

Wpływ regulacji koryta na warunki sedymentacji osadów na równinie zalewowej dolnego Dunajca

Maciej Liro¹



Impact of channel regulation on sedimentation on the Lower Dunajec floodplains. *Prz. Geol.*, 60: 380–386.

Abstract. In the last century the Dunajec channel in its lower river course was considerably transformed due to channelization works. The former multi-thread river channel was replaced by a single one, resulting in abandonment of side channels. Groynes were constructed on both main and side channel. Quick filling up of the inter-groyne basins reduced channel width and capacity. In the study area, a side channel with groynes was abandoned and filled up. The aim of this study was to reconstruct the rate and depositional conditions of the sediments infilling the abandoned channel. These sediments are 215–222 cm thick and were deposited at an average rate of 5–5.2 cm/year. Their sedimentary environment was inferred based on a C/M diagram. The depositional conditions in the abandoned channel were determined by two major factors: distance to the active channel and difference in elevation between depositional surface and active channel. Close to the active channel, 61% of sediment was deposited from suspension and 39% by traction current. At a distance of 200 m to the active channel, 100% of sediment was deposited from suspension, with 25% falling from pelagic suspension. At an early stage of infilling of abandoned channel, the depositional flows are more energetic and the deposition rate is higher than in the later stage. The investigated sediments are an example of accumulation induced by channelization works. The spatial distribution of these fine-grained, quickly deposited sediments is determined by the course of the abandoned channel.

Keywords: channel regulation, overbank deposits, abandoned channel, groynes, Dunajec river, C/M diagram

Równina zalewowa jest istotnym elementem systemu rzecznoego. Jej powstanie to efekt migracji bocznej koryta oraz depozycji pozakorytowej. W wyniku migracji bocznej koryta następuje odkładanie gruboziarnistego osadu korytowego, który następnie jest cyklicznie nadbudowywany drobniejszym materiałem transportowanym podczas przepływów pozakorytowych (Wolman & Leopold, 1957; Zwoliński, 1992). Cechy osadu pozakorytowego informują o rodzaju materiału transportowanego przez rzekę w czasie wezbrań oraz o warunkach hydrodynamicznych panujących podczas jego depozycji (Teisseyre, 1989; Szymańda, 2009, 2011). W profilach takich osadów jest zapisana zmienność tych czynników w czasie oraz ich zróżnicowanie w przestrzeni (Teisseyre, 1989; Kalicki, 2006). Głównymi przyczynami zmian cech osadów pozakorytowych są zarówno czynniki klimatyczne, jak i zmiany antropogeniczne w zlewni rzeki (Kukulak, 2004). Cechy osadów deponowanych na równinie zalewowej są również następstwem zmian położenia koryta rzeki – pionowego (Wyźga, 2008) i poziomego, związanego z migracją boczną, która skutkuje oddaleniem się koryta od miejsca depozycji lub przybliżaniem do niego (Kalicki, 2006).

W XIX i XX w. regulacja i zabudowa hydrotechniczna koryt rzecznych odegrały znaczącą rolę w modyfikacji warunków sedymentacji osadów na równinach zalewowych polskich rzek (Klimek, 1974; Szumański, 1977; Czajka, 2000, 2007; Warowna, 2003; Ciszewski, 2006; Ciszewski & Dubicki, 2008; Wyźga, 2008; Ciszewski & Czajka, 2009). Podczas prac regulacyjnych znacznie skrócono, wyprostowano i zwężono koryta rzeczne. Przyczyniło się to do wzrostu zdolności transportowej rzek i spowodowało gwał-

towne pogłębienie się ich koryt (Klimek, 1987; Wyźga, 2008). Umocnienie brzegów ostrogami wywołało szybką depozycję osadów przy brzegach koryt i jednocześnie nasiliło erozję den (Warowna, 2003; Ciszewski, 2006; Czajka, 2007). Wały przeciwpowodziowe ograniczyły obszar sedymentacji pozakorytowej do wąskiej strefy międzywala (Czajka, 2000). W utworzonych zbiornikach zaporowych rozpoczęła się sedymentacja rumowiska dennego, a także większości rumowiska unoszonego transportowanego przez rzeki (Łajczak, 1986; Klimek i in., 1989, 1990). Czynniki te spowodowały, że współczesne warunki sedymentacji osadów pozakorytowych różnią się od tych istniejących przed regulacją (Kalicki, 2006). Różnice te nie są jeszcze do końca poznane, jednak ich zapis powinien być najbardziej wyraźny w strefie przykorytowej równiny zalewowej, gdzie depozycja pozakorytowa zachodzi najczęściej (Zwoliński, 1992).

W dolnym biegu Dunajca (ryc. 1) podczas prac regulacyjnych, które prowadzono w ostatnim stuleciu, doszło do znacznych przeobrażeń koryta (Zawiejska & Wyźga, 2010), jednak ich wpływ na warunki sedymentacji osadów pozakorytowych nie był do tej pory badany. Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu regulacji koryta na warunki sedymentacji osadów na równinie zalewowej dolnego Dunajca.

OBSZAR BADAŃ

Dunajec jest prawostronnym dopływem Wisły o długości 250 km i powierzchni dorzecza 6804 km². Jako jedyny spośród karpaccich dopływów Wisły odwadnia obszar Kar-

