

Elżbieta Gorczyca

ROZWÓJ GÓRSKICH
ŻWIRODENNYCH KORYT RZECZNYCH
W WARUNKACH ANTROPOPRESJI



Kraków 2016

Rozwój górskich żwirodennych
koryt rzecznych
w warunkach antropopresji

Uniwersytet Jagielloński w Krakowie
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej

Rozwój górskich źwirodennych koryt rzecznych w warunkach antropopresji

Elżbieta Gorczyca



Kraków 2016

Publikacja wydana ze środków Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ

Recenzent: dr hab. Zofia Rączkowska, prof. PAN

Korekta językowa: Zofia Smęda

Komputerowy skład tekstu i przygotowanie do druku:

Małgorzata Ciemborowicz – Pracownia Wydawnicza IGiGP UJ

Projekt okładki: Małgorzata Ciemborowicz i Elżbieta Gorczyca

Autorzy zdjęć w książce i na okładce: Elżbieta Gorczyca i Kazimierz Krzemień

© Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ

Wydanie I, Kraków 2016

ISBN 978-83-64089-25-1

Wydawca:

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ

ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, Polska

tel. +48 12 664 52 50, faks +48 12 664 53 85

www.geo.uj.edu.pl

Druk:

Poligrafia Salezjańska

ul. Bałuckiego 8, 30-306 Kraków, Polska

tel. +48 12 266 40 00

<http://poligrafia.salezjanie.net>

Spis treści

Rozdział 1

Rzeki górskie w warunkach antropopresji	7
1.1. Cel badań	16
1.2. Obszar badań	17
1.3. Metody badań	22

Rozdział 2

Uwarunkowania rozwoju uregulowanego systemu korytowego źwirodennej rzeki górskiej	29
2.1. Charakterystyka zlewni Raby	29
2.1.1. Położenie	29
2.1.2. Budowa geologiczna	30
2.1.3. Rzeźba	34
2.1.4. Klimat	35
2.1.5. Stosunki wodne	36
2.1.6. Użytkowanie terenu	38
2.2. Struktura koryta Raby	40
2.2.1. Struktura koryta Raby w latach 1976 i 2015	43
2.2.2. Typologia koryta Raby w 1976 roku	50
2.2.3. Typologia koryta Raby w 2015 roku	54
2.2.4. Porównanie struktury koryta Raby w latach 1976 i 2015	61
2.2.5. Tendencje zmian struktury koryta Raby	67
2.3. Koryto Raby na tle układów przestrzennych koryt	70
2.4. Regulacje koryta Raby	80
2.4.1. Typy budowli hydrotechnicznych w korycie Raby	82
2.4.2. Charakterystyka regulacji w latach 70. XX wieku	84
2.4.3. Charakterystyka regulacji podłużnych i poprzecznych w XXI wieku	84

2.4.4.	Charakterystyka budowli regulacyjnych na podstawie kartowania terenowego w 2015 roku	87
2.4.5.	Charakterystyka budowli regulacyjnych na podstawie danych z RZGW	94
2.5.	Pobór rumowiska w korycie Raby	108
2.6.	Pogłębianie koryta Raby w XX i XXI wieku	113
2.7.	Działalność bobrów w korycie Raby	123
2.8.	Funkcjonowanie koryta Raby	136
2.8.1.	Rola wezbrań	136
2.8.2.	Przebieg procesów korytotwórczych	140
2.8.3.	Prognoza rozwoju koryta Raby po okresie wezbraniowym 2010–2014	152
2.9.	Przykłady rozwoju uregulowanych systemów korytowych innych rzek karpackich	157
2.9.1.	San	157
2.9.2.	Skawa	168
2.9.3.	Czarny Dunajec	181

Rozdział 3

Model funkcjonowania uregulowanego systemu korytowego żwirodennej rzeki górskiej w okresie wezbraniowym i bezwezbraniowym	189
--	-----

Wnioski	203
-------------------	-----

Literatura	207
Spis tabel	233
Spis rycin	235
Spis fotografii	239

*Rzeko – klepsydro wody przenośnio
wieczności.*
(Z. Herbert, *Do rzeki*)



Rozdział 1

Rzeki górskie w warunkach antropopresji

Rzeki górskie to środowisko dynamiczne i bardzo zróżnicowane. Właściwości koryt rzek górskich wynikają z uwarunkowań środowiska przyrodniczego i presji człowieka w zlewni (Chorley, Kennedy 1971; Klimek 1979; Kaszowski, Krzemień 1979; Bravard, Petts 1996; Habersack, Piégay 2008; Wyźga 2003, 2008; Gorczyca, Krzemień 2010; Wohl 2011). Termin „koryto rzeki górskiej” oznaczał rzekę występującą w górach, bez precyzyjnego określenia jej cech i powiązań ze środowiskiem. Pojawienie się w geomorfologii pojęcia systemu oraz podjęcie badań w całych systemach korytowych dało podstawy do usystematyzowania wiedzy dotyczącej cech koryt górskich (Miller 1958; Gardner i in. 1983; Krzemień 1992; Montgomery, Buffington 1997; Knighton 1998; Wohl, Merritt 2005). Wielu autorów za główne kryterium wyróżniania koryt górskich uważa ich spadek podłużny, który w znaczący sposób wpływa na moc strumienia, a więc jego zdolność do erozji i transportu. E. Wohl i in. (2004) wskazują na dużą zależność takich parametrów koryta, jak jego kształt, wielkość rumowiska, parametry hydrauliczne, formy korytowe czy obecność rumoszu drzewnego od spadku

podłużnego. Innym kryterium jest frakcja rumowiska korytowego, która wpływa na rozmieszczenie progów rumowiskowych. Według tych autorów cechą charakterystyczną koryt w zlewni górskiej jest występowanie grubego materiału rumowiskowego, progów i koryta skalnego oraz systemów ploso-przemiał (McDonald, Banerjee 1971; Heede 1977, 1981; Klimek 1979; Krzemień 1992; Montgomery, Buffington 1997; Chartrand, Whiting 2000). Koryta górskie można także charakteryzować zgodnie z ich przebiegiem w planie. Biorąc pod uwagę rozmiar rumowiska, wielkość dostawy oraz względną stabilność koryta, najczęściej występującymi układami koryt w górach są proste, meandrowe, roztokowe i błędzące (Leopold, Wolman 1957; Brice 1975; Schumm 1981; Carson 1984; Ferguson 1987; Desloges, Church 1989; Teisseyre 1991a, 1991b; Surian 2006). Kryterium wyróżniania górskich systemów fluwialnych może być także funkcjonowanie systemu ploso-przemiał (Montgomery, Buffington 1997; Wohl, Merritt 2005; Teisseyre 1991a).

Na podstawie tych różnorodnych kryteriów można przyjąć dość szeroką definicję rzeki górskiej jako systemu fluwialnego cechującego się względnie dużym spadkiem, grubofrakcyjnym rumowiskiem i względnie regularną dostawą rumowiska, reżimem hydrologicznym umożliwiającym jego transport oraz zróżnicowanym przepływem wody w ciągu roku. Koryta rzek górskich mogą być skalne lub aluwialne. Dla koryt skalnych charakterystycznymi formami są: dno skalne, kotły i progi skalne. Dla koryt aluwialnych charakterystyczne formy stanowią progi i kotły rumowiskowe oraz plosa i przemiałały. Wymienione kryteria najczęściej spełniają rzeki występujące w górach, ale także na ich przedpolu, gdzie następuje wytracanie energii związanej z rzeźbą górską (Gorczyca i in. w druku). Tym, co często komplikuje postrzeganie koryta rzeki górskiej przez pryzmat wyżej wymienionych kryteriów, jest szeroko rozumiana antropopresja w korycie oraz w całej zlewni. Dlatego też kolejnym ważnym problemem badawczym jest rozpoznanie reakcji złożonych górskich systemów fluwialnych na ingerencję człowieka w ich strukturę i funkcjonowanie (m.in. Froehlich 1975; Kaszowski, Krzemień 1977; Soja 1981; Krzemień 1984; Knighton 1991; Bravard, Petts 1996; Kondolf 1997; Chełmicki, Krzemień 1999; Gregory 2006; Habersack, Piégay 2008; Wyźga i in. 2008; Gorczyca, Krzemień

2010; Zawiejska, Wyźga 2010; Gorczyca i in. 2011; Radecki-Pawlik 2011; Woskowicz-Ślęzak, Ślęzak 2012; Wiejaczka, Kijowska-Strugała 2014; Wyźga i in. 2015; Zawiejska i in. 2015). Duże zróżnicowanie warunków fizycznych i biologicznych w korytach górskich jest przyczyną ich podatności na niekorzystne zmiany i degradację pod wpływem działalności człowieka zarówno w dnie doliny, jak i w całej zlewni (Kaszowski i in. 1976; Froehlich i in. 1977; Klimek 1987; Krzemień 1981; Lach, Wyźga 2002; Wyźga 2001a, b, 2005, 2008; Malarz 2002a, 2002b; Wohl 2006; Korpak 2007; Korpak i in. 2008; Latocha 2008; Gorczyca, Krzemień 2010; Radecki-Pawlik 2011).

Od początku rewolucji przemysłowej, czyli od ponad 200 lat, można obserwować nasiloną degradację środowiska przyrodniczego, a co za tym idzie także gospodarcze, często rabunkowe wykorzystanie rzek. W korytach rzecznych doszło do zaburzenia równowagi ekologicznej, wymuszenia intensywnych procesów erozyjnych, a w konsekwencji pogłębienia, zwężenia i zmiany układu korytowego w planie (Leopold 1973; Gregory, Park 1974; Williams 1978; Petts 1979; Williams, Wolman 1984; Andrews 1986; Knighton 1991; Collier i in. 1996; Petit i in. 1996; Kondolf 1997; Gregory 2006; Wohl 2006; Wyźga i in. 2015). Kolejnym problemem, być może największym, dla funkcjonowania koryt rzek górskich są regulacje. W Europie większość dużych rzek została uregulowana (Petts i in. 1989; Ward i in. 1999; Surian, Rinaldi 2003; Gregory 2006; Wohl 2006; Gurnell i in. 2009). Ogromny wysiłek włożony w ochronę przeciwpowodziową: budowa zbiorników retencyjnych, obwałowań czy regulacja rzek, nie zapewnił pełnego zabezpieczenia przed powodzią. Odizolowanie koryta od pozostałej części doliny znacząco zaburzyło retencję, zmieniło stosunki wodne i przyspieszyło odpływ wody podczas wezbrań.

W rzekach polskich Karpat na przełomie XIX i XX wieku podjęto szeroko zakrojone prace inżynierskie zmierzające do uregulowania ich koryt (Ingarden 1910; Kędzior 1931). W 1885 roku Ministerstwo Rolnictwa Austro-Węgier podjęło decyzję o regulacji koryt karpaccich. Impulsem do prac było zagrożenie powodziowe dla miast i wsi położonych na tym obszarze, zwłaszcza po powodzi w 1884 roku. Celem tych zabiegów było ograniczenie migracji koryt, ich udroźnienie (wyprostowanie) i stabilizacja oraz zatrzymanie rumowiska dostarczanego do koryt i deponowanego na

równinie zalewowej. Planowane regulacje miały też umożliwić spławianie drewna rzekami oraz ochronić przed zniszczeniem drogi biegnące często równoległe z korytami rzek karpackich. Większość planów regulacyjnych z przełomu wieków nie została zrealizowana z przyczyn ekonomicznych, wynikających z trudnej sytuacji gospodarczej Austro-Węgier (Ingarden 1910; Matakiewicz 1910). Kolejny etap regulacji nastąpił w okresie międzywojennym. W latach 30. XX wieku wykonano szereg planów i podjęto prace mające na celu budowę zbiorników na rzekach karpackich oraz kontrolowanie ruchu rumowiska w korytach (Rybczyński 1929). Regulacja koryt rzecznych postępowała etapami od najniższej położonych odcinków w dolnym biegu w górę rzek (Starkel 2001; Starkel, Łajczak 2008). W historii regulacji koryt rzek karpackich po II wojnie światowej można wyróżnić kilka etapów: do 1970 roku, lata 1971–1980 i 1981–1990 oraz po 1990 roku (Gorczyca i in. w druku), które różnią się zakresem oraz intensywnością prac regulacyjnych. W wyniku tych prac prostowano koryta, zwężano je i pogłębiano oraz zmieniano ich profil podłużny. Efektem tych działań w korytach rzek było wyzwolenie nadmiernej erozji wgłębnej, znaczne odprowadzenie rumowiska i obniżenie się poziomu ich dna (Dauksza 1976; Kaszowski 1980; Krzemień 1981, 1984, 1999, 2003; Froehlich 1982; Kościelniak 2004a, 2004b; Korpak 2007; Zawiejska 2006; Korpak i in. 2008; Wyźga i in. 2008; Zawiejska, Wyźga 2010; Radecki-Pawlik 2012; Wyźga 1991, 2001a, 2001b; Wyźga i in. 2015).

Nie bez znaczenia dla rozwoju koryt górskich był także rozwój rolnictwa w Karpatach. Duży przyrost naturalny w Karpatach od XVIII wieku spowodował znaczny wzrost zapotrzebowania na ziemię uprawną, a w konsekwencji wycięcie lasów i zajęcie pod uprawę wysoko położonych stoków o dużym nachyleniu. Skutkiem tych działań była duża erozja i nasilenie spływu powierzchniowego, a w dalszej kolejności znaczący wzrost dostawy rumowiska do koryt. Proces ten został dodatkowo zintensyfikowany przez rozpowszechnienie w XIX wieku uprawy ziemniaka (Klimek 1987). Doprowadziło to do zwiększenia kulminacji fal wezbraniowych i przeciążenia koryt rumowiskiem. Działania te prawdopodobnie wpłynęły na rozwój koryt roztokowych w Karpatach (m.in. Klimek, Trafas 1972; Adamczyk 1981; Krzemień 1981; Klimek 1987; Wyźga 1993a). Odwrotną tendencję w zagospodarowaniu zlewni karpackich możemy obserwować po transformacji gospodarczej

w Polsce w 1989 roku. Znaczący spadek zapotrzebowania na ziemię uprawną i porzucanie pól spowodowało częściowe zatrzymanie rumowiska na stokach. Wraz z regulacjami nasiliło to problem niedociążenia rumowiskiem koryt rzek karpackich (Korpak i in. 2008; Wyźga 2013).

Degradacja koryt została zintensyfikowana na skutek eksploatacji rumowiska rzecznego. Proces poboru rumowiska w Polsce szczególnie nasilił się po II wojnie światowej, kiedy to było ono pobierane dla celów budowlanych. Eksploatacja rumowiska przebiegała na masową skalę. Negatywnym skutkiem tej działalności było likwidowanie opancerzenia koryta oraz jego pogłębienie w eksploatowanym odcinku. Zmiany te nie pozostawały bez wpływu na sąsiednie odcinki, gdzie zaobserwowano erozję wsteczną (Augustowski 1968; Osuch 1968; Wyźga 1992a, 1992b, 1993b, 1994, 2005; Radecki-Pawlik 2002; Kościelniak 2004a, 2004b; Rinaldi i in. 2005; Korpak i in. 2008; Krzemień 1981, 1984, 2003; Gorczyca, Krzemień 2010; Wyźga i in. 2009, 2010) oraz dokonano regulacji koryt (m.in. Froehlich 1980; Krzemień 1981; Krzemień i in. 2015). Masowe i długotrwałe wydobywanie rumowiska spowodowało szybkie pogłębienie koryt, co przyczyniło się do odsłonięcia ich skalnego podłoża (Augustowski 1968; Krzemień 2003; Kościelniak 2004a, 2004b; Wyźga 2003; Zawiejska 2006; Zawiejska i in. 2015). Proces ten był widoczny w korytach rzek karpackich szczególnie do lat 70. ubiegłego wieku, kiedy eksploatację prowadzono na skalę przemysłową (Osuch 1968; Krzemień 1976, 1981; Klimek 1983, 1987; Wyźga 1991, 2001a, 2001b). Zaprzestanie w latach 70. XX wieku przemysłowej eksploatacji żwiru z koryt oznaczało jedynie jego pobór na mniejszą skalę. Obecnie działalność taka jest nielegalna, co niestety nie oznacza, że znikł całkowicie z koryt rzek karpackich. Pozyskiwanie rumowiska korytowego i jego negatywne efekty dostrzeżono także w innych krajach europejskich (Rinaldi i in. 2005; Marston i in. 2003). Problemy degradacji koryt w wyniku poboru rumowiska są powszechne również w Karpatach Wschodnich, w części ukraińskiej (Kovalchuk 1997), czy też w Rosji, np. w źródłowym odcinku koryta rzeki Ob, w rzece Katun w Ałtaju (Berkovich, Rulyova 2006).

Największe nasilenie presji człowieka na systemy korytowe w obszarach górskich nastąpiło w XX wieku (Gregory 2006; Wohl 2006 i cytowana tam literatura). Nie wszystkie koryta górskie są jednakowo wrażliwe na

antropopresję. Najbardziej narażone są systemy korytowe roztokowe i błędzące (Surian, Rinaldi 2003; Piégay i in. 2006; Surian 2006). W XIX wieku rzeki wielonurtowe powszechnie występowały w górach i na ich przedpolu w całej niemal Europie (Kaszowski i in. 1976; Froehlich i in. 1977; Gurnell i in. 2009; Rinaldi i in. 2013). Regulacje, pozyskiwanie rumowiska dennego, przerywanie ciągłości rzek budowlami – wszystko to znacząco wpłynęło na funkcjonowanie tych ekosystemów rzecznych i wywołało niekorzystne zmiany w morfologii koryt roztokowych (Augustowski 1981; Krzemień 1984; Kondolf 1997; Wyźga i in. 2009, 2015). Skutkiem tych działań jest degradacja polegająca na zaniku koryta wielonurtowego na rzecz pojedynczego, głęboko wciętego koryta.

Degradacja koryt roztokowych wystąpiła także na Podhalu w polskich Karpatach. Jest ona efektem zarówno regulacji, jak i stopniowego zaniku koryt roztokowych w następstwie powolnych zmian środowiskowych i nasilającej się antropopresji (Krzemień 1984, 2003; Zawiejska, Krzemień 2004; Wyźga 2007a; Gorczyca, Krzemień 2010; Wyźga i in. 2015). Ingerencja człowieka w koryta rzek górskich w XX wieku doprowadziła generalnie do ich zwężenia i wyprostowania. Obecnie blisko 80% Czarnego Dunajca i 90% Białego Dunajca jest uregulowana (dane z RZGW – Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej). Efektem tego jest wcięcie się nurtu, którym płynie najwięcej wody, utrwalenie jednego koryta i stopniowy zanik wielonurtowości. Badania nad problemem degradacji i zaniku koryt rzek roztokowych były też prowadzone w Alpach Francuskich (Piégay i in. 2006). Długość alpejskich koryt rzek roztokowych oszacowano na 1214 km, z czego ok. 53% uległa całkowitej degradacji w ostatnich dwóch stuleciach (dla 437 km koryt głównymi przyczynami zaniku roztokowości były regulacje i obwałowania), a w przypadku pozostałych 17% przyczyny degradacji są niewyjaśnione (m.in. pobór żwirów). Badania nad zanikiem rzek roztokowych czy przejściem w koryta błędzące w efekcie nasilonej presji człowieka prowadzono także w innych obszarach Europy (Surian 1999; Aucelli, Roskopf 2000; Gurnell i in. 2001; Surian, Rinaldi 2003).

Niezwykle istotną rolę w przekształcaniu koryt rzek górskich odgrywają zapory. W polskich Karpatach funkcjonuje 14 tego typu budowli (Sroczyński 2004). Przegrodzenie doliny rzecznej zaporą zaburza przepływ

wody i transport rumowiska. W żwirowodnych rzekach górskich powyżej piętrzenia następuje wymuszona depozycja materiału, co ma wpływ na tempo zmniejszania się pojemności zbiorników zaporowych, będące skutkiem ich zamulania (Klimek 1987; Klimek i in. 1990; Łajczak 1996, 2005; Starkel 2001; Liro 2015, 2016). Niedociążenie rumowiskiem rzeki poniżej zapory prowadzi do zintensyfikowania procesów erozyjnych (Glazik 1978; Babiński 1982, 1985, 1986, 1992; Williams, Wolman 1984; Brandt 2000; Petts, Gurnell 2005; Skalak i in. 2013). Zasięg tych zmian często sięga kilkudziesięciu kilometrów poniżej zapór (Williams, Wolman 1984). Ostatnie badania żwirowodnych koryt rzecznych sugerują, że wymuszona depozycja materiału korytowego powyżej zbiorników zaporowych prowadzi do znacznego wzrostu powierzchni form korytowych, nasilenia erozji bocznej i znacznego zwiększenia aktywnej szerokości koryta (Liro 2014, 2015). Przykłady takich przekształceń możemy zaobserwować w odcinku koryta Dunajca powyżej Zbiornika Wodnego w Czorsztynie, gdzie doszło do znacznego przeobrażenia układu koryta i wymuszonej depozycji rumowiska korytowego.

Kolejnym ważnym problemem badawczym jest rozpoznanie funkcjonowania uregulowanych koryt górskich. Dużą część badań poświęca się obecnie zagadnieniom wspomagającym powrót rzek do stanu zrównoważonego w nowych warunkach.

Koncepcja powrotu koryt do stanu sprzed regulacji czy też zadbania o mniejszą ich degradację narodziła się m.in. w Niemczech i tam też była zastosowana (Kern 1992, 1994). W pierwszym etapie takich działań dokonuje się rozpoznania, jak pod względem dynamicznym i ekologicznym koryto może funkcjonować najlepiej w danych warunkach środowiskowych. Nieodwracalne zmiany hydrologiczne, ekologiczne czy geomorfologiczne w zlewni okazują się jednak uniemożliwiać powrót do struktury koryta sprzed regulacji. Dlatego też nie należy dążyć do odtworzenia koryta, ale zdecydować się na bardziej pragmatyczne podejście, które pozwoli na możliwie najlepszą poprawę jego struktury, także pod względem ekologicznym, w danym kontekście regionalnym (Middleton 1999; Choi 2004; Palmer i in. 2004; Suding i in. 2004; Palmer i in. 2005; Wyźga i in. 2015).

W związku z tymi działaniami pojawiły się także w polskiej literaturze dwa nowe terminy: „rewitalizacja” i „renaturyzacja”, oraz prace

podejmujące ten problem badawczy (Żelazo 2006; Wyźga 2007a; Lenar-Matyas i in. 2010; Radecki-Pawlik 2010a, 2010b; Wyźga, Zawiejska 2010; Wyźga i in. 2012; Wyźga 2013).

Rewitalizacja koryt to działania, które nie wymagają dużego zakresu robót, a ich wpływ na zmianę morfologii koryta i zmiany w zagospodarowaniu doliny są nieznaczne. Najważniejszym celem rewitalizacji jest poprawa stanu środowiska koryta rzeki i doliny: lepsza czystość wody, odtworzenie roślinności w strefie brzegowej oraz warunków siedliskowych, ważnych dla biocenoz wodnych (np. odtwarzanie połączeń ze starorzeczami).

Renaturyzacja koryt – jako celowe działanie – to szereg zabiegów technicznych mających na celu przywrócenie rzece, uregulowanej lub w inny sposób przekształconej, stanu zbliżonego do tego sprzed regulacji lub innego naturalnego. Celem tych działań jest poprawa stanu środowiska rzecznoego oraz zwiększenie retencji, ale też racjonalizacja gospodarczego wykorzystania rzeki i doliny czy poprawa ochrony przeciwpowodziowej. Tak rozumiana renaturyzacja, nazwana tu techniczną, jest nową regulacją, odbywającą się przy lepszym niż dotychczas rozpoznaniu warunków przyrodniczych.

Działania rewitalizacyjne czy renaturyzacyjne są powszechnie uznawane za właściwe i wielu badaczy podkreśla konieczność dalszego ich prowadzenia (Brookes, Shields 1996; Kondolf 1995; Kondolf, Micheli 1995; Bash, Ryan 2002; Downs, Kondolf 2002; Kondolf i in. 2003; Palmer i in. 2005; Ruiz-Jaen, Mitchell 2005; Bernhardt i in. 2007). Są to jednak bardzo kosztowne przedsięwzięcia. W Stanach Zjednoczonych Ameryki działania te są prowadzone od blisko 40 lat, a stopień poprawy warunków funkcjonowania koryt rzecznych i ich stanu ekologicznego ciągle jest niezadowolający (Bernhardt i in. 2005).

Na rzekach karpaccich działania mające wspomóc poprawę ich stanu ekologicznego i warunków siedliskowych rozpoczęły się wraz z wprowadzeniem Ramowej Dyrektywy Wodnej (Dyrektywa 2000/60/WE). Jednym z osiągnięć na tym polu było opracowanie *Zasady dobrej praktyki w utrzymaniu koryt rzek i potoków górskich* (Bojarski i in. 2005). Z czasem podejmuje się coraz więcej działań mających na celu rewitalizację koryt karpaccich. Zwraca się uwagę na korytarz swobodnej migracji koryt, pozytywną rolę rumoszu drzewnego w odtwarzaniu akumulacyjnych form korytowych

czy sztuczne bystrza (Wyźga 2007b; Wyźga i in. 2012; Radecki-Pawlik i in. 2011; Ruiz-Villanueva i in. 2016).

W obecnych warunkach, przy bardzo dużym stopniu uregulowania koryt rzek karpackich i związanym z tym znacznym pogłębieniem koryt oraz przy zaniechaniu kolejnych regulacji, może dojść do odtworzenia – w pewnym zakresie – funkcjonowania koryt sprzed regulacji. Procesy te zachodzą w kilkukrotnie węższej strefie i na niższym o kilka metrów poziomie niż kiedyś. Jeśli odtworzeniu podlega struktura wielonurtowa, to zwykle są to maksymalnie 2–3 nurty. Proces ten można nazwać samoistną renaturyzacją, a powstałe w ten sposób koryta postregulacyjnymi. Stworzenie warunków do samoistnej renaturyzacji koryt rzek górskich i nieingerowanie w zmiany, jakie w tych korytach zachodzą, pozwoli uniknąć błędów przy próbach odtworzenia nowego systemu korytowego, który może okazać się całkowicie niedostosowany do obecnych warunków środowiskowych. Najpierw należy szczegółowo rozpoznać funkcjonowanie uregulowanego systemu korytowego, poznać jego tendencje rozwojowe, żeby techniczna renaturyzacja nie okazała się nową regulacją koryta. Problem samoistnej renaturyzacji jako drogi do rozpoznania nowych tendencji rozwojowych uregulowanych koryt rzek górskich będzie przedmiotem rozważań w niniejszej pracy.

Znaczącą rolę w samoistnej renaturyzacji koryt górskich mają duże i katastrofalne wezbrania (m.in. Requena i in. 2006; Gorczyca 2012; Gorczyca i in. 2013; Czech i in. 2015; Hajdukiewicz i in. 2015; Gorczyca i in. w druku).

Powyżej przedstawiono zaledwie ułamek prac dotyczących zagadnień geomorfologii fluwialnej rzek górskich, jednak nawet na tej podstawie można potwierdzić stosunkowo dobre rozpoznanie górskich systemów korytowych, a także przyczyn i stopnia ich degradacji. Rodzi się zatem pytanie, jak będzie wyglądał ich rozwój pod wpływem antropopresji, ale też przy coraz większej świadomości tego, jak konieczne jest zaprzestanie degradacji koryt. Porównanie struktury systemów korytowych w różnych okresach: w czasie narastającej antropopresji, postępującej degradacji oraz rozwijających się pod wpływem dużych i ekstremalnych wezbrań, może uzupełnić istniejącą lukę w poznaniu kierunków rozwoju górskich uregulowanych koryt.



Nikt prawie nie wie, dokąd go zaprowadzi droga, póki nie stanie u celu.

(J.R.R. Tolkien, *Władca pierścieni*.

Dwie wieże)

1.1. Cel badań

Głównym celem pracy jest poznanie funkcjonowania górskich koryt żwirowodnych w warunkach antropopresji. Cel zostanie zrealizowany na przykładzie koryt rzek karpaccich poprzez rozwiązanie następujących szczegółowych problemów badawczych:

- Rozpoznanie i porównanie struktury żwirowodnych koryt górskich rozwijających się w warunkach zróżnicowanej antropopresji w różnych przedziałach czasowych.
- Zdefiniowanie pojęcia samoistnej renaturyzacji żwirowodnych górskich koryt uregulowanych w nurcie współczesnych badań fluwialnych.
- Wykazanie uwarunkowań przyrodniczych i pozaprzyrodniczych wspomagających samoistną renaturyzację górskich koryt uregulowanych.
- Rozpoznanie warunków kształtowania się koryt wielonurtowych i krętych w warunkach postregulacyjnych.
- Określenie roli okresów wezbraniowych i bezwezbraniowych w renaturyzacji koryt uregulowanych.
- Określenie znaczenia działalności bobrów (*Castor fiber*) w górskich korytach uregulowanych.
- Wyznaczenie kierunków rozwoju (stworzenie modelu) górskich uregulowanych koryt przy różnym natężeniu antropopresji.

*Żadna rzeka nie może wrócić do źródła,
żadna róża nie może wrócić do krzewu,
z którego spadła.*
(Fletnia chińska przeł. L. Staff)



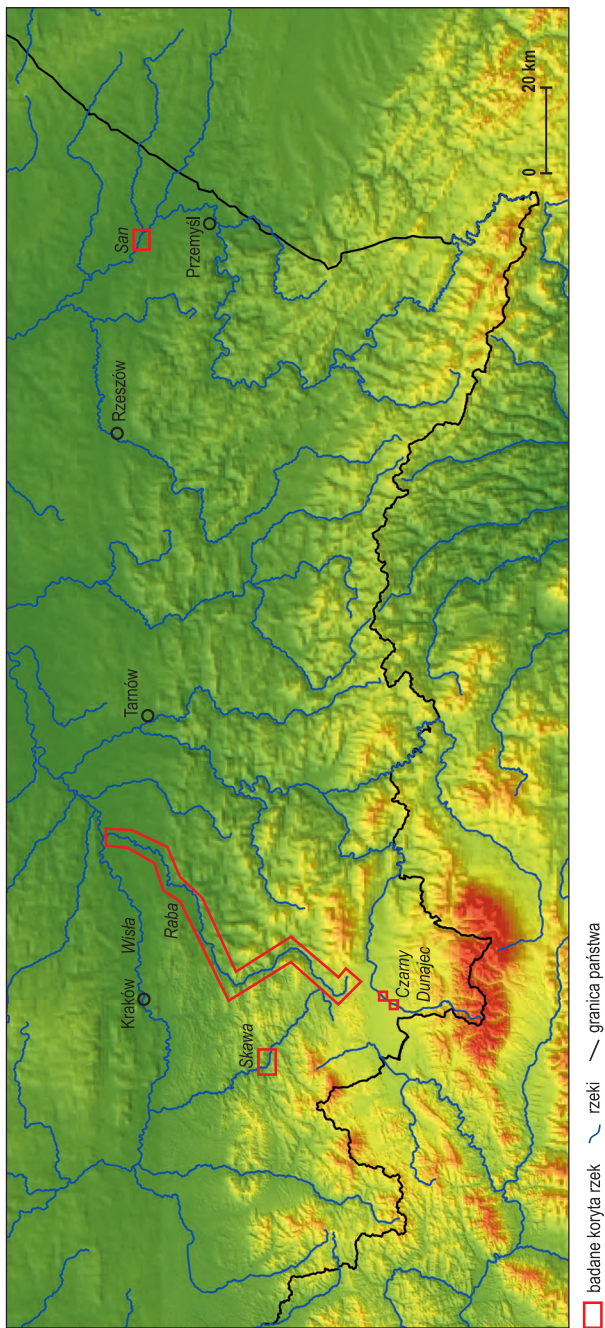
1.2. Obszar badań

Badaniami objęto cały system korytowy Raby. W celu uzupełnienia i porównania wyników badań prowadzonych w korycie Raby wybrano dodatkowo cztery odcinki koryt innych rzek górskich: Sanu, Skawy i Czarnego Dunajca. W korycie Sanu wytypowano odcinek w obrębie Kotliny Sandomierskiej powyżej Jarosławia. W korycie Skawy wybrano odcinek beskidzki między Makowem Podhalańskim a Suchą Beskidzką. W korycie Czarnego Dunajca badaniu poddano dwa odcinki: pierwszy w granicach wsi Czarny Dunajec, a drugi w sąsiedztwie Wróblówki, obydwie w obrębie Kotliny Orawsko-Nowotarskiej (ryc. 1).

Raba

Koryto Raby oraz jej dolina, pomimo niskiego stopnia urbanizacji i rolniczego użytkowania zlewni, pełnią bardzo ważne funkcje. Dolina Raby na długim odcinku jest ważnym „traktem” komunikacyjnym. Ponadto woda ze Zbiornika Wodnego Dobczyce zasila wodociągi w Krakowie. Z tego powodu koryto Raby stanowi przedmiot wielu badań z zakresu geomorfologii fluwialnej, hydromorfologii, hydrodynamiki oraz zarządzania zasobami wodnymi.

1. RZEKI GÓRSKIE W WARUNKACH ANTROPOPRESJI



Ryc. 1. Obszar badań (model SRTM)

Pierwsze opracowanie dotyczące rozpoznania struktury koryta Raby i jej dopływów pojawiło się w latach 70. XX wieku (Kaszowski 1980). Niestety, wyniki tych badań nigdy nie zostały w całości opublikowane. Jedynie koryto w górnym biegu zostało w części opracowane (Krzemień 1984). Badaniami dotyczącymi funkcjonowania środkowej i dolnej części systemu rzeczno Raby, głównie wcinania się koryta, zmian układu i roli regulacji w jego funkcjonowaniu, zajmował się głównie B. Wyżga (1989, 1991, 1992b, 1993a, 1993b). Dla dolnego, ujściowego odcinka koryta Raby powstało szereg opracowań, które dotyczyły m.in. piaszczysto-żwirowych form, sposobu ich formowania i wpływu na przepływy korytowe (Gładki 1976; Radecki-Pawlik i in. 2005a, 2005b; Radecki-Pawlik i in. 2006; Słowik-Opoka, Radecki-Pawlik 2006, 2007). Badano również zmiany morfologiczne oraz granulometryczne ujściowego odcinka koryta Raby (Książek i in. 2007). W korycie Raby wykonano także analizę rozkładu parametrów hydrodynamicznych w rejonie bystrza o zwiększonej szorstkości (Plesiński i in. 2014).

Szeroko rozumiane zarządzanie zasobami wodnymi zlewni Raby to tematyka podjęta przez kolejne zespoły badawcze (Nachlik i in. 2005; Gręplowska i in. 2006; Nachlik 2006; Bonenberg, Nachlik 2007).

San

Najwięcej badań koryta oraz doliny Sanu było przeprowadzonych w jego górnym, bieszczadzkim odcinku (m.in. Kaszowski, Kotarba 1967; Kukulak 2003; Stopka 2011; Gorczyca i in. 2011, 2016). Badania doliny Sanu w odcinku pogórskim i kotlinnym dotyczą przede wszystkim zagadnień paleogeograficznych i paleogeomorfologicznych (m.in. Starkel 1960; Szumański 1977, 1982; Klimek i in. 1997; Gębica 2004; Gębica i in. 2009). Na ich podstawie można odtworzyć stan koryta sprzed regulacji oraz naturalny sposób funkcjonowania koryta i spróbować przenieść go do obecnych, odmiennych warunków. Nie ma natomiast kompleksowych opracowań dotyczących współczesnego funkcjonowania koryta Sanu. Jednym z niewielu, podejmującym temat zmian erozyjnych dna koryta Sanu z uwzględnieniem uwarunkowań antropogenicznych, jest praca M. Łapuszek (2011).

Skawa

Jeżeli chodzi o opracowania o tematyce fluwialnej dotyczące współczesnego funkcjonowania koryta Skawy, to wciąż jest ich niewiele. Zagadnieniem tempa erozji wgłębnej jako odpowiedzi na regulacje w korycie Skawy zajęli się K. Klimek (1983, 1987), R. Malarz, J. Mądry (1996) i B. Wyźga (2001a), którzy wskazują na tendencje do pogłębiania się koryta i koncentracji przepływów wezbraniowych. Badania nad transformacją aluwioów wskutek opadowych zdarzeń ekstremalnych oraz geomorfologicznymi skutkami powodzi prowadził R. Malarz (2002a, 2002b). W latach 2012–2013 w Zakładzie Geomorfologii IGiGP UJ powstały dwie prace magisterskie dotyczące rozpoznania struktury i dynamiki koryta Skawy w warunkach ekspansji roślinności (Dyrda 2013; Pawlak 2013). Szereg opracowań dotyczy terenu zbiornika zaporowego w Świnnej Porębie (Zbiornik Mucharski), a L. Książek i in. (2007) badali morfologię koryta w zasięgu cofki. W korycie Skawy prowadzone były też bardziej szczegółowe badania, np. dotyczące zróżnicowania warunków hydrodynamicznych i granulometrycznych podczas tworzenia się łachy środkowo-korytowej (Radecki-Pawlik i in. 2005a, 2005b). Przedmiotem szeregu opracowań był również temat przekształceń koryta omawianej rzeki pod wpływem wezbrań (Mądry 1974; Malarz 2002b; Witkowski, Wysmołek 2013, 2015; Witkowski 2015).

Czarny Dunajec

Koryto Czarne Dunajca jest najlepiej rozpoznany z analizowanych w tej pracy koryt. Jego struktura i funkcjonowanie w okresie 1977–1999 zostały szczegółowo opisane przez K. Krzemienia (1981, 2003, 2006) oraz J. Korpak i in. (2008, 2009). Problem degradacji koryta roztokowego tej rzeki w wyniku działań regulacyjnych i poboru rumowiska na bardzo dużą skalę został zbadany m.in. w opracowaniach: Krzemień 2003; Zawiejska, Wyźga 2008; Korpak i in. 2009; Wyźga i in. 2009; Gorczyca, Krzemień 2010; Zawiejska i in. 2015. Oceniono także jej stan oraz zidentyfikowano zaburzenia procesów fluwialnych (Strużyński i in. 2013a, 2013b; Strużyński 2014). Koryto Czarne Dunajca było też poligonem badawczym ze względu na rolę rumoszu drzewnego w kształtowaniu struktury i dynamiki koryta żwirowego (m.in. Wyźga, Zawiejska 2005; Rzepecka i in. 2012; Mikuś

1.2. OBSZAR BADAŃ ...

i in. 2013). W korycie Czarnego Dunajca prowadzono również badania dotyczące szeroko rozumianego problemu rewitalizacji koryt i roli wezbrań tym procesie (m.in. Mikuś i in. 2015; Wyźga i in. 2015).

Wybrane do niniejszego studium koryta rzek górskich: Raby, Skawy, Sanu i Czarnego Dunajca, ze względu na ich duże różnicowanie środowiskowe pozwolą na zrealizowanie założonego celu. W poznaniu funkcjonowania górskich koryt żwirowodnych w warunkach antropopresji, zarówno w nich i w ich zlewniach, niezwykle pomocne będą badania licznych autorów opracowań przedstawionych powyżej.



*Powoli, krok za krokiem, wstępowałem
w wasze wody
I nurt mnie podejmował milcząco za kolana,
Aż powierzyłem się, i uniósł mnie, i płynąłem.*
(Cz. Miłosz, Rzeka)

1.3. Metody badań

Do badań struktury koryta Raby, Skawy, Sanu i Czarnego Dunajca zastosowano raptularz i instrukcję wypracowaną w Zakładzie Geomorfologii IGiGP UJ (Kamykowska i in. 1999; Krzemień 2012). Metoda ta jest z powodzeniem stosowana w badaniach od kilkudziesięciu lat (m.in. Kaszowski 1980; Krzemień 1981, 1984; Rączkowska 1983; Zawiejska 2006; Gorczyca 2012; Korpak 2012). Wymienione studia dotyczyły m.in. poznania struktury korytowej oraz jej zmian w czasie i składały się z części terenowej i kameralnej. Głównym założeniem zastosowanej metody jest rozumienie systemu korytowego jako struktury odcinkowej, dlatego też w czasie badań terenowych zbierano informacje o korytach rzecznych w określonych odcinkach morfostatycznych i morfodynamicznych. Równie ważna była analiza materiałów kartograficznych (model terenu, ortofotomapy, dokumentacja fotograficzna) oraz archiwalnych, które zawierały dane zarówno o samych korytach, jak również o ich zlewniach. Zebrano i wykorzystano materiały informujące o zmianach środowiskowych w zlewni, reżimie hydrologicznym cieków, zabudowie koryt, eksploatacji rumowiska korytowego oraz zmianach przebiegu koryt.

W czasie badań terenowych wszystkie dane o korytach zbierane były przy pomocy raptularza w uprzednio wyznaczonych jednorodnych odcinkach koryta. Raptularz obejmuje cztery grupy danych: informacje wstępne, charakterystykę koryta, charakterystykę hydrodynamiczną cieku oraz charakterystykę hydrometeorologiczną okresu badań. Najważniejsze z nich to:

położenie, budowa geologiczna, parametry koryta, profil podłużny i poprzeczny, brzegi, formy dna, osady, zabudowa, typ koryta. W terenie posługiwano się raptularzami roboczymi (Krzemień 2012). Raptularz końcowy jest wypełniany przy użyciu raptularza roboczego i odpowiedniej instrukcji – klucza zawierającego gotowe propozycje odpowiedzi (Krzemień 2012). Raptularz zawiera 57 informacji ilościowych i 48 jakościowych. Informacje ilościowe służą do wyliczenia wskaźników charakteryzujących koryto (Krzemień 2012; Łyp 2012).

Zgodnie z powyższymi wytycznymi w 2015 roku skartowano całe koryto Raby, natomiast w latach 2009, 2010, 2014 kartowano tylko jego wybrane odcinki. W 2012 roku skartowano całe koryto Czarnego Dunajca. Analizowany odcinek koryta Skawy był kartowany w latach 2006, 2012, 2014, z kolei kartowanie wybranego odcinka Sanu wykonano w 2015 roku. W czasie kartowania Skawy w celu wykonania dokładnych pomiarów układu koryta w planie i profilu podłużnego wykorzystano odbiornik GPS Topcon Hiper.

Skład frakcyjny rumowiska badanych koryt zmierzono według metody M.G. Wolmana (1954). Do określenia składu frakcji rumowiska korytowego Raby zastosowano dwie metody powierzchniowe: metodę Wolmana (30 punktów pomiarowych) i metodę fotograficzną (36 punktów pomiarowych). Na powierzchni łąch wykonywano fotografie rumowiska o powierzchni 1 m². Fotografie te zostały przeanalizowane w programie Digital Gravelometer. Gravelometer to narzędzie do szybkiego pomiaru powierzchniowego rozkładu wielkości ziaren rumowiska korytowego. W oprogramowaniu tym wykorzystuje się zaawansowane techniki przetwarzania obrazu w celu identyfikacji i pomiaru wielkości ziaren rumowiska na zdjęciach cyfrowych. Procedura nie wymaga interwencji użytkownika, z wyjątkiem identyfikacji czterech punktów kontrolnych w każdym obrazie. Wyjściowo otrzymujemy różne parametry oraz wykresy rozkładów wielkości ziarna. Różnice w wynikach między zastosowanymi metodami Wolmana i fotograficzną biorą się zarówno z założeń samej metody, jak i doboru miejsca pomiaru. Ograniczeniem dla metody fotograficznej okazała się np. roślinność zielna rosnąca na łąkach. Obydwie zastosowane metody uzupełniają się, pozwalając na ustalanie procentowego udziału poszczególnych frakcji powyżej 5 mm. Wyniki przedstawiono

z zastosowaniem podziału frakcji rumowiska wg C.K. Wentwortha (1922), J. Szymańdy, K. Krzemienia (2008). W każdym odcinku koryta Raby wykonano także pomiar frakcji maksymalnej (oś b) transportowanego rumowiska korytowego; pomiar z dokładnością do 1 cm (Wolman 1954).

W czasie kartowania koryt zebrano również informacje o stopniu uregulowania koryta i określono stan zachowania regulacji. Wykonano też profile podłużne i poprzeczne oraz pomiary szerokości i głębokości koryt.

W korycie Raby dodatkowo skartowano stanowiska żerowania i bytowania bobrów (*Castor fiber*). Badania działalności bobrów w korycie Raby prowadzone były jesienią 2015 roku.

Wszystkie informacje zbierane w terenie (lokalizacja form korytowych, przebieg regulacji, miejsca żerowania bobrów oraz miejsca pomiarów parametrów koryta) miały przypisane współrzędne geograficzne (GPS), które były podstawą do dalszych analiz i pomiarów.

Do analiz kameralnych wszystkich badanych koryt wykorzystano numeryczny model terenu (NMT–LIDAR, wykonany w latach 2010–2013) i ortofotomapy (m.in. z lat 2009, 2012) dostępne w Zbiorach Kartograficznych IGiGP UJ. Materiały te zostały pozyskane z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. Fragmenty tych materiałów kartograficznych zostały wykorzystane w rycinach zamieszczonych w niniejszej pracy. Analizy poszerzono o informacje kartograficzne (ortofotomapy) zawarte na stronach google.maps. Wykorzystano również materiały archiwalne, mapy austriackie ze wszystkich trzech kartowań: pierwsze z lat 1763–1790, drugie z lat 1806–1869 i trzecie z lat 1869–1887 (TheFirst, TheSecond, TheThirdMilitarySurveyofGalicia, <http://mapire.eu>). Do charakterystyki hydrodynamicznej badanych cieków wykorzystano dane uzyskane z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW); przeanalizowano dane z 16 punktów hydrometrycznych. Informacje o regulacjach koryt pozyskano z RZGW w Krakowie; dane dotyczące budowli poprzecznych zakupiono, a materiały dokumentujące regulacje podłużne pozyskano jako informacje robocze (ze względu na brak ich ostatecznej weryfikacji). Wykorzystano również informacje z projektów regulacyjnych dla rzeki Skawy i Czarnego Dunajca pozyskane z archiwum RZGW w Krakowie (*Regulacja...* 1976).

W opracowaniu powyższych danych wykorzystano dwa programy: do analiz kartograficznych i morfometrycznych QGIS, natomiast do analiz statystycznych Statistica 12.

W pracy porównano wyniki kartowania koryta Raby wykonane w 1976 i 2015 roku. Opis procedury kartowania wykonanego w 2015 roku przedstawiono powyżej. Kartowanie koryta Raby w 1976 roku wykonano w ramach projektu „Dynamiczna typologia koryt rzecznych w Karpatach i na ich przedgórzu” realizowanego w Zakładzie Geomorfologii IGiGP UJ (Kaszowski 1980). Były to pierwsze badania całych systemów korytowych mające na celu rozpoznanie struktury i dynamiki wielu koryt rzek karpackich (w dawnym województwie krakowskim). Dla ich potrzeb wypracowano metodę pozwalającą na szybkie i w miarę proste zbieranie wielu danych podczas kartowania terenowego. Współcześnie używana instrukcja do kartowania koryt jest ulepszoną wersją tej powstałej w latach 70. XX wieku. Dane dotyczące struktury koryta zebrane w 1976 roku podczas kartowania Raby pozwalają na porównanie z wynikami kartowania wykonanego w 2015 roku. Sposób zbierania niektórych informacji w raportach z 1976 roku był nieco odmienny, bardziej przeglądowy, niż ten z 2015 roku, dlatego też nie wszystkie informacje mogły być porównywane. Szczegółowo zbadano także zmiany w strukturze i dynamice koryta Raby, jakie zaszły w czasie dużych wezbrań w 2010 i 2014 roku. Pozwoliły one na określenie kierunków rozwoju żwirodennych koryt górskich w okresie wezbraniowym.

Na podstawie zebranych parametrów dotyczących koryta, form korytowych i rumowiska oraz wyliczonych wskaźników przeprowadzono następną typologię odcinków koryt (Kaszowski, Krzemień 1979, 1999; Chełmicki, Krzemień 1999; Krzemień 1999; Gorczyca 2012; Korpak 2012). Do analizy danego systemu korytowego wybierane są te cechy, które pośrednio lub bezpośrednio informują o dynamice koryta, a więc o procesach, które je przekształcają. Często uznawano więc procesy korytowe za zasadnicze kryterium wydzielenia typów koryt (Krzemień 2003).

Punktem wyjścia dla opracowania typologii odcinków koryta Raby było zastosowanie analizy skupień w celu dokonania taksonomii wyróżnionych odcinków koryta. Zastosowanie metod numerycznych pozwoliło

zobiektywizować procedurę klasyfikacyjną. Podobną metodykę zastosowali W. Chełmicki i K. Krzemień (1999) w analizie struktury koryta rzeki Feshie, zlokalizowanej w górach Szkocji.

Pod pojęciem „analiza skupień” rozumiemy zbiór metod wielowymiarowej analizy statystycznej. Pozwalają one wyodrębnić względnie jednorodne podzbiory obiektów badanej populacji (Marek 1989). Grupowanymi obiektami było 31 odcinków koryta Raby, wyróżnionych w trakcie badań terenowych w 1976 i 2015 roku. Charakteryzują się one względnie jednolitą strukturą, która odróżnia je od odcinków sąsiednich. Każdy odcinek został opisany przez 6 ilościowych cech morfometrycznych i morfostrukturalnych. Są to:

- powierzchnia łąch i wysp na kilometr koryta,
- powierzchnia podcięć na kilometr koryta,
- wskaźnik zdziczenia (liczba łąch środowych i wysp na kilometr koryta),
- frakcja maksymalna rumowiska korytowego,
- średnia szerokość koryta,
- średnia głębokość koryta.

Wymienione cechy spełniały dwa kryteria: były to zmienne ilościowe ciągłe, które można było określić w oparciu o wyniki kartowania zarówno z 1976, jak i 2015 roku. Przed właściwą procedurą aglomeracyjną rozpatrywane cechy poddano standaryzacji. Ich surowe wartości są bowiem wyrażone w nieporównywalnych miarach, a wartości niektórych cech różnią się pomiędzy sobą o kilka rzędów wielkości, co wpływa na wielkość wariancji poszczególnych cech.

Spośród metod analizy skupień wybrano hierarchiczną metodę Warda. Wykorzystuje ona zasadę minimalizacji wariancji wewnątrzgrupowej i wskazywana jest jako najefektywniejsza spośród metod aglomeracyjnych (Marek 1989). W metodzie tej niezbędne jest stosowanie odległości euklidesowej jako miary podobieństwa obiektów (Nowak 2013).

Grupowanie wykonano oddzielnie dla obu zbiorów cech morfostrukturalnych i morfometrycznych odcinków koryta Raby: z 1976 i 2015 roku. W analizie przeprowadzonej dla struktury koryta w roku 2015 nie brano pod uwagę odcinków nr 15 i 16, dziś zalanych przez wody Zbiornika Wodnego Dobczyce. Obliczenia przeprowadzono w programie Statistica 12. Wyniki

procedury aglomeracji przedstawiono w postaci drzewka – dendrogramu. Skupienia jednostkowe łączące się w węzle (wiązaniu) położonym najbliższej wartości „0” odległości euklidesowej są do siebie najbardziej podobne spośród wszystkich analizowanych obiektów. Z kolei węzeł położony najdalej od wartości „0” łączy dwie grupy obiektów najmniej do siebie podobnych. Jako że procedura trwa aż do określenia podobieństwa wszystkich rozpatrywanych obiektów, kluczowe jest ustalenie właściwej liczby wydzielanych klas. Pomocna w tym zadaniu jest analiza wykresu odległości wiązania względem etapów wiązania. Przyjęto, że należy wydzielić tyle klas, ile wyróżnia się na tym etapie wiązania, przy którym obserwujemy pierwszy duży przyrost odległości euklidesowej pomiędzy kolejnymi wiązaniami (Nowak 2013). Przyjęta procedura taksonomiczna ma niestety kilka słabych stron. Nie uwzględnia cech jakościowych, a zakres możliwych do wykorzystania wskaźników był w 1976 roku ograniczony. Poza tym, mimo że procedura aglomeracji jest obiektywna, wyróżniane grupy odcinków koryta nie zawsze są wewnętrznie spójne, chociaż oczywiście różnią się od pozostałych odcinków koryta. Zatem wyróżniając typy koryta Raby, obok wyników analizy skupień wzięto też pod uwagę rodzaj dna oraz przestrzenny układ koryta. Pozwoliło to na wydzielenie w 31-odcinkowym systemie korytowym Raby 6 typów koryt charakteryzujących się określoną dominującą funkcją i procesami (Kaszowski, Krzemień 1999; Krzemień 2012).

Określono też prawidłowości rozwoju koryta Raby w ostatnim 40-leciu. W tym celu obliczono wartości różnic 6 analizowanych cech struktury 31 odcinków koryta Raby pomiędzy 2015 i 1976 rokiem. Wartości dodatnie różnic wskazują na przyrost analizowanej cechy struktury koryta (np. wzrost powierzchni łąch), a wartości ujemne na jej spadek. Następnie uporządkowano rosnąco różnice cech struktury odcinków koryta, a ich rozkład empiryczny przedstawiono na wykresach pudełkowych. Szerokość pudełka pokazuje rozstęp ćwiartkowy analizowanej cechy (wartość kwartyła górnego i dolnego), wystające z niego wąsiki – zakres zmienności cechy (wartość maksymalną i minimalną), zaś mały kwadrat w środku pudełka – wartość średnią, w tym przypadku medianę.

Podziękowania

Składam serdeczne podziękowania Koleżankom i Kolegom z Zakładu Geomorfologii oraz z tzw. niebieskiego piętra IGiGP UJ za życzliwość i wsparcie w trakcie pisania pracy.

Szczególne podziękowania kieruję do mojego nauczyciela i kierownika Zakładu Geomorfologii Profesora Kazimierza Krzemienia za życzliwość i duże zainteresowanie moimi badaniami.

Dziękuję też Kolegom towarzyszącym mi w badaniach terenowych: Kazimierzowi Krzemieniowi, Mateuszowi Sobuckiemu, Tomaszowi Raczkiwiczowi oraz mojemu mężowi Krzysztofowi Jarzynie.

Serdeczne podziękowania kieruję także do Dyrektora RZGW w Krakowie Pani mgr inż. Małgorzaty Owsiany oraz Pana Tomasza Bukowca za udostępnienie cennych informacji dotyczących regulacji koryt.

Piękno leży w oku patrzącego
(N. Mostert)



Rozdział 2

Uwarunkowania rozwoju uregulowanego systemu korytowego zwirodennej rzeki górskiej

2.1. Charakterystyka zlewni Raby

2.1.1. Położenie

Rzeka Raba jest prawobrzeżnym dopływem górnej Wisły. Zlewnia Raby, o powierzchni 1537 km², graniczy od południowego zachodu ze zlewnią Skawy, a od wschodu i południa ze zlewnią Dunajca. W północnym biegu sąsiaduje z mniejszymi dopływami Wisły: Skawinką, Wilgą, Drwinką i Uswicą. Długość Raby wynosi 131,7 km, a średni spadek 4,4%. Zlewnia Raby jest wydłużona, z przewagą części prawobrzeżnej.

Zlewnia Raby leży w obrębie dwóch prowincji geomorfologicznych – Karpat i kotlin podkarpackich (Klimaszewski 1972). Najwyżej położonym punktem zlewni jest Turbacz (1310 m n.p.m.), a najniższej – ujście do Wisły

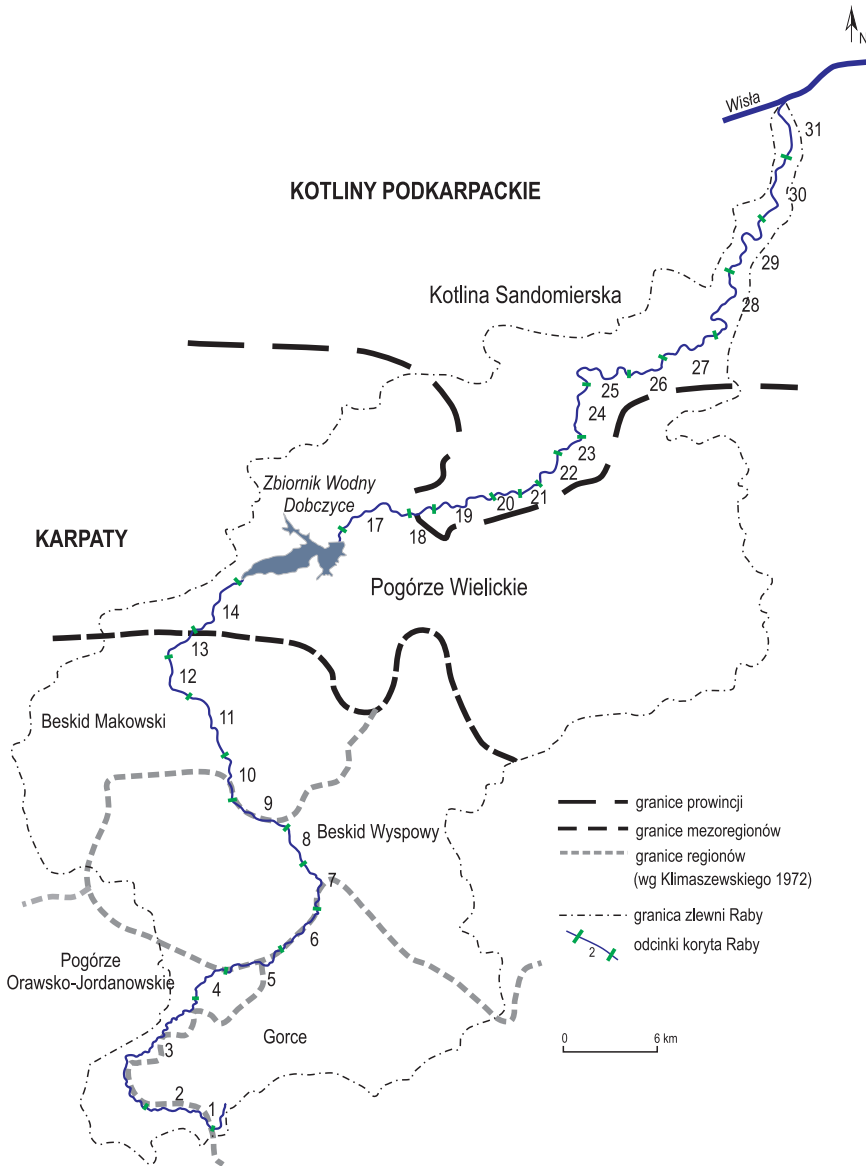
(180 m n.p.m.). Obszar źródłowy Raby znajduje się w pobliżu Obidowej (785 m n.p.m.). Dolina Raby i jej zlewnia położone są w obrębie sześciu podstawowych jednostek geograficznych; Bramy Sieniawskiej (Pogórze Orawsko-Jordanowskiego), Gorców, Beskidu Wyspowego, Beskidu Makowskiego (Średniego), Pogórze Wielickiego i Kotliny Sandomierskiej (ryc. 2) (Klimaszewski 1972; Balon i in. 1995).

2.1.2. Budowa geologiczna

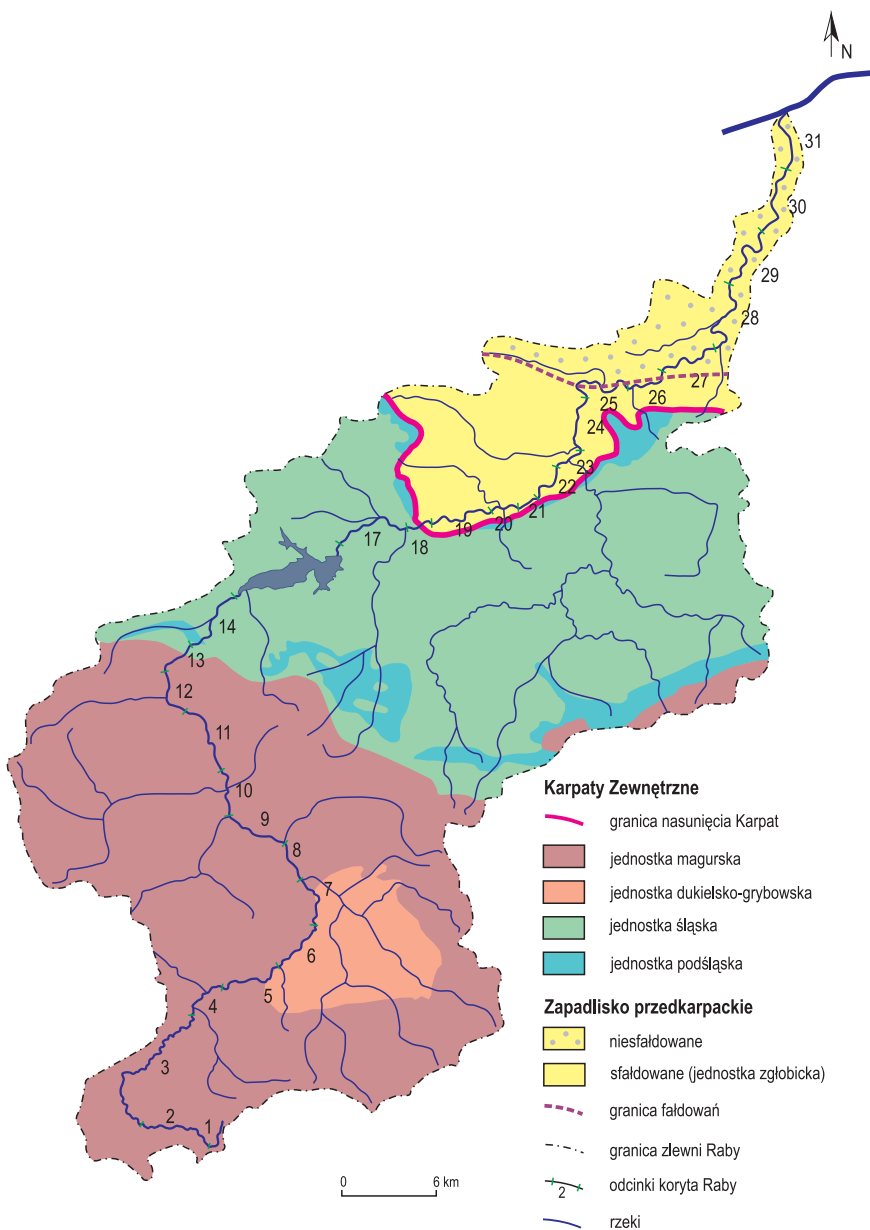
Zlewnia Raby leży w obrębie dwóch wielkich struktur geologicznych: Karpat Zewnętrznych i Zapadliska Przedkarpacciego. Większa część (ponad 80%) jej powierzchni położona jest w obszarze karpaccim, zbudowanym z fliszowych serii piaskowcowo-łupkowych wieku kredowo-oligocenińskiego (Stupnicka 1997). Podłoże zlewni w zapadlisku przedkarpaccim to głównie osady mioceńskie.

