradzających dno cieków zbiorników, w których docierający do przekroju pomiarowego materiał denny jest akumulowany i również w ciągły sposób ważony (Reid i in., 1985). W połączeniu z ciągłą rejestracją przepływu wody, prowadzone tu pomiary dostarczają zupełnie innych jakościowo danych o transporcie rumowiska wleczonego w ciekach żwirowatych niż dane uzyskiwane za pomocą innych technik pomiarowych, np. łapaczy, umożliwiających jedynie punktowy i krótkotrwały pomiar transportu dennego.

Pomiary prowadzone z zastosowaniem wymienionego oprzyrządowania wskazały na trzy istotne różnice w charakterze transportu dennego pomiędzy epizodycznymi ciekami ze strefy półsuchej oraz stałymi ciekami ze strefy umiarkowanej wilgotnej (Laronne, Reid, 1993; Reid i in., 1995). Po pierwsze, przy takiej samej sile transportowej natężenie transportu dennego zachodzącego na jednostkowej szerokości koryta osiąga w pozbawionym obrukowania dna ciek epizodycznym wartości o kilka rzędów wielkości wyższe niż w stałym cieku z dobrze rozwiniętym brukiem korytowym. Ponadto, w miarę wzrostu siły transportowej w stałym cieku obserwuje się znacznie większe zmiany natężenia transportu dennego niż w cieku epizodycznym.

Po drugie, pozbawione obrukowania dna cieki epizodyczne znacznie bardziej wydajnie wykorzystują swoją energię do transportu dennego niż obrukowane cieki stałe. Cieki wykorzystują bowiem do transportu rumowiska wleczonego jedynie małą część swej całkowitej energii, natomiast większość tej energii jest wydatkowana na pokonywanie oporów przepływu i na transport rumowiska unoszonego. Wydajność cieków w transporcie rumowiska wleczonego można określić, porównując wielkości jednostkowego natężenia transportu dennego z jednostkową mocą strumienia. Dane obserwacyjne pokazują, że w epizodycznym cieku Nahal Yatir w Izraelu wydajność transportu dennego wynosi około 20% i zmienia się nieznacznie wraz ze wzrostem energii przepływu. Natomiast stały cieki Oak Creek w USA cechuje średnia wydajność rzędu 0,05% i ulega ona istotnym zmianom wraz ze wzrostem energii przepływu, w miarę jak następuje rozrywanie bruku korytowego i odsłanianie drobniejszych ziarn z niższej warstwy materiału dennego.

I po trzecie, roczne ładunki rumowiska wleczonego przemieszczonego przez 1 m szerokości koryta są w ciekach epizodycznych od kilkunastu do kilkudziesięciu razy wyższe niż w badanych ciekach stałych. Obserwacja ta może wydawać się zaskakująca, gdy weźmie się pod uwagę krótki czas aktywności cieków epizodycznych. Przykładowo, koryto eksperymentalnego cieków Nahal Eshtemoa w Izraelu prowadzi wodę średnio przez 2% czasu, tj. przez 7 dni w ciągu roku, a stan pełnokorytowy jest tu przekroczony zaledwie przez 0,03% czasu, a więc średnio przez 3 godziny w roku (Reid i in., 1998). Należy jednak pamiętać, że w obrukowanych, stałych ciekach żwirowatych, transport materiału dennego zachodzi tylko w czasie przepływów wezbraniowych, a duże natężenie tego transportu ma miejsce jedynie przez wycinek czasu trwania wezbrań, gdy siła transportowa cieków jest wystarczająca do rozerwania obrukowania dna, a drobniejszy materiał pod brukiem zostaje wystawiony na działanie przepływu zdolnego transportować grube otoczaki z powierzchniowej warstwy. Natomiast w ciekach epizodycznych, gdzie drobniejsze ziarna nie są osłonięte brukiem korytowym, transport denny rozpoczyna się przy niewielkich przepływach, na przykład w Nahal Eshtemoa już przy głębokości wody w korycie rzędu 15 cm, i od razu osiąga dość znaczne natężenie (Reid i in., 1998).