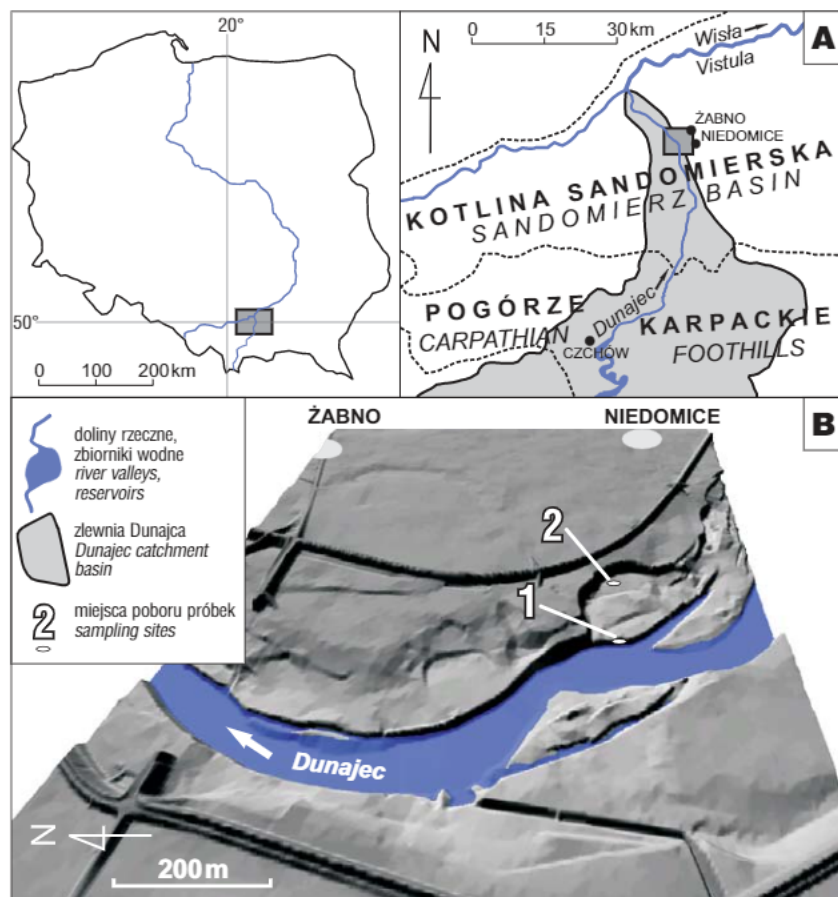
¹Zakład Geomorfologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków; maciej.liro@uj.edu.pl.

pat wewnętrznych. Znaczna powierzchnia dorzecza oraz jego zasobność w wodę sprawiają, że Dunajec w 30–57% kształtuje przepływy wezbraniowe Wisły (Kasina i in., 2007).

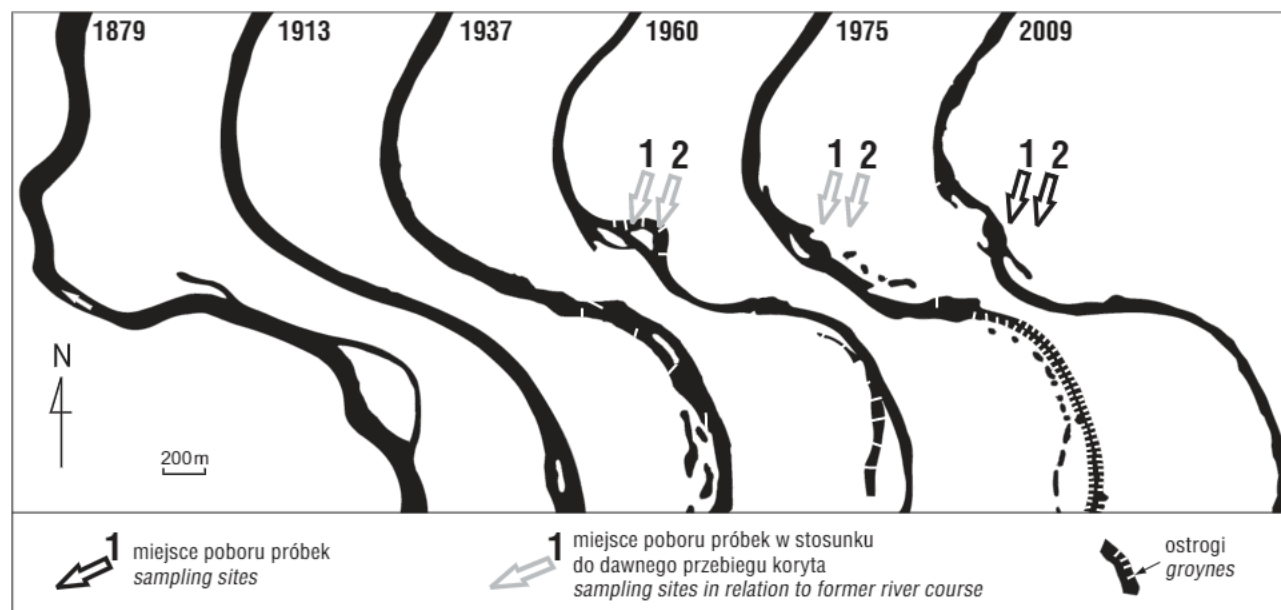
Dorzecze Dunajca jest obszarem o zróżnicowanej budowie geologicznej i rzeźbie. Wysokości bezwzględne w dorzeczu wynoszą od 171 m n.p.m. przy ujściu Dunajca do Wisły w Kotlinie Sandomierskiej do 2655 m n.p.m. w najwyższej części Tatr Wysokich. Największe deniwelacje i spadki terenu występują w Karpatach wewnętrznych, utworzonych ze skał osadowych i odpornych skał krystalicznych. W Karpatach zewnętrznych, utworzonych z utworów fliszowych, deniwelacje są mniejsze (Klimek, 1979). W dolnym biegu Dunajca, w Kotlinie Sandomierskiej, zróżnicowanie rzeźby jest niewielkie, a podłoże stanowią głównie aluwia (Sokołowski, 1981, 1995).

REGULACJA KORYTA DUNAJCA

Przed budową obwałowań i regulacją koryta Dunajca było szersze i bardziej kręte niż obecnie (ryc. 2). Wody wezbraniowe po wystąpieniu z koryta cienką warstwą pokrywały równinę zalewową o szerokości kilku kilometrów. W wyniku regulacji przeprowadzonej w dwóch ostatnich dekadach XIX w. koryto w dolnym biegu rzeki zostało skrócone o ok. 10% i zwężone średnio o 30% (Zawiejska & Wyźga, 2010). Również w tym okresie aktywną równinę zalewową ograniczono wałami przeciwpowodziowymi do szerokości 600–800 m. Spowodowało to zmniejszenie retencji wód wezbraniowych i wzrost maksymalnych stanów podczas wezbrań (ryc. 3) (Punzet, 1981). Do lat 20. XX w. następowało dalsze zwężanie koryta wywołane załadowaniem basenów



Ryc. 1. Obszar badań (A) i lokalizacja miejsc poboru próbek (B)
Fig. 1. Study area (A) and the location of sampling sites (B)



