

1

UWARUNKOWANIA WYSTĘPOWANIA I PRZYCZYNY ZANIKU WIELONURTOWEJ MORFOLOGII RZEK POLSKICH KARPAT

Bartłomiej Wyźga, Joanna Zawiejska, Hanna Hajdukiewicz

Abstrakt: Rzeki wielonurtowe (roztokowe) cechują się obecnością łączących się i rozgałęziających szlaków przepływu (roztok), rozdzielonych przez łachy śródkorytowe lub kępy powstające w wyniku zasiedlania łach śródkorytowych przez roślinność. Formowaniu się wielonurtowej morfologii rzek sprzyja duży spadek koryta i dna doliny, duża zmienność przepływów, niewielki udział drobnoziarnistych, kohezyjnych osadów w budowie równiny aluwialnej, obecność gruboziarnistego materiału dennego i duża dostawa rumowiska do koryta. W naturalnych warunkach środowiskowych holocenu roztokowy układ koryta z udziałem kęp cechował rzeki na przedpolu Tatr i prawdopodobnie także te odcinki rzek w obrębie Karpat fliszowych, gdzie w podłożu występowały mięjsze kompleksy gruboławicowych piaskowców. Formowanie się koryt wielonurtowych było wówczas uwarunkowane przekroczeniem kompetencji rzek zasilanych spoistym, grubookruchowym materiałem oraz niewielkim udziałem drobnoziarnistych osadów w budowie równin aluwialnych. Narastające wylesienie górskich zlewni i wzrost powierzchni upraw rolnych na stokach spowodowały wzrost kulminacji wezbrań i znacznie zwiększyły dostawę rumowiska do koryt. W połączeniu z dużą wilgotnością schyłkowej fazy małej epoki lodowej doprowadziło to do transformacji rzek roztokowych z kępami w rzeki roztokowe z łachami żwirowymi i rozprzestrzenienia się w XIX wieku wielonurtowej morfologii koryt w dół biegu rzek, aż na obszar kotlin przedgórskich. W XX wieku doszło natomiast do niemal całkowitego zaniku występowania wielonurtowego układu koryta w rzekach karpackich. Było to przede wszystkim efektem regulacji koryt tych rzek, choć do skuteczności prac regulacyjnych przyczyniło się zmniejszenie dostawy rumowiska do rzek spowodowane zmianami użytkowania ziemi w zlewniach, a także ograniczenie dostępności rumowiska dennego do transportu fluwialnego w wyniku eksploatacji żwiru z koryt i przegradzania rzek zbiornikami zaporowymi. W wyniku zaistniałych zmian środowiskowych w zlewniach i przerwania ciągłości transportu rumowiska dennego przez zbiorniki zaporowe, odtworzenie występowania koryt wielonurtowych jest obecnie możliwe jedynie na obszarze ich naturalnego występowania w holocenie.

Słowa kluczowe: koryta wielonurtowe, dostawa rumowiska, holocen, antropopresja, lesistość zlewni, regulacja rzek, rewitalizacja rzek

1. Wstęp

Rzeki wielonurtowe, określane także jako roztokowe, cechują się obecnością łączących się i rozgałęziających szlaków przepływu (roztok), rozdzielonych przez łachy śródkorytowe lub kępy powstające w wyniku zasiedlania łach śródkorytowych przez roślinność [Rinaldi i in., 2013]. Rzeki te stanowią systemy jednokorytowe, w których poszczególne roztoki wykazują dużą mobilność, a ich układ podlega stosunkowo częstym zmianom.

W XIX wieku wielonurtowa morfologia koryt cechowała ogromną większość górskich i przedgórskich rzek Europy [Petts i in., 1989; Gurnell i in., 2009; Rinaldi i in., 2013]. W tym okresie, przed rozpoczęciem planowej regulacji rzek w karpackiej części dorzecza górnej Wisły, wielonurtowy układ koryta występował powszechnie w rzekach karpackich. Wielonurtowe koryta rzek karpackich z XIX wieku opisano w szeregu prac [np. Klimek, Trafas, 1972; Baumgart-Kotarba, 1980; Krzemień, 1981; Adamczyk, 1981; Klimek, 1987; Wyźga, 1993a; Starkel, 1990], dokumentując ich występowanie nie tylko w górskim biegu karpackich dopływów Wisły, lecz również w ich odcinkach w obrębie Pogórza [Starkel, 1981] i na przedpolu gór [Szumański, 1986]. Powstaje pytanie czy ówczesne szerokie rozprzestrzenienie wielonurtowej morfologii rzek karpackich było typowym stanem tych rzek, czy też zjawiskiem wyjątkowym w ich holocenijskiej historii.

Powyższe pytanie jest zasadne w świetle niemal całkowitego zaniku występowania wielonurtowej morfologii rzek karpackich w XX wieku. W wielu opracowaniach udokumentowano przekształcenie w XX wieku wielonurtowych koryt rzek karpackich w koryta jednokorytowe [np. Krzemień, 1981, 1984; Klimek, 1987; Wyźga, 1993c, 2001a; Zawiejska, Krzemień, 2004; Korpak, 2007; Starkel i in., 2008; Zawiejska, Wyźga, 2010]. Zanik występowania koryt roztokowych w karpackich dopływach Wisły był połączony ze znacznym zmniejszeniem szerokości koryt [Hajdukiewicz, Wyźga, 2013] i wcięciem się rzek [Wyźga, 2008]. W różnych odcinkach rzek te zmiany zaszły jednak w różnym czasie [Zawiejska, Wyźga, 2010] i były spowodowane kilkoma czynnikami.

W dalszych rozdziałach książki podkreślono istotną rolę wielonurtowej morfologii koryt dla kształtowania dużej bioróżnorodności rzecznych i nadrzecznych ekosystemów rzek żwirowodennych i utrzymania/przywrócenia dobrego stanu ekologicznego tych rzek. Z uwagi na swą dużą pojemność przy wysokich oporach przepływu, koryta wielonurtowe cechują się także znacznie większą retencją korytową wód wezbraniowych niż proste koryta regulacyjne. Odtworzenie występowania koryt wielonurtowych w rzekach karpackich byłoby zatem korzystne zarówno dla zmniejszenia zagrożenia powodziowego w niższych odcinkach rzek, jak i poprawy ich walorów środowiskowych, ułatwiając tym samym spełnienie środowiskowych wymogów zapisanych w Ramowej Dyrektywie Wodnej Unii Europejskiej [Komisja Europejska, 2000]. Istotne jest więc określenie, gdzie możliwe jest odtworzenie występowania wielonurtowych koryt rzek karpackich przy obecnych warunkach środowiskowych w ich zlewniach.

Celem niniejszego artykułu jest omówienie uwarunkowań występowania w przeszłości i przyczyn współczesnego zaniku wielonurtowej morfologii rzek polskich Karpat.

Przedstawiamy w nim:

- przegląd badań określających warunki formowania się koryt wielonurtowych,
- występowanie wielonurtowej morfologii rzek karpackich w naturalnych warunkach holocenu, określone na podstawie teoretycznych przesłanek,
- rozwój wielonurtowej morfologii rzek karpackich przy nasilającej się antropopresji w zlewniach,
- przebieg i przyczyny zaniku występowania wielonurtowych koryt w rzekach karpackich.

W końcowej części artykułu wnioski wypływające z przeglądu powyższych zagadnień wykorzystano do określenia możliwości odtworzenia wielonurtowego układu koryta rzek karpackich w obecnych warunkach środowiskowych.

2. Warunki formowania się rzek wielonurtowych

Charakterystyczną cechą rzek roztokowych, odróżniającą je od rzek o innej morfologii, jest duża szerokość ich koryta przy niewielkiej, choć bardzo zmiennej w przekroju głębokości. Rzeki te mają koryto uformowane w obrębie niekohezyjnych osadów o dużej podatności na erozję, co umożliwia szybką zmianę szerokości koryta i układu roztok w jego obrębie. W odległej przeszłości geologicznej, przed zasiedleniem lądów przez roślinność, roztokowy układ koryta występował w większości rzek, a roztokowe koryta formowały się w materiale od żwirowego do pyłowego [Schumm, 1960a]. Współcześnie koryta roztokowe występują najczęściej w rzekach żwirodennych, rzadziej w rzekach o dnie piaszczystym [Paola, 2004].

Występowanie wielonurtowej morfologii koryta jest wynikiem niedostatecznej nośności rzeki (jej przeciążenia nadmiernym ładunkiem transportowanego rumowiska) lub jej niedostatecznej kompetencji (występowaniem w korycie materiału dennego o zbyt dużej frakcji), połączonych z brakiem kohezyjnych osadów w obrębie równiny aluwialnej [Gurnell i in., 2009]. Miejscami częstego występowania rzek roztokowych są obszary górskie i przedgórskie, polarne oraz pólsuche. Formowaniu się koryt roztokowych sprzyja bowiem duży spadek koryta i dna doliny, duża zmienność przepływów, niewielki udział drobnoziarnistych, kohezyjnych osadów w budowie równiny aluwialnej, obecność gruboziarnistego materiału dennego i duża dostawa rumowiska do koryta [np. Knighton, 1998].

Powszechnym sposobem identyfikacji układu koryta współczesnych rzek jest analiza planarnej geometrii ich koryt. We wczesnej pracy dotyczącej formowania różnych układów koryt Leopold i Wolman [1957] podjęli pierwszą próbę określenia warunków formowania się jednonurtowych koryt meandrowych oraz koryt roztokowych, analizując progowe wartości spadku koryta i przepływu korytotwórczego, których przekroczenie może spowodować zmianę jednego typu koryta na drugi. Autorzy ci wykazali, że przy zbliżonych warunkach przepływu koryta roztokowe cechują się większym spadkiem niż koryta meandrowe. Z kolei przy tym samym spadku, koryta roztokowe są związane z wyższymi przepływami niż koryta meandrowe.

Badania Schumma [1960b] wskazały na rolę, jaką w formowaniu koryt o różnym kształcie przekroju poprzecznego odgrywa udział drobnoziarnistych, kohezyjnych osadów na obwodzie zwilżonym koryta. Wykazał on, że iloraz szerokości do głębokości koryta pozostaje w odwrotnie proporcjonalnej zależności od procentowego udziału pyłu

i łu w budowie obwodu zwilżonego koryta. Zależność ta nie jest zniekształcona przez oddziaływanie zmian średniego rocznego przepływu czy średniego rocznego wezbrania, które wpływają na całkowite rozmiary koryta, lecz nie na jego kształt. Szerokie i płytkie koryta roztokowe cechuje niewielki udział pyłu i łu w osadach dna i brzegów koryta, jest on natomiast duży w wąskich i głębokich korytach meandrowych. Schumm [1960b] podkreślił, iż zmiany typu osadu wywierają znaczny wpływ na zmiany szerokości i głębokości koryt wzdłuż biegu rzek. Jeśli udział drobnoziarnistych frakcji w osadach dna i brzegów koryta wzrasta z biegiem rzeki, wówczas wraz ze wzrostem przepływu głębokość koryta wzrasta szybciej, a szerokość wolniej. Takie zależności są typowe dla rzek karpackich, dla których udział drobnoziarnistych osadów w budowie równin aluwialnych jest niewielki w ich górnych odcinkach, a duży na przedpolu gór. Formowanie się koryt roztokowych o dużym ilorazie szerokości do głębokości jest więc dużo bardziej prawdopodobne w górnych biegach rzek karpackich niż w ich dolnych biegach.