Pomiary prowadzone w naturalnych ciekach dowodzą zatem, iż cieki epizodyczne, których dno nie jest wyścielone brukiem korytowym, odprowadzają ze swych zlewni znacznie większe ładunki rumowiska wleczonego, w przeliczeniu na jednostkę szerokości koryta, niż stałe cieki o dnie pokrytym brukiem korytowym. Cieki epizodyczne są bowiem znacznie bardziej wydajne w przenoszeniu materiału dennego i cechują się znacznie większym natężeniem transportu dennego przy tej samej jednostkowej mocy strumienia niż obrukowane cieki stałe (Laronne, Reid, 1993; Reid i in., 1995).

5. Interpretacja środowiskowych uwarunkowań cech teksturalnych żwirowych osadów korytowych z różnych stref morfoklimatycznych

Na podstawie przedstawionych informacji można dokonać interpretacji środowiskowych uwarunkowań cech teksturalnych żwirowych osadów korytowych w ciekach z różnych stref morfoklimatycznych. Luźne upakowanie i bardzo złe wysortowanie osadów korytowych oraz brak obrukowania dna w ciekach epizodycznych strefy półsuchej i suchej to efekt dużej dostawy rumowiska ze stoków pozbawionych zwartej pokrywy roślinnej (fot. 3) i przenoszenia w korytach tych cieków wysokich i krótkotrwałych fal wezbraniowych (Laronne i in., 1994; Reid i in., 1999). Brak intercepcji opadu na pokrywie roślinnej oraz niska zdolność infiltracji w wyniku pokrycia gleb skorupami mineralnymi warunkują tu wystąpienie spływu powierzchniowego wkrótce po rozpoczęciu opadu. Wraz z bardzo gęstą siecią odwodnienia na stokach powoduje to szybkie pojawienie się przepływu i gwałtowny przybór wody w cieku (Leopold, Miller, 1956). Niewielka miąższość, a niekiedy brak pokryw zwietrzelinowych na stokach powoduje natomiast, że po ustaniu spływu powierzchniowego przepływ w ciekach nie jest dalej podtrzymywany przez odpływ śródpokrywowy lub podziemny. Konsekwencją tego jest szybkie opadanie wody i zanik przepływu wkrótce po ustaniu opadu, tak że aktywność hydrologiczna cieków epizodycznych jest ograniczona do krótkich epizodów gwałtownego odprowadzania wód opadowych ze zlewni. W Nahal Eshtemoa w Izraelu w ciągu czterech lat hydrologicznych zanotowano jedynie 20 takich epizodów trwających od kilku do kilkudziesięciu godzin (Reid i in., 1998).



Fot. 3. Brak zwartej pokrywy roślinnej w obszarze o klimacie półsuchym warunkuje dużą dostawę rumowiska do koryta cieku epizodycznego, a konsekwencją małej miąższości pokryw zwietrzelinowych na stokach jest ustanie dopływu wody do cieku po ustaniu opadu. Południowa Hiszpania.

Photo 3. Unvegetated valley slopes in the semiarid zone condition the abundant supply of material to an ephemeral stream in Southern Spain. With thin regolith covers on the slopes, such streams are supplied with water only during rainfall.

Duża dostawa rumowiska ze stoków nieosłoniętych roślinnością warunkuje duże natężenie jego transportu w korytach cieków epizodycznych. W konsekwencji, wymywanie drobniejszych ziarn, jakie mogłoby mieć miejsce przy niskim natężeniu transportu, nie zachodzi. Szybkie opadanie wody po przejściu szczytu fali wezbraniowej jest przyczyną gwałtownej depozycji transportowanego materiału i uniemożliwia jego sortowanie. Brak obrukowania dna umożliwia tu z kolei łatwe uruchamianie materiału dennego w czasie kolejnego wezbrania.