Karpaty

Karpaty Zewnętrzne zbudowane są ze skał fliszowych kredy i paleogenu. Są to głównie skały detrytyczne, takie jak iłowce, mułowce, piaskowce i zlepieńce, niewielki udział mają skały krzemionkowe, margle czy wapienie. Na powierzchni odsłaniają się skały odporne na wietrzenie, głównie średnio- i gruboziarniste piaskowce gruboławicowe, w podłożu znaczny udział mają iłowce i mułowce (Stupnicka 1997). Serie osadowe powstałe w rozległym basenie fliszowym dały początek dużym jednostkom tektonicznym: magurskiej, śląskiej i podśląskiej (ryc. 3). W budowie płaszczowiny magurskiej dominują osady paleogenu, w niewielkim tylko stopniu osady górnej kredy. W całej serii magurskiej obecne są łupki pstre dolnego i środkowego eocenu. Piaskowce ciężkowickie i warstwy beloweskie to skały dolnego eocenu, natomiast środkowy eocen reprezentują piaskowce pasierbickie, warstwy hieroglify i margle łąckie. Najwyższym ogniwem serii magurskiej są piaskowce magurskie głównie z eocenu górnego (Stupnicka 1997). W obrębie jednostki magurskiej występuje kilka pomniejszych regionów, m.in. okno tektoniczne Mszany Dolnej, w której odsłania się jednostka dukielsko-grybowska (ryc. 3). Utwory występujące w oknie Mszany



Ryc. 2. Koryto Raby na tle podziału geomorfologicznego i jednostek fizycznogeograficznych (na podstawie: Klimaszewski 1972; Balon i in. 1995)



Ryc. 3. Szkic geologiczny zlewni Raby (według Żytki i in. 1989)

Dolnej to głównie warstwy krośnieńskie, wykształcone w postaci cienko-ławicowych piaskowców i łupków oraz łupków menilitowych (Mastella 1988). Na północ od jednostki magurskiej rozciąga się jednostka śląska. Występuje tu pełna seria osadów kredowych wykształconych w postaci łupków cieszyńskich i wierzowskich, warstw grodzkich i lgockich (kreda dolna) oraz pstrych łupków, warstw godulskich i istebniańskich (kreda górna). Do warstw eoceńskich zaliczamy piaskowce ciężkowickie, warstwy hieroglifowe i łupki pstre (Stupnicka 1997). Strefę o małym zasięgu, silnie zredukowaną tektonicznie, stanowi jednostka podśląska. Ukazuje się przed nasunięciem jednostki śląskiej w postaci wąskich listew i w licznych, niewielkich powierzchniowo oknach tektonicznych strefy lanckorońsko-żegocińskiej. Utwory tej jednostki to przede wszystkim łupki cieszyńskie, warstwy grodzkie (kreda dolna), łupki pstre, margle szare i żegocińskie (kreda górna) oraz paleogeńskie łupki pstre, warstwy menilitowe i krośnieńskie (Stupnicka 1997).

Zapadlisko przedkarpackie

Zapadlisko przedkarpackie jest obniżeniem tektonicznym wypełnionym miąższymi klastycznymi utworami mioceniowymi zalegającymi niezgodnie na starszych utworach mezozoicznych, paleozoicznych i prekambryjskich (Golonka 1981). Miąższłość utworów mioceniowych wynosi od 100 do 3000 m i uzależniona jest od morfologii powierzchni terenu oraz podłoża mioceniowego. Utwory miocenu to głównie iły, mułowce, muły i łupki z wkładkami piasków oraz piaskowców warstw grabowieckich (Malinowski i in. 1991; Stupnicka 1997). Południowa granica zapadliska jest tektoniczna i wyznaczona przez czoło Karpat Zewnętrznych. Karpaty zostały płasko nasunięte na utwory mioceniowe, skutkiem czego powstała wąska strefa sfałdowanego miocenu utworzona z jednostki stebnickiej i zgłobickiej (ryc. 3) (Kotlarczyk 1981; Oszczytko 2004). Do strefy sfałdowanego miocenu zaliczają się także fałdy Bochni i Uzborni, jądra tych fałdów utworzone są z utworów fliszowych, natomiast skrzydła z formacji skawińskiej, utworów solnych formacji wielickiej i warstw chodenickich (Książkiewicz 1972; Oszczytko 2006). Na zachód od Bochni wzdłuż doliny Raby czoło nasunięcia karpackiego jest cofnięte o 10 km na południe, tworząc tzw. zatokę gdowską. Występują

tu w niewielkim stopniu zdeformowane utwory formacji skawińskiej, gipsy i warstwy chodenickie (Książkiewicz 1972; Oszczytko 2006).

2.1.3. Rzeźba

Zlewnia Raby leży w obrębie dwóch prowincji geomorfologicznych: Karpat i kotlin podkarpackich (Klimaszewski 1972). Raba przepływa przez Beskidy Zachodnie, Pogórze oraz zachodnią część Kotliny Sandomierskiej. Koryto rzeki stanowi granicę pomiędzy Beskidem Makowskim i Beskidem Wyspowym (do ujścia Krzczonówki) oraz Pogórzem Wielickim i Wiśnickim (ryc. 2). Gorce oraz Beskid Wyspowy i Makowski zaliczane są pod względem geomorfologicznym i geologicznym do Zewnętrznych Karpat Zachodnich. Zbudowane są prawie w całości z fliszu płaszczowiny magurskiej górnej kredy i trzeciorzędu (paleogenu). Kompleksy piaskowcowo-łupkowe tworzą tutaj szczyty, główne grzbiety i strome stoki, a doliny i obniżenia ukształtowane zostały w mniej odpornych warstwach łupkowo-piaskowcowych. Występujące tu góry średnie lub niskie stanowią góry wypowe oraz zwarte masywy i pasma.

W części beskidzkiej wyróżnia się Pogórze Orawsko-Jordanowskie. Jego wschodnia część – Obniżenie Chabówki – pomimo podobnej budowy geologicznej, znacząco różni się od otaczających pasm górskich (Starkel 1971). Obszar ten cechują mniejsze wysokości względne i bezwzględne, dominują te z przedziału od 500 (w dolinie Raby) do 750 m n.p.m. (wzniesienia). Pogórze Sieniawskie charakteryzuje się typem rzeźby pogórza średniego, a Kotlina Chabówki rzeźbą pogórza niskiego (Starkel 1972). Obniżenie morfologiczne Chabówki (Rabki) związane jest z tektoniką podłoża, która narzuciła mu strukturę zapadliska śródgórskiego (Szczęch 2013). Otaczające je wzniesienia Beskidu Wyspowego oraz Gorców charakteryzują się rzeźbą gór średnich.

Pogórze Wielickie i Wiśnickie charakteryzuje rzeźba pogórzy niskich i średnich. Wyrównane, szerokie garby wznoszą się na wysokość 300–550 m n.p.m. Północna granica Pogórza Wielickiego pokrywa się z granicą nasunięcia Karpat, a jej zatokowy przebieg jest dobrze widoczny w zatoce gdowskiej.

Kotlina Sandomierska to obszar akumulacji osadów, z niewielkimi deniwelacjami i dominacją rzeźby o cechach akumulacyjnych. Dolina Raby położona jest w obrębie obniżen dolinnych i równin stożków napływowych o niewielkich (10–20 m) deniwelacjach (Starkel, Gębica 1992).

Według wyznaczonych przez K. Klimka (1979) morfodynamicznych typów koryt karpackich dopływów Wisły koryto Raby należy do typu prostego (średniogórskiego). Cechuje się ono znacznymi spadkami, rumowiskowym dnem, dużą dostawą materiału ze stoków i umiarkowanymi wezbrzeniami. Koryta te wycięte są w mało mięjszych aluwiach lub podłożu fliszowym i cechują się roztokowo-meandrowym układem koryta w planie. Typy koryt w polskich Karpatach przedstawili także L. Starkel i A. Łajczak (2008). Według klasyfikacji tych badaczy koryto Raby należy do trzech typów. Od źródeł są to kolejno: zachodniobeskidzki, kotlin śródgórskich, zachodniobeskidzki i pogórski.

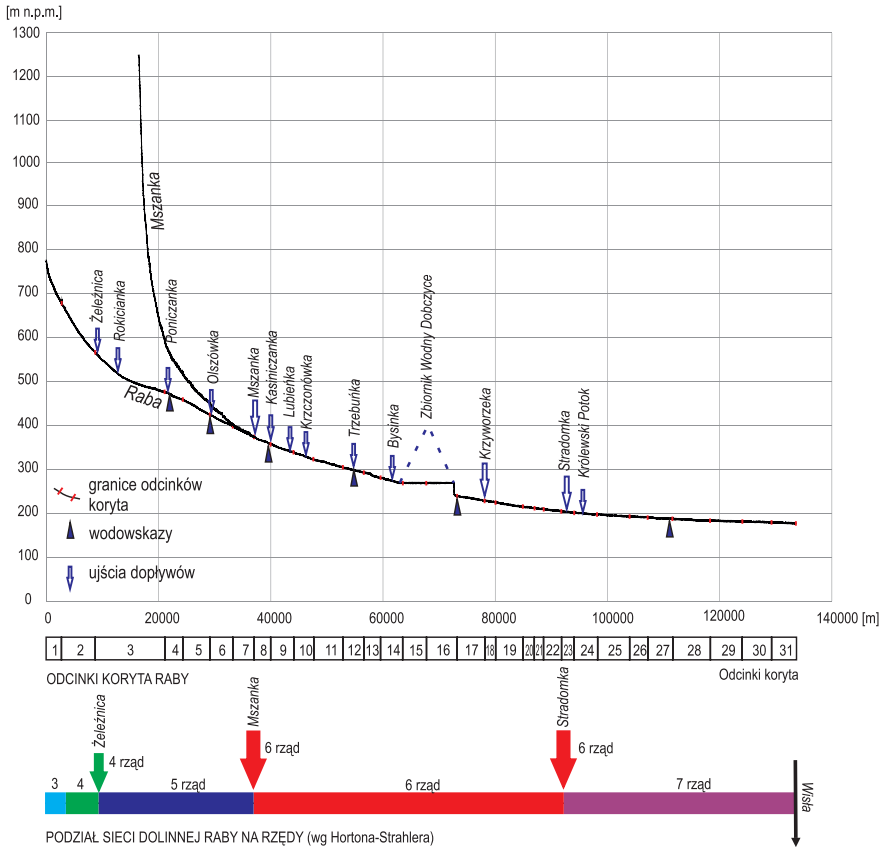
2.1.4. Klimat

W zlewni Raby występują trzy regiony klimatyczne: górna część zlewni jest w zasięgu klimatu górskiego, środkowa w obrębie klimatu Pogórza Karpackiego, a dolna cechuje się klimatem kotlin podgórskich (Niedźwiedz, Obrębska-Starkłowa 1991). Region klimatu górskiego cechuje się piętrowym zróżnicowaniem klimatu. Najwyższe partie zlewni Raby (w wysokości 1100–1150 m n.p.m.) są położone w piętrze umiarkowanie chłodnym, o średniej rocznej temperaturze 4–6°C. Najwyższe wzniesienia zlewni leżą w Gorcach, cechujących się klimatem chłodnym, o średniej rocznej temperaturze 2–4°C. Obszary położone poniżej wysokości 600–700 m n.p.m. znajdują się w piętrze umiarkowanie ciepłym, o średniej rocznej temperaturze powietrza 6–8°C (Hess 1965). Zlewnia Raby charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem miesięcznych i rocznych sum opadów. Zależy ono od rzeźby i wysokości nad poziomem morza. Przeważająca część rocznych sum opadów przypada na miesiące letnie (ok. 70% opadów). Najniższe średnie roczne sumy opadów występują w północnej części zlewni (ok. 700–800 mm/rok), najwyższe w Gorcach (ok. 1200 mm/rok). Na podstawie nieprzerwanego ciągu obserwacji opadów w 12 stacjach IMGW w zlewni

Raby w latach 1960–2000 wyznaczono okresy lat wilgotnych (z nadmiarem opadów) i suchych (z niedoborem opadów). Pierwszy okres wilgotny wystąpił w latach 1965–1981, po nim rozpoczął się okres suchy, który trwał do 1996 roku. Od 1997 rozpoczął się prawdopodobnie kolejny okres wilgotny. Średnia wieloletnia wysokość opadów atmosferycznych w latach 1965–1981 wyniosła 1068 mm/rok, a w latach 1982–1996 nieco mniej – 912 mm/rok (Paszkiwicz 2009).

2.1.5. Stosunki wodne

Raba przyjmuje wody z 25 dopływów bocznych o powierzchni większej niż 10 km², po 10 w biegu górnym i środkowym i tylko 5 w biegu dolnym (Punzet 1969). W górnym odcinku Raba ma kilka dopływów o znacznych spadkach, jednak już w 18 km biegu (od źródeł), powyżej Chabówki, traci cechy rzeki górskiej. Wynika to z uwarunkowań geomorfologicznych Kotliny Chabówki. Cechy górskie Raba „odzyskuje”, wpływając w Beskid Wyspowy. W obniżeniu Mszany Dolnej na wysokości 375 m n.p.m. uchodzi do niej Mszanka, która przy ujściu ma o połowę większy przepływ od Raby. O tym, że Mszanka powinna być odcinkiem źródłowym i górnym Raby, świadczy także jej profil podłużny (ryc. 4). Mszanka jest zasobniejsza w wodę, ma większy spadek, a jej obszar źródłowy jest znacznie wyżej położony (ok. 1200 m n.p.m.). W odcinku od Mszany Dolnej do Zbiornika Wodnego Dobczyce Raba przyjmuje jeszcze kilka większych dopływów beskidzkich. Są to: Kasinka, Lubieńka, Krzczonówka i Trzebunia (ryc. 4). W 63. km występuje cofka Zbiornika Wodnego Dobczyce, a w 73. km usytuowano zaporę. Prace nad budową zbiornika rozpoczęto w połowie lat 70. XX wieku, a zaczął on funkcjonować w 1986 roku. Jego długość wynosi ok. 10 km, szerokość 0,8–1,3 km, a średnia głębokość ok. 11 m. Przy średnim dopływie woda w zbiorniku wymienia się w ciągu roku ok. 3 razy (Amirowicz 2000). Funkcje Dobczyckiego Zbiornika Wodnego to przede wszystkim retencjonowanie wody rzeki Raby dla Krakowa i ochrona przeciwpowodziowa. Poniżej zbiornika większymi dopływami jest Krzyworzeka i największy dopływ Raby – Stradomka. Stradomka na znacznym odcinku ma spadek charakterystyczny dla rzeki górskiej (ok. 12‰).



Ryc. 4. Profil podłużny koryta Raby i Mszanki

J. Punzet (1969) na podstawie kryteriów hydrograficznych i geomorfologicznych podzielił bieg Raby na trzy części:

- bieg górny (beskidzki) – od źródeł do ujścia Bysinki w Myślenicach (długość ok. 60 km, średni spadek 8,5‰). W części tej wydzielił trzy pododcinki: obszar źródłowy oraz górny i dolny biegu górnego;
- bieg środkowy (pogórski) – od ujścia Bysinki do ujścia Stradomki (długość odcinka 34 km, spadek 2,3‰);
- bieg dolny (w obrębie Kotliny Sandomierskiej) – od ujścia Stradomki do ujścia Raby do Wisły (długość odcinka 43 km, średni spadek 0,6‰) (ryc. 4).

Według J. Punzeta (1969) granica między częścią środkową i dolną Raby leży na ostatnim dużym dopływie pogórskim, jakim jest Stradomka. Koryto Raby jest już znacznie wyżej (ujście Krzyworzeki) wycięte w utworach autochtonicznych zapadliska przedkarpackiego zatoki gdowskiej – w Kotlinie Sandomierskiej. Przy tak wytyczonej granicy część kotlinna Raby jest dłuższa (54 km, co stanowi 41% całego biegu koryta), a część pogórska krótsza (22 km). Tym samym część górska Raby stanowi 59% jej biegu. W górnym beskidzkim biegu w obrębie obniżenia Bramy Sieniawskiej 20-kilometrowy odcinek Raby ma stosunkowo niewielki spadek, a zlewnia charakteryzuje się tu rzeźbą pogórską. Taki podział biegu Raby zmienia powszechny pogląd o niej jako rzece w 80% położonej w górach, z podziałem równoleżnikowym na część beskidzką, pogórską i kotlinną. System korytowy Raby jest bardziej skomplikowany. Po krótkim odcinku beskidzkim (spadek 28,3‰) mamy w górnym biegu część pogórską (o spadku 6,3‰), następnie beskidzką o spadku 5,2‰ (2,5‰–8‰), pogórską (3,6‰ przed Zbiornikiem Wodnym Dobczyce, 2,3‰ poniżej zapory) i kotlinną ze spadkiem 1,1‰. Postawienie granicy między odcinkiem środkowym (pogórskim) a dolnym na ujściu Stradomki ma częściowe uzasadnienie w spadku; do ujścia spadek wynosi 1,7‰, a poniżej już tylko 0,6‰.

2.1.6. Użytkowanie terenu

Zlewnia Raby ma wybitnie rolniczy typ użytkowania, z wyraźną dominacją budownictwa wiejskiego nad miejskim ($\frac{2}{3}$ do $\frac{1}{3}$) (Soja, Zborowski 2000). Obszar ten cechuje się słabym poziomem wzrostu procesów urbanizacji (Zborowski 1992). Struktura użytkowania zlewni potwierdza jej rolniczy charakter; grunty orne zajmują 40% powierzchni, lasy 35,6%, łąki 12%, a sady ok. 2% (Soja 2002). R. Soja (2002) ocenia stopień antropopresji w zlewni Raby na 1,31. Ta wypadkowa użytkowania, lesistości, melioracji i liczby mieszkańców stawia badany obszar poniżej średniej wyliczonej dla Karpat, która wynosi 1,73, przy czym widoczne jest równoleżnikowe zróżnicowanie nawiązujące do jednostek fizycznogeograficznych. Najmniejsza antropopresja występuje w środkowym biegu Raby w pasie Beskidów, średnia w Bramie Sieniawskiej i duża w części pogórskiej. Nawiązuje do

tego także lesistość zlewni Raby. W górnej części dominują użytki zielone i grunty orne. Dominacja lasów jest widoczna w części beskidzkiej, a zwłaszcza w zlewni Mszanki, na stokach Gorców czy stromych stokach Beskidu Wyspowego. W dolnej części zlewni jedynym zwartym obszarem leśnym jest fragment Puszczy Niepołomickiej (na podstawie CORINE Land Cover 2012). W terenie tym brakuje dużych obszarów zurbanizowanych. Małe miasta i większe miejscowości, takie jak: Rabka, Chabówka, Pcim, Myślenice czy Gdów, są położone w bezpośrednim sąsiedztwie Raby. Inne, takie jak Bochnia czy Dobczyce, leżą w większej odległości. Wszystkie one wywierają znaczną presję na zagospodarowanie dna doliny i funkcjonowanie koryta rzeki. Znaczna antropopresja na koryto Raby wynika z „tranzytowości” jej doliny. Najważniejsza trasa to droga krajowa nr 7, tzw. zakopianka biegnąca doliną Raby na odcinku Myślenice–Lubień (42 km); presja tej drogi jest widoczna także w Chabówce. Druga droga (nr 28) „towarzyszy” Raby od Mszany do Rabki. W dolinie Raby, w odcinku o długości 35 km, często w bezpośrednim sąsiedztwie koryta, poprowadzono w XIX wieku dwa odcinki kolei: pierwszy z nich to fragment Galicyjskiej Kolei Transwersalnej z 1884 roku (linia kolejowa nr 104 biegnąca z Chabówki przez Mszanę do Nowego Sącza), a drugi łączy Chabówkę (przez Sieniawę) z Zakopanym (linia nr 99, z 1899 roku) (<http://www.parowozy.pl>).



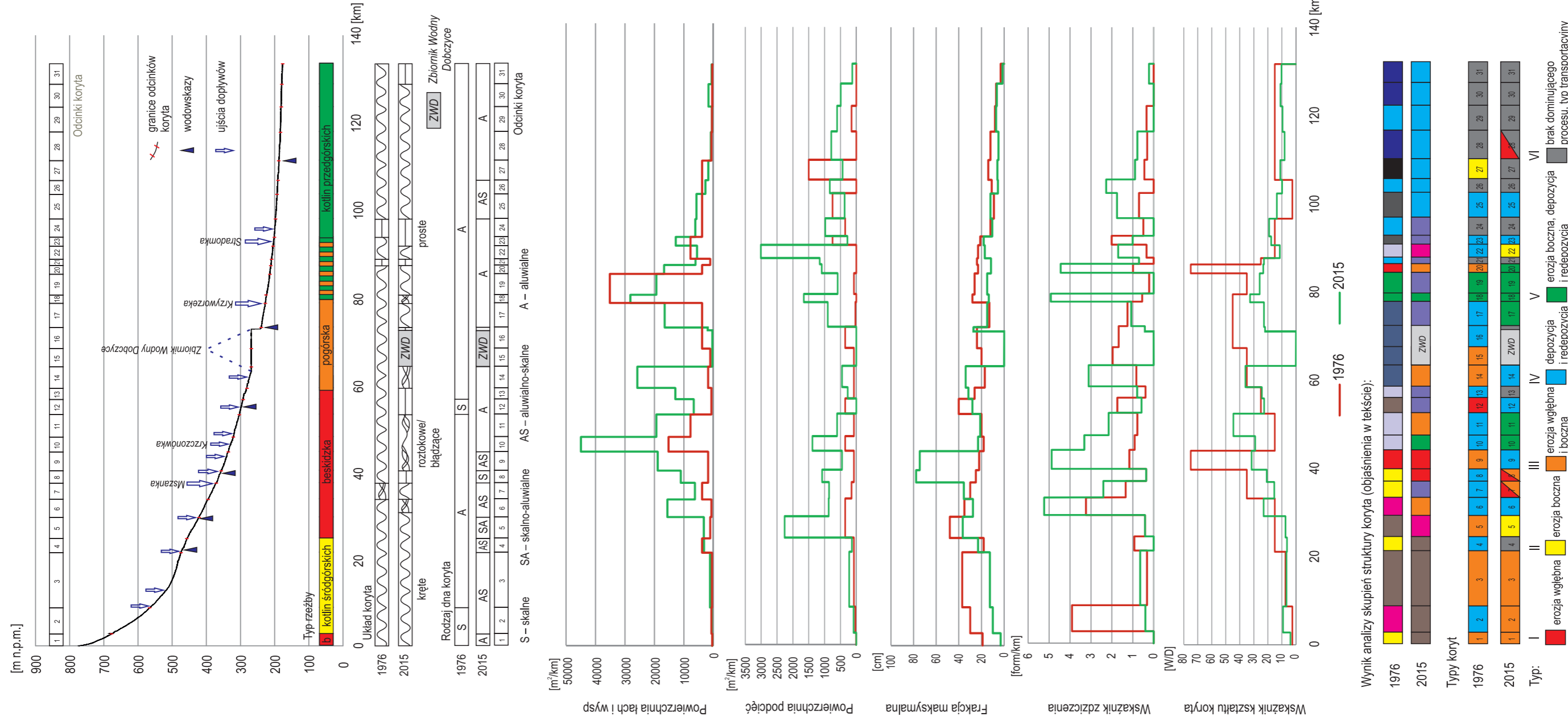
*Pod rozmaitymi imionami was tylko sławiłem, rzeki!
Wy jesteście i miód, i miłość, i śmierć, i taniec.
Od źródła w tajemnych grotach bijącego
spośród omszałych kamieni,
Gdzie bogini ze swoich dzbanów nalewa
wodę żywą...*
(Cz. Miłosz, Rzeki)

2.2. Struktura koryta Raby

Struktura koryta Raby jest bardzo zróżnicowana i wynika zarówno z uwarunkowań przyrodniczych (zróżnicowana budowa geologiczna i rzeźba terenu), jak i z antropopresji w zlewni i bezpośrednio w korycie. W jej korycie występuje szeroki inwentarz form korytowych typowych dla żywodennych rzek karpackich. Charakterystyka struktury koryta Raby przedstawiona zostanie z podziałem na 31 odcinków morfodynamicznych, wyróżniających się dominującymi procesami fluwialnymi i podobną strukturą wewnętrzną (ryc. 4, 5). Podział ten jest efektem kartowania z 1976 roku. Strukturę koryta w 2015 roku przedstawiono w tych samych granicach odcinków, co pozwoli na porównanie struktury koryta w blisko 40-letnim odstępie czasowym.

Koryto Raby o długości 131,7 km generalnie przebiega z SW na NE. Część źródłowa i część beskidzka ma odcinki o odmiennym przebiegu: z SE na NW (ryc. 2). Szerokość równiny zalewowej wzrasta z biegiem rzeki i w biegu górnym osiąga maksymalnie 150–200 m, w odcinku środkowym, beskidzkim, średnio do 500 m, a w odcinku pogórskim i częściowo kotlinowym 1000 m i więcej. W dolnym, „kotlinnym”, odcinku strefa równiny zalewowej potencjalnie jest bardzo szeroka, ale ze względu na znaczne wcięcie koryta i obwałowania trudno dziś ocenić jej rozmiary.

Profil podłużny koryta Raby charakteryzuje się zróżnicowanym przebiegiem. W górnym biegu rzeki profil koryta jest wklęsło-wypukły (ryc. 4). We wklęsłym źródłowym odcinku koryta średni spadek wynosi 28‰,



Ryc. 5. Struktura koryta Raby w roku 1976 i 2015

2.2.1. STRUKTURA KORYTA RABY W LATACH 1976 I 2015

a w odcinku wypukłym ok. 6‰. Wyraźna wypukłość w odcinkach koryta 3–7 nawiązuje do uwarunkowań wynikających z rzeźby terenu; występuje tu obniżenie Kotliny Rabki. Odrębność górnego odcinka Raby w stosunku do reszty profilu podkreśla wyrównany profil podłużny koryta dopływu Raby, jakim jest Mszanka (ryc. 4). Gdyby Mszanka była górnym odcinkiem Raby, moglibyśmy określić profil całego koryta Raby jako wyrównany. Jest to przesłanka do potencjalnego uznania Mszanki za odcinek źródłowy Raby; jej źródła są położone o ponad 400 m wyżej w stosunku do Raby, charakteryzuje się też większą energią (średni spadek 18,2‰) i niesie więcej wody niż górna Raba. Górna Raba do ujścia Mszanki jest niewątpliwie dłuższa, ale cechuje się znacznie mniejszą energią. Koryto Raby do ujścia Mszanki ma niewielki spadek oraz kręty i lokalnie wielonurtowy przebieg. Niewielką energię górnej Raby potwierdza także duży udział frakcji piaszczystej i drobnego żwiru w rumowisku korytowym (fot. 1A).

Znaczącym zakłóceniem profilu podłużnego koryta Raby jest Zbiornik Wodny Dobczyce. Przed zbiornikiem jaz i korekcja stopniowa w odcinku 13 i początku 14 są przyczyną schodkowego przebiegu profilu. Niewielkie wypukłości w profilu powyżej zbiornika wynikają z dość dużych stref akumulacji rumowiska w korycie. Spadek w odcinku od ujścia Mszanki do cofki zbiornika wynosi niewiele ponad 4‰. Poniżej zbiornika profil jest wyrównany, z niewielką wypukłością w odcinku 18 i 19. Średni spadek poniżej zbiornika to 1,1‰ (ryc. 4).

2.2.1. Struktura koryta Raby w latach 1976 i 2015

W trakcie badań terenowych przeprowadzonych w 1976 i 2015 roku wyróżniono 31 odcinków koryta Raby. Charakteryzują się one względnie jednolitą strukturą, która odróżnia je od odcinków sąsiednich. Każdy odcinek został opisany przez 6 ilościowych cech morfometrycznych i morfostrukturalnych (ryc. 5). Porównanie tych cech pozwala odnaleźć odcinki podobne do siebie. Aby zobiektywizować procedurę grupowania odcinków koryta Raby, wykorzystano analizę skupień – jedną z analiz wielowymiarowych (Kaszowski, Krzemień 1999). Grupowanie wykonano oddzielnie dla dwóch

2.2. STRUKTURA KORYTA RABY

A.



B.



Fot. 1. Formy piaszczyste w korycie Raby, riplemarki (A – odc. 3, B – odc. 19)

zbiorów (1976 i 2015 roku) wskaźników morfometrycznych i morfostrukturalnych koryta Raby, takich jak: powierzchnia łąch i wysp na kilometr koryta, powierzchnia podcięć na kilometr koryta, wskaźnik zdziczenia (liczba łąch środkowych i wysp na kilometr koryta), frakcja maksymalna rumowiska korytowego oraz średnia szerokość i głębokość dla każdego odcinka koryta.

Analiza procedury aglomeracji przeprowadzonej dla struktury odcinków koryta Raby przed 40 laty (w roku 1976) pozwoliła wyodrębnić jedenaście skupień, grupujących podobne odcinki koryta (ryc. 6). Są to:

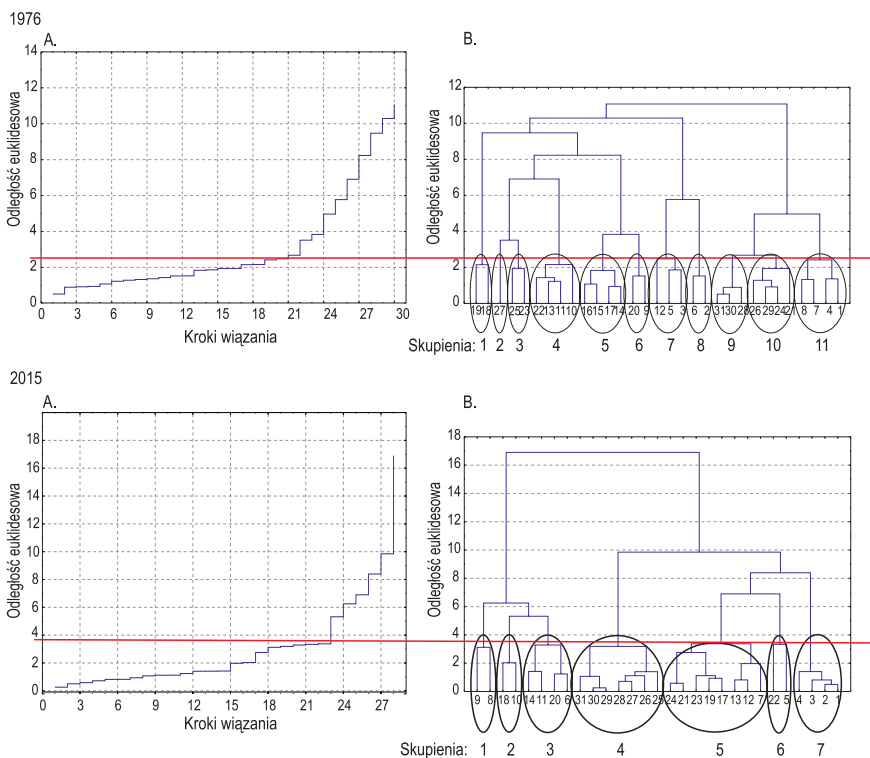
- klasa 1, obejmująca odcinki nr 18 i 19,
- klasa 2, obejmująca tylko jeden odcinek: nr 27,
- klasa 3, obejmująca odcinki nr 23 i 25,
- klasa 4, obejmująca odcinki nr 10, 11, 13 i 22,
- klasa 5, obejmująca odcinki nr 14, 15, 16 i 17 (odcinki 15 i 16 są współcześnie zalane przez wody Zbiornika Wodnego Dobczyce),
- klasa 6, obejmująca odcinki nr 9 i 20,
- klasa 7, obejmująca odcinki nr 3, 5 i 12,
- klasa 8, obejmująca odcinki nr 2 i 6,
- klasa 9, obejmująca odcinki nr 28, 30 i 31,
- klasa 10, obejmująca odcinki nr 21, 24, 26 i 29,
- klasa 11, obejmująca odcinki nr 1, 4, 7 i 8.

Wśród charakteryzowanych odcinków wyróżniają się te tworzące skupienie nr 9. Obejmuje ono dwa ujściowe odcinki (30 i 31) i odcinek nr 28. Skupienie to charakteryzuje się najmniejszą powierzchnią łąch i wysp (od 75 do 350 m²/km), brakiem podcięć, jak również najmniejszą frakcją maksymalną (od 3 do 12 cm w zależności od odcinka) oraz najniższym wskaźnikiem zdziczenia (ryc. 5, 6).

Podobnie skupienie nr 10 (odcinki 21, 24, 26 i 29) odznacza się małym wskaźnikiem zdziczenia i niską wartością frakcji maksymalnej, chociaż cechy te nie są tak silnie zaznaczone, jak w skupieniu nr 9 (ryc. 5, 6).

Wśród odcinków koryta leżących w dolnym biegu Raby w roku 1976 najbardziej wyróżniał się odcinek nr 27. Jest tak odmienny od pozostałych, że tworzy osobne skupienie jednoelementowe – nr 2 (ryc. 5, 6). W jego granicach występowała największa (1500 m²/km) powierzchnia podcięć.

2.2. STRUKTURA KORYTA RABY



Ryc. 6. Analiza skupień; A – wykres odległości wiązania względem etapów wiązania; B – diagram drzewa, Metoda Warda

Odnaczał się on również niewielką frakcją maksymalną materiału korytowego, podobnie jak odcinki przyległe.

Na tle pozostałych klas koryta Raby wyodrębnionych dla danych z 1976 roku wyróżnia się też skupienie nr 6 (odcinki 9 i 20) oraz 8 (odcinki 2 i 6) (ryc. 6).

Odcinki koryta zgrupowane w skupieniu nr 6 miały największą szerokość (65 i 94 m) oraz najmniejszą głębokość (śr. 0,8–0,9 m). Występowało tu też mało podcięć.

Odcinki koryta wchodzące w skład skupienia nr 8, położone w górnym biegu Raby, charakteryzowały się najmniejszą szerokością (4 i 18 m), ale i największym wskaźnikiem zdziczenia. Powierzchnia łąch i wysp

oraz frakcja maksymalna materiału korytowego były w ich obrębie duże w porównaniu z pozostałymi odcinkami Raby.

W 1976 roku największą powierzchnią (35 000 m²/km) charakteryzowały się łachy i wyspy powstałe w odcinkach koryta nr 18 i 19, zgrupowanych w skupieniu nr 1. Koryto Raby w tych odcinkach było też generalnie szerokie, płytkie i z małą powierzchnią podcięć.

Odcinki koryta zgrupowane w skupieniu nr 4 (odcinki: 10, 11, 13 i 22) cechują się największą głębokością (od 2,0 do 2,5 m).

Skupienie nr 7, skupiające odcinki nr 3, 5 i 12, charakteryzuje się największą maksymalną frakcją materiału korytowego (od 37 do 48 cm). Były to równocześnie odcinki dosyć wąskie, o małej powierzchni łach i wysp.

Pozostałe skupienia nie wyróżniały się na tle pozostałych (podobnie jak omówione już skupienie nr 10). Odcinki koryta zgrupowane w skupieniu nr 3 (odcinki: 23 i 25) charakteryzowały się dużą głębokością oraz małą frakcją maksymalną rumowiska i niewielką powierzchnią podcięć. Odcinki koryta ze skupienia nr 5 (odcinki: 14, 15, 16 i 17) charakteryzowały się w porównaniu z innymi dużą szerokością. Odcinki wchodzące w skład skupienia nr 11 (odcinki: 1, 4, 7 i 8), zlokalizowane w górnym i środkowym biegu Raby, charakteryzowało dość wąskie i płytkie koryto, z niewielką powierzchnią podcięć.

Współczesna struktura koryta Raby znacznie zmieniła się w porównaniu z warunkami zarejestrowanymi w trakcie kartowania w roku 1976. Analiza procedury aglomeracji przeprowadzonej dla struktury odcinków współczesnego koryta Raby (ryc. 5, 6) pozwoliła wyodrębnić siedem skupień – klas grupujących podobne odcinki koryta. Są to:

- klasa 1, obejmująca odcinki nr 8 i 9,
- klasa 2, obejmująca odcinki nr 10 i 18,
- klasa 3, obejmująca odcinki nr 6, 11, 14 i 20,
- klasa 4, obejmująca odcinki nr 25, 26, 27, 28, 29, 30 i 31,
- klasa 5, obejmująca odcinki nr 7, 12, 13, 17, 19, 21, 23 i 24,
- klasa 6, obejmująca odcinki nr 5 i 22,
- klasa 7, obejmująca odcinki nr 1, 2, 3 i 4.

Pod względem morfometrycznym i morfostrukturalnym najbardziej podobne do siebie są dwa odcinki leżące blisko ujścia Raby (nr 29 i 30).

Wchodzą one w skład skupienia nr 4, grupującego większość odcinków kotlinnych (począwszy od odcinka nr 25). Charakteryzuje je największa głębokość koryta (od 3,8 do 4,3 m) i najmniejsza wartość frakcji maksymalnej rumowiska (od 1,5 do 12,0 cm). Odcinki koryta Raby wchodzące w skład tego skupienia charakteryzują się też małym wskaźnikiem zdziczenia i średnio niewielką, chociaż zróżnicowaną powierzchnią łach (od 162 do 5472 m²/km) oraz podcięć (od 128 do 834 m²/km) (ryc. 5).

W porównaniu z rokiem 1976 struktura dolnego biegu Raby jest obecnie bardziej jednorodna. Odcinki koryta zaliczone współcześnie w skład skupienia nr 4 były w roku 1976 zgrupowane w 4 różnych klasach. Cecha morfostrukturalna, która niewiele zmieniła się w ciągu 40 lat, to frakcja maksymalna osadów korytowych, która w dolnym biegu Raby jest w dalszym ciągu najmniejsza. Największa zmiana dotyczy głębokości; w roku 1976 tylko niektóre odcinki dolnego biegu Raby charakteryzowały się większą niż przeciętnie głębokością, dziś zaś są one najgłębsze w całym biegu rzeki. Znacznie zmieniła się również struktura koryta w odcinku nr 27. W roku 1976 charakteryzował się on największą powierzchnią podcięć, natomiast współcześnie nie wyróżnia się pod tym względem na tle innych odcinków koryta.

Najbardziej jednorodne pod względem cech strukturalnych i morfometrycznych jest dziś skupienie nr 7, obejmujące 4 odcinki w górnym biegu Raby (ryc. 6). Charakteryzuje je średnio najmniejsza głębokość (od 1,50 do 1,93 m) i szerokość koryta (od 4,5 do 15,5 m), najmniejsza powierzchnia łach i wysp (od 30 do 2875 m²/km) oraz podcięć (od 0 do 223 m²/km), jak również najmniejszy wskaźnik zdziczenia. Wartości tych cech wzrastają wraz z biegiem rzeki, osiągając największe wartości w odcinku nr 4. Frakcja maksymalna materiału korytowego generalnie jest mała, nie przekracza 23 cm (ryc. 5).

W roku 1976 omawiane odcinki koryta nie tworzyły jednego skupienia, a mimo to również należały do najwęższych i charakteryzowały się małą powierzchnią łach i wysp. Odcinki nr 2 i 4 odznaczały się wtedy jednak znacznie większym wskaźnikiem zdziczenia niż dziś.

Pozostałe odcinki koryta, zgrupowane w 5 skupień, leżą w beskidzkiej i pogórskiej części dorzecza Raby. Inaczej niż odcinki wchodzące w skład

skupień nr 4 i 7, wyróżnione tam skupienia generalnie nie mają przestrzennej ciągłości (z wyjątkiem skupienia nr 1). Odcinki należące do różnych skupień „przeplatają się” ze sobą w tej części biegu rzeki.

Stosunkowo mało podobne do siebie pod względem struktury są odcinki koryta nr 8 i 9, tworzące skupienie nr 1, oraz odcinki nr 5 i 22, budujące skupienie nr 6 (ryc. 6). Tym, co wyróżnia odcinki 8 i 9 spośród pozostałych, jest zdecydowanie najwyższa maksymalna frakcja materiału korytowego (74,5 i 77,8 cm). Odcinki 5 i 22 z kolei charakteryzują się największą powierzchnią podcięć (2260,0 i 3011,5 m²/km) (ryc. 5).

W roku 1976 odcinki wchodzące w skład skupienia nr 1 nie wyróżniały się pod względem frakcji materiału korytowego, a odcinki skupione w klasie nr 6 – pod względem powierzchni podcięć.

Do skupienia nr 2 należą odcinki koryta nr 10 i 18. Wyróżnia je największy wskaźnik zdziczenia, największa szerokość koryta (132 i 135 m) oraz średnio największa, chociaż zróżnicowana, powierzchnia łąch i wysp (28 010 i 44 851 m²/km). W 1976 roku nie były one połączone w jednym skupieniu, ale oba charakteryzowały się bardzo dużą powierzchnią łąch i wysp środkowych. Odcinek nr 18 był zaś jednym z szerszych (choć nie najszerszym) z wyróżnionych odcinków koryta Raby.

Skupienie nr 3 grupuje odcinki koryta nr 6, 11, 14 i 20 (ryc. 6). Wyróżnia je wysoki wskaźnik zdziczenia, duża, chociaż zróżnicowana szerokość koryta (od 52 do 115 m) oraz duża powierzchnia łąch i wysp (od 15 346 do 25 654 m²/km). Współcześnie odcinki te nie są do siebie na tyle podobne pod względem morfometrycznym czy morfostrukturalnym, by były grupowane do jednego skupienia. Jedynym wyraźnym podobieństwem jest to, że odcinek nr 6 miał największy wskaźnik zdziczenia zarówno w roku 1976, jak i 2015.

Pozostałe odcinki koryta Raby zaliczono do skupienia nr 5 (8 odcinków) (ryc. 6). Ogólnie charakteryzujące je cechy morfometryczne i morfostrukturalne mają przeciętne lub zróżnicowane wartości. Tym, co wyróżnia je na tle innych odcinków, jest najmniejszy wskaźnik zdziczenia.

Analiza dendrogramu (ryc. 6) wskazuje ponadto, że 8 odcinków zgrupowanych w skupieniach nr 1, 2 i 3 najbardziej różni się od pozostałych. Są one średnio najszerze, mają największą powierzchnię łąch i wysp oraz odznaczają się największym wskaźnikiem zdziczenia.

2.2. STRUKTURA KORYTA RABY

Podsumowując analizę tendencji w zmianach struktury koryta Raby między rokiem 1976 a 2015, można stwierdzić, że jego współczesna struktura jest bardziej uporządkowana niż ta sprzed 40 lat. Wskazuje na to mniejsza liczba wydzielonych skupień w 2015 roku w porównaniu z rokiem 1976 oraz to, że pierwsze wiązania tworzą się przy niższych wartościach odległości euklidesowej, czyli są do siebie bardziej podobne (ryc. 6). Skupienia odcinków koryta Raby wyróżnione w roku 2015 znacznie różnią się od tych z 1976 roku, co może wskazywać na znaczne zmiany struktury koryta. Podobieństwa są niezbyt liczne i dotyczą raczej pojedynczych odcinków, a nie całych skupień. W odniesieniu do skupień dotyczą one jedynie skupienia odcinków koryta w ujściowym biegu rzeki (nr 9 i 8 w 1976 roku i nr 4 w 2015 roku), w których stwierdzono najmniejsze maksymalne wartości frakcji materiału korytowego. Niewielka zmienność niektórych cech morfometrycznych i morfostrukturalnych dotyczy też odcinków koryta w górnym biegu rzeki (nr 1–4). Odcinki nr 10 i 18 w dalszym ciągu charakteryzują się jedną z największych powierzchniach i wysp środkowych, a odcinek nr 6 w trakcie obu kartowań odznaczał się największym wskaźnikiem zdziczenia. Współcześnie jedynie odcinek koryta nr 2 i 6 ma nieco podobne cechy, jak w 1976 roku. Odcinek nr 2 w dalszym ciągu jest jednym z najwęższych w korycie Raby, zaś odcinek nr 6 odznacza się jednym z największych wskaźników zdziczenia.

Przedstawiona powyżej analiza skupień wskaźników morfometrycznych i morfostrukturalnych koryta Raby, rozszerzona o analizę układu koryta każdego odcinka oraz rodzaju dna, pozwoliła na wydzielenie w 31-odcinkowym systemie korytowym Raby 6 typów koryt, które charakteryzują się określoną dominującą funkcją i procesami (ryc. 5): Typ I – erozji wgłębnej; II – erozji bocznej; III – erozji wgłębnej i erozji bocznej; IV – depozycji i redepozycji; V – erozji bocznej, depozycji i redepozycji, VI – transportacyjny (brak dominującego procesu).

2.2.2. Typologia koryta Raby w 1976 roku

Najczęściej występującym typem w strukturze koryta Raby w 1976 roku były odcinki o podobnej funkcji z depozycją i redepozycją oraz z erozją

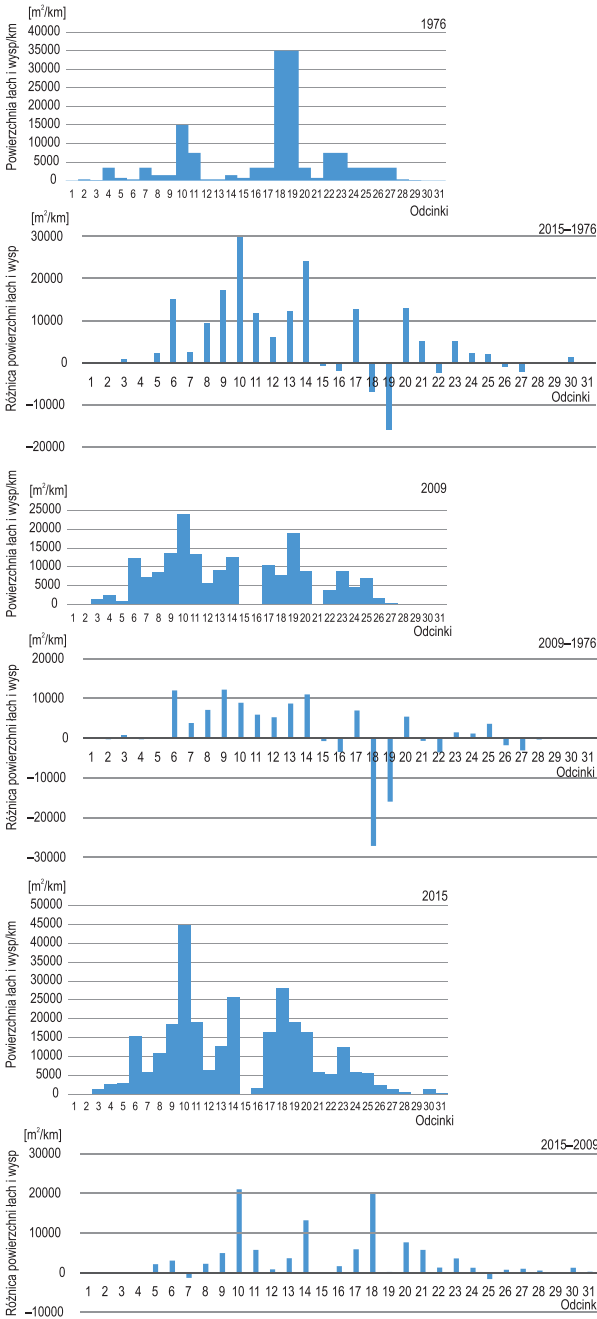
boczną z depozycją i redepozycją (ryc. 5). Odpowiednio typ IV i V stanowi 39,2 i 5% długości koryta Raby. Udział koryt z erozją boczną i wgłębną był także znaczny: 26,7% długości koryta Raby – typ III. Dużym udziałem, 23% długości koryta, charakteryzował się także typ VI – transportacyjny. Udział typu koryta I i II w 1976 roku był nieznaczny (ryc. 5). Typ koryta depozycyjno-redepozycyjny i typ depozycyjno-redepozycyjny z erozją boczną cechują się największą powierzchnią łach, dużą powierzchnią podcięć, zróżnicowanymi i zwykle dużymi wartościami wskaźnika W/D. Dominują tu łachy boczne, formy środkowe są zwykle mniej liczne niż w innych typach, ale cechują się znacznymi powierzchniami (patrz wskaźnik zdziczenia). W korycie typu IV i V (odcinki: 10, 11, 18, 19, 22 i 23) zdeponowane zostało 73% materiału rumowiskowego budującego łachy w korycie Raby (ryc. 5, 7; fot. 2). W połowie lat 70. XX wieku typ koryta II – erozji wgłębnej i erozji bocznej – występował w górnym biegu i w przełomowych odcinkach koryta Raby. Jego cechą charakterystyczną jest lokalne występowanie progów, ostróg i podłóg skalnych w korycie. Typ II i III cechuje się niewielką powierzchnią łach i dość dużym wskaźnikiem zdziczenia, co świadczy o występowaniu licznych łach środkowych i wysp, ale o bardzo małej powierzchni. Odcinki transportacyjne koncentrują się głównie w dolnym biegu Raby, ich funkcji sprzyja to, że są to odcinki obwałowane i wyprostowane przez regulacje (ryc. 5).

Prawie 91% długości koryta Raby w latach 70. XX wieku było aluwialne (poza trzema odcinkami), w przeważającej części kręte (93% długości), z pojedynczym odcinkiem koryta wielonurtowego i dwoma odcinkami koryta prostego (ryc. 5).

Rumowisko korytowe Raby w 1976 roku

Informacje dotyczące rumowiska korytowego w czasie kartowania koryta Raby w 1976 roku ograniczały się do określenia frakcji dominującej i frakcji maksymalnej. W prawie całym korycie dominowała frakcja żwirowa, wyjątkiem są odcinki nr 28–31 w ujściowym biegu Raby, gdzie dominowała frakcja piaszczysta. Także w górnym biegu Raby rumowisko w odcinkach nr 1 i 3 składało się głównie z piasku i drobnych żwirów (2–20 mm). Drobne żwiry, o frakcji do 20 mm, dominowały także

2.2. STRUKTURA KORYTA RABY



Ryc. 7.
Charakterystyka
powierzchni łąk
i wysp w korycie
Raby w latach
1976, 2009 i 2015

A.



B.



Fot. 2. Wielonurtowe odcinki koryta Raby (odc. 10, 11)

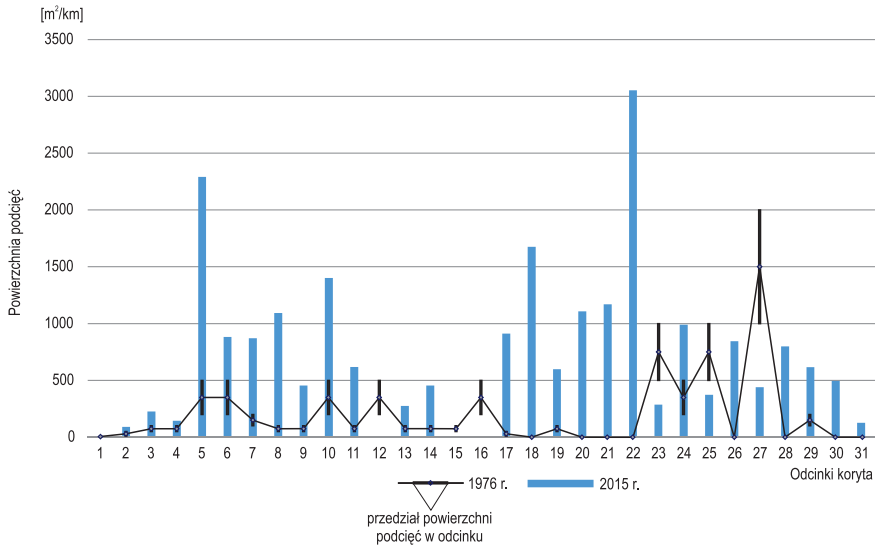
2.2. STRUKTURA KORYTA RABY

w odcinkach koryta nr 2, 9, 12, 26 i 27. Pełen przedział frakcji żwirowej (2–64 mm) stwierdzono prawie we wszystkich odcinkach „kotlinnych”, natomiast w odcinku górskim i pogórskim dominowały grube żwiry (20–64 mm).

W profilu podłużnym koryta Raby maksymalna frakcja rumowiska wykazuje generalnie tendencję malejącą, choć zaznacza się wyraźny wzrost wielkości rumowiska przy ujściu każdego większego dopływu beskidzkiego. W biegu górnym i środkowym Raby wartości frakcji maksymalnej rumowiska są do siebie zbliżone; najczęściej między 20–40 cm, maksymalnie 50 cm w 5. odcinku. W biegu dolnym rzeki maksymalna frakcja rumowiska korytowego osiąga wartości niższe, ok. 20 cm (ryc. 5).

2.2.3. Typologia koryta Raby w 2015 roku

W strukturze koryta Raby w 2015 roku trudno doszukać się dominującego typu. Struktura jest zróżnicowana i dopasowana do lokalnych warunków w odcinkach beskidzkich i pogórskich, znacznie bardziej ujednoczona w obrębie kotlin śródgórskich i przedgórskich. Do najliczniejszych (12 odcinków; 35,5% długości koryta) należą typy koryta IV i V z depozycją i redepozycją oraz erozją boczną, depozycją i redepozycją (ryc. 5). Typ koryta IV i V charakteryzuje się dużą depozycją, znajduje się tu ponad 70% powierzchni łańc całego systemu korytowego Raby. Koryto tego typu cechuje się najwyższymi wartościami wskaźnika zdziczenia i kształtu koryta oraz stosunkowo wysokimi wartościami powierzchni podcięć (ryc. 7, 8, 9; fot. 2). Ten typ koryta tworzy w całym systemie Raby dwa skupiska: jeden duży powyżej, a drugi mniejszy poniżej Zbiornika Wodnego Dobczyce. Podobny udział mają koryta transportacyjne (typ VI – 34,5% długości koryta Raby). Typ ten występuje najczęściej w granicach obszarów zurbanizowanych oraz w korytach uregulowanych i obwałowanych. Odcinki z erozją wglębną i boczną (typ III) koncentrują się w górnym biegu Raby, zajmują ok. 27% długości koryta rzeki (ryc. 5, 7). W tym typie, obok koryt o krętym przebiegu z podcięciami bocznymi, licznie występują też odcinki koryta z formami skalnymi, takimi jak progi, wychodnie, ostrogi skalne czy dno skalne. Koryto generalnie jest



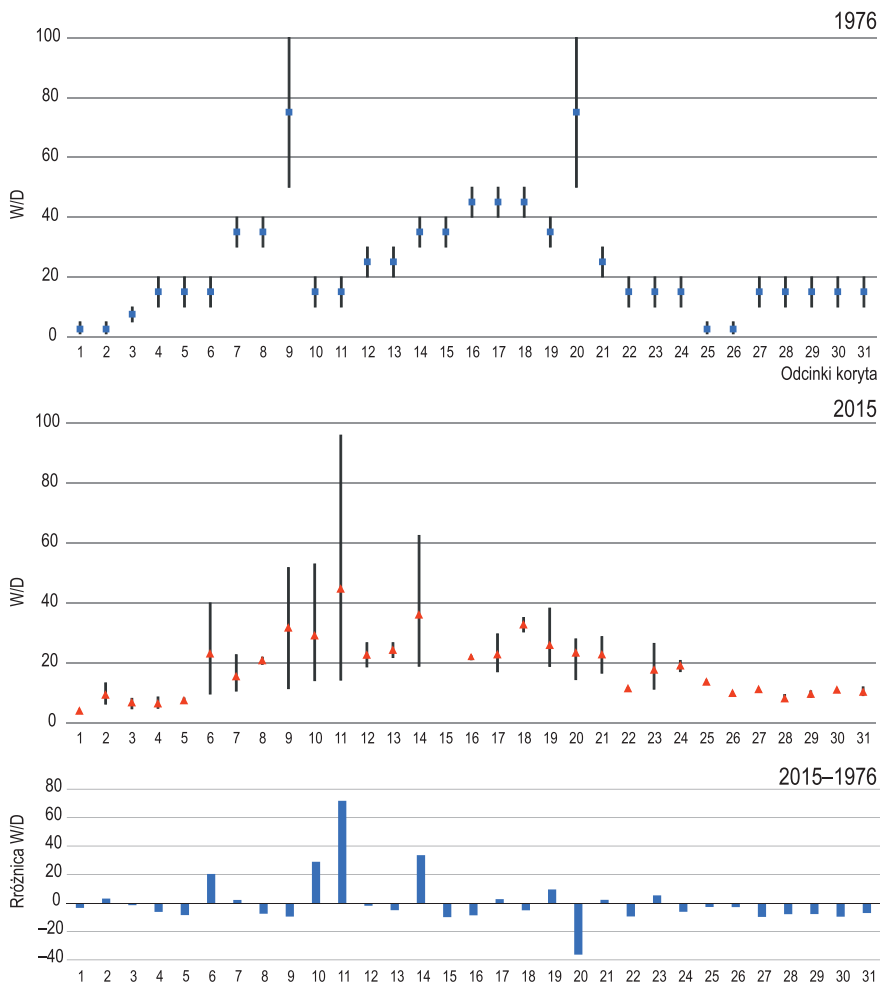
Ryc. 8. Charakterystyka podcięć w korycie Raby w latach 1976 i 2015

aluwialno-skalne i skalno-aluwialne, występujące tu łachy mają niewielką miąższość i są zdeponowane często bezpośrednio na skalnym dnie. Typ II erozji bocznej występuje tylko w dwóch odcinkach 5 i 22 (ryc. 5).

Układ koryta Raby jest jednolity tylko w biegu górnym i dolnym, ma ono tu głównie przebieg kręty. W biegu środkowym jest on bardzo zróżnicowany, gdyż sąsiadują tu ze sobą koryta wielonurtowe (roztokowe), proste i kręte.

Koryto w biegu dolnym rzeki i częściowo w środkowym jest aluwialne. W górnym i częściowo środkowym dominują odcinki skalne i skalno-aluwialne (ryc. 5). Występują tam powszechnie formy skalne, łachy są niewielkie i o małej miąższości (rzędu 20–30 cm). W odcinkach koryta aluwialno-skalnych, w dnie koryta czy w podcięciach brzegowych lokalnie widoczne są wychodnie, ale miąższość żwirów na łachach oraz w dnie jest zwykle większa, powyżej 0,5 m (np. odcinek nr 6).

2.2. STRUKTURA KORYTA RABY



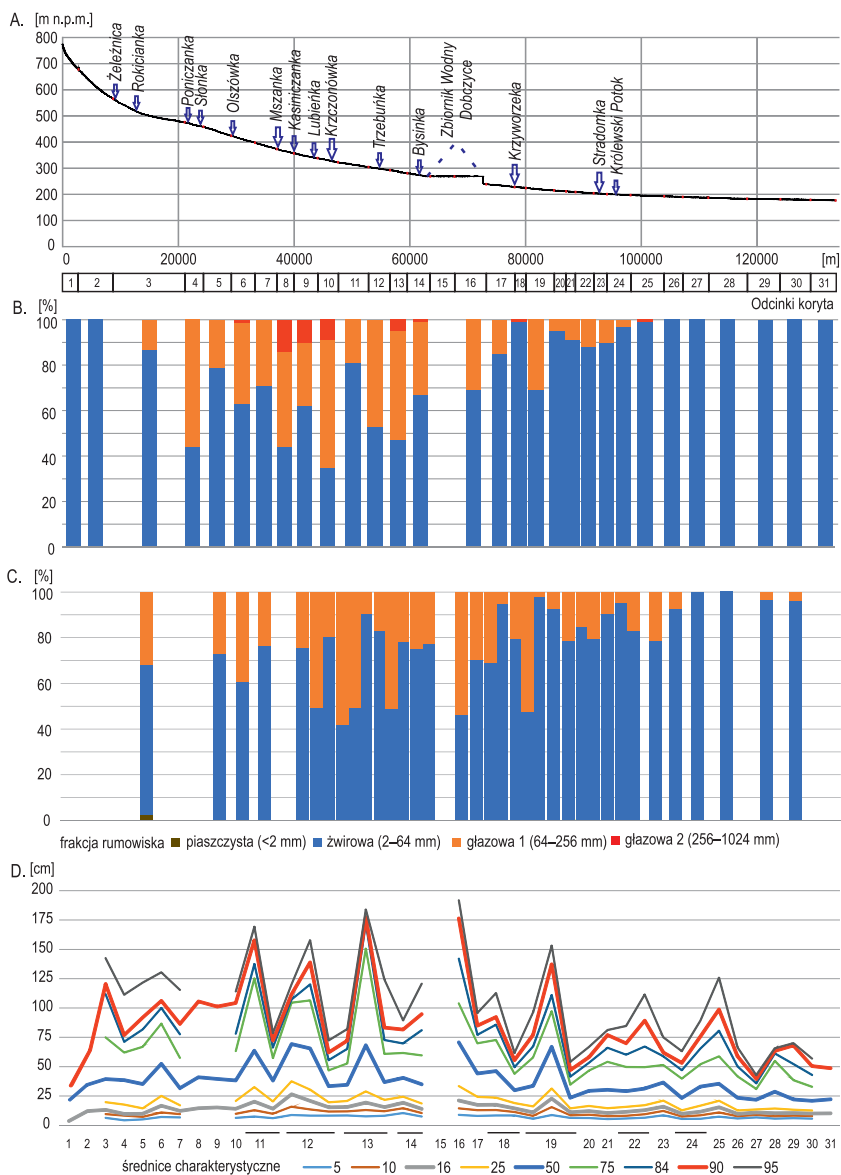
Ryc. 9. Wskaźnik W/D koryta Raby w roku 1976 i 2015

Rumowisko korytowe Raby w 2015 roku

W materiale rumowiskowym koryta Raby dominuje frakcja żwirowa (2–64 mm), której zawartość stanowi od 35 do 100% próby wg metody Wolmana (Wolman 1954) i od 43 do 100% wg metody fotograficznej (ryc. 10). Frakcja żwirowa dominuje w dwóch pierwszych odcinkach biegu górnego Raby i generalnie w biegu dolnym, w części „kotlinnej”. Drugą powszechnie występującą, zwłaszcza w biegu górnym i środkowym, jest frakcja gładowa (64–256 mm). Dowiazuje to do największej powierzchni podcięć bocznych w tych odcinkach oraz dostawy rumowiska z licznych dopływów w górnym i środkowym biegu Raby. Frakcja gładowa 1 rumowiska (64–256 mm) stanowi maksymalnie od 3 do 56% próby wg metody Wolmana i od 3 do 57% wg metody fotograficznej (ryc. 10). Frakcja gładowa 2 rumowiska (256–1024 mm) została zarejestrowana tylko podczas pomiaru metodą Wolmana. Rumowisko frakcji gładowej zarejestrowano w 8 odcinkach w biegu górnym i środkowym. W czterech z nich jest to zaledwie 1%. Najwięcej rumowiska frakcji gładowej 1 zarejestrowano w odcinkach 8, 9, 10 i 3 – od 5 do 14% (ryc. 10). Metoda fotograficzna pozwoliła na wychwylenie materiału frakcji piaszczystej w powierzchniowej warstwie rumowiska. Są to wartości minimalne, do 3%. Frakcja piaszczysta została stwierdzona podczas badań terenowych jako powszechnie występująca w odcinku nr 3, charakteryzującym się niewielkim spadkiem i niską energią. W odcinkach ujściowych 29–31 obok frakcji piaszczystej występuje także drobniejsza, pyłasta i ilasta. W odcinkach poniżej Zbiornika Wodnego Dobczyce stwierdzono formy akumulacyjne drobnego materiału, tzn. smugi (cienie) piaszczyste na łachach korytowych i wały piaszczyste na równinie zalewowej (fot. 1B).