Dalsze badania Schumma [1968] wskazały na możliwość zmiany układu koryta danej rzeki wraz ze zmianą warunków środowiskowych w jej zlewni i umożliwiły powiązanie kształtu koryta (wyrażonego przez iloraz szerokości do głębokości – w/d) z udziałem obciążenia dennego w całkowitym obciążeniu rzeki i zawartością pyłu i łu w osadach jej obwodu zwilżonego. Koryta rzek o niewielkim udziale obciążenia dennego w ich całkowitym obciążeniu (określonych jako rzeki o obciążeniu zawieszinowym) są jednonurtowe, wąskie i głębokie (iloraz $w/d < 10$), a ich dno i brzegi budują aluwia o dużej zawartości pyłu i łu ($> 20\%$). Z kolei rzeki o dużym udziale obciążenia dennego w całkowitym obciążeniu (rzeki o obciążeniu dennym) formują koryta wielonurtowe, szerokie i płytkie, a udział materiału drobnoziarnistego w ich obwodzie zwilżonym jest mniejszy od 5%. Rzeki o umiarkowanym udziale obciążenia dennego (rzeki o obciążeniu mieszanym) stanowią typ pośredni.

Zmiany warunków środowiskowych w zlewni wpływają na zmiany przepływów przenoszonych przez rzeki oraz ich obciążenia rumowiskiem. Zmiany przepływów znajdują odzwierciedlenie w całkowitych wymiarach koryta, natomiast zmiany obciążenia rzeki w zmianach jego kształtu. Zmiany wielkości przepływów przenoszonych przez rzekę oraz jej obciążenia dennego prowadzą do transformacji rzeki (ang. *river metamorphosis*) i mogą zostać określone w oparciu o analizę zmian podstawowych parametrów geometrycznych koryt rzecznych (szerokości, głębokości, długości fali meandru, spadku i krętości) [Schumm, 1969]. Wzrost długości fali meandru oraz szerokości i spadku koryta oraz zmniejszenie się głębokości i krętości koryta, typowe dla zmiany koryta meandrowego w roztokowe, to typowe zmiany wywołane zwiększeniem obciążenia dennego rzeki. Odwrotne zmiany tych parametrów towarzyszą zmianie koryta roztokowego w meandrowe i są wywołane malejącym obciążeniem dennym rzeki.

Przedstawiony przez Schumma [1969, 1985] podział rzek w zależności od charakteru ich obciążenia rumowiskiem zakładał ciągłość typów koryt rzecznych. Uwzględnienie zróżnicowania innych cech, takich jak moc strumienia, średnica rumowiska i natężenie jego dostawy oraz obecność lądowej roślinności w korycie rzeki, zaowocowały rozszerzeniem klasyfikacji Schumma o kolejne typy układu koryta [Church, 1992, 2002]. W tej nowej klasyfikacji wskazano na istnienie koryt wielonurtowych, w których wynurzone powierzchnie pomiędzy roztokami mogą stanowić albo łachy śródkorytowe

(ang. *bar-braided channel pattern*), albo porośnięte roślinnością kępy (ang. *island-braided channel pattern*). Za typ przejściowy pomiędzy rzekami jednonurtowymi i roztokowymi uznano natomiast żwirowe rzeki błądzące (ang. *wandering*) [Desloges, Church, 1989], w których występują odcinki kręte, odcinki z roztokami opływającymi kępy i łachy śródkorytowe oraz odcinki roztokowe z łachami śródkorytowymi.

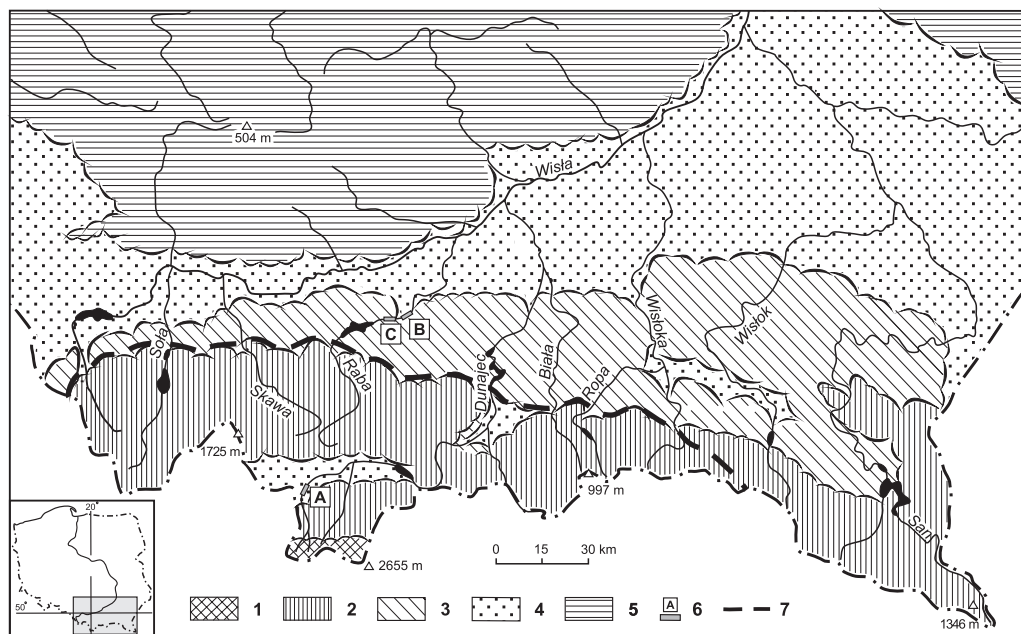
W ostatnich dwu dziesięcioleciach wskazano na odrębność rzek roztokowych i rzek anastomozujących. Te ostatnie reprezentują wielokorytowe systemy rzeczne i cechują się obecnością licznych, rozdzielających się i łączących koryt z powolnym przepływem wody, rozdzielonych przez długotrwałe kępy powstające w wyniku fragmentacji równi zalewowej [Knighton, Nanson, 1993]. Anastomozujący układ koryta formuje się w wyniku wielokrotnych przerzutów koryt i powolnego zamierania starszych koryt w warunkach powolnej aggradacji dna rzeki. Występuje on z reguły w nizinnych odcinkach rzek o niewielkim spadku i obecności drobnoziarnistych, kohezyjnych osadów w obrębie równiny aluwialnej [Rinaldi i in., 2013].

W ostatnich dziesięcioleciach coraz częściej podkreśla się rolę roślinności lądowej i grubego rumoszu drzewnego, które wraz z czynnikami fizycznymi, takimi jak przepływ wody, spadek doliny, wielkość i ilość dostępnego rumowiska wpływają na kształtowanie się koryt rzecznych. Istotna rola roślinności wynika z aktywnego przekształcania (ang. *ecosystem engineering*) wynurzonych powierzchni w obrębie rzek przez roślinność, która znacząco zmienia szorstkość tych powierzchni i przyspiesza depozycję drobnego rumowiska, a tym samym wpływa na pionowe różnicowanie się koryt rzecznych [Gurnell, Petts, 2006]. Badania w korytach eksperymentalnych sugerują, iż roślinność odgrywa kluczową rolę w transformacji koryt wielonurtowych w jednonurtowe [Gran, Paola, 2001; Tal, Paola, 2007]. Jest to więc potwierdzenie obserwacji osadów kopalnych, które wskazują na znaczący wzrost udziału koryt meandrowych w zapisie geologicznym wraz z zasiedleniem łądów przez roślinność [Schumm, 1960a].

3. Występowanie wielonurtowej morfologii rzek karpackich w naturalnych warunkach środowiskowych holocenu

Informacje o występowaniu roztokowych koryt rzek karpackich w holocenie są bardzo skąpe (Starkel, 1977). W wąskich dolinach górskich erozyjna działalność rzek doprowadziła w czasach historycznych do przemodelowania starszych elementów rzeźby na znacznej części den dolin, a jednocześnie intensywna sedimentacja pokryw madowych, do jakiej doszło po wylesieniu górskich zlewni [Teisseyre, 1985], zatarała niżejległą rzeźbę paleokoryt. Występowanie pojedynczych paleokoryt o prostym przebiegu w dnie doliny nie dowodzi jeszcze, iż były one elementami szerszego układu koryta roztokowego. Stosunkowo rozległe fragmenty holocenijskiej równiny aluwialnej z czytelną siecią łączących się i rozgałęziających paleokoryt, typową dla rzek roztokowych, zachowały się w kotlinach śródgórskich na przedpolu Tatr – w Kotlinie Orawskiej holocenijski wiek takich paleokoryt został potwierdzony datowaniami ^{14}C [Baumgart-Kotarba, 1992].

O rozprzestrzenieniu wielonurtowej morfologii rzek karpackich w holocenie można zatem wnioskować na podstawie teoretycznych przesłanek oraz zasięgu tej morfologii w czasie tworzenia najstarszych map dla obszaru polskich Karpat.



Ryc. 1. Przypuszczalny zasięg występowania wielonurtowej morfologii rzek polskich Karpat w naturalnych warunkach środowiskowych holocenu i lokalizacja szczegółowo analizowanych odcinków rzek. 1 – góry wysokie; 2 – góry średnie i niskie; 3 – pogórza; 4 – kotliny śródgórskie i przedgórskie; 5 – wyżyny; 6 – odcinki rzek pokazane na rycinie 2 (A), 3 (B) i 5 (C); 7 – zasięg występowania wielonurtowej morfologii rzek karpackich w naturalnych warunkach holocenu określony na podstawie teoretycznych przesłanek.

Fig. 1. Probable occurrence of river reaches with multi-thread morphology in the Polish Carpathians under natural conditions in the Holocene and the location of studied reaches. 1 – high mountains; 2 – mountains of intermediate and low height; 3 – foothills; 4 – intramontane and submontane depressions; 5 – uplands; 6 – river reaches shown in Figure 2 (A), 3 (B) and 5 (C); 7 – extent of multi-thread morphology in Polish Carpathian rivers under natural conditions in the Holocene based on theoretical premises.

Uważamy, że w naturalnych warunkach środowiskowych holocenu występowanie koryt roztokowych było ograniczone do rzek wypływających z Tatr oraz potoków i rzek w obszarze płaszczowiny magurskiej i zachodniej części płaszczowiny śląskiej, gdzie w podłożu występują zwarte, miększe kompleksy gruboławicowych piaskowców, odpowiednio magurskich oraz godulskich i istebniańskich (ryc. 1). Formowaniu się koryt wielonurtowych w tych obszarach sprzyjała dostawa do rzek spoistego, grubookruchowego materiału [Klimek, 1979]. Dostawa tego materiału z podcinanych przez rzeki plejstoceńskich teras, zboczy dolin i osuwisk powodowała przekroczenie kompetencji rzeki [Owczarek, 2007] i odkładanie się nadmiaru rumowiska w formie łańcuchów śródkorytowych. Jednocześnie obszary te były źródłem dostawy jedynie niewielkich ilości drobnoziarnistego rumowiska; umożliwiało to formowanie przez rzeki równin aluwialnych o małym udziale drobnoziarnistych, kohezyjnych osadów. Wreszcie, rzeki odwadniające te obszary cechowało formowanie się dużych wezbrań, odzwierciedlające wysokie sumy opadów w Tatrach [Niedźwiedz, Obrębska-Starkłowa, 1991] i małą zdolność retencyjną zlewni fliszowych. Analogicznie do sytuacji istniejącej w XIX i z początkiem XX wieku [Zawiejska, Wyżga, 2010], formowanie się koryt wielonurtowych musiało zachodzić przede

wszystkim w szerszych odcinkach dolin [Klimek, Trafas, 1972], zwłaszcza w obrębie kotlin śródgórskich, gdzie szerokie rozlewanie się wód wezbraniowych ułatwiało depozycję materiału dennego, natomiast w wąskich dolinach rzeki płynęły jednonurtowym korytem o małej krętości.