Z kolei, charakterystyczne dla większości stałych cieków obrukowanie dna oraz ciasne

upakowanie i lepsze wysortowanie żwirów to efekt zbyt małego zasilania tych cieków rumowiskiem w stosunku do ich zdolności transportowej i przemywania osadów korytowych w trakcie opadania fal wezbraniowych. Przy podobnej wielkości i hipsometrii zlewni, ciekі stałe różnią się bowiem od cieków epizodycznych wyraźnie dłuższym czasem trwania wezbrań oraz wolniejszym opadaniem wód wezbraniowych, gdy po ustaniu spływu powierzchniowego przepływ w ciekach jest nadal zasilany odpływem śródpokrywowym i podziemnym. W warunkach naturalnych głównym czynnikiem ograniczającym dostawę materiału klastycznego do koryt jest stabilizacja pokryw zwietrzelinowych na stokach przez roślinność, zwłaszcza przez lasy (fot. 4). Przy silnej antropopresji w zlewniach znaczny rozwój bruków korytowych obserwuje się poniżej głębokich zbiorników zaporowych przechwytyjących całość obciążenia dennego dostarczanego z wyższego odcinka rzeki. Rozwój obrukowania dna jest mechanizmem, za pomocą którego rzeki ograniczają mobilność materiału dennego, dążąc do przywrócenia równowagi pomiędzy zasilaniem rumowiskiem a ich zdolnością transportową. Bruk korytowy ogranicza bowiem kontakt drobniejszych frakcji materiału dennego z płynącą wodą, redukując tym samym natężenie transportu dennego przy wszystkich przepływach niższych od przepływu mogącego transportować wszystkie wielkości ziarn obecnych w materiale dennym (Richards i Clifford, 1991). Również ciasne upakowanie oraz imbrykacja otoczków ograniczają mobilność ziarn materiału dennego i rozwijają się przy małym natężeniu transportu i depozycji.



Fot. 4. Rozwój bruku korytowego na powierzchni dna cieku stałego jest efektem małej dostawy rumowiska ze stoków stabilizowanych przez pokrywę roślinną i wymywania drobniejszych ziarn z powierzchniowej warstwy materiału dennego w trakcie powolnego opadania fal wezbraniowych. Czarny Dunajec, polskie Karpaty.

Photo 4. Development of bed armour on the surface of a perennial stream reflects the low supply of material from vegetated slopes and the outwashing of fines from the surface layer of bed material during hydrograph recession. The Czarny Dunajec River, Polish Carpathians.

W ciekach z obszarów o klimacie zimnym nie podjęto dotychczas takich ilościowych badań transportu dennego, jakie prowadzone są w ciekach strefy umiarkowanej wilgotnej oraz półsuchej. Cechy teksturalne formowanych tu żwirów są podobne, jak w ciekach epizodycznych strefy półsuchej, co wskazuje, że również i te ciekі powinny cechować wysokie natężenie transportu dennego. Istotnie, są one obficie zasilane rumowiskiem, w przypadku rzek proglacjalnych wytapianym z lodowców, a w przypadku rzek strefy peryglacjalnej będącym wynikiem intensywnego wietrzenia mrozowego i soliflukcyjnego przemieszczania zwietrzliny na stokach. Jednocześnie rzeki te cechuje duża

zmienność przepływów, zarówno w cyklu rocznym, jak i dziennym, odzwierciedlająca przede wszystkim zmiany intensywności nasłonecznienia.