W profilu podłużnym koryta Raby w 2015 roku maksymalna frakcja rumowiska wykazuje generalnie tendencję rosnącą, od biegu górnego do środkowego, a następnie frakcja rumowiska maleje. Zaznacza się wyraźny wzrost wielkości rumowiska przy ujściu każdego większego dopływu beskidzkiego, a zwłaszcza poniżej ujścia Mszanki. W biegu górnym i dolnym wartości rumowiska frakcji maksymalnej są do siebie zbliżone, najczęściej między 10 a 20 cm. W biegu dolnym maksymalna frakcja rumowiska osiąga wartości znacznie niższe, poniżej 10 cm. W biegu środkowym,

2.2. STRUKTURA KORYTA RABY



Ryc. 10. Charakterystyka rumowiska korytowego Raby w 2015 roku; A – profil podłużny koryta Raby, B – skład frakcyjny rumowiska koryta Raby (metoda Wolmana), C – skład frakcyjny rumowiska koryta Raby (metoda fotograficzna), D – średnice charakterystyczne rumowiska korytowego

beskidzkim, frakcja rumowiska osiąga wartości pomiędzy 20 a 40 cm. Wyjątkiem są tu dwa odcinki (8 i 9) poniżej ujścia Mszanki, gdzie wartości te wzrastają do prawie 80 cm (ryc. 5).

Analiza 36 fotografii przedstawiających powierzchniową nienaruszoną warstwę rumowiska korytowego pozwoliła na wyliczenie średnic charakterystycznych, na podstawie których określono wskaźniki charakteryzujące skład frakcjonalny rumowiska dla prób powierzchniowych (Gradziński, Kostecka 1976). Wyliczono wskaźniki wysortowania wg Hazena i Traska, wskaźnik różnoziarnistości wg Knoroza, współczynnik dominacji i odchylenie standardowe krzywej uziarnienia. Za dobrze wysortowany uważany jest osad składający się z jednej klasy frakcji uziarnienia, np. piasku lub żwiru. O dobrym wysortowaniu i małej różnoziarnistości materiału świadczą następujące wartości:

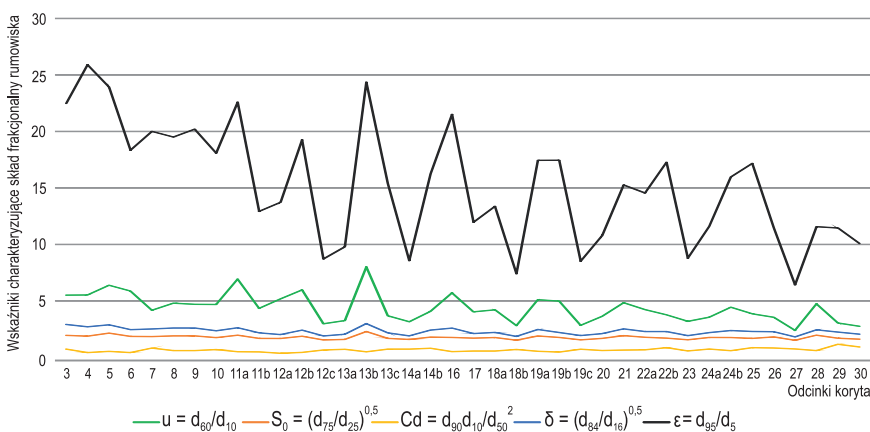
- stopień wysortowania wg Hazena $u < 5$ (< 5 rumowisko jednofrakcyjne, $5 \div 15$ kilkufrakcyjne)
- stopień wysortowania wg Traska; $S_0 = 1$ – jednorodne uziarnienie; $S_0 < 2,5$ – dobre wysortowanie; $S_0 > 4,5$ – złe wysortowanie
- wskaźnik różnoziarnistości wg Knoroza $\varepsilon \leq 4 \div 5$
- wskaźnik jednostajności/dominacji wg Kollisa $Cd \cong 1$.

Analiza przebiegu zmian średnic materiału rumowiskowego budującego łachy pozwala stwierdzić, że w zakresie d_5 – d_{10} średnice rumowiska zawierają się w granicach od 4,3 mm do 15,5 mm, a wartości dla d_{16} nie przekraczają 26 mm (ryc. 10). Różnice średnic w tych zakresach nie są duże w całym biegu Raby. Zróżnicowanie średnic dla d_{25} jest widoczne w biegu górnym oraz środkowym i niewielkie w dolnym biegu Raby. Wielkość średnic d_{50} jest bardzo zróżnicowana w odcinkach od 1 do 19 i zawiera się między 22 mm a 70,7 mm, natomiast średnice w odcinku dolnym są mniej zróżnicowane i przyjmują odpowiednio wartości od 20,8 do 36,45 mm. Duże różnice pojawiają się dla średnic od d_{75} do d_{95} . Zaznacza się podział między biegiem górnym i środkowym, gdzie jest większe zróżnicowanie i większe wartości średnic materiału rumowiskowego, oraz dolnym, gdzie to zróżnicowanie jest nawet dwukrotnie mniejsze. Dla d_{90} w odcinkach od 3 do 19 wartości te kształtują się od 62,04 do 177,28 mm. W dolnym biegu Raby wartość średnicy charakterystycznej d_{90} wynosi od 39,34 do 98,71 mm.

2.2. STRUKTURA KORYTA RABY

Główne wskaźniki uziarnienia pozwalają na scharakteryzowanie materiału dennego ze względu na jego wysortowanie, różnoziarnistość oraz dominację frakcji. Materiał korytowy w górnym i środkowym biegu Raby (odcinek nr 3–19) charakteryzuje się stosunkowo słabym wysortowaniem ($u = 3,0-8,0$; $S_0 = 1,5-2,3$) i dużą różnoziarnistością ($\varepsilon = 8,5-24,4$), a wartość odchylenia standardowego (σ) wynosi od 1,9 do 3,0. Cecha dominacji (Cd) zmienia się w przedziale od 0,4 do 0,8. Tak duże różnice pomiędzy wartościami poszczególnych wskaźników mogą świadczyć o transporcie wszystkich frakcji rumowiska dennego podczas wezbrań (ryc. 11).

W dolnym biegu rzeki (odcinek nr 20–30) materiał rumowiskowy koryta Raby charakteryzuje się lepszym wysortowaniem ($u = 2,4-4,8$, $S_0 = 1,5-1,9$), zmniejszył się także znacząco wskaźnik różnoziarnistości ($\varepsilon = 6,4-17,3$). W wielu próbach wzrósł wskaźnik jednostajności (dominacji) – do wartości 1,0 ($Cd = 0,6-1,2$), co świadczy o bardziej jednorodnym rumowisku. Odchylenie standardowe przyjmuje wartość od 1,8 do 2,5. Mniejszy spadek podłużny i brak dostawy rumowiska grubofrakcyjnego z podcięć erozyjnych i dopływów w dolnym biegu Raby ma istotny wpływ zarówno na intensywność transportu materiału dennego, jak i na wielkość ziaren transportowanych w takich warunkach hydrodynamicznych.



Ryc. 11. Wskaźniki charakteryzujące skład frakcyjny rumowiska dla prób powierzchniowych

Przedstawione wielkości wskaźników świadczą o tym, że powierzchnie łąch charakteryzują się dobrze wysortowanym rumowiskiem w dolnym i częściowo środkowym biegu Raby, co ma związek ze stopniowym zmniejszaniem się wskaźnika różnoziarnistości i oscylowaniem blisko wartości 1,0 wskaźnika dominacji. Znacznie większym zróżnicowaniem warunków hydrodynamicznych cechuje się odcinek górny i częściowo środkowy. Wysortowanie jest znacznie słabsze, większe jest też zróżnicowanie frakcjonalne, o czym świadczą wysokie wskaźniki różnoziarnistości (ryc. 11).

2.2.4. Porównanie struktury koryta Raby w latach 1976 i 2015

Współcześnie powierzchnia łąch jest dwukrotnie większa w stosunku do tej z lat 70. XX wieku, a podcięć trzykrotnie większa (tab. 1; ryc. 5, 7, 8). Przyrost powierzchni łąch w okresie 1979–2015 jest znaczący dla prawie wszystkich odcinków. Wśród nich wyróżniają się dwa: nr 18 i 19, które w latach 70. XX wieku gromadziły 230 tys. m² rumowiska budującego łąchy, co stanowiło wówczas 44% całej powierzchni łąch w korycie Raby (ryc. 7). Są to odcinki na pograniczu Pogórza i Kotliny Sandomierskiej. Drugą strefą depozycji w 1976 roku był odcinek beskidzki Raby (m.in. odcinki 10 i 11). Współcześnie największa depozycja występuje w tych samych odcinkach, co w latach 70. XX wieku, ale obecnie są to dłuższe strefy, obejmujące więcej odcinków koryta Raby. Po wybudowaniu na Rabie Zbiornika Wodnego Dobczyce w latach 80. XX wieku pojawiła się jeszcze jedna strefa akumulacji w odcinku koryta powyżej cofki (ryc. 5, 7).

Tabela 1. Powierzchnia łąch i podcięć w korycie Raby

Formy	Powierzchnia łąch [m ²]	Powierzchnia podcięć [m ²]
1976	521 261 (715 955 – wartość maksymalna)	26 107 (35 746 – wartość maksymalna)
2009	712 080	brak danych
2015	1 057 447	83 222

Miarą erozji bocznej jako wskaźnika migracji bocznej i rozwoju rzeki roztokowej czy meandrującej są podcięcia (ryc. 5, 8). **Największa powierzchnia podcięć występuje w biegu górnym i jest ona uwarunkowana cechami podłoża.** W latach 70. XX wieku najwięcej podcięć było w dolnym biegu Raby, w części „kotlinnej”. Nawiązywało to do XIX-wiecznej struktury koryta rzeki, które w odcinku „kotlinnym” było meandrowe. Współcześnie najwięcej podcięć jest w odcinkach beskidzkich i na pograniczu Pogórza i Kotliny Sandomierskiej. Obecny rozkład powierzchni podcięć w korycie Raby dowiązuje dość dobrze do koncentracji łąch w korycie Raby (odcinki nr 8, 10, 11, 17–20). Wyjątkiem są dwa odcinki, nr 5 i 22, o największej powierzchni podcięć na kilometr i z niewielką powierzchnią łąch (ryc. 5).

Uregulowane koryto Raby pod wpływem naturalnych procesów fluwialnych ulega obecnie stopniowemu poszerzaniu, lokalnie wzrasta też jego krętość i liczba nurtów (fot. 2). Wzrasta także ilość rumowiska dostępnego do transportu fluwialnego oraz liczba akumulacyjnych form korytowych, w tym także środkowych. Proces ten jest dobrze widoczny w odcinkach z wysokim wskaźnikiem kształtu koryta (W/D). Im wyższy wskaźnik, tym więcej łąch środkowych i wysp w korycie (ryc. 5, 7, 8, 9; Simon, Downs 1995; Brookes, Shields 1996). W latach 70. XX wieku ta zależność była mniejsza.

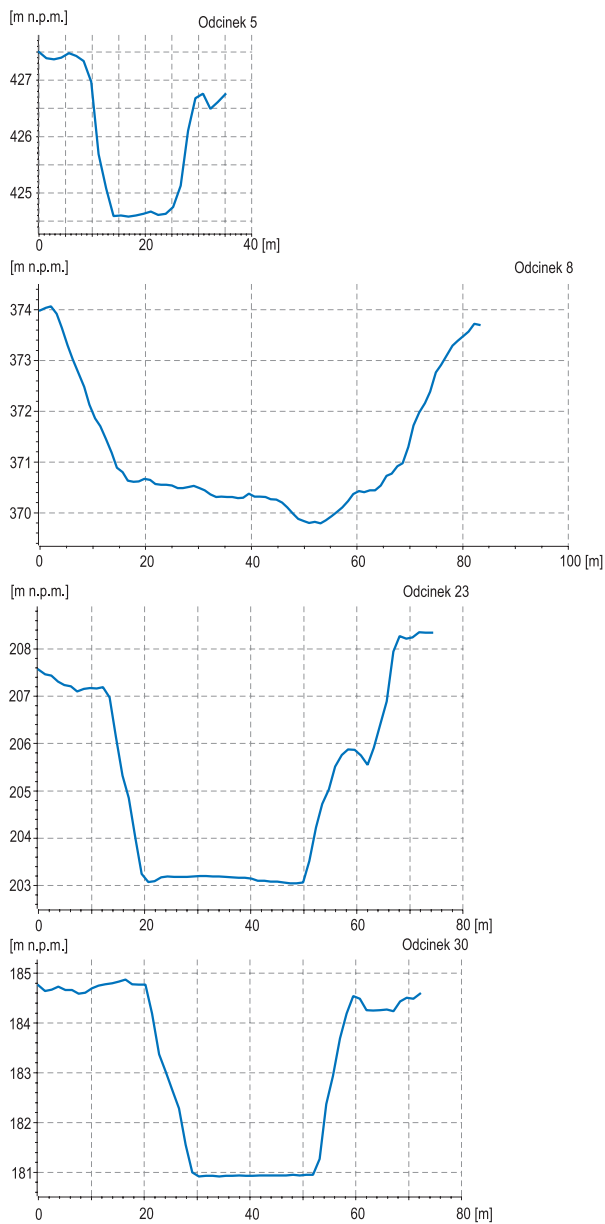
Wartość 40 wskaźnika W/D, tzn. stosunku szerokości brzegowej koryta do jego głębokości, dzieli odcinki na roztokowe i takie, które nie spełniają tego kryterium (Carson 1984). Wskaźnik kształtu koryta W/D w latach 70. XX wieku wskazuje na nieduże zróżnicowanie w obrębie odcinków (poza odcinkiem nr 9 i 20). Odcinki, które w 1976 roku spełniały wartość wskaźnika kształtu koryta dla rzek roztokowych, a więc można założyć, że były przynajmniej lokalnie wielonurtowe, to odcinki nr 9, 16–18 i 20. W roku 2015 rozrzut wartości tego wskaźnika w odcinkach jest znacznie większy. **W odcinkach koryta 9–11 i 14, dla których wskaźnik W/D przekracza wartość 40, występują jednocześnie pododcinki o bardzo niskich wartościach tego wskaźnika. To wskazuje na ich skomplikowaną strukturę; naprzemiennie występują wąskie erozyjne odcinki koryta i odcinki szerokie z dużą depozycją** (więcej informacji na ten temat w rozdziale 2.3.). Porównanie wartości wskaźnika kształtu w korycie Raby wskazuje na to,

że obecnie aż 21 odcinków jest węższych w stosunku do lat 70. XX wieku. Zwężenie najbardziej widać w odcinkach dolnego biegu rzeki, największemu zwężeniu i wcięciu uległ odcinek nr 20. Wzrost wielkości omawianego wskaźnika w porównaniu do pierwszego kartowania zaznaczył się w dziesięciu odcinkach koryta Raby. W czterech odcinkach (6, 10, 11, 14) są to wartości znaczące, wskazujące na istotne poszerzenie koryta w biegu górnym Raby (ryc. 5, 9; fot. 2).

Współczesna struktura koryta Raby, tak różna od tej w latach 70. XX wieku, wskazuje na wystąpienie w tym prawie 40-letnim okresie warunków, które znacząco wpłynęły na funkcjonowanie systemu korytowego. Obok warunków naturalnych, takich jak opady i wezbrania, równie istotne, jeśli nie ważniejsze, były uwarunkowania antropogeniczne. Do najważniejszych można zaliczyć regulacje koryta, wybudowanie zapory w Dobczycach i zmiany użytkowania zlewni (zwiększenie użytków zielonych i nieużytków kosztem gruntów ornych). **Między rokiem 1976 a 2015, był okres, kiedy w większości odcinków koryta Raby musiała dominować erozja wgłębna. Był to efekt dużego niedociążenia rumowiskiem koryta Raby.** Potwierdzeniem tego jest obecny wskaźnik kształtu, pogłębienie koryta, występowanie form skalnych, zniszczenia infrastruktury i regulacji powstałe wskutek erozji wgłębnej (ryc. 5). Współcześnie w wielu odcinkach koryta ta tendencja się odwraca w kierunku agradacji lub przynajmniej została zahamowana.

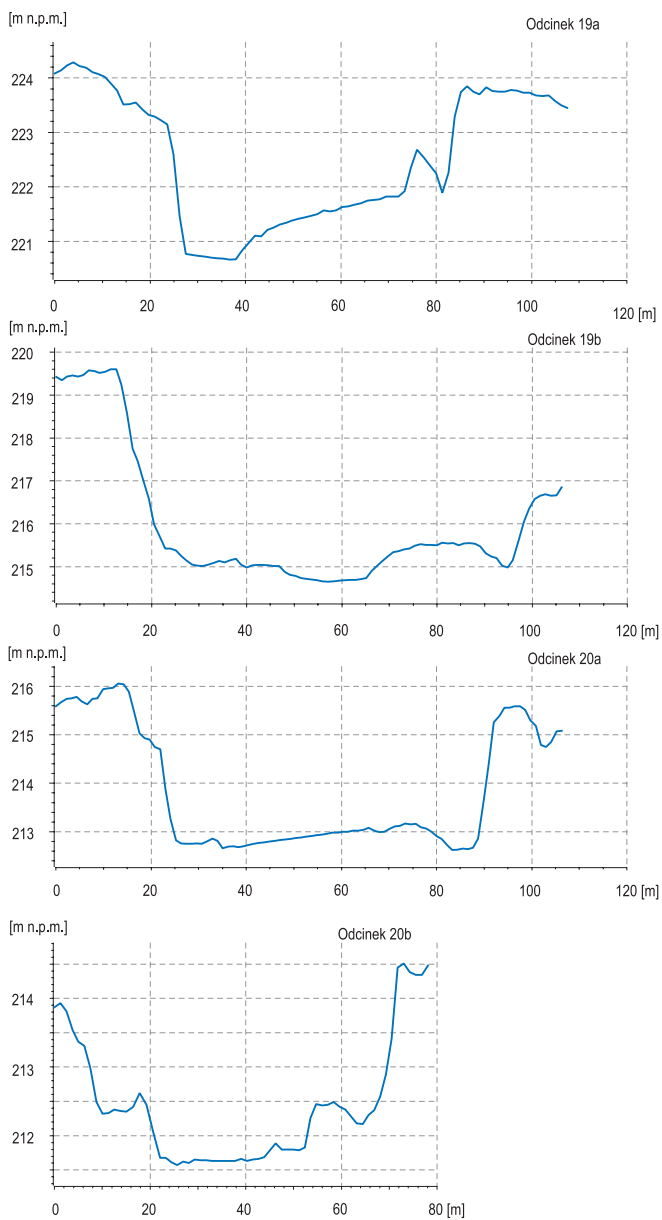
Właściwości podłoża, w którym wycięte jest koryto, oraz wynikające z tego warunki hydrodynamiczne warunkują kształt profilu poprzecznego koryta (ryc. 12, 13 i 14). Profil ten w odcinkach z dominującą erozją wgłębną to zwykle pojedyncze koryto o kształcie zbliżonym do trapezu lub prostokąta (ryc. 12). Odcinki koryta o takim profilu poprzecznym są najbardziej charakterystyczne dla górnego i dolnego biegu Raby. W przypadku koryt typu depozycyjno-redepozycyjnego z erozją boczną w profilu poprzecznym mamy zwykle od 2 do 4 nurtów o kształcie zbliżonym najczęściej do eliptycznego. Cały profil składa się z kilku elementów wklęsłych i wypukłych. W przypadku, gdy jeden z nurtów występuje w korycie głębiej wciętym, jego profil poprzeczny jest zbliżony do trapezowego (ryc. 14). Taki profil koryta występuje w odcinkach nr 6–14 i 18. Odcinki kręte koryta z erozją

2.2. STRUKTURA KORYTA RABY



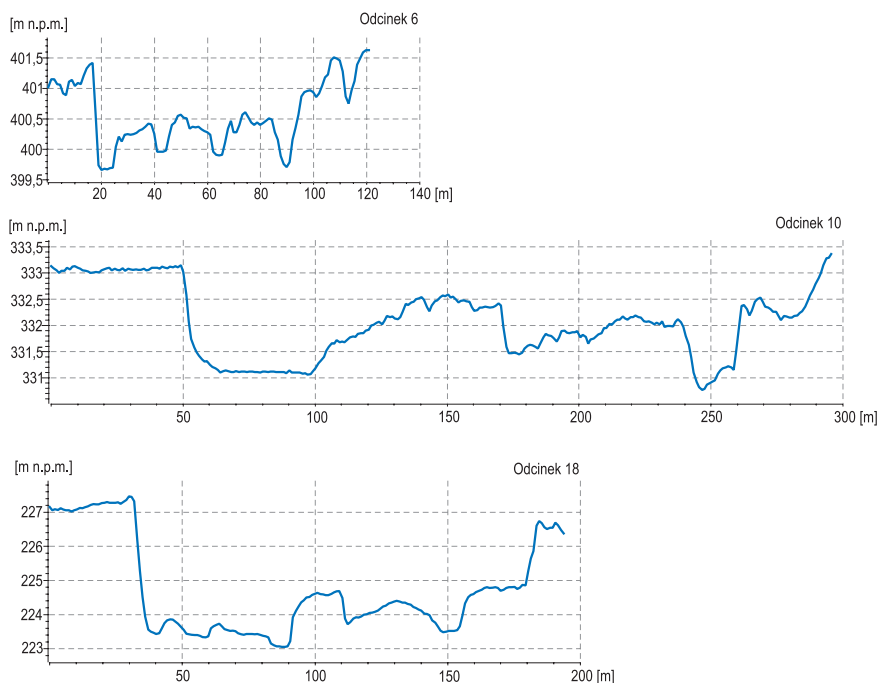
Ryc. 12. Profile poprzeczne odcinków koryta modelowanego przez erozję wgłębną

2.2.4. PORÓWNANIE STRUKTURY KORYTA RABY W LATACH 1976 I 2015



Ryc. 13. Profile poprzeczne odcinków koryta modelowanego przez erozję boczną z niewielką depozycją rumowiska

2.2. STRUKTURA KORYTA RABY



Ryc. 14. Profile poprzeczne odcinków koryta modelowanego przez erozję boczną, depozycję i redepozycję rumowiska

boczną i niewielką depozycją, występujące w części „kotlinnej” Raby, charakteryzują się kształtem pośrednim między trapezowym a eliptycznym. W profilu zaznaczają się elementy wypukłe i wklęsłe wynikające z występujących łach bocznych, sporadycznie środkowych i zawieszonych nurtów (ryc. 13). Wyraźnie zaznacza się tam szeroki i utrwalony przebieg nurtu głównego.

Fracja maksymalna rumowiska w całym profilu podłużnym koryta Raby w latach 70. XX wieku była mniej zróżnicowana niż współcześnie. W stosunku do roku 1976 dziś frakcja maksymalna rumowiska jest mniejsza w biegu górnym i dolnym, a lokalnie wzrosła w odcinku beskidzkim. Jest to efektem wzmożonej erozji wgłębnej w korycie Raby oraz jej beskidzkich dopływach. Wzrosła też w tej części koryta Raby powierzchnia podcięć. Materiał z erodowanego dna i z podcinanych brzegów zasila rumowisko korytowe w materiał grubookruchowy (ryc. 5).

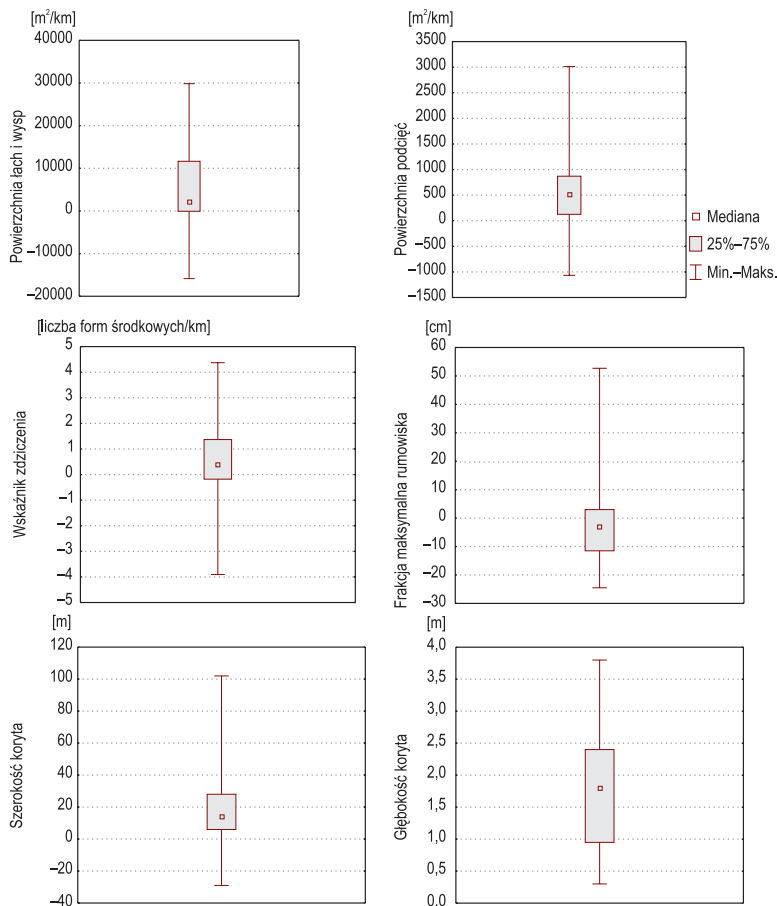
Przegrodzenie koryta Raby Zbiornikiem Wodnym Dobczyce, a tym samym przerwanie ciągłości systemu korytowego, spowodowało powstanie dwóch odrębnych podsystemów i przesunięcie pewnych funkcji geomorfologicznych w profilu podłużnym koryta. Porównanie struktury koryta z lat 70. XX wieku i współczesnej wskazuje na przesunięcie w górę biegu strefy największej akumulacji w stosunku do okresu sprzed budowy zbiornika. Podobnie przed przegrodzeniem Raby zbiornikiem frakcja maksymalna rumowiska w korycie malała wraz biegiem, obecnie taka prawidłowość nie zachodzi.

2.2.5. Tendencje zmian struktury koryta Raby

Aby określić prawidłowości w rozwoju koryta Raby w ostatnim 40-leciu, przeanalizowano rozkład wartości różnic cech struktury wyróżnionych odcinków koryta Raby pomiędzy 2015 i 1976 rokiem. W tym celu uporządkowano rosnąco różnice cech struktury odcinków koryta pomiędzy rokiem 2015 a 1976, a następnie rozkład empiryczny różnic przedstawiono na wykresach pudełkowych (ryc. 15).

Powierzchnia łąch i wysp w korycie Raby przeważnie się zwiększyła; średnio o 2 190 m²/km. Proces ten zanotowano prawie w 75% odcinków rzeki. Największy wzrost powierzchni form akumulacyjnych w całym korycie Raby wystąpił w 10. odcinku i wyniósł prawie 30 000 m²/km (ryc. 15). Również powierzchnia podcięć w 2015 roku była większa niż w latach 70. XX wieku; średnio o 515 m²/km. **Ponad 75% odcinków koryta ma obecnie większą powierzchnię podcięć.** Maksymalna wartość przyrostu tych form wystąpiła w 22. odcinku koryta Raby i wynosi 3011 m²/km. Nieznacznie zmienił się także wskaźnik zdziczenia; wzrósł średnio o 0,43 formy środkowej na km koryta. Wzrost odnotowano dla ponad 50% odcinków koryta. W odcinku 18. wskaźnik zwiększył się maksymalnie o 4,4 formy środkowej na km. W odcinku 2. także odnotowano spadek wskaźnika; o 3,9 formy na km. Frakcja maksymalna rumowiska korytowego wykazała odwrotną tendencję i dla ponad 50% odcinków zmniejszyła się. Spadek wartości średnio wyniósł 3 cm. Największy spadek średnicy rumowiska (o 24,5 cm) odnotowano w odcinku 3. Zaznaczył się też duży spadek frakcji maksy-

2.2. STRUKTURA KORYTA RABY



Ryc. 15. Wykres rozkładu empirycznego różnic cech struktury Raby w latach 1976

malnej poniżej Zbiornika Wodnego Dobczyce w odcinkach 18–21 (średnio o 12 cm). Zauważalny wzrost (o ponad 50 cm) wystąpił w dwóch odcinkach: 8 i 9. Ostatnie dwa analizowane parametry, czyli szerokość i głębokość, wzrosły. **Szerokość koryta Raby wzrosła w ponad 75% odcinków koryta średnio o 14 m**, a maksymalnie o 102 m w odcinku 10. W korycie Raby występują także odcinki, których szerokość się zmniejszyła; maksymalnie o 18 m w odcinku 20. We wszystkich odcinkach zarejestrowano

wzrost głębokości koryta Raby; średnio o 1,8 m, a maksymalnie o 3,8 m w 28. odcinku koryta Raby (ryc. 15).

Struktura koryta Raby w ciągu ostatnich 40 lat zmieniała się pod wpływem nasilającej się antropopresji. Niekorzystne zmiany wywołane głównie przez regulacje i pobór rumowiska na trwale wpisały się w wykształcenie i funkcjonowanie współczesnego koryta Raby. Przejawia się to przede wszystkim w pogłębieniu i zwężeniu koryta rzeki. Jego współczesna struktura w części beskidzkiej i pogórskiej wskazuje na stopniowy i powolny powrót do tendencji sprzed regulacji, ale w nowych postregulacyjnych warunkach. Przykładem tego jest znaczący wzrost powierzchni łąk i podcięć, a także wzrost szerokości koryta Raby.



*Tam, na rzece, jest na pewno łódź,
Trzeba tylko fale wiosłem pruć.
I na pewno jest za rzeką – dal...
(B. Leśmian, Tam na rzece...)*

2.3. Koryto Raby na tle układów przestrzennych koryt

Układ koryt rzecznych zależy od dwóch zmiennych: spadku koryta (S) i natężenia przepływu (Q) (Leopold, Wolman 1957). Można je podzielić na dwie zasadnicze grupy: układy koryt pojedynczych (zwarte systemy korytowe) i układy kilku koryt, czyli systemy koryt rozproszonych (Zieliński 2014). Według S. A. Schumma (1981) i R. I. Fergusona (1987) na podstawie dynamiki przepływów, rodzaju transportu (zawieszinowy lub denny), spadku koryta i stosunku szerokości (W) do głębokości (D) można wyróżnić następujące układy koryt: roztokowy, „błądzący”, meandrujący, anastomozujący i prosty. Układom koryt można przypisać szereg parametrów hydraulicznych, hydrologicznych i geomorfologicznych, z przedziałem wartości, które im odpowiadają (tab. 2).

Rozwój koryta Raby w warunkach zróżnicowanego nasilenia antropopresji spowodował zmiany w strukturze i morfometrii rzeki. Koryta uregulowane to układ koryta pojedynczego, tzw. zwarty system korytowy, który cechuje się też niskim wskaźnikiem W/D , tzn. jest wąskie i głęboko wcięte. Krętość koryt uregulowanych jest zwykle nieduża (ok. 1,1), a spadek duży. Korytom uregulowanym w związku z tym zwykle najbliższej do koryt prostych, które w naturze prawie nie występują (Schumm, Kahn 1972; Eaton i in. 2010). Koryto uregulowane, które podlega samoistnej renaturyzacji, cechuje się znacznie bardziej skomplikowaną strukturą. Ma system koryt rozproszonych, choć zwykle w krótkich odcinkach, i znacznie wyższy

wskaźnik W/D oraz większą krętość. Z tego też powodu trudno dopasować właściwe cechy koryta (tzn. parametry hydrauliczne czy geomorfologiczne) podlegającego renaturyzacji do znanych z literatury układów koryt (Brice 1975; Schumm 1981; Carson 1984; Ferguson 1987; Deslonges, Church 1989; Teisseyre 1991a; Surian 2006; Zieliński 2014; tab. 2). Częściowym rozwiązaniem mogłoby być wykorzystanie cech pośrednich (*transitional channels*) układów koryta, takich jak pośredni typ między roztokowym a meandrującym, tzw. koryto błądzące (*wandering channel*) (Neill 1973; Church 1983; Ferguson, Werritty 1983; Deslonges, Church 1989). Rzeki o cechach przejściowych powstają zwykle wskutek przejścia od układu roztokowego do meandrującego. Odwrotny kierunek zmiany układów korytowych zachodzi gwałtownie (Neil 1973; Carson 1984; Deslonges, Church 1989; Surian 2006; Zieliński 2014). W przypadku koryta Raby takie przeobrażenie, wynikające ze zmiany użytkowania i zagospodarowania zlewni, zaszło być może na początku XIX wieku. Współcześnie wielokierunkowa i silna antropopresja w korycie Raby przyczyniła się do powstania takiej struktury i takiego układu przestrzennego koryta, który uniemożliwia „dopasowanie” go do znanych układów koryt (tab. 3; wartości dla koryt naturalnych). Koryta postregulacyjne, czyli takie, w których regulacje zostały zniszczone, a współczesny przebieg koryta odbiega od trasy regulacyjnej, przypominają w planie układy koryt naturalnych – głównie krętych, błądzących, czasem roztokowych. Wskaźniki W/D, krętości czy spadki odbiegają jednak od tych przypisanych do tych układów (tab. 3). Wynika to z rozwoju omawianych koryt w warunkach zmienionych przez regulacje; m.in. strefa migracji bocznej jest znacząco niżej położona w stosunku do tej przedregulacyjnej. W pracy podjęto próbę określenia wartości charakteryzujących układ koryta uregulowanego i postregulacyjnego. Nawet najbardziej samoistnie zrenaturyzowane i wielonurtowe odcinki koryta Raby charakteryzują się wspomnianymi wartościami krętości, spadku czy W/D odbiegającymi od tych powszechnie przyjętych dla danego układu koryta (Brice 1975; Schumm 1981; Carson 1984; Ferguson 1987; Deslonges, Church 1989; Teisseyre 1991a).

Na podstawie szczegółowej analizy struktury Raby wyznaczono przedziały dla dwóch układów: koryta uregulowanego o małej krętości i koryta postregulacyjnego, które łączy cechy układu koryta krętego, błądzącego

Tabela 2. Cechy geomorfologiczne i hydrologiczne rzek o różnych układach koryta

Układ koryta	Naturalny ¹						Przekształcony przez człowieka ² (koryta rzeki górskiej, zwirodennej; na przykładzie Raby)	
	prosty/kręty (bardzo mała i mała krętość) (P/K)	roztokowy (R)	błądzący (B)	meandrujący (M)	anastomozujący (A)	uregulowane – o małej krętości (U)	postregulacyjne – kręte, błądzące i roztokowe (PU)	
System korytowy	zwały (1 koryto)	rozproszony (> 4 koryt) rozproszony (> 2 koryt)	rozproszony (2–3 koryta)	zwały (1 koryto)	rozproszony (4–10 koryt)	zwały (1 koryto)	– zwały, poszerzony (1 koryto); – rozproszony (2–3 koryta)	
	1,0–1,1 (proste) 1,1–1,5 (kręte)	<1,5 (1,0 < sn < 1,15)	1,3 < sn < 1,5	> 1,5	mała-duża	mała 1,0–1,1	mała 1,0–1,2	
	0; 10 > s > 0,02	0,004 < s < 0,009; < 0,04	< 0,04	< 0,02	0,0001 < s < 0,0008	> 0,005 (góry i pogorza) > 0,0005 (Kotliny)	> 0,003 (góry) > 0,001 (pogorza)	
Wskaźniki koryta	< 12 < 10 (głębokie i wąskie)	> 30–40 (płytkie i szerokie dla klasycznych roztok > 75)	15–30	10 < W/D < 30–40	< 10	< 20	> 15	
Dominujące procesy	erozja włębna	erozja boczna, awulsja	erozja boczna, migracja koryt, awulsja	erozja boczna i włębna, migracja koryta	brak erozji	erozja włębna	erozja boczna, lokalnie erozja włębna, awulsja	
	akumulacja	duże tempo akumulacji w korycie łachy boczne i środkowe	lokalnie duże tempo akumulacji w korycie, łachy boczne i środkowe	łachy boczne, ograniczona akumulacja	duża akumulacja, przyrost wałów brzegowych, brak łachy	lokalnie niewielka akumulacja łachy boczne	lokalnie duża akumulacja w korycie, łachy boczne i środkowe, wyspy	

2.3. KORYTO RABY NA TLE UKŁADÓW PRZESTRZENNYCH KORYT ...

Układ koryta	Naturalny ¹					Przekształcony przez człowieka ² (koryto rzeki górskiej, zwirodennej; na przykładzie Raby)	
	prosty/kręty (bardzo mała i mała krętość) (P/K)	roztokowy (R)	biażący (B)	meandrujący (M)	anastomozujący (A)	uregulowane – o małej krętości (U)	postregulacyjne – kręte, białzące i roztokowe (PU)
Aluwia korytowe (materiał denny)	zwir	zwir lub piasek	zwir, piasek zwirowy	piasek	piasek	zvir (góry) zvir i piasek (pogórze i kotliny)	zvir (góry) zvir i piasek (pogórze i kotliny)
Ukształtowanie terenu	góry, pogórze	góry, pogórze	pogórze, wyżyny	niziny, kotliny	kotliny, obszary deltowe	góry, pogórze, kotliny	góry, pogórze

¹ na podstawie: Brice 1975; Schumm 1981; Carson 1984; Ferguson 1987; Deslonges, Church 1989; Teisseyre 1991a; Surian 2006; Zieliński 2014.

² na podstawie badań własnych.

Tabela 3. Charakterystyka koryta Raby; wskaźniki kształtu i układ korytowy Raby

Odcinek	Wskaźniki korytowe Raby					Układ korytowy Raby	
	S – spadek	spadek (‰)	Sn – krętość	W/D średnie	W/D maks.	naturalnych*	uregulowanych
1	0,0376	37,62	1,4	3,9	4,1	P/K	–
2	0,0189	18,90	1,2	9,2	13,3	P/K	–
3	0,0073	7,26	1,2	6,7	8,1	P/K	U
4	0,0054	5,36	1,1	6,3	8,6	P/K	U
5	0,0071	7,09	1,2	7,4	8,3	P/K	U/PU
6	0,0064	6,44	1,1	23,0	40,0	B/R	PU
7	0,0068	6,83	1,1	15,4	22,7	K/B	U
8	0,0054	5,36	1,0	20,7	21,9	K/B	U
9	0,0048	4,83	1,0	31,6	51,8	R/B	PU
10	0,0044	4,37	1,1	29	53,0	R/B	PU
11	0,0037	3,71	1,1	44,6	96,0	R	PU
12	0,0031	3,10	1,1	22,6	26,7	P/K	U
13	0,0045	4,52	1,1	24,2	26,7	P/K	U
14	0,0026	2,58	1,0	36	62,5	B	U/PU
15	Zbiornik Wodny Dobczyce						
16							
17	0,0023	2,28	1,2	22,7	29,6	K/B	PU
18	0,0022	2,18	1,2	32,7	35,1	B	PU
19	0,0018	1,82	1,2	25,8	38,3	B	PU
20	0,0017	1,69	1,1	23,3	28,0	B	PU
21	0,0014	1,44	1,1	22,7	28,8	B	PU
22	0,0016	1,60	1,3	11,4	11,7	B	PU
23	0,0012	1,22	1,0	17,6	26,5	B	PU
24	0,0009	0,89	1,1	19,0	20,8	B	U, zdegradowane meandrujące
25	0,0008	0,83	1,2	13,6	14,2	B	U, zdegradowane meandrujące

2.3. KORYTO RABY NA TLE UKŁADÓW PRZESTRZENNYCH KORYT ...

Odcinek	Wskaźniki korytowe Raby					Układ korytowy Raby	
						układy koryt	
	S – spadek	spadek (%)	Sn – krętość	W/D średnie	W/D maks.	naturalnych*	uregulowanych
26	0,0007	0,67	1,1	9,8	10,4	K	U, zdegradowane meandrujące
27	0,0006	0,60	1,2	11,1	11,2	K	U, zdegradowane meandrujące
28	0,0007	0,67	1,4	8,0	9,4	K	U, zdegradowane meandrujące
29	0,0005	0,47	1,4	9,5	10,6	K	U, zdegradowane meandrujące
30	0,0004	0,41	1,2	10,9	11,1	K	U, zdegradowane meandrujące
31	0,0005	0,52	1,2	10,2	11,9	K	U, zdegradowane meandrujące

* próba dopasowania wartości wskaźników do układu koryta na podstawie co najmniej jednego wskaźnika (opis układów koryt; tab. 2).

i lokalnie roztokowego. Koryto uregulowane cechuje się niewielką krętością, niskim wskaźnikiem W/D i czasami zwiększonym spadkiem, wynikającym także z lokalnych uwarunkowań (tab. 2, 3). Korytu takiemu obecnie mogą towarzyszyć zaledwie resztki dawnych budowli regulacyjnych, mogą to też być budowle nowe, remontowane czy modernizowane. Najistotniejsza jest skuteczność prac regulacyjnych; w takim korycie, gdzie zachowany jest przebieg trasy regulacyjnej, koryto pozostaje zwarte, jednonurtowe, brzegi są stabilne, a głębokość na tyle duża, że nie następuje jego gwałtowne poszerzanie. Wody wezbraniowe zwykle mieszczą się w takim korycie. Przedziały parametrów morfologicznych i hydrologicznych dla tego typu układu koryta to: mała krętość (poniżej 1,1), spadek >0,005 dla części górskiej i pogórskiej oraz >0,0005 dla „kotlinnej” (tab. 2, 3). Dla tych układów koryta wskaźnik W/D jest niższy od 20, a dominującym procesem funkcja

erozyjna i transportacyjna. Intensywne działanie erozji wgłębnej skutkuje występowaniem form skalnych w korycie, zwłaszcza w górnym biegu rzeki. Prawie połowa odcinków (14) koryta Raby zostało przypisanych do układu koryt uregulowanych. W większości są to odcinki w dolnym biegu rzeki oraz kilka z górnego i środkowego, zwłaszcza te w granicach większych miejscowości.

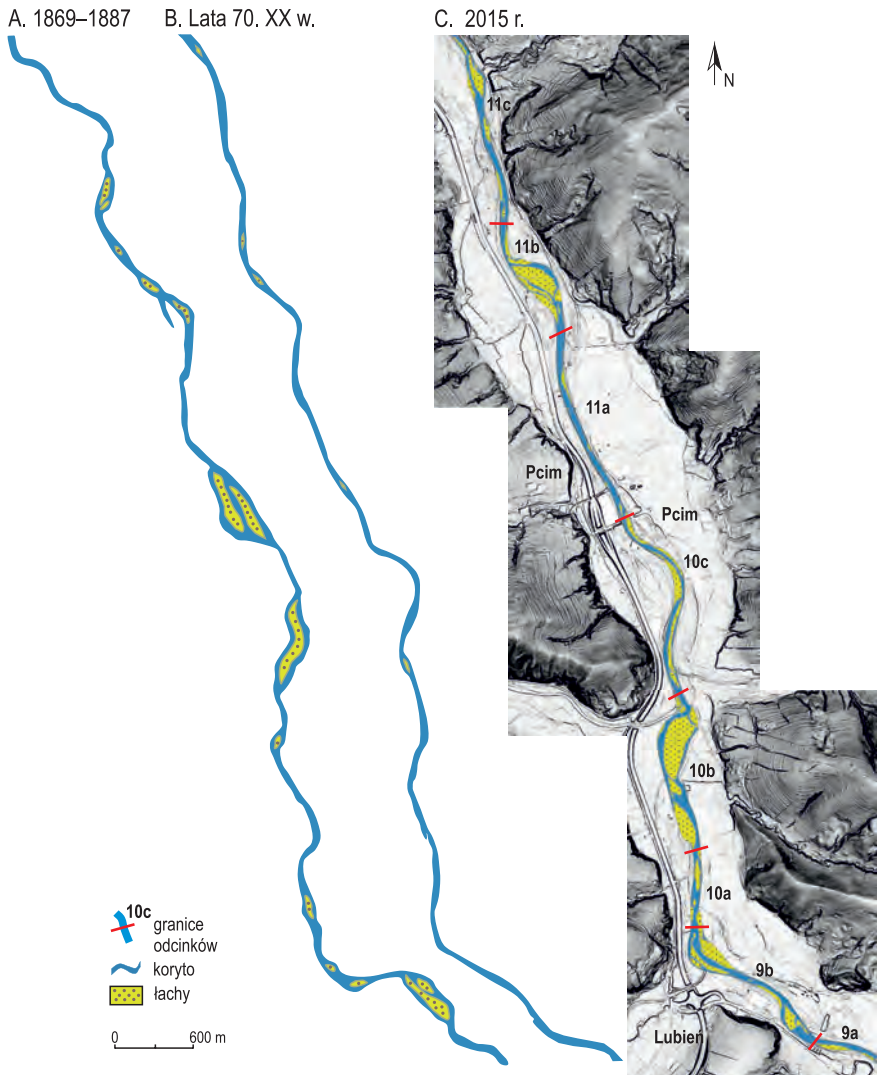
Drugi wyznaczony układ to koryto postregulacyjne, które jest znacznie bardziej złożone od uregulowanego. Koryta te mogą mieć jeden lub 2–3 nurty. Liczba nurtów może się zmieniać nawet co kilkaset metrów. Jeśli koryto jest jednonurtowe, to zostaje lokalnie poszerzane przez erozję boczną, towarzyszą mu też liczne łachy. Zarówno koryto roztokowe, jak i błędzące cechuje się stosunkowo dużą szerokością i zwykle małą głębokością. Najważniejszą cechą warunkującą wielonurtowość jest występowanie łach środkowych i wysp. Krętość mieści się zazwyczaj w przedziale od 1,0 do 1,2, spadki też są większe niż w przypadku koryta uregulowanego. W obszarze górskim i pogórskim spadek jest $>0,003$, a w „kotlinnym” $>0,001$. Wskaźnik W/D dla tych układów koryt jest wyższy od 15 (tab. 2, 3). Do układów koryt postregulacyjnych należą głównie te położone w biegu górnym i środkowym. Wynika to z największej energii rzeki w tych odcinkach, dużych spadków oraz największej dostępności materiału rumowiskowego w korycie Raby.

Postregulacyjne odcinki koryta Raby charakteryzują się złożoną strukturą. Analiza szczegółowa odcinków (6–14) w górnym i środkowym biegu Raby pozwoliła na ich podział na pododcinki o jeszcze bardziej jednolitej strukturze. Dzięki temu możemy określić parametry hydrauliczne i geomorfologiczne najbardziej zrenaturyzowanych odcinków koryta Raby. Wskaźnik krętości, W/D , spadek, liczba nurtów, formy korytowe pozwalają wydzielić w korycie postregulacyjnym odcinki seminaturalne. Są to pododcinki 6b, 9b, 10b, 11b i 14b (tab. 4; ryc. 16; fot. 2). Parametry tych pododcinków pozwalają te krótkie części koryta zaliczyć do układu roztokowego koryta postregulacyjnego. Tym, co wyróżnia te pododcinki, jest duża liczba i powierzchnia łach środkowych oraz wysp, kilka nurtów i wysoki wskaźnik W/D . Struktura pododcinków 9a, 10a, 10c i 11c jest przejściowa między układem roztokowym a krętym, występują tu łachy środkowe, ale ich

Tabela 4. Charakterystyka pododcinków koryta Raby

Odcinek	Długość [km]	Pow. łach bocznych [m ² /km]	Pow. łach środkowych [m ² /km]	Liczba łach bocznych/km	Liczba łach środkowych/km	Spadek	Krzywość	W/D	Bl (liczba nurtów na 100 m)	Układ koryta
6a	2,863	6446	1780	13,1	4,4	0,0072	1,05	9,6	1	KU
6b	1,149	1151	30211	4,2	5,6	0,0071	1,17	40	3	R/PU
7	3,743	4783	1200	4,5	2,4	0,0061	1,08	15,4	1	K/U
8a	0,946	15817	0	6,3	0,0	0,0061	1,02	17,7	1	P/U
8b	1,826	8758	229	3,8	0,5	0,0046	1,02	20,7	1	K/U
9a	3,133	7817	2931	3,5	2,6	0,0047	1,03	11,4	1-2	B/PU
9b	1,17	3962	35903	0,9	11,1	0,0051	1,10	51,8	3-4	R/PU
10a	1,603	4703	4385	1,9	1,2	0,0026	1,10	28,5	1-2	B/PU
10b	0,591	46557	110015	8,5	11,8	0,0043	1,22	45,9	3	R/PU
10c	1,12	34507	2578	6,3	1,8	0,0045	1,13	14,1	1-2	B/PU
11a	1,499	3277	660	2,0	0,7	0,0031	1,04	14,2	1	K/PU
11b	0,923	18905	41635	4,3	3,3	0,0037	1,25	96	3	R/PU
11c	2,692	7472	5964	3,0	2,6	0,0040	1,05	23,8	1-2	B/PU
12	3,446	6145	242	2,9	0,6	0,0030	1,05	22,6	1	K/U
13	2,546	11500	1147	2,4	0,8	0,0049	1,02	24,2	1	P/U
14a	1,748	8501	0	2,3	0,0	0,0043	1,01	26,8	1	K/U
14b	2,44	8586	31251	0,8	5,7	0,0028	1,19	62,5	2	R/PU
14c	0,636	0	18392	0,0	1,6	0,0034	1,08	18,9	1	K/PU

2. UWARUNKOWANIA ROZWOJU UREGULOWANEGO SYSTEMU KORYTOWEGO...



Ryc. 16. Rozwój koryta w odcinku beskidzkim

powierzchnia nie jest duża, pojawiają się też 2 nurty. Pododcinki te cechują się przebiegiem zbliżonym do układu koryt błędzących. Pozostałe pododcinki (6a, 8a, 8b, 11a, 14a, 14c) to układy koryt o bardzo małej i średniej krętości, co wynika zarówno z lokalnych uwarunkowań środowiskowych, jak i trwałych regulacji (tab. 4; ryc. 16).

Współczesny rozwój odcinków postregulacyjnych w korycie Raby stanowi być może pierwszy krok do wytworzenia nowego układu korytowego, o bardziej jednolitej strukturze.



*Niepodobna wstąpić dwukrotnie
do tej samej rzeki*
(Heraklit z Efezu)

2.4. Regulacje koryta Raby

Koryta rzek karpackich od końca XIX wieku były poddawane regulacji na dużą skalę. W korytach rzek beskidzkich naturalne wielonurtowe koryta wskutek regulacji zostały sprowadzone do jednego koryta o umocnionych brzegach i wyrównanym dnie. Na przedpolu Karpat kręte i meandrowe koryta pozbawiono zakoli, a tym samym je wyprostowano i doprowadzono do zwiększenia spadku (Wyźga 1991; Kościelniak 2004a, 2004b; Zawiejska, Krzemień 2004; Korpak i in. 2008; Gorczyca, Krzemień 2010; Radecki-Pawlik 2012). Kolejną trudną do oszacowania pod względem skali i ogromną ingerencją w korytach rzek karpackich była eksploatacja żwirów (Osuch 1968; Korpak i in. 2008; Krzemień 2003; Gorczyca, Krzemień 2010; Radecki-Pawlik 2012). Po II wojnie światowej działalność ta w niektórych rzekach karpackich była prowadzona na skalę przemysłową. W 2. połowie XX wieku dla lokalnych społeczności pobór żwiru z koryta był powszechnym, nielegalnym procederem, „tolerowanym” przez władze lokalne i zarządy wód.

Pierwsza, łatwa do zidentyfikowania, ingerencja w dolinie Raby związana była z ochroną przeciwpowodziową. Prawdopodobnie w 1. połowie XIX wieku w dolnym biegu rzeki wybudowano wały od Mikłuszowic do ujścia Raby do Wisły. Są one widoczne na mapach austriackich z drugiego kartowania z lat 1806–1869, nie ma ich natomiast na mapach z pierwszego kartowania z lat 1763–1787 (The First and The Second Military Survey; <http://mapire.eu>).

W górnym biegu Raby jedna z pierwszych większych ingerencji wiązała się z budową kolei pod koniec XIX wieku. W wąskiej dolinie musiało znaleźć się miejsce dla rzeki, drogi i linii kolejowej. Lokalnie dno doliny zostało zwężone dla wód wezbraniowych i pozbawione raz lewej, a raz prawej części równiny zalewowej. Wykonano też szereg umocnień w celu zabezpieczenia nasypów kolejowych przed erozją boczną.

W dolnym biegu Raby poniżej Gdowa prace regulacyjne prowadzone były od 1904 roku (Kędzior 1931). Polegały one głównie na wyprostowaniu i skróceniu biegu koryta Raby o kilkanaście procent. W trakcie tych prac tylko w niewielkim stopniu zwężono koryto Raby. Regulacje te w latach 20. i 30. XX wieku zostały w znacznym stopniu zniszczone podczas kolejnych powodzi (Wyźga 1993a). W latach 50. XX wieku rozpoczęto kolejne prace regulacyjne w dolnym biegu Raby. Nie tylko znacząco skróciły one bieg Raby, która stopniowo odzyskała swój meandrowy układ, ale doprowadziły do jej znacznego zwężenia. Skutkiem tych działań było wyraźne pogłębienie się koryta Raby poniżej Gdowa (Wyźga 1993a).

O konieczności regulacji rzek karpackich w niepodległej Polsce w okresie międzywojennym pisał M. Rybczyński (1929). Dowiadujemy się, że „podstawą regulacji rzek górskich jest opanowanie ruchu rumowiska” (Rybczyński 1929). W latach 30. XX wieku planowano przyśpieszenie robót przy zbiornikach na Sole i Dunajcu. Mowa też o pracach na 44 potokach górskich w dorzeczach Soły, Skawy, Raby, Dunajca, Białej, Sanu i Dniestru (Rybczyński 1929).

Prowadzone w 2. połowie XX wieku regulacje w korycie Raby, podobnie jak i w innych korytach karpackich, miały na celu ochronę przeciwpowodziową i przeciwerozijną terenów zagospodarowanych czy zurbanizowanych oraz pozyskanie terenów nadrzecznych pod uprawy rolne (Wyźga 1992a, 1993a, 1993b). Obecnie ta ostatnia funkcja nie ma ekonomicznego uzasadnienia, tereny nadrzeczne Raby to głównie zarośla i nieużytki.

Informacje o regulacjach wykonanych w korycie Raby w niniejszym opracowaniu pochodzą z trzech źródeł. Pierwsze z kartowania koryta Raby w latach 70. XX wieku; informacje te sprowadzają się do liczby i rodzaju budowli, nie ma danych o ich łącznej długości, ponieważ nie były mierzone w trakcie badań terenowych. Drugie źródło stanowią informacje

2.4. REGULACJE KORYTA RABY

pochodzące z kartowania koryta Raby w 2015 roku. Trzecim źródłem są informacje z RZGW w Krakowie. Dodatkowym źródłem mówiącym o stanie regulacji w korycie Raby są publikowane materiały stowarzyszenia „Ab Ovo”, powstałego w 2006 roku dla ochrony degradowanej Raby w związku z przebudową drogi do Zakopanego. Odnoszą się one do beskidzkiej części Raby (<http://ab-ovo.org>).

2.4.1. Typy budowli hydrotechnicznych w korycie Raby

W pracy zastosowano terminologię budowli hydrotechnicznych z prac A. Radeckiego-Pawlika (2012) oraz M. Łapuszek i A. Lenar-Matyas (2013). Autorzy tych prac bazują częściowo na opracowaniach starszych: L. Skatula (1964) i J. Wołoszyn i in. (1994). Terminologię tę dostosowano do nazewnictwa stosowanego w materiałach RZGW (tab. 5).

Tabela 5. Charakterystyka budowli regulacyjnych i ubezpieczeń brzegów

Budowle regulacyjne i ubezpieczenia brzegów		Cel regulacji	Opis konstrukcji
		wg Radecki-Pawlik (2012); Łapuszek, Lenar-Matyas (2013)	
Ubezpieczenia brzegowe	opaska z narzutu kamiennego luzem/umocnienia narzutem	stosowane w utrzymaniu i utrwaleniu brzegów koryta, ubezpieczenia te stosowane są w miejscach najbardziej narażonych na erozję	kamienie narzutu leżą na sobie luźno i nie są wypełnione żadnym spoiwem, wielkość kamieni powyżej 0,4 m
	opaska faszynowa` Seelinga		budowana z trzech podłużnych szeregów pali z kiszka-mi faszynowymi, między pale zakłada się faszynę, przysypane są materiałem ziemnym ze żwirem
	brzegosłon kryty, brzegosłon kamienny		brzegosłon kryty jest wykonany z warstwy luźnej faszyny, brzegosłon kamienny to klatki z faszyny wypełnione kamieniem łamanym
Opaski brzegowe	opaska faszynadowa z koszem siatkowo-kamiennym	opaski brzegowe wykonuje się wzdłuż brzegów koryta, kształtują i utrzymują nurt rzeki wzdłuż trasy regulacyjnej;	plotki faszynowe z koszami siatkowo-kamiennymi (gabiony); siatkowe kosze wypełniane są kamieniem łamanym lub grubym żwirem

2.4.1. TYPY BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH W KORYCIE RABY

Budowle regulacyjne i ubezpieczenia brzegów		Cel regulacji	Opis konstrukcji
wg Radecki-Pawlik (2012); Łapuszek, Lenar-Matyas (2013)			
Opaski brzegowe	opaska faszynadowa kamienna	stosuje się je na silnie zniszczonych brzegach.	płatki faszynowe są chronione brukiem z kamienia i narzutem z kamienia łamanego
	opaska faszynadowa z koszem siatkowo-kamiennym z narzutem		typ mieszany
	mur nadbrzeżny	obustronna obudowa koryta na terenie silnie zurbanizowanym, często łączone z bulwarami, stosowana także przy bardzo stromych brzegach	wykonane z kamienia, betonu, żelbetu, często z okładziną kamienną
Tamy podłużne i poprzeczne	tama podłużna faszynadowa z koroną z koszy siatkowo-kamiennych	stosowane w celu utworzenia i utrzymania nowej linii brzegowej, a także w celu zwężenia koryta; tama początkowo może być z dwóch stron otoczona wodą, do czasu załadownienia przestrzeni wyłączonej z koryta	faszynada wzmocniona palikami i kiszka faszynową, korona tamy jest zabezpieczona pojedynczymi lub podwójnymi koszami siatkowo-kamiennymi, tama od strony nurtu ubezpieczona jest narzutem z kamienia łamanego
	tama podłużna faszynadowa z poprzeczkami		budowla wykonana z faszynady, korona jest chroniona koszami siatkowo-kamiennymi, skarpa umocniona narzutem z kamienia łamanego, poprzeczki zbudowane z koszy siatkowo-kamiennych pojedynczych lub podwójnych
	ostrogi	stosowane w celu zwężenia lub zmiany przebiegu koryta. Budowle sytuowane poprzecznie do kierunku przepływu wody w korycie	budowla wykonana z faszynady koszami siatkowo-kamiennymi, skarpy z narzutu kamienia łamanego. Fundamenty budowli stanowią szerokie matrace siatkowe
	poprzeczki		
Stopnie	stopnie kamienne	budowle służące regulacji spadku koryta	obejmują całą szerokość koryta, wykonane najczęściej z kamienia łamanego lub betonu
	stopnie betonowe		
	bystrze o zwiększonej szorstkości	stabilizacja koryta w nawiązaniu do naturalnego układu przemiał-płoso	zbudowane z bloków kamiennych o różnej wielkości

*faszyna – wiązka pędów wikliny lub gałęzi innych drzew liściastych, faszynada – poziomo ułożone wiązki faszyny lub ściółki faszynowej, połączone kiszkami faszynowymi (wiązka pędów wikliny) i palikami.

2.4.2. Charakterystyka regulacji w latach 70. XX wieku

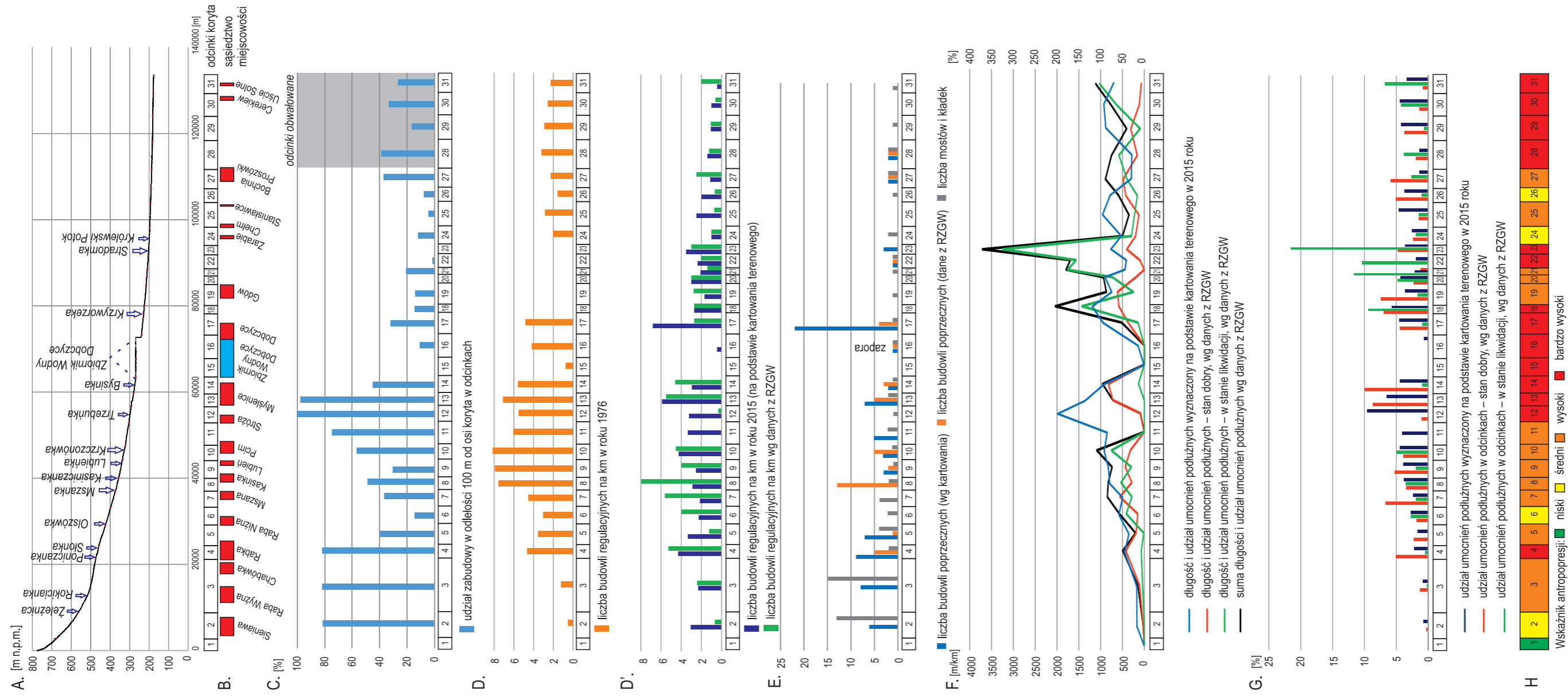
Informacje z lat 70. XX wieku odnoszą się do okresu intensywnej regulacji koryta Raby. Najpowszechniejszymi regulacjami były wówczas opaski faszy-nadowe z koszem siatkowo-kamiennym, tamy podłużne z koszy siatkowo-kamiennych i ostrogi. Większość budowli powstało w latach 1974–1976; prawdopodobnie było to efektem dużych przekształceń koryta oraz zniszczeń starszych budowli regulacyjnych podczas wezbrań w roku 1970 i 1972. Ich rozmieszczenie było nierównomierne, najwięcej powstało w biegu górnym i środkowym rzeki, najmniej w dolnym (ryc. 17). Najliczniej budowle występują w odcinkach koryta od 8 do 14. W odcinkach tych stwierdzono 7–8 budowli na km, długość pojedynczych opasek wynosiła tam 200–500 m, ostrogi miały zwykle ok. 50 m długości.