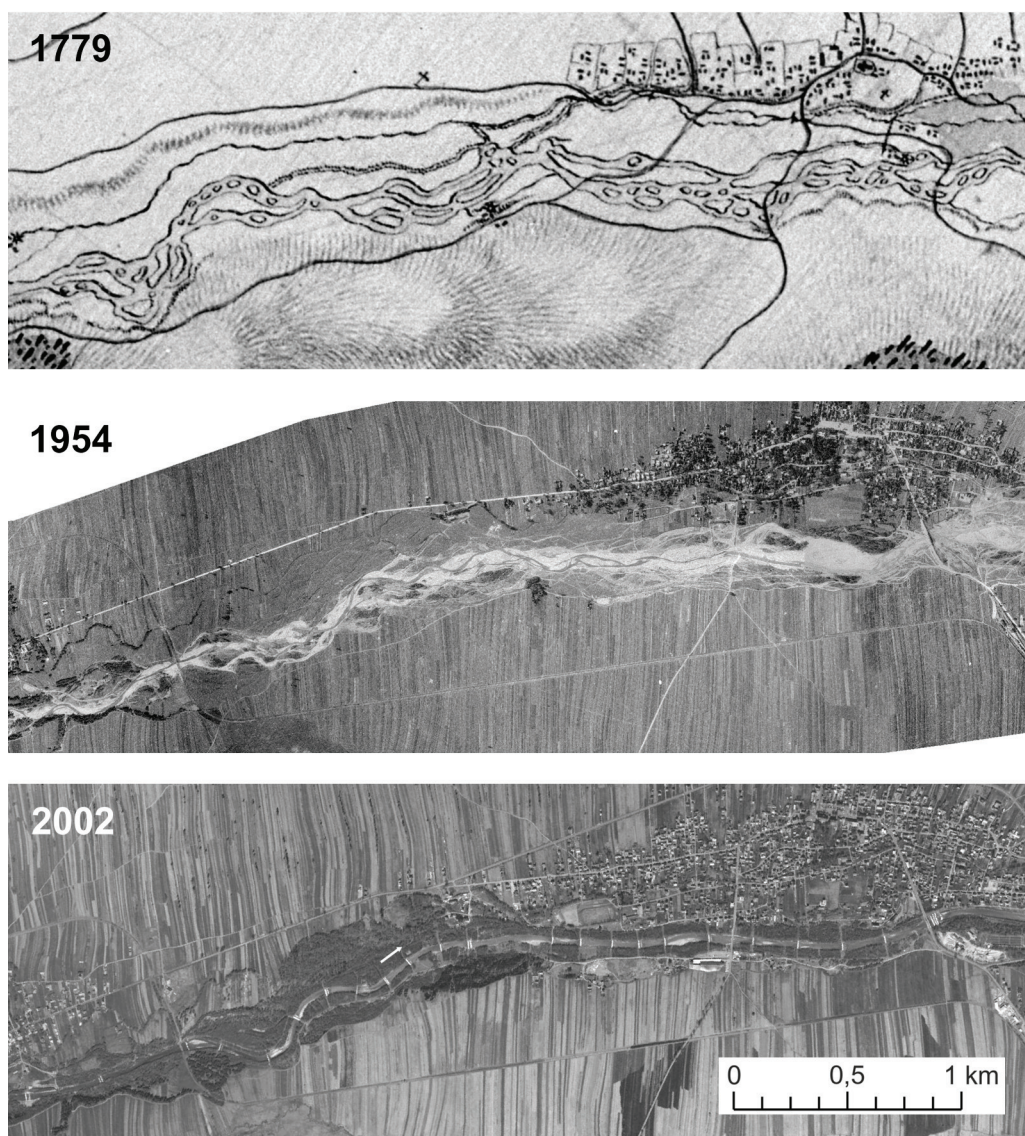
Przy niemal całkowitym zalesieniu górskich zlewni dostawa rumowiska do rzek była stosunkowo niewielka. Powszechnymi formami w rzekach były zadrzewione kępy [Gurnell, Petts, 2002], których formowaniu się sprzyjała dostawa grubego rumoszu drzewnego z zalesionych brzegów rzek do koryt [Mikuś i in., 2013]. Stosunkowo mała dynamika procesów fluwialnych ułatwiała długotrwałe utrzymywanie się kęp i kształtowanie się wielonurtowego układu koryta z udziałem kęp [por. Wyżga i in., 2012]. Efektywne rozpraszanie energii wód wezbraniowych przez gruby rumosz drzewny i kępy [Buffington, Montgomery, 1999] zmniejszało zdolność transportową rzek, a zasadniczym procesem morfodynamicznym kształtującym ich koryta była redepozycja materiału dennego. Badania paleokoryt Czarnego Dunajca w Chochołowie udokumentowały niewielką zmianę pionowego położenia dna rzeki w ciągu znacznej części holocenu – dno paleokoryta datowanego kartograficznie na drugą połowę XIX wieku jest tu usytuowane jedynie ok. 1 m niżej niż dno paleokoryta datowanego metodą ^{14}C na 5200 lat B.P. (ryc. 8).

W naturalnych warunkach holocenu do formowania się koryt roztokowych nie dochodziło natomiast tam, gdzie w podłożu brak było miększych kompleksów gruboławicowych piaskowców (Pogórze Karpackie) lub stanowiły je łatwo wietrzejące, rozsypliwie piaskowce krośnieńskie (wschodnia część Beskidów na obszarze płaszczowiny dukielskiej i śląskiej). W tych obszarach dostawa do rzek spoistego, grubookruchowego materiału była niewielka, a drobnoziarniste, kohezyjne osady miały znaczny udział w budowie równin aluwialnych [Klimek, 1979].

4. Rozwój wielonurtowej morfologii rzek karpackich w warunkach antropopresji

Opisana powyżej sytuacja uległa zmianie wraz z wylesianiem górskich zlewni i postępującą ekspansją gospodarki rolnej i pasterskiej na ich obszarze. Choć presja człowieka na środowisko górskich zlewni postępowała w ciągu całego okresu historycznego, szczególną rolę w jej intensyfikacji odegrały dwa fakty. Eksplozja demograficzna, jaka zaznaczyła się na terenie polskich Karpat od połowy XVIII wieku, spowodowała szybki wzrost zapotrzebowania na ziemię uprawną, a w konsekwencji wycinkę lasów i przejmowanie pod uprawę terenów położonych coraz wyżej i na stokach o coraz większym nachyleniu [Adamczyk, 1981]. Drugą istotną zmianą środowiskową było rozpowszechnienie się uprawy ziemniaka w Karpatach w ciągu XIX wieku [Klimek, 1987]. Mały stopień osłonięcia gleby roślinnością w połączeniu z bruzdowym charakterem uprawy zwiększa spływ powierzchniowy i jest przyczyną znacznie większego splukiwania gleby na plantacjach ziemniaka niż na terenach innych upraw [Gil, Słupik, 1972]. Dlatego też rozpowszechnienie się tej uprawy znacząco przyczyniło się do zwiększenia kulminacji fal wezbraniowych na rzekach górskich i dostawy rumowiska do ich koryt.

Najstarszą średnioskalową mapą, na której szczegółowo przedstawiono koryta rzek karpackich, jest mapa Miega w skali 1:28800 będąca wynikiem pierwszego wojskowego



Ryc. 2. Koryto Czarne Dunajca w odcinku Podczerwone-Czarny Dunajec przedstawione na mapie Miega z 1779 roku oraz ortofotomapie z 1954 i 2002 roku.

Fig. 2. Channel of the Czarny Dunajec River in the Podczerwone-Czarny Dunajec reach shown on the map of Mieg from 1779 and orthophotos from 1954 and 2002.

zdjęcia Galicji (tzw. zdjęcia józefińskiego) z lat 1779-1782. Choć mapę tę cechuje bardzo mała dokładność poziomego położenia obiektów (średni błąd położenia punktu na mapie dla Pogórza Wiśnickiego określono na 106 m [Pietrzak, 2002], a w obszarach górskich musiał być jeszcze większy), przedstawiony na niej układ koryta ówczesnych rzek jest bardzo czytelny. W drugiej połowie XVIII wieku rzeki wypływające z Tatr miały szerokie, roztokowe koryta, a ich brzegi były zasadniczo bezleśne (ryc. 2). Obszar Podhala był niemal w pełni wylesiony, co musiało warunkować dużą dostawę

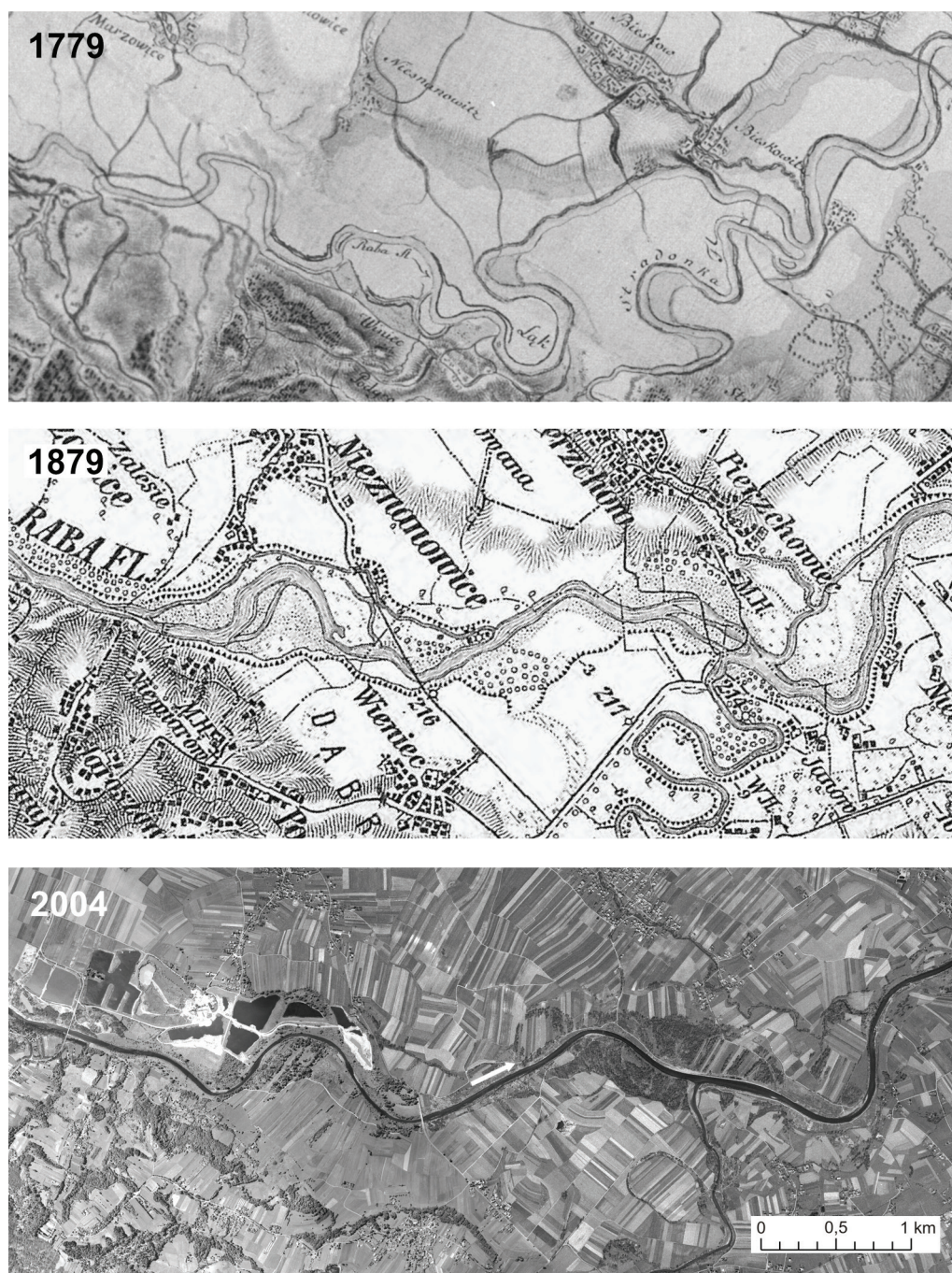
rumowiska do rzek i szybką migrację koryt małej wody w obrębie strefy aktywnej rzek, nie pozwalającą na formowanie się kęp i rozwój nadrzecznego lasu. Brak nadrzecznego lasu i kęp, a w konsekwencji także nagromadzeń grubego rumoszu drzewnego w rzekach, był przyczyną znacznie mniejszych oporów przepływu w porównaniu z rzekami o wielonurtowej morfologii z kępami najprawdopodobniej istniejącymi w tym obszarze w naturalnych warunkach holocenu. W rezultacie roztokowe rzeki istniejące w warunkach silnej antropopresji musiało cechować znacznie większe natężenie transportu rumowiska dennego i wydajne przenoszenie tego rumowiska w dół biegu rzek w trakcie wezbrań.

