POLSKA AKADEMIA NAUK
KOMISJA TECHNICZNEJ INFRASTRUKTURY WSI

POLISH ACADEMY OF SCIENCE
COMMISSION OF TECHNICAL INFRASTRUCTURE

INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH

4

INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Seria: monografia
monograph

Joanna Korpak, Kazimierz Krzemień, Artur Radecki-Pawlik

WPŁYW CZYNNIKÓW ANTROPOGENICZNYCH NA ZMIANY KORYT CIEKÓW KARPACKICH

INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS ON CHANGES OF CARPATHIAN STREAM CHANNELS

Kraków 2008

RADA PROGRAMOWA – RESEARCH COUNCIL

Radomir Adamowský *(Praga)*, Wacław Bieda, Jerzy Gruszczyński,
Dušan Húska (*Nitra*), Stanisław Krzanowski (przewodniczący), Antoni T. Miler,
Jan Pawełek, Artur Radecki-Pawlik, Jerzy Ratomski, Czesław Rycąbel,
Janusz Lech Siemiński, Stefan Stojko *(Lwów)*, Rastislava Stolična *(Bratysława)*,
Ryszard Ślizowski, Gerlind Weber *(Wiedeń),* Stanisław Węglarczyk,
Andrzej Woźniak, Zdzisław Wójcicki

KOMITET REDAKCYJNY – EDITORIAL BOARD

Jerzy Gruszczyński (red. nacz.), Jerzy Kwapisz (z-ca red. nacz.),
Anna Krakowiak-Bal (sekretarz), Stanisław Węglarczyk (red. angielska)

WYDAWCA – EDITOR

Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi PAN w Krakowie
Katedra Technicznej Infrastruktury Wsi UR w Krakowie

Copyright by:
Katedra Technicznej Infrastruktury Wsi, ul. Balicka 116 B, 30-149 Kraków

ADRES REDAKCJI – EDITORIAL OFFICE ADDRESS

Redakcja IiETW, ul. Balicka 116 B, 30-149 Kraków, tel. (12) (662) – 46 59, - 46 58, - 46 55
Fax: (12) 662 46 60, e-mail: gruszczynski@ar.krakow.pl,www.infraeco.pl

ISSN 1732-5587

Okładka: *Adam Chłobowski*
Korekta i adiustacja: *Krystyna Oliwa*

Skład komputerowy, druk, oprawa:
S.C. DRUKROL, AL. 29 Listopada 46, Kraków, tel. (12) 412 46 50

Monografia
jest efektem współpracy
Instytutu Inżynierii i Gospodarki Wodnej
Politechniki Krakowskiej
z Instytutem Geografii i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytetu Jagiellońskiego
oraz
z Katedrą Inżynierii Wodnej
Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie

Recenzent: ***prof. dr hab. inż. Tadeusz Bednarczyk***

Poszczególne rozdziały opracowali:

Joanna Korpak – 2, 5

Joanna Korpak, Artur Radecki-Pawlik – 1, 7

Kazimierz Krzemień – 3

Artur Radecki-Pawlik – 4, 6

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie 7
2. Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny zmian morfologii koryt rzecznych 9
3. Rozpoznanie struktury i dynamiki górskich koryt rzecznych 11
   - 3.1. Metoda badania struktury koryt 11
   - 3.2. Przykład badania zmian struktury i dynamiki koryta rzecznego 13
     - 3.2.1. Obszar i cel badań 13
     - 3.2.2. Struktura i dynamika koryta Czarnego Dunajca w 1977 r. 15
     - 3.2.3. Zmiany struktury i dynamiki koryta Czarnego Dunajca do 1999 r. 18
4. Problem poboru rumowiska 25
5. Przykłady zmian wybranych systemów korytowych pod wpływem prac hydrotechnicznych 31
   - 5.1. Charakterystyka obszaru badań 31
   - 5.2. Koryto Białego Dunajca wzdłuż odcinka w Szaflarach 34
   - 5.3. Koryto Mszanki wzdłuż odcinka z zaporą przeciwrumowiskową w Mszanie Górnej 40
   - 5.4. Koryto Mszanki wzdłuż odcinka z korekcją stopniową w Mszanie Górnej 43
   - 5.5. Ocena systemów regulacji rzecznej 47
6. O bliskich naturze rozwiązaniach utrzymania koryt rzek i potoków górskich 51
   - 6.1. Bystrza o zwiększonej szorstkości 52
   - 6.2. Układ szypot-ploso (bystrze-przegłębienie) 58
   - 6.3. Rumosz roślinny 61
   - 6.4. Utrzymanie i odtwarzanie łach korytowych 65
   - 6.5. Mikroformy korytowe 69
7. Konkluzje końcowe 75

CONTENTS

1. Introduction 7
2. Natural and anthropogenic reasons of changes of river channel morphology 9
3. Recognition of structure and dynamics of mountain river channels 11
   - 3.1. Method of channel structure study 11
   - 3.2. An example of study of changes of river channel structure and dynamics 13
     - 3.2.1. Study area and purpose of research 13
     - 3.2.2. Structure and dynamics of Czarny Dunajec River channel in 1977 15
     - 3.2.3. Changes of structure and dynamics of Czarny Dunajec River channel until 1999 18
4. Problem of gravel mining 25
5. Examples of changes of chosen channel systems influenced by hydrotechnical works 31
   - 5.1. Study area characteristics 31
   - 5.2. Biały Dunajec River channel along the reach with groynes in Szaflary 34
   - 5.3. Biały Dunajec River channel along the reach with groynes in Szaflary 40
   - 5.4. Mszanka River channel along the reach with drop structures in Mszana Górna 43
   - 5.5. Assessment of discussed river training systems 47
6. About nature-close solutions of maintaining of channels of mountain rivers and streams 51
   - 6.1. Rapid hydraulic structures with increased roughness 52
   - 6.2. Riffle-pool sequence 58
   - 6.3. Wood debris 61
   - 6.4. Maintenance and rebuilding of channel bars 65
   - 6.5. Channel microforms 69
7. Final conclusions 75

1. WPROWADZENIE

Współcześnie jesteśmy świadkami ważnej dyskusji na temat nowoczesnego podejścia do zarządzania systemami fluwialnymi oraz stosowania metodyki inżynierskiej w celu utrzymania koryt rzecznych w jak najlepszym stanie. Poprawa złego stanu ekologicznego rzek polskich jest prawnym obowiązkiem, jaki nakłada Unia Europejska na wszystkie państwa członkowskie. Mówi o tym Ramowa Dyrektywa Wodna (2000/60/UE), która obecnie jest wdrażana również w Polsce. Szczególnie wrażliwym elementem systemów rzecznych w Polsce są koryta rzek i potoków górskich. Jeśli są one źle zarządzane, a w ich obrębie prowadzona jest niewłaściwa gospodarka wodna oraz stosowane są nieodpowiednie systemy regulacyjne, doprowadza to w krótkim czasie do katastrofalnych zmian tych koryt. Jednocześnie nie są realizowane cele ochrony przeciwpowodziowej oraz przeciwerozyjnej dna i brzegów koryt.

W wielu odcinkach rzek karpackich ingeruje się w systemy korytowe poprzez nie do końca uzasadnioną regulację techniczną, a także eksploatację rumowiska. Na przeobrażenia koryt wynikające z tych działalności nakładają się dodatkowo przekształcenia związane ze zmianą użytkowania ziemi w zlewniach, szczególnie po 1989 r. Z dotychczasowych badań wynika, że wprowadzenie zmian w jednym odcinku koryta cieku może pociągnąć za sobą przeobrażenia w innych jego częściach. Zmiany te są czasami trudne do przewidzenia. Konieczne są zatem badania całych systemów korytowych, dzięki którym można rozpoznać ich aktualny stan oraz przewidzieć tendencje rozwojowe. Najpierw należy dobrze rozpoznać strukturę koryta, a dopiero potem próbować wprowadzać zmiany w jej obrębie. Ewentualne zmiany nie mogą pogarszać stanu ekologicznego systemu rzecznego. Należy zatem prowadzić interdyscyplinarne badania nad reakcją poszczególnych elementów środowiska abiotycznego i biotycznego na konkretne rodzaje ingerencji i wybierać takie rozwiązania, które w jak najmniejszym stopniu zaburzą równowagę całego systemu.

Prezentowana praca adresowana jest do przedstawicieli wielu dziedzin, głównie do inżynierów hydrotechników, geomorfologów, biologów, ekologów i przyrodników. Nie ma ona bynajmniej na celu krytykowania dotychczasowych praktyk inżynierskich. Inżynierowie hydrotechnicy polscy są znakomicie przygotowanymi fachowcami i potrafią wyciągnąć wnioski z tej pracy i wykorzystać je w swojej działalności. Celem publikacji jest pokazanie skutków pewnych działań, których podejmowanie w obecnym czasie wydaje się co najmniej niezasadne. Jest rzeczą pewną, że zrozumienie mechanizmów reakcji koryt na różne-

go typu ingerencje, a tym samym ustalenie właściwych działań służących poprawie warunków środowiskowych systemów fluwialnych, wymaga dostrzeżenia i zbadania współzależności wielu elementów przyrodniczych. Takie podejście wykracza poza technikę inżynierską, zadanie to wymaga współpracy specjalistów wielu wyżej wspomnianych dziedzin. W końcu chodzi o dobro naszych polskich rzek, których nie mamy tak wiele, a które chcemy chronić jako narodowy skarb, aby mogły służyć przyszłym pokoleniom, zapewniając nam wodę do picia oraz miejsca wypoczynku. Z tą myślą pisane jest niniejsze opracowanie.

2. PRZYRODNICZE I ANTROPOGENICZNE PRZYCZYNY ZMIAN MORFOLOGII KORYT RZECZNYCH

Koryta rzeczne ulegają ciągłym przekształceniom i jest to zjawisko naturalne. Morfologia i dynamika koryt jest bowiem zależna od wielu czynników przyrodniczych, których rodzaj lub natężenie są zmienne w czasie. Należą do nich klimat, tektonika czy pokrycie terenu roślinnością. W naturalnych warunkach zmiany te są powolne, stąd koryta ulegają jedynie niewielkim przeobrażeniom w skali stulecia. W ciągu ostatniego wieku nastąpiło jednak widoczne przyspieszenie i zintensyfikowanie zmian koryt górskich, zwłaszcza w środkowych i dolnych biegach rzek. Przede wszystkim zmienił się układ koryt w planie (z wielonurtowego lub meandrującego w prosty lub kręty) i koryta uległy znacznemu pogłębieniu. Dna koryt karpackich obniżyły się w XX w. od 1,0 m (np. w Suchej na Skawie) do 4 m (w Łabuziu i Brzeźnicy na Wisłoce) [Klimek 1983; Punzet, Czulak 1993; Radecki-Pawlik i in. 2006]. Badania wykazują, że przyczynami tego stanu nie są przemiany czynników przyrodniczych. Analizy ciągów danych klimatycznych i hydrologicznych wykazują brak istotnej zmiany reżimu rzek karpackich w XX w. [Stachy, Nowak 1977; Soja 1996, 2002]. Badania morfotektoniczne Karpat wskazują na młode tendencje podnoszące w niektórych grupach górskich [Forma, Zuchiewicz 2001], nie dość jednak intensywne, by determinowały tak znaczne i szybkie przeobrażenia systemów korytowych. Przyczyn tych zmian należy upatrywać w pośredniej i bezpośredniej działalności człowieka.

Spośród antropoenicznych ingerencji wpływających pośrednio na funkcjonowanie systemów korytowych najważniejsza jest zmiana użytkowania ziemi w zlewniach. Struktura użytkowania ziemi w polskich Karpatach zmienia się szczególnie wyraźnie od początku II połowy XX w. i polega na stopniowym przekształcaniu gruntów ornych na użytki zielone [Guzik 2004]. Proces ten został znacznie przyspieszony po 1989 r., kiedy to w nowych warunkach gospodarczo-ekonomicznych uprawa roli w Karpatach okazała się nieopłacalna. Zmniejszenie powierzchni gruntów ornych, a zwłaszcza uprawy roślin okopowych przy jednoczesnym zadarnianiu stoków (a lokalnie ich zalesianiu) zwiększyło zdolności retencyjne zlewni. Nastąpiła znaczna redukcja spływu wód opadowych i roztopowych oraz spłukiwania materiału zwietrzelinowego do koryt. Przyczyniły się do tego również: zarastanie nieużywanych dróg polnych, zaniechanie orki zgodnie z nachyleniem stoków oraz terasowanie stoków. Niedociążone rzeki pogłębiają swe koryta.

Prawdopodobnie największe przeobrażenia koryt wywołały eksploatacja rumowiska i prace hydrotechniczne, a zatem bezpośrednie ingerencje w systemy korytowe. Ich powzięcie było zawsze synchroniczne z natychmiastowym i gwałtownym przyspieszeniem zmian w morfologii koryt górskich [Łajczak 1995; Surian, Rinaldi 2003; Korpak 2007a, b]. Skutki regulacji koryt i poboru rumowiska przedstawione zostaną dokładnie w dalszej części opracowania. Najpierw jednak zaprezentowano procedurę badawczą zmierzającą do rozpoznania współczesnego wykształcenia i funkcjonowania koryt. Analiza współczesnego stanu koryta dostarcza nam informacji o ewentualnych rodzajach zmian i ich lokalizacji. W dalszej kolejności docieka się ich przyczyn.

3. ROZPOZNANIE STRUKTURY I DYNAMIKI GÓRSKICH KORYT RZECZNYCH

3.1. METODA BADANIA STRUKTURY KORYT

W profilu podłużnym koryta rzecznego wydzielić można odcinki morfostatyczne lub morfodynamiczne, zaś w jego profilu poprzecznym strefy morfodynamiczne. Składają się one na strukturę systemu korytowego. Istnienie odcinków, czy też stref morfodynamicznych, jest wynikiem ewolucji koryta w długim okresie. Poznanie całych systemów korytowych w dorzeczu górnej Wisły jest stosunkowo słabe, a mimo to w wielu odcinkach koryt rzek i potoków w tym obszarze prowadzi się regulację i eksploatację rumowiska.

Do badań struktury koryt można zastosować specjalny raptularz (rys. 1) wraz z instrukcją. Metoda ta została wypracowana w Zakładzie Geomorfologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego [Kamykowska i in. 1999].

Instrukcja do kartowania koryt rzecznych przeznaczona jest do wszechstronnej charakterystyki systemów korytowych podczas badań terenowych. Charakterystyka koryt pozwala na określenie prawidłowości przestrzennego zróżnicowania ich wykształcenia oraz na poznanie ich funkcji morfodynamicznych. Instrukcja umożliwia zebranie w jednorodny sposób dużej liczby danych ilościowych i jakościowych z badanego obszaru. Dzięki zestawom gotowych propozycji odpowiedzi w poszczególnych punktach, metoda zbierania danych jest szybka i prosta. Głównym źródłem informacji są badania terenowe, uzupełnione analizą map i zdjęć lotniczych. Koryta składają się z odcinków morfostatycznych lub morfodynamicznych tworzących określone sekwencje. Podstawowe dane zbierane są w odniesieniu do takich jednorodnych odcinków, wyznaczonych na mapach i zdjęciach lotniczych na podstawie przebiegu koryt w planie.

Raptularz do kartowania koryt obejmuje cztery grupy danych: 1). informacje wstępne, 2). charakterystykę koryta (jego położenie, budowę geologiczną, morfometrię, profil poprzeczny, profil podłużny, brzegi, formy dna, osady, zabudowę koryta, typ koryta), 3). charakterystykę hydrodynamiczną cieku, 4). charakterystykę morfometryczną zlewni. Raptularz zawiera około 105 podstawowych informacji, 48 jakościowych i 57 ilościowych (rys. 1). Informacje ilościowe służą do wyliczenia wskaźników liczbowych użytecznych przy analizie cech koryta [Kaszowski 1980; Krzemień 1991].

1.1. Data	1.2. Imię i nazwisko kartującego

CHARAKTERYSTYKA KORYTA

2.1. POŁOŻENIE KORYTA

2.1.1. Dorzecze			2.1.2. Nr rob. odcinka	2.1.3. Nr ujednolicony	2.1.4. Oznaczenie arkusza mapy top.		2.3. PROFIL POPRZECZNY
2.2. BUDOWA GEOLOGICZNA	2.2.2. Litologia i tektonika	2.2.2.1. Koryta wycięte w pokrywie		2.2.2.2. Koryta wycięte w litym podłożu			
2.2.1. Jednostka stratygraf.		2.2.2.1.1. Rodz. pokr	2.2.2.1.2. Skład mech.	2.2.2.2.1. Pow. wych. skał	2.2.2.2.2. Rodzaj skał	2.2.2.2.3. Przebieg koryta	2.2.2.2.4. Przebieg profilu	2.4. PROFIL PODŁUŻNY

2.5. BRZEGI

2.5.1. Wykształcenie	2.5.2. Wysokość najczęstsza	2.5.3. Nachylenie	2.5.4. Utrwalenie

2.6. MORFOMETRIA KORYTA

							2.6.1. Rząd		2.6.2. Wysokość n.p.m.	
2.6.3. Długość koryta	2.6.4. Długość cięciwy	2.6.5. Wsk. rozwinięcia	2.6.6. Różnica wys.	2.6.7. Spadek	2.6.8. Szer. brzegowa	2.6.9. Szer. rów. zalew.	2.6.10. Szer. strefy kręt.	2.6.11. Maks. gł. brzeg.	2.6.12. Wsk. kszt. kor.	2.6.13. Wsk. zdzicz. kor.

2.7. FORMY KORYTOWE

2.7.1. Inwentarz form dna	2.7.1.1. Formy skalne	2.7.1.2. Formy zbudowane z rumowiska lub wycięte w nim

2.7.2. Progi i systemy progów	2.7.2.1. Liczba	2.7.2.2. Wys. najczęstsza	1.7.2.3. Wys. maksymalna	2.7.2.4. Przebieg w stos. do kor	2.7.2.5. Rodzaj skały	2.7.2.6. Przebieg w stos. do warstw	2.7.2.7. Zw. z kątem upadu

2.7.3. Kotły i systemy kotłów erozyjnych	2.7.3.1. Liczba	2.7.3.2. Głębokość najczęstsza	2.7.3.3. Głębokość maksymalna	2.7.3.4. Budowa	2.7.3.5. Lokalizacja	2.7.3.6. Zgrupowania

2.7.4. Plosa i przemiały	2.7.4.1. Liczba	2.7.4.2. Najczęstsza odległość	2.7.4.3. Układ poziomy

2.7.5. Podcięcia erozyjne	2.7.5.1. Liczba	2.7.5.2. Długość najczęstsza	2.7.5.3. Długość maksymalna	2.7.5.4. Wys. najczęstsza	2.7.5.5. Wys. maksymalna	2.7.5.6. Materiał	7.5.7. Lokalizacja

2.7.6. Łachy rumowiskowe	2.7.6.1. Liczba	2.7.6.2. Długość najczęstsza	2.7.6.3. Długość maksymalna	2.7.6.4. Szerokość najczęstsza	2.7.6.5. Szerokość maks.	2.7.6.6. Skład mech. rumowiska

2.7.7. Równina zalewowa	2.7.7.1. Mikrorzeźba	2.7.7.2. Wały przykorytowe	2.7.7.3. Stare koryta	2.7.7.4. Pokrycie roślinnością

2.8. OSADY KORYTOWE

	2.8.2. Skład mech.	2.8.2.2. Frakcja maksymalna										
2.8.1 Miąższość	2.8.2.1. Frakcja najczęstsza										Suma	Średnia

2.8.3. Skład petrograficzny	2.8.4. Ułożenie	2.8.5. Opancerzenie dna

2.9. ZABUDOWA KORYTA

2.9.1. Sposób zabudowy i obudowy			2.9.1.1. Liczba budowli hydrotechnicznych	
2.9.1.2. Struktura wysokości	2.9.1.3. Struktura szerokości	2.9.1.4. Struktura długości	2.9.1.5. Rodzaj budulca	2.9.1.6. Rok zabudowy
2.9.1.7. Stan zachowania			2.9.1.8. Stopień wypełnienia zbiornika	

CHARAKTERYSTYKA HYDRODYNAMICZNA CIEKU

2.10. TYP KORYTA	3.1. FALA STOJĄCA	3.2. MAKSYMALNE STANY WODY		
		3.2.1. Źródło informacji	3.2.2. Wartość stanu wody, data	3.2.3. Sposób pomiaru

CHARAKTERYSTYKA HYDROMETEOROLOGICZNA OKRESU BADAŃ

4.1. Stany wody	4.1.1. Aktualne stany wody	4.1.2. Stany wody w okresie poprzedzającym badania	4.1.3. Stany wody podczas ostatniej wielkiej powodzi

CHARAKTERYSTYKA MORFOMETRYCZNA ZLEWNI

5.1. Powierzchnia zlewni	5.2. Maksymalna długość zlewni	5.3. Wskaźnik kształtu zlewni	5.4. Długość sieci dolinnej	5.5. Gęstość sieci dolinnej	5.6. Stała integracji
5.7. Powierzchnia zalesiona	5.8. Wskaźnik zalesienia	5.9. Pow. użytków zielonych	5.10. Pow. gruntów ornych	5.11. Inne	

Uwagi

Rysunek 1. Raptularz do kartowania koryt
Figure 1. Register for channel mapping

Do raptularza dołączona jest specjalna instrukcja – klucz, pozwalająca na wybór właściwej informacji i zapisania jej w skrótowej, zakodowanej formie w odpowiedniej rubryce formularza. Na podstawie zebranych cech można wyjaśniać morfostrukturę i morfodynamikę badanego systemu fluwialnego oraz wnosić o tempie procesów morfogenetycznych. Prawidłowe rozpoznanie struktury i funkcji odcinków morfodynamicznych wymaga równorzędnej analizy koryta i środowiska całej zlewni [Klimek 1979].

Opisywana metoda została wypracowana w Karpatach Polskich, a weryfikacji poddano ją w wybranych obszarach Polski, Alp, Masywu Centralnego i Szkocji [Krzemień 1984, 1999, 2004; Chełmicki, Krzemień 1998; Kaszowski, Krzemień 1999; Zawiejska 2006].

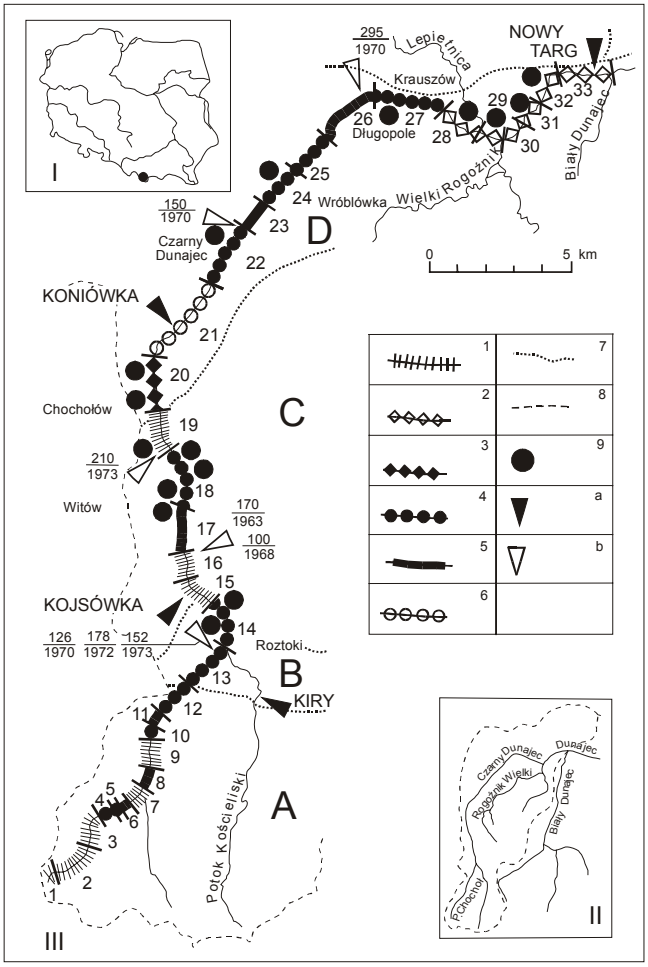
3.2. PRZYKŁAD BADANIA ZMIAN STRUKTURY I DYNAMIKI KORYTA RZECZNEGO

3.2.1. OBSZAR I CEL BADAŃ

Badaniami objęto koryto Czarnego Dunajca (dopływu rzeki Dunajec). Zlewnia ta cechuje się bardzo zróżnicowaną budową geologiczną. Obszar budują skały krystaliczne, węglanowe, flisz podhalański i utwory fluwioglacjalne. Zlewnia Czarnego Dunajca obejmuje kilka regionów: Tatry Zachodnie, Rów Podtatrzański, Pasmo Gubałowskie, Kotlinę Orawsko-Nowotarską i Działy Orawskie [Klimaszewski 1972, rys. 2].

Czarny Dunajec powstaje w wyniku połączenia potoków: Chochołowskiego, Kościeliskiego i Lejowego. Pod względem geomorfologicznym i hydrologicznym źródłową częścią Czarnego Dunajca jest Dolina Chochołowska [Krzemień 1991].

Koryto Czarnego Dunajca jest szerokie na 30–50 m, lokalnie do 200 m. Towarzyszy mu równina zalewowa o szerokości 100–500 m. Jest ona pocięta licznymi systemami starych koryt i jest przeważnie utrwalona zaroślami i drzewami. Wysokość równiny zalewowej nad dno koryta sięga 1-3 m. Rumowisko korytowe Czarnego Dunajca jest bardzo zróżnicowane pod względem składu petrograficznego i składu mechanicznego [Krzemień 1981]. W korycie tym dominuje rumowisko granitowe i kwarcytowe o frakcji 10–20 cm. W odcinku początkowym – do Chochołowa – procentowy udział granitoidów wzrasta, a następnie maleje aż do Nowego Targu. Odwrotna sytuacja jest z kwarcytami. Frakcję maksymalną stanowią kwarcyty i granitoidy. Ich średnica zmniejsza się z biegiem od 40 cm w odcinku górnym do 30 cm w odcinku środkowym i do 20 cm w dolnym biegu rzeki. Badane koryto reprezentuje typowe koryta rzek żwirodennych o cechach reżimu wysokogórskiego.



Rysunek 2. I – Położenie obszaru badań, II – Zlewnia Czarnego Dunajca, III – Typy odcinków morfodynamicznych Czarnego Dunajca w roku 1977: 1 – odcinki erozyjne modelowane głównie przez erozję wgłębną, 2 – odcinki erozyjne modelowane przez erozję boczną i wgłębną, 3 – odcinki erozyjno-redepozycyjne, 4 – odcinki redepozycyjne, modelowane przez redepozycję i erozję boczną, 5 – odcinki transportacyjne, 6 – odcinki depozycyjne, 7 – granice regionów, 8 – wododział, 9 – ważniejsze miejsca eksploatacji rumowiska, a – wodowskazy, b – znaki WW na mostach, data i wartość od dna w cm; A – Tatry, B – Rów Podtatrzański, C – Pogórze Gubałowskie, D – Kotlina Orawsko-Nowotarska

Figure 2. I – Location of study area, II – The Czarny Dunajec River catchment, III – Morphodynamic types of the Czarny Dunajec River channel in 1977: 1 – erosion reaches formed primarily by downcutting, 2 – erosion reaches formed by lateral erosion and downcutting, 3 – erosion/re-deposition reaches, 4 – re-deposition reaches formed by re-deposition and lateral erosion, 5 – transportation reaches, 6 – deposition reaches, 7 – region boundaries, 8 – watershed, 9 – main sites of gravel mining, a – water gauge, b – highwater marks on bridges: date and height above the bed in cm; A – the Tatras, B – Rów Podtatrzański, C – Pogórze Gubałowskie (foothils), D – Orawsko-Nowotarska Basin

Maksymalne wezbrania na Czarnym Dunajcu związane są z ciągłymi i gwałtownymi opadami letnimi, występującymi od czerwca do sierpnia. Największy przepływ wystąpił w 1934 r. – 870 m^3/s, a minimalny w 1964 r. – 0,85 m^3/s.