Ryc. 2. Zmiany układu koryta dolnego Dunajca w latach 1879–2009 (na podstawie „Mapy topograficznej...” (1937, 1975), „Mapy obrębowej...” (1960), „Ortofotomapy...” (2009a, b, c) i „Spezialkarte...” (1879, 1913)) oraz miejsca poboru próbek
Fig. 2. Changes in the channel pattern of the lower Dunajec River in 1879–2009 (based on "Mapa topograficzna..." (1937, 1975), "Mapa obrębowa..." (1960), "Ortofotomapa..." (2009a, b, c) i "Spezialkarte..." (1879, 1913)) and location of sampling sites

międzyostrogowych (Zawiejska & Wyźga, 2010). Prace regulacyjne po raz kolejny wznowiono w latach 50. XX w. Wzrost zdolności transportowej rzeki wywołany skróceniem jej biegu oraz koncentracją przepływu w jednonurtowym korycie spowodował w Żabnie w dolnym biegu Dunajca (ryc. 1) obniżenie dna o 3,1 m (Zawiejska & Wyźga, 2010), co uwidocznione jest w zmniejszeniu się minimalnych rocznych stanów wody w tym posterunku (ryc. 3). Tempo pogłębiania się koryta w Żabnie było w ostatnim stuleciu zmienne. Najszybciej zachodziło ono w latach 1910–1921 i 1966–1975 i wyniosło odpowiednio 9 cm/rok i 4,5 cm/rok (Klimek, 1987; Sokołowski, 1995). W tych okresach w korycie głównym oraz w jego bocznych odnogach funkcjonowały ostrogi (Zawiejska & Wyźga, 2010). W badanym fragmencie koryta są one widoczne na „Mapie obrębowej...” z 1960 r. (ryc. 1, 2). Baseny międzyostrogowe musiały jednak szybko wypełnić się osadami, ponieważ na „Mapie topograficznej...” z 1975 r.

boczna odnoga koryta przegrodzona ostrogami jest już nieaktywna (ryc. 1, 2). W związku z pogłębieniem się koryta Dunajca w dolnym biegu nieznacznie zmniejszyła się częstota zatapiania równiny zalewowej (Wyźga i in., 2008).

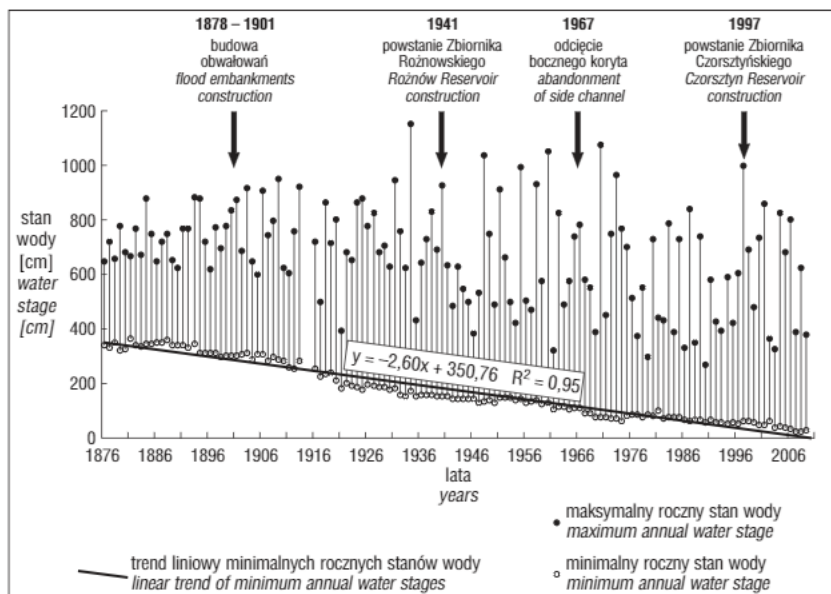
Na Dunajcu funkcjonują dwa zespoły zbiorników zaporowych: Rożnów-Czchów, oddany do użytku w 1941 r., i Czorsztyn-Sromowce, działający od 1997 r. Ograniczyły one średni roczny ładunek rumowiska unoszonego dostarczanego przez Dunajec do Wisły z 800 tys. t przed budową zbiorników do 300 tys. t po ich powstaniu (Łajczak, 1999). Spadek ilości transportowanego materiału zmniejsza potencjalne tempo depozycji na równinie zalewowej (Łajczak, 1995). W ostatniej dekadzie ograniczeniu ilości materiału dostarczanego do koryta mógł sprzyjać również spadek udziału gruntów ornych w zlewni górnego Dunajca (Kopacz & Twardy, 2006).

Badania osadów pozakorytowych dolnego Dunajca w Kotlinie Sandomierskiej przeprowadzono 3 km powyżej profilu wodowskazowego w Żabnie (ok. 17 km do ujścia) (ryc. 1).

Średni roczny przepływ Dunajca w Żabnie wynosi 85,5 m³/s, a maksymalny zanotowany przepływ 4500 m³/s (1934 r.). Najwyższe stany na Dunajcu występują podczas wezbrań letnich (Klimek, 1979). Wahanie stanów wód w profilu wodowskazowym w Żabnie sięgają wtedy nawet 10,5 m (Punzet, 1981). Spadek koryta w Żabnie wynosi 0,07‰. Rzeka wykazuje na tym odcinku tendencję do meandrowania. W korycie występują liczne łachy żwirowe oraz podcięcia brzegów. Żwirowe łachy są szybko utrwalane przez roślinność i włączane w obręb najniższego poziomu równiny zalewowej.

MATERIAŁY I METODY BADAŃ

W celu rekonstrukcji zmian układu koryta Dunajca i wyboru miejsc wkopów przeanalizowano „Mapę topograficzną...” (1937, 1975), „Mapę obrębową...” (1960), „Ortofo-



Ryc. 3. Zmiany minimalnych i maksymalnych rocznych stanów Dunajca w posterunku wodowskazowym Żabno w latach 1876–2009

Fig. 3. Changes in minimum and maximum annual water stage of the Dunajec River at the Żabno gauging station in 1876–2009