Występowanie szerokich koryt roztokowych przy braku nadrzecznego lasu i kęp cechowało rzeki Podhala także w XIX wieku [Baumgart-Kotarba, 1980, 1983; Krzemień, 1981; Zawiejska, Wyźga, 2010] i do połowy XX wieku (ryc. 2). Po drugiej połowie XIX wieku zaznaczyło się jednak zmniejszanie szerokości rzek i liczby koryt małej wody w ich obrębie [Krzemień, 1981; Zawiejska, Wyźga, 2010].

W drugiej połowie XVIII wieku koryta wielonurtowe występowały także na obszarze ich naturalnego występowania w Beskidach (ryc. 1), choć ich rozwój nie był tak wyraźny jak na Podhalu, a w niektórych odcinkach rzek występowało tu koryto jednonurtowe [Klimek, Trafas, 1972]. Do rozwoju rzek roztokowych w tym obszarze przyczyniała się duża dostawa rumowiska ze znacznie wylesionych zlewni [Adamczyk, 1981]. Natomiast we wschodniej części polskich Beskidów, na Pogórzu Karpackim i w kotlinach przedgórskich karpackie dopływy Wisły płynęły jednonurtowymi korytami o prostym, krętym lub meandrowym przebiegu (ryc. 3) [Starkel, 1981; Wyźga, 1993a, 1993b; Woskowicz-Ślęzak, 2012]. Koryta te były stosunkowo głębokie i wąskie (ryc. 4), co wskazuje na umiarkowany udział obciążenia dennego w całkowitym obciążeniu rzek w tych odcinkach [Wyźga, 1993a, 1993b].

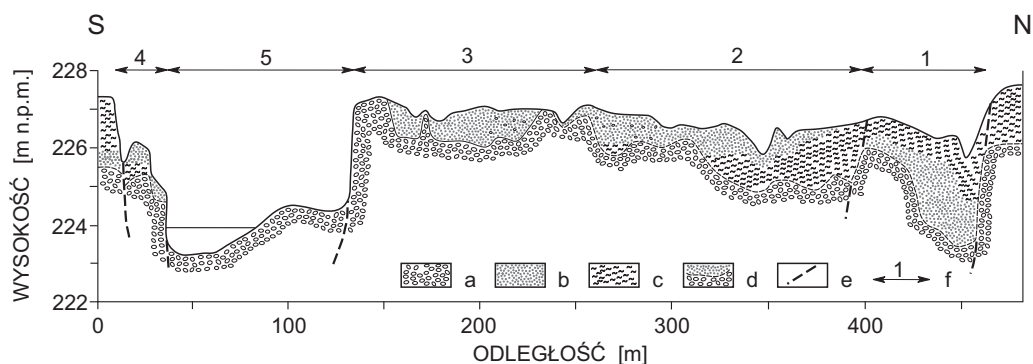
W XIX wieku doszło do znacznego zwiększenia zasięgu występowania koryt wielonurtowych wzdłuż biegu rzek karpackich. Stosunkowo szerokie koryta wielonurtowe o małej krętości zastąpiły wcześniej istniejące wąskie koryta jednonurtowe (ryc. 3, 4) w obrębie gór [Klimek, Trafas, 1972], na Pogórzu Karpackim i u wylotu rzek na przedpola Karpat [Klimek, Starkel, 1974; Starkel, 1981; Wyźga, 1993a, 1993b], a nawet w obrębie kotlin przedgórskich [Szumański, 1977; Woskowicz-Ślęzak, 2012]. Rozszerzaniu się koryt towarzyszyło ich wypłykanie [Szumański, 1977; Wyźga, 1993a, 1993b] i zmiany te zwiększały zdolność rzek do transportu obciążenia dennego [Carling, 1983], przywracając w ten sposób równowagę pomiędzy wzrastającym obciążeniem rzek a ich zdolnością transportową [Bagnold, 1977]. Zapisem wypłykania się koryt jest postępująca w ciągu XIX wieku agradacja dna rzek widoczna w przekrojach przez ich równiny aluwialne (ryc. 4) [Wyźga, 1993a, 1993b].

Rozwojowi wielonurtowej morfologii rzek karpackich towarzyszyło formowanie się żwirów korytowych o bardzo złym wysortowaniu i luźnym upakowaniu. Tę fację żwirów stwierdzono w osadach korytowych różnych rzek polskich Karpat formowanych w XIX i z początkiem XX wieku [Wyźga, 1993a, 1993b; Wyźga i in., 2012], co świadczy, iż była ona sedymentacyjnym zapisem szeroko rozpowszechnionych warunków środowiskowych w ówczesnych zlewniach. Charakterystyczne dla takich żwirów jest rozproszone występowanie otoczków szkieletu ziarnowego w obrębie piaszczystej masy wypełniającej. Wskazuje to na równoczesną depozycję piasku i otoczków



Ryc. 3. Koryto środkowej Raby w odcinku Marszowice-Książnica przedstawione na mapie Miega z 1779 roku, sztabowej mapie austriackiej z 1878 roku oraz ortofotomapie z 2004 roku.

Fig. 3. Channel of the middle Raba River in the Marszowice-Książnica reach shown on the map of Mieg from 1779, a military Austro-Hungarian map from 1878 and an orthophoto from 2004.



Ryc. 4. Przekrój przez koryto i lewobrzeżną część równiny aluwialnej środkowej Raby w Fałkowicach. a – żwir; b – piaski; c – muły; d – granica osadów korytowych i pozakorytowych; e – powierzchnia erozyjna; f – zasięg elementów równiny aluwialnej utworzonych w: 1 – XVIII wieku; 2 – pierwszej połowie XIX wieku; 3 – drugiej połowie XIX wieku (fragment); 4 – latach 50. XX wieku; 5 – współczesne koryto. Według: Wyźga [1993b].

Fig. 4. Cross-section of the channel and the left-side alluvial plain of the middle Raba River at Fałkowice. a – gravels; b – sands; c – muds; d – boundary between substratum gravels and topstratum fines; e – erosional surfaces; f – extent of the alluvial-plain elements dating from: 1 – the eighteenth century; 2 – first half of the nineteenth century; 3 – second half of the nineteenth century; 4 – the 1950s; 5 – present-day channel. After: Wyźga [1993b].

z przeciążonych rumowiskiem przepływów wezbraniowych [Wyźga, 2012]. Takie warunki depozycji musiały cechować rzeki obficie zasilane w rumowisko, odwadniające zlewnie o małej zdolności retencyjnej, a w konsekwencji cechujące się bardzo dużym natężeniem transportu rumowiska wleczonego i szybkim opadaniem fal wezbraniowych [Wyźga, 1993a, 1993b; por. Reid, Laronne, 1995]. Zaistniała w XIX wieku transformacja wąskich i głębokich koryt jednonurtowych w szerokie i płytkie koryta wielonurtowe również świadczy o znacznym wzroście udziału obciążenia dennego w całkowitym obciążeniu rzek karpackich [por. Schumm, 1969].

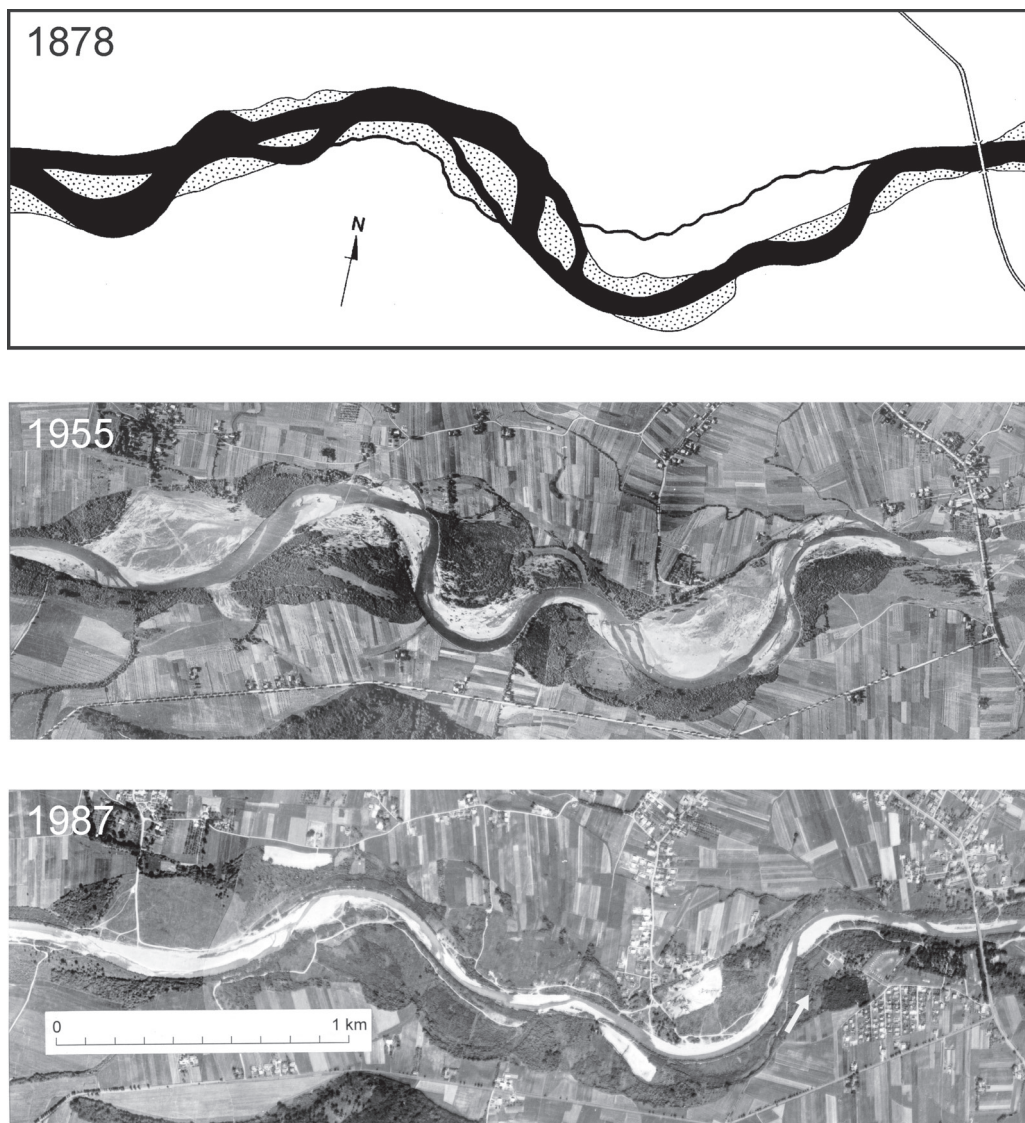
Opisane zmiany w funkcjonowaniu rzek karpackich były wynikiem istotnych zmian środowiskowych w ich zlewniach. W skali całych polskich Karpat stopień wylesienia zlewni narastał do początku lub pierwszej połowy XIX wieku i następnie utrzymał się na niskim poziomie aż do pierwszej połowy XX wieku [Kozak, 2010]. Powtarzające się klęski głodu w Galicji powodowały jednak, że w ciągu XIX wieku wzrastał odsetek pól uprawnych kosztem malejącej powierzchni łąk i pastwisk [Adamczyk, 1981; Pietrzak, 2002]. W połączeniu ze wzrastającym arealem upraw ziemniaka na stokach górskich, znacząco przyspieszyło to spływ wód opadowych i zwiększyło erozję gleb i dostawę drobnoziarnistego, zwłaszcza piaszczystego materiału do koryt rzecznych. Pomimo stabilizacji lesistości Karpat w ciągu XIX wieku, zmiany w gospodarce leśnej również przyczyniały się do wzrostu kulminacji wezbrań i zwiększenia transportu rumowiska w rzekach. Wycięte lasy mieszane w piętrze regla dolnego zazwyczaj zastępowano monokulturowymi nasadzeniami świerka – gatunku szybko rosnącego, ale drastycznie pogarszającego zdolności retencyjne gleby w porównaniu z lasami bukowo-jodłowymi. Wycięte drewno często spławiano dolinami potoków; w tym celu budowano tamy drzewne (tzw. klauzy), które okresowo otwierano dla uzyskania krótkotrwałego zwiększenia przepływu wody [Łajczak, 2005]. Powodowało to przyspieszone wynoszenie materiału