Porównując stopień antropizacji doliny (bliskość zabudowań i infrastruktury w odniesieniu do koryta) z rozkładem regulacji w całym biegu Raby, można stwierdzić dużą zbieżność (ryc. 17). Regulacje w latach 70. powstawały głównie tam, gdzie zabudowa i infrastruktura występowała blisko koryta Raby (ryc. 17). Regulacje przy użyciu tam i ostróg miały na celu wytyczenie nowego przebiegu i zwężenie koryta oraz stabilizację jego brzegów. Była to niewątpliwie bardzo znacząca zmiana w korycie, które w swoim naturalnym przebiegu miało w odcinkach 6–15 tendencje do dzielenia i roztokowania. W 1976 roku dwa odcinki Raby (nr 15 i 16) były już przygotowywane pod przyszły zbiornik. W odcinkach tych funkcjonowały w tym czasie liczne zwirownie.

2.4.3. Charakterystyka regulacji podłużnych i poprzecznych w XXI wieku

Na podstawie informacji z RZGW i zebranych w czasie kartowania terenowego w 2015 roku można przedstawić stopień przekształcenia koryta Raby wynikający z regulacji i rozbudowy infrastruktury drogowej.

Sąsiedztwo koryta Raby i miejscowości położonych w dolinie rzeki oraz związana z tym bliskość zabudowy i infrastruktury (do 100 m od osi koryta) wskazuje miejsca w największym stopniu wymagające zabezpieczeń



Ryc. 17. Regulacje w korycie Raby w 2. połowie XX i na początku XXI wieku (na podstawie kartowań terenowych w latach 1976 i 2015 oraz danych z RZGW)

przeciwpowodziowych i przeciwerozrywających (ryc. 17). Bliska zabudowa koncentruje się głównie w górnym i środkowym biegu Raby, w odcinkach od 2 do 14. Natomiast poniżej Zbiornika Wodnego Dobczyce bezpośrednio sąsiedztwo koryta Raby jest znacznie mniej intensywnie zagospodarowane. Dolina Raby jest tu szeroka, wody wezbraniowe mogą się potencjalnie szeroko rozlać. W dolnym biegu Raby najważniejszym zabezpieczeniem przeciwpowodziowym są wały ciągnące się od odcinka 28 do ujścia Raby do Wisły.

2.4.4. Charakterystyka budowli regulacyjnych na podstawie kartowania terenowego w 2015 roku

Dane z kartowania terenowego z 2015 roku wskazują na stosunkowo równomierny rozkład budowli i umocnień regulacyjnych w korycie Raby. W badanych odcinkach koryta Raby stopień uregulowania jest liczony oddzielnie dla każdego brzegu. Przykładowo, jeśli brzeg był regulowany dwukrotnie na całej długości, to udział regulacji stanowi 200%. Budowle regulacyjne w wyróżnionych odcinkach koryta (4–11, 17, 19–31) zajmują najczęściej 40–100% długości każdego z brzegów. Wyjątkiem są odcinki 1–3, gdzie udział zabudowy podłużnej jest niewielki, występują za to liczne niewielkie stopnie związane z kładkami i mostami (ryc. 17). Drugim znacząco wyróżniającym się jest odcinek 12. Wynika to z obecności nasypu drogowego i chroniących go murów oporowych wchodzących na całym odcinku w bliskie sąsiedztwo koryta Raby. Jest to przykład odcinka koryta, który prawie na całej długości ma uregulowane obydwie brzozy (ryc. 17). W dużym stopniu (100–120% długości brzegów koryta) uregulowane są też odcinki 13 i 14, zlokalizowane w granicach miasta Myślenice, z licznymi budowlami podłużnymi i poprzecznymi (jaz, progi, bystrza).

W trakcie kartowania terenowego w 2015 roku nie korzystano z dokumentacji dotyczącej regulacji. Wszystkie budowle regulacyjne zarejestrowane w terenie zaliczono do czterech klas. Budowle podłużne podzielono na trzy zgeneralizowane typy umocnień: opaski i umocnienia z narzutem kamiennym (traktowane łącznie ze względu na trudność z rozdzieleniem

2.4. REGULACJE KORYTA RABY

tych typów, zwłaszcza gdy regulacje są zniszczone lub były wykonywane kilkukrotnie w tym samym odcinku brzegu koryta), opaski z koszami siatkowo-kamiennymi oraz mury oporowe (tab. 6). Nie wyznaczono natomiast takich budowli jak tamy podłużne, gdyż rejestrowano je, w zależności od typu i stanu zachowania, jako opaski lub ostrogi (poprzeczki). Współcześnie w korycie Raby opaski i umocnienia z narzutem kamiennym zajmują łącznie 368 m/km biegu Raby. Znaczny udział mają także opaski z koszami siatkowo-kamiennymi (168,4 m/km). Sumarycznie, obecność budowli podłużnych widocznych w terenie, liczoną dla obydwu brzegów, stwierdzono w 60% długości brzegów koryta Raby (ryc. 17). Regulacje i ubezpieczenia podłużne zwykle towarzyszą brzegom przemiennie, raz wzdłuż brzegu prawego, raz lewego. Występują najczęściej na brzegach

Tabela 6. Charakterystyka budowli hydrotechnicznych i infrastruktury drogowej w korycie Raby (dane na podstawie kartowania terenowego z 2015 roku)

Ubezpieczenia brzegów – typ umocnień	Stopień zachowania	Długość brzegów zajętych zabudową [m]	Długość brzegów zajętych zabudową [m/km] lub [sztuk /m]	Udział [%] długości brzegów z zabudową danego typu
Opaski z narzutem kamiennym/ narzut kamienny luzem	dobry	45529	368,0	36,8
	zły	20833	168,4	16,9
Opaski z koszem siatkowo-kamiennym (gabiony)	dobry	1564	12,6	1,2
	zły	7134	57,7	5,7
Mury oporowe/ ubezpieczenia przy drogach i linii kolejowej	dobry	3932	31,8	3,2
	zły	–	–	–
Ostrogi	dobry	31 (sztuk)	0,25	–
	zły	19 (sztuk)	0,15	–
Wały przeciwpowodziowe	–	32318	263,0	26,3
Mosty i kładki	–	69	0,6	–
Stopnie (progi, bystrza, jazy)	dobry	27 (sztuk)	0,2	–
	zły	9 (sztuk)	0,06	–

wklęsłych, rzadziej na brzegach wypukłych. Służą one przede wszystkim ochronie przeciwerozylnej. W odcinkach o gęstej zabudowie w dnie doliny (blisko koryta) regulacje istnieją często na obydwu brzegach, służąc również ochronie przeciwpowodziowej.

Ze względu na stopień zachowania umocnień podzielono je na dwie grupy: te w dobrym stanie i te w złym. Stan 65% umocnień podłużnych oceniono jako dobry, a 35% jako zły (ryc. 17; tab. 6). Scenariusz zniszczeń regulacji może wyglądać następująco: w zwężonym i wyprostowanym korycie w związku z niedoborem rumowiska, które nie jest już dostarczane z umocnionych brzegów czy podobnie uregulowanych koryt dopływów, następuje zintensyfikowanie erozji wgłębnej i wcięcie koryta (stopniowo lub w czasie większego wezbrania) poniżej minimalnego posadowienia budowli (zwykle ok. 0,5 m). Kolejny etap to stopniowa dezintegracja ubezpieczenia. Budowla taka podlega dalszym zniszczeniom, fragmenty budowli mogą znaleźć się w dnie koryta. Tam, gdzie dochodzi do przerwania ciągłości umocnień, może działać erozja boczna; stopniowo zniszczeniu ulegną kolejne fragmenty regulacji, a w korycie pojawią się pierwsze podcięcia brzegowe. Regulacje, które zostały zniszczone przez erozję wgłębna i boczną, są swoistymi reperami tempa tych procesów. Możliwość taka dotyczy zwłaszcza opasek siatkowo-kamiennych i ostróg wybudowanych w latach 70., które można zlokalizować i datować na podstawie informacji z kartowania z 1976 roku. Wysokość zawieszenia czy przemieszczenia się regulacji w stosunku do położenia pierwotnego w brzegu koryta była podstawą do oceny stanu ich zachowania oraz tempa erozji wgłębnej i bocznej w zależności od rodzaju budowli regulacyjnej (fot. 3).

Budowle regulacyjne poprzeczne w korycie Raby mają stosunkowo niewielki udział: stopnie – ok. 0,2 obiektu na kilometr; ostrogi – ok. 0,35 obiektu na kilometr biegu rzeki (tab. 6; fot. 4). Skartowano łącznie 36 budowli przegradzających całe koryto Raby i ok. 50 ostróg. Ostrogi jako system budowli zasadniczo pełnią rolę podobną do budowli podłużnych, ale ze względu na ich policzalność i trudność w określeniu, czy były częścią innej budowli (tamy), zaliczono je do poprzecznych. W górnym biegu Raby, w odcinkach 2 i 3, występują niewielkie stopnie, głównie z narzutu kamiennego, służące stabilizacji dna w sąsiedztwie licznych tu mostków.

A.



B.



C.

Fot. 3. Odcinki koryta z erozją wgłębną, widoczne zawieszenie i zniszczenie regulacji hydrotechnicznych; A – odc. 14, B, C – odc. 4

Odcinek 4, w granicach Rabki, regulowany jest przez korekcję stopniową w postaci m.in. dużej zniszczonej betonowej konstrukcji i kilku mniejszych stopni. Korekcja stopniowa w górnym biegu rzeki zwykle nie przekracza kilku budowli (od 2 do 8) w odcinku koryta. Odcinkiem koryta, gdzie budowle poprzeczne znacząco wpływają na jego funkcjonowanie, jest odcinek nr 13 położony w granicach Myślenic. Występuje tu jaz oraz kilka wysokich stopni betonowych i bystrzy o zwiększonej szorstkości. W dolnym biegu Raby budowle poprzeczne, głównie stopnie-bystrza, występują tylko w kilku odcinkach (22, 23, 27, 28) (fot. 4). Wyjątkiem jest odcinek nr 17, gdzie licznie występują wspomniane wyżej ostrogi.

Można byłoby zaryzykować stwierdzenie, że regulacje poprzeczne w stosunku do budowli podłużnych mają nieporównywalnie mniejsze znaczenie w uregulowaniu i funkcjonowaniu systemu korytowego Raby, gdyby nie zaporą w Dobczycach. Zbiornik Wodny Dobczyce zlokalizowany został w 60,1 km Raby i oddany do eksploatacji w 1986 roku. Zadaniem zbiornika jest przede wszystkim umożliwienie bezpośredniego poboru wody do celów komunalnych Krakowa, ochrona przed powodzią doliny rzeki Raby poniżej zapory, wyrównanie przepływów oraz produkcja energii elektrycznej (<http://www.krakow.rzgw.gov.pl>).

Przegrodzenie systemu korytowego mniej więcej w połowie biegu rzeki przez zbiornik zaporowy znacząco wpływa na jego funkcjonowanie. Dotyczy to zwłaszcza odcinka koryta Raby poniżej zapory, gdzie określony odpływ gwarantowany wpłynął na znaczne wyrównanie przepływów, co – poza okresami wezbraniowymi – warunkuje małą dynamikę przepływów w korycie.

2.4. REGULACJE KORYTA RABY



A.



B.

2.4.4. CHARAKTERYSTYKA BUDOWLI REGULACYJNYCH NA PODSTAWIE KARTOWANIA...



C.



D.

Fot. 4. Przykłady budowli poprzecznych; stopni i bystrzy o zwiększonej szorstkości w korycie Raby; A – odc. 4, B – odc. 13, C – odc. 13, D – odc. 27

2.4.5. Charakterystyka budowli regulacyjnych na podstawie danych z RZGW

Powyższa charakterystyka budowli regulacyjnych zarejestrowanych w korycie Raby została uzupełniona i wzbogacona o informacje uzyskane z RZGW w Krakowie. Należy jednak pamiętać, że informacje z RZGW mają charakter roboczy. Informacje o budowlach podłużnych podzielone są na dwie grupy: budowle w stanie dobrym i budowle zlikwidowane. Status „budowla zlikwidowana” oznacza zwykle, że została ona zniszczona, najczęściej w czasie wezbrań, a jej stan zachowania w terenie to 10–30% stanu pierwotnego. Pozostałości budowli regulacyjnych nie są usuwane z koryta, a likwidacja polega na odpisaniu budowli z ewidencji majątkowej. Jest to informacja niezwykle cenna, ale niemożliwa do stwierdzenia w terenie bez odpowiedniej dokumentacji.

W regulacji oraz stabilizacji dna i brzegów koryta Raby stosowano w ostatnich 50–60 latach różnorodne budowle hydrotechniczne. Na podstawie danych z RZGW oraz kartowania terenowego z 1976 roku można stwierdzić, że w latach 60., 70. i 80. XX wieku powszechnie stosowano budowle z kosztami siatkowo-kamiennymi, takie jak: tamy podłużne faszynadowe z poprzeczkami, tamy podłużne faszynadowe z koroną z koszy siatkowo-kamiennych oraz opaski faszynadowe z koszem siatkowo-kamiennym. W wymienionym okresie powstało ok. 86 budowli hydrotechnicznych tego typu. W większości zachowały się one fragmentarycznie; wg RZGW najczęściej są w stanie likwidacji i zachowały się w ok. 30%. Zdecydowana większość budowli hydrotechnicznych typu tamy podłużne faszynadowe z poprzeczkami i opaski faszynadowe z koszem siatkowo-kamiennym powstało w odcinkach 2–13, czyli głównie w górnym biegu Raby (tab. 7).

Tamy podłużne faszynadowe z koroną z koszy siatkowo-kamiennych zostały zastosowane w biegu środkowym i dolnym Raby. Jak wynika z danych z RZGW, większość z nich nie ma określonej daty powstania, a prawie wszystkie od 2010 roku są w stanie likwidacji.

W latach 90. XX wieku oraz w latach 2000–2011 w korycie Raby tego typu budowle zastosowano jeszcze w 25 przypadkach. Siedem budowli typu tamy podłużne faszynadowe z koroną z koszy siatkowo-kamiennych

Tabela. 7. Charakterystyka budowli hydrotechnicznych podłużnych w korycie Raby (informacje pozyskane z RZGW w Krakowie w 2016 roku, dane niezweryfikowane przez RZGW)

Budowle podłużne	Długość i udział budowli podłużnych		Czas	
	budowle		powstania	likwidacji
	stan dobry	w likwidacji		
Opaska faszynadowa z koszem siatkowo- kamiennym	1 335 m 1,7%	2 248 m 2,8%	.	2006, 2010
Opaska faszynadowa kamienna	8 403 m 10,6%	10 167 m 12,9%	1996, 1997, 2000, 2005, 2006, 2007, 2010, 2011	2006, 2010
Opaska faszynadowa z koszem siatkowo- kamiennym z narzutem	2 967 m 3,8%	–	1984, 2002, 2005, 2011, 2012	.
Opaska z narzutu kamiennego luzem	9 854 m 12,5%	1 676 m 2,1%	1996, 1998, 1999, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2009, 2010, 2011	2010
Tama podłużna faszynadowa z koroną z koszy siatkowo- kamiennych	2 357 m 3%	28 395 m 35,9%	1974, 1978, 1979, 1984, 1988, 1999, 2000, 2006, 2011	2006, 2010
Tama podłużna faszynadowa z poprzeczkami – ostrogami	2 052 m 2,6%	3 998 m 5,1%	1975, 1978, 1983, 1995, 1998, 2000, 2003	2006, 2010
Opaska faszynowa Seelinga	150 m 0,2%	60 m 0,1%	2000, 2001	2010
Brzegosłon kryty	4 903 m 6,2%	123 m 0,2%	2000, 2001, 2003, 2005, 2006, 2010, 2012, 2013	2010
Mury i żłoby	.	370 m 0,5%	1972	.
Suma długości i udział budowli	32 021 m 41%	47 037 m 59%	–	–

• brak danych, – nie dotyczy.

zastosowano w odcinku 13–14 i 18–19, natomiast 18 budowli pozostałych dwóch typów powstało głównie w odcinkach 2, 3, 6, 9, 13, 17 i 18.

Od lat 90. XX wieku do najpopularniejszych budowli hydrotechnicznych należą: opaska z narzutu kamiennego luzem, opaska faszynadowa kamienna, opaska faszynadowa z koszem siatkowo-kamiennym z narzutem, opaska Seelinga i brzegosłon kryty. Budowle te, ze względu na ich krótki czas funkcjonowania, w znaczącej większości są w stanie dobrym.

Według danych z RZGW w korycie Raby jest 248 budowli podłużnych. Znamy datę powstania 162 budowli (65%), a w 86 przypadkach (35%) jest ona nieznana. Wśród regulacji ze znaną datą powstania zarejestrowano zaledwie 5 budowli z lat 60., po 14 z lat 70. i 80. XX wieku. Lata 90. XX wieku to powstanie kolejnych 39 budowli w korycie Raby. Najwięcej regulacji podłużnych powstało w 1. dekadzie XXI wieku. Jest to aż 67 budowli, zlokalizowanych głównie w odcinkach 3–10 (najwięcej w odcinku 3, 7, 9) oraz 13 i 14, a także pojedyncze budowle w odcinkach od 17 do 31. W 2. dekadzie XXI wieku powstało jeszcze kolejne 21 regulacji (tab. 7).

Znaczna część regulacji podłużnych jest w stanie likwidacji – 99 budowli, w tym 69 takich, w przypadku których nie znamy daty powstania. Aż 36 budowli, które przeszły w stan likwidacji w 2006 roku, to regulacje z lat 60. 70. i 80. XX wieku. Były one zlokalizowane w odcinkach od 3 do 10, czyli głównie w górnym biegu Raby. Natomiast najwięcej budowli bez znanej daty powstania przeniesiono w stan likwidacji w 2010 roku; dotyczy to głównie regulacji w dolnym biegu Raby. Z jednej strony można założyć, że są to także budowle najstarsze, z lat 60. i 70. XX wieku, z drugiej jednak w dolnym biegu Raby podczas kartowania w 1976 roku stwierdzono niewiele regulacji.

Suma długości wszystkich budowli regulacyjnych i ubezpieczeń brzegów usytuowanych w korycie Raby to wg danych RZGW 79 058 m. Na kilometr koryta Raby przypada zatem 600 m regulacji brzegów. W dobrym stanie jest 41% wszystkich budowli (o łącznej długości 32 021 m), 59% regulacji jest w stanie likwidacji (fot. 5). Budowle podłużne najczęściej stosowane w korycie Raby to wg zestawienia RZGW: tamy podłużne faszynadowe z koroną z koszy siatkowo-kamiennych (38,9%), opaski faszynadowe kamienne (23,5%) i opaski z narzutu kamiennego luzem (14,6%). Wśród obiektów zlikwidowanych najwięcej jest budowli tych dwóch

2.4.5. CHARAKTERYSTYKA BUDOWLI REGULACYJNYCH NA PODSTAWIE DANYCH Z RZGW

A.



B.



2.4. REGULACJE KORYTA RABY

C.



D.





Fot. 5. Zniszczone budowle regulacyjne w korycie Raby (2015); A, B, C – zniszczone opaski, odc. 4, 8, 13, D – zniszczona tama podłużna, odc. 11, E – zniszczone ostrogi (poprzeczki), odc. 9, F – zniszczony stopień, odc. 14

pierwszych typów (tab. 7). Zlikwidowane opaski faszynadowe kamienne stanowią 12,9% wszystkich budowli, zaś zlikwidowane tamy podłużne faszynadowe z koroną z koszy siatkowo-kamiennych 35,9%. Jednoznacznie można stwierdzić, że tamy służące modyfikacji przebiegu koryta są obecnie w większości w stanie likwidacji i stanowią 41% wszystkich umocnień. Są to przede wszystkim budowle z lat 60. 70. i 80. XX wieku. Ich funkcja w większości została prawdopodobnie spełniona, koryto zwężone, a nowa trasa regulacyjna utrwalona. Erozja wgłębna jako skutek uboczny regulacji i erozja boczna nasilona w czasie dużych wezbrań spowodowały znaczące naruszenie ich stanu. Obecnie najwięcej ubezpieczeń brzegów w stanie dobrym to, najnowsze z budowli, opaski z narzutu kamiennego luzem; stanowią 12,5% wszystkich obiektów.

Przedstawione wartości stopnia uregulowania dotyczą koryta Raby na całej długości. Stopień zabudowy koryta regulacjami podłużnymi jest jednak przestrzennie bardzo zróżnicowany w wyróżnionych jego odcinkach. W górnym biegu Raby, w odcinkach od 4 do 10, regulacje podłużne zajmują 50–100% brzegów koryta. Regulacje w stanie dobrym przeważają tu nad tymi w stanie likwidacji. Korzystanie z zestawień RZGW wymaga pewnych wyjaśnień i uzupełnień dla lepszej i pełniejszej oceny stopnia uregulowania koryta Raby. Przykładowo dane RZGW praktycznie nie dokumentują istnienia umocnień brzegu w odcinkach 11 i 12, leżących w sąsiedztwie drogi krajowej nr 7, tzw. zakopianki. Istniejące tam nasypy drogowe, mury oporowe i narzuty kamienne nie należą jednak do RZGW, tylko do Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Krakowie, co jest przyczyną dużych rozbieżności w stopniu dokumentacji uregulowania tych odcinków koryta. Największe zagęszczenie ubezpieczeń udokumentowanych przez RZGW w korycie Raby występuje w odcinkach 18–23. W odcinkach koryta nr 18 i 22 regulacje zajmują blisko 200% brzegów koryta, czyli potencjalnie występują na całej długości obu brzegów koryta Raby lub były wykonywane kilkukrotnie w tym samym miejscu. Najbardziej uregulowany w całym korycie Raby jest odcinek 23. Budowle regulacyjne i ubezpieczenia stanowią tu blisko 400% długości brzegów (ryc. 17). Oznacza to, że uregulowane są oba brzegi, a regulacje były prowadzone co najmniej kilkukrotnie. Budowle regulacyjne tworzą tu więc sekwencje jedna nad drugą. W odcinku tym

znajduje się ujście Stradomki do Raby, ale najbliższe zabudowania położone są w odległości co najmniej 1,7 km od brzegu prawego i ponad 2 km od lewego. Jest to kuriozalny przykład regulacji mających ograniczyć prawdopodobnie erozję boczną terenów nadrzecznych przeznaczonych pod uprawę. Podobnie motywowana była regulacja wyżej omówionych odcinków koryta 18–22. Obecnie 80–90% tych regulacji jest w stanie likwidacji i nie planuje się ich odbudowy. Rezygnacja ta została wymuszona po przyjęciu Ramowej Dyrektywy Wodnej, której założenia nie pozwalają na nieuzasadnione regulacje i niszczenie naturalnego środowiska rzeczno (Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE; <http://eur-lex.europa.eu>). W dolnym biegu Raby stopień ubezpieczeń brzegów jest znacznie mniejszy i większość powstałych w korycie regulacji jest w stanie likwidacji.

Co do regulacji poprzecznych, wg danych z RZGW, podobnie jak na podstawie badań terenowych, można wnosić o ich większej roli jedynie w odcinku beskidzkim koryta Raby. Poza odcinkiem nr 8 zasadniczo liczba tych budowli nie przekracza 5 w odcinku koryta. W tabeli 8 na podstawie danych z RZGW zestawiono najważniejsze cechy tych umocnień. Są to głównie stopnie, których rolą była stabilizacja dna. Stopnie występujące w korycie Raby są zróżnicowanej wysokości, stopnie „bystrza” są najniższe, a ich wysokość wynosi 0,8 m. Wyższe są zwykle stopnie w dolnym biegu Raby (od 0,7 do 1,5 m). Jaz położony w odcinku nr 13 w granicach Myślenic ma wysokość 2,6 m. Największym stopniem jest zapora ziemna w Dobczycach, która osiąga wysokość 30,6 m. Pozostałe budowle to ostrogi i poprzeczki, których rolą było wytyczenie nowej trasy koryta. Ich długość nie przekracza zwykle 40–50 m. Poprzeczki zlokalizowane w odcinkach 8 i 9 to prawdopodobnie formy wybudowane w latach 70. XX wieku (tab. 8). Natomiast poprzeczki faszynowe i z koszy kamiennych w odcinku nr 17 to budowle z lat 90. XX wieku, a w odcinku nr 14 to formy całkiem nowe, powstałe po wezbraniach w latach 2010 i 2014.

W korycie Raby występują odcinki lub ich części, w których 2-, a nawet 3-krotnie regulowano i umacniano ten sam fragment brzegu. Warto przeanalizować je dokładniej: czy sąsiedztwo tych odcinków koryta wymaga szczególnej ochrony ze względu na zagospodarowanie, czy też są to odcinki szczególnie narażone na procesy erozyjne i czy sposoby umocnień są

2.4. REGULACJE KORYTA RABY

Tabela 8. Charakterystyka zabudowy poprzecznej w korycie Raby (informacje pozyskane z RZGW w Krakowie w 2016 roku, dane zweryfikowane przez RZGW)

Nazwa budowli	Liczba budowli	Rodzaj zabudowy	Materiał budujący	Funkcja zabudowy	Lokalizacja; nr odcinka
Stopień „bystrze”	15	stopień	beton, kamień, grodzice stalowe	stabilizacja dna, pobór wody	4, 5, 13, 14, 22, 27, 28
Stopień	1	jaz	beton	stabilizacja dna	13
Stopień	1	zapora ziemna	piasek, żwir, beton	pobór wody, przeciwpowodziowa, energetyczna	16
Poprzeczki faszynowe i z koszy kamiennych	5	.	faszyna, kamień	droga wodna	14, 17
Ostrogi i poprzeczki	21	.	kamień	droga wodna	8, 9, 10, 27

• brak danych, – nie dotyczy.

adekwatne do uwarunkowań naturalnych (fot. 6). Są to odcinki nr 7, 9, 13, 14, 18, 19, 22, 23 i 31.

W systemie korytowym występują strefy predysponowane do znacznej depozycji rumowiska. Inne są naturalnie predysponowane do erozji wgłębnej, np. odcinki przełomowe. Występowanie ich w określonym miejscu systemu fluwialnego jest zazwyczaj uwarunkowane odpornością podłoża, spadkiem, szerokością doliny czy bliskością stref dostawy rumowiska do koryta. Można zadać tu pytanie: czy wystarczająco dobrze rozpoznano naturalne środowisko rzeczne tych odcinków koryta i czy dobrze dobrano sposób regulacji? Pytanie najważniejsze brzmi jednak: czy regulacje w tych odcinkach miały uzasadnienie?

Porównując skalę regulacji (na podstawie liczby budowli na km) istniejących w latach 70. XX wieku i obecnie w korycie Raby, można zauważyć zarówno spadek liczby budowli w biegu środkowym i dolnym, „kotlinowym”, jak i wzrost w odcinku pogórskim i przejściowym między pogórskim

i kotlinnym. Niewątpliwie liczba budowli regulacyjnych wzrosła w odcinkach od 18 do 23, które w latach 70. XX wieku pozostawały nieuregulowane. W odcinkach koryta od 9 do 12 liczba budowli znacząco się zmniejszyła, podobnie w odcinkach 24 do 31. Wynika to prawdopodobnie z tego, że w latach 70. w tych odcinkach występowała regulacja niesystematyczna, tzn. budowle i umocnienia były planowane lokalnie. W latach późniejszych nastąpiła regulacja dłuższych odcinków; tak zwana regulacja systematyczna (Łapuszek, Lenar-Matyas 2013).

Na podstawie map archiwalnych można określić przebieg koryta Raby w planie przed okresem zintensyfikowanych regulacji. Koryto Raby w górnym biegu miało przebieg kręty, co jest dość wyjątkowe w warunkach karpackich. Wynika to z faktu, że górny bieg jest położony częściowo w obrębie kotliny śródgórskiej (rejon Rabki). W biegu środkowym przebieg koryta Raby był zbliżony do koryta roztokowego (ryc. 16), w części pogórskiej kręty (ryc. 18), lokalnie błędzący, w części „kotlinnej” bardzo kręty i meandrujący (ryc. 19). Obecnie naturalny przebieg koryta zachował się w odcinku 1 i fragmentarycznie w 2. W odcinkach beskidzkich doszło lokalnie do samoistnej renaturyzacji i częściowego „powrotu” do dawnych tendencji. Generalnie można wnosić, że regulacje zastosowane w korycie Raby w 80% odniosły zamierzony skutek. Koryto uległo zwężeniu, skróceniu i wyprostowaniu. Zatraciło ono możliwość kontaktu z równiną zalewową. Dodatkowo zapora w Dobczycach podzieliła koryto na dwa systemy. Górny, o górskim reżimie, i dolny, sztucznie kształtowany przez zrzuty wody ze Zbiornika Wodnego Dobczyce.

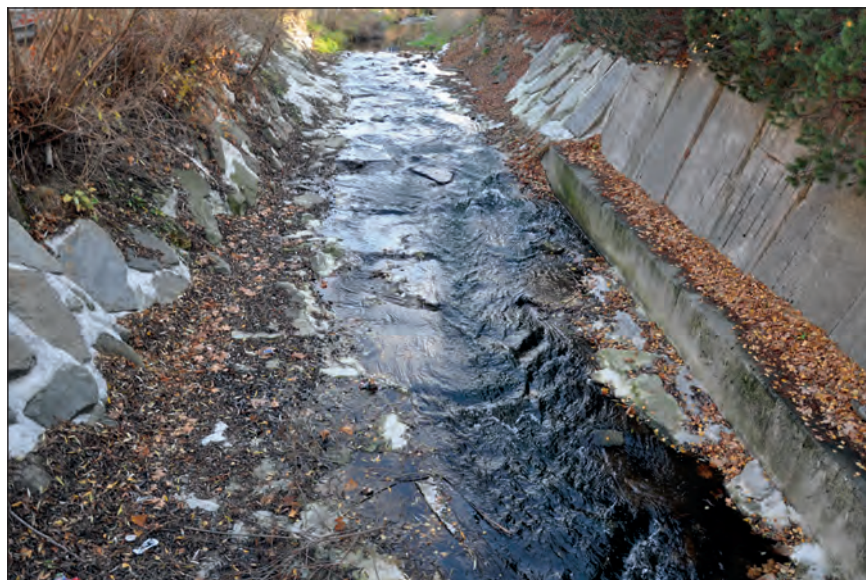
Na podstawie analizy sąsiedztwa miejscowości i bliskości zabudowy (budynki, drogi, linia kolejowa i inna infrastruktura) liczonej do osi koryta oraz udziału regulacji (długości i liczby regulacji podłużnych oraz poprzecznych) w danym odcinku koryta istniejącej współcześnie lub w przeszłości określono wskaźnik antropopresji (ryc. 17). Określając ten wskaźnik, kierowano się także potencjalną możliwością samoistnej renaturyzacji; na podstawie rozpoznanej struktury koryta Raby w 2015 roku (ryc. 5). Ponad 80% długości koryta Raby było lub jest poddane bardzo dużej presji, a wskaźnik antropopresji określono tu jako wysoki i bardzo wysoki (ryc. 17). Najbardziej zaskakująca w tym zestawieniu jest duża

2.4. REGULACJE KORYTA RABY

A.



B.



C.

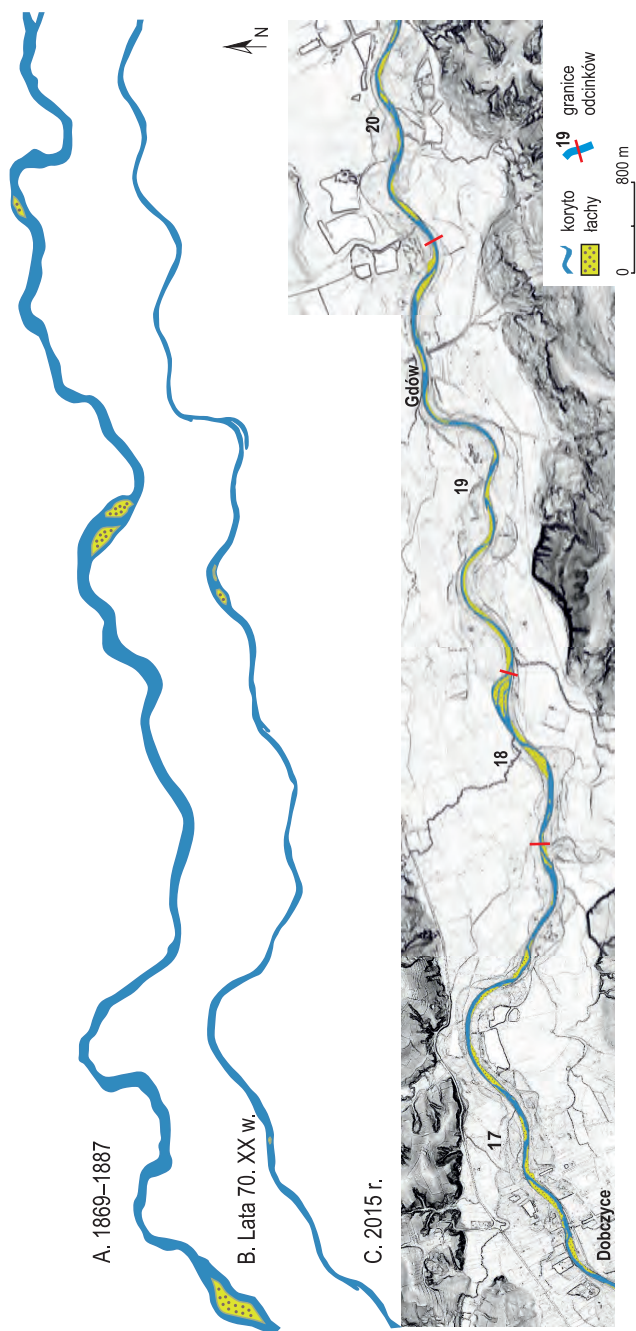


Fot. 6. Umocnienia brzegów koryta Raby; A – mur zabezpieczający nasyp kolejowy, odc. 2, B, C – mury i umocnienia w strefach bliskiej zabudowy, odc. 3

i bardzo duża antropopresja w odcinkach poniżej Zbiornika Wodnego Dobczyce, od odcinka 17 do 24 w dół biegu rzeki. Jest to obszar, który był najintensywniej regulowany od lat 80., pomimo braku infrastruktury w bezpośrednim sąsiedztwie koryta, którą należałoby chronić przed wodami powodziowymi lub erozją boczną.

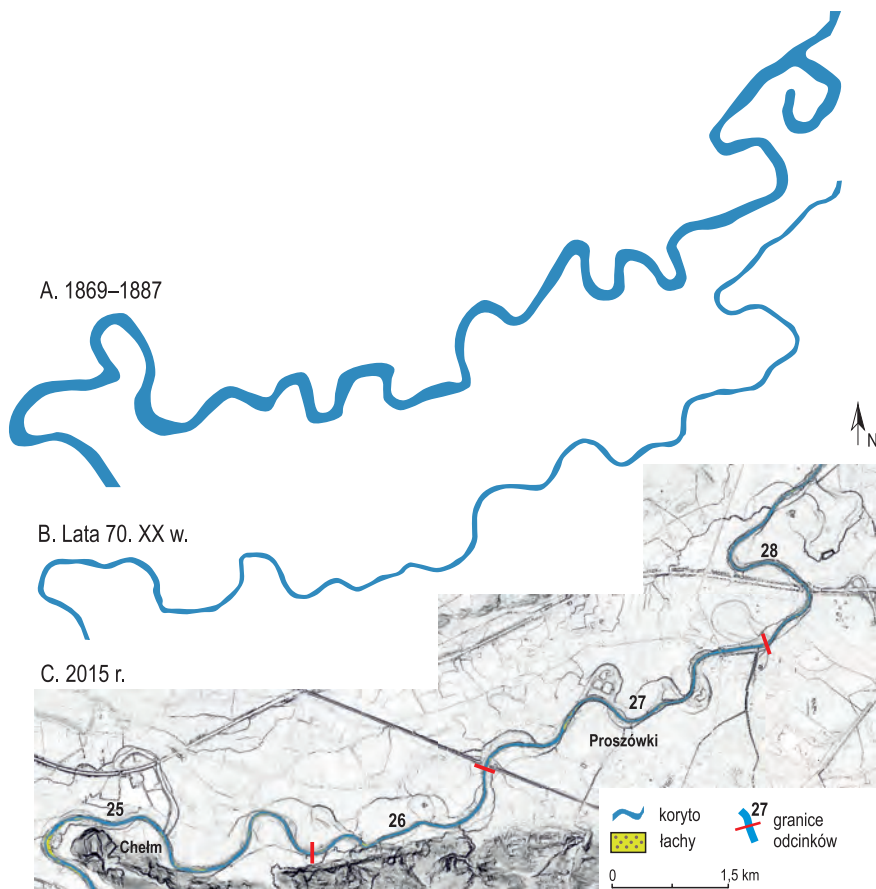
Z przyrodniczego punktu widzenia koryto Raby można określić jako zdegradowane w 80%. Powrót do funkcjonowania zgodnego z uwarunkowaniami środowiskowymi, a nie tylko wymuszonymi przez regulacje, odtworzenie rumowiska w korycie i uzyskanie równowagi systemu fluwialnego, polegającej na ciągłości procesów i struktury w dłuższych odcinkach koryta, prawdopodobnie nie zostanie osiągnięty w perspektywie stu, czy nawet kilkuset lat.

2.4. REGULACJE KORYTA RABY



Ryc. 18. Rozwój koryta w odcinku pogórskim oraz przejściowym między pogórskim i kotlinnym

2.4.5. CHARAKTERYSTYKA BUDOWLI REGULACYJNYCH NA PODSTAWIE DANYCH Z RZGW



Ryc. 19. Rozwój koryta w odcinku kotlinnym



Nie należy odchodzić od tego ani w prawo, ani w lewo

(Erra i Iszum)

2.5. Pobór rumowiska w korycie Raby

Na współczesną strukturę i funkcjonowanie koryt rzek górskich w Polsce i na świecie istotnie wpłynęło pozyskiwanie rumowiska z ich koryt. Proceder ten w XX wieku był powszechny. Z perspektywy kilkudziesięciu lat i rozwoju wiedzy na temat funkcjonowania systemów fluwialnych zupełnie niewiarygodny wydaje się okres masowego poboru rumowiska z koryt rzek karpackich w XX wieku (m.in. Augustowski 1968; Osuch 1968; Klimek 1983; Krzemień 1984, 2003; Wyźga 1991; Kondolf 1994, 1997; Marston i in. 2003; Rinaldi i in. 2005). Największa intensywność eksploatacji rumowiska miała miejsce w okresie od lat 40. do 70. XX wieku. Z końcem lat 70. zaprzestano przemysłowej eksploatacji żwiru z koryt, co oznaczało jedynie pobór na mniejszą skalę. Na ogromną skalę poboru żwirów i niszczenia koryt wskazują badania przeprowadzone w latach 60. XX wieku przez B. Augustowskiego (1968) i B. Osucha (1968) w korycie Wisłoki i Ropy. Eksploatacje w niektórych odcinkach tych koryt prowadzono aż do całkowitego wyczerpania rumowiska w korycie, np. w odcinku Ropy koło Biecza czy „kotlinnym” odcinku Wisłoki. Skutkiem eksploatacji rumowiska było zniszczenie opancerzenia koryta oraz jego pogłębienie w odcinku eksploatowanym. Eksploatacja rumowiska w korycie uaktywniała erozję wgłębną, która zwykle postępowała zarówno w górę, jak i w dół biegu rzeki od miejsca poboru rumowiska (Krzemień 1981, 1984, 2003; Wyźga 1992a, 1993a, 1993b, 1994, 2005; Radecki-Pawlik 2002, 2011; Rinaldi i in. 2005; Korpak i in. 2008). Masowe i długotrwałe wydobywanie rumowiska przyspieszyło

pogłębienie koryt w niektórych odcinkach koryt rzecznych polskich Karpat, prowadząc do odsłonięcia skalnego podłoża (Krzemień 2003; Kościelniak 2004a, 2004b; Zawiejska 2006; Rinaldi i in. 2005). Wywołane eksploatacją rumowiska i postępującą erozją wgłębną obniżenie poziomu dna spowodowało obniżenie poziomu zwierciadła wód gruntowych oraz zmiany w geometrii koryta, zwiększając zagrożenie powodziowe w dolnych odcinkach cieków (Wyźga 1997, 2001b). Pozyskiwanie rumowiska korytowego na ogromną skalę i jego negatywne efekty miały miejsce także w innych krajach europejskich (Rinaldi i in. 2005; Marston i in. 2003; Kovalchuk 1997).

Pobór żwirów jest zjawiskiem szczególnie niekorzystnym w korytach uregulowanych. Niedociągnięcie rzeki w związku z wybraniem żwirów wywołuje i intensyfikuje mechanizm uzupełnienia rumowiska (Radecki-Pawlik 2002). W przypadku rzek uregulowanych, zwężonych, z niedostępnymi dla erozji bocznej umocnionymi brzegami, jedynym „dostawcą” rumowiska staje się dno koryta. Intensyfikacja erozji wgłębnej powoduje obniżenie dna i niszczenie budowli regulacyjnych, które tracą podparcie. Jeśli regulacje są remontowane, to powstaje „samonakręcający” się system degradacji koryta i doliny rzecznej oraz konieczność kolejnych regulacji (Kościelniak 2004a, 2004b).

Nielegalny pobór żwirów stwierdzono podczas kartowania terenowego zarówno w roku 1976, jak i obecnie. W czasie kartowania w 1976 roku znaleziono tylko największe, główne miejsca poboru żwirów. Wydobycie obejmowało wówczas duże powierzchnie i dużą miąższość rumowiska. Do tego celu używano koparek, a do transportu ciężarówek. W korycie Raby stwierdzono wówczas 35 takich miejsc, o powierzchni od kilku do kilkudziesięciu tys. m². Skala tego procederu była ogromna, zwłaszcza jeśli uwzględnimy miejsca poboru żwirów w całej zlewni. Wszystkie większe beskidzkie dopływy Raby były masowo pozbawiane rumowiska. Odnotowano wówczas 44 miejsca poboru żwirów z ich koryt. Niewątpliwie było to jedną z przyczyn niedociągnięcia rumowiskiem wleczonym koryta Raby, czego następstwem była intensywna erozja wgłębna.

Liczba „świeżych” miejsc poboru rumowiska w 2015 roku jest prawie taka sama, jak w 1976 roku (34 miejsc). Różnica polega głównie na tym, że współcześnie znaczone wszystkie, nawet najmniejsze miejsca poboru

2.5. POBÓR RUMOWISKA W KORYCIE RABY

rumowiska. Wyrobiska mają obecnie powierzchnię od ok. 100 m² do ok. 1000 m². Miąższość wybranego materiału wynosi od 0,5 do 1,2 m. Zwykle mniejsze miejsca poboru żwirów były głębsze, a te o dużej powierzchni dość płytkie (fot. 7).

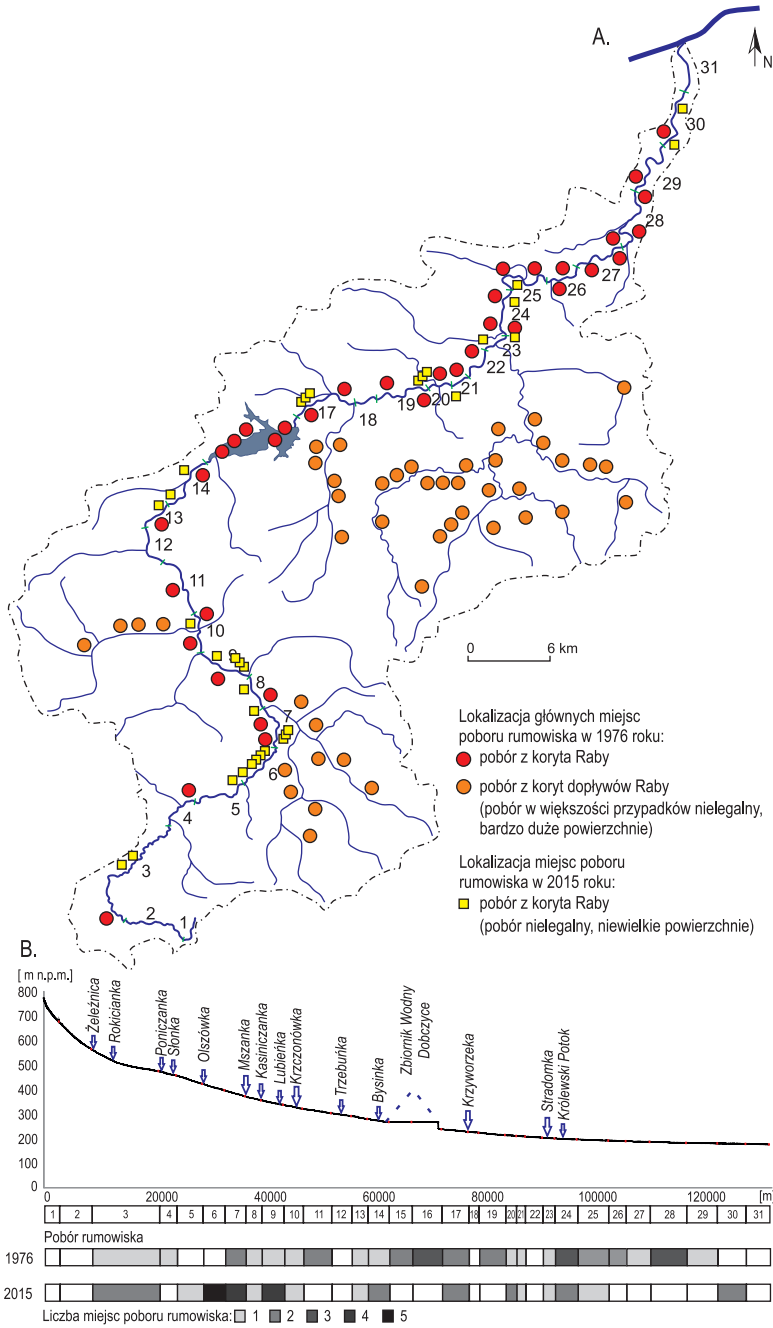
Porównując rozkład miejsc eksploatacji w profilu podłużnym Raby w latach 1976 i 2015, należy stwierdzić, że jest on zdecydowanie inny. W 1976 roku żwir z koryta wybierano w 22 odcinkach, najwięcej w odcinku środkowym i dolnym. W latach 70. i na początku 80. XX wieku duża część stref eksploatacji funkcjonowała w odcinku 15 i 16, czyli w obszarze, który później został zalany przez wody Zbiornika Wodnego Dobczyce. Także poniżej, w odcinku pogórskim i kotlinnym, zarejestrowano liczne miejsca poboru. Obecnie pobór rumowiska stwierdzono w 16 odcinkach koryta Raby; najliczniejszy od odcinka 6 do 9, czyli powyżej zbiornika w Dobczycach (ryc. 20). Porównanie lokalizacji miejsc poboru zarówno w 1976 roku, jak i 2015 roku z powierzchnią łąch/km w danym odcinku, frakcją maksymalną czy sąsiedztwem miejscowości nie wykazuje wyraźnej zależności. Wyraźny związek jest widoczny jedynie w 2015 roku między miejscem poboru a ujściem większych dopływów beskidzkich do koryta Raby (ryc. 20).

Masowy i rozwinięty na ogromną skalę proceder poboru rumowiska, do lat 70. XX wieku o wymiarze przemysłowym, a później niekontrolowanym, może wyjaśniać o około 50% mniejszą powierzchnię łąch i wysp w korycie Raby między kartowaniem w 1976 i 2015 roku.



Ryc. 20. Pobór rumowiska w korycie Raby w latach 1976 i 2015

2.4.5. CHARAKTERYSTYKA BUDOWLI REGULACYJNYCH NA PODSTAWIE DANYCH Z RZGW



2.5. POBÓR RUMOWISKA W KORYCIE RABY



A.



B.

Fot. 7. Współczesne miejsca nielegalnego poboru żwirów z koryta Raby (A – odc. 17, B – odc. 26)

*Woda to symbol chaosu, zmienności,
niestałości, przeobrażenia...*
(Słownik symboli literackich)



2.6. Pogłębianie koryta Raby w XX i XXI wieku

Regulacje polegające na zwężeniu i wyprostowaniu koryta, lokalnym zwiększeniu spadku spowodowały wzrost zdolności transportacyjnej rzeki Raby. Na te zmiany w strukturze koryta nałożyły się jeszcze działania znacząco zmniejszające dostępność rumowiska do transportu, głównie intensywna eksploatacja żwirów w 2. połowie XX wieku oraz zmiana zagospodarowania zlewni, zwłaszcza po 1989 roku (Osuch 1968; Lach 1975; Korpak i in. 2008; Wyźga 1993a; Górczyca, Krzemień 2010; Radecki-Pawlik 2012). Stale zmniejszająca się ilość rumowiska dostępna do transportu przyczyniła się do gwałtownej erozji wgłębnej i degradacji koryta Raby.

Intensywność przebiegu erozji wgłębnej można określić na podstawie wieloletnich obserwacji kształtowania się rocznych stanów niskich. Przebieg minimalnych rocznych stanów wody w profilach wodowskazowych w okresach wieloletnich jest dobrym wskaźnikiem zmian występujących w położeniu dna koryta. Pozwala to na określenie wielkości pogłębiania lub nadbudowania dna koryta w profilu pomiarowym (Trafas 1975; Punzet 1981, 1991, 1993; Klimek 1983; Krzemień 1984; Wyźga 1993a; Wiejaczka, Kijowska 2011).

Na podstawie minimalnych rocznych stanów wody w punktach wodowskazowych w biegu środkowym i dolnym koryta Raby określono tendencje do pogłębiania w XX wieku (Wyźga 1993a, 2008). W celu

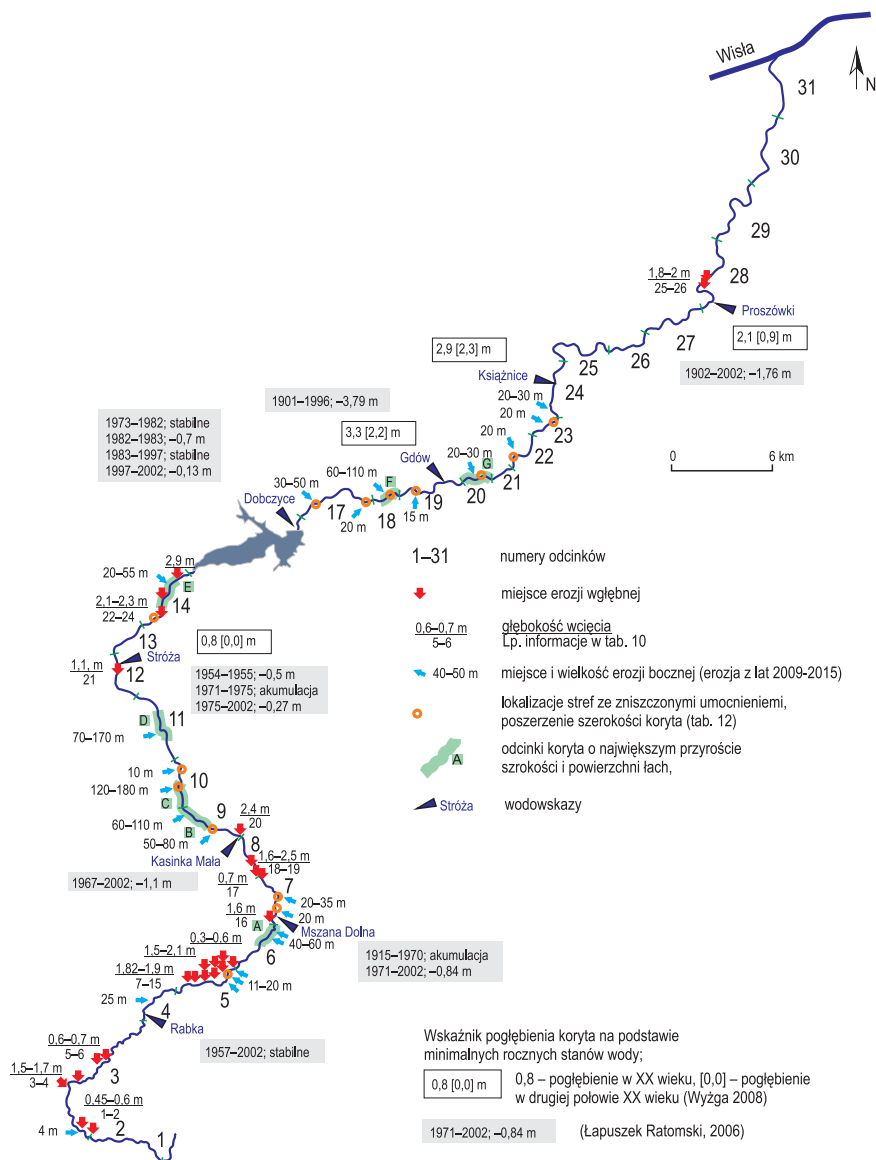
potwierdzenia możliwości uzyskiwania informacji o erozji wgłębnej lub akumulacji z minimalnych rocznych stanów wody w pracy M. Łapuszek, J. Ratomskiego (2006) podjęto się opracowania metod sprawdzających założenie, że zmiany stanów niskich odpowiadają zmianom położenia dna koryta. Wspomniani badacze wykorzystali metody statystyczne, dla określonych przedziałów czasowych wprowadzono równania regresji wykazujące tendencje oraz intensywność zmian dna koryta w badanych profilach. Wybrane wartości z prac B. Wyźgi (1993a, 2008) oraz M. Łapuszek, J. Ratomskiego (2006) dotyczące zmian występujących w położeniu dna koryta Raby przedstawiono na rycinie 21.

Według B. Wyźgi (1993a, 2008) w Gdowie i w Książnicach pogłębienie koryta Raby w XX wieku wyniosło ok. 3 m, w Proszówkach ok. 2 m. Obniżanie dna koryta w profilach wodowskazowych było zróżnicowane. Występowały okresy zarówno wzmożonej erozji, jak i stopniowego odbudowywania się rumowiska w dnie koryta (ryc. 21). Po pierwszym okresie regulacji na początku XX wieku, wystąpił pierwszy epizod gwałtownego pogłębienia koryta, który trwał do lat 20. XX wieku. Do lat 50. XX wieku obserwowano okres agradacji. Kolejne regulacje i masowy pobór żwirów w następnych dekadach spowodował następny intensywny okres z erozją dna koryta Raby w profilach wodowskazowych (Wyźga 1993a).

Analizy M. Łapuszek i J. Ratomskiego (2006) minimalnych rocznych stanów wody Raby dają podobne wyniki. W latach 1901–1996 w Gdowie pogłębienie osiągnęło wartość 3,79 m, a w Proszówkach 1,76 m. W Dobczycach pogłębienie odnotowano w okresie budowy zapory; od początku funkcjonowania zbiornika koryto określono jako stabilne z niewielką tendencją do wcinania. W górnym biegu profil w Rabce określono jako stabilny, w profilu pomiarowym w Mszanie Dolnej okres do roku 1970 cechował się akumulacją. Erozja rozpoczęła się dopiero od 1971 roku i do 2002 roku koryto pogłębiło się o 0,84 m. W Kasince Małej w okresie 1967–2002 odnotowano pogłębienie koryta rzędu 1,1 m. W Stróży okresy erozji i akumulacji w profilu pomiarowym występują naprzemiennie. Od 1957 do 2001 roku stwierdzono obniżenie dna o 0,27 m (ryc. 21; Łapuszek, Ratomski 2006).

W niniejszej pracy przeanalizowano minimalne stany roczne Raby w profilach wodowskazowych w Rabce, Mszanie Dolnej, Kasince Małej,

2.6. POGŁĘBIANIE KORYTA RABY W XX I XXI WIEKU ...



Ryc. 21. Zapis kierunków rozwoju w korycie Raby

Stróży, Dobczycach i Proszówkach (ryc. 22). Zrezygnowano z punktu pomiarowego w Gdowie, który przestał działać w 1996 roku. Okres analiz obejmuje lata 1982–2014.

Dno koryta wydaje się najbardziej stabilne w Rabce, gdzie w ciągu 32 lat nastąpiło pogłębienie o ok. 4–5 cm.

Koryto w profilu wodowskazowym w Mszanie Dolnej wykazuje tendencje do naprzemienności erozji i agradacji. Zmiana tendencji następowała zwykle co 6–8 lat. Generalnie w latach 1982–2011 koryto pogłębiło się o 135 cm, czyli średnio 4,5 cm/rok. Od roku 2012 obserwujemy gwałtowny przyrost rumowiska; zakumulowało się 88 cm.

Podobnie wygląda sytuacja w punkcie wodowskazowym w Kasince Małej. W latach 1982–2011 koryto pogłębiło się o 160 cm, czyli średnio 5,3 cm/rok, a gwałtowna agradacja w ciągu ostatnich trzech analizowanych lat wyniosła 100 cm.

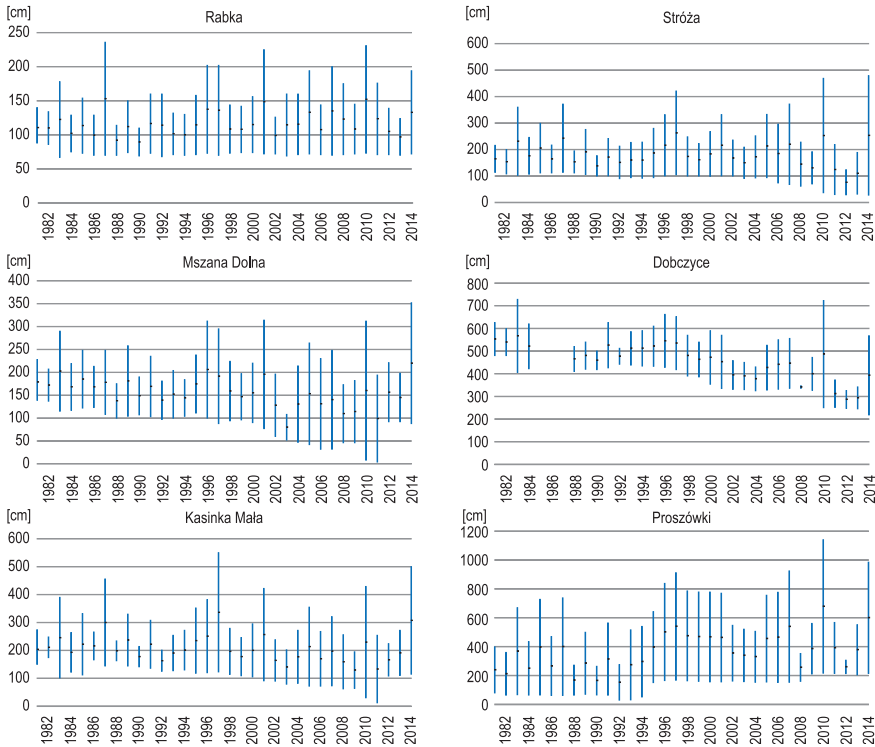
Inaczej wygląda zapis minimalnych stanów rocznych na wodowskazie w Stróży, gdzie w latach 1982–1995 dno koryta obniżyło się o 20 cm, a następnie do 2002 roku było stabilne. Obecnie powróciła tendencja do pogłębiania; w latach 2002–2014 dno koryta obniżyło się o 72 cm; 6 cm/rok.

W Dobczycach w latach budowy zbiornika koryto obniżyło się o 58 cm (14,5 cm/rok). Od wybudowania zapory do roku 1997 koryto było stabilne. W latach 1997–2004 dno koryta obniżyło się o 93 cm (12 cm/rok), następnie do roku 2010 było stabilne i w okresie pomiędzy dwoma dużymi wezbrzeniami (w latach 2010 i 2014) wcięło się o 32 cm (8 cm/rok).

Ostatni z punktów wodowskazowych położony jest w Proszówkach, zapis minimalnych stanów rocznych znacząco odbiega od wszystkich wyżej przeanalizowanych stanów. W latach 1981–1990 koryto było stabilne, później wystąpił krótki epizod erozyjny, koryto wcięło się 30 cm w ciągu trzech lat, a następnie zaszła znacząca agradacja i stabilizacja koryta, aż do 2008 roku. Kolejny epizod agradacji nastąpił w latach 2009–2010, obecnie obserwowany jest kolejny okres stabilizacji. Średnio w latach 1994–2014 w korycie Raby w profilu wodowskazowym Proszówki zakumulowało się 163 cm rumowiska (8,15 cm/rok) (ryc. 22).

M. Łapuszek i J. Ratomski (2006) podjęli próbę prognozy dotyczącej wskaźnika obniżania dna koryta Raby. Porównując prognozę na lata

2.6. POGŁĘBIANIE KORYTA RABY W XX I XXI WIEKU ...



Ryc. 22. Stany minimalne i maksymalne w punktach wodowskazowych na Rabie

2003–2007 z minimalnymi stanami rocznymi, które wystąpiły w tym okresie, można stwierdzić, że prognoza ta potwierdziła się jedynie w profilu wodowskazowym w Mszanie Dolnej, nie ma też dużej różnicy w Rabce; choć tendencja jest odwrotna, to generalnie koryto jest tu dość stabilne. W pozostałych punktach rozbieżność jest nawet dziesięciokrotna (tab. 9).

Generalizując wyżej opisane analizy minimalnych stanów rocznych, można wyznaczyć tendencje do pogłębiania lub agradacji dla koryta Raby w profilach wodowskazowych. Koryto Raby w profilu Rabka nie wykazuje znaczących zmian związanych z procesami korytowymi. W 1978 roku poniżej wodowskazu wybudowano stopień, co stabilizuje koryto w tym odcinku. Tym samym informacje z tego punktu nie odzwierciedlają przebiegów

Tabela. 9. Wskaźniki obniżania koryta Raby na podstawie stanów wód w punktach wodowskazowych

Okres pomiarowy	Prognoza wskaźnika obniżania dna koryta wg M. Łapuszek, J. Ratomskiego (2006)		Wskaźnik obniżenia dna wg przekroju					
	2003–2007 wg 10-letniego ciągu danych		2003–2007		2008–2011		2011–2014	
Wodowskazy	cm/rok	m	cm/rok	m	cm/rok	m	cm/rok	m
Rabka	-0,36	-0,02	0,2	0,01	0,75	0,03	-0,25	-0,01
Mszana Dolna	-5,62	-0,28	-4,0	-0,2	-10,5	-0,42	21,0	0,84
Kasinka Mała	-9,86	-0,5	-1,2	-0,06	-1,25	-0,05	25,7	1,03
Stróża	-0,24	-0,01	-4,6	-0,23	-8,0	-0,32	-0,5	-0,02
Dobczyce	-13,6	-0,68	1,2	0,06	-20,5	-0,82	-8,25	-0,33
Proszówki	-1,62	-0,08	-0,8	-0,04	13,7	0,55	0	0

procesów erozyjnych czy też agradacyjnych powyżej Rabki. Przebieg minimalnych stanów rocznych w profilu wodowskazowym Mszana Dolna wykazuje do lat 70. XX wieku intensywną akumulację, w kolejnych 40 latach przewagę procesów erozji wglębnej nad akumulacją, z dużym epizodem erozyjnym podczas wezbrania w 2010 roku. W 2012 roku zapisała się gwałtowna agradacja, tendencja ta nadal się utrzymuje. W profilu wodowskazowym Kasinka Mała zapisała się generalna tendencja do pogłębiania, aż do 2011 roku. Od 2012 roku zapisuje się epizod agradacyjny. W profilu wodowskazowym Stróża przez pierwsze 70 lat XX wieku utrzymywała się tendencja do powolnego obniżania się dna koryta. W latach 70. XX wieku wskutek trzech dużych wezbrań nastąpiła znaczna agradacja. W kolejnych latach nastąpiło nieznaczne obniżanie, z wyraźnym przegłębieniem dna podczas wezbrania w 2010 roku. Wszystkie powyżej scharakteryzowane punkty wodowskazowe położone są w górnym biegu Raby, gdzie generalnie istnieje tendencja do pogłębiania koryta. Należy jednak podkreślić, że okresy erozji i agradacji występują naprzemiennie.