Naturalna struktura koryta Czarnego Dunajca wytworzyła się w długim okresie czasu na przedpolu Tatr Zachodnich. Koryto to było typowo roztokowe, wycięte w żwirach. Od końca XIX wieku podlegało ono stopniowemu zwężaniu i pogłębianiu [Krzemień 1981]. Proces ten nasilił się szczególnie w latach 70. XX w. Wtedy przeprowadzana była intensywna regulacja podłużna i poprzeczna koryta Czarnego Dunajca na całej długości. Zmieniany był układ poziomy, głównie poprzez wyprostowywanie koryta. Zabudowę poprzeczną stanowiło sześć systemów progów betonowych do 2,5 m wysokości (odcinki 21, 23). Zabudowę podłużną stanowiły opaski do 300 m długości z kamienia łamanego, siatki i faszyny oraz systemy ostróg umacniających brzegi. Rozmieszczone one były punktowo lub w odcinkach na przemian na lewym i prawym brzegu. Ponadto w korycie Czarnego Dunajca prowadzono intensywną eksploatację rumowiska (rys. 2). Proceder ten zaznaczył się po II wojnie światowej, a szczególnie rozwinął się w latach 70. XX w., podobnie jak w innych korytach rzek karpackich [Augustowski 1968; Osuch 1968; Klimek 1983, 1987; Wyżga 1991]. Eksploatacja odbywała się w sposób zorganizowany i za pomocą sprzętu mechanicznego lub w sposób niezorganizowany i bardziej rozproszony. Pobierano więc materiał żwirowy i głazowy z powierzchni łach lub cały materiał znajdujący się w korycie rzeki. W związku z eksploatacją rumowiska następowało likwidowanie opancerzenia koryta oraz jego pogłębianie w odcinku eksploatowanym. Zmiany te odzwierciedlały się również w zwiększonej erozji wstecznej dna koryta na odcinkach wyżej położonych.

W prowadzonych od 1975 r. badaniach koryta Czarnego Dunajca stosowano przedstawiony wyżej raptularz oraz instrukcję [Kamykowska i in. 1999]. Cały system korytowy rzeki skartowano dotychczas dwukrotnie – w 1977 r. i 1999 r. W górnym biegu tego systemu, szczególnie w granicach Tatr, prowadzone były dodatkowo badania dynamiki procesów fluwialnych. Ponadto do określenia tendencji rozwoju całego koryta wykorzystano mapy z XIX i XX wieku i zdjęcia lotnicze.

Celem badań prowadzonych w zlewni Czarnego Dunajca było poznanie struktury systemu korytowego i ukazanie przyczyn jego transformacji.

3.2.2. STRUKTURA I DYNAMIKA KORYTA CZARNEGO DUNAJCA W 1977 R.

Na podstawie przebiegu koryta w planie i zespołu form korytowych wyznaczono na mapie i zdjęciach lotniczych podstawowe odcinki koryta: 13 wzdłuż koryta Potoku Chochołowskiego (w sumie 11,8 km) oraz 20 wzdłuż

koryta Czarnego Dunajca (w sumie 37,6 km). Odcinki te następnie scharakteryzowano, wykorzystując cechy jakościowe i ilościowe (por. rozdz. 3.1.).

Na podstawie zebranych parametrów dotyczących koryta, form korytowych i rumowiska oraz wyliczonych wskaźników przeprowadzono typologię odcinków koryta (rys. 3). Za zasadnicze kryterium wydzielania typów koryt uznano procesy korytowe. Do szczegółowej analizy systemu korytowego Czarnego Dunajca wybrano zatem te cechy, które pośrednio lub bezpośrednio informują o dynamice koryta, a więc o procesach, które je formują i przekształcają. W analizie tej uwzględniono:

1. rodzaj podłoża (wydzielono odcinki skalne, skalno-rumowiskowe i aluwialne),
2. układ poziomy koryt,
3. mobilność dna koryta,
4. wskaźnik powierzchni łach w m^2 na 1 km,
5. wskaźnik powierzchni podcięć w m^2 na 1 km,
6. frakcję maksymalną w rumowisku korytowym,
7. wskaźnik zdziczenia koryta, a więc liczbę łach centralnych i wysp na 1 km,
8. wskaźnik kształtu koryta jako iloraz średniej szerokości i średniej głębokości koryta,
9. szerokość równiny zalewowej,
10. wskaźnik zabudowy koryta jako liczbę budowli na 1 km.

W dalszym etapie analizy wyodrębniano na mapie odcinki koryt (rys. 3):

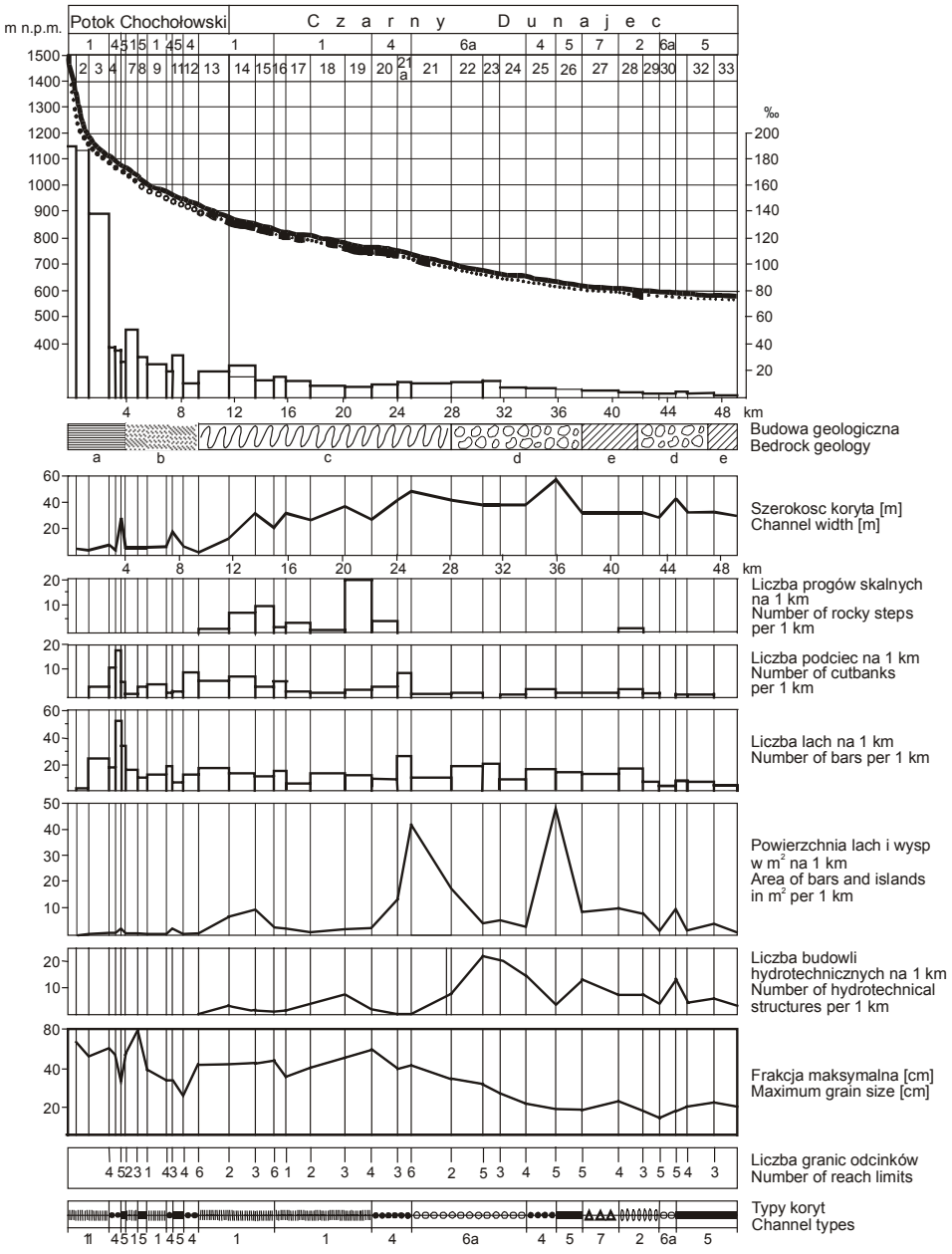
a – wycięte w grubofrakcyjnych pokrywach morenowych lub fluwioglacjalnych, skalnych lub aluwialnych, docięte do litego podłoża, wskazujące na tendencję do erozji wgłębnej koryta,

b – roztokowe, wskazujące na tendencję do depozycji, redepozycji i erozji bocznej,

c – o najwyższym wskaźniku powierzchni podcięć, wskazujące na tendencję do erozji bocznej,

d – nie wydzielone ze względu na wyżej wymienione cechy, co wskazuje na tendencję do transportacji.

Na podstawie powyższych materiałów wydzielono w 1977 r. 6 dynamicznych typów koryt (rys. 3). Są to: 1 – odcinki erozyjne modelowane głównie przez erozję wgłębną, 2 – odcinki erozyjne modelowane przez erozję boczną i wgłębną, 3 – odcinki erozyjno-redepozycyjne, 4 – odcinki redepozycyjne, modelowane przez redepozycję i erozję boczną, 5 – odcinki transportacyjne, 6 – odcinki depozycyjne.



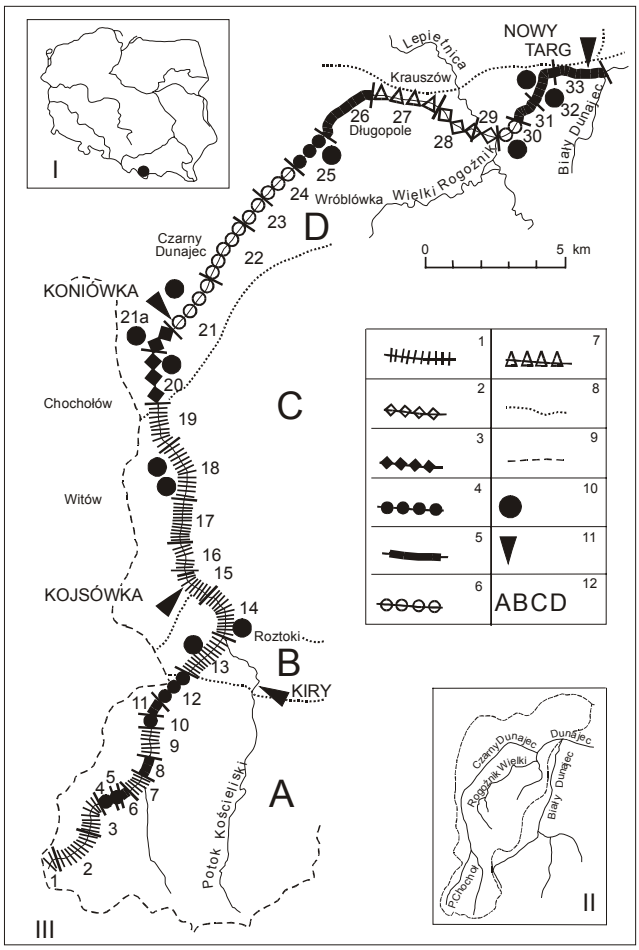
Rysunek 3. Postępowanie typologiczne metodą analizy granic w korycie Czarnego Dunajca
Figure 3. Channel typology according to the method based on number of limits in the Czarny Dunajec River channel

Analiza przeprowadzonej typologii wykazała, że system korytowy Czarnego Dunajca łącznie z korytem Potoku Chochołowskiego jest złożony (rys. 2). Koryto Potoku Chochołowskiego do odcinka 10 było modelowane głównie przez słabą erozję wgłębną, co jest typowe dla stabilnego systemu korytowego w dolinach zlodowaconych jedynie w plejstocenie [Rączkowska 1983; Krzemień 1991]. Do tej prawidłowości nie nawiązywał jedynie roztokowy odcinek na Polanie Chochołowskiej, gdzie dominowały stosunkowo mało intensywne redepozycja i erozja boczna. Odcinki tego typu występują w dolinach glacjalnych powyżej wałów moren recesyjnych lub powyżej progów glacjalnych [Krzemień 1999]. Poniżej połączenia potoków Chochołowskiego i Kościeliskiego odcinki koryta Czarnego Dunajca modelowane przez erozję wgłębną położone były w jego górnym biegu (odcinki 14, 15, 16 oraz 19). Przez erozję wgłębną i redepozycję modelowany był odcinek 20. Odcinki koryta modelowane przez erozję boczną i wgłębną położone były w dolnym biegu rzeki (odcinki 28–33). Depozycja miała miejsce powyżej zapór przeciwrumowiskowych w odcinku 21. W pozostałych odcinkach koryta dominowała redepozycja, erozja boczna i depozycja, a także transportacja rumowiska. Te dwa typy odcinków morfodynamicznych występowały na przemian. W odcinkach uregulowanych z zabudową podłużną procesem dominującym był przeważnie transport, ale na przykład w odcinkach 23 i 26 uwidaczniała się już słaba tendencja do dziczenia koryta.

3.2.3. ZMIANY STRUKTURY I DYNAMIKI KORYTA CZARNEGO DUNAJCA DO 1999 R.

W 1999 r. skartowano koryto Czarnego Dunajca w odcinkach wyznaczonych w roku 1977. Jedynie z odcinka 21 wyodrębniono pododcinek 21a. Na podstawie zebranych materiałów z kartowania terenowego przeprowadzono podobną procedurę typologiczną jak w roku 1977 [Kaszowski, Krzemień 1999, rys. 3]. Wydzielono 7 typów koryt (rys. 4). Są to: 1 – odcinki erozyjne, modelowane głównie przez erozję wgłębną, 2 – odcinki erozyjne, modelowane głównie przez erozję wgłębną i boczną, 3 – odcinki erozyjno-redepozycyjne, 4 – odcinki redepozycyjne, modelowane przez redepozycję i erozję boczną, 5 – odcinki transportacyjne, 6 – odcinki depozycyjne, 7 – odcinki redepozycyjno-depozycyjne, modelowane głównie przez redepozycję.

Po 22 latach w obrębie Tatr nie nastąpiły widoczne zmiany w strukturze koryta Potoku Chochołowskiego. Jedynie na ich przedpolu nastąpił wyraźny wzrost erozji wgłębnej w odcinku 13. W odcinku tym, wykształconym na stożku napływowym, nastąpiło docięcie do litego podłoża fliszowego (rys. 4). Od przedpola Tatr koryto Czarnego Dunajca uległo diametralnej zmianie. Mianowicie prawie o 80% wydłużyły się odcinki skalne. Odcinki koryta modelowane przez erozję wgłębną występowały już od przedpola Tatr (odcinek 13) do rejonu Chochołowa (odcinek 19).



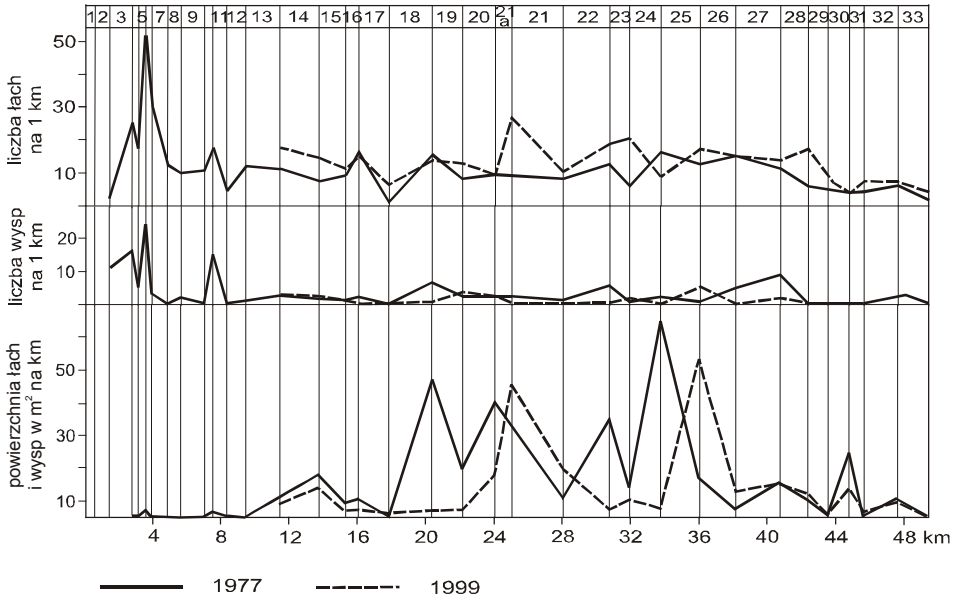
Rysunek 4. I – Położenie obszaru badań, II – Zlewnia Czarnego Dunajca, III – Typy odcinków morfodynamicznych Czarnego Dunajca w roku 1999: 1 – odcinki erozyjne, modelowane głównie przez erozję wgłębną, 2 – odcinki erozyjne, modelowane głównie przez erozję boczną i wgłębną, 3 – odcinki erozyjno-redepozycyjne, 4 – odcinki redepozycyjne, modelowane przez redepozycję i erozję boczną, 5 – odcinki transportacyjne, 6 – odcinki depozycyjne, 7 – odcinki redepozycyjno-depozycyjne, modelowane głównie przez redepozycję, 8 – granice regionów, 9 – wododział, 10 – ważniejsze miejsca eksploatacji rumowiska, a – wodowskazy; A – Tatry, B – Rów Podtatrzański, C – Pogórze Gubałowskie, D – Kotlina Orawsko-Nowotarska

Figure 4. I – Location of study area, II – The Czarny Dunajec River catchment, III – Morphodynamic types of the Czarny Dunajec River channel in 1999: 1 – erosion reaches formed primarily by downcutting, 2 – erosion reaches formed by lateral erosion and downcutting, 3 – erosion/re-deposition reaches, 4 – re-deposition reaches formed by re-deposition and lateral erosion, 5 – transportation reaches, 6 – deposition reaches, 7 – re-deposition/depositon reaches formed primarily by re-deposition, 8 – region boundaries, 9 – watershed, 10 – main sites of gravel mining, a – water gauge, b – highwater marks on bridges: date and height above the bed in cm; A – the Tatras, B – Rów Podtatrzański, C – Pogórze Gubałowskie (foothils), D – Orawsko-Nowotarska Basin

Równocześnie odcinki roztokowe wyraźnie uległy skróceniu i ograniczeniu. W wyniku regulacji zlikwidowano typowy odcinek roztokowy (odcinek 24). Stało się to pomimo zapowiedzi władz odpowiedzialnych za gospodarkę korytami rzecznymi, że dalszych regulacji w korycie Czarnego Dunajca nie będzie. Wyraźny rozwój koryta roztokowego nastąpił jedynie w odcinkach 21a i 25. Rozwój ten polegał na wzroście liczby i powierzchni łach oraz podcięć (rys. 5, 6).

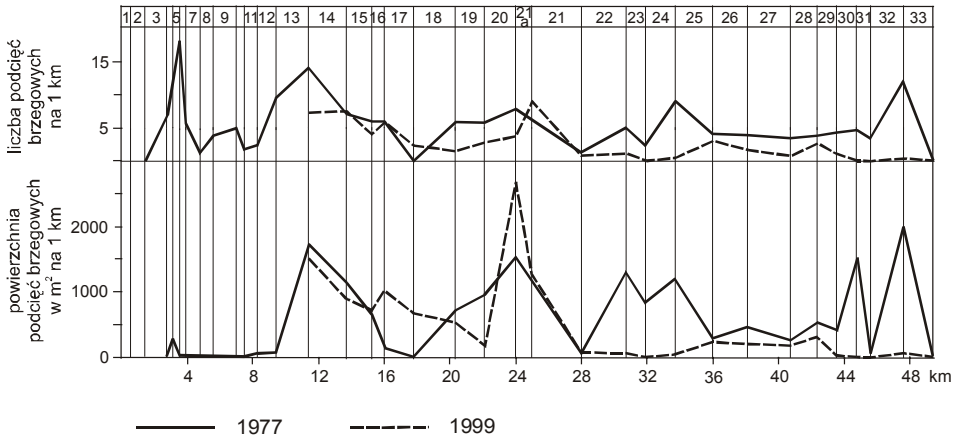
W stosunku do stanu z 1977 r. nastąpił wzrost długości odcinków uregulowanych, tzn. zwężonych z obudowanymi brzegami (regulacja podłużna) lub ze stopniami betonowymi (regulacja poprzeczna). Wśród niedawno wybudowanych budowli poprzecznych występowały stopnie i progi nowego typu. Były to konstrukcje betonowe lub z luźnych głazów, których korona pokrywała się z poziomem dna koryta lub sterczała nad nim na wysokość jedynie 20–30 cm. Stopnie dawniej budowane były betonowe i znacznie wyższe (do ok. 2,5 m). Nowy sposób zabudowy jest tańszy i skuteczniej stabilizuje w planie samo koryto oraz w mniejszym stopniu powoduje dewastację dawnego koryta. Pomiędzy tradycyjnymi, wysokimi stopniami stwierdzono obecność łach, świadczących o aktywnym procesie depozycji. W dolnym biegu rzeki, powyżej Nowego Targu, nastąpiła na skutek regulacji stabilizacja brzegów, stąd w odcinku tym dominowała w 1999 r. transportacja. Równocześnie nadal prowadzono eksploatację rumowiska, co prawda nie na taką skalę jak w latach 70 XX w., ale jej skutki wyraźnie zaznaczały się w korycie poprzez ubytek masy materiału i obecność licznych wyrobisk. Proceder ten, chociaż zakazany prawem, trwa nadal, nawet w odcinkach uprzednio uregulowanych. Z punktu widzenia stabilizacji brzegów i ogromnych nakładów na regulację jest to proceder niezwykle szkodliwy. Ze względu na pozornie niedużą skalę problemu nie widać, aby władze lokalne starały się go rozwiązać. Nadal z materiału korytowego buduje się fundamenty domów. Pobór rumowiska odbywa się przeważnie w dwu etapach. Najpierw sypie się pryzmy w pobliżu koryta, a następnie po pewnym czasie przewozi się ten materiał na działki budowlane. O skali problemu świadczy duża liczba domów już wybudowanych oraz będących w trakcie budowy.

W profilu podłużnym Czarnego Dunajca zaznaczył się w latach 1977––1999 wzrost liczby małych łach, szczególnie w odcinkach dawno uregulowanych (rys. 5). Ponadto, w wyniku pogłębiania koryta, nastąpił spadek powierzchni łach oraz liczby i powierzchni wysp. Łachy występowały zatem licznie, ale były niewielkich rozmiarów. Obecność tych form wskazywała na to, że dawny sposób regulacji nie ograniczył transportu materiału wleczonego oraz na to, że stopnie betonowe mogą podlegać intensywnemu szorowaniu i niszczeniu, a także, że między stopniami betonowymi możliwe jest dziczenie koryta. W odcinkach uregulowanych zaznaczał się więc powolny powrót do dawnych, naturalnych tendencji modelowania koryta. Jedynie w odcinkach roztokowych miał miejsce wzrost powierzchni łach i wysp (rys. 5), co sugeruje naturalne modelowanie tych resztek koryt roztokowych.



Rysunek 5. Liczba i powierzchnia łach i wysp w systemie korytowym Czarnego Dunajca w latach 1977 i 1999

Figure 5. Number and area of bars and islands in channel system of the Czarny Dunajec River in 1977 and 1999

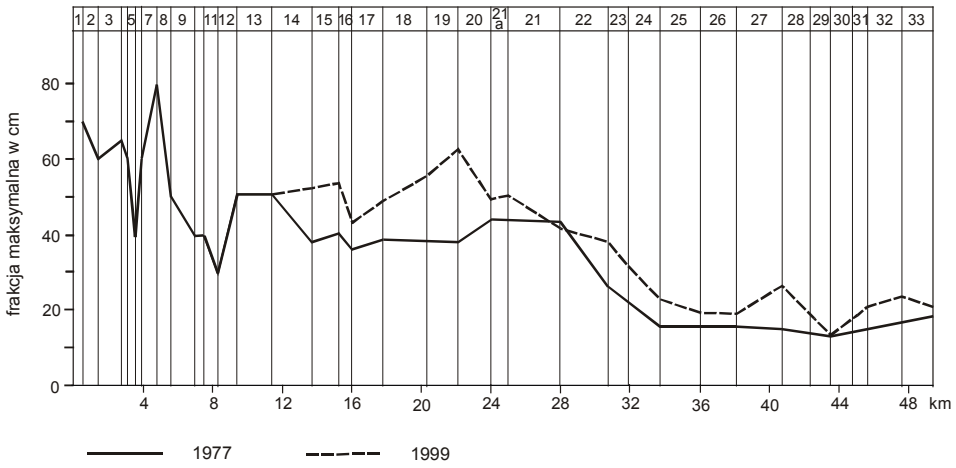


Rysunek 6. Liczba i powierzchnia podcięć w systemie korytowym Czarnego Dunajca w latach 1977 i 1999

Figure 6. Number and area of cutbanks in channel system of the Czarny Dunajec River in 1977 and 1999

W korycie Czarnego Dunajca zaznaczył się też w latach 1977–1999 spadek liczby podcięć (z wyjątkiem odcinków 14, 16, 20, 21a, 21), szczególnie w odcinkach uregulowanych. Ogólnie w całym systemie korytowym charakterystyczna była stabilność brzegów, zarówno w odcinkach uregulowanych, jak i nieuregulowanych (rys. 6). Konsekwencją tego było znaczne ograniczenie dostawy materiału z podcięć brzegowych. Materiał, który znajdował się w korycie, pochodził więc z erozji dna. Proces ten szczególnie wyraźnie zaznaczał się w odcinkach: na przedpolu Tatr, w rejonie Roztok, ale także w dolnym biegu rzeki poniżej Długopola. W dolnym biegu Czarnego Dunajca wyraźna była tendencja do pogłębiania koryta. W ślad za tym procesem następował ciągły wzrost budownictwa mieszkaniowego w najbliższym otoczeniu koryta. Było to bardzo dobrze widoczne poniżej Długopola. Podobnie w Nowym Targu, po wybudowaniu wałów przeciwpowodziowych, nastąpiło wyraźne zbliżenie zabudowań do koryta rzeki. W ten sposób powstały nowe problemy w dolinie, szczególnie podczas wezbrań katastrofalnych. W wyniku wyprostowania koryta, jego zwężenia i obudowania, a także eksploatacji rumowiska, wzrosła energia Czarnego Dunajca, skierowana głównie na pogłębianie. Proces ten miał być ograniczany poprzez regulację koryta rzeki. Cel ten nie został osiągnięty. Z tego powodu przynajmniej dalsza eksploatacja rumowiska w korycie powinna być całkowicie zakazana.

W 1999 r. zauważono w profilu podłużnym Czarnego Dunajca wzrost wielkości frakcji maksymalnej rumowiska w stosunku do stanu z 1977 r. (rys. 7).



Rysunek 7. Frakcja maksymalna w systemie korytowym Czarnego Dunajca w latach 1977 i 1999
Figure 7. Maximum size of channel deposits in channel system of the Czarny Dunajec River in 1977 and 1999

Jedynie w odcinkach uregulowanych, takich jak 21 i 29, tendencja ta nie zaznaczyła się. Wzrost wielkości frakcji maksymalnej w korycie związany był ze wzrostem energii rzeki. Był to też efekt wyprostowywania koryta, rozcinania podłoża i wypreparowania większych głazów. Głazy te występowały jako pojedyncze otoczaki rozrzucone w korycie. W odcinkach skalnych wybierane były one tylko sporadycznie, również i z tego powodu, że dostępność do nich była ograniczona.