denne z potoków do większych rzek. Wreszcie, istotną przyczyną zmian rzek karpackich musiała być zwiększona wilgotność schyłkowej fazy małej epoki lodowej [Wyźga, 1993a, 1993b]. Wzrost częstotliwości i wielkości wezbrań w latach 1750-1900 udokumentowano w szeregu miejsc północnej, zachodniej i środkowej Europy [Rumsby, Macklin, 1996]. Na dużą aktywność zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych w XIX wieku wskazują datowania spływów gruzowych generowanych powyżej piętra subalpejskiego w Tatrach [Kotarba, 1992].

5. Zanik występowania wielonurtowej morfologii rzek karpackich w XX wieku

W XX wieku nastąpił niemal całkowity zanik występowania wielonurtowej morfologii rzek karpackich [Hajdukiewicz, Wyźga, 2013]. W niektórych karpackich dopływach Wisły prace regulacyjne rozpoczęto jeszcze w końcu XIX wieku [San – Szumański, 1986; Dunajec – Zawiejska, Wyźga, 2010]. Zakrojone na szeroką skalę prace regulacyjne rozpoczęły się na początku XX wieku w wyniku uchwały Sejmu Krajowego Galicji z 1904 roku [Kędzior, 1928] i były prowadzone aż do lat 30., obejmując najpierw dolny, a następnie środkowy bieg głównych rzek karpackich. Prace prowadzone w dolnych biegach rzek, a w rzekach odwadniających wschodnią część polskich Karpat także w ich środkowych biegach, polegały głównie na prostowaniu koryt przekopami przecinającymi zakola [Klimek, 1987], zlikwidowano jednak także występujące tu odcinki wielonurtowego koryta. Z uwagi na stosunkowo niewielką energię rzek w tych odcinkach, efekt tych prac okazał się trwały – nie doszło tu do odtworzenia występowania wielonurtowej morfologii koryt, a mechanizmem dostosowania się rzek płynących wyprostowanymi jednonurtowymi korytami o umocnionych brzegach była degradacja dna prowadząca do pogłębiania się ich koryt [Wyźga, 2001a, 2001b].

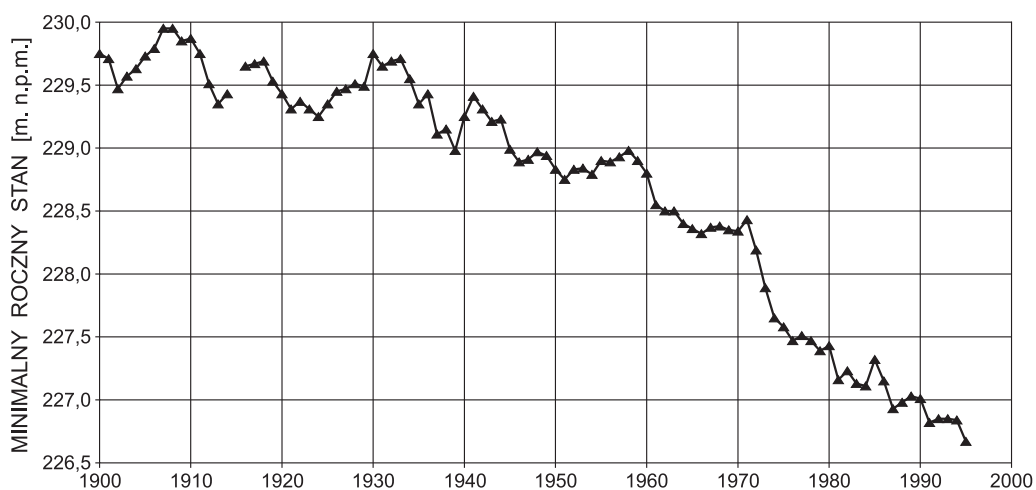
W środkowym biegu Dunajca i rzek odwadniających zachodnią część polskich Karpat fliszowych regulacje polegały na zastąpieniu wielonurtowego koryta prostym korytem jednonurtowym i jego znacznym zwężeniu [Wyźga, 1993c, 2001a; Zawiejska, Wyźga, 2010]. W ich wyniku następowało powolne obniżanie się dna rzek (ryc. 6). Te regulacje okazały się nietrwałe, a zabudowa regulacyjna brzegów uległa zniszczeniu w czasie przerwy w pracach regulacyjnych w połowie XX wieku. Raba po zniszczeniu zabudowy regulacyjnej zaczęła wykazywać wyraźną tendencję do meandrowania, formując kręte koryto (ryc. 5) [Wyźga, 2001a]. Jego rozwojowi towarzyszyły zmiany facjalnego charakteru osadów korytowych – zanik formowania się żwirów luźno upakowanych i pojawienie się depozycji żwirów ciasno upakowanych, w tym także żwirów niewypełnionych, oraz rozwój opancerzenia dna rzeki [Wyźga, 1993b, 2001a, 2008]. Takie zmiany osadów świadczą o zmniejszeniu się dostawy rumowiska do rzeki [Dietrich i in., 1989] i są typowe dla rzek powracających do stanu równowagi po okresie intensywnej dostawy rumowiska do ich koryt [Knighton, 1989; Madej, Ozaki, 1996]. Z kolei zastąpienie szerokiego i płytkiego, roztokowego koryta rzeki z drugiej połowy XIX wieku przez kręte koryto uformowane w połowie XX wieku wskazuje, że udział obciążenia dennego w całkowitym obciążeniu środkowej Raby znacznie zmalał, a na formowanie się koryta ponownie zaczęła wpływać kohezja drobnoziarnistych osadów zakumulowanych na jej równinie aluwialnej [Wyźga, 1993b, 2001a]. Zmniejszenie energii rzeki wynikające ze wzrostu krętości



Ryc. 5. Zmiany koryta środkowej Raby w latach 1878-1987 na przykładzie dolnej części odcinka Dobczyce-Gdów przedstawionego na mapie z 1878 roku i zdjęciach lotniczych z lat 1955 i 1987.

Fig. 5. Channel changes in the middle course of the Raba River between 1878 and 1987 as exemplified by the lower part of the Dobczyce-Gdów reach shown on a map from 1878 and aerial photos taken in 1955 and 1987.

jej koryta umożliwiło zahamowanie wcześniejszej tendencji do erozji wgłębnej i stabilizację pionowego położenia dna rzeki (ryc. 6). Ponowna regulacja środkowej Raby z końca lat 50., powodująca wyprostowanie jej biegu i znaczne zwężenie koryta (ryc. 5), wywołała bardzo szybkie obniżanie się dna rzeki, które do lat 90. doprowadziło do pogłębienia się koryta o ponad 2 m (ryc. 6). Było to wynikiem znacznego zwiększenia zdolności transportowej rzeki w wyniku regulacji jej koryta, przy równoczesnym zmniejszaniu się dostawy rumowiska do rzeki [Wyżga, 2001a].



Ryc. 6. Zmiany minimalnych rocznych stanów Raby w posterunku wodowskazowym Gdów od początku XX wieku. Po 1995 roku zaprzestano obserwacji wodowskazowych w tym posterunku.

Fig. 6. Changes in minimum annual stage of the Raba River at the Gdów water-gauge station since the beginning of the 20th century. After 1995 stage observations at the station have been stopped.

W środkowym biegu Dunajca w połowie XX wieku także doszło do odtworzenia wielonurtowego układu koryta, a poziom dna rzeki powrócił do stanu przed rozpoczęcia prac regulacyjnych [Zawiejska, Wyźga, 2010]. Powtórna regulacja koryta w drugiej połowie stulecia wywołała natomiast szybkie obniżanie się dna rzeki [Zawiejska, Wyźga, 2010]. Także i tu spowodowany regulacją wzrost zdolności transportowej rzeki przypadł bowiem na czas znacznego zmniejszenia się dostawy rumowiska do jej koryta.

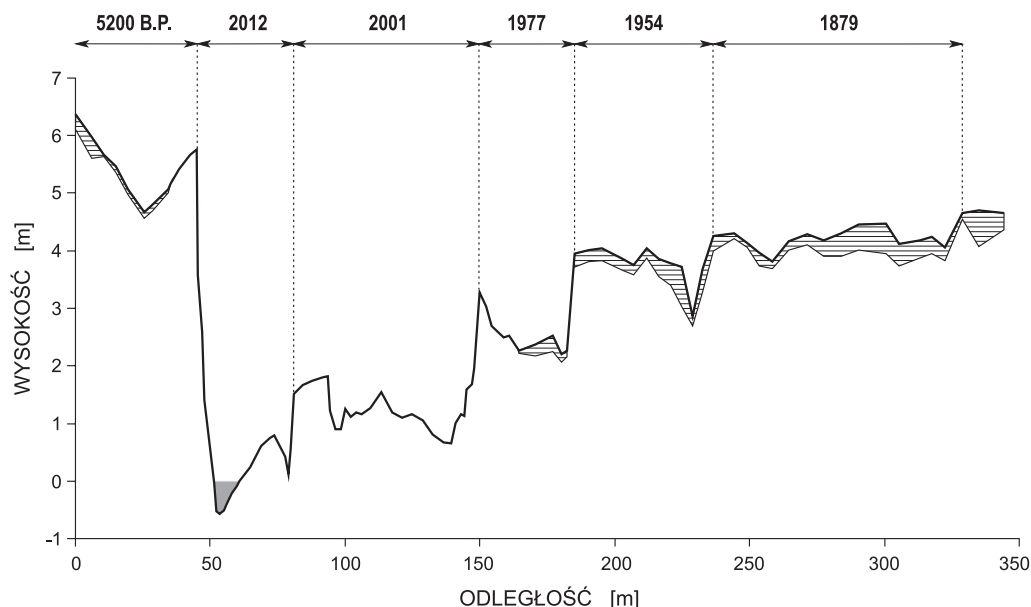
W górskiej części karpackiego dorzecza górnej Wisły koryta wielonurtowe przetrwały w bardzo niewielu odcinkach rzek [Hajdukiewicz, Wyźga, 2013], głównie w Białce i Czarnym Dunajcu na przedpolu Tatr (ryc. 7A). W rzekach z tego obszaru główna faza prac regulacyjnych miała miejsce w drugiej połowie stulecia. Regulacje polegały tu na zastępowaniu wielonurtowego koryta prostym korytem jednonurtowym i znacznym, nawet kilkakrotnym zwężeniu koryta. W wyniku regulacji następowało szybkie wcinanie się rzek [Wyźga, 2008], dlatego też w niektórych odcinkach dodatkowo zmniejszano spadek koryta regulacyjnego, przegradzając je betonowymi progami (ryc. 7B). W wielu odcinkach rzek pogłębianie się koryt doprowadziło do całkowitego rozcięcia aluwioów i przekształcenia aluwialnego koryta w koryto skalne (ryc. 7D) [Lach, Wyźga, 2002; Krzemień, 2003; Zawiejska, Wyźga, 2010; Hajdukiewicz, Wyźga, 2013].