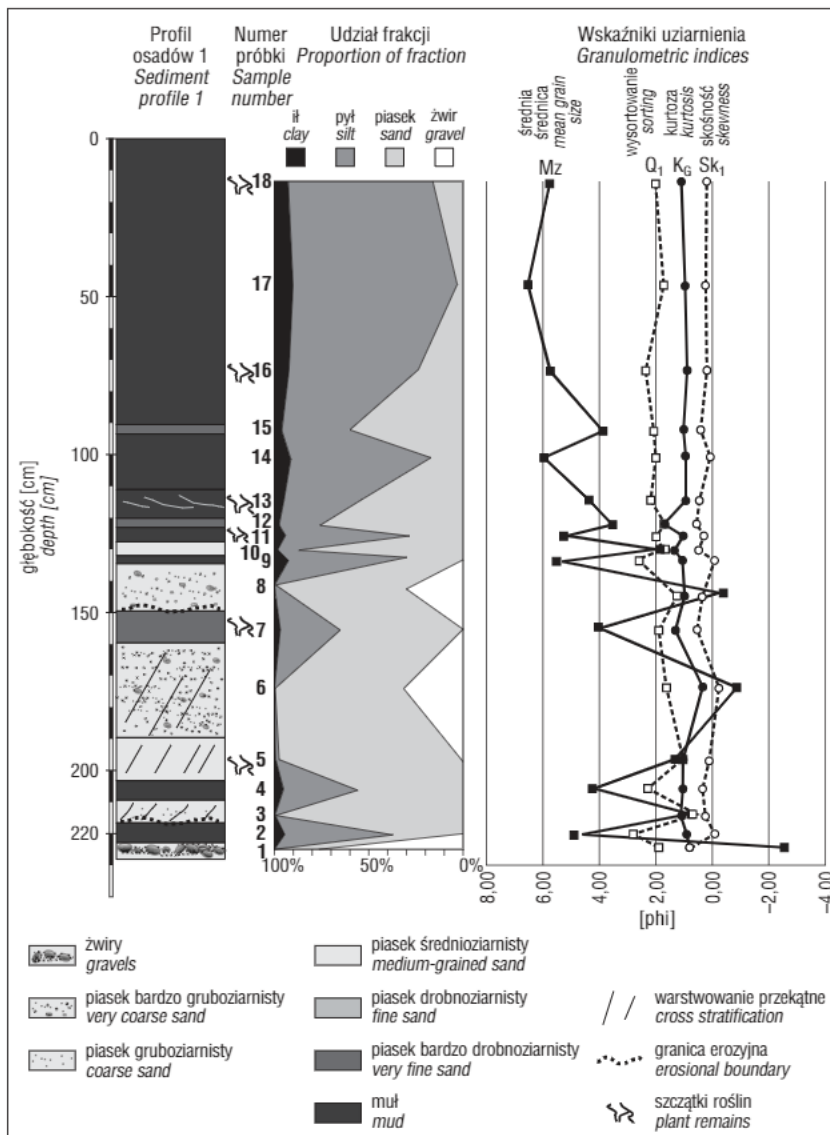
tomape...” (2002a, b, 2009a, b, c) i „Spezialkarte...” (1879, 1913). Wkopy 1 i 2 wykonano w datowanej kartograficznie odnodze koryta odciętej w latach 1960–1975 (ryc. 1B, 2). Rok odcięcia wyznaczono w połowie okresu pomiędzy latami, w których odnoga była przedstawiona na mapach jako aktywna i nieaktywna, czyli na 1967 r. Metodyka taka jest powszechnie stosowana przy wyznaczaniu daty odcięcia porzuconych koryt (Citterio & Piégay, 2009; Constantine i in., 2010).

W pobliżu koryta próby pobrano z podcięcia brzegu. Dalej od koryta wykonano jedno wiercenie świdrem ręcznym. Próbkę do analiz uziarnienia pobrano z każdej warstwy dającej się wyróżnić w osadach. Osady o średnicy mniejszej od 1 mm zbadano metodą laserową przy użyciu miernika średnicy cząstek Analysette 22 Comfort firmy Fritsch. Osady o średnicy większej od 1 mm badano metodą kombinowaną sitową-laserową, wykorzystując zestaw sit o przedziale oczek co 1/2 phi. Parametry uziarnienia obliczono według wzorów Folka i Warda (1957) za pomocą programu komputerowego Gradistat. Do rekonstrukcji środowiska depozycji osadów wykorzystano diagram C/M Passegi (Passega & Byramjee, 1969).

CHARAKTERYSTYKA OSADÓW WYPEŁNIAJĄCYCH PORZUCONE KORYTO

Oba wkopy wykonano w osadach wypełniających niefunkcjonującą od 1967 r. odnogę koryta.

Wkop 1 wykonano w podcięciu brzegu w bezpośrednim sąsiedztwie aktywnego koryta (ryc. 1). Stan wody, przy którym miejsce to jest zalewane wodami podczas wezbrań, wynosi 380 cm. Od momentu porzucenia badanego koryta był on przekraczany co najmniej 36 razy. W spągu profilu widoczne są żwiry korytowe. Ponad nimi zalegają 222 cm osadów (ryc. 4). W dolnej części odsłonięcia widoczne są skośnie warstwowane piaski grubo- i bardzo gruboziarniste. Są to osady łachy korytowej zdeponowane w sąsiedztwie



Ryc. 4. Profil osadów wkopu 1
Fig. 4. Sediment profile in the sampling site 1

aktywnego koryta podczas wysokoenergetycznych przepływów, w początkowej fazie wypełniania porzuconego koryta. Ich depozycja zachodziła głównie z trakeji (ryc. 5, tab. 1). Od głębokości 130 cm wznwyż osady wkopu przechodzą w drobniejsze osady deponowane z zawiesiny podczas przepływów pozakorytowych (ryc. 5, tab. 1). Od tej głębokości wyraźnie zmniejsza się udział frakcji piaszczystej i żwirowej w profilu (ryc. 4). Jest to związane ze wzrostem wysokości porzuconego koryta ponad koryto aktywne spowodowanym jego wypełnianiem osadami oraz jednoczesnym pogłębianiem aktywnego koryta. Średnie tempo depozycji osadów wkopu 1 wynosiło 5,2 cm/rok i było kilkakrotnie wyższe w początkowej fazie wypełniania porzuconego koryta. Deponowane były wtedy warstwy osadów o największej miąższości w całym profilu (ryc. 4). Rekonstrukcja środowiska depozycji osadów na diagramie C/M pokazała, że 61% osadów deponowanych było z różnego typu zawiesiny, w tym 5,56% z zawiesiny pelagicznej (ryc. 5, tab. 1). Reszta osadów (39%) deponowana była z dominującym udziałem transportu trakcyjnego.