W ostatnich latach ma miejsce w Europie renaturyzacja koryt rzek lub ich ochrona [Chełmicki, Krzemień 1998, 1999; Verbraak 1999; Żelazo, Popek 2002; Bartnik; Strużyński 2006]. W korycie Czarnego Dunajca nadal panuje dewastacja. Istnieje więc konieczność ochrony pozostałych jeszcze seminaturalnych odcinków koryta [Dąbrowski 1998], aby nie utracić bardzo cennych z przyrodniczego punktu widzenia i jednych z ostatnich już odcinków żwirodennych koryt roztokowych w Polsce.

4. PROBLEM POBORU RUMOWISKA

W związku z wyjątkowym znaczeniem problemu, poniżej, w oddzielnym rozdziale opisano negatywny wpływ niekontrolowanego poboru rumowiska z dna potoków górskich na gospodarkę wodną w rejonie koryt.

W wyniku nadmiernej, miejscami rabunkowej eksploatacji rumowiska z koryt rzecznych ulega zniszczeniu naturalne obrukowanie dna chroniące koryto przed degradacją, niszczone i podmywane są budowle wodne, regulacyjne i chroniące przed powodzią, a także podpory mostowe [Radecki-Pawlik 2002c]. Konsekwencją ekologiczną rabunkowego poboru rumowiska rzecznego jest eliminacja organizmów żywych wskutek usunięcia naturalnych miejsc bytowania makrofauny bezkręgowej. Stabilność dna i brzegów rzek oraz potoków górskich stanowi jeden z zasadniczych czynników mających wpływ na skutki wezbrań powodziowych, a zatem również na stan gospodarki wodnej w zlewni. Stabilność ta, z kolei, uzależniona jest od stanu pokrywy żwirowej zalegającej dno koryt (tzw. opancerzenia lub obrukowania). Im silniejsze opancerzenie dna koryta górskiego, tym mniejsze prawdopodobieństwo jego zerwania podczas wezbrania oraz tym bardziej bezpieczne koryto potoku. W korytach polskich rzek karpackich coraz częściej i na coraz większą skalę odnotować można przypadki niekontrolowanego pozyskiwania żwiru i otoczaków z koryt potoków górskich.

W normalnych warunkach rzeka lub potok górski eroduje tylko we własnych aluwiach i tworzy różnego rodzaju formy korytowe, głównie łachy żwirowe. Jednocześnie, poza wytworzeniem stanu równowagi w profilu podłużnym potoku, wytwarza się również na dnie koryta naturalne opancerzenie. Żwiry i otoczaki zalegające na łachach bocznych potoku zabezpieczają w sposób naturalny jego brzegi. Otoczaki pozostające w korycie układają się w sposób przypominający ułożenie dachówek na dachu budynku, powodując umocnienie naturalne dna koryta potoku (mówimy o imbrykacji dna). Mamy więc do czynienia ze stanem równowagi potoku, w którym ciek sam wytwarza sobie na tyle umocnione (obrukowane) dno, że potrafi ono utrzymać się nawet w trakcie krótkotrwałych wezbrań.

Odpowiedź na pytanie, co się dzieje z dnem koryta będącego w pewnego rodzaju stanie optymalnym, gdy w danym odcinku usuniemy część rumowiska dennego, nie jest jednoznaczna. Wszystko zależy od tego, jaką ilość żwiru usuniemy i gdzie to nastąpi. Odkąd człowiek rozpoczął budowę domów, których

budulcem jest nie tylko drewno, lecz także kamień i żwir, najłatwiej dostępnym źródłem ich pozyskiwania wydają się dna koryt rzecznych. Dopóki nie korzystano ze sprzętu zmechanizowanego, większą część budulca skalnego pozyskiwano jednak z kamieniołomów. Żwir z potoku pobierano wtedy epizodycznie, a otoczaki wyłącznie na ozdobę podmurówek domostw. Z biegiem lat nastąpił gwałtowny wzrost zapotrzebowania na żwir rzeczny. Przyczynił się do tego rozwój budownictwa żelbetowego po 1945 r. W związku z tym rozpoczęto prawie masową eksploatacje żwiru, głównie otoczaków z dna koryt i łach (fot. 1–4).

Otoczaki wykorzystywane są przede wszystkim na fundamenty, a ponieważ zmieniły się środki transportu i wydobycia, rumowisko denne pobierane jest w skali dotąd niespotykanej. Ponieważ, jak wspomniano już wyżej, rzeka dąży do wytworzenia stanu równowagi, równowagę tę wytwarza również po pobraniu rumowiska. Najpierw zaczynają erodować brzegi koryta, a następnie dno. Wcinając się coraz głębiej, niejednokrotnie rzeka wcina się do litej skały podłoża. Koryto zostaje zatem pozbawione warstwy ochronnej, a więc wspomnianego wyżej obrukowania lub opancerzenia. Niektóre koryta rzek lub potoków górskich w Polsce zostały w ten sposób pogłębione o kilka metrów w ciągu ostatnich 50 lat.

Kolejnym problemem związanym z poborem rumowiska z koryt potoków górskich jest niszczenie już istniejących, a jednocześnie potrzebnych z różnych względów budowli regulacji rzek. Ponieważ potok dąży do wyrównania niwelety dna, a więc wcina się na całej długości w podłoże, w konsekwencji wszystkie próby uregulowania go zawodzą. Można sobie wyobrazić wybudowane opaski brzegowe z koszy siatkowo-kamiennych wzdłuż jakiegoś odcinka rzeki górskiej. Jeśli ktokolwiek pobierze żwir 1–2 kilometry poniżej budowli regulacyjnych, budowle te natychmiast zostają podmywane. Dno pod nimi ulega obniżeniu i zaczynają one „wisieć" w powietrzu (fot. 5). Nowo wybudowane umocnienia brzegów ulegają zniszczeniu po kilku latach. To samo dotyczy mostów. Budowle regulacyjne, w tym stopnie i mosty obliczane są na określony spadek dna potoku. Mają one wręcz ten spadek stabilizować, a w czasie powodzi rozpraszać energię rzeki. Jeśli poniżej nich wykona się wyrwę i zabierze materiał zalegający w dnie, budowle te tracą stabilność i ulegają zniszczeniu (fot. 6). W konsekwencji, podczas powodzi ludzie tracą dobytek i życie. Skutki tego typu gospodarki wodnej są zatem fatalne. Niestety, w Polsce istnieje nieme przyzwolenie na pobór rumowiska rzecznego, a Rejonowe Zarządy Gospodarki Wodnej nie są w stanie (głównie ze względu na posiadane bardzo szczupłe fundusze w tym zakresie), walczyć zbyt energicznie, aby to zjawisko powstrzymać.

Nie mniej ważny problem związany z niekontrolowanym poborem rumowiska dennego dotyczy niszczenia życia biologicznego rzek i potoków górskich. Łachy w potokach górskich, a przede wszystkim formacje żwirowe tworzące obrukowanie dna koryt, są miejscem życia makrobezkręgowców dennych lub inaczej bentosu. Zwierzęta bezkręgowe, zamieszkujące rzeki i dna zbiorników wodnych, przyjęto, ze względów praktycznych, dzielić ma mikro- i makrobezkręgowce.



Fotografia 1. Nielegalna eksploatacja żwiru w korycie Dunajca (fot. K. Krzemień)
Photography 1. Illegal gravel mining in the Dunajec River (photo of K. Krzemień)



Fotografia 2. Ślady po eksploatacji żwiru w korycie Dunajca (fot. K. Krzemień)
Photography 2. Signs of gravel mining in the Dunajec River (photo of K. Krzemień)



Fotografia 3. Łacha korytowa z wybranymi otoczkami frakcji 20–30 cm (fot. K. Krzemień)
Photography 3. Channel bar with exploited gravels of fraction of 20–30 cm
(photo of K. Krzemień)



Fotografia 4. Wyeksploatowana część łachy żwirowej – koryto Czarnego Dunajca
(fot. K. Krzemień)
Photography 4. Exploited part of the gravel bar – the Czarny Dunajec River channel
(photo of K. Krzemień)



Fotografia 5. „Wiszące" opaski siatkowo-kamienne w korycie rzeki Mszanki (fot. J. Korpak)
Photography 5. Bank reinforcements, suspended above the water surface, the Mszanka River channel (photo of J. Korpak)



Fotografia 6. Uszkodzone filary mostu w korycie Mszanki – efekt erozji wgłębnej (fot. J. Korpak)
Photography 6. Damaged bridge pier in the Mszanka River channel – result of downcutting (photo of J. Korpak)

Do makrobezkręgowców zalicza się te formy, które w pełni wyrośnięte osiągają długość ciała co najmniej 2–3 mm. Ich znajomość w obszarze górnej Wisły jest, jak dotąd, wysoce niepełna. Ich obecność stanowi o życiu biologicznym każdego cieku. Ilość oraz różnorodność makrofauny dennej daje wytyczne do określenia „zdrowia rzeki". Z dotychczasowych badań wynika, że niezależnie od charakteru cieku, największy odsetek osobników makrofauny żyjącej na dnie reprezentowany jest przez owady, głównie ich larwy i poczwarki. Najczęściej występujące oraz najliczniej reprezentowane wśród nich są: *Crustacea* (skorupiaki), *Ephemeroptera* (jętki), *Plecoptera* (widelnice), *Coleoptera* (chrząszcze), *Trichoptera* (chruściki) oraz D – *Diptera* (muchówki). Makrobezkręgowce denne stanowią kilkadziesiąt procent masy zwierząt żyjących w rzece górskiej. Usunięcie rumowiska dennego powoduje zniszczenie życia form bentosowych, a w konsekwencji również życia ryb, które żerują głównie na bentosie, a także składają w żwirze ikrę oraz mają w tym rejonie swe kryjówki [Kłonowska-Olejnik, Radecki-Pawlik 2000, 2002; Kłonowska-Olejnik i in. 1999, 2006; Zasępa i in. 2006a, b].

5. PRZYKŁADY ZMIAN WYBRANYCH SYSTEMÓW KORYTOWYCH POD WPŁYWEM PRAC HYDROTECHNICZNYCH

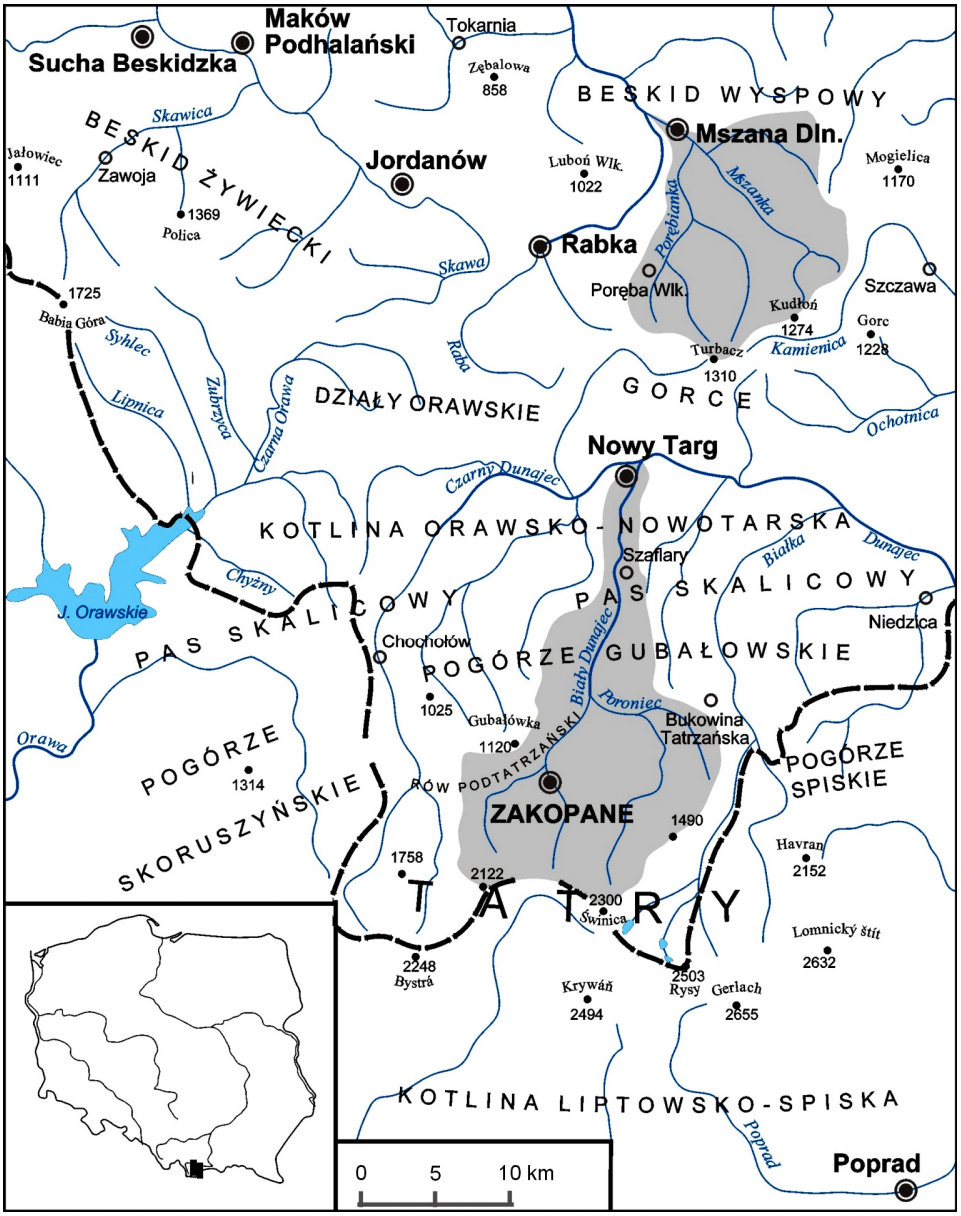
Poniżej przedstawiono zmiany w morfologii i funkcjonowaniu wybranych odcinków koryt Białego Dunajca i Mszanki po ich uregulowaniu za pomocą różnych typów zabudowy hydrotechnicznej. Analizy zmian morfologii koryt dokonano na bazie zdjęć lotniczych, materiałów kartograficznych oraz dokumentów archiwalnych z RZGW w Krakowie. W skład tych ostatnich wchodzą opisy techniczne prac regulacyjnych, plany sytuacyjno-wysokościowe koryt oraz ich profile podłużne i poprzeczne. Współczesne wykształcenie koryt rozpoznano na podstawie kartowania terenowego, przeprowadzonego w latach 2001––2005.

5.1. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Badaniami objęto koryta karpackich rzek Białego Dunajca (dopływu Dunajca) i Mszanki (dopływu Raby). Zlewnia Białego Dunajca leży w obrębie makroregionów Tatr i Podhala, a zlewnia Mszanki w makroregionie Beskidów Zachodnich [Czeppe, German 1979] (rys. 8). Zlewnie te cechuje odmienna budowa geologiczna: bardziej zróżnicowana w zlewni Białego Dunajca (skały krystaliczne, węglanowe, flisz podhalański, utwory fluwioglacjalne) oraz bardziej jednolita w zlewni Mszanki (flisz). Zlewnia Białego Dunajca ma większą energię niż zlewnia Mszanki – maksymalne deniwelacje wynoszą odpowiednio 1722 m i 906 m (tab. 1). Badane koryta reprezentują typowe koryta rzek o cechach reżimu wysokogórskiego (Biały Dunajec) i średniogórskiego (Mszanka). Cechą wspólną tych koryt jest okres i sposób ich uregulowania – zostały one uregulowane mniej więcej w tym samym czasie, na zbliżonych długościach i z zastosowaniem podobnych budowli hydrotechnicznych.

Najwięcej prac regulacyjnych prowadzono w odcinkach koryt położonych w dolnych biegach rzek, co wiąże się jednocześnie z największym stopniem zasiedlenia i zagospodarowania przyległych do nich terenów. W górnych biegach rzek koryta były przeważnie wypreparowane w litej skale, co było gwarancją ich stabilności.

Pierwszy okres regulacji badanych koryt nastąpił w latach 1910–1939. Już wtedy planowane były systematyczne prace na dłuższych odcinkach, powstawały jednak jedynie pojedyncze budowle. Projekty i prace wstrzymane zostały na skutek wybuchu II wojny światowej. Roboty wznowiono dopiero pod koniec lat 50. XX w.



Rysunek 8. Obszar badań – zlewnie Białego Dunajca i Mszanki
Figure 8. Study area – catchments of the Biały Dunajec and Mszanka Rivers

Tabela 1. Cechy charakterystyczne obszaru badań
Table 1. Study area characteristics

Rzeka	Biały Dunajec	Mszanka
posterunek wodowskazowy	Szaflary	Mszana Dolna
powierzchnia zlewni (km^2)	224	175
max wys. zlewni (m n.p.m.)	2301 (Świnica)	1276 (Kudłoń)
min wys. zlewni (m n.p.m.)	579	370
długość koryta (km)	35,0	19,5
spadek koryta (‰)	49,2	46,5
szerokość koryta (m)	1–78	1–32
$Q_{śr.}$ (m^3/s)	5,50	3,25
$Q_{50\%}$ (m^3/s)	90	52
$Q_{10\%}$ (m^3/s)	306	190
$Q_{5\%}$ (m^3/s)	399	255
$Q_{1\%}$ (m^3/s)	622	640

Okres najintensywniej prowadzonych prac regulacyjnych przypada na lata 60. i 70. XX w. [Korpak 2007a, b]. Rozpoczęto wtedy stosowanie, jak można by było je nazwać, najbardziej „inwazyjnych" systemów regulacji, przyczyniające się do radykalnej zmiany układu koryt w planie, ich profili podłużnych i poprzecznych. Powstawały przede wszystkim budowle podłużne (ostrogi i kierownice), jazy i zapory przeciwrumowiskowe (tab. 2). W latach 80. XX w. częstość i zakres podejmowania prac regulacyjnych wyraźnie się zmniejszyły (tab. 2). Niemal jedynym typem zabudowy stosowanym wtedy w korytach była korekcja stopniowa. Lokalnie wykonywano też umocnienia brzegowe. Zastój w postępie prac hydrotechnicznych wynikał z jednej strony z braku funduszy, a z drugiej z uwagi na długoletni okres bez większych wezbrań (od ok. 1975 do 1997 r.).

Tabela 2. Postęp w zabudowie koryt w poszczególnych okresach
(BD – Biały Dunajec, M – Mszanka)
Table 2. Progress of channel regulation at particular periods
(BD – the Biały Dunajec River, M – the Mszanka River)

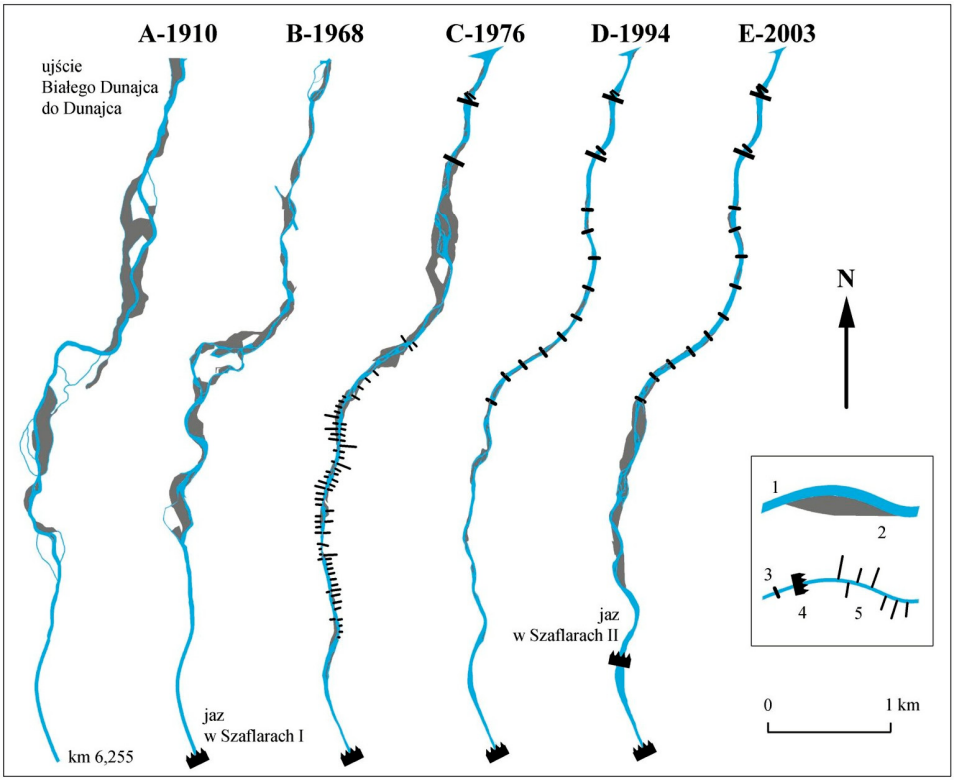
Okres	Długość koryta uregulowanego budowlami podłużnymi (% dł. całego koryta)		Liczba zapór przeciwrumowiskowych lub jazów		Liczba stopni	
	BD	M	BD	M	BD	M
do 1970	24,7	4,2	3	2	8	1
1970–1979	38,4	24,2	3	3	8	11
1980–1989	48,8	33,2	2	3	19	20
1990–2005	39,1	49,4	3	3	19	29
Plany	49,6	–	3	–	29	–

Kolejny okres wzmożonych prac hydrotechnicznych zaczyna się w latach 90. XX w., a właściwie dopiero po wezbraniu w 1997 r. Wykonywane wtedy projekty dotyczą niemal wyłącznie napraw szkód po następujących po sobie w krótkim czasie wezbraniach w latach 1997, 1998, 2001. Prace obejmowały i obejmują budowę przede wszystkim korekcji stopniowych i zabezpieczeń brzegów (tab. 2).

5.2. KORYTO BIAŁEGO DUNAJCA WZDŁUŻ ODCINKA W SZAFLARACH

Rozpatrywany odcinek koryta położony jest w dolnym biegu rzeki w Szaflarach, w km 5,1–2,2. W tym rejonie Biały Dunajec opuszcza przełomowy fragment Pienińskiego Pasa Skałkowego i wpływa na rozległe obniżenie Kotliny Orawsko-Nowotarskiej. Przed regulacjami towarzyszyło temu nagłe zmniejszenie spadku i energii przepływu rzeki oraz zmiana dominującego procesu z transportu na depozycję materiału [Kościelniak 2004b]. Koryto było tu wtedy roztokowe i szerokie, co widoczne jest na topograficznej mapie austriackiej z 1910 r. (rys. 9 A). Jeszcze w 1968 r. koryto było prawie naturalne, a wzdłuż biegu rzeki wyróżnić można było odcinki roztokowe na przemian z krętymi (rys. 9 B). W 1971 r. na odcinku km 5,1–2,2 przeprowadzono regulację za pomocą ostróg siatkowo-kamiennych. Celem prac było zabezpieczenie przed erozją brzegów, na których znajdowały się pola uprawne i łąki. Na skutek regulacji kręte, a miejscami roztokowe, szerokie do 350 m koryto przekształcono w koryto jednonurtowe o jednolitej szerokości 30 m (rys. 9 C, 10 A). Trasa regulacyjna wyznaczona została niemalże w linii prostej, co znacznie wyprostowało koryto i skróciło je na długości ok. 2900 m o ok. 524 m, a więc o 18%. Odległości przesunięcia bocznego koryta wynosiły przeciętnie 100–140 m, a na odcinku najbardziej roztokowym nawet 240 m.

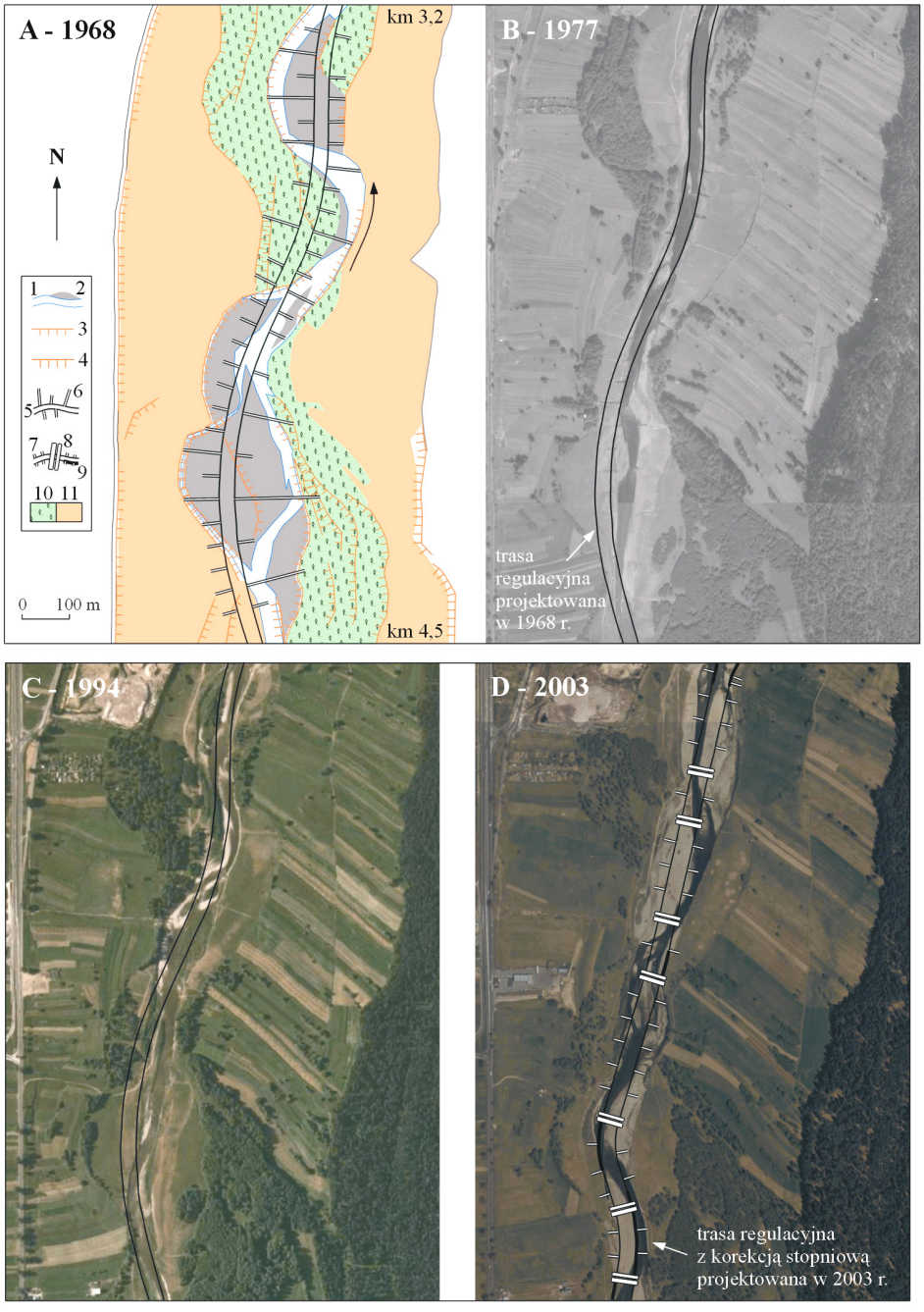
Koncentracja przepływu wód w tak zmienionym korycie o zwiększonym spadku (z 7,7‰ do 8,6‰) przyczyniła się do wzrostu siły erozyjnej rzeki i zmniejszenia oporów przepływu. Jednocześnie nastąpiła redukcja dostawy rumowiska do koryta, spowodowana ograniczoną efektywnością erozji bocznej przy umocnionych brzegach. Rumowisko było też zatrzymywane przez wybudowany przed 1970 r. jaz w km 6,3 (rys. 9). Zwiększona zdolność transportowa Białego Dunajca przy zmniejszonej ilości rumowiska dostępnego do transportu skutkowała gwałtownym wcinaniem się rzeki. Erozja wgłębna była najintensywniejsza bezpośrednio po regulacji. W latach 1971–1977 koryto pogłębiło się o 1,0–2,0 m (rys. 11). Znaczne obniżenie dna spowodowało wzrost wysokości brzegów. Przestrzenie między ostrogami uległy szybkiemu wypełnieniu i zostały przekształcone w terasę, na którą wkroczyła roślinność (ryc. 9 B). To dodatkowo zredukowało dostawę materiału do rzeki, a więc utrwaliło tendencję do wcinania.