6. Interpretacja dynamiki dawnych rzek na podstawie analizy cech teksturalnych kopalnych żwirów – przykłady

Obserwacja omówionych cech teksturalnych w kopalnych żwirach pozwala na wnioskowanie o dynamice dawnych rzek, a zmiany tych cech pomiędzy osadami różnego wieku będą wskazywać na zmiany środowiskowe w zlewniach wywołane zmianami klimatu lub działalnością człowieka. Przykładu takich zmian cech teksturalnych żwirów dostarcza porównanie osadów deponowanych w roztokowym, agrałującym korycie środkowej Raby z drugiej połowy XIX wieku oraz w naturalnym, krętym korycie tej rzeki uformowanym w połowie XX wieku (Wyżga, 1993, 2001). W korycie XIX-wiecznej Raby deponowane były żwiry o normalnym i luźnym upakowaniu (fot. 5), wśród osadów korytowych ówczesnej rzeki nie stwierdzono natomiast żwirów o ciasnym upakowaniu i poziomów bruków korytowych. Natomiast na łachach meandrowych krętej rzeki z połowy XX wieku były deponowane żwiry normalnie upakowane, a także wypełnione ciasno upakowane żwiry i żwiry niewypełnione (fot. 6), które nie występowały w korycie z XIX wieku. Osady z połowy XX wieku były lepiej wysortowane od osadów XIX-wiecznych, a w ich obrębie zaznaczała się obecność dachówkowato ułożonych otoczaków i poziomów bruków korytowych.



Fot. 5. Żwiry o luźnym upakowaniu zdeponowane w roztokowym korycie środkowej Raby w drugiej połowie XIX wieku.

Photo 5. Loosely packed gravels formed in a braided channel of the middle Raba River from the second half of the 19th century.



Fot. 6. Żwiry niewypełnione zdeponowane w krętym korycie środkowej Raby w latach 50. XX wieku.

Photo 6. Openwork gravels formed in a sinuous channel of the middle Raba River from the 1950s.

Zaistniałe w XX wieku zmiany sedymentacji korytowej Raby i szeregu innych rzek karpackich wskazują na zmniejszenie się dostawy rumowiska z ich zlewni i na bardziej równomierny niż w XIX wieku przebieg odpływu wezbraniowego (Wyżga, 2001). Do ograniczenia dostawy rumowiska do koryt Raby i innych karpackich dopływów Wisły przyczyniły się następujące zmiany zagospodarowania zlewni i koryt cieków: stopniowe zaniechanie orki zgodnie z nachyleniem stoków i terasowanie stoków, zaniechanie wypasu w lasach (częstego w XIX wieku), przeciwerozryjna zabudowa brzegów rzek i przegradzanie rzek głębokimi zbiornikami zaporowymi przechwytyjącymi całość dostarczanego rumowiska dennego, a w przypadku rzek odwadniających wschodnią część polskich Karpat także wzrost lesistości zlewni, jaki nastąpił w Beskidzie Niskim i Bieszczadach po wysiedleniu ludności łemkowskiej po drugiej wojnie światowej.



Fot. 7. Luźno upakowane, bardzo źle wysortowane żwiry potoku Kamienica odsłaniające się w profilu terasy z ostatniego zlodowacenia. Widoczne chaotyczne ułożenie większych otoczków w obrębie piaszczystej masy wypełniającej.
Photo 7. Loosely packed, very poorly sorted gravels of Kamienica Stream deposited during the Würm Glacial. Note the chaotic orientation of larger clasts within the sandy matrix.



Fot. 8. Ciasno upakowane żwiry potoku Kamienica odsłaniające się w profilu terasy z XX wieku. Widoczna imbrykacja większych otoczków.
Photo 8. Closely packed gravels of Kamienica Stream deposited in the 20th century. Note the imbrication of larger clasts.