Wkop 2 wykonano w środkowej części porzuconego koryta, oddalonej 200 m od brzegu aktywnego koryta (ryc. 1). Stan wody, przy którym miejsce to jest zalewane wodami podczas wezbrań, wynosi 430 cm. Od momentu porzucenia badanego koryta był on przekraczany co najmniej 30 razy. Świdrem ręcznym dowiercono się do żwirów korytowych. Ponad nimi zalega 215 cm mułu z cienkimi wkładkami piasku (ryc. 6). Piaski zostały zdeponowane w trakcie najbardziej energetycznych przepływów występujących podczas wypełniania porzuconego koryta osadami. Większy udział frakcji piaszczystej występuje w spągowej części profilu. Od głębokości 145 cm w górę profilu udział tej frakcji zmniejsza się (ryc. 6). Tempo depozycji omawianych osadów wynosiło 5 cm/rok. Były one deponowane z zawiesiny w warunkach słabej turbulencji. Aż 25% osadów we wkopie zostało zdeponowane z zawiesiny pelagicznej (ryc. 5, tab. 1)

DYSKUSJA

Depozycja osadów powstałych w badanym porzuconym korycie została wymuszona przez jego regulację. Na warunki sedymentacji tych osadów miały wpływ następujące czynniki: odległość od koryta rzeki, poziom wypełnienia porzuconego koryta osadami oraz ostrogi, które w nim funkcjonowały.

Wpływ odległości od koryta

W badanych osadach widoczne jest zróżnicowanie warunków sedymentacji na równinie zalewowej związane z odległością miejsca depozycji od aktywnego koryta. Bliżej koryta deponowane są gruboziarniste osady bardzo zróżnicowane pod względem frakcji. Częściej dochodzi tutaj także do depozycji pozakorytowej. Powodem tego jest znaczna różnica prędkości wód płynących w korycie i na równinie zalewowej, która występuje podczas wezbrań. Sprawia ona, że warunki przepływów są bardziej wysokoenergetyczne i zmienne. Wraz ze wzrostem odległości od koryta rzeki następuje stopniowe zmniejszanie wielkości ziaren deponowanego materiału (Zwoliński, 1992). Tempo depozycji osadów jest lokalnie zwiększane przez gęstą roślinność oraz nierówności terenu (por. Klimek, 1974; Teisseyre, 1989; Steiger i in., 2001; Citterio & Piégay, 2009). W części równiny zalewowej położonej dalej od koryta przepływy wód wezbraniowych są znacznie wolniejsze i nie tak zmienne (Zwoliński, 1992). W związku z tym tempo depozycji osadów jest tutaj mniejsze. Rekonstrukcja warunków depozycji na diagramie C/M pokazała, że takie warunki panowały kilkakrotnie częściej dalej od koryta niż w jego sąsiedztwie (tab. 1).

Wpływ poziomu wypełnienia porzuconego koryta osadami

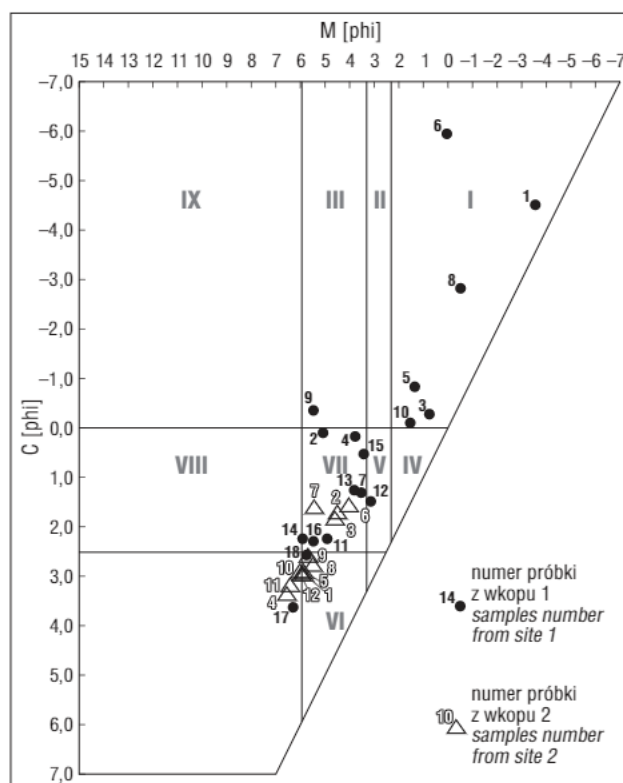
Rekonstrukcja warunków depozycji osadów badanych profili na diagramie C/M pokazała także, że przebieg depozycji osadów każdego z profili zmieniał się w poszczególnych fazach wypełniania porzuconego koryta (ryc. 6, tab. 1). W początkowej fazie panowały bardziej energetyczne warunki depozycji. Deponowane były wtedy najbardziej miękkie warstwy osadów. W miarę wypełniania porzuconego koryta zmniejszała się energia środowiska depozycji. Jej spadek dobrze obrazuje także zmniejszanie udziału frakcji piaszczystej ku górze obu profili (ryc. 4, 6).

Wpływ ostróg

W badanym korycie, przed jego porzuceniem, funkcjonowały ostrogi (ryc. 2). Sprawiało to, że tempo depozycji zostało znacznie przyspieszone. Duża ilość osadów zdeponowanych w basenach międzyostrogowych spowodowała zwężenie koryta i zmniejszenie jego przepustowości. Takie nasilenie depozycji w bocznej odnodze koryta mogło być główną przyczyną jego porzucenia. Podczas początkowej fazy wypełniania basenów międzyostrogowych tempo sedimentacji było największe. Koryto mogło jeszcze wtedy funkcjonować jako aktywna odnoga koryta głównego (ryc. 2), jednak w miarę wypełniania tych basenów coraz większa część przepływu była przenoszona w głównym korycie. Po odcięciu bocznego koryta depozycja w jego obrębie zachodziła tylko podczas przepływów pozakorytowych. W miarę wypełniania porzuconego koryta tempo depozycji zmniejszało się. Następowala kolonizacja tego obszaru przez roślinność krzewiastą i drzewa ułatwiające depozycję materiału transportowanego w zawieszinie podczas wezbrań (por. Klimek, 1974; Teisseyre, 1989; Steiger i in., 2001; Citterio & Piégay, 2009). Równoczesne obniżanie dna głównego koryta, wywołane skróceniem biegu rzeki na badanym odcinku, sprawiło, że zasilanie tego obszaru materiałem transportowanym podczas wezbrań zachodziło coraz rzadziej.