Rysunek 9. Zmiany przebiegu koryta Białego Dunajca w Szaflarach i Nowym Targu (A – na podstawie austriackiej mapy topograficznej w skali 1:75 000, B i C – na podstawie projektów technicznych regulacji nr 3964 i 101, D i E – na podstawie ortofotomap): 1 – koryto prowadzące wodę, 2 – łacha, 3 – stopień betonowy, 4 – jaz, 5 – ostrogi

Figure 9. The changes of the Biały Dunajec River channel course in Szaflary and Nowy Targ (A – according to the Austrian topographic map at a scale of 1:75 000, B and C – according to technical designs of regulation works No 3964 and 101, D and E – according to orthophotomaps): 1 – water, 2 – bar, 3 – concrete drop structure, 4 – weir, 5 – groynes

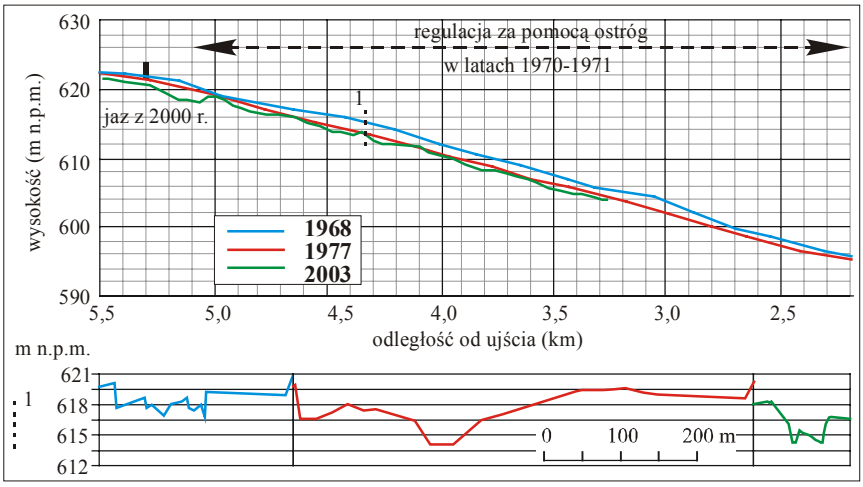
Na skutek powstałej erozji ostrogi były konsekwentnie niszczone, a w miejscu ich usunięcia brzegi były lokalnie podmywane. Wyerodowany materiał akumulowany był w ujściowym odcinku koryta rzeki, który był wtedy nadal wielonurtowy (rys. 9 C). Dziczenie tego odcinka koryta w obrębie miasta Nowy Targ stało się zresztą powodem jego uregulowania w latach 80. XX w. za pomocą korekcji stopniowej (rys. 9 D). W miarę niszczenia ostróg i odsłaniania brzegów rzeka zyskiwała nowy sposób dostosowania swego profilu do zmienionych warunków reżimu poprzez migrację boczną i zwiększanie długości, krętości i szerokości koryta [Wharton 2000, Bojarski i in. 2005]. W 1994 r. koryto Białego Dunajca na odcinku z ostrogami wykazywało wyraźną tendencję do migracji bocznej (rys. 10 C). Jego długość wzrosła w latach 1977–1994 r. o 100 m.



Rysunek 10. Zmiany wykształcenia koryta Białego Dunajca w Szaflarach na skutek regulacji za pomocą ostróg (A – na podstawie projektu regulacji nr 3964, D – plan regulacji na podstawie

projektu nr 2064): 1 – koryto prowadzące wodę, 2 – łacha, 3, 4 – krawędzie brzegów o wysokościach: 3 – 0–2 m, 4 – 2–5 m, 5 – trasa regulacyjna, 6 – ostrogi, 7 – poprzeczki, 8 – stopień betonowy, 9 – narzut kamienny, 10 – las, 11 – pole orne

Figure 10. Morphology changes of the Biały Dunajec River channel in Szaflary as a result of training with groynes (A – according to technical design of regulation works No 3964, D – training plan according to technical design of regulation works No 2064): 1 – water, 2 – bar, 3, 4 – escarpments: 3 – height 0–2 m, 4 – height 2–5 m, 5 – training path, 6 – groynes, 7 – spurs, 8 – concrete drop structure, 9 – rip-rap, 10 – forest, 11 – crop

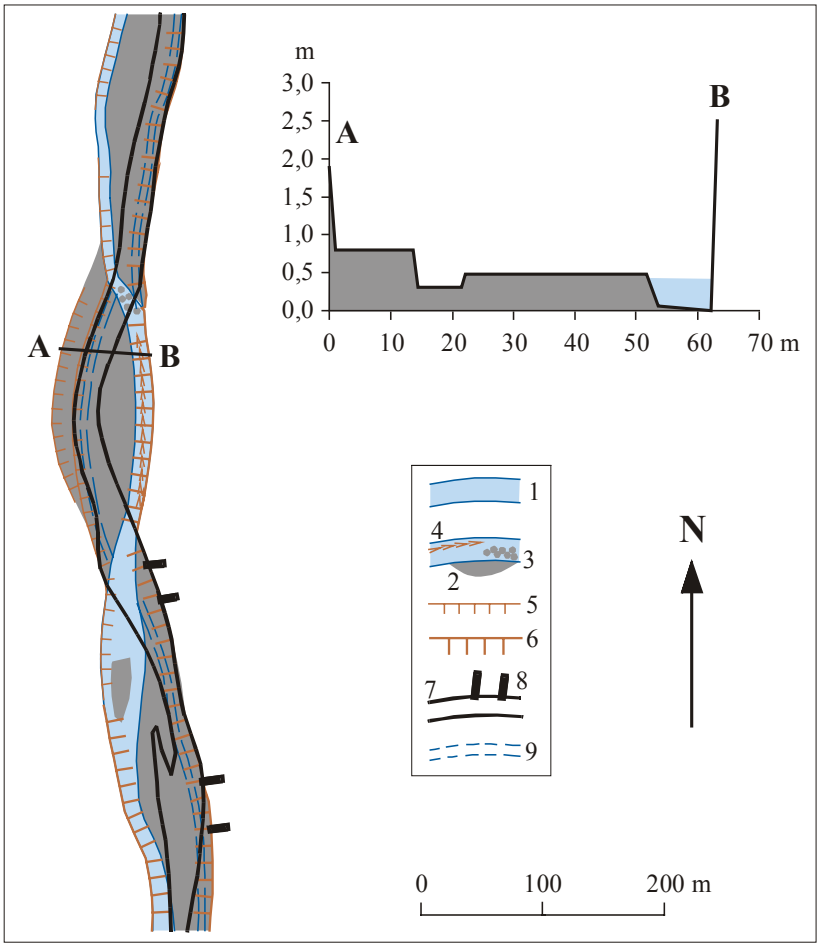


Rysunek 11. Zmiany profilu podłużnego i poprzecznego koryta Białego Dunajca na odcinku uregulowanym za pomocą ostróg (na podstawie projektów regulacji nr: 3964, 101 i 2064)

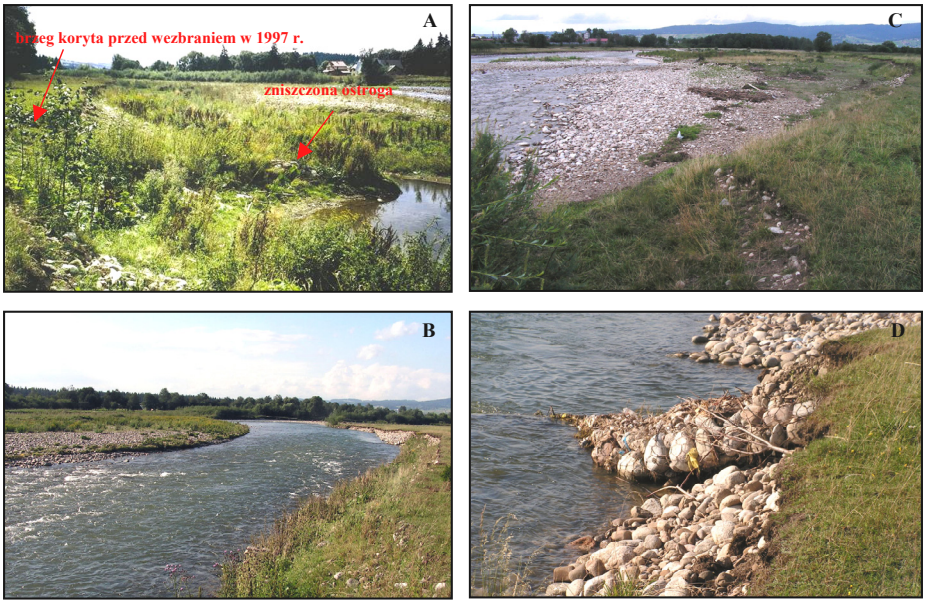
Figure 11. The changes of longitudinal profile and cross section of the Biały Dunajec River channel reach trained with groynes (according to technical designs of regulation works No 3964, 101 and 2064)

Wyraźne zmiany w wykształceniu tego odcinka koryta widoczne są na zdjęciu lotniczym z 2003 r. (rys. 10 D). Średnia jego szerokość wzrosła od 1994 r. z 35,4 do 72,6 m. Szerokość stała się też zróżnicowana – jej wartości wynosiły od 43,4 do 141,9 m (rys. 9 E). Utrzymała się tu tendencja do zwiększania przez rzekę krętości, dzięki czemu rzeka wydłużyła się w ciągu 9 lat o dalsze 60 m. Lokalnie koryto było zdziczałe. Właściwie nie było śladu po dawnej zabudowie za pomocą ostróg. Tak nagłe zmiany w korycie były konsekwencją dużych wezbrań w latach 1997 i 2001. W trakcie przejścia fal wezbraniowych woda nie wystąpiła z głęboko wciętego koryta, wobec czego cała jej energia skoncentrowana została w obrębie trasy regulacyjnej. Nurt wielkiej wody przerzucał się tu z jednego brzegu pod drugi, zabierając olbrzymie połacie terenu o szerokościach od kilku kilkudziesięciu metrów (maksymalnie do 60 m) – fot. 7 A. Bezpośrednią pozostałością po wezbraniach jest szerokie koryto aktywne (rozumiane jako koryta stale i okresowo prowadzące wodę wraz z nieporośniętymi łachami),

odgraniczone od terenów przyległych wysokimi podcięciami (rys. 12, fot. 7 B). Jego powierzchnia jest nierówna, w niektórych miejscach wielostopniowa w przekroju poprzecznym. Wyróżnić w niej można stare koryta, zawieszone względem współczesnego, oraz wielkie, częściowo utrwalone łachy. Gdzieniegdzie łachy te są w jednym przekroju poprzecznym położone na różnych wysokościach, oddzielone od siebie podcięciem erozyjnym (rys. 12, fot. 7 C). Większość ostróg została usunięta przez rzekę, a te, które zostały, są całkowicie zniszczone i nie pełnią swojej funkcji (rys. 12, fot. 7 D).



Rysunek 12. Zmiany w korycie Białego Dunajca uregulowanym za pomocą ostróg po wezbraniach w 1997 i 2001 r. (na podstawie ortofotomapy i kartowania terenowego)
Figure 12. The changes in channel morphology of the Biały Dunajec River reach trained with groynes after floods in 1997 and 2001 (according to the orthophotomap and field mapping)



Fotografia 7. Skutki wezbrań w 1997 i 2001 r. w wykształceniu koryta Białego Dunajca w Szaflarach: A – zniszczenie ostróg i poszerzenie koryta, B – podcięcia wysokich brzegów koryta, C – koryto z kilkoma poziomami łach, D – zniszczona ostroga w pogłębionym korycie (fot. J. Korpak)

Photography 7. Results of floods in 1997 and 2001 in channel morphology of the Biały Dunajec River in Szaflary: A – destruction of groynes and channel widening, B – undermining of high channel banks, C – channel with several levels of bars, D – destroyed groyne in incised channel (photo of J. Korpak)

Rozpatrywany odcinek koryta przekształcany jest współcześnie przez procesy erozji bocznej i redepozycji. Lokalnie istotny morfologicznie jest proces erozji wgłębnej. Ma to miejsce głównie bezpośrednio poniżej jazu w Szaflarach II, gdzie powstał głęboki wybój (rys. 11). Jaz ten został wybudowany w 2000 r., stąd jego wpływ na morfologię koryta nie jest jeszcze bardzo widoczny. Pierwszymi dowodami na pogłębianie koryta poniżej jazu jest wykorzystywanie przez rzekę jedynie wąskiej strefy koryta aktywnego i zarastanie większości dużych łach, usytuowanych od strony dolnej budowli.

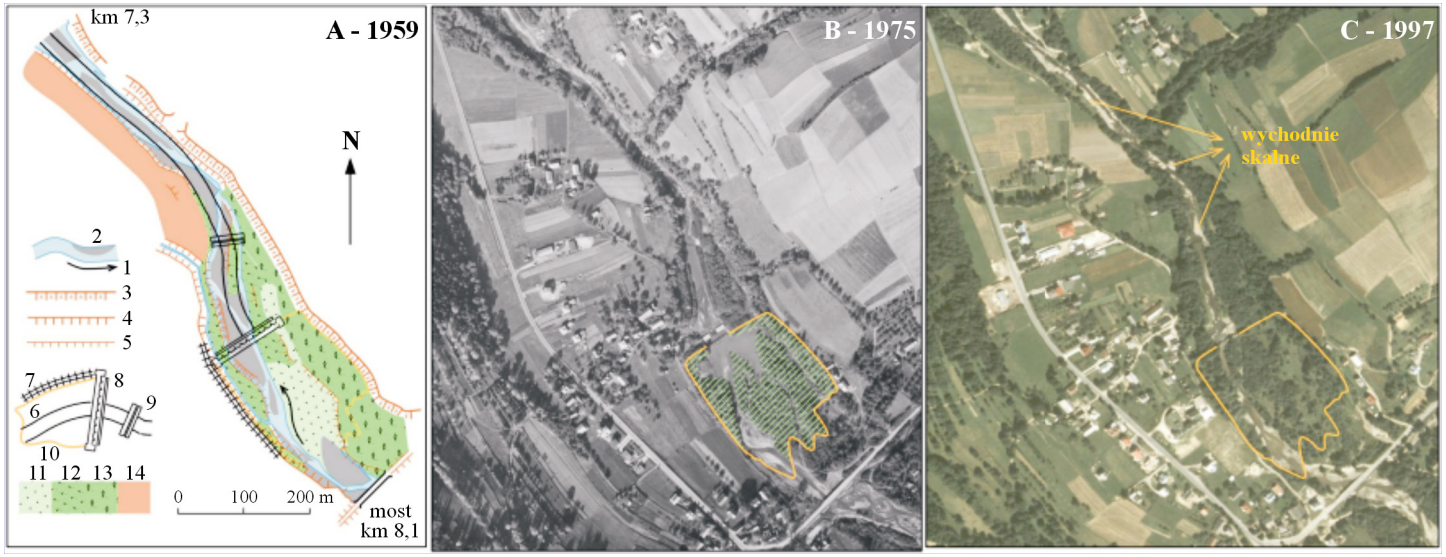
Koryto Białego Dunajca w Szaflarach stanowi bardzo dobry przykład samorenaturyzacji rzeki. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że koryto nie odzyskało swojej pierwotnej szerokości. Było to niemożliwe ze względu na znaczne pogłębienie i utrwalenie części brzegów młodym lasem. Rzeka nie odtworzyła też przebiegu roztokowego, jaki cechował ją przed regulacją, ale wykazuje raczej tendencję do meandrowania. Wykształcił się zatem nowy profil równowagi, który jest typowy dla systemów fluwialnych w warunkach zwiększonego spadku koryta i zmniejszonego obciążenia rumowiskiem [Schumm 1968].

5.3. KORYTO MSZANKI WZDŁUŻ ODCINKA Z ZAPORĄ PRZECIWRUMOWISKOWĄ W MSZANIE GÓRNEJ

Zapora przeciwrumowiskowa na Mszance usytuowana w km 7,8 powstała w roku 1961. Przed jej wybudowaniem rzeka płynęła wielonurtowym korytem aluwialnym [Kościelniak 2004a]. Szerokość koryta aktywnego wynosiła od 30 do 50 m (rys. 13 A). Zapora miała zadanie zatrzymania rumowiska wleczonego w celu zapobieżenia agradacji koryta przebiegającego przez tereny z gruntami ornymi i tym samym zmniejszenia ryzyka powodziowego w obrębie tych terenów. Powierzchnia utworzonego zbiornika zapory wynosiła 3,02 ha, a jego pojemność – 90 700 m^3. Żywotność zbiornika, a więc czas do jego całkowitego wypełnienia, obliczono na 25 lat. W km 7,7 biegu rzeki zaplanowano wybudowanie stopnia o wysokości 2,3 m (rys. 13 A). Miał on zmniejszyć spadek dna koryta z 10,5‰ do 6,0‰ i zapobiec nadmiernej erozji wgłębnej poniżej zapory.

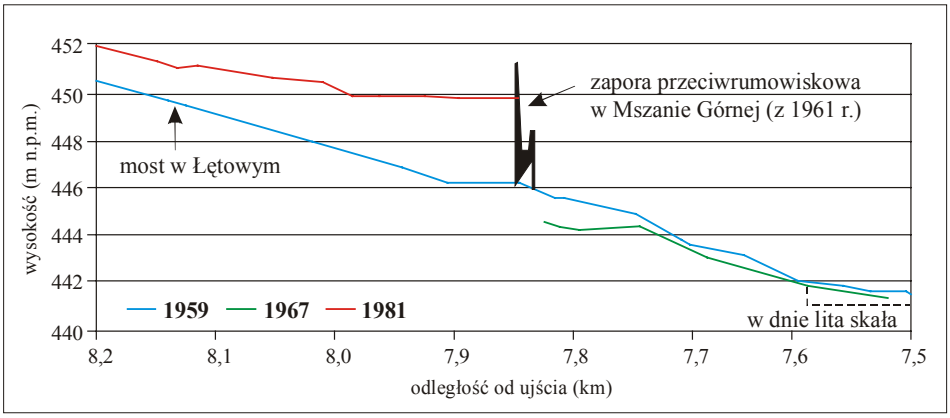
Zapora przerwała ciągłość systemu fluwialnego i zmieniła profil podłużny koryta z wyrównanego w nieregularny, z wyraźnym załomem (rys. 14). Koryto zostało podzielone na dwa odcinki modelowane przez różne procesy: powyżej zapory dominowała depozycja rumowiska, natomiast poniżej erozja wgłębna (rys. 13 B, 14). Oba te procesy zachodziły najszybciej w krótkim czasie po regulacji i osiągały największe rozmiary w niewielkiej odległości od korpusu zapory. Dno koryta podniosło się w latach 1959–1975 o 4 m w samym zbiorniku zapory i o 1,5 m w odległości 300 m powyżej korpusu zapory (rys. 14). W ciągu zaledwie 6 lat dno koryta obniżyło się o 1,5 m tuż poniżej korpusu zapory i o 0,5 m w odległości 200 m w dół biegu rzeki, gdzie nastąpiło rozcięcie pokrywy aluwialnej i odsłonięcie litego podłoża (rys. 14).

Zbiornik zapory był wypełniany nieco szybciej niż zakładano w projekcie. Planowane tempo sedymentacji wynosiło ok. 3630 m^3/rok, a rzeczywiste ok. 4410 m^3/rok. W 1975 r., 14 lat po powstaniu zbiornika, aż 68% jego powierzchni było już utrwalone roślinnością (rys. 13 B). Mszanka płynęła w obrębie zbiornika kilkoma korytami okalającymi wyspy. Powyżej mostu w Łętowym koryto było roztokowe, o szerokości 35–50 m (rys. 13 B). W 1997 r. zbiornik był całkiem wypełniony rumowiskiem, które zasiedliła roślinność (rys. 13 C). Wszystkie ramiona boczne koryta uległy osuszeniu, rzeka wykorzystywała jednonurtowe koryto o szerokości nieprzekraczającej 35 m. Powyżej mostu w Łętowym nastąpiło przekształcenie koryta z roztokowego w 1975 r. w jednonurtowe i kręte oraz jego zwężenie do 30–40 m.

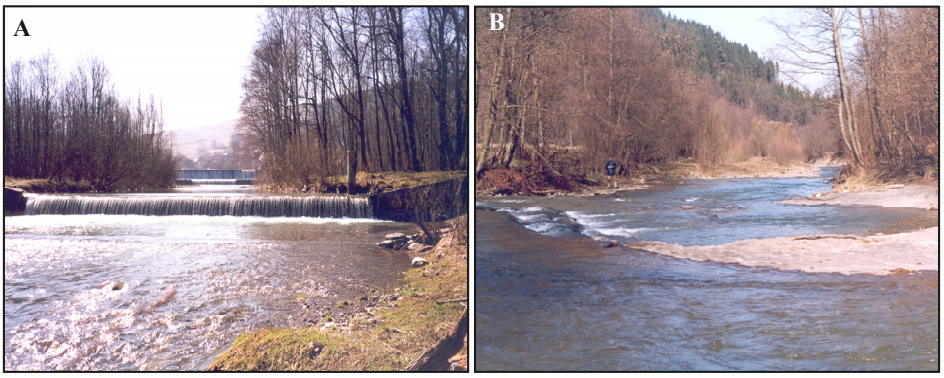


Rysunek. 13. Zmiany wykształcenia koryta Mszanki w odcinku z zaporą przeciwrumowiskową w Mszanie Górnej: A – na podstawie projektu regulacji nr 2196: 1 – kierunek biegu rzeki, 2 – łacha, 3 – skarpa wysokiego brzegu, 4–5 – podcięcia erozyjne o wysokościach: 4 – 2–5 m, 5 – 0–2 m, 6–10– projektowane budowle regulacyjne: 6 – trasa regulacyjna, 7 – grobla ziemna, 8 – zapora przeciwrumowiskowa, 9 – stopień betonowy, 10 – zasięg zbiornika zapory, 11 – zarośnięte łachy, 12 – zarośla olszynowe, 13 – las, 14 – grunty orne

Figure 13. The changes in channel morphology of the Mszanka River reach trained with debris dam in Mszana Górna: A – according to technical design of regulation works No 2196: 1 – flow direction, 2 – bar, 3 – high bank escarpment, 4–5 cutbanks: 4 – hight 2–5 m, 5 – 0–2 m, 6–10 – designed training structures: 6 – training path, 7 – earth dike, 8 – debris dam, 9 – concrete drop structure, 10 – extent of debris dam reservoir, 11 – vegetated bars, 12 – alder thickets, 13 – forest, 14 - crops



Rysunek 14. Zmiany poziomu dna koryta Mszanki w odcinku z zaporą przeciwrumowiskową w Mszanie Górnej (na podstawie projektów regulacji nr 2196, 1682 i 3375)
Figure 14. The changes of the channel bed level of the Mszanka River reach with debris dam in Mszana Górna (according to technical designs of regulation works No 2196, 1682 and 3375)

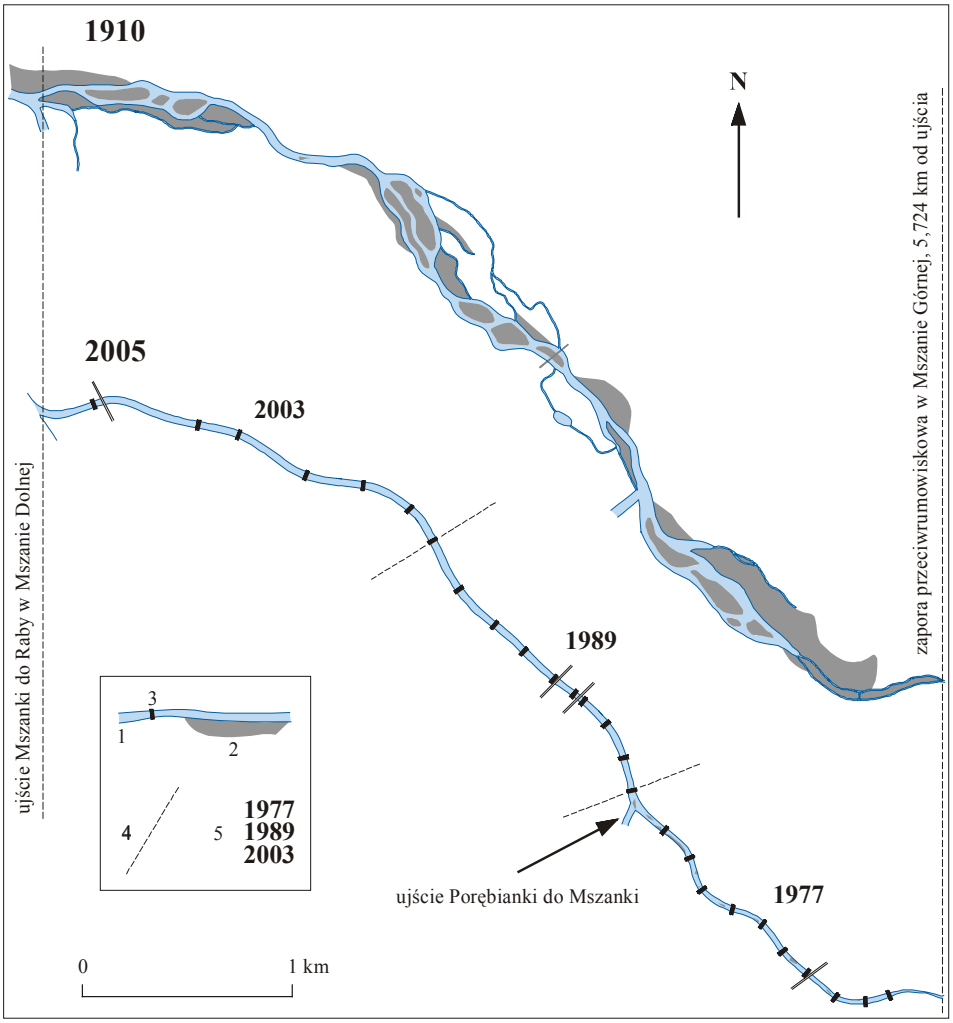


Fotografia 8. A – zapora przeciwrumowiskowa z 1961 r. w Mszanie Górnej (w oddali) wraz z dwoma stopniami betonowymi zmniejszającymi spadek koryta. B – erozja wgłębna poniżej zapory doprowadziła do odsłonięcia skalnego podłoża, powstania wąskiej półki skalnej wzdłuż obu brzegów oraz przekształcenia dawnej terasy zalewowej w terasę nadzalewową (fot. J. Korpak)
Photography 8. A – debris dam from 1961 in Mszana Górna (in the background) with two concrete drop structures, which flatten the channel slope. B – river incision downstream from the debris dam has led to the exposition of bedrock, development of narrow rocky bands on either side of the channel and transformation the previous floodplain into a terrace (photo of J. Korpak)

Bardzo duża erozja poniżej zapory wynikała po części z zaniedbania wykonania planowanego w projekcie stopnia betonowego w km 7,7. W efekcie już w ciągu 6 lat od powstania zapory spadek dna w odcinku poniżej niej zamiast się zmniejszyć, wzrósł do 11,8‰. Wraz z pogłębianiem zachodziło zwężanie koryta. W ciągu 6 pierwszych lat po wybudowaniu zapory szerokość koryta Mszanki zmniejszyła się z 34 do 9 m (o 73,5%). Koryto przekształciło się z wielonurtowego w jednonurtowe (rys. 13 B). Chcąc zapobiec dalszej erozji, wybudowano pod koniec lat 60. XX w. dwa stopnie betonowe: jeden, o wysokości 1,8 m, bezpośrednio poniżej progu końcowego zapory oraz drugi, o wysokości 1,2 m, w odległości 140 m w dół rzeki (rys. 13 B, fot. 8 A). Inwestycje te zmniejszyły tempo procesu erozji, ale go nie zahamowały. Do 1997 r. koryto poniżej zapory uległo jeszcze większemu zwężeniu, a wychodnie skalne pojawiły się nawet wzdłuż odcinka pomiędzy dwoma stopniami. Poniżej drugiego stopnia zarówno dno, jak i brzegi koryta są dzisiaj skalne (rys. 13 C, fot. 8 B). W dnie występują podłogi skalne oraz próg o wysokości ok. 1 m. Po obu stronach koryta utworzyły się wąskie, skalne półki, będące inicjalną formą terasy zalewowej (fot. 8 B). Dawna terasa zalewowa przekształcona została w terasę nadzalewową.