Oprócz prac regulacyjnych do zaniku wielonurtowej morfologii rzek i ich szybkiego wcinania się przyczyniły się także inne czynniki. W XX wieku, a zwłaszcza w jego drugiej połowie, w polskich Karpatach doszło do znacznych zmian użytkowania ziemi. Lesistość tego obszaru wzrosła średnio o 15% [Kozak i in., 2007], a jednocześnie znacznie zmalał udział gruntów ornych. Szczególnie duże zmiany miały miejsce w Beskidzie Niskim i Bieszczadach w wyniku ich wyludnienia w połowie lat 40. Przykładowo, w beskidzkiej



Ryc. 7. Typy koryt współcześnie występujące w rzekach podhalańskich wypływających z Tatr: (A) koryto roztokowe; (B) koryto uregulowane; (C) wcięte koryto kręte; (D) jednonur-
towe koryto skalne. Typy A-C są korytami aluwialnymi.

Fig. 7. Channel types occurring currently in the rivers on the northern foreland of the Tatra Mountains: (A) braided channel; (B) regulated channel; (C) incised sinuous channel; (D)
single-thread bedrock channel. Types A to C are alluvial channels.



Ryc. 8. Przekrój przez koryto i prawobrzeżną część równiny aluwialnej Czarnego Dunajca w głęboko wciętym odcinku rzeki w Chochołowie. Szarą szrafurą zaznaczono koryto małej wody, a poziomym kreskowaniem drobnoziarniste osady pozakorytowe. Wskazano wiek paleokoryt datowanych kartograficznie oraz za pomocą datowania ^{14}C .

Fig. 8. Cross-section of the channel and the right-side alluvial plain of the Czarny Dunajec River in the deeply incised reach at Chochołów. Gray shading indicates a low-flow river channel and horizontal hatching denotes fine overbank sediments overlying substratum gravels. The age of palaeochannels determined either cartographically or by means of ^{14}C dating is indicated.

części zlewni górnej Wisłoki lesistość wzrosła z 30% w 1938 r. do 67% w 1995 r. [Lach, Wyźga, 2002], a w zlewni górnego Sanu zwiększyła się pomiędzy 1937 i 1997 rokiem z 48% do 77% [Kukulak, 2004]. Wraz z porzuceniem uprawy stoków zaniechano tu także użytkowania dróg polnych, które wcześniej były szlakami szybkiego odprowadzania wody i rumowiska do cieków [Lach, Wyźga, 2002]. Znaczne zmiany użytkowania ziemi miały także miejsce w zlewni górnego Dunajca – w latach 1901-2000 lesistość tego obszaru wzrosła z 27,3% do 42%, a udział gruntów ornych zmalał z 42% do 17,5% [Wyźga i in., 2012]. Efektem wskazanych zmian użytkowania ziemi musiało być spowolnienie spływu wód ze stoków i znaczne ograniczenie dostawy rumowiska do koryt rzecznych [Lach, 1975; Lach, Wyźga, 2002; Soja, 2002].

Do deficytu materiału dostępnego do transportu fluwialnego znacząco przyczyniła się eksploatacja żwiru z koryt rzecznych [Rinaldi i in., 2005; Wyźga i in., 2010]. W niektórych rzekach była ona prowadzona na masową skalę. W latach 1941-1966 z koryta Ropy w sąsiedztwie Biecha wydobyto co najmniej 1 mln m^3 materiału dennego, a eksploatację zakończono wraz z całkowitym wyczerpaniem się zasobów żwiru w korycie i przekształceniem aluwialnego koryta w koryto skalne [Augustowski, 1968]. Objętość osadu pozyskanego z tej rzeki odpowiadała usunięciu 1-metrowej warstwy żwiru z koryta o 40-metrowej szerokości w 25-kilometrowym odcinku rzeki [Rinaldi i in., 2005]. Podobną skalę wydobyć żwiru osiągnęło także w Czarnym Dunajcu, gdzie dla wywozu pozyskanego z rzeki materiału w trzech miejscach doprowadzono tory kolejowe do jej

koryta [Dudziak, 1965]. Wynikiem eksploatacji żwiru prowadzonej w latach 50. i 60. i trwającego w kolejnych dziesięcioleciach dostosowania się rzeki było obniżenie się jej dna nawet o 3,5 m w porównaniu z jego położeniem w drugiej połowie XIX wieku (ryc. 8) [Zawiejska, Wyźga, 2010] i uformowanie się odcinków rzeki z głęboko wciętym, krętym korytem (ryc. 7C).

W latach 1937-1994 na rzekach karpackich utworzono kilkanaście zbiorników zaporowych. Przechwytyują one całość rumowiska wleczonego i większość rumowiska unoszonego dostarczanego z wyższych odcinków rzek [Łajczak, 1994]. W rezultacie następuje przerwanie ciągłości transportu rumowiska w rzekach i wypuszczanie niedociążonych wód ze zbiorników [Kondolf, 1997].

Deficyt materiału dennego dostępnego do transportu fluwialnego, spowodowany ograniczeniem dostawy rumowiska ze zlewni, eksploatacją żwiru z koryt i przechwytywaniem rumowiska w zbiornikach zaporowych, był przyczyną erozji dennej rzek [Wyźga, 2008], która przyczyniała się do poziomej stabilizacji koryt jednonurtowych uformowanych w wyniku prac regulacyjnych. Szczególnie duża stabilizacja położenia koryta miała miejsce tam, gdzie w wyniku obniżania się dna rzeki doszło do odsłonięcia skalnego podłoża, a zwłaszcza wcięcia się rzeki w to podłoże.

W odcinkach, w których przetrwała wielonurtowa morfologia rzek karpackich, w XX wieku doszło do rozwoju kęp w obrębie strefy aktywnej rzek, a w rezultacie roztokowy układ koryta z łachami żwirowymi uległ zmianie na układ roztokowy z kępami [Wyźga i in., 2012]. W odcinkach tych rzeki zachowały pionową stabilność koryta [Zawiejska, Wyźga, 2010] lub ich dno uległo jedynie niewielkiemu obniżeniu.

6. Występowanie wielonurtowej morfologii rzek karpackich w ich holocenijskim rozwoju – podsumowanie

W holocenijskim rozwoju rzek polskich Karpat można wyodrębnić dwie fazy występowania wielonurtowego układu ich koryta. Pierwsza faza obejmowała rozwój koryt wielonurtowych przy pełnej lesistości zlewni lub jedynie niewielkim stopniu ich wylesienia i trwała przez niemal cały holocen. Rozwój koryt wielonurtowych w czasie tej fazy był ograniczony do przedpola Tatr oraz tej części Karpat fliszowych, gdzie w podłożu występują miększe kompleksy gruboławicowych piaskowców. Czynniki warunkującymi rozwój wielonurtowej morfologii rzek była wówczas dostawa do ich koryt spoistego, grubookruchowego materiału, powodująca przekroczenie kompetencji rzek, oraz niewielki udział drobnoziarnistych, kohezyjnych osadów w budowie ich równin aluwialnych. Formowane wówczas koryta wielonurtowe cechowała obecność kęp, a efektywne rozpraszanie energii wód wezbraniowych przez kępy i nagromadzenia grubego rumoszu drzewnego zmniejszało zdolność transportową rzek i było czynnikiem ułatwiającym przekroczenie ich kompetencji i depozycję materiału dennego.

Druga faza obejmowała rozwój i rozprzestrzenienie się koryt roztokowych w dół biegu rzek karpackich w warunkach nasilającej się antropopresji – wylesienia górskich zlewni i wzięcia stoków pod uprawę, zwłaszcza ziemniaka. Spowodowało to przyspieszenie spływu wód, a w konsekwencji wzrost kulminacji wezbrań i znacznie zwiększyło dostawę rumowiska do koryt rzecznych. Skutki presji człowieka na

środowisko zostały najprawdopodobniej zwiększone w wyniku dużej wilgotności schyłkowej fazy małej epoki lodowej. W rzekach na obszarze naturalnego występowania koryt wielonurtowych w holocenie dostosowanie się rzek do zmienionych warunków środowiskowych polegało na przekształceniu koryt roztokowych z kępami w koryta z łachami żwirowymi. Zmniejszyło to opory przepływu i zwiększyło wydajność transportu rumowiska dennego w rzekach, prawdopodobnie bez wyraźnej aggradacji ich dna. Natomiast na przedpolu tego obszaru narastająca dostawa rumowiska dennego spowodowała przekształcenie istniejących tu wcześniej głębokich i wąskich koryt jednonurtowych w szerokie i płytkie koryta roztokowe, które stopniowo postępowało w dół biegu rzek, aż na obszar kotlin przedgórskich. Tej transformacji koryt towarzyszyła aggradacja dna rzek spowodowana przekroczeniem ich nośności w warunkach zwiększonej dostawy rumowiska dennego. Druga faza rozwoju koryt wielonurtowych miała diachroniczny charakter. W wyższych częściach zlewni, a zwłaszcza na przedpolu Tatr, zmiany koryt dokonały się jeszcze przed końcem XVIII wieku. Natomiast poza obszarem naturalnego występowania wielonurtowej morfologii rzek karpackich transformacja koryt jednonurtowych w wielonurtowe dokonała się w ciągu XIX wieku wraz ze stopniowym przemieszczaniem się fali rumowiska dennego w dół biegu rzek.

W XX wieku doszło do niemal całkowitego zaniku występowania wielonurtowej morfologii rzek karpackich. Kluczową rolę w tym procesie odegrały regulacje koryt, w których trakcie likwidowano wielonurtowe odcinki rzek, zastępując je prostym, wąskim korytem jednonurtowym o umocnionych brzegach. Do skuteczności prac regulacyjnych przyczyniły się zmiany użytkowania ziemi w zlewniach zmniejszające dostawę rumowiska do rzek oraz ingerencje człowieka w koryta rzek – eksploatacja żwiru oraz budowa zbiorników zaporowych – zmniejszające dostępność rumowiska dennego do transportu fluwialnego. Łącznym efektem zwiększenia zdolności transportowej rzek w wyniku regulacji ich koryt oraz zmniejszenia dostępności rumowiska dennego dostępnego do transportu fluwialnego było szybkie wcinanie się rzek dodatkowo ograniczające możliwość poszerzania koryt w wyniku ich bocznej migracji. Natomiast tam, gdzie nie doszło do likwidacji wielonurtowego układu koryta, rzeki zachowały pionową stabilność lub ich dno uległo jedynie niewielkiemu obniżeniu.