Obecnie w odcinku pogórskim, w biegu środkowym, położony jest tylko jeden punkt pomiarowy: w Dobczycach. Tu także występują epizody erozyjne i akumulacyjne, z generalną tendencją do obniżania dna. W biegu dolnym obecnie występuje jedynie wodowskaz w Proszówkach. Do lat 80. XX wieku koryto obniżało się tam o 2,5 cm/rok, do połowy lat 90. było stabilne, obecnie wykazuje bardzo wyraźną tendencję do agradacji. Tę odmienną tendencję można wytłumaczyć tym, że w latach 80. wybudowano betonowy jaz poniżej profilu wodowskazowego, co znacząco przyczyniło się do stabilizacji dna (ryc. 22).

W interpretacji minimalnych stanów rocznych na podstawie profili wodowskazowych istotna jest ich lokalizacja. Sąsiedztwo stopni i innych budowli regulacyjnych może znacząco zaburzyć zapis tendencji rozwojowych koryta. Przekładanie wówczas informacji z punktów wodowskazowych na dłuższe odcinki koryta może być mylące. Przykładem tego jest wodowskaz w Rabce. Na podstawie analizy minimalnych stanów rocznych moglibyśmy zaryzykować stwierdzenie, że w górnym biegu, aż do Rabki, koryto Raby jest stabilne. Badania terenowe wskazują jednak na intensywną erozję zarówno powyżej, jak i poniżej Rabki (ryc. 21). Informacje dotyczące pogłębienia koryta zostały pozyskane z analizy i pomiarów stopnia zniszczenia regulacji w korycie Raby. Wartości pogłębienia koryta uzyskano z pomiarów w 26 punktach (ryc. 21; tab. 10). W wyniku intensyfikacji erozji wgłębnej, będącej następstwem regulacji i niedociążenia rzeki, następuje pogłębienie się koryta poniżej minimalnego posadowienia budowli regulacyjnej. Różnica wysokości między współczesnym dnem koryta a stopniem zawieszenia koryta nad dnem pomniejszona o minimalne posadowienie, „zakotwiczenie” budowli regulacyjnej w dnie koryta (maksymalnie 0,5 m), stała się podstawą do wyliczenia wielkości pogłębienia koryta. Odcinki, w których pomierzono wielkość pogłębienia dna koryta, znajdują się głównie w biegu górnym: nr 2, 3, 5, 7, 8, 9, 12 (tab. 11). Pogłębienie koryta wyniosło od 0,45 m w odcinku nr 2 do 2,5 m w odcinku nr 8. Pomiar stopnia pogłębienia dna koryta wykonano jeszcze w odcinku nr 14 (w części pogórskiej) i 28, w dolnym biegu Raby. Intensywne pogłębienie koryta (ponad 2 m) stwierdzono w odcinku nr 14, powyżej cofki Zbiornika Wodnego Dobczyce. Obecnie w odcinku tym zachodzi znaczna akumulacja,

Tabela 10. Lokalizacja w korycie Raby miejsc z erozją wgłębną

Lp.	Nr odc.	Pogłębienie [m]	Czas * lata XX wieku	Współrzędne punktu					
				N			E		
				o	'	''	o	'	''
1	2	0,5	.	49	32	27	19	53	50
2	3	0,6	90.	49	32	40	19	53	24
3	3	1,5	70.	49	34	6	19	52	50
4	3	1,7	70.	49	34	61	19	52	52
5	3	0,6	70.	49	34	62	19	52	53
6	3	0,7	70.	49	34	54	19	54	33
7	5	1,9	70.	49	38	2	20	1	20
8	5	1,8	70.	49	37	59	20	1	11
9	5	2,1	70.	49	37	57	20	1	7
10	5	1,7	70.	49	37	49	20	1	3
11	5	1,9	70.	49	37	44	20	1	1
12	5	0,3	90.	49	37	39	20	1	0
13	5	0,3	90.	49	37	29	20	0	44
14	5	0,6	90.	49	37	29	20	0	31
15	5	2,0	70.	49	37	35	20	0	20
16	7	1,6	70.	49	39	39	20	3	24
17	8	0,7	.	49	41	07	20	2	46
18	8	2,5	70.	49	41	18	20	2	37
19	8	1,6	90.	49	41	34	20	2	29
20	9	2,4	90.	49	42	26	20	1	48
21	12	1,1	70.	49	48	2	19	55	37
22	14	2,3	70.	49	50	22	19	58	2
23	14	2,1	70.	49	50	56	19	58	36
24	14	2,9	70.	49	49	50	19	57	52
25	28	1,8	70.	50	0	22	20	26	28
26	28	2,0	70.	50	0	22	20	26	26

* okres, w którym nastąpiło pogłębienie, liczony na podstawie wieku umocnień i innych budowli w korycie; informacja z RZGW w Krakowie oraz z wyników kartowania w 1976 roku

• brak danych.

Tabela 11. Charakterystyka wzebrań w 2010 i 2014 roku w punktach wodowskazowych na Rabie na tle przepływów o prawdopodobieństwie $Q_{10\%}$ i $Q_{1\%}$ (na podstawie: T. Walczykiewicz 2011, Raport ISOK)

Wzebranie	2010 rok				2014 rok		Maksymalne stany obserwowane (wg IMGW)	Prawdopodobieństwo przewyższenia $Q_{max\%}$ oraz odpowiadający stan wody H [cm] (wg Raportu ISOK)			
	16–19 maja		2–4 czerwca		15–18 maja			$Q_{10\%}$	$H_{010\%}$	$Q_{1\%}$	$H_{01\%}$
	H /dzień [cm]	Q /dzień [m ³ /s]	H /dzień [cm]	Q /dzień [m ³ /s]	H /dzień [cm]	Q /dzień [m ³ /s]					
Maksymalne wartości w czasie wzebrań											
Rabka	231 (17.05)	83,5 (17.05)	202 (4.06)	56,8 (4.06)	194 (16.05)	49,8 (16.05)	•	209	113	•	
Mszana Dolna	312 (17.05)	103 (17.05)	228 (2.06)	63,6 (4.06)	352 (16.05)	74,4 (16.05)	•	326	192	405	
Kasinka Mała	429 (17.05)	281 (17.05)	306 (4.06)	167 (4.06)	500 (16.05)	240 (16.05)	•	429	550	538	
Stróża	469 (17.05)	646 (17.05)	314 (4.06)	277 (4.06)	479 (16.05)	676 (16.05)	516 (1934)	360	755	503	
Dobczyce	723 (17.05)	624 (17.05)	503 (3.06)	272 (3.06)	568 (16.05)	362 (16.05)	662 (1996)	698	1160	861	
Proszówki	1140 (17.05)	1440 (17.05)	988 (4.06)	858 (4.06)	985 (17.05)	822 (17.05)	1184 (1934)	998	1560	•	

• brak danych.

jednak erozyjna przeszłość, być może był to czas budowania zbiornika, widoczna jest do dziś (fot. 5).

Porównanie dna koryta w latach 1976 i 2015 pozwala na potwierdzenie znacznego pogłębienia koryta w górnym biegu Raby. Wnioskować można o tym na podstawie występujących obecnie licznych wychodni, progów i podłóg skalnych w odcinkach nr 2–9 w górnym biegu rzeki; w latach 70. ich obecność stwierdzono tylko w 2 odcinkach (ryc. 5).

Analiza minimalnych rocznych stanów wody Raby (Klimek 1983; Wyźga 1993a; Łapuszek, Ratomski 2006; analizy własne), pomiary wielkości erozji wgłębnej wykonane w terenie, analiza wieloetapowości regulacji hydrotechnicznych oraz układu koryta pozwalają stwierdzić, że erozja wgłębna była procesem powszechnym na całej długości koryta Raby i wpływa w dużym stopniu za jego degradację.

Bóbr jest jednym z niewielu gatunków zwierząt, które – obok człowieka – potrafią przystosować środowisko do własnych potrzeb.

(A. Czech, Bóbr – budowniczy i inżynier)



2.7. Działalność bobrów w korycie Raby

Z karpaccich rzek i potoków bóbr europejski (*Castor fiber*) zniknął prawdopodobnie już pod koniec XVI wieku. Główną przyczyną wyginięcia tych zwierząt były polowania, ale przyczyniło się do tego także stopniowo rozwijające się osadnictwo w dolinach rzek karpaccich (Żurowski 1979; Czech 2010). Próby wprowadzenia bobra z powrotem do rzek i potoków podjęto w latach 70. XX wieku w ramach „Programu Aktywnej Ochrony Bobra Europejskiego”. W Karpatach reintrodukcję rozpoczęto w latach 80. XX wieku (Żurowski 1979; Czech 2010). Odtworzenie populacji bobra europejskiego rozpoczęto od „wsiedlenia” kilku par bobrów, najpierw w dolinie górnego Sanu, a później w górnej Wisłoce (Zbyryt 2008; Jamroz, Górecki 2009; Zbyryt, Zbyryt 2013).

Obecnie bobra europejskiego można spotykać w większości koryt rzek karpaccich. Także dolina Raby, pomimo dużej antropopresji w korycie i zanieczyszczenia wody, została zasiedlona przez bobry. W trakcie kartowania terenowego w 2015 roku stwierdzono liczne przejawy działalności bobrów, odnotowano istniejące żeremia, zgryzy, nory czy też ścieżki i ślizgi bobrowe (fot. 8, 9). Bobry ścinają mnóstwo gałęzi, które transportują w najbliższe okolice swojej kryjówki. Takie nagromadzenie pokarmu jest dowodem na to, że dane stanowisko zostało zajęte przez rodzinę bobrów. Za stanowiska zajęte przez bobry uznano również te wszystkie, przy których widniały ślady intensywnego użytkowania, czyli świeżo ogryzione gałęzie, ślizgi do wody czy nowo naniesiony muł. Na podstawie posiadanych danych

2. UWARUNKOWANIA ROZWOJU UREGULOWANEGO SYSTEMU KORYTOWEGO...



A.



B.

C.



Fot. 8. Ślady działalności bobrów w korycie Raby, A – powalone drzewa (odc. 3), B – śliz bobra (odc. 6), C – pozostałości żeremia (odc. 30)

można w dużym przybliżeniu stwierdzić, że w korycie Raby występuje ok. 16–20 rodzin bobrów. Zakłada się, że średnia wielkość rodziny bobrowej liczy cztery osobniki, dlatego liczebność bobrów można szacować na ok. 60–80 osobników. Przedstawione szacunki oraz liczba lokalizacji śladów działalności bobrów może być niedoszacowana, jest bowiem bardzo prawdopodobne, że w trakcie kartowania koryta nie zarejestrowano wszystkich widocznych śladów żerowania bobrów (patrz rozdział: *Metody badań*).

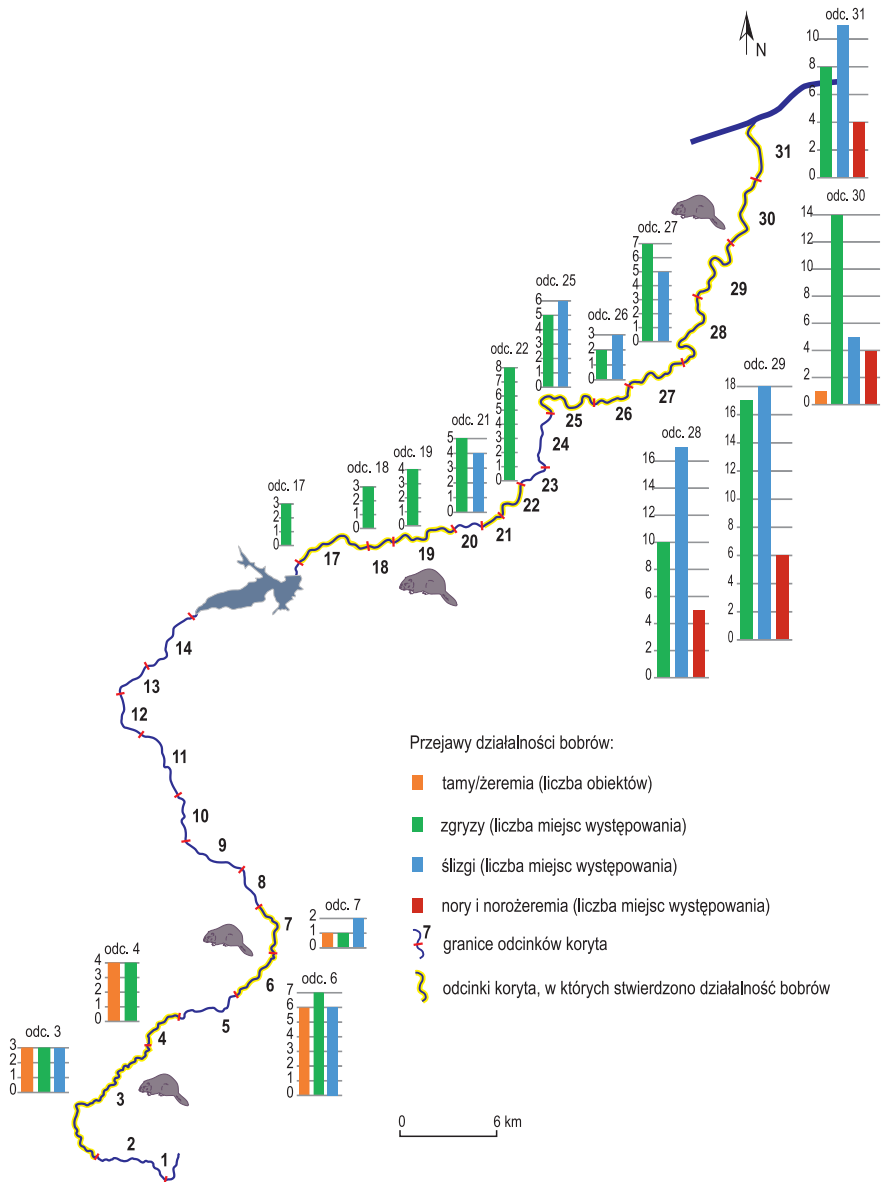
Bóbr nie opanował koryta Raby na całej długości, występuje głównie w biegu dolnym i środkowym oraz lokalnie w biegu górnym (ryc. 23). W biegu górnym liczne miejsca żerowania bobrów oraz tamy i żeremia, a także ślizi stwierdzono w czterech odcinkach: nr 3, 4, 6, 7 (fot. 8, 9). Odcinki koryta Raby nr 3 i 4 są położone w obrębie kotliny śródgórskiej, z rzeźby pogórskiej tego terenu wynikają niezbyt duże spadki koryta jak na górny bieg (6‰), koryto jest też stosunkowo wąskie (7–10 m). Takie warunki sprzyjają budowaniu przez bobry tam przegradzających całą szerokość koryta (fot. 9). Bobry do budowy tamy najczęściej wybierają lokalne zwężenie koryta lub wypłylenie. Tamy budowane są z gałęzi, mułu, darni, żwirów i głazów. W niektórych przypadkach bobry wykorzystywały kamień łamany z pozostałości po umocnieniach brzegowych. W korycie Raby nie stwierdzono typowych stawów bobrowych, a jedynie spiętrzenia wody w obrębie koryta; woda w strefach przegrodzeń nie rozlewała się poza brzegi koryta (fot. 9). Przegrodzenie całego koryta powoduje spiętrzenie wody w korycie, spowolnienie przepływu oraz erozji wgłębnej. Lokalnie może zachodzić erozja boczna wynikająca z rozmywania hydraulicznego osadów brzegowych. Odmiennie wygląda sytuacja poniżej, w części beskidzkiej, w odcinkach koryta nr 6 i 7, gdzie duża ilość materiału rumowiskowego i lokalnie szerokie koryto warunkuje przepływ wielonurtowy (tab. 4). Tamy i żeremia nie przegradzają całej szerokości koryta, a jedynie jeden z bocznych nurtów (fot. 9). Przegrodzenie koryta powoduje podwyższenie lustra wody i znaczne spowolnienie jej przepływu. Skutkiem tego jest ograniczenie pogłębienia koryta bocznego i znaczące zmniejszenie erozji wgłębnej (ryc. 24 IA, B). Akumulacja osadów i stopniowe niszczenie poprzez rozmywanie brzegów powoduje zawieszenie koryta bocznego „zajętego” przez bobry i koncentrację

2. UWARUNKOWANIA ROZWOJU UREGULOWANEGO SYSTEMU KORYTOWEGO...



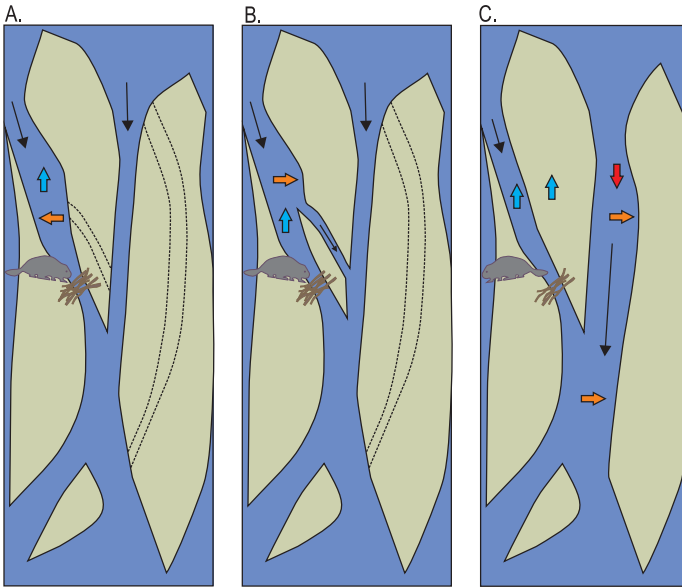


Fot. 9. Tamy bobrów w górnym biegu Raby (odc. 3, 6 ,7)

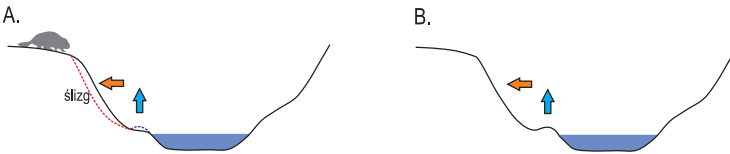


Ryc. 23. Rozmieszczenie siedlisk bobrów w korycie Raby

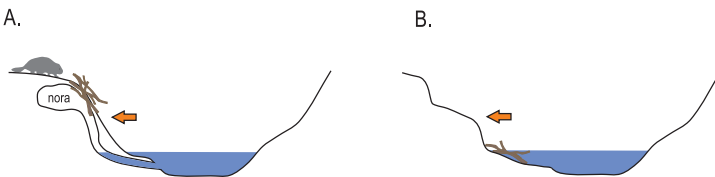
I. Działalność bobrów w korycie wielonurtowym – budowanie tam



II. Działalność bobrów w korycie głęboko wciętym – poszerzanie koryta w strefach ślizgów



III. Działalność bobrów w korycie wyciętym w drobnym materiale – poszerzanie koryta w strefach nor i norozeremi



rodzaj procesu:

- erozja wglębna ↓
- erozja boczna →
- akumulacja ↓

Ryc. 24. Schemat oddziaływania bobrów na koryto Raby

przepływu w nurcie głównym (ryc. 24, IC). Podpiętrzanie wody w jednym z koryt w odcinku wielonurtowym może też spowodować odwrotną sytuację, a mianowicie uaktywnienie przepływu korytem zawieszonym, do tej pory suchym. Aktywność bobrów w odcinkach wielonurtowych może przełożyć się na ich funkcjonowanie; w zależności od układu lokalnego koryta na zwiększenie lub zmniejszenie liczby nurtów (ryc. 24 I). Nawet lokalnie występująca erozja boczna, wynikająca z przesiąknięcia wodą podpiętrzonych odcinków oraz zmniejszenia spójności osadów w brzegu w związku z kanałami nor, może doprowadzić do poszerzenia koryta (ryc. 24). W okresach wezbraniowych zniszczenie przegrodzenia koryta – tamy, może być przyczyną zwiększonej erozji wgłębnej zarówno w dół, jak i w górę biegu (Giriati i in. 2016).

Działalność bobrów poniżej Zbiornika Wodnego Dobczyce jest dostosowana do ukształtowania koryta i równiny zalewowej. Działalność żerowania i siedlisk bobrów stwierdzono prawie we wszystkich odcinkach koryta poniżej zbiornika (poza nr 20, 23 i 24). W odcinkach koryta od nr 17–22 stwierdzono głównie zgrzyzy i ścieżki bobrów. Nory czy żeremia występują głównie na terasie zalewowej i na dopływach Raby. Koryto w tych odcinkach jest już szerokie, a przepływ uniemożliwia budowanie tam i żeremi w korycie. Materiał zwirowy w brzegach koryta nie sprzyja kopaniu nor czy norożeremi. Oddziaływanie bobrów bezpośrednio na przebieg procesów w korycie w tych odcinkach jest niewielki, ogranicza się do niewielkiego oddziaływania na brzegi koryta poprzez ich rozczłonkowanie ścieżkami. Działalność bobrów nie zwiększa też znacząco dostawy rumoszu drzewnego do koryta. Zgryzane drzewa to najczęściej wierzby i topole o średnicy od kilku do 50–60 cm. W wyniku działalności bobrów w korycie stwierdzono jedynie drobny rumosz, grubszy pozostaje na brzegach i równinie zalewowej. Jego rola może wzrosnąć w czasie wezbrań, kiedy zostanie on włączony do wód wezbraniowych. W żadnym razie nie należy traktować zwiększenia dostawy rumoszu drzewnego w wyniku działalności bobrów jako zagrożenia dla infrastruktury takiej jak mosty i budowle regulacyjne. Włączenie rumoszu drzewnego może jedynie zwiększyć bioróżnorodność w korycie Raby. Od odcinka nr 28 znacząco wzrasta liczba miejsc ze ślizgami bobrów do koryta. Rozczłonkowanie brzegów, głębokie rozcięcia

i akumulacja materiału u podnóża brzegów może mieć znaczący wpływ na erozję boczną i poszerzanie się koryta Raby. Ślizgi bobrowe w zależności od wysokości brzegów koryta Raby wynoszą od 0,5 do 2,5 m. Lokalnie występują bardzo gęsto: co 3–5 m. Bobry rozcinają brzeg koryta na głębokość od 0,2 do 0,7 m. U wylotu tych form akumuluje się materiał wyerodowany w trakcie użytkowania ślizgów przez bobry, ale także przez spływające do koryta z równiny zalewowej wody opadowe (ryc. 24 II). Podczas wezbrań te niewielkie stożki są niszczone, ale w okresie międzywezbraniowym stanowią urozmaicenie konfiguracji koryta. Mogą stać się też „zaczątkiem” łachy bocznej. Rozczłonkowane i pozbawione roślinności brzegi koryta są znacznie łatwiej modelowane w czasie wezbrań przez erozję boczną.

Najwięcej przejawów działalności bobrów w korycie Raby można obserwować od odcinka nr 28 do ujścia do Wisły. W czasie kartowania stwierdzono tu liczne miejsca z norami i norożeremiami (półżeremiami), ślizgi, zgryzy, a nawet niewielkie żeremia (fot. 8C, 10). Sprzyjające uwarunkowania to: drobny materiał gliniasto-piaszczysto-żwirowy w brzegach koryta, pozwalający na swobodne kopanie nor i norożeremiami, wysokie brzegi dające także swobodę kopania nor i odgradzające od równiny zalewowej, duże powierzchnie roślinności nadrzecznej dostarczające pokarmu. Odcinki te są obwałowane, co paradoksalnie zwiększa swobodę żerowania bobrom przez prawnie ograniczoną działalność człowieka w międzywalu. Liczne w tych odcinkach koryta wydrążone przez bobry nory mogą przyczynić się do wzmożenia erozji brzegów. Nory mogą mieć nawet wysokość ponad 2 m i kilkumetrową długość. Dobrym przykładem jest norożeremie stwierdzone w 30. odcinku koryta Raby (ryc. 24 III, fot. 10). Znalaziono otwór do norożeremienia zakryty rumoszem drzewnym. Nora ta została prawdopodobnie porzucona ze względu na poszerzone kanały wentylacyjne, otwory te mogły też powstać wskutek zapadnięcia się stropu nory gniazdowej, rozmyte wcześniej przez wody opadowe i częściowo zapadnięte (ryc. 24 III). W takiej sytuacji nory bobrów mogą funkcjonować podobnie do kanałów sufozyjnych. Woda opadowa z równiny zalewowej, z międzywala, będzie wpływać w zniszczone otwory wentylacyjne, poszerzać kanały i wynosić materiał budujący brzeg do koryta. Po jakimś czasie degradacji nory może dojść

2. UWARUNKOWANIA ROZWOJU UREGULOWANEGO SYSTEMU KORYTOWEGO...





Fot. 10. Norożeremie bobrowe (odc. 30), A, B – norożeremie przykryte rumo-
szem drzewnym w brzegu koryta Raby, C – poszerzony otwór wentylacyjny

do jej zapadnięcia i cofnięcia brzegu o ok. 0,5–1 m. System nor może dre-
nować znaczne powierzchnie brzegów (kilkadziesiąt, a nawet kilkaset m²).
Nory często wypełnione są wodą, osłabia to znacząco stabilność brzegów,
uwodnienie osadów budujących brzegi prowadzi do ich osiadania czy osu-
wania. Powstają w ten sposób nieckowate zagłębienia, rynny w brzegach,
co prowadzi do ich znacznego cofnięcia (Czech 2007).

Należy tu podkreślić, że bobry żyjące w korycie Raby działają w obrębie
koryta uregulowanego, często o umocnionych brzegach. Przejawy bezpo-
średniej działalności bobrów stwierdzono jedynie we fragmentach brzegów
nieobudowanych lub tam, gdzie regulacje uległy zniszczeniu. Ze względu
na duży stopień uregulowania koryta Raby (podrozdział 2.4.) możliwo-
ści wzrostu populacji bobrów w korycie Raby są ograniczone. We wszyst-
kich odcinkach, w których działały bobry w czasie kartowania terenowego
w 2015 roku, stwierdzono: 16 tam, czasami połączonych z żeremiami,

72 miejsca ze zgryzami, zwykle było to od kilku do kilkunastu ściętych lub nadgryzionych drzew lub nagromadzenie drobnego rumoszu, tzn. gałęzi, 69 miejsc ze ślizgami (zwykle w każdym z miejsc było od 2 do kilkunastu ślizgów) oraz 19 miejsc z norami i norożeremiami (ten przejaw siedlisk bobra był najtrudniejszy do lokalizacji i interpretacji w czasie badań terenowych, w związku z tym może być najbardziej niedoszacowany)

Skutki działalności bobrów w korycie Raby i ich wpływ na rzeźbę jest częściowo podobny do tych stwierdzonych w górnym Sanie czy w górnej Wisłoce w Polsce, a także do działalności bobra kanadyjskiego w Ameryce Północnej (Woo, Waddington 1990; Butler, Malanson 1995, 2005; Stopka 2011; Butler 2012; Giriat i in. 2016). Na skutek działalności bobrów w korycie Raby dochodzi lokalnie do przekształcenia koryta i jego brzegów. Do najczęstszych można zaliczyć:

- erozję boczną i poszerzanie koryta,
- zmniejszenie erozji wgłębnej w strefach piętrzenia wody,
- akumulację w strefach piętrzenia,
- zmiany w strukturze koryta, zwiększenie lub zmniejszenie liczby nurtów w korycie.

Funkcjonowanie spiętrzeń wody w korycie zmienia przebieg procesów fluwialnych (Czech 2007; Stopka 2011; Giriat i in. 2016). Tama bobrowa przyczynia się do spiętrzenia i retencjonowania wody. Woda do niżej położonego odcinka przelewa się pod tamą lub nad nią, może także przesączać się lub przelewać przez szczelinę (Woo, Waddington 1990). To może spowodować zmianę przebiegu koryta czy też koryta bocznego poniżej tamy bobrowej. Spiętrzenie wód ma również wpływ na morfometrię koryta rzeki. Wzrasta znaczenie erozji bocznej, a widoczne zahamowanie przepływu wody zmniejsza działalność erozji wgłębnej. W konsekwencji brzegi zatamowanego koryta ulegają niszczeniu i cofaniu. Sprzyja temu zarówno przesączenie wodą materiału budującego brzegi, jak i sieć licznych bobrowych nor, które osłabiają stabilność brzegów. Brzegi koryta modelowane są przez niewielkie osunięcia i zapadanie nor (Czech 2007; Giriat i in. 2016, w tym opracowaniu). Innym skutkiem działalności bobrów ważnym dla funkcjonowania systemu korytowego jest akumulacja osadów w odcinku koryta z tamą. Stopniowe wypełnianie się zbiornika osadami i rozmywanie

brzegów prowadzi do lokalnego wyrównania dna doliny i zmniejszenia spadku (Butler, Malanson 2005). W przypadku koryta Raby tamy przeegradzające koryto główne czy koryta boczne nie tworzą rozległych stawów, a jedynie spiętrzenia wody. Funkcja akumulacyjna ma przez to znacznie mniejszy zasięg i natężenie. Po opuszczeniu tamy przez bobry, następuje jej rozszczelnienie i stopniowe zniszczenie (Butler, Malanson 2005). Dno stawu po spłynięciu wody pozostaje płaskie i wyrównane (Stopka 2011). W obrębie tego odcinka następuje ponowne rozcinanie i formowanie się koryta. Ze względu na niewielki spadek może wzrosnąć krętość nowo uformowanego koryta, a także powstać koryto dwu- lub trzynurtowe. Źródłem akumulowanych osadów jest nie tylko materiał mineralny i organiczny niesiony przez wody potoku, ale także materiał mineralny dostarczany podczas kopania przez bobry kanałów i nor (Butler, Malanson 1995). Osady w strefach spiętrzenia wody stanowią mieszkankę materii organicznej i mineralnej, a procentowa zawartość poszczególnych komponentów jest zróżnicowana zarówno w profilu podłużnym i poprzecznym stawu, jak również w profilu głębokościowym osadów (Gurnell 1998).



A potop trwał na ziemi czterdzieści dni i wody wezbrały, i podniosły arkę ponad ziemię. Kiedy przybywało coraz więcej wody i poziom jej podniósł się wysoko ponad ziemię, arka płynęła po powierzchni wód. Wody bowiem podnosiły się coraz bardziej nad ziemię, tak że zakryły wszystkie góry wysokie, które były pod niebem.

(Księga Rodzaju, 7, 17)

2.8. Funkcjonowanie koryta Raby

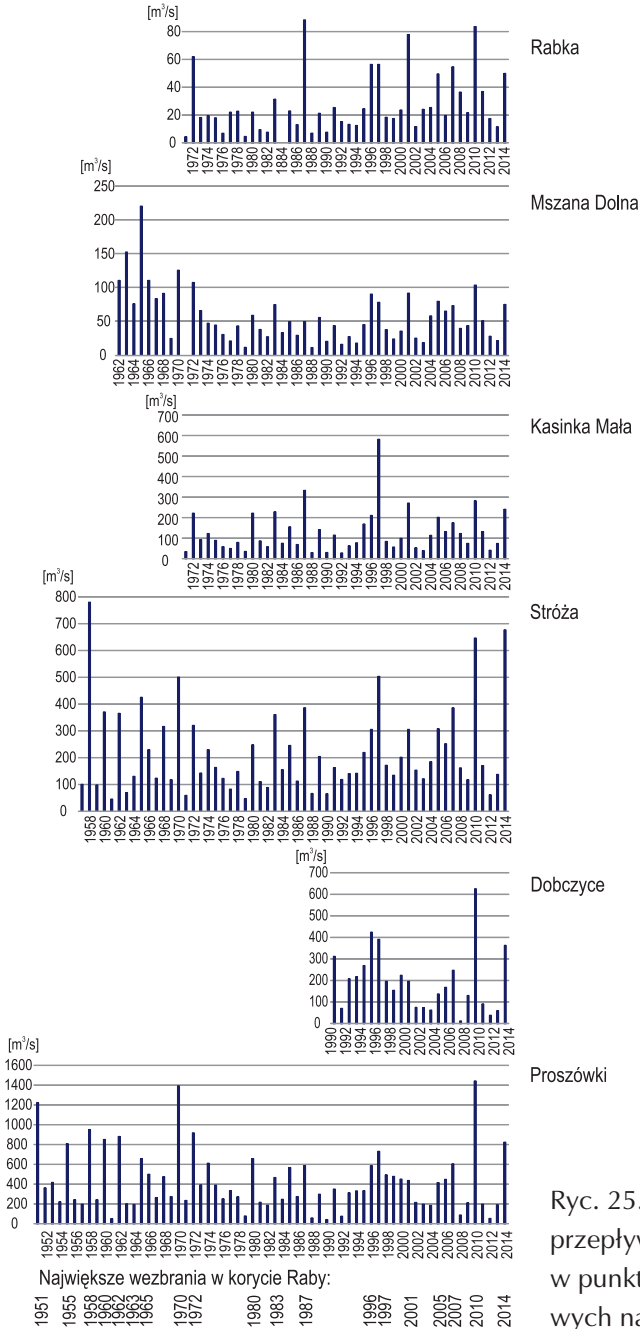
2.8.1. Rola wezbrań

Przy stanach niskich i średnich większość procesów w korytach górskich zachodzi bardzo wolno, a ich rola korytotwórcza jest niewielka. Duże i gwałtowne zmiany w strukturze żwirowatych koryt górskich zachodzą tylko w przypadku znacznych wezbrań (m.in. Erskine 1996; Izmailów i in. 2004; Requena i in. 2006; Korpak 2008; Górczyca 2012; Górczyca i in. 2014; Czech i in. 2015; Hajdukiewicz i in. 2015; Wyżga i in. 2015; Górczyca i in. w druku). Zmiany w strukturze i dynamice koryta Raby, jakie zaszły w latach 2010–2014, wskazują jednoznacznie na to, że najistotniejszą naturalną siłą morfotwórczą w kształtowaniu koryta są przepływy ekstremalne. Morfologiczna działalność wezbrań w korycie rzeczonym związana jest przede wszystkim z procesami erozyjnymi i transportem rumowiska oraz jego depozycją i redepozycją. W okresach pomiędzy zdarzeniami ekstremalnymi dochodzi do stopniowej stabilizacji form korytowych, a natężenie procesów fluwialnych jest niewielkie. Sam transport rumowiska i wielkość rumowiska odprowadzonego poza zlewnię nie jest przedmiotem poniższych rozważań. L. Kaszowski i A. Kotarba (1970), analizując skutki wezbrania, stwierdzili, że nie należy utożsamiać rozmiarów odprowadzania materiału rumowiskowego poza zlewnię z rozmiarami morfologicznego przekształcenia koryta.

Okolo 86% powierzchni zlewni Raby położonych jest w części karpackiej (beskidzka i pogórska) zlewni (ryc. 2). Stanowi to o górskim reżimie Raby. Reżim hydrologiczny Raby charakteryzuje się występowaniem wezbrań o znacznych przepływach kulminacyjnych przy stosunkowo krótkim czasie ich trwania. Rola dolnej części dorzecza, zlokalizowanej w obrębie Kotliny Sandomierskiej, w przebiegu wezbrań jest nieznaczna. Największe nasilenie katastrofalnych opadów w zlewni Raby koncentruje się w Gorcach i Beskidzie Wyspowym (Osuch 1991). Taki układ opadów powoduje, że przebieg kulminacji wezbrań w odcinku beskidzkim między Mszaną Dolną a Stróżą jest bardzo krótki, ok. 2 godzin. Poniżej Stróży prędkości przebiegu kulminacji w korycie Raby znacząco maleją (Osuch 1991).

Największe wezbrania w XX wieku w dorzeczu górnej Wisły i w zlewni Raby wystąpiły w latach 1903, 1925, 1931, 1934, 1940, 1948, 1958, 1960, 1970, 1972 (Osuch 1991) i 1997. Na podstawie ciągu obserwacji hydrologicznych w sześciu punktach wodowskazowych w zlewni Raby: w Rabce, Mszanie Dolnej, Kasince Małej, Stróży, Dobczycach i w Proszówkach, wyznaczono największe wezbrania w okresie 1951–2014 (ryc. 25). Wezbrania można podzielić na takie, których wysokie wielkości przepływów zapisały się w całym biegu Raby, lub takie, które zapisały się wyraźniej w górnym biegu Raby. Największe wezbrania, które miały wpływ na morfostrukturę na całej długości koryta Raby, wystąpiły w latach 1958, 1960, 1962, 1970, 1972, 1996, 1997, 2010, 2014 (ryc. 25). W górnym biegu gwałtowniejszy przebieg miały wezbrania w latach 1951, 1963, 1965, 1987, 2001. Najwięcej dużych wezbrań odnotowano w punkcie pomiarowym na Rabie w Stróży. Jest to posterunek zamykający dużą część górnej części zlewni, na którym zapisują się przepływy wód z większości dopływów beskidzkich Raby. Drugim ważnym posterunkiem hydrologicznym są Proszówki; zamyka on ponad 90% powierzchni zlewni. Na podstawie tych dwóch punktów pomiarowych można stwierdzić, że w okresie 1952–1972 duże wezbrania występowały co 2–4 lata. Okres 1973–1996 to czas ze znacznie mniejszą częstością dużych i bardzo dużych wezbrań. Rok 1997 zapoczątkował kolejny okres z częstszymi wezbraniem (ryc. 25). Ma to ogromne znaczenie dla funkcjonowania koryta rzeki uregulowanej, gdyż powtarzające się co kilka lat duże

2.8. FUNKCJONOWANIE KORYTA RABY



Ryc. 25. Przebieg przepływów maksymalnych w punktach wodowskazowych na Rabe

wezbrania to czas weryfikacji myśli hydrotechnicznej przeniesionej na budowle regulacyjne w korycie Raby.

Na obecną strukturę koryta Raby znacząco wpłynęły wezbrania w 2010 i 2014 roku. Powódź w 2010 roku wystąpiła m.in. w zachodniej części dorzecza górnej Wisły; w 2. połowie maja wystąpiła pierwsza fala powodziowa, a na początku czerwca – druga fala. Analiza wielkości opadów i ich rozkładu w czerwcu 2010 roku wskazuje na to, że ich wysokość i intensywność w zlewni Raby powyżej i poniżej zbiornika była do siebie zbliżona. Przebieg powodzi uwarunkowany takim rozkładem opadów miał szczególnie katastrofalne skutki dla zlewni Raby poniżej Dobczyc. Powódź w maju 2010 roku miała cechy powodzi katastrofalnie wielkiej (wg klasyfikacji Punzeta 1981) na Rabie w Stróży i w Proszówkach. Druga fala powodziowa pojawiła się w niekorzystnej sytuacji hydrologicznej ze względu na wysoki poziom wód powierzchniowych i podziemnych, które nie zdążyły opaść po pierwszej fali. Opady zaczęły się już 30 maja, kulminacja wezbrania wystąpiła 4 czerwca.

Na przebieg wezbrania znaczący wpływ miał Zbiornik Wodny Dobczyce. 17 maja 2010 roku dopływ kulminacyjny wyniósł 1150 m³/s, odpływ kulminacyjny wyniósł 600 m³/s, fala została zredukowana w 48% (550 m³/s). Zbiornik został wypełniony w całości. W przypadku drugiej fali powodziowej dopływ kulminacyjny był o ponad połowę niższy – 477 m³/s, odpływ kulminacyjny wyniósł 250 m³/s, fala została zredukowana o 227 m³/s (Walczykiewicz 2011).

Kolejne wezbranie, w 2014 roku, trwało od 15 do 18 maja. Fala kulminacyjna przeszła w nocy z 16 na 17 maja. Wezbranie w 2014 roku było generalnie mniejsze od pierwszej fali wezbraniowej w 2010 roku, zwłaszcza poniżej zbiornika w Dobczycach. W górnym biegu sytuacja wyglądała odmiennie, na posterunku w Mszanie Dolnej i Stróży wezbranie było większe od tego w 2010 roku (tab. 11; ryc. 25).

Omawiane powyżej wezbrania osiągnęły w punktach wodowskazowych Rabka, Mszana Dolna, Kasinka Mała i Dobczyce maksymalne przepływy zbliżone do wód o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat ($Q_{10\%}$ i odpowiadający mu stan wody H). Jedynie na posterunkach w Stróży i Proszówkach pierwsza fala wezbraniowa w 2010 roku odciągnęła przepływy i stany zbliżone do wody o prawdopodobieństwie przewyższenia raz na 100 lat (tab. 11).

2.8.2. Przebieg procesów korytotwórczych

Wody powodziowe są niezwykle skutecznym czynnikiem korytotwórczym. W efekcie przejścia fali powodziowej tworzą się formy zarówno erozyjne, jak i akumulacyjne, często o bardzo dużych rozmiarach, zmieniając cechy morfologiczne i morfometryczne koryta (Erskine 1996; Izmailów i in. 2004; Requena i in. 2006; Korpak 2008; Gorczyca 2012; Gorczyca i in. 2014; Czech i in. 2015; Hajdukiewicz i in. 2015).

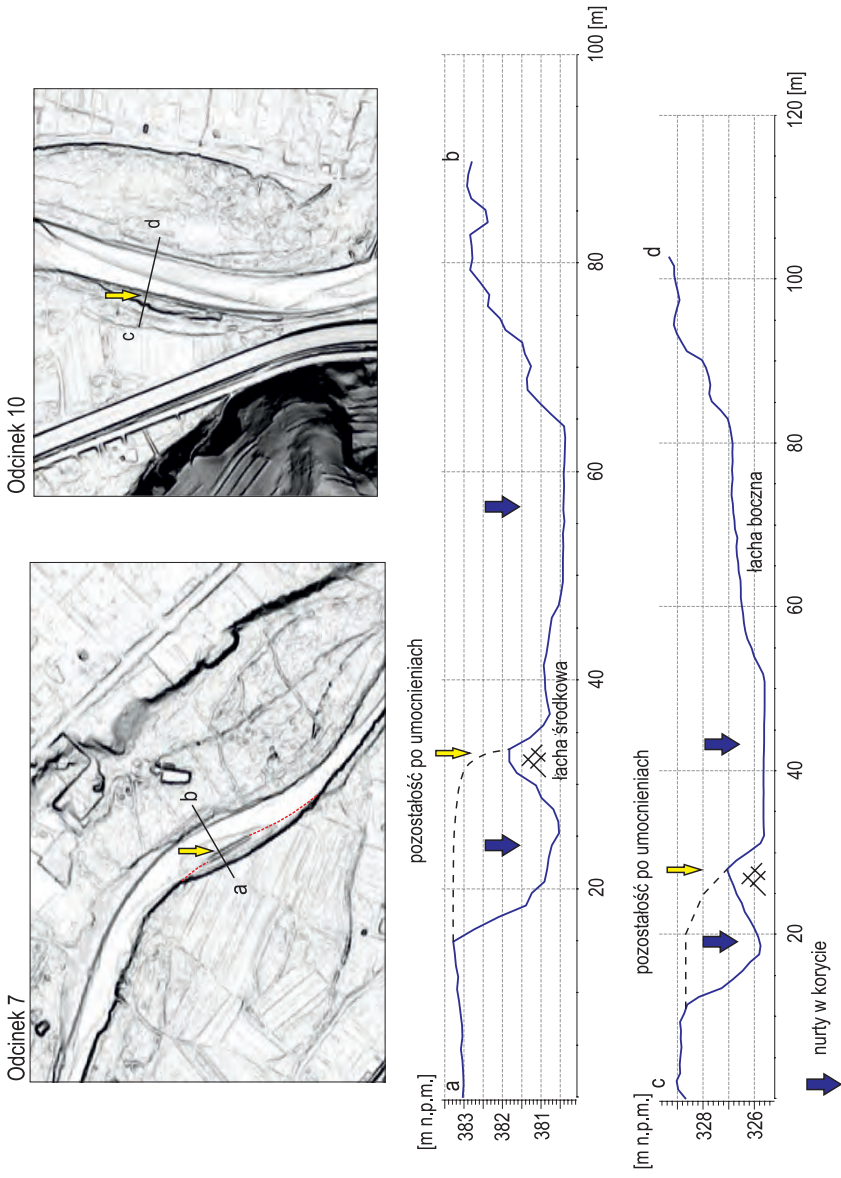
Regulacje i ubezpieczenia brzegów skutecznie zmniejszyły udział erozji bocznej w kształtowaniu koryta Raby. Regulacje na długich odcinkach sku-

Tabela 12. Lokalizacja i długość stref ze zniszczonymi umocnieniami i towarzyszącym im poszerzeniem koryta Raby

Id	Nr odcinka	Długość strefy [m]
1	5	36
2	7	52
3	7	188
4	7	156
5	9	367
6	10	84
7	10	195
8	14	144
9	17	91
10	17	221
11	18	304
12	19	97
13	19	62
14	20	246
15	22	191
16	24	96

tecznie „odgrodziły” rzekę od możliwości erozji bocznej, dopiero duże i katastrofalne wezbrania, niszczące ubezpieczenia brzegów, „wyzwoliły” koryto Raby. Wzrost intensywności erozji bocznej jest dobrze widoczny przy porównaniu szerokości koryta w 2009 roku z sytuacją po trzech wezbraniach w roku 2010 (dwie fale wezbraniowe) i w 2014. Szerokość koryta w tym okresie wzrosła od kilku czy kilkunastu metrów w wielu odcinkach do ponad 100 m w odcinku nr 9, 10, 11 czy 18 (ryc. 21; fot. 11).

W korycie Raby w trakcie badań terenowych w 2015 roku udokumentowano 16 lokalizacji stref ze zniszczonymi ubezpieczeniami brzegów oraz poszerzeniem koryta w tym odcinku (ryc. 26; tab. 12; fot. 5). Zniszczenia te to prawdopodobnie skutki wezbrań w 2010 roku, a zwłaszcza w 2014. Strefy z erozją boczną stwierdzono w odcinkach 5–10, 14, 17–23. W większości



Ryc. 26. Przykład odcinków ze zniszczonymi umocnieniami – strefy poszerzenia koryta Raby

2.8. FUNKCJONOWANIE KORYTA RABY



2.8.2. PRZEBIEG PROCESÓW KORYTOTWÓRCZYCH



2.8. FUNKCJONOWANIE KORYTA RABY

E.



F.



przypadków sytuacja terenowa wyglądała podobnie. W pierwszym etapie prawdopodobnie budowle regulacyjne zostały zniszczone przez erozję wgłębną i straciły swe umocowanie w dnie koryta. Kolejny etap nastąpił w trakcie wezbrania i doszło wówczas do przerwania ciągłości budowli lub odcięcia jej w całości od brzegu. Ze względu na ciężar i częściowe umocowanie regulacje nie zostały znacząco przemieszczone. Stanowią one obecnie wąskie podłużne formy w korycie, w ich części od strony brzegu zachodzi erozja boczna, a one same stanowią „zaczątek” strefy akumulacji jako łąchy środkowe lub wyspy (ryc. 26; fot. 12). Zniszczone regulacje w korycie utrwalają dwunurtowe koryto. Opisana sytuacja terenowa może być pierwszym krokiem w kierunku utworzenia się koryta wielonurtowego.

Po wezbraniach w latach 2010 i 2014 powierzchnia łąch w całym korycie Raby wzrosła o 33% w stosunku do 2009 roku (ryc. 5, 7). Przestrzenny rozkład przyrostu powierzchni łąch rumowiskowych w korycie po wezbraniach nie był równomierny (szczegółowe informacje na temat form akumulacyjnych w korycie Raby znajdują się w rozdziale dotyczącym struktury). Poniżej zostanie przedstawiona charakterystyka wybranych odcinków o różnej funkcji morfodynamicznej w czasie wezbrań na podstawie zmian, jakie zaszły w strukturze koryta i przestrzennym układzie korytowym pomiędzy 2009 a 2015 rokiem. Najbardziej dynamiczna i zróżnicowana część koryta Raby to odcinki 6–14 i 17–21 (ryc. 16, 18; fot. 2, 12). Najbardziej przekształcone w kierunku poszerzenia, zwiększenia krętości, utworzenia się kilku nurtów i wzrostu powierzchni łąch zostały głównie odcinki, które wyróżniały się przed wezbraniem większą krętością i powierzchnią łąch od pozostałych (ryc. 21, 27). Większe przebudowanie koryta zaszło w tych odcinkach, gdzie w trakcie wezbrania boczne dopływy doprowadziły dużą ilość materiału rumowiskowego do koryta Raby (ryc. 28). Spowodowało

←

Fot. 11. Skutki wezbrań w korycie Raby w 2010 i 2014 roku; A – ślady wezbrań na moście, B – usuwanie rumoszu drzewnego po wezbraniu w 2010 roku, C – koryto wielonurtowe uformowane w czasie wezbrania (A–C, odc. 10, 11), D, E, F – piaszczyste i żwirowe formy akumulacyjne powstałe w czasie wezbrań w 2010 i 2014 roku w odcinku 19 koryta Raby

2.8. FUNKCJONOWANIE KORYTA RABY



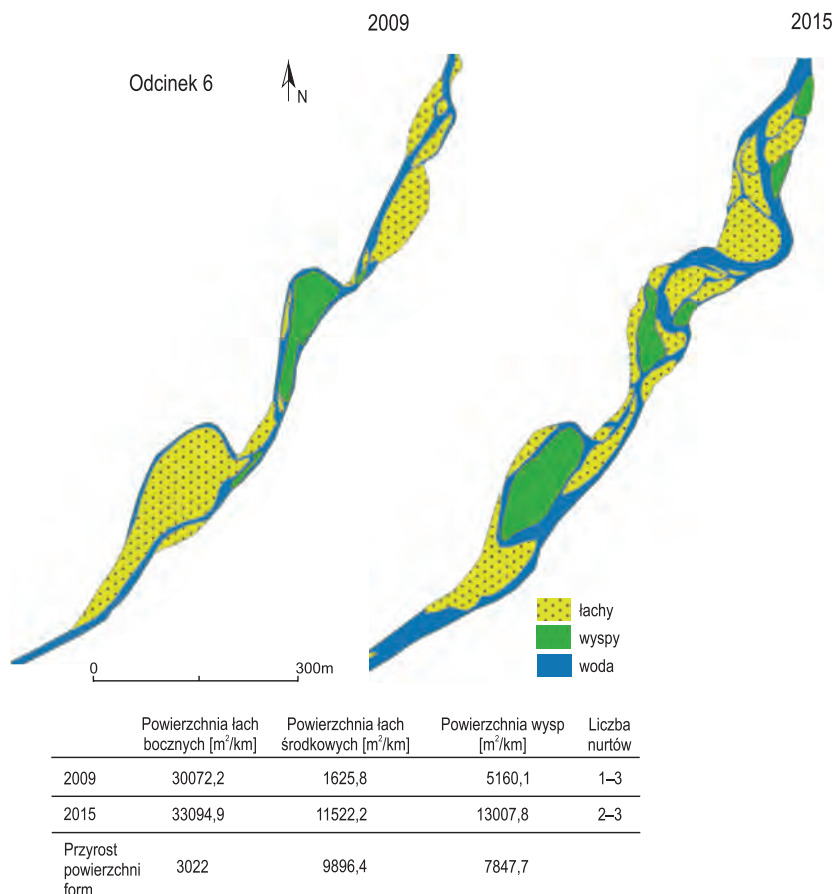


C.

Fot. 12. Odcinki koryta Raby z erozją boczną i depozycją rumowiska; A – odc. 17, B – odc. 20, C – odc. 18.

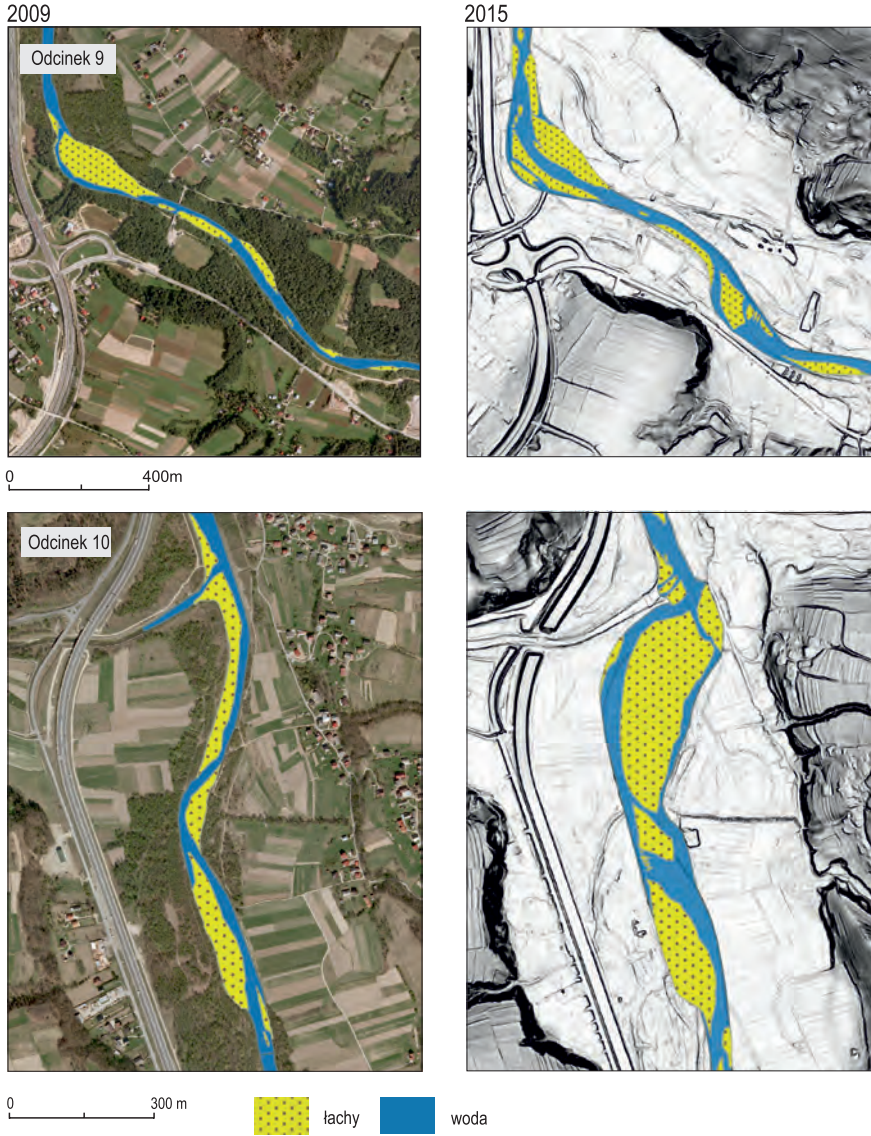
Na fotografii B dobrze widoczna wyspa „założona” na zniszczonych umocnieniach brzegu koryta

2.8. FUNKCJONOWANIE KORYTA RABY



Ryc. 27. Rozwój koryta Raby w okresie wezbraniowym 2010–2014, na przykładzie odcinka nr 6

to nadbudowanie łożyska Raby wskutek złożenia części transportowanego materiału poniżej ujścia, ale także powyżej z powodu przyblokowania przepływu przez skokowo zwiększone obciążenie cieku w strefie dopływu. Przykłady takiej funkcji morfodynamicznej wystąpiły w odcinkach nr 6, 9, 10, 11 czy 14 (ryc. 27, 28). Odcinki te były najbardziej dynamiczne, z intensywnym działaniem erozji bocznej i akumulacji. Znacząco mniejsze wartości krętości czy szerokości i mniejszy udział łach w powierzchni koryta miały odcinki 17–20. Wyjątkiem jest odcinek 18., który w okresie



Ryc. 28. Rozwój koryta Raby w okresie wezbraniowym 2010–2014, na przykładzie odcinków nr 9 i 10

2.8. FUNKCJONOWANIE KORYTA RABY

wezbraniowym 2010–2014 został przekształcony z koryta jednonurtowego w wielonurtowe (ryc. 29). W czasie wezbrań ich funkcja morfodynamiczna zmieniała się z funkcji transportacyjnej w akumulacyjną z erozją boczną.

2009

Odcinek 18



2015



łachy



woda

0 300 600 m

Ryc. 29. Rozwój koryta Raby w okresie wezbraniowym 2010–2014, na przykładzie odcinka nr 18

Odcinki o przebiegu prostym i lekko krętym oraz te o niewielkiej poregulacyjnej szerokości zostały zwykle w mniejszym stopniu przeobrażone w czasie wezbrań. Pełniły one głównie funkcję transportową, a niewielkie przeobrażenie koryta wynika z koncentracji transportu głównie w osi koryta. Należą do nich odcinki 26–31 w biegu dolnym oraz 4 i 13 w biegu górnym Raby. Odcinki koryta 2–3, 5, 7–8, 12 oraz 21–25 miały podobne wejściowe uwarunkowania przed wezbraniem, z tą różnicą, że funkcja morfodynamiczna jest rozszerzona o działalność erozyjną (erozję wgłębną) w biegu górnym i erozję boczną z niedużym udziałem akumulacji w biegu dolnym Raby. Odcinki są bardziej zróżnicowane, funkcja transportacyjna w tych odcinkach ma mniejszy udział.

Obok wspomnianych wyżej uwarunkowań, takich jak układ w planie, szerokość koryta i spadek koryta, duże znaczenie w funkcjonowaniu koryta podczas wezbrań ma lokalny relief równiny zalewowej będącej często strefą migracji koryta przedregulacyjnego. Powrót do szerokiej strefy migracji jest zwykle ograniczony przez znaczne wcięcie obecnego koryta i zawieszenie nawet do 2–3 m strefy migracji koryta przedregulacyjnego.

Odcinki o podobnych funkcjach morfodynamicznych powtarzają się w profilu podłużnym koryta Raby, przy czym należy pamiętać, że funkcje morfodynamiczne odcinków są zależne także od stopnia uregulowania koryta. Skutkiem wezbrań jest także zniszczenie budowli hydrotechnicznych. Jest to w wielu odcinkach koryta zwykle pierwszy etap do zmiany z funkcji morfodynamicznej transportacyjnej lub erozyjnej w kierunku akumulacyjnej z erozją boczną.

Stan koryta przed wezbraniem w roku 2010 i 2014 odpowiadał warunkom hydrodynamicznym średnich wezbrań od poprzedniego okresu powodziowego w latach 1996–2001. Struktura koryta Raby była już stopniowo przekształcana i dostosowywana do bardziej dynamicznych warunków po okresie stanów niskich od początku lat 80. XX wieku. Po ostatnim okresie wezbraniowym rozpoczął się powolny proces przystosowania się koryta do przeciętnych warunków hydrodynamicznych (Kaszowski, Kotarba 1970).

2.8.3. Prognoza rozwoju koryta Raby po okresie wezbraniowym 2010–2014

Po dynamicznych przekształceniach koryta w okresie wezbraniowym następuje kolejny etap jego rozwoju: relaksacji systemu korytowego (Selby 1985). Etap relaksacji to okres międzywezbraniowy, który będzie polegał na dostosowaniu się do nowych warunków i potencjalnie do osiągnięcia quasi-równowagi systemu korytowego (Pitlick 1993; Fryirs, Brierley 2000). Poniżej przedstawiono 4 prognozy rozwoju różnych segmentów koryta w zależności od jego struktury i przestrzennego układu korytowego czy dostępności rumowiska.

Koryto wielonurtowe roztokowe (fot. 2). Transformacja koryta, aż do następnego wezbrania, będzie polegać głównie na stabilizacji form akumulacyjnych. Brak przepływów „brzegowych”, korytotwórczych spowoduje w odcinkach wielonurtowych utrwalenie się nurtu głównego i stopniowy zanik roztokowania. Utrwalenie nurtu głównego polega na koncentracji przepływu i transportu głównie w jego osi. Pozostałe odnogi nie będą funkcjonowały, stopniowo niewielkie wezbrania doprowadzą do ich zasypania, a łachy środkowe „przyrosną” do łach bocznych lub równiny zalewowej. Taki scenariusz dotyczy odcinków nr 6, 9–11, 14, 18 w górnym i środkowym biegu Raby (ryc. 16, 27, 28, 29). Także działalność bobrów w odcinkach wielonurtowych może wpłynąć na zanik lub uaktywnienie nurtów bocznych.

Koryto erozyjne (fot. 13). Znacznie bardziej trwale będą formy erozji wgłębnej. Docięcie koryta do litej skały i formy skalne, takie jak progi, nierówne dno skalne czy podłogi skalne, będą funkcjonowały w korycie, aż do czasu, kiedy zostanie w nim uruchomiona taka masa rumowiska, która nadbuduje te odcinki. Obecnie nie ma w korycie wystarczającej ilości rumowiska, żeby taki scenariusz mógł się sprawdzić. Dotyczy to odcinków nr 2–3, 5, 7–8 w górnym biegu Raby. Lokalnie na zwiększenie tempa akumulacji może wpłynąć działalność bobrów, zwłaszcza w odcinkach przegrodzonych tamami.

Koryto z erozją boczną (fot. 12, 14). Najbardziej mobilne wydają się odcinki z erozją boczną. Utrwalenie się struktury ploso-przemiał z łachami

2.8.3. PROGNOZA ROZWOJU KORYTA RABY PO OKRESIE WEZBRANIOWYM 2010–2014

A.



B.



Fot. 13. Formy skalne w korycie Raby (odc. 8, 9)

2.8. FUNKCJONOWANIE KORYTA RABY



A.



B.

Fot. 14. Koryto Raby w dolnym biegu, odcinki obwałowane (A, B – odcinek 29), na fot. B dobrze widoczne poszerzenie koryta, efekt działalności erozji bocznej i procesów grawitacyjnych

bocznymi i podcięciami warunkuje ich utrwalenie i dalszy rozwój nawet podczas przepływów średnich. Powolne, stopniowe podcinanie brzegów będzie poszerzać koryto, a materiał rumowiskowy, nawet jeśli nie nadbuduje znacząco łań rumowiskowych, to pozwoli na utrzymanie równowagi między odprowadzaniem i dostawą rumowiska w korycie. Taki scenariusz dotyczy odcinków nr 17, 19–22, 25–28 w środkowym i dolnym biegu Raby (ryc. 18). W obwałowanych odcinkach koryta nr 29–31 ten scenariusz ma ograniczone szanse realizacji, jednak i tu pomimo głównej roli transportacyjnej zauważono lokalnie tendencje do przerzucania nurtu i tworzenia się systemu ploso-przemiał. Do dalszego rozwoju tych odcinków koryta i utrwalenia tendencji do erozji bocznej może przyczynić się lokalnie działalność bobrów.