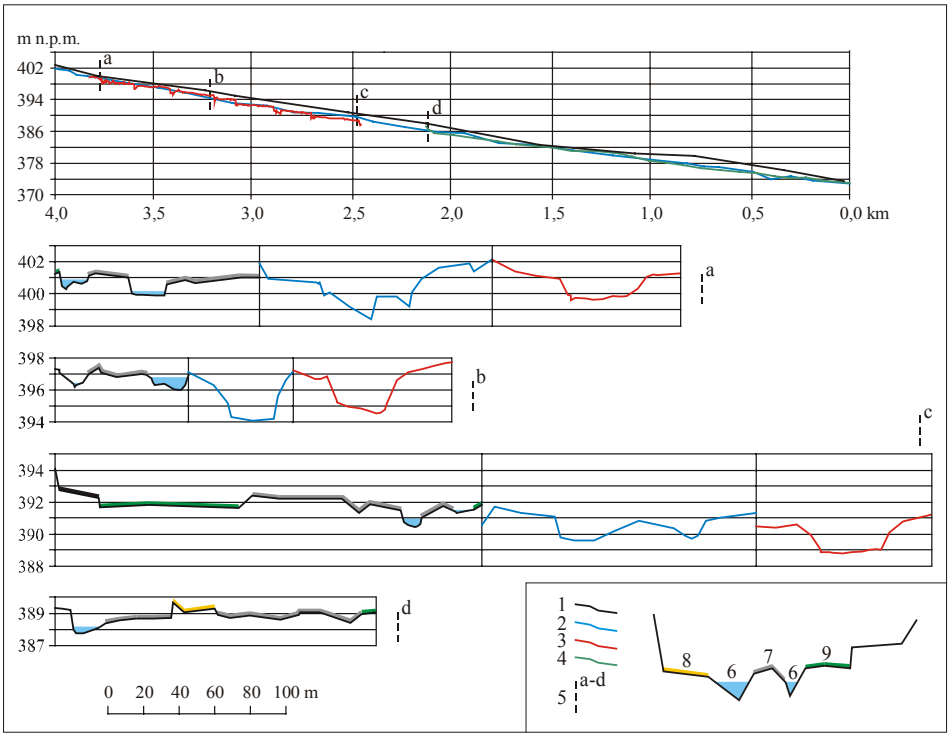
5.4. KORYTO MSZANKI WZDŁUŻ ODCINKA Z KOREKCJĄ STOPNIOWĄ W MSZANIE GÓRNEJ

Przed regulacjami koryto Mszanki było na analizowanym odcinku roztokowe, aluwialne, z wielkimi łachami środkowymi i bocznymi o maksymalnej długości 1 km [Kościelniak 2004a]. Szerokość koryta aktywnego wynosiła na ogół ponad 100 m, a miejscami przekraczała 300 m (rys. 15). Profil podłużny dna koryta był wyrównany, a w profilach poprzecznych wyróżnić można było kilka ramion stale wypełnionych wodą, wyraźne ślady koryt aktywnych zapewne podczas większych wezbrań oraz szerokie łachy żwirowe, wśród których część była utrwalona roślinnością drzewiastą lub wikliną (rys. 16). Dzisiaj koryto jest jednodzielne, kręte, a jego szerokość nie przekracza 35 m. Obserwuje się prawie całkowity brak form fluwialnych. Brzegi są regularne, wyprofilowane i umocnione. Profil podłużny dna jest schodowy – wzdłuż całego odcinka występuje aż 26 stopni i kilkadziesiąt progów betonowych, rozmieszczonych w różnych odstępach, generalnie zwiększających się w kierunku ujścia rzeki (rys. 15). Profile poprzeczne są kształtu trapezowego (rys. 16). Powierzchnia koryta aktywnego zmalała 5-krotnie (z ok. 822 tys. m^2 do 163 tys. m^2). Nieporównywalnie bardziej, bo aż 119 razy, zmniejszyła się powierzchnia samych łach. Koryto zmieniło funkcję z redepozycyjnej na transportującą.



Rysunek 15. Zmiany przebiegu koryta Mszanki w Mszanie Górnej i Dolnej między 1910 i 2005 r. (1910 r. – na podstawie topograficznej mapy austriackiej w skali 1:75 000, 2005 r. – na podstawie ortofotomapy oraz projektów technicznych nr 3337 i 1989): 1 – koryto wypełnione wodą, 2 – łacha, 3 – stopień betonowy, 4 – granice odcinków objętych trzema etapami prac regulacyjnych, 5 – daty zakończenia trzech etapów prac regulacyjnych

Figure 15. The changes of the Mszanka River channel course in Mszana Górna and Mszana Dolna (1910 – according to the Austrian topographic map at a scale of 1:75 000, 2005 – according to the ortophotomap and technical designs of regulation works No 3337 and 1989): 1 – water, 2 – bar, 3 – concrete drop structure, 4 – the boundaries of reaches regulated during three different periods, 5 – dates of completion of three stages of regulation works

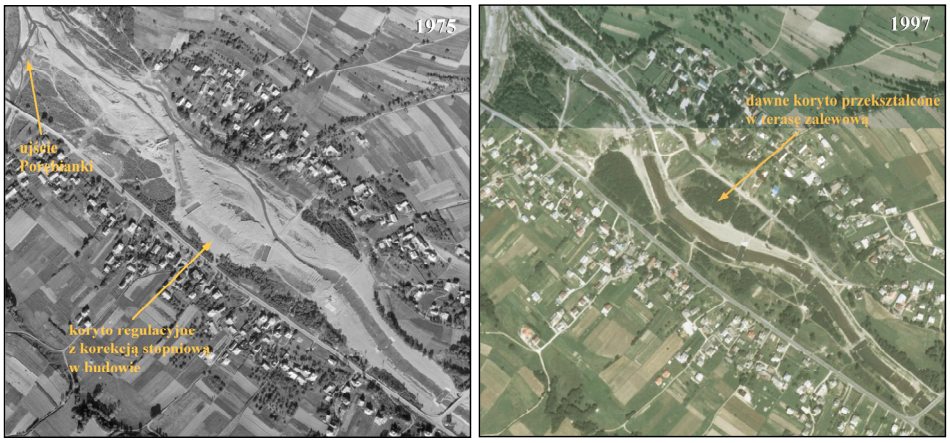


Rysunek 16. Zmiany profilu podłużnego i profili poprzecznych odcinka koryta Mszanki uregulowanego za pomocą korekcji stopniowej w latach 1977–2003: 1–4 – profile podłużne i poprzeczne koryta w latach: 1 – 1910 (na podstawie projektu nr 11/90/8), 2 – 1977 (na podstawie projektu nr 3337), 3 – 1987 (na podstawie projektu nr 4175), 4 – 2000 (na podstawie projektu nr 1750), 5 – lokalizacja profili poprzecznych, 6 – koryto prowadzące wodę, 7 – łacha, 8 – pastwisko, 9 – zarośla

Figure 16. The changes of longitudinal profile and cross sections of the Mszanka River channel reach trained with drop structures in 1977–2003: 1–4 – longitudinal profiles and cross sections in years: 1 – 1910 (according to technical design of regulation works No 11/90/8), 2 – 1977 (according to technical design of regulation works No 3337), 3 – 1987 (according to technical design of regulation works No 4175), 4 – 2000 (according to technical design of regulation works No 1750), 5 – location of cross sections, 6 – water, 7 – bar, 8 – pasture, 9 – thicket

Podczas przeprowadzania kolejnych prac teren pod nową trasę regulacyjną zrównywano spychaczami, niszcząc strukturę dna koryta (rys. 17 A). W efekcie, w niedługim czasie po wykonaniu korekcji stopniowej, dno było pozbawione warstwy obrukowania będącej naturalną ochroną przed rozmywaniem i w korycie nie występowały żadne formy fluwialne. Wyprofilowane brzegi były zwykle umacniane, co zapobiegało erozji bocznej. Pomimo braku rumowiska wleczonego dostępnego do transportu przy jednoczesnym znacznym skróceniu, wypro-

stowaniu i zwężeniu koryta, erozja wgłębna w obrębie odcinka z korekcją stopniową była mało efektywna. Przyczyną tego była redukcja spadku koryta za pomocą stopni. Zwykle po kilkunastu latach od powstania stopni koryto ulegało „zabliźnieniu". W dnie, zwłaszcza przy brzegach wypukłych, pojawiały się łachy, brzegi były utrwalane darnią lub wikliną i zagospodarowywane. Fragmenty dawnego koryta aktywnego, które wskutek regulacji zostały „odcięte", przekształcały się w terasę zalewową, a miejscami nawet nadzalewową (rys. 17 B).



Rysunek 17. Koryto Mszanki w Mszanie Górnej w trakcie powstawania korekcji stopniowej w 1975 r. i zmiany koryta po 22 latach
Figure 17. The Mszanka River channel in Mszana Górna during construction of drop structures in 1975 and the channel changes after 22 years

W pierwszym okresie funkcjonowania korekcji stopniowej głównym procesem w jej obrębie była depozycja rumowiska na górnym stanowisku za stopniami, która przyczyniała się do jego niedoboru w niższych odcinkach koryt. Odcinki te ulegały wtedy pogłębianiu. Rozmiar i tempo depozycji za stopniami zależały od dostępności rumowiska z odcinków położonych jeszcze wyżej oraz z brzegów koryta. Ponieważ tuż powyżej stopnia rozpoczynającego korekcję stopniową w km 5,7 zlokalizowana jest zapora przeciwrumowiskowa zatrzymująca rumowisko, transport materiału z wyższych partii koryta był niemal uniemożliwiony. Również dostawa rumowiska z podcięć brzegowych była ograniczona, gdyż brzegi były w większości umocnione. Dlatego w odcinku tym występowało niewiele form akumulacyjnych. Sytuacja zmieniała się podczas dużych wezbrań, kiedy dostawa materiału była wyraźnie większa. Wypełnianie rumowiskiem przestrzeni za stopniami przyczyniało się wtedy do wyrównywania schodowego profilu podłużnego. Gdy profil był wyrównany, stopnie przestawały spełniać swoją funkcję a koryto zaczynało pełnić rolę „rynny" transportującej materiał. Funkcję depo-

zycyjną zastępowała funkcja transportacyjna. Zwykle jednak stan taki był przejściowy, gdyż po każdym wezbraniu koryto było szybko udrażniane.

Regulacja za pomocą korekcji stopniowej jest niejako „niedopasowana" do zróżnicowanych stanów i przepływów rzek w ciągu roku. W czasie trwania niskich stanów koryto Mszanki jest za szerokie. Tworzą się wtedy łachy brzegowe, które zwężają przekrój koryta (fot. 9 A). Niekiedy na łachy wkracza roślinność, która je stabilizuje. Podczas wezbrań w wyprostowanym korycie następuje przyspieszony odpływ wód. Powoduje to przemodelowanie struktur dna, rozmycie starych łach i depozycję nowych. Koryto jest zwykle zasypywane rumowiskiem. Rzeka nie mieści się w zbyt wąskim wtedy korycie i dąży do zwiększania jego krętości erodując dno i brzegi (fot. 9 B). Niszczone są przy tym obiekty regulacyjne (przede wszystkim część przelewowa stopni, progi niecek wypadowych i umocnienia brzegowe).



Fotografia 9. „Niedopasowanie" korekcji stopniowej w korycie Mszanki do reżimu hydrologicznego rzeki: A – powstawanie łach bocznych zwężających przekrój koryta podczas niskich stanów wody, B – erodowanie brzegów przez niemieszczącą się w korycie wodę podczas wezbrań
Photography 9. Regulation with drop structures in the Mszanka River channel is not adjusted to the hydrologic regime of the river: A – during low water stages the lateral bars have been formed, which narrow the channel cross section, B – during high water stages the banks have been eroded

5.5. OCENA SYSTEMÓW REGULACJI RZECZNEJ

Zaprezentowane zmiany w wykształceniu i funkcjonowaniu koryt opisane w poprzednich podpunktach wynikały z niewłaściwego podejścia do problemu zarządzania rzeką. Przeznaczony do regulacji odcinek traktowano w oderwaniu od całego koryta, bez rozpatrzenia jego roli w całym profilu podłużnym rzeki. Tymczasem wszystkie odcinki koryta są połączone poprzez szereg współzależności w jeden system. Zmiany wprowadzone w jednym miejscu koryta powodują przekształcenia morfologii na nieraz długich odcinkach. Te z kolei wpływają na modyfikacje w innych komponentach środowiska przyrodniczego. Przykładowo, przerwanie ciągłości systemu korytowego (np. na skutek budowy zapory przeciwrumowiskowej), jest jednoznaczne z przerwaniem ciągłości korytarza ekolo-

gicznego rzeki. Duże zwężenie koryta na skutek jego regulacji powoduje szybkie obniżanie się dna. Wraz z pogłębianiem następuje wymywanie drobnych frakcji z rumowiska i ujednolicenie materiału dennego. Wpływa to na zubożenie siedlisk w korycie i zmniejszenie bioróżnorodności. W skanalizowanym i pogłębianym korycie zmieniają się warunki hydrauliczne przepływu wraz z parametrami hydrofizycznymi i hydrochemicznymi wody, co również nie jest obojętne dla życia biologicznego. Obniżanie się dna koryta powoduje wzrost wysokości brzegów, wobec czego woda rzadko lub w ogóle nie występuje na terenach dawniej zalewowych. Te są z kolei nieużyźniane i ulegają osuszaniu. Osuszaniu sprzyja też obniżanie się zwierciadła wód podziemnych. Umocnienie brzegów z wyprofilowaniem stromych skarp uniemożliwia zwierzętom lądowym dostęp do wody. To wszystko ma wpływ na zmianę składu gatunkowego roślin i zwierząt żyjących w sąsiedztwie koryta. Paradoksalnie, miejscowo wykonywane regulacje rzek są też niejednokrotnie niekorzystne dla człowieka ze względu zwiększenia zagrożenia wielkością fali wezbraniowej przez jej kumulację. Choć podstawowy cel zabudowy rzek i potoków górskich, jakim jest ochrona przeciwpowodziowa, zostaje w uregulowanym krótkim odcinku rzeki osiągnięty (gdyż wezbranie koncentruje się w tym miejscu w pogłębionym korycie), to jednak w skali całego systemu problem pozostaje aktualny. Zagrożenie powodzią wzrasta bowiem w odcinku położonym poniżej uregulowanego, a zatem „przesuwa się" w kierunku ujścia. Tu z kolei skutki ewentualnej powodzi są znacznie dotkliwsze niż powyżej, gdyż tereny w dolnych biegach rzek karpackich są przeważnie najbardziej zagospodarowane, a fala powodziwa dochodzi do nich skumulowana. Problem ten powszechnie przez hydrologów jest znany i wręcz nazywany: „przesuwaniem powodzi do przekrojów hydrologicznych umiejscowionych w dole rzeki". Nakłada się na ten fakt dodatkowo prawie całkowity brak retencji dolinowej.

Powyższe przykłady niekorzystnego wpływu regulacji na stan środowiska przyrodniczego w strefie korytowej pokazują jak trudnym, ale bardzo ważnym zadaniem jest zaplanowanie takich prac regulacyjnych, by odniosły one spodziewany efekt i spełniły cel gospodarczy, a jednocześnie nie wywoływały tak wielu skutków ubocznych. Aby rozsądnie i skutecznie poprawiać warunki rzek potrzeba wnikliwej analizy jej długoletnich tendencji. Aby je właściwie zinterpretować, nie wystarczy obserwacja stanu w danym momencie, ale konieczne są badania historyczne oraz, w miarę możliwości, rozpoznanie stopniowych reakcji koryta na kolejne interwencje w jego system. Inaczej koryto jest wykształcone i funkcjonuje w krótkim czasie po wezbraniu, a zupełnie inaczej w trakcie wieloletniej suszy. Inaczej, gdy zostało uregulowane niedawno, a inaczej, gdy istniejące w nim budowle hydrotechniczne funkcjonują od dłuższego czasu. W tym miejscu należy dodać wyraźnie, że w obecnym czasie, szczególnie w Polsce, gdzie zasoby wodne w przeliczeniu na jednego mieszkańca są jedne z najmniejszych w Europie, nie możemy mówić o jakiejkolwiek regulacji rzek lub utrzymaniu rzek i potoków górskich bez przeanalizowania retencji doliny rzecznej.

Słaba retencja jest w tym wypadku niezmiernie ważnym czynnikiem wzmożenia efektu wezbrania powodziowego. Prowadzi również do poważnych braków wody w miesiącach posusznych. W niniejszej publikacji nie poruszono w szczegółach problemu retencji wodnej, jako że wymaga on ze względu na swą wagę oddzielnej analizy i oddzielnego opracowania. Autorzy pracy jednakże pragną zaznaczyć, że problem zwiększenia retencji wody w Polsce wymaga stanowczych działań w kierunku zatrzymania jak największej ilości wody w dolinach rzecznych [Radecki-Pawlik 2007a, b].

Stosowane do tej pory systemy regulacji okazywały się często nie tylko szkodliwe dla środowiska, ale również nieefektywne w dłuższym okresie. Duża zmiana geometrii koryta powodowała „niedopasowanie" nowej trasy regulacyjnej do reżimu hydrologicznego rzeki. Intensywnie działające w takich warunkach procesy erozji wgłębnej, wstecznej i bocznej doprowadzały z czasem do zniszczenia zabudowy hydrotechnicznej. Wtedy koryta były zazwyczaj regulowane na nowo. Paradoksalnie konsekwencją regulacji była zatem kolejna regulacja. Współcześnie w praktyce utrzymania koryt rzecznych zaleca się stosowanie nowoczesnych rozwiązań regulacji rzek i potoków, które w swym założeniu naśladują naturalne zachowanie rzeki w kontekście budowy morfologicznej jej przekroju poprzecznego. Są to rozwiązania bliższe naturze, niejako naśladujące budowę i dynamikę naturalnych systemów korytowych. Niektóre z nich przedstawiono w następnym rozdziale.

6. O BLISKICH NATURZE ROZWIĄZANIACH UTRZYMANIA KORYT RZEK I POTOKÓW GÓRSKICH

W obecnie zalecanej praktyce utrzymania koryt rzek i potoków górskich zezwala się na szereg sytuacji, w których stosowanie technik inżynierskich jest jak najbardziej dopuszczalne [Bojarski i in. 2005]. Do sytuacji takich należą: uszkodzenie umocnień brzegowych chroniących przed gwałtowną erozją, konieczność ochrony różnych obiektów infrastruktury technicznej (dróg państwowych wyższego znaczenia, mostów), czy konieczność ochrony przeciwpowodziowej miast. Trudno wyobrazić sobie inżyniera nieumiejącego zaprojektować lub wykonać budowli wodnej, melioracyjnej, zbiornika retencyjnego lub ujęcia wody. Absurdalna byłaby sytuacja, w której inżynier hydrotechnik, sparaliżowany przepisami prawa, nie mógłby powziąć decyzji co do wyboru środków technicznych chroniących przed powodzią aglomerację miejską. Zmieniły się jednak wymogi stawiane nowoczesnej regulacji rzek i potoków.

W myśl Ramowej Dyrektywy Wodnej Unii Europejskiej, stosowane przy utrzymaniu koryt rzek i potoków górskich środki techniczne muszą być „bliskie naturze" i podejmowane we współpracy interdyscyplinarnej z przyrodnikami. I tak, przy uzasadnionej potrzebie zabezpieczenia brzegów lub dna koryta rzecznego, należy stosować więcej umocnień typu naturalnego, wykonanych z kamienia łamanego i drewna. Tego typu budowle to kosze siatkowo-kamienne, gabiony, narzuty kamienne i budowle kaszycowe, czy też bystrza o zwiększonej szorstkości. W żadnym wypadku nie wolno zostawić budowli piętrzącej, typu jaz lub stopień, bez dobrze zaprojektowanej, wielkogabarytowej przepławki dla ryb, najlepiej typu biologicznego [Lubieniecki 2003; Radecki-Pawlik 2003; Bojarski i in. 2005]. Rzece należy zostawić jak najszerszy korytarz nieskrępowanego przepływu, przy jednoczesnej ochronie elementów morfologii jej koryta, przede wszystkim naturalnych sekwencji przegłębień i bystrzy oraz łach korytowych. Obecnie pracujący hydrotechnik powinien zapoznać się z elementami hydrogeomorfologii koryt rzek i potoków górskich [Radecki-Pawlik 2006a] oraz z wymogami hydromorfologicznymi Dyrektywy Unijnej.

Poniżej zebrano kilka ważnych informacji, które mogą posłużyć projektantom i wykonawcom z branży hydrotechnicznej jako wskazówki dobrej praktyki przy utrzymaniu koryt rzecznych.

6.1. BYSTRZA O ZWIĘKSZONEJ SZORSTKOŚCI

Plany związane z utrzymaniem koryt potoków powinny uwzględniać kompromis pomiędzy wymogami środowiska przyrodniczego, a ingerencją człowieka [Ślizowski, Radecki-Pawlik 1996]. Potok naturalny, o zarośniętych brzegach, znajduje się zwykle w stanie równowagi dynamicznej i biologicznej. Naruszenie stanu naturalnego potoku powoduje zmniejszenie szorstkości, a tym samym zaburzenie równowagi dynamicznej. Stabilizację koryt potoków górskich, charakteryzujących się dużymi spadkami podłużnymi, znaczną zmiennością stanów wody, nagłymi wezbraniami, intensywnym transportem rumowiska, uzyskuje się przeważnie poprzez budowę stopni lub progów w celu wytworzenia określonego spadku granicznego dna [Niel 1960; Hartung, Scheurlein 1970; Knauss 1980; Żelazo 1992; Ślizowski, Radecki-Pawlik 1996, 1998, 1999, 2000; Ślizowski i in. 1997; Radecki-Pawlik, Ślizowski 1998; Radecki-Pawlik 2006b]. Działania takie mają jednak negatywny wpływ na środowisko naturalne.

Najwłaściwszym rozwiązaniem przy ochronie dna koryt rzecznych przed skutkami gwałtownych spływów wód w momencie konieczności redukcji spadku podłużnego cieku wydaje się być stosowanie bystrzy o zwiększonej szorstkości. Budowle te umożliwiają migrację ryb oraz makrobezkręgowców dennych (bentosu), powodują natlenienie wody oraz dobrze harmonizują z krajobrazem. Na odcinkach pomiędzy bystrzami należy zachować formy przegłębień, których obecność jest uzasadniona hydrodynamiką przepływu. W dnie należy rozmieścić kamienie o różnej wielkości, stwarzając schronienia dla ryb i innych organizmów żywych. Schronienia takie powinny znajdować się także wzdłuż brzegów rzeki. Proponowane rozwiązania zapewniają spełnienie wymogów związanych zarówno ze stabilizacją koryta potoku, jak i ekologii w harmonii z krajobrazem.

Istotny wpływ na skuteczność działania bystrza oraz jego współpracę ze środowiskiem przyrodniczym ma właściwe dobranie wielkości kamieni na bystrzu i sposób ich rozmieszczenia. Poniżej zaprezentowano wybrane metody obliczania wielkości kamienia na bystrzu.

Wielkość kamieni na płycie bystrza można wyliczyć wzorem Niela [1960] i Knaussa [1980] oraz korzystając z wytycznych Knaussa [1980].
Wzór Niela ma postać:

$$D = h\,I \tag{1}$$

gdzie:

D – wielkość kamieni na płycie bystrza [m],
h – napełnienie przy przepływie miarodajnym [m],
I – spadek płyty bystrza.

Zależność Niela [1960] może być stosowana przy przepływach jednostkowych poniżej 9 m^2s^{-1}; dla współczynnika wydatku przelewu μ = 0,560, co odpowiada głębokości 2,7 m na koronie bystrza. Szerokość bystrza zgodnie z postulatami Niela powinna wynosić od 12 do 15 (h) głębokości wody na bystrzu.

Z kolei Knauss [1980], na podstawie doświadczeń Hartunga i Scheurleina [1970], opracował podstawowe zasady projektowania bystrzy: optymalny spadek bystrza przyjmuje jako równy 1:8; 1:10 i 1:15, a wielkość kamieni ustala z zależności:

$$D = h_s\ 10\ tg\varphi \tag{2}$$

gdzie:

h_s – średnia głębokość wody na bystrzu [m],

φ – kąt nachylenia bystrza.

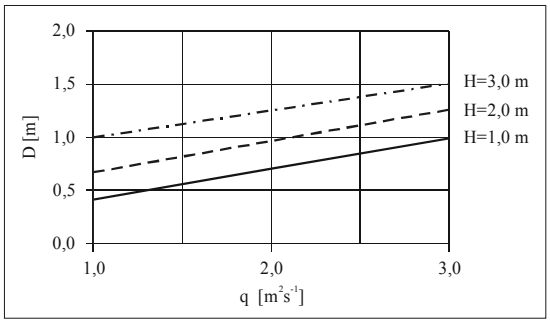
W tabeli 3 przedstawiono wielkości kamienia na płycie spadowej bystrza w zależności od prędkości obliczeniowej oraz spadku bystrza [Knauss 1980].

Tabela 3. Wielkość kamieni na bystrzu w zależności od spadku płyty bystrza i prędkości wody, według Knaussa [1980]

Table 3. Stone dimensions fixed to the rapid hydraulic structure depending on inclination of rapid plate and water velocity, according to Knauss [1980]

Prędkość v [m s^{-1}] dla nachylenia płyty bystrza 1:8	Prędkość v [m s^{-1}] dla nachylenia płyty bystrza 1:10	Prędkość v [m s^{-1}] dla nachylenia płyty bystrza 1:15	Wielkość kamienia [m]
2,50	2,70	3,70	0,6
4,60	4,90	5,80	0,8
7,00	7,60	8,90	1,2

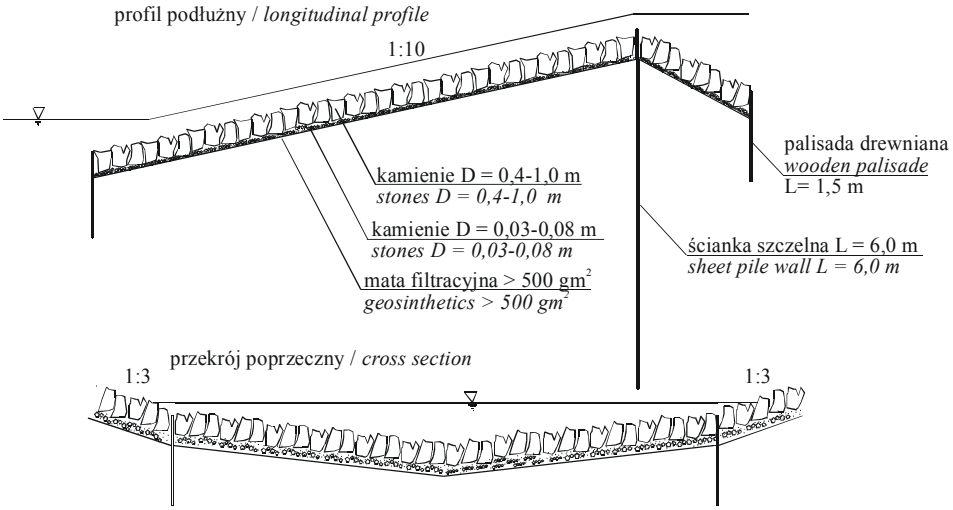
Doboru kamieni na płycie bystrza można również dokonać, stosując wykres zaproponowany przez Ślizowskiego, Radeckiego-Pawlika i Sambou [1997] (rys. 18). W tym przypadku wielkość kamieni ustalana jest w zależności od przepływu jednostkowego na bystrzu *q* oraz wysokości bystrza *H*.