Istotne różnice cech teksturalnych obserwuje się także pomiędzy żwirami rzek karpackich deponowanymi w czasie ostatniego zlodowacenia i współcześnie. Na przykład, żwiry potoku Kamienica, odsłaniające się w profilach terasy z ostatniego zlodowacenia, są luźno upakowane i cechują się bardzo złym wysortowaniem (fot. 7). Taki charakter osadów wskazuje na obfite zasilanie ówczesnej rzeki rumowiskiem, spowodowane intensywnym wietrzeniem mrozowym i soliflukcyjnym przemieszczaniem zwietrzelin na stokach w warunkach klimatu peryglacjalnego. Współczesne dno

rzeki jest natomiast wyścielone brukiem korytowym, a dwudziestowieczne osady korytowe Kamienicy odsłaniające się w podcięciach brzegów rzeki cechuje ciasne upakowanie i wyraźna imbrykacja klastów tworzących szkielet ziarnowy żwirów (fot. 8). Świadczy to, że zasilanie współczesnej rzeki rumowiskiem jest wyraźnie mniejsze od jej zdolności transportowej. Stabilizacja pokryw zwietrzelinowych na stokach przez zwartą szatę roślinną ogranicza bowiem dostawę zwietrzelin ze stoków, a zabudowa regulacyjna części brzegów ograniczyła boczną migrację rzeki i rozmywanie jej starszych aluwów.

7. Podsumowanie

Na podstawie informacji przedstawionych w niniejszym artykule można sformułować wniosek, iż dynamika przepływu wody i transportu rumowiska w ciekach żwirowatych znajduje wyrazne odzwierciedlenie w cechach teksturalnych ich osadów korytowych. Analiza zmian wysortowania i upakowania żwirów oraz stopnia rozwoju bruków korytowych pomiędzy osadami różnego wieku będzie zatem dostarczać informacji o zmianach tej dynamiki w danej rzece i umożliwiać wnioskowanie o zmianach środowiskowych w jej zlewni.

Badania sfinansowano ze środków na naukę w latach 2010-2013 w ramach realizacji projektu badawczego N N305 097239.

Literatura

- Dietrich W. E., Kirchner J. W., Ikeda H., Iseya F., 1989. *Sediment supply and the development of the coarse surface layer in gravel-bedded rivers*. Nature, 340, 215-217
- Laronne J. B., Reid I. 1993. *Very high rates of bedload sediment transport by ephemeral desert rivers*. Nature, 366, 148-150
- Laronne J. B., Reid I., Yitshak Y., Frostick L. E., 1994. *The non-layering of gravel streambeds under ephemeral flood regimes*. Journal of Hydrology, 159, 353-363
- Leopold L. B., Miller J. P., 1956. *Ephemeral streams – hydraulic factors and their relation to the drainage net*. US Geological Survey Professional Paper, 282-A, 1-37
- Reid I., Frostick L. E., Layman J. T., 1985. *The incidence and nature of bedload transport during flood flows in coarse-grained alluvial channels*. Earth Surface Processes and Landforms, 10, 33-44
- Reid I., Laronne J. B., 1995. *Bed load sediment transport in an ephemeral stream and a comparison with seasonal and perennial counterparts*. Water Resources Research, 31, 773-781
- Reid I., Laronne J. B., Powell D. M., 1998. *Flash flood and bedload dynamics of desert gravel-bed streams*. Hydrological Processes, 12, 543-557
- Reid I., Laronne J. B., Powell D. M., 1999. *Impact of major climate change on coarse-grained sedimentation: A speculative assessment based on measured flux*. In: Fluvial Processes and Environmental Change, A. G. Brown, T.A. Quine (eds), Wiley, Chichester, 105-111
- Richards K., Clifford N., 1991. *Fluvial geomorphology: structured beds in gravelly rivers*. Progress in Physical Geography, 15, 407-422
- Wyżga B., 1993. *Present-day changes in the hydrologic regime of the Raba River (Carpathians, Poland) as inferred from facies pattern and channel geometry*. In: Alluvial Sedimentation, M. Marzo, C. Puigdefábregas (eds), Spec. Publ. of the International Association of Sedimentologists, 17, 305-316
- Wyżga B., 2001. *A geomorphologist's criticism of the engineering approach to channelization of gravel-bed rivers: Case study of the Raba River, Polish Carpathians*. Environmental Management, 28, 341-358.