Koryto transportacyjne. Odcinki transportacyjne w czasie wezbrań w większości przypadków zostały przekształcone w niewielkim stopniu. Odcinki koryta nr 4, 13, 17, ze względu na to, że znajdują się w granicach miast, były i są w największym stopniu uregulowane. Popowodziowe zniszczenia regulacji są na bieżąco naprawiane.

Rozwój koryta Raby w przedstawionych powyżej scenariuszach dodatkowo może zostać wzmocniony lub zahamowany przez nowe regulacje i prace remontowe przy budowlach regulacyjnych (fot. 15).

Rola wezbrań polega przede wszystkim na przeobrażaniu istniejącej formy koryta, a procesy za to odpowiedzialne to procesy erozyjne. W korycie uregulowanym jest to założenie prawdziwe. Niedociążenie koryta wyzwała w systemie korytowym siły skierowane na wyrównanie tego deficytu. Procesy erozyjne, niszcząc regulacje, „uwalniają” do systemu korytowego materiał rumowiskowy znajdujący się w brzegach i równinie zalewowej. Jednak nie następuje to równomiernie w całym profilu podłużnym koryta. Lokalnie rzeka jest przeciążona w czasie wezbrania, a na długich odcinkach pełni tylko funkcję transportową. Tam, gdzie doszło do przeciążenia, formują się wielkie formy akumulacyjne.

2.8. FUNKCJONOWANIE KORYTA RABY



A.



B.

Fot. 15. Odcinki koryta Raby z intensywną erozją boczną i depozycją, A – odcinek koryta (11) podlegający renaturyzacji, znaczące poszerzenie koryta widoczne na tle „wiszącej” kładki przegradzającej, przed wezbraniem w 2010 roku, całą szerokość koryta, B – odcinek koryta (13), położony w granicach Myślenic, widoczne nowe regulacje koryta (tama z poprzeczkami)

*Rzeka wszystko niesie.
Łądy wzdłuż wody pękną. Jak wiosło milczenia
rzeka wszystko podzieli na wiosnę i jesień,
na zimy siwe, pory wszystkich lat.*
(K. K. Baczyński, *Rzeka*)



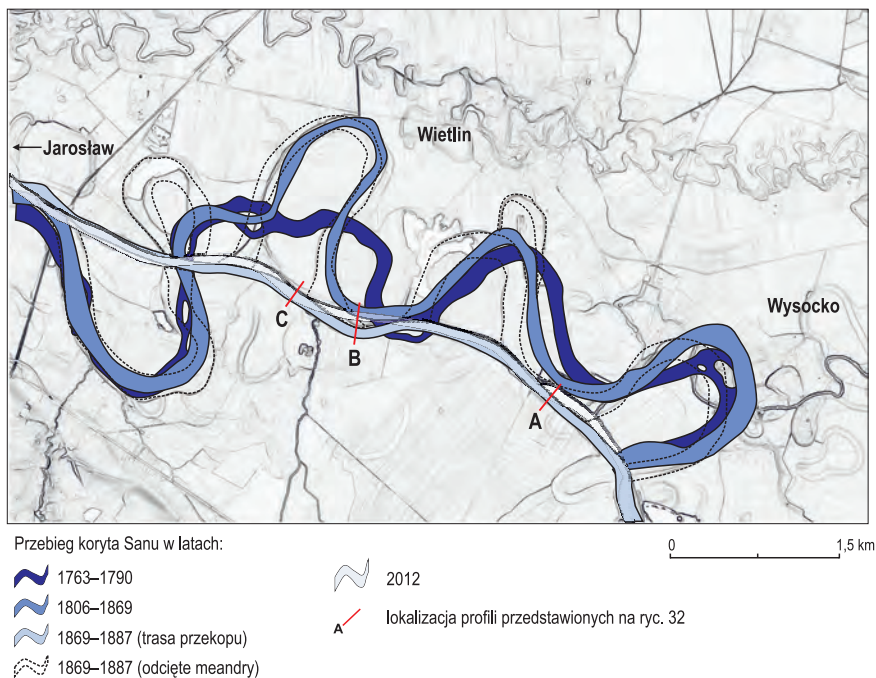
2.9. Przykłady rozwoju uregulowanych systemów korytowych innych rzek karpackich

2.9.1. San

San jest największym karpackim dopływem Wisły, jego długość wynosi 443 km, a zlewnia ma powierzchnię 16 900 km². Źródłowa część zlewni sięga po Bieszczady. Odcinek doliny Sanu między ujściem Wołosatego i Solinki stanowi granicę morfologiczną między Bieszczadami Zachodnimi a Pogórzem Przemyskim. Poniżej wpływa w obręb Pogórza Dynowskiego, a następnie przepływa przez Kotlinę Sandomierską. W części „kotlinnej” San wykorzystuje Rynnę Podkarpacką, którą w czasie zlodowaceń spływały wody do doliny Dniestru (Gębica 2004).

Badany odcinek koryta Sanu, o piaszczysto-żwirowym dnie, zlokalizowany jest w bezpośrednim przedpolu Karpat. Dolina jest tu asymetryczna i osiąga szerokość od 7 do 15 km. Koryto Sanu na przedpolu Karpat jest spychane przez prawobrzeżne dopływy (Wiar, Wisznia, Szkło) i przylega od zachodu do krawędzi terasy lessowej (Gębica 2004).

Analizowany odcinek koryta Sanu położony jest w rejonie Wysocka i Wietlina (od okolic ujścia rzeki Szkło po most w Jarosławiu) (ryc. 30). Badany odcinek ma 6 300 m długości, koryto jest w większości regularne i szerokie na ok. 70–80 m. W rejonie ujścia rzeki Szkło szerokość koryta



Ryc. 30. Zmiany przebiegu koryta Sanu w okolicy Wietlina i Wysocka na mapach archiwalnych (Military Survey maps of the Habsburg Empire z lat 1763–1790; 1806–1869; 1869–1887, <http://mapire.eu>)

zwiększa się do 120–135 m w związku z obecnością wyspy, jedynej na kilkukilometrowej długości koryta (fot. 16). Koryto jest głęboko wcięte w aluwia, średnio do ok. 6 m, maksymalnie do 8,5 m. Wycięte jest w drobnoziarnistych piaskach, lokalnie lekko gliniastych, przechodzących ku spągowi w piaski z domieszką żwiru, piaski ze żwirem i żwiry (Gębica, Krąpiec 2009; Gębica i in. 2009).

Pod względem funkcji morfodynamicznej analizowany odcinek koryta jest transportacyjny, z wyjątkiem krótkiego pododcinka w strefie ujścia Szklä, który jest akumulacyjny z erozją boczną. W ostatnim stuleciu procesem dominującym w badanym odcinku była erozja wgłębna, współcześnie w pogłębionym korycie o stromych brzegach znaczącą funkcję



A.



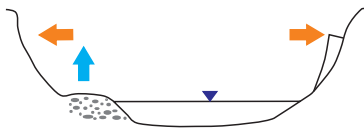
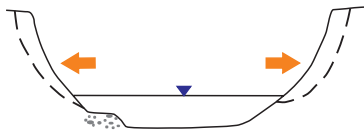
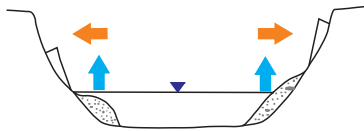
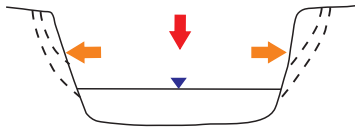
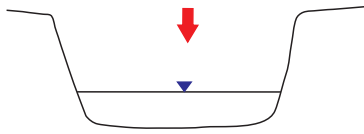
B.

Fot. 16. Odcinek koryta Sanu z intensywną erozją boczną i akumulacją, A – podcięcia brzegu, B – poszerzony odcinek koryta Sanu z wyspą

pełnią procesy grawitacyjne uaktywniane przez erozję boczną (ryc. 31, 32). Szczególnie predysponowane do erozji bocznej są szyje odciętych podczas regulacji meandrów.

Brzegi koryta Sanu na całej długości badanego odcinka są przeważnie ustabilizowane roślinnością łągową (krzewy i drzewa). Lokalnie na lewym i prawym brzegu rzeka podcina brzegi zbudowane z materiału frakcji piaszczysto-pyłastej i gliniastej. Na głębokości 6 m p.p.t. w podcięciu brzegowym odsłoniły się pnie drzew (tzw. czarne dęby) zdeponowane tu w czasie jednej z historycznych powodzi (fot. 16). Poniżej pni, 7–8 m p.p.t. zalegają żwirry rzeczne. Około 0,5–1,2 m nad lustro wody (przy średnim stanie wody) występują spłaszczenia podboczowe wypreparowane w glinach ilastych. Warstwa gliny, jako nieprzepuszczalna, stanowi barierę dla wód gruntowych i przyczynia się do drenowania wody w kierunku koryta Sanu w profilu poprzecznym doliny. Na stropie glin ilastych występują nisze źródłiskowe oraz niewielkie osuwiska, dzięki którym brzeg koryta Sanu jest nierówny z charakterystyczną mikrorzeźbą osuwiskową (ryc. 31). Brzegi, w niewielkim stopniu utrwalone przez roślinność, mogą ulegać zmianom (erozji bocznej) podczas wysokich stanów wody. Strefom z intensywną erozją boczną towarzyszą formy akumulacyjne (ryc. 31, 32). Wspomniana wyspa zbudowana jest z utworów piaszczysto-żwirowych. Poniżej w korycie występują łachy żwirowe. Największe z nich osiągają długość ok. 100–130 m.

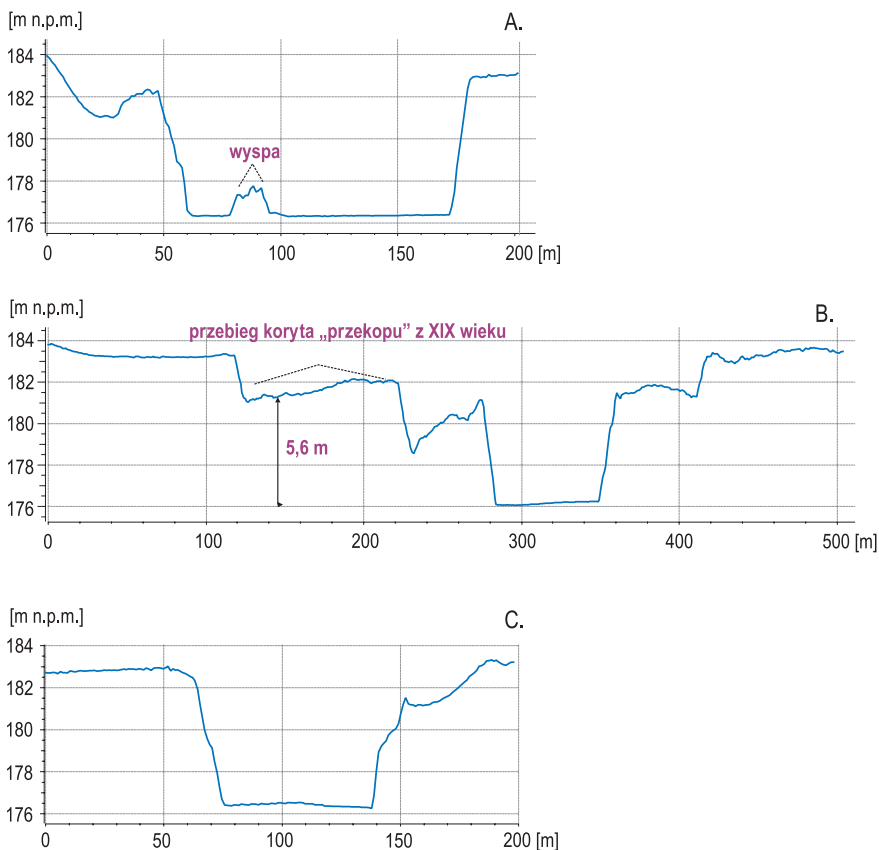
Naturalny przebieg koryta Sanu w badanym odcinku jest możliwy do odtworzenia na podstawie map archiwalnych i analizy współczesnego wykształcenia równiny zalewowej (ryc. 30). San w XIX wieku był na przedpolu Karpat rzeką meandrującą. Strefa migracji bocznej przed regulacją pod koniec XIX wieku obejmowała od 1 do 2 km szerokości. Równina zalewowa w dolinie Sanu jest pokryta licznymi starorzeczami. Najlepiej widoczne w rzeźbie są stosunkowo młode starorzecza, odcięte sztucznie od koryta głównego podczas regulacji w latach 70. XIX wieku (ryc. 30). Przed regulacją krętość badanego odcinka wynosiła 2,73, współcześnie jej wartość wynosi 1,04 (ryc. 30). W trakcie regulacji koryto zostało zwężone, wyprostowane i skrócone. Koryto zwężono ze 120–130, a lokalnie nawet 270 m do 75–80 m. Podobne zmiany stwierdzono w odcinku koryta Sanu między Przemyślem a Radymnem, czyli w odcinku wyżej położonym. Regulacje



- | | |
|--|--|
|  gliny ilaste |  erozja wglębna |
|  żwiry |  erozja boczna |
| |  akumulacja |

Ryc. 31. Etapy rozwoju koryta Sanu

2.9. PRZYKŁADY ROZWOJU UREGULOWANYCH SYSTEMÓW KORYTOWYCH...



Ryc. 32. Profile poprzeczne koryta Sanu; A – odcinek koryta z erozją boczną, B – odcinek koryta z fragmentem zawieszono koryta, trasy regulacyjnej z XIX wieku, C – stabilny odcinek koryta. Lokalizacja profili na ryc. 30

w XIX wieku spowodowały zwiększenie spadku rzeki z 0,22‰ do 0,36‰, co poskutkowało obniżeniem minimalnych stanów rocznych wody (Klimek 1991). Konsekwencją prac regulacyjnych było wcięcie się koryta (ryc. 31, 32). Analiza przebiegu koryta wytyczonego podczas regulacji w XIX wieku i stanem współczesnym wskazuje na pewne zmiany w przebiegu koryta Sanu. XIX-wieczne koryto regulacyjne jest w takich miejscach zawieszono

o 4,5–6 m w stosunku do obecnego dna (ryc. 32). W przybliżeniu można uznać tę wartość za miarę pogłębienia koryta Sanu w ciągu ostatnich stu kilkudziesięciu lat. Trudno określić, kiedy koryto zmieniło swój przebieg w stosunku do przekopu z XIX wieku, dlatego też tylko z dużym przybliżeniem można określić tempo pogłębienia w ostatnim stuleciu na ok. 6 cm/rok. Współcześnie nadal obserwuje się tendencję do pogłębienia koryta Sanu. Można to stwierdzić na podstawie analizy minimalnych stanów rocznych w profilach wodowskazowych w Przemyślu i Jarosławiu (ryc. 33). W punkcie wodowskazowym w Przemyślu i Jarosławiu, czyli powyżej i poniżej badanego odcinka koryta, stwierdzono tendencję do pogłębienia, zwłaszcza od powodzi w 1998 roku. W tym krótkim czasie koryto wcięło się w obu profilach pomiarowych o ok. 0,5 m.

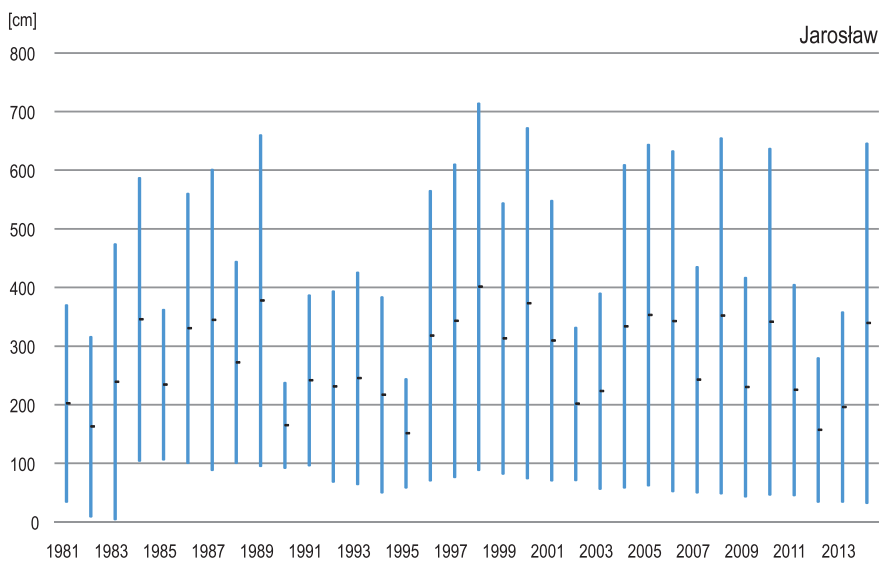
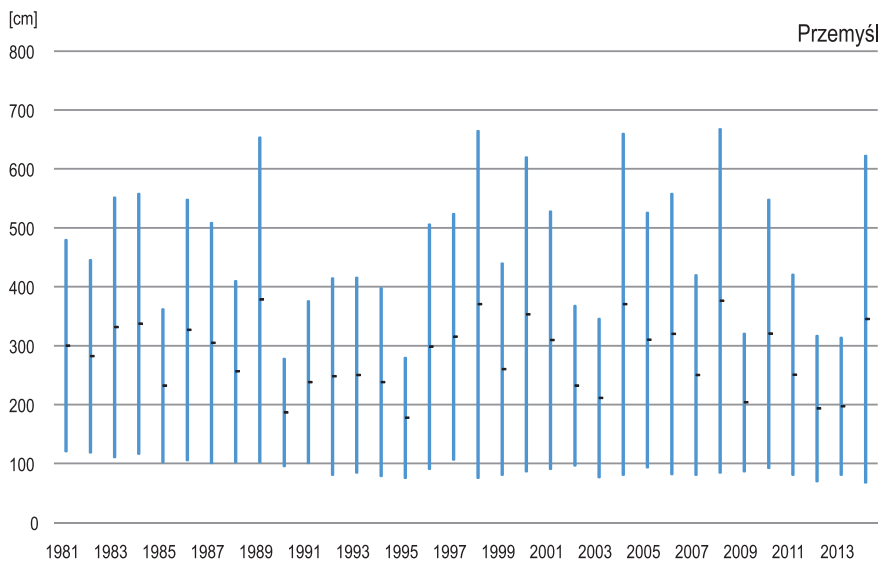
Częstość i wielkość wezbrań jest niezwykle istotna dla przebiegu procesów korytotwórczych. Największe wezbrania na Sanie, przekraczające wartości przepływów maksymalnych $Q_{1\%}$, w drugiej połowie XX wieku odnotowano w latach 1952 i 1980. Obecnie wezbrania są mniejsze, przepływy o prawdopodobieństwie zbliżonym, często nie przekraczającym $Q_{10\%}$ występują średnio co 3–5 lat (ryc. 34; tab. 13).

W badanym odcinku koryta przeanalizowano podcięcie w rejonie Wysocka i posłużono się ortofotomapami z lat 2009–2014 (ryc. 35).

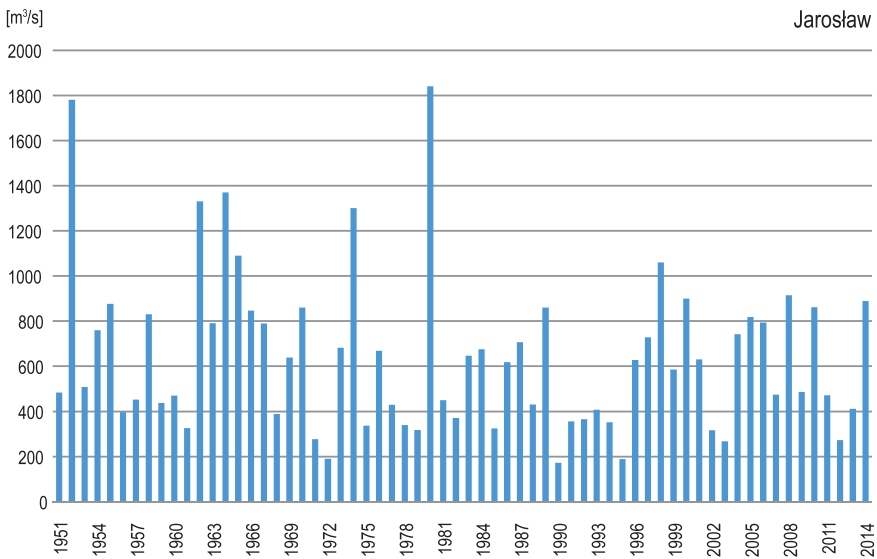
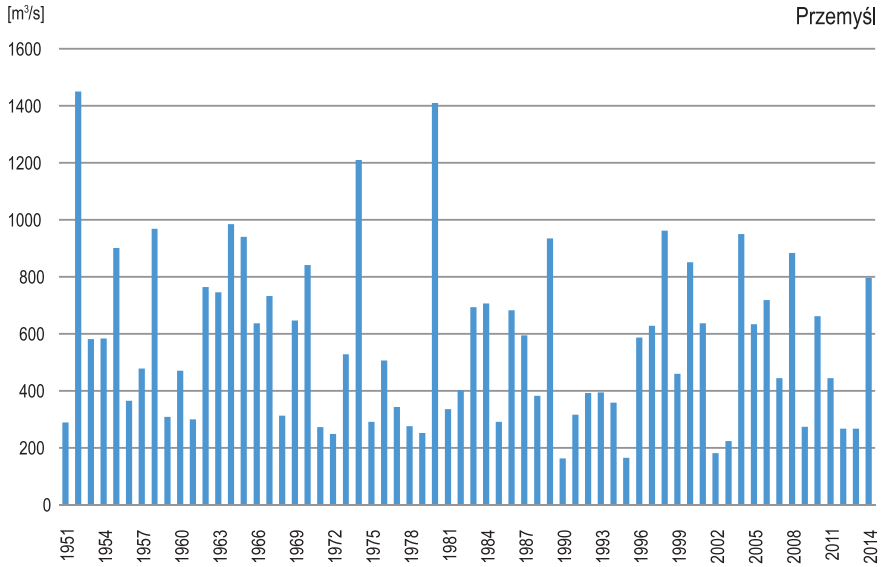
Tabela 13. Przepływ maksymalny Sanu o różnej wielkości prawdopodobieństwa przewyższenia $Q_{\max\%}$ [m^3/s] oraz lata wystąpienia wezbrań o żądanym prawdopodobieństwie (wg Raportu ISOK)

Stacja wodowskazowa	Przepływ maksymalny o prawdopodobieństwie przewyższenia $Q_{\max\%}$ [m^3/s] oraz opowiadający im stan wody H [cm] (wg Raportu ISOK)				Rok wystąpienia wody	
	$Q_{10\%}$	$H_{010\%}$	$Q_{1\%}$	$H_{01\%}$	$> Q_{10\%}$	zblizonej lub $> Q_{1\%}$
Przemyśl	970	705	1650	–	1958, 1964, 1974, 1980, 1989, 1998, 2004	1952
Jarosław	1020	691	1780	849	1962, 1964, 1965, 1974, 1998	1952, 1980

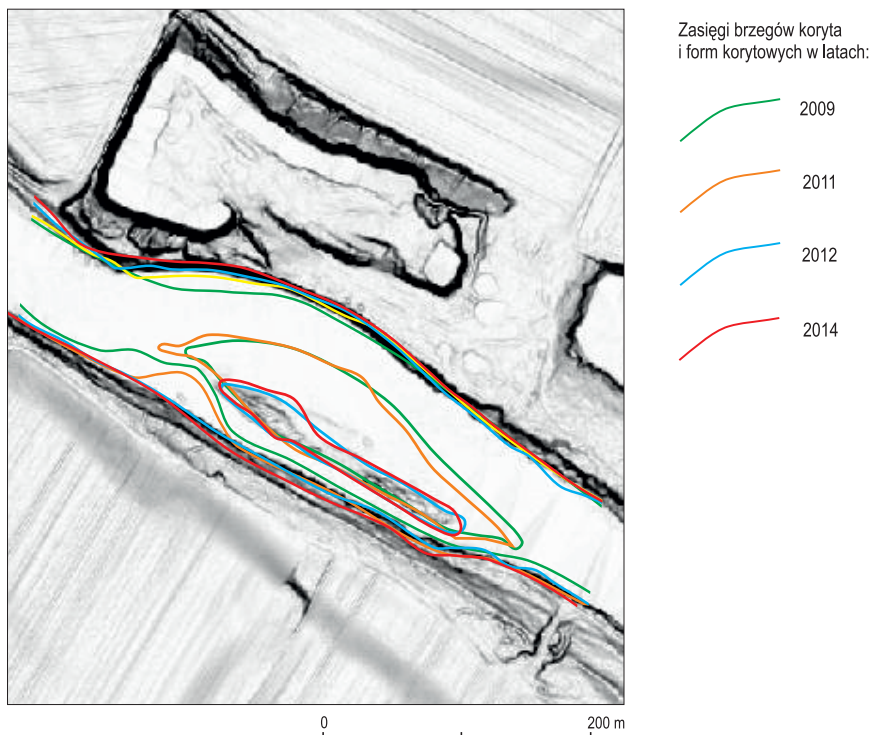
2.9. PRZYKŁADY ROZWOJU UREGULOWANYCH SYSTEMÓW KORYTOWYCH...



Ryc. 33. Minimalne i maksymalne stany roczne Sanu na posterunku wodowskazowym w Przemysłu i Jarosławiu



Ryc. 34. Przepływy maksymalne w latach 1951–2014 na posterunku wodowskazowym w Przełyś i Jarosławiu



Ryc. 35. Etapy poszerzania koryta Sanu

Na tej podstawie ustalono tempo erozji bocznej na 24–30 m/5 lat, co daje ok. 5 m/rok. Jest to maksymalne tempo erozji bocznej obserwowane obecnie w tym odcinku koryta Sanu. W pozostałym analizowanym odcinku koryta brzegi są stosunkowo stabilne. Ich cofanie określono na ok. 0,3 m/rok. Jest to wartość szacunkowa ze względu na trudność pomiarów na brzegach modelowanych przez ruchy masowe.

Obecność niewielkich łach (z materiałem frakcji 6–8 cm) i wyspy oraz podcięcia brzegowe świadczą o tym, że San w tym odcinku zaczyna funkcjonować prawidłowo jako system fluwialny. W stosunku do stanu przed regulacji są to pierwsze przejawy samostnej renaturyzacji koryta (fot. 16). Na podstawie materiałów kartograficznych można stwierdzić, że miejsc

z intensywną erozją boczną i akumulacją w korycie Sanu jest nadal niewiele; zwykle 1–2 na kilka km.

Dla porównania, w innych odcinkach koryta rzeki na podstawie badań prowadzonych w dolinie Sanu można odtworzyć stan koryta sprzed regulacji jako naturalny sposób funkcjonowania koryta i spróbować przenieść go do obecnych, odmiennych warunków. Przykładowo: jak wynika z badań A. Szumańskiego (1977, 1982), koryto Sanu w rejonie Leżajska (odcinek niżej położony od analizowanego) w 1875 było szerokie na 200–900 m i ulegało stałym przemieszczeniom. Koryto Sanu było meandrujące, tempo erozji bocznej sięgało rocznie średnio 10–15 m, lokalnie sięgało nawet 60 m. W dolinie Sanu mamy zatem system włożeń i paleokoryt podobnie jak w innych dużych dolinach. Według A. Szumańskiego (1977, 1982) holocenska przeróbka aluwiów sięgała 12 m. Podobne włożenia w dolinie Sanu u wylotu z Karpat poniżej Przemyśla były już wcześniej rejestrowane przez L. Starkla (1960), a w późniejszym czasie przez K. Klimka i in. (1997). Z badań tych wynika, że koryto Sanu w rejonie Wietlina i Wysocka ma podobną historię. Obecnie nie można spodziewać się powrotu tendencji do funkcjonowania koryta sprzed regulacji. Koryto jest obecnie głęboko wcięte, co skutecznie uniemożliwia migrację boczną koryta. Dawne zakola Sanu są współcześnie zawieszane od 3 do 5 m nad dno koryta. Biorąc pod uwagę strefę migracji koryta Sanu sprzed regulacji od 200 do nawet 2000 m, można wnosić, że swobodna migracja Sanu współczesnego będzie daleko węższa ze względu na pogłębienie koryta. Podczas badań w korytach rzek karpaccich można stwierdzić, że jeżeli rzeka likwiduje zabudowę regulacyjną, to zawsze jej migracja odbywa się w węższej strefie niż przed regulacją i na większej głębokości (Krzemiń i in. 2015).

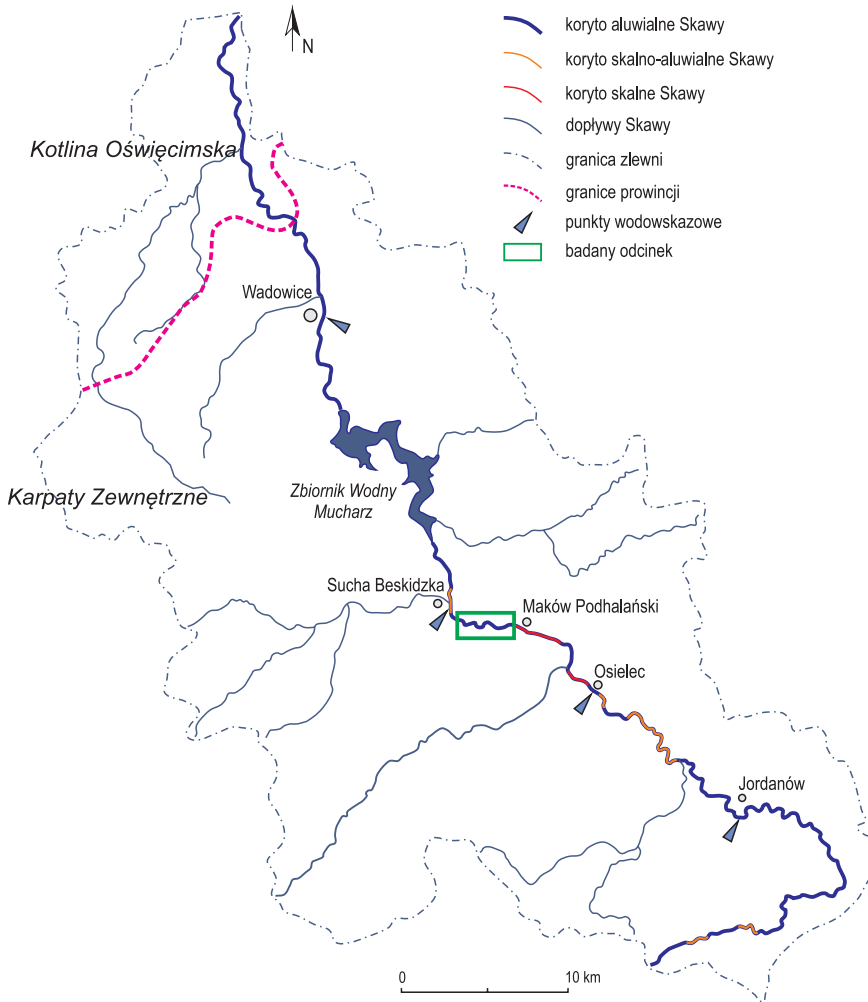


*Rzeka się w niebie odbija
czy niebo rzekę wymija,
tocząc kuliste chmury na drugi brzeg?*
(K. K. Baczyński, *Ballada o rzece*)

2.9.2. Skawa

Skawa, rzeka licząca 96,4 km długości, jest prawobrzeżnym, karpacim dopływem Wisły. Zlewnia Skawy położona jest w obrębie Karpat Zewnętrznych (Beskidów Zachodnich i Pogórza Karpackiego) oraz Kotlin Podkarpackich – Kotliny Oświęcimskiej (Klimaszewski 1972). Powierzchnia zlewni wynosi 1160,1 km². Według K. Klimka (1979) zlewnia Skawy charakteryzuje się największym udziałem rzeźby górskiej – 95%. Górny odcinek rzeki położony jest w kotlinnym obniżeniu śródgórskim – Bramie Sieniawskiej (Kotlina Chabówki). Środkowa część zlewni Skawy znajduje się w obrębie Beskidu Żywieckiego i Średniego (Starkel 1972), a dolna w obrębie Beskidu Małego, Pogórza Wielickiego i Śląskiego oraz Kotliny Oświęcimskiej (ryc. 36).

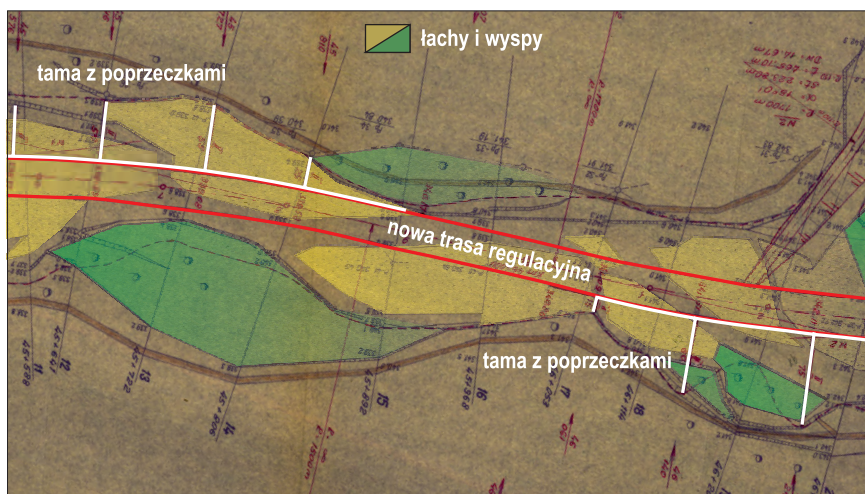
Badany odcinek koryta Skawy położony jest między Makowem Podhalańskim a Suchą Beskidzką (ryc. 36). Rzeka wykorzystuje w tym odcinku uskoki Makowa. Strefy uskokowe wykorzystywane przez Skawę wykazywały wyraźne ruchy tektoniczne w ciągu ostatnich 15 tysięcy lat, wiążą się z tym lokalnie większe spadki koryta i większe natężenie procesów erozyjnych (Zuchiewicz 2010). Koryto w górnym biegu wycięte jest generalnie w odpornych piaskowcach magurskich i warstwach hieroglifowych. W badanym odcinku przebieg koryta i stosunkowo duża szerokość doliny może wynikać z osłabienia piaskowców w strefie uskokowej (Grzybowski 1999).



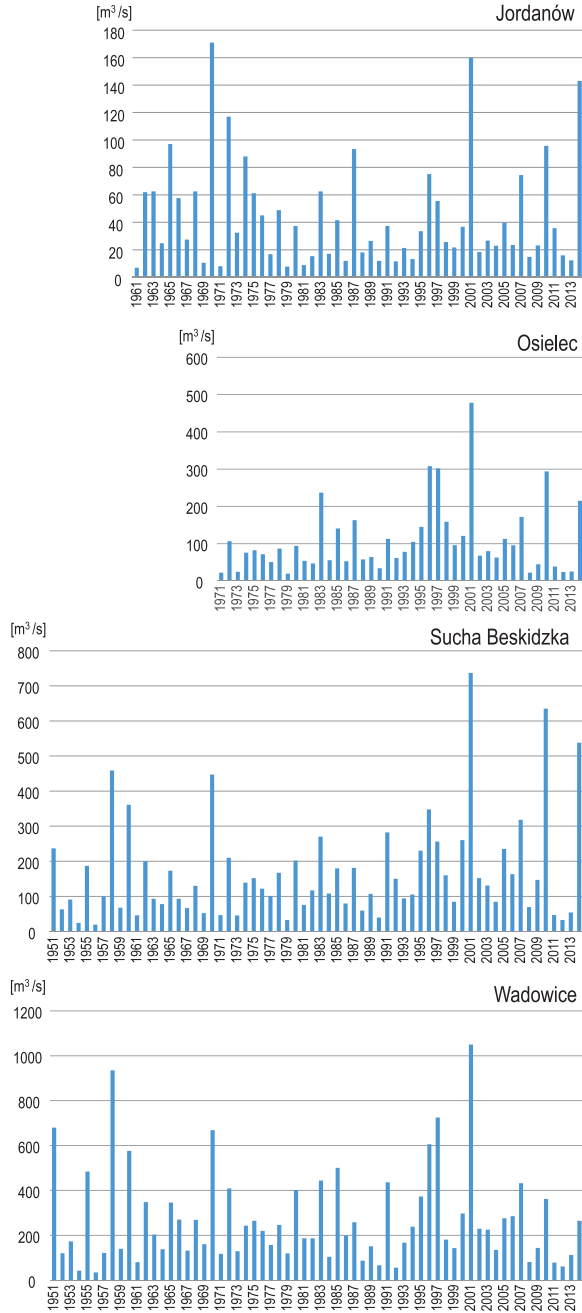
Ryc. 36. Zlewnia Skawy; lokalizacja badanego odcinka na tle koryta Skawy

Analizowane koryto Skawy, o długości 2 669 m, jest odcinkiem aluwialnym, o krętym przebiegu (ryc. 36). W XIX wieku odcinek ten cechował się przebiegiem wielonurtowym i krętym z dużymi łaciami bocznymi (The First, The Second, The Third Military Survey of Galicia, <http://mapire.eu>). Pierwsze regulacje mające na celu zlikwidowanie wielonurtowości koryta

rzeki miały miejsce na początku XX wieku. Zabezpieczenia brzegów wykonano z faszyny i kamienia łamanego (Ingarden 1910). Kolejne regulacje zrealizowano w latach 70. XX wieku zgodnie z wytycznymi projektu „Regulacja rzeki Skawy w m. Sucha–Maków Podhalański, 44+750–49+600 km, 1976, Okręgowa Dyrekcja Gospodarki Wodnej, Kraków”. Wykonano wówczas kompleksową regulację całego odcinka. Koryto zostało zwężone i wyprostowane. Wykonane budowle to głównie tamy podłużne posadowione w wodzie i tamy podłużne z poprzeczkami (ryc. 37). Obecnie w korycie nie pozostały żadne ślady z tych budowli. Według danych z RZGW na początku XXI wieku, przed gwałtownym poszerzeniem badanego odcinka, brzegi koryta były obudowane: w 66% brzeg prawy i w 25% brzeg lewy. Były to głównie budowle z lat 80. XX wieku, tamy podłużne siatkowo-kamienne z poprzeczkami oraz opaski siatkowo-kamienne z narzutem z walców. Budowle te stopniowo były niszczone, proces ten nasilił się zwłaszcza po powodzi w 2001 roku (ryc. 38). Częściowo zniszczone regulacje stwierdzono w korycie w trakcie pierwszego kartowania terenowego w 2006 roku (fot. 17). W czasie kolejnych kartowań (w latach 2012 i 2014)



Ryc. 37. Fragment projektu regulacyjnego „Regulacja rzeki Skawy w m. Sucha – Maków Podhalański, 44+750–49+600 km, 1976, Okręgowa Dyrekcja Gospodarki Wodnej, Kraków”



Ryc. 38.
Maksymalne
wezbrania roczne
w punktach
wodowskazowych
w Jordanowie,
Osielcu, Suchej
Beskidzkiej
i Wadowicach

w korycie znaleziono jedynie resztki tych budowli, głównie poprzeczek (fot. 18). Zawieszenie budowli regulacyjnych od 1,2 do 1,8 m pozwoliło na stwierdzenie znacznej erozji wgłębnej w badanym odcinku koryta Skawy (fot. 17, 18).

W ostatnich 20 latach na Skawie obserwuje się zwiększenie częstości wezbrań (ryc. 38). W 2001 roku miało miejsce wezbranie o prawdopodobieństwie wystąpienia $Q_{1\%}$ (ryc. 38; tab. 14). Od tego wezbrania rozpoczęła się stopniowa, samoistna renaturyzacja koryta Skawy; m.in. w badanym odcinku. Pierwszym etapem, jak zauważono wyżej, było niszczenie budowli regulacyjnych (fot. 17). Zniszczenie tam i opasek pozwoliło na stopniowe poszerzanie koryta, a następnie na stopniowe zwiększanie jego krętości (ryc. 39A). Procesowi temu towarzyszył bardzo duży przyrost form akumulacyjnych – łąch bocznych. W ciągu ośmiu lat badań 8-krotnie wzrosła powierzchnia łąch, średnia szerokość koryta wzrosła ponad 4-krotnie, a maksymalna 3-krotnie (ryc. 40). Znacząco wzrosła także krętość koryta (fot. 18). Koryto osiągnęło pewien stan równowagi jako koryta krętego z dobrze wykształconym systemem ploso-przemiał oraz naprzemiennym występowaniem podcięć i łąch (ryc. 39; fot. 18). Kolejne wezbrania utrwalają ten układ i tylko lokalnie go zaburzają, tworząc odcinki wielonurtowe.

Tabela 14. Przepływ maksymalny Skawy o różnej wielkości prawdopodobieństwa przewyższenia $Q_{\max\%}$ [m³/s] oraz lata wystąpienia wezbrań o żądanym prawdopodobieństwie (wg Raportu ISOK)

Stacja wodowskazowa	Przepływ maksymalny o prawdopodobieństwie przewyższenia $Q_{\max\%}$ [m ³ /s] oraz opowiadający im stan wody H [cm] (wg Raportu ISOK)				Rok wystąpienia wody	
	$Q_{10\%}$	$H_{010\%}$	$Q_{1\%}$	$H_{01\%}$	$> Q_{10\%}$	zblizonej lub $> Q_{1\%}$
Osielec	246	322	487	–	1983, 1996, 1997, 2010	2001
Sucha Beskidzka	355	361	659	482	1958, 1960, 1970, 1996, 2014	2001, 2010
Wadowice	554	500	991	635	1951, 1960, 1970, 1996, 1997	1958, 2001



A.



B.

Fot. 17. Koryto Skawy w 2006 roku, A – zniszczone regulacje, ostrogi, B – poszerzone koryto z wyspą „założoną” na zniszczonych regulacjach

2.9. PRZYKŁADY ROZWOJU UREGULOWANYCH SYSTEMÓW KORYTOWYCH...





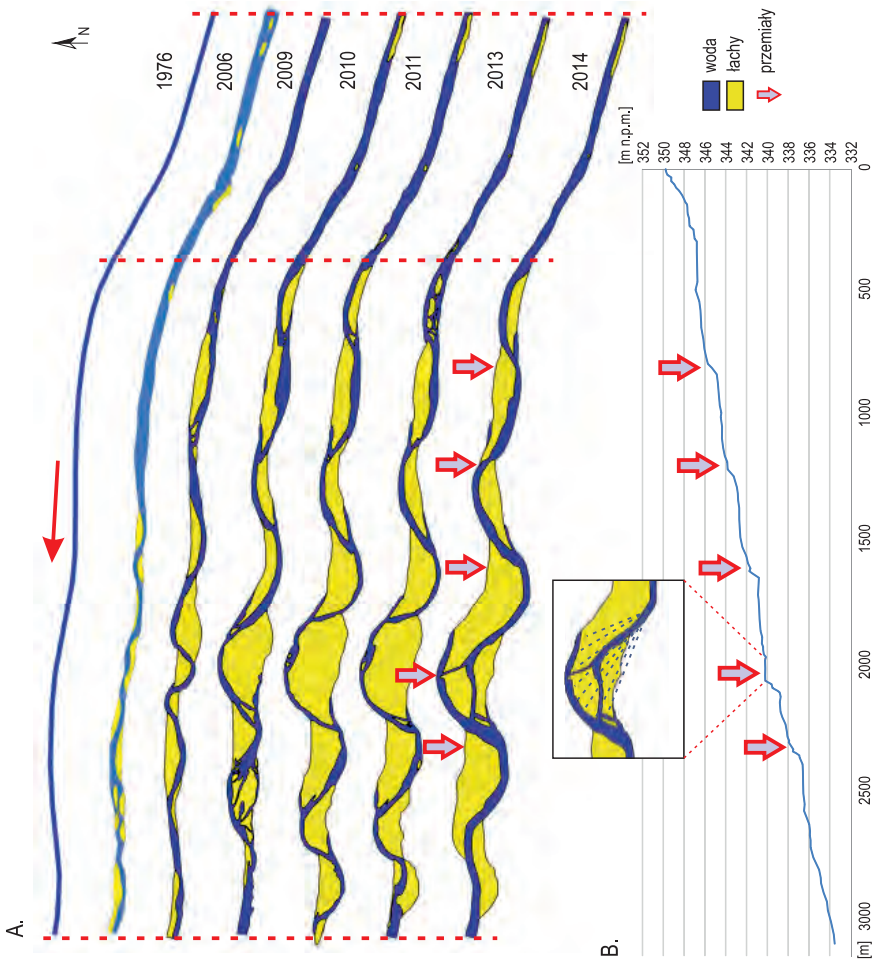
Fot. 18. Koryto Skawy w 2012 roku, A, B – koryto kręte z naprzemiennie występującymi łaciami bocznymi i podcięciami, C – zniszczona regulacja w korycie (ostatnia widoczna)

Analiza profilu podłużnego badanego odcinka potwierdza regularne odstępy przemiałów i prawdopodobnie dużą trwałość zrenaturyzowanego systemu korytowego. Interesujący jest także pododcinek wielonurtowy (ryc. 39; fot. 19). Podział koryta na wielonurtowe powstał w trakcie majowego wezbrania w 2014 roku. Nastąpiło dociążenie rumowiskiem, konsekwencją czego była bardzo duża depozycja w postaci masywnego stożka typu *sediment slugs* (m.in. Gilbert 1917; Nicholas i in. 1995; Kasai i in. 2004; Bartley, Rutherford 2005), bardzo dobrze widocznego w profilu podłużnym koryta Skawy (ryc. 39B). Można przypuszczać, że dłuższy okres z niewielkimi wezbraniem spowoduje prawdopodobne utrwalenie się jednego z nurtów i zanik zaburzenia struktury w postaci lokalnej wielonurtowości.

2.9. PRZYKŁADY ROZWOJU UREGULOWANYCH SYSTEMÓW KORYTOWYCH...

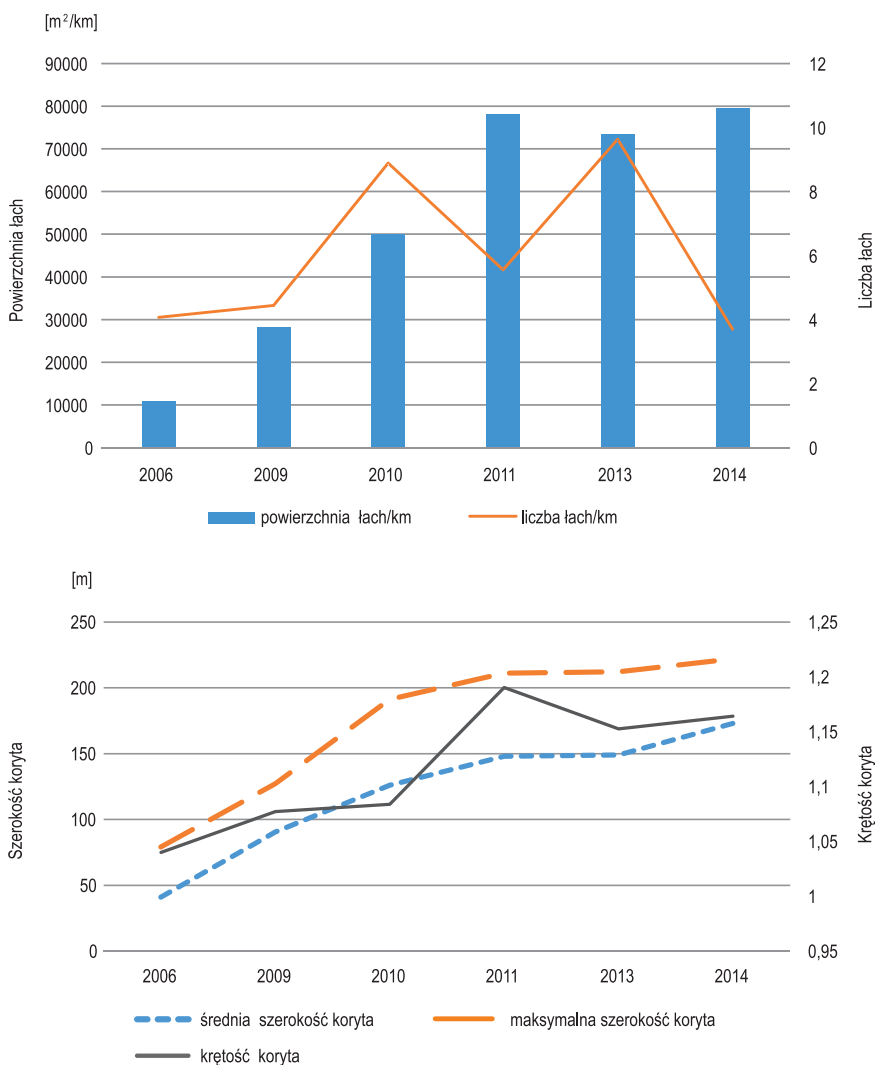


Fot. 19. Koryto Skawy w 2014 roku, A – szerokie i miększe strefy akumulacji rumowiska i rumoszu drzewnego, B – krótki odcinek wielonurtowy powstały po wezbraniu w 2014 roku

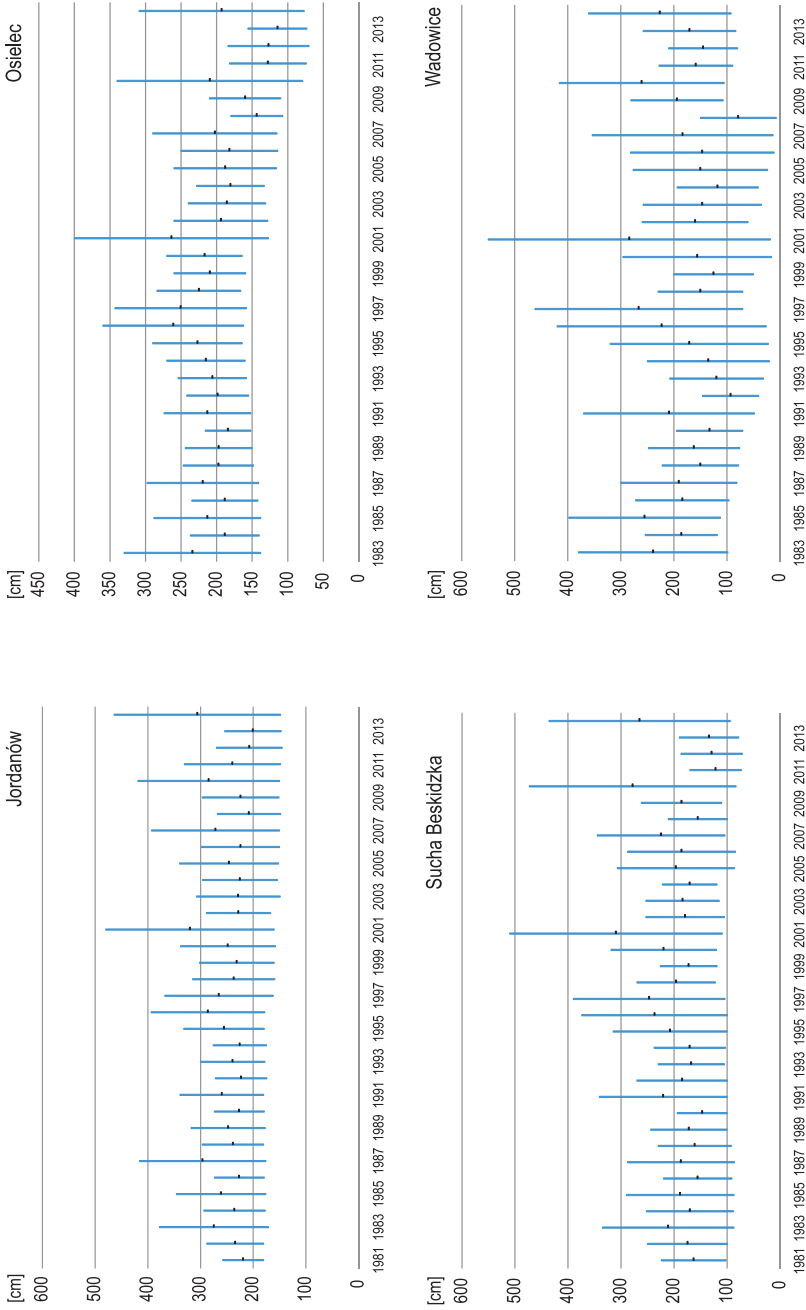


Ryc. 39. Etapy samoistnej re-naturyzacji koryta Skawy (A), profil podłużny badanego odcinka Skawy (B)

2.9. PRZYKŁADY ROZWOJU UREGULOWANYCH SYSTEMÓW KORYTOWYCH...



Ryc. 40. Zmiany struktury i morfometrii koryta Skawy w badanym odcinku w latach 2006–2014



Ryc. 41. Stany minimalne i maksymalne w punktach wodowskazowych w Jordanowie, Osielcu, Suchej Beskidzkiej i Wadowicach

Niezwykle interesujące jest porównanie koryta przedregulacyjnego, na podstawie map austriackich z XIX wieku, koryta z lat 70. XX wieku, z obecnie funkcjonującym korytem postregulacyjnym (The First, The Second, The Third Military Survey of Galicia, <http://mapire.eu>). W XIX wieku koryto w badanym odcinku było mozaikowe, lokalnie 2–3 nurtowe, miejscami tylko kręte z rozległymi łachami bocznymi. Pod koniec XIX wieku funkcjonowały tu dwie młynówki. W latach 70. XX wieku koryto znów, czy też nadal, było wielonurtowe, można to stwierdzić na podstawie bardzo dokładnych planów projektu regulacji koryta Skawy. Omawiany fragment projektu przedstawia roztokowe koryto, planowany przebieg trasy regulacyjnej oraz lokalizację budowli hydrotechnicznych (ryc. 37). Po trzydziestu latach funkcjonowania koryta uregulowanego następuje stopniowa eliminacja regulacji. Koryto zostało pogłębione. Tendencją do pogłębiania się koryta Skawy można stwierdzić także na podstawie analizy minimalnych stanów rocznych w profilach wodowskazowych. W punkcie wodowskazowym w Osielcu, czyli powyżej badanego odcinka koryta, stwierdzono tendencję do pogłębiania, zwłaszcza od 2001 roku. W tym krótkim czasie koryto wcięło się o ok. 0,5 m. W Suchej Beskidzkiej tendencja do wcinania się jest widoczna, choć jest ona przemienne z okresami agradacji (ryc. 41). Wyraźną tendencję do agradacji można natomiast stwierdzić w punkcie pomiarowym w Wadowicach, gdzie występuje długi odcinek depozycyjny. Choć w badanym odcinku koryta nie ma punktu pomiarowego, można założyć, że od początku XXI wieku miejsce erozji wgłębnej wypiera akumulacja; nastąpiło odwrócenie tendencji do wcinania na rzecz agradacji.

Obecnie badany odcinek koryta Skawy jest akumulacyjny. Rzeka nie wróciła jednak do poprzedniego układu wielonurtowego, ale utworzyła układ koryta krętego z dużymi łachami i podcięciami. Ta sytuacja może być odpowiedzią na zmianę warunków nie tylko w korycie, ale także na zmiany użytkowania w całej zlewni.

Happening „Warkocze Białki”, sprzeciw
wobec dewastacji polskich rzek,
2013 rok (<http://warkoczebialki.blogspot.com>, fot. Mieszko Stanisławski)

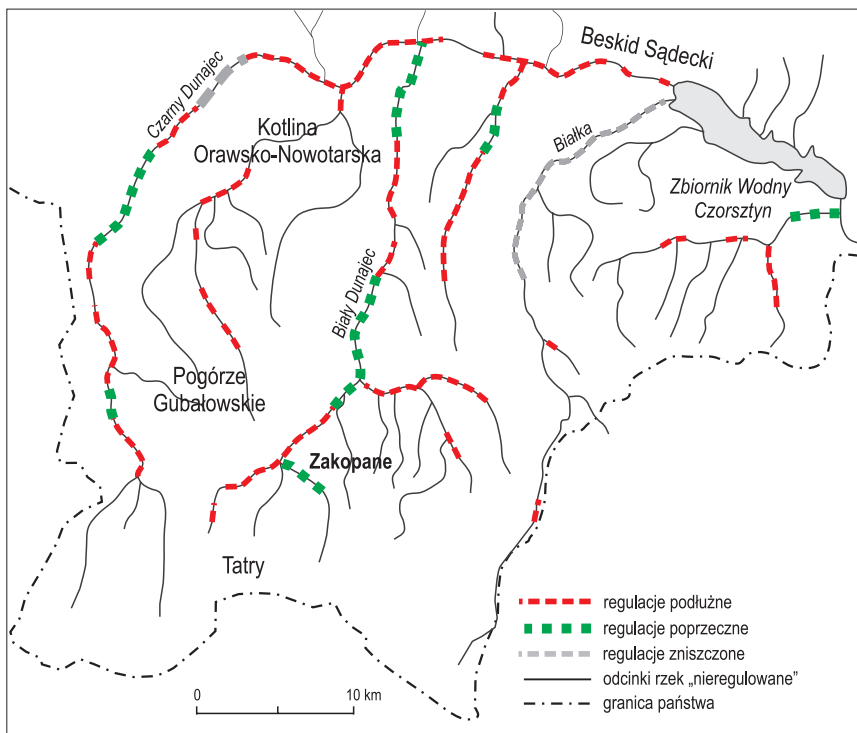


2.9.3. Czarny Dunajec

Wielonurtowa i roztokowa przeszłość, a także częściowo teraźniejszość morfologii koryt Podhala bierze się z niedostatecznej nośności rzeki, wynikającej z jej przeciążenia nadmiernym ładunkiem transportowanego rumowiska i materiałem dennym o dużej frakcji pochodzącym głównie z postglacjalnego okresu rozwoju przedpola gór wysokich. Białka i odcinkowo Czarny Dunajec są uważane za ostatnie roztokowe systemy korytowe w polskich Karpatach (ryc. 42; Baumgart-Kotarba 1983a, 1983b; Gorczyca Krzemień 2010; Radecki-Pawlik 2011; Wyźga 2013).

Zlewnia Czarnego Dunajca, o powierzchni 456 km², obejmuje geomorfologiczne regiony: Tatr Zachodnich, Rowu Podtatrzańskiego, Pogórza Gubałowskiego i Kotlinę Orawsko-Nowotarską (Klimaszewski 1972; ryc. 43). Obszar budują skały krystaliczne, węglanowe, flisz podhalański i utwory fluwioglacjalne. Za źródłowy odcinek Czarnego Dunajca uznaje się Wyżni Chochołowski Potok (wg K. Krzemienia 1984, 2003). Wypływa on na wysokości ok. 1500 m n.p.m. pod Wołowcem w Tatrach Zachodnich. Czarny Dunajec powstaje w wyniku połączenia potoków: Chochołowskiego, Kościeliskiego i Lejowego. Koryto Czarnego Dunajca obecnie jest wąskie (30–50 m) i tylko lokalnie w odcinkach roztokowych osiąga do 200 m szerokości. Towarzyszy mu równina zalewowa o szerokości 100–500 m z licznymi systemami odciętych koryt bocznych (Krzemień 2003; Korpak i in. 2008). Koryto Czarnego Dunajca jest typowe dla koryt rzek żwirowych o cechach reżimu wysokogórskiego.

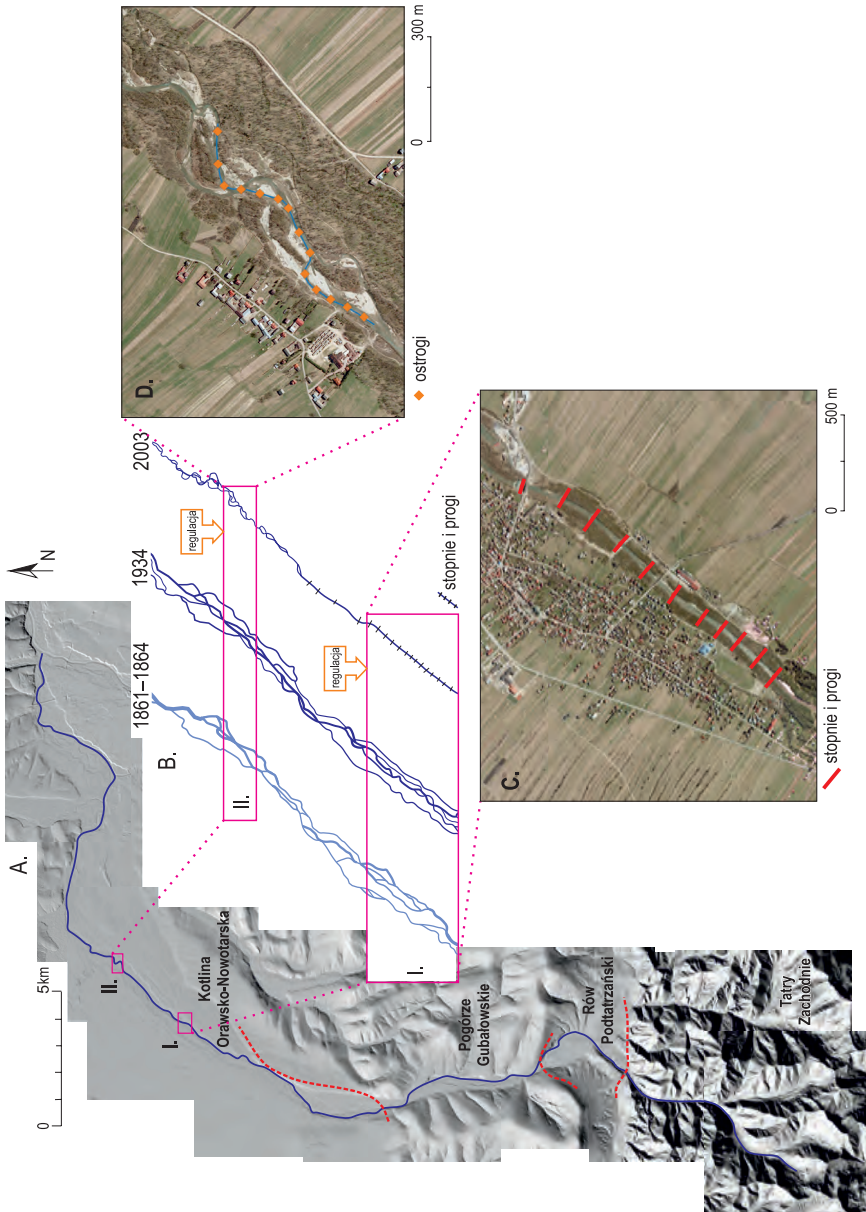
2.9. PRZYKŁADY ROZWOJU UREGULOWANYCH SYSTEMÓW KORYTOWYCH...