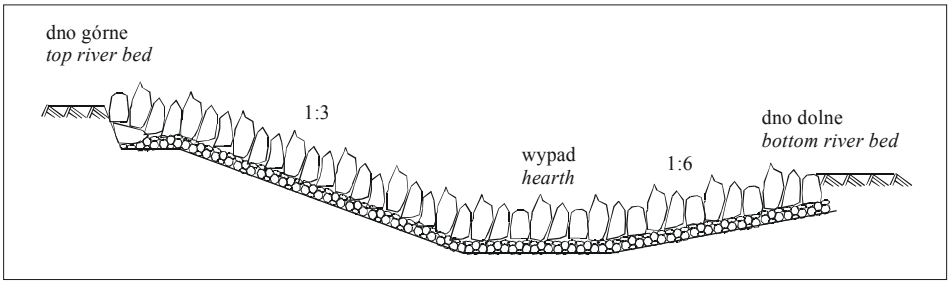
Rysunek 18. Wykres doboru wielkości kamieni na płycie bystrza, oznaczenia: D – wielkość kamieni naturalnych [m], q – przepływ jednostkowy [m^2s^{-1}], H – wysokość bystrza [m]

Figure 18. Graph of selection of stone dimensions for rapid hydraulic structure, symbols: D –dimensions of natural stones [m], q –discharge per chute width [m^2s^{-1}], H – height of rapid [m]

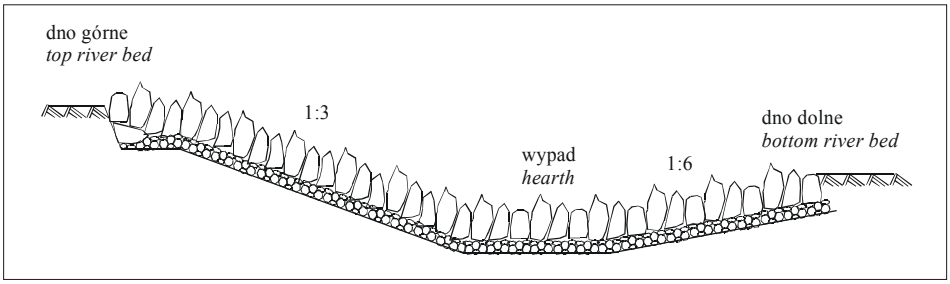
Na rysunkach 19–22 przedstawiono przykłady różnych rozwiązań konstrukcyjnych bystrzy o zwiększonej szorstkości, zastosowanych do stabilizacji potoków w praktyce utrzymania koryt rzecznych w różnych krajach. Na kanwie tych i innych przykładów hydrotechnicy projektujący tego typu rozwiązania mogą wprowadzać swoje własne konstrukcje, jak najlepiej dopasowane do warunków hydrogeomorfologicznych w danym miejscu rzeki lub potoku.



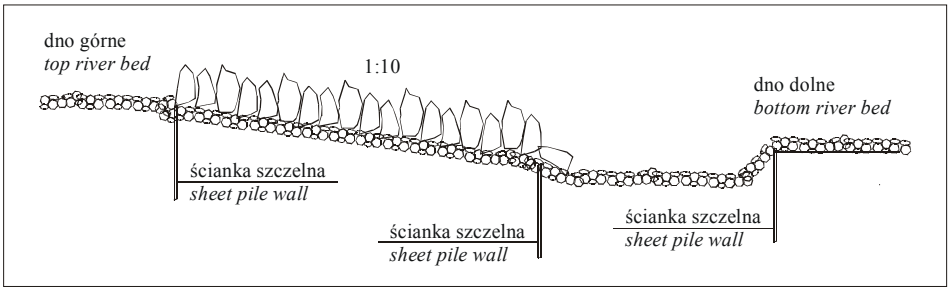
Rysunek 19. Schemat modelu bystrza na rzece Böhme w Fallingbostel, zabezpieczonego przed rozmyciem ściankami szczelnymi z palisad i stalową ścianką na progu
Figure 19. Model draft of the rapid hydraulic structure constructed in the Böhme River in Fallingbostel; palisades and steel sheet pile walls prevent scour of the structure



Rysunek 20. Schemat modelu bystrza typu austriackiego, o charakterystycznym przedłużeniu ubezpieczonego dna, które zostało wykonane w przeciwspadzie o nachyleniu 1:6
Figure 20. Model draft of the rapid hydraulic structure of the Austrian type, with typical extension of protected bottom with inclination of 1:6



Rysunek 21. Schemat modelu bystrza typu Vincenta, o przedłużonej ścianie spadowej, zagłębionej w dolnym stanowisku
Figure 21. Model draft of the rapid hydraulic structure of the Vincent type, with elongated shaft wall, sunken below the bottom river bed



Rysunek 22. Schemat modelu bystrza na rzece Kal, z charakterystycznym ubezpieczeniem dolnego dna w formie niecki
Figure 22. Model draft of the rapid hydraulic structure in the Kal River, with typical protection of the bottom river bed in the form of stilling basin

Poniżej, na fotografiach 10–13, podano przykłady bystrz o zwiększonej szorstkości, wykonane w polskich rzekach górskich w sposób poprawny, zgodny z zasadami prawidłowego utrzymania koryta rzecznego w stanie bliskim naturze. Na fotografii 10 należy zwrócić uwagę na koncentrację przepływu na płycie spadowej bystrza, zapewniające przechodzenie ryb nawet przy niskich stanach wody. Na fotografiach 11 i 13, z kolei, należy zwrócić uwagę na pozornie bezładnie ułożony kamień łamany, spełniający rolę redukcji dna cieku oraz zabezpieczenia miejscowego dna. Projektowane bystrza tym lepiej spełniają swoją funkcję ekologiczną, zapewniając wędrówkę ryb i makrobentosu, gdy spadek płyty bystrza jest łagodniejszy. Optymalny spadek to 1:10, ale ze względu na warunki miejscowe można dopuścić spadki większe, maksymalnie 1:5.



Fotografia 10. Prawidłowo wykonane i działające z zasadami prawidłowego utrzymania koryta rzecznego bystrze na potoku Porębianka. Zwróć uwagę na koncentrację przepływu na płycie spadowej bystrza, zapewniającą migrację ryb nawet przy niskich stanach wody (fot. A. Radecki-Pawlik)
Photography 10. The properly made and functioning rapid hydraulic structure in the Porębianka River. Notice that the flow concentration on rapid hydraulic structure apron ensures fish migration even during the low water stages (photo of A. Radecki-Pawlik)



Fotografia 11. Bystrze na potoku Sanoczek. Zwróć uwagę na pozornie bezładnie ułożony kamień łamany, spełniający rolę redukcji spadku dna cieku (fot. A. Radecki-Pawlik)
Photography 11. The rapid hydraulic structure in the Sanoczek stream. Notice the apparently chaotically arranged crushed stones, which reduce channel bed gradient (photo of A. Radecki-Pawlik)



Fotografia 12. Bystrze na potoku Jachówka-Bieńkówka. Zwróć uwagę na odtwarzające się łachy korytowe powyżej górnego i poniżej dolnego stanowiska budowli. Łachy te stanowią o bogactwie fauny rzecznej oraz tworzą element roztokowania w uregulowanym korycie (patrz tekst oraz Radecki-Pawlik 2006a) (fot. A. Radecki-Pawlik)

Photography 12. The rapid hydraulic structure in the Jachówka-Bieńkówka stream. Notice the rebuilding bars upstream from the top site and downstream from the lower site of the structure. These bars ensure variety of river fauna and form an element of braiding in the trained channel (see text and Radecki-Pawlik 2006a) (photo of A. Radecki-Pawlik)



Fotografia 13. Bystrze na potoku Krzczonowskim. Zwróć uwagę na pozornie bezładnie ułożony kamień łamany, spełniający rolę zabezpieczenia miejscowego dna. W dnie ułożone jest przejście rurami wodociągowymi (fot. A. Radecki-Pawlik)

Photography 13. The rapid hydraulic structure in the Krzczonowski stream. Notice the apparently chaotically arranged crushed stones, which protect the channel bed. The water pipes on the channel bottom serve as a passage (photo of A. Radecki-Pawlik)

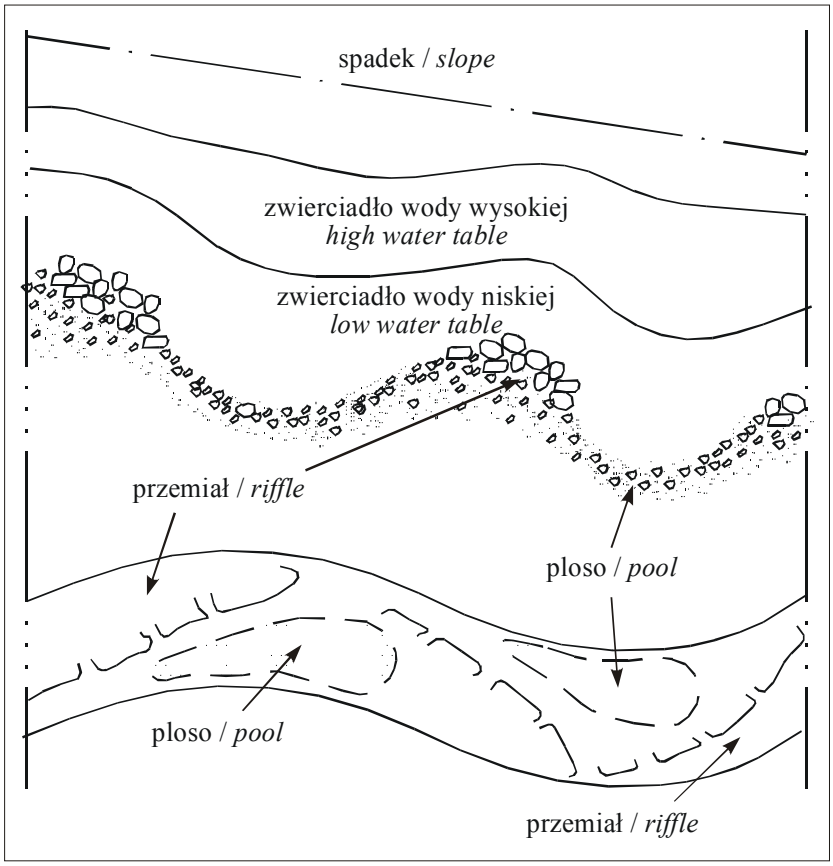
Bystrza wykonane na potokach Krzczonowskim i Sanoczek stanowią ułożone obok siebie głazy z kamienia łamanego, pozwalające na redukcję spadku zwierciadła wody oraz na wzmocnienie miejscowe koryta cieku (w przypadku potoku Krzczonowskiego chodziło dodatkowo o zabezpieczenie rurociągów gazowych przechodzących dnem potoku). Wykonanie budowli na dnie koryta jest tu jak najbliższe naturze.

Z kolei bystrza wykonane na potokach Porębianka i Jachówka-Bieńkówka to rampy kamienne, pozwalające, przy osiągniętym spadku dna koryta, na swobodną wędrówkę ryb oraz makrobentosu oraz na odtwarzanie łach korytowych powyżej i poniżej tych budowli. Przejawia się to w odbudowie koryta roztokowo-meandrującego, będącego jedynym naturalnym korytem rzecznym. Dodatkowo, bystrze wykonane na potoku Porębianka jest wyposażone w część przelewową, która przechodzi w skoncentrowane korytko przebiegające wzdłuż płyty spadowej budowli. Pozwala to na koncentrację strugi wodnej, a to z kolei zapewnia warunki swobodnej migracji ryb nawet przy stanach niżówkowych.

6.2. UKŁAD SZYPOT-PLOSO (BYSTRZE-PRZEGŁĘBIENIE)

W przypadku rehabilitacji den koryt rzecznych należy dążyć do odtwarzania naturalnych sekwencji morfologicznych dna lub dążyć do ich utrzymania [Radecki-Pawlik 2002a, b, 2006a]. Szypoty i plosa, określane także w literaturze jako bystrza i przegłębienia, są formami nierozerwalnie z sobą związanymi (rys. 23, fot. 14, 15). W rzekach, w których materiał jest przynajmniej wielkości gruboziarnistego piasku, a przede wszystkim żwiru, odległości pomiędzy poszczególnymi szypotami i plosami wahają się od 5 do 7 szerokości rzeki. W ciekach górskich, charakteryzujących się znacznym spadkiem oraz grubym materiałem podłoża, odległości pomiędzy szypotami zmniejszają się i wynoszą od 2 do 4 szerokości koryta potoku. Szypoty powstają w miejscach deponowania rumowiska i formowania się łach korytowych (fot. 14, 15). Charakteryzują się one znacznymi naprężeniami stycznymi (głębokość wody wynosi tu kilka do kilkunastu centymetrów, a spadek jest większy niż średni spadek odcinka rzeki, w której występują omawiane układy), dużymi prędkościami oraz słabym wysortowaniem ładunku dennego. W plosach natomiast naprężenia styczne i prędkości są dużo mniejsze. Materiał jest tutaj znacznie lepiej wysortowany, dominują frakcje drobniejsze niż w szypotach. Plosa są idealnym miejscem do składania ikry przez ryby łososiowate, gdy klasa czystości wody odpowiada klasie pierwszej. Bystrza z kolei to miejsca obficie występującego bentosu. Należy bezwzględnie dążyć do zachowania tych struktur i odtwarzania ich gdzie-

kolwiek jest to możliwe. W żadnym wypadku nie powinno się ich niwelować, plantować sprzętem mechanicznym lub usuwać. To nic, że przy katastrofalnych wezbraniach całe koryto rzeczne ulega przemodelowaniu i sekwencje bystrzy i przegłębień giną. Są one jednak natychmiast odtwarzane, gdy tylko rzeka wróci do normalnego stanu. Miejsca usytuowania sekwencji w profilu podłużnym cieku są stałe, co m.in. stara się wytłumaczyć teoria odwrócenia prędkości Kellera [Keller 1971; Radecki-Pawlik 2001, 2002d]. Inżynierowie powinni zatem wykorzystać wiedzę na temat tworzenia się tych struktur i umiejscawiać poprzeczne budowle wodne (np. progi lub rampy kamienne) w pozycji naturalnie tworzonych przez rzekę bystrzy, jeżeli już istnieje rzeczywista potrzeba konstruowania tego typu budowli w korycie.



Rysunek 23. Układ przemiał-ploso (przegłębienie-bystrze) w rzece o podłożu żwirowym
Figure 23. Riffle-pool sequence in the gravel bed river



Fotografia 14, 15. Układy przemiał-ploso (przegłębienie-bystrze) w rzece o podłożu żwirowym (fot. A. Radecki-Pawlik)
Photography 14, 15. Riffle-pool sequences in the gravel bed river (photo of A. Radecki-Pawlik)

6.3. RUMOSZ ROŚLINNY

W miejscach podpiętrzenia wód rzecznych przez różnego rodzaju przeszkody naturalne i sztuczne tworzy się doskonałe środowisko do rozwoju fauny dennej [Kaczka 1999, 2002; Wyżga i in. 2003; Radecki-Pawlik 2006a]. W miejscach tych, będących naturalnymi łapaczkami materiału korytowego, występuje obficie makrofauna denna. Są one również wybierane przez ryby do składania ikry oraz do kryjówek. Często spotykaną przeszkodą w korytach potoków górskich jest zalegający tu rumosz roślinny (zwany też zatorem roślinnym). Powstaje on z nagromadzenia roślinności, zwłaszcza pni drzew, gałęzi i krzewów (fot. 16).

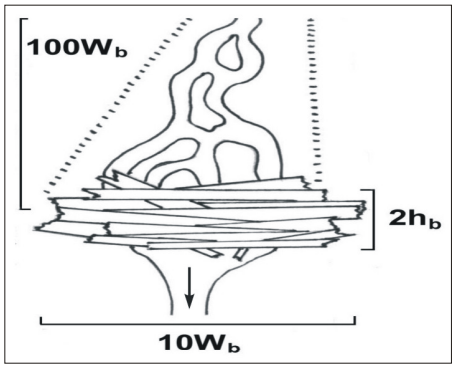


Fotografia 16. Gruby rumosz roślinny zdeponowany na łasze korytowej – rzeka Czarny Dunajec (fot. K. Krzemień)
Photography 16. Coarse woody debris deposited on the channel bar – the Czarny Dunajec River (photo of K. Krzemień)

Obecność grubego rumoszu roślinnego ma zasadniczy wpływ na morfologię koryta cieku oraz na możliwość życia organizmów wodnych. W nowoczesnej praktyce utrzymania rzek i potoków górskich dąży się do zachowania tych struktur. Skupiska rumoszu roślinnego możemy podzielić na:

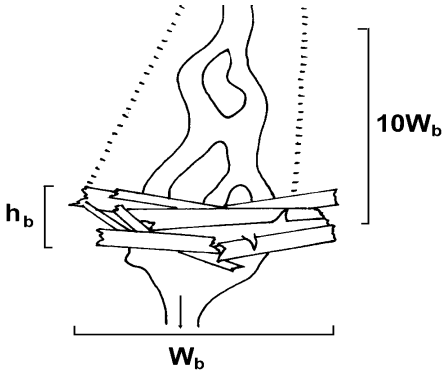
– wielkie,
– duże,
– średnie,
– małe,
– składające się z pojedynczych fragmentów drewna.

Rumosz roślinny wielki występuje wtedy, gdy akumulacja materiału rzecznego od miejsca jego powstania w górę strumienia osiąga odległość równą 100-krotnej szerokości zwierciadła wody przy przepływie odpowiadającym stanowi wody brzegowej ($100W_b$) (rys. 24). Szerokość skupiska roślinnego może być nawet kilkakrotnie większa od szerokości zwierciadła wody brzegowej. Wysokość rumoszu odpowiada $2h_b$, czyli dwukrotnej głębokości koryta cieku przy napełnieniu wodą brzegową. Po przejściu cieku przez rumosz następuje zawężenie koryta rzeki.



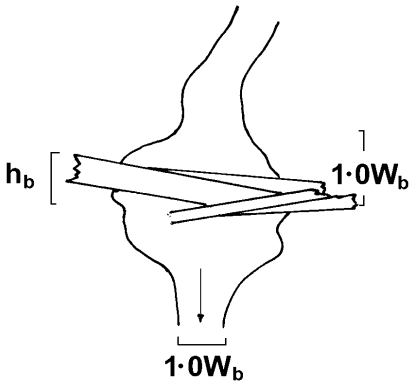
Rysunek 24. Rumosz roślinny wielki
Figure 24. Large woody debris

Rumosz roślinny duży także doprowadza do intensywnej akumulacji materiału w korycie. Odległość oddziaływania rumoszu dużego jest mniejsza niż w przypadku rumoszu wielkiego i wynosi $10W_b$, szerokość nie przekracza szerokości zwierciadła wody brzegowej, a jego wysokość jest równa głębokości koryta cieku (h_b) w miejscu przepływu wody brzegowej (Q_b) (rys. 25).



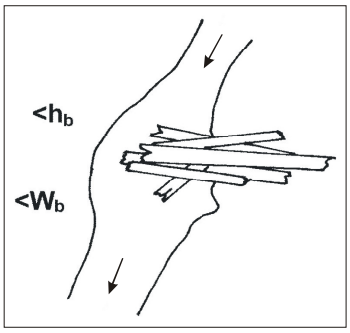
Rysunek 25. Rumosz roślinny duży
Figure 25. Big woddy debris

Rumosz roślinny średni powoduje podpiętrzenie cieku na odcinku równym jednej szerokości zwierciadła wody (W_b) dla przepływu wody brzegowej (Q_b). Wysokość skupiska roślinnego średniego jest równa głębokości koryta (h_b) przy przepływie wody brzegowej (Q_b), a szerokość koryta nie zostaje zawężona poniżej rumoszu (rys. 26).



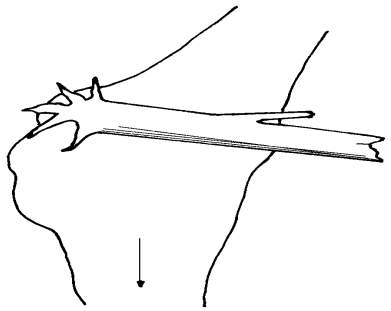
Rysunek 26. Rumosz roślinny średni
Figure 26. Medium woody debris

Rumosz roślinny mały przesłania część koryta cieku, nie zamykając jego całego światła (rys. 27, fot. 17). Podpiętrzenie przed rumoszem notowane jest w odległości odpowiadającej głębokości przepływu brzegowego. Rozpiętość rumoszu jest mniejsza od szerokości zwierciadła wody brzegowej. Przy wystąpieniu tego typu rumoszu, po przejściu wody poniżej przeszkody, nie następuje zawężenie strugi. Rumosz roślinny mały powoduje powstawanie łach bocznych.



Rysunek 27. Rumosz roślinny mały
Figure 27. Small woody debris

Rumosz roślinny składający się z pojedynczego fragmentu drewna jest uwarunkowany indywidualnymi cechami kłody drewnianej i bezpośrednio od niej będą zależeć parametry rumoszu (rys. 28).



Rysunek 28. Rumosz roślinny składający się z pojedynczego fragmentu drewna
Figure 28. Woody debris consisting of a single wood fragment

Powalone do cieków drzewa i krzewy są jak dotąd usuwane z koryt w celu zwiększenia ich przepustowości dla wód wezbraniowych, uniknięcia uszkodzeń mostów i innych budowli przez płynące drzewa oraz pozyskania drewna opałowego. Badania wykazują jednak, że obecność grubego rumoszu drzewnego wpływa korzystnie na cechy biotyczne cieku, szczególnie w korytach górskich. Rumosz roślinny zwiększa również zróżnicowanie prędkości i głębokości przepływu. Wreszcie, obecność grubego rumoszu drzewnego zwiększa możliwości akumulacji sedymentu i sprzyja wyrównywaniu natężenia transportu rumowiska dennego. Przywrócenie obecności grubego rumoszu drzewnego w korytach ma więc wpływ na przywrócenie równowagi dynamicznej cieków górskich o tendencji do wcinania się oraz odtworzenie aluwialnego charakteru koryt.

Aby wykorzystać istniejący rumosz roślinny do rewitalizacji potoków górskich w miejscach, w których jest to możliwe i nie koliduje z ochroną przeciwpowodziową, należy (Wyżga i in. 2003):

– zaniechać lub znacznie ograniczyć wycinki drzew w przylegających do koryt pasach nadrzecznego lasu,

– usuwać z cieków tylko mniejsze, niestabilne fragmenty drewna.

Oprócz pozostawiania w korytach potoków tam drzewnych powstałych samorzutnie, możliwe jest także sztuczne formowanie progów z kilku kłód. Budowle takie kojarzone są często z konstrukcjami zwanymi kaszycami, czyli skrzyniami zbudowanymi z pni drewnianych, wypełnionych kamieniem łamanym. Stabilność progów drewnianych można zapewnić, kotwicząc oba końce przegradzających koryto kłód pomiędzy głazami narzutu kamiennego lub innymi elementami kaszycowymi.



Fotografia 17. Mały rumosz roślinny – rzeka Czarny Dunajec (fot. A. Radecki-Pawlik)
Photography 17. Small woody debris – the Czarny Dunajec River (photo of A. Radecki-Pawlik)

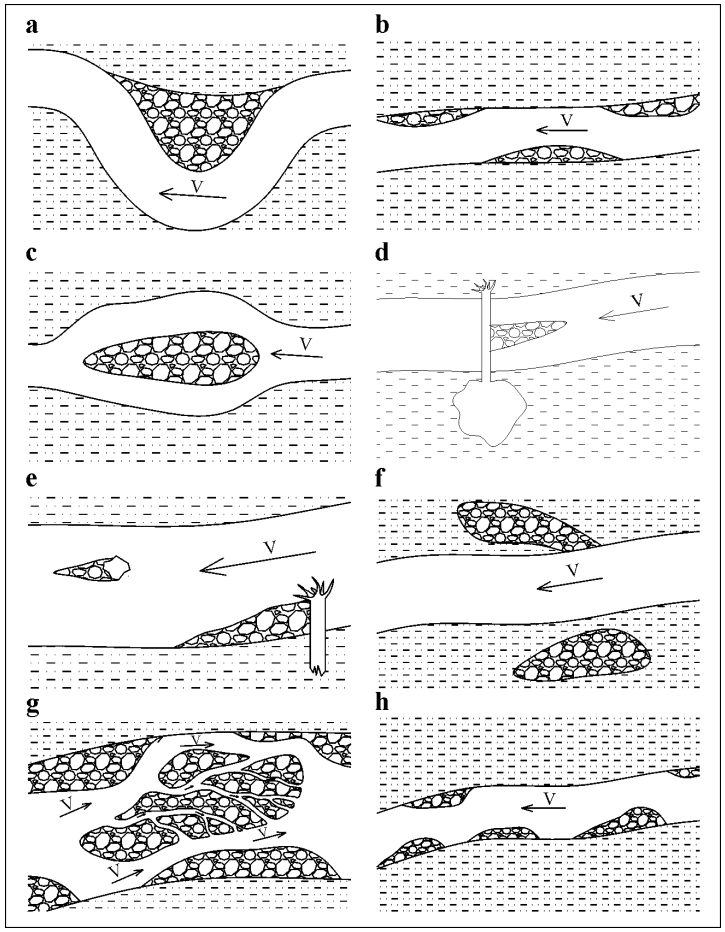
6.4. UTRZYMANIE I ODTWARZANIE ŁACH KORYTOWYCH

Żwirowe łachy korytowe, tworzące się w rzece roztokowej, poza wcześniej opisanymi walorami stabilizacji dna koryta cieku, są wyjątkowo bogato zasiedlone przez różnorodne organizmy lądowe i wodne. Wymagają więc szczególnej uwagi. Jednym z celów nowoczesnego utrzymania koryt rzek i potoków górskich jest odtwarzanie środowiska morfologicznego, w którym łachy korytowe będą jego głównym elementem. Rabunkowa gospodarka polegająca na usuwaniu żwiru z koryt rzecznych powoduje degradację łach korytowych, struktur niezbędnych do rozwoju makrobentosu oraz utrzymania potoku w równowadze hydrodynamicznej w odniesieniu do transportowanego materiału dennego.