8. Perspektywy odtworzenia wielonurtowych koryt rzek karpackich

Rewitalizacja uregulowanych i wciętych rzek karpackich, przywracająca ich wielonurtową morfologię, wpłynęłaby korzystnie na stan ekologiczny tych rzek i zmniejszyłaby zagrożenie powodziowe w niższych odcinkach dolin. O możliwości odtworzenia wielonurtowego układu koryta w rzekach karpackich można wnioskować na podstawie działań rewitalizacyjnych podejmowanych w krajach alpejskich, porównania warunków istniejących współcześnie w zlewniach i rzekach karpackich z warunkami sprzyjającymi formowaniu się koryt wielonurtowych, a także pierwszych działań rewitalizacyjnych w rzekach karpackich. Jest oczywiste, że koniecznym warunkiem odtworzenia koryt wielonurtowych jest odstąpienie od utrzymywania zwężonych i wyprostowanych koryt regulacyjnych w słabo zagospodarowanych odcinkach dolin



Ryc. 9. Wielonurtowe koryto górnej Raby uformowane w obrębie korytarza swobodnej migracji rzeki po zakończeniu utrzymywania tu zabudowy regulacyjnej brzegów. Duża energia przepływów wezbraniowych, warunkowana dużym spadkiem dna doliny i szybkim odpływem wód wezbraniowych z fliszowej zlewni o niskiej zdolności retencyjnej, umożliwia szybkie cofanie się brzegów, a mała spoistość osadów pozakorytowych sprzyja rozłokowaniu rzeki. W rezultacie w ciągu około 10 lat po zniszczeniu umocnień brzegów rzeka trzykrotnie zwiększyła swą szerokość w porównaniu z szerokością wcześniej istniejącego koryta regulacyjnego, a w jej obrębie uformowała się rozległa łacha śródkorytowa.

Fig. 9. Multi-thread channel of the upper Raba formed within the erodible corridor of the river after water authorities had ceased to maintain the channelization scheme in the reach. The high energy of flood flows, conditioned by steep valley slope and the rapidity of runoff from the flysch catchment of low retention potential, allows rapid retreat of the channel banks, whereas the low cohesiveness of the banks facilitates braiding of the river. As a result, over about 10 years since the destruction of bank reinforcements, river width has increased three-fold in comparison with that of the former regulated channel and the wide mid-channel bar has formed.

i dopuszczenie w nich do swobodnego kształtowania koryt przez rzeki [Piégay i in., 2005; Bojarski i in., 2005).

Podobnie jak w polskich Karpatach, w ogromnej większości rzek w Alpach i na ich przedpolu doszło w XX wieku do zaniku występowania koryt wielonurtowych [Gurnell i in., 2009]. Jako zasadnicze przyczyny tej zmiany wskazuje się zmniejszenie dostawy rumowiska do rzek w wyniku zmian użytkowania ziemi w zlewniach [Kondolf i in., 2002; Surian, Rinaldi, 2004] oraz przerwanie ciągłości transportu rumowiska dennego w rzekach w wyniku budowy licznych zbiorników zaporowych i stopni [Muhar i in., 2000]. Podkreśla się, iż odtworzenie wielonurtowej morfologii rzek alpejskich jest możliwe tam, gdzie mają one duży spadek i płyną w korytach o grubożwirowym dnie, ale do ich rewitalizacji niezbędne jest przywrócenie znacznego ładunku rumowiska wleczonego [Bravard i in., 1998; Habersack, Piégay, 2008]. W tym celu postuluje się nie tylko przywrócenie możliwości erozji brzegów, ale także zwiększenie dostawy rumowiska do koryt poprzez rozbiórkę niektórych zapór przeciwrumowiskowych czy przywrócenie możliwości podcinania zboczy dolin przez rzeki [Rinaldi i in., 2011].

Odtworzenie wielonurtowej morfologii rzek karpackich jest obecnie możliwe w obszarze jej występowania w naturalnych warunkach holocenu – na przedpolu

Tatr i w zachodniej części polskich Beskidów. Duże spadki rzek, ich gruboziarnisty materiał denny, niewielki udział drobnoziarnistych, kohezyjnych osadów w budowie równin aluwialnych i występowanie dużych wezbrań generowanych przez opady orograficzne to czynniki wciąż sprzyjające formowaniu się tu roztokowego układu koryta przy umożliwieniu erozji brzegów i zwiększenia szerokości koryt przez rzeki. Potwierdzeniem tego jest spontaniczne odtworzenie wielonurtowego koryta górnej Raby (ryc. 9) w odcinku, w którym wyznaczono korytarz swobodnej migracji rzeki i zaniechano odbudowy zniszczonych umocnień brzegów koryta. Przy zmniejszonej dostawie rumowiska do koryt rzecznych (w wyniku zaistniałych zmian użytkowania ziemi w zlewniach oraz umocnienia brzegów w uregulowanych odcinkach rzek) nowo formowane koryta wielonurtowe będzie najprawdopodobniej cechować znaczny udział kęp w ich obrębie.

Przy obecnych warunkach środowiskowych nie jest natomiast możliwe odtworzenie występowania koryt wielonurtowych w pozostałych odcinkach rzek karpackich. Wraz ze zmniejszeniem się skali rolniczego użytkowania stoków i wzrostem lesistości zlewni, przerwaniem ciągłości transportu rumowiska wleczonego w rzekach przez zbiorniki zaporowe oraz regulacyjną zabudową brzegów koryt dostawa rumowiska do tych odcinków znacznie zmalała. W rezultacie dopuszczenie do erozji brzegów i swobodnego kształtowania koryt będzie w tych odcinkach prowadzić do odtwarzania krętych koryt [Wyźga, 2001a; Wyźga i in., 2012], jakie istniały tu przed okresem nasilonej dostawy rumowiska dennego z wyższych odcinków rzek w XIX wieku. W tych odcinkach możliwe jest jedynie sztuczne formowanie bocznych, drugorzędnych koryt w celu zwiększenia retencji korytowej wód wezbraniowych i różnorodności siedlisk w rzekach [Wyźga, Radecki-Pawlik, 2011]. Funkcjonowanie takich systemów wielokorytowych będzie się jednak różnić od funkcjonowania rzek wielonurtowych, cechujących się dużą czasową zmiennością układu roztek w obrębie koryta.

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

Piśmiennictwo

- Adamczyk M., 1981: Rzeki Karpat Północnych w XVIII i XIX wieku. *Wierchy*, **49**, 227-240.
- Augustowski B., 1968: Spostrzeżenia nad zmianami antropogenicznymi w korycie rzeki Ropy w Karpatach. *Zeszyty Geograficzne WSP w Gdańsku*, **10**, 161-168.
- Bagnold R.A., 1977: Bed load transport by natural rivers. *Water Resources Research*, **13**, 303-312.
- Baumgart-Kotarba M., 1980: Braided channel changes at chosen reaches of the Białka River (the Podhale, Western Carpathians). *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, **14**, 113-134.
- Baumgart-Kotarba M., 1983: Kształtowanie koryt i teras rzecznych w warunkach zróżnicowanych ruchów tektonicznych (na przykładzie wschodniego Podhala). *Prace Geograficzne Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN*, **145**, 1-119.
- Baumgart-Kotarba M., 1992: Rozwój geomorfologiczny Kotliny Orawskiej w warunkach ruchów geotektonicznych. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, **25-26**, 3-28.

- Bojarski A., Jeleński J., Jelonek M., Litewka T., Wyżga B., Zalewski J., 2005: *Zasady dobrej praktyki w utrzymaniu rzek i potoków górskich*. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- Bravard J.P., Landon N., Piégay H., 1998: Examples of river restoration in braided rivers of Europe. [w:] N. Müller, S. Okuda, N. Tama, (red.), *Proceedings of the International Symposium on River Restoration*, Tokyo, 61-70.
- Buffington J.M., Montgomery D.R., 1999: Effects of hydraulic roughness on surface textures of gravel-bed rivers. *Water Resources Research*, **35**, 3507-3521.
- Carling P.A., 1983: Threshold of coarse sediment transport in broad and narrow natural streams. *Earth Surface Processes and Landforms*, **8**, 1-18.
- Church M., 1992: Channel morphology and typology. [w:] C. Callow, G. Petts (red.), *The Rivers Handbook: Hydrological and Ecological Principles*. Blackwell, Oxford, 126-143.
- Church M., 2002: Geomorphic thresholds in riverine landscapes. *Freshwater Biology*, **47**, 541-557.
- Desloges J.R., Church M.A., 1989: Wandering gravel-bed rivers. *The Canadian Geographer*, **33**, 360-364.
- 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.
- Dudziak J., 1965: Dzika eksploatacja kamienia w powiecie nowotarskim. *Ochrona Przyrody*, **31**, 161-187.
- Gil E., Słupik J., 1972: The influence of plant cover and land use on the surface run-off and wash down during heavy rain. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, **6**, 181-190.
- Gran K., Paola C., 2001: Riparian vegetation controls on braided stream dynamics. *Water Resources Research*, **37**, 3275-3283.
- Gurnell A.M., Petts G.E., 2002: Island-dominated landscapes of large floodplain rivers, a European perspective. *Freshwater Biology*, **47**, 581-600.
- Gurnell A.M., Petts G.E., 2006: Trees as riparian engineers: the Tagliamento river, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, **31**, 1558-1574.
- Gurnell A.M., Surian N., Zanoni L., 2009: Multi-thread river channels: A perspective on changing European alpine river systems. *Aquatic Sciences*, **71**, 253-265.
- Hajdukiewicz H., Wyżga B., 2013: Degradacja rzek wielonurtowych polskich Karpat w XX wieku. [w:] Wyżga B. (red.), *Stan środowiska rzek południowej Polski – znaczenie środowiskowe, degradacja i możliwości rewitalizacji rzek wielonurtowych*. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków, 33-58.
- Habersack H., Piégay H., 2008: River restoration in the Alps and their surroundings: past experience and future challenges. [w:] H. Habersack, H. Piégay, M. Rinaldi (red.), *Gravel-Bed Rivers VI – From Process Understanding to River Restoration*. Elsevier, Amsterdam, 703-737.
- Kędzior A., 1928: *Roboty wodne i melioracyjne w Południowej Małopolsce wykonane z inicjatywy Sejmu i Wydziału Krajowego*. Lwów.
- Klimek K., 1979: Geomorfologiczne zróżnicowania koryt karpackich dopływów Wisły. *Folia Geographica, Series Geographica-Physica*, **12**, 35-47.
- Klimek K., 1987: Man's impact on fluvial processes in the Polish Western Carpathians. *Geografiska Annaler*, **69A**, 221-226.
- Klimek K., Starkel L., 1974: History and actual tendency of flood-plain development at the border of the Polish Carpathians. *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen*, **29**, 185-196.
- Klimek K., Trafas K., 1972: Young-Holocene changes in the course of the Dunajec River in the Beskid Sądecki Mts (Western Carpathians). *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, **6**, 85-92.