Ryc. 42. Stopień uregulowania koryt Podhala



Ryc. 43. Lokalizacja badanych odcinków koryta (I., II.) na tle zlewni Czarnego Dunajca (A), Przebieg w planie badanego odcinka koryta w XIX wieku, na początku XX i XXI wieku (B), Rodzaj i lokalizacja budowli regulacyjnych w badanych odcinkach koryta (C, D)



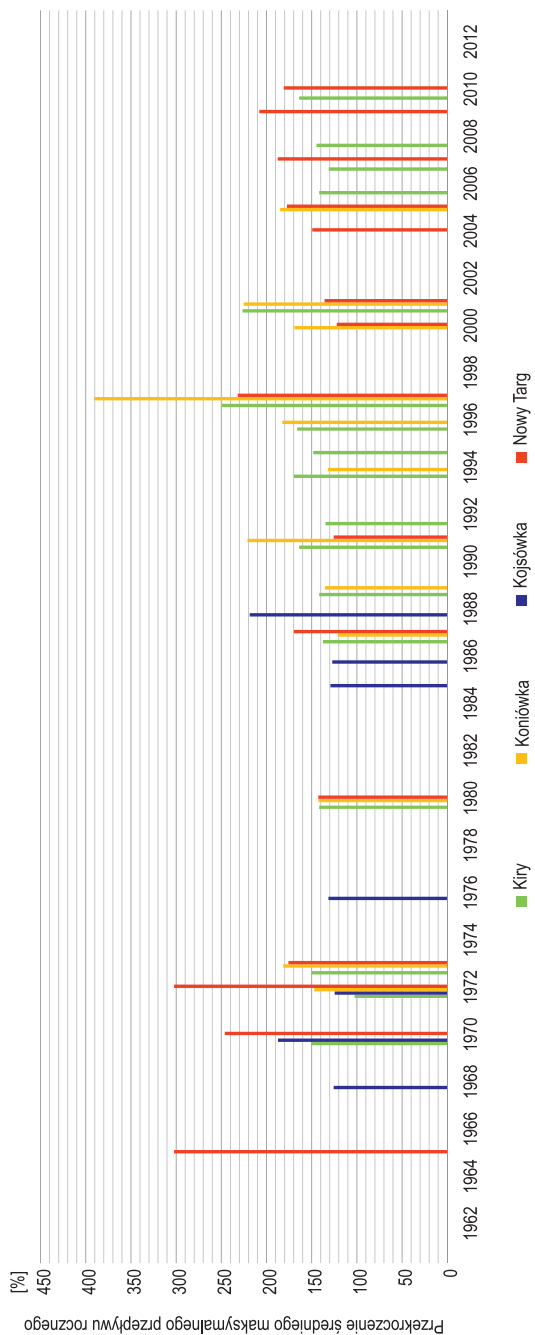
Struktura koryta Czarnego Dunajca jest wynikiem długotrwałej ewolucji na przedpolu gór wysokich. Największą rolę w kształtowaniu jego koryta roztokowego, polegającą na bocznej migracji, odgrywały duże wezbrania. Współczesne koryto jest znacząco przeobrażone antropogenicznie. Tylko odcinkowo Czarny Dunajec jest ciągle dobrym przykładem wykształcenia koryt roztokowych rzek wypływających z Tatr. Najlepiej zachowanym korytem roztokowym Podhala jest Białka, a najbardziej zdegradowanym Biały Dunajec (ryc. 42). Ingerencja człowieka w XX wieku doprowadziła generalnie do ich zwężania i wyprostowania. W korycie Czarnego Dunajca regulacje zapoczątkowano w latach 50. XX wieku. Proces ten nasilił się w latach 70. i 80. XX wieku. Prace te polegały na wyprofilowaniu pojedynczego, wąskiego koryta i odcięciu ramion bocznych za pomocą różnych budowli podłużnych, takich jak ostrogi i poprzeczki, czy korekcję stopniową na długich odcinkach koryta (dane pozyskane z RZGW; Krzemień 2003; Korpak i in. 2008). W wyprostowanym, skróconym i zwężonym korycie zwiększał się jego spadek, następowało przyspieszenie odpływu wód, a w efekcie znaczne odprowadzenie rumowiska i obniżanie się poziomu dna (ryc. 43). Na działania regulacyjne nałożyła się eksploatacja rumowiska, która przebiegała na masową skalę przy użyciu koparek. Wybierano z koryta także frakcję maksymalną otoczków na potrzeby budownictwa jednorodzinnego. Efektem tych działań było zlikwidowanie opancerzenia koryta oraz jego pogłębienie w odcinku eksploatowanym. Zmiany te odbijały się również na sąsiednich odcinkach dzięki erozji wstecznej (Krzemień 1984, 2003; Kościelniak 2004a; Zawiejska 2006).

Maksymalne wezbrania na Czarnym Dunajcu związane są z opadami letnimi, występującymi tu od czerwca do sierpnia. W ostatnich dekadach największe wezbranie na Czarnym Dunajcu wystąpiło w 1997 roku. Na posterunku w Koniówce wartości przepływu z 1997 roku wyniosły $182 \text{ m}^3/\text{s}$ i były wyższe od przepływu o prawdopodobieństwie $Q_{10\%}$ ($136 \text{ m}^3/\text{s}$). W Nowym Targu przepływ był niższy od przepływu o prawdopodobieństwie $Q_{10\%}$. Największy notowany przepływ w Nowym Targu wystąpił w 1934 roku – $870 \text{ m}^3/\text{s}$ i był przepływem większym od wody o prawdopodobieństwie wystąpienia $Q_{0,2\%}$, czyli wody pięćsetletniej (Walczykiewicz 2011; Raport ISOK). Przekroczenie średniego maksymalnego przepływu rocznego [%]

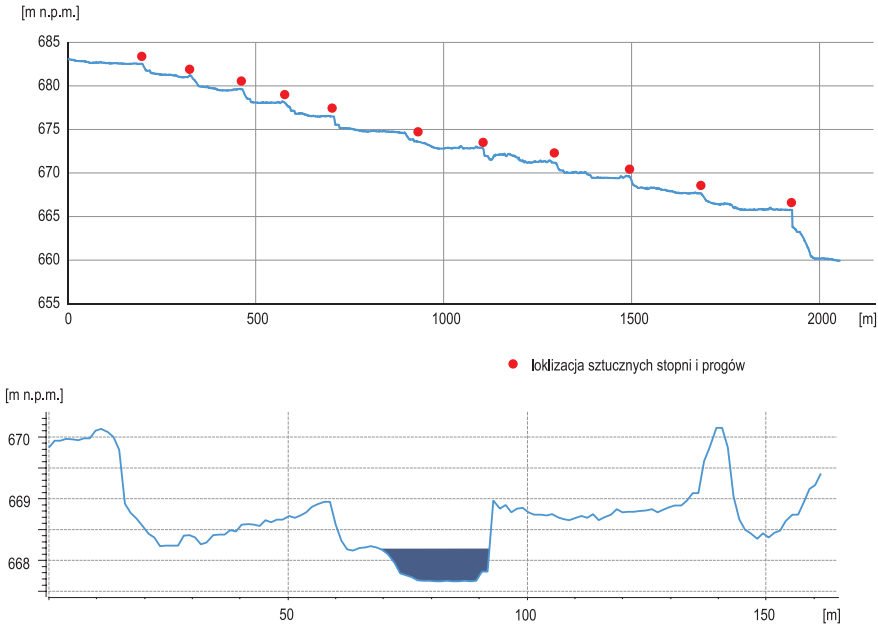
wskazuje na duże wezbrania w korycie Czarnego Dunajca średnio co kilka lat (ryc. 44). Większa częstość wezbrań jest obserwowana od 1986 roku, większa dynamika przepływów w korycie ma znaczący wpływ na strukturę koryta, ale także na stan budowli regulacyjnych w korycie.

Analizie poddano dwa krótkie odcinki koryta Czarnego Dunajca położone w obrębie Kotliny Orawsko-Nowotarskiej (ryc. 43A). Odcinek pierwszy – o długości 2 km, i odcinek drugi – o długości 0,9 km. W okresie przedregulacyjnym reprezentowały one koryto wielonurtowe (ryc. 43B). Obydwa odcinki były poddane w 2. połowie XX wieku regulacjom.

W 1977 roku obydwie odcinki były redepozycyjne, modelowane przez redepozycję i erozję boczną (Krzemień 1984, 2003; Korpak i in. 2008). Powierzchnia łach i wysp dla pierwszego odcinka wynosiła 30 176 m²/km, a dla drugiego 60 026 m²/km. Wysoki był także wskaźnik zdziczenia: odpowiednio 12 i 16 (form środkowych na kilometr) dla obu odcinków, oraz duża powierzchnia podcięć. Kolejne kartowanie wskazuje na znaczną degradację odcinków w okresie 1977–1999. W 1999 roku obydwie odcinki koryta zostały określone jako depozycyjne. Znacząco zmniejszyła się powierzchnia łach: dziesięciokrotnie dla odcinka pierwszego (do 3 007 m²/km) i dwudziestokrotnie (do 2 993 m²/km) dla odcinka drugiego (Krzemień 2003; Korpak i in. 2008). W okresie tym niemal zupełnie przestały funkcjonować podcięcia. W okresie 1977–1999 nastąpiło uregulowanie tych odcinków koryta. Pierwszy z nich został poddany regulacji z użyciem stopni i progów – regulacje poprzeczne (ryc. 43C, 45). Celem ich było zwężenie koryta, stabilizacja dna koryta oraz zatrzymanie rumowiska w górnym odcinku Czarnego Dunajca. Aż 11 budowli w badanym odcinku to stopnie i progi z betonu i kamienia (ryc. 43C). Korona większości budowli wystaje 30–60 cm nad poziom dna. Koryto zostało zwężone do 25–30 m. W związku z tym, że odcinek ten znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowań miejscowości Czarny Dunajec, regulacje z powodu zagrożenia powodziowego zostały dodatkowo obwałowane (ryc. 45). W 2012 roku stwierdzono obecność łach pomiędzy progami, co świadczy o aktywnym procesie depozycji. Transport i depozycja rumowiska w tym odcinku powoduje stopniowe niszczenie budowli regulacyjnych. Powierzchnia łach pomiędzy progami wynosi obecnie 5 251 m²/km. Świadczy to o niespełnianiu funkcji



Ryc. 44. Przekroczenie średniego maksymalnego przepływu rocznego [%] w Czarnym Dunajcu

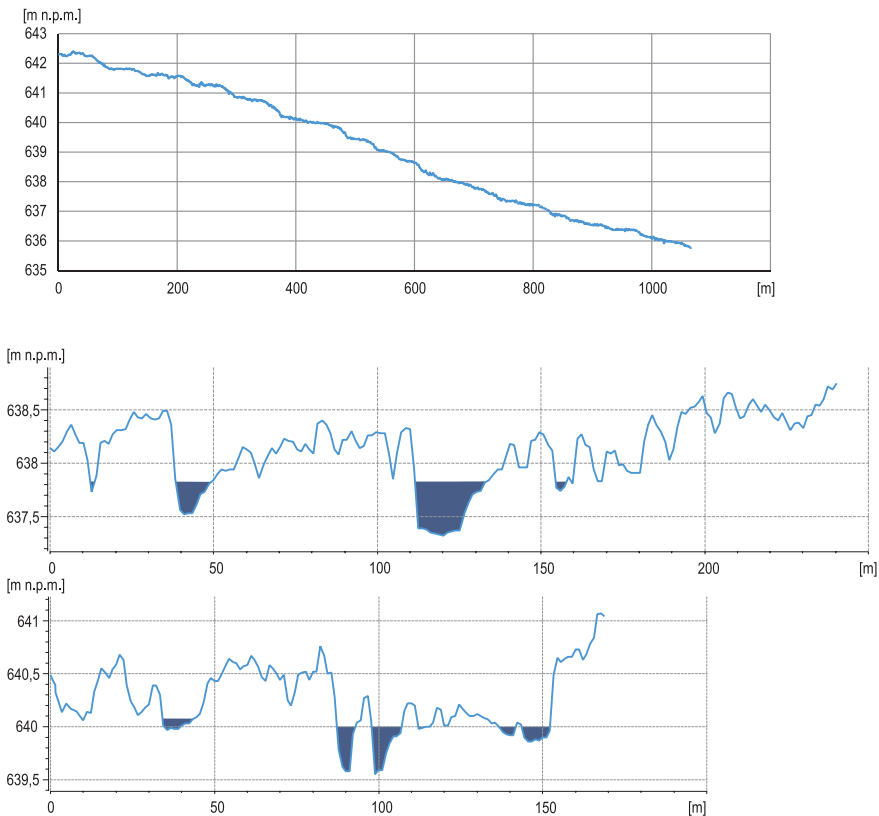


Ryc. 45. Profil podłużny pierwszego (I) odcinka koryta i charakterystyczny dla niego profil poprzeczny

zatrzymywania rumowiska przez korekcję progową. Należy jednak stwierdzić, że zastosowanie korekcji progowej w badanym odcinku potwierdza trwałość tego typu regulacji. Koryto nadal jest jednonurtowe i wąskie.

W odcinku drugim zastosowano do uregulowania koryta 14 kamiennych ostróg (ryc. 43D). Wąska i jednonurtowa trasa regulacyjna częściowo nawiązywała do układu roztokowego, zachowano lekko kręty przebieg (o krętości 1,1) i szerokość koryta ok. 30. Regulacje okazały się nietrwałe, a tendencje do roztokowania dominujące, koryto w badanym odcinku powróciło bowiem do układu wielonurtowego. Obecnie przy niskich stanach funkcjonuje od 3 do 6 nurtów, przy wysokich może być wypełnionych nawet 10 nurtów (ryc. 46). W tym odcinku koryta ma miejsce depozycja grubego rumoszu drzewnego po większych wezbraniach. Ma to znaczący wpływ na depozycję materiału rumowiskowego i rozwój form akumulacyjnych (Wyźga, Zawiejska 2005). Koryto istotnie zwiększyło swoją krętość

2.9. PRZYKŁADY ROZWOJU UREGULOWANYCH SYSTEMÓW KORYTOWYCH...



Ryc. 46. Profil podłużny drugiego (II) odcinka koryta i charakterystyczne dla niego profile poprzeczne

(do wartości 1,45), a jego szerokość wzrosła do 115–160 m. Znacząco wzrosła też powierzchnia łąch (do 35 450 m²/km) oraz liczba łąch środkowych i wysp – wskaźnik zdziczenia wynosi obecnie ponad 16.

Przykład tych dwóch odcinków, o bardzo podobnej strukturze przedregulacyjnej koryta roztokowego, pokazuje dwie drogi postępowania regulacyjnego. Jedną jest całkowita degradacja systemu korytowego poprzez zwężenie, wyprostowanie i stabilizację dna korekcją progową. Druga, „łagodniejsza”, z regulacją ostrogami, okazuje się skuteczna tylko na krótki czas, pozwala na powrót koryta do dawnych tendencji. Oba przypadki wskazują na niepowodzenie regulacji koryt roztokowych.

*Rzeka symbolizuje barierę, przeszkodę,
wtargnięcie, niebezpieczeństwo, powódź, strach,
potwora, stratę, łaskę Bożą,
zejście do piekieł, wyrocznię, obronę...*
(Słownik symboli literackich)



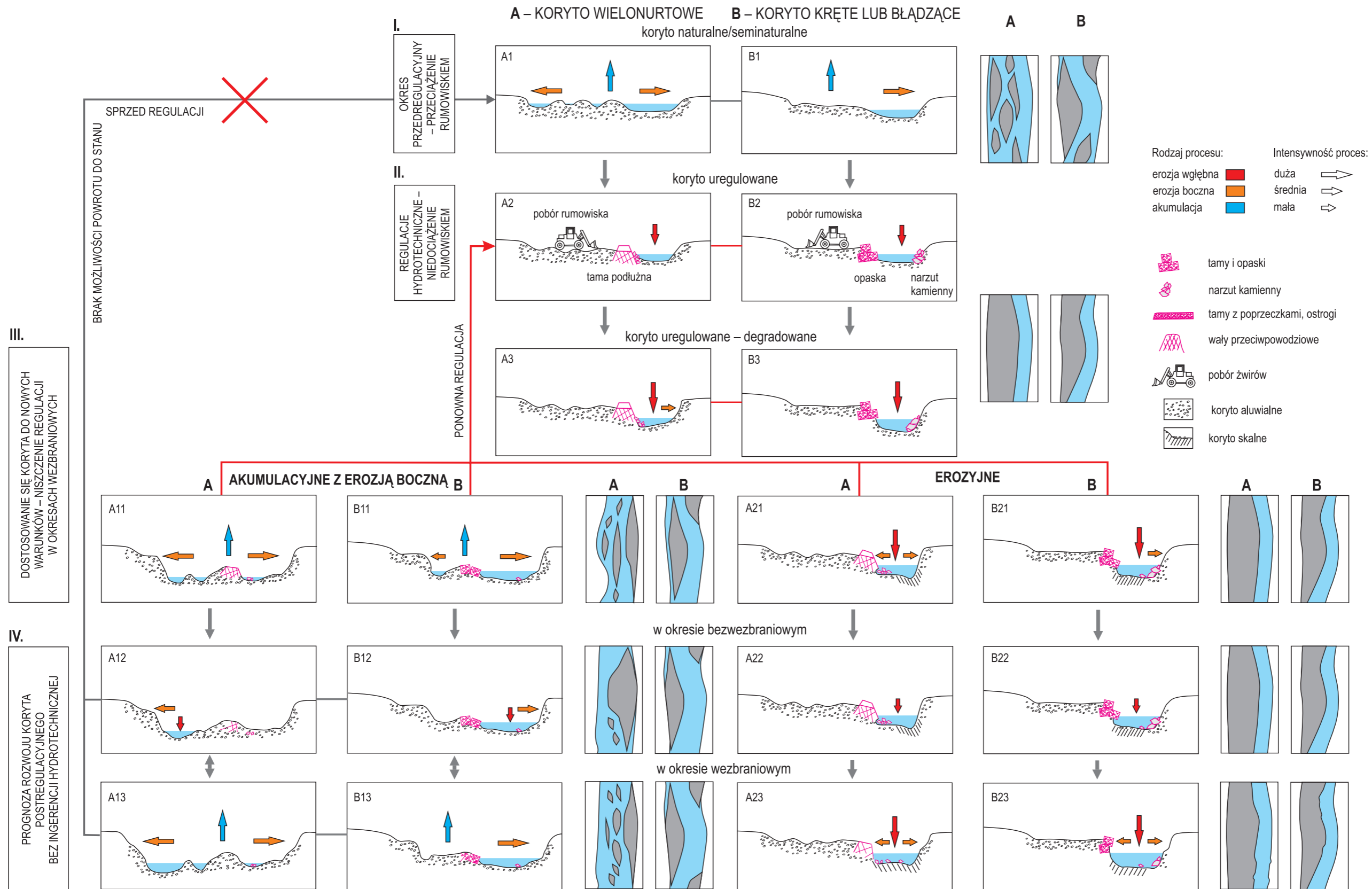
Rozdział 3

Model funkcjonowania uregulowanego systemu korytowego zwirodennej rzeki górskiej w okresie wezbraniowym i bezwezbraniowym

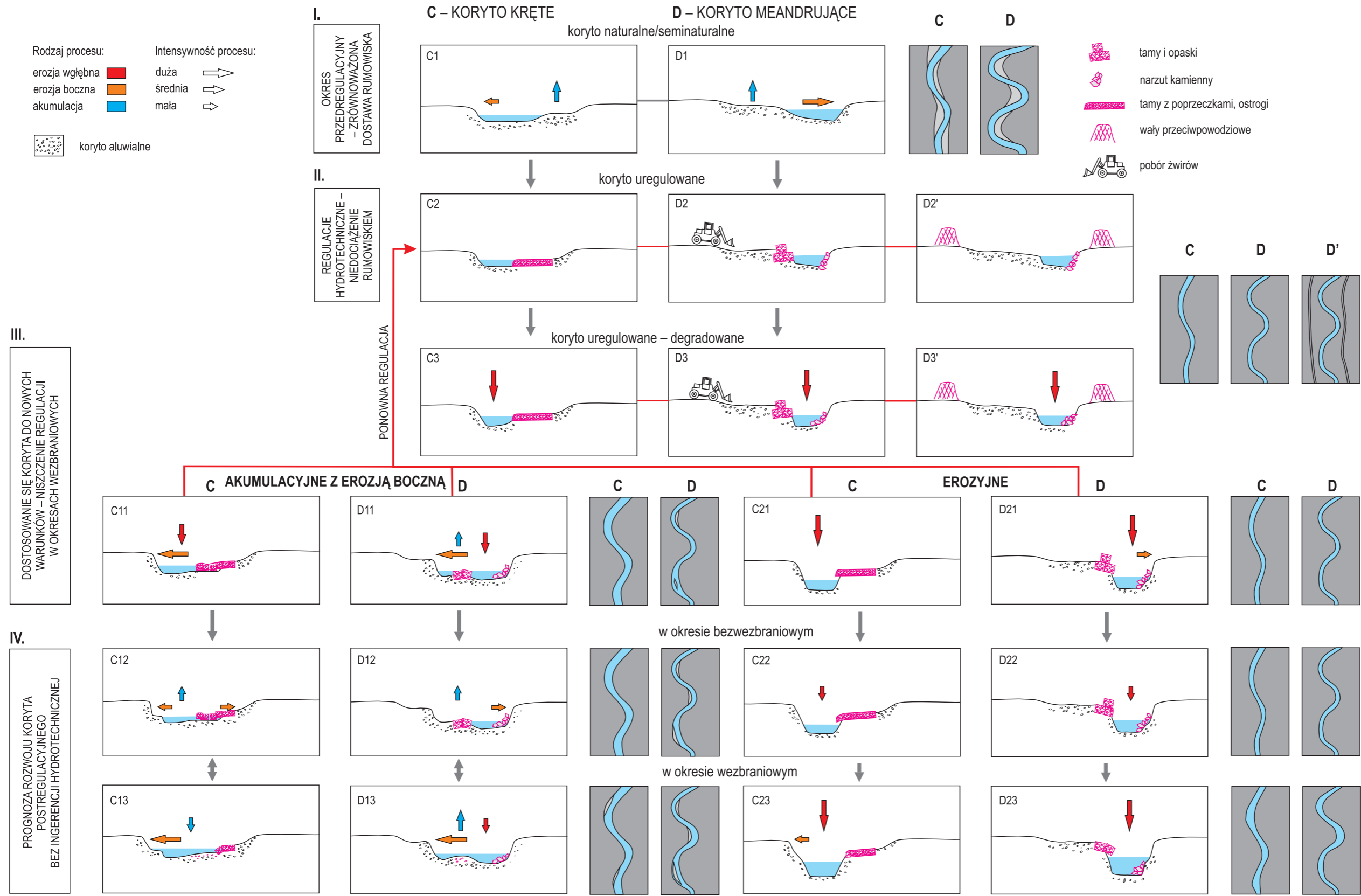
Górskie systemy korytowe, dopływy Wisły N skłonu Karpat, charakteryzują się dużym zróżnicowaniem pod względem morfostrukturalnym i morfodynamicznym. Wynika ono z różnego udziału obszarów wysokogórskich, średniogórskich (beskidzkich), pogórskich i kotlinnych w zlewniach rzek karpackich (Klimek 1979). Wynikające z tego udziały uwarunkowania geologiczne i geomorfologiczne decydują o spadkach, układzie koryta w planie, dostawie rumowiska i dynamice koryta. Udział obszarów górskich, pogórskich i kotlinnych w zlewni ma także wpływ na zagospodarowanie obszarów nadrzecznych i na wielkość antropopresji przejawiającej się m.in. w regulacjach koryt.

Odwołując się do wykształcenia koryt z okresu przed dużej presji w korytach (regulacji i masowego poboru żwirów), w znacznym uproszczeniu można byłoby założyć, że koryta Karpat Zachodnich w obszarach beskidzkich były wielonurtowe i błędzące, w odcinkach pogórskich kręte, a w kotlinach meandrujące (Starkel 1960; Klimek, Trafas 1972; Adamczyk 1981; Wyżga 1993a). Od tego schematu zdecydowanie odbiegają koryta Karpat Wewnętrznych, gdzie ze względu na występowanie gór wysokich, w przeszłości zlodowaconych, na ich przedpolu w kotlinach zapadliskowych utworzyły się bardzo dobrze rozwinięte systemy koryt roztokowych (Baumgart-Kotarba, Kotarba 1979; Krzemień 1981; Korpak 2007; Gorczyca i in. 2011). Inne są też uwarunkowania koryt Karpat Wschodnich – znaczny udział odcinków pogórskich i kotlinnych warunkuje ich meandrowy układ (Starkel 1960; Klimek 1979).

Na podstawie badań przeprowadzonych w korycie Raby, Skawy, Czarnego Dunajca i Sanu zaproponowano model rozwoju górskich koryt uregulowanych (ryc. 47, 48). Jako główne założenie modelu przyjęto, że współczesny i przyszły przebieg rozwoju górskich koryt uregulowanych będzie w różnym stopniu zależny od ich naturalnych uwarunkowań, naturalnego lub seminaturalnego wykształcenia koryt w okresie przedregulacyjnym oraz natężenia i rodzaju antropopresji w korytach i ich zlewniach. Odcinki beskidzkie, pogórskie i kotlinne o odmiennej historii rozwoju, pomimo zastosowania podobnych zabiegów regulacyjnych, będą odmiennie reagowały na bardzo duże i katastrofalne wezbrania, inaczej będzie wglądał ich rozwój w okresie postregulacyjnym. Samoistna renaturyzacja tych koryt w odcinkach, gdzie możliwe jest pozostawienie lub stworzenie korytarza swobodnej migracji i zaniechania dalszych regulacji, będzie wskazywać możliwości i kierunki rozwoju w nowych warunkach. Może nam to dać odpowiedź, w jakim kierunku rozwiną się górskie systemy korytowe poddane dużej antropopresji w ostatnich 100 latach. Czy jest możliwy powrót do tendencji koryt funkcjonujących w XIX wieku, czy też wytworzą one zupełnie nową strukturę, dopasowaną do współczesnych uwarunkowań? Współczesne koryta karpackie w stosunku do warunków w XIX wieku mają większą możliwość transportacyjną, znacznie mniejszą dostawę rumowiska ze zlewni (zmiana użytkowania), węższą strefę swobodnej migracji,



Ryc. 47. Model rozwoju górskiego żwirodennego koryta w warunkach antropopresji (część beskidzka)



Ryc. 48. Model rozwoju górskiego żwirowego koryta w warunkach antropopresji (część pogórska i „kotlinna”)

ograniczoną erozję boczną przez umocnienia brzegów, zaburzony (zwięźzony, wyprostowany) i niedostosowany do warunków naturalnych postregulacyjny układ koryta w planie (Szumański 1977; Krzemień 1981; Klimek 1983; Wyźga 1993a, 1993b, 2001b; Zawiejska, Krzemień 2004; Korpak 2007; Gorczyca, Krzemień 2010). Wszystkie procesy fluwialne zachodzą współcześnie w korytach pogłębionych o kilka metrów w stosunku do koryt XIX-wiecznych (Krzemień 1984; Kościelniak 2004a; Korpak 2007; Zawiejska 2006; Korpak i in. 2008; Wyźga i in. 2008; Radecki-Pawlik 2012; Wyźga i in. 2015). Nowe tendencje, jakie obserwujemy w korytach, w których zachodzi obecnie samoistna renaturyzacja, mogą być odpowiedzią na to, jakie mogą być zwirowodenne, górskie koryta w XXI wieku, jeśli ograniczymy antropopresję. Niezwykle ważna w procesie samoistnej renaturyzacji jest wielkość i częstość wezbrań, które wpływają na zmiany w strukturze i funkcjonowaniu koryt górskich (Starkel 1986, 2006, 2012; Izmailow i in. 2006; Długosz, Gębica 2008; Gorczyca, Wrońska-Wałach 2008; Korpak 2008; Bucła 2009; Czech i in. 2015). Tempo zmian w korytach będzie zależne od częstości okresów wezbraniowych i długości okresów bezwebraniowych.

Model rozwoju koryt rzek karpaccich składa się z czterech etapów rozwoju koryt (ryc. 47, 48 I–IV) dla czterech ich typów: wielonurtowego (roztokowego) (A), błędzającego i krętego (B), krętego (C) i meandrującego (D). Dwa pierwsze z nich (A i B) to koryta beskidzkie i pogórskie, dwa kolejne (B i C) to koryta strefy przejściowej między częścią pogórską i kotlinną i kotlinne. Etap pierwszy (I) przedstawia strukturę koryta przedregulacyjnego. Dla części beskidzkiej założono przeciążenie rumowiskiem, dla części przedgórskiej i kotlinnej bardziej zrównoważoną dostawę rumowiska do koryt. Taka sytuacja w uproszczeniu odpowiadałaby stanowi koryt karpaccich w wieku XIX (The First, The Second, The Third Military Survey of Galicia, <http://mapire.eu>). Etap drugi (II) to długi okres nasilonej presji człowieka w korytach, przede wszystkim regulacji hydrotechnicznych koryt i masowego poboru rumowiska korytowego (A2, B2, C2, D2, D2'; ryc. 47, 48). Regulacje polegały na wytyczaniu nowych tras regulacyjnych i umacnianiu jednego lub dwóch brzegów. Zmiana przebiegu i funkcjonowania koryta następuje także wskutek obwałowania (D2'). Etap trzeci (III) to okres dostosowania się koryt do nowych warunków (A3, B3, C3, D3, D3').

Regulacje hydrotechniczne, zwłaszcza wyprostowanie i zwężenie koryt poprzez wytyczenie nowych tras regulacyjnych oraz umocnienia brzegów, spowodowały wzrost spadku koryt oraz odcięcie rzeki od zdolności do erozji bocznej (B3, D3; ryc. 47, 48). W nowych warunkach nastąpiło niedociążenie rumowiskiem i zwiększenie mocy transportowej rzek. To zaś było przyczyną gwałtownego procesu wcinania się koryt rzek karpackich (Dauksza 1976; Kaszowski 1980; Krzemień 1981, 1984, 1999, 2003; Froehlich 1982; Kościelniak 2004a; Korpak 2007; Zawiejska 2006; Korpak i in. 2008; Wyźga i in. 2008; Radecki-Pawlik 2012; Wyźga 1991, 2001a, 2001b; Wyźga i in. 2015). Proces ten dodatkowo został przyśpieszony, a nawet zainicjowany tam, gdzie regulacji jeszcze nie było, przez masowy pobór żwirów z koryt. Wcinanie koryt pociągało za sobą niszczenie budowli regulacyjnych, które traciły podparcie w strefie posadowienia (A3, B3, D3). Zniszczone budowle regulacyjne remontowano lub zastępowano nowymi. To powodowało utrzymywanie pewnego *status quo* tendencji do pogłębiania koryt. Niedociążone rumowiskiem koryto o zwiększonej funkcji transportacyjnej „wytracało” energię, erodując dno koryta.

Znaczące zmiany w funkcjonowaniu koryt uregulowanych mogą zachodzić podczas wezbrań. Na tym etapie rozwoju koryt uregulowanych mogą wystąpić co najmniej dwa scenariusze zmian w korycie (ryc. 47, 48). W zależności od lokalnych uwarunkowań środowiskowych, stopnia dostosowania regulacji do przepływów wezbraniowych i wielkości wezbrania koryto podlega znaczącym przeobrażeniom w **koryta akumulacyjne z erozją boczną** (A11, B11, C11, D11) lub utrwała poprzednią strukturę – **koryta erozyjne** (A21, B21, C21, D21).

Pierwsze zmiany w strukturze **koryt akumulacyjnych z erozją boczną** (A11, B11, C11, D11), które inicjują dalszy rozwój, to np. akumulacja rumowiska w wąskim uregulowanym korycie materiału wyerodowanego z dna. Powstała w ten sposób łacha zmniejsza drożność koryta, następuje spychanie nurtu i zapoczątkowanie erozji bocznej. Inny częsty scenariusz to sytuacja, kiedy zniszczone regulacje w korycie utrwalają przebieg krętego lub dwunurtowego koryta. Zniszczona częściowo budowla regulacyjna w trakcie wezbrania zostaje odcięta całkowicie od brzegu. Struktury takie stanowią „zaczątek” strefy akumulacji, gdzie tworzą się łachy lub wyspy.

W dalszej kolejności następuje stopniowe poszerzanie koryta, uaktywnienie erozji bocznej w strefach zniszczonych umocnień brzegów i utrwalenie się form korytowych. Generalnie, dominująca do tej pory erozja wgłębna zostaje zastąpiona przez erozję boczną i akumulację. W strukturze wzrasta udział liczby i powierzchni łąch oraz podcięć bocznych. Formy te występują w coraz bardziej regularnych odstępach, co wymusza przemieszczanie się nurtu z jednego brzegu na drugi, a to warunkuje sekwencje podcięć bocznych naprzemiennie z formami akumulacyjnymi. W korytach takich odtwarza się system ploso-przemiał, który jest często znacząco zaburzony w korytach uregulowanych. Procesem wspomagającym poszerzanie koryta są procesy grawitacyjne, zwłaszcza w odcinkach „kotlinnych” koryt, które są głęboko wcięte i wycięte w drobnym niekohezyjnym materiale. Brzegi koryta modelowane przez ruchy osuwiskowe cofają się i dostarczają materiał do koryta (ryc. 47, 48). **Koryta erozyjne** (A21, B21, C21, D21) nie podlegają dużym zmianom, następuje ich dalsze pogłębienie, a postępująca erozja wgłębna przyczynia się do stopniowego niszczenia budowli regulacyjnych. Skutkiem długotrwałej erozji w korytach beskidzkich i pogórskich jest docięcie się do litej skały. W korytach takich powstają liczne formy skalne, takie jak progi i kotły, ostrogi skalne, nierówne dno skalne oraz podłogi skalne. Poszerzanie koryta jest zazwyczaj skutkiem braku stabilności i niewielkich osunięć w obrębie brzegów. Procesem dominującym w tych korytach nadal jest erozja wgłębna (ryc. 47, 48).

Etap czwarty (IV) to prognoza rozwoju koryta postregulacyjnego przy założeniu, że nie nastąpią kolejne regulacje. Prognozę przedstawiono dla dwóch okresów: bezwezbraniowych i wezbraniowych. W okresach międzywezbraniowych znaczące zmiany zachodzą tylko w korytach z **akumulacją i erozją boczną** (A12, B12, C12, D12), natomiast koryta z **erozją** (A22, B22, C22, D22) można uznać za stabilne, z niedużym natężeniem erozji wgłębnej. W przypadku koryt **akumulacyjnych z erozją boczną** transformacja koryta jest nieznaczna, aż do następnego wezbrania. Będzie polegać głównie na stabilizacji form akumulacyjnych. W korytach wielonurtowych może dojść do utrwalenia się nurtu głównego i stopniowego zaniku roztokowania. Koryta boczne w okresach międzywezbraniowych nie funkcjonują, stopniowo niewielkie wezbrania doprowadzą do ich zasypania,

a łachy środkowe przyrastają do łach bocznych lub równiny zalewowej. Jeśli system koryta krętego w czasie wezbrań wyewoluował w kierunku systemu roztokowego, to rozproszone nurty z czasem, jeśli nie ma większych wezbrań, zanikają. W systemie korytowym utrwała się jedno koryto, które jest węższe i głębsze. Okres wezbraniowy dla koryt **z akumulacją i erozją boczną** (A13, B13, C13, D13; ryc. 47, 48) to rozwój i utrwalenie się nowych tendencji do poszerzania, roztokowania i rozwoju form akumulacyjnych. Jeśli rzeka ma zapewniony szeroki korytarz swobodnej migracji, może to w okresach wezbraniowych sprzyjać bardzo dużemu poszerzeniu koryta. Na podstawie przeprowadzonych badań można przyjąć, że poszerzenie koryta może wynosić od 20 do nawet 80 m podczas jednego wezbrania. Przyrost powierzchni łach może być bardzo duży, lokalnie nawet kilkakrotny. W korytach **erozyjnych** (A23, B23, C23, D23) umacnia się jedynie tendencja do wcinania i niszczenia umocnień (ryc. 47, 48).

Na obecnym etapie rozwoju koryt postregulacyjnych trudno jeszcze odpowiedzieć na to, jaki będzie dalszy czy końcowy efekt rozwoju koryt podlegających samoistnej renaturyzacji. Na przykładzie analizowanych koryt można szukać podobieństw i różnic w stosunku do koryta przedregulacyjnego na podstawie przebiegu w planie w przyszłości i dziś.

Roztokowanie to sekwencyjne zachodzenie procesów erozji bocznej i depozycji wynikające ze znacznej energii rzeki i właśnie dużej dostępności materiału rumowiskowego (Neill 1973; Church 1983; Deslonges, Church 1989). Przyczyn degradacji i zaniku roztokowego odcinka koryta Raby i Skawy w części beskidzkiej i Czarnego Dunajca w odcinku kotlinnym można doszukiwać się m.in. w bardzo ograniczonej dostępności materiału rumowiskowego. Niedociążenie rumowiskiem Raby, Skawy i Czarnego Dunajca wraz ze stopniowo nasilającą się antropopresją to warunki sprzyjające erozji wgłębnej kosztem erozji bocznej. Na podobną prawidłowość wskazują G.C. Nanson i A.D. Knighton (1996). Taką tendencję wykazuje cały odcinek beskidzki koryta Raby, nawet jeśli jakiś fragment nie został uregulowany, niedociążenie rumowiskiem w całym systemie spowodowało zanik szerokiego, 2–3 nurtowego koryta, na rzecz koryta jednonurtowego o niewielkiej krętości. Regulacje na długich odcinkach skutecznie „odgrodziły” badane rzeki od możliwości erozji bocznej, dopiero ich zniszczenie

pozwoili na rozwój w nowym kierunku, przy czym wygląda on odmiennie w ka¿dej z badanych rzek. Czarny Dunajec ma najwiêksze potencjalne mo¿liwosci powrotu do roztokowania, zwlaszcza w obrêbie Kotliny Orawsko-Nowotarskiej. Wynika to z du¿ej dostêpnoœci materiału rumowiskowego i du¿ej energii rzeki o re¿imie wysokogórskim. Dwa omawiane w pracy odcinki Czarnego Dunajca mają taką samą „roztokową” przeszłość, ale tylko jeden powrócił do tendencji sprzed regulacji. Wynika to jednoznacznie z zastosowanych regulacji. Korekcja progowa skutecznie uniemo¿liwia erozję boczną. Zastosowane regulacje (m.in. ostrogi) w drugim odcinku koryta tylko na pewien czas zahamowały tendencje do roztokowania. W przypadku koryta Raby beskidzkiej odcinek o cechach koryta roztokowego mo¿na opisać jako naprzemiennosc różnych typów w sekwencji koryta proste/kręte/roztokowe, które mo¿emy okreœlić jako koryto błądzące. Ten poœredni miêdzy korytami roztokowymi a meandrującymi typ jest przypisywany coraz wiêkszej liczbie koryt (Ferguson, Werrity 1983; Burge 2005; Wooldridge, Hickin 2005; Rice i in. 2009). Koryto Raby w czêœci beskidzkiej powróciło czêœciowo do tendencji sprzed regulacji, do odtworzenia się koryta wielonurtowego przyczyniły się tak¿e zabiegi rewitalizacyjne, m.in. wyznaczenie strefy swobodnej migracji w okolicach Pcimia prowadzone przez Stowarzyszenie Ab Ovo (<http://ab-ovo.org>). Najbardziej zaskakujący jest analizowany odcinek koryta Skawy. W XIX wieku i tu¿ przed regulacją w 1976 roku koryto było roztokowe. Nastêpnie zostało kompleksowo uregulowane, wyprostowane i zwężone. Po znacznym zniszczeniu regulacji w 2001 roku koryto stopniowo ukształtowało stabilny system koryta krętego, z du¿ymi łachami, du¿ymi powierzchniami podcięć i regularnym układem plosoprzeemiał. To dobry przykłąd na to, że nie jest konieczny powrót do poprzednich tendencji, ale mo¿e wytworzyć się nowy ukłád korytowy, prawdopodobnie lepiej dostosowany do obecnych warunków œrodowiskowych.

Odcinek pogórski w korycie Raby przed regulacjami charakteryzował się krętym przebiegiem i du¿ymi powierzchniami łach bocznych. Regulacje polegały na ich wyprostowaniu i bardzo du¿ym zwężeniu koryta. Samoistna renaturyzacja w tych korytach polega w pierwszym etapie przede wszystkim na nasileniu erozji bocznej w odcinkach ze zniszczoną regulacją.

Niewielki udział w niszczeniu brzegów i poszerzaniu koryta mają także bobry. Kolejny zauważalny krok w rozwoju tych koryt to znaczne zwiększenie się powierzchni i liczby łach, zwłaszcza po okresie z dużymi wezbrańmi. Koryto w odcinku pogórskim Raby ma duże szanse na renaturyzację na bardzo długich odcinkach ze względu na zaprzestanie remontów zniszczonych budowli czy powstawanie nowych. W odcinku poniżej zapory w Dobczycach wynika to także z faktu, że zabudowa i infrastruktura gospodarcza jest oddalona od koryta. Koryto w okresie nasilonej antropopresji zostało znacznie pogłębione. Współczesne procesy zachodzą w głębokim korycie, o skrzynkowym profilu poprzecznym. Erozja boczna w takich korytach wymaga znacznie więcej energii niż w korycie płytko wciętych. W związku z tym poszerzanie i zwiększanie się krętości koryt będzie zachodziło powoli.

Koryta w obrębie kotlin w obecnych warunkach klimatycznych i stopniu zagospodarowania zlewni utraciły swój meandrujący przebieg. Odcięte w trakcie regulacji meandry są obecnie zawieszane kilka metrów nad dno współczesnego koryta. Wąskie i bardzo głęboko wcięte koryta w części „kotlinnej” zwiększają swoją szerokość i krętość, ale nie powrócą do tendencji do meandrowania.

Jeśli w przyszłości nastąpi zwiększona częstość przepływów tzw. pełnokorytowych, a duża dostawa rumowiska do koryta będzie sprzyjać koncentracji rumowiska transportowanego przydennie, to zostaną spełnione warunki przyspieszające samoistną renaturyzację koryt. W sytuacji wystąpienia długiego okresu bezwezbraniowego proces renaturyzacji zostanie spowolniony lub zahamowany. Rola wezbrań o prawdopodobieństwie $Q_{1\%}$ jest bardzo duża, następuje wówczas bardzo duże przemodelowanie koryt (np. odcinek beskidzki Raby w 2010 roku), jednak takie wezbrania występują bardzo rzadko. W większości analizowanych profili wodowskazowych badanych rzek wezbrania takie występują średnio raz na kilkadziesiąt lat. Z analizy przepływów ekstremalnych wezbrań w punktach wodowskazowych wynika, że wezbrania o przepływach o prawdopodobieństwie wystąpienia $Q_{10\%}$ są wystarczające do przekształcenia koryt uregulowanych. Występują one znacznie częściej (co kilka/kilkanaście lat), tym samym rola niezbyt wielkich wezbrań może być większa, ze względu na częstsze

ich występowanie. Potwierdza to tezę M.G. Wolmana i J.P. Millera (1960), że siły średniej wielkości, ale częściej występujące, są odpowiedzialne za większe przeobrażenie rzeźby niż bardzo rzadko występujące zdarzenia o wielkich rozmiarach.

Wnioski

Żwirowe koryta górskie na N skłonie Karpat od połowy XX wieku podlegają intensywnej antropopresji. Regulacje hydrotechniczne i pobór rumowiska na dużą skalę doprowadziły do zdegradowania koryt górskich na ich bardzo długich odcinkach. Antropopresja spowodowała zmiany w ich strukturze i morfometrii. Koryta uregulowane cechują się zwartym, pojedynczym układem korytowym, o niskim wskaźniku W/D , tzn. są wąskie i głęboko wcięte. Krętość koryt uregulowanych jest zwykle nieduża. Korytom uregulowanym w związku z tym często najbliższe do koryt prostych, które w naturze prawie nie występują.

Współcześnie, w warunkach zmniejszającej się presji hydrotechnicznej w korytach, prawnym zakazie poboru żwirów oraz coraz większej dbałości o pozostawienie rzece korytarza swobodnej migracji, pod wpływem naturalnych procesów fluwialnych koryta ulegają stopniowemu poszerzaniu, lokalnie powiększa się też ich krętość i liczba nurtów. Wzrasta także ilość rumowiska dostępnego do transportu fluwialnego, a także liczba i powierzchnia łach. Proces ten nazwano w opracowaniu samoistną renaturyzacją. Jest on zauważany w korytach z wysokim wskaźnikiem kształtu koryta (W/D – szerokość/głębokość koryta). Im wyższy ten wskaźnik, tym więcej łach środkowych i wysp stwierdzamy obecnie w korytach górskich. Taką prawidłowość potwierdzają badania prowadzone także w innych obszarach.

Na podstawie szczegółowej analizy struktury koryta Raby zaproponowano dwa nowe układy w planie: 1. układ koryta uregulowanego o małej krętości, 2. układ koryta postregulacyjnego, który łączy cechy układu koryta krętego, błędzącego i lokalnie roztokowego. Zaproponowano również zakresy parametrów hydrologicznych i geomorfologicznych odpowiadające nowym układom koryt.

Niezwykle istotna w samoistnej renaturyzacji jest rola wezbrań. W czasie dużych i katastrofalnych wezbrań następuje przeobrażanie istniejącej formy koryta pod wpływem procesów erozyjnych. W korycie uregulowanym niedociążenie rumowiskiem wyzwala w nim siły skierowane na wyrównanie tego deficytu. Procesy erozyjne, niszcząc regulacje, „uwalniają” do systemu korytowego materiał rumowiskowy znajdujący się w brzegach i równinie zalewowej. Następuje stopniowe poszerzanie koryta. Proces ten nie występuje równomiernie w całym profilu podłużnym koryta. Lokalnie, w strefach rozszerzeń, rzeka jest przeciążona w czasie wezbrania, a na długich odcinkach koryta występuje tylko funkcja transportowa. Tam, gdzie doszło do przeciążenia, formują się wielkie formy akumulacyjne typu *sediment slugs*.

Znaczące zmiany w strukturze koryt uregulowanych zachodzą głównie podczas wezbrań. Na bardzo wstępnym etapie samoistnej renaturyzacji koryta uregulowane mogą podlegać co najmniej dwóm scenariuszom. W zależności od lokalnych uwarunkowań środowiskowych, stopnia dostosowania regulacji do przepływów wezbraniowych i wielkości wezbrania koryto może podlegać znaczącym przeobrażeniom w kierunku **koryta akumulacyjnego z erozją boczną**. Drugi scenariusz to utrwalanie regulacyjnej struktury – **koryta erozyjne**. Obydwa mogą równocześnie przebiegać w tym samym systemie korytowym w sąsiednich odcinkach. Świadczy to o bardzo dużej złożoności i fragmentaryzacji struktury koryta uregulowanego. W początkowym etapie wzrostu samoistnej renaturyzacji proces ten może zachodzić tylko odcinkowo, nie musi obejmować całego systemu korytowego. Koryta położone w granicach obszarów zurbanizowanych mogą nigdy nie podlegać temu procesowi, podobnie jak odcinki o bardzo zwartej zabudowie regulacyjnej.

Wypracowany model rozwoju górskich koryt uregulowanych pokazuje współczesny etap rozwoju koryt podlegających samoistnej renaturyzacji,

jak i tych, które temu procesowi nie podlegają. Tempo samoistnej renaturyzacji jest zależne od częstości wezbrań i czasu trwania okresów międzywezbraniowych. Jeśli w przyszłości nastąpi zwiększona częstość przepływów tzw. pełnokorytowych, a duża dostawa rumowiska do koryta będzie sprzyjać koncentracji rumowiska transportowanego przydennie, to zostaną spełnione warunki przyspieszające samoistną renaturyzację koryt. W sytuacji wystąpienia długiego okresu bezwezbraniowego proces renaturyzacji zostanie spowolniony lub zahamowany.

Największe zmiany w korytach uregulowanych zachodzą podczas wezbrań o prawdopodobieństwie wystąpienia zbliżonym do $Q_{1\%}$. Może wówczas nastąpić transformacja koryta jednonurtowego w koryto wielonurtowe-roztokowe (np. koryto Raby w odcinku beskidzkim w trakcie wezbrania w 2010 roku). Jednak takie wezbrania występują bardzo rzadko, raz na kilkadziesiąt lat. Znacznie częściej mamy do czynienia z wezbraniem o przepływach o prawdopodobieństwie wystąpienia $Q_{10\%}$ i większym prawdopodobieństwie przewyższenia; są one wystarczające do przekształcenia koryt uregulowanych. Występują znacznie częściej, co kilka/kilkanaście lat, tym samym rola stosunkowo mniejszych wezbrań jest równie ważna, ze względu na częstsze występowanie.

Uwarunkowaniem lokalnie przyspieszającym samoistną renaturyzację koryt rzek górskich są bobry. Ich oddziaływanie na strukturę koryta jest w dużym stopniu zależne od układu przestrzennego koryta i biegu rzeki. W wąskich, krętych, zwartych odcinkach koryta w górnym biegu rzek bobry przegradzają całą jego szerokość. W odcinkach wielonurtowych przegradzane jest zwykle koryto boczne. W dolnym biegu koryt górskich bobry budują natomiast nory i norozeremia w brzegach i nie przegradzają koryta. Tamy bobrowe przyczyniają się do spiętrzenia i retencjonowania wody. Wzrasta w tych odcinkach koryta znaczenie erozji bocznej, a wyraźne zahamowanie przepływu wody zmniejsza działalność erozji wgłębnej. Innym ważnym skutkiem działalności bobrów dla funkcjonowania systemu korytowego jest akumulacja osadów w odcinku koryta z tamą. Stopniowe wypełnianie się zbiornika osadami i rozmywanie brzegów prowadzi do lokalnego wyrównania dna doliny i zmniejszenia spadku. W górnym biegu rzek bobry mają duże znaczenie w procesie renaturyzacji.

W dolnych biegach ich rola sprowadza się przede wszystkim do rozczłonkowania brzegów. Wynika ono z istnienia licznych ślizgów i nor wydrążonych przez bobry w brzegach koryta. Głębokie rozcięcia i akumulacja materiału u podnóża brzegów może mieć znaczący wpływ na erozję boczną i poszerzanie się koryta.

Struktura koryt w odcinkach beskidzkich, pogórskich i „kotlinnych” została wykształcona w odmiennych warunkach środowiskowych. Pomimo zastosowania podobnych zabiegów regulacyjnych w tych korytach będą one odmiennie reagowały na bardzo duże i katastrofalne wezbrania. Dlatego też inaczej będzie wyglądała ich potencjalna samoistna renaturyzacja; będzie ona wskazywać możliwości i kierunki ich rozwoju w nowych warunkach. Może to dać odpowiedź na to, w jakim kierunku rozwiną się górskie systemy korytowe poddane dużej antropopresji w ostatnich 100 latach, a także czy jest możliwy powrót do tendencji koryt funkcjonujących w XIX wieku i czy wytworzą one zupełnie nową strukturę, dopasowaną do współczesnych uwarunkowań środowiskowych (przykład koryta Skawy między Makowem Podhalańskim a Suchą Beskidzką). Nowe tendencje obserwowane w korytach rzek, w których zachodzi obecnie samoistna renaturyzacja, mogą być odpowiedzią na to, jakie być może będą żwirodenne górskie koryta w XXI wieku przy ograniczonej antropopresji i zapewnionym korytarzu swobodnej migracji.

Literatura

- Adamczyk M.J., 1981, *Rzeki Karpat Północnych w XVIII i XIX wieku*, Wierchy 49, 227–240.
- Amirowicz A., 2000, *Morfologia zbiornika. Zbiornik Dobczycki. Ekologia – eutrofizacja – ochrona*, Zakład Biologii Wód PAN, Kraków, 57–63.
- Andrews E.D., 1986, *Downstream Effects of Flaming Gorge Reservoir on the Green River*, Colorado and Utah. Geological Society of America Bulletin 97 (8), 1012–1023.
- Aucelli P.P., Roszkopf C., 2000, *Last Century Valley Floor Modifications of the Trigno River (Southern Italy): A Preliminary Report*, Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 23, 105–115.
- Augustowski B., 1968, *Spostrzeżenia nad zmianami antropogenicznymi w korycie rzeki Ropy w Karpatach*, Zeszyty Geograficzne WSP w Gdańsku 10, 161–168.
- Augustowski B. (red.), 1981, *Dolina Dolnej Wisły*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław.
- Babiński Z., 1982, *Procesy korytowe Wisły poniżej zapory wodnej we Włocławku*, Dokumentacja Geograficzna 1/2.
- Babiński Z., 1985, *Hydromorfologiczne konsekwencje regulacji dolnej Wisły*, Przegląd Geograficzny 57, 4, 471–486.
- Babiński Z., 1986, *Zmiany warunków hydrologicznych i morfologicznych Wisły poniżej stopnia wodnego „Włocławek”*, [w:] J. Szupryczyński (red.), *Zbiornik Włocławski – niektóre problemy z geografii fizycznej*, Dokumentacja Geograficzna 5, 41–54.

- Babiński Z., 1992, *Współczesne procesy korytowe dolnej Wisły*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN 157, 1–169.
- Balon J., German K., Kozak J., Malara H., Widacki W., Ziaja W., 1995, *Regiony fizycznogeograficzne*, [w:] J. Warszńska (red.), *Karpaty Polskie: Przyroda, człowiek i jego działalność*, Kraków, 117–130.
- Bartley R., Rutherford I., 2005, *Re-evaluation of the Wave Model as a Tool for Quantifying the Geomorphic Recovery Potential of Streams Disturbed by Sediment Slugs*, *Geomorphology* 64 (3), 221–242.
- Bash J.S., Ryan C.M., 2002, *Stream Restoration and Enhancement Projects: Is Anyone Monitoring?*, *Environmental Management* 29 (6), 877–885.
- Baumgart-Kotarba M., 1983a, *Kształtowanie koryt i teras rzecznych w warunkach zróżnicowanych ruhów tektonicznych: na przykładzie wschodniego Podhala*, Prace Geograficzne IG PAN 145, 1–133.
- Baumgart-Kotarba M., 1983b, *Study of Braided Channel Processes of the Białka River During 6 Years Without Floods and During a Flood in 1980*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 16, 161–181.
- Baumgart-Kotarba M., Kotarba A., 1979, *Wpływ rzeźby dna doliny i litologii utworów czwartorzędowych na wykształcenie koryta Białej Wody w Tatrach*, *Folia Geographica, Series Geographica-Physica* 12, 49–66.
- Berkovich K.M., Rulyova S.N., 2006, *The River Katun, its Channel Morphology and Changes Due to River Engineering and Alluvium Extraction*, Prace Geograficzne IGiP UJ 116, 49–56.
- Bernhardt E.S., Palmer M., Allan J.D., Alexander G., Barnas K., Brooks S., Galat D., 2005, *Synthesizing U. S. River Restoration Efforts*, *Science (Washington)* 308 (5722), 636–637.
- Bernhardt E.S., Sudduth E.B., Palmer M.A., Allan J.D., Meyer J.L., Alexander G., Rumps J., 2007, *Restoring Rivers one Reach at a Time: Results From a Survey of US River Restoration Practitioners*, *Restoration Ecology* 15 (3), 482–493.
- Bojarski A., Jeleński J., Jelonek M., Litewka T., Wyźga B., Zalewski J., 2005, *Zasady dobrej praktyki w utrzymaniu rzek i potoków górskich*, Ministerstwo Środowiska. Departament Zasobów Wodnych, Warszawa.
- Bonenberg J., Nachlik E., 2007, *Wykorzystanie Land Cover Method do oceny zagrożeń ekosystemów wód powierzchniowych w zlewni Raby*, *Gospodarka Wodna* 11, 453–459.

- Brandt S.A., 2000, *Classification of Geomorphological Effects Downstream of Dams*, Catena 40, 375–401.
- Bravard J.P., Petts G.E., 1996, *Human Impacts on Fluvial Hydrosystems*, [w:] G.E. Petts, C. Amoros (red.) *The Fluvial Hydrosystems*, Chapman and Hall, London, 242–262.
- Brice J.C., 1975, *Air Photo Interpretation of the Form and Behavior of Alluvial Rivers, Final Report to the US Army Research Office, Applying Geomorphology to Environmental Management*.
- Brookes A., Shields Jr, F.D., 1996, *River Channel Restoration: Guiding Principles for Sustainable projects*. Wiley, Chichester.
- Bucała A., 2009, *Rola opadów nawalnych w kształtowaniu stoków i koryt w Gorcach na przykładzie zlewni potoków Jaszce i Jamne*, Przegląd Geograficzny 81 (3), 399–418.
- Burge L.M., 2005, *Wandering Miramichi Rivers, New Brunswick, Canada*, Geomorphology 69 (1), 253–274.
- Butler D.R., 2012, *Characteristics of Beaver Ponds on Deltas in a Mountain Environment*, Earth Surface Processes and Landforms 37 (8), 876–882.
- Butler D.R., Malanson G.P., 1995, *Sedimentation Rates and Patterns in Beaver Ponds in a Mountain Environment*, Geomorphology 13, 255–269.
- Butler D.R., Malanson G.P., 2005, *The Geomorphic Influences of Beaver Dams and Failures of Beaver Dams*, Geomorphology 71, 48–60.
- Carson M.A., 1984, *The Meandering – Braided River Threshold: A Reappraisal*, Journal of Hydrology 73 (3), 315–334.
- Chartrand S.M., Whiting P.J., 2000, *Alluvial Architecture in Headwater Streams With Special Emphasis on Step – Pool Topography*, Earth Surface Processes and Landforms 25, 583–600.
- Chełmicki W., Krzemień K., 1999, *Channel Typology for the River Feshie in the Cairngorm Mts, Scotland*, Prace Geograficzne, Instytut Geografii UJ 104, 57–68.
- Choi Y.D., 2004, *Theories for Ecological Restoration in Changing Environment: Towards 'Futuristic' Restoration*, Ecological Research 19, 75–81.
- Chorley R.J., Kennedy B.A., 1971, *Physical Geography. A Systems Approach*, London, Prentice Hall.
- Church M., 1983, *Pattern of Instability in a Wandering Gravel Bed Channel. Modern and Ancient Fluvial Systems*, International Association of Sedimentologists, Special Publication 6, 169–180.

- Collier M., Webb R.H., Schmidt J.C., 1996, *Dams and Rivers. A Primer on the Downstream Effects of Dams*, U.S. Geological Survey Circular 1126, 1–94.
- Czech A., 2007, *Bóbr europejski (Castor fiber)*, Krajowy Plan Ochrony Gatunku. Opracowanie planów renaturalizacji siedlisk przyrodniczych i siedlisk gatunków na obszarach Natura 2000 oraz planów zarządzania dla wybranych gatunków objętych Dyrektywą Ptasią i Dyrektywą Siedliskową (PL/IB/2001EN/02), Kraków, 1–46.
- Czech A., 2010, *Bóbr – budowniczy i inżynier*, Fundacja Wspierania Inicjatyw Ekologicznych Kraków.
- Czech W., Radecki-Pawlik A., Wyźga B., Hajdukiewicz H., 2015, *Modelling the Flooding Capacity of a Polish Carpathian River: A Comparison of Constrained and Free Channel Conditions*, *Geomorphology*, w druku.
- Dauksza L., 1976, *Zmiany koryta Ropy w świetle materiałów kartograficznych*, [w:] L. Starkel, J. Rutkowski (red.), *Wykształcenie młodoczwartorzędowych aluwiów rzek karpackich i ich znaczenie surowcowe*, 5–47.
- Desloges J.R., Church M.A., 1989, *Wandering Gravel-bed Rivers*, *The Canadian Geographer* 33, 60–364.
- Długosz M., Gębica P., 2008, *Geomorfologiczne skutki oraz rola lokalnych ulew i powodzi w kształtowaniu rzeźby progu Pogórza Karpackiego (na przykładzie ulewy z czerwca 2006 r. w rejonie Sędziszowa Małopolskiego)*, *Landform Analysis* 8, 13–20.
- Downs P.W., Kondolf G.M., 2002, *Post-project Appraisals in Adaptive Management of River Channel Restoration*, *Environmental Management* 29 (4), 477–496.
- Dyrda A., 2013, *Wpływ roślinności na morfodynamikę koryta Skawy powyżej zapory w Świnnej Porębie*, *Archiwum IGiGP UJ*, 1–70.
- Eaton B.C., Millar R.G., Davidson S., 2010, *Channel Patterns: Braided, Anabranching and Single-thread*, *Geomorphology* 120 (3), 353–364.
- Erskine W.D., 1996, *Downstream Hydrogeomorphic Impacts of Eildon Reservoir on the Mid – Goulburn River*, *Victoria, Proceedings – Royal Society of Victoria* 108, 1–15.
- Ferguson R.I., 1987, *Accuracy and Precision of Methods for Estimating River Loads*, *Earth Surface Processes and Landforms* 12 (1), 95–104.
- Ferguson R.I., Werritty A., 1983, *Bar Development and Channel Changes in the Gravelly River Feshie, Scotland*, [w:] J. D. Collinson, J. Lewin (red.), *Modern and Ancient Fluvial Systems*, 181–193.

- Froehlich W., 1975, *Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN 114, 1–122.
- Froehlich W., 1980, *Hydrologiczne aspekty pogłębiania koryt rzek Beskidzickich*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 235, 257–268.
- Froehlich W., 1982, *Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin do koryta w górskiej zlewni fliszowej*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN 143, 1–144.
- Froehlich W., Kaszowski L., Starkel L., 1977, *Studies of Present-day and Past River Activity in the Polish Carpathians*, [w:] K.J. Gregory (red.) *River Channel Changes*. Wiley, Chichester – New York, 418–428.
- Fryirs K., Brierley G., 2000, *A Geomorphic Approach to the Identification of River Recovery Potential*, *Physical Geography* 21 (3), 244–277.
- Gardner J.S., Smith D.J., Desloges J.R., 1983, *The Dynamic Geomorphology of the Mt. Rae Area: A High Mountain Region in Southwestern Alberta*, Department of Geography Publication, Series No. 19, University of Waterloo, 1–237.
- Gębica P., 2004, *Przebieg akumulacji rzecznej w górnym vistulianie w Kotlinie Sandomierskiej*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN 193, 1–229.
- Gębica P., Krąpiec M., 2009, *Young Holocene Alluvia and Dendrochronology of Subfossil Trunks in the San River Valley*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 43, 63–75.
- Gębica P., Wieczorek D., Szczepanek K., 2009, *Late Vistulian Alluvial Filling in the San River Valley in the Carpathian Foreland (North of Jarosław Town)*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 43, 39–61.
- Gilbert G.K., 1917, *Hydraulic-Mining Debris in the Sierra Nevada*, U. S. Geological Survey Professional Paper 105, 1–154.
- Giriát D., Gorczyca E., Sobucki M., 2016, *Beaver Ponds' Impact on Fluvial Processes (Beskid Niski Mts., SE Poland)*, *Science of The Total Environment* 544, 339–353.
- Glazik R., 1978, *Wpływ zbiornika wodnego na Wiśle we Włocławku na zmiany stosunków wodnych w dolinie*, *Dokumentacja Geograficzna* 2/3, 1–133.
- Gładki H., 1976, *Opory i prędkość przepływu w korytach rzek górskich na przykładzie karpaccich dopływów Wisły*, Zesz. Nauk. AR w Krakowie, ser. Rozprawy Habilitacyjne 118.
- Golonka J., 1981, *Objaśnienia do mapy geologicznej Polski 1:200 000*, Arkusz, Bielsko-Biała, Wydawnictwa Geologiczne.