Łachy korytowe powstają w miejscach, w których parametry hydrodynamiczne przepływu, tj. naprężenia styczne, prędkość dynamiczna, współczynnik oporu i in. pozwalają na sedymentację materiału niesionego przez rzekę [Radecki-Pawlik 2002b]. Mechanizm tworzenia się tego typu utworów polega na depozycji i stopniowej stabilizacji grubszych ziaren rumowiska. Z biegiem czasu przestrzenie pomiędzy grubszymi frakcjami wypełniają się drobnym materiałem, tworząc w ten sposób pierwszą warstwę struktury. Na tak wykształconej warstwie inicjalnej formują się następne warstwy. Cały proces trwa do chwili, kiedy pojawienie się odpowiednio dużego przepływu powoduje przekroczenie wartości granicznych naprężeń stycznych i następuje zerwanie pokrywy rumoszu. Ruch rumowiska zaczyna się od frakcji najdrobniejszych i stopniowo zaczyna

obejmować frakcje coraz grubsze. Może to doprowadzić do częściowego lub całkowitego rozmycia łachy korytowej. W przypadkach, gdy poszczególne warstwy utworu są dobrze wysortowane i upakowane, łacha nie ulega zniszczeniu. Pomiędzy formami koryta żwirodennej rzeki roztokowej zachodzi pewna ciągłość, którą można określić jako funkcję mocy strumienia, stosunku szerokości koryta do jego głębokości, stabilności koryta i dostawy rumowiska.

W rzekach górskich możemy zaobserwować różne typy łach korytowych (rys. 29, fot. 18, 19), których przekroje poprzeczne przyjmują rozmaite kształty (rys. 30).



Rysunek 29. Typy łach korytowych: a – zakolowe, b – naprzemianległe, c – środkowe, d – powstałe przed przeszkodą, e – powstałe za przeszkodą, f – stożki krewasowe powstałe na równi zalewowej, g – roztokowe, h – nieregularne

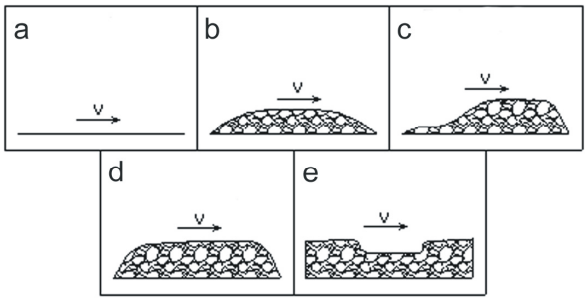
Figure 29. Types of channel bars: a – meander point bars, b – alternate bars, c – mid-channel bars, d – upstream of obstruction bars, e – downstream of obstruction bars, f – crevasse splay deposits, g – braided bars, h – irregular bars



Fotografia 18. Dobrze wykształcone łachy środkowe w korycie potoku górskiego (fot. A Radecki-Pawlik)
Photography 18. Well formed mid-channel bars in the mountain stream channel (photo of A Radecki-Pawlik)



Fotografia 19. Dobrze wykształcone łachy boczne w korycie potoku górskiego (fot. A Radecki-Pawlik)
Photography 19. Well formed lateral bars in the mountain stream channel (photo of A Radecki-Pawlik)



Rysunek 30. Różne kształty profili poprzecznych łach korytowych: a – płaski, b – soczewkowaty, c – z ostro ściętym krańcem od strony wody górnej, d – o ściętych obu krańcach, e – świeżo po rozmyciu
Figure 30. Different shapes of channel bar cross profiles: a – flat, b – mounded, c – sharp drop upstream, d – steep gradient at both ends, e – recently excavated

Tworzeniu się łach korytowych w aluwialnych odcinkach rzek i potoków górskich sprzyja konstrukcja niektórych budowli wodnych, takich jak niskie progi, progi kaszycowe oraz bystrza o zwiększonej szorstkości (fot. 20, 21).



Fotografia 20. Odtwarzające się łachy korytowe powyżej i poniżej bystrza o zwiększonej szorstkości (fot. A. Radecki-Pawlik)
Photography 20. Rebuilding channel bars upstream and downstream from the rapid hydraulic structure (photo of A. Radecki-Pawlik)



Fotografia 21. Odtwarzająca się łacha korytowa powyżej bystrza o zwiększonej szorstkości (fot. A. Radecki-Pawlik)
Photography 21. Rebuilding channel bar upstream from the rapid hydraulic structure (photo of A Radecki-Pawlik)

6.5. MIKROFORMY KORYTOWE

Wśród form morfologicznych występujących w korytach rzek górskich wyróżnia się mikroformy korytowe [Radecki-Pawlik 2002b]. Formy te sprzyjają rozwojowi fauny wodnej. Po odtworzeniu w sposób sztuczny inicjują one powstawanie łach korytowych.

Mikroformy korytowe to układy zawierające od jednego do kilkudziesięciu ziaren rumowiska, układających się w określony sposób. Znane są następujące struktury i mikroformy korytowe:

– ziarna ponadwymiarowe (rumowisko frakcji maksymalnej), definiowane jako ziarna, których średnica jest kilkakrotnie większa od średnicy innych ziaren tworzących łachę; decydują one o zmiennej szorstkości odcinka koryta, w ich cieniu gromadzą się ziarna drobniejsze;

– zgrupowania wielu ziaren tworzące się za przeszkodą i rozgałęziające się na kilka ramion;

– struktury zimbrykowane (dachówkowe), utworzone z kilku (średnio 3–6) ziaren ułożonych za sobą w rzędzie (fot. 22); nie muszą one być zbudowane z największych frakcji występujących w łasze, jednak przeważnie tworzą je ziarna duże (fot. 23); świeżo powstałe struktury stanowią dobrą informację o maksymalnej frakcji rumowiska przemieszczanej podczas danego zdarzenia;

– struktury poprzeczne żebrowe, charakterystyczne dla odcinków cieków o małej liczbie zakoli; tworzą się w potokach o niewielkich napełnieniach, a do ich powstania wymagana jest znaczna prędkość wody i duża zdolność transportowa cieku;

– zgrupowania podwójne, tworzące się przeważnie w miejscach, w których materiał staje się drobniejszy; małe ziarno pozostaje w cieniu większego; formy te przeważają wśród wszystkich mikroform, aczkolwiek nie są trwałe;

– cienie piaszczysto-żwirowe za głazami lub innymi przeszkodami, powstałe po niewielkich wezbraniach (szczególnie w korytach wysokogórskich); informują one o tym, że taki drobny materiał został uruchomiony.



Fotografia 22. Imbrykacja otoczaków na łasze żwirowej w korycie Czarnego Dunajca – pojedyncze ziarna (fot. K. Krzemień)
Photography 22. Gravel imbrication within a gravel bar in the Czarny Dunajec River channel – single clusters (phoho of K. Krzemień)



Fotografia 23. Koryto Czarnego Dunajca – imbrykacja otoczaków na łasze żwirowej (fot. K. Krzemień)
Photography 23. The Czarny Dunajec River channel – gravel imbrication within the bar (photo of K. Krzemień)

W praktyce inżynierskiej stosuje się w ostatnim czasie elementy ziarnowe o zwiększonej szorstkości (fot. 24–26) zwane ziarnami ponadwymiarowymi [Radecki-Pawlik 2002a]. W korytach rzek karpackich w Polsce nastąpiło to nieco przez przypadek, a nieco z powodu wymagań narzuconych przez okręgi wędkarskie. Wprowadzenie tych elementów poprawiło stan odcinków niektórych rzek (np. Raby) poprzez wzmocnienie dna na skutek rozbudowy łach korytowych powyżej i poniżej tych struktur. Ziarna ponadwymiarowe mają też niebagatelny wpływ na faunę rzeczną, ponieważ ich okolice są doskonałymi kryjówkami ryb oraz miejscami egzystowania zróżnicowanej fauny makrobezkręgowej. Fotografia 25 pokazuje pomiary hydrometryczne i hydrobiologiczne prowadzone w rejonie ziaren, które są wykonywane równolegle. Pomiary te mają służyć ocenie przydatności tych struktur pod względem ekologicznym i inżynierskim. Badania tego typu są prowadzone obecnie w Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie.



Fotografia 24. Ziarno ponadwymiarowe na dnie koryta potoku pozostawione celowo przy regulacji koryta rzecznego. Zwróć uwagę na łachę korytową odtwarzającą się poniżej ziarna (fot. A. Radecki-Pawlik)
Photography 24. Oversize grain in the channel bed as an element of channel regulation. Notice a rebuilding channel bar downstream from the grain (photo of A. Radecki-Pawlik)



Fotografia 25. Ziarna ponadwymiarowe wykorzystane w czasie regulacji. Zdjęcie pokazuje pomiary hydrometryczne i hydrobiologiczne prowadzone w rejonie ziaren. Pomiary tego typu mają dostarczyć informacji niezbędnych do oceny przydatności tych struktur pod względem ekologicznym i inżynierskim (fot. M. Radecka-Pawlik)
Photography 25. Oversize grains as an element of channel regulation. Hydrometric and hydrobiological surveys carried out near the grains give necessary information about ecological and engineering usefulness of these structures (photo of M. Radecka-Pawlik)



Fotografia 26. Ziarna ponadwymiarowe tworzące bystrze o zwiększonej szorstkości. Zdjęcie przedstawia pomiary hydrometryczne dokonywane w celu określenia warunków hydrodynamicznych w rejonie tych struktur (fot. A. Radecki-Pawlik)
Photography 26. Oversize grains composing a rapid with increased roughness. Hydrometric surveys are carried out to determine hydrodynamical conditions near these structures (photo of A. Radecki-Pawlik)

7. KONKLUZJE KOŃCOWE

Wykształcenie i funkcjonowanie koryt karpackich uległy w ostatnich dekadach dużym przeobrażeniom. Najbardziej widocznymi zmianami wzdłuż całych cieków są: pogłębienie koryt, ich zwężenie, wyprostowanie, zmiana przebiegu z wieloramiennego na jednonurtowy oraz dominacja procesu erozji wgłębnej w ich kształtowaniu, przy minimalnej roli depozycji. Zmiany te są konsekwencją przede wszystkim regulacji koryt oraz poboru rumowiska rzecznego, a w mniejszym stopniu przekształcania struktury użytkowania ziemi. Ponieważ wszystkie te ingerencje przebiegały w tym samym czasie, a reakcja koryt na nie była identyczna, wyróżnienie wpływu każdego z nich z osobna jest niemożliwe. Najistotniejszym ich skutkiem jest zmiana w dostawie rumowiska oraz w reżimie przepływu, gdyż są to najważniejsze czynniki decydujące o stabilności koryta [Harvey 1977; Werritty 1997]. Poprzez zmiany w układzie pionowym i poziomym rzeki dążą do wykształcenia nowego profilu równowagi dynamicznej w warunkach zaburzonego systemu fluwialnego [Knighton 1977; Chang 1988]. Zwykle tempo tych zmian jest bardzo szybkie natychmiast po zaburzeniu, po czym maleje [Williams, Wolman 1984]. Dodatkowy wpływ na kierunek i tempo zmian koryt mają wezbrania katastrofalne, w szczególności wtedy, gdy występują w postaci klasteringu – serii zdarzeń występujących po sobie w krótkich odstępach czasu [Starkel 2006]. Na ogół przyspieszają one znacznie postępujące już przeobrażenia, np. pogłębianie koryta. Niekiedy doprowadzają do zmiany głównego procesu modelującego koryto, w wyniku czego np. koryto meandrujące przekształcone zostaje w roztokowe. W polskich Karpatach stwierdzono wiele klastrów (np. w latach 1958–1960, 1970–1974, czy pod koniec lat 90. XX w.), w wyniku których zaburzona została równowaga systemów korytowych i koryta uległy wielkim przeobrażeniom (Ziętara 1968; Froehlich 1998).

Zarządzanie uregulowanym systemem korytowym jest trudniejsze niż systemem naturalnym. Regulacje rzek powodują bowiem podział koryta na sztuczne odcinki. Im bardziej urozmaicona jest zabudowa regulacyjna, tym krótsze są odcinki koryt o odmiennym wykształceniu i tym bardziej skomplikowane są wykształcenie i sposób funkcjonowania koryt. Procesy korytowe zależą bardziej od sposobu regulacji odcinka niż od jego położenia w określonym miejscu w profilu podłużnym. Nieraz sąsiadujące z sobą odcinki koryta charakteryzuje odmienny rozwój geomorfologiczny. Ograniczony zostaje w takim systemie swobodny przepływ energii i materii.

W obecnie pojętym utrzymaniu koryt rzek i potoków górskich należy stosować środki techniczne tylko w przypadkach, w których jest to nieodzowne ze względu na uzasadnioną wyższą konieczność, przykładowo przy ochronie mostów drogowych, czy ochronie przeciwpowodziowej dużych skupisk ludzkich. W miejscach, gdzie rzeka nie stanowi żadnego zagrożenia, należy pozostawić jej szeroką strefę zalewową. Należy również pozwolić na swobodny rozwój procesów morfologicznych, przykładowo wytwarzanie sekwencji przegłębień i bystrzy oraz depozycję łach korytowych. Nie ma bowiem potrzeby chronić łąk lub nieużytków za pomocą niezmiernie kosztownych robót regulacyjnych, a wręcz przeciwnie, należy te tereny traktować jako zalewowe, dopuszczać tam do stagnowania wody, a przez to zwiększać retencję dolinową. W niektórych rejonach należy dążyć do wykupienia przez państwo gruntów rolnych, w innych należy powstrzymać niefrasobliwe wydawanie pozwoleń na budowę w obrębie teras zalewowych. Inżynierów hydrotechników należy zachęcać do stosowania nowoczesnych, „bliskich naturze" technik projektowania i wykonawstwa urządzeń regulacji i utrzymania rzek, takich jak gabiony, kaszyce, stopnie bystrza (rampy), czy też stosowanie ziaren ponadwymiarowych.

Obecnie karpackie koryta rzek uregulowanych charakteryzuje zły stan ekologiczny. Ramowa Dyrektywa Wodna obliguje do jego poprawy. Najważniejsze jest określenie stanu, do jakiego należałoby doprowadzić. Oczywiście dla każdej rzeki ten stan będzie inny, wynika on bowiem z wielu uwarunkowań przyrodniczych, historycznych, gospodarczych czy też ekonomicznych. Przeważnie będzie on wynikiem kompromisu wynikającego z tych wszystkich uwarunkowań łącznie. Prawidłowe ustalenie zakresu działań i spodziewanych efektów musi być rezultatem wspólnych badań specjalistów wielu dziedzin, w tym przede wszystkim, inżynierii wodnej, geomorfologii i hydrobiologii.

BIBLIOGRAFIA

Augustowski B. *Spostrzeżenia nad zmianami antropogenicznymi w korycie Ropy w Karpatach w okolicy Biecza*. Zesz. Nauk. WSP w Gdańsku, 10, 1968, s. 161–168.

Bartnik W., Strużyński A. *Renaturyzacja rzeki Nidy na obszarze delty śródlądowej*. Warsztaty Geomorfologiczne, „Techniczne czy proekologiczne metody regulacji rzek?", Pińczów – dolina Nidy, 26–28 października 2006 r., Sosnowiec 2006, s. 8–11.

Bojarski A., Jeleński J., Jelonek M., Litewka T., Wyżga B., Zalewski J. *Zasady dobrej praktyki w utrzymaniu rzek i potoków górskich*. Ministerstwo Środowiska, Departament Zasobów Wodnych, Warszawa 2005, s. 143.

Chang H. H. *Fluvial processes in river engineering*. John Wiley, New York 1988.

Chełmicki W., Krzemień K. *Naturalne koryto rzeki Feshie w masywie Cairngorm Mts. i jego ochrona (Szkocja)* [w:] *Bliskie naturze kształtowanie rzek i potoków*. Zakopane 1988.

Chełmicki W., Krzemień K. *Channel typology for the river Feshie in the Cairngorm Mts, Scotland* [w:] K. Krzemień (red.), *River channels. Pattern, structure and dynamics*. Prace Geogr. Inst. Geogr. UJ, 104, 1999, s. 57–68.

Czeppe Z., German K. *Regiony fizycznogeograficzne* [w:] *Atlas województwa krakowskiego* PAN, Kraków 1979.

Dąbrowski P. *Renaturalizacja Czarnego Dunajca jako element ochrony bioróżnorodności regionu* [w:] *Bliskie naturze kształtowanie rzek i potoków*. Zakopane 1998.

Forma A., Zuchiewicz W. *Morfotektonika Gorców (polskie Karpaty Zachodnie) w świetle wybranych wskaźników morfometrycznych* [w:] W. Zuchiewicz (red.), Mater. IV Ogólnopolskiej Konferencji Neotektonika Polski: Neotektonika, morfotektonika, sejsmotektonika – stan badań i perspektywy rozwoju, Komisja Neotektoniki Kom. Bad. Czwart. PAN, Kraków 2001, s. 41–46.

Froehlich W. *Transport rumowiska i erozja koryt potoków beskidzkich podczas powodzi w lipcu 1997 roku* [w:] L. Starkel, J. Grela (red.), *Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku*. Wyd. Oddziału PAN, Kraków 1998, s. 133–144.

Guzik C. *Wieś podhalańska i jej gospodarcze przeobrażenia w historii regionu* [w:] B. Izmaiłow (red.), *Przyroda – Człowiek – Bóg*. Kraków 2004, s. 209–218.

Hartung F., Scheurlein H. *Design of overflow rock dams*. Beitrag no. 36, Talsperenkongres, Montreal 1970.

Harvey A. M. *Event frequency in sedyment production and channel change* [w:] K. J. Gregory (red.), *River channel changes*. John Wiley & Sons, 1977, s. 301–315.

Kaczka R. J. *The role of coarse woody derbis in fluvial processes during the flood of the July 1997*. Kamienica Łącka Valley, Beskidy Mountains, Poland, Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica 32, 1999, s. 117–130.

Kaczka R. J. *Rola kłód w modelowaniu koryt potoków górskich w Europie Środkowej*. Rozprawa doktorska, Archiwum Wydziału Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec 2002, s. 1–169.

Kamykowska M., Kaszowski L., Krzemień K. *River channel mapping instruction, Key to the river bed description*, [w:] K. Krzemień (red.), *River channels, Pattern, structure and dynamics*. Prace Geogr. IGUJ, 104, 1999, s. 9–25.

Kaszowski L. *Struktura i typy koryt rzecznych w dorzeczu Raby*. Spraw. z Posiedzeń Kom. Nauk. PAN, 1980, 20/1.

Kaszowski L., Krzemień K. *Classification systems of mountain river channels* [w] K. Krzemień (red.), *River channels. Pattern, structure and dynamics*. Prace Geogr. IG UJ, 104, 1999, s. 9–25.

Keller, E. A. *Areal sorting of bedload material, the hypothesis of velocity reversal*. Geol. Soc. Am. Bull., 82, 1971, s. 279–280.

Klimaszewski M. *Karpaty Wewnętrzne* [w:] *Geomorfologia Polski*. Polska Południowa, Warszawa 1972, t.1, s. 25–52.

Klimek K. *Geomorfologiczne zróżnicowania koryt karpackich dopływów Wisły*. Folia Geogr., Ser. Geogr.-Phys., 12, 1979, s. 35–47.

Klimek K. *Erozja wgłębna dopływów Wisły na Przedpolu Karpat* [w:] Z. Kajak (red.), *Ekologiczne podstawy zagospodarowania Wisły i jej dorzecza*. PWN, Warszawa–Łódź 1983, s. 97–108.

Klimek K. *Man's impact on fluvial processes in Polish Western Carpathians*. Geogr. Ann., 69-A, 1, 1987, s. 221–226.

Kłonowska-Olejnik M., Fiałkowski W., Radecki-Pawlik A. *Wpływ zabudowy żłobem kamiennym na zespoły makrobentosu potoku Białego w Pienińskim Parku Narodowym*. Ogólnopolska Konf. Nauk. nt.: Współczesne Kierunki Badań Hydrobiologicznych, 22–24.09.1999, Supraśl k/Białegostoku 1999, s. 115–116.

Kłonowska-Olejnik M., Radecki-Pawlik A. *Zróżnicowanie mikro-siedliskowe makrobezkręgowców dennych w obrębie łach korytowych potoku górskiego o dnie żwirowym*. XVIII Zjazd Hydrobiologów Polskich „Szacunek dla wody", 4–8.09.2000, Polskie Towarzystwo Hydrobiologiczne, Białystok 2000, s. 119–120.

Kłonowska-Olejnik M., Radecki-Pawlik A., 2002, *Ocena jakości wody i warunków siedliskowych potoku Białego na podstawie metod biologicznych i parametrów hydrologicznych*, [w:] *Polskie parki narodowe – ich rola w rozwoju nauk przyrodniczych*. Konferencja Jubileuszowa z okazji 80-lecia Białowieskiego Parku Narodowego, 11–14.03.2002, Białowieża 2002, s.15.

Kłonowska-Olejnik M., Radecki-Pawlik A., Skalski T. *Wybrane metody biologiczne w ocenie stanu ekosystemu uregulowanego cieku górskiego (potok Młynne, Gorce)*. XX Zjazd Hydrobiologów Polskich, 5–8 września 2006, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń 2006, s. 124.

Knauss J. *Drsne skluzy*. Vodni Hospodarstvi, rada A C 1, Praha 1980.

Knighton A. D. *Short-term changes in hydraulic geometry*, [w:] K. J. Gregory (red.), *River channel changes*. John Wiley & Sons, 1977, s. 101–119.

Korpak J. *Morfologiczna rola budowli regulacyjnych w górskich systemach fluwialnych.* Rozprawa doktorska, archiwum IG i GP UJ, Kraków 2007a.

Korpak J. *The influence of river training on mountain channel changes (Polish Carpathian Mountains)*. Geomorphology, 92, 2007b, s. 166–181.

Kościelniak J. *Zmiany funkcjonowania górskich systemów korytowych w wyniku przeprowadzonych regulacji hydrotechnicznych* [w:] M. Błaszkiewicz, P. Gierszewski (red.), *Rekonstrukcja i prognoza zmian środowiska przyrodniczego w badaniach geograficznych*. Prace Geogr. IGiPZ PAN, 200, 2004a, s. 187–207.

Kościelniak J. *Influence of river training on functioning of the Biały Dunajec River channel system*. Geomorphologia Slovaca, 4 (1), 2004b, s. 62–67.

Kościelniak J. *Skuteczność hydrotechnicznej regulacji koryta górskiej rzeki na przykładzie Białego Dunajca* [w:] A. Kotarba , K. Krzemień, J. Święchowicz (red.), *Współczesna ewolucja rzeźby Polski*. IG i GP UJ, Kraków 2005, s. 221–226.

Krzemień K. *Zmienność subsystemu korytowego Czarnego Dunajca*. Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 53, 1981, s. 123–137.

Krzemień K. *Współczesne zmiany modelowania koryt potoków w Gorcach*. Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 59, 1984, s. 83–96.

Krzemień K. *Dynamika wysokogórskiego systemu fluwialnego na przykładzie Tatr Zachodnich*. Rozpr. hab. nr 215, Kraków 1991, s. 160.

Krzemień K. *Structure and dynamice of river Plima in the Ortler-Cevedale Massif (South Tirol)* [w:] K. Krzemień (red.), River channels. Pattern, structure and dynamics, Prace Geogr. Inst. Geogr. UJ, 104, 1999, s. 41–55.

Krzemień K. *Les transformations contemporaines du lit de la rivière Couze Pavin en Auvergne* [w:] K. Krzemień (red.), *Les transformations du milieu montagnard – Carpates, Massif central et autres montagnes d'Europe*. Prace Geogr., IG i GP UJ, 2004, 113.

Lubieniecki B. *Przepławki i drożność rzek. Instytut Rybactwa Śródlądowego*. Olsztyn 2003, s. 83.

Łajczak A. *The impact of river regulation, 1850–1990, on the channel and floodplain of the Upper Vistula River, Southern Poland*, [w:] E. J. Hickin (red.), *River Geomorphology*. Wiley, Chichester, 1995 s. 209–233.

Niel A. *Über die wernichtung kinetischer Energie durch niedere Geffellastufen*. Österreische Wasserwirtshaft, Wien 1960, 4, 5.

Osuch B. *Problemy wynikające z nadmiernej eksploatacji kruszywa rzecznego na przykładzie rzeki Wisłoki*. Zesz. Nauk. AGH w Krakowie, 219, 15, 1968, s. 283–301.

Punzet J., Czulak J. *Zmienność koryt karpackich dopływów Wisły: Soły, Skawy i Raby w XX wieku*. Gosp. Wodna, 8, 1993, s. 177–185.

Radecki-Pawlik A. *Odwrócenie hydrauliczne jako czynnik odpowiedzialny za rozwój koryta potoku górskiego*, Zesz. Nauk. AGH w Krakowie, Inżynieria Środowiska, 6, 6, 2001, s. 375–383.

Radecki-Pawlik A. *Wybrane zagadnienia kształtowania się form korytowych potoku górskiego i form dennych rzeki nizinnej*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, seria rozprawy, rozpr. hab., 281, 200a, s. 142, poz. bibl. 149.

Radecki-Pawlik A. *Bankfull discharge in mountain streams: theory and practice*. Earth Surface Processes and Landforms, 27, John Wiley and Sons, 2002b, s. 115–123, poz. bibl. 17.

Radecki-Pawlik A. *Pobór żwiru i otoczaków z dna potoków górskich*. Aura – Ochrona Środowiska, Sigma-NOT, 3, 2002c, s.17–19.

Radecki-Pawlik A. *The velocity-reversal hypothesis – implications for a mountainous stream bed morphology*. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities (EJPAU), 2002d, 5, 2, poz. bibl. 12.

Radecki-Pawlik A. *Podstawy hydrogeomorfologii cieków górskich dla inżynierów środowiska, biologów, geografów i ekologów*. Monografia, AR–UJ, Kraków–Warszawa, Instytut Nauk o Środowisku Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, BEL-Studio, Warszawa 2006a, s. 131.

Radecki-Pawlik A. *Bystrza o zwiększonej szorstkości jako budowle regulacyjne bliskie naturze a formacje korytowe rzeki górskiej* [w:] M. Kłonowska-Olejnik, W. Fiałkowski (red.), *Zastosowanie hydrologii w badaniach biologicznych wód płynących*. Instytut Nauk o Środowisku, Uniwersytet Jagielloński, Kraków 2006b, s. 66–67.

Radecki-Pawlik A., Ślizowski R. *Bystrze o zwiększonej szorstkości jako element ekologicznej stabilizacji potoków górskich*. Przegląd Naukowy, SGGW, Warszawa 1998, 15, s. 153–162.

Radecki-Pawlik A. *Fish passes as an environmental internal part of a hydraulic structure – investigations of a proposed optimal fish pass pool shape*. Acta Horticulturae et Regiotecurae, Uniwersytet w Nitrze, ENVIRO, Słowacja, 6, 2003, s. 151–153.

Radecki-Pawlik A., Wyżga B., Zawiejska J. *Variation of bed-material grain size along a mountain river affected by gravel extraction and channelization*. Geophysical Research Abstracts, 9, Abstracts of the European Geosciences Union General Assembly, Wien, Austria, 15–20 April 2007, 2007a, s. 2285.

Radecki-Pawlik A. *Wołanie o wodę*. Dziennik Polski, 22 listopad, Kraków 2007b, s. 13.

Radecki-Pawlik A. *Rzeki i potoki górskie, dobro które musimy chronić*. Informator Akademii Rolniczej w Krakowie, , 3, 51, 2007c, s. 24–27.

Rączkowska Z. *Types of stream channels in the Chochołowska Drainage Basin (The Polish Western Tatra Mts.)*. Studia Geom. Carp.-Balc, 16, Kraków 1983.

Schumm S. A. *River adjustment to altered hydrologic regimen – Murrumbidgee River and paleochannels*, Australia, U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 598, 1968, s. 1–65.

Soja R. *Hydrological regime of the upper Vistula river* [w:] L. Starkel (red.), *Evolution of the Vistula river valley during the last 15 000 years*.Geographical Studies, Special Issue, 8, IGiPZ PAN, part VI, 1996, s. 21–25.

Soja R. *Hydrologiczne aspekty antropopresji w polskich Karpatach*. Prace Geogr. IGiPZ PAN, 186, 2002, s.130.