Podobne przyspieszenie depozycji związane z działaniem ostróg stwierdzono w innych rzekach w Polsce. Prace regulacyjne na Sanie wywołały znaczne zwężenie koryta

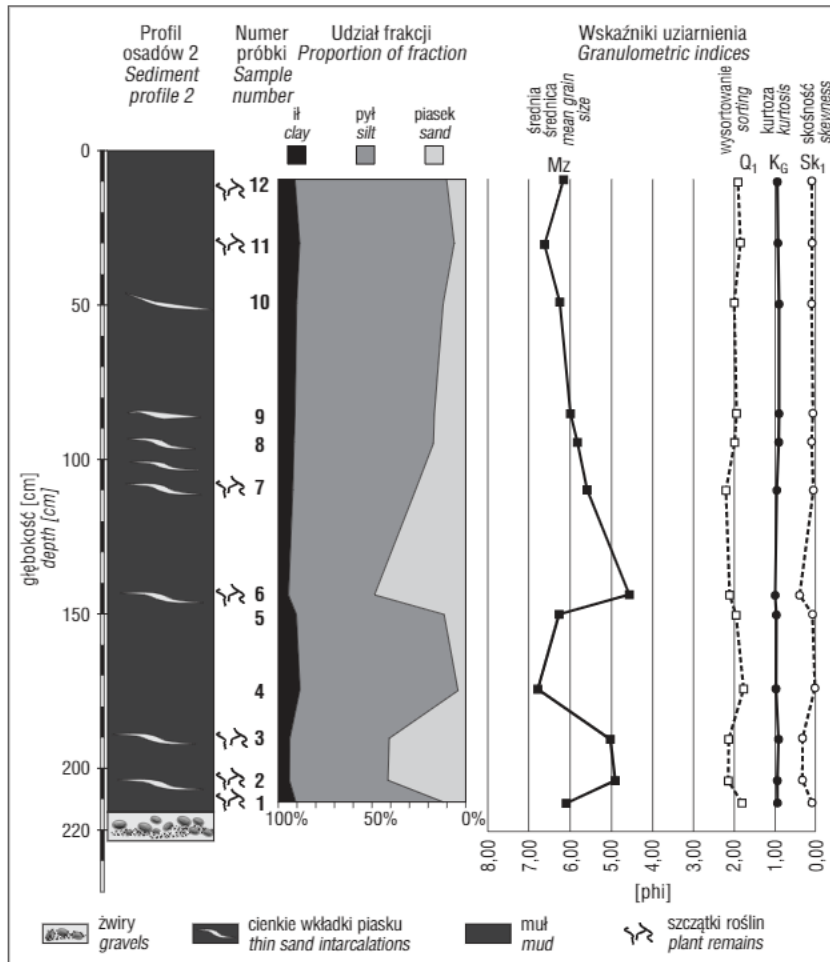
i zdeponowanie w miejscu jego dawnego przebiegu osadów o miąższości ok. 3 m (Szumański, 1977). Również na niektórych odcinkach górnej Odry i Wisły doszło do zmniejszenia szerokości koryta wywołanego szybką sedimentacją osadów w strefie umocnień brzegów (Ciszewski, 2006; Czajka, 2007; Ciszewski & Dubicki, 2008; Ciszewski & Czajka, 2009). Tempo depozycji osadów było tam zróżnicowane i wynosiło średnio 1,7–6 cm/rok (Czajka, 2007). Podobne procesy związane z działaniem ostróg stwierdzono także na środkowej Wiśle. Tempo depozycji osadów wynosiło tam średnio 1,5–3 cm/rok (Warowna, 2003). Dla porównania średnie tempo depozycji w porzuconych korytach Soły, w których nie funkcjonowały ostrogi, to 0,75 cm/rok (Grocholska, 1993).



Ryc. 5. Diagram C/M dla osadów z wkopów 1 i 2
Fig. 5. C/M diagram of the sediments from sites 1 and 2

Tab. 1. Udział próbek osadów zdeponowanych w poszczególnych środowiskach wg diagramu C/M Passegi (Passega & Byramje, 1969)
Table 1. Content of samples according to condition of sedimentation after C/M Passega diagram (Passega & Byramje, 1969)

Pole na diagramie C/M Area in C/M diagram	Warunki środowiska depozycji Conditions of deposition environment	Udział w osadach profilu 1 [%] Proportion of sediments in profile 1 [%]	Udział w osadach profilu 2 [%] Proportion of sediments in profile 2 [%]
I, II, III, IX	dominująca depozycja z trącej z niewielkim udziałem zawiesziny dominant deposition by traction with small share of suspension	38,89	0,00
IV	zawieszina gradacyjna transportowana w warunkach dużej turbulencji graded suspension transported in highly turbulent conditions	0,00	0,00
V	zawieszina gradacyjna transportowana w warunkach umiarkowanej turbulencji graded suspension transported in moderately turbulent conditions	5,56	0,00
VI, VII	zawieszina gradacyjna transportowana w warunkach niskiej turbulencji, zawieszina jednorodna o zróżnicowanym uziarnieniu graded suspension transported in low turbulent conditions, uniform suspension with more complex deposition	50,00	75,00
VIII	najdrobniejsza zawieszina jednorodna i zawieszina pelagiczna finest uniform suspension and pelagic suspension	5,56	25,00



Ryc. 6. Profil osadów w kopu 2
Fig. 6. Sediment profile in the sampling site 2

Podobne zmiany w sedymentacji wywołała regulacja rzek w innych częściach Europy. Na Węgrzech podczas regulacji Cisy doszło do odcięcia wielu bocznych koryt. Zdeponowane w nich osady przyrastały w tempie 1,9–2,4 cm/rok (Kiss i in., 2011). Szybkie pogłębienie koryta Garonny we Francji spowodowało porzucenie bocznych odnóg rzeki i depozycję w ich obrębie materiału w tempie 0,5–2,5 cm/rok (Steiger i in., 2001). Niemal identyczne tempo sedymentacji osadów stwierdzono na Rodanie, gdzie w związku z regulacją koryta doszło do porzucenia wielu bocznych odnóg rzeki. Depozycja osadów pozakorytowych w ich obrębie zachodziła w tempie do 2,57 cm/rok (Citterio & Piégay, 2009). Tempo depozycji jest największe w początkowej fazie wypełniania porzuconych koryt. Utrzymuje się wtedy zróżnicowana rzeźba dna dawnego koryta, która sprzyja jego wypełnianiu osadami. W miarę niwelowania rzeźby dna i podnoszenia się jego powierzchni ponad aktywne koryto rzeki tempo depozycji zmniejsza się (Citterio & Piégay, 2009).