- Gorczyca E., 2012, *Struktura i morfodynamika koryta Łososiny (Beskid Wyspowy). Przykład opracowania*, [w:] K. Krzemień (red.), *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne)*, IGiGP UJ, Kraków, 79–88.
- Gorczyca E., Izmałłow B., Krzemień K., Łyp M., Wrońska-Wałach D., 2016, *Rzeźba i jej współczesne przemiany*, [w:] A. Górecki, B. Zemanek (red.), *Bieszczadzki Park Narodowy – 40 lat ochrony*, Ustrzyki Górne, 51–68.
- Gorczyca E., Krzemień K., 2010, *Channel Structure Changes in Carpathian Rivers*, [w:] A. Radecki-Pawlik, J. Hernik (red.), *Cultural Landscapes of River Valleys*, Wyd. Uniwersytetu Rolniczego, Kraków, 185–198.
- Gorczyca E., Krzemień K., Liro M., Sobucki M., w druku, *Changes of Mountain River Channels and their Environmental Effects*, [w:] *Open Channel Hydraulics, River Hydraulics Structures and Fluvial Geomorphology*, Science Publishers, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Gorczyca E., Krzemień K., Łyp M., 2011, *Contemporary Trends in the Białka River Channel Development in the Western Carpathians*, *Geographia Polonica* 84, 2, 39–53.
- Gorczyca E., Krzemień K., Wrońska-Wałach D., Boniecki M., 2014, *Significance of Extreme Hydro-geomorphological Events in the Transformation of Mountain Valleys (Northern Slopes of the Western Tatra Range)*, *Carpathian Mountains, Poland*, *Catena* 121, 127–141.
- Gorczyca E., Krzemień K., Wrońska-Wałach D., Sobucki M., 2013, *Channel Changes Due to Extreme Rainfalls in the Polish Carpathians*, [w:] D. Łóczy (red.), *Geomorphological Impacts of Extreme Weather*, Springer Netherlands, 23–35.
- Gorczyca E., Wrońska-Wałach D., 2008, *Transformacja małych zlewni górskich podczas opadowych zdarzeń ekstremalnych (Bieszczady)*, *Landform Analysis* 8, 25–28.
- Gradziński R., Kostecka A., 1976, *Sedymentologia*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Gregory K.J., 2006, *The Human Role in Changing River Channels*, *Geomorphology* 79, 172–191.
- Gregory K.J., Park C.C., 1974, *Adjustment of River Channel Capacity Downstream From a Reservoir*, *Water Resources Research* 10 (4), 870–873.
- Gręplowska Z., Jarząbek A., Mazon S., Nachlik E., Duda R., 2006, *Dorzecze Wisły: zlewnia Raby, zlewnia górnej Narwi, zlewnia Raduni: załącznik A*, [w:] E. Dru-

- żyńska, E. Nachlik (red.), *Podstawy metodyczne i standardy zintegrowanego planowania w gospodarce wodnej*, Politechnika Krakowska, Monografia 341, 259–263.
- Grzybowski K., 1999, *Wpływ litologii i tektoniki serii fliszowych oraz młodoczwartorzędowych ruchów tektonicznych na ukształtowanie doliny Skawy (zachodnie Karpaty zewnętrzne)*, Przegląd Geologiczny 47, 9, 846–850.
- Gurnell A.M., 1998, *The Hydrogeomorphological Effects of Beaver Dam-building Activity*, Progress in Physical Geography 22, 2, 167–189.
- Gurnell A.M., Petts G.E., Hannah D.M., Smith B.P.G., Edwards P. J., Kollmann J., Ward J. V., Tockner K., 2001, *Riparian Vegetation and Island Formation Along the Gravel-bed Fiume Tagliamento, Italy*, Earth Surface Processes and Landforms 26, 31–62.
- Gurnell A., Surian N., Zanoni L., 2009, *Multi-thread River Channels: A Perspective on Changing European Alpine River Systems*, Aquatic Sciences 71 (3), 253–265.
- Habersack H., Piégay H., 2008, *River Restoration in the Alps and their Surrounding: Past Experience and Future Challenges*, [w:] H. Habersack, H. Piégay, M. Rinaldi (red.), *Gravel-Bed Rivers VI: From Process Understanding to River Restoration*, Elsevier, 703–737.
- Hajdukiewicz H., Wyzga B., Mikuś P., Zawiejska J., Radecki-Pawlik A., 2015, *Impact of a Large Flood on Mountain River Habitats, Channel Morphology and Valley Infrastructure*, Geomorphology, w druku.
- Heede B.H., 1977, *Influence of Forest Density on Bedload Movement in a Small Mountain Stream*, Hydrology and Water Resources in Arizona and Southwest 7, 103–107.
- Heede B.H., 1981, *Dynamics of Selected Mountain Streams in the Western United States of America*, Zeitschrift für Geomorphologie Neue Folge 25, 1.
- Hess M., 1965, *Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich*, Zeszyty Naukowe UJ, 115, Prace Geograficzne 11, 5–267.
- Ingarden R., 1910, *Rozwój budownictwa wodnego w Galicji w ostatnim dziesięcioleciu*, Czasopismo Techniczne 28, 21–24.
- Izmałłow B., Kamykowska M., Krzemień K., 2004, *Geomorfologiczna rola katastrofalnych wezbrań w transformacji górskiego systemu korytowego na przykładzie Wilszni (Beskid Niski)*, [w:] B. Izmałłow (red.), *Przyroda – Człowiek – Bóg*, Wyd. IGiP UJ, Kraków, 69–81.

- Izmailów B., Kamykowska M., Krzemień K., 2006, *The Geomorphological Effects of Flash Floods in Mountain River Channels. The Case of the River Wilsznia (Western Carpathian Mountains)*, [w:] R. S. Chalov, M. Kamykowska, K. Krzemień (red.), *Channel Processes in the Rivers of Mountains, Foothills and Plains*, Prace Geograficzne IGiGP UJ, Kraków, 116, 89–97.
- Jamroz G., Górecki A., 2009, *Ssaki*, [w:] A. Górecki, B. Zemanek (red.), *Magurski Park Narodowy – monografia przyrodnicza*, Oficyna Wydawnicza Text, Krempna–Kraków, 216–230.
- Kamykowska M., Kaszowski L., Krzemień K., 1999, *River Channel Mapping Instruction. Key to the River Bed description*, [w:] K. Krzemień (red.), *River Channels. Pattern, Structure and Dynamics*, Prace Geograficzne IG UJ, Kraków, 104, 9–25.
- Kasai M., Marutani T., Brierkey G. J., 2004, *Patterns of Sediment Slug Translation and Dispersion Following Typhoon-Induced Disturbance, Oyabu Creek, Kyushu, Japan*, *Earth Surface Processes and Landforms* 29, 59–76.
- Kaszowski L., 1980, *Struktura i typy koryt rzecznych w dorzeczu Raby*, Sprawozdania z posiedzeń Komisji Naukowych PAN, Kraków, 22, 162–163.
- Kaszowski L., Kotarba A., 1967, *Charakterystyka morfodynamiczna koryta Sanu koło Myczkowic*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 1, 53–72.
- Kaszowski L., Kotarba A., 1970, *Wpływ katastrofalnych wezbrań na przebieg procesów fluwialnych (na przykładzie potoku Kobylanka na Wyżynie Krakowskiej)*, *Prace Geograficzne IG PAN* 80, 6–83.
- Kaszowski L., Krzemień K., 1977, *Structure of Mountain Channel Systems as Exemplified by Chosen Carpathians Streams*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 11, 111–125.
- Kaszowski L., Krzemień K., 1979, *Channel Subsystems in the Polish Tatra Mts.*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 8, 149–161.
- Kaszowski L., Krzemień K., 1999, *Classification Systems of Mountain River Channels*, [w:] K. Krzemień (red.), *River Channels Pattern, Structure and Dynamics*, Prace Geograficzne IG UJ 104, 27–40.
- Kaszowski L., Niemirowski M., Trafas K., 1976, *Problems of the Dynamics of River Channels in the Carpathian Part of the Vistula Basin*, *Zeszyty Nauk. UJ, Prace Geograficzne* 43, 7–37.

- Kern K., 1992, *Restoration of Lowland Rivers: The German Experiences*, [w:] P.A. Carlow, G.E. Petts (red.), *Lowland Floodplain Rivers. Geomorphological Perspectives*, J. Wiley & Sons Ltd., Chichester, 279–297.
- Kern K., 1994, *Grundlagen Naturnaher Wassergestaltung-Geomorphologische Entwicklung Von Fließgewässern*, Springer, Berlin.
- Kędzior A., 1931, *Roboty wodne i melioracyjne w południowej Małopolsce*, cz. III: *Regulacja rzek górskich, zbiorniki wody i zabudowanie potoków górskich*, Lwów.
- Klimaszewski M., 1972, *Geomorfologia Polski*, tom 1: *Polska Południowa Góry i Wyżyny*, PWN, Warszawa.
- Klimek K., 1979, *Geomorfologiczne zróżnicowanie koryt karpaccich dopływów Wisły*, *Folia Geographica, Series Geographica-Physica* 12, 35–47.
- Klimek K., 1983, *Erozja wgłębna dopływów Wisły na Przedpolu Karpat*, [w:] Z. Kajak (red.), *Ekologiczne podstawy zagospodarowania Wisły i jej dorzecza*, PWN, Warszawa – Łódź, 97–108.
- Klimek K., 1987, *Man's Impact on Fluvial Processes in the Polish Western Carpathians*, *Geografiska Annaler* 69A, 221–226.
- Klimek K., 1991, *Typy koryt rzecznych i ich funkcjonowanie*, [w:] I. Dynowska, M. Maciejewski (red.), *Dorzecze górnej Wisły*, cz. I, PWN, Warszawa–Kraków, 231–259.
- Klimek K., Łajczak A., Zawilińska L., 1990, *Sedimentary Environment of the Modern Dunajec Delta in Artificial Lake Rożnów, Carpathian Mts., Poland*, *Quaestiones Geographicae* 11/12, 81–92.
- Klimek K., Łanczont M., Bałaga K., 1997, *Późnovistuliańskie i holocenijskie wypełnienie paleomeandry w dolinie Sanu koło Słupnia*, [w:] *Seminarium terenowe: Glacja i peryglacja Kotliny Sandomierskiej i Przedgórze Karpat w okolicy Przemysła*, Krasiczyn, 22–24 września 1997, Wyd. Instytutu Nauk o Ziemi UMCS, Lublin, 60–71.
- Klimek K., Trafas K., 1972, *Young-Holocene Changes in the Course of the Dunajec River in the Beskid Sadecki Mts. (Western Carpathians)*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 6, 85–103.
- Knighton A.D., 1991, *Channel Bed Adjustment Along Mine-affected Rivers of North-east Tasmania*, *Geomorphology* 4 (3), 205–219.
- Knighton A.D., 1998, *Fluvial Forms and Processes*, London.
- Kondolf G.M., 1994, *Geomorphic and Environmental Effects of Instream Gravel Mining*, *Landscape and Urban Planning* 28, 225–243.

- Kondolf G.M., 1995, *Managing Bedload Sediment in Regulated Rivers: Examples from California, USA*, [w:] J. E. Costa, A.J. Miller, K.W. Potter, P. Wilcock (red.), *Natural and Anthropogenic Influences in Fluvial Geomorphology*, Geophysical Monograph, American Geophysical Union 89, 165–176.
- Kondolf G.M., 1997, *Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels*, *Environmental Management* 21, 533–551.
- Kondolf G.M., Micheli E.R., 1995, *Evaluating Stream Restoration Projects*, *Environmental Management* 19, 1–15.
- Kondolf G.M., Montgomery D.R., Piégay H., Schmitt L., 2003, *Geomorphic Classification of Rivers and Streams*, *Tools in Fluvial Geomorphology*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 171–204.
- Korpak J., 2007, *The Influence of River Training on Mountain Channel Changes (Polish Carpathian Mountains)*, *Geomorphology* 92, 166–181.
- Korpak J., 2008, *Rola maksymalnych wezbrań w funkcjonowaniu systemów uregulowanych koryt górskich*, *Landform Analysis* 8, 41–44.
- Korpak J., 2012, *Morfologia i funkcjonowanie uregulowanego koryta rzeki górskiej (na przykładzie Mszanki w Gorcach). Przykład opracowania*, [w:] K. Krzemień (red.), *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne)*, IGiGP UJ, Kraków, 89–102.
- Korpak J., Krzemień K., Radecki-Pawlik A., 2008, *Wpływ czynników antropogenicznych na zmiany koryt cieków karpaccich. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, Monografia, 4, PAN, Kraków, 1–88.
- Korpak J., Krzemień K., Radecki-Pawlik A., 2009, *Wpływ budowy regulacyjnych i poboru rumowiska na koryta rzek i potoków górskich – wybrane przykłady z rzek karpaccich*, *Gospodarka Wodna* 7/2009, 274–281.
- Kościelniak J., 2004a, *Influence of River Training on Functioning of the Biały Dunajec River Channel System*, *Geomorphologia Slovaca* 1/2004, 62–67.
- Kościelniak J., 2004b, *Zmiany funkcjonowania górskich systemów korytowych w wyniku przeprowadzonych regulacji hydrotechnicznych*, [w:] M. Błaszkiwicz, P. Gierszewski (red.), *Rekonstrukcja i prognoza zmian środowiska przyrodniczego w badaniach geograficznych*, *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*, 200, 187–207.
- Kotlarczyk J., 1981, *The Youngest Olistostrome in the Flysch Deposits of the Skiba Nappe (Polish Outer Carpathians)*, [w:] Congress of the Carpatho-Balkan Geological Association, 8–13 September 1981, Bucharest, 263–270.

- Kovalchuk I., 1997, *Regional Ecological and Geomorphological Analysis*, Institute Ukrainoznawstwa, Lviv, 1–440.
- Krzemień K., 1976, *Współczesna dynamika koryta potoku Konina w Gorcach*, Folia Geographica, Series Geographica-Physica 10, 87–122.
- Krzemień K., 1981, *Zmienność systemu korytowego Czarnego Dunajca*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne 53, 123–137.
- Krzemień K., 1984, *Współczesne zmiany modelowania koryt potoków w Gorcach*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne 59, 83–96.
- Krzemień K., 1992, *The High-mountain Fluvial System in the Western Tatras – perspective*, Geographia Polonica 60, 51–65.
- Krzemień K., 1999, *Structure and Dynamics of the High-mountain Channel of River Plima in the Ortler-Cevedale Massif (South Tirol)*, Prace Geograficzne IG UJ, 104, 41–55.
- Krzemień K., 2003, *The Czarny Dunajec River, Poland, as an Example of Human-induced Development Tendencies in a Mountain River Channel*, Landform Analysis 4, 57–64.
- Krzemień K., 2006, *Badania struktury i dynamiki koryt rzek karpackich*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 4.01.2006, PAN, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, Kraków, 131–142.
- Krzemień K. (red.), 2012, *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne)*, IGiGP UJ, Kraków.
- Krzemień K., Gorczyca E., Sobucki M., Liro M., Łyp M., 2015, *Effects of Environmental Changes and Human Impact on the Functioning of Mountain River Channels, Carpathians, Southern Poland*, Land Reclamation Series of Annals of Warsaw University of Life Sciences 47 (3), 249–260.
- Książek L., Florek J., Swiderska A., Radecki-Pawlik A., 2007, *Zmiany morfologiczne oraz granulometryczne w rejonie ujściowego odcinka rzeki Raby*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 1, 41–52.
- Książkiewicz M., 1972, *Karpaty. Budowa geologiczna Polski*, Warszawa.
- Kukulak J., 2003, *Ewolucja koryta Sanu w Bieszczadach Wysokich w drugiej połowie minionego 1000-lecia*, [w:] *Dynamika zmian środowiska geograficznego pod wpływem antropopresji*, Akademia Pedagogiczna, Kraków, 134–140.
- Lach J., 1975, *Ewolucja i typologia krajobrazu Beskidu Niskiego z uwzględnieniem gospodarczej działalności człowieka*, Wydaw. Naukowe WSP, Kraków, 16.

- Lach J., Wyżga B., 2002, *Channel Incision and Flow Increase of the Upper Wisłoka River, Southern Poland, Subsequent to the Reforestation of its Catchment*, Earth Surface Processes and Landforms 27 (4), 445–462.
- Latocha A., 2008, *Antropogeniczne przekształcenia den dolin śródgórskich na przykładzie Nysy Kłodzkiej*, Landform Analysis 9, 305–308.
- Lenar-Matyas A., Łapuszek M., Lafont M., Poulard C., 2010, *Możliwości rewitalizacji koryt rzek i potoków w warunkach ich zróżnicowanego zagospodarowania*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 9/2010, 17–27.
- Leopold L.B., 1973, *River Channel Change With Time: An Example Address as Retiring President of The Geological Society of America, Minneapolis, Minnesota, November 1972*, Geological Society of America Bulletin 84 (6), 1845–1860.
- Leopold L. B., Wolman M.G., 1957, *River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight*, Geological Survey Professional Paper, US Government Printing Office, Washington.
- Liro M., 2014, *Conceptual Model for Assessing the Channel Changes Upstream From Dam Reservoir*, Quaestiones Geographicae 33, 61–74.
- Liro M., 2015, *Gravel-bed Channel Changes Upstream of a Reservoir: The Case of the Dunajec River Upstream of the Czorsztyn Reservoir, Southern Poland*, Geomorphology 228, 694–702.
- Liro M., 2016, *Development of Sediment Slug Upstream From the Czorsztyn Reservoir (Southern Poland) and its Interaction With River Morphology*, Geomorphology 253, 225–238.
- Łajczak A., 1996, *Modelling the Long-term Course of Non-flushed Reservoir Sedimentation and Estimating the Life of Dams*, Earth Surface Processes and Landforms 21, 1091–1107.
- Łajczak A., 2005, *Deltas in Dam-retained Lakes in the Carpathian Part of the Vistula Drainage Basin*, Prace Geograficzne 116, 99–109.
- Łapuszek M., 2011, *Zmiany erozyjne dna koryta Sanu z uwzględnieniem czynników antropogenicznych*, Gospodarka Wodna 1/2011, 22–26.
- Łapuszek M., Lenar-Matyas A., 2013, *Utrzymanie i zagospodarowanie rzek górskich*, Wydaw. Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- Łapuszek M., Ratowski J., 2006, *Metodyka określania i charakterystyka przebiegu oraz prognoza erozji dennej rzek górskich dorzecza górnej Wisły*, Inżynieria Środowiska. Monografia 332, 1–122.

- Łyp M., 2012, *Parametry morfometryczne zlewni i koryt rzecznych w badaniach systemu fluwialnego*, [w:] K. Krzemień (red.), *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne)*, IGiGP UJ, Kraków, 43–54.
- Malarz R., 2002a, *Powodziowa transformacja gruboklastycznych aluwioów w żwirowodennych rzekach Zachodnich Karpat fliszowych: na przykładzie Soły i Skawy*, Wyd. Naukowe AP, Kraków.
- Malarz R., 2002b, *Powódzie w dorzeczu Soły i Skawy w latach 1996 i 1997*, [w:] Z. Ziolo (red.), *Działalność człowieka i jego środowisko*, Wyd. Naukowe AP, Kraków, 131–138.
- Malarz R., Mądry J., 1996, *Zmiany środowiska geograficznego w Beskidzie Makowskim pod wpływem hydrotechnicznej zabudowy dolin Soły i Skawy*, [w:] Ogólnopolskie Sympozjum „Dynamika zmian środowiska geograficznego po wpływie antropopresji”, Materiały konferencyjne, Kraków, 87–89.
- Malinowski J., Chowaniec J., Sokołowski S., Czermiński J., Malinowska L., Pożaryski W., Dziekońska I., 1991, *Budowa geologiczna Polski*, vol. 7, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Marek T., 1989, *Analiza skupień w badaniach empirycznych. Metody SAHN*, PWN, Warszawa.
- Marston R.A., Bravard J.-P., Green T., 2003, *Impacts of Reforestation and Gravel Mining on the Malnant River, Haute-Savoie, French Alps*, *Geomorphology* 55, 65–74.
- Mastella L., 1988, *Structure and Evolution of Mszana Dolna Tectonic Window, Outer Carpathians, Poland*, *Annales Societatis Geologorum Poloniae* 58, 53–173.
- Matakiewicz M., 1910, *W sprawie kanałów galicyjskich*, *Czasopismo Techniczne* 21, 301–307.
- Mądry J., 1974, *Powódzie w dorzeczu Skawy w ostatnim dwudziestoleciu*, *Rocznik Naukowo-Dydaktyczny WSP w Krakowie*, 55, *Prace Geograficzne* 6, 43–59.
- McDonald B.C., Banerjee I., 1971, *Sediments and Bedforms on a Braided Outwash Plain*, *Can. J. Earth Sciences* 8, 1281–1290.
- Middleton B., 1999, *Wetland Restoration, Flood Pulsing and Disturbance Dynamics*, John Wiley & Sons, Canada.
- Mikuś P., Wyżga B., Kaczka R.J., Walusiak E., Zawiejska J., 2013, *Islands in a European Mountain River: Linkages With Large Wood Deposition, Flood Flows and Plant Diversity*, *Geomorphology* 202, 115–127.

- Mikuś P., Wyźga B., Radecki-Pawlik A., Zawiejska J., Amirowicz A., Oglęcki P., 2015, *Environment-Friendly Reduction of Flood Risk and Infrastructure Damage in a Mountain River: Case Study of the Czarny Dunajec*, *Geomorphology*, w druku.
- Miller J.P., 1958, *High Mountain Streams: Effects of Geology on Channel Characteristics and Bed Material*, State Bureau of Mines and Mineral Resources, New Mexico Institute of Mining and Technology, Socorro, New Mexico, Memoir 4, 1–52.
- Montgomery D.R., Buffington J.M., 1997, *Channel-reach Morphology in Mountain Drainage Basins*, *Geological Society of America Bulletin* 109, 5, 596–611.
- Nachlik E. (red.), 2006, *Identyfikacja i ocena oddziaływań antropogenicznych na zasoby wodne zlewni Raby wraz z oszacowaniem ryzyka nieosiągnięcia celów środowiskowych*, Monografia 340, Politechnika Krakowska, 1–225.
- Nachlik E., Buczek A., Mazoń S., 2005, *Wykorzystanie danych przestrzennych w kształtowaniu zasobów wodnych*, *Roczniki Geomatyki – Annals of Geomatics* 3 (3), 95–104.
- Nanson G.C., Knighton A.D., 1996, *Anabranching Rivers: Their Cause, Character and Classification*, *Earth Surface Processes and Landforms* 21, 217–239.
- Neill C.R., 1973, *Hydraulic Geometry of Sand Rivers in Alberta in Symposium on Fluvial Processes and Sedimentation*, Subcommittee on Hydrology, Associate Committee on Geodesy and Geophysics, National Research Council of Canada, Hydrology Symposium 9, 341–380.
- Nicholas A.P., Ashworth P.J., Kirkby M.J., Macklin M.G., Murray T., 1995, *Sediment Slugs: Large-scale Fluctuations in Fluvial Transport Rates and Storage Volumes*, *Progress in Physical Geography* 19, 500–519.
- Niedźwiedź T., Obrębska-Starkłowa B., 1991, *Klimat*, [w:] I. Dynowska, M. Maciejewski (red.), *Dorzecze górnej Wisły*, cz. I, PWN, Warszawa–Kraków, 68–84.
- Nowak E., 2013, *Wybrane statystyczne metody oceny nierówności regionalnych w Polsce*, [w:] K. Jarzyna (red.), *Zastosowania metod statystycznych w geografii*, IG UJK, Kielce, 78–94.
- Osuch B., 1968, *Problemy wynikające z nadmiernej eksploatacji kruszywa rzecznego na przykładzie rzeki Wisłoki*, *Zeszyty Naukowe AGH, Kraków*, 219, 15, 283–301.
- Osuch B., 1991, *Stany wód*, [w:] I. Dynowska, M. Maciejewski (red.), *Dorzecze górnej Wisły*, cz. I, PWN, Warszawa–Kraków, 159–166.
- Oszczypko N., 2004, *The Structural Position and Tectonosedimentary Evolution of the Polish Outer Carpathians*, *Przegląd Geologiczny* 52 (8/2), 780–791.

- Oszczytko N., 2006, *Powstanie i rozwój polskiej części zapadliska przedkarpackiego*, Przegląd Geologiczny 54 (5), 396–403.
- Palmer M.A., Bernhardt E.S., Allan J.D., Lake P.S., Alexander G., Brooks S., Galat D.L., 2005, *Standards for Ecologically Successful River Restoration*, Journal of Applied Ecology 42 (2), 208–217.
- Palmer M.A., Bernhardt E., Chornesky E., Collins S., Dobson A., Duke C., Gold B., Jacobson R., Kingsland S., Kranz R., Mappin M., Martinez M. L., Micheli F., Morse J., Pace M., Pascual M., Palumbi S., Reichman O.J., Simons A., Townsend A., Turner M., 2004, *Ecology for a Crowded Planet*, Science 304, 1251–1252.
- Paszkievicz M., 2009, *Metodyka gospodarowania zasobami wód podziemnych z uwzględnieniem ich jakości na przykładzie zlewni Raby*, Rozprawa doktorska, AGH, Kraków.
- Pawlak A., 2013, *Struktura i dynamika koryta dolnej Skawy w warunkach ekspansji roślinnej*, Archiwum IGI GP UJ, Kraków.
- Petit F., Poinart D., Bravard J. P., 1996, *Channel Incision, Gravel Mining and Bedload Transport in the Rhone River Upstream of Lyon, France (Canal de Miribel)*, Catena 26, 209–226.
- Petts G.E., 1979, *Complex Response of River Channel Morphology Subsequent to Reservoir Construction*, Progress in Physical Geography 3, 329–362.
- Petts G.E., Gurnell A.M., 2005, *Dams and Geomorphology: Research Progress and Future Directions*, Geomorphology 71, 27–47.
- Petts G.E., Möller H., Roux A. L., 1989, *Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe*, Wiley, Chichester.
- Piégay H., Grant G., Nakamura F., Trustrum N., 2006, *Braided River Management: From Assessment of River Behaviour to Improved Sustainable Development*, [w:] G.H. Sambrook-Smith, J. L. Best, C.S. Bristow, G.E. Petts (red.), *Braided Rivers: Process, Deposits, Ecology and Management*, Special publication 36 of the International Association of Sedimentologists 25, 7–275.
- Pitlick J., 1993, *Response and Recovery of a Subalpine Stream Following a Catastrophic Flood*, Geological Society of America Bulletin 105 (5), 657–670.
- Plesiński K., Jadach A., Laszek W., Radecki-Pawlik A., 2014, *Zmiany warunków hydrodynamicznych w rejonie bystrza o zwiększonej szorstkości na rzece Raby w Karpatach*, Nauka. Przyroda. Technologie, Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań, 8 (4), 1–16.

- Punzet J., 1969, *Charakterystyka hydrologiczna rzeki Raby*, Acta Hydrobiologica 11 (4), 423–477.
- Punzet J., 1981, *Zmiany w przebiegu stanów wody w dorzeczu górnej Wisły na przestrzeni 100 lat (1871–1970)*, Folia Geographica, Series Geographica Physica 14, 5–28.
- Punzet J., 1991, *Przepływy charakterystyczne. Dorzecze górnej Wisły*, cz. I, PWN, Warszawa–Kraków, 167–215.
- Punzet J., 1993, *Zmiany koryt rzecznych w dorzeczu Wisłoki w ciągu XX wieku*, Gospodarka Wodna 9, 46–49.
- Radecki-Pawlik A., 2002, *Pobór żwiru i otoczków z dna potoków górskich*, Aura 3, 17–19.
- Radecki-Pawlik A., 2010a, *O niektórych, bliskich naturze rozwiązaniach utrzymania koryt rzek i potoków górskich*, Gospodarka Wodna 2, 78–85.
- Radecki-Pawlik A., 2010b, *Renaturyzacja rzek i potoków górskich – techniczny i socjologiczny aspekt zagadnienia*, Acta Scientiarum Polonorum seria Formatio Circumiectus 9 (4), 33–42.
- Radecki-Pawlik A., 2011, *Hydromorfologia rzek i potoków górskich. Działy wybrane*, Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego, Kraków.
- Radecki-Pawlik A., 2012, *Budowle hydrotechniczne w korytach rzek górskich*, [w:] K. Krzemień (red.), *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne)*, IGI GP UJ, Kraków, 55–78.
- Radecki-Pawlik A., Bencal J., Kowalski M., Radecki-Pawlik B., 2005a, *Zróżnicowanie warunków hydrodynamicznych i granulometrycznych podczas tworzenia się łachy środkowo-korytowej w potoku górskim o dnie żwirowym*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich (4), 115–130.
- Radecki-Pawlik A., Carling P.A., Breakspeare R., 2006, *Field Investigations of Sand – Gravel Bed Forms Within the Raba River, Poland*, Methods 2 (m3), 1.
- Radecki-Pawlik A., Wieczorek M., Plesiński K., 2011, *Zróżnicowanie parametrów hydrodynamicznych cieków w miejscu zdeponowania grubego rumoszu drzewnego*, Acta Scientiarum Polonorum seria Formatio Circumiectus 10 (2), 35–46.
- Radecki-Pawlik A., Carling P., Słowik-Opoka E., Breakspeare R., 2005b, *Badania terenowe form żwirowo-piaszczystych w rzece o charakterze podgórskim*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich (4), 119–133.
- Raport ISOK z wykonania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego. Raport z zakończenia realizacji zadania 1.3.2. Załącznik nr 1, 1–94.

- Rączkowska Z., 1983, *Types of Stream Channels in the Chochółowska Drainage Basin (The Polish Western Tatra Mts.)*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 14, 143–159.
- Regulacja rzeki Skawy w m. Sucha – Maków Podhalański, 44+750–49+600 km, 1976, Okręgowa Dyrekcja Gospodarki Wodnej, Kraków.
- Requena P., Weichert R.B., Minor H.E., 2006, *Self-widening by Lateral Erosion in Gravel Bed Rivers*, [w:] A. Ferreira, L. Cardoso (red.), *River Flow*, 1801–1809.
- Rice S.P., Church M., Wooldridge C.L., Hickin E. J., 2009, *Morphology and Evolution of Bars in a Wandering Gravel-bed River; Lower Fraser River, British Columbia, Canada*, *Sedimentology* 56 (3), 709–736.
- Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussettini M., 2013, *A Method for the Assessment and Analysis of the Hydromorphological Condition of Italian Streams: The Morphological Quality Index (MQI)*, *Geomorphology* 180, 96–108.
- Rinaldi R., Wyźga B., Surian N., 2005, *Sediment Mining in Alluvial Channels: Physical Effects and Management Perspectives*, *River Research and Applications* 21, 805–828.
- Ruiz-Jaen M.C., Mitchell A.T., 2005, *Restoration Success: How is it Being Measured?*, *Restoration Ecology* 13 (3), 569–577.
- Ruiz-Villanueva V., Wyźga B., Hajdukiewicz H., Stoffel M., 2016, *Exploring Large Wood Retention and Deposition in Contrasting River Morphologies Linking Numerical Modelling and Field Observations*, *Earth Surf. Process. Landforms* 41, 446–459.
- Rybczyński M., 1929, *Drogi wodne i regulacja rzek*, *Przegląd Techniczny* 4–5, 151–157.
- Rzepecka A., Czajka B., Mikuś P., Kaczka R.J., Wyźga B., 2012, *Rozwój kępy o złożonej strukturze w żwirowej rzece górskiej – wyniki analiz dendrochronologicznych i kartograficznych*, *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej* 14, 1 (30), 105–110.
- Schumm S.A., 1981, *Evolution and Response of the Fluvial System, Sedimentologic Implications*, *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication* 31, 19–29.
- Schumm S.A., Khan H.R., 1972, *Experimental Study of Channel Patterns*, *Geological Society of America Bulletin* 83 (6), 1755–1770.
- Selby M.J., 1985, *Earth's Changing Surface: an Introduction to Geomorphology*, Oxford University Press, Oxford.

- Simon A., Downs P. W., 1995, *An Interdisciplinary Approach to Evaluation of Potential Instability in Alluvial Channels*, *Geomorphology* 12 (3), 215–232.
- Skalak K.J., Benthem A.J., Schnek E.R., Hupp C.R., Galloway J.M., Nustad R.A., Wiche G.J., 2013, *Large Dams and Alluvial Rivers in the Anthropocene: The Impacts of the Garrison and Oahe Dams on the Upper Missouri River*, *Anthropocene* 2, 51–64.
- Skatula L., 1964, *Zabudowa rzek i potoków górskich*, Powszechnie Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Słowik-Opoka E., Radecki-Pawlik A., 2006, *Wybrane parametry hydrauliczne w obrębie wydmy żwirowych języko-kształtnych znalezionych w ujściowym odcinku rzeki Raby*, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* (4/2), 159–172.
- Słowik-Opoka E., Radecki-Pawlik A., 2007, *Badania morfometryczne wydmy piaszczystych o prostej linii szczytu zaobserwowanych na dnie ujściowego odcinka rzeki Raby*, *Acta Scientiarum Polonorum seria Formatio Circumietus* 1 (06), 43–54.
- Soja M., Zborowski A., 2000, *Wybrane zagadnienia zagospodarowania przestrzennego zlewni Raby*, *Prace Geograficzne IG UJ* 106, 119–140.
- Soja R., 1981, *Analiza odpływu z fliszowych zlewni Bystrzanki i Ropy (Beskid Niski)*, *Dokumentacja Geograficzna* 1, 1–99.
- Soja R., 2002, *Hydrologiczne aspekty antropopresji w polskich Karpatach*, *Prace Geograficzne IG i PZ PAN* 186, 1–130.
- Sroczyński W., 2004, *Jeziora zaporowe w krajobrazie Karpat*, [w:] U. Myga-Piątek (red.), *Przemiany Krajobrazu Kulturowego Karpat. Wybrane aspekty*, Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec, 87–98.
- Starkel L., 1960, *Rozwój rzeźby Polskich Karpat fliszowych w holocenie*, *Prace Geograficzne IG PAN* 22, 1–239.
- Starkel L., 1971, *Perspektywy badań nad analizą i oceną środowiska geograficznego Polski*, *Przegląd Geograficzny*, 283–295.
- Starkel L., 1972, *Charakterystyka rzeźby polskich Karpat i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej*, *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich* 10, 75–150.
- Starkel L., 1986, *Rola zjawisk ekstremalnych i procesów sekularnych w ewolucji rzeźby (na przykładzie fliszowych Karpat)*, *Czasopismo Geograficzne* 57, 2, 203–213.
- Starkel L., 2001, *Historia doliny Wisły: od ostatniego zlodowacenia do dziś*, *Monografie* 2, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Starkel L., 2006, *Geomorphic Hazards in the Polish Flysh Carpathians*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 40, 7–19.

- Starkel L., 2012, *Typy i częstotliwość opadów ulewnych i wezbrań oraz ich efekty geomorfologiczne w Karpatach i górach klimatu monsunowego*, *Prace i Studia Geograficzne* 49, 103–118.
- Starkel L., Gębica P., 1992, *Osady rzeczne i ewolucja dolin w okresie 18000–8000 lat BP w południowej Polsce*, *Przegląd Geologiczny* 40 (10), 589–591.
- Starkel L., Łajczak A., 2008, *Kształtowanie rzeźby den dolin w Karpatach (koryt i równin zalewowych)*, [w:] L. Starkel, A. Kostrzewski, A. Kotarba, K. Krzemień (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*, IGiGP UJ, Kraków, 95–108.
- Stopka R., 2011, *Geomorfologiczne skutki działalności bobra europejskiego *Castor fiber* w dolinie górnego Sanu*, *Roczniki Bieszczadzkie* 19, 319–334.
- Strużyński A., 2014, *Ocena stanu oraz identyfikacja zaburzeń procesów fluwialnych w korytach rzek karpackich*, *Acta Scientiarum Polonorum seria Formatio Circumiectus* 12 (2), 77–89.
- Strużyński A., Bartnik W., Kulesza K., Czoch K., 2013a, *Równowaga hydrodynamiczna ważnym parametrem kształtującym stan ekologiczny cieków karpackich*, *Rocznik Ochrona Środowiska, Annual Set of Environment Protection* 15, 2591–2610.
- Strużyński A., Kulesza K., Strużyński M., 2013b, *Bed Stability as a Parameter Describing the Hydromorphological Balance of a Mountain River*, [w:] P. Rowinski (red.) *Experimental and Computational Solutions of Hydraulic Problems*, Springer, Berlin – Heidelberg, 249–260.
- Stupnicka E., 1997, *Geologia regionalna Polski*, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Suding K.N., Gross K.L., Houseman G.R., 2004, *Alternative States and Positive Feedbacks in Restoration Ecology*, *Trends in Ecology & Evolution* 19 (1), 46–53.
- Surian N., 1999, *Channel Changes Due to River Regulation: The Case of the Piave River, Italy*, *Earth Surface Processes and Landforms* 24, 1135–1151.
- Surian N., 2006, *Effects of Human Impact on Braided River Morphology: Examples from Northern Italy*, [w:] G.H. Sambrook-Smith, J.L. Best, C. Bristow, G.E. Petts (red.), *Braided Rivers*, IAS Special Publication 36, Blackwell Science, 327–338.
- Surian N., Rinaldi M., 2003, *Morphological Response to River Engineering and Management in Alluvial Channels in Italy*, *Geomorphology* 50 (4), 307–326.
- Szczech M., 2013, *Wybrane analizy geoinformacyjne w badaniach związków budowy geologicznej z rzeźbą terenu Obniżenia Chabówki–Jordanowa*, *Landform Analysis* 24, 73–84.

- Szmańda J., Krzemień K., 2008, *Uwagi na temat wybranych klasyfikacji frakcyjnych osadów klastycznych – problem różnic w przedziałach klasowych i nazewnictwie*, Landform Analysis 9, 381–384.
- Szumański A., 1977, *Zmiany układu koryta dolnego Sanu w XIX i XX wieku oraz ich wpływ na morfogenezę tarasu łęgowego*, Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica 11, 39–53.
- Szumański A., 1982, *The Evolution of the Lower San River Valley During the Late Glacial and the Holocen*, [w:] L. Starkel (red.), *Evolution of the Vistula River Valley During the Last 15 000 Years*, Geographical Studies, IGIPZ PAN, Special Issue 1, 57–78.
- Teisseyre A. K., 1991a, *Klasyfikacja rzek w świetle analizy systemu fluwialnego i geometrii hydraulicznej*, Prace Geologiczno-Mineralogiczne, 22, Wyd. UW, Wrocław, 1–210.
- Teisseyre A.K., 1991b, *Rzeki anastomozujące – procesy i modele sedymentacji*, Przegląd Geologiczny 39, 4, 241–248.
- Trafas K., 1975, *Zmiany biegu koryta Wisły na zachód od Krakowa w świetle map archiwalnych i fotointerpretacji*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne 40, 1–85.
- Walczykiewicz T., 2011, *Monografia powodzi – Wisła, maj – czerwiec 2010*, IMGW PIB, Warszawa, 1–58.
- Ward J.V., Tockner K., Edwards P.J., Kollmann J., Bretschko G., Gurnell A.M., Petts G.E., Rossaro B., 1999, *A Reference River System for the Alps: The “Fiume Tagliamento”*, Regulated Rivers: Research and Management 15, 63–75.
- Wentworth C.K., 1922, *A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments*, The Journal of Geology 30 (5), 377–392.
- Wiejaczka Ł., Kijowska M., 2011, *Zmiany położenia dna koryt rzek karpackich w świetle analizy stanów niskich*, Monitoring Środowiska Przyrodniczego, KTN, Kielce, 12, 137–143.
- Wiejaczka Ł., Kijowska-Strugała M., 2014, *Assessment of the Hydromorphological State of Carpathian Rivers Above and Below Reservoirs*, Water and Environment Journal 29 (2), 277–287.
- Williams G.P., 1978, *Bank-full Discharge of Rivers*, Water Resources Research 14 (6), 1141–1154.
- Williams G.P., Wolman M.G., 1984, *Downstream Effects of Dams on Alluvial Rivers*, United States Geological Survey, Professional Paper 1286.

- Witkowski K., 2015, *Ewolucja koryta dolnej Skawy w świetle zabudowy hydro-technicznej*, Acta Scientiarum Polonorum seria Formatio Circumiectus 14 (1), 213–221.
- Witkowski K., Wyszomółek G., 2013, *Wykorzystanie historycznych i współczesnych źródeł w badaniach geomorfologicznych i gospodarczych skutków wezbrań na przykładzie doliny Skawy*, Prace Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Darmowe dane i open source w badaniach środowiska 2, 125–138.
- Witkowski K., Wyszomółek G., 2015, *Inicjalne stadium rozwoju koryta wielonurtowego Skawy w Makowie Podhalańskim*, Acta Scientiarum Polonorum seria Formatio Circumiectus 14 (1), 223–228.
- Wohl E., 2006, *Human Impacts to Mountain Streams*, Geomorphology 79, 217–248.
- Wohl E., 2011, *What Should These Rivers Look Like? Historical Range of Variability and Human Impacts in the Colorado Front Range, USA*, Earth Surface Processes and Landforms 36 (10), 1378–1390.
- Wohl E., Merritt D., 2005, *Prediction of Mountain Stream Morphology*, Water Resources Research 41, 8, 1–10.
- Wohl E., Kuzma J. N., Brown N. E., 2004, *Reach-scale Channel Geometry of a Mountain River*, Earth Surface Processes and Landforms 29 (8), 969–981.
- Wolman M.G., 1954, *A Method of Sampling Coarse River-bed Material*. EOS, Transactions American Geophysical Union 35 (6), 951–956.
- Wolman, M.G., Miller, J. P., 1960, *Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes*, The Journal of Geology 68, 54–74.
- Wołoszyn J., Czamara W., Eliasiewicz R., Krężel J., 1994, *Regulacja rzek i potoków*, Wyd. AR, Wrocław.
- Woo M.K., Waddington J.M., 1990, *Effects of Beaver Dams on Subarctic Wetland Hydrology*, Arctic 43, 223–230.
- Wooldridge C.L., Hickin E.J., 2005, *Radar Architecture and Evolution of Channel Bars in Wandering Gravel-bed Rivers: Fraser and Squamish Rivers, British Columbia, Canada*, Journal of Sedimentary Research 75, 842–858.
- Woskowicz-Ślęzak B., Ślęzak A., 2012, *Zapis antropopresji w rzeźbie przedgórskiej odcinka dna doliny Soły*, [w:] A. Łajczak, I. Malik (red.) *Antropopresja w wybranych strefach morfoklimatycznych – zapis zmian w rzeźbie i osadach*, Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego 77, 441–452.

- Wyżga B., 1989, *Pogłębianie koryta Raby i jego przyczyny*, *Gospodarka Wodna* 3, 72–73.
- Wyżga B., 1991, *Present-day Downtcutting of the Raba River Channel (Western Carpathians, Poland) and its Environmental Effects*, *Catena* 18, 551–566.
- Wyżga B., 1992a, *Reakcja rzeki górskiej na regulację koryta*, *Gospodarka Wodna* 11, 242–248.
- Wyżga B., 1992b, *Zmiany w geometrii koryta i układzie facji jako odzwierciedlenie transformacji reżimu hydrologicznego Raby w ciągu ostatnich dwustu lat*, *Czasopismo Geograficzne* 63 (3–4), 3–18.
- Wyżga B., 1993a, *Funkcjonowanie systemu rzecznoego środkowej i dolnej Raby w ostatnich 200 latach*, *Dokumentacja Geograficzna* 6, 1–92.
- Wyżga B., 1993b, *River Response to Channel Regulation: Case Study of the Raba River, Carpathians, Poland*, *Earth Surface Processes and Landforms* 18, 541–556.
- Wyżga B., 1994, *Wpływ regulacji koryt rzek karpaccich na wzrost zagrożenia powodziowego w dorzeczu górnej Wisły (na przykładzie Raby)*, *Czasopismo Geograficzne* 65, 241–262.
- Wyżga B., 1997, *Methods for Studying the Response of Flood Flows to Channel Change*, *Journal of Hydrology* 198, 271–288.
- Wyżga B., 2001a, *Impact of the Channelization – Induced Incision of the Skawa and Wisłoka Rivers, Southern Poland, on the Conditions of Overbank Deposition*, *Regulated Rivers: Research and Management* 17, 85–100.
- Wyżga B., 2001b, *Wpływ pogłębiania się koryt karpaccich dopływów Wisły na zmiany warunków sedymentacji pozakorytowej*, [w:] W. Chełmicki (red.), *Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim*, cz. I, *Procesy. Gospodarka. Monitoring*, 83–104.
- Wyżga B., 2003, *Współczesne wcinanie się rzek polskich Karpat – przebieg, przyczyny i skutki*, [w:] J. Lach (red.), *Dynamika zmian środowiska geograficznego pod wpływem antropopresji*, *Instytut Geografii AP, Kraków*, 161–167.
- Wyżga B., 2005, *Wpływ eksploatacji osadów z koryt na systemy rzeczne*, [w:] A. Kotarba, K. Krzemień, J. Świąchowicz (red.), *Współczesna ewolucja rzeźby Polski*, *Kraków*, 531–536.
- Wyżga B., 2007a, *A Review on Channel Incision in the Polish Carpathian Rivers During the 20th Century*, *Developments in Earth Surface Processes* 11, 525–553.
- Wyżga B., 2007b, *Gruby rumosz drzewny: depozycja w rzece górskiej, postrzeżenie i wykorzystanie do rewitalizacji cieków górskich*, *Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków*, 1–176.

- Wyźga B., 2008, *Wcinanie się rzek polskich Karpat w ciągu XX wieku*, [w:] B. Wyźga (red.), *Stan środowiska rzek południowej Polski i możliwość jego poprawy – wybrane aspekty*, Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków, 7–39.
- Wyźga B. (red.), 2013, *Stan środowiska rzek południowej Polski – znaczenie środowiskowe, degradacja i możliwości rewitalizacji rzek wielonurtowych*, Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków, 1–224.
- Wyźga B., Zawiejska J., 2005, *Wood Storage in a Wide Mountain River: Case Study of the Czarny Dunajec, Polish Carpathians*, *Earth Surface Processes and Landforms* 30 (12), 1475–1494.
- Wyźga B., Zawiejska J., 2010, *Large Wood Storage in Channelized and Unmanaged Sections of the Czarny Dunajec River, Polish Carpathians: Implications for the Restoration of Mountain Rivers*, *Folia Geographica. Series: Geographica–Physica* 41, 5–34.
- Wyźga B., Zawiejska J., Radecki-Pawlik A., 2008, *Określanie wielkości wcięcia się rzek i jego wpływu na hydraulikę przepływów wezbraniowych: przykłady z rzek karpackich*, *Landform Analysis* 9, 402–405.
- Wyźga B., Zawiejska J., Radecki-Pawlik A., 2015, *Impact of Channel Incision on the Hydraulics of Flood Flows: Examples from Polish Carpathian Rivers*, *Geomorphology*, w druku.
- Wyźga B., Amirowicz A., Radecki-Pawlik A., Zawiejska J., 2009, *Hydromorphological Conditions, Potential Fish Habitats and the Fish Community in a Mountain River Subjected to Variable Human Impacts, the Czarny Dunajec, Polish Carpathians*, *River Research and Applications* 25 (5), 517–536.
- Wyźga B., Hajdukiewicz H., Radecki-Pawlik A., Zawiejska J., 2010, *Eksploracja osadów z koryt rzek górskich – skutki środowiskowe i procedury oceny*, *Gospodarka Wodna* 6, 243–249.
- Wyźga B., Zawiejska J., Radecki-Pawlik A., Hajdukiewicz H., 2012, *Environmental Change, Hydromorphological Reference Conditions and the Restoration of Polish Carpathian Rivers*, *Earth Surface Processes and Landforms* 37, 1213–1226.
- Zawiejska J., 2006, *Struktura i dynamika koryta Dunajca*, praca doktorska, archiwum IGiGP UJ, Kraków, 1–179.
- Zawiejska J., Krzemień K., 2004, *Man – Induced Changes in the Structure and Dynamic of the Upper Dunajec River Channel*, *Geografický časopis* 56, 2, 111–124.

- Zawiejska J., Wyźga B., 2008, *Transformacja koryta Dunajca w XX wieku jako wynik ingerencji człowieka i zmian środowiskowych w zlewni*, [w:] B. Wyźga (red.), *Stan środowiska rzek południowej Polski i możliwości jego poprawy – wybrane aspekty*, Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków, 41–50.
- Zawiejska J., Wyźga B., 2010, *Twentieth-century Channel Change on the Dunajec River, Southern Poland: Patterns, Causes and Controls*, *Geomorphology* 117 (3), 234–246.
- Zawiejska J., Wyźga B., Radecki-Pawlik A., 2015, *Variation in Surface Bed Material Along a Mountain River Modified by Gravel Extraction and Channelization, the Czarny Dunajec, Polish Carpathians*, *Geomorphology* 231, 353–366.
- Zborowski A., 1992, *Podstawowe cechy wyznaczające poziom urbanizacji Polski*, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne* 87, 7–19.
- Zbyryt M., 2008, *Siedliskowe uwarunkowania zasiedleń terenów górskich przez bobry europejskie (Castor fiber L, 1758) na przykładzie Magurskiego Parku Narodowego*, *Archiwum UR, Kraków*.
- Zbyryt M., Zbyryt A., 2013, *Rekolonizacja Magurskiego Parku Narodowego przez bobra europejskiego Castor fiber – 27 lat po reintrodukcji*, *Parki Narodowe i Rezerwaty Przyrody* 32, 1, 78–88.
- Zieliński T., 2014, *Sedymentologia. Osady rzek i jezior*, Wyd. Naukowe UAM, Poznań.
- Zuchiewicz W., 2010, *Neotektonika Karpat polskich i zapadliska przedkarpackiego*, Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Żelazo J., 2006, *Renaturyzacja rzek i dolin*, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 4/1, 11–31.
- Żurowski W., 1979, *Preliminary Results of European Beaver Reintroduction in the Tributary Streams of the Vistula River*, *Acta Theriologica* 24, 7, 85–91.
- Żytko K., Gucik S., Ryłko W., Oszczytko N., Zając R., Garlicka I., Stranik Z., 1989, *Geological Map of the Western Outer Carpathians and their Foreland Without Quaternary Formations. Geological Atlas of the Western Outer Carpathians and their Foreland, 1: 500 000*.

Strony internetowe

CORINE Land Cover2012, <http://clc.gios.gov.pl/> (03.03.2016).

<http://ab-ovo.org> (10.03.2016).

<http://www.krakow.rzgw.gov.pl> (16.03.2016).

<http://www.parowozy.pl> (16.03.2016).

Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE, <http://eur-lex.europa.eu> (16.03.2016).

The First Military Survey maps of the Habsburg Empire (1763–1790), <http://mapire.eu/> (16.03.2016).

The Second Military Survey maps of the Habsburg Empire (1806–1869), <http://mapire.eu/> (16.03.2016).

The Third Military Survey maps of the Habsburg Empire (1869–1887), <http://mapire.eu/> (16.03.2016).

Spis tabel

Tabela 1. Powierzchnia łąch i podcięć w korycie Raby	61
Tabela 2. Cechy geomorfologiczne i hydrologiczne rzek o różnych układach koryta	72
Tabela 3. Charakterystyka koryta Raby; wskaźniki kształtu i układ korytowy Raby	74
Tabela 4. Charakterystyka pododcinków koryta Raby	77
Tabela 5. Charakterystyka budowli regulacyjnych i ubezpieczeń brzegów . .	82
Tabela 6. Charakterystyka budowli hydrotechnicznych i infrastruktury drogowej w korycie Raby (dane na podstawie kartowania terenowego z 2015 roku)	88
Tabela 7. Charakterystyka budowli hydrotechnicznych podłużnych w korycie Raby (informacje pozyskane z RZGW w Krakowie w 2016 roku, dane niezwerifikowane przez RZGW)	95
Tabela 8. Charakterystyka zabudowy poprzecznej w korycie Raby (informacje pozyskane z RZGW w Krakowie w 2016 roku, dane zwerifikowane przez RZGW)	102
Tabela 9. Wskaźniki obniżania koryta Raby na podstawie stanów wód w punktach wodowskazowych	118
Tabela 10. Lokalizacja w korycie Raby miejsc z erozją wgłębną	120

Tabela 11. Charakterystyka wezbrań w 2010 i 2014 roku w punktach wodowskazowych na Rabie na tle przepływów o prawdopodobieństwie Q10% i Q1% (na podstawie: T. Walczykiewicz 2011 i Raportu ISOK)	121
Tabela 12. Lokalizacja i długość stref ze zniszczonymi umocnieniami i towarzyszącym im poszerzeniem koryta Raby	140
Tabela 13. Przepływ maksymalny Sanu o różnej wielkości prawdopodobieństwa przewyższenia Q_{max} [m ³ /s] oraz lata wystąpienia wezbrań o żądanym prawdopodobieństwie (wg Raportu ISOK)	163
Tabela 14. Przepływ maksymalny Skawy o różnej wielkości prawdopodobieństwa przewyższenia Q_{max} [m ³ /s] oraz lata wystąpienia wezbrań o żądanym prawdopodobieństwie (wg Raportu ISOK)	172

Spis rycin

Ryc. 1. Obszar badań (model SRTM)	18
Ryc. 2. Koryto Raby na tle podziału geomorfologicznego i jednostek fizycznogeograficznych (na podstawie: Klimaszewski 1972; Balon i in. 1995)	31
Ryc. 3. Szkic geologiczny zlewni Raby (według Żytki i in. 1989)	32
Ryc. 4. Profil podłużny koryta Raby i Mszanki	37
Ryc. 5. Struktura koryta Raby w roku 1976 i 2015	41
Ryc. 6. Analiza skupień; A – wykres odległości wiązania względem etapów wiązania; B – diagram drzewa, Metoda Warda	46
Ryc. 7. Charakterystyka powierzchni łąch i wysp w korycie Raby w latach 1976, 2009 i 2015	52
Ryc. 8. Charakterystyka podcięć w korycie Raby w latach 1976 i 2015	55
Ryc. 9. Wskaźnik W/D koryta Raby w roku 1976 i 2015	56
Ryc. 10. Charakterystyka rumowiska korytowego Raby w 2015 roku; A – profil podłużny koryta Raby, B – skład frakcyjny rumowiska koryta Raby (metoda Wolmana), C – skład frakcyjny rumowiska koryta Raby (metoda fotograficzna), D – średnice charakterystyczne rumowiska korytowego	58
Ryc. 11. Wskaźniki charakteryzujące skład frakcyjny rumowiska dla prób powierzchniowych	61

Ryc. 12. Profile poprzeczne odcinków koryta modelowanego przez erozję wgłębną	64
Ryc. 13. Profile poprzeczne odcinków koryta modelowanego przez erozję boczną, depozycję i redepozycję rumowiska	65
Ryc. 14. Profile poprzeczne odcinków koryta modelowanego przez erozję boczną z niewielką depozycją rumowiska	66
Ryc. 15. Wykres rozkładu empirycznego różnic cech struktury Raby w latach 2015–1976	68
Ryc. 16. Rozwój koryta w odcinku beskidzkim	78
Ryc. 17. Regulacje w korycie Raby w 2. połowie XX i na początku XXI wieku (na podstawie kartowań terenowych w latach 1976 i 2015 oraz danych z RZGW)	85
Ryc. 18. Rozwój koryta w odcinku pogórskim oraz przejściowym między pogórskim i kotlinnym	106
Ryc. 19. Rozwój koryta w odcinku kotlinnym	107
Ryc. 20. Pobór rumowiska w korycie Raby w latach 1976 i 2015	110
Ryc. 21. Zapis kierunków rozwoju w korycie Raby	115
Ryc. 22. Stany minimalne i maksymalne w punktach wodowskazowych na Rabie	117
Ryc. 23. Rozmieszczenie siedlisk bobrów w korycie Raby	128
Ryc. 24. Schemat oddziaływania bobrów na koryto Raby	129
Ryc. 25. Przebieg przepływów maksymalnych w punktach wodowskazowych na Rabie	138
Ryc. 26. Przykład odcinków ze zniszczonymi umocnieniami – strefy poszerzania koryta Raby	141
Ryc. 27. Rozwój koryta Raby w okresie wezbraniowym 2010–2014, na przykładzie odcinka nr 6	148
Ryc. 28. Rozwój koryta Raby w okresie wezbraniowym 2010–2014, na przykładzie odcinków nr 9 i 10	149
Ryc. 29. Rozwój koryta Raby w okresie wezbraniowym 2010–2014, na przykładzie odcinka nr 18	150
Ryc. 30. Zmiany przebiegu koryta Sanu w okolicy Wietlina i Wysocka na mapach archiwalnych (Military Survey maps of the Habsburg Empire z lat 1763–1790; 1806–1869; 1869–1887, http://mapire.eu)	158

Ryc. 31. Etapy rozwoju koryta Sanu	161
Ryc. 32. Profile poprzeczne koryta Sanu; A – odcinek koryta z erozją boczną, B – odcinek koryta z fragmentem zawieszonoego koryta, trasy regulacyjnej z XIX wieku, C – stabilny odcinek koryta. Lokalizacja profili na ryc. 30	162
Ryc. 33. Minimalne i maksymalne stany roczne Sanu na posterunku wodowskazowym w Przemyśle i Jarosławiu	164
Ryc. 34. Przepływy maksymalne w latach 1951–2014 na posterunku wodowskazowym w Przemyśle i Jarosławiu	165
Ryc. 35. Etapy poszerzania koryta Sanu	166
Ryc. 36. Zlewnia Skawy; lokalizacja badanego odcinka na tle koryta Skawy	169
Ryc. 37. Fragment projektu regulacyjnego „Regulacja rzeki Skawy w m. Sucha – Maków Podhalański, 44+750–49+600 km, 1976, Okręgowa Dyrekcja Gospodarki Wodnej, Kraków”	170
Ryc. 38. Maksymalne wezbrania roczne w punktach wodowskazowych w Jordanowie, Osielcu, Suchej Beskidzkiej i Wadowicach	171
Ryc. 39. Etapy samoistnej renaturyzacji koryta Skawy (A), profil podłużny badanego odcinka Skawy (B)	177
Ryc. 40. Zmiany struktury i morfometrii koryta Skawy w badanym odcinku w latach 2006–2014	178
Ryc. 41. Stany minimalne i maksymalne w punktach wodowskazowych w Jordanowie, Osielcu, Suchej Beskidzkiej i Wadowicach	179
Ryc. 43. Lokalizacja badanych odcinków koryta (I., II.) na tle zlewni Czarnego Dunajca (A), Przebieg w planie badanego odcinka koryta w XIX wieku, na początku XX i XXI wieku (B), Rodzaj i lokalizacja budowli regulacyjnych w badanych odcinkach koryta (C, D)	182
Ryc. 42. Stopień uregulowania koryt Podhala	182
Ryc. 44. Przekroczenie średniego maksymalnego przepływu rocznego [%] w Czarnym Dunajcu	186
Ryc. 45. Profil podłużny pierwszego (I) odcinka koryta i charakterystyczny dla niego profil poprzeczny	187
Ryc. 46. Profil podłużny drugiego (II) odcinka koryta i charakterystyczne dla niego profile poprzeczne	188

Ryc. 47. Model rozwoju górskiego żwirodennego koryta w warunkach antropopresji (część beskidzka)	193
Ryc. 48. Model rozwoju górskiego żwirodennego koryta w warunkach antropopresji (część pogórska i „kotlinna”)	195

Spis fotografii

Fot. 1. Formy piaszczyste w korycie Raby, riplemarki (A – odc. 3, B – odc. 19)	44
Fot. 2. Wielonurtowe odcinki koryta Raby (odc. 10, 11)	53
Fot. 3. Odcinki koryta z erozją wgłębną, widoczne zawieszenie i zniszczenie regulacji hydrotechnicznych; A – odc. 14, B, C – odc. 4	90
Fot. 4. Przykłady budowli poprzecznych; stopni i bystrzy o zwiększonej szorstkości w korycie Raby; A – odc. 4, B – odc. 13, C – odc. 13, D – odc. 27	93
Fot. 5. Zniszczone budowle regulacyjne w korycie Raby (2015); A, B, C – zniszczone opaski, odc. 4, 8, 13, D – zniszczona tama podłużna, odc. 11, E – zniszczone ostrogi (poprzeczki), odc. 9, F – zniszczony stopień, odc. 14	99
Fot. 6. Umocnienia brzegów koryta Raby; A – mur zabezpieczający nasyp kolejowy, odc. 2, B, C – mury i umocnienia w strefach bliskiej zabudowy, odc. 3	105
Fot. 7. Współczesne miejsca nielegalnego poboru żwirów z koryta Raby (A – odc. 17, B – odc. 26)	112
Fot. 8. Ślady działalności bobrów w korycie Raby, A – powalone drzewa (odc. 3), B – ślizg bobrowy (odc. 6), C – pozostałości żeremia (odc. 30)	124

Fot. 9. Tamy bobrów w górnym biegu Raby (odc. 3, 6, 7)	127
Fot. 10. Norożeremie bobrowe (odc. 30), A, B – norożeremie przykryte rumoszem drzewnym w brzegu koryta Raby, C – poszerzony otwór wentylacyjny	133
Fot. 11. Skutki wezbrań w korycie Raby w 2010 i 2014 roku; A – ślady wezbrań na moście, B – usuwanie rumoszu drzewnego po wezbraniu w 2010 roku, C – koryto wielonurtowe uformowane w czasie wezbrania (A–C, odc. 10, 11), D, E, F – piaszczyste i żwirowe formy akumulacyjne powstałe w czasie wezbrań w 2010 i 2014 roku w odcinku 19 koryta Raby	145
Fot. 12. Odcinki koryta Raby z erozją boczną i depozycją rumowiska; A – odc. 17, B – odc. 20, C – odc. 18	147
Fot. 13. Formy skalne w korycie Raby (odc. 8, 9)	153
Fot. 14. Koryto Raby w dolnym biegu, odcinki obwałowane (A, B – odcinek 29), na fot. B dobrze widoczne poszerzenie koryta, efekt działalności erozji bocznej i procesów grawitacyjnych	154
Fot. 15. Odcinki koryta Raby z intensywną erozją boczną i depozycją, A – odcinek koryta (11) podlegający renaturyzacji, znaczące poszerzenie koryta widoczne na tle „wiszącej” kładki przegradzającej, przed wezbraniem w 2010 roku, całą szerokość koryta, B – odcinek koryta (13), położony w granicach Myślenic, widoczne nowe regulacje koryta (tama z poprzeczkami)	156
Fot. 16. Odcinek koryta Sanu z intensywną erozją boczną i akumulacją, A – podcięcia brzegu, B – poszerzony odcinek koryta Sanu z wyspą	159
Fot. 17. Koryto Skawy w 2006 roku, A – zniszczone regulacje, ostrogi, B – poszerzone koryto z wyspą „założoną” na zniszczonych regulacjach	173
Fot. 18. Koryto Skawy w 2012 roku, A, B – koryto kręte z naprzemiennie występującymi łachami bocznymi i podcięciami, C – zniszczona regulacja w korycie (ostatnia widoczna)	175
Fot. 19. Koryto Skawy w 2014 roku, A – szerokie i mięjsze strefy akumulacji rumowiska i rumoszu drzewnego, B – krótki odcinek wielonurtowy powstały po wezbraniu w 2014 roku	176