Stachy J., Nowak H. *Przyczynek do zagadnienia zmian reżimu wezbraniowego rzek polskich*. Gosp. Wodna, 8, 1977, s. 277–229.

Starkel L. *Clusterings of extreme rainfalls and evolution of fluvial systems in the Holocene*. Studia Quater., 23, 2006, s. 23–28.

Surian N., Rinaldi M. *Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy*. Geomorphology, 50, 2003, s. 307–326.

Ślizowski R., Radecki-Pawlik A. *Badania bystrza o zwiększonej szorstkości na potoku Brennica w miejscowości Brenna*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 306, 1996, s. 71–77.

Ślizowski R., Radecki-Pawlik A. *Bystrze z kamienia naturalnego jako przykład nowoczesnej, ekologicznej budowli regulacyjnej w zlewniach rzecznych*. Przegląd Naukowy, SGGW, Warszawa 1998, 15, s. 162–170, poz. bibl. 7. (udział 50% – koncepcja, opracowanie wyników, obliczenia, rysunki)

Ślizowski R., Radecki-Pawlik A. *Rozmycie nie umocnionego dna poniżej bystrzy o zwiększonej szorstkości*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 19, 1999, s. 115–123.

Ślizowski R., Radecki-Pawlik A. *Distribution of maximum velocities and Froude numbers on a rapid hydraulic structure apron*. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities (EJPAU), 3, 1, 2000, s. 1–13, poz. bibl.14.

Ślizowski R., Radecki-Pawlik A., N'Famara Sambou *Badania porównawcze bystrzy z kamienia naturalnego – elementu ekologicznej zabudowy potoków górskich – z bystrzami betonowymi typu Peterki*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 321, 1997, s. 33–41.

Verbraak P. *Re-naturalisation projects for the River Meuse: New opportunities for nature with an integrated water management approach*, [w:] M. Kucharczyk (red.), *Problemy ochrony i renaturalizacji dolin dużych rzek Europy*, Lublin 1999.

Werritty A. *Short-term changes in channel stability* [w:] C. R. Thorne, R. D. Hey, M. D. Newson (red.), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, John Wiley, Chichester, 1997, s. 47–65.

Wharton G. *Managing river environments*. Cambridge University Press, Cambridge 2000, s. 92.

Williams G. P., Wolman M. G. *Downstream effects of dams on alluvial rivers*. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1286, 1984, 83.

Wyżga B. *Present-day downcutting of the Raba River channel (Western Carpathians, Poland) and its environmental effects*. Catena, 18, 1991, s. 551–566.

Wyżga B., Zawiejska J., Kaczka R. *Gruby rumosz drzewny w potokach i rzkach górskich*. Wszechświat, 104, 4–6, 2003, s. 108–113.

Zasępa P., Kłonowska-Olejnik M., Radecki-Pawlik A. *Wpływ wybranych zmian abiotycznych w rejonie łachy żwirowej potoku górskiego na mikrosiedliska makrobezkręgowców dennych*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Kom. Techn. Inf. Wsi, PAN Oddz. w Krakowie, 4/2, 2006a, s. 221–232.

Zasępa P., Radecki-Pawlik A., Kłonowska-Olejnik M., Przybyła K. *Zróżnicowanie mikrosiedlisk makrobezkręgowców dennych w obrębie łachy bocznej potoku górskiego*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Kom.. Techn. Inf. Wsi, PAN Oddz. w Krakowie, 2/2, 2006b, s. 5–15.

Zawiejska J. *Struktura i dynamika koryta Dunajca*. Rozprawa doktorska, archiwum IG i GP UJ, Kraków 2006.

Ziętara T. *Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów*. Prace Geogr. IG PAN, 60, Warszawa 1968, s. 116.

Żelazo J. *Badania prędkości i oporów przepływu w naturalnych korytach rzek nizinnych, Rozprawy naukowe i monografie*. Warszawa 1992, SGGW.

Żelazo J., Popek Z. *Podstawy renaturyzacji rzek*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2002, s. 319.

Wykorzystane projekty techniczne

11/90/8, Projekt regulacji potoku Mszanka w km 0,000-12,500, C. K. Namiestnictwo we Lwowie, 1910.

2196, Projekt koncepcyjnego rozwiązania zabudowy potoków Mszanka i Łostówka od km 8,165 do km 5,140, Hydroprojekt Oddział w Krakowie, 1959.

1682, Projekt techniczno-roboczy zabudowy potoku Mszanka w km 7,834-7,500, Okręgowy Zarząd Wodny w Krakowie, 1967.

3964, Projekt zabudowy potoku Biały Dunajec w km 2,182-5,101, Okręgowy Zarząd Wody w Krakowie, 1968.

101, Regulacja Białego Dunajca w odcinku 0,000-3,260, Projekt techniczny, 1977.

3337, Regulacja potoku Mszanki wraz z dopływem potoku Poręba w miejscowościach Mszana Dolna-Poręba Wielka, Przedsiębiorstwo Budownictwa Wodnego w Krakowie, Pracownia Projektowa, 1977.

3375, Analiza stosunków wodnych w węźle potoku Mszanka – ujście potoku Łętowego, Hydroprojekt Oddział Kraków, 1981.
4175, Inwentaryzacja powykonawcza korekcji stopniowej na potoku Mszanka, 1989.
1750, Systematyczna zabudowa potoku Mszanka w km 0,000-2,140 w miejscowości Mszana Dolna, Projekt budowlany i wykonawczy, Ośrodek Usług Inżynierskich „STAAND" sp. z o.o., 2000.
2064, Usuwanie skutków powodzi z lipca 2001. Projekt budowlany regulacji koryta potoku Biały Dunajec w km 3,260-6,500 w miejscowości Szaflary, Hydroprojekt Oddział Kraków Sp. z o.o., 2003.

Dr Joanna Korpak
Politechnika Krakowska
Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
tel. 012 6282891, e-mail: joanna.korpak@iigw.pl

Prof. dr hab. Kazimierz Krzemień
Uniwersytet Jagielloński
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków
tel. 012 6645269, e-mail: k.krzemien@geo.uj.edu.pl

Prof. dr hab. inż. Artur Radecki-Pawlik
Uniwersytet Rolniczy
Katedra Inżynierii Wodnej
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
tel. 012 6624175, e-mail: mradeck@cyf-kr.edu.pl

WPŁYW CZYNNIKÓW ANTROPOGENICZNYCH NA ZMIANY KORYT CIEKÓW KARPACKICH

Streszczenie

Wdrażana w Polsce Ramowa Dyrektywa Wodna (2000/60/UE) obliguje do poprawy stanu ekologicznego rzek. Konieczna jest zmiana w sposobie zarządzania systemami fluwialnymi, polegająca na ograniczeniu stosowania środków technicznych przy utrzymaniu koryt. Szczególnie wrażliwymi na wszelkie ingerencje są koryta rzek i potoków górskich. Niewłaściwe zabiegi przeprowadzane w tych korytach prowadzą w krótkim czasie do drastycznych zmian w ich obrębie, których konsekwencje są nie tylko przyrodnicze, ale też gospodarcze. Niniejsza monografia prezentuje współczesny stan wiedzy dotyczący przyczyn zmian koryt karpackich, ich reakcji na poszczególne interwencje oraz nowoczesnych, alternatywnych rozwiązań w kwestii ich zarządzania. Przedstawiono również metodykę kompleksowych badań geomorfologicznych koryt górskich, które, zdaniem autorów, powinny być przeprowadzane w celu lepszego rozpoznania ich funkcjonowania. Nadrzędnym celem publikacji jest pokazanie skutków pewnych działań, których podejmowanie w obecnym czasie wydaje się niesłuszne. Podkreślono konieczność interdyscyplinarnego podejścia do zarządzania systemami fluwialnymi, ponieważ ustalenie właściwych działań służących poprawie ich warunków środowiskowych wymaga zbadania współzależności wielu elementów przyrodniczych. Stąd praca adresowana jest do przedstawicieli różnych dziedzin, głównie do inżynierów hydrotechników, geomorfologów, biologów i ekologów.

W ciągu ostatniego wieku nastąpiło widoczne przyspieszenie zmian morfologii koryt górskich. Przede wszystkim koryta zmieniły swój przebieg z wielonurtowego lub meandrującego w prosty lub kręty i uległy znacznemu pogłębieniu od 1,0 m do 4,0 m.

W celu rozpoznania współczesnej struktury i dynamiki koryt oraz zmian w ich obrębie, zaproponowano procedurę badawczą, polegającą na kartowaniu podstawowych odcinków koryt (wydzielonych na podstawie przebiegu koryta w planie), opisie i pomiarze szeregu ich cech, a następnie przeprowadzeniu typologii tych odcinków. Badania takie prowadzono w korycie Czarnego Dunajca dwukrotnie: w 1977 r. i w 1999 r. Analiza typów odcinków koryta w 1977 r. wykazała, że system korytowy Czarnego Dunajca jest złożony i modelowany przez różne procesy fluwialne. Podobna analiza przeprowadzona po 22 latach dowiodła olbrzymich zmian w strukturze i dynamice koryta. Przede wszystkim zwiększyła się długość odcinków dociętych do litej skały i wzrosła liczba odcinków modelowanych przez erozję wgłębną. Jednocześnie nastąpiło skrócenie odcinków roztokowych.

Tego typu przeobrażenia koryta Czarnego Dunajca i innych koryt karpackich nie są spowodowane przez czynniki przyrodnicze. W ciągu ostatnich 100 lat

nie nastąpiła bowiem ani istotna zmiana reżimu rzek karpackich, ani zintensyfikowanie ruchów tektonicznych. Przyczyn zmian koryt należy upatrywać w pośrednich i bezpośrednich ingerencjach człowieka, z których najważniejsze to zmiana użytkowania ziemi w zlewniach górskich, eksploatacja rumowiska korytowego i regulacje koryt. Zmiana struktury użytkowania ziemi w polskich Karpatach zaznacza się wyraźnie od II połowy XX w. i polega na stopniowym przekształcaniu gruntów ornych na użytki zielone. Zwiększenie retencji zlewni oraz zmniejszenie rozmiarów spłukiwania materiału zwietrzelinowego spowodowało redukcję obciążenia koryt rumowiskiem i ich tendencję do pogłębiania. Prawdopodobnie największe przeobrażenia koryt wywołały jednak eksploatacja rumowiska i prace hydrotechniczne.

Masowa eksploatacja żwirów z den koryt rzecznych rozpoczęła się po 1945 r. Otoczaki wykorzystywane są przede wszystkim na cele budowlane. W wyniku eksploatacji rumowiska zniszczeniu ulega naturalne obrukowanie dna, chroniące koryto przed pogłębianiem. Niszczone są budowle regulacyjne i filary mostów. Ekologiczną konsekwencją poboru rumowiska jest eliminacja makrobezkręgowców dennych wskutek usunięcia naturalnych miejsc ich bytowania. Utrata stabilności dna i brzegów koryt zwiększa ponadto potencjalne skutki wezbrań powodziowych.

Olbrzymie zmiany koryt nastąpiły w efekcie ich regulacji, co pokazano na przykładach koryt Białego Dunajca i Mszanki. Badane koryta regulowane były od początku XX w., ale najintensywniejsze prace przypadły na lata 60. i 70. XX w. W badaniu odpowiedzi koryta na różne systemy regulacji wykorzystano historyczne i współczesne materiały kartograficzne, projekty regulacji, dane hydrologiczne i wyniki kartowania terenowego.

Wpływ zabudowy podłużnej na zmiany w korycie wykazano na przykładzie odcinka koryta Białego Dunajca w Szaflarach, w którym w 1971 powstały ostrogi. Na skutek regulacji kręte, a miejscami roztokowe, szerokie do 350 m koryto przekształcono w koryto jednonurtowe o jednolitej szerokości 30 m. Długość tego odcinka zmniejszyła się o 18%. Na skutek skanalizowania koryta nastąpiło zwiększenie jego spadku, wzrost energii przepływu rzeki i gwałtowne pogłębianie koryta. Erozja wgłębna była najintensywniejsza w ciągu 6 lat po regulacji, kiedy koryto pogłębiło się od 1,0 m do 2,0 m. Znaczne obniżenie dna spowodowało wzrost wysokości brzegów i przekształcenie terasy zalewowej w nadzalewową. Na skutek erozji wgłębnej ostrogi były stopniowo niszczone, co umożliwiało migrację boczną koryta. Podczas wezbrania w 1997 r. doszło do całkowitego zniszczenia ostróg i przekształcenia koryta.

Zmiany koryta po wybudowaniu budowli poprzecznej przeanalizowano na przykładzie odcinka koryta Mszanki w Mszanie Górnej z zaporą przeciwrumowiskową z 1961 r. Zapora przerwała ciągłość systemu fluwialnego i podzieliła koryto na dwa odcinki modelowane przez różne procesy: powyżej zapory dominowała depozycja rumowiska, natomiast poniżej erozja wgłębna. Skala i tempo obu procesów były największe w krótkim czasie po regulacji i w niewielkiej odległości od korpusu zapory. W ciągu zaledwie 6 lat dno koryta tuż powyżej zapory podniosło się o 4 m, a poniżej niej obniżyło się o 1,5 m. Poniżej zapory koryto jest współcześnie skalne i nadal ulega pogłębianiu. Terasa zalewowa została przekształcona w nadzalewową.

Wpływ korekcji stopniowej na zmiany koryta przedstawiono na przykładzie odcinka Mszanki w Mszanie Górnej, w którym system stopni betonowych powstawał w trzech etapach w latach 1977-2003. Koryto zostało przekształcone z roztokowego w jednodzielne i kręte, a jego szerokość zmniejszono z ponad

100 m do 35 m. W profilu podłużnym koryta wybudowano 26 stopni betonowych i umocniono brzegi. Powierzchnia koryta aktywnego zmalała 5-krotnie, a powierzchnia łach zmniejszyła się aż 119 razy. Pomimo skrócenia, wyprostowania i zwężenia koryta, erozja wgłębna była mało efektywna, dzięki redukcji spadku za pomocą stopni. Regulacja ta okazała się „niedopasowana" do zróżnicowanych stanów i przepływów rzeki w ciągu roku. W czasie trwania niskich stanów koryto jest za szerokie. Tworzą się wtedy łachy brzegowe, które zwężają przekrój koryta. Podczas wezbrań koryto jest za wąskie i rzeka dąży do zwiększania jego szerokości krętości erodując dno i brzegi. Niszczone są przy tym obiekty regulacyjne.

Przedstawione systemy regulacji okazywały się nie tylko szkodliwe dla środowiska, ale również nieefektywne w dłuższym okresie. Duża zmiana geometrii koryta powodowała „niedopasowanie" nowej trasy regulacyjnej do reżimu hydrologicznego rzeki, co skutkowało zmianami morfologii i dynamiki koryt, pogorszeniem warunków biologicznych, a często też zniszczeniem budowli regulacyjnych. Wiele niepowodzeń wynikało z niewłaściwego podejścia do problemu zarządzania rzeką. Inżynierowie traktowali regulowany odcinek w oderwaniu od całego koryta. Nie badano jego roli w całym systemie fluwialnym. Tymczasem wiadomo, że odcinki koryta nie są niezależne, ale tworzą jeden system. Zmiany wprowadzone w jednym odcinku prowadzą często do zmian w innych.

Współcześnie, w myśl Ramowej Dyrektywy Wodnej, zaleca się stosowanie nowoczesnych rozwiązań regulacji rzek i potoków, które w swym założeniu naśladują naturalną morfologię i dynamikę systemu korytowego. Przykładem takich budowli są bystrza o zwiększonej szorstkości, które spełniają zadania tradycyjnych stopni, ale, w przeciwieństwie do nich, umożliwiają migrację ryb, sprzyjają natlenieniu wody oraz dobrze harmonizują z krajobrazem. Nowoczesną praktyką inżynierską, stosowaną podczas rehabilitacji koryt rzecznych, jest rekonstrukcja sekwencji bystrzy i plos. Umiejscowienie tych struktur w profilu podłużnym naturalnego koryta jest stałe, co powinno się wykorzystywać na etapie planowania lokalizacji budowli poprzecznych (powinny one powstawać w miejscu naturalnych bystrzy). Inną dobrą praktyką jest zachowanie w korytach rumoszu roślinnego (dotychczas usuwanego w celu zwiększenia przepustowości koryt) ze względu na jego korzystny wpływ na warunki morfologiczne, hydrauliczne i biotyczne koryt. Z podobnych względów zaleca się utrzymanie lub odtwarzanie łach i różnych mikroform korytowych, np. ziaren ponadwymiarowych.

Koryta rzek karpackich charakteryzuje zły stan ekologiczny. Są to koryta niestabilne, na co wpłynęły głównie antropogeniczne zmiany w dostawie rumowiska oraz w reżimie przepływu. Aby poprawić stan karpackich systemów fluwialnych, należy uwzględnić szereg specyficznych dla każdego z nich uwarunkowań przyrodniczych, historycznych i gospodarczych. Prawidłowe ustalenie zakresu działań i spodziewanych efektów musi być rezultatem wspólnych badań specjalistów wielu dziedzin.

THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE CHANGES IN THE CARPATHIAN STREAM CHANNELS

Summary

The Water Framework Directive (2000/60/EC), implemented in Poland, obliges to improve rivers ecological state. A change of fluvial system management methods, consisting in reduction of technical means usage at channel maintenance, is necessary. The channels of mountain rivers and streams are especially interference-sensitive. Wrong river training works in these channels lead in the short time to drastic changes along them. The consequences of these changes are not only environmental, but also economic. This study demonstrates the present state of knowledge about the reasons of Carpathian channel changes, channel response to individual interferences, and modern alternative solutions in the matter of channel management. A method of comprehensive geomorphologic investigations of mountain channels is also presented. According to the opinion of the authors these investigations should be carried out in order to better recognize functioning of these channels. The main purpose of the work is to show the results of some activities which seems to be wrong in present time. The necessity of interdisciplinary approach to fluvial system management is accented because determination of adequate works improving environmental conditions of rivers requires research of correlation between many environmental components. Therefore this work is addressed to representatives of different disciplines, mainly to civil engineers, geomorphologists, biologists and ecologists.

The evident acceleration of changes in mountain channels morphology took place during the last century. The channels changed their courses from braided to single-thread, straight or sinuous and were downcut from 1.0 m to 4.0 m.

In order to recognize channel structure and dynamics as well as channel changes, a research method is proposed in the paper, which consists in mapping basic channel reaches (defined on the basis of the channel pattern), describing and measuring many their features and, finally, developing a typology of these reaches. This research was carried out in the Czarny Dunajec River channel twice: in 1977 and 1999. The analysis of types of channel reaches in 1977 displayed that the channel system of the Czarny Dunajec River is complex and formed by different fluvial processes. After 22 years great changes in channel structure and dynamics were found. First of all, the length of reaches downcut into the bedrock and the number of reaches formed by incision increased. Simultaneously, the length of braided channel reaches was reduced dramatically.

Such transformation of the Czarny Dunajec River channel as well as other Carpathian channels is not due to natural factors because neither essential change in hydrologic regime of the Carpathian rivers nor intensification of tectonic movements took place during the last 100 years. The reasons for channel changes are due to indirect and direct human impact, mainly land use change in mountain

catchments, river-bed gravel mining and river training works. Land use change in Polish Carpathians has appeared since the second half of the 20th century and consisted in progressive converting arable land into meadows. An increase of the catchment storage capacity and decrease of sediment transport by sheetwash resulted in reduction in channel load and channel downcutting. However, the greatest channel transformation was probably due to gravel mining and river training works.

Intensive river-bed gravel mining has begun after 1945. The gravel is used especially for building purposes. Consequently, the natural channel bed armouring protecting channel beds from incision, is destroyed. Also destroyed are river training structures and bridge piers. Elimination of macroinvertebrates resulting from removal of their natural living places is an ecological consequence of gravel mining. Furthermore, through stability loss of the channel bottom and banks the potential effects of flood discharges increase.

Great channel changes have taken place as the result of training works, what is demonstrated in cases of the Biały Dunajec River and Mszanka River channels. These channels have been regulated since the beginning of the 20th century, but the most intensive river training works were undertaken in the 1960s and 1970s. The historical and present-day cartographic sources, archive river training projects, hydrological data as well as data from field mapping were used to identify the channel response to different types of river training.

The influence of longitudinal river training structures on channel changes was demonstrated for the Biały Dunajec River channel reach in Szaflary where groynes were constructed in 1971. As a result of that work, the sinuous, locally braided, and up to 350 m broad channel was altered to the single-thread channel. The width of this channel is 30 m. The length of the reach decreased by 18%. As a consequence of the channelisation, the channel gradient and discharge energy increased which resulted in rapid downcutting. This process was most intensive in the first 6 years after river training. The channel was downcut from 1.0 m to 2.0 m at that time. The channel-bed lowering resulted in increase of the bank height and transformation of floodplain into terrace. As a consequence of river incision, the groynes were gradually destructed, what started the process of lateral channel migration. During the 1977 flood the groynes were completely destroyed and the channel underwent transformation.

Channel changes after erection of transversal structure were analysed for the case of the Mszanka River channel reach in Mszana Górna with debris dam built in 1961. The debris dam broke the continuity of fluvial system and divided the channel into two reaches formed by different processes: deposition dominated upstream of the structure, whereas downcutting was the main process downstream. The scale and rate of both processes were greatest within the short time after regulation and at short distance from the debris dam. Within the first 6 years, the aggradation just upstream of the structure reached 4.0 m and degradation downstream reached 1.5 m. The channel downstream of the debris dam is presently downcut to the bedrock and still undergoes incision. The floodplain was transformed into the terrace.

The influence of drop hydraulic structures on channel changes was demonstrated for the case of the Mszanka River channel reach in Mszana Górna where the concrete structures were built in three stages between 1977 and 2003. The channel pattern was altered from braided to single-thread and sinuous and the channel was straightened and narrowed from about 100 m to 35 m. 26 concrete drop structures were constructed along the longitudinal profile of this reach and

the banks were reinforced. The area of the active channel decreased 5 times and the area of the gravel river bars was reduced 119 times. Despite the channel shortening, straightening and narrowing, the process of downcutting was not effective due to channel gradient reduction by the structures. This kind of river training proved to be "unfitted" to different water stages and discharges within the year. During low water stages the channel is too broad. The lateral bars are formed narrowing the channel cross-section. During floods the river channel is to narrow and the river tends to enlarge its width and sinuosity eroding its bottom and banks. The river training structures are being destroyed.

The described river training structures proved to be not only harmful to environment, but also ineffective in the long term. The great change of channel geometry was the reason of "maladjustment" of a new river training path to the hydrological regime of the river resulting in changes of the channel morphology and dynamics, decline of biological conditions and often in destroying engineering structures. Many failures seemed to result from wrong approach to the problem of river management. The engineers very often considered channel reach separately from the whole river channel. The role of that individual reach in the fluvial system was not studied despite the fact that it is known that particular river reaches are not independent but form a complex system. Alterations made to one river channel reach lead often to changes in others.

Presently, according to the Water Framework Directive, modern designs of river training works are recommended, imitating natural morphology and dynamics of channel systems. A very good example of such engineering structures is the rapid hydraulic structure with increased roughness, which fulfils the part of traditional drop structures, but, contrary to them, enables fish migration, favours the oxidation of water and stays in harmony with landscape. Restoration of riffle-pool sequences, applied for rehabilitation of river channels, is the other modern engineering practice. Position of individual riffle and pools along the longitudinal profile of a natural gravel river channel is stable, what should be used while planning the location of transversal training structures (they are advised to be erected in places of natural riffles). Preservation of woody debris in river channels (so far removed in order to increase channel capacity) is the other good river channel management practice, since woody debris has profitable influence on morphological, hydraulic and biotic conditions of river channels. For similar reasons, the maintenance or reconstruction of gravel river bars and different channel microforms (for instance oversize grains) is strongly recommended.

The channels of the Carpathian rivers are in bad ecological state. The channels are unstable due to anthropological changes in bedload supply and discharge regime. In order to improve the state of the Carpathian fluvial systems, one should take into account many environmental, historic and economic conditions which are specific for each channel. Proper determination of the range of activities and expected results must be the consequence of combined investigations of experts of many disciplines.

INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH

Czasopismo naukowe wydawane przez Komisję Technicznej Infrastruktury Wsi Polskiej Akademii Nauk Oddział w Krakowie. Ma charakter ogólnokrajowy i jest otwarte na Autorów z całego świata. Wydawane jest w języku polskim i angielskim. Zgłaszane do publikacji artykuły winny być oryginalnym osiągnięciem Autora, dotychczas niepublikowane, poświęcone problemom technologicznym, projektowym, ekonomicznym lub teoretycznym z tytułowego zakresu czasopisma. Przyjmujemy manuskrypty, w objętości do 10 str. pisma komputerowego (Times New Roman, 12, odstęp 1,5) napisane w języku polskim lub angielskim Autorów spoza Polski prosimy o nadsyłanie manuskryptów w języku angielskim. Każdy artykuł winien być zaopatrzony w wyczerpujące streszczenie ze słowami kluczowymi (w języku manuskryptu) do 3000 znaków (jedna strona), wraz z załączonym tłumaczeniem angielskim. Drukujemy również w kolorze, w przypadku istotnej konieczności (fotografie, skomplikowane rysunki, mapy). Manuskrypt, w dwóch egzemplarzach należy przesłać pocztą na adres Redakcji, dołączając tekst na dyskietce lub CD, z oddzielnymi ilustracjami.

INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Scientific journal published by the Commission of Technical Infrastructure of Polish Rural Areas of the Academy of Letters - Krakow Branch. It is a nation wide journal, which accepts contributions from Authors from all over the world. It is published in Polish and English. Submitted contributions should be original scientific papers, so far unpublished, dealing with technological, design, economic or theoretical issues within the scope of the journal.

Submitted manuscripts should not exceed 10 typewritten pages (Times New Roman, font 12, 1.5 line spacing). The Authors from abroad may submit their papers in English. Each article must have a summary and keywords of not more than 3000 characters (one page). Color reproductions are possible only in special cases (photographs, complicated figures or maps). The manuscripts, in duplicate, should be sent by post to the editorial office. Electronic version on a diskette or CD with illustrations provided separately should accompany the hard copies

INFARSTRUKTUR UND ÖKOLOG1E DES LÄNDL1CHEN RAUMS

Die neue Forschungszeitschrift der Kommission der Technischen Infrastruktur an der Polnischen Wissenschaftsakademie, Abteilung in Krakau, hat ein nationaler Charakter und publiziert gern die Arbeiten von Autoren aus Polen sowie auch aus der ganze Welt. Die Forschungszeitschrift wird in Polnisch und Englisch verlegt.

Die vorgelegten Artikel sollen Originalarbeiten sein und dürfen nicht gleichzeitig an anderer Stelle zur Publikation eingereicht werden. Die Forschungsarbeiten sollen den Technologischen, Wirtschaftlichen. Planungs- sowie auch den theoretischen Problemen gewidmet sein, die eng der Titelbereich der Zeitschrift behandeln. Zugesandte Manuskripte sollen mit dem Umfang von höchstens 10 Druckseiten (Times New Roman, Schriftgrosse: 12 pt, Zeilenabstand: 1.5-fach) sein. Für die Autor/innen ausserhalb Polens wird es zugelassen die Manuskripten in Englisch zuschicken.

Dem Text wird im Manuskript eine Zusammenfassung mit den Schlussworten vorangestellt, die eine Lange von 3000 Zeichen (1 Druckseite) nicht übersteigen sollte.

Nach Bedarf drucken wir auch in Farbę (Aufnahmen, Karten, komplizierte Bilden).

Die zwei ausgedruckte Exemplare eines Manuskripts mit der Diskettenversion (die Abbildungen getrennt) bitte zur Redaktion senden.