WNIOSKI

Regulacja koryta wywołuje zmiany w sedymentacji osadów pozakorytowych. Możliwe jest określenie warunków depozycji i zasięgu osadów zdeponowanych na skutek regulacji.

Szybka depozycja osadów w basenach międzyostrogowych spowodowała opuszczenie bocznej odnogi koryta

dolnego Dunajca. Porzucone koryto było szybko (5–5,2 cm/rok) wypełniane osadami pozakorytowymi i włączane w obręb równiny zalewowej. Miąższość powstałych w ten sposób osadów wynosi 215–222 cm, a ich zasięg zależy od przebiegu porzuconego koryta.

Przebieg depozycji w porzuconym korycie jest zależny od dwóch głównych czynników – odległości od aktywnego koryta i poziomu wypełnienia osadami koryta porzuconego. Większa energia wód pozakorytowych przepływających bliżej aktywnego koryta sprawia, że osady deponowane tutaj są stosunkowo gruboziarniste i mogą być deponowane z trakcji. Dalej od aktywnego koryta depozycja w porzuconym korycie przebiega wyłącznie z zawiesiny, okresowo występuje też depozycja w warunkach wody stojącej.

W początkowej fazie wypełniania porzuconego koryta panują bardziej energetyczne warunki depozycji osadów. Deponowane są wtedy najbardziej gruboziarniste osady, a tempo ich depozycji jest wyższe niż w późniejszym czasie.

Obszar odciętego koryta Dunajca był szybko kolonizowany przez roślinność. Sprzyjała ona depozycji drobnoziarnistych osadów transportowanych w zawieszynie podczas wezbrań.

Dziękuję dyrekcji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie za udostępnienie danych o przepływach Dunajca, a prof. dr. hab. Kazimierzowi Krzemieniowi za uwagi do pierwotnej wersji artykułu. Dziękuję także dwóm recenzentom: dr. hab. Bartłomiejowi Wyździe oraz drugiemu anonimowemu za cenne uwagi, które ulepszyły końcową wersję tej pracy.

LITERATURA

- CISZEWSKI D. 2006 – Wpływ regulacji koryta Odry na akumulację osadów zanieczyszczonych metalami ciężkimi: zróżnicowanie, zmiany w czasie, zagrożenie środowiskowe. *Stud. Naturae*, 52: 1–176.
- CISZEWSKI D. & CZAJKA A. 2009 – Akumulacja osadów na równinach zalewowych rzek silnie zmienionych antropogenicznie: góra Wisła i Odra. *Prz. Geol.*, 57: 576–583.
- CISZEWSKI D. & DUBICKI A. 2008 – Reżim hydrologiczny i współczesne przemiany koryta i równiny zalewowej Odry. [W:] Starkel L., Kostrzewski A., Kotarba A. & Krzemień K. (red.) *Współczesne przemiany rzeźby Polski*. IGI GP UJ, Kraków: 371–383.
- CITTERIO A. & PIÉGAY H. 2009 – Overbank sedimentation rates in former channel lakes: characterization and control factors. *Sedimentology*, 56: 461–482.
- CONSTANTINE J.A., DUNNE T., PIÉGAY H. & KONDOLF G.M. 2010 – Controls on the alluviation of oxbow lakes by bed-material load along the Sacramento River, California. *Sedimentology*, 57: 389–407.
- CZAJKA A. 2000 – Sedymentacja pozakorytowa aluwiołów w strefie międzywala Wisły w Kotlinie Oświęcimskiej. *Prz. Geol.*, 48: 263–267.
- CZAJKA A. 2007 – Środowisko sedymentacji osadów przykorytowych rzek uregulowanych na przykładzie górnej Odry i górnej Wisły. *Wyd. UŚI*, Katowice: 100.
- FOLK R.L. & WARD W.C. 1957 – Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.*, 27: 3–26.