- Knighton A.D., 1989: River adjustment to changes in sediment load: the effects of tin mining on the Ringarooma River, Tasmania, 1875-1984. *Earth Surface Processes and Landforms*, **14**, 333-359.
- Knighton D., 1998: *Fluvial Forms and Processes*. Wiley, New York.
- Knighton, A.D., Nanson G. C., 1993: Anastomosis and the continuum of channel pattern. *Earth Surface Processes and Landforms*, **18**, 613-625.
- Komisja Europejska, 2000: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, **L324(43)**, 1-72.
- Kondolf G.M., 1997: Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, **21**, 533-551.
- Kondolf G.M., Piégay H., Landon N., 2002: Channel response to increased and decreased bedload supply from land use change: contrasts between two catchments. *Geomorphology*, **45**, 35-51.
- Korpak J., 2007: The influence of river training on mountain channel changes. *Geomorphology*, **92**, 166-181.
- Kotarba A., 1992: High-energy geomorphic events in the Polish Tatra Mountains. *Geografiska Annaler*, **74A**, 123-131.
- Kozak J., 2010: Forest cover changes and their drivers in the Polish Carpathian Mountains since 1800. [w:] H. Nagendra, J. Southworth (red.), *Reforestation Landscapes: Linking Pattern and Process*. Springer, Dordrecht, 253-273.
- Kozak J., Estreguil C., Troll M., 2007: Forest cover changes in the northern Carpathians in the 20th century: a slow transition. *Journal of Land Use Science*, **2**, 127-146.
- Krzemień K., 1981: Zmienność systemu korytowego Czarnego Dunajca. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, **53**, 123-137.
- Krzemień K., 1984: Współczesne zmiany modelowania koryt w Gorcach. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, **59**, 83-96.
- Krzemień K., 2003: The Czarny Dunajec River, Poland, as an example of human-induced development tendencies in a mountain river channel. *Landform Analysis*, **4**, 57-64.
- Kukulak J., 2004: Zapis skutków osadnictwa i gospodarki rolnej w osadach rzeki górskiej na przykładzie aluwów dorzecza górnego Sanu w Bieszczadach Wysokich. *Prace Monograficzne Akademii Pedagogicznej w Krakowie*, **381**, 1-125.
- Lach J., 1975: Ewolucja stosunków wodnych wywołana gospodarczą działalnością człowieka w dorzeczu Ropy. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, **162**, 365-369.
- Lach J., Wyżga B., 2002: Channel incision and flow increase of the upper Wisłoka River, southern Poland, subsequent to the reafforestation of its catchment. *Earth Surface Processes and Landforms*, **27**, 445-462.
- Leopold L.B., Wolman M.G., 1957: River channel patterns: braided, meandering and straight. *US Geological Survey Professional Paper*, **282B**, 39-85.
- Łajczak A., 1994: The rates of silting and the useful lifetime of dam reservoirs in the Polish Carpathians. *Zeitschrift für Geomorphologie*, **38**, 129-150.
- Łajczak A., 2005: Antropopresja w górach – rozwój w czasie i zróżnicowanie w układzie wysokościowym na przykładzie masywu Pilska w Zachodnich Beskidach. *Warsztaty Geomorfologiczne „Antropopresja w środowisku górskim – zapis zmian w formach terenu i osadach”*, Korbielów-Pilsko (Beskid Żywiecki), 27-30 maja 2005, 11-30.
- Madej M.A., Ozaki V., 1996: Channel response to sediment wave propagation and movement, Redwood Creek, California, USA. *Earth Surface Processes and Landforms*, **21**, 911-927.

- Mikuś P., Wyźga B., Kaczka R.J., Walusiak E., Zawiejska J., 2013: Islands in a European mountain river: Linkages with large wood deposition, flood flows and plant diversity. *Geomorphology*, **202**, 115-127.
- Muhar S., Schwarz M., Schmutz S., Jungwirth M., 2000: Identification of rivers with high and good habitat quality: methodological approach and applications in Austria. *Hydrobiologia*, **422-423**, 343-358.
- Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1991: Klimat. [w:] I. Dynowska, M. Maciejewski (red.), *Dorzecze górnej Wisły*. PWN, Warszawa–Kraków, 68-84.
- Owczarek P., 2007: *Transformacja koryt rzecznych w warunkach dostawy grubofrakcyjnego materiału stokowego (na przykładzie średniogórskich dopływów Odry i Wisły)*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Paola C., 2004: Braided rivers. [w:] A.S. Goudie (red.), *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge, London, 88-101.
- Petts G.E. Möller H. Roux A.L., 1989: *Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe*. Wiley, Chichester.
- Piégay H., Darby S.E., Mosselman E., Surian N., 2005: A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion. *River Research and Applications*, **21**, 773-789.
- Pietrzak M., 2002: *Geomorfologiczne skutki zmian użytkowania ziemi na Pogórzu Wiśnickim*. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków.
- 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.
- Rinaldi M., Wyźga B., Surian N., 2005: Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives. *River Research and Applications*, **21**, 805-828.
- Rinaldi M., Piégay H., Surian N., 2011: Geomorphological approaches for river management and restoration in Italian and French rivers. [w:] A. Simon, S.J. Bennett, J.M. Castro (red.), *Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems: Scientific Approaches, Analyses and Tools*. American Geophysical Union, Washington, 95-113.
- Rinaldi M., Wyźga B., Dufour S., Bertoldi W., Gurnell A. 2013: River processes and implications for fluvial ecogeomorphology: An European perspective. [w:] J. Shroder, D. Butler, C.R. Hupp (red.), *Treatise on Geomorphology. Vol. 12. Ecogeomorphology*. Academic Press, San Diego, 37-52.
- Rumsby B.T., Macklin M.G., 1996: River response to the last neoglacial (the 'Little Ice Age') in northern, western and central Europe. [w:] J. Branson, A.G. Brown, K.J. Gregory (red.), *Global Continental Changes: The Context of Palaeohydrology*. Geological Society Special Publication 115, Geological Society, London, 217-233.
- Schumm S.A., 1960a: Speculations concerning paleohydrologic controls of terrestrial sedimentation. *Geological Survey of America Bulletin*, **79**, 1573-1588.
- Schumm S.A., 1960b: The shape of alluvial channels in relation to sediment type. *US Geological Survey Professional Paper*, **352-B**, 17-30.
- Schumm S.A., 1968: River adjustment to altered hydrologic regimen – Murrumbidgee River and palaeochannels, Australia. *US Geological Survey Professional paper*, **598**, 1-65.
- Schumm S.A., 1969: River metamorphosis. *Journal of the Hydraulic Division, American Association of Civil Engineers*, **95**, 255-273.
- Schumm S.A., 1985: Patterns of alluvial rivers. *Annual Reviews of Earth and Planetary Science*, **13**, 5-27.
- Soja R., 2002: Hydrologiczne aspekty antropopresji w Karpatach. *Prace Geograficzne Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN*, **186**, 1-130.

- Starkel L., 1977: *Paleogeografia holocenu*. PWN, Warszawa.
- Starkel L. (red.), 1981: The evolution of the Wisłoka Valley near Dębica during the Late Glacial and Holocene. *Folia Quaternaria*, **53**, 1-91.
- Starkel L., 1990: Ewolucja środowiska przyrodniczego Karpat w okresie działalności człowieka. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, **29**, 35-45.
- Starkel L., Kostrzewski A., Kotarba A., Krzemień K. (red.), 2008: *Współczesne przemiany rzeźby Polski*. Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Kraków.
- Surian N., Rinaldi M., 2004: Channel adjustments in response to human alterations of sediment fluxes: examples from Italian rivers. [w:] V. Golosov, V. Belyaev, D.E. Walling (red.), *Sediment Transfer through the Fluvial System*, International Association of Hydrological Sciences Publication, **288**, 276-282.
- Żumański A., 1986: Postglacialna ewolucja i mechanizm transformacji dna doliny dolnego Sanu. *Geologia*, **12**, 5-92.
- Tal M., Paola C., 2007: Dynamic single-thread channels maintained by the interaction of flow and vegetation. *Geology*, **35**(4), 347-350.
- Teisseyre A.K., 1985: Mady dolin sudeckich. Część I. Ogólna charakterystyka środowiska (na przykładzie zlewni górnego Bobru). *Geologia Sudetica*, **20**(1), 113-195.
- Woskowicz-Ślęzak B., 2012: Zapis antropopresji w rzeźbie przedgórskiego odcinka dna doliny Soły. [w:] A. Łajczak i in. (red.), *Antropopresja w wybranych strefach morfoklimatycznych – zapis zmian w rzeźbie i osadach*. Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, 441-452.
- Wyźga B., 1993a: Funkcjonowanie systemu rzeczno-środkowej i dolnej Raby w ostatnich 200 latach. *Dokumentacja Geograficzna*, **6**, 1-92.
- Wyźga B. 1993b. Present-day changes in the hydrologic regime of the Raba River (Carpathians, Poland) as inferred from facies pattern and channel geometry. [w:] M. Marzo, C. Puigdefábregas (red.), *Alluvial Sedimentation*. International Association of Sedimentologists Special Publication, **17**, 305-316.
- Wyźga B., 1993c: River response to channel regulation: case study of the Raba River, Carpathians, Poland. *Earth Surface Processes and Landforms*, **18**, 541-556.
- Wyźga B., 2001a: 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.
- Wyźga B., 2001b: Impact of the channelization-induced incision of the Skawa and Wisłoka Rivers, southern Poland, on the conditions of overbank deposition. *Regulated Rivers: Research and Management*, **17**, 85-100.
- Wyźga B., 2008: A review on channel incision in the Polish Carpathian rivers during the 20th century. [w:] H. Habersack, H. Piégay, M. Rinaldi (red.), *Gravel-Bed Rivers VI – From Process Understanding to River Restoration*, Elsevier, Amsterdam, 525-555.
- Wyźga B., 2012: Cechy teksturalne żwirowych osadów korytowych jako odzwierciedlenie dynamiki przepływu wody i transportu rumowiska w ciekach z różnych stref klimatycznych. [w:] A. Łajczak i in. (red.), *Antropopresja w wybranych strefach morfoklimatycznych – zapis zmian w rzeźbie i osadach*. Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, 461-469.
- Wyźga B., Radecki-Pawlik A., 2011: Jak zmniejszyć zagrożenie i ryzyko powodziowe w dorzeczu górnej Wisły? *Gospodarka Wodna*, **10**, 414-421.
- Wyźga B., Hajdukiewicz H., Radecki-Pawlik A., Zawiejska J., 2010: Eksploatacja osadów z koryt rzek górskich – skutki środowiskowe i procedury oceny. *Gospodarka Wodna*, **6**, 243-249.

- Wyźga B., Zawiejska J., Radecki-Pawlik A., Hajdukiewicz H., 2012: Environmental change, hydromorphological reference conditions and the restoration of Polish Carpathian rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, **37**, 1213-1226.
- Zawiejska J., Krzemień K., 2004: Human impact on the dynamics of the upper Dunajec River channel: a case study. *Geografický Časopis*, **56**, 111-124.
- Zawiejska J., Wyźga B., 2010: Twentieth-century channel change on the Dunajec River, southern Poland: patterns, causes and controls. *Geomorphology*, **117**, 234-246.

Occurrence and disappearance of braided channel pattern in Polish Carpathian rivers

Summary

Multi-thread (braided) rivers are typified by the presence of interconnected channels separated by bars or islands developing through the encroachment of vegetation on mid-channel bars. High channel and valley slope, high discharge variability, relatively low content of fine, cohesive sediments in the alluvial plain, coarse bed material and high sediment supply are environmental conditions underlying the development of braided channel pattern. Under natural conditions of the Holocene, island-braided channel pattern typified the rivers flowing in the Tatra Mountains foreland and most likely also those draining the parts of the Outer Carpathians, which are underlain by thick-bedded sandstone complexes. These braided channels formed in the rivers flowing through mostly non-cohesive floodplains and fed by massive, coarse-grained material exceeding competence of the rivers. Increasing deforestation of mountain catchments and growing cultivation of hillslopes induced higher flood flows and substantially increased sediment supply to river channels. Together with increased frequency of floods during the final part of the Little Ice Age, this resulted in the change of the island-braided channels into bar-braided ones; throughout the 19th century the braided channel morphology expanded downstream to the foreland river reaches. The 20th century, however, saw a nearly complete disappearance of the braided channel pattern from Polish Carpathian rivers. This was mostly associated with channel regulation, although the efficiency of the engineering works was enhanced by a decrease in sediment supply caused by land-use changes, and the reduced availability of bed material for fluvial transport due to in-channel gravel mining and the construction of dam reservoirs on the rivers. The environmental changes in the catchments and disruption of the continuity of bedload transport by dam reservoirs limit the feasibility of the restoration of braided channel pattern in Polish Carpathian rivers to their reaches supporting such morphology under natural conditions of the Holocene.

Bartłomiej Wyżga, Hanna Hajdukiewicz – Instytut Ochrony Przyrody PAN,
al. Mickiewicza 33, 31-120 Kraków, wyzga@iop.krakow.pl; hanahaj@gmail.com
Joanna Zawiejska – Instytut Geografii, Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie,
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków, zawiejska.joanna@gmail.com