- GROCHOLSKA J. 1993 – Paleochannel fills as an index of channel dynamics, the Soła River Valley floor, the Carpathian Foreland. *Quaest. Geogr.*, 15/16: 43–50.
- KALICKI T. 2006 – Zapis zmian klimatu oraz działalności człowieka i ich rola w holocenijskiej ewolucji dolin środkowoeuropejskich. *Pr. Geogr. IGIPZ PAN*, 204: 348.
- KASINA M., POCIASK-KARTECZKA J. & NIECKARZ Z. 2007 – Tendencje występowania wysokich przepływów w dorzeczu Dunajca w II połowie XX wieku. *Fol. Geogr., Ser. Geogr.-Phys.*, 37–38: 5–35.
- KISS T., OROSZI V.G., SIPOS G., FIALA K. & BENYHE B. 2011 – Accelerated overbank accumulation after nineteenth century river regulation works: a case study on the Maros River, Hungary. *Geomorphology*, 135: 191–202.
- KLIMEK K. 1974 – The structure and mode of sedimentation of the flood-plain deposits in the Wisłoka valley (south Poland). *Stud. Geomorphol. Carpatho-Balcanica*, 8: 137–151.
- KLIMEK K. 1979 – Geomorfologiczne zróżnicowanie koryt karpackich dopływów Wisły. *Fol. Geogr., Ser. Geogr.-Phys.*, 12: 35–47.
- KLIMEK K. 1987 – Man's impact on fluvial processes in Polish Western Carpathians. *Geogr. Ann. Ser. A*, 69: 221–226.
- KLIMEK K., ŁAJCZAK A. & ZAWILIŃSKA L. 1989 – Cechy sedimentologiczno-geochemiczne osadów delty Soły w zbiorniku Żywieckim. *Probl. Zagosp. Ziem Górskich*, 29: 85–91.
- KLIMEK K., ŁAJCZAK A. & ZAWILIŃSKA L. 1990 – Sedimentary environment of the modern Dunajec delta in artificial Rożnów Lake, Carpathian Mts., Poland. *Quaest. Geogr.*, 11/12: 81–92.
- KOPACZ M. & TWARDY S. 2006 – Zmiany użytkowania ziemi w zlewni górnego Dunajca w aspekcie wybranych parametrów jakościowych wód powierzchniowych. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, 6: 191–202.
- KUKULAK J. 2004 – Zapis skutków osadnictwa i gospodarki rolnej w osadach rzeki górskiej na przykładzie aluwiów dorzecza górnego Sanu w Bieszczadach Wysokich. *Wyd. Naukowe AP, Kraków*: 128.
- ŁAJCZAK A. 1986 – Retencja rumowiska w zbiornikach zaporowych karpackiego dorzecza Wisły. *Czas. Geogr.*, 57: 47–77.
- ŁAJCZAK A. 1995 – Potential rates of the present-day overbank sedimentation in the Vistula valley at the Carpathian Foreland, southern Poland. *Quaest. Geogr.*, 17/18: 41–53.
- ŁAJCZAK A. 1999 – Współczesny transport i sedimentacja materiału unoszonego w Wiśle i głównych dopływach. *Monogr. Kom. Gosp. Wodnej PAN*, 15: 215.
- Mapa** obrębowa w skali 1 : 25 000, Powiat Tarnów. 1960, ZTSG, Warszawa.
- Mapa** topograficzna w skali 1 : 100 000, ark. Tarnów (P48 S32). 1937, WIG, Warszawa.
- Mapa** topograficzna w skali 1 : 50 000, ark. Dąbrowa Tarnowska (164.3). 1975, PPGK, Warszawa.
- Ortofotomapa** w skali 1 : 5 000, ark. M-34-66-D-a-4-2. 2009a, GUGIK, Kraków.
- Ortofotomapa** w skali 1 : 5 000, ark. M-34-66-D-b-3-1. 2009b, GUGIK, Kraków.
- Ortofotomapa** w skali 1 : 5 000, ark. M-34-66-D-b-3-3. 2009c, GUGIK, Kraków.
- Ortofotomapa** w skali 1 : 10 000, ark. M-34-66-D-a-4. 2002a, GUGIK, Kraków.
- Ortofotomapa** w skali 1 : 10 000, ark. M-34-66-D-b-3. 2002b, GUGIK, Kraków.
- PASSEGA R. & BYRAMJEE R. 1969 – Grain size image of clastic deposits. *Sedimentology*, 13: 233–252.
- PUNZET J. 1981 – Zmiany w przebiegu stanów wody w dorzeczu górnej Wisły na przestrzeni 100 lat (1871–1970). *Fol. Geogr., Ser. Geogr.-Phys.*, 14: 5–28.
- SOKOŁOWSKI T. 1981 – Uwagi o terasach doliny Dunajca koło Tarnowa. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 5: 579–594.
- SOKOŁOWSKI T. 1995 – Development of the lower reach of the Dunajec river in the Vistulian and Holocene. [W:] Starkel L. (red.) *Evolution of the Vistula river valley during the last 15 000 years. Part V. Geogr. Stud., Special Issue*, 8: 51–71.
- Spezialkarte** der österreichisch-ungarischen Monarchie 1 : 75 000, ark. Tarnów und Dąbrowa. 1879, Kaiserlich und Königlich Militaergeografisches Institut, Military-Geographic Institute, Wien.
- Spezialkarte** der österreichisch-ungarischen Monarchie 1 : 75 000, ark. Tarnów und Dąbrowa 1913, Kaiserlich und Königlich Militaergeografisches Institut, Military-Geographic Institute, Wien.
- STEIGER J., GURNELL A.M., ERGENZINGER P. & SNEIDER D. 2001 – Sedimentation in the riparian zone of an incising river. *Earth Surf. Proc. Land.*, 26: 91–108.
- SZMAŃDA J.B. 2009 – Próba interpretacji litodynamicznej warunków sedimentacji litofacji aluwiów pozakorytowych Dunaju w Bratisławie (Słowacja). [W:] Kostrzewski A. & Paluszkievicz R. (red.) *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, t. 5. *Ser. Geogr. nr 88. Wyd. Naukowe UAM, Poznań*: 535–552.
- SZMAŃDA J.B. 2011 – Zapis warunków depozycji w uziarnieniu aluwiów pozakorytowych. *Landform Analysis*, 18: 3–95
- SZUMANSKI A. 1977 – Zmiany układu koryta dolnego Sanu w XIX i XX wieku oraz ich wpływ na morfogenezę tarasu łęgowego. *Stud. Geomorphol. Carpatho-Balcanica*, 11: 139–153.
- TEISSEYRE A.K. 1989 – Mady dolin sudeckich. Część 3: subaeralnie i subakwalnie deponowane osady pozakorytowe w świetle eksperymentu terenowego (1977–1979). *Geol. Sudet.*, 23(2): 1–81.
- WAROWNA J. 2003 – Wpływ zabudowy hydrotechnicznej na warunki sedimentacji w korycie powodziowym Wisły na odcinku Zawichost–Puławy. *Wyd. UMCS, Lublin*: 121.
- WOLMAN M.G. & LEOPOLD L.B. 1957 – River flood plains: some observations on their formation. *Geol. Surv. Prof. Paper*, 282-C: 87–109.
- WYŻGA B. 2008 – Wcinanie się rzek polskich Karpat w ciągu XX wieku. [W:] Wyżga B. (red.) *Stan środowiska rzek południowej Polski i możliwości jego poprawy – wybrane aspekty. IOP PAN, Kraków*: 7–39.
- WYŻGA B., ZAWIEJSKA J. & RADECKI-PAWLIK A. 2008 – Określanie wielkości wcięcia się rzek i jego wpływu na hydraulikę przepływów wezbraniowych – przykłady z rzek karpackich. *Landform Analysis*, 9: 402–405.
- ZAWIEJSKA J. & WYŻGA B. 2010 – Twentieth-century channel change on the Dunajec River, southern Poland: patterns, causes and controls. *Geomorphology*, 117: 234–246.
- ZWOLIŃSKI Z. 1992 – Sedimentology and geomorphology of overbank flows on meandering river floodplains. *Geomorphology*, 4: 367–379.

Praca wpłynęła do redakcji 20.01.2012 r.
Po recenzji akceptowano do druku 22.05.2012